



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ
Dergisi

Cumhuriyet
EARTH SCIENCES
Journal

SAHİBİ (OWNER)

C.Ü. Mühendislik Fakültesi adına (*on the behalf of the Faculty of Engineering, C.Ü.*):
Prof.Dr. AHMET DEMİRCİ

EDİTÖR (EDITOR)

Prof.Dr. IŞIK YILMAZ

Yardımcı Editörler (Assistant Editors)

Doç.Dr. Nazan YALÇIN ERİK
Yrd.Doç.Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU

Yayın Kurulu (Editorial Board)

- | | |
|---|--|
| Hasan BAYHAN (Hacettepe Ü.) | Engin MERİÇ (İstanbul Ü.) |
| Martin BEDNARIK (Comenius Univ.) | Aral OKAY (İ.T.Ü.) |
| Durmuş BOZTUĞ (Tunceli Ü.) | Biswajeet PRADHAN (Putra Malaysia Univ.) |
| Atilla ÇİNER (Hacettepe Ü.) | Ahmet SAĞIROĞLU (Fırat Ü.) |
| Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Ü.) | Cem SARAÇ (Hacettepe Ü.) |
| Vedat DOYURAN (O.D.T.Ü.) | Gürol SEYİTOĞLU (Ankara Ü.) |
| Marian DRUSA (Zlina Univ.) | Harun SÖNMEZ (Hacettepe Ü.) |
| Burhan ERDOĞAN (Dokuz Eylül Ü.) | Abdürrahim ŞAHBAZ (Muğla Ü.) |
| Yavuz ERKAN (Hacettepe Ü.) | Orhan TATAR (Cumhuriyet Ü.) |
| Aziz ERTUNÇ (Süleyman Demirel Ü.) | Abidin TEMEL (Hacettepe Ü.) |
| Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Ü.) | Mahmut TUNÇ (Cumhuriyet Ü.) |
| Ergun GÖKTEN (Ankara Ü.) | Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Ü.) |
| Naci GÖRÜR (İ.T.Ü.) | Asuman TÜRKMENOĞLU (O.D.T.Ü.) |
| M. Cemal GÖNCÜOĞLU (O.D.T.Ü.) | Reşat ULUSAY (Hacettepe Ü.) |
| Nilgün GÜLEÇ (O.D.T.Ü.) | Taner ÜNLÜ (Ankara Ü.) |
| Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Ü.) | Baki VAROL (Ankara Ü.) |
| Ali KAHRİMAN (Okan Üniv.) | Hüseyin YALÇIN (Cumhuriyet Ü.) |
| Ergun KARACAN (Muğla Ü.) | Namık YALÇIN (İstanbul Ü.) |
| Remzi KARAGÜZEL (İ.T.Ü.) | Mefail YENİYOL (İstanbul Ü.) |
| Ali İhsan KARAYİĞİT (Hacettepe Ü.) | Ali YILMAZ (Cumhuriyet Ü.) |
| Ali KOÇYİĞİT (O.D.T.Ü.) | Osman YILMAZ (İstanbul Ü.) |
| Marian MARSCHALKO (Ostrava Tech. Univ.) | Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.) |



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ
Dergisi

Cumhuriyet
EARTH SCIENCES
Journal

Yazışma Adresi
(Correspondance Address):

Prof. Dr. Işık YILMAZ

Cumhuriyet Üniversitesi

Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi

58140 SİVAS

Telefon

0-346-219 10 10 (1305)

Faks

0-346-219 11 71

e-posta

iyilmaz@cumhuriyet.edu.tr

isik.yilmaz@gmail.com



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ
Dergisi

Cumhuriyet
EARTH SCIENCES
Journal

Cilt / Volume : 30

Sayı / Issue: 2

2013

İÇİNDEKİLER
(CONTENTS)

- Yamaç molozlarının duraylılık analizlerinde limit denge yönteminin kullanılması:
Kalebaşı Mahallesi (Gümüşhane) örneği**
*Utilization of limit equilibrium method for the stability analysis of debris: an example of the
Kalebaşı District (Gümüşhane)*
**Selçuk ALEMDAĞ, Ayberk KAYA, Mustafa KARADAĞ, Zülfü GÜROCAK,
Fikri BULUT** 49
- Estimation of strength and deformation characteristics
of soils (Nitra, South Slovakia) by using Cone Penetration Test**
*Zeminlerin (Nitra, Güney Slovakya) dayanım ve deformasyon özelliklerinin Koni Penetrasyon
Deneyi kullanılarak kestirimi*
Marian DRUSA 63
- Menderes Masifi tektonik yapılarının (Batı Anadolu, Türkiye) Bouguer Gravite analizi
kullanılarak incelenmesi**
*Investigation of the tectonic structures of Menderes Massive (Western Anatolia, Turkey) by
means of Bouguer Gravity analysis*
Tuğçe AKAY, Funda BİLİM, Sinan KOŞAROĞLU 71
- Sivas ili depremselliğinin Gutenberg-Richter magnitüd-frekans ilişkisi ve Poisson
modeli kullanarak incelenmesi**
*Investigation of seismicity of Sivas, Turkey using Gutenberg-Richter magnitude-frequency
relationship and Poisson model*
Funda BİLİM, Sinan KOŞAROĞLU, Tuğçe AKAY 87

Yayın Türü: Hakemli Yerel Süreli Yayın
Publication Type: *Peer Reviewed National Journal*

Basım: Cumhuriyet Üniversitesi – Rektörlük Basımevi – Sivas
Printed by: *Cumhuriyet Üniversitesi – Rektörlük Basımevi - Sivas*

ISSN: 1016-7625

Yamaç molozlarının duraylılık analizlerinde limit denge yönteminin kullanılması: Kalebaşı Mahallesi (Gümüşhane) örneği

Utilization of limit equilibrium method for the stability analysis of debris: an example of the Kalebaşı District (Gümüşhane)

Selçuk ALEMDAĞ¹, Ayberk KAYA², Mustafa KARADAĞ¹, Zülfü GÜROCAK³,
Fikri BULUT⁴

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 53100 Rize

³ Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

⁴ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

ÖZ

Bu çalışmada, Kalebaşı (Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi yerleşim alanındaki yamaç molozlarının duraylılığı, Limit Denge Yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanında 14 adet araştırma sondajı ile 4 adet araştırma çukuru açılmış ve 5 profilde sismik kırılma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarına göre, yaklaşık 98 hektarlık bir alanda yayılım gösteren yamaç molozunun kalınlığı 1 ile 36 m arasında değişmektedir. Araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş örneklerde yamaç molozunun fiziksel ve kayma dayanımı özellikleri belirlenmiştir. Zemin sınıflamaları sonucunda yamaç molozunun zemin sınıfı; Killi Kum (SC), Siltli Kum (SM) ve Düşük Plastisiteli Kil (CL) olarak saptanmıştır. Zemine ait kayma dayanımı parametrelerini belirlemek için deformasyon kontrollü kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre yamaç molozunun doruk kohezyonu 0.03 - 0.17 kg/cm², doruk sürtünme açısı ise 20-27° arasında değişmektedir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak Slide v5.0 bilgisayar programında duraylılık analizleri yapılmıştır. Birleşik kayma olasılığı ve yamaç molozunun genişliğinin kalınlığından daha büyük olması nedeniyle Limit Denge Analizleri'nde Janbu Yöntemi kullanılmıştır. Duraylılık analizlerinde, her bir hatta ait güvenlik katsayıları sırasıyla 1.44, 1.80, 1.96 ve 1.72 olduğu belirlenmiştir. Yapılan duraylılık analizleri, Kalebaşı Mahallesi yerleşim alanındaki yamaç molozunun duraylı olduğunu ve heyelan riski taşımadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Duraylılık analizi, Janbu Yöntemi, Kalebaşı Mahallesi, yamaç molozu.

ABSTRACT

In this study, the stability of the debris in residential area of the Kalebaşı (Özkürtün-Gümüşhane) district was investigated using Limit Equilibrium method. For this purpose, total of 345 m in length and fourteen boreholes were drilled, four trial pits were dug along the four survey lines, and seismic refraction studies were performed along the five lines in the study area. According to field studies, thickness of debris covering 98 hectares varies between 1 and 36 meters. To determine physical and shear strength properties of debris, undisturbed samples were collected from trial pits. As a result of soil classifications, debris were determined to be as Clayey Sand (SC), Silty Sand (SM) and Low Plasticity Clay (CL). Deformation-controlled shear box tests were carried out to determine shear strength parameters of debris. According to

laboratory tests, peak cohesion and peak internal friction angle of debris varies between 0.03- 01.7 kg/cm² and 20-27°, respectively. Stability analyses were evaluated using obtained data from field and laboratory studies in the Slide v5.0 software. Janbu Method was performed in Limit Equilibrium stability analyses due to the possibility of combined sliding and the propagation of debris more than its thickness. According to stability analyses, the factors of safety of the each survey line are 1.44, 1.80, 1.96 and 1.72, respectively. Stability analyses were showed that the debris in residential area of the Kalebaşı district is stable.

Keywords: *Stability analysis, Janbu Method, Kalebaşı District, debris.*

GİRİŞ

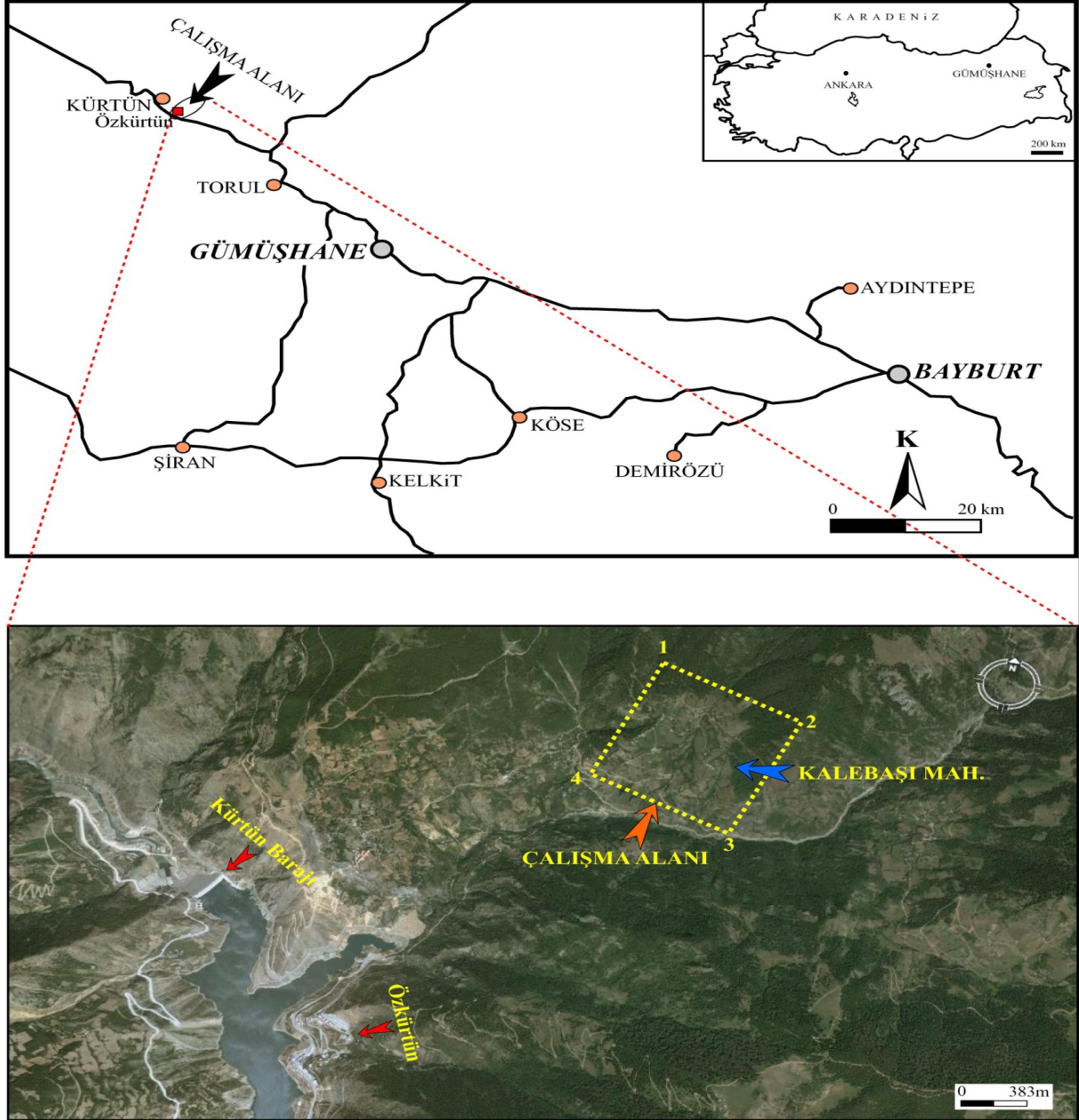
Doğal afetler içinde, sıklığından dolayı önemli bir yer tutan kütle hareketleri, etkin oldukları yerleşim yerlerinde can ve mal kaybı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, bu alanlarda ulaşım, haberleşme gibi günlük hayattaki sosyal ve kültürel olayları da etkilemektedir. Kütle hareketi sonucu, yollar, tarım alanları ve yerleşim yerleri de çok büyük maddi kayıplara uğramaktadırlar. Bu tür alanlar yerleşime kapatılmakta, ya da yerleşime açılrsa bile, çok pahalı mühendislik önlemlerinin alınması gerekmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de her yıl can kayıplarına ve genellikle büyük ekonomik zararlara yol açan çok sayıda heyelan meydana gelmektedir. Özellikle Türkiye'nin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi'nde heyelanlar, en çok rastlanan doğal afetlerden biridir. Şimdiye kadar çeşitli araştırmacılar tarafından (Bishop, 1955; Morgenstern and Price, 1965; Janbu, 1973; Sarma, 1973; Spencer, 1973; Önalp vd., 1987; İskenderoğlu ve Tarhan, 1991; Chung and Fabbri, 1999; Gökçeoğlu et al., 2005; Yılmaz et al., 2006; Tunusluoğlu et al., 2007; Kahatadeniya et al., 2009; Mendoza et al., 2009; Yılmaz, 2010; Nefeslioglu et al., 2010; Deng et al., 2010; Di Maio et al., 2010; Erkan, 2010; Özdoğan, 2010; Dağ vd. 2011; Jeong et al., 2011; Ferrari et al., 2011; Zheng, 2012; Alemdag, et al., 2013). Şev duraylılığı analizlerinde limit denge yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaktadır. Yapılan incelemelerde gerek lokal, gerekse bölgesel ölçekte bir çok zemin şev duraylılığı çalışmaları yapılmış olup, problemin türüne ve zemin özelliklerine göre farklı duraysızlık yöntemleri uygulanmıştır. İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölgesi, Gümüşhane İli, Kürtün İlçesi, Özkürtün Beldesi'ne bağlı Süme Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. 1/25.000 ölçekli Trabzon G42-d2 paf-

tasında bulunan çalışma alanı, yaklaşık 98 hektarlık bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1).

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca Afete Maruz Bölge kapsamında değerlendirilen Kalebaşı (Süme-Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi (Şekil 2) yerleşim alanındaki yamaçların duraylılığı Limit Denge Analizi (Janbu Yöntemi) ile incelenmiştir (Karadağ, 2013). Çalışma alanı içinde yüzeylenen yamaç molozunun kalınlığını ve zeminle ilgili detaylı bilgi edinebilmek amacıyla ana kayaya incek şekilde toplam 345 m uzunluğunda 14 adet araştırma sondajı yapılmıştır. Ayrıca sondaj yapılamayan inceleme hatlarında, yamaç molozunun değişim gösteren kalınlığını belirlemek üzere 5 profilde sismik kırılma etüdüleri yapılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında duraylılık problemi olasılığı düşünülen dört sırt boyunca yapılan sondaj çalışmalarına ek olarak, her bir çalışma hattında açılmış araştırma çukurlarından çelik tüp ile örselenmemiş zemin örnekleri alınmış ve bu örnekler üzerinde zeminin indeks ve kayma dayanımı özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler "Slide v5.0" (Rocscience, 2003) bilgisayar programında girdi parametresi olarak kullanılarak Limit Denge Analizleri ve çalışma alanı modellenerek de duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Pontid tektonik birliğinin en doğusunun, kuzey-güney geçiş zonunda yer almaktadır. Bölgede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik yaşta ve farklı litolojide birimler görülmektedir. Mezozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerin yüzeylendiği çalışma alanı ve çevresinde, Liyas'tan başlayarak Eosen sonlarına kadar periyotlar halinde ge-



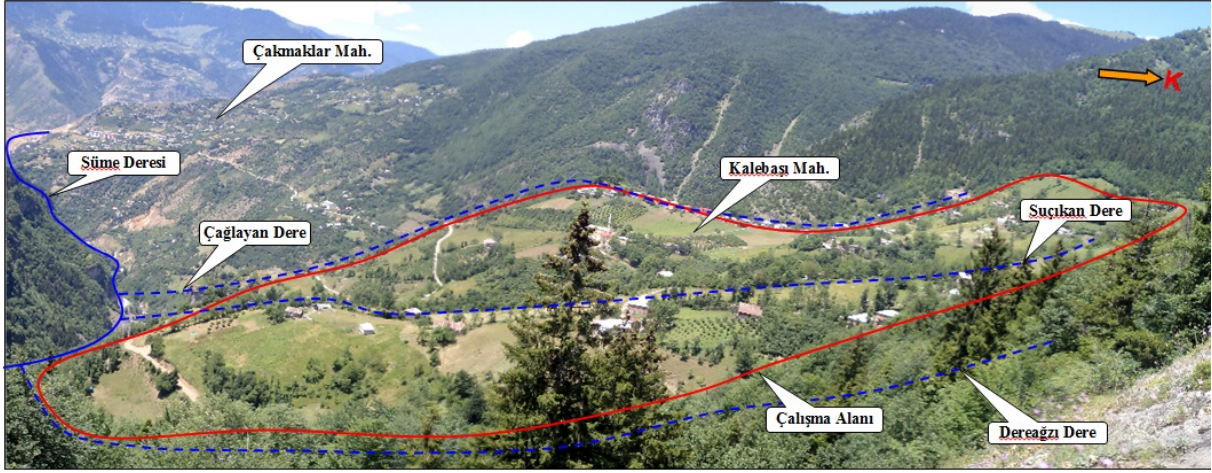
Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

lişimini sürdüren magmatizmanın ürünlerini içeren volkano-tortul fasiyesler yaygındır. Bölgede Geç Jura-Erken Kretase kireçtaşlarından oluşan Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977) ile başlar, Geç Kretase yaşlı bazalt, andezit, piroklastitler, kumtaşı, marn vb. kaya türlerinden oluşan Çatak Formasyonu (Güven, 1993); dasit, riyodasit ve piroklastitlerden oluşan Kızılkaya Formasyonu (Güven, 1993); bazalt, andezit, piroklastik ve kırıntılı kayalardan oluşan Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993); riyolit, riyodasit ve piroklastitlerden oluşan

Çayırbağ Formasyonu (Güven, 1993) şeklinde volkanik istif devam eder. İntrüzif sokulum olarak Geç Kretase ve Eosen döneminde yerleşmiş Harşit Granitoyidi (Karslı ve diğ, 2010) yer alır.

İnceleme alanı ve çevresinde yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çatak Formasyonu, Kuvarterner yaşlı alüvyonların ve yamaç molozlarının yüzeyleme verdiği belirlenmiştir. Güven (1993) tarafından tanımlanan Çatak Formasyonu, koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitlerinden



Şekil 2. İnceleme alanından genel bir görünüm.
Figure 2. A general view from study area.

oluşur. Ara katkılı olarak kıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, tüfit seviyelerine rastlanır. Yamaç molozları, Kalebaşı Mahallesi yerleşim alanında ve çevresindeki yamaç eteklerinde gözlenmekte olup, bunlar yamaçların bulunduğu alandaki kayaç türlerine göre köşeli, yassı ve bazıları küt köşeli, blok, çakıl, kum, silt ve killerden oluşmuşlardır. Kum ve silt miktarı diğer elemanlara göre daha fazladır (Karadağ, 2013).

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ÇALIŞMALARI

Kalebaşı Mahallesi yerleşim alanı Çağlayan, Suçkan ve Dereagzı kuru derelerinin bölüdüğü üç ana sırt üzerinde bulunmaktadır. Bu üç sırt boyunca eğim aşağı doğru olacak şekilde çalışmanın amacına uygun 4 kesit hattı belirlenmiş (Şekil 3) ve bu hatlar boyunca yüzey ve yeraltı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hatlar üzerindeki uygun lokasyonlardan kepçeyle zeminin yaklaşık 30-40 cm'lik örselenmiş bitkisel toprak tabakası sıyrılarak çelik örnek alım tüpleri ile 4 adet örselenmemiş örnek alınmıştır (Şekil 4). Alınan örnekler üzerinde çalışmanın amacına uygun olacak şekilde laboratuvarında deneyler yapılarak zeminin jeoteknik özellikleri belirlenmiştir.

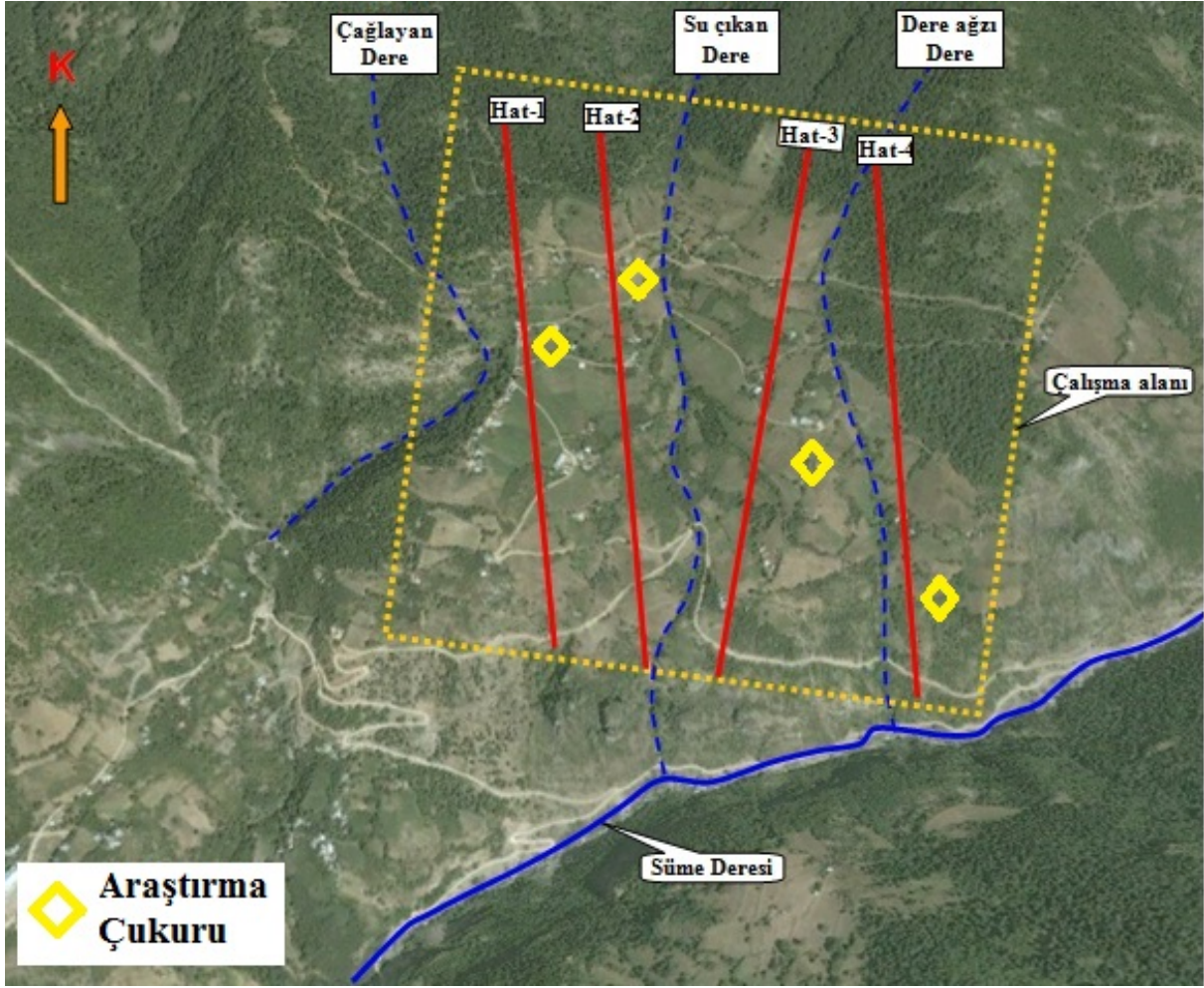
Jeoteknik Araştırma Sondajları

Kalebaşı Mahallesi yerleşim alanında yüzeylenen yamaç molozunun kalınlığındaki değişim aralıklarını net olarak tespit etmek ve yeraltı suyu seviyesini belirlemek amacı ile sondaj kuyularının açıl-

masına karar verilmiştir. Bu amaçla, toplam 14 adet olmak üzere 345 metrelik sondaj çalışması yapılmıştır (Çizelge 1). Bu sondajlardan TSK-1, TSK-2 ve TSK-3 ile gösterilenler, Süme Deresi'nde yapılan Fındık Regülatörü ve HES Projesi kapsamında Kalebaşı Mahallesi'nin altından geçen iletim tüneli için, araştırma amaçlı olarak yapılmıştır. SK ile gösterilen diğer 11 sondaj ise duraylılık etüdü amaçlı olarak bu çalışma için yapılmıştır. SK-1, SK-2 ve SK-3 araştırma sondajları Hat-1; SK-4, SK-5 ve SK-6 araştırma sondajları Hat-2; SK-7, SK-8, SK-9, TSK-1 ve TSK-3 araştırma sondajları Hat-3; SK-10, SK-11 ve TSK-2 araştırma sondajları ise Hat-4 üzerinde bulunmaktadır. Araştırma sondajlarından alınan örnekler incelenerek (Şekil 5) yamaç molozunun kalınlığının 1-36 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

Jeofizik Çalışmaları

Kalebaşı Mahallesi yerleşim alanındaki 4 etüd hattı boyunca sondaj kuyuları arasında yamaç molozunun kalınlığı ve değişim aralığını belirlemek için korelasyon yapmanın sağlıklı olmayacağı 5 lokasyonda (etüd hattı boyunca sondaj yapılmayan yerlerde) sismik kırılma yöntemi uygulanarak jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Hat 1'de (Sismik hat 1), Hat 2' de (Sismik hat 2), Hat 3'de (Sismik hat 3-5) ve Hat 4'de (Sismik hat 4) sismik kırılma yöntemi uygulanarak V_p ve V_s dalga hızları belirlenmiştir. Bu çalışmada sismik kırılma yönteminin uygulanmasının diğer bir amacı; elde edilen V_p ve V_s hızları kullanılarak yamaç molozunun jeoteknik parametrelerinin belirlenmesidir.



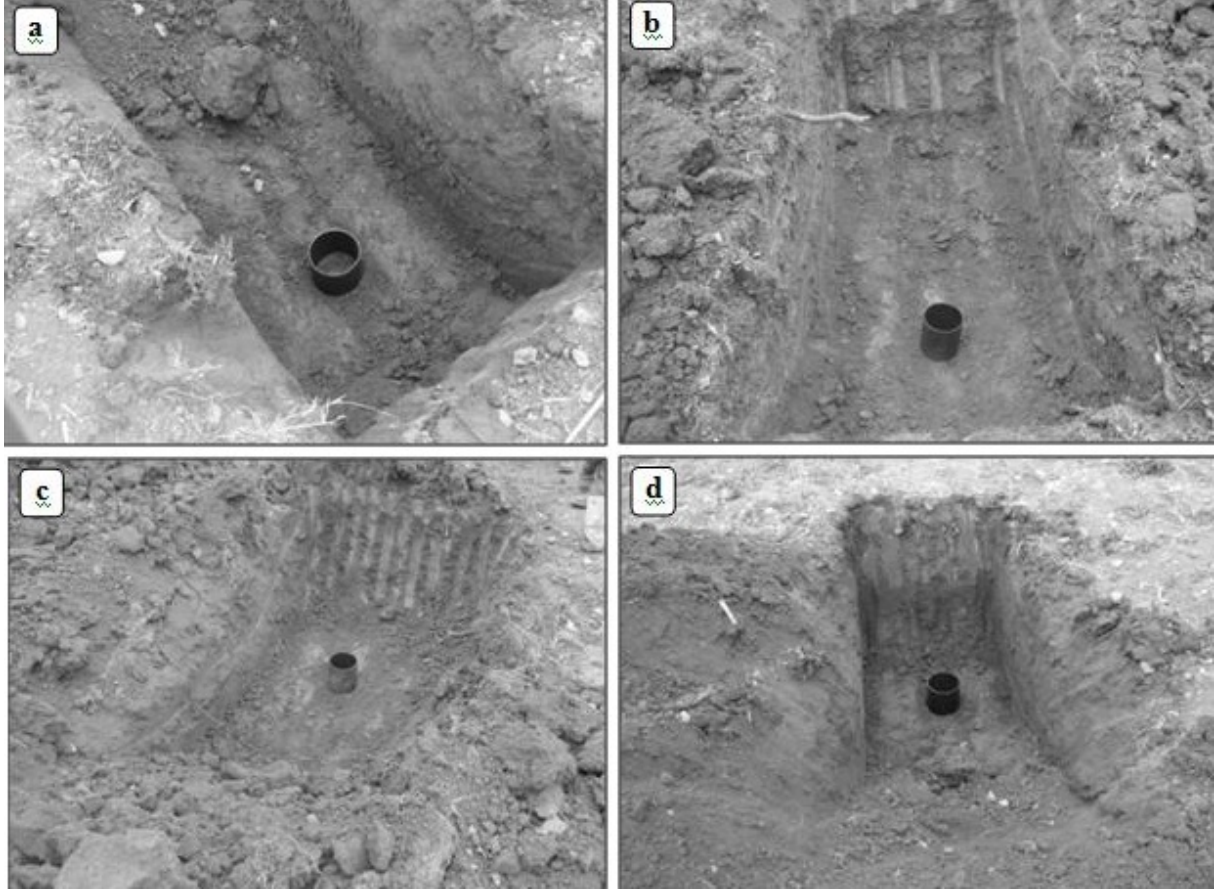
Şekil 3. Çalışma alanındaki etüd hatlarının ve araştırma çukurlarının konumlarını gösteren uydu fotoğrafı.
Figure 3. Satellite photo showing the locations of survey lines and trial pits at the study area.

Yapılan jeofizik etüdlere neticesinden her bir profildeki tabakalar için belirlenen V_p : Elastik dalganın boyuna yayılma hızı, V_s : Elastik dalganın enine yayılma hızı ve bu hız değişimlerinden yararlanarak hatlar boyunca yamaç molozu- anakaya geçişleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Sismik hatlardaki yamaç molozu kalınlıkları değerlendirildiğinde; Sismik Hat 1’de 16 m, Sismik Hat 2’de 22 m ve Sismik Hat 4’de 17 m olarak belirlenmiştir. Sismik Hat 3 ve 5’de ise orta derecede bozunmuş bazaltlar görülmektedir. Sismik kırılma yöntemiyle tabaka kalınlıkları belirlenen alan civarında açılmış sondaj kuyularından çıkan numuneler değerlendirildiğinde yaklaşık birbiriyle örtüştüğü belirlenmiştir.

Jeoteknik Amaçlı Laboratuvar Deneyleri

İnceleme alanındaki malzeme zemin olduğu için yamaç molozunun jeoteknik özellikleri zemin me-

kaniği ilkelerine göre belirlenmiştir. Arazi çalışmaları esnasında inceleme alanını temsil eden 4 Etüd hattından örnek alım tüpleri ile örselenmemiş örnek alınmıştır. Alınan örselenmemiş örnekler üzerinde Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kaya ve Zemin Mekaniği Laboratuvarı’nda deneyler yapılarak zeminin jeoteknik özellikleri tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, her bir etüd hattını temsil eden zemine ait indeks özellikler ASTM (1985) ve kıvam limitleri TS 1900-1 (2006) standardına göre belirlenmiştir (Çizelge 3). Örnekler USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi) sistemine göre adlandırılmış olup, örneklerin sırasıyla SC (Killi kum), SC (Killi kum), SM (Siltli kum) ve CL (Düşük plastisiteli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Etüd hatlarından alınan örneklerle ait kayma dayanımı parametreleri içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyonu (c) belirlemek amacıyla kesme kutusu deneyleri ASTM



Şekil 4. a. Hat-1, b. Hat-2, c. Hat-3 ve d. Hat-4' den tüplerle örselenmemiş örnek alımı.
Figure 4. The undisturbed sampling with tubes from a. line-1, b. Line-2, c. line-3 and d. the line-4.



Şekil 5. İnceleme alanında yapılan araştırma sondajı kuyusundan alınan numunelerin görünümü.
Figure 5. The view of samples taken from borehole in the field.

Çizelge 1. Çalışma alanında yapılan sondajlara ait UTM 6° lik koordinat değerleri, yamaç molozu kalınlığı ve yeraltı suyu derinliği.

Table 1. The UTM 6° coordinate values of boreholes, the thickness of debris and the depth of the groundwater in the study area.

Kuyu No	Kuyu Derinliği (m)	Kuyu kotu (m)	Yamaç Molozu Derinliği (m)	YASS Derinliği (m)	Y (sağa)	X (yukarı)
SK-1	12.00	1125	10.00	3.00	513609	4505453
SK-2	27.00	1105	20.00	4.00	513666	4505344
SK-3	15.00	1011	1.50	Yok	513662	4505061
SK-4	20.00	1192	1.00	15.00	513816	4505704
SK-5	28.00	1137	17.50	20.00	513828	4505467
SK-6	15.00	1031	10.00	0.00	513839	4505144
SK-7	30.00	1185	28.50	12.00	514026	4505622
SK-8	36.00	1139	24.00	Yok	514011	4505422
SK-9	30.00	1125	27.00	20.00	514038	4505248
SK-10	25.00	1196	12.00	11.00	514174	4505487
SK-11	30.00	1077	21.00	15.00	514265	4504979
TSK-1	51.15	983	00.00	15.00	513947	4504892
TSK-2	75.00	1075	31.00	40.00	514199	4505201
TSK-3	54.00	1110	36.00	18.00	514195	4505205

Çizelge 2. İnceleme alanındaki zeminlere ait V_p - V_s dalga hızları ve tabaka kalınlıkları.

Table 2. The V_p - V_s -wave velocities and layer thicknesses of soils in the study area.

Sismik Hat No	Tabaka	h (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)
1	1	12	519	250
	2	16	606	341
	3		1524	769
2	1	22	937	270
	2	25	1154	627
	3		2302	855
3	1	18	1535	455
	2	24	1856	613
	3		2029	935
4	1	10	212	102
	2	17	938	605
	3		1356	720
5	1	21	1090	373
	2	26	1649	719

Çizelge 3. Zemin örneklerine ait fiziksel özelliklerin istatistiksel değerlendirmesi, kıvam limitlerinin % dağılımı ve zemin sınıflaması.

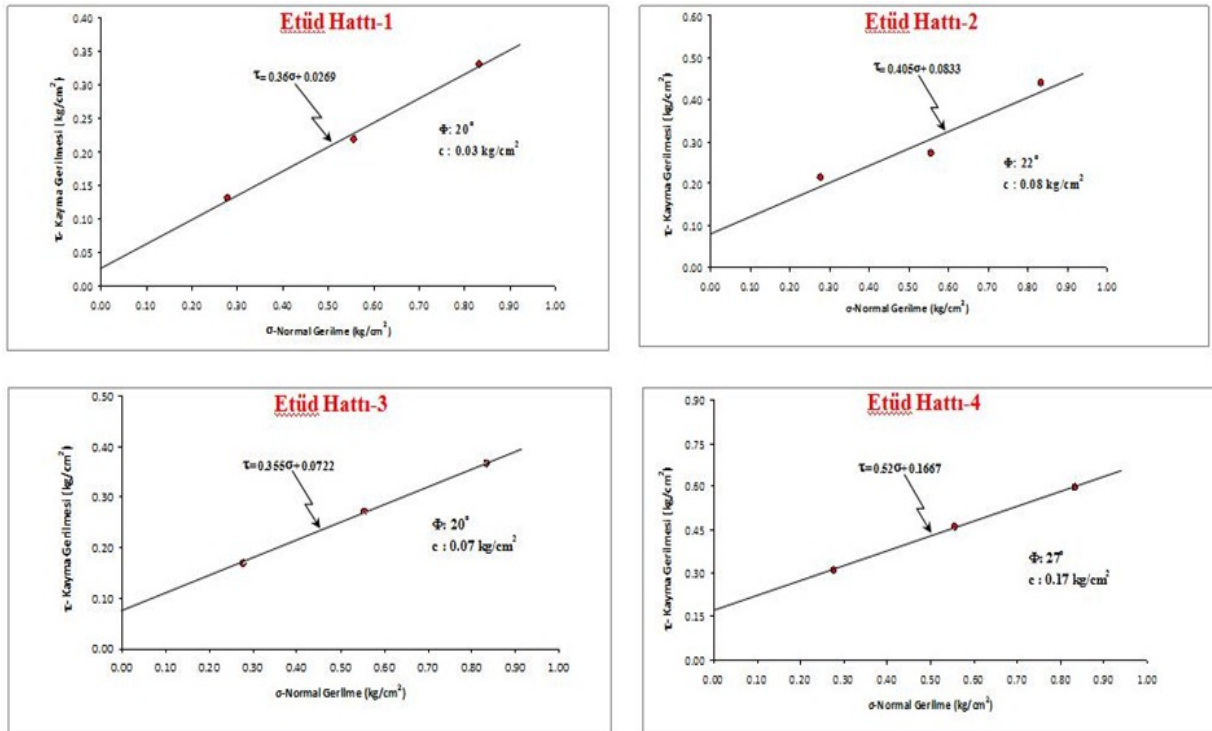
Table 3. Statistical evaluation of the physical properties of the soil samples, the percentage distribution of consistency limits and soil classification.

Etüd Hatları	n (%)	γ_k (kN/m ³)	γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Zemin Sınıfı
Hat-1	10.26-37.52 *(27.44)	16.57-20.01 *(17.75)	18.93-20.10 *(19.12)	19.91-20.99 *(20.40)	24	11	24	SC
Hat-2	23.45-40.21 *(33.80)	15.50-19.22 (17.16)	17.16-19.32 *(18.34)	19.42-21.58 *(20.50)	22	14	22	SC
Hat-3	34.61-47.09 *(38.84)	13.73-16.67 *(15.79)	16.87-18.73 *(18.04)	18.44-20.30 *(19.61)	47	37	10	SM
Hat-4	25.56-33.01 *(29.06)	16.08-17.55 *(17.26)	16.97-18.44 *(17.95)	29.13-20.79 *(20.20)	25	19	25	CL

* Ortalama

(1990) standardına göre yapılmıştır. Kesme kutusu deneyleri, zeminin doygun olduğu varsayılarak en kötü koşulla göre deneyler konsolidasyonlu-drenajsız (CU) olarak gerçekleştirilmiştir. CU deneyinde örnek 24 saat su içerisinde bekletilerek

konsolide olması sağlanmış ve suyun drenajına izin verilmeyerek örnek kesilmiştir. Elde edilen verilerden normal gerilme (σ) - kayma gerilmesi (τ) grafikleri çizilerek (Şekil 6) kohezyon (c) ve içsel sürtünme açıları (ϕ) belirlenmiştir.



Şekil 6. Zemin örneklerine ait kayma gerilmesi-normal gerilme grafikleri.

Figure 6. The graphics shear stress-normal stress of soil samples.

Yapılan deneyler sonucunda etüd hatlarından alınan örneklerle ait içsel sürtünme açısı değerlerinin sırasıyla 20, 22, 20 ve 27°, kohezyon değerlerinin ise 0.03, 0.08, 0.07 ve 0.17 kg/cm² olduğu belirlenmiştir.

LİMİT DENGE ANALİZİ (JANBU YÖNTEMİ)

Kalebaşı Mahallesi'ndeki Çağlayan, Suçikan ve Dereağzı kuru derelerinin böldüğü üç ana sırt üzerinde belirlenen 4 Etüd hattı boyunca yamaç duraylılık analizleri "Slide v5.0" (Rocscience, 2003) bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. "Slide" programı zemin şevleri için güvenlik katsayısının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Bu program ile farklı litolojik özellikler gösteren, farklı geometrilerdeki yüzeyler basit ve karmaşık olarak modellenebilmektedir. Ayrıca, programda analiz yaparken heterojen zemin tipleri, dinamik ve statik yüklerde değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, sahada yapılan araştırma sondajlarından elde edilen yamaç molozu kalınlık değerleri kullanılarak "Slide v5.0" programında etüd hatları boyunca yamaçlara ait jeolojik kesitler çizilmiştir. Daha sonra laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen doymun birim hacim ağırlık değeri ve kayma direnci parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) kullanılarak yamaç molozunun özellikleri tanımlanmıştır. Analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmış olup, kayma şekli olarak dairesel ve birleşik kayma türleri seçilmiştir. Yamaç molozunun uzunluğu kalınlığına göre daha büyük olduğu ve birleşik kayma riskinin de olabileceğinden dolayı limit denge analizlerinde Janbu Yöntemi kullanılmıştır (Janbu, 1973). Arazinin genelinde yapılan incelemeler sonucunda herhangi bir gerilme çatlağı oluşumuna ve heyelan aynası yapısına rastlanmamıştır. Analizlerde kullanılan parametreler Çizelge 4'de, analiz sonrası elde edilen kesitler ise Şekil 7-10'da verilmiştir.

Çizelge 4. Limit denge analizlerinde kullanılan parametreler.

Table 4. The parameters used in the limit equilibrium analysis.

Etüd Hatları	γ_d (kN/m ³)	ϕ (derece)	c (kN/m ²)	Yatay yer ivmesi (gal)
Hat-1	20.4	20	2.94	0.1
Hat-2	20.5	22	7.85	0.1
Hat-3	19.6	20	6.86	0.1
Hat-4	20.2	27	16.67	0.1

Etüd hatları boyunca yapılan analizler sonucunda güvenlik katsayıları (GK) sırasıyla 1.44, 1.80, 1.96 ve 1.72 olarak belirlenmiştir. Bulunan bu değerler etüd hatlarındaki yamaçlara ait en kötü koşullar için hesap edilen en düşük güvenlik katsayısı değerleri olup, limit denge durumu için kabul edilen GK= 1 değerinden büyüktür. Bu sonuçlar yamaçta herhangi bir duraylılık sorununun olmayacağını ve yamaçların dengede olduğunu göstermektedir.

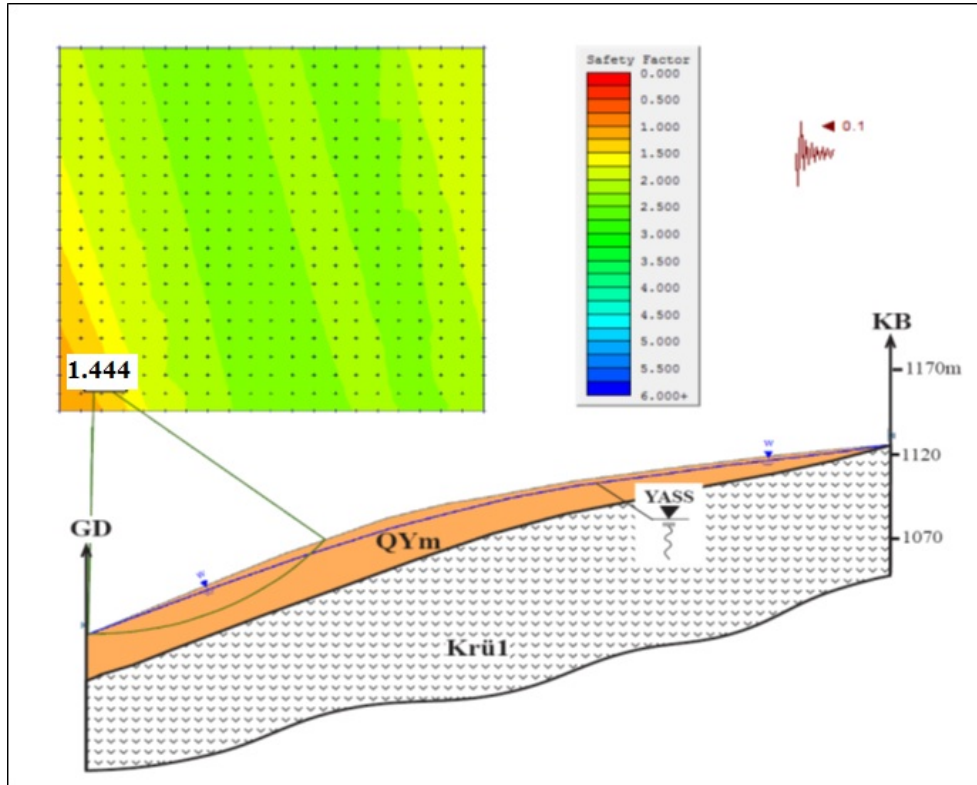
SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca Afete Maruz Bölge kapsamında değerlendirilen

Kalebaşı (Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi yerleşim alanındaki yamaçların duraylılığı Limit Denge Analizi (Janbu Yöntemi) ile değerlendirilmiştir.

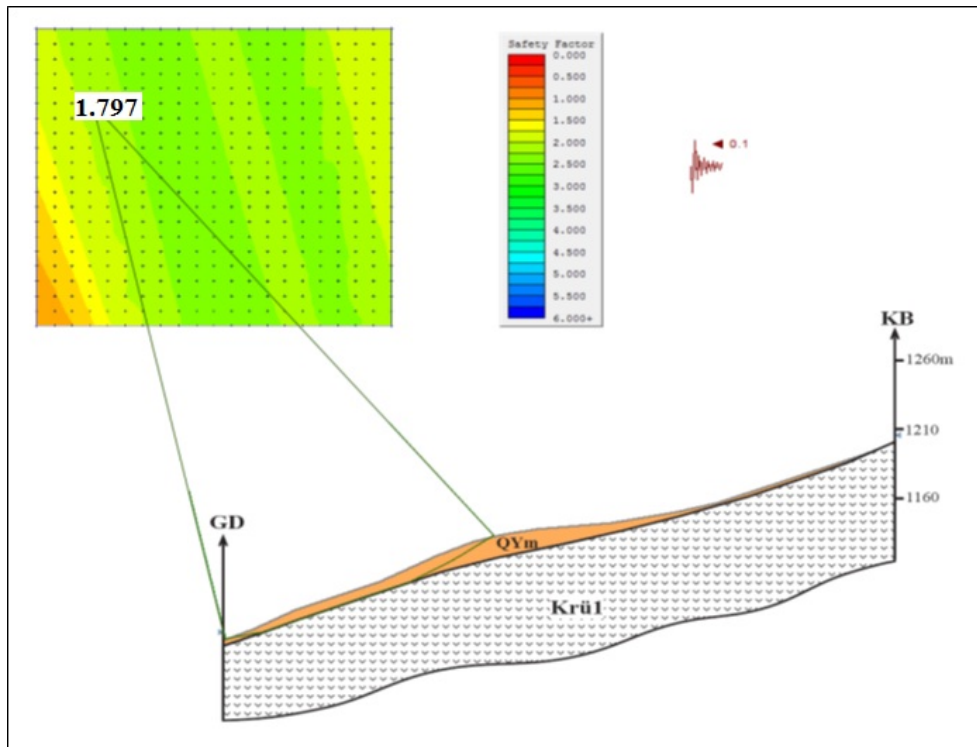
a. Yapılan arazi çalışmalarında inceleme alanında duraylılık problemi oluşturacak eğimli yamaçlar belirlenmiş olup, dört hat üzerinde gerekli sondaj ve sismik kırılma çalışmalarının karşılaştırılması sonucunda; ana kaya ve yamaç molozu sınırı net bir şekilde ortaya konmuş ve belirlenen her bir hat boyunca yamaç molozunun 1-36m arasında değiştiği görülmüştür.

b. Her bir hat güzergahından alınan örselenmiş numunelerde yamaç molozunun zemin sınıfı, killisilli kum ve düşük plastisiteli kil özelliklerinde ol-



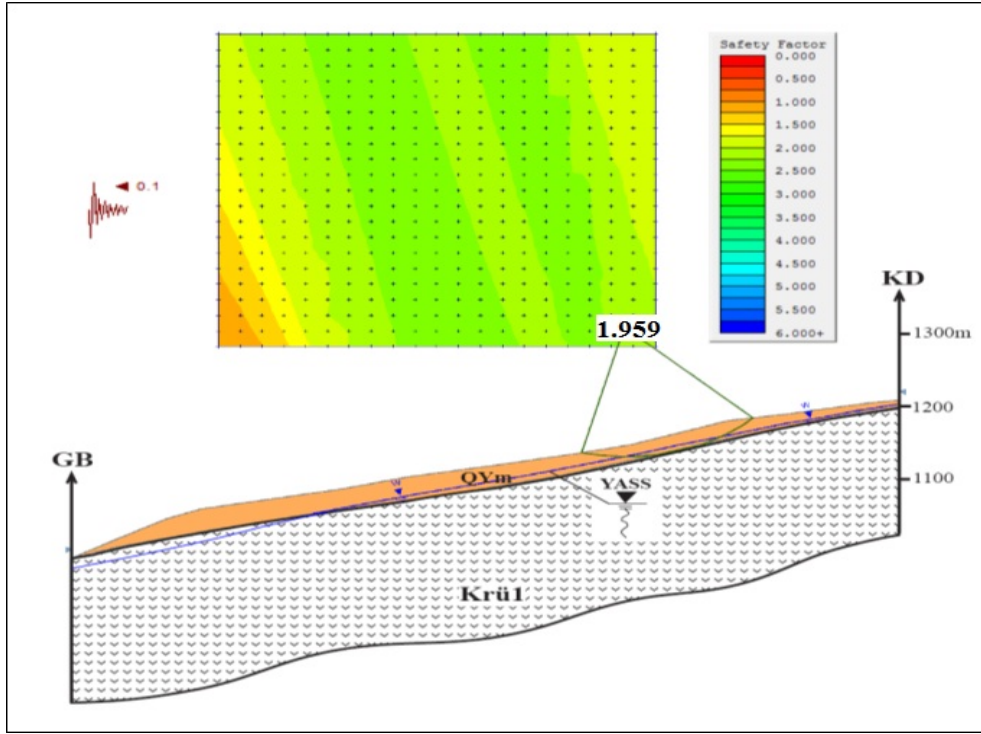
Şekil 7. Hat-1'de yapılan limit denge analiz kesiti.

Figure 7. The crosssection of the limit equilibrium analysis evaluated for Line-1.



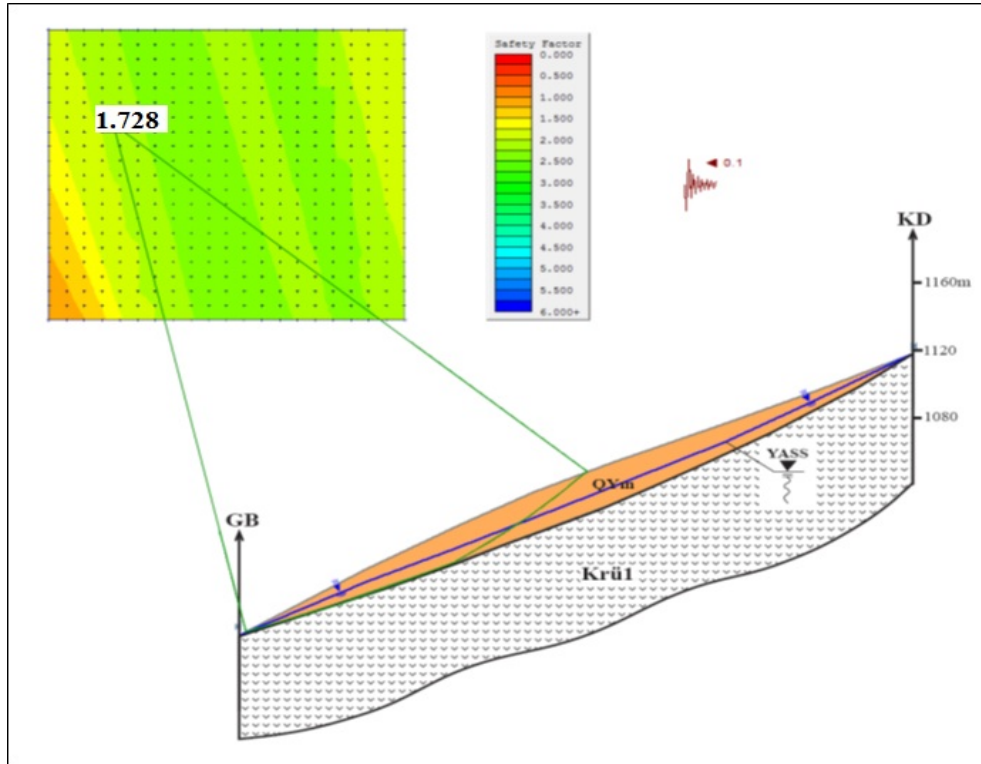
Şekil 8. Hat-2'de yapılan limit denge analiz kesiti.

Figure 8. The crosssection of limit equilibrium analysis evaluated for Line-2.



Şekil 9. Hat-3'de yapılan limit denge analiz kesiti.

Figure 9. The crosssection of the limit equilibrium analysis evaluated for Line-3.



Şekil 10. Hat-4'de yapılan limit denge analiz kesiti.

Figure 10. The crosssection of the limit equilibrium analysis evaluated for Line-4.

duğu belirlenmiş olup, bu zeminlere ait dayanım parametreleri için deformasyon kontrollü kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre yamaç molozunun doruk kohezyonu (c) 0.03 - 0.17 kg/cm², doruk sürtünme açısı (ϕ) ise 20-27° arasında değişmektedir.

c. Olası heyelan problemi beklenen alanlarda duraylılık analizi yapılırken; uygun yöntemin seçilmesi, zemin özellikleri, yeraltı suyu, inceleme alanının deprenselliğine bağlı etkin yer ivmesi ve yamaç geometrisi gibi faktörlerin tamamının birlikte değerlendirilmesi en gerçekçi sonuca ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada duraylılığın incelenmesinde limit denge analizlerinden Janbu yöntemi kullanılmış olup, bu yöntem kullanılırken; en kötü zemin koşulları değerlendirilmiş, yeraltı suyu ve deprem kuvvetleri de analizde dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda her bir hatta ait güvenlik katsayıları sırasıyla 1.44, 1.80, 1.96 ve 1.72 olduğu bulunmuştur.

d. Duraylılık analizleri sonucunda güvenlik katsayısı değerlerinin $GK > 1$ olduğu belirlenmiştir. Bu değerlendirmeye göre yamaçlarda herhangi bir duraysızlık sorununun oluşmayacağı ve çalışma alanının yerleşim alanı açısından herhangi bir olumsuzluk teşkil etmediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Alemdag, S., Akgün, A., Kaya, A., Gökceoglu, C. (2013). A large and rapid planar failure: causes, mechanism and consequences (Mordut, Gumushane, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, DOI 10.1007/s12517-012-0821-1.
- ASTM D422 (1985). Standart Method for Particle Size Analysis and Determination of Soil Contants. Annual Book of ASTM Standarts, Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 4, 8, 409-423, Philedelphia, USA.
- ASTM D854 (1985). Standart Method for Specific Gravity of Soils. Annual Book of ASTM Standards, Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 4, 8, Philedelphia, USA
- ASTM D3080-90 (1990). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Condition. ASTM, Philedelphia, USA
- ASTM D2487-98 (1998). Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purpose (Unified Soil Classification System). Annual Book of ASTM Standards,
- Bishop A.W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5, 7-17.
- Chung, C.F., Fabbri, A.G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 12, 1388-1399.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., Kaya, A. (2011). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 151-176.
- Deng, J.L., Tsutsumi, Y., Kameya, H., Koseki, J. (2010). A modified procedure to evaluate earthquake - induced displacement of slopes containing a weak layer. *Soils and Foundations* 50, 3, 413-420.
- Di Maio, C., Vassallo, R., Vallario, M., Pascale, S., Sdao, F. (2010). Structure and kinematics of a landslide in a complex clayey formation of the Italian southern Apennines. *Engineering Geology* 116, 311-322.
- Erkan, O. (2010). Kürtün Barajı (Kürtün-Gümüşhane) Göl Alanı Sol Yamacındaki Heyelanlı Alanın Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, , 44 s. (Yayınlanmamış)
- Ferrari, A., Ledesma, A., Gonzalez, D.A., Corominas, J. (2011). Effects of the foot evolution on the behaviour of slow-

- moving landslides. *Engineering Geology* 117, 217–228.
- Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250,000 Ölçekli Komplikasyonu. MTA, Ankara. (Yayınlanmamış)
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Çan, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslidesusceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, 65-83
- İskenderoğlu, A., Tarhan, F. (1991). Çayeli-Pazar (Rize) Arasındaki Sahil Yolu Şevlerinin Stabilité Açısından İncelenmesi. Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 294-309.
- Janbu, N. (1973). Slope stability computations, Embankment-Dam Engineering. In: Hirschfeld, R.C., Poulos, S.J, (Eds.), Casagrande Volume, JohnWiley & Sons, 47–86.
- Jeong, G.C., Kim, K.S., Choo, C.O., Kim, J.T., Kim, M.I. (2011). Characteristics of landslides induced by a debris flow at different geology with emphasis on clay mineralogy in South Korea. *Natural Hazards*, 59, 1, 347-365.
- Kahatadeniya, K.S., Nanakorn, P., Neaupane, K.M. (2009). Determination of the critical failure surface for slope stability analysis using ant-colony optimization. *Engineering Geology*, 108, 133–141.
- Karadağ, M. (2013). Kalebaşı (Süme-Özkürtün-Gümüşhane) Mahallesi Yerleşim Alanındaki Yamaçların Duraylılığının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 60s. (Yayınlanmamış)
- Karsli, O., Dokuz, A., Uysal, I., Aydın, F., Chen, B., Kandemir, R., Wijbrans, J.R. (2010). Relative contributions of crust and mantle to generation of Campanian high-K calc-alkaline I-type granitoids in a subduction setting, with special reference to the Harşit Pluton, Eastern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160, 467-487.
- Mendoza, F.J.C., Gisbert, A.F., Izquierdo, A.G., Bovea, M.D. (2009). Safety factor nomograms for homogeneous earth dams less than ten meters high. *Engineering Geology*, 105, 231–238.
- Morgenstern, N.R., Price, V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Geotechnique*, 15, 9–93.
- Nefeslioglu, 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 Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID: 901095.
- Önalp, A., Tarhan, F., Sevinç, N. (1987). Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı, TUBİTAK, MAG: 585, Ankara. (Yayınlanmamış)
- Özdoğan, Ş. (2010). Torul Barajı (Torul – Gümüşhane) Göl Alanı Sağ ve Sol Sahillerinin Duraylılığının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 152s. (Yayınlanmamış)
- Pelin, S. (1977). Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından incelenmesi. Doçentlik Tezi, KTÜ, Yayın No:87, Trabzon.
- Rocscience (2003). Slide v5.0 2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis. Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Sarma, S.K. (1973). Stability analysis of embankments and slopes. *Geotechnique* 23, 3, 423–433.
- Spencer, E. (1973). Thrust line criterion in embankment stability analysis. *Geotechnique*, 23, 1, 85–100.
- TS 1900-1 (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri. Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, 99 s.
- Tunusluoğlu, M.C., Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A. (2007). An artificial neural network application to produce debris source areas of Barla, Besparmak,

- and Kapi Mountains (NW Taurids, Turkey). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 557-570.
- Yılmaz, I., Ekemen T., Yıldırım, M., Keskin, İ. and Özdemir G. (2006). Failure and flow development of a collapse indexed complex landslide: The 2005 Kuzulu (Koyulhisar, Turkey) landslide hazard. *Environmental Geology*, 49, 3; 467-476.
- 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.
- Zheng, H. (2012). A three-dimensional rigorous method for stability analysis of landslides. *Engineering Geology*, 145–146, 30–40.

Selçuk ALEMDAĞ

Gümüşhane Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100 Gümüşhane

selcukalemdag@gmail.com

Estimation of strength and deformation characteristics of soils (Nitra, South Slovakia) by using Cone Penetration Test

*Zeminlerin (Nitra, Güney Slovakya) dayanım ve deformasyon
özelliklerinin Koni Penetrasyon Deneyi kullanılarak kestirimi*

Marian DRUSA

University of Žilina, Faculty of Civil Engineering, Žilina, Slovak Republic

ABSTRACT

From 60-s to 90-s in the last century, Begemann cone results were utilised by many researchers to establish relations between the CPT cone resistance and resistance ratio with the geotechnical parameters such as consistency, density, over-consolidation ratio, shear strength and deformation parameters. Implementation trends of new technology allowed to collection of increased amount of data from same sounding. For example measurements of the parameters such as pore pressure, pore pressure dissipation, seismic shear velocity by piezocone, and continuous moisture content is also now possible by using TDR cone technology. Additionally,, lots of empirical equations can be found in the literature; however they are not always applicable because we usually do not have calibration or comparison possibilities with other in situ/laboratory testing methods. In the present study, an engineering geological survey was carried out for a new high speed route R1 in Neogenous basin around Nitra (South of Slovakia) by implementing a large number of test data obtained from cone penetration tests, pressiometer tests, and laboratory investigations. As a result of the study, a new empirical equation to estimate deformation modulus by using cone penetration resistance was suggested for Neogenous clays having soft to hard consistency.

Keywords: CPT, deformation modulus, consistency, cone resistance, soil.

ÖZ

Son yüzyılın 60' lı yıllarından 90' lı yıllarına kadar, CPT koni direnci ve direnç oranı ile kıvamlılık, yoğunluk, aşırı konsolidasyon oranı, makaslama dayanımı ve defromasyon gibi jeoteknik parametreler arasındaki ilişkileri kurabilmek için Begemann konisi sonuçları bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Yeni teknolojilerin ortaya çıkarılması ile ilgili eğilim aynı sondadan artan miktarda verinin elde edilmesine olanak sağlamıştır. Örneğin; Piyozokonisi kullanılarak boşluk suyu basıncı ve dağılımı ve sismik makaslama hızı, TDR koni teknolojisinin kullanımı ile de sürekli su içeriği ölçümü mümkündür. Her ne kadar çok sayıda görgül eşitlikler olsa da, diğer deney yöntemleri ile mukayese veya kalibrasyonun mümkün olmadığı durumlarda görgül eşitlikler kullanılabilirliğini yitirmektedir. Bu makalede sunulan örnek çalışmada; Nitra (Güney Slovakya) yakınlarındaki Neojen havzasından geçecek olan yeni R1 otoyolu güzergâhı için gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi araştırmaları kapsamında gerçekleştirilen çok sayıda yerinde ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerden faydalanılmış ve koni penetrasyon direncinden deformasyon modüllerinin belirlenmesi amacıyla yumuşaktan sert kıvama kadar değişim gösteren Neojen killer için yeni korelasyonlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SPT, deformasyon modülü, kıvamlılık, koni direnci, zemin.

INTRODUCTION

In order to evaluate the engineering geology characteristics of the high-speed route R1 Nitra West - Selenec - Beladice - Tekovské Nemce, the geo-mechanical properties of fine-grain soils were investigated by implementing drilling and laboratory analyses in combination with in-situ indirect tests such as pressiometer tests in boreholes and CPT soundings. The area of interest of new route R1 locates in Danubian hilly region. According to regional classification of fine-grained sediments and morphological-morphometric characteristics, the territory is considered to be slightly broken down. The average annual rainfall in the region is about 600 - 700 mm while the average annual temperature in the study area is 9 °C. Additionally, the average annual number of summer and frost days is 54 and 90 per year, respectively. Snow cover in the region usually remains around 40 days. Fine-grained soils have low permeability and groundwater is predominantly fluctuated. Neogenous clays in the section of the new route R1 are mostly high plasticity CH (occasionally CV), intermediate plasticity CI, and sandy and gravelly clays CS and CG.

CONE PENETRATION TESTS

Direct exploration methods such as drilling and laboratory analyses and indirect investigation techniques such as penetration and load tests are highly useful in engineering geology and geotechnical applications. The dynamic penetration (DP) (*type hard; DPH 50 kg*) and pressiometer tests (*Menard Type*) are commonly applied in engineering geology investigation in Slovakia. Dynamic penetration tests are highly practicable considering the nature of the heterogeneous Quaternary sediments. Additionally, the cost of the apparatus, relatively simple structure, easy operation, low failure rate and low-quality operating engineer requirements constitute the other advantages of the technique. Since, the penetration resistance, pore pressure, deflection, and seismic shear wave velocity are measured directly, and recorded instantaneously; the cone penetration tests produce more reliable and

accurate results (Drusa et al., 2009). The device sends the data in wireless mode transmission from the tip to the data logger, and Time Domain Reflectometry (TDR) is used to measure moisture content through the depth of sounding (Drusa and Cheben, 2012).

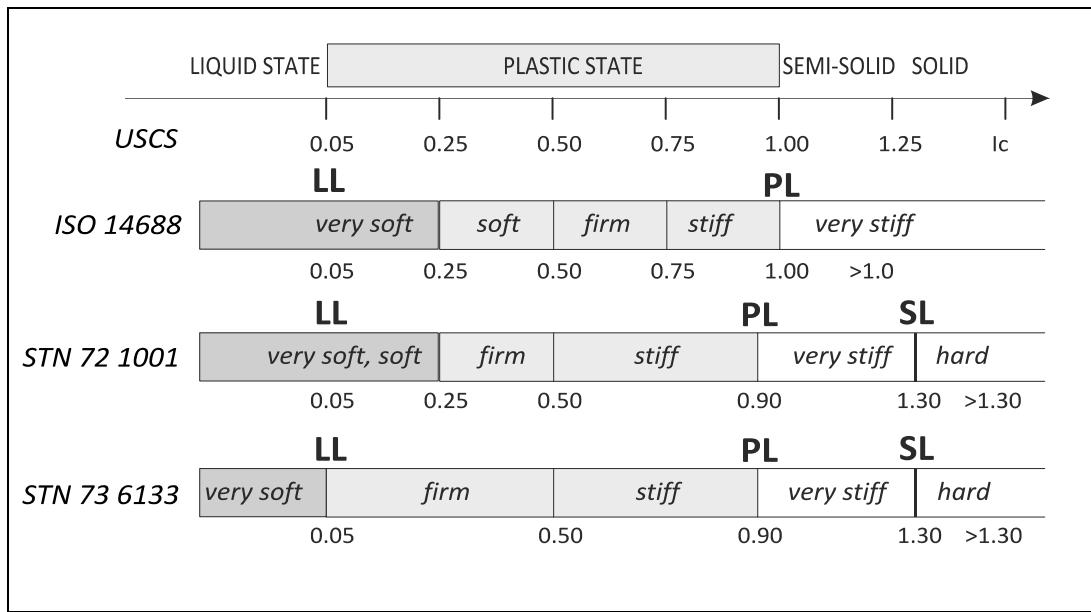
Total 1808 soil samplings which are mostly undisturbed were performed through the high-speed route R1 and soil mechanics laboratory tests were conducted by the consortium consisting of surveying companies and universities. Total 82 CPT and DP tests were carried out on the locations where the soil samples were taken. Additionally, pressiometer tests were also conducted at selected depths in the boreholes. The locations of the site investigations were specifically selected to be a location of high embankment and deep foundation where bridge piers and abutments were constructed. According to the results of the laboratory tests of the selected Neogenous soils, they were classified as sandy clay CS, clay of intermediate plasticity CI, clay of high plasticity CH, and clay of very high plasticity CV. The descriptive statistics of the laboratory test results of the Neogenous sediments are given in Table 1.

Some differences appeared between the standards and routine geotechnical practice applied in Slovakia after implementing the Eurocodes and ISO standards (Fig. 1). While the new classification established by Slovak Standard (STN 72 1001) has some small differences in definition of plastic limit PL of soil ($I_c = 0.9$), the shrinkage limit SL is defined by a unique value of $I_c = 1.3$. Others interval are similar to ISO 14688-2, however the firm and stiff consistency interval is also different. Big differences are established by other standard STN 73 6133, which is the basic standard for building up the soil structure in road construction (Decký and Drusa, 2009).

The deformation properties such as time dependent settlement, and resistance and settlement of piles are important knowledge for an engineer. Hence, in order to determine such type of deformation characteristics pressiometric tests at certain interval of depths have been provided.

Table 1. Descriptive statistics for the laboratory results (Fussganger, 2008).**Çizelge 1.** Laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçların tanımlayıcı istatistiği (Fussganger, 2008).

Parameter	w	γ	γ_s	n	S_{sat}	w_L	w_P	lc	σ_c	$w_{opt, PS}$	$\gamma_{d, PS}$
	[%]	[g.cm ⁻³]	[g.cm ⁻³]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[MPa]	[%]	[g.cm ⁻³]
Average	21.9	2.042	2.640	36.2	99.1	55.5	23.0	1.05	0.29	18.77	1.71
Max.	61.3	2.240	2.800	59.2	124.2	112.0	51.0	1.58	0.812	22.40	1.850
Min.	3.6	1.630	1.970	25.5	60.9	25.0	12.0	0.32	0.041	14.10	1.630
No. tests	858	554	577	493	493	540	540	540	79	15	15

**Figure 1.** Comparison of the consistency limits according to various standards.**Şekil 1.** Değişik standartlara göre kıvam sınırlarının mukayesesi.

Instability problems through boreholes in soft and squeezing soils are frequently observed during pulling up the testing apparatus of Menárd cell. The pressiometer tests were conducted according to actual implemented standards. The pressiometric modulus E_p (E_M) and derived deformation modulus E_{def} were introduced.

$$E_p = K \cdot (\Delta p : \Delta V) \quad (1)$$

where: K is the coefficient of used pressiometric probe depending on the diameter of the probe, it is determined according to equation (2),

Δp is corrected pressure difference at the end and beginning of pseudo-elastic phase from pressiometric curve;

ΔV is volumes change in time of pressiometric cell at following interval of Δp of pseudo-elastic phase.

$$K = 2(1 + \nu) \cdot (V_0 + V_m) \quad (2)$$

with: ν is Poisson's ratio of soil (from 0.30 to 0.43); V_0 is initial or at-rest volume of the measuring cell ($\varnothing 58$ mm has 535 cm³; $\varnothing 76$ mm has 790 cm³);

V_m is the mean volume of liquid in pressiometer cell; the mean value is calculated by using the volumes at the beginning and at the end pseudo-elastic phase of pressiometer curve. The value of oedometric modulus is estimated from the pressiometer modulus E_p (3):

$$E_{oed} = E_p / \alpha \quad (3)$$

where: α is the rheological coefficient and varies from $0.25 \div 1.0$ and depends on soil type and the ratio E_p/p_{lim} , while p_{lim} is the limit pressure (Mayne et al., 2001; Fussganger, 2008). Oedometric modulus E_{oed} is then used to determine deformation modulus from the conventional relation with the parameter β as the function of Poisson's ratio (Decký and Drusa2009):

$$E_{def} = E_{oed} \cdot \beta; \quad \beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}; \quad (4)$$

The testing results of the CPT and DP are more efficient for continuous estimation of deformation properties in soil profile. These indirect methods have many advantages; however they still depend on good correlation for estimation deformation properties from cone resistance. An example of probing result of static penetration test is shown in Figure 2, where a continuous graphical record of changes in tip penetration resistance and mantle skin friction through depth of probing are observed. The geological profile derived from the close boreholes and calculated geotechnical parameters are also provided (Drusa, 2009).

INTERPRETATION AND EVALUATION OF THE PARALLEL TESTS

Many researches and developments in correlation between penetration resistance and deformation properties of soils can be found in the literature. Several authors such as; Nguyen (2009), Marschalko et al. (2011) reported the correlations based on comparative measurements of parallel tests or the results of other laboratory or field trials. From geological point of view, knowledge about regional properties of fine soils is crucial at any place. This information may help to improve

future surveying (Yilmaz, 2000). In addition, CPT sounding is common for evaluation of liquefaction potential; especially in seismically active areas. The classification of soil type and determination of the potential risk are presented on the chart in Figure 3 (Robertson et al., 1996). In the graph, the vertical axis is the normalized penetration resistance q_{cN} , and the horizontal axis is the values of the friction ratio F_R . The ratio given in the Equation 5 is called as the Friction Ratio (F_R).

$$F_R = f_s / (q_c - \sigma_v) \quad (5)$$

where, q_c is the tip penetration resistance, f_s is the skin friction, and σ_v is the effective vertical stress.

In order to evaluate the deformation characteristics from CPT sounding, the equations 6 and 7 have been used by considering the standard STN 72 1033 (for CPT testing).

if $q_c < 5.0$ MPa

$$E_{def} = 2 \cdot q_c \quad (6)$$

if $q_c > 5.0$ MPa

$$E_{def} = 2.1 \cdot q_c + 12.8 \quad (7)$$

When the deformation modulus E_{def} was evaluated by using the equations 6 and 7, some small differences were obtained between the smaller values of penetration resistance and the values calculated from the results of the pressiometer tests. For higher values of $q_c > 5.0$ MPa, however, the differences have increased. This might be caused by the fact that some older machines for CPT sounding were used, that means the standard velocity of cone penetration had not been taken into consideration. It has already been suggested in EN ISO 22476-12 Disparities between deformation modulus derived from static penetration tests and the values estimated from pressiometer tests (especially for higher values of q_c) led us the idea to draw up a new correlation equation for fine soils. Total 54 pairs of values of the static penetration resistance and deformation module values obtained from different depths of boreholes were used to prepare the chart which is shown in Figure 4.

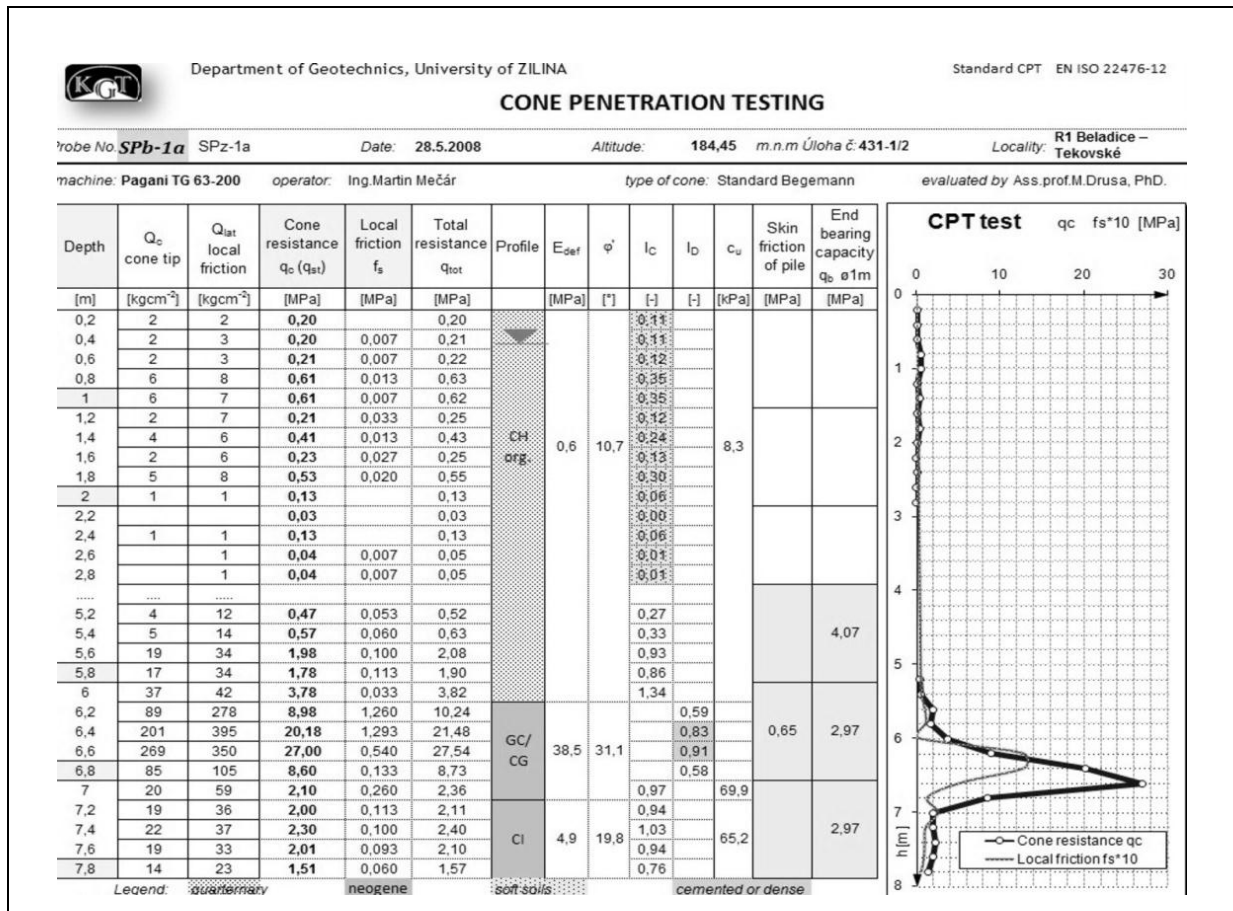


Figure 2. Sample CPT log and evaluation of the soils properties.
 Şekil 2. Örnek CPT logu ve zemin özelliklerinin değerlendirilmesi.

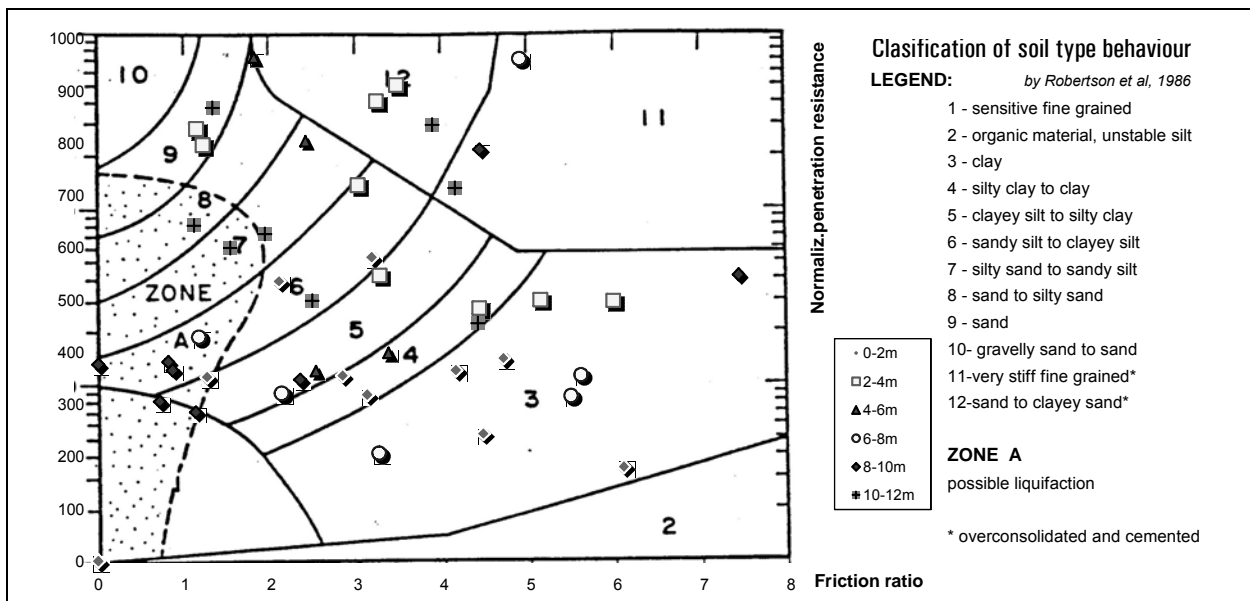


Figure 3. Soil classification obtained from CPT tests.
 Şekil 3. CPT deneylerinden elde edilen zemin sınıflaması.

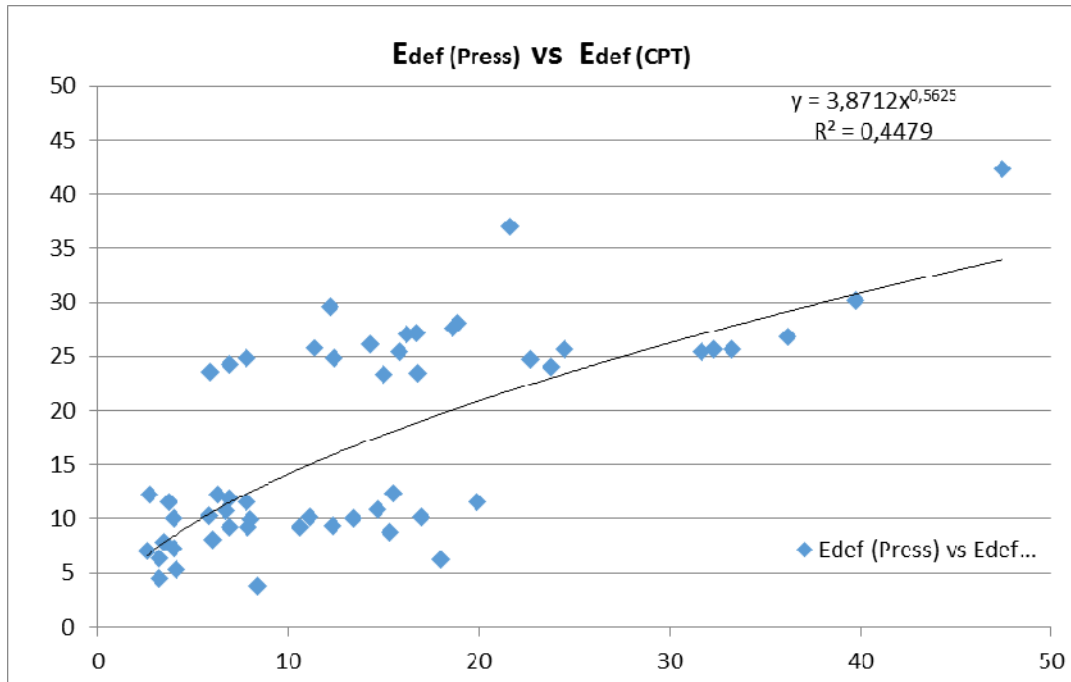


Figure 4. Correlation between cone penetration resistance q_c and deformation modulus (E_{def}) derived from parallel CPT and pressiometer tests.

Şekil 4. Koni penetrasyonu direnci ile parallel CPT ve presiometreden elde edilen deformasyon modülü (E_{def}) arasındaki korelasyon.

A number of functions between the values of q_c and E_{def} depicted in Fig. 5 were investigated. The best empirical equation of q_c and E_{def} is given in the linear equation given below (Eq. 8).

$$E_{def} = 3.4175q_c - 3.491 \quad (8)$$

It can be found polynomial equation, which fit better in highest values of q_c , when the formation of micro cracks decreases the values of deformation modulus, but this interval of clayey soil data is less frequent. The fine soil texture is hard to indicate smaller values of deformation modules. It is only possible if the consistency is stiff and soil has ultimate shrinkage. It is necessary to validate the Equation 8 whether it is correct, or not in different geologic environments.

THE USE OF STATIC PENETRATION TESTS FOR DESIGN OF PILE BEARING CAPACITY

Different types of in-situ testing on section of new route R1 close to Nitra were evaluated by considering recommended empirical equations for the calculation of deformation modules. CPT testing has another advantage in area of fine soil deposits. It could be efficiently utilized in pile foundation engineering. By measured cone resistance q_c and local skin friction f_s the bearing capacity of pile U_{vd} can be calculated by using the Van der Veen's formula, (see Fig. 2) (Drusa et al. 2009).

$$U_{vd} = A_p \cdot q_b + O_p \int_0^h f_s dz = A_p \cdot q_b + O_p \sum_i f_{si} \cdot h_i \quad (9)$$

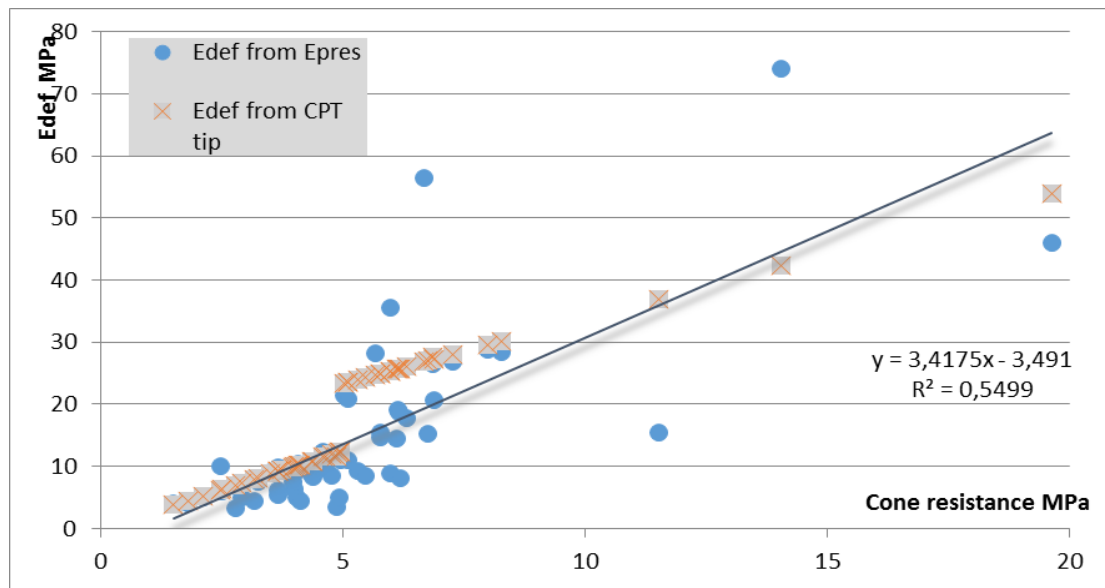


Figure 5. Comparison of the previous equation and newly derived correlation between cone penetration resistance (q_c) and deformation modulus (E_{def}).

Şekil 5. Koni penetrasyon drenci (q_c) ile deformasyon modülü (E_{def}) korelasyonundan elde edilen eski denklem ile yeni denklemin mukayesesi.

In Equation 9; q_b is the average resistance of pile bottom within interval $3d$ under and $1d$ below bottom, f_s is the skin friction is calculated when $q_c > 5.0$ MPa or can be derived by cone tip resistance, A_p is the area of cross section of piles of diameter d , and O_p is the perimeter of pile.

Let us note that this is not the only way of determining the design resistance of piles from the results of static penetration tests (Drusa, 2009). A new European standard recommending the establishment of design resistance from the results of static penetration tests was introduced in April 2010. This standard should also be taken into consideration.

CONCLUSIONS

Different types of in-situ testing on section of new route R1 close to Nitra were evaluated by considering recommended empirical equations for the calculation of deformation modules. CPT testing has another advantage in area of fine soil deposits. It could be efficiently utilized in pile

foundation engineering. For future studies, it will be also compared with the results of laboratory tests of soil samples by considering its classification according to the chart of Robertson et al. (1990).

REFERENCES

- Decký, M., Drusa, M. (2009). Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií inžinierskych stavieb (Design and controlling of earth structures). BTO Print Žilina 2009, ISBN – 978-80-970139-1-2.
- Drusa, (2009). Research project VEGA No. 1/4215/07 Evaluation of penetrating methods for determining the deformation properties of subsoil of transport constructions and their verification in geotechnical practice.
- Drusa, M., Cheben, V., Mear, M., Fussganger, E. (2009). Evaluation of properties of neogenous fine soils by CPT testing. Proceedings of XVIII Russian-Polish-

- Slovak seminar „Theoretical Foundation of Civil Engineering“, Arkhangelsk, Russia 01 - 05 July 2009.
- Drusa, M., Chebeň, V. (2012). Implementation of TDR Technology for Monitoring of Negative Factors Of Slope Deformations, Proceedings of SGEM 2012 Vol II. ISSN 1314-2704, 143-150.
- Fussganger, E. (2008). Engineering-geological survey for high speed route R1 Selenec - Beladice, Final Report 430-1/2007, Geofos Ltd.
- Marschalko, M., Yilmaz, I., Kristkova, V., Matej, F., Bednarik, M., Kubecka, K. (2011). Determination of actual limit angles to the surface and their comparison with the empirical values in the Upper Silesian Basin (Czech Republic). Engineering Geology. 124, 130-138.
- Mayne, P.W., Christopher, B.R., Delong, J. (2001). Manual of Subsurface Investigations, National Highway Institute, FHWA NHI-01-031, Washington DC.
- Nguyen, G. (2009). Differences in determination of soil bearing capacity between Slovak Technical Standard STN 73 1001 and Eurocode 7. 11th Conference on Science and Technology. Vietnam National University – Ho Chi Minh City Publishing House, Socialist Republic of Vietnam, 1296-1303.
- Robertson, P.K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27, 1, 151-158.
- Yilmaz, I. (2000). Evaluation of shear strength of clayey soils by using their liquidity index. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59, 3, 227-229.

Marian DRUSA

University of Žilina, Faculty of Civil Engineering
Žilina, Slovak Republic

marian.drusa@fstav.uniza.sk

Menderes Masifi tektonik yapılarının (Batı Anadolu, Türkiye) Bouguer Gravite analizi kullanılarak incelenmesi

*Investigation of the tectonic structures of Menderes Massive (Western
Anatolia, Turkey) by means of Bouguer Gravity analysis*

Tuğçe AKAY, Funda BİLİM, Sinan KOŞAROĞLU

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 05480
SİVAS

Öz

Menderes Masifi'nin Bouguer gravite anomali değerleri masifte yer alan grabenlerle genelde uyumlu olup negatif değerler içermektedir (≤ -30 mGal). Gravite anomali verilerine uygulanan güç spektrumu yöntemi ile çalışma alanında MOHO derinliği 34.5 km, alt ve üst kabuk arasındaki Conrad süreksizliği 13.1 km ve sediman kalınlığı ise 4.3 km olarak hesaplanmıştır. Gravite anomalilerin yatay gradientinin maksimum genlik haritasından tektonik çizgisellikler saptanmıştır. Çalışma alanı için oluşturulan üç boyutlu (3B) gravite modelinden Büyük Menderes Grabeni'nde (BMG) derin kökenli yapıların derinliğinin 6-10 km arasında değiştiği, Gediz-Alaşehir Grabeni'nde (GAG) ise derinliğin 9 km'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir.

Keywords: Bouguer gravite anomalisi, Güç Spektrumu, Yatay gradient, Conrad süreksizliği, 3B'lu gravite modeli.

ABSTRACT

Bouguer anomaly values of Menderes Massif are generally correlated with the grabens located at the massif and contain negative values (≤ -30 mGal). Moho depth, Conrad discontinuity between lower and upper crust, and sediment thickness are estimated as 34.5 km, 13.1 km and 4.3 km, respectively. Tectonic lineaments are determined from the maximum amplitude map of horizontal gradient of gravity anomalies. From three-dimensional (3D) gravity modeling for study region, it is determined that the deepest structural depths range between 6 and 10 km in Büyük Menderes Graben (BMG), and the deepest structure is up to 9 km in Gediz-Alaşehir Graben (GAG).

Anahtar Kelimeler: Bouguer gravity anomaly, Power Spectrum, Horizontal gradient, Conrad discontinuity, 3D gravity modeling.

GİRİŞ

Menderes Masifi (MM) Batı Türkiye'nin orta kısmında yer almaktadır. Masifin KB kenarı İzmir-Ankara Kenet Zonu, güneyi ise Likya Napları ile sınırlanmıştır (Şekil 1). MM'nin gravite anomalisi bölgede yer alan ve MM'ini asmasiflere ayıran grabenler ve grabenleri sınırlayan normal fayları yansıtmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3). Gravite değerleri -30 mGal'e kadar düşmekte olup üst kabuktaki düşük yoğunluklu birimleri yansıtmaktadır. Gravite anomalilerine neden olan yapıların ortalama üst yüzey derinliklerini belirlemek için en çok kullanılan yöntem güç spektrumu yöntemidir (örneğin: Spector and Grant, 1970; Maus ve Dimri, 1995; Bilim 2007; Tadjou vd., 2009; Bilim ve Demir 2010). Güç spektrumu yönteminden ortalama kabuk kalınlığı ve/veya Conrad süreksizliği saptanabilir. Birçok araştırmacı tarafından ortalama kabuk kalınlığı saptanmasında ayrıca $H=29.98-0.078 \Delta g$ (Riad vd., 1981) bağıntısı da kullanılmaktadır (örneğin: Bilim, 2007; Ates vd., 2012). Günümüzde MM'ini kapsayan jeolojik/tektonik çalışmalar olmasına rağmen gravite ve/veya manyetik yöntemi kullanan jeofizik çalışmalar yeterli olmayıp, çalışmalar genelde masif içerisinde yer alan Büyük Menderes Grabeni (BMG) ve Gediz-Alaşehir Grabeni (GAG) üzerinde yapılmıştır. Sarı ve Şalk (2006) BMG ve GAG'nin gravite anomalisi verilerini incelemiş ve gravite anomalisi haritasından aldıkları 2B'li profillerin modellenmesinden BMG'de sediman kalınlığının 2.5-3.5 km arasında, GAG'de ise sediman kalınlığının 0.5-2 km arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Işık ve Şenel (2009) ise gravite verisi kullanılarak BMG'deki sedimanter havzanın üç boyutlu (3B) modelini oluşturmuşlardır. Sedimanter havzanın derinliğini 3.9 km olarak önermişlerdir. Çifçi vd. (2011) BMG'de yaptıkları gravite çalışmalarında sığ yapıların 2-3 km, onun altındaki yapıların 5-7 km ve en derin yapıların ise 10-17 km arasında değiştiğini önermişlerdir.

Bu çalışmada, MM'nin Bouguer gravite anomalisi verileri incelenmiştir. Gravite verilerine uygulanan güç spektrumu yöntemi ile kabuk/manto süreksizlik derinliği ve üst ve alt kabuk derinliği belirlenmiştir. Bölgede ortalama kabuk kalınlığı aynı zamanda Riad vd. (1981) yöntemi ile de hesaplanmıştır.

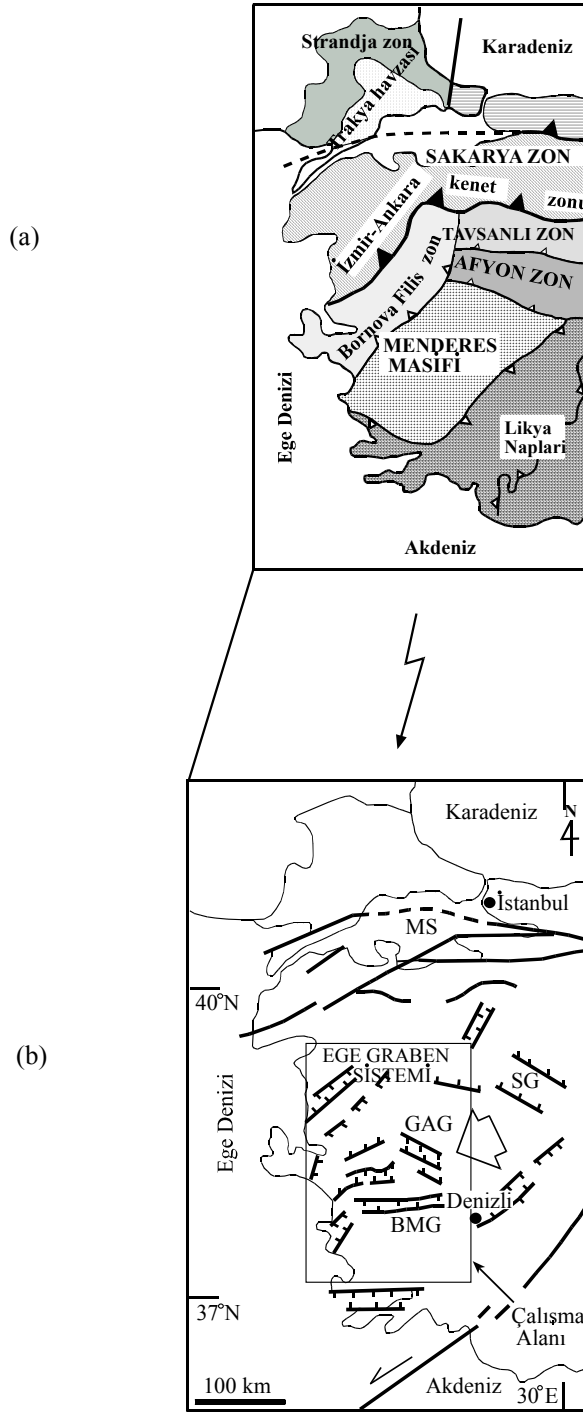
Gravite anomalisi verilerinden elde edilen maksimum yatay türev genlik haritasından çalışma alanındaki süreksizlikler belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Oluşturulan 3B'li model ile Menderes Masifi içerisindeki havza taban geometrisi belirlenmiştir.

BÖLGESEL TEKTONİK VE JEOLJİ

Arap ve Avrasya levhalarının güney doğu Anadolu'da çarpışmaları sonucunda Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay zonları meydana gelmiş ve Anadolu levhası batıya doğru saatin tersi yönünde hareket etmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981). Anadolu levhasının hareketinin miktarı 30-40 mm/yıl (Le Pichon vd., 1995). Anadolu levhasının batıya doğru hareketi ve Afrika levhasının kuzeye doğru Ege-Kıbrıs dalma-batma zonu (subduction zone) boyunca Güney Anadolu levhasının altına dalması Batı Anadolu'nun K-G yönlü genişlemeli tektoniğini oluşturmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

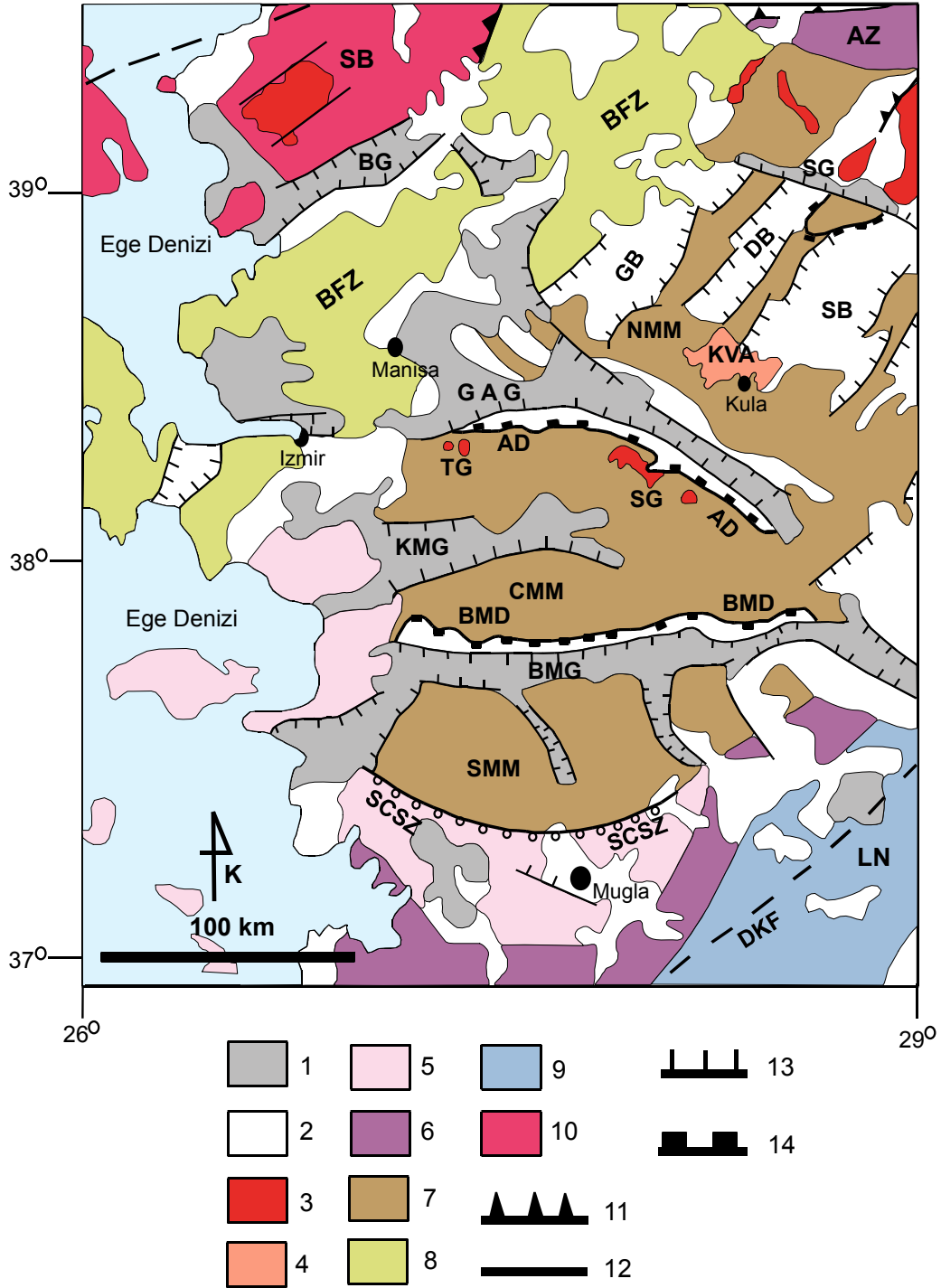
Erken Miyosen'de başlayan ve günümüzde de süren genişleme tektoniği sonucunda Menderes Masifi'nde yüksek açılı normal faylanmalar ve sıyrılma faylarının oluşumu başlamıştır (Seyitoğlu ve Scott, 1991). Bölgedeki faylar; Alaşehir Sıyrılma (detachment) fayı, Büyük Menderes Sıyrılma fayı, Datça-Kale fayıdır (Şekil 2). Yüksek açılı normal faylar, sıyrılma fayları bölgedeki KG ve BKB-DGD doğrultulu havzaları denetler ve/veya keser durumdadır (Seyitoğlu ve Scott, 1991).

Genişleme tektoniği sonunda MM'inde meydana gelen grabenler ve havzaları MM'ni Kuzey (NMM), Orta (CMM) ve Güney (SMM) olmak üzere üçe ayırmıştır (Şekil 2). NMM, CMM'den Gediz-Alaşehir Grabeni (GAG) ile CMM ise SMM'den Büyük Menderes Grabeni ile ayrılır (Şekil 2). Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeolojik haritası incelendiğinde graben alanlarında yüzeyde mostra vermiş alüvyon ve Neojen volkano-sedimanter birimler geniş bir alanda görülmektedir. MM'nin metamorfik birimleri ise çalışma alanının ortasında dikkat çekmektedir. Çalışma alanının K-KD'sunda yüzeyde çok az lokasyonda mostra vermiş granit intrüzyonları bulunmaktadır. MM'nin kuzeyinde KB uzanımlı Bornova Filiş zonu ve güney doğu-sunda ise MM'nin üzerine tektonik olarak üzerlemiş Likya Napları yüzeyde mostra vermektedir (Şekil 2).



Şekil 1. A. Batı Anadolu'da yer alan temel tektonik zonlar (Okay vd., 1996 'dan düzenlenmiştir); **b.** Çalışma alanının yer bulduru haritası. Dikdörtgen kutu çalışma alanını göstermektedir (Gürsoy vd., 1998'den düzenlenmiştir). GAG: Gediz-Alaşehir Grabeni; BMG: Büyük Menderes Grabeni; SG: Simav Grabeni; MS: Marmara Denizi.

Figure 1. a. Main tectonic zones located at western Anatolia (modified from Okay et al., 1996); **b.** The location map of the study area. The box shows the study area (modified from Gürsoy et al., 1998). GAG: Gediz-Alaşehir Graben; BMG: Büyük Menderes Graben; SG: Simav Graben; MS: Marmara Sea.



Şekil 2. Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Oner ve Dilek 2011 ve 2013'den düzenlenmiştir).
Figure 2. Simplified geological map of the study area (modified from Oner and Dilek 2011, 2013).

Şekil 2 için Açıklamalar:

SB:Sakarya Blok; AZ:Afyon Zonu; LN:Likya Napları; SMM: Güney Menderes Masif; CMM:Orta Menderes Masif; NMM:Kuzey Menderes Masif; BFZ: Bornova Filiş Zonu; DKF:Datça-Kale Fayı; SCSZ:Güney Çine Kesme Zonu; AD:Alaşehir Sıyırılması; BMD:Büyük Menderes Sıyırılması; BMG:Büyük Menderes Grabeni; KMG:Küçük Menderes Grabeni; GAG:Gediz-Alaşehir Grabeni; BG:Bakırçay Grabeni; SG:Simav Grabeni; GB: Gördes Havzası; DB:Demirci Havzası; SB:Selendi Havzası; TG: Turgutlu Granitoidi; KVA: Kula Volkanik Alanı; 1: Alüvyon; 2: Neojen volkano-sedimanter kayalar; 3:Granit intrüzyonları (Eosen-Miyosen); 4:Kula volkanik alanının alkali bazalt akıntısı (üst Miyosen-Kuvaterner); 5:Cycladic Kompleksi (şist, mermer, eklojit); 6:Afyon Zonu metasedimanter ve Pan-Afrikan temel kayaları; 7:Menderes Çekirdek Komplexinin yüksek derecede metamorfik birimleri (Prekambriyen-Senozoik); 8:Bornova Filiş ve ofiyolitik melanj (Paleozoik-Paleosen); 9: Likya Napları ve Tetis ofiyolitleri (üst Kretesa-Eosen); 10: Karakaya Kompleksi (Permo-Triyas) ve kireçtaşları (Jura-üst Kretesa); 11: Konverjen sınır ve büyük faylar; 12: Kıtasal küçük doğrultu atımlı (strike-slip) faylar; 13: Kıtasal normal faylar; 14: Sıyırılma fayları.

Explanations for Figure 2:

SB: Sakarya Block; AZ: Afyon Zone; LN: Lycian Nappes; SMM: Southern Menderes Massif; CMM: Central Menderes Massif; NMM: Northern Menderes Massif, BFZ: Bornova Flysch Zone; DKF: Datça-Kale Fault; SCSZ: South Çine Shear Zone; AD: Alaşehir Detachment; BMG: Büyük Menderes Detachment; BMG: Büyük Menderes Graben; KMG: Küçük Menderes Graben; GAG: Gediz-Alaşehir Graben; BG: Bakırçay Graben; SG: Simav Graben; GB: Gördes Basin; DB: Demirci Basin; SB: Selendi Basin; TG: Turgutlu Granitoid; KVA: Kula Volcanic Area; 1:Alluvium; 2: Noegene volcanic-sedimentary rocks; 3: Granitoid intrusions (Eocene-Miocene); 4: Alkali basalt flows of Kula volcanic field (Upper Miocene-Quaternary); 5: Cycladic Complex (schist, marble, eclogite); 6: Afyon zone meta sedimentary and Pan-African basement rocks; 7: High-grade metamorphic units of the Menderes Core Complex (Precambrian-Cenozoic); 8: Bornova Flysch and ophiolitic melange (Paleozoic-Paleocene); 9: Lycian Nappes and Tethyan ophiolites (Upper Cretaceous-Eocene); 10: Karakaya Complex (Permo-Triassic) and limestone (Jurassic-Upper Cretaceous); 11: Convergent boundary and major faults; 12: Continental small strike-slip fault; 13: Continental normal faults; 14: Detachment faults.

MM'nin Pan-Afrikan temeli kısmi migmatitleşmiş paragnays ve yüksek dereceli mika şistlerden oluşan Proterozoyik yaşlı metasedimentler, bunlar içine sokulum yapmış sin-/post-tektonik Pan-Afrikan ortognayslar, metagranitler ve eklojitik metagabrolardan oluşur (Dora ve diğ., 2001). MM'nin örtü serisi ise sadece Alpin tektonometamorfik gelişimden etkilenmiş Paleozoik/Mesozoik birimlerden oluşur (Hetzl vd., 1998).

GRAVİTE VERİSİNİN ANALİZİ

Çalışma alanının gravite anomalisi Ateş vd., (1999)'dan alınmıştır. Bouguer düzeltmesinde yoğunluk 2.4 gr/cm^3 kullanılmıştır. Gravite değerleri, Uluslar arası Jeodezi ve Jeofizik Birliği'nin 1971'de kabul ettiği Potsdam 981.260.00 mGal kesin gravite değeri ile bağlantılı olan MTA ve Harita Genel Komutanlığı baz istasyonlarına bağ-

lanmıştır (Ateş vd., 1999). Tüm düzeltmeler MTA tarafından yapılmıştır. Çalışma alanının Bouguer gravite anomali haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Menderes Masifi'nde gravite anomalilerine neden olan kaynakların ortalama arayüzey derinliklerini belirlemek amacıyla Spector ve Grant'ın (1970) güç spektrumu yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem frekans ortamında anomalinin spektrumu ile kaynağın üst yüzey derinliği arasında bir ilişki sunmaktadır. Kabuk içindeki değişik yoğunluklara sahip ara yüzeylerin derinliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Ateş ve Kearey, 2000; Bilim ve Demir, 2010; Maden ve Dondurur, 2012). N veri noktası içeren bir gravite verisinin spektral analizi, gravite verisinin 2-Boyutlu (2B) hızlı Fourier dönüşümünü içerir. Böylece veri uzay ortamından frekans ortamına aktarılır. Gravite verisi $b(x)$ 'in Fourier dönüşümü Eşitlik 1' deki gibidir.

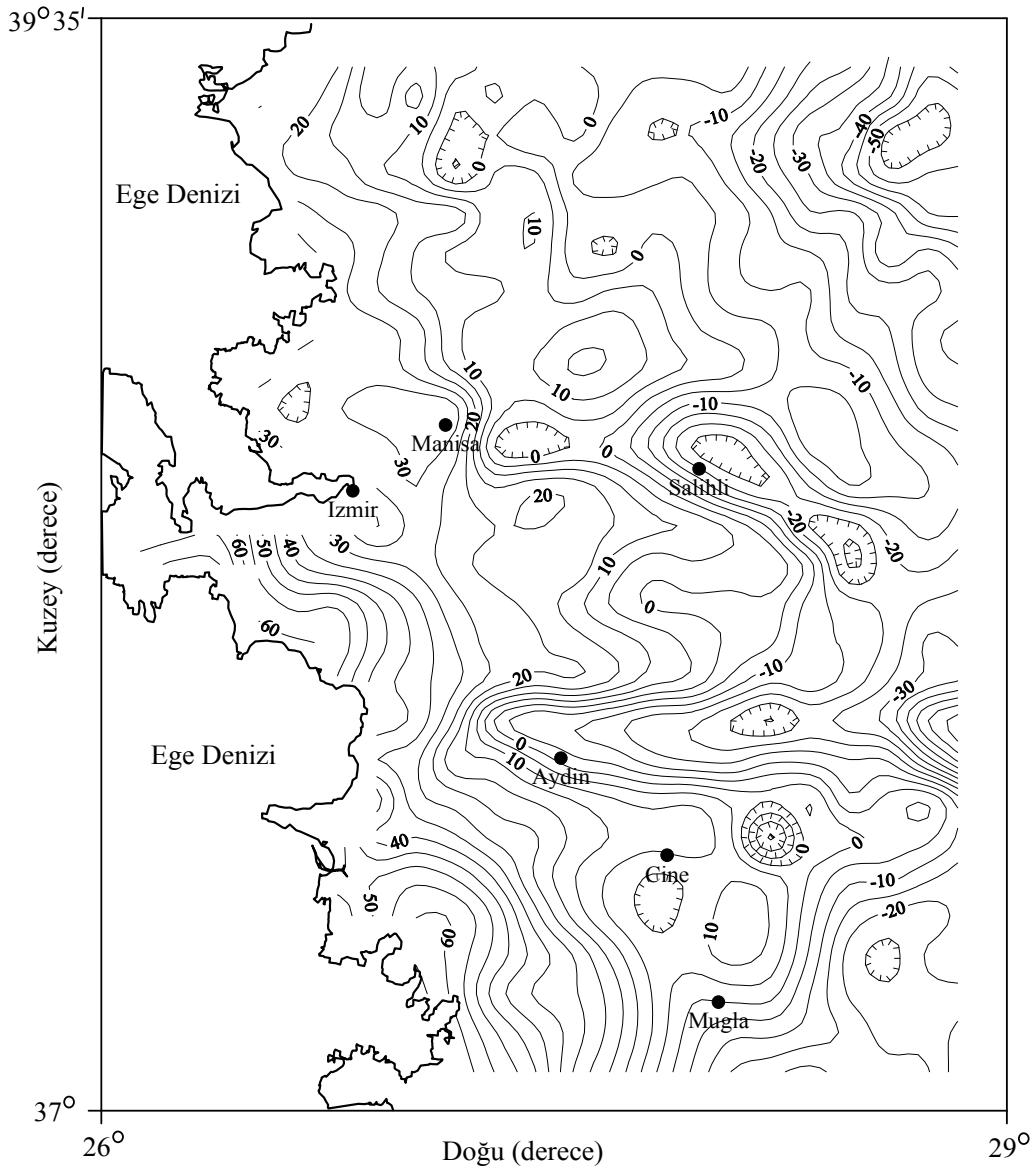
$$B(w) = \sum_0^{N-1} b(x) \exp(-iwx) \Delta x \quad (1)$$

Burada; w = açısal frekans ($w=2\pi k$); k =dalga sayısı ($k=\lambda^{-1}$); Δx = x -yönündeki örnekleme aralığıdır. Eşitlik 1 Bouguer düzeltmesinden sonra Karner ve Watts (1983) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$B(k)_{z=0} = 2\pi\Delta\rho G \exp(-2\pi kt) F(k)_{z=0} \quad (2)$$

Burada $B(k)_{z=0}$, $z=t$ ortalama derinlikteki gelişigüzel yoğunluk kontrastından kaynaklanan ara yüzeyin sebep olduğu gravite anomali profili $b(x)_{z=0}$ 'nin Fourier dönüşümünü; $\Delta\rho$ yoğunluk farkını; $F(k)$ ise $f(x)$ 'in (ortalama derinlik z 'den ara yüzeye olan sapma) Fourier dönüşümünü göstermektedir. Eşitlik 2'deki $B(k)$ 'nin güç spektrumu aşağıdaki şekilde verilir.

$$P = |B(k)_{z=0}|^2 = (2\pi\Delta\rho G)^2 |F(k)|^2 \exp(-4\pi kt)$$



Şekil 3. Çalışma alanının Bouguer gravite anomali haritası. Kontur aralığı 5 mGal'dir.
Figure 3. Bouguer gravity anomaly map of the study region. The contour interval is 5 mGal.

Güç spektrumundan beklenen değer yapının derinlik faktörü ve boyutu ile ilişkilidir. Güç spektrumunun logaritması dalga sayısı ile lineer olarak değişmektedir. Herhangi bir dalga sayısındaki güç spektrumunun genliği sonludur ve dalga sayısı arttıkça yaklaşık olarak sifıra yaklaşır. Yani güç spektrumunun logaritması dalga sayısı arttıkça azalır. Spektrumdaki lineer doğru parçalarının eğimleri anomaliye sebep olan prizmaların ortalama üst yüzey derinlikleri ile ilişkilidir (Spector ve Grant 1970). Anomaliye sebep olan yapıların derinlikleri güç spektrumu logaritmasının dalga sayısı veya frekansın fonksiyonu olarak çizdirilmesi ile elde edilir. (3) nolu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınırsa,

$$\text{Log}(P) = \text{Log}A(k)_{z=0} \pm 4\pi kt \quad (4)$$

elde edilir.

Burada k: dalga sayısı; t: anomaliye sebep olan kaynağın üst yüzey derinliği; A(k) ise güç spektrumunun genliğidir. Güç spektrum eğrileri genelde derin ve sığ olmak üzere iki kaynak verir.

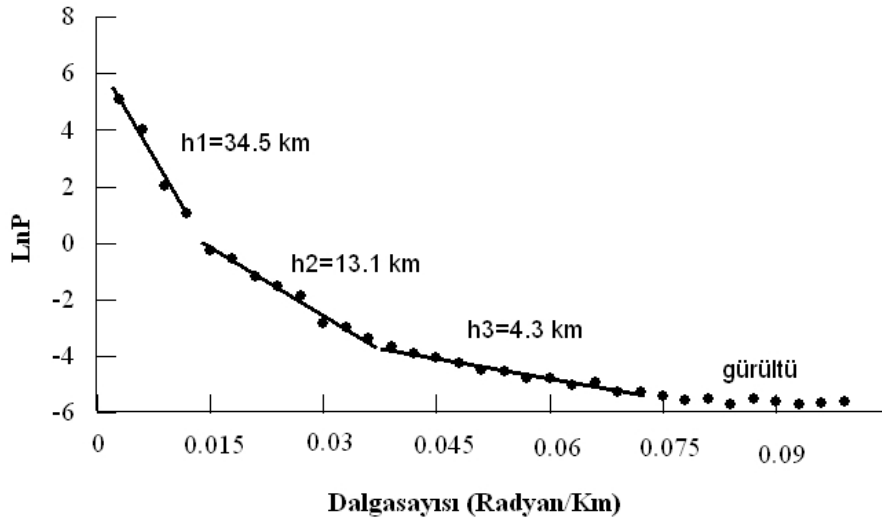
Derin kaynak küçük dalga sayıları, sığ kaynak ise büyük dalga sayıları ile ilişkilidir. Spektrumun en büyük dalga sayıları ise gürültü ile ilişkilidir. Ortalama derinlik aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$h = \frac{\Delta \text{Log}P}{4\pi \Delta k} \quad (5)$$

Çalışma alanının gravite anomali verisinden hesaplanan güç spektrumu eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 üzerindeki doğru parçaları kabuk içindeki düşey yönde yoğunluk değişimlerine karşılık gelen ara yüzeylerin derinliklerini göstermektedir. Menderes Masifi ve çevresinin MOHO derinlikleri aynı zamanda

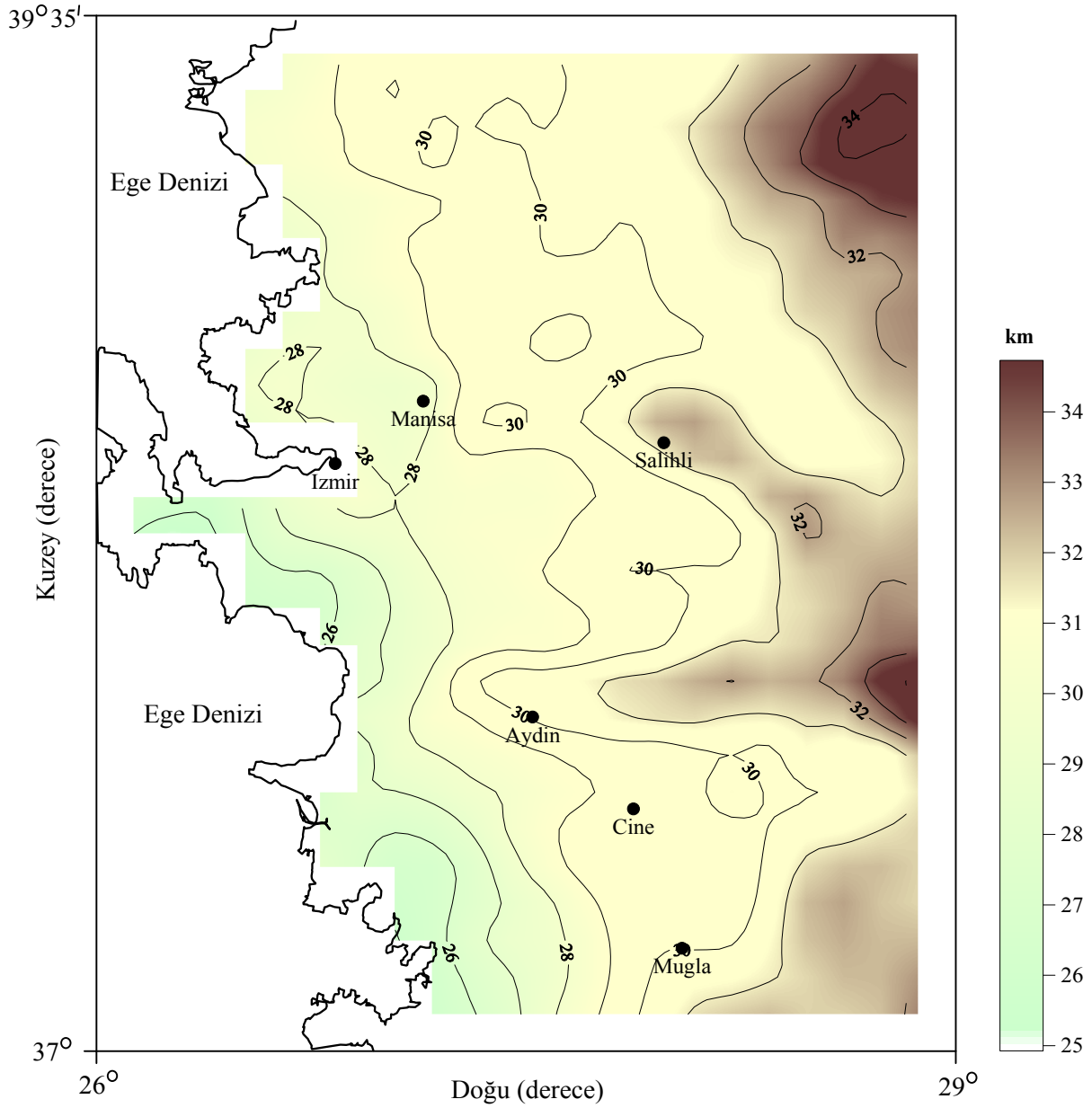
$$H=29.98-0.078 \Delta g \quad (6)$$

(Riad vd., 1981) eşitliği kullanılarak da hesaplanmış ve derinlik haritası Şekil 5'de sunulmuştur. Eşitlik 6'da Δg , gravite anomali verisini göstermektedir.



Şekil 4. Çalışma alanının gravite anomali verisinden hesaplanan güç spektrumu eğrisi. Doğru parçaları üzerindeki değerler kabuk içindeki düşey yönde yoğunluk değişimlerine karşılık gelen ara yüzeylerin derinliklerini göstermektedir.

Figure 4. The power spectrum curve computed from gravity anomaly data of the study area. The values over the linear segments show the depths to various interfaces formed by crustal density contrasts in vertical direction.



Şekil 5. Gravite anomali verisinden hesaplanan kabuk kalınlığı (MOHO) haritası. (Kontur aralığı 1 km'dir)

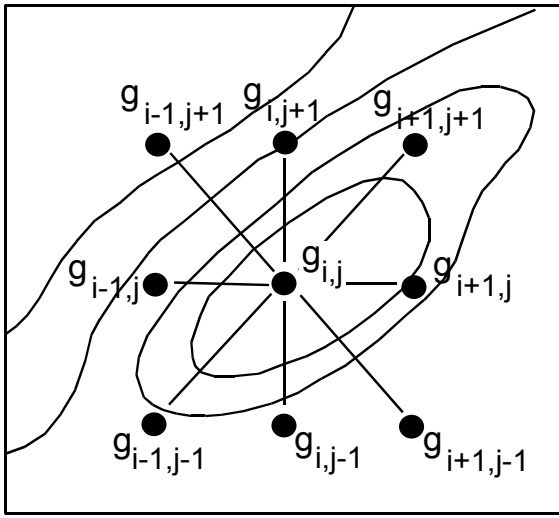
Figure 5. Crustal thickness map (MOHO) computed from the gravity anomaly data. (The contour interval is 1 km)

Gravite verisinden tektonik yapıların belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri yatay türev yöntemidir. Bu makalede Cordell ve Grauch (1982) tarafından verilen yatay türev yöntemi uygulanmıştır. Birçok araştırmacı tarafından Cordell ve Grauch (1982)'in yöntemi tektonik hatların belirlenmesinde kullanılmıştır (örneğin; Bilim 2007, Büyüksaraç 2007; Maden ve Dondurur, 2012;

Ateş vd., 2012). Cordell ve Grauch (1982) yatay türevin büyüklüklerini hızlı bir şekilde yorumlayabilmek için konturlama yöntemini geliştirmiştir. Blakely ve Simpson (1986), Cordell ve Grauch (1982)'in işlemini otomatik bir yöntem kullanarak hızlandırmışlardır. Gravite anomalilerinin yatay gradientin genliği aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$h(x, y) = \left[\left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right]^{0.5} \quad (7)$$

Burada x ve y yönündeki yatay türevler sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplanır (Blakely 1995). Daha sonra yatay gradient haritası gridlere ayrılır. Yatay gradient haritasının dikdörtgen gridlere ayrıldıktan sonra, her bir grid köşe değerinin, $g_{i,j}$, en yakınındaki diğer 8 grid köşe değeri ile karşılaştırılması esasına dayanır (Şekil 6).



Şekil 6. Yatay türev haritası üzerinde maksimum genlik değerlerinin yerlerinin bulunması amacı ile her grid köşe değerlerinin, etrafındaki diğer en yakın sekiz grid köşe değerleri ile satır, sütun ve diagonaller boyunca dört yönde karşılaştırılması işlemi (Blakely ve Simpson 1986).

Figure 6. The comparison process of the each grid nodes with its eight the nearest neighbours in four directions along the row, column and both diagonals to obtain the location of maximum amplitude values on the horizontal derivative map (Blakely ve Simpson 1986).

Bu karşılaştırma ile aşağıdaki koşullar test edilir:

$$g_{i-1,j} < g_{i,j} > g_{i+1,j}$$

$$g_{i,j-1} < g_{i,j} > g_{i,j+1}$$

$$g_{i+1,j-1} < g_{i,j} > g_{i-1,j+1}$$

$$g_{i-1,j-1} < g_{i,j} > g_{i+1,j+1}$$

Her sağlanan koşul için maksimum yatay eksen değeri ve bu noktadaki maksimum yatay gradient değeri belirlenir. Örneğin, eğer $g_{i-1,j} < g_{i,j} > g_{i+1,j}$ ise, maksimum yatay eksen değeri, $x_{\max} = -(bd/2a)$ ile verilir.

Burada;

$$a = \frac{1}{2}(g_{i-1,j} - 2g_{i,j} + g_{i+1,j}),$$

$$b = \frac{1}{2}(g_{i+1,j} - g_{i-1,j})$$

d , iki grid arasındaki mesafedir.

Bu noktadaki maksimum yatay gradient değeri ise,

$$g_{\max} = ax_{\max}^2 + bx_{\max} + g_{i,j} \quad (8)$$

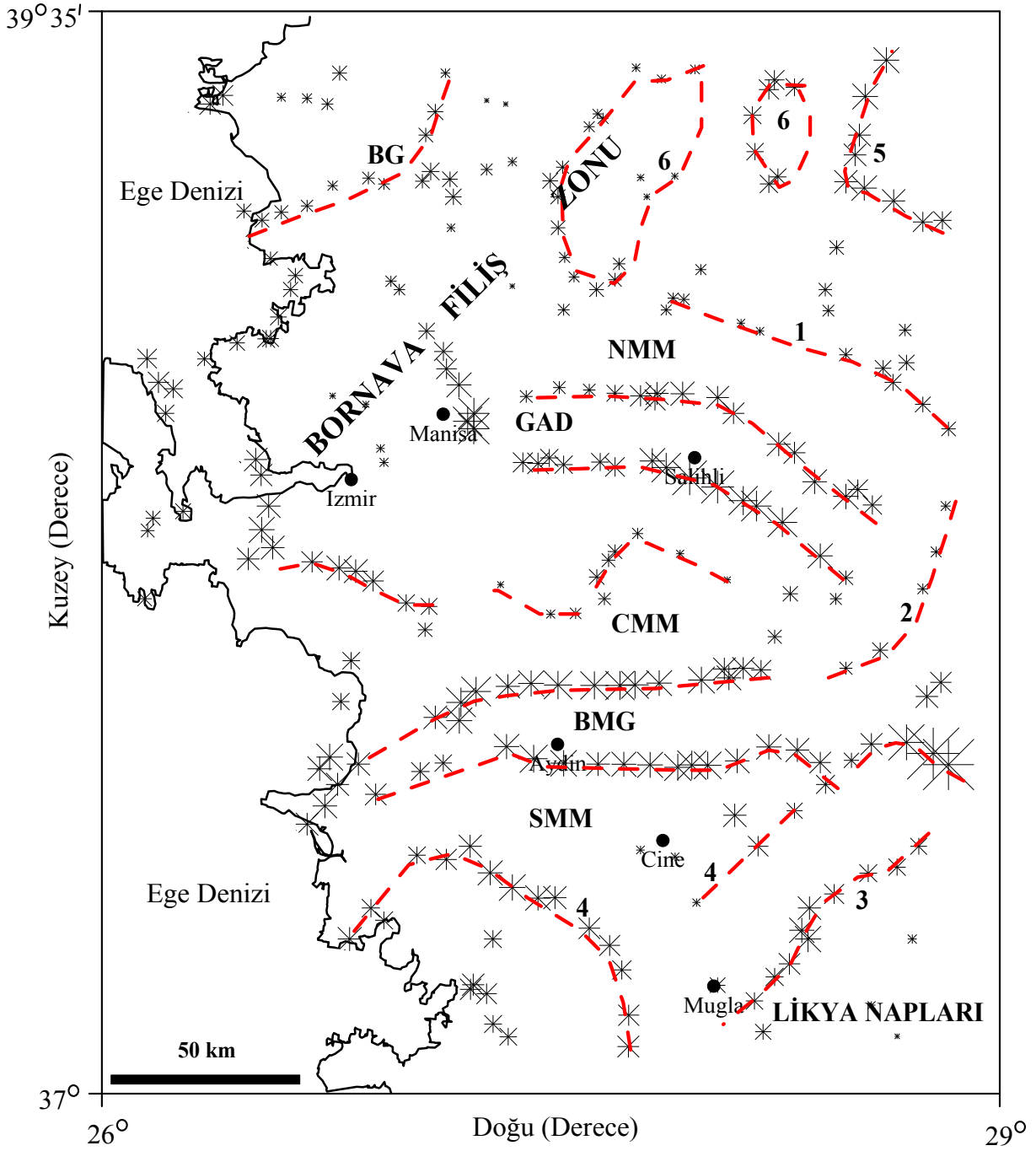
ile bulunur. Çalışma alanının tektonik yapısını belirleyebilmek için Bouguer gravite anomali verisinden elde edilen maksimum yatay gradient genlik haritası elde edilmiştir (Şekil 7).

Gravite anomali verilerinin 3B modellenmesinde Cordell ve Henderson (1968) algoritması kullanılmıştır. Yöntemde gravite anomalisi dikdörtgen gridlere ayrılır. Anomaliye neden olan yapının yaklaşık düşey olduğu, bir kare gridin enine kesitine sahip homojen yoğunluklu birim prizmalardan oluştuğu kabul edilir. q . grid noktası ($Q: (x', y', 0)$) altında ki düşey bir prizma elementinin p . grid noktasında ki ($P: (x, y, 0)$) gravite etkisi sadece prizma kalınlığının (T^q) bir fonksiyonudur (Cordell ve Henderson, 1968):

$$\Delta g_{obs,p} \approx \mathcal{F}(P, Q, T_q; \rho, D) \quad (9)$$

p . grid noktasında anomaliye sebep olan yapının tamamının gravite etkisi ise aşağıdaki gibidir.

$$g_{obs,p} \approx \sum_{q=1}^M \mathcal{F}(P, Q, T_q; \rho, D) \quad (10)$$



Ŗekil 7. Gravite anomali verisinden elde edilen maksimum yatay gradient genlik haritası ve yorumu. Dairelerin boyutları gradyenin genliği ile orantılıdır. SMM: Güney Menderes Masif; CMM:Orta Menderes Masif; NMM:Kuzey Menderes Masif; BMG:Büyük Menderes Grabeni; GAG:Gediz-Alaşehir Grabeni; BG:Bakırçay Grabeni;

Figure 7. Maxima locations map obtained from horizontal gradient of gravity anomaly data and its interpretation. Sizes of circles are proportional to the amplitude of maxima. SMM: Southern Menderes Massif; CMM: Central Menderes Massif; NMM: Northern Menderes Massif; GAG: Gediz-Alaşehir Graben; BG: Bakırçay Graben.

Eşitlik 10'da; γ = gravite sabiti, D= referans düzlemi derinliği, M= toplam grid noktası sayısı ve ρ = yoğunluktur.

Her bir prizma elementinin başlangıç kalınlık modeli Bott (1960) tarafından aşağıdaki şekilde verilir:

$$t_{1,q} = K g_{obs,q} \quad (11)$$

Burada $K = 1/(2\pi\gamma\rho)$ 'dur. Başlangıç modeli için hesaplanan gravite anomalisi ise

$$g_{calc,1,p} = \sum_{q=1}^M \mathcal{F}(P, Q, t_{1,q}; \rho, D) \quad (12)$$

ile verilir. 11 ve 12 nolu eşitliklerin n iterasyonu için elde edilecek n modelin gravite anomalisi için geliştirilmiş ifadeleri Cordell ve Henderson (1968) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$t_{n+1,q} = t_{n,q} \left(\frac{g_{obs,q}}{g_{calc,n,q}} \right) \quad (13)$$

$$\Delta g_{calc,n,p \neq q} \approx \gamma \rho W^2 \left(\frac{1}{\sqrt{R_{p,q}^2 + d_{n,q}^2}} - \frac{1}{\sqrt{R_{p,q}^2 + (d_{n,q} + t_{n,q})^2}} \right) \quad (14)$$

Burada; W grid aralığı, $R_{p,q}$ P ve Q noktaları arasındaki mesafe, $d_{n,q}$ ise n iterasyon sonucunda prizmanın üst yüzey derinliğidir.

Yöntemde gözlemlenen (g_{obs}) ile hesaplanan (g_{calc}) anomalisi karşılaştırılarak en iyi uyumu sağlayan derinlikler saptanır.

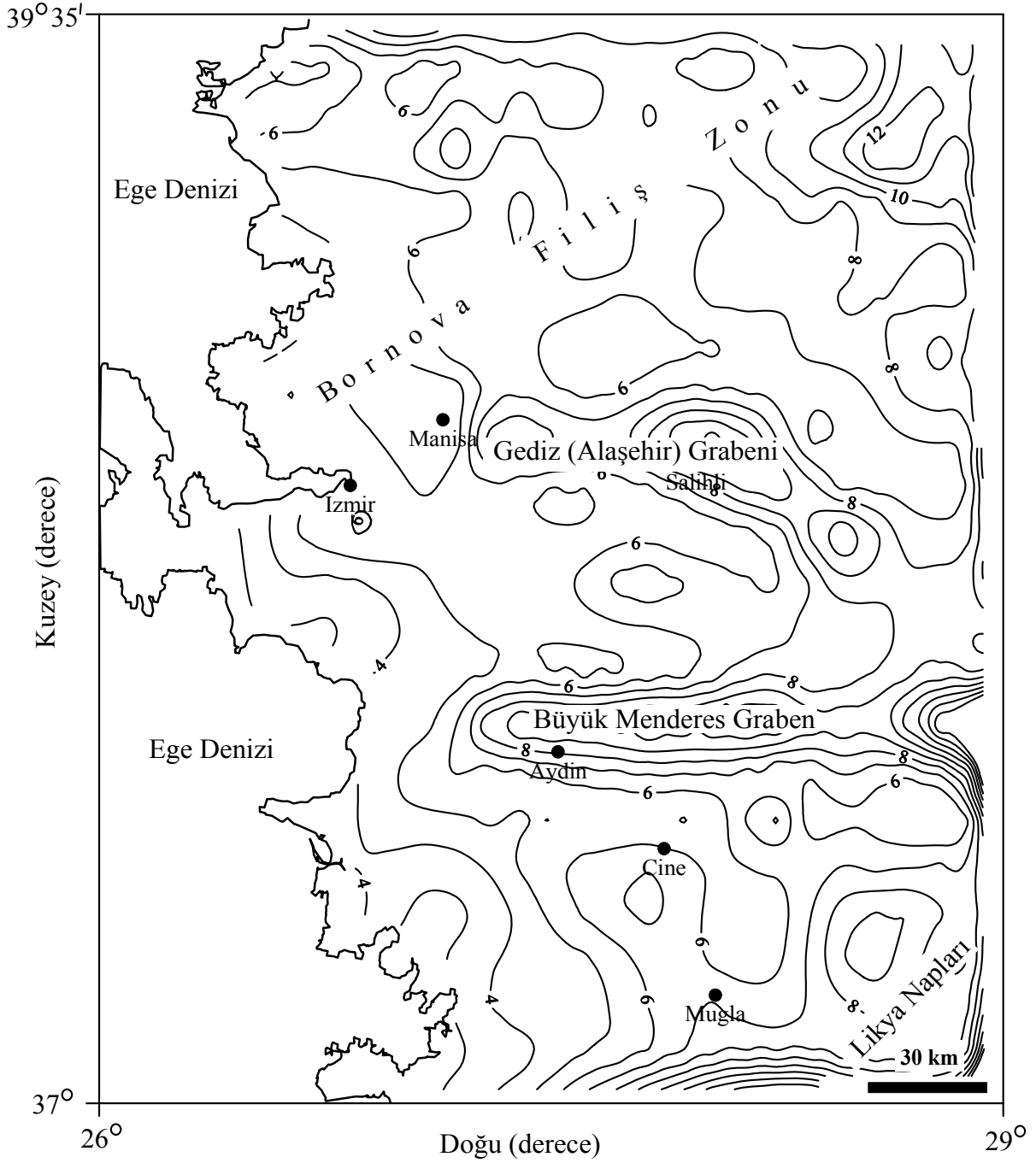
Çalışma alanının gravite anomalisi verilerine uygulanan 3B'lu modelleme sonucu Şekil 8'de verilmiştir. Çalışma alanında örtü birimi alüvyon ve Neojen volkano-sedimanter birimlerden oluşmakta olup sedimanter kayalar için ortalama yoğunluk 2.35-2.40 gr/cm³'dür (Ludwig vd., 1970). MM'nin çekirdek serisini oluşturan metamorfik kayalar için ortalama yoğunluk 2.79 gr/cm³ alınabilir (Long ve Kaufmann, 2013). Bu nedenle yoğunluk farkı 0.44 gr/cm³ olarak tercih edilmiştir.

SONUÇLAR

Menderes Masifi ve çevresinin gravite anomalisi verisinin analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

a. Gravite anomalisi değerlerine bakıldığında Menderes Masifi'nde yer alan graben ve havzaları ile uyum sergilediği görülmektedir (Şekil 3). Bölgedeki graben alanlarında düşük yoğunluklu genç alüvyonlarda negatif gravite değerleri; BFZ ve MM'de ise çevreye göre yüksek yoğunluklu ofiyolitik ve metamorfik birimlerden ileri geldiği düşünülen pozitif değerler gözlenmektedir. BMG'de gravite değeri -30 mGal'e kadar düşmektedir. BMG'deki gravite değerlerindeki azalma sediman kalınlığının artması BFZ ve MM'de pozitif gravite değerleri 20 mGal'e kadar çıkmaktadır. Pozitif gravite değerleri çalışma alanının GB kısmında, Cyladic Kompleksi olarak tanımlanan metamorfik kayalarda (Şekil 2) 60 mGal'e kadar artmaktadır.

b. Güç spektrumu yöntemi ile çalışma alanında ortalama MOHO derinliği 34.5 km, Conrad süreksizliği 13.1 km ve sediman kalınlığı 4.3 km olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Gravite yöntemine uygulanan Riad vd. 1981 tarafından verilen bağıntı kullanılarak oluşturulan MOHO derinlik haritasından (Şekil 5) ise ortalama derinlik 28.8 km olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerin daha önce farklı ve/veya aynı yöntemler kullanılarak saptanan kabuk kalınlıkları (Çizelge 1) ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Necioğlu vd. (1981) depremlerin geliş zamanlarının analizinden kabuk kalınlığını tüm Batı Anadolu için 25-32 km arasında bulmuştur (Çizelge 1). Saunders vd. (1998) alıcı fonksiyon yöntemi kullanarak Batı Anadolu için 30-34 km arasında saptamıştır. Tezel vd. (2010) Saunders vd. (1998)'nin yöntemindeki gibi alıcı fonksiyon kullanarak kabuk kalınlığını 25-35 km arasında hesaplamış olup Necioğlu vd. (1981) tarafından belirlenen sonuçlar ile daha iyi uyumlu olduğu görülmektedir. Bu makalede gravite verisinden hesaplanan kabuk kalınlığı ise yaklaşık 25-35 km arasında değişmekte olup (Şekil 5), Tezel vd. (2010)'nin alıcı fonksiyon yöntemi kullanarak buldukları değer aralığı ile çok iyi uyum sağlamaktadır.



Şekil 8. Menderes Masifi'nin üç boyutlu (3B) gravite modeli. (Kontur aralığı 1 km)

Figure 8. Three-Dimensional (3D) gravity model of Menderes Massif. (The contour interval is 1 km)

c. Gravite anomali verisinden elde edilen maksimum yatay gradient genlik haritasından, çalışma alanındaki tektonik hatlarla çizgiselliklerin genel olarak uyumlu olduğu gözlenmektedir (Şekil 7). BMG, GAG ve BG'lerinin kenarlarını sınırlayan normal faylar çizgiselliklerle iyi bir uyum

sergilemektedir. Harita üzerindeki 1 ve 2 nolu çizgisellikler sırasıyla NMM'nin K-KD sınırı ve CMM'nin doğu sınırı; 4 nolu çizgisellik ise SMM'nin güney sınırı olarak yorumlanmıştır. Çalışma alanının KD ucunda yer alan 5 nolu çizgisellik AZ'u sınırı olarak ve 6 nolu elips

şeklindeki gravite anomalisine neden olan yapılar ise açılma tektoniği ile ilişkili normal faylar boyunca BFZ içersine yerleşmiş gömülü granit intrüzyonları olarak yorumlanmıştır.

d. 3B'lu gravite modelinden (Şekil 8) BMG'de derin kökenli yapıların derinliklerinin 6-10 km arasında değiştiği, GAG'de ise derinliğin 9 km'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Çifçi vd.

(2011) BMG'de yaptıkları sismik ve gravite çalışmaları ile saptadıkları derinliklerle çok iyi uyum sağlamaktadır. Çifçi vd. (2011), BMG'de sığ yapıların 5-7 km arasında, derin yapıların ise 10-17 km arasında değiştiğini önermişlerdir. Ayrıca bu çalışmada, 3B'lu gravite modelinde elde edilen derinlikler incelendiğinde çalışma alanında gravite anomalisine sebep olan kaynakların üst kabukta yer aldığı önerilmektedir.

Çizelge 1. Batı Anadolu için hesaplanan MOHO derinlikleri.
Table 1. MOHO depths calculated for Western Anatolia.

Kabuk kalınlığı/ MOHO derinliği (km)	Yöntem	Referans
20-35	Alıcı fonksiyonu (receiver function)	Tezel vd., 2010
25-32	Sismik dalga hızı	Necioğlu vd., 1981
30-34	Alıcı fonksiyonu (receiver function)	Saunders vd., 1998
28-33	Gravite verisine $H=29.98-0.078 \Delta g$ (Riad vd., 1981) bağıntısının uygulanması	Ateş vd., 2012
34.5	Gravite verisine uygulanan güç spektrumu yöntemi	Bu çalışmada
28.8	Gravite verisine $H=29.98-0.078 \Delta g$ (Riad vd., 1981) bağıntısının uygulanması	Bu çalışmada

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünde Doç.Dr. Funda BİLİM danışmanlığında Yüksek Lisans'ını sürdürmekte olan Tuğçe AKAY'ın çalışmalarının bir kısmını kapsamaktadır. Görüş ve önerileri ile makaleye katkı koyan hakemlerden Doç.Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ'a ve isim bildirmeyen hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ates, A., Kearey, P., Tufan, S., 1999. New Gravity and Magnetic Maps of Turkey. Geophysical Journal International 136, 499-502.

Bilim, F., 2007, Investigations into the tectonic lineaments and thermal structure of Kutahya-Denizli region, western Anatolia, from using aeromagnetic, gravity and seismological data, Phys. the Earth and Planetary Inter., 165, 135-146.

Bilim, F., Demir, D., 2010. Investigation of gravity anomalies of Çankırı Basin (northern central Anatolia, Turkey) using the boundary analysis and analytic signal method and 3D modeling. İstanbul Yer Bilimleri 23, 87-95 (İngilizce).

Blakely, R.J., Simpson, R.W. 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. Geophysics 51, 1494-1498.

- Blakely, R., 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press (ed.), New York, 441 pp.
- Bott, M.H.P., 1960. The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 3, 63-67.
- Cordell, L., Grauch, V.J.S., 1982. Reconciliation of the discrete and integral Fourier transforms. *Geophysics* 47, 237-243.
- Cordell, L., Henderson, R.G., 1968. Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. *Geophysics* 33, 596-601.
- Çifçi, G., Pamukçu, O., Çoruh, C., Çopur, S., Sözbilir, H., 2011. Shallow and deep structure of a supradetachment basin based on geological, conventional deep seismic reflection sections and gravity data in the Büyük Menderes Graben, western Anatolia. *Surveys in Geophysics* 32, 271-290.
- Büyüksaraç, A., 2007. Investigation into the regional wrench tectonics of inner East Anatolia (Turkey) using potential field data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 160, 86-95.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koralay, E., 2001. Revision of "Leptite-gneisses" in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin. *International Journal of Earth Sciences* 89, 836-851.
- Gursoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Mesci, L., 1998. Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapinar volcanic complexes, central Turkey: neotectonic rotation in the South-central sector of the Anatolian Block. *Tectonophysics* 299, 191-211.
- Hetzel, R., Romer, R.L., Candan, O., Passchier, C.W., 1998. Geology of the Bozdag area, central Menderes massif, SW-Turkey: Pan African basement and Alpine deformation. *Geologische Rundschau* 87, 394-406.
- Isık, M., Şenel, H., 2009. 3D gravity modeling of Büyük Menderes basin in western Anatolia using parabolic density function. *Journal of Asian Earth Sciences* 34, 317-325.
- Karner, G.D., Watts, A.B., 1983. Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at mountain ranges. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 88, 10449-10477.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemand, S., Noomen, R., Veis, G., 1995. Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean Tectonics. *Journal of Geophysical Research* 100, 12675-12690.
- Long, L.T., Kaufmann, R.D., 2013. *Acquisition and Analysis of Terrestrial Gravity Data*. Cambridge University Press, UK (ISBN 978-1-107-02413-7), 179 pp.
- Ludwig, J.W., Nafe J.E., Drake, C.L., 1970. Seismic refractions. In: Maxwell, A.E. (Ed.), *The Sea*, 4. John Wiley, New York, pp.53-84.
- Maden, N., Dondurur, D., 2012. Orta Karadeniz sırtının tektonik ve kabuk yapısının gravite verileri yardımıyla belirlenmesi. *Jeofizik* 16, 29-46.
- Maus, S., Dimri, V., 1995. Basin depth estimation using scaling properties of potential fields. *Journal of Association of Exploration Geophysicists* 3, 131-139.
- Okay, A.I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., Akyüz, S., 1996. Paleo-and neo-Tethyan events in North-west Turkey: geological and geochronological constraints. In: Yin, A., Harrison, M. (Eds.), *Tectonics of Asia*. Cambridge University Press, Cambridge pp.420-441.
- Oner, Z., Dilek, Y., 2011. Supradetachment basin evolution during continental extension: the Aegean province of western Anatolia, Turkey. *Geological Society of America Bulletin* 123, 2115-2141.
- Oner, Z., Dilek, Y., 2013. Fault kinematics in supradetachment basin formation, Menderes core complex of western Turkey. *Tectonophysics* 608, 1394-1412.
- Riad, S., Refai, E., Ghalib, M., 1981. Bouguer anomalies and crustal structure in the Eastern Mediterranean. *Tectonophysics* 71, 253-266.
- Sarı, C., Şalk, M., 2006. Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using

- gravity data. *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 39-48.
- Seyitoğlu, G., Scott, B., 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine* 128, 155-166.
- Spector, A., and Grant, F. S., 1970. Statistical Models for Interpretation Aeromagnetic Data, *Geophysics* 35, 293-302.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., 2005. Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power Project, Turkey. *Geothermics* 34, 239-256.
- Tadjou, J.M., Nouayou, R., Kamguia, J., Kande, H.L., Manguelle-Dicoum E., 2009. Gravity analysis of the boundary between the Congo craton and the pan-African belt of Cameroon. *Austrian Journal of Earth Sciences* 102, 71-79.

Doç.Dr. Funda BİLİM

Cumhuriyet Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
58140 SİVAS

fbilim@cumhuriyet.edu.tr

Sivas ili depremselliğinin Gutenberg-Richter magnitüd-frekans ilişkisi ve Poisson modeli kullanılarak incelenmesi

Investigation of seismicity of Sivas, Turkey using Gutenberg-Richter magnitude-frequency relationship and Poisson model

Funda BİLİM, Sinan KOŞAROĞLU, Tuğçe AKAY

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 05480
SİVAS

ÖZ

Bu çalışmada, Sivas ili'nin 39°K-40.5°K enlemleri ile 36°D-39°D boylamları arasında yer alan bölgenin depremselliği incelenmiştir. Bu amaç için 1904-2010 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü $M_s \geq 3.0$ 'den büyük 102 adet deprem verisi kullanılmıştır. Çalışma alanı için Gutenberg-Richter magnitüd-frekans ilişkisi, " $\text{Log}N=3.741 (\pm 0.0915)-0.4810(\pm 0.0172)M$ " olarak belirlenmiştir. Depremlerin gelecekte olma olasılık riskleri ve tekrarlanma periyodları Poisson modeli kullanılarak elde edilmiştir. 10 yıl içerisinde $M_s \geq 4.5$ büyüklüğünde bir depremin olma riski ve dönüş periyodu sırası ile %96.11 ve 3.07 yıl olarak; $M_s \geq 5.5$ büyüklüğündeki bir deprem için ise sırası ile %65.89 ve 9.29 yıl olarak hesaplanmıştır.

Keywords: Sivas ili, depremsellik, Poisson modeli, dönüş periyodu

ABSTRACT

In this study, the seismicity of the area located at between 39°N-40.5°N latitudes and 36°E-39°E longitudes of Sivas was investigated. For this purpose, the records of 102 earthquakes ($M_s \geq 3.0$) occurred in between 1904 and 2010 were used. The Gutenberg-Richter magnitude-frequency relationship of the study area was determined as " $\text{Log}N=3.741 (\pm 0.0915)-0.4810(\pm 0.0172)M$ ". The occurrence probability risk and return periods of the earthquakes were computed by the Poisson model. The occurrence probability risk and return period in 10 years were calculated as %96.11 and 3.07 year for a 4.5 magnitude earthquake, %65.89 and 9.29 year for a 5.5 magnitude earthquake, respectively.

Anahtar Kelimeler: Sivas city, seismicity, the Poisson model, return period.

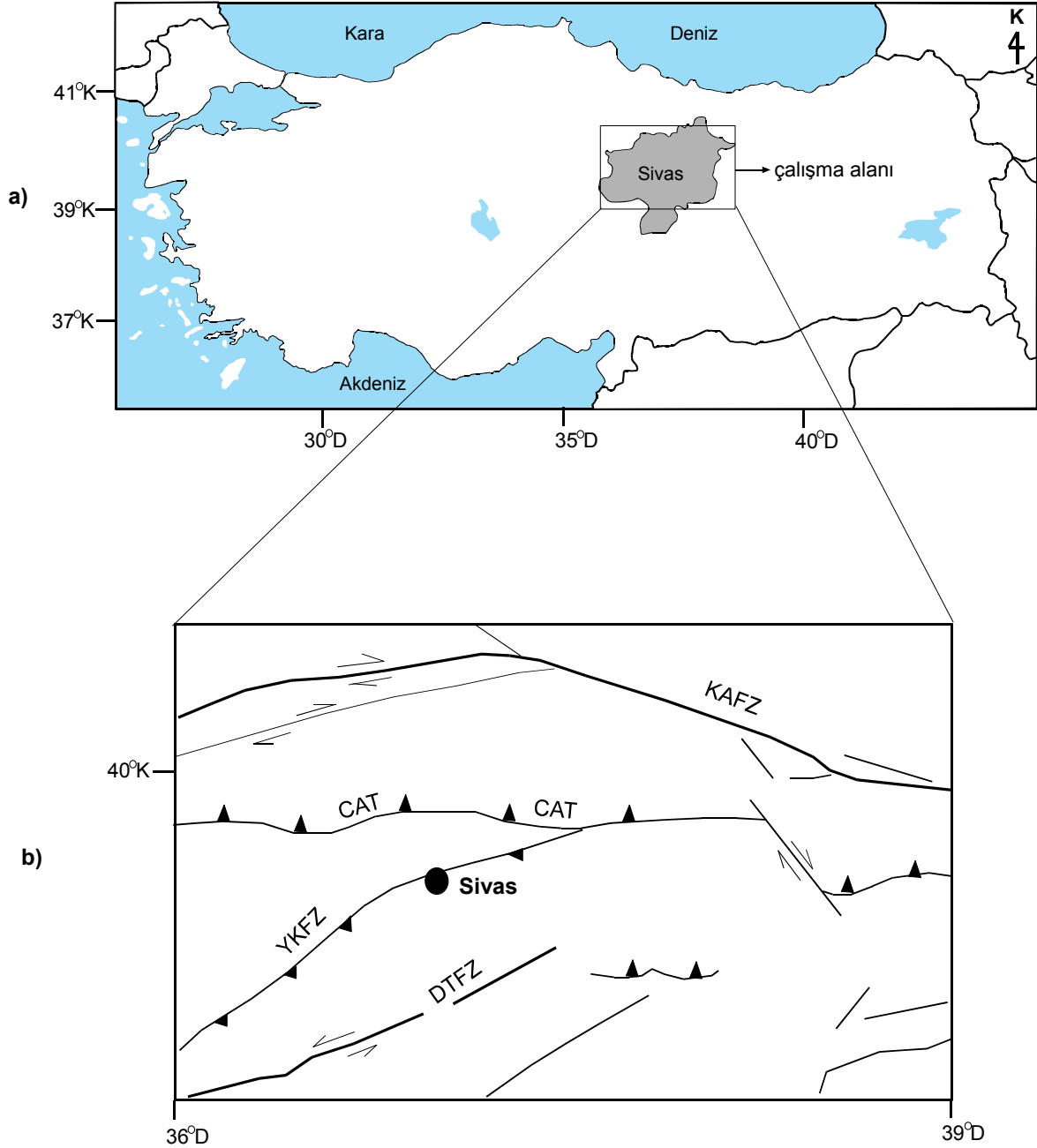
GİRİŞ

Orta Anadolu Bölgesi'nin doğu kenarında yer alan Sivas (Şekil 1.a) ilinde günümüze kadar büyük magnitüdü depremler olmamasına karşın, Türkiye'nin en aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu

Fay Zonu (KAFZ)' nun Sivas'ın kuzeyinde yer alması deprem açısından riskli illerinden biri haline getirmiştir (Şekil 1b). KAFZ üzerinde Sivas iline yakın meydana gelen can ve mal kaybının yaşandığı en önemli depremler magnitüdü 8 olan 1939 Erzincan ve magnitüdü 7 olan 1942 Niksar-

Erbaa depremleridir. Orta Miyosen'de Afrika-Arap kıtasının Avrasya kıtasının Bitlis Kenet Kusağı boyunca çarpışması sonucu Anadolu Levhasının

kuzey sınırını oluşturan yaklaşık 1100 km uzunluğa sahip KAFZ, doğu-batı uzanımlı ve sağ yönlü doğrultu atımlıdır (Şengör ve Yılmaz 1981).



Şekil 1. a. Çalışma alanının yer bulduru haritası, **b.** Çalışma alanının ana tektonik hatları. DTFZ: Deliler-Tecer Fay Zonu; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; CAT: Orta Anadolu Bindirmesi; YKFZ: Yukarı Kızılırmak Fay Zonu (Gürsoy vd., 1997 ve Yılmaz ve Yılmaz 2006'dan düzenlenmiştir).

Figure 1. a. The location map of the study area, **b.** The major tectonic division of the study region. DTFZ: Deliler-Tecer Fault Zone; KAFZ: North Anatolia Fault Zone; CAT: Central Anatolia Thrust Belt; YKFZ: Yukarı Kızılırmak Fault Zone (modified from Gürsoy vd., 1997 and Yılmaz and Yılmaz, 2006).

Çalışma alanında yer alan önemli diğer neotektonik birimler Orta Anadolu Bindirmesi (CAT), Yukarı Kızılırmak Fay Zonu (YKFZ) ve Deliler-Tecer Fay Zonu (DTFZ)'dir (Şekil 1.b). Sivas'ın kuzeyinde yer alan doğu-batı uzanımlı CAT'nin eğimi kuzeye doğru olup Geç Eosen boyunca olduğu düşünülmektedir (Yılmaz ve Yılmaz 2006). YKFZ'nun tavan bloğu güneye eğimli ters bindirmeli olmasına karşın DTFZ'nun hareketi de ters fakat tavan bloğunun eğimi kuzeye doğrudur (Yılmaz ve Yılmaz 2006). YKFZ ve DTFZ doğu-batı yönelimlidir (Şekil 1.b).

Çalışma alanında yer alan bu neotektonik birimler depremsellik açısından Sivas'ın kuzeyini birinci derecede deprem kuşağının içinde kalmasına neden olmuştur. Gölova, Akıncılar, Suşehri, İmranlı, Zara, Doğanşar ve Koyulhisar ilçeleri birinci derece deprem zonu içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Çalışma alanında deprem kuşağı güneye doğru kademeli olarak azalmakta ve güneyde Altınyayla, Ulaş ve Kangal ilçelerinde IV. dereceye düşmektedir (Şekil 2).

Geçmişte meydana gelen deprem verilerinden gelecekte meydana gelebilecek depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotlarının saptanmasına yönelik probabilistik yöntem depremsellik çalışmalarında önem arz etmektedir. En sık kullanılan probabilistik yöntem ise Poisson Modeli olup günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Zhang 1993; Liu vd., 2000; Liechti vd., 2000; Bağcı 2000; Özmen vd., 2013).

Bölgesel olarak Doğu Anadolu'yu ve/veya Türkiye'yi kapsayan depremsellik çalışması olmasına rağmen (Kayabali ve Akin 2002; Ulusay vd., 2004) Sivas'ın depremselliğine yönelik literatürde bir çalışma görülememektedir. Çalışmanın amacı Sivas' da gelecekte meydana gelebilecek depremlerin zaman aralığını, magnitudünü ve dönüş periyotlarını saptamak ve ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu amaç için çalışma alanında 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş magnitudü $M_s \geq 3.0$ olan depremlerin magnitud-frekans ilişkisinden yararlanarak a ve b katsayıları belirlenmiş ve probabilistik yöntemlerden Poisson Modeli kullanılarak çalışma alanında

depremlerin gelecekte olma olasılıkları ve dönüş periyotları hesaplanmıştır.

DEPREM VERİSİ

(39°K-40.5°K) enlemleri ile (36°D-39°D) boylamları arasında yer alan çalışma alanına (Şekil 1) ait 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_s \geq 3.0$ büyüklüğündeki 102 adet deprem verisi International Seismological Center (ISC), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı ulusal deprem izleme merkezi açık erişimli deprem kataloglarından alınmıştır. Şekil 3' de çalışma alanında meydana gelmiş depremlerin episantr dağılımları görülmektedir.

MAGNİTÜD-FREKANS İLİŞKİSİ

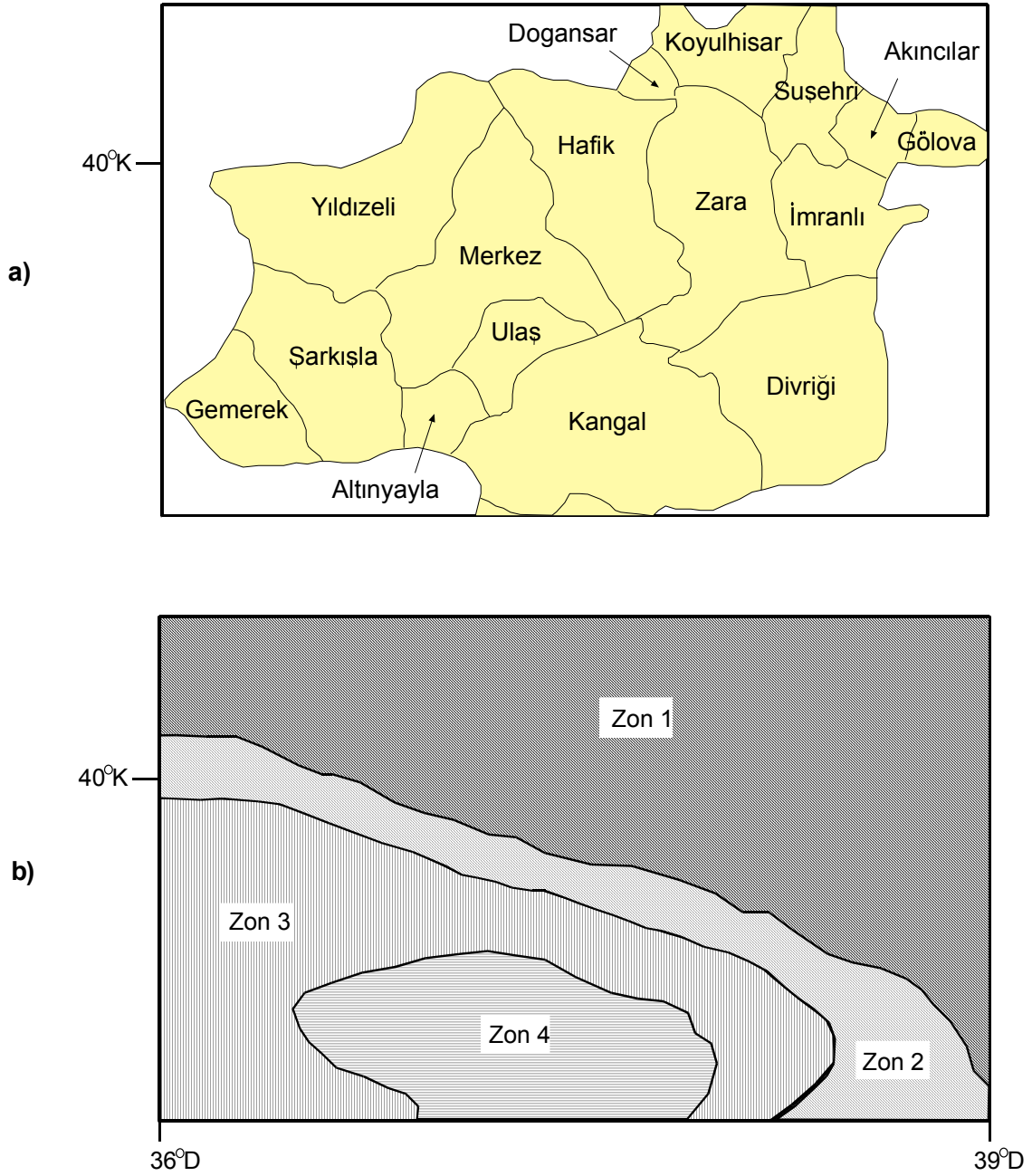
Deprem oluş sayısı ve magnitud arasındaki ilişki Gutenberg ve Richter (1944, 1956) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\text{Log}N = a - bM \quad (1)$$

Burada N: deprem sayısı, M: Magnitud, a ve b ise incelenen bölgenin sismik karakteristiğini gösteren katsayıdır. a katsayısı incelenen bölgenin genişliği, b katsayısı ise bölgenin tektoniği ile ilgilidir (Wang, 1988; Mori ve Abercrombie, 1997). Turcotte (1986) b katsayısının genelde $0.5 \leq b \leq 1.5$ arasında olduğunu belirtmiştir. Çalışma alanı için 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_s \geq 3.0$ 'den büyük depremler için (1) nolu bağıntıda, a ve b katsayıları en küçük kareler yöntemine göre hesaplanmıştır (Şekil 5). Verilen bir zamanda $M \geq M_{min}$ değerinden büyük veya eşit magnitudlü depremlerin yıllık ortalama oluş sayısının hesabında yığınsal (kümülatif) frekans dağılımı kullanılmıştır. (1) nolu bağıntı yığınsal frekansa göre aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir (Utsu, 1965):

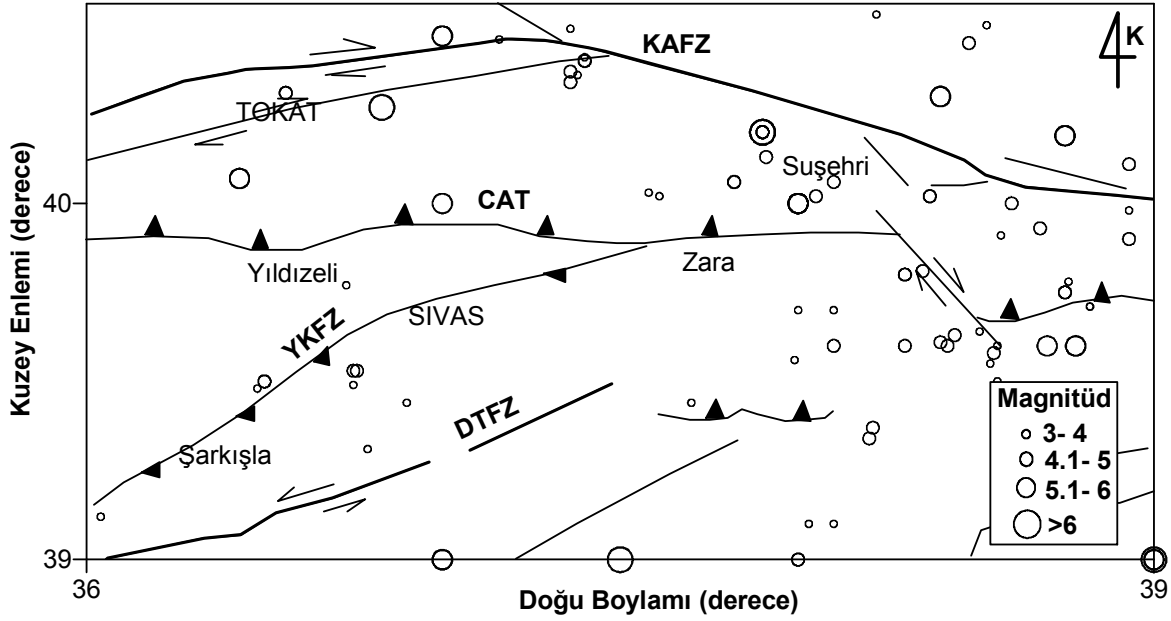
$$\text{Log}N_c(M) = a' - bM \quad (2)$$

Burada a' değeri Utsu (1965) tarafından



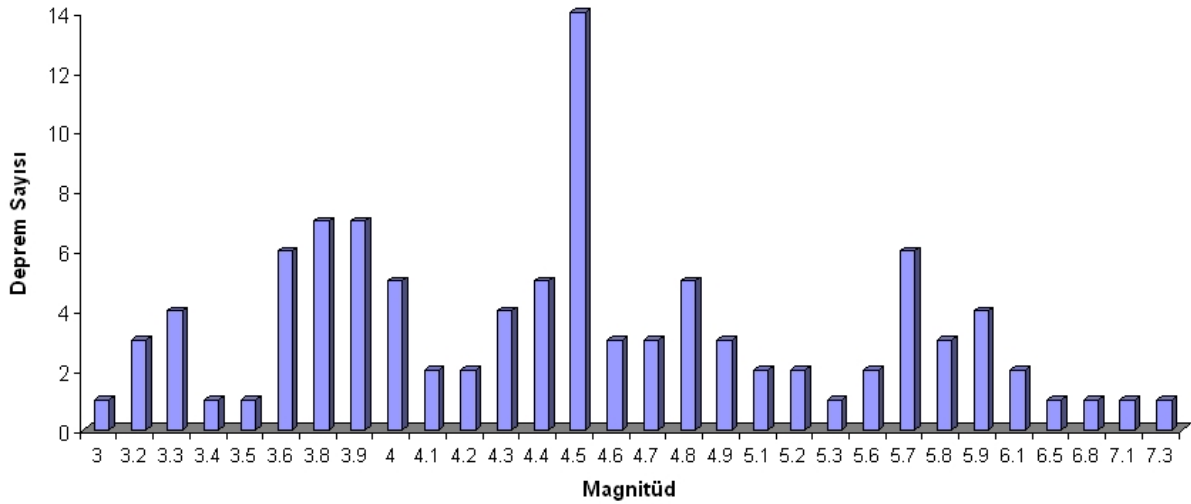
Şekil 2. A. Sivas ilçeleri; **b.** Deprem Bölgeleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996). Zon 1: 1. derece deprem bölgesi; Zon 2: 2. derece deprem bölgesi; Zon 3: 3. derece deprem bölgesi; Zon 4: 4. derece deprem bölgesi.

Figure 2. a. The districts of Sivas; **b.** the earthquake regions (Bayındırlık and İskan Bakanlığı, 1996). Zon 1: First degree earthquake zone; Zon 2: Second degree earthquake zone; Zon 3: Third degree earthquake zone; Zon 4: Fourth degree earthquake zone.



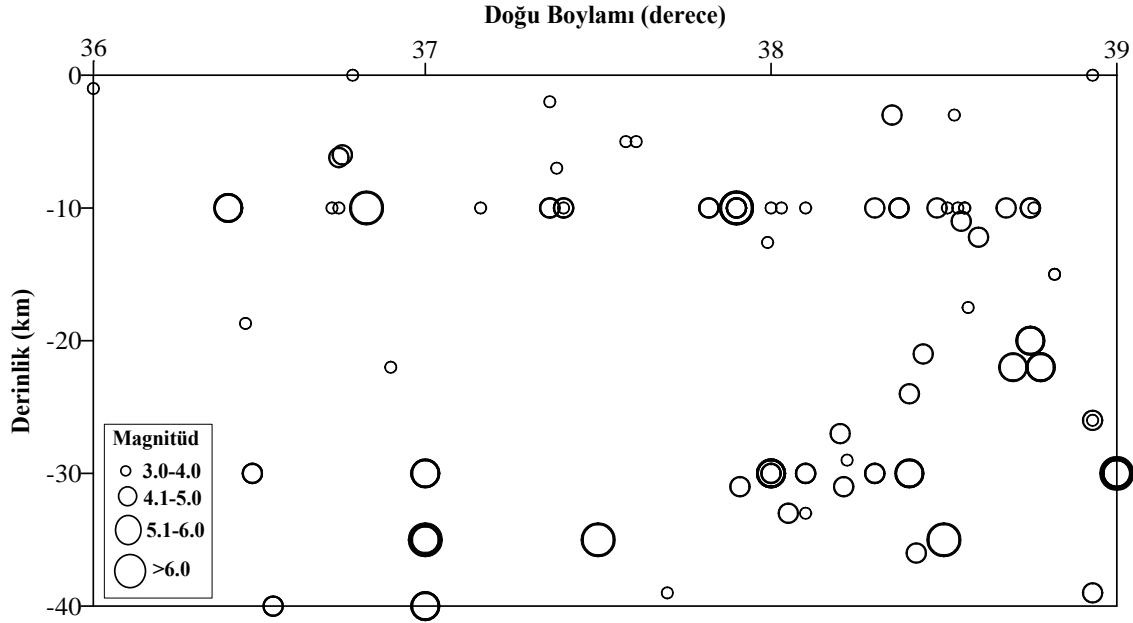
Şekil 3. Çalışma alanında 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_s \geq 3.0$ 'den büyük depremlerin episantır dağılımı.

Figure 3. Epicenter locations of the earthquakes for magnitude $M_s \geq 3.0$ which occurred between 1904 and 2010 in the study region.



Şekil 4. Çalışma alanında 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_s \geq 3.0$ 'den büyük depremlerin magnitüd-deprem sayısı.

Figure 4. The number of earthquakes with respect to the magnitudes, $M_s \geq 3.0$, occurred between 1904 and 2010 in the study region.



Şekil 5. Çalışma alanında 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş $M_s \geq 3.0$ 'den büyük depremlerin derinlik dağılımı.

Figure 5. The depth distributions of earthquakes for magnitude $M_s \geq 3.0$ which occurred between 1904 and 2010 in the study region.

$$a' = a - \log(b \ln 10) \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir. (1) ve (2) nolu bağıntılarından bir T zamanında $M \geq M_{min}$ değerinden büyük veya eşit magnitüdü depremlerin yıllık ortalama deprem sayısı

$$N = 10^{a-bM} \quad (4)$$

yazılabilir. (4) nolu bağıntının her iki yanı T zamanına bölünüp her iki tarafın logaritması alınır

$$\frac{N}{T} = \frac{10^{a-bM}}{T} \quad (5)$$

$$\log(N/T) = a - bM - \log T \quad (6)$$

elde edilir. (6) nolu bağıntıdan

$$N(M \geq M_{min}) = 10^{a-bM - \log T} \quad (7)$$

bulunur. (7) nolu bağıntıda $a_1 = a - \log T$ veya $a'_1 = a' - \log T$ tanımlaması yapılırsa

$$N(M \geq M_{min}) = 10^{a'_1 - bM} \quad (8)$$

elde edilir.

Çizelge 1' de çalışma alanı için elde edilen parametreler görülmektedir.

Çizelge 1. Poisson modeli için deprem tehlikesini belirlemede kullanılan parametreler.

Table 1. The earthquake parameters used in determining seismicity parameters for the Poisson model.

b	a	a'	a_1	a'_1
0.4801	3.741	3.6975	1.7157	1.6722

POISSON MODELİ

Depremsellik araştırmalarında sıklıkla kullanılan probabilistik yöntemlerden biri Poisson modelidir (Zhang 1993; Liu vd., 2000; Liechti vd., 2000; Bağcı, 2000; Özmen vd., 2013). Depremler zaman, büyüklük ve lokasyon açısından birbirinden bağımsız olarak kabul edildiğinde deprem oluşumları Poisson modeli ile tanımlanabilir. Bu modelde T zaman aralığında magnitüdüleri $M \geq M_{min}$ olan n sayıda depremin oluşma olasılığı, azalan üstel fonksiyon olarak aşağıdaki bağıntı ile verilebilir (Kramer 1995):

$$P_n(T) = \frac{e^{-vT} (vT)^n}{n!} \quad (9)$$

Burada,

$P_n(T) =$ T zaman aralığında n adet depremin olma olasılığı, $N =$ Deprem sayısı, $v = M_{min}$ 'dan

büyük veya eşit depremlerin ortalama sayısıdır.

Herhangi bir zaman aralığında birbirinden farklı magnitüdü bir depremin olma olasılığı Poisson modelinden

$$P(M) = 1 - e^{-N(M)T} \quad (10)$$

ile verilir. Burada $P(M)$, bir T zamanında en az bir depremin olma olasılığıdır. $N(M)$ değeri (8) nolu eşitlikten elde edilir.

Depremlerin dönüş periyodu ise

$$Q = \frac{1}{N(M)} \quad (11)$$

bağıntısından hesaplanır. Çalışma alanı için farklı magnitüd değerleri için hesaplanan sismik risk ve dönüş periyodları Çizelge 2' de verilmiştir. Grafik olarak gösterim sunumları ise sırası ile Şekil 7 ve Şekil 8' de görülmektedir.

Çizelge 2. Çalışma alanı için sismik risk ve dönüş periyodları.

Table 2. The seismic risk and return periods for the study region.

M	N(M)	Yıl						Q (Dönüş Peryodu)
		10	20	30	40	50	75	
3.0	1.7057	99.99	100	100	100	100	100	0.58
3.5	0.9814	99.99	100	100	100	100	100	1.02
4.0	0.5647	99.64	99.99	99.99	100	100	100	1.77
4.5	0.3249	96.11	99.85	99.99	99.99	99.99	100	3.07
5.0	0.1869	84.57	97.62	96.63	99.94	99.99	99.99	5.35
5.5	0.1076	65.89	88.36	96.03	98.64	99.53	99.96	9.29
6.0	0.0619	49.14	70.99	84.37	91.58	95.47	99.03	16.15
6.5	0.0356	29.95	50.94	65.63	75.93	83.14	93.08	28.09

SONUÇLAR

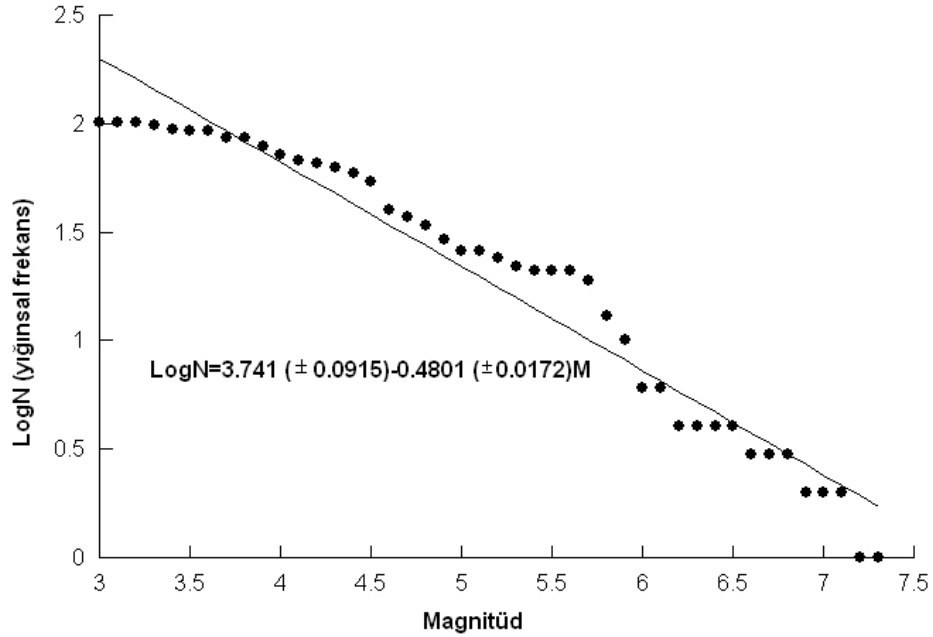
Sivas ili ve çevresinde, 1904-2010 yılları arasında meydana gelmiş toplam 102 adet deprem verisinin meydana gelmiş toplam 102 adet deprem verisinin ($M_s \geq 3.0$) episantr dağılımına bakıldığında depremlerin yüzeyde gözlemlenen faylar ile uyumlu olduğu ve Sivas'ın kuzeyi ve doğu-güney doğu-

sunda (Şekil 3); derinliklerin ise 10-30 km arasında bir yay şeklinde yoğunlaştığı ($38^\circ - 39^\circ$ doğu boylamları arasında) (Şekil 5) görülmektedir.

Sivas ili için Gutenberg-Richter bağıntısı kullanılarak depremsellik parametrelerinden a ve b katsayıları en küçük kareler yöntemi ile sırasıyla 3.741

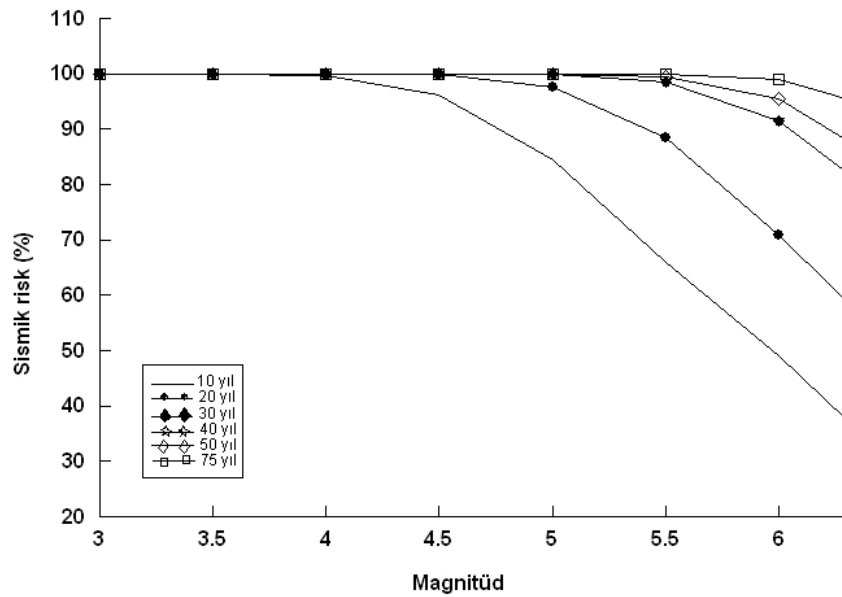
(± 0.0915) ve 0.4801 (± 0.0172) olarak hesaplanmıştır. Tektonik olarak aktif bölgelerde genelde b değeri 1 'dir (Singh vd., 2012). Deprem aktivitesi düşük olan yerlerde ise düşük b değerleri elde edilir. Sivas için bulunan düşük b değeri, çalışma alanında 1904-2010 yılları arasında yüksek

magnitüdü ($M_s \geq 6.0$) depremlerin azlığına bağlanabilir (Şekil 4). Ayrıca çalışma alanındaki düşük b değeri ve sismik aktivite, kabuktaki düşük dereceli heterojenliklerden ve yüksek rheolojik (rheological) gerilmeden de kaynaklanmış olabilir (Scholz, 1968; Mori ve Abercrombie, 1997).



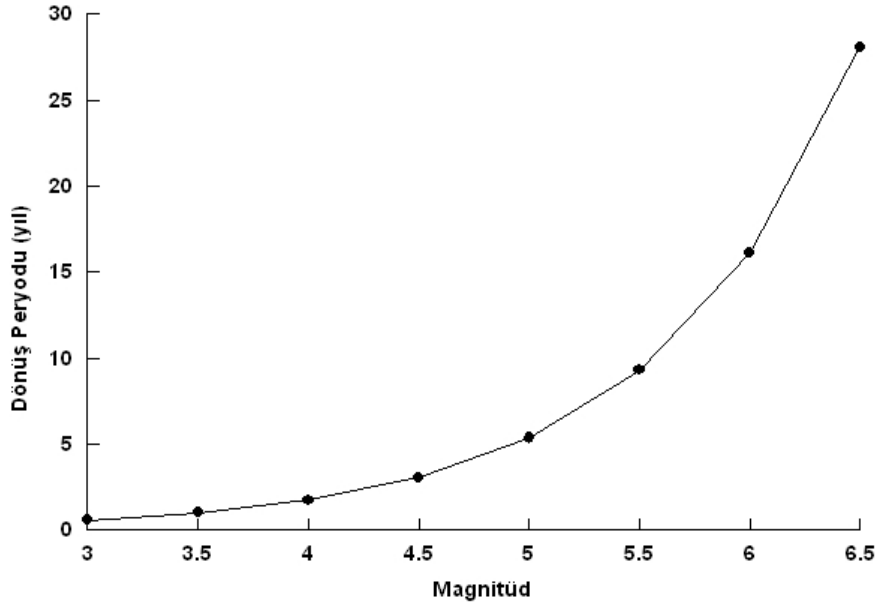
Şekil 6. Gutenberg-Richter magnitüd-frekans ilişkisi.

Figure 6. The Gutenberg-Richter magnitude-frequency relationship.



Şekil 7. Çalışma alanı için farklı büyüklükteki depremlerin meydana gelme olasılıkları.

Figure 7. The occurrence probability of earthquakes of different magnitudes.



Şekil 8. Çalışma alanı için depremlerin dönüş periyodları.

Şekil 8. The return periods of the earthquakes for the study region.

Çalışma alanı için Poisson modeli kullanılarak hesaplanan sismik risk sonuçları incelendiğinde (Şekil 7, Çizelge 2) 20 yıl içinde 5.0 ve 6.5 büyüklüğünde deprem olma olasılığı sırasıyla %97.62 ve %50.94; dönüş periyodları ise 5.35 ve 28.09 yıl olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- Bağcı, G., 2000. İzmir ve çevresinin deprem riski. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 239-247.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America 34, 185-188.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1956. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. Bulletin of the Seismological Society of America 46, 105-145.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O., Temiz, H., 1997. A palaeomagnetic study of the Sivas Basin, central Turkey: Crustal deformation during lateral extrusion of the Anatolian Block. Tectonophysics 271, 89-105.
- Kayabali, K., Akin, M., 2002. Seismic hazard map of Turkey using the deterministic approach. Engineering Geology 69, 127-137.
- Kramer, S.L., 1995. Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall PTR, 653 pages.
- Liechti, D., Ruettener, E., Eugster, S., Streit, R., 2000. The impact of a and b value uncertainty on loss estimation in the reinsurance industry. Annali Di Geofisica 43, 23-30.
- Liu, J., Zhuang, J.C., David, V.J., Shi, Y.L., Ma L., 2000. The estimation of yearly probability gain for seismic statistical model. Acta Seismologica Sinica 13, 38-49.
- Mori, J., Abercrombie R.E., 1997. Depth Dependence of Earthquake Frequency-Magnitude Distributions in California. Journal of Geophysical Research 102, 15081-15090.
- Özmen, B., 2013. Ankara için deprem olasılığı tahminleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri 34, 23-36.
- Scholz, C. H., 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes. Bulletin of

- Seismological Society of America 58, 399-415.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Singh, A.P., Mishra, O.P., Kumar, D., Kumar, S., Yadav, R.B.S., 2012. Spatial variation of the aftershock activity across the Kachchh Rift Basin and its seismotectonic implications. *Journal of Earth System Science* 121, 439-451.
- Turcotte, D.L., 1986. A fractal model of crustal deformation. *Tectonophysics* 132, 261-269.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology* 74, 265-291.
- Utsu, T., 1965. A method for determining the value of b in a Formula $\log n = a - bM$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes (with English abstract). *Geophysical Bulletin Hokkaido University* 13, 99-103.
- Wang, J.H., 1988. B-Values of Shallow Earthquakes in Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America* 78, 1243-1254.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., 2006. Characteristic features and structural evolution of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 164-176.
- Zhang, T.Z., 1993. A non-stationary Poisson model of long term seismicity in Northern China. *Acta Seismologica Sinica* 6, 1057-1061.

İnternet Kaynakları:

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <http://www.deprem.gov.tr> (erişim tarihi 08/01/2014).
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Türkiye Deprem Bölgeleri 1996. <http://www.deprem.gov.tr> (erişim tarihi:24.12.2013).
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. Ulusal Deprem İzleme Merkezi (www.koeri.boun.edu.tr) (erişim tarihi 06/01/2014).
- International Seismological Center (ISC). <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin> (erişim tarihi: 01.08.2012).

Doç.Dr. Funda BİLİM

Cumhuriyet Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
58140 SİVAS

fbilim@cumhuriyet.edu.tr



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ Dergisi

Cumhuriyet
EARTH SCIENCES
Journal

YAYIN İLKELERİ VE YAZIM KURALLARI

Yazıların nitelikleri

“Cumhuriyet YERBİLİMLERİ Dergisi” nde yayınlanması istemiyle gönderilecek yazıların, yerbilimlerinin herhangi bir alanında (jeoloji, maden, jeofizik, hidrojeoloji, jeomorfoloji, deprem, jeoteknik, petrol vb.) bir konuyu içermesi, daha önce Türkçe olarak yayınlanmamış olması ve aşağıdaki niteliklerden en az birine sahip olması gerekir.

a) Yerbilimleri alanında bilimsel yöntemlerle yapılmış, özgün sonuçları bulunan ve yerbilimlerine katkı oluşturacak bir çalışma,

b) Yerbilimlerinin herhangi bir konusunda önceden yapılmış çalışmalarını eleştirici yaklaşımla derleyen ve yeni görüşler ortaya koyan derleme,

c) Yerbilimleri konusunda, Türkiye’yi ve Türkiye’deki yerbilimcileri büyük ölçüde ilgilendiren, fakat yabancı bir dilde yayınlanmış bir yazının Türkçe’ye çevirisi.

Yazım Dili

Yerbilimleri Dergisinde yayın dili olarak Türkçe ve İngilizce kullanılmaktadır. Dergide yayınlanacak makalelerin başlıkları, özetleri, çizelge ve şekil açıklamaları Türkçe ve yabancı dilde (İngilizce) olmak üzere iki dilde birlikte verilmektedir.

Makale Yazım Kuralları

1. Makalenin tümü metni çift aralıkla Windows Word programı ile 10 punto ve Arial karakterinde yazılmış olmalıdır. Metin sürekli satır ve sayfa numarası ile hazırlanmalıdır.

2. Şekiller bilgisayar çizim programları (Freehand, CorelDraw vb.) kullanılarak çizilmeli ve “jpeg” formatında gönderilmelidir.

3.Şekil ve çizelge başlıkları Türkçe ve İngilizce olarak ayrı liste halinde metin sonunda verilmelidir. Şekil ve çizelgeler birbirinden ayrı olarak numaralandırılmalıdır.

4.Bütün çizimlerde çizgisel ölçek kullanılmalıdır.

5.Şekil ve çizelge boyutları tek sütun için 7.5x23 cm, çift sütun için 16x23 cm den büyük olmamalıdır.

ÖZ

Anahtar kelimeler

ABSTRACT

Key words

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

Kaynaklara Değınme

Makale metni içinde kaynaklara değınme aşağıdaki örneklere uygun olarak yapılmalıdır:

.....(Y. soyadı, 1988), (Y. soyadı ve Y. soyadı, 1988), (Y. soyadı vd., 1988)

.....Y. soyadı (1988), Y. Soyadı ve Y. Soyadı (1988) göre, Yazar vd.'ne (1988) göre
Kişisel (sözlü) görüşmeler(I.Yılmaz, 2009, C.Ü.)....biçiminde belirtilmelidir.

Kaynakların Yazılması

Makale metni içerisinde değınilen kaynaklar aşağıdaki örneklere uygun şekilde verilmelidir:

Özgül, N., 1976.Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 65-78.

Brown, G., Brindley, G.W., 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, G.W. Brindley and G.Brown (eds.), Mineralogical Society, London, 305-360.

Velde, B., 1977 Clays and Clay Minerals in Naturel and Synthetic Systems. Developments in Sedimentology 21, Elsevier, Amsterdam, 218 p.

Çağlı, S., Kırıl, N., 1993. Sivas-Hafik-Kaçak Köyü AR-46519 nolu talk ruhsat sahasının maden jeolojisi raporu. MTA Rapor No. 9512, 24 s.

Yazıların Gönderilmesi

Yazılar aşağıda verilen dergi ve editöre ait elektronik posta adreslerinin her ikisine birlikte gönderilmelidir.

Prof. Dr. Işık YILMAZ

Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
58140 SİVAS

Telefon : 0-346-219 10 10/1305 Fax : 0-346-219 11 71

yerbilimleri@cumhuriyet.edu.tr
isik.yilmaz@gmail.com



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ
Dergisi

Cumhuriyet
EARTH SCIENCES
Journal

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Types of contributions

Manuscripts submitted in journal of “Cumhuriyet EARTH SCIENCES Journal” should have not been published and/or simultaneously submitted elsewhere. This journal is concerned with original research, new developments and case studies in any branch of earth sciences such as; geology, mining, geophysics, hydrogeology, geomorphology, earthquake, geotechnique, oil, etc.

Language

The languages of the journal are Turkish and English. Titles, abstracts, and captions of figures and tables are written in Turkish and English.

Preparation of manuscripts

1. Manuscripts should be typed double-spaced throughout, at a font size of 10 point (Arial), and with continuous line and page numbers.
2. Figures should be prepared using computer software (Freehand, CorelDraw etc.) and their “jpeg” files should be submitted.
3. Figure and Table captions must be prepared as a separate page at the end of the text.
4. Line scale must be submitted in figures if it is needed.
5. Sizes of the figures and tables are not allowed larger than 7.5x23 cm for single column, 16x23 cm for double column.

Manuscripts should generally be structured as follows.

Title (English and Turkish)

Name(s) of author(s) and their affiliations.

(The name and e-mail address of the corresponding author must appear following the author names)

ABSTRACT

Key words

INTRODUCTION

PRIMARY HEADING

Primary Sub Heading

Secondary sub heading

Tertiary sub heading

RESULTS AND CONCLUSIONS

ACKNOWLEDGEMENT(S)

REFERENCES

Citation of references in the text

In the text, references must be cited as following.

..... (Surname, 1988)

..... (Surname and Surname, 1988)

..... (Surname et al., 1988)

..... Surname (1988)

..... Surname and Surname (1988)

..... Surname et al. (1988)

Personal communications(I.Yılmaz, 2005, C.Ü.)

Preparation of references

All references cited in the text, and in captions of figures and tables must be written in a list of "REFERENCES". Some examples for reference layout are given below.

Journal references:

Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 65-78.

Karacan, E., Yılmaz, I., 1997. "Collapse dolines in the Miocene gypsum: an example from SW Sivas (Turkey)". Environmental Geology, Springer-Verlag, 29 (3/4), 263-266.

Proceeding references:

Brown, G., Brindley, G.W., 1980. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, G.W. Brindley and G.Brown (eds.), Mineralogical Society, London, 305-360.

Book references:

Velde, B., 1977 Clays and Clay Minerals in Naturel and Synthetic Systems. Developments in Sedimentology 21, Elsevier, Amsterdam, 218 p.

Published report references:

Çağlı, S., Kıral, N., 1993. Sivas-Hafik-Kaçak Köyü AR-46519 nolu talk ruhsat sahasının maden jeolojisi raporu. MTA Rapor No. 9512, 24 s.

Personal communications:

Yılmaz, I., 2005. Personal communication. Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering, Sivas, Turkey.

Web page references:

Weier, J., Herring, D., 2005. Measuring vegetation (NDVI and EVI). Earth Observatory Library of NASA. <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/>

Submission of manuscripts

Manuscripts for publication should be electronically (via e-mail) submitted to Editor whose address and e-mails are given below.

Prof. Dr. Işık YILMAZ

Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
58140 SİVAS

Telefon : 0-346-219 10 10/1305 Fax : 0-346-219 11 71

yerbilimleri@cumhuriyet.edu.tr

isik.yilmaz@gmail.com

(Please send manuscripts to both e-mails)

Yayın Türü: Hakemli Yerel Süreli Yayın
Publication Type: *Peer Reviewed National Journal*

Basım: Cumhuriyet Üniversitesi – Rektörlük Basımevi – Sivas
Printed by: *Cumhuriyet Üniversitesi – Rektörlük Basımevi - Sivas*

ISSN: 1016-7625