



# Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



## AFŞİN-ELBİSTAN KIŞLAKÖY AÇIK KÖMÜR İŞLETMESİNDEKİ DOĞU ŞEVLERİNİN DURAYLILIĞININ SONLU ELEMANLAR VE LİMİT DENGE YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ

### STABILITY STUDIES OF THE EASTERN SLOPES OF AFŞİN-ELBİSTAN, KIŞLAKÖY OPEN-PIT LIGNITE MINE (KAHRAMANMARAŞ, SE TURKEY), USING THE 'FINITE ELEMENTS' AND 'LIMIT EQUILIBRIUM' METHODS

İbrahim AKBULUT<sup>a</sup>, İlker ÇAMA<sup>a</sup>, Tahsin AKSOY<sup>a</sup>, Tolga ÖLMEZ<sup>a</sup>, Dinçer ÇAĞLAN<sup>b</sup>, Ahmet ONAK<sup>a</sup>, Süreyya SEZER<sup>a</sup>, Nuray YURTSEVEN<sup>a</sup>, Selma SÜLÜKÇÜ<sup>a</sup>, Mustafa ÇEVİK<sup>c</sup> ve Veysel ÇALIŞKAN<sup>d</sup>

<sup>a</sup> MTA Genel Müdürlüğü, Fizibilite Daire Başkanlığı, Ankara

<sup>b</sup> Demir Export A.Ş., 06440, Ankara

<sup>c</sup> Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Adıyaman İl Müdürlüğü, Adıyaman

<sup>d</sup> Adıyaman İl Özel İdaresi, Adıyaman

#### ÖZ

Anahtar sözcükler:  
Elbistan, Kışlaköy,  
Kömür, Sonlu  
elemanlar, Şev  
duraylılığı

Açık işletme madencilğinde güvenliğin sağlanması bakımından kazısı yapılan malzemenin fiziksel ve mekanik davranışlarının incelenip, jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin de dikkate alınarak şevlerin tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi'ne bağlı Kışlaköy Açık Ocağı'nda yer alan doğu kalıcı şevlerinde duraylı şev geometrilerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi Kışlaköy Açık Ocağı'nın işletme madencilğine yönelik jeoteknik etüt ve şev boyutlandırması amacıyla gerçekleştirilen ve toplam derinliği 3393.20 m olan 35 adet jeoteknik sondajları ile yüzeyde gözlenemeyen tektonik yapı ve litolojik değişimlerin ortaya konulabilmesi için yapılan toplam 250 adet Düşey Elektrik Sondajı (DES)'na ait veriler bu çalışmada kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tasarım analizleri ile linyit horizonu arasında yer alan siyah renkli ve yüksek plastisiteli kil bantlarının şevlerin duraylılığını kontrol eden en önemli birim olduğu belirlenmiştir. Genel şev duraylılık analizleri sonlu elemanlar ve limit denge yönteminde bloku kayma modeline uygun olarak ve farklı yeraltı su koşullarına göre yapılmıştır. Analizlerde dilimlere etki eden gerilmeler dilimin orta noktası baz alınarak ve sonlu elemanlar kullanılarak duraylılık analizleri yapılmış olup, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre dilimlere etki eden gerilmeler sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmesi durumunda hesaplanan güvenlik katsayıları basamak bazında % 1 ile % 7, genel şev açılarında ise % 1 ile % 23 arasında daha yüksek çıktığı ortaya konmuştur.

#### ABSTRACT

Keywords:  
Elbistan, Kışlaköy,  
Coal, Finite Elements,  
Slope Stability

In open pit mining from the safety point of view it is very important that physical and mechanical characteristics of the dug-out materials are carefully studied, and geological and geotechnical characteristics should also be considered in planning bench slopes of the dug-out materials. The purpose of this study is to work out the stable slope geometry of the eastern permanent slopes in the Kışlaköy open pit lignite mine of the Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi. In the Kışlaköy open pit mine, 35 geotechnical drillings totalling 3393.20 m were made for the geotechnical studies and to work out slope sizing. A total of 250 vertical electrical drillings (DES) were also made to study tectonic features and lithological changes which do not have surface expressions. All these data have been used in this study. Design analyses showed that black coloured clay bands with high plasticity present in between lignite horizon is the most important unit controlling slope stability. Slope stability analyses have in general been conducted using the 'finite elements' and the 'limit equilibrium' method to suit block sliding model and to suit different groundwater conditions. In the analyses for the stresses affecting the slices; central part of the slice has been taken as a base and the 'finite elements' stability studies have been conducted then the findings have been compared. According to this it is understood that if stresses affecting the slices are conducted by the 'finite elements' method then calculated factor of safety on the bench base would be more from 1% to 7%, and in the slope angles it would be more from 1% to 23%.

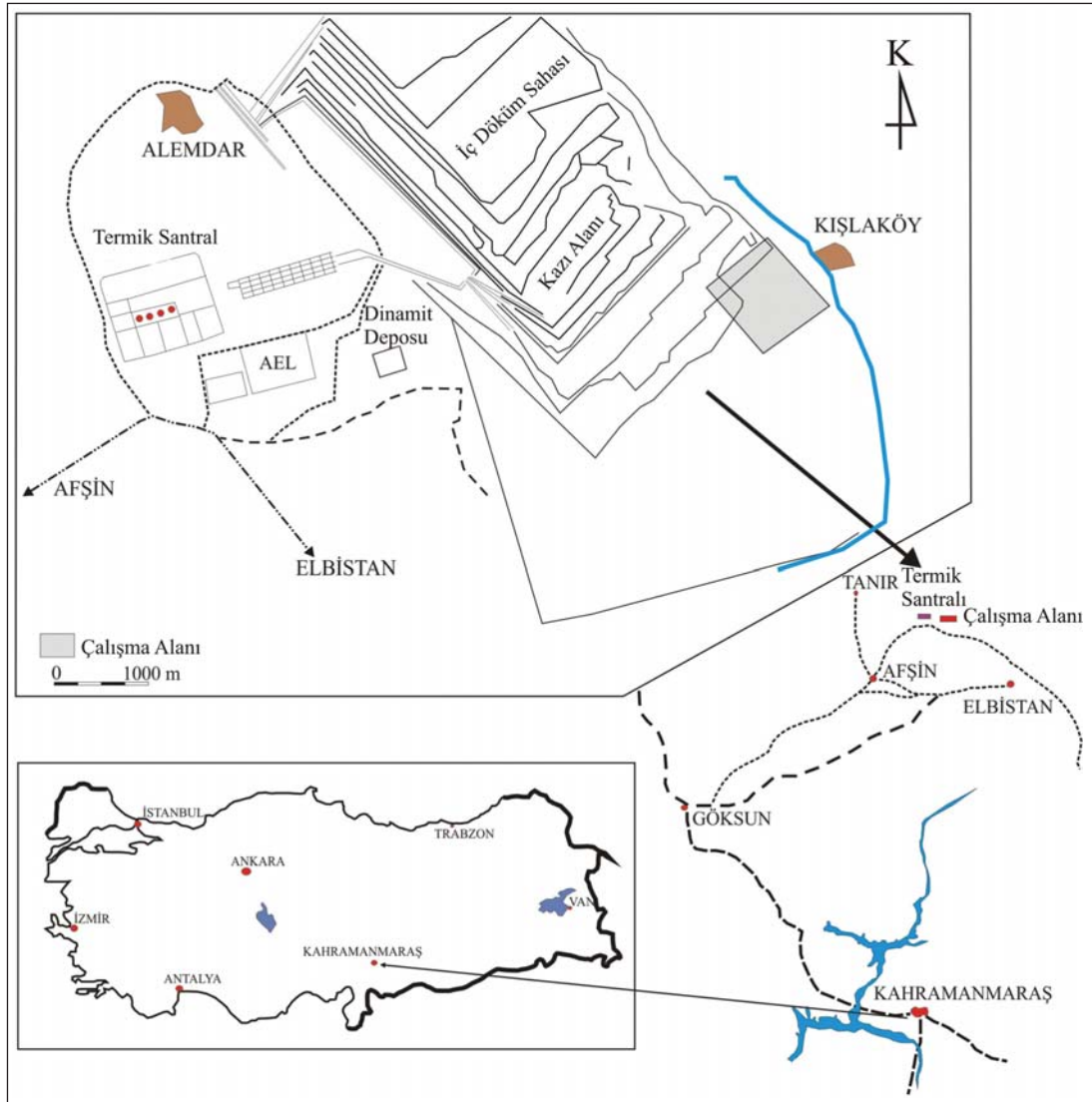
## 1. Giriş

Kışlaköy Açık Ocak İşletmesi, Kahramanmaraş ilinin Afşin-Elbistan ilçe sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 1). Yapılan çalışmalarda Kışlaköy Sektöründe yaklaşık 578 milyon ton, Afşin-Elbistan Havzası'nda ise toplam 3.4 milyar ton linyit olduğu tespit edilmiştir (Yörükoğlu, 1991). Yörükoğlu (1991), yapmış olduğu çalışmada orijinal bazdaki kömür kalitesini; alt ısıl değer 1170 Kcal/kg, nem %55, kül %17, yanıcı madde %28.3, toplam S %1.46, uçucu madde %18.69, C %17.1, H<sub>2</sub> %1.52 olarak tespit etmiştir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde çalışan araştırmacılardan Özbek ve Güçlüer (1977), Maraş-Elbistan Çöllolar linyit sektöründe hidrojeolojik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Gürsoy

vd. (1981), Çöllolar, Hurman ve Sinekli köyleri arasında kalan sahanın kömür rezervine yönelik çalışmalar yapmış, görsel çökelin yaşını Pliyosen-Pleyistosen olarak belirlemiştir. Ergüder vd. (2000), Kışlaköy Açık İşletmesi doğu nihai şevlerinde jeofizik etüdünü yapmış, çalışmasında bu yöredeki fayların doğrultu ve eğimlerini tespit etmiştir. Koçak vd. (2001), bölgenin linyit rezervine yönelik yaptıkları çalışmalarda, havzada görünür rezervin 4,3 milyar ton, ekonomik işletilebilir linyit rezervinin ise 3,8 milyar ton olduğunu belirlemiştir. Bölgede şev stabilitesine yönelik çalışmalar ise Koçak vd. (1985), Ural ve Yüksel (2004), Akbulut vd. (2007 ve 2008) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kışlaköy İşletmesi'ndeki linyit üretiminin sürekliliğini kontrol eden en önemli faktörlerden biri, üretim boyunca kalıcı şevlerin duraylılığının



Şekil 1- İnceleme alanının yer bulduru haritası

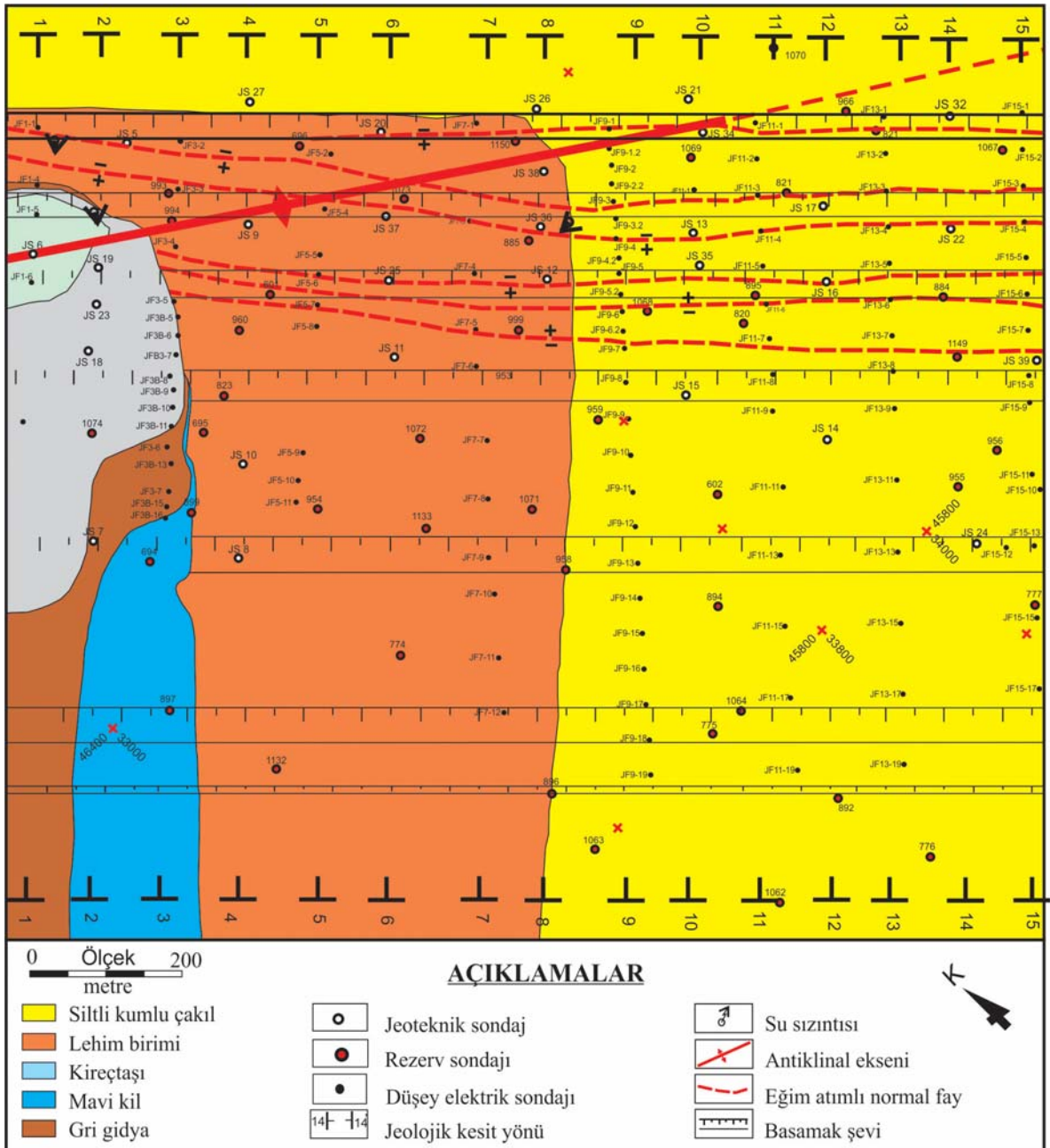
sağlanmasıdır. Bu amaçla, arazi çalışmaları kapsamında derinliği 3393,20 m olan 35 adet jeoteknik amaçlı sondaj gerçekleştirilmiştir. Alan içerisinde yer alan tüm litolojik birimlerin jeomekanik parametrelerin belirlenmesine yönelik örselenmiş/örselenmemiş örnekler alınmıştır.

Arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinden elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilip, sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge yöntemine göre duraylılık analizleri yapılarak iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

## 2. Jeoloji

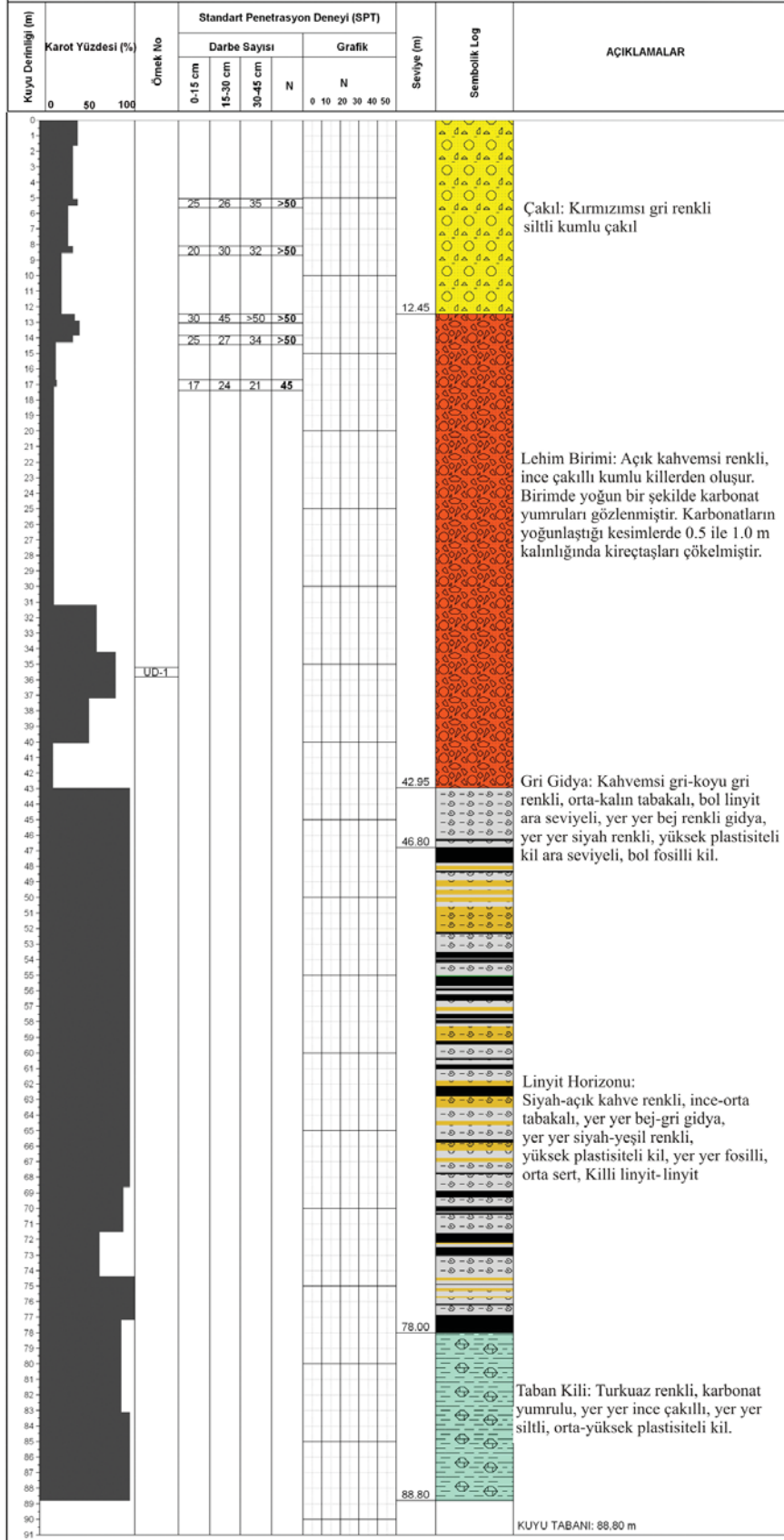
Çalışma sahasında Pliyosen - Pleyistosen yaşlı gösel çökeller ile Kuvaterner yaşlı akarsu ve yamaç molozu ürünü olan litolojik birimler yer almaktadır (Şekil 2a).

Çalışma sahasının tabanında turkuaz renkli killer yer almaktadır. Bu birim linyit horizonunun tabanını oluşturduğundan taban kili olarak da isimlendirilmiştir. Yeşilimsi mavi renkli, (turkuaz renkli) karbonat



Şekil 2a- İnceleme alanının jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası

AEL Kışlaköy Şev Duyarlılığı



Şekil 2b- İnceleme alanının jeoloji ve mühendislik jeolojisi haritası

yumrulu kil seviyelerinden oluşan taban killeri az-orta plastik özellik göstermekte olup ince-orta tabakalanma sunmaktadır (Şekil 2b).

Taban kili üzerinde uyumlu olarak linyit horizonu yer almaktadır. Birim siyah–açık kahve renkli, orta sertlikte olup, orta-ince tabakalanma sunmaktadır. Linyit horizonu içinde 1-80 cm kalınlığında, bol bitümlü, yüksek plastisiteli, siyah renkli kil seviyeleri ile yer yer orta-yüksek plastisiteli, ince çakıllı, yeşil renkli kil seviyeleri yer almaktadır. Gri gıyda birimi ile geçişli olduğu için linyit horizonu içinde yoğun bir şekilde gıyda ardalanması gözlenmektedir. Gürsoy vd. (1981) çalışmalarında linyitin yaşımı Pliyosen-Pleyistosen olarak belirtmişlerdir. Linyit seviyeleri üzerinde uyumlu olarak gri gıyda birimi yer almaktadır. Birim kahvemsı gri-koyu gri killi seviyelerden oluşmaktadır. Birim orta-kalın tabakalanma sunmakta olup, çok yumuşaktır. Bej gıyda, gri gıyda biriminin üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Bej gıyda birimi açık kahve-bej renkli, bol gastropot içerikli killi silt düzeylerinden oluşmaktadır. Göl ortamını karakterize eden birimlerin en üst kesimini kireçtaşları oluşturmaktadır (Gürsoy vd. 1981). Kireçtaşları açık gri-gri renkli, bol fosilli, sert-çok sert, orta-kalın tabakalı ve kırılma yüzeyleri keskin köşelidir. Kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı Lehim Birimi gelmekte olup inceleme sahasında geniş bir yayılım sunmaktadır.

Jeofizik etütler kapsamında yüzeyde izleri gözlenemeyen fayların konumları tespit edilmiştir. Bu faylar, KB-GD doğrultulu olarak havza kenarında doğu şevleri boyunca gelişmişlerdir.

### 3. Jeoteknik Çalışmalar

Jeoteknik araştırmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada jeoteknik sondajlar, jeofizik etütler ve örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiş; ikinci aşamada ise derlenen numuneler üzerinde laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde yer alan birimlerin yanal ve düşey dağılımını belirleyebilmek amacıyla MTA tarafından toplam derinliği 3393.20 m olan 35 adet jeoteknik amaçlı sondaj gerçekleştirilmiştir (Akbulut vd., 2008).

Tüm sondajlarda yapılan yeraltı suyu gözlemlerine göre, alan içerisinde statik yeraltı suyu seviyesi kazı yapılmamış yerde 4,00 m, kazı yapılan

yerlerde yaklaşık 30 m, temel kayasını kesen sondajda 61,50 m olarak belirlenmiştir. 61.50 m olan statik yeraltı suyu seviyesi muhtemelen karstik sahanın su seviyesi olmalıdır.

Jeofizik etütler kapsamında ise toplam 250 adet Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümü alınmış, bu çalışma sonucunda elde edilen veriler yorumlanmış, sahada yapılan mekanik sondajlarla uyumluluğu denetlenmiş ve tüm olası tektonik hatlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Kalıcı şevlerin tasarımında kullanılacak jeomekanik parametrelere ait verileri elde etmek amacıyla birimlerin taze yüzeylerinden 10 cm x 10 cm x 3 cm boyutundaki kesici kalıplar yardımıyla 4 set örselenmemiş, 4 adet de indeks deneylerinde kullanılmak üzere örselenmiş örnek, sondajlardan da ince cidarlı (shelby) tüpler yardımıyla 31 adet örselenmemiş örnek alınmıştır.

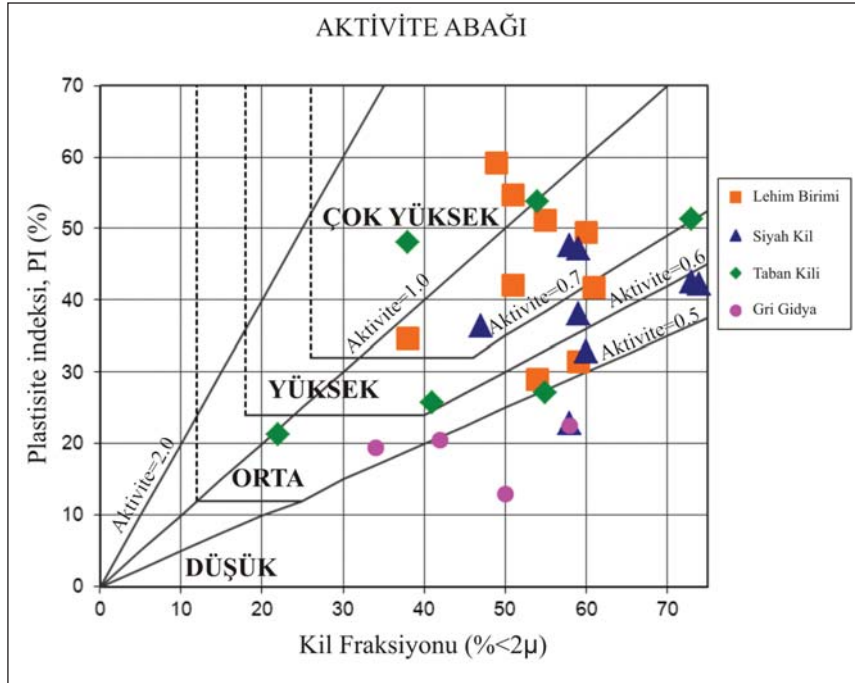
Laboratuvar çalışmaları kapsamında zemin türü örnekler üzerinde ASTM (1994) ve BSI 1377 (1990) standartlarına uygun dayanım ve indeks deneyleri yapılmıştır.

### 4. Jeoteknik Değerlendirme

Jeoteknik değerlendirmeler kapsamında öncelikle litolojik birimlerin mühendislik sınıflaması yapılmıştır. Mühendislik sınıflamasında, tane boyu dağılım analizi ve kıvamlılık limitlerini birlikte değerlendiren birleştirilmiş zemin sınıflaması (ASTM D-2487 (1994)) kullanılmıştır. Buna göre, Lehim Birimi'nin kumlu kısımları SM-SP, siltli kısımları MH grubunda, genel olarak ise CH grubu zemin sınıfında olup “yüksek plastisiteli killer” olarak tanımlanmıştır. Gri gıyda MH grubu kil, taban kili ise CH-CL-MH grubu killer ile temsil edilmektedir. Siyah killer ise, likit limit deneyi değerlerine dayanılarak OH-MH grubu kil olarak tanımlanmıştır. Büyük miktarda organik madde içeren ince taneli zeminler, plastisite abağında organik silt olarak A-hattı altında yer alırlar ve “yüksek-aşırı yüksek” likit limit değerine sahiptirler (IAEG Komisyonu, 1981).

İnce taneli zeminlerin plastisite indeksinin kil yüzdesine oranı olarak tanımlanan aktivite katsayısı kil minerallerinin cinsi hakkında bilgi vermektedir. Şekil 3'te aktivite abağında gri gıyda “orta-düşük aktiviteli” çıkarken lehim ve siyah kil “orta-yüksek-çok yüksek aktiviteli” olarak dağılım göstermektedir (Şekil 3).

Kıvam (Atterberg) limitleri sınıflamasına göre; Lehim birimi “sıkı-çok sıkı”; gri gıyda “çok



Şekil 3- Çalışma alanı içinde yer alan ince taneli birimlerin Aktivite Abağı üzerindeki dağılımları.

yumuşak”; siyah kil “sıkı-çok sıkı” ve taban kili “sıkı-çok sıkı” olarak sınıflandırılmıştır (Akbulut vd., 2008).

Kalıcı şevlerin tasarım analizlerinde kullanılacak jeomekanik parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla çalışma alanından alınan örselenmemiş örnekler üzerinde amaca yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

Örnekler, alındıkları lokasyonlara göre belirlenen normal gerilme ( $\sigma_n$ ) değerleri dikkate alınarak uygulanan farklı düşey yük aşamaları altında, standartlara (ASTM D-3080 (1994)) uygun 2x2,5 inç çaplı ve/veya 6x6x2 cm boyutlarda, her bir birim için en az üç adet örnek olmak üzere makaslama testlerine tabii tutularak, malzemelerin doruk ve artık makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir.

Akbulut vd., (2007) yapmış oldukları geriye dönük analizler neticesinde Lehim Birimi’nde ve linyit horizonu içindeki siyah plastik kilin denetiminde oluşan heyelanlarda kayma anında “artık makaslama dayanımı” parametrelerinin etkin olduğunu saptamışlardır. Bu nedenle duraylılık analizlerinde laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen artık makaslama dayanımı parametreleri kullanılmıştır. Arazi çalışmalarında fay zonlarının bazen kil dolgulu olduğu bazen de dolgu ihtiva etmediği gözlenmiştir. Analizler süreksizlik olmaması, süreksizlik olması ve süreksizlik düzlemlerinin (fay) fay malzemesi ihtiva etmesi duruma göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tasarım analizlerinde kullanılan jeomekanik parametreler çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1- Tasarım analizlerinde kullanılan jeomekanik parametreler (Akbulut vd., 2008).

Birim	Birim hacim ağırlık ( $\gamma$ , kN/ m <sup>3</sup> )	Artık içsel sürtünme açısı ( $\phi$ , °)	Artık kohezyon (c, kPa)
Lehim	17,85	21,38	21,79
Kireçtaşı	20,78	26,80	51,80
Gri Gıdya	15,05	34,84	10,54
Linyit	10,90	33,30	12,76
Siyah kil	15,90	11,20	20,82
Taban kili	17,46	25,83	14,19
Süreksizlik yüzeyi	10,90	29	0,1
Fay malzemesi	12,57	9,10	43,31

## 5. Stabilite Tasarım Analizleri

Şevlerin nihai tasarımında güvenlik katsayısı (F) kavramı büyük önem taşımaktadır. Güvenlik katsayısı basit olarak, kaymaya karşı koyan kuvvetlerin, kaydırıcı kuvvetlere oranı olarak tanımlanmaktadır. Stabilite analizlerinde  $F=1$  olması durumu limit denge koşulu olarak belirtilir ve kayma anında bu koşulun geçerli olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle duraysızlıkların oluşmaması için şev tasarımında  $F=1$ 'den büyük güvenlik katsayılarının tercih edilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmada güvenlik katsayısı  $F=1.3$  alınarak kalıcı şev tasarım için öneriler yapılmıştır. Ancak, şevlerinin önüne çok kısa süre içinde döküm yapılarak topuk oluşturulması koşulunda  $F=1.2$  güvenlik katsayısı ile de çalışmanın mümkün olabileceği öngörülmüştür.

Yapılan tasarım analizlerinde, dilimler arası kuvvetleri göz önüne alan moment ve kuvvet dengelerini aynı anda hesaplamalara katan, "Genel Limit Denge Yöntemi (GLE)"metodu (Fredlund ve Krahn, 1977) esas alınmıştır. Tasarımlar, heterojen ve anizotrop ortamlarda sonlu elemanlar ve limit denge yaklaşımıyla iki boyutlu (2B) kayma analizleri yapabilen ve analizlerde sismik kuvvetler ile yeraltı su seviyesini de hesaba katarak farklı metodlarda çözüm üreten GEO-SLOPE (SLOPE/W 2007) isimli yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kalıcı şevlerinin tasarım analizleri, öncelikle tek basamak için gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ile tek basamağın emniyetli olarak açılabilmesi "basamak şev açısı ve şev yükseklikleri" belirlenmiştir. Analizler, zemin özelliği taşıyan birimlerde daha kritik olması nedeniyle "daireysel", kaya özelliği taşıyan birimlerde ise "bloklu kayma" modeline göre gerçekleştirilmiştir.

## 6. Sonlu Elemanlar ile Limit Denge Yöntemine Göre Hesaplanan Tasarım Analiz Sonuçlarının Kıyaslaması

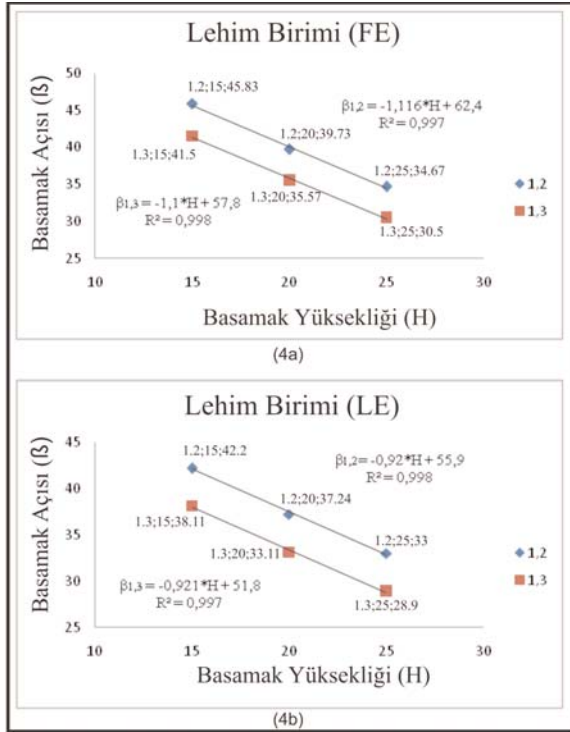
Şev duraylılığı analizlerinde limit denge yöntemi günümüze kadar başarı ile kullanılan yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar yöntemi, tüm mühendislik problemlerin çözümünde kullanıldığı gibi, şev duraylılığı analizlerinde de kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin limit denge yöntemlerinden en önemli farkı, gerilme dağılımını gerçeğe en yakın

şekilde ortaya koyduktan sonra duraylılık analizlerinin yapılmasına imkan vermesidir.

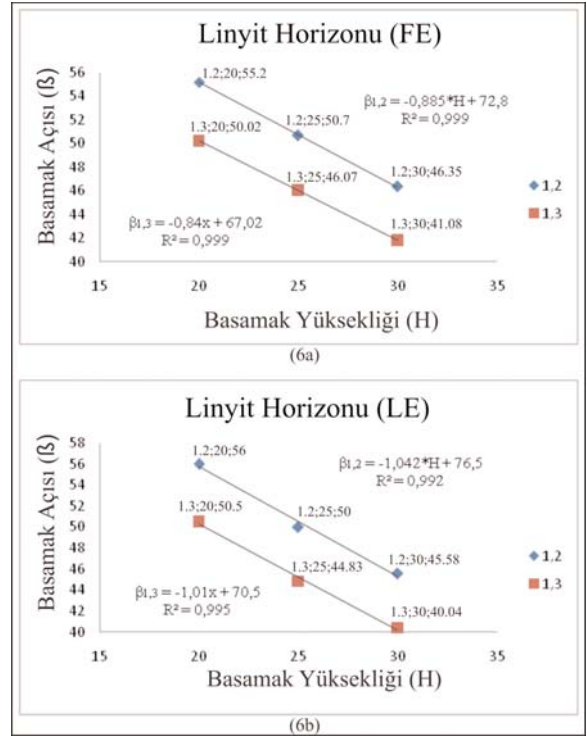
Limit denge yöntemleri sonuca ulaşabilmek için kuvvet dengesini oluşturmaya çalışırken, güvenlik sayısının her dilim için aynı olduğunu kabul eder. Bu da, kayma yüzeyi boyunca hesaplanan gerilme dağılımının gerçekte var olandan farklılık göstermesine neden olur. Sonlu elemanlar yaklaşımında ise, gerilme deformasyon koşullarına dayanan bir denge konumu oluşturulduğundan, hesaplamalar, daha gerçekçi olan gerilme dağılımı verilerini temel alır. Limit denge yönteminde dilimlere etki eden gerilmeler, her bir dilimin orta noktası baz alınarak hesaplanmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde ise her bir dilimin tabanında etkin olan gerilmeler hesaplanarak analizler yapılmaktadır. Burada "iki yöntemden" kasıt, dilimlere etki eden gerilmelerin hesaplanması olup diğer hesaplamalar ise aynıdır.

Bu makalede yukarıda bahsedilen fark dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Tasarım analizleri önce basamak geometrisini oluşturmak için Lehim Birimi, taban kili ve linyit için  $F=1.2$  ve  $F=1.3$  güvenlik katsayısına göre "Şev yüksekliği (H) - Şev açısı ( $\beta$ )" ilişkisini gösteren grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4, 5, 6). Grafiklerden görüleceği üzere  $F=1.3$  koşulunda *sonlu elemanlar yöntemine göre*; Lehim biriminde oluşturulacak  $H=20$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=35.8^\circ$ ; taban kilinde oluşturulacak  $H=25$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=30.5^\circ$ ; linyit horizonu içinde oluşturulacak  $H=25$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=46.0^\circ$  olarak hesaplanmıştır. *Limit denge yöntemine göre* ise; Lehim biriminde oluşturulacak  $H=20$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=33.4^\circ$ ; taban kilinde oluşturulacak  $H=25$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=28.8^\circ$ ; linyit horizonu içinde oluşturulacak  $H=25$  m lik basamak için basamak açısı  $\beta=45.3^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre sonlu elemanlar yöntemi ile basamak bazında hesaplanan güvenlik katsayıları limit denge yöntemine göre hesaplanan güvenlik katsayısına göre % 1 ile % 7 arasında daha yüksek çıkmaktadır.

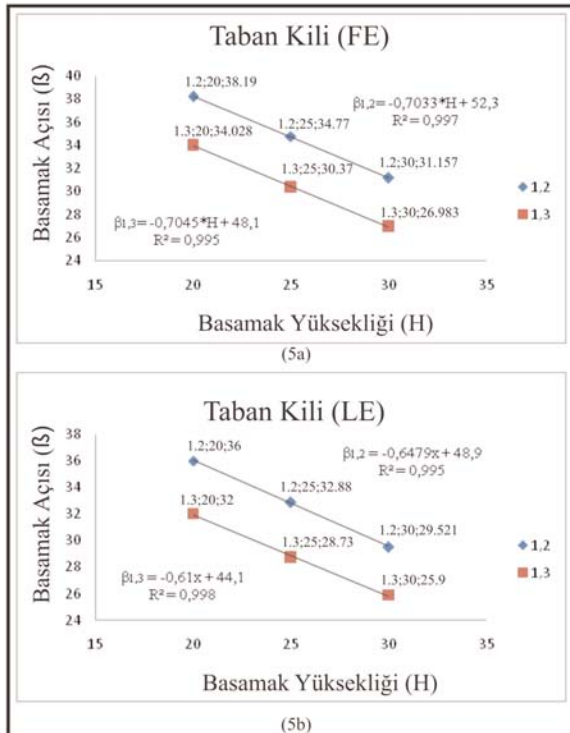
Akbulut vd., (2007) çalışma alanındaki linyit horizonu içinde gelişen heyelanları incelemişler ve yenilmelerin bloklu kayma modelinde geliştiğini belirtmişlerdir. Linyit horizonunda yenilmelerin bloklu kayma modelinde olduğu için analizler bu modele uygun olarak yapılmıştır. Genel şev analizleri süreksizlik yüzeyleri göz önüne alınarak analizler tekrar yapılmıştır.



Şekil 4- Lehim birimi için; a) sonlu elemanlar (FE) b) limit denge yöntemine (LE) göre basamak yüksekliği (H) - basamak açısı (β) ilişkisi.



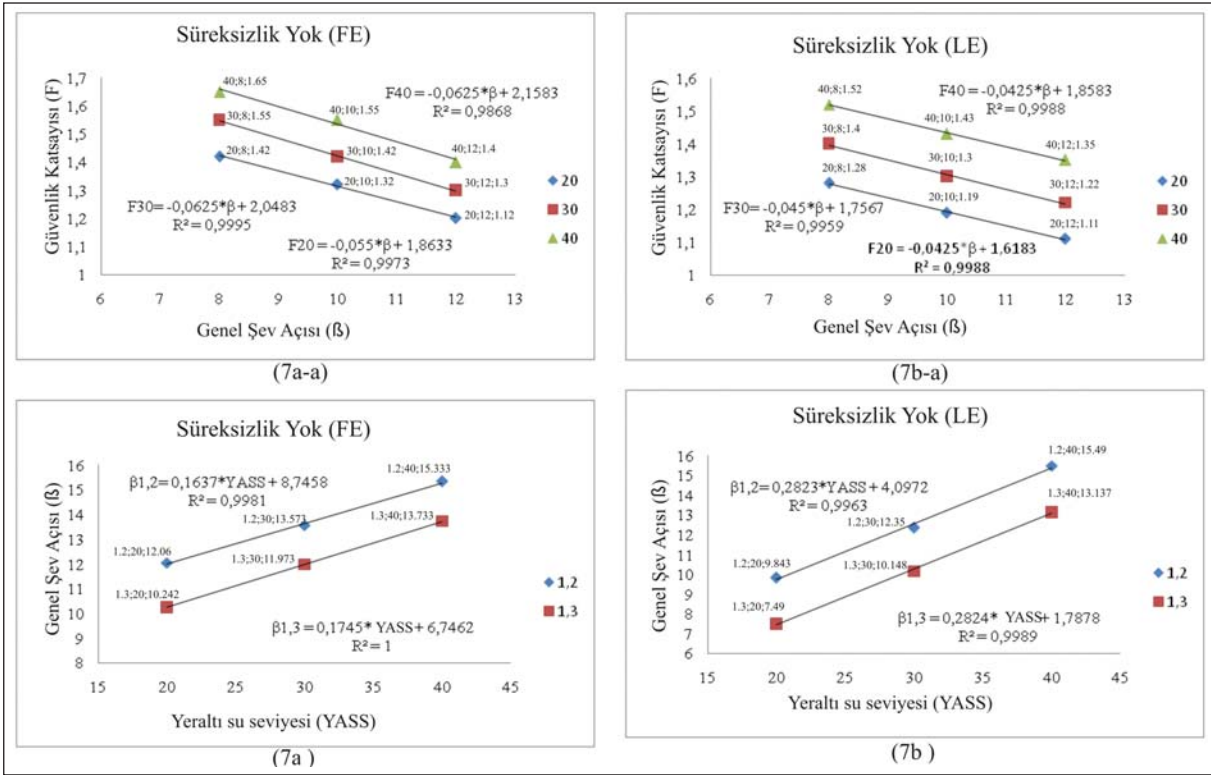
Şekil 6- Linyit horizonu için; a) sonlu elemanlar (FE) b) limit denge yöntemine (LE) göre basamak yüksekliği (H) - basamak açısı (β) ilişkisi.



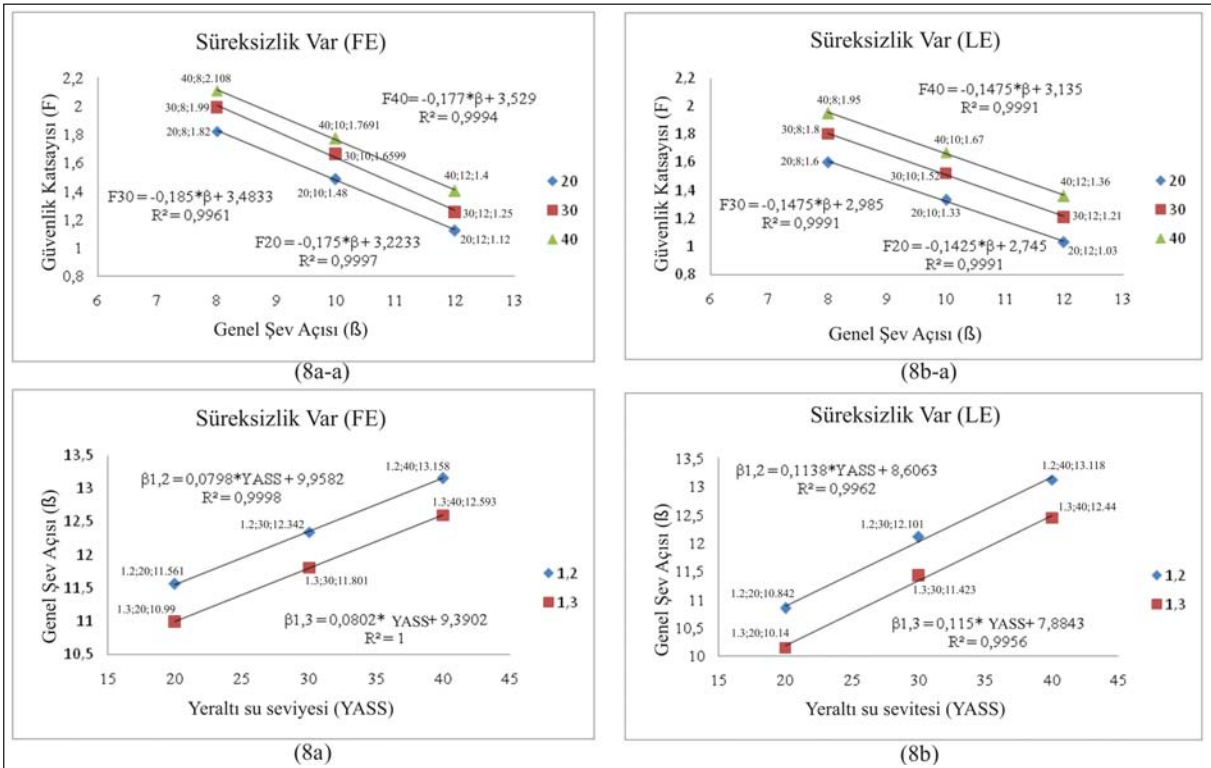
Şekil 5- Taban kili için; a) sonlu elemanlar (FE) b) limit denge yöntemine (LE) göre basamak yüksekliği (H) - basamak açısı (β) ilişkisi.

Bu bölgede jeolojik yapıyı ortaya koymak amacıyla, oluşturulması öngörülen şevlere dik yönde 15 adet jeolojik kesit hazırlanmıştır. Hazırlanan kesitlerde jeolojik yapının hemen hemen aynı özellikte olduğu görülmüş olup, seçilen 7 adet kesit üzerinde duraylılık analizleri yapılmıştır.

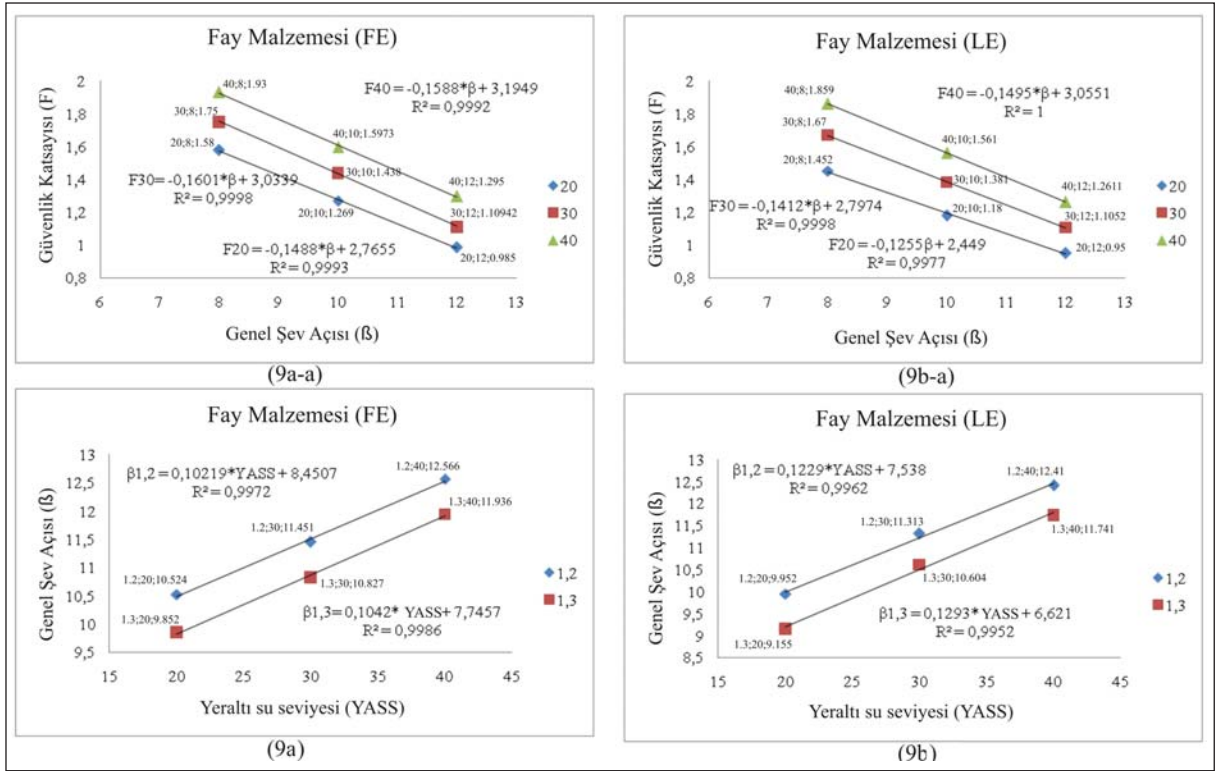
Şev duraylılık analizleri bloklu kayma modeline uygun olarak sonlu elemanlar ve limit denge yöntemine göre çözümler yapılmıştır.  $F=1.2$  ve  $F=1.3$  güvenlik katsayısına göre “Şev yüksekliği (H) - Şev açısı (β)” ilişkisini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Analizleri yapılan kesitlerden 14-14’ nolu kesite (Şekil 2) ait “Genel şev açısı – Güvenlik katsayısı” ve “Yer altı su seviyesi – Genel şev açısı” ilişkisini gösteren grafikler verilmiştir. Şekil 7’de süreksizlik düzlemi, Şekil 8’de süreksizlik düzlemi olması ve Şekil 9’da fay malzemesi olması durumunda sonlu elemanlar ve limit denge yöntemlerine göre; a) güvenlik katsayısı - genel şev açısı b) genel şev açısı- yeraltı su seviyesi ilişkisi verilmiştir. Şev profili ve kritik kayma yüzeyinin konumu Şekil 10’da ve toplu sonuçlar çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 7- a. Süreksizlik düzlemi olmaması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre; b. Süreksizlik düzlemi olmaması durumunda limit denge yöntemine göre; a) Güvenlik katsayısı - Genel şev açısı, b) Genel şev açısı-Yer altı su seviyesi ilişkisi.



Şekil 8- a. Süreksizlik düzlemi olması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre; b. Süreksizlik düzlemi olması durumunda limit denge yöntemine göre; a) Güvenlik katsayısı - Genel şev açısı, b) Genel şev açısı-Yer altı su seviyesi ilişkisi.



Şekil 9- a. Fay malzemesi olması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre; b. Fay malzemesi olması durumunda limit denge yöntemine göre; a) Güvenlik katsayısı - Genel şev açısı, b) Genel şev açısı-Yer altı su seviyesi ilişkisi.

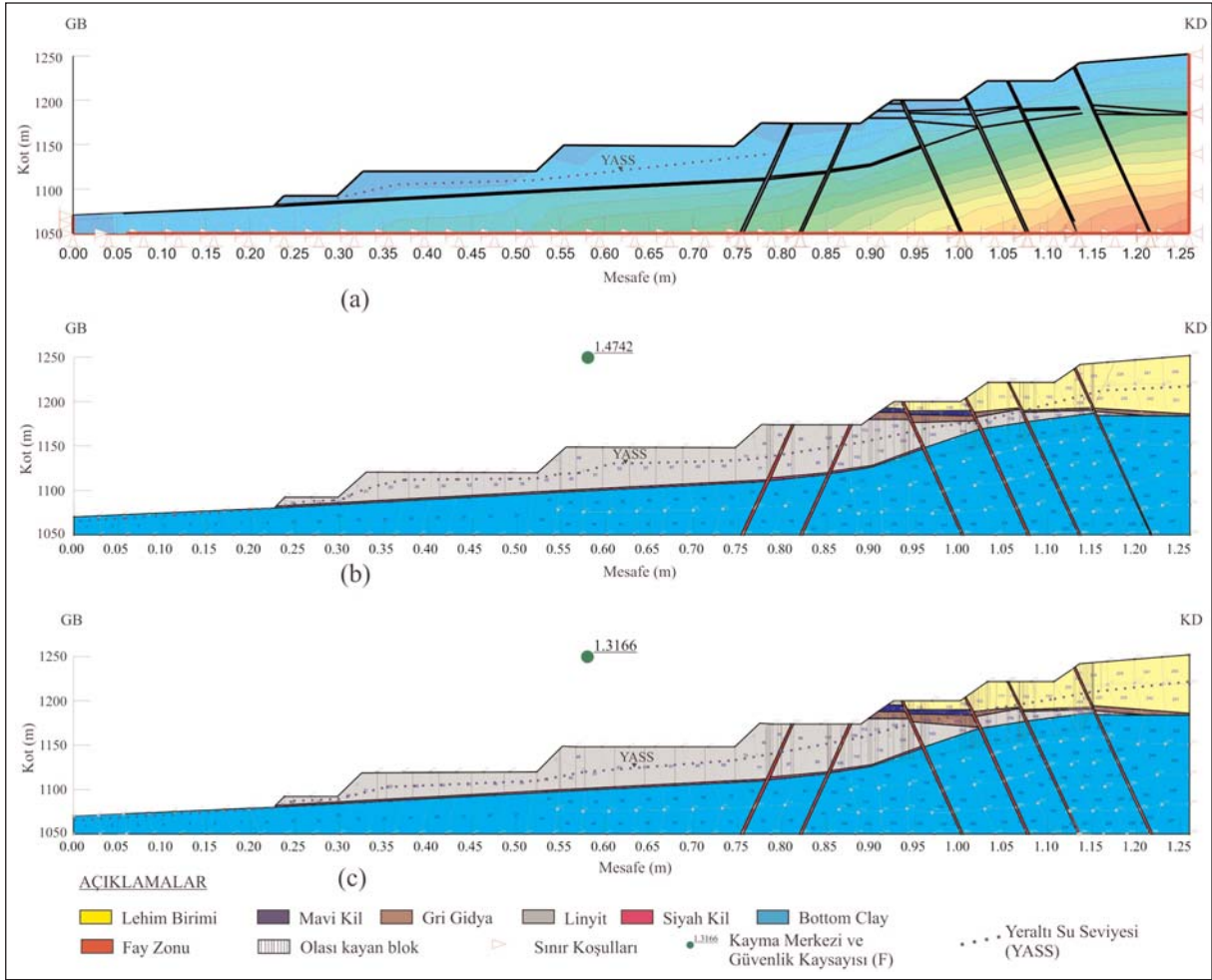
Çizelge 2- Çalışma alanını temsil eden kesitlere ait toplu analiz sonuçları (YASS=30m için) (FE: Sonlu elemanlar, LE: Limit denge).

Kesit no	Genel şev açısı (β) (°)											
	Süreksizlik yüzeyi olmaması durumunda				Süreksizlik yüzeyine göre				Fay düzlemine göre			
	FE	LE	FE	LE	FE	LE	FE	LE	FE	LE	FE	LE
	F=1,2	F=1,3	F=1,2	F=1,3	F=1,2	F=1,3	F=1,2	F=1,3	F=1,2	F=1,3	F=1,2	F=1,3
2-2'	19,0	17,4	17,4	14,9	12,6	11,7	11,3	10,4	11,7	11,2	11,4	10,5
4-4'	17,2	15,7	16,1	14,3	13,4	12,6	12,5	11,8	13,2	12,2	12,7	11,9
6-6'	19,2	17,5	15,2	13,4	14,9	14,0	13,3	12,5	13,9	13,0	12,5	11,7
8-8'	16,0	14,2	14,9	12,8	12,4	11,7	11,2	10,5	11,8	11,1	11,0	10,2
10-10'	14,0	12,8	12,8	11,4	12,3	11,7	11,3	10,7	12,1	11,5	11,4	10,7
12-12'	15,2	13,3	13,3	11,2	12,4	11,9	11,9	11,4	12,3	11,6	11,4	10,8
14-14'	13,7	12,0	12,6	10,3	12,4	11,8	12,1	11,4	11,5	10,9	11,2	10,5

F=1.3 koşulunda genel şev açısı: süreksizlik yüzeyi olmaması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre 12.8°-17.4° arasında, limit denge yöntemine göre 10.1°-14.9° arasında; süreksizlik yüzeyi olması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre 11.7°-14.0° arasında, limit denge yöntemine göre 10.4°-12.5° arasında; fay düzlemi olması durumunda sonlu elemanlar yöntemine göre 11.1°-12.2° arasında, limit denge yöntemine göre 10.2°-11.9° arasında değişmektedir.

Bu analiz sonuçlarına göre genel şev açısının sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanması durumunda güvenlik katsayıları limit denge yöntemine göre hesaplanan güvenlik katsayısına göre %1 ile %23 arasında daha yüksek çıkmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde güvenlik katsayıları %7 düzeyinde fazla çıkarken genel şevde ise (toplam şev yüksekliği arttıkça) % 20'ler düzeyinde daha fazla çıkmaktadır. Bu analizlerin açık ocaqlarda fiili



Şekil 10- a) Sonlu elemanlar metodu kullanılarak bulunan maksimum toplam gerilme dağılımı; b) sonlu elemanlar yöntemine göre çözümlenmiş şev profili ve kritik kayma yüzeyinin konumu; c) limit denge yöntemine göre çözümlenmiş şev profili ve kritik kayma yüzeyinin konumu.

durumlarla özellikle geriye dönük analizle karşılaştırılması gerekir. Sonlu elemanlar yöntemiyle çözülen şev duraylılık analiz sonuçlarının güvenliği elden bırakmamak kaydıyla fiili durumla uyumluluk göstermesi durumunda bu yöntemin kullanılmasının daha doğru olacağı düşünülmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılması durumunda genel şev açısı yaklaşık  $11^\circ$  olacaktır. Ancak şev tasarımı için genel geçerli yöntemler arasında sonlu elemanlar yöntemi daha az sayıda örnek içerdiğinden bu çalışmada geleneksel limit denge yöntemine göre belirlenen genel şev açısı önerilmiş olup,  $10^\circ$  olarak belirlenmiştir.

## 7. Sonuç ve Öneriler

Kahramanmaraş Afşin-Elbistan kömür havzasında yer alan Kışlaköy açık ocağında

gerçekleştirilen jeoteknik çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Birimlerin tane boyu dağılım analizi ve kıvamlılık limitlerini birlikte değerlendiren birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre; Lehim Birimi SM-SP, MH ile tüm istif için CH grubu; Gri gıyda MH grubu; Taban Kili CH-CL-MH grubu ve Siyah kil OH-MH zemin grubu olarak tanımlanmıştır.

Basamak bazında yapılan analizlerde  $F=1.3$  koşulunda sonlu elemanlar yöntemine göre; lehim biriminde oluşturulacak  $H=20$  m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=35.8^\circ$ ; taban kilinde oluşturulacak  $H=25$  m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=30.5^\circ$ ; linyit horizonu içinde oluşturulacak  $H=25$  m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=46.0^\circ$  olarak hesaplanmıştır. Limit denge yöntemine göre ise;

Lehim Birimi'nde oluşturulacak H=20 m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=33.4^\circ$ ; taban kilinde oluşturulacak H=25 m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=28.8^\circ$ ; linyit horizonu içinde oluşturulacak H=25 m'lik basamak için basamak açısı  $\beta=45.3^\circ$  olarak hesaplanmıştır.

Süreksizlik yüzeyi olması durumunda genel şev açısı; F=1.3 limit denge koşulunda sonlu elemanlar yöntemine göre  $11.7^\circ-14.0^\circ$  arasında; limit denge yöntemine göre ise  $10.4^\circ-12.5^\circ$  arasında değişmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile basamak bazında hesaplanan güvenlik katsayıları limit denge yöntemine göre %1 ile %7 arasında daha yüksek çıkmaktadır. Genel şevlerde ise bu oran %1 ile %23 arasında değişmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile limit denge yöntemine göre yapılan analiz sonuçları açık ocaklarda fiili durumlarda özellikle geriye dönük analizle karşılaştırılmalıdır.

Sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplama yapılsaydı genel şev açısı yaklaşık  $11^\circ$  olacaktı. Ancak genel geçerli yöntemler arasında herkes tarafından kabul görülen limit denge yöntemine göre genel şev açısı  $10^\circ$  olarak hesaplanmış ve bu bölge için  $10^\circ$  ile açılması önerilmektedir.

Geliş Tarihi: 28.03.2013

Kabul Tarihi: 31.10.2013

Yayınlanma Tarihi: Haziran 2014

## Değerlenen Belgeler

Akbulut, İ., Aksoy, T., Çağlan, D., Ölmez, T., 2007. Afşin-Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi Şev Stabilitesi Çalışması, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11194* (yayınlanmamış).

Akbulut, İ., Aksoy, T., Ölmez, T., Çağlan, D., Onak, A., Çam, İ., Sezer, S., Çevik, M., Çalışkan, V.,

Yurtseven, N., Sülükçü, S., 2008. Afşin-Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi 2. Kısım 1. bölüm Şev Stabilitesi Çalışması, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11201* (yayınlanmamış).

ASTM (American Society For Testing and Materials), 1994. Annual Book of ASTM Standards-Section 4, Construction, V. 04.09, Soil and Rock; *Building Stones, Astm Publ.* 978 pp.

BSI (British Standards Institution 1377), 1990. Methods of Civil Engineering Purposes, 143 s.

Ergüder, İ., Kızıldağ, İ., Günkel, Ş., 2000. AEL Kışlaköy Açık İşletmesi Doğu Nihai Şevi Jeofizik Rezistivite Etüdü Raporu, *Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü*.

Fredlund, D.G., ve Krahn, J., 1977. Comparison of slope stability methods of analysis, *Canadian Geotechnical Journal*. 14(3), 429-439.

Gürsoy, E. Özcan, K., Yücel, A.R., 1981. Kahramanmaraş Elbistan D1 Sektörü Kömür Yatağı Jeoloji Raporu. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7054* (yayınlanmamış).

IAEG (International Association of Engineering Geology) Commission of Engineering Mapping, 1981. Rock and Soil Description on and Classification for Engineering Geological Mapping, *Bull. of The Int. Assoc. of Eng. Geol.*, 24, 235-274 pp.

Koçak, S., Ulusay, R., Selçuk, Ş., İder, H., 1985. TKİ-AEL Kışlaköy Linyit İşletmesi Batı Şevi Stabilité Etüdü. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7717* (Yayınlanmamış).

Koçak, Ç., Kürkcü, S.N., Yılmaz, S., 2001. Afşin Elbistan Linyit Havzasının Değerlendirilmesi ve Linyit Kaynakları Arasındaki Yeri. *AEL Yayını*.

Özbek, T., Güçlüer, S., 1977. K.Maraş Elbistan Çöllolar – B Linyit Sektörü 1977 Yılı Faaliyet Raporu, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 6352* (yayınlanmamış).

Slope/W, 2007, GeoStudio 2004, Vers. 6.2, Geo-Slope International Ltd., Calgary, Canada.

Ural, S., Yuksel, F., 2004. Geotechnical Characterization of Lignite-Bearing Horizons In The Afsin-Elbistan Lignite Basin, SE Turkey. *Engineering Geology* 75, 129-146.

Yörtükoğlu, M., 1991. Afşin Elbistan Projesi ve Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu AELİ Müessesinde Madencilik Çalışmaları. *Madencilik* 30, 3.