



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 GÖKÇE

**EDİTÖR (EDITOR)**

Prof.Dr. IŞIK YILMAZ

**Yardımcı Editör (Assistant Editor)**

Yrd.Doç.Dr. Nazan YALÇIN ERİK

**Yayın Kurulu (Editorial Board)**

Hasan BAYHAN (Hacettepe Ü.)  
Martin BEDNARIK (Comenius Univ.)  
Erdin BOZKURT (O.D.T.Ü.)  
Durmuş BOZTUĞ (Tunceli Ü.)  
Atilla ÇİNER (Hacettepe Ü.)  
Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Ü.)  
Vedat DOYURAN (O.D.T.Ü.)  
Marian DRUSA (Zlina Univ.)  
Burhan ERDOĞAN (Dokuz Eylül Ü.)  
Yavuz ERKAN (Hacettepe Ü.)  
Aziz ERTUNÇ (Süleyman Demirel Ü.)  
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Ü.)  
Ergun GÖKTEN (Ankara Ü.)  
Naci GÖRÜR (İ.T.Ü.)  
M. Cemal GÖNCÜOĞLU (O.D.T.Ü.)  
Nilgün GÜLEÇ (O.D.T.Ü.)  
Fikret KAÇAROĞLU (Muğla Ü.)  
Ali KAHRİMAN (Okan Üniv.)  
Ergun KARACAN (Muğla Ü.)  
Remzi KARAGÜZEL (İ.T.Ü.)  
Ali İhsan KARAYİĞİT (Hacettepe Ü.)  
Ali KOÇYİĞİT (O.D.T.Ü.)

Marian MARSCHALCO (Ostrava Tech. Univ.)  
Engin MERİÇ (İstanbul Ü.)  
Aral OKAY (İ.T.Ü.)  
Biswajeet PRADHAN (Putra Malaysia Univ.)  
Ahmet SAĞIROĞLU (Fırat Ü.)  
Cem SARAÇ (Hacettepe Ü.)  
Gürol SEYİTOĞLU (Ankara Ü.)  
Harun SÖNMEZ (Hacettepe Ü.)  
Abdürrahim ŞAHBAZ (Muğla Ü.)  
Orhan TATAR (Cumhuriyet Ü.)  
Abidin TEMEL (Hacettepe Ü.)  
Mahmut TUNÇ (Cumhuriyet Ü.)  
Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Ü.)  
Asuman TÜRK MENOĞLU (O.D.T.Ü.)  
Reşat ULUSAY (Hacettepe Ü.)  
Taner ÜNLÜ (Ankara Ü.)  
Baki VAROL (Ankara Ü.)  
Namık YALÇIN (İstanbul Ü.)  
Mefail YENİYOL (İstanbul Ü.)  
Ali YILMAZ (Cumhuriyet Ü.)  
Osman YILMAZ (İstanbul Ü.)  
Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.)



**Cumhuriyet**

---

**YERBİLİMLERİ**  
**Dergisi**

**Cumhuriyet**  
**EARTH SCIENCES**  
Journal

**Yazışma Adresi**  
**(Correspondance Address):**

**Prof. Dr. Işık YILMAZ**

Cumhuriyet Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi Dergisi

Seri A

**YERBİLİMLERİ**

58140 SİVAS

Telefon

0-346-219 10 10 (1305 Dahili)

Faks

0-346-219 11 71

e-posta

[iyilmaz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:iyilmaz@cumhuriyet.edu.tr)

[isik.yilmaz@gmail.com](mailto:isik.yilmaz@gmail.com)



Cumhuriyet

YERBİLİMLERİ  
Dergisi

Cumhuriyet  
EARTH SCIENCES  
Journal

Cilt / Volume : 28

No.: 2

2011

İÇİNDEKİLER  
(CONTENTS)

- Hotamış Formasyonu (Pliyosen) çökellerinin organik fasiyes özellikleri, Karapınar (Konya)**  
*Organic facies characteristics of Hotamış Formation (Pliocene) sediments, Karapınar (Konya)*  
**Mehmet ALTUNSOY, Orhan ÖZÇELİK, Selin HÖKEREK, Nazan YALÇIN ERİK, Mehmet TAKA, Ferhat ACAR** 77
- Almus Fay Zonu'nun jeolojik özelliklerinin uzaktan algılama yöntemleri ve sayısal arazi modeli ile incelenmesi**  
*Analysis of geological characteristics of the Almus Fault Zone by using remote sensing methods and digital elevation modeling*  
**Önder GÜRİSOY, Şinasi KAYA, Kaan Şevki KAVAK** 87
- Altınova (Tekirdağ) yöresinde yapılan zemin sondajlarındaki SPT verilerinden yararlanılarak yapılan taşıma gücü analizi**  
*Bearing capacity analyses using the SPT data from boreholes in Altınova (Tekirdağ) environ*  
**Sevim Avcı YENER , İ. Fedatı ARAL** 101
- Şişebilen killi zeminlerin doğal jips katkısı kullanılarak iyileştirilmesi**  
*Stabilization of swelling clay soils by use of natural gypsum additive*  
**Işık YILMAZ, Berrin CİVELEKOĞLU** 115

**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

## Hotamış Formasyonu (Pliyosen) çökellerinin organik fasiyes özellikleri, Karapınar (Konya)

### *Organic facies characteristics of Hotamış Formation (Pliocene) sediments, Karapınar (Konya)*

Mehmet ALTUNSOY<sup>1</sup>, Orhan ÖZÇELİK<sup>1</sup>, Selin HÖKEREK<sup>1</sup>, Nazan YALÇIN ERİK<sup>2</sup>,  
Mehmet TAKA<sup>3</sup>, Ferhat ACAR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

<sup>3</sup> MTA Genel Müdürlüğü 06800 Ankara <sup>4</sup> Büyükşehir Belediyesi 07300 Antalya

#### ÖZ

Organik maddece zengin Pliyosen çökelleri, Türkiye'nin orta-güney bölümünde Karapınar (Konya) yöresinde yaygın olup bu çalışma kuyu örneklerinden yapılmıştır. Pliyosen sedimentlerinden elde edilen detaylı veriler farklı zonlarda organik fasiyes tanımlamalarına olanak verir. Hotamış Formasyonu; kil, silttaşı, çamurtaşı, gityalı kiltası, kumtaşı ve kömürden oluşur. Hüminit yansıma (% 0.22-0.48) ve toplam organik karbon (% 0.21-46.99) sonuçları diyajenez sonu evresine işaret eder. Rock-Eval analiz değerleri, hidrojen indeksinin (HI) 14-256 mg HC/g TOC ve oksijen indeksinin de (OI) 77-529 HC/g CO<sub>2</sub> aralığında değiştiğini gösterir. Mikroskopik çalışmalar, incelenen 11 adet sondaj kuyusundan elde edilen örneklerdeki organik maddenin ana bileşeninin odunsu (% 15-90), az miktarda da otsu (%5-45), amorf (%5-35) ve kömürsü (%5-40) olduğunu göstermiştir. Bu materyallerdeki sporların renkleri sarı ve koyu sarıdır. Bu veriler ortamda farklı organik fasiyeslerin (C, CD ve D) geliştiğine işaret eder. C fasiyesi gaz oluşum fasiyesidir. Organik madde, oksidasyonun değişik evrelerindeki karasal girdiler tarafından domine edilmiştir. CD fasiyesi, yeniden işlenmiş organik madde ve karasal bitki kırıntıları gibi materyalleri içeren bir karışık kaynağı yansıtır. D fasiyesi yüksek oranda dekompoze, yeniden işlenmiş organik maddelerden oluşur.

**Anahtar Kelimeler:** Karapınar (Konya), Kömür, Organik Fasiyes, Organik Jeokimya, Pliyosen.

#### ABSTRACT

*Pliocene organic-rich sediments are widespread in the Karapınar region (Konya) of south-central Turkey and have been studied in well samples. Detailed data from Pliocene sediments (Hotamış Formation) made it possible to construct an organic-facies framework using different zonations. Hotamış Formation is composed of clay, siltstone, mudstone, gyttia claystone, sandstone and coal. Results indicate a late diagenesis stage according to total organic carbon (0.21-46.99 %) and huminite reflectance (0.22-0.48 %) values. Rock-Eval pyrolysis data display hydrogen indices (HI) of 14 to 256 HC/g TOC and oxygen indices (OI) of 77 to 529 HC/g CO<sub>2</sub>. Microscopic studies show that the main composition in the organic matter of the sediments are woody (15-90%), with minor portions of herbaceous (5-45%), amorphous (5-35%) and coaly (5-40%) in the investigation 11 wells. Spore colors of these materials are yellow and dark yellow. These data demonstrate that the organic facies (C, CD and D) were developed in this environment. C facies is gas-prone facies. The organic matter is dominated by terrestrial debris in various stage of oxidization. CD facies reflects a mixture of source materials including terrestrial plant detritus and reworked organic matter. D facies consists of highly decomposed, reworked organic matter.*

**Key Words:** Karapınar (Konya), Coal, Organic Facies, Organic Geochemistry, Pliocene.

## GİRİŞ

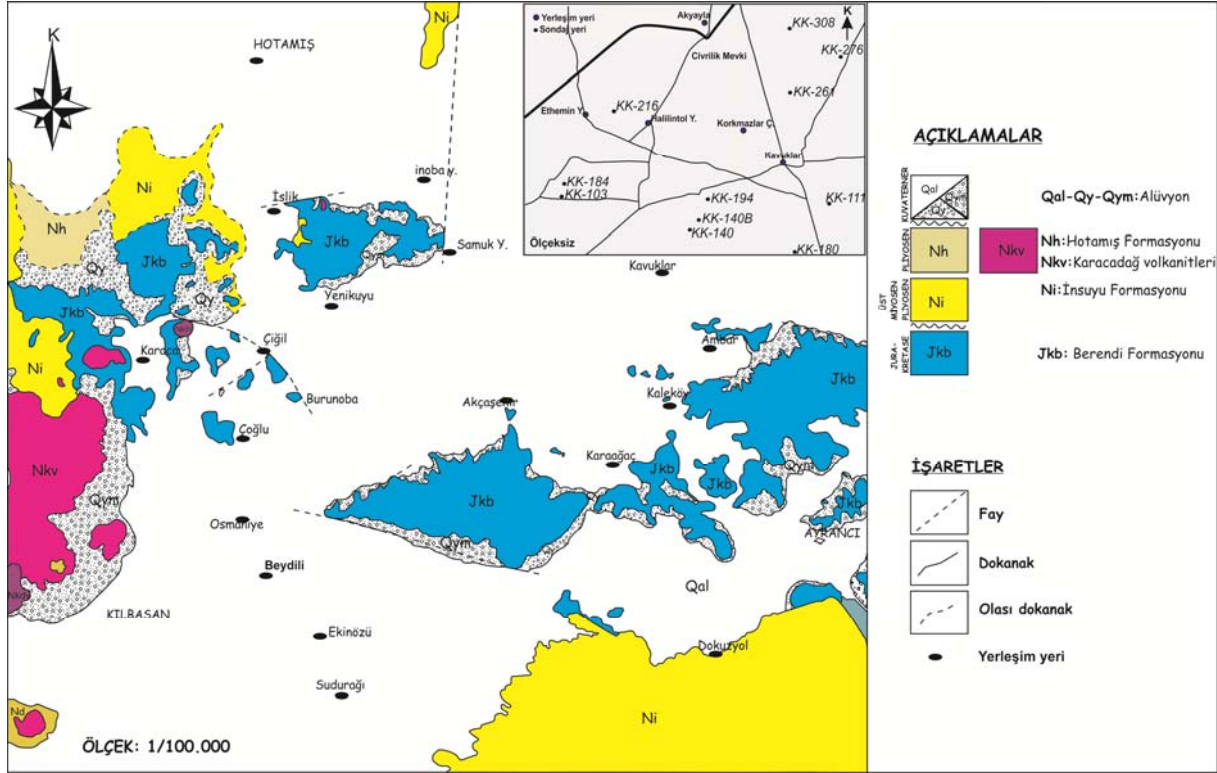
Çalışma alanı Anadolu Levhası'nın orta-alt kesimlerinde yer almakta olup neotektonik rejim değişikliğinden etkilenmiştir. Orta-Geç Miyosen sürecinde Bitlis/Zagros Kenet kuşağı boyunca Arabistan-Avrasya levhalarının çarpışması başlamış, bu çarpışma Türkiye bütününde bölgenin tektoniğinde çok belirgin etkiler oluşturmuştur. Özellikle Serravaliyen sonrası jeolojik evrimin gelişiminde ve bölgesel olarak şekillenmesinde ana etkeni meydana getirmiştir. Bu çarpışma sonucu Üst Miyosen'den itibaren İç Anadolu'da yanall atımın etken olduğu ova rejimi oluşmaya başlamıştır (Şengör vd., 1985). Bu rejim içerisinde çalışma alanını da kapsayan bölge şekillenmeye başlamış ve çalışma sahasındaki kenar fayları oluşmuştur. Üst Miyosen-Pliyosen'de havzada çok geniş alanları kapsayan sığ gölssel, genellikle kireçtaşıdan oluşan İnsuyu Formasyonu çökelmiştir. Pliyosen-Pleyistosen zaman diliminde havzadaki kenar faylarının harekete geçmesiyle (2. Grabenleşme) havza derinlik kazanmaya başlamış, bölge sulu ortama dönüşmüş ve kömür içeren Hotamış Formasyonu çökelmiş ve Karadağ volkanitleri oluşmuştur. Daha sonra havza genç Kuvaterner yaşlı çökellerle dolarak bugünkü jeomorfolojik şeklini almıştır.

Bölgede Jura-Kretase yaşlı Berendi Formasyonu havzanın temelini oluşturur (Şekil 1). Bu formasyon kristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı ile temsil edilir. Üzerine uyumsuzlukla gelen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı kayaçlar ise İnsuyu ve Hotamış Formasyonu olarak adlandırılır. İnsuyu Formasyonu (Üst Miyosen- Pliyosen); kireçtaşı, kilitaşı ve kumtaşları içerirken Hotamış Formasyonu (Pliyosen) ise kilitaşı, çamurtaşı, kumtaşı ile ardalanmalı iki kömür damarından oluşur. En genç birimler ise Kuvaterner yaşlı aüvyonlardır (Şekil 2). Bölgede yapılan önceki çalışmalar, kömür jeolojisi, tektonik, stratigrafi ve sedimantoloji ağırlıklıdır. Genel jeoloji amaçlı çalışmalar Pasquare vd. (1988), Ulu vd., (1994), Şafak (1997), Gürsoy vd. (1998) ile Şafak ve Taner (1998) tarafından yapılmıştır. Kömür jeolojisi ile ilgili çalışmalar Berker vd. (2008), Murat vd. (2007) ve Salman (2010) gibi araştırmacılara aittir. Bu çalışmada, Konya Neojen Havzası'nın güneyinde yer alan

Karapınar yöresinde yüzeyleyen Pliyosen yaşlı Hotamış Formasyonu'na ait çökeller, sondaj kuyularından elde edilen örnekler üzerinde, organik petrografi ve organik jeokimyasal çalışmalar ile değerlendirilmiş ve organik fasiyes yorumlaması yapılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Karapınar (Konya) bölgesinde Pliyosen yaşlı Hotamış Formasyonu'na ait birimler 11 adet sondaj kuyusu (KK103, KK184, KK216, KK140, KK140B, KK194, KK180, KK308, KK261, KK111 ve KK276) (Şekil 1) ile kesilmiş ve bunlardan sistematik bir şekilde elde edilen farklı litolojileri (kil, silttaşı, çamurtaşı, gityalı kilitaşı, kumtaşı ve kömür) karakterize eden 171 adet seçilmiş örnek organik jeokimya ve organik petrografi analizlerine tabi tutulmuştur. İnorganik bileşenlerin belirlenebilmesi için 102 örnekte X Ray tüm kayaç difraksiyonu (XRD-TK) ile kil oranı fazla olan 23 XRD kil fraksiyonu XRD-KF) analizi yapılmıştır (TPAO Laboratuvarları, Ankara). Kimyasal analizler için örnekler ASTM standartlarına göre öncelikle tane boyu >100 mesh olacak şekilde öğütülmüş/homojenleştirilmiş ve analiz edilmiştir (MTA MAT Dairesi Laboratuvarları, Ankara). Kömürlü örneklerdeki kimyasal analizler (toplam nem, uçucu madde, kül, sabit karbon ve kalori değeri) incelemeleri İKA 4000 adiabatik kalorimetre ile yapılmıştır. Toplam kükürt, karbon, hidrojen ve azot bileşimlerini içeren elementer analizler de yine bu laboratuvarlarda LECO analizatörü ile gerçekleştirilmiştir. Hüminite (Vitrinite) analizleri için 57 adet örnek ICCP (1998, 2001) standart tekniklerine göre hazırlanmıştır. Mineral bileşimi ve maserallerin belirlenebilmesi için yansımali beyaz ışık ve floresan mikroskopları kullanılmıştır. Organik madde bakımından zengin örnekler, petrografi ve mineralojik bileşim belirlemeleri Axioplan mikroskobu ile vitrinite, liptinit ve inertinit maseral grup oranlarının ortaya çıkarılması için çalışılmıştır. Seçilen örnekler üzerinde standart palinolojik yöntemlerle (Durand ve Nicaise,1980; Tissot ve Welte,1984) kerojen slaytları hazırlanmış ve alttan aydınlatmalı mikroskopta organik madde türleri, kerojen alterasyon ve spor renk indisleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Organik petro-



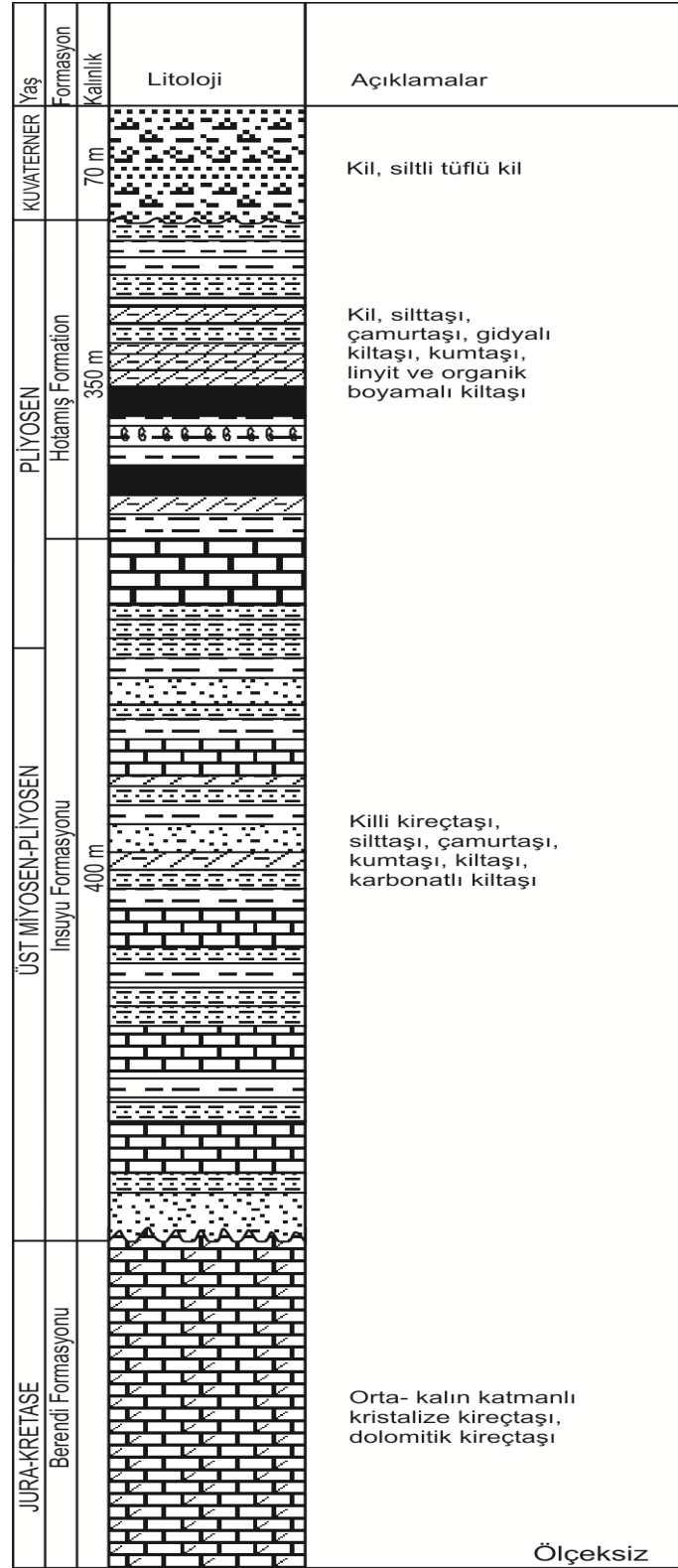
**Şekil 1.** Basitleştirilmiş bölgesel jeoloji haritası ve çalışılan kuyuların lokasyonları (Taka vd. 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).

**Figure 1.** Simplified regional geological map and studied well locations (modified from Taka et.al. 2010).

**Çizelge 1.** İncelenen kuyu örneklerinin organik madde türleri ve spor renk indeks değerleri.

**Table 1.** Organic matter types and spore color index of investigated well samples.

| Örnek No | Amorf (%) | Otsu (%) | Odunsu (%) | Kömürsü (%) | SCI   |
|----------|-----------|----------|------------|-------------|-------|
| KK 184   | 5-15      | 10       | 70-85      | 0-5         | 3-3.5 |
| KK 103   | 0-10      | 10-30    | 40-80      | 0-30        | 3-4.5 |
| KK 194   | 0-5       | 5-10     | 70-90      | 0-20        | 3.5-4 |
| KK 111   | 0         | 10-20    | 80-90      | 0-5         | 3.5   |
| KK 261   | 0-35      | 10       | 15-90      | 0-40        | 3-4   |
| KK 140   | 0-10      | 10-15    | 75-90      | 0-10        | 3.5-4 |
| KK 140B  | 0-5       | 10-15    | 75-90      | 0-10        | 3-4   |
| KK 216   | 0-20      | 10-45    | 35-90      | 0-5         | 3-4   |
| KK 180   | 0-35      | 10       | 20-85      | 5-35        | 3-4   |
| KK 308   | 0-5       | 10-15    | 80-85      | 0           | 3-4   |
| KK 276   | 0-5       | 10       | 85-90      | 0           | 3-4   |



**Şekil 2.** İnceleme bölgesinin stratigrafik dikme kesiti.  
**Figure 2.** Stratigraphic columnar sections of investigation area.



grafi değerlendirmeleri Akdeniz Üniversitesi Jeokimya laboratuvarı (Antalya), Cumhuriyet Üniversitesi Petrol Jeolojisi laboratuvarı (Sivas), TPAO Araştırma Merkezi laboratuvarlarında (Ankara) yapılmıştır. Hidrokarbon ana kaya özellikleri TOC-Rock-Eval piroliz analizi ile değerlendirilmiştir (Espitalié vd.,1985; Peters,1986).

### ORGANİK FASIYES İNCELEMELERİ

İnceleme alanının organik fasiyeslerini ortaya koymak amacıyla organik jeokimyasal ve organik petrografik analizi yapılan örnekler, organik fasiyesleri açısından da değerlendirilmiştir. Bu incelemeler yapılırken organik maddenin miktarı, bileşimi ve diyajenetik durumu dikkate alınmıştır.

Organik fasiyes çalışmalarında genellikle Fang vd. (1993) ve Jones (1987) tarafından ortaya konulan sınıflamalar kullanılmaktadır. Her iki sınıflamada birbirine benzer özellikler göstermektedir. Bu çalışmada Jones (1987) tarafından tanımlanan organik fasiyes sınıflaması kullanılmış, H/C oranı, Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI) ve egemen organik madde türlerine göre 7 ayrı organik fasiyes ayırtlanmıştır. Bunlar; A organik fasiyesi, AB organik fasiyesi, B organik fasiyesi, BC organik fasiyesi, C organik fasiyesi, CD organik fasiyesi, D organik fasiyesi'dir.

Toplam organik karbon içeriğine göre A organik fasiyesi %5-20 arasında değişen değerlerle ifade edilmektedir. Dünya'da örnekleri çok az olan bu fasiyes için Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan ve göl ortamında çökelmiş olan Green River Formasyonu karakteristik bir örnek olarak verilebilir (Anders ve Gerrild,1984).

Büyük petrol alanlarını içinde bulunduran AB ve B organik fasiyesleri genellikle ince taneli denizel ve gölsel sedimanların yer aldığı alanlarda gözlenir. Yer yer karbonatları da içine alan bu fasiyeslere örnek olarak Ortadoğu petrol alanları verilebilir (Jones,1987).

BC ve C organik fasiyesleri %1-3 arasında değişen oranlarda toplam organik karbon içeriğine

sahiptir. Bazen bu aralık daha da düşebilmektedir. Sedimenter ortam olarak çoğunlukla denizel birimlerde B organik fasiyesi çökelirken deltalarda da BC ve C organik fasiyesleri bulunmaktadır. Delta ortamına örnek olarak Mahakam Deltası çökelleri gösterilebilir (Durand ve Oudin,1980; Welte vd.,1979).

C organik fasiyesi, genellikle karasal kökenli ve bir miktar da oksidasyona uğramış organik maddelerden meydana gelir. Gaz oluşumunun gerçekleştiği fasiyestir. Çeşitli kömür yataklarını da içine alan bu fasiyeste gaz alanlarının bulunduğu belirlenmiştir. Buna örnek olarak Batı Avrupa'da geniş alanlarda yüzeyleyen Rotliegedes Formasyonu gaz alanları verilebilir.

Çok az oranda gaz oluşturabilen CD organik fasiyesi ile oluşum karakteristikleri yok denecek kadar az bulunan D organik fasiyesi % 0.5 den daha düşük miktarda toplam organik karbon içeriğine sahiptir. Bu fasiyesler derin deniz ortamları ile kötü boylanmalı sedimentlerin bulunduğu karasal ortamlarda çökelmişlerdir. Bu fasiyesler ait örnekler oldukça boldur.

### Hotamış Formasyonu Organik Fasiyesleri

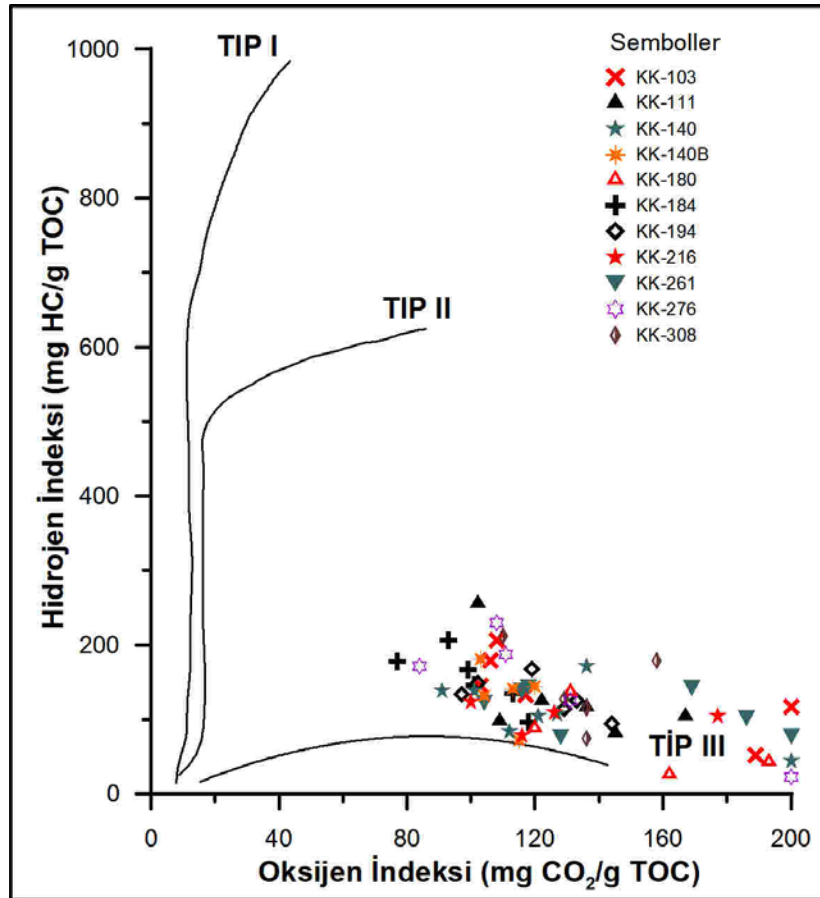
Organik jeokimyasal ve organik petrografik çalışmaların yoğun olarak yapıldığı Hotamış Formasyonu'na ait 11 sondaj kuyusundan alınan ve seçilen 75 adet örneğe ait toplam organik karbon oranlarının % 0.21-46.99 arasında (ortalama % 24.91) olduğu, Rock-Eval pirolizi değerlerinden hidrojen indeksinin (HI) 14-256 mg HC/g TOC arasında (ortalama 118.97 mg HC/g TOC), oksijen indeksinin (OI) 77-529 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasında (ortalama 132.82 mg CO<sub>2</sub>/g TOC) bulunduğu saptanmıştır (Çizelge 2).

Rock-Eval Pirolizleri sonucu elde edilen değerlerin hidrojen indeksi (HI)-oksijen indeksi (OI) diyagramına uygulanması sonucunda formasyona ait organik maddelerin II. ve III. tip kerojen alanlarında, çoğunlukla da III. tip kerojen alanları ve yakın bölümlerinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 3).

**Çizelge 2.** İncelenen kuyuların jeokimyasal karakteristikleri ve organik fasiyesleri.

**Table 2.** Geochemical characteristics and organic facies of investigated wells.

| Kuyu No | TOC (%)     | Piroliz |         | Egemen Organik Madde                                   | Organik Fasiyes |
|---------|-------------|---------|---------|--|-----------------|
|         |             | HI      | OI      |  |                 |
| KK 184  | 19.70-46.99 | 96-206  | 77-118  | Karasal, bazen okside, okside, taşınmış                | C-CD            |
| KK103   | 0.74-40.26  | 47-206  | 103-224 | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK194   | 0.26-42.46  | 15-168  | 94-215  | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK111   | 0.21-41.90  | 24-256  | 98-529  | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK261   | 0.69-38.28  | 76-143  | 104-465 | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK140   | 1.60-41.24  | 44-171  | 91-227  | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK140B  | 34.45-40.83 | 72-181  | 103-120 | Karasal, bazen okside, okside, taşınmış                | C-CD            |
| KK216   | 3.99-28.05  | 78-123  | 100-177 | Karasal, okside, yüksek okside, taşınmış               | CD-D            |
| KK180   | 0.42-34.73  | 26-137  | 120-193 | Karasal, bazen okside, okside, yüksek okside, taşınmış | C-CD-D          |
| KK308   | 2.22-31.60  | 74-212  | 110-158 | Karasal, bazen okside, okside, taşınmış                | C-CD            |
| KK276   | 0.48-36.96  | 23-230  | 84-206  | Karasal, bazen okside, yüksek okside, taşınmış         | C-D             |



**Şekil 3.** İncelenen örneklerin Hidrojen İndeksi–Oksijen İndeksi diyagramı.

**Figure 3.** Plot of Hydrogen Index-Oxygen Index of studied samples.

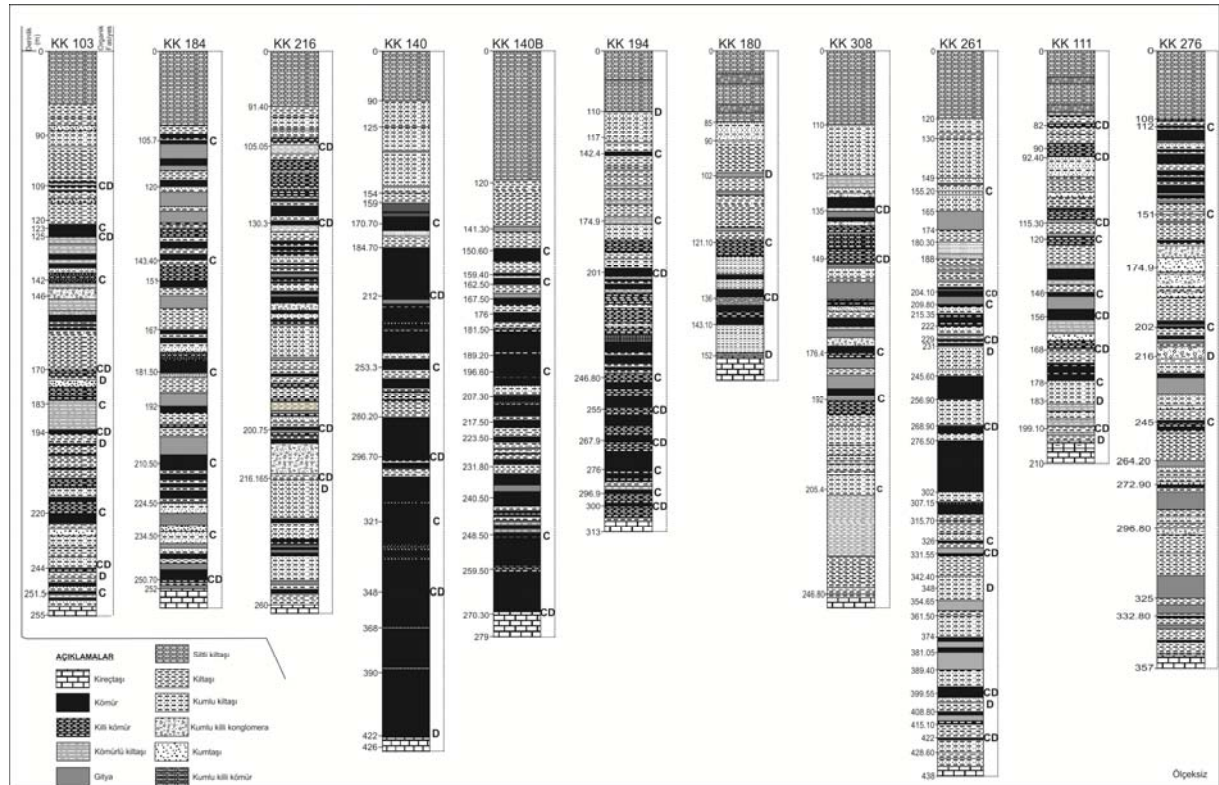
Tüm bu özellikler değerlendirildiği zaman Hotamış Formasyonu'nun C ve CD ve D organik fasiyeslerinde çökelediği sonucu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4, Çizelge 2).

İncelenen örneklerde gözlenen C organik fasiyesinde değişik tiplerdeki karasal kerojen egemendir. Vitrinitlerin hem yapıllı hem de yapısız tipleri bulunmaktadır. Diğer karasal kerojenler ise vitrinitten daha yüksek oluşum kapasitesi gösteren funginit ve inertodetrinit gibi inertinit maserallerdir.

C organik fasiyesindeki kömürlü olmayan sedimentler oksitli sular altında çökelmiş olup çökme oranı oksijensiz ortamın oluşması için yeterince hızlıdır. Bu fasiyesdeki reworked organik maddeden oluşan kerojen de sıvı hidrokarbonları oluşturması açısından önemsizdir. Bazen bol miktarda tanınamayan ince taneli organik madde bulunur. Bundan başka yüksek oranda alterasyona uğra-

mış karasal organik parçalarda görülmekle, genellikle tanımlanabilen kerojenlerin kimyasal özelliklerini verirler.

Bir çok kömürlerin diğer organik fasiyeslerde de bulunmasına karşın çoğunlukla C organik fasiyesinde oluşmuşlardır. C organik fasiyesinde kömür içermeyen sedimanlar oksik sular altında çökelmektedirler. Anoksik ortamın oluşabilmesi için çökelim yeterli olmamakla beraber, bu fasiyesde hem denizel hem de denizel olmayan sedimanlar bulunmaktadır. Özellikle ba-taklıklar bu fasiyestedir. Bu sedimanlar klastik çökeltiler halinde şelf ve kıta eğimi üzerinde karalardan taşınmış birimler şeklinde de görülürler. Aynı alanlarda BC ve CD organik fasiyesleri de bulunabilir. Türbiditler ve slumplarla taşınan C organik fasiyesindeki en iyi köken kayalar Tersiyer ve Mesozoyik şelflerde bulunan denizel kaynak kayalardır.



Şekil 4. İncelenen kuyuların litolojisi ve organik fasiyes özellikleri.

Figure 4. Lithology and organic facies characteristics of investigated wells.

C organik fasiyesi, karbonat kayalarda da oluşabilir. Ancak bunların hacimleri önemli değildir. Genellikle uzanımları sınırlı olan ince katmanlar şeklinde dağılmışlardır. Karasal organik maddenin az bulunması durumunda karasal organik madde kil ile birlikte bulunur.

Karbonat ortamında kerojen ilk başlangıçta AB-B organik fasiyesi potansiyelini gösterirken daha sonra su-sediment ara yüzeylerindeki oksijen içeriğindeki değişimlerle C organik fasiyesine dönüşmektedir. Ancak C organik fasiyesindeki karbonat kayalar ekonomik yönden bir önem taşımamaktadırlar.

C organik fasiyesi literatürde gaz oluşturma eğiliminde olan fasiyes olarak geçmektedir. Gaz ve yoğunlaşmış ürünlerin C organik fasiyesinde oluşabileceği deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Hotamış Formasyonu CD organik fasiyesine işaret eden organik madde parçalanmalarının değişik basamaklarında bulunan karasal bitki kalıntılarının karışımları, reworked organik maddenin değişik miktarları ve bilinmeyen orijinlere ait çok az miktarda ince taneli amorf organik maddeden meydana gelmiştir.

CD organik fasiyesinin en kalın kesitleri derin denizlerde ve yüksek dağ dizilerinin önünde çökelmiştir. CD organik fasiyesi sedimentleri denizel ve gölsel olabilmekte ve çoğunlukla iç şelfte gelişmektedir. İnce taneli alüvyal sedimentler de bu fasiyede bulunabilmektedir. Anlatılan bu özellikler, incelenen formasyonun sedimanter çökelim özelliklerine benzemektedir.

Formasyonun killi ve karbonatlı düzeylerinde toplam organik karbon miktarı genellikle düşük, organik maddeler yüksek dekompoze ve taşınmışlardır. Bu özellikler D fasiyesinin karakteristikleri ile örtüşmektedir. Kuyular ayrı ayrı ele alınarak organik fasiyes sınıflandırması yapıldığında yaygın organik fasiyesin KK 103' de CD, KK184' de C, KK216' da CD, KK140'da C ve CD, KK140B' de C, KK194'de C, KK180'de D, KK308'de C ve CD, KK261'de CD, KK111 de CD ve KK276'da da C şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir.

## SONUÇLAR

- Pliyosen yaşlı Hotamış formasyonu kil, silttaşı, çamurtaşı, gityalı kiltası, kumtaşı ve kömürden oluşmuştur.

- Hüminit yansıma değerleri % 0.22-0.48 aralığındadır.

- Toplam organik karbon sonuçları (TOC) % 0.21-46.99 aralığında olup ortalama %24.91 dir. Hüminit yansıma ve toplam organik karbon değerleri diyajenez sonu evresine işaret eder.

- Rock-Eval piroliz analiz verileri, hidrojen indeksinin (HI) 14-256 mg HC/g TOC (ortalama 118.97 mg HC/g TOC)ve oksijen indeksinin de (OI) 77-529 mg CO<sub>2</sub>/g TOC (ortalama 132.82 mg CO<sub>2</sub>/g TOC) aralığında değiştiğini gösterir.Buna göre formasyonun organik madde içeren litolojilerinin kerojenleri II/III ve III. tiptir.

- Mikroskopik çalışmalar, incelenen 11 adet sondaj kuyusundan elde edilen örneklerdeki egemen organik maddenin odunsu (% 15-90), diğerlerinin de otsu (%5-45), amorf (%5-35) ve kömürsü (%5-40) olduğunu göstermiştir.

- Organik materyallerdeki sporların renkleri sarı ve koyu sarıdır. Spor renk indisi (SCI) ortalama 3.5-4 arasındadır.

- Bu veriler Jones (1987) sınıflamasına göre ortamda C,CD ve D organik fasiyeslerinin geliştiğine işaretir.

- C fasiyesi gaz oluşum fasiyesidir. Organik madde, oksidasyonun değişik evrelerinde karasal girdiler bakımından baskındır. Fasiyes, Hotamış Formasyonu için kömür ve kömürlü kil litolojisi ile ilişkilidir.

- CD fasiyesi, yeniden işlenmiş organik madde ve karasal bitki kırıntıları gibi materyalleri içeren bir karışık kaynağı yansıtır. Fasiyes, formasyonun kömür, kömürlü kiltası ve gityalı kiltası litolojileri ile ilişkilidir.

- D fasiyesi ise yüksek oranda parçalanmış, taşınmış ve yeniden işlenmiş organik maddelerden oluşur. Bu tip organik fasiyesler zayıf oluşumlar halinde denizel ve gölsel sedimentlerde görülürler

ve formasyonun kıltaşı, kireçtaşı, siltli kıltaşı ve kumtaşı litolojisi ile ilişkilidir.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi'nce desteklenmiştir (Proje No: 2010.02.0121.017). Yazarlar, katkılarından dolayı Feridun Alp Uğur'a (TPAO) teşekkür ederler.

### KAYNAKLAR

- Andres, D. E., and Gerrild, P. M., 1984. Hydrocarbon source rocks of the Greater Rocky Mountain region. In: J. Woodward, F.F. Melsner and J.L. Clayton (eds.), RMAG, Denver, Colorado. 513-529.
- Berker, K., Tunoğlu, C. ve Ertekin, İ.K., 2008. Pliocene-Lower Pleistocene Ostracoda Fauna from İnsuyu Limestone (Karapınar-Konya/Central Turkey) and its Paleoenvironmental Implications. *Geological Bulletin of Turkey*, 51(1), 1-31.
- Durand, B. and Nicaise, G., 1980. Procedures for kerogen isolation. In: B. Durand (ed.), *Kerogen*: Paris, Editions Technip, 35-53.
- Durand, B., ve Oudin, J.L., 1980. Proc. 10 the World Petr. Cong, 2, 1-12.
- Espitalié, J., Deroo, G., and Marquis F., 1985. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications (deuxième partie), *Revue Institut Français du Pétrole*, 40, 755-784.
- Fang, H., Jianyu, C., Yongchuan, S. and Yaozong, L., 1993. Application of organic facies studies to sedimentary basin analysis: a case study from the Yitong Graben, China. *Organic Geochemistry*, 20(1), 27-42.
- Gürsoy, H., Piper, J.D.A., Tatar, O. and Mesci, B.L., 1998. Palaeomagnetic study of the Karaman and Karapınar volcanic complexes: neotectonic rotation in the south-central sector of the Anatolian block. *Tectonophysics*, 299, 291-311.
- ICCP, 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, 349-358.
- ICCP, 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80, 459-471.
- Jones, R.W., 1987. Organic Facies: In "Advances in petroleum geochemistry": J. Brooks and D, Welte (eds.), 2, 1-91.
- Murat, A., Kadıncık, G., ve Yiğit, E., 2007. Karapınar-Ayrancı (Konya-Karaman) Neojen Havzasında yeni belirlenen linyitlerin jeolojisi ve ekonomik potansiyeli. 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri.
- Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. and Zanchi, A., 1988. Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 146, 217-230.
- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70( 3), 318-329.
- Salman, M., 2010. Ereğli-Ayrancı-Karapınar (Konya) yöresi linyit olanakları ve ekonomik değerinin tespiti. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi*, 71 s.
- Şafak, Ü., 1997. Karaman Yöresi Üst Miyosen-Pliyosen istifinin ostrakod faunası ve ortamsal yorumu. *MTA Dergisi*, 119, 89-102.
- Şafak, Ü., ve Taner, G., 1998. Kılıbasan (Karaman Kuzeyi) bulunan Kuvaterner tatlı su faunası. *MTA Dergisi*, 120, 35-43.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: K.T. Biddle and N. Christie-Blick, (eds.), *Strike-slip faulting and basin formation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication, 37, 227-264.
- Taka, M., Salman, M., Tüvar, O., Utar, A., Polat, S., 2010. Konya Karapınar Neojen havzası linyit Aramaları. MTA Raporu, Proje No: 2009-33-13-01-2.
- Tissot, B., and Welte, D., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, 699 p.
- Ulu, Ü., Bulduk, A.K., Ekmekçi, E., Karataş, M., Öcal, H., Arbas, A., Saçlı, L., Taşkıran, M.A., Adır, M., Sözeri, Ş. and

Karabıyıkıoğlu, M., 1994. İnlıce-Akkıse ve Cıhanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼đ¼ Rapor No: 9720 (yayınlanmamış), Ankara.

Welte, D. H., Conford, C., and Rullkotter, J., 1979. Hydrocarbon source rocks in deep sea sediments. Proc. 11th Annual Offshore Technology Conf. (Houston), 1, 457-464.

---

**Mehmet ALTUNSOY**

Akdeniz Üniversitesi, M¼hendislik Fak¼ltesi, Jeoloji M¼hendisliđi B¼l¼m¼  
07058 ANTALYA

altunsoy@akdeniz.edu.tr

---

## Almus Fay Zonu'nun jeolojik özelliklerinin uzaktan algılama yöntemleri ve sayısal arazi modeli ile incelenmesi

*Analysis of geological characteristics of the Almus Fault Zone by using remote sensing methods and digital elevation modeling*

Önder GÜRSOY<sup>1</sup>, Şinasi KAYA<sup>1</sup>, Kaan Şevki KAVAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469 İstanbul

<sup>2</sup> Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

### ÖZ

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'den ayrılan Almus Fay Zonu (AFZ)'nin jeolojik özellikleri uzaktan algılama yöntemleri ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) ile incelenmiş ve AFZ'nin aktivitesi araştırılmıştır. Bu amaçla Landsat TM uydusu verileri ile bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılmıştır. Uzaktan algılama verileri UTM projeksiyon sistemine dönüştürülmüş ve her 20 m. de bir eşyüksekti eğrileri sayısallaştırılan topografik haritalara entegre edilmiştir. Uydu verilerine görüntü zenginleştirme yöntemi olarak ana bileşenler dönüşümü (PCA) uygulanmış ve sonuç olarak orijinal görüntüye göre çok sayıda yeryüzü özelliği ayırt edilebilen ve bu özellikleri keskin sınırlarla belirlenen detaylı ve yorumlanabilir yeni görüntüler elde edilmiştir. Bilineer enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan SAM, vektör-raster dönüşümü yapılarak en büyük yükseklik değeri 255 gri renk ve en küçük yükseklik değeri 0 gri renk değerine atanarak raster yapıda elde edilmiştir. Jeolojik değerlendirme için büyük yapıların bir arada görülebilme imkanını sağlayan uydu görüntüsü ile çakıştırılmış SAM ile AFZ deki çizgisellikler saptanmıştır. İncelemede arazi çalışması da yapılarak, morfotektonik yapılar belgelenmiş ve fay ölçümlerinin kinematik analizleri değerlendirilmiştir. Önceki çalışmalar ve bu inceleme sonucunda, AFZ nin bir normal faylanma sistemi içerisinde yer aldığı ve Turhal'ın güneyinden başlayarak Almus'a kadar uzandığı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Almus Fay Zonu, jeoloji, uzaktan algılama, sayısal arazi modeli.

### ABSTRACT

*In this study, geological characteristics of the Almus Fault Zone (AFZ), which was splayed from the Northern Anatolian Fault Zone (NAFZ), have been analyzed by using the remote sensing methods and digital elevation data, and the activity of AFZ have been researched. For this purpose, Landsat TM satellite data and 1/25.000 scaled topographic maps have been used. Remote sensing data have been transformed to UTM projection system, and the contour lines of the maps were digitized every 20 meters interval. Principal component analysis which one of the most robust enhancement methods is applied to the satellite data. Thus, a great number of land features were obtained comparing original image. Digital elevation models (DEM) using bilinear interpolation method was transformed to vector-raster conversion and attributed the maximum altitude value to 255 and minimum altitude value to 0. By merging the satellites data and the digital elevation model for the geological evaluation within AFZ have been detected precisely. Furthermore, kinematic analysis measurements in fault zone were evaluated. As a result, the AFZ is a normal fault system and has been observed starting from southern part of Turhal to Almus settlements.*

**Key words:** Almus Fault Zone, geology, remote sensing, digital elevation model.

## GİRİŞ

Almus Fay Zonu (AFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) bağlı olduğu düşünülen bir ayrılma (splay) fayını oluşturur (Bozkurt ve Koçyiğit, (1995). AFZ'nin, en doğuda Reşadiye'den başlayıp önce D-B doğrultulu olarak devam eden daha sonra ise Tokat civarında KD-GB yönüne dönen yaklaşık 130 km uzunluğundaki aktif bir fay zonuna karşılık geldiği ifade edilmektedir.

Bu çalışmanın amacını, AFZ'nin uzaktan algılama verileri ve sayısal yükseklik modelleme verileri yardımıyla jeolojik özelliklerinin ortaya konması oluşturmaktadır. Bu amaçla, zona ait Landsat TM uydu görüntülerinden yararlanarak bölgede etkin olan AFZ' nin ortaya çıkarılmasını amaçlayan görüntü işleme çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca bölgeyi içine alan 1/25.000 ölçekli topografik haritalardan üretilen DEM yardımıyla arazi çalışmalarıyla fay zonunda gözlenen morfolojik yapıların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu zona ait birkaç noktada gözlenebilen fay düzleminde alınan ölçümler kinematik analiz yapılarak değerlendirilmiştir.

AFZ için, doğuda Tokat-Reşadiye'den başlayıp, Tokat-Almus'tan Bakımlıdağ'a doğru devam eden, Pazar ve Turhal ilçeleri arasından geçerek Zile yakınlarında son bulan bir çalışma alanı belirlenmiştir (Şekil 1). AFZ' nin, Bozkurt ve Koçyiğit (1995) tarafından diğer ayrılma fayları olarak ifade edilen Yağmurlu-Ezinepazarı ve Taşova-Çorum faylarına paralel olarak geliştiği düşünülmektedir.

## Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında, bölgenin 1/25.000 ölçekli topografik haritalarının sayısallaştırılmasıyla elde edilen eşyüksekti eğrileri yardımıyla hazırlanan SAM ile 22 Haziran 2000 tarihli Landsat TM uydu görüntüsü bölgenin jeolojik özelliklerinin ortaya çıkarılmasına katkıda bulunmuş ve depremsellik incelemelerinde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün internet sitesinden (<http://www.koeri.boun.edu.tr>) alınan deprem verileri kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarıyla fay zonuna ait gözlemler gerçekleştirilmiş ve fay zonundan alınan ölçümler yapısal analiz yöntemi olarak da bilinen kinematik yöntemlerle değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı (GoogleEarth).

Figure 1. Study area (GoogleEarth).



## FAY ZONU VE DEPREMSELLİK

İlk olarak Bozkurt ve Koçyiğit (1995) tarafından çalışılan AFZ, doğuda Reşadiye'den başlayıp batıda İğdir kasabasına kadar devam eden ve yaklaşık 130 km mesafede uzanan sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir fay sistemi olarak tanımlanır (Şekil 2). Fay zonunun genişliği, doğuda birkaç yüz metre olup batıya doğru 12 km ye kadar ulaşır. Bu bölüm boyunca aktif bir doğrultu atımlı depresyon alanı olan Kazova Havzası yer almaktadır.

Fay, Reşadiye'nin güney doğusunda, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) ana kolundan ayrılır ve batıya doğru yaklaşık D-B yönünde Bakımlı Köyü'ne kadar uzanır. Burada güney batıya doğru büküm yapar ve iki ana kola (Mercimekdağ-Çamdere ve Tokat fay setleri) ayrılarak, basit bir atkıruğu (hors-tail) fay örneği meydana getirir. Batıya doğru Gümenek civarında, Tokat fay seti tekrar iki kola ayrılır; kuzeyde yer alan kol ana fay kolunu içerir ve burada Dökmetepe fayı olarak adlandırılır. Bu fay, 1939 Erzincan depreminin yüzey kırıklarından etkilenmiş olup Kazova Havzası'nda halen aktiftir. Bahsedilen fay setlerine ek olarak, çok sayıda daha küçük fay segmenti de yer alır (Şekil 2).

AFZ, Bozkurt ve Koçyiğit (1996) tarafından, KAFZ'nun ana splaylerinden biri olarak yorumlanmıştır. Sıkışmalı-kısalmalı tektonik rejimden etkilenen en genç ünite, Akitaniyen-Burdigaliyen (Alt Miyosen) yaşlı molas sedimentleridir ve doğrultu atımlı tektonik rejimden etkilenen en yaşlı ünite, geç Pliyosen yaşlı gevşek konglomeralardır. AFZ'nin başlangıç yaşı Bozkurt ve Koçyiğit (1995) tarafından Burdigaliyen-geç Pliyosen olarak hesaplanmış olup bu da KAFZ üzerindeki sağ yanal hareketin başlangıç yaşı olan Erken-Orta Pliyosen ile bağdaşmaktadır (Tokay, 1973), (Barka, 1984).

Bozkurt ve Koçyiğit (1995) göre; AFZ 11 km bir toplam atıma sahip olup bu değer Mercimekdağ-Çamdere fay seti üzerindeki Permo-Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşı bloğunun sağ yanal ötelenmesine eşittir. Farklı segmentler üzerindeki molas sedimentlerinin yükselmelerine göre 750 m toplam bir düşey atıma da sahip olan AFZ' nin içerdiği

fayların önemli bir açılma (extensional) bileşenine sahip olduğu ileri sürülür (Şekil 2).

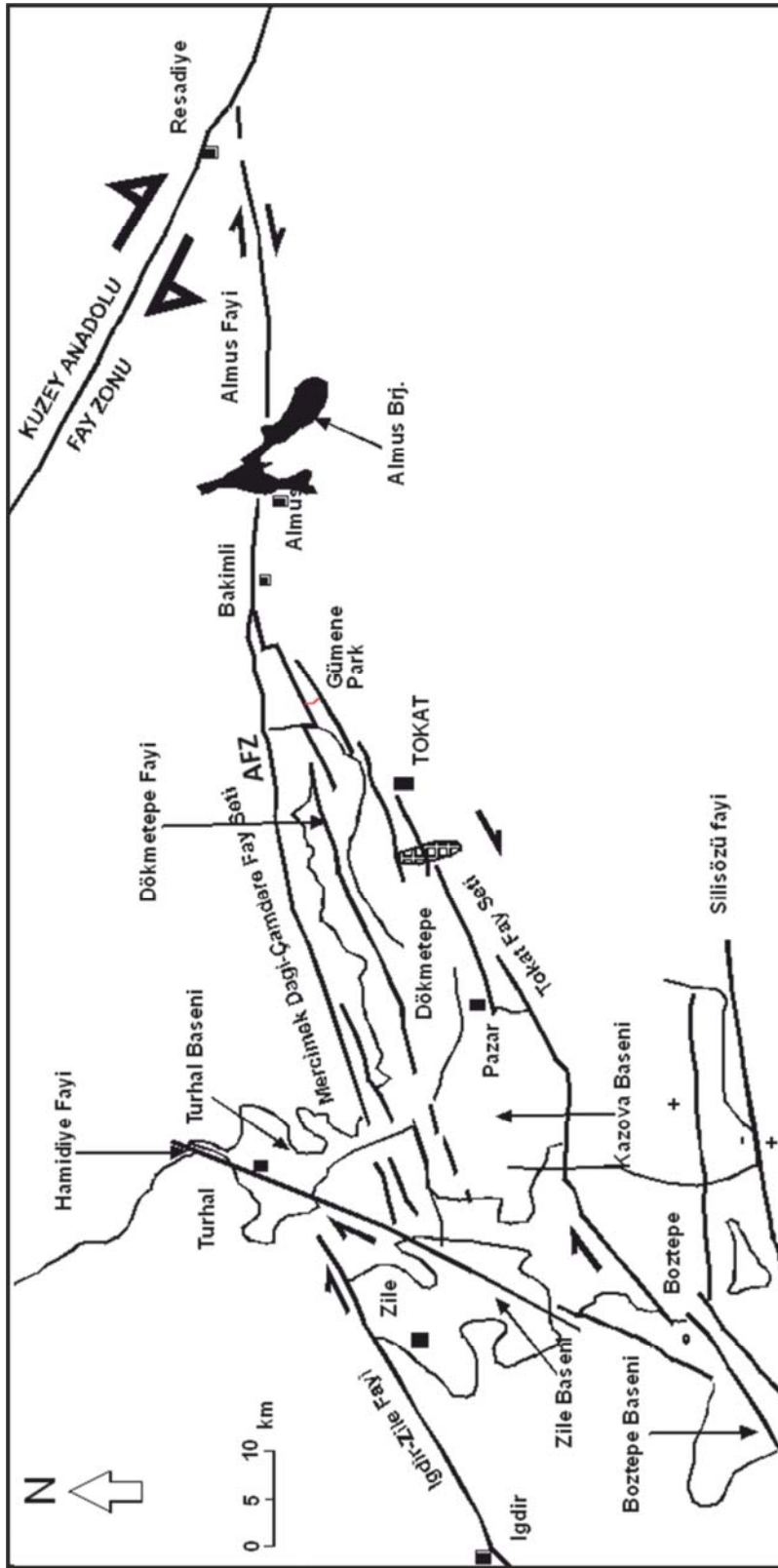
Bozkurt ve Koçyiğit (1996) ise AFZ'nin Kazova Havzası'nı oluştururken, aktif bir negatif çizek yapısı Woodcock (1986) sergilediğini de ifade eder. Araştırmacılar KAFZ'ye bağlanan Yağmurlu-Ezinepazarı, Taşova-Çorum, Laçın ve Merzifon fay zonlarına benzer olarak AFZ'nin da bir ayrılma (splay) fayı olduğunu (Şengör ve Barka, 1992) ve bu faylarla birlikte KAFZ'nin balık kılıçına (fishbone) benzer bir görünüm sergilediklerini ve bu ayrılma fayları arasında kalan kıtasal blokların saatin ters yönde hareket ettiğini de belirtirler. Araştırmacılar; Hubert-Ferrari ve diğ. (2001) Esençay, Ezinepazarı ve Almus fay zonlarının atkıruğu şeklinde faylar olduğunu ifade ederler.

### Çalışma Alanının Depremelliği

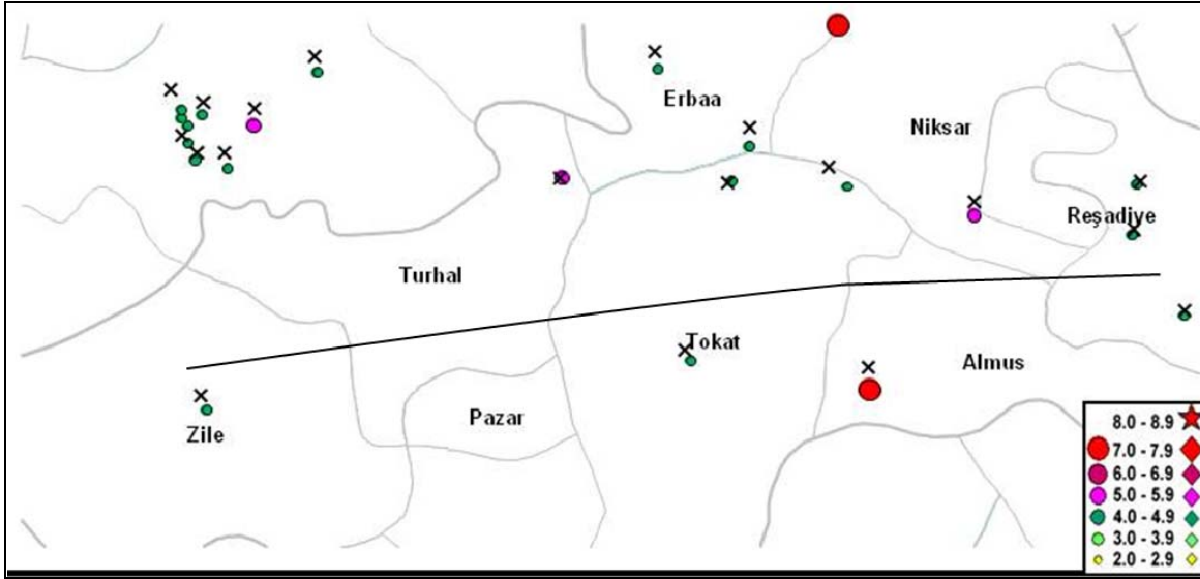
Bölgede aletsel dönemde kaydedilen depremlerden en büyüğü olan 27 Aralık 1939 Erzincan depremi bölgede Gümenek parkı civarında, AFZ'nin kollarından birisini oluşturan Tokat fay setinde sağ yanal 1.6 cm - 1.3 km civarında atımlara neden olmuştur (Bozkurt ve Koçyiğit, 1995). Fayın yaklaşık 0.33 mm/yıllık atım değeri düşünüldüğünde fayın yaşının Geç Pliyosen'e karşılık geldiği de aynı yazarlar tarafından ifade edilmiştir.

Almus Fay Zonu'nun bulunduğu bölge içinde aletsel dönemde meydana gelen ve büyüklüğü 4.0- 8.9 arasında değişen depremlere ilişkin veriler <http://www.koeri.boun.edu.tr> sitesinden alınarak, incelenmiştir (Şekil 3).

Bu veriler ışığında AFZ olarak tanımlanan ve doğuda Reşadiye'den başlayıp en batıda Zile'ye kadar devam eden alan içerisinde deprem episantrlarında fay zonunu temsil edecek bir yoğunlaşma gözlenmemektedir. Ancak Yağmurlu-Ezinepazarı ayrılma fayı (Şekil 2) olarak daha önceden tanımlanan zonda ise belirgin bir deprem aktivitesinin yer aldığı gözlenmektedir. X, fay zonu yakınlarında meydana gelen depremlerin olduğu yerleri göstermektedir. Büyüklük olarak 4.0- 8.9 aralığındaki depremlerin AFZ'nin geçtiği Reşadiye-Zile hattının dışında yoğunlaştığını ifade etmek mümkündür.



Şekil 2. Almus Fay Zonu (Bozkurt ve Koçyiğit, 1995).  
 Figure 2. Almus Fault Zone (Bozkurt and Koçyiğit, 1995).



**Şekil 3.** AFZ'de 1900' den 2006'ya kadar meydana gelen, depremlerin ( $M_s = 4-8.9$ ) dağılımları (<http://www.koeri.boun.edu.tr>).

**Figure 3.** Distribution of the earthquakes ( $M_s = 4-8.9$ ) occurred in AFZ between 1900 to 2006.

### ALMUS FAY ZONU'NDA YAPILAN ARAZİ ÇALIŞMALARI

Bilindiği gibi uzaktan algılama çalışmalarının arazi doğrulamasına her zaman ihtiyacı vardır. Bu nedenle bu çalışmanın gerçekleştirildiği alanda fayın geometrisi ve karakterini belirtecek arazi çalışmaları yapılmıştır. İnceleme alanında Almus Fay Zonu' nun daha önceki çalışmalarda ortaya konan doğrultu atımlı karakterini gösterebilecek fay düzlemine ait veriler inceleme alanı içinde gözlenememiş, içinde gelişikleri kaya birimlerinin aşınımı nedeniyle sadece 1-2 lokalitede bu veriler izlenmiş ve doğrultu, eğim ve dalım değerleri ölçülmüştür. Bu değerler de fayın karakterinin bu kesimde normal bileşenli olduğunu ortaya koymuştur.

İlk olarak Tokat'ın kuzeybatısında yer alan Gümenek parkı yakınındaki Kızılköy civarından bariz bir şekilde geçtiği gözlenmiş olan ve bu zonun kuzey kolunu oluşturan Mercimekdağ-Çamdere fay seti Şekil 4' de görülmektedir.

Kızılköy civarında yapılan incelemelerde, jeomorfolojik açıdan uzamış tepelere benzer doğrultu atımlı faylanmayı gösterebilecek yapılar gözlenmiştir. Bu tepelerin genellikle oldukça altere olmuş

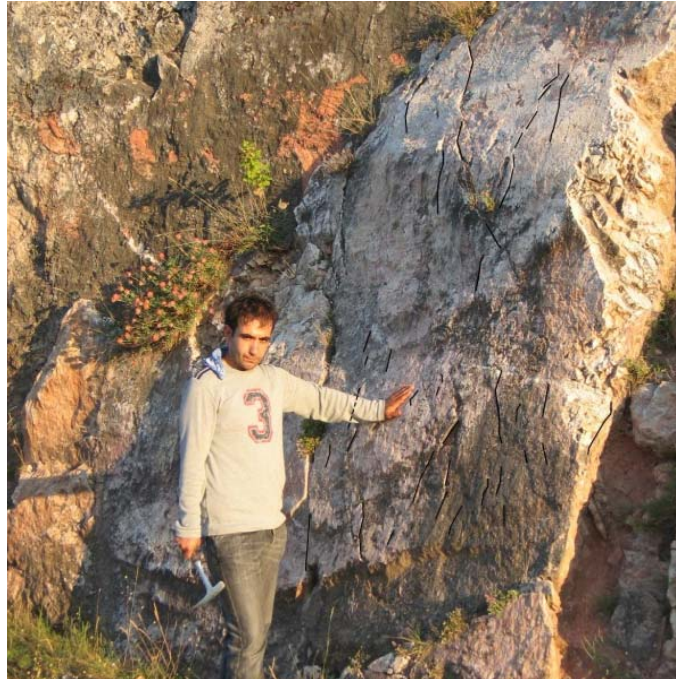
andezitlerden oluştuğunu söylemek mümkündür. AFZ'nin daha doğuya, Bakımlı ve Almus'a doğru devam ettiğini ifade eden önceki bazı araştırmacıların (Bozkurt ve Koçyiğit, 1996) görüşünü destekleyecek faya ait bariz bir yüzey verisi tarafımızdan gözlemlenememiştir. Ayrıca Tokat Fay Seti olarak adlandırılan AFZ'nin güney kolu üzerinde yapılan çalışmalarda, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Çerçi formasyonuna ait travertenlerden oluşan jeolojik birimlerin çalışma alanında gözlenmediği ve KD-GB yönlü olarak varlığı ifade edilen belirgin bir faylanmanın topografya yüzeyinde izlenemediği anlaşılmıştır.

Güneydeki Tokat fay seti üzerinde yapılan arazi çalışmaları sırasında şist ve mermerlerden oluşan birimlerde bölgedeki genç ve aktif faylanmayı gösterebilecek yoğun bir faylanma görülmemekle beraber bölgenin jeomorfolojik görünümü de dikkate alındığında bu fay setine ait olan ve normal faylanma çözümü veren bir lokalitede gözlemler yapılmıştır. Cidalar Tepe'nin kuzeye bakan yaklaşık D-B uzanımlı kesimi boyunca gerçekleştirilen arazi gözlemlerinde  $K 69^\circ B, 63^\circ KD$  durumlu bir fay düzlemi ölçülmüştür. Üzerindeki dalım miktarı ve yönü  $87^\circ$  ile KD olan bu normal fay düzleminden başka herhangi bir düzlem gözlenememiştir (Şekil 5).



**Şekil 4.** Kızilköy civarında Almus Fay Zonu'nun kuzey kolunu oluşturan doğrultu atımlı sağ yönlü aktif Mercimekdağ-Çamdere Fay Seti.

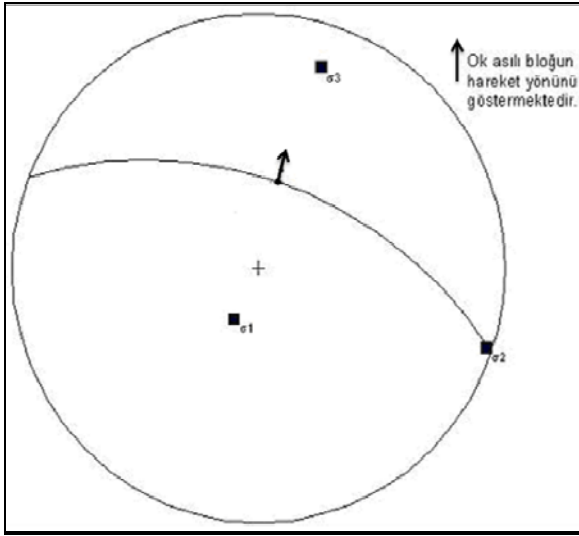
**Figure 4.** The set of Mercimekdağ- Çamdere fault, which is a right lateral and forming the northern branch of Almus Fault Zone around Kızilköy.



**Şekil 5.** Permo-Triyas Yaşlı Tokat Karışığına ait mermerler içerisinde gözlenen ve Kazova Havzası'nın güneyindeki Tokat Fay Setine ait normal fay düzlemi.

**Figure 5.** Normal fault plane developed in Tokat Fault Set which were made up of Permo-Triassic Tokat Mélange.

Bu faydan alınan fay düzlem durumu, kinematik analiz yöntemlerinden Carey (1979) yöntemi ile bilgisayarda değerlendirilmiş ve bölgede etkin olan normal faylanmanın varlığı gerilme eksenleriyle ortaya konmuştur (Şekil 6). Şekilde görülebileceği gibi en büyük gerilme eksenini olan  $\sigma_1$  düşeye yaklaşık olarak gözlenirken  $\sigma_3$  ve  $\sigma_2$  yataya yakın olduğu saptanmıştır. Bu sonuçta bölge de normal bir fayın varlığını göstermektedir.



**Şekil 6.** Fay ölçümlerinin Carey Yöntemiyle kinematik analizi.

**Figure 6.** Kinematic analysis of the fault measurement with Carey Method.

Tokat fay setinin geneli için düşünülen doğrultu atımlı fay sisteminden ziyade normal faylanmanın varlığı kinematik ölçümle, fay zonunun arazide görünümü ise morfotektonik olarak ifade edilebilir. Yani arazideki jeomorfolojik görünümün doğrultu atımlı bir fay zonundan ziyade normal fay sistemiyle oluşmuş olabileceğini söylemek yerinde olur. Bu da araştırmacıların; Bozkurt ve Koçyiğit (1996) fay zonu ile ilgili gerçekleştirdikleri ikinci çalışmanın görüşleriyle uyusmaktadır.

## UYDU VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SAYISAL ARAZİ MODELİ

### Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü

Landsat 5 TM verileri, 1/25.000 ölçekli standart topografik haritalar üzerinde grafik olarak elde edilen yer kontrol noktaları kullanılarak jeorefe-

ranslandırılmıştır. Yer koordinat sistemleri ile görüntü koordinat sistemleri arasındaki bağıntıyı sağlayan transformasyon eşitlikleri 1. derece lineer transformasyon işlemleri sonucunda bulunur. En küçük kareler yöntemine göre dönüşüm katsayıları bulunarak uzaktan algılama verileri UTM projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür. Dönüşüm toplam 0.7 piksel Karesel Ortalama Hata (KOH) ile yapılmıştır. Yeniden örnekleme yöntemi olarak da lineer detaylar ve veri yorumlanabilirliğinin artırılması için kullanılan, en yakın 4x4 pikselin ağırlıklı ortalaması alınan kübik konvolüsyon yöntemi kullanılmıştır.

### Ana Bileşenler Dönüşümü (Principal Component Analysis)

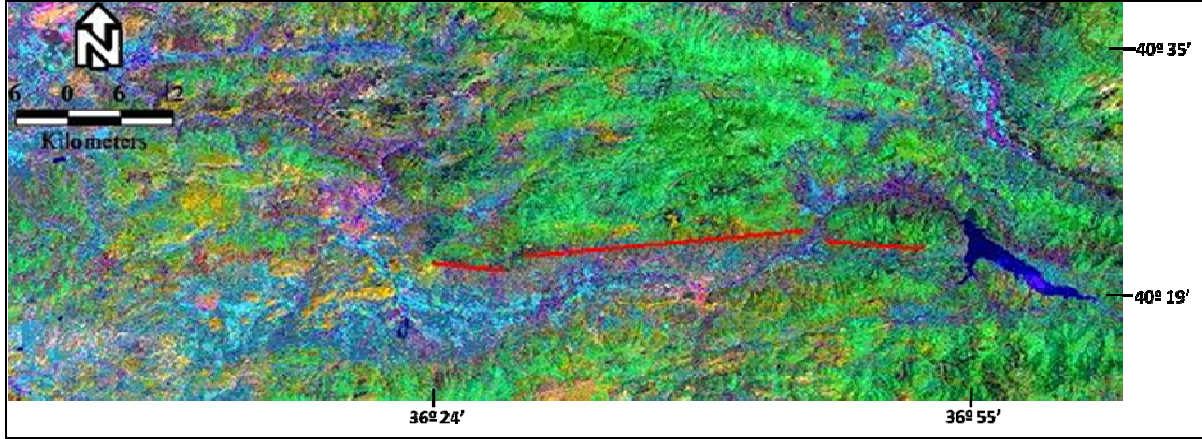
Herhangi bir bölgenin aynı algılayıcı tarafından farklı dalga boylarında algılanan spektral ve fiziksel özellikleri değişik bantlara kaydedilir. Kaydedilen bantlardaki bilgi içeriği aynı olabileceği gibi farklılık da gösterebilir. Ana Bileşenler Dönüşümü (PCA) uygulanarak, içeriği benzer olan bantlar bastırılır ve aralarındaki farklılıklar ortaya çıkarılır. Öte yandan Ana Bileşenler Dönüşümü,, veri sıkıştırma yöntemi olarak da düşünülebilir. Bu yöntemin esası, veri kombinasyonunda görsel yorumlanabilirliği artırmak için n sayıda kanala sahip orijinal veri dizisinde mevcut olan tüm bilgileri, n' den daha az sayıdaki yeni bantlara veya yeni bileşenlere sıkıştırmaktır (Kaya, 1999).

Bileşen eksenleri adı verilen yeni eksenler, orijinal veriler içinde maksimum varyansa sahip doğrultular boyunca oluşur. Pikseller yeni koordinat eksenine yerleştiklerinde 1. Ana bileşen eksenini 2. Ana bileşen eksenine göre daha büyük varyansa sahiptir. Bundan dolayı, 1. Ana bileşen eksenini veri grubunun uzun eksenini (ana eksen) belirtir ve daha fazla bilgi içerir. 2. Ana bileşen eksen elipsin ana eksenini dik (ortogonal) keser ve 1. bileşende tanımlanmamış verilerin büyük bir kısmını tanımlar.

Bu analizde n sayıda bant olmasına karşın verilerdeki bilginin büyük bir bölümü ilk iki veya ilk üç bantta toplanır. Şekil 7' de ana bileşenler analizi sonucu elde edilen zenginleştirme görüntüsünün ilk üç bileşenini (PC1, PC2, PC3) sırasıyla Kırmızı- Yeşil- Mavi (RGB) kanallarında

gösterilmiştir. Görüntüde farklı renklerde görünen alanlar, spektral yansıtım değerleri farklı olan yapıları göstermektedir. Her bir rengin farklı bir litolojik yapıyı temsil ettiğinden bahsedilebilir. Görüntüye göre fay zonunun kuzeyindeki ve

güneyindeki yapıların (yeşil renk) aynı litolojik özellikte olabileceğinden bahsedilebilir. Şekildeki AFZ boyunca, yapılarıdaki çizgiselliklerden yararlanılarak, kırmızı renkte çizgi ile gösterilen Almus Fayı, zon boyunca çizilmiştir.



**Şekil 7:** Landsat TM ana bileşenler dönüşümü renk kompoziti (K: Bileşen 3, Y: Bileşen 2 ve M: Bileşen 1), Almus Fayı kırmızı renkte çizgi ile gösterilmiştir.

**Figure 7:** Landsat Landsat TM PCA color composite RGB (321) of the study area. AFZ was displayed with red line.

### Sayısal Arazi Modeli

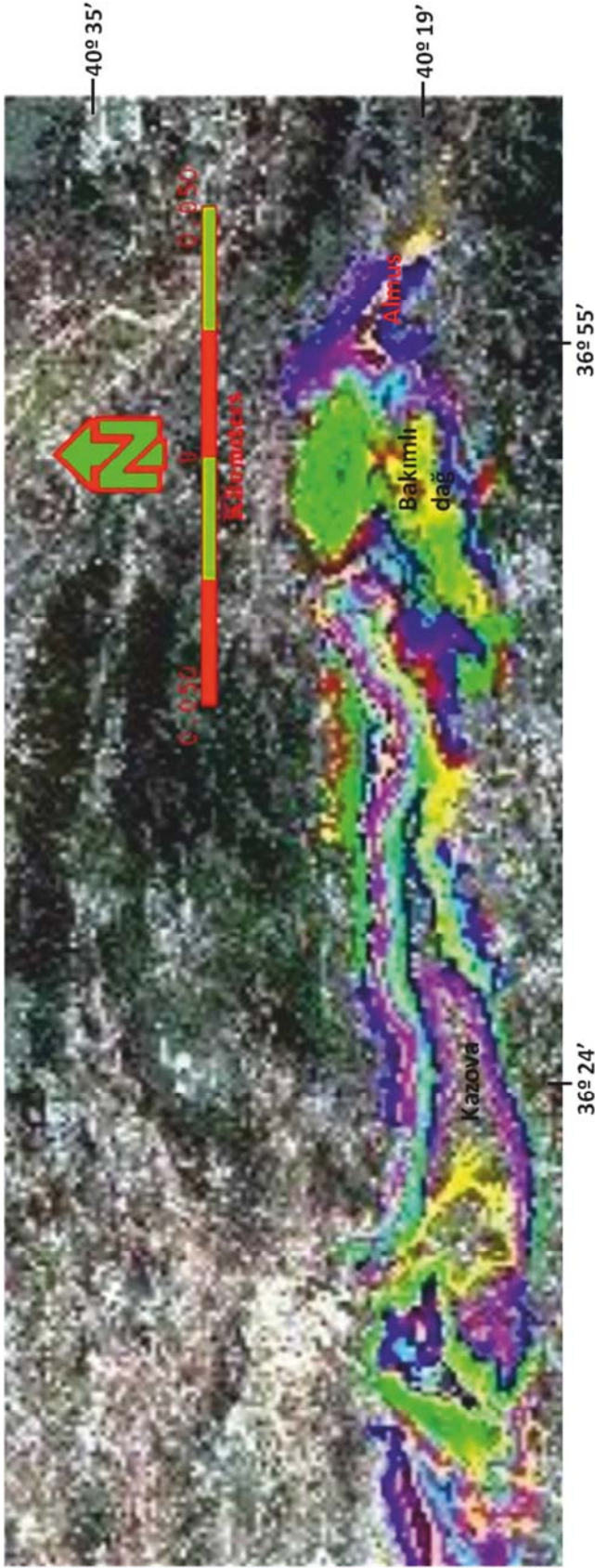
Arazi yüzeyinin sayısal ve üç boyutlu olarak ifade edilmesine Sayısal Arazi Modeli (SAM) denir. Diğer bir ifadeyle, yeterli sıklıkta, yüzeyi tanımlayan konumları bilinen noktalar (x, y, z) yardımıyla amaca uygun, yüzeyin matematiksel ve sayısal olarak SAM oluşturmak için mevcut, standart olarak üretilen haritaların eş yükselti eğrileri sayısallaştırılıp kullanılır. Bu yöntem aynı zamanda günümüzde jeomorfolojik yapıların gerçek zamanlı görüntülenmesi için kullanılan en iyi yöntemlerden birisidir ve doğruluğu haritanın ölçeğine ve sayısallaştırma doğruluğuna bağlıdır (Kaya, 1999).

Yapılan çalışmada, çalışma bölgesine ait 1/25.000 ölçeğe üretilmiş 16 adet standart topografik haritalar 20 m. de bir sayısallaştırılıp, veri grubu oluşturulmuştur. Her yirmi metrede bir sayısallaştırılan ve aynı yüksekliğe eğriye aynı renk verilen vektörel veri seti uydu görüntüsü üzerinde gösterilmiştir (Şekil 8). Bu veriler düzenlenerek yüzeyin SAM'ı hazırlanmıştır. SAM verisinde açık renkteki alanlar yüksekliği fazla olan yerleri, siyah renkli alanlar yüksekliği az olan yerleri göstermektedir

(Şekil 9). Böylelikle SAM ile uzaktan algılama verileri çakıştırılarak yorumlanabilirliğin artırılması amaçlanmıştır. Uzaktan algılama verilerinin raster veri olması itibarıyla, SAM'ın da raster veri olması için SAM hazırlama yöntemi olarak grid yöntemi kullanılmıştır. Burada gridler arasının ne kadar kısa olduğu yüzeyin gösterim doğruluğunu artırır.

Oluşturulan SAM verisine, eğim-derece ve bakı filtrelemeleri uygulanarak bölgenin eğim ve bakı analiz haritaları elde edilmiştir. Eğim analiz haritasında açık gri bölgeler büyük eğimle, koyu gri bölgeler ise küçük (sığ) eğimle gösterilmiştir (Şekil 10). Açık ve koyu kesimler arasındaki çizgisellikler ise olası faylara işaret etmektedir.

Sayısal yükseklik verilerinin işlenmesiyle ortaya çıkan eğim haritasında da izlenebileceği gibi inceleme alanında AFZ yi oluşturan çizgiselliklerin açık renkli ve daha fazla eğime sahip bölgelerle koyu renkli ve daha düşük eğime sahip bölgeler arasından geçtiğini söylemek gerekir. Jeomorfolojideki bu farklılıkları inceleme alanında bir splay fay olarak tanımlanan AFZ ortaya çıkarmıştır (Şekil 10).



**Şekil 8.** Sayısallaştırılmış harita verilerinin uydü görüntüsü üzerinde gösterilmesi.  
**Figure 8.** The visualization of digitized map datas on satellite images.



**Şekil 9.** Bölgenin raster yapıda sayısal arazi modeli görüntüsü.  
**Figure 9.** The digital elevation model in raster format of study area.

Bakı, topografik yüzeyin verilen bir noktada kumpas yönünde ölçüsüdür. Bakı azimut cinsinden yataının yaptığı açı olarak hesaplanır. Burada kuzey referans alınarak yani kuzey 0 derece alınır ve hesap ona göre yapılır. Burada bakı filtresi 0° ile 360° arasında değişen değerler üretir. Buna göre doğuya bakan eğimler 90° lik bakıya, güney yönündeki eğimler 180° ve batı yönündeki eğimler ise 270° lik bir bakıya sahip olurlar. Şekil üzerinde siyah bölümler kuzeye, beyaz bölümler güneye, sarı bölümler doğuya ve mavi bölümler batıya bakan yüzeyleri göstermektedir. (Şekil 11). Ayrıca bölgenin topografyasının karakteristik özelliklerini ortaya koymak için 1/25.000 ölçekli topografik haritaların sayısallaştırılması sonucu hazırlanan SAM kullanılarak kabartma ve renklendirme analizleri yapılmıştır. Renklendirme analizinde düzlük kısımlar yeşil ve tonlarında, yükseltinin arttığı kısımlar ise mor, yükseltideki zirveler ise gri tonda gösterilmiştir (Şekil 12). Kabartma analiz görüntüsünde ise topografya yüzey pürüzlülüğü ile gösterilmiştir. Pürüzlülüğün az olduğu yerler daha düz alanları, pürüzlülüğün fazla gözüküğü kısımlar ise daha eğimli kısımları göstermektedir (Şekil 13).

### Uydu Görüntüsü ve SAM Entegrasyonu

Yorumlanabilirliğin artırılması ve topografya ile arazi örtüsünün bir arada değerlendirilmesi için iki veri grubunun çakıştırılması yapılmıştır. Böylelikle, uzaktan algılama verilerinin karşılığı olan parlaklık değerine bir yükseklik değeri atanmış olur. Modele yükseklik faktörü de verilerek 3-Boyutlu görüntü oluşturulmuştur (Şekil 14). Şekle göre Almus Fayı topografya üzerinde çizilerek, fayın sınırları belirlenmiştir. Entegrasyon haritasına göre çizilen fay ile arazi çalışmasına göre belirlenen fay sınırları ve geometrisi uyum içerisinde.

Şekil 14' de görülebileceği gibi bölgedeki AFZ nun varlığı yükseklik verilerinin farklı kombinasyonlara sahip uydu görüntüleriyle birleştirilmesi sonucunda jeomorfolojik bir kanıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle bölgedeki sarplıklarla düzlükleri sınırlayan çizgiselliğin bu şekillerde açık bir şekilde gözlemlendiği ve Almus Fay zonu'nu belirlediği söylenebilir.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda AFZ'nin doğrultu atımlı karakterini

gösterebilecek belirgin bir yüzey verisi gözlenmemiştir. Çalışılan sınırlı alanda fay zonunun Kazova Havzası'nı sınırlarını oluşturması doğrultu atımdan ziyade normal faylanmayla açıklanabilecek bir sistemi göstermektedir. Ayrıca her ne kadar fay düzlemine ait yeterli sayıda ölçüm bulunamamasına rağmen arazide yapılan fay ölçümleri sonucu yapılan Carey kinematik analiz yönteminde büyük gerilme eksenini  $\sigma_1$ 'in düşeye yakın çıkması fayın normal karakterde olduğunu işaret etmektedir. Bulunan bu sonuç daha önce Bozkurt ve Koçyiğit (1996), tarafından yapılan çalışmada AFZ'nin negatif çiçek yapısı sonucuyla çakışmaktadır. Öte yandan deprem episantr dağılımları AFZ'yi içine alan bölgede etkin bir depremselliğin bulunmadığını göstermektedir.

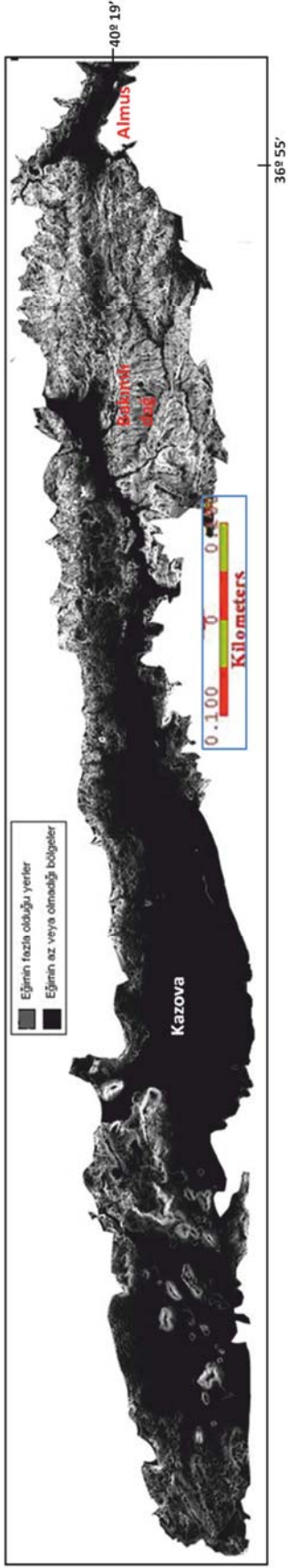
İnceleme alanına ait Landsat TM verilerine uygulanan yersel ve spektral zenginleştirme işlem yöntemlerini kapsayan görüntülerin analizi sonucunda AFZ'ye ait çizgiselliğin uydu verilerinde de morfolojik olarak varlığı gözlenmiştir. Zonun doğudaki devamı Reşadiye doğusuna kadar izlenmiş ancak Almus'un doğusunda zona ait çizgiselliğinin olmadığı ortaya çıkarılmıştır.

Arazide fay zonunun tüm özelliklerini yansıtan veriler ve sismik aktivitenin yeterli derecede bulunamamasına rağmen fay zonunun varlığını gösteren yersel zenginleştirme işlemleri arasında sayılabilecek eğim ve bakı haritaları yanında bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topografik haritaların sayısallaştırılmasıyla elde edilen SAM'ın analiz sonuçları, Turhal'ın güneyinden başlayan ve Almus'a kadar devam eden bir zonun varlığına işaret etmektedir. Landsat TM uydu görüntüsü ve SAM görüntüsünün çakıştırılması ile elde edilen görüntüye bant kombinasyonları ve ışık verilerle fay zonuna ait çizgisellikler ortaya çıkartılmıştır. Uzaktan algılama verileri ile yapılan çalışmaların gereği olarak yapılan arazi çalışmaları verileri ve jeolojik analizlerin de desteklediği sonuçlara göre Almus Fayı'nın geometrisi açığa çıkarılmıştır.

### KAYNAKLAR

Barka, A.A. (1984). Kuzey Anadolu Fay Zonundaki Bazı Neojen-Kuvaterner Havzalarının Jeolojisi ve Tektonik Evrimi: Ketin Sempozyumu kitabı, 209-227, Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara.

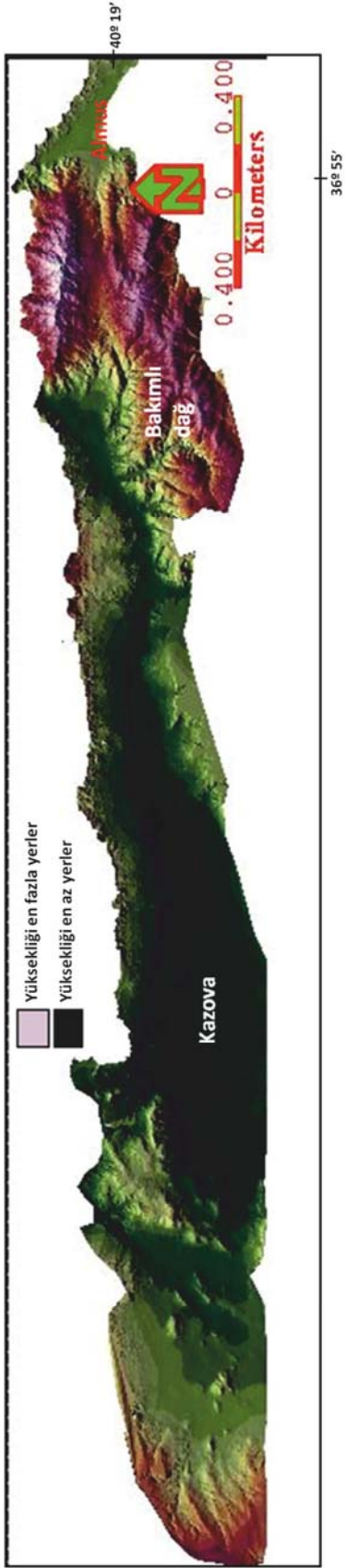




Şekil 10. Almus fay Zonu'na ait eğim Analizi.  
Figure 10. Slope analysis of the Almus Fault Zone.



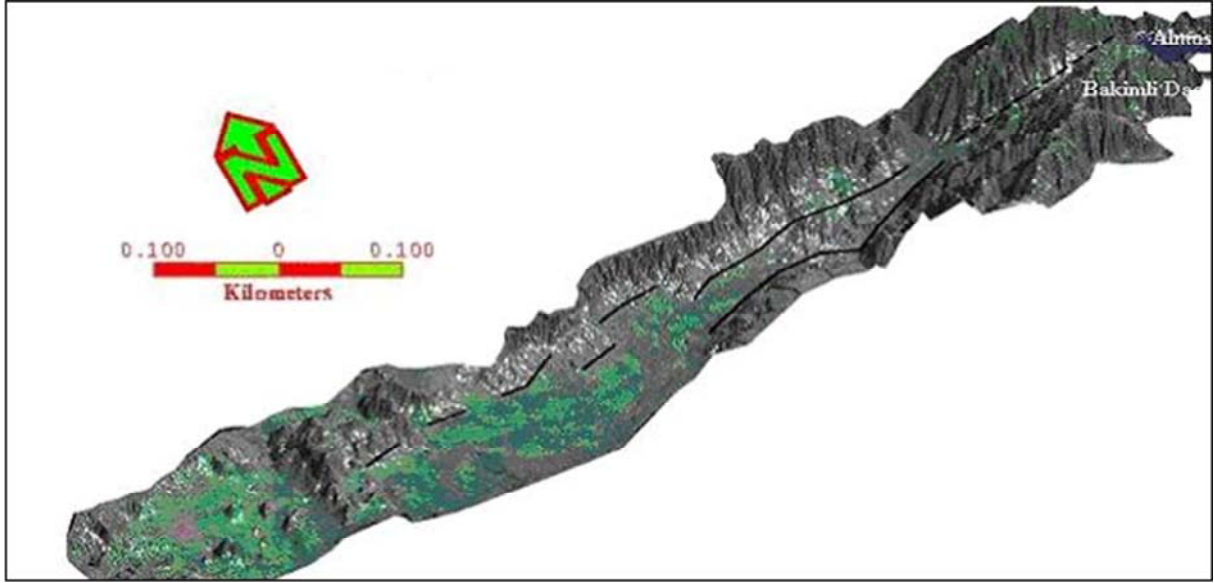
Şekil 11. Almus Fay Zonu'na ait bakı analizi.  
Figure 11. Aspect analysis of the Almus Fault Zone.



Şekil 12. Renklendirme Analizi.  
Figure 12. Painted relief analysis.



Şekil 13. Almus Fay Zonu' nun kabartma yükseklik analizi.  
Figure 13. Shaded relief analysis of the fault zone.



**Şekil 14.** Sayısal arazi modeli ve uydu görüntü verisinin (Landsat TM 7, 4, 1) entegrasyonu.

**Figure 14.** Entegration of Digital elevation model data and Landsat TM (741) combination.

- Barka, A.A. and Hancock, P.L. (1984). Neotectonic deformation pattern in the convex-northwards arc of the North Anatolian Fault Zone. In: J.E.Dixon and A.H.F. Robertson (Eds.), The geological evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 17, 763-774.
- Bozkurt, E., and Koçyigit, A. (1995). Almus Fault Zone: Its age, total offset and relation to the North Anatolian Fault Zone, Turkey, Journal of Earth Science, 4/2, 93-104
- Bozkurt, E., and Koçyigit, A. (1996). The Kazova basin: An active negative flower structure on the Almus fault zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 265, 239-254
- Carey, E. (1979). Recherche des directions principales de contraintes associées au jeu d'une population de failles. Revue de Géologique Dyn. Géographie Physique Paris, 21, 57-66.
- Hubert-Ferrari, A. and Armijo, R. (2001). Evolution of the Eurasia/ Anatolia/ Arabia triple junction and of the conjugate North Anatolian Fault (NAF) and East Anatolian Fault (EAF), EGS Meeting. Talk by A. Hubert-Ferrari.
- Kaya, Ş. (1999). Uydu görüntüleri ve sayısal arazi modeli kullanılarak Kuzey Anadolu Fayı Gelibolu- Işıklar Dağı kesiminin Jeomorfolojik-jeolojik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seymen, İ. (1975). Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu Fay zonunun tektonik özelliği, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fak. Mineral., Special Publ., 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C. and Barka, A.A. (1992). Evolution of escape-related strike-slip systems: Implication for distributions of collisional orogens (abstract), Proc. Int. Geol. Congr., 29, 232.
- Tokay, M. (1973). Kuzey Anadolu Fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, Kuzey Anadolu Fayı ve deprem kuşağı sempozyumu, Ankara, 12-29.
- Woodcock N.H. (1986). The role of strike-slip fault systems at plate boundaries; Royal Society of London Philosophical Transactions, ser. A, 317, 13-29.

---

**Önder GÜRSOY**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,  
34469 İstanbul

ogursoy@itu.edu.tr

---

## Altınova (Tekirdağ) yöresinde yapılan zemin sondajlarındaki SPT verilerinden yararlanılarak yapılan taşıma gücü analizi

### *Bearing capacity analyses using the SPT data from boreholes in Altınova (Tekirdağ) environ*

Sevim Avcı YENER<sup>1</sup> İ. Feda ARAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tekirdağ Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Tekirdağ

<sup>2</sup> Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Böl., Tekirdağ

#### ÖZ

Depremsellik açısından, oldukça aktif bir noktada yer alan Altınova (Tekirdağ)' da özellikle 1999 Marmara Depreminden sonra yapılmış olan jeolojik-jeoteknik etütler kapsamında zemin sondajları açılmış ve değerlendirilmeye alınmıştır. Bu çalışmada söz konusu sondaj verilerinden faydalanılarak SPT kat haritaları hazırlanmış, sondaj ve laboratuvar verilerinden de yararlanılarak, bölgedeki zeminlerin taşıma gücü haritalarının çıkarılması amaçlanmıştır. Daha sonra bu haritalar bölgenin jeolojisi ile birlikte değerlendirilerek yerleşim açısından tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Altınova-Tekirdağ, SPT, taşıma gücü.

#### ABSTRACT

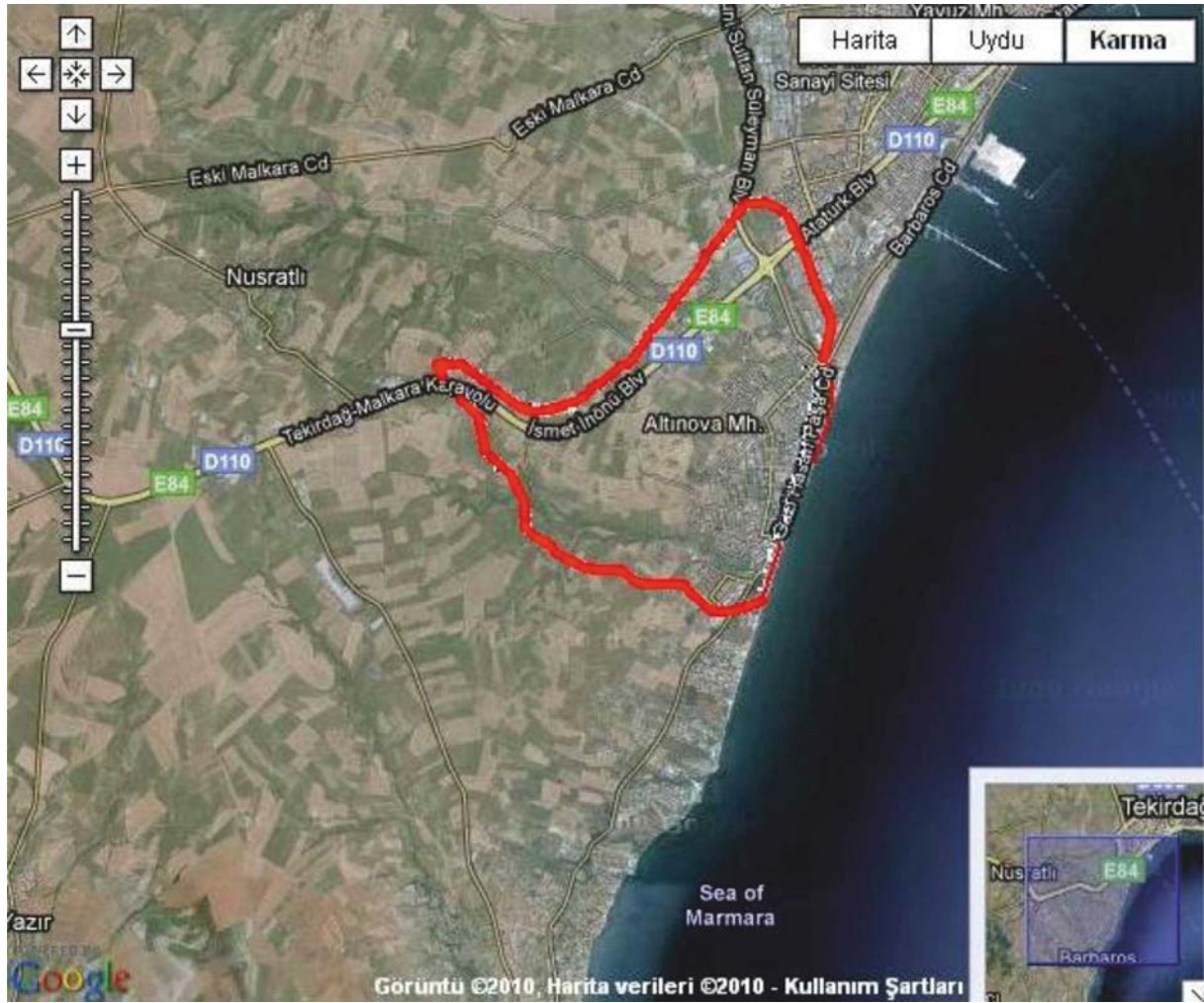
*Altınova (Tekirdağ) is placed in a seismically active location, and especially after the 1999 Marmara Earthquake, boreholes had been drilled within the context of geological-geotechnical studies. In this study, production of the bearing capacity map is aimed by using the SPT floor maps prepared from the SPT data, borehole and laboratory data. These maps together with the geological properties were then discussed by means of the settlements in the region..*

**Key words:** Altınova-Tekirdağ, SPT, bearing capacity.

#### GİRİŞ

Çalışma alanı, 27.458–27.485 kuzey enlemleri ile 40.938 – 40.964 doğu boylamları arasında yer alır. Güneydoğusunda Marmara Denizi kıyı hattı boyunca uzanır, kuzey sınır ise yaklaşık D-110 karayolu olup Nusratlı Köyü bu alana en yakın yerleşim birimidir. İnceleme sahası tümüyle Tekirdağ Belediyesi merkez ilçesi içerisinde kalmakta olup yaklaşık 360 hektar büyüklüğündedir

(Şekil 1). Bölgede siteler, kooperatifler ve ayrı konut yapıları şeklinde, yerel yerleşim birimleri şekillendiren oldukça sık dokulu bir yapılaşma gelişmiştir. Depremsellik açısından, oldukça aktif bir noktada yer alan proje sahasında özellikle 1999 Marmara Depreminden sonra Başbakanlık, Bakanlık, Tekirdağ Belediyesi ve Namık Kemal Üniversitesi'nin gözetim ve denetimi altında yapılmış olan jeolojik-jeoteknik etüdler kapsamında da 35 adet zemin sondajı açılmıştır.



**Şekil 1.** İnceleme alanının yer bulduru haritası.(Google görüntüsü).

**Figure 1.** Location map of study area (from Google).

Bu çalışmada sondaj verileri ve zemin örneklerinin laboratuvar verilerinden de faydalanılarak bölge zemininin taşıma gücü hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Çalışma; veri toplama, veri değerlendirme ve elde edilen sonuçların denetlenmesi olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bölgede yapılmış eski jeolojik-jeoteknik çalışmalar incelenerek mühendislik jeolojisi haritası ve zemin birimleri hakkında bilgiler derlenmiştir. Derlenen verilerin yayının amacı doğrultusunda değerlendirilmesi için gerekli yöntemler belirlenerek; SPT düzeltmeleri, taşıma gücü hesaplamaları yapılarak, uygun programlar (Surfer, Kriging Gridding Method) kullanılarak sayısal ortama aktarımı gerçekleştirilmiştir. Değerlendirilmesi yapılan veri-

ler, çalışma sahasının jeolojik-jeoteknik yapısı ile denetlenerek amaç doğrultusunda sonuçlar çıkarılmıştır.

## JEOLOJİ

Trakya Havzası; D-B doğrultulu önemli faylar boyunca kuzeyden güneye doğru basamaklar şeklinde alçalmaktadır. Ayrıca bölgede bir çok K-G doğrultulu fay da gelişmiştir. Bu faylar, tüm Havza tabanını ve Tersiyer'i, Oligosen serilerine kadar kesmekte fakat Miyosen serilerine inmemektedir. Diğer bir deyişle hareketler Miyosen'den önce sona ermiştir (Yurtsever, 1996). Boyuna faylarla sınırlanmış olan bir sırt, Havsa yerleşim birimi dolayından başlayarak

Silivri ile Tekirdağ arasından Marmara Denizi'ne kadar uzanmaktadır. Sırtın her iki tarafında önemli tektonik depresyonlar geliştiği görülmektedir. Havza'nın GB bölümünde KB-GD uzanımlı önemli bir fay şeridi yaklaşık Tekirdağ-Uzunköprü hattı boyunca uzanır. Bu hattın güneyinde bulunan kesimde havza'nın oldukça sığ olduğu tahmin edilmektedir. Trakya Havzası'nda saptanmış olan ve beklenebilen jeolojik yapılar, orojenik kökenli yapılar olmaktan çok, kısmen ters eğimli faylarla çevrilmiş fay bloklarından ve gömülü (morfolojik) taban yükselimlerinden meydana gelmiş olmalıdır (Umut vd., 1983).

İnceleme alanını oluşturan ana formasyonlar; yerel ana kaya konumundaki en yaşlı birim olan Orta-Üst Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonu, bu formasyon üzerine düşük açılı uyumsuzlukla gelen Üst Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu ve her ikisini de yine uyumsuzlukla üstleyen Pliyosen yaşlı Trakya Formasyonu ile tüm formasyonları dere yataklarında örten Kuvaterner yaşlı alüvyon ve kıyı kumları oluşturmaktadır (Umut vd., 1983). Formasyonlar ve ana kayaç türleri; arazi gözlem ve ölçümleri, zemin sondajları ve araştırma çukurlarındaki tanımlamalar ile laboratuvar verileri yanı sıra önceki çalışmalardan sağlanan jeolojik verilerin bütünlleştirilmesi sonunda stratigrafik, litolojik ve petrografik özellikleri bakımından izleyen alt bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölgenin güneydoğusundaki kıyı şeridinde dolgu alanlar mevcuttur. Devamında alanın büyük bir kısmı alüvyondan oluşmaktadır. Yüksek eğimli kısımlara doğru Danişmen Formasyonu adı verilen silttaşı, kiltası ardaşmalı birime geçmektedir (Çağıl Mühendislik, 2007). Güney batıya doğru tepelik kısımlarda ise daha genç birim olan Ergene Formasyonu yer almaktadır. Tekirdağ ve yakın çevresini kapsayan çalışma alanında Tersiyer'e ait çökel istifler yer almakta olup, gözlenen bu jeolojik birimler yaşlı-danence aşığında tanımlanmıştır (Şekil 2).

#### **Danişmen Formasyonu (Td)**

Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşında olan formasyon inceleme alanında kiltası, silt taşı ve çok ince

daneli kumtaşı ile temsil edilmektedir. Formasyon kiltası ( $Td_{ki}$ ) ve silttaşı ( $Td_{si}$ ) olarak ayrı iki birim halinde haritalanmıştır.

#### **Kiltası ( $Td_{ki}$ )**

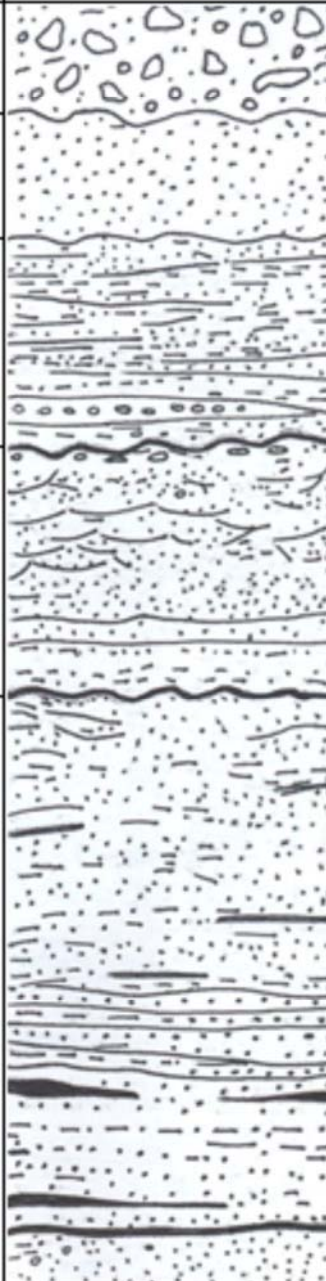
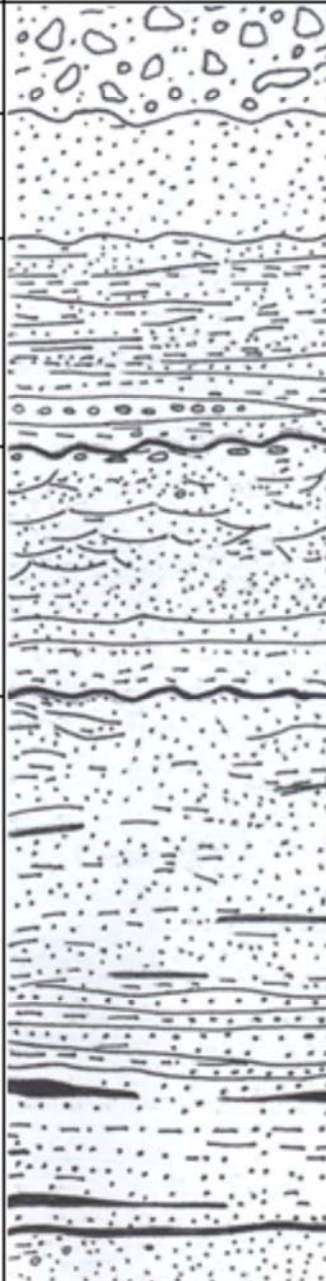
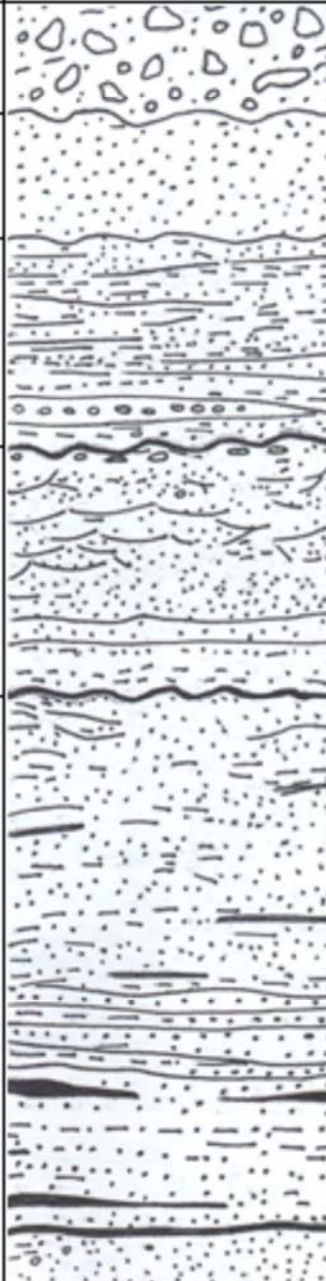
Çalışma alanında yüzeylenen birim; yeşil, koyu yeşil, nefli renkli, sıkı-çok sıkı tutturulmuş, eklem sistemi gelişmemiş, ince tabakalı, genellikle  $8^{\circ}$ - $10^{\circ}$  ile kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatıya eğimli olup CL grubu zemin olarak tanımlanmıştır. Yer yer kömür bantları içermekte olan kiltası üste doğru düşey ve yanal dereceli olarak silttaşına geçmektedir. Oldukça kalın (100 m) birim üzerinde 80-150 cm toprak örtüsü gelişmiştir. Sıkı, sert, eklemsiz ve kırılğan olmayan birim yol yarması, temel kazısı ve benzeri olarak herhangi bir şekilde yüzeylediğinde yağış sularını bünyesine alarak şişmekte fiziki şartlardan çok çabuk etkilenmekte eklem, çatlaklar oluşmakta rengi açılmakta ve kırılğan kaya haline dönüşmektedir.

#### **Silttaşı ( $Td_{si}$ )**

Çalışma alanında yüzeyleyen birim gri-koyu gri-boz renkli ince tabakalı, sıkı-çok sıkı tutturulmuş, eklem ve çatlak sistemi gelişmemiştir. Çoğunlukla silttaşından oluşan birim yer yer çok ince taneli kumtaşı ile temsil edilmektedir. Altta dereceli olarak kiltasına üstte de dereceli olarak Ergene formasyonuna geçmektedir. Çoğunlukla katman kalınlığı 1-5 m. ince olan birim, en fazla 30 m kalınlığa kadar ulaştığı saptanmıştır. Birimin üzerinde 40-100 cm toprak örtüsü gelişmiştir. Silttaşının eğimi yaklaşık  $10^{\circ}$  kadardır. Silttaşı ve kiltası kolaylıkla dağılıp ufalanmaktadır. Birim CL-ML grubu zemin olarak tanımlanmıştır.

#### **Ergene Formasyonu (Te)**

Miyosen yaşlı olan birim silttaşı kiltası (CL-ML) ardaşmasından oluşmaktadır. Çalışma alanında en fazla 10 m kalınlığa ulaşabilen birim kirliliği sarı, sarı, boz renkli, gevşek tutturulmuş ince tabakalı yer yer laminalı olup kiltası ve silttaşı girift olup ayırtanamazlar. Birim genellikle Danişmen formasyonu ile dereceli geçişli olup silttaşı ile başlamaktadır. Birim kırılğan olup kolaylıkla ayrışarak toprak haline dönüşmüştür.

| ZAMAN            |         | DEVİR      | DEVRE | ALT DEVRE | GRUP     | FORMASYON | ÜYE  | KALINLIK(M)   | SİMGE   | KAYA TÜRÜ   | AÇIKLAMA  |
|------------------|---------|------------|-------|-----------|----------|-----------|------|---|---|---|---|
| <b>SENOZOYİK</b> |         |            |       |           |          |           |      |   |   |   |   |
| PALEOJEN         | NEOJEN  | KUVATERNER |       |           |          |           |      | 10 >  | dlg   |    | Dolgu; Kayaç ve toprağın genellikle tesviye amaçlı oluşturduğu yapay birim.                     |
|                  |         | HOLOSEN    |       |           |          |           |      | 10 >  | Qk  |   | Plaj Kumı: Açık gri, boz renkli, serbest daneli, gevşek çimentolu, nemli ve homojen dokulu kum. |
| OLİGOSEN         | MİYOSEN |            |       |           |          |           | 15 > | Qal   |  | Alüvyon: Kil, killi siltli kum, koyu kahve, kahve rengli, kil seviyeleri plastik özellik sunmakta, Deniz kıyısına doğru kum oranı artmaktadır.  |   |
|                  |         | Orta       | Üst   | 15 >      |          |           | Te   | <u>Diskordans</u><br>Kahve renkli kumlu, seyrek köveli çakıllı, siltli kil özelliğinde, taban seviyelerinde ince kumlu, çok katı ve sert siltli kil, kil oranı azaldıkça açık kahve renkli karbonatlı, köveli çakıllı, kil oranı artınca kahve renkli yuvarlak çakıllı. |   |   |   |
|                  |         |            |       |           | DANIŞMEN |           | 50 > | Td  |  | <u>Diskordans</u><br>Altta kil ağırlıklı, üst seviyelerde silt ağırlıklı sıkı çimentolu kum taşı. Yer yer linyit damarlı. Yüzeiden derine indikçe, oldukça dayanımlı ve kaya zemin özelliği göstermekle birlikte atmosferle temasa geçtiğinde kolaylıkla ayrışarak topraklaşır. |   |

Şekil 2. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti.

Figure 2. Generalized stratigraphical section of the study area.



**Alüvyon (Qa)**

Çalışma alanını genellikle doğu-batı yönde kat eden vadi tabanlarında çökelmiş olan birimdir. Genellikle ince kum , silt ve kil karışından oluşmuş olan birimde kil oranı kum ve silte göre fazla olup zemin CL grubu zemindir.. Ancak denize yaklaştıkça silt ve kum oranı artmakta ve birim denizel kumlarla dereceli geçişle kıyı çökeline dönüşmektedir. Bu durum çalışma alanı dışında deniz kıyısında daha çok gözlenmektedir.

**Kıyı çökelleri (Qk)**

İnceleme alanının Marmara Denizi kıyı şeridinde yeralan bu çok genç çökeller, daha çok birer kumsal ve kumul malzemesi niteliğinde olup GP-SP türü zemin olarak belirlenmişlerdir. Doğrudan yüzeledikleri gibi yer yer kıyı kesiminde yapılan değişik amaçlı dolgu malzeme altında da kaldıkları görülmektedir. İnceleme alanında esas olarak çakıllı kum özelliği taşıyan bu birimin zemin sondajlarında geçilen kalınlığı 2 – 3 m'ler arasında değişmektedir.

**Dolgu (dlg)**

İnceleme alanındaki tüm jeolojik birimlerin ve hatta toprak örtüsünün üzerinde yer alan ve bölgedeki kayalar ile toprağın ve diğer her tür doğal – yapay kökenli blok – çakıl boyundaki katı atık malzemesinden oluşan birim CL grubu zemin olarak tanımlanmışlardır. Özellikle hemen her yörede tesviye amacıyla dökülen genellikle kıyı ve yol dolgularıdır.

**SONDAJ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

İnceleme alanında temel zeminine yönelik mühendislik özelliklerinin tanımlanması amacıyla önceki yıllarda açılmış, derinlikleri 10 ile 15 metre arasında değişen 35 adet zemin sondajı verilerinden yararlanılmıştır. İnceleme alanı zeminin mühendislik özelliklerinin elde edilmesi amacıyla açılan bu sondaj lokasyonlarının, inceleme alanı içerisindeki dağılımı Şekil 3' te gösterilmiş olup lokasyonlar hakkındaki diğer bilgilerde Çizelge 1' de verilmiştir.

**Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT)**

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) zemin incelemelerinde en sık kullanılan ve en eski arazi deneylerinden biridir. Bu bağlamda, arazide ölçülen değerler üzerinde yapılan düzeltmeler, çok önemli olmaktadır. Deney sonuçlarına ilişkin başlıca düzeltmelerin yapılaş yöntemleri aşağıda anlatıldığı şekildedir.

**Yeraltı suyu (YAS) düzeltmesi**

Deney yapılırken YAS seviyesinin altında suyun kumlu zemini gevşetmemesi için sondaj kuyusuna su ilave edilerek su seviyesi dengelenir. YAS tablası altında yer alan ince kum veya siltli kumlarda, çakma işlemi sırasında kısa sürede uzaklaşması mümkün olmayan suyun, negatif bir gözenek suyu basıncı yaratmasından dolayı zeminin direncinde, normal penetrasyon direncine oranla meydana gelen artışın giderilmesi amacıyla düzeltme yapılır (Terzaghi ve Peck, 1967).

$$N = 15 + 0.5 ( N - 15 ) \quad N > 15 \text{ ise} \quad (1)$$

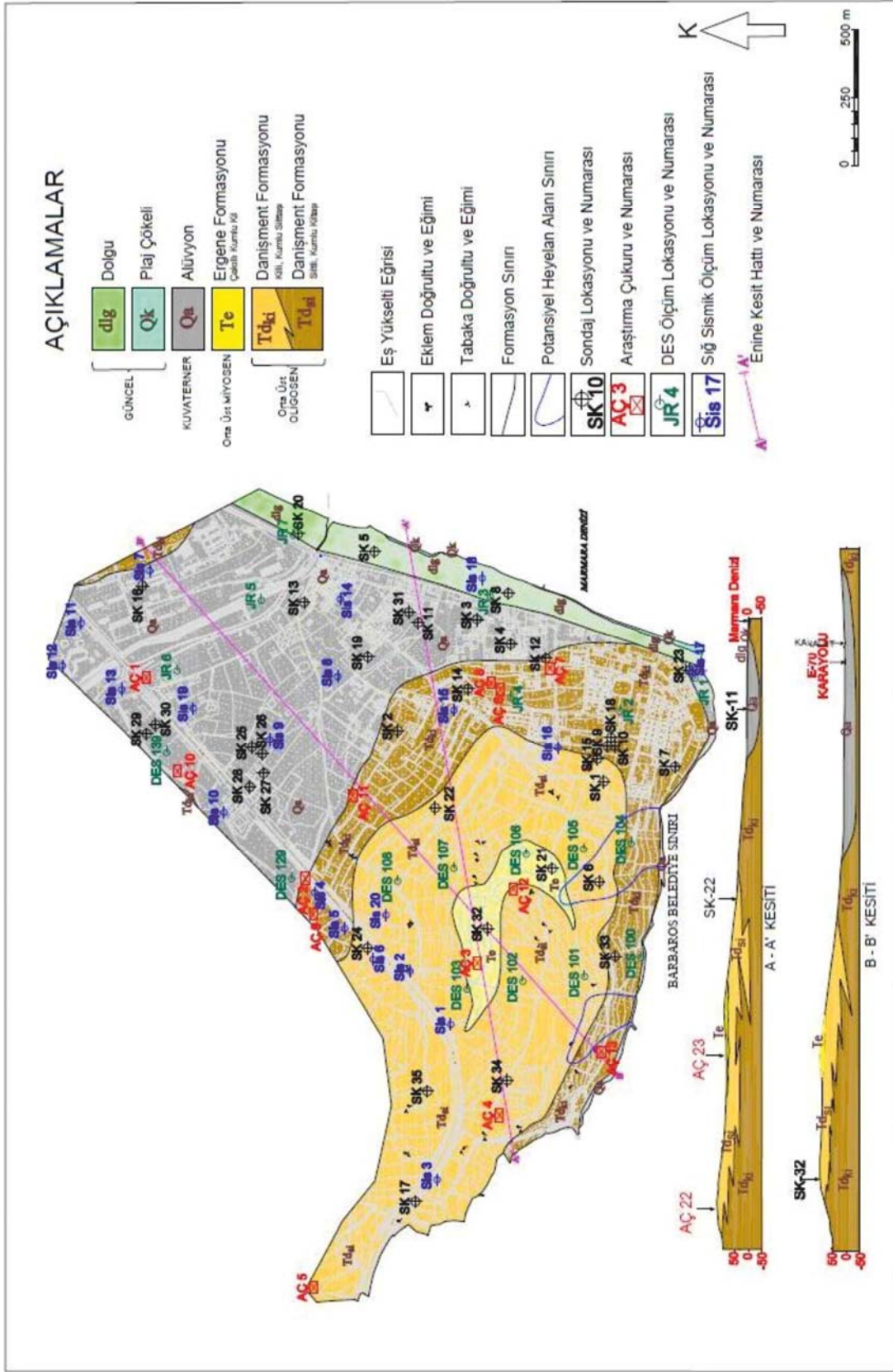
(N= Vuruş sayısı/30 cm. penetrasyon)

**Tij enerji oranı (ER)**

Şahmerdan tipi ve serbest bırakılış yöntemi, en üstteki tijin üzerinde yeralan ve darbenin uygulandığı metal bloğun tipi ve sondaj tijlerinin uzunluğu elde edilen N darbe sayısı değerlerinde farklılıklara neden olur. Bunun standart hale getirilebilmesi amacıyla ER kavramı geliştirilmiştir. ER dikkate alınarak N değerleri normalize edilir ve normalize edilmiş darbe sayıları (N60) hesaplanır.

$$N_{60} = N (ER/60) \quad (2)$$

Türkiye'de kullanılan Donut tipi şahmerdan için ER= 45 olarak alınmaktadır. Tij enerji oranı ER/60: 0,75 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır (Clayton, 1990; Seed vd., 1984, 1985).



**Çizelge 1.** Standart Penetrasyon Testi (SPT) verileri, düzeltilmiş değerleri ve yeraltı su düzeyi (YSD) ölçümleri.  
**Table 1.** Standart Penetration Test (SPT) data, corrected values and levels of groundwater.

| Sondaj No. | Derinlik ( m ) | N <sub>30</sub> | YSD Derinliği ( m ) | Yeraltısuyu Düzeltmeli SPT | Enerji Oranı Er | Tij Uzunluğu C <sub>R</sub> | Sondaj Çapı C <sub>B</sub> | Çakma Başlığı C <sub>A</sub> | Enerji C <sub>E</sub> | N <sub>60</sub> | Litoloji |
|------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------|----------|
| SK 1       | 1.50 – 1.95    | 19              | -                   | 19                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 13              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 27              |                     | 27                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 15              |          |
| SK 2       | 1.50 – 1.95    | 14              | -                   | 14                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 10              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 22              |                     | 22                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 12              |          |
| SK 3       | 1.50 – 1.95    | 16              | 2.50                | 16                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 11              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 26              |                     | 21                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 12              |          |
| SK 4       | 1.50 – 1.95    | 21              | 2.50                | 21                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 15              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 15              |                     | 15                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 8               |          |
| SK 5       | 1.50 – 1.54    | 9               | 1.50                | 9                          | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 6               | dlg      |
|            | 3.00 – 3.45    | 11              |                     | 11                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 6               |          |
| SK 6       | 1.50 – 1.95    | 45              | -                   | 45                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 32              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 48              |                     | 48                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 27              |          |
| SK 7       | 1.50 – 1.95    | 18              | -                   | 18                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 13              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 32              |                     | 32                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 18              |          |
| SK 8       | 1.50 – 1.95    | 11              | 1.40                | 11                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 8               | dlg      |
|            | 3.00 – 3.45    | 17              |                     | 17                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 9               |          |
| SK 9       | 1.50 – 1.95    | 23              | -                   | 23                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 16              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 25              |                     | 25                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 14              |          |
| SK 10      | 1.50 – 1.95    | 28              | -                   | 28                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 20              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 44              |                     | 44                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 24              |          |
| SK 11      | 1.50 – 1.95    | 20              | 4.00                | 20                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 14              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 10              |                     | 10                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 6               |          |
| SK 12      | 1.50 – 1.95    | 32              | -                   | 32                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 23              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 35              |                     | 35                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 19              |          |
| SK 13      | 1.50 – 1.95    | 16              | 3.20                | 16                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 11              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 26              |                     | 21                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 12              |          |
| SK 14      | 1.50 – 1.95    | 48              | -                   | 48                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 34              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 42              |                     | 42                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 23              |          |
| SK 15      | 1.50 – 1.95    | 43              | -                   | 43                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 30              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 49              |                     | 49                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 27              |          |
| SK 16      | 1.50 – 1.95    | 14              | 2.80                | 14                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 10              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 15              |                     | 15                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 8               |          |
| SK 17      | 1.50 – 1.95    | 46              | Artezyen            | 31                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 22              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 46              |                     | 31                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 17              |          |
| SK 18      | 1.50 – 1.95    | 38              | 11.00               | 38                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 27              | Tdkı     |
|            | 3.00 – 3.45    | 46              |                     | 46                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 25              |          |
| SK 19      | 1.50 – 1.95    | 11              | 2.50                | 11                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 8               | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 14              |                     | 14                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 8               |          |
| SK 20      | 1.50 – 1.95    | 16              | 1.00                | 16                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 11              | dlg      |
|            | 3.00 – 3.45    | 14              |                     | 14                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 8               |          |
| SK 21      | 1.50 – 1.95    | 22              | 7.50                | 22                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 16              | Te       |
|            | 3.00 – 3.45    | 27              |                     | 27                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 15              |          |
| SK 22      | 1.50 – 1.95    | 41              | 6.00                | 41                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 29              | Tdsi     |
|            | 3.00 – 3.45    | 44              |                     | 44                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 24              |          |
| SK 23      | 1.50 – 1.95    | 14              | 4.10                | 14                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 10              | Qa       |
|            | 3.00 – 3.45    | 30              |                     | 30                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 17              |          |
| SK 24      | 1.50 – 1.95    | 16              | 9.50                | 16                         | 45              | 0.75                        | 1.00                       | 1.68                         | 0.75                  | 11              | dlg      |
|            | 3.00 – 3.45    | 46              |                     | 46                         | 45              | 0.80                        | 1.00                       | 1.23                         | 0.75                  | 25              |          |

|       |             |    |      |    |    |      |      |      |      |    |      |
|-------|-------------|----|------|----|----|------|------|------|------|----|------|
| SK 25 | 1.50 – 1.95 | 10 | 3.00 | 10 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 7  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 14 |      | 14 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 8  |      |
| SK 26 | 1.50 – 1.95 | 15 | 3.00 | 15 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 8  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 22 |      | 19 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 9  |      |
| SK 27 | 1.50 – 1.95 | 13 | 3.00 | 13 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 7  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 18 |      | 17 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 8  |      |
| SK 28 | 1.50 – 1.95 | 13 | 3.00 | 13 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 7  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 19 |      | 17 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 8  |      |
| SK 29 | 1.50 – 1.95 | 8  | 3.00 | 8  | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 6  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 13 |      | 13 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 7  |      |
| SK 30 | 1.50 – 1.95 | 9  | 3.00 | 9  | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 6  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 14 |      | 14 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 8  |      |
| SK 31 | 1.50 – 1.95 | 11 | 3.00 | 11 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 8  | Qa   |
|       | 3.00 – 3.45 | 14 |      | 14 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 8  |      |
| SK 32 | 1.50 – 1.95 | 22 | 6.00 | 22 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 16 | Te   |
|       | 3.00 – 3.45 | 23 |      | 23 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 13 |      |
| SK 33 | 1.50 – 1.95 | 26 | -    | 26 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 18 | Tdkı |
|       | 3.00 – 3.45 | 32 |      | 32 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 18 |      |
| SK 34 | 1.50 – 1.95 | 32 | -    | 32 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 23 | Tdsı |
|       | 3.00 – 3.45 | 28 |      | 28 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 15 |      |
| SK 35 | 1.50 – 1.95 | 36 | -    | 36 | 45 | 0.75 | 1.00 | 1.68 | 0.75 | 26 | Tdsı |
|       | 3.00 – 3.45 | 37 |      | 37 | 45 | 0.80 | 1.00 | 1.23 | 0.75 | 20 |      |

(Çizelge 1 ' in devamı)

### Tij uzunluğu( $C_R$ ), iç tüp ve kuyu çapı ile ilgili düzeltmeler

Düzeltilmeler, siltli kumlar ile temiz kumlar için yapılan sıvılaştırma analizleri açısından önemlidir. Tij uzunluğuna bağlı katsayılar aşağıda verilmiştir (Skempton, 1986). İnceleme alanında açılan sondajlarda yapılan standart penetrasyon testleri sonuçları yukarıda belirtilen düzeltmeler yapılarak hesaplanmış  $N_{60}$  değerleri Çizelge 1' de sunulmuştur. Bu değerler alanın genelinde bodrumlu ve bodrumsuz yapı-laşma durumu için bir yaklaşımda bulunulması amacıyla 1.5 ve 3.0 m derinlikteki değişimlerini (Şekil 4) ve büyüklükleri gözetilerek SPT-  $N_{60}$  eş-değer haritaları ((Surfer, Kriging Gridding Method kullanılarak) çizilmiştir (Şekil 5 ve 6).

### STANDART PENETRASYON DENEYLERİ İLE TAŞIMA GÜCÜ ANALİZİ

Kum zeminlerden örselenmemiş numune almak imkansızdır. Bu tür zeminlerin yerleşim sıklıkları davranış üzerinde belirleyicidir. Bu tür zeminlerin özelliklerini yerinde tayin etmek üzere geliştirilen arazi deneyleri giderek tüm zeminler için kullanılır

hale gelmiştir. Arazi deneyleri içinde en yaygın kullanım şekli standart penetrasyon deneyidir. Bununla birlikte ancak konik penetrometrenin kullanımı da hızla yaygınlaşmaktadır.(ÇEKBİM Ltd. Şti., SANAL Müh, 2000, ÇAĞIL Müh, 2007). SPT deneylerine bağlı olarak emniyetli taşıma gücünün hesabı için en uygun denklemler Meyerhof (1956) tarafından verilmiştir. Meyerhof denklemleri ile temelin en fazla 25 mm. (2.5 cm.) oturmasına karşılık gelen ve nominal bir temel genişliğine karşılık gelen emniyetli taşıma gücü değerleri bulunur. Meyerhof tarafından tekil temeller için emniyetli taşıma gücünü hesaplamaya yönelik olarak önerilen denklemler aşağıda verilmektedir:

$$q_a = 12 \cdot N \cdot K_d \quad B \leq 1.22 \text{ m. için}$$

$$q_a = 8 \cdot N \cdot \left( \frac{B + 0.305}{B} \right)^2 \cdot K_d \quad B > 1.22 \text{ m. için}$$

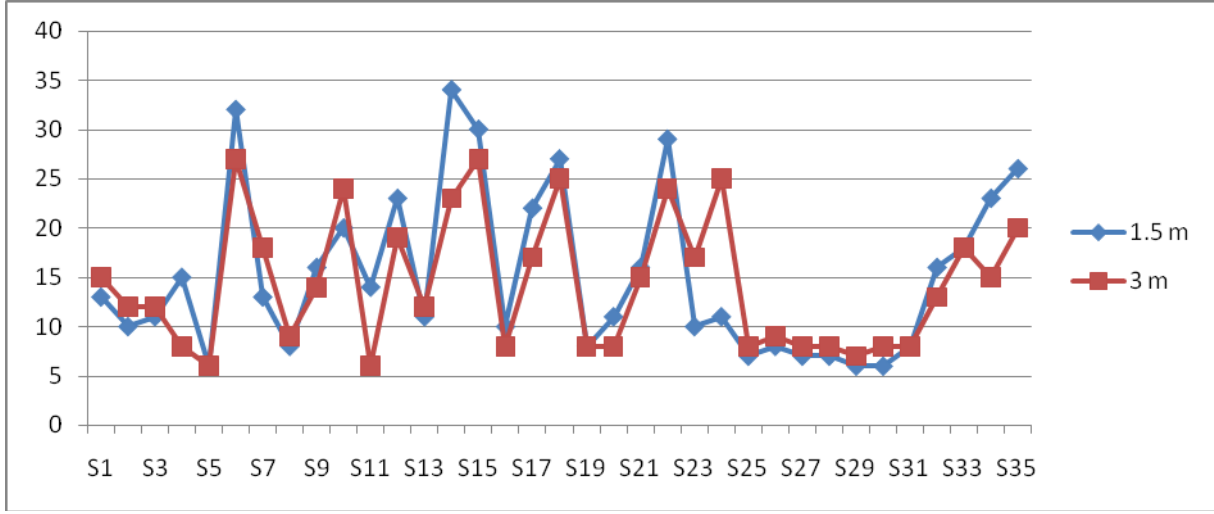
$$K_d = 1 + 0.33 \frac{D}{B} \leq 1.33$$

$$q_a = 25 \text{ mm. oturma için emniyetli taşıma gücü (kN/m}^2\text{)}$$

$$N = \text{SPT darbe sayısı}$$

$$D = \text{Temel derinliği (m)}$$

$$B = \text{Temel genişliği (m)}$$



**Şekil 4.** 1.5 ve 3 m. derinlik için  $N_{60}$  değerleri kullanılarak hazırlanmış grafiksel değişim.

**Figure 4.** Graphical changes of  $N_{60}$  with depths of 1.5 and 3 m.

Bowles (1988), Meyerhof (1974)' un formüllerinin de güvenli tarafta kaldığını ve yaklaşık %60 artırılması gerektiğini belirterek bu denklemleri çok daha büyük emniyetli taşıma gücü elde edecek şekilde değiştirmiştir.

$$q_a = 20 \cdot N \cdot K_d \quad B \leq 1.22 \text{ m. için}$$

$$q_a = 12.5 \cdot N \cdot \left( \frac{B + 0.305}{B} \right)^2 \cdot K_d \quad B > 1.22 \text{ m. için}$$

Bu denklemlerden Meyerhof (1974)' u tercih etmek güvenli tarafta kalmak bakımından yararlıdır. Bowles (1988)'un önerdiği denklemler tercih edildiği takdirde kullanılan SPT sayısının zemini yeterli seviyede temsil ettiğinden emin olunmalıdır. Bu çalışmada değerlendirmeye alınan SPT verilerinin 1,5 ve 3,0 m derinlikteki  $N_{60}$  değerleri yukarıda ayrıntıları verilen formüllerde kullanılarak Meyerhof (1974) yöntemine göre her iki derinlik seviyesi için ayrı ayrı taşıma gücü değerleri olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Hesaplanmış olan taşıma gücü değerleri ile her iki seviye için ayrı ayrı taşıma gücü haritaları hazırlanmıştır (Şekil 6).

## SONUÇLAR

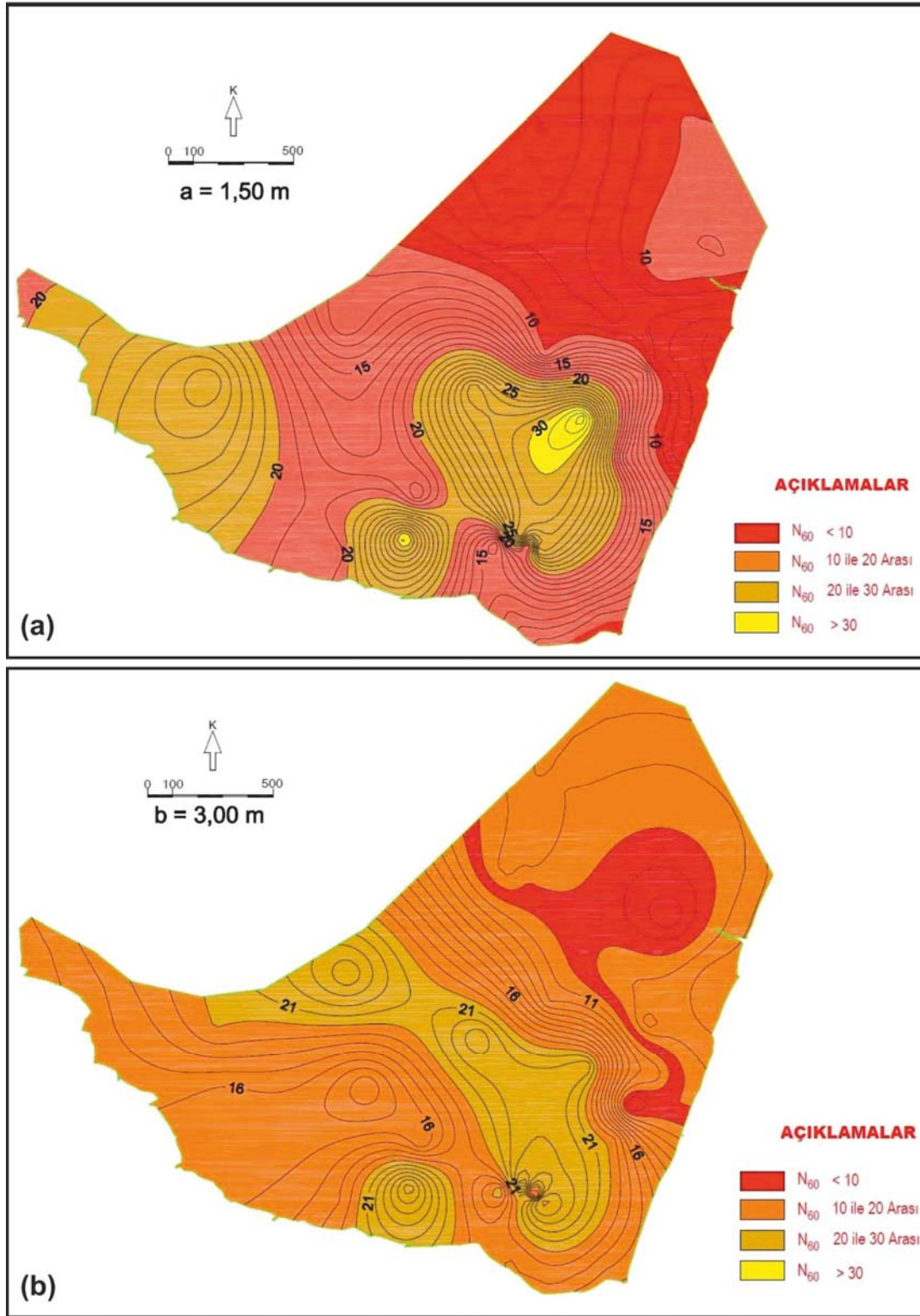
Altınova (Tekirdağ)'da açılmış olan 35 sondajın standart penetrasyon testi verisinden faydalanıla-

rak yapılmış olan haritalar ve hesaplamalar değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

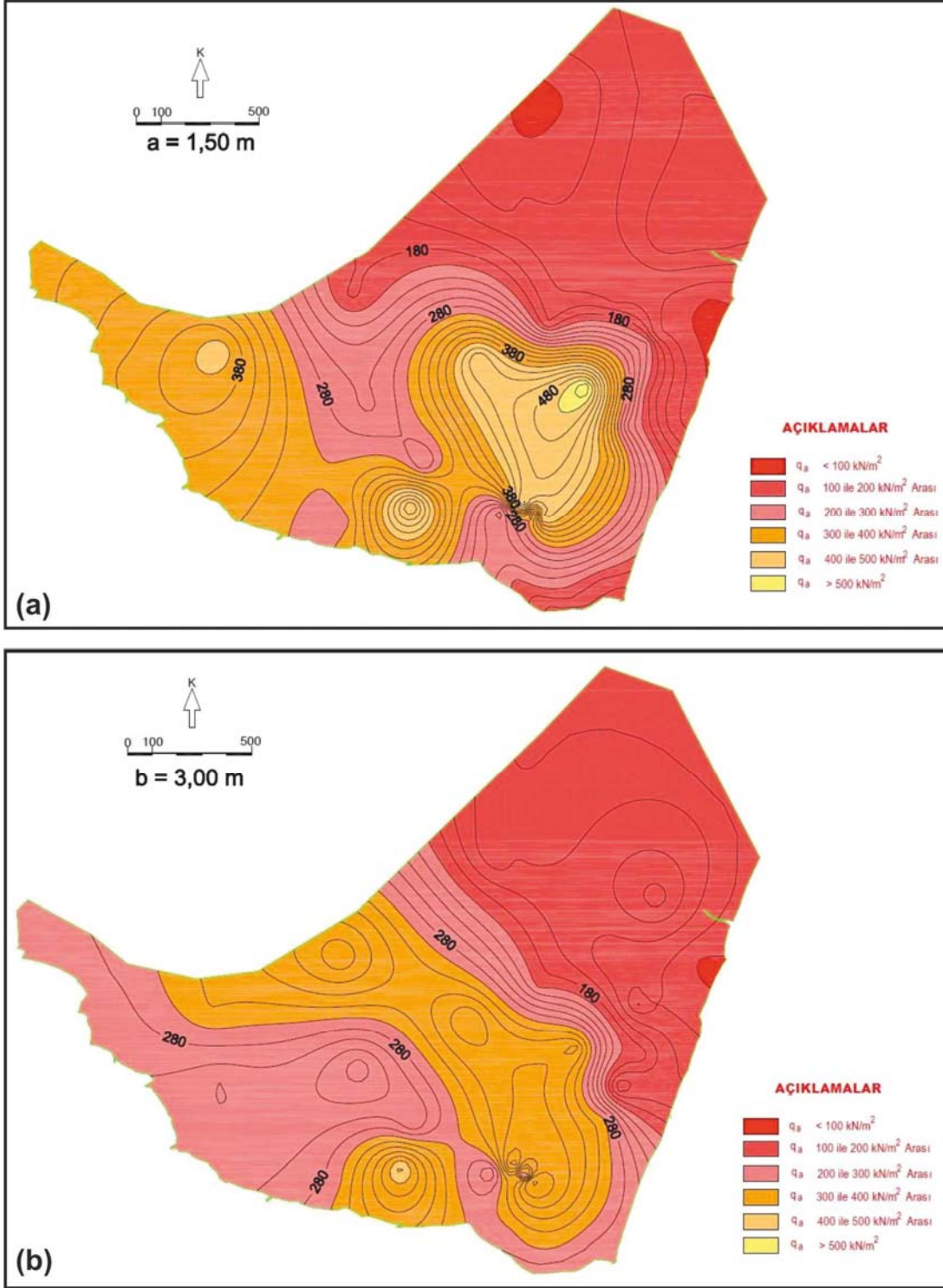
1. Düzeltilmiş SPT değerlerine bakıldığında; 1,50 m. den alınan SPT değerlerinde alüvyonal kesimde 10'un altında değerler bulunduğu gözlenmektedir. Göreceli olarak daha yüksek değerlere ise Danişmen Formasyonu'nun topografik olarak daha düşük kotlu kesimlerindeki sondajlarda rastlanılmaktadır. Değerlendirme alanında yüksek SPT değerleri ise Ergene Formasyonu'nun çakıllı seviyeleri ile Danişmen Formasyonu'nun kısmen daha iri taneli kırıntılılarının hakim olduğu ve topoğrafik kot olarak da daha yüksekte bulunduğu alanlarda olduğu saptanmıştır.

3.00 m. den alınan SPT değerleri ise daha yalın bir gözlem yapılmasına izin vermektedir. Bu metredeki değerler irdelendiğinde Altınova Dere yatağının akışına paralel bir hatta düşük değerler, topografik yükseltilerin olduğu KB-GD gidişli bir hat boyunca göreceli yüksek değerler gözlenmekle birlikte esas olarak 10 ila 20 arasında bir SPT değeri söz konusu olduğu saptanmıştır.

2. Taşıma Gücü Değerleri'ne bakıldığında; 1.50 m de hesaplanan taşıma gücü değerleri tamamen jeolojik birimlerle uyumluluk göstermektedir. Alüvyonal ve dolgu kesim  $200 \text{ kN/m}^2$ 'den daha düşük bir taşıma gücüyle en zayıf zemin olarak gözlenmektedir. Çalışma alanında  $300 \text{ kN/m}^2$



**Şekil 5.**  $N_{60}$  değerleri kullanılarak yapılmış  $N_{60}$  Eş Değer Haritaları: (a) 1.5 m, (b) 3 m derinlik için.  
**Figure 5.**  $N_{60}$  izohips maps based on  $N_{60}$  values: for depths of (a) 1.5 m, (b) 3 m.



**Şekil 6.** Hesaplanmış  $N_{60}$  Değerleri ile Meyerhof (1974) yöntemi kullanılarak yapılmış taşıma gücü haritaları: (a) 1.5 m, (b) 3 m derinlik için..

**Figure 6.** Bearing capacity maps produced according to Meyerhof (1974) method from calculated  $N_{60}$  values of SPT: for depths of (a) 1.5 m, (b) 3 m.

**Çizelge 2.** Düzeltilmiş SPT değerleri kullanılarak Meyerhof (1974) denklemine göre hesaplanmış taşıma gücü değerleri.

**Table 2.** Calculated bearing capacity values using SPT in accordance with Meyerhof (1974) equation.

| Sondaj No. | Koordinatlar |        | SPT    |        | DÜZELTİLMİŞ SPT |        | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | B    | K <sub>d1-23</sub> | qa(kN/m <sup>2</sup> ) |        |
|------------|--------------|--------|--------|--------|-----------------|--------|----------------|----------------|------|--------------------|------------------------|--------|
|            | X            | Y      | 1.50 m | 3.00 m | 1.50 m          | 3.00 m |                |                |      |                    | 1.50 m                 | 3.00 m |
| SK1        | 4534427      | 540490 | 19     | 27     | 13              | 15     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 207.48                 | 239.40 |
| SK2        | 4535184      | 540678 | 14     | 22     | 10              | 12     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 159.60                 | 191.52 |
| SK3        | 4534894      | 541091 | 16     | 26     | 11              | 12     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 175.56                 | 191.52 |
| SK4        | 4534770      | 540998 | 21     | 15     | 15              | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 239.40                 | 119.70 |
| SK5        | 4535270      | 541338 | 9      | 11     | 6               | 6      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 95.76                  | 95.76  |
| SK6        | 4534445      | 540120 | 45     | 48     | 32              | 27     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 510.72                 | 430.92 |
| SK7        | 4534166      | 540543 | 18     | 32     | 13              | 18     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 207.48                 | 287.28 |
| SK8        | 4534778      | 541187 | 11     | 17     | 8               | 9      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 127.68                 | 143.64 |
| SK9        | 4534413      | 540620 | 23     | 25     | 16              | 14     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 255.36                 | 223.44 |
| SK10       | 4534388      | 540621 | 28     | 44     | 20              | 24     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 319.20                 | 383.04 |
| SK11       | 4535109      | 541078 | 20     | 10     | 14              | 6      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 223.44                 | 95.76  |
| SK12       | 4534641      | 540945 | 32     | 35     | 23              | 19     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 367.08                 | 303.24 |
| SK13       | 4535529      | 541153 | 16     | 26     | 11              | 12     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 175.56                 | 191.52 |
| SK14       | 4534927      | 540832 | 48     | 42     | 34              | 23     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 542.64                 | 367.08 |
| SK15       | 4534451      | 540573 | 43     | 49     | 30              | 27     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 478.80                 | 430.92 |
| SK16       | 4536124      | 541214 | 14     | 15     | 10              | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 159.60                 | 127.68 |
| SK17       | 4535120      | 538939 | 46     | 46     | 22              | 17     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 351.12                 | 271.32 |
| SK18       | 4534401      | 540652 | 38     | 46     | 13              | 9      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 207.48                 | 143.64 |
| SK19       | 4535295      | 540950 | 11     | 14     | 8               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 127.68                 | 127.68 |
| SK20       | 4535552      | 541404 | 16     | 14     | 11              | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 175.56                 | 127.68 |
| SK21       | 4534617      | 540169 | 22     | 27     | 16              | 15     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 255.36                 | 239.40 |
| SK22       | 4535047      | 540394 | 41     | 44     | 8               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 127.68                 | 127.68 |
| SK23       | 4534113      | 540901 | 14     | 30     | 10              | 17     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 159.60                 | 271.32 |
| SK24       | 4535296      | 539878 | 16     | 46     | 11              | 25     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 175.56                 | 399.00 |
| SK25       | 4535720      | 540617 | 10     | 14     | 6               | 7      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 95.76                  | 111.72 |
| SK26       | 4535682      | 540592 | 15     | 22     | 8               | 9      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 127.68                 | 143.64 |
| SK27       | 4535677      | 540519 | 13     | 18     | 7               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 111.72                 | 127.68 |
| SK28       | 4535728      | 540469 | 13     | 19     | 7               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 111.72                 | 127.68 |
| SK29       | 4536107      | 540667 | 8      | 13     | 6               | 7      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 95.76                  | 111.72 |
| SK30       | 4536075      | 540701 | 9      | 14     | 6               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 95.76                  | 127.68 |
| SK31       | 4535144      | 541117 | 11     | 14     | 8               | 8      | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 127.68                 | 127.68 |
| SK32       | 4534854      | 539950 | 22     | 23     | 16              | 13     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 255.36                 | 207.48 |
| SK33       | 4534385      | 539847 | 26     | 32     | 18              | 18     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 287.28                 | 287.28 |
| SK34       | 4534782      | 539386 | 32     | 28     | 23              | 15     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 367.08                 | 239.40 |
| SK35       | 4535076      | 539346 | 36     | 37     | 26              | 20     | 1.50           | 3.00           | 1.00 | 1.33               | 414.96                 | 319.20 |



den daha fazla taşıma gücü değerleri Ergene Formasyonu'nun çakıllı seviyeleri ile Danişmen Formasyonu'nun kısmen daha iri taneli kırıntılılarının egemen olduğu ve topografik kot olarak da daha yüksek kesimlerde de hesaplanmıştır. Danişmen Formasyonu'nun ince malzeme ağırlıklı kesimlerinin ise bir şerit halinde bu iki ekstrem değer taşıyan zon arasında yer almakta olduğu saptanmıştır.

3.00 m. de hesaplanan taşıma gücü değerleri ise, hem SPT değerleri hem de jeolojik birimler ile uyum içerisindedir. Bu değerler irdelendiğinde de alüvyonal kesim  $200 \text{ kN/m}^2$ 'den daha düşük bir taşıma gücüyle en zayıf zemin olarak gözlenmektedir. Topografik yükseltilerin olduğu KB-GD gi-dişli bir hat boyunca göreceli en yüksek değerler ( $300 \text{ kN/m}^2$ ) gözlenmektedir. Danişmen Formasyonu'nun ince malzeme ağırlıklı kesimleri ise bu metrede bir şerit halinde bu iki ekstrem değer taşıyan zon arasında yer aldığı saptanmıştır.

#### KATKI BELİRTME

Yazarlar, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenen NKUBAP00.17.YL.09.05 kodlu bu çalışma için, NKU BAP'a teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

- Bowles, J.E. (1988). *Foundation Analysis and Design*, Mc. Graw Hill, NewYork.
- Clayton, C.R.I. (1990). SPT Energy transmission: theory, measurement and significance. *Ground Engineering*, 23, 10, 35-43.
- Çağıl Mühendislik (2007). *Tekirdağ Belediyesi Mücavir Sahasının Jeolojik-Jeoteknik Etüdü*. İstanbul
- Çekbim Ltd. Şti., SANAL Mühendislik (2000). *Tekirdağ Belediyesi Mücavir Alanının Jeolojik ve Jeoteknik Etüd Raporu*, Metin Cildi, 82 s., İstanbul.
- Meyerhof, G.G. (1956). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. *ASCE J. Soil Mech. Found. Div.*, vol:82, no. SM1,
- Meyerhof, G.G. (1974). Ultimate bearing capacity of footings on sand layer overlying clay. *Can. Geotec. J.*, 11, 2.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.P. and Chung, R.M. (1984). The influence of SPT procedures in soil liquefaction Resistance Evaluations. Report No: UCB/EERC-84/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.P. and Chung, R.M. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 111, 12, 1425-1445.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E. (2003). İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma. *İTÜ. Derg. C:2*, S:6, 59-67, İstanbul.
- Skempton, A.W. (1986). Standart Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. *Geotechnique*, 36, 3, 425-447.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2 nd. Edition, John Wiley&Sons, USA.
- Yurtsever, A. (1996). 1/200.000 ölçekli açınama nitelikli Trakya Jeoloji Haritası Tanıtım Raporu. MTA Trakya Bölge Müdürlüğü, 51 s., İstanbul.
- Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., Özcan, İ., Sarıkaya, H. ve Saraç, G. (1983). *Tekirdağ-Silivri (İstanbul)-Pınarhisar alanının jeolojisi*. MTA. Derleme Rap. No:7349 (yayınlanmamış).
- Yener, S.A., 2011. *Altınova Bölgesi (Tekirdağ) arazisi mikrobölgeleme haritalarının jeolojik ve jeoteknik özelliklere bağlı olarak hazırlanması*. NKÜ. Fen Bilimleri Enst., Tekirdağ, Yüksek Lisans Tezi, 127 s.

---

**İ. Feda ARAL**

Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
59860, Tekirdağ

iaral@nku.edu.tr

---

## Şişen killi zeminlerin doğal jips katkısı kullanılarak iyileştirilmesi

### *Stabilization of swelling clay soils by use of natural gypsum additive*

Işık YILMAZ ve Berrin CİVELEKOĞLU

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas  
Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58140 Sivas

#### ÖZ

Özellikle hafif yapılar, şişebilen killerin şişme ve büzülmesinden kaynaklanan zemin hareketlerinden önemli ölçüde etkilenmektedirler. Jeoteknik mühendisleri, su içeriğindeki değişimlerin sonunda meydana gelen killerin şişmesi ile uzun süreden beri ilgilenirler. Bu değişimler, yüzeydeki yapılarda dikkate değer hasarlara neden olurlar ve mühendisler bu olayı mutlaka dikkate almalıdırlar. Uluslararası ve ulusal literatür şişebilen killerin iyileştirilmesinde kireç, çimento ve uçucu kül ile iyileştirilmesine yönelik bir çok çalışmayı içermektedir. Ancak, jipsin killerin iyileştirilmesinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği açık değildir. Bu çalışma, şişebilen killerin şişme ve dayanım özelliklerinin iyileştirilmesinde bir katkı maddesi olarak kullanım performansını ortaya koymaktadır. Çalışmada ilk olarak, bentonitin en iyi kompaksiyonu için gerekli olan optimum su içeriğini belirlemek üzere standart kompaksiyon deneyi gerçekleştirilmiştir. %2.5, %5, %7.5 ve %10 gibi kütlece farklı miktarlarda jips bentonite karıştırılmış ve hesaplanmış olan optimum su içeriğinde sıkıştırılmıştır. Daha sonra; hem karışimsız hem de 7 günlük küre bırakılmış jips karışımı numuneler üzerinde Atterberg limitleri, serbest şişme ve serbest basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Jips katkı maddesine bağlı olarak plastisite, şişme ve dayanımda meydana gelen değişimler jipsin şişebilen killerin iyileştirilmesinde etkin bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Killi zeminler, bentonit, jips, iyileştirme, şişme, dayanım.

#### ABSTRACT

*Low rise buildings are particularly vulnerable to ground movements sourced from swelling and shrinking of the expansive clay soils. Geotechnical engineers have long recognized that swelling of expansive clays caused by moisture variation may result in considerable damage to the overlying structures, and engineers should take them into the consideration. International and national literature contains a vast number of stabilizing techniques such as lime, cement and fly-ash for treatment of expansive clay soils. However the use of gypsum as a stabilizing agent is currently not clear. This study deals with the performance of the gypsum as an additive for treatment of the expansive clay soils by means of swell potential and strength. Optimum water content for the best compaction of the bentonite was first determined by standard compaction tests. Different quantities of gypsum such as 2.5%, 5%, 7.5%, and 10% by mass were added to bentonite and compacted in optimum water content obtained. Atterberg limits, free swell and unconfined compressive strength tests were performed on treated and untreated samples, after a curing period of 7 days. Obtained changes in the plasticity, swell percent and strength parameters of treated and untreated samples indicated that gypsum can be used as a stabilizing agent for expansive clay soils, effectively.*

**Keywords:** Clay soils, bentonite, gypsum, stabilization, swell, strength.

## GİRİŞ

Birçok bina zorunlu olarak yeterli zemin koşullarının bulunmadığı yerlerde inşa edilirler. Çünkü özellikle sosyo-ekonomik gelişmenin bir sonucu olarak kentler büyümekte ve inşaat için gerekli yeterli taşıma gücüne sahip uygun alanların yüzölçümü azalmaktadır. Böylelikle, sıklıkla arzu edilmeyen koşulların bulunduğu alanlarda inşaat yapımı gerçekleşmektedir. Killi zeminlerin en önemli özelliklerinden birisi de bu tür zeminlerin şişme ve büzülme gibi hacimsel değişime karşı duyarlı olmasıdır. Bu tür hacimsel değişimler, temel zeminlerinde meydana gelen yükselme ve alçalma gibi hareketlere ve dolayısı ile üzerindeki yapılarda istenmeyen deformasyonlara neden olmaktadır.

Şişebilen killi zeminlerin şişme potansiyelleri üzerlerinde bulunan örtü gerilmesine, yük kaldırılmasına veya su içeriğindeki artışlara bağlıdır. Bell ve Maud (1995), Yılmaz ve Karacan (1997), Yılmaz (2007.a); özellikle hafif yapıların şişme ile meydana gelen zemin kabarmalarına karşı yeterli miktarda mukavemet gösterememelerinin yapı üzerinde çok şiddetli hasarların oluşmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Şişme ve büzülmeye en çok eğilimli olan zeminler genellikle aşırı konsolide/konsolide zeminler (Dhowian ve diğ., 1985) ile Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı alüvyal/kolüvyal zeminlerdir (Donaldson, 1969; Yılmaz, 2008).

Zeminler üzerine inşa edilen yapılar sırasında killer birincil öneme sahiptirler. Şişmeden kaynaklanan bina üzerindeki hasarlar ve hareketler genellikle çok yavaş gerçekleşirler ve heyelan, deprem, kasırga gibi dramatik felaketlere neden olmazlar. Meydana gelen hasarlar bazen küçük onarımlarla ortadan kaldırılabilirler ve estetik anlamda önem taşırlarken, çoğunlukla daha kötü ve binalarda maliyeti yüksek hasarlar ile temel yapısal sorunlar ortaya çıkabilir. Zemin iyileştirmeleri genellikle yüksek maliyetlere neden olmasına rağmen, ortaya çıkacak sorunların sürekli onarımları ile mukayese edildiğinde çok önemli düzeylere ulaşmaz (Coduto, 1999).

Özellikle hafif yapılar, zemin şişmelerinden kaynaklanan hasarlara daha eğilimlidirler. Zemin yüzeyinde meydana gelecek kabarma ve büzülmenin büyüklüğü genellikle bir yapının altındaki alan içerisinde bile değişimler gösterebilir. Bunun sonucu olarak da; bina temelinin değişik noktalarında farklı miktarlarda hareketler gerçekleşebilir (Yılmaz ve Civelekoğlu, 2009).

Killi zeminler üzerinde yer alacak yapılar için şişmeye karşı aşağı bahsedilen bazı koruyucu önlemler alınabilir;

- Temellerin daha derinlere kadar indirilmesi,
- Temelerde ekstra çelik donatıların kullanımı,
- Yüzey ve/veya yeraltı sularının drenajı,
- İnşaat öncesinde zeminde yapılan ön-nemlendirme,
- Şişebilen zeminin kaldırılarak şişmeyen zeminle değiştirilmesi,
- Zeminin, kireç, uçucu kül, kimyasallar gibi katkı maddeleri ile iyileştirilmesi.

Şişebilen zeminlerin iyileştirilmesine yönelik ulusal ve uluslar arası literatürün genel olarak çimento, kireç ve uçucu kül gibi katkı maddelerinin kullanımında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir.

Townsend ve Kym (1966) ve Brandl (1981) killerin iyileştirilmesinde katkı maddesi olarak kireci kullanmışlar ve geçirimsizlik değerlerinin yükseldiğini belirlemişlerdir. Broms ve Boman (1979); kireç katkısının zeminlerin makaslama dayanımı, sıkışabilirlik ve geçirimsizlikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında kireçle iyileştirmenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. El-Rawi ve Awad (1981); kohezyonlu zeminlerin kireçle iyileştirilmesi çalışmasının sonucu olarak, plastisite indeksi, dispersivite ve şişmede azalma, geçirimsizlik ve dayanımda ise artış kaydetmişlerdir. Bell ve Coultherd (1990)' ın çalışması da killerin kireç katkısı ile iyileştirilmesine yönelik gerçekleştirilmiş ve şişmede etkin iyileştirme ile sonuçlanmıştır. Akawwi ve Kharabsheh (2000); şişebilen Amman killerinin kireçle iyileştirilmesine ilişkin çalışmalarında, %3.5–5 arasında katkı miktarı ile etkin bir iyileştirmenin gerçekleştiğini ifade etmişlerdir.

Yeşilbaş (2004); şişen zeminlerin agrega artığı, taş unu ve kireç kullanılarak stabilizasyonu konulu çalışmasında şişen zemin numunesi olarak laboratuvarda hazırladığı kaolin ve bentonit karışımını kullanmıştır. Kireç ağırlıkça %0 ila %9 arası oranlarda, agrega artığı ve taş unu ise ağırlıkça %0 ila %25 arası oranlarda katılmıştır. Örneklerin tane çapı dağılımı, kıvam limitleri, şişme yüzdeleri ve şişme hızı tespit edilmiştir. Ayrıca 7 ve 28 günlük kürler uygulanmıştır. Bu metotla iyileştirme şişme potansiyelinde azalmaya neden olmuş, şişme yüzdesi katkı miktarı arttıkça azalmıştır.

Ülker (2005); karayolu altyapısında zeminlerin kireçle iyileştirilmesi çalışmalarında iki tip killi zemini (CH ve CL), farklı yüzdelerde (%1, 3, 5, 10) kireçle karıştırmıştır. Çalışma sonucunda; katılan kirecin, iki tip zeminde de dayanım artışında ve fiziksel özelliklerde gelişmeye önemli oranda katkıda bulunduğunu gözlemlemiştir.

Süt (2006); kohezyonlu zeminlerin kireçle iyileştirilmesinin CBR (Kaliforniya Taşıma Oranı) değeri üzerindeki etkisinin irdelenmesi konulu çalışmalarında, zemin numunesi olarak yüksek plastisiteli (CH) kil kullanmıştır. Zemin, kuru ağırlığının %2, 4, 6 ve 8'i kadar sönmüş kireç ile karıştırılmıştır. Çalışmada özellikle artan kireç içeriğine bağlı olarak değişen; CBR, serbest basınç dayanımı ve şişme potansiyelindeki değişimler irdelenmiştir. CBR ve serbest basınç deneylerinin sonuçları beraber değerlendirilerek zeminin iyileşmesini sağlayan optimum kireç miktarı belirlenmiştir.

Uysal (1993); Türkiye' de ilk uygulamalardan biri olan Manisa Öğretmen evi'nin zemin iyileştirme çalışmasında, zeminde yer alan düşük plastisiteli CL inorganik killerin sönmüş kireç tozu ile stabilize edilebilirliğini belirtmiştir.

Çetiner (2004); şişen zeminlerin Çayırhan uçucu külü ve desülfojips ile stabilizasyonu konulu çalışmalarında, şişen zemin Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül ve desülfojips ile stabilize edilmiştir. Uçucu kül ve desülfojips şişen zemine 0'dan yüzde 30'a kadar eklenmiştir. Uçucu kül ve desülfojipsin şişen zemin stabilizasyonunda ne kadar verimli olduklarını anlamak için kireç kullanılmış ve şişen zemine 0'dan yüzde 8'e

kadar eklenmiştir. Uçucu kül, desülfojips ve kireç eklenmiş numunelere, sonrasında serbest şişme deneylerine tabi tutulmak üzere, 7 günlük ve 28 günlük kür uygulanmıştır. Katkının artmasıyla şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızı artmıştır. Kür, daha çok şişme yüzdesi düşüşü ve şişme hızı artışına sebep olmuştur.

Terashi ve diğ. (1980) ile Locat ve diğ. (1990) ise killeri kireç ve uçucu kül katkısı ile iyileştirmişler ve geçirimsizliğin azaldığını belirlemişlerdir. Ji-ru ve Xing (2002) de benzer şekilde kireç ve uçucu külü katkı maddesi olarak kullanarak şişebilen zeminleri iyileştirmişlerdir.

Transportation Rese-arch Board (1987); Kamon ve Nontanandh (1991), Basma ve Tuncer (1991) dünyanın değişik bölge-lerinde zeminlerin uçucu kül ve kireç-uçucu kül karışımı ile iyileştirilmesi bakımından gerçekleştirdikleri çalışmalarında etkin stabilizasyon sonuçlarını rapor etmişlerdir.

Amu ve diğ. (2005); %9 çimento + %3 uçucu külü katkı maddesi olarak kullandıklarında taşıma gücü ve makaslama dayanımında optimum iyileştirme elde etmişlerdir. Bu sonucu uçucu kül kullanmadan %12 çimento ile elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırarak, iyileştirmede uygun oranda uçucu külün de kirece eklenmesinin iyileştirmeyi önemli ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir.

Kennedy ve diğ. (1987); kireç ve çimento ile stabilizasyonun şişen zeminler üzerindeki etkisini şişme potansiyelindeki azalma ile ifade etmişlerdir. Mathew ve Narasimha (1997); çimento ve kireç katkısı kullanarak zeminleri stabilize etmişler ve iyileştirme mekanizmasını açıklamışlardır.

Edral (1999); uçucu külün şişebilen zeminlere karıştırılması ile şişme basıncında kayda değer düşüş belirlemiştir. Muntohar ve Hantoro (2000); zeminlerin uçucu kül ve pozolan malzemeler kullanılarak iyileştirilebildiğini bulmuşlardır. Nalbantoğlu ve Güçbilmez (2001); Kıbrıs adasında önemli temel sorunlarına neden olan şişen killeri iyileştirmek üzere uçucu külü katkı maddesi olarak kullanmış olup, elde ettikleri sonuçlar şişmenin düştüğünü buna karşın geçirimsizliğin arttığını göstermiştir.

Aruntaş (2006); uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli konulu çalışmasında jeoteknik uygulamalarda uçucu külün dolgu yapmak ve zemin stabilizasyonu sağlamak amacıyla kullanılmakta olduğunu belirtmiştir.

Zha ve diğ. (2008); şişebilen zeminlerin uçucu külle stabilizasyonu konulu çalışmalarında, şişen zemin Hefei kilini uçucu kül ve uçucu kül- kireç karışımı ile stabilize edilmiştir. Uçucu kül şişen zemine 0, 3, 6, 9, 12 ve % 15'e kadar eklenmiştir. Uçucu külün şişen zemin stabilizasyonunda ne kadar verimli olduğunu anlamak için kireç kullanılmış ve şişen zemine 0, 1, 2 ve % 3'e kadar eklenmiştir. Uçucu kül ve kireç eklenmiş numunelere, sonrasında serbest şişme deneylerine tabi tutulmak üzere, 7 günlük kür uygulanmış ve optimum katkı maddesi % 9- 12 olarak saptanmış. 7 günlük kür uygulanması sonucunda şişme yüzdesi düşmüş ve şişme hızı artmıştır.

Okagbue ve Onyeobi (1999); yaptığı çalışmada mermer tozunun killi zeminlerin deformasyona olan direncini arttırmakta olduğunu ve iyileştirmede kullanılabilirliğini belirtmiştir. Zorluer ve Usta (2003); zeminlerin atık mermer tozu ile iyileştirilmesi çalışmasında atık mermer tozunun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilir bir malzeme olduğunu belirlemiştir. Gürer ve diğ. (2004); inşaat endüstrisinde geri dönüşüm ve bir hammadde kaynağı olarak farklı yapı malzemelerinin yeniden değerlendirilmesi çalışmasında atık mermer tozunun zemin iyileştirilmesinde kullanılabilirliğini saptamıştır. Taşpolat ve diğ. (2006) ise; atık depolama sahalarındaki geçirimsiz kil tabakalarda çevresel koşullara karşı %10-15 mermer tozu ilavesinin zemin dayanımını arttırdığını göstermiştir.

Çokça ve Baytar (2005); uçucu kül ve desülfajipsin Çayırhan zemininin jeoteknik özellikleri üzerindeki etkileri konulu çalışmalarında uçucu kül ve desülfajips eklenen numunelerin çökme potansiyellerinde, sıkıştırılmış numuneye karşılaştırıldığında, çok belirgin bir değişim gözlenmemiş olsa da, stabilizasyondan dolayı serbest basınç dayanımında artış görüldüğünü belirlemiştir.

Tonoz ve diğ. (2003); laboratuvar ölçeğinde kireç kolonları oluşturarak fiziksel, şişme, dayanım ve

konsolidasyon özelliklerinin geliştirilmesindeki performansı araştırmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, özellikle şişme basıncında %40 ile 75 arasında önemli ölçüde artış belirlemiştir.

Yukarıda verilen literatür araştırmasının bir sonucu olarak; killi zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan katkı maddelerinin genel olarak çimento, kireç ve uçucu kül ile sınırlı kaldığı, alternatif malzemelerin katkı maddesi olarak kullanımına ilişkin çalışmaların sayısı çok sınırlı olduğu açıktır. Şişebilen killerin iyileştirilmesinde jipsin doğrudan katkı maddesi olarak kullanımına ilişkin ise, her hangi bir çalışmanın bulunması hemen hemen mümkün olmamasına karşın, Ameta vd. (2007) şişme basınçlarının düşürülmesi için kireç-jips karışımlarının kullanımını ekonomik açıdan araştırmışlardır. FIPR (1988), fosfatik zemin numunelerini jipsle karıştırıp 360 günlük kürde bekleterek zeminin dayanımında artış kaydetmiştir. Bell ve Maud (1994), toprak dolgu baraj inşaatında özellikle dispersif zeminlerin stabilizasyonunda jipsin etkisinden bahsetmişler ve yaklaşık toz halindeki jipsin iyileştirme malzemesi olarak kullanımının suda çözünürlüğünden dolayı göreceli olarak daha ekonomik olacağını düşünmüşlerdir.

Çalışmada; şişebilen killerin şişme potansiyeli ve dayanım bakımından iyileştirilmesinde jipsin kullanımı ve iyileştirme performansı araştırılmıştır. Kütlece %2.5 - %5 - %7.5 - %10 gibi farklı miktarlarda jips (Sivas havzası'ndan), bentonit (Reşadiye' den) (Şekil 1) ile karıştırılmış, her bir karışım zemine ait optimum su içeriği değeri Standart Kompaksiyon Deneyi ile belirlenmiştir.

60 günlük kür süresinin değerlendirilmesiyle etkin değişimin ilk bir hafta içerisinde gerçekleştiği belirlenerek kür süresi 1 hafta olarak alınmıştır. Kür sonunda her bir karışıma ait plastisite, şişme yüzdesi ve dayanım değerlerindeki değişim elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar jipsin şişebilen killerin iyileştirilmesinde etkin bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini, maliyetin ise kirece göre 2-3 kez daha ekonomik olacağını göstermiştir. Ayrıca endüstri üretiminde açığa çıkan jips atıklarının bu amaçla kullanılması ile, çevresel bakımdan katkıda bulunulmuş olacaktır.



**Şekil 1.** Çalışmada kullanılan numunelere ait yer bulduru haritası.

**Figure 1.** Location map of samples used in the tests.

## KULLANILAN BENTONİT VE JİPS' İN ÖZELLİKLERİ

### Bentonit

Volkanik kül ve tüflerin alterasyonu ve parçalanması (fiziksel) ile oluşan montmorillonit grubu killerce zengin kil yada kayaç; genellikle baydelit içerir. Az miktarda feldispat, biyotit, piroksen ve zirkon hemen her zaman bulunur. Ham iken yumuşak kırılğan ele yağsı his verir. Beyazdan sarı bej pembe ve yeşilimsiyeye değişen renklere nadiren de kahverengi veya siyah renklere bulunabilir. Kuru halde yoğunluğu  $2.75 \text{ g/cm}^3$  olup su alarak şişme özelliğine sahiptir. Bentonit; kendi hacim ve ağırlığının birçok katı kadar suyu emebilir, kendi hacimlerinin 10 veya 30 katı kadar şişebilir. Suyun silikat düzlemleri arasındaki bentonit kütlesine nüfuz etmesi ile genişleyen hacim şişmeyi sağlar.

Araştırmada kullanılan bentonit Reşadiye' nin 25 km kuzeyinde yer alan Samaş A.Ş. tarafından

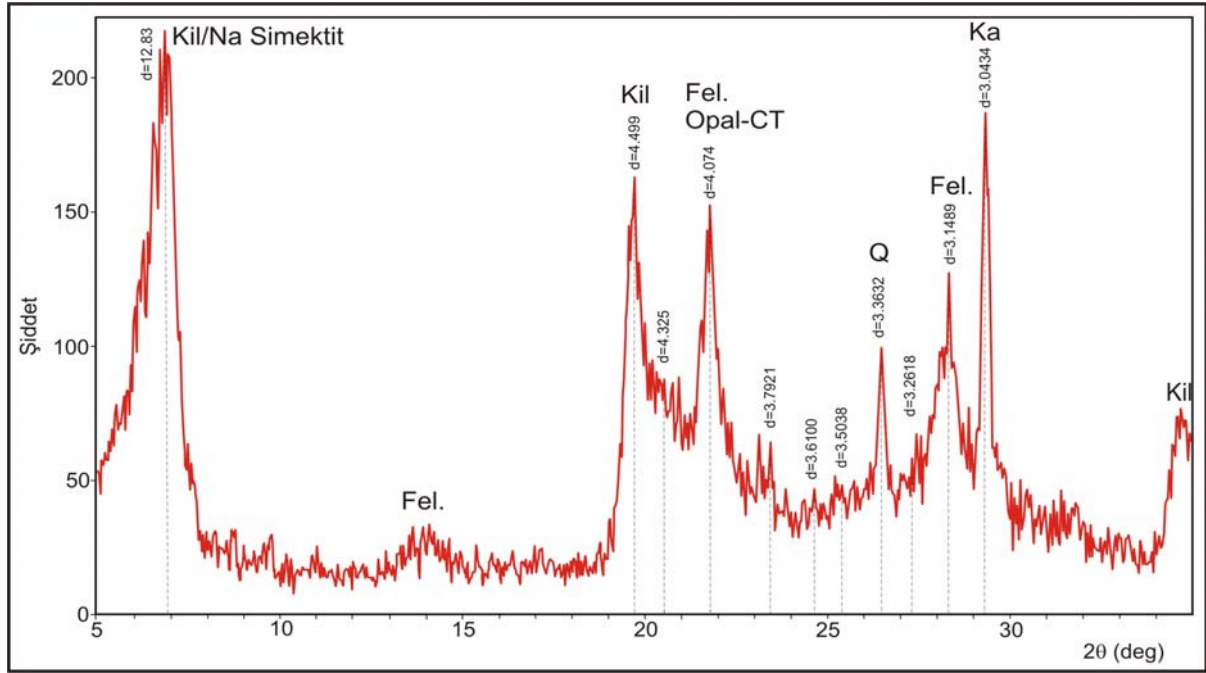
işletilen kil yataklarından alınmıştır. Kullanılan bentonit, doğal, saf ve işlem görmemiş sodyum bazlı malzemeler arasından seçilmiştir. Söz konusu bentonit, Na-Simektit (montmorillonit) türü kil minerali içermekte olup, yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Buna karşın, kullanılan bentonitte Şekil 2' de verilen karakteristik difraktogramda da görüldüğü gibi çok küçük miktarda feldispat, kalsit ve opal-CT gözlenmiştir. XRD tüm kayaç sonuçları ile kullanılan bentonitin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1' de verilmiştir.

Yalçın ve Gümüşer (2000)' in belirttiği gibi; simektit agregaları taramalı elektron mikroskopisi (SEM) fotoğrafında görüldüğü gibi (Şekil 3.a) eğik/kıvrımlı, ince ve subhedral lamellidir. Bunlar zayıf derecede sıkışmış, kıvrımlı agregalar olup (Şekil 3.b) Wyoming türü (Grim ve Güven, 1978) ve Keller (1978)' in tanımladığı "corn-flake" dokuya sahiptir. Simektit lamelleri  $\sim 2-5 \mu\text{m}$  uzunluğa sahip olup, kısa prizmatik klinoptilolit ile ilgilidir (Yalçın ve Gümüşer, 2000).

### Jips

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  kimyasal bileşiminde, monoklin kristalli, renksiz, şeffaf, kil veya demir oksit karışmış hali ile gri, sarı veya kırmızı renkli olabilen bir kayaçtır. Jips  $120^\circ\text{C}$ ' e kadar ısıtılarak kristal suyunun bir kısmı buharlaştırılarak pudra haline getirildikten sonra alçı haline getirilebilir. Bu haliyle; hekimlikte, model yapmada, duvar sıvaları gibi değişik alanlarda çabuk donma özelliği sebebiyle kullanılabilir. Bundan başka;  $500^\circ\text{C}$  veya  $1000^\circ\text{C}$ ' ye kadar ısıtılarak elde edilen jips, özel inşaat harçları, suni taş yapımı, jips-beton yapı işleri gibi özel bir kullanım alanına sahiptir.

Doğada kalsiyum sülfat kimyasal bileşiminde bir mineralden oluşan evaporit kayanın, bünyesinde iki molekül kristal suyu bulunan türüne jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve susuz olanına ise anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) denir. Kalsiyum sülfat mineralleri evaporit oluşumlu yatakların tipik mineralleri olup, her birinin ayrı ayrı bulunduğu yataklar olmasına rağmen, bu iki mineral çok defa birlikte bulunabilirler.



**Şekil 2.** Kullanılan bentonitlere ait karakteristik XRD difraktogramı.

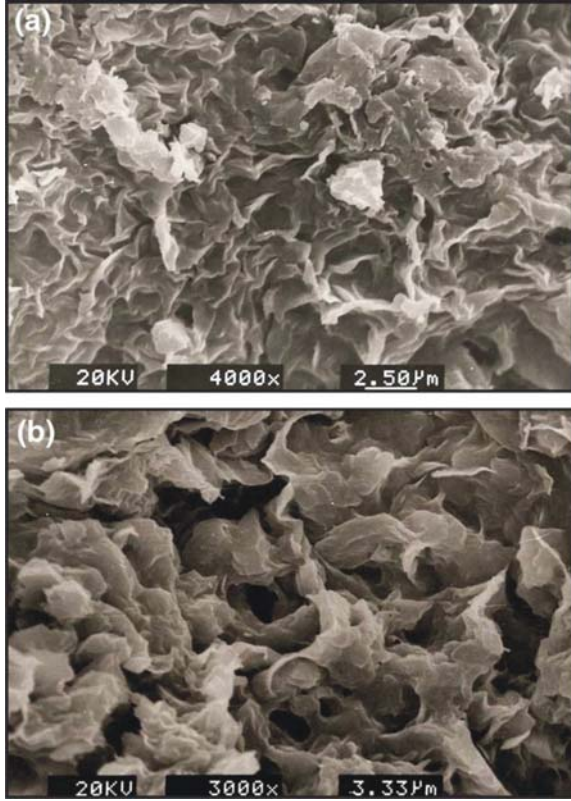
**Figure 2.** Characteristic XRD graphs of bentonite used.

**Çizelge 1.** XRD (Tüm Kayaç) analizi sonuçları ve kullanılan bentonitin kimyasal bileşimi.

**Table 1.** XRD (whole rock) analyses results and the chemical composition of the used bentonite.

| <b>XRD</b>  |       |
|---|-------|
| Na-Smektit (%)  | 81    |
| Feldispat (%)   | 7     |
| Kuvars (%)  | 2     |
| Kalsit (%)  | 2     |
| Opal- CT (%)  | 8     |
| <b>Kimyasal Bileşim (Yalçın ve Gümüşer, 2000)</b>                       |       |
| Silis, SiO <sub>2</sub> (%) olarak                                      | 60.11 |
| Titanyum, TiO <sub>2</sub> (%) olarak                                   | 0.39  |
| Alüminyum, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) olarak                    | 18.77 |
| Toplam ferrik oksit, $\Sigma$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) olarak | 4.82  |
| Manganez, MnO (%) olarak  | 0.054 |
| Magnezyum, MgO (%) olarak   | 2.38  |
| Kalsiyum, CaO (%) olarak  | 1.03  |
| Sodyum, Na <sub>2</sub> O (%) olarak                                    | 3.46  |
| Potasyum, K <sub>2</sub> O (%) olarak                                   | 1.75  |
| Fosfor, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) olarak                        | 0.086 |
| Ateşte kaybı (%)  | 6.34  |



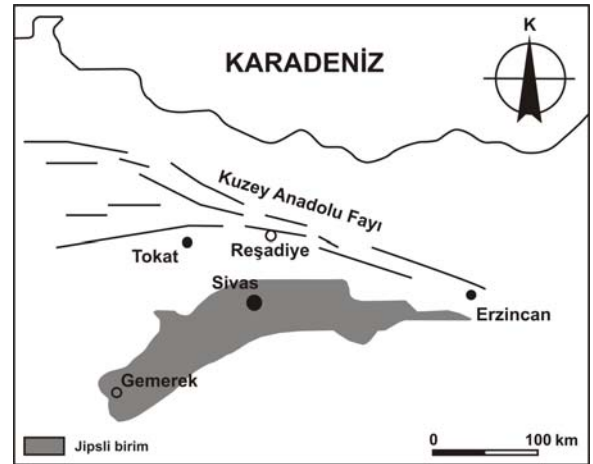


**Şekil 3.** Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları: **a.** smektit lamelleri ve kısa prizmatik klinoptilolitler, **b.** zayıf paketlenme, kıvrımlanmış-lamelli smektit agregatları (Yalçın ve Gümüşer 2000' den).

**Figure 3.** Scanning electron micrographs: **a.** smectite lamelle and short prismatic clinoptilolites, **b.** loose packing, folded-lamellar smectite aggregates (After Yalcin and Gumuser 2000).

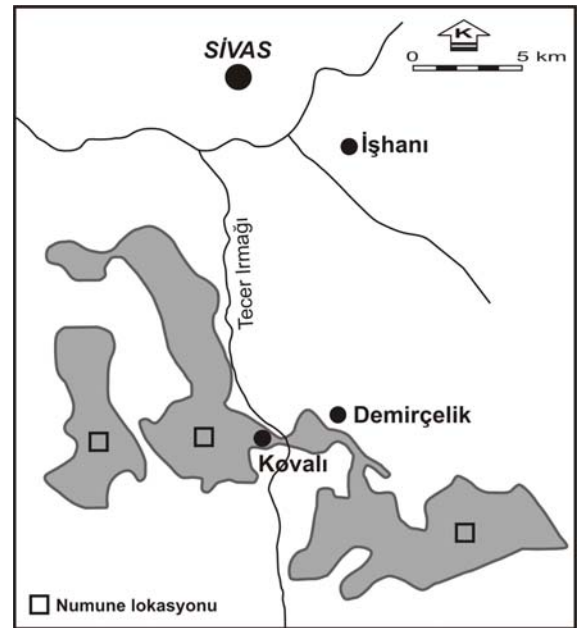
Dünya'da bilinen ve işletilen jips yatakları çok yaygın olmakla beraber, özellikle Sivas havzasında da kayda değer önemli bir rezerve sahiptir. Havza içerisinde yer alan Hafik formasyonu, batıda Gemerek' ten doğuda İmranlı'ya kadar havzanın kuzey kenarı boyunca uzanan kalın, masif jipsleri içermektedir (Şekil 4). Kurtman (1973)' e göre bu formasyon, tabandan tavana doğru; kırmızı renkli kumtaşı ve konglomeralar, kırmızı renkli kil aratabakalı, tabakalı jipsler ve masif jipslerden meydana gelmektedir. Jipsin daha altındaki tektonik dokanak nedeniyle diğer birimlerle geçişi izlenemediğinden dolayı Hafik formasyonu masif jipslerle sınırlandırılmıştır. Tektonik etkinin fazla olmadığı yerlerde masif jipsler ince ve kalınlıkları

10 m ye ulaşan içerisinde ince taneli kum ve kil içeren düzenli tabakalanma göstermektedir. Buna karşın birçok yerde kalınlığı 100–200 m ye varan masif jipsler gözlenmektedir (Öztürk ve diğ., 1996). Killi zeminlerin iyileştirilmesi amacı ile gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada kullanılan jipsler, Sivas havzasında Kurtman (1973) tarafından adlandırılmış olan Hafik formasyonuna ait masif jipslerden alınmıştır (Şekil 5).



**Şekil 4.** Sivas havzasında jipsin dağılımı (Yılmaz ve Karacan 2005' den).

**Figure 4.** Distribution of the gypsum in the Sivas basin (After Yılmaz ve Karacan 2005).

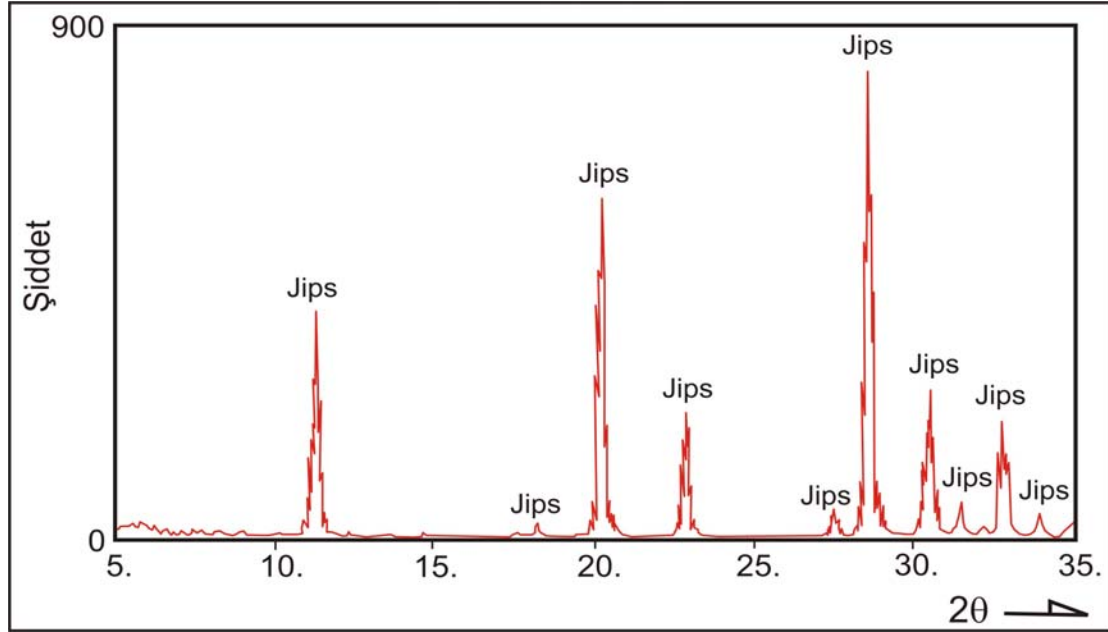


**Şekil 5.** Jips numunelerinin alındığı lokasyonlara ait harita.

**Figure 5.** Location map of the gypsum samples.

Jips numunelerinden alınan parçaların öğütülmesinden sonra X- Işınları Difraksiyonu (XRD) ile tüm kayaç çözümlenmeleri yapılmış olup, karakteristik difraktogram Şekil 6' da görülmektedir. Çözümlenmelere göre, numuneleri oluşturan minerallerin tamamı jips olarak değerlendirilmiş olup, jips

içeriği %100 dür. Çözümlenmelerde ihmal edilebilir düzeyde de olsa başka bir iz mineraline rastlanmamıştır. Bu sonuçlar, Yılmaz ve Sendir (2002), Yılmaz ve Yüksek (2008 a ve b) tarafından elde edilen sonuçlarla benzerdir.



Şekil 6. Jipse ait karakteristik tüm kayaç XRD difraktogramı.

Figure 6. Characteristic XRD graph of gypsum used.

## NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

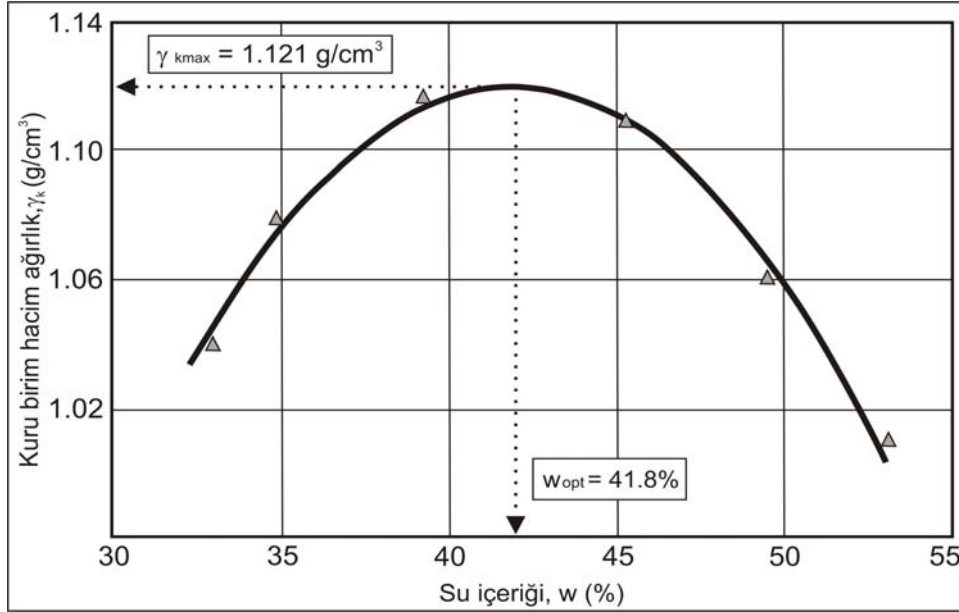
Özellikle serbest basınç dayanımı ve şişme deneylerinde kullanılacak katkısız ve değişik oranlarda (ağırlıkça %2.5, %5, %7.5 ve %10) jips katkısı içeren numunelerin birbirleri ile kompaksiyon derecesi başta olmak üzere benzer özelliklere sahip olması büyük önem taşımaktadır. Ancak bu durumda yapılan deneylerden elde edilen dayanım ve şişme yüzdesi değerleri mukayese edilebilir. Aksi takdirde değerlerin mukayesesi akılcı sonuçların elde edilmesine olanak tanımayacaktır. Bu nedenle; öncelikle katkısız bentonit üzerinde ASTM D-698 (1994) standardına uygun olarak Standart Proktor deneyi gerçekleştirilmiş, maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edildiği optimum su içeriği belirlenmiştir. Yapılan deney sonunda; maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmax}$ ) 1.121 g/cm<sup>3</sup> ve optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) %41.8 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).

Katkısız bentonit numunelerinden elde edilen kompaksiyon değerleri kullanılarak ağırlıkça %2.5, %5, %7.5 ve %10 jips karıştırılarak küre bırakılan bentonit numuneleri de kür sonunda %41.8 su içeriğinde sıkıştırılmışlar ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

## KATKISIZ BENTONİT'İN ÖZELLİKLERİ

### Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Kil minerallerinin katmanları arasında Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> gibi inorganik ve organik katyonlarla yer değiştirebilen katyonlar vardır. Bu inorganik katyonlara "Değişebilen Katyonlar" denir. Montmorillonit mineralinin ve diğer kil minerallerinin 100 gramında bulunan değişebilir inorganik katyonların mili eşdeğer molar kütle sayısına "Katyon Değişim Kapasitesi" denir.



**Şekil 7.** Bentonite ait maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmax}$ ) ve optimum su içeriğini ( $w_{opt}$ ) gösteren kompaksiyon eğrisi.

**Figure 7.** Compaction curve of the bentonite showing optimum water content and maximum dry unit weight.

Silika tabakasındaki tetraederlerin bazılarının merkezlerine  $Si^{4+}$  yerine  $Al^{3+}$  ve  $Fe^{2+}$  gibi alümina tabakasındaki oktaederlerin merkezlerine ise  $Al^{3+}$  yerine  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  ve  $Li^{+}$  gibi yükseltgenme basamağı daha küçük olan iyonların geçmesi nedeni ile kil mineralleri içinde negatif yük fazlalığı ortaya çıkmaktadır. Bu negatif yük fazlalığı, tabakalar arasında giren katyonlar tarafından dengelenerek, mineral içinde elektronötrallik sağlamaktadır (Rhoades, 1982; Ceyhan, 1996).

Grim (1968)' e göre, kil minerallerinde katyon değişiminin nedenleri başlıca üç başlık altında toplanabilir:

- Silika alümina birimlerinin kenarlarındaki kırık bağlar, değişebilir katyonlarla dengelenebilecek doyurulmamış yükler oluştururlar.
- Düşük değerlikli iyonların ve tetraeder tabakadaki  $Si^{4+}$  nın  $Al^{3+}$ , oktaeder tabakadaki  $Al^{3+}$  nın  $Mg^{2+}$  ile yer değiştirmesi sonucu örgü içinde dengelenmemiş yükler oluşur ve bu yüklerin çoğu adsorblanan katyonlar ile dengelenir.
- Korumasız hidroksillerin hidrojeni, değişebilir bir katyon ile yer değiştirebilir.

Deneylerde, zeminin önce sodyum iyonları ile doyurulmuş, daha sonra amonyumlu çözelti ilave edilerek, tutulan Na ile  $NH_4$  iyonlarının yer değiştirilmesi sağlanmış ve  $NH_4$  ile yer değiştirerek çözeltiliye geçen Na miktarı belirlenmiştir. Sodyum (Na) okumaları alev fotometresinde yapılmıştır. Katyon değişim kapasitesi deneyleri sonucunda Reşadiye kili için KDK değeri 118.7 meq/100g bulunmuştur.

Zeminlerin KDK değerleri, içerdikleri kil minerali türüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Çizelge 2'de bazı kil minerallerinin KDK değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Bazı kil minerallerinin KDK değerleri (Grim, 1968).

**Table 2.** Cation Exchange Capacity values of some clay minerals (Grim 1968).

| Kil minerali    | KDK (meq/100g) |
|-----------------|----------------|
| Kaolinit        | 3-15           |
| Simektit        | 80-150         |
| İllit ve Klorit | 10-40          |

### Atterberg sınırları

Likit limit ve plastisite indeksi killi zeminlerde şişebilen kil minerallerinin türüne ve miktarlarına bağlı olarak önemli ölçüde değişim göstermektedir. Üzerinde çalışılan bentonit numuneleri üzerinde, BS 1377 (BSI, 1975)' ye uygun olarak likit limit (LL) ve plastik limit (PL) deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3). Elde edilen likit limit ve plastik limit değerlerine bağlı olarak da plastisite indeksi (Ip) hesaplanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; katkısız bentonitin ortalama likit limit değeri %237.3, plastik limiti %50.5 ve plastisite indeksi ise %186.9 olarak bulunmuştur.

### Şişme

Bentonit numunelerinin şişme yüzdeleri belirlemek amacıyla optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmış numunelerde ASTM D – 4546 (1994) standartlarına uygun olarak şişme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 0.07 kg/cm<sup>2</sup> lik ön yükleme basıncı ve 7.5 cm çaplı numuneler kullanılmıştır. 0.07 kg/cm<sup>2</sup> yük altında suya doyurulan numunenin maksimum hacimsel şişmesi sağlandıktan sonra, deney sonunda elde edilen numune yüksekliğinin ilksel yüksekliğe oranı ile şişme yüzdesi (%S) elde edilmiştir.

Deneylerde hücre tamamen su ile doldurulduktan sonra serbest şişmeye bırakılan numunedeki şişme değerleri 10–15–30 sn, 1–2–4–6–8–15–30 dk, 1-2-4-8-24-26-28-30-32-48-50-52-54-56–

58–72 s olmak üzere periyodik olarak kaydedilmiş ve şişme yüzdesi-zaman (%S-t) grafikleri çizilmiştir (Şekil 8).

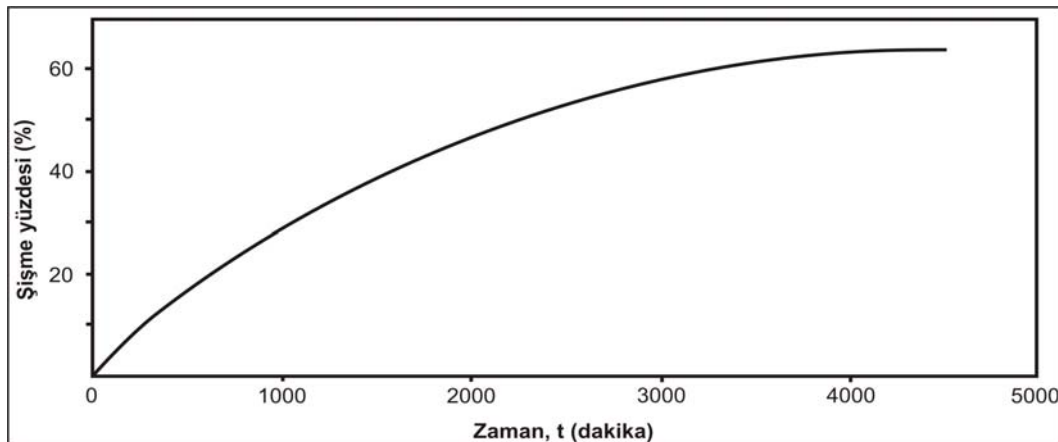
**Çizelge 3.** Katkısız Bentonit' in Atterberg sınırları değerleri.

**Table 3.** Atterberg's limits of the bentonite used.

| Atterberg sınırları    | Değerler |
|------------------------|----------|
| Likit limit (%)        | 237.3    |
| Plastik limit (%)      | 50.5     |
| Plastisite indeksi (%) | 186.9    |

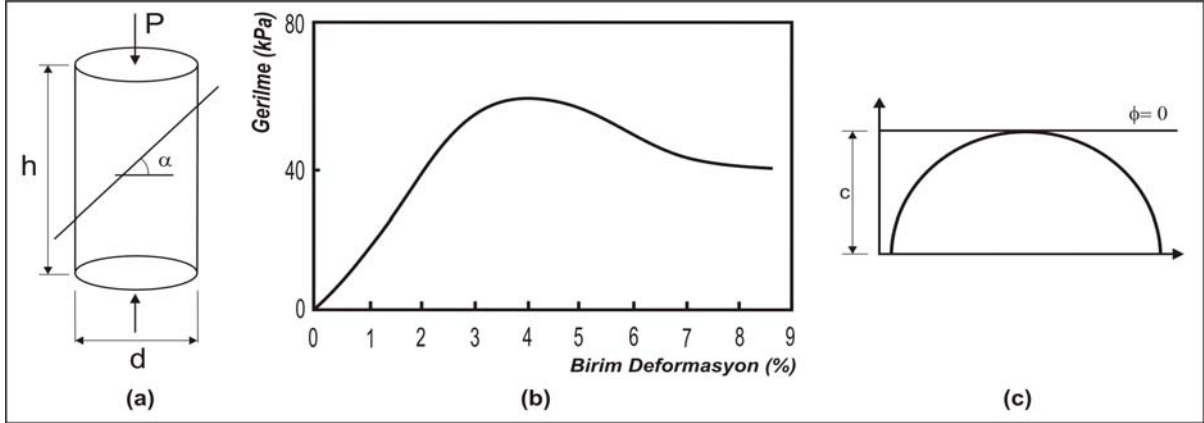
### Dayanım

Bentonit kil numunelerinde içsel sürtünme açısının "0" olacağı gerçeğinden dolayı dayanımın belirlenmesi amacıyla serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Serbest basınç deneyinde silindirik numune eksenine doğrultusunda yüklemeye tabi tutulmuştur (Şekil 9.a). Eksen boyunca uygulanan yüklere karşılık gelen boydaki kısalmalar ölçülmüş, yük artışı ile meydana gelen çap değişimleri ile ilgili alan düzeltmeleri yapılarak gerilme deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 9.b). Deneylerde optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmış numunelerden 80 mm yükseklik, 38 mm çaplı karotlar kullanılmış olup, ASTM- D 2166 (ASTM, 1994) standardında önerildiği gibi yenilme gerçekleşinceye kadar veya yaklaşık %20 deformasyona ulaşıncaya kadar 1.2 mm/dk sabit yükleme hızı uygulanmıştır. Bu deney üç adet numune üzerinde tekrarlanmış (Şekil 10) ve ortalama değer kaydedilmiştir.



**Şekil 8.** Katkısız bentonit şişme deneyinden elde edilen %S-t grafiği.

**Figure 8.** Katkısız bentonit şişme deneyinden elde edilen %S-t grafiği.



Şekil 9. Serbest basınç deneyi, Mohr daresi ve sonuçlarının değerlendirilmesi.

Figure 9. Unconfined compressive strength test, Mohr circle and evaluation of the results.



Şekil 10. Serbest basınç deneyi gerçekleştirilen üç numune.

Figure 10. Three samples tested in unconfined compressive strength test.

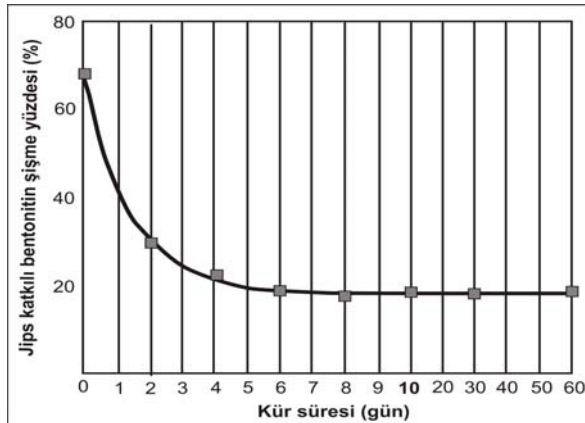
Gerilme-deformasyon grafiklerindeki aksenal gerilmenin en büyük değeri zeminin serbest basınç dayanımı değeri olarak alınmış, yenilme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr daresi ve drenajsız kayma dayanımı zarfı (Şekil 9.c) çizilerek  $c$  (kohezyon) değeri saptanmıştır. Çalışmada kullanılan bentonite ait kayma dayanımı parametreleri  $\phi = 0^\circ$  ve  $c = 58.7$  kPa olarak belirlenmiştir.

### ETKİN KÜR SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

Jipsin iyileştirme üzerindeki etkisi, başta kür süresi olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Özellikle kür süresi çok büyük önem taşır. Optimum iyileştirme için gerekli olan kür süresini belirlemek üzere;

seçilen en büyük jips katkısı miktarında (ağırlıkça %10) hazırlanan numune, 2 aya kadar (60 gün) değişik kür zamanlarında şişme yüzdelerinin değişimini belirlemek üzere küre bırakılmıştır. Daha sonra elde edilen şişme değerleri ile kür süresi grafiğe geçirilmiştir (Şekil 11).

Kür zamanı – şişme yüzdesi grafiğinde de görüldüğü gibi yaklaşık olarak 6. kür gününden sonra önemli ölçüde bir değişim olmadığı, değişimin hemen hemen tamamının ilk bir hafta içerisinde hızla gerçekleştiği gözlenmiştir. Buna bağlı olarak, deneylerde kullanılacak kür süresi bir hafta (7 gün) olarak tespit edilmiş, değişik miktardaki jips-bentonit karışımları bir hafta boyunca desikatörde küre bırakılmıştır.



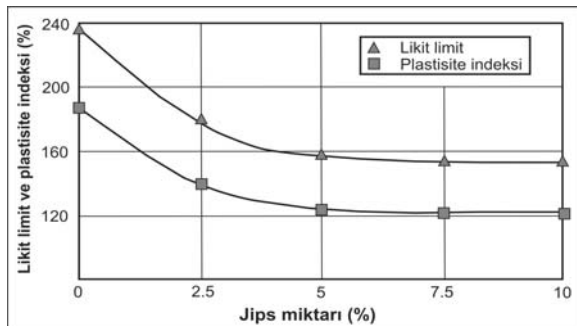
**Şekil 11.** Kır süresine bağılı olarak şişme yüzdesinde azalma.

**Figure 11.** Decrease in swell percent by cure time.

## JİPS KATKILI BENTONİT' İN ÖZELLİKLERİ VE DEĞİŞİM

### Likit Limit ve Plastik Limitte Değişim

Katkısız bentonitte yapılan deneylerin ardından, sırasıyla ağırlıkça %2.5, %5, %7.5 ve %10 öğütülmüş jips eklenmiş olan bentonit numunelerinin 7 günlük kır uygulaması sonrasında benzer şekilde Likit limit ve plastik limit deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre ise her bir katkı oranı için plastisite indeksi değeri hesaplanmıştır. Jips katkı miktarına bağılı olarak likit limit ve plastisite indeksindeki değişimi (Çizelge 4) gösteren grafik Şekil 12' de verilmektedir.



**Şekil 12.** Likit limit ve plastisite indeksinin jips katkı miktarına bağılı olarak değişimi.

**Figure 12.** Variation of liquid limit and plasticity index with gypsum content.

**Çizelge 4.** Değişik jips katkıları için bentonitin Atterberg sınırları değerleri.

**Table 4.** Influence of gypsum content on the Atterberg limits of the bentonite.

|                     | %0    | %2.5  | %5    | %7.5  | %10   |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Likit limit (%)     | 237.3 | 180.7 | 157.4 | 155.2 | 152.8 |
| Plastik limit (%)   | 50.4  | 41.2  | 33.1  | 33.3  | 32.0  |
| Plastisite ind. (%) | 186.9 | 139.5 | 124.3 | 121.9 | 120.8 |

Likit limit ve plastisite indeksi değerlerinin Şekil 12' de görüldüğü gibi %5 jips katkı düzeyine kadar hızla düştüğü ve sonraki katkı artışlarında ise önemli bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. Meydana gelen düşüş yüzdesi; hemen hemen tamamen gerçekleştiği %5 jips katkısında, likit limit için %33.7 ve plastisite indeksi için ise %33.6 olarak hesaplanmıştır.

Bentonite jipsin karıştırılmasının bir sonucu olarak, tek değerlikli (monovalent) sodyum iyonlarının kalsiyumla yer değiştirmesi ile çift tabaka kalınlığında (diffuse double layer) meydana gelen azalma, likit limit ve plastik limitteki düşmeye neden olmuştur.

### Şişme Potansiyelinde Değişim

Elektrik yük dengesizliği, sodyumlu kil mineralleri ve KDK bentonitin şişme özelliğini belirler. Sodyum iyonunun inorganik bileşenlerle yer değiştirmesi düşük iyon değişimi kapasitesine neden olur ve zemin yapısındaki elektriksel yük dengelenir. Bunun bir sonucu olarak, killerin şişme potansiyeli düşer. Katkısız bentonitte yapılan şişme deneylerinden sonra, katkı miktarına bağılı olarak şişme yüzdesindeki değişimi izlemek üzere deney aynı şekilde ağırlıkça %2.5-5-7.5-10 jips katkısına sahip bentonit numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlardaki karışımlar için elde edilen şişme yüzdesi-zaman grafikleri (Şekil 13) %2.5 dan %5 e çok yüksek şişme yüzdesi düşüşünü, ancak sonraki miktarlarda ise artan jips miktarlarında şişme yüzdesi-zaman eğrilerinin birbirlerine çok yaklaşarak neredeyse benzer eğriyi takip ettiklerini göstermiştir.

Değişik oranlarda jips katkısı için bentonitin şişme yüzdesi değişimi değerleri Çizelge 5' de ve şişme yüzdesindeki azalma eğilimi ise Şekil 14' de verilmektedir. Şekil 14' de de görüldüğü gibi; önemli düzeyde ve dikkate alınabilir değişim yaklaşık %5 jips katkı miktarı için elde edilmiş ve bu oran etkin iyileştirme için gerekli olan katkı miktarı olarak kabul edilmiştir. Daha fazla miktarlardaki jips katkısının daha fazla iyileştirmeye neden olmayacağı söylenebilir.

**Çizelge 5.** Değişik jips katkıları için bentonitin şişme yüzdesi değişimi değerleri.

**Table 5.** Variation of the swell percent of bentonite in different gypsum contents.

|    | %0   | %2.5 | %5   | %7.5 | %10  |
|----|------|------|------|------|------|
| %S | 64.9 | 28.2 | 20.1 | 20.5 | 19.8 |

%S: Şişme yüzdesi.

Bentonitteki yer değiştirebilir tek değerlikli iyonların jipsteki kalsiyum iyonları ile yer değiştirmesinin sonucu olarak, %5 jips katkısına sahip bentonitte şişme yüzdesi ortalama %69.1' lik değişimle %64.9' dan %20.1' e düşmüştür (Şekil 14).

### Dayanımda Değişim

Genellikle ~%5 lik deformasyonlarda yenilmelerin meydana geldiği (Şekil 15) serbest basınç deney-

lerinden elde edilen gerilme-deformasyon grafiklerinden belirlenen pik değerleri kullanılmıştır. Bentonitin dayanımının jips katkısına bağlı olarak artması da bu çalışmanın önemli bir sonucudur. Jips katkısı sonucunda ilk 7 gün içerisinde önemli düzeyde dayanım artışı meydana gelmiş ve pik dayanım değeri elde edilmiştir. 7 günden sonra ise önemli bir artış gerçekleşmemiş olup, 7 günlük kür sonunda %5 jips katkısında %24.2' lik dayanım artışı gözlenmiştir.

Şişmedekine benzer şekilde; Şekil 15 ayrıca %5' lik katkıdan itibaren artan jips miktarlarında gerilme-birim deformasyon eğrilerinin artık birbirlerine çok yaklaştığını ve hemen hemen aynı çizgiyi takip ettiklerini de göstermektedir.

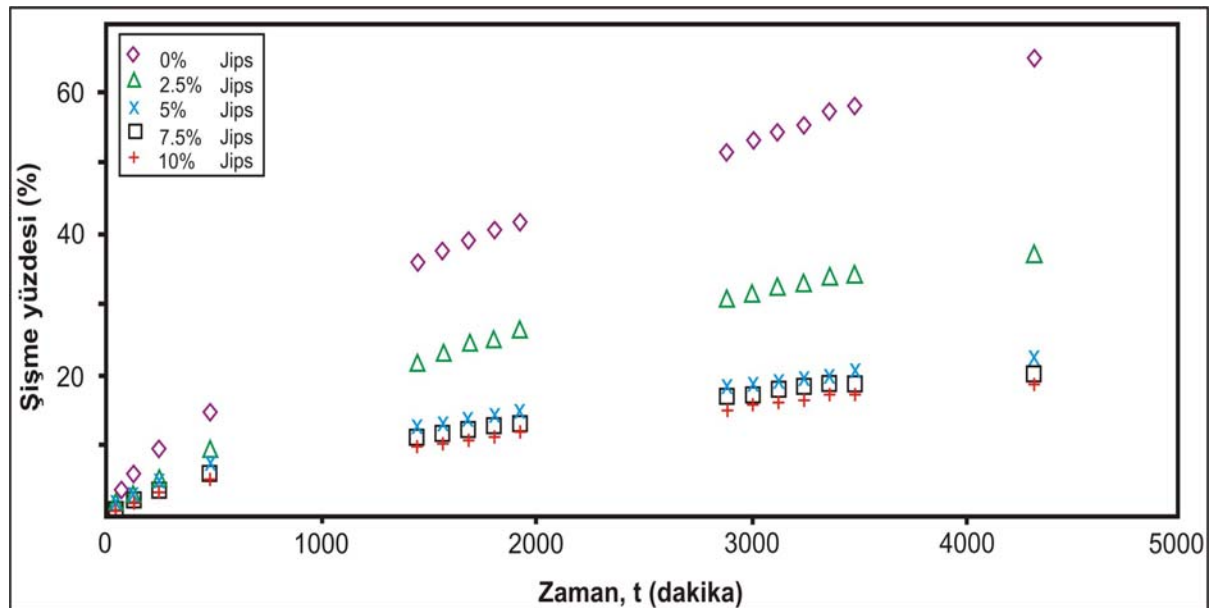
Jips katkı miktarına bağlı olarak serbest basınç dayanımındaki kazanımlar Çizelge 6' da, %2.5-5-7.5-10 katkı oranları ile dayanım değişimi ise Şekil 16' da verilmektedir.

**Çizelge 6.** Değişik jips katkıları için bentonitin serbest basınç dayanımı değerleri.

**Table 6.** Influence of gypsum content on UCS of the bentonite.

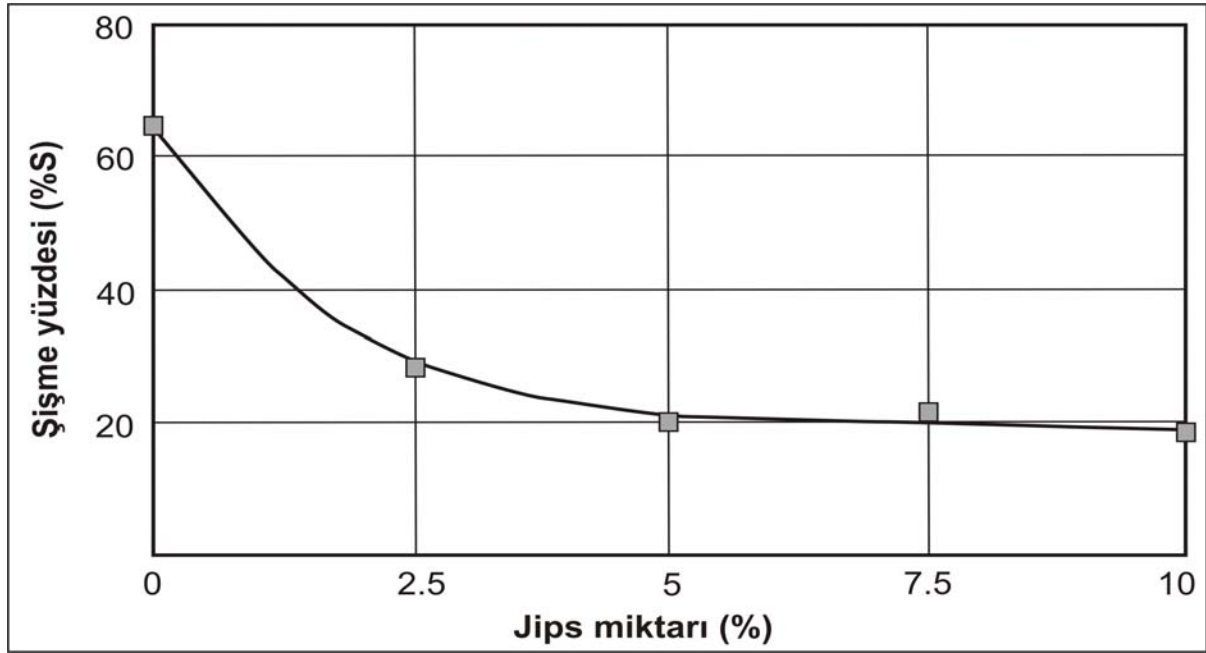
|     | %0   | %2.5 | %5   | %7.5 | %10  |
|-----|------|------|------|------|------|
| SBD | 58.7 | 73.1 | 77.4 | 79.6 | 80.1 |

SBD (kPa): serbest basınç dayanımı.

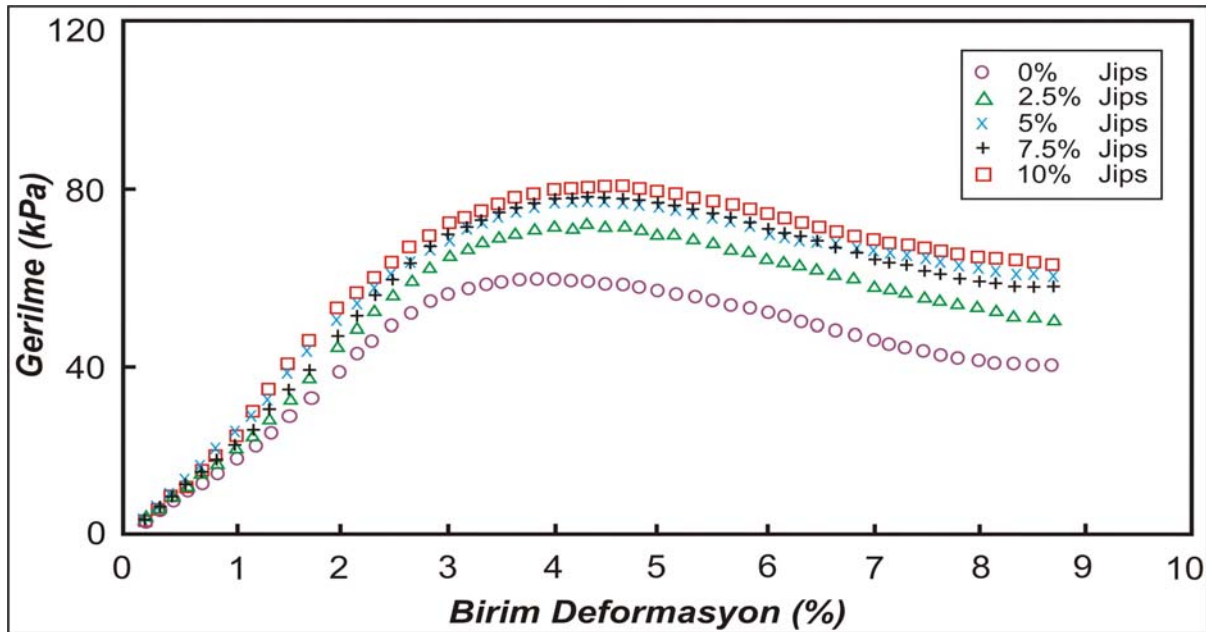


**Şekil 13.** Farklı jips katkı miktarlarına sahip bentonitlerin şişme yüzdesi-zaman grafikleri.

**Figure 13.** Swell versus time graphics for different gypsum contents.

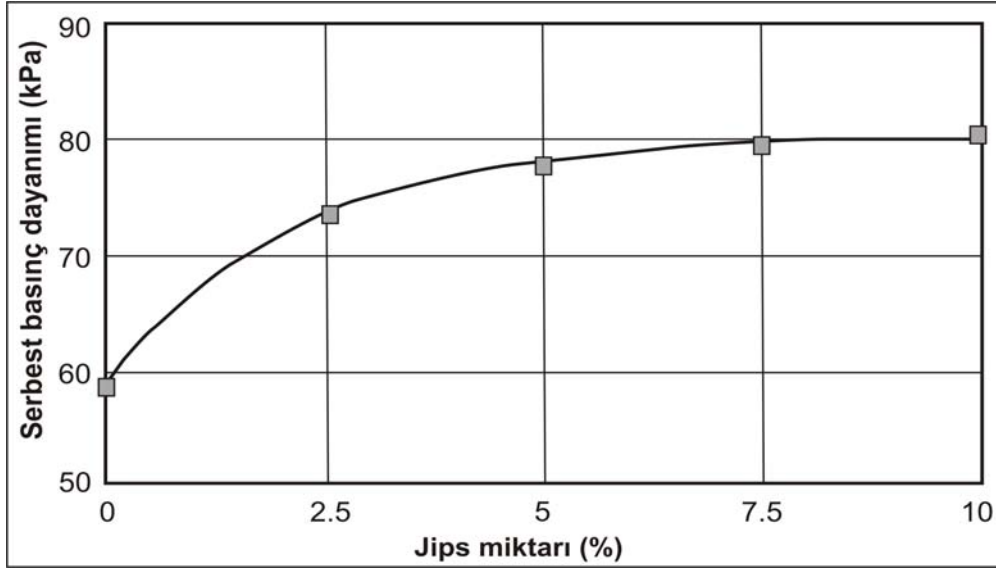


Şekil 14. Şişme yüzdesinin jips katkı miktarına bağlı olarak değişimi.  
 Figure 14. Variation of swell percent with gypsum content.



Şekil 15. Farklı jips katkı miktarına sahip bentonitlerin gerilme-deformasyon grafikleri.  
 Figure 15. Stress-strain curves for samples mixed with different quantities of gypsum.





Şekil 16. Serbest basınç dayanımının jips katkı miktarına bağlı olarak değişimi.

Figure 16. Change in unconfined compressive strength due to the gypsum content.

### Kasyon Değişim Kapasitesinde Değişim

Gerçekleştirilen bu çalışmada, jipsin bentonite karıştırılması ile kasyon değişim kapasitesinde de önemli düzeyde bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Düşme şeklinde meydana gelen bu değişimin nedeni, bentonitteki tek değerlikli iyonların jipste kalsiyum iyonları ile yer değiştirmesidir.

Katkısız bentonitten itibaren %10 jips katkısına ulaşıldığında da KDK' da meydana gelen değişim miktarı %40 civarındadır. Bu çalışmada elde edilmiş etkin iyileştirme için gerekli olan %5 jips katkısındaki değişim ise %21.9 olarak elde edilmiştir. Katkı miktarına bağlı olarak KDK' nın değişimi Şekil 17' de, her bir katkı miktarı için KDK değerleri ise Çizelge 7' de görülebilir.

### SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada, killerin jips katkısı ile iyileştirilmesi ve bu katkı maddesinin fiziksel, şişme ve dayanım üzerindeki etkileri araştırılmış, aşağıda verilen temel sonuçlar elde edilmiş, bu sonuçlar tartışılmıştır.

1. Başta özellikle kür süresi olmak üzere, jips katkısının iyileştirme bakımında etkisi birçok faktöre dayanır. Çalışmada, optimum iyileştir-

me için gerekli olan etkin kür süresi, eklenmesi düşünülen maksimum jips katkısına sahip (%10) bentonit için şişme yüzdesinin kür zamanına (2 aya kadar) bağlı olarak değişimini gösteren grafikten (Şekil 5.11) elde edilmiştir. Elde edilen grafikten de görüldüğü gibi değişimin tamamının ilk bir hafta içerisinde hızla gerçekleştiği gözlenmiş ve deneylerde kullanılacak kür süresi 7 gün olarak belirlenmiştir.

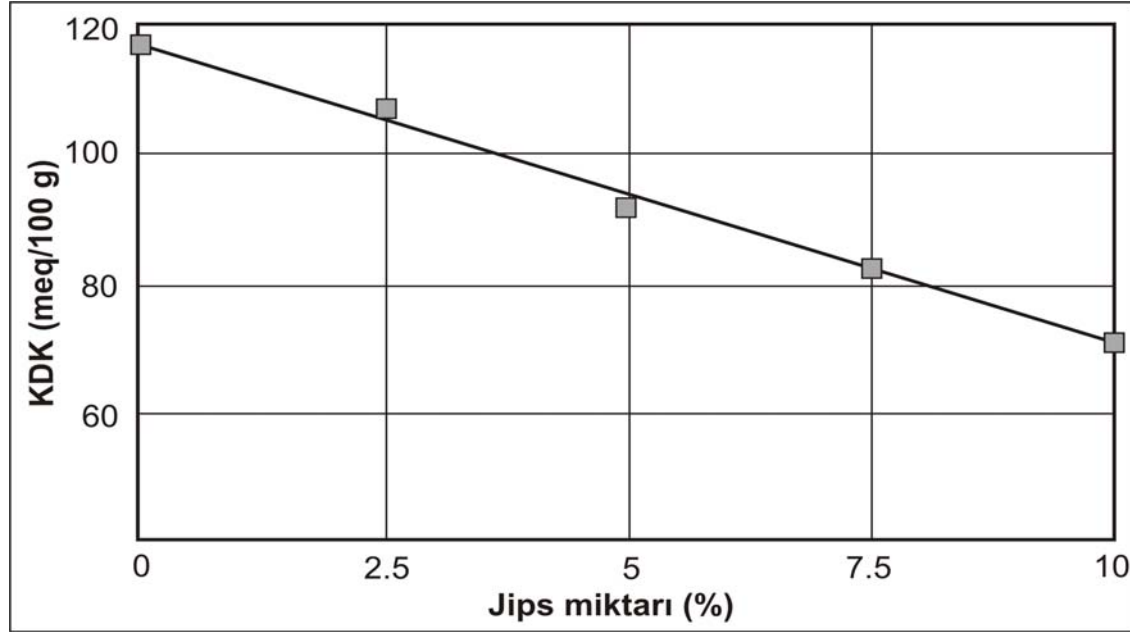
- Jips katkı miktarına bağlı olarak likit limit ve plastisite indeksindeki değişimi gösteren Şekil 6.1' de görüldüğü gibi, %5 jips katkısında likit limit %33.7 ve plastisite indeksi ise %33.6 düşmüştür. Tek değerlikli (monovalent) sodyum iyonlarının kalsiyumla yer değiştirmesi ile çift tabaka kalınlığında (diffuse double layer) meydana gelen azalma likit limit ve plastik limitteki düşmeye neden olmuştur.
- Bentonitteki yer değiştirebilir tek değerlikli iyonların jipste kalsiyum iyonları ile yer değiştirmesinin sonucu olarak, %5 jips katkısına sahip bentonitte şişme yüzdesi ortalama %69.1' lik değişimle %64.9' dan %20.1' e düşmüştür (Şekil 6.3).
- Bentonitin dayanımının jips katkısına bağlı olarak artması da bu çalışmanın önemli bir sonucudur. 7 günlük kür sonunda %5 jips katkısında %21.2 lik dayanım artışı gözlenmiştir.

**Çizelge 7.** Değişik jips katkıları için bentonitin KDK değerleri.

**Table 7.** Influence of gypsum content on the CEC of the bentonite.

|            | %0    | %2.5  | %5   | %7.5 | %10  |
|------------|-------|-------|------|------|------|
| <b>KDK</b> | 118.7 | 106.2 | 92.7 | 82.2 | 71.2 |

KDK (meq/100 g)



**Şekil 17.** Katyon değişim kapasitesinin jips katkı miktarına bağlı olarak değişimi.

**Figure 17.** Variation of cation exchange capacity with gypsum content.

- Gerçekleştirilen bu çalışmada, jipsin bentonite karıştırılması ile katyon değişim kapasitesinde de önemli düzeyde bir değişim olduğu belirlenmiştir. Düşme şeklinde meydana gelen bu değişimin nedeni, bentonitteki tek değerlikli iyonların jipsteki kalsiyum iyonları ile yer değiştirmesidir.
- Her ne kadar şişen killer günümüzde yaygın olarak özellikle kireç katkısı ile iyileştirilebiliyor olsa da, jipsin özellikle Sivas havzasında yaygın olması ve endüstriyel sektörde kullanılan jipsin atıklarının da değerlendirilebilme olanağı ile jipsin kirece göre yaklaşık 2-3 kez ucuzluğu, jips katkısı kullanımı bakımından önemli avantajları oluşturmaktadır.
- Yalnızca %5 jips katkısı ile şişebilen killerin etkin şekilde iyileştirilebileceği gerçeği de

jipsin ekonomik bir katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

- Bu çalışmanın sonuçları, şişebilen killi zeminlerin jipsle etkin bir şekilde iyileştirilebileceğini ve jipsin iyi bir katkı maddesi olduğunu göstermiştir. Ancak, jipse bağlı olarak yeraltısuyu kirlenme olasılığı söz konusu olabilir. Bundan başka, jipsle temas olasılığı olan beton yapıların olumsuz etkilenmemesi için sülfat dirençli çimento kullanımına ihtiyaç duyulabilir.

#### KAYNAKLAR

- Akawwi, E., Kharabsheh, A. (2000). Lime stabilization effects on geotechnical properties of expansive soils in Amman,

- Jordan. Journal of Geotechnical Engineering, 5.
- Amu, O.O., Fajobi, A.B., Afekhuai, S.O. (2005). Stabilizing potential of cement and fly ash mixture on expansive clay soils, Journal of Applied Sciences, 5, 9, 1669-1673.
- Ameta, N.K., Prohit, D.G.M., Wayal, A.S., Sandeep, D. (2007). Economics of stabilizing bentonite soil with lime-gypsum, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 12, Bundle E.
- Aruntaş, H. Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 1, 193-203.
- ASTM (1994). Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Volume 04.08 – Soil and Rock.
- Basma, A.A., Tuncer, E.R. (1991). Effect of lime on volume change and compressibility of expansive clays, Transportation Research Record, 1295, 52-61.
- Baytar, A.Ö. (2005). Uçucu Kül Ve Desülfojipsin Çayırhan Zemininin Geoteknik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82s.
- Bell, F., Coultherd, J. (1990). Stabilization of clay soils with lime, Municipal Engineer, 7, 125–140.
- Bell, F.G., Maud, R.R. (1994). Dispersive Soils and Earth Dams with Some Experiences From South Africa, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 31, 4, 433-446
- Bell, F.G., Maud, R.R. (1995). Expansive clays and construction, especially of low-rise structures: a viewpoint from Natal, South Africa, Environmental and Engineering Geoscience, 1, 41-59.
- Brandl, H. (1981). Alteration of soil parameters by stabilization with lime, Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 587-594.
- Broms, B., Boman, P. (1979). Lime columns-a new foundation method, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105, 539-556.
- BS 1377 (1975). Methods of test for soils for civil engineering purposes, British Standards Institution, London.
- Ceyhan, Ö. (1996). İnorgano- ve organo- killer tarafından bazı organik kirleticilerin sıvı fazı adsorbsiyonu. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 102 s.
- Chen, F.H. (1988). Foundation on Expansive Soils, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Coduto, D.P. (1999). Geotechnical Engineering, Principles and Practices, Prentice Hall, NJ, 759 p.
- Çetiner, S. I. (2004). Şişen Zeminlerin Çayırhan Uçucu Külü Ve Desülfojips İle Stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 107 s.
- Dhowian, A., Ruwiah, I., Erol, A. (1985). The distribution and evaluation of expansive soils in Saudi Arabia, In: Proceedings 2nd Saudi Engineering Conference, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, 4, 1969-1990.
- Donaldson, G.W. (1969). The occurrence of problem heave and the factors affecting its nature, Proceedings, 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas, A & M Press, College Station, TX.
- Edral, C. (1999). Effect of fly ash on swelling pressure of expansive soil, J Geotech Eng 4.
- El-Rawi, M.N., Awad, A.A.A. (1981). Permeability of lime stabilized soils, Journal of Transportation Engineering Division, ASCE, 107, 25-35.
- FIPR (Florida Institute of Phosphate Research) (1988). Stabilization of phosphatic clay with lime columns, Report prepared by Bromwell and Carrier Inc. under a grant

- sponsored by the Florida Institute of Phosphate Research, Bartow-Florida, 102 p.
- Gibbs, H. J. (1969). Discussion of Holtz W.G. The engineering problems of expansive clay subsoils, Proceedings of the 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M Press, 478-479.
- Gillot, E. J. (1968). Clay in Engineering Geology, Elsevier, Amsterdam, 296 p.
- Grim, R.E., Güven, N. (1978). Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses, Developments in Sedimentology, Elsevier, Amsterdam, 24.
- Grim, R.E. (1968). Clay Minerology, 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill, New York, 596p.
- Gürer, C., Akbulut H. ve Kurklu G. (2004). Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İzmir, 28-36.
- Holtz, W. G. (1959). Expansive clays-properties and problems. Journal of the Colorado School of Mines, 54, 4, 89-125.
- Holtz, W. G. (1969). Volume change in expansive clay soils and control by lime treatment, Proceedings of the 2nd International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M Press, pp. 157-173.
- <http://www.agric.nsw.gov.au>
- Ji-ru, Z., Xing, C. (2002). Stabilization of expansive soil by lime and fly ash, Journal of Wuhan University of Technology - Materials Science Edition, 17, 73-77.
- Kamon, M., Nontanandh, S. (1991). Combining industrial wastes with lime for soil stabilization, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117, 1-17.
- Kasapoğlu, K. E. (1989). Killerin jeomühendislik özellikleri, IV. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, 3-29.
- Keller, W.D. (1978). Classification of kaolins exemplified by their textures in scan electron micrographs, Clays and Clay Minerals, 26, 1-20.
- Kennedy, T., Smith, R., Holgreen, R., Tahmoressi, M. (1987). An evaluation of lime and cement stabilization, Transportation Research board, Washington, D.C. TRR (1119), 11-25.
- Kurtman, F. (1973). Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı, M.T.A. Dergisi, 80, 1-32.
- Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1959). The role of effective stress in the behaviour of expansive soils, Quarterly of Colorado School of Mines, 54, 4, 33-61.
- Locat, J., Berube, M.A., Choquette, M. (1990). Laboratory investigations on the lime stabilization of sensitive clays: shear strength development, Canadian Geotechnical Journal, 27, 294-304.
- Mathew, P.K., Narasimha, R.S. (1997). Effect of lime on cation exchange capacity of marine clay, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123, 183-185.
- Muntohar, S., Hantoro, G. (2000). Influence of rice husk ash and lime on engineering properties of a clayey subgrade, Journal of Geotechnical Engineering, 5.
- Nalbantoğlu, Z., Güçbilmez, E. (2001). Improvement of calcareous expansive soils in semi-arid Environments, Journal of Arid Environments, 47, 453-463.
- Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S. (1999). Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction, Engineering Geology, 53, 371-380.
- O'Neill, M.N., and Poormayed, N. (1980). Methodology for foundations on expansive clays, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 106, 1345-1367.
- Oweiss, I. and Bowman, J. (1981). Geotechnical considerations for construction in Saudi Arabia, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering Division, 107, 319-338.

- Öztürk, A., İnan, S., Gürsoy, H., Kavak, K. Ş. ve Özden, S. (1996). Tectonic setting and evolution of the Sivas basin, Central Anatolia, Turkey, *International Geology Review*, 38, 838-853.
- Rhoades, J. D. (1982). Cation exchange capacity, In: *Methods of Soil Analysis Part 2*, (C.A. Black, Ed), American Society of Agronomy, Madison, 149-157.
- Süt İ. (2006). Kohezyonlu Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesinin CBR Değeri Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taşpolat, L. T., Zorluer İ. ve Koyuncu H. (2006). Atık Mermer Tozunun Geçirimsiz Kil Tabakalarda Donma - Çözölmeye Etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2, 11-16
- Terashi, M., Tanaka, H., Niidome, Y., Sakanoi, H. (1980). Permeability of treated soils, *Proceedings, 15th Japan Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 773-776.
- Tonoz, M.C., Gokceoglu C. and Ulusay R. (2003). A laboratory-scale experimental investigation on the performance of lime columns in expansive Ankara (Turkey) Clay, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 91-106.
- Tonoz, M.C., Ulusay, R., Gokceoglu, C. (2004). Effects of Lime Stabilization on Engineering Properties of Expansive Ankara Clay, *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe*, 100, 466-474.
- Townsend, D.C., Kilm, T.W. (1966). Durability of lime-stabilized soils, *Highway Research Board Bulletin*, 139, 25-41.
- Transportation Research Board (1987). Lime stabilization: reaction, properties, design and construction, *Committee on Lime and Lime-fly ash Stabilization, State-of-the-Art-Report*, 5, Washington, D.C., 1-59.
- Unsal, N. (1993). Sekiz Katlı 3 Üniteli Manisa Öğretmenevi İnşaatında Uygulanan Sönmüş Kireçtozu İle Zemin Islahı, *Bayındırlık Ve İskan Müdürlüğü, Manisa, Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı 43, 82-84.
- Ülker, Ş. (2005). Karayolu Altyapısında Zeminlerin Kireçle İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalçın, H., Gümüşer, G. (2000). Mineralogical and geochemical characteristics of late Cretaceous bentonite deposits of the Kelkit Valley Region, northern Turkey, *Clay Minerals*, 35, 807-825.
- Yeşilbaş, G. (2004). Şişen Zeminlerin Agregası Artığı, Taş Unu Ve Kireç Kullanılarak Stabilizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 112s.
- Yılmaz, I., Civelekoglu, B. (2009). Gypsum: An additive for stabilization of swelling clay soils, *Applied Clay Science*, 44, 166-172.
- Yılmaz, I. and Karacan, E. (1997). Geotechnical properties of alluvial soils: an example from south of Sivas (Turkey), *IAEG Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 55, 159-165.
- Yılmaz, I., Karacan, E. (2005). Slaking durability and its effect on the doline occurrence in the gypsum, *Environmental Geology*, 47, 7, 1010-1016.
- Yılmaz, I., Sendir, H. (2002). Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and elasticity modulus in gypsum from Sivas (Turkey), *Engineering Geology*, 66, 211-219.
- Yılmaz, I., Yüksek, A.G. (2008.a). An example of artificial neural network application for indirect estimation of rock parameters, *Rock Mechanics & Rock Engineering*, 41, 5, 781-795.
- Yılmaz, I., Yüksek, A.G. (2008.b). Prediction of the strength and elasticity modulus of gypsum using multiple regression, ANN, ANFIS models and their comparison,

- International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 46, 4, 803-810.
- Yılmaz, I. (2006). Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity. *Engineering Geology*, 85, 3-4, 295-301.
- Yılmaz, I. (2007.a). The effect of swelling clays on a water transport canal between Köklüce HPP and Erbaa HPP (Turkey), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 4, 467-472.
- Yılmaz I. (2007.b). Mühendislik Jeolojisi – İlkeler ve Temel Kavramlar, Teknik Yayınevi, Ankara, 490 s.
- Yılmaz, I. (2008). A case study for mapping of spatial distribution of free surface heave in alluvial soils (Yalova, Turkey) by using GIS software, *Computers & Geosciences*, 34, 8, 993-1004.
- Zha, F., Liu, S., Du, Y. and Cui, K. (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash, Springer Science+Business Media B.V. Natural Hazards DOI 10.1007/s11069-008-9236-4
- Zorluer, İ. ve Usta, M. (2003). Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 305-311.

---

**Işık YILMAZ**

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,  
58140 Sivas

iyilmaz@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.

- Yerbilimleri alanında bilimsel yöntemlerle yapılmış, özgün sonuçları bulunan ve yerbilimlerine katkı oluşturacak bir çalışma,
- Yerbilimlerinin herhangi bir konusunda önceden yapılmış çalışmaları eleştireci yaklaşımla derleyen ve yeni görüşler ortaya koyan derleme,
- 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

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

Çağılı, S., Kırall, 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