

ŞIRNAK KÖMÜR MADENİ ATIK MARN-ŞEYL YIĞINLARININ JEOTEKNİK REKLAMASYON DEĞERLENDİRMESİ

GEOTECHNIC RECLAMATION ASSESSMENT FOR ŞIRNAK COAL MINE MARN-SHALEFİLL DUMPS

Y. İ. Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl.

ÖZET Şırnak ili Kömür Ocaklarının atığı olarak bırakılan marn ve marnlı şeyl yığınları 20-30 m yükseklikte şehir yerleşimine hatta Üniversite kampüsüne 1-2 km yakın bir konumda bulunmaktadır. Reklamasyonu madencilik faaliyetleri esnasında önemli ekonomik, çevresel ve ekolojik yararlar sağlayabilecektir. Şırnak kömür maden atığı marn ve marnlı şeyl atık yığınlarının, günümüzde iyi değerlendirilerek tarıma kazandırılması gerekmektedir. Günümüzde, kömür maden atık sahaları için, zeytin veya pamuk tarımına elverişli hale getirmeden önce jeoteknik duraylılık ve çevresel performans kriterlerini sağlayabilecek şekilde alt sıkı zemin ve organik zemin olarak toprak örtülmesi ve uygun şev tasarımları oluşturulması planlanmaktadır. Bu planlanan şevlerin jeoteknik etütü, GEO5 programı ile duraylılık analizleri yapılmış ve sonuçlar irdelenerek tasarımların uygunluğu bu çalışmada incelenmiştir.

ABSTRACT In Şırnak province marl and marly shale waste piles of Coal Mines dumped are 1-2 miles at a location near the University campus and even 30-40 m in height and in the borders of urbanization. Significant economical, environmental and ecological effects of reclamation of those dumps will be greatly advantageous during hardly mining managed. Şırnak coal mine waste piles of marl and marly shale waste, today it is necessary to recover as a good agricultural field for cotton. Today, coal mining wished to reclamate those waste sites, by geotechnical stability and environmental assesment and various design models for bottom soil that it can provide strict criteria covering the sub ground and top soil as organic soils and must be recreated to provide stable agricultural slopes. This geotechnical study of the planned slopes was investigated by GEO5 software in this work.

1 GİRİŞ

Ülkemizdeki madencilik faaliyetlerinin tabiatı bozmadan gerçekleştirilmesi istenmektedir. Çevre etki değerlendirmesine göre doğanın, yaban hayatının korunması ve bitki örtüsünün onarılması gerekir. Madencilik atık sahaları böylelikle ekonomiye kazandırılmış olacaktır (Ünal vd., 1992). Madencilik yapılan

topografyanın yeniden tarım alanı olarak kullanılabilmesi, organik zeminin onarımı, tarım alanı veya orman arazisine kazandırılması ülke ekonomisine büyük yarar sağlayacaktır (Mallı vd., 2011). Ayrıca peyzaj düzenlemesi ile göller veya park alanlarında yapılabilmektedir (Okyay ve Aydın, 2013). Reklamasyon ile çevre dengesi mikroflora ve hayvan varlığı korunmalıdır (Delibalta vd., 2012). Özellikle

Şırnak ilinin yerleşim alanına, hatta üniversite yerleşim alanına 1-2 km yakınlıkta olan kömür madenleri atık yığınları 30-40 m yüksekliğindeki marnlı ve marnlı şeyl tepeciklerine dönüşmüştür. Bu yığınların zirai alan olarak kazanılması yörenin kısıtlı tarım üretimini geliştirecektir.

Kömür madeni atık şeyl yığınlarının çevre duyarlılığı kapsamında tarıma elverişli hale getirilen basamaklı ekim alanlarının sediment ve erozyon kontrolü gibi çalışmalar da gerekir (Şimşir vd., 2007). Ayrıca tarıma elverişli hale getirilmiş arazinin organik dokusunda geliştirilmesi ve kontrol edilmesi de madencilik tamamlayan, ona ilave tek bir aşama değil, madencilik planlarıyla eş zamanlı olarak başlatılan, maden çıkarma ve sonrasındaki safhalarda da devam eder. Su kaynaklarının da korunması arzu edilir.

Atık sahası toprak doldurulup veya döküm sahaları tekrar düzenlenip bitkilendirme işlemleri için hazır hale getirilmektedir (Morgan, 2005, Gregory ve Nortcliff, 2013). Reklamasyon, aynı zamanda çevreye bağlı kalarak işletme sonrası arazinin sağlaştırılmasını da kapsar. Bu yüzden reklamasyon, erozyon ve sedimentasyon kontrolü olarak da ele alınabilir. Dolayısıyla reklamasyon madencilikle eş zamanlı ilerleyen bir seri işlemi kapsamaktadır. Reklamasyon işlemlerinde zemin ve kaya stabilitesi zemin ve kaya mekaniği parametreleri marn ve marnlı şeyl yığınları için bu çalışmada incelenmiştir. Jeolojik birimler, yüzey ve yer altı suları için hidrojeolojik harita, temel çalışmalar için ekolojik ve arazi kullanım planı tanımlanmıştır. Şırnak kömür madeni atık yığınlarının reklamasyonunda aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir. ÇED e göre ;

- Açık ocak işletmeciliğinin neden olduğu çevre sorunlarının belirlenmesi,
- Madencilikle bozulan sahanın yeniden düzenlenmesi, iyileştirilmesi, şev stabilitesi (Anderson, 1982, Bishop, 1955)

- Planlarının hazırlanması ve bunlarla işletmecilik yöntemleri arasında paralellik sağlanması (Höek,2013),
- Jeolojik, hidrojeolojik, toprak, bitki, meteorolojik, ekonomik ve sosyal koşulların incelenmesi (Paşamehmetoğlu, 1991) ,
- Rekültivasyon çalışmalarının detay planlanması ve tasarımı ve GEO5 (Anonim, 2009, Anonim, 2013, Görög ve Török, 2006, Görög ve Török, 2007, Pruska, 2009, Güz, 1987, Lambe ve Whitman, 1969),
- Reklamasyonun yasal ve mali konularının belirlenmesi ve işleme konulması planlanmıştır.

Farklı miktarda şeyl içeren asfaltitler yörede çıkarılmaktadır. Kömürün %60 a varan şeyl içeriği dayanım ve sertlik özelliklerini değiştirmektedir. Şeyle bağlı heterojen yapılar içeren asfaltit ve yan kayaçların mekanik dayanımları belirlenmiştir. Kayacın dayanımı ve yenilme tipi (Wiley, 1987, Güz, 1987, Cernica 1995, Höek, 1970, Höek ve Bray, 1977), farklılıkları oluşturan bileşenlerin kaya örneği içerisindeki dağılımına, yönelimlerine, miktarına ve bu bileşenlerin dayanım ve sertlik derecelerinin ne derecede farklı olduklarına bağlıdır.

Bu araştırmaya konu olan asfaltit şeyli marnı ve kalker türü yan kayaçlar, Şırnak ilinde güney ve kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir. Siirt Formasyonunun kaya mekaniği açısından önemli kaya birimlerindedir. Bu birim genel olarak altere kalker, marn ve marnlı şeyl içeren kayaçlardan oluşmaktadır. Şeyl ve marnlı kayaçlardan oluşan bu birim, yukarıda tariflenen davranış özelliklerinden dolayı özellikle kömür madenlerinin yer altı kazılarında ve yığma şevlerde reklamasyon açısından çok detaylı bir inceleme gerektirir.

Sondaj karotları, yerinde ve laboratuvar koşulları altında gerçekleştirilen mekanik testler ile bu testlerin öncesi mineralojik çalışmaları da kapsamaktadır. Basma

testlerinde göreceli olarak daha zayıf şeyl seviyeler ile marn, sert marnlı kalker dayanımı daha yüksek çapları 34mm ve 50mm olan silindirik ve küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgular ile farklı dayanım ve sertlik özelliklerine sahip bileşenler içeren kayaların yığma dolgu olarak mekanik parametreleri belirlenmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 dolgu şevlerinin dört tip kaya dolgulama şev modelleri ve kararlılık analizleri GEO5 ve GEO5 FEM programı ile gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları ve zemin örtü dolgu malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri laboratuvar da test edilmiştir. Zemin örneklerine göre dolgu yapısal kesitleri 1/1000 ölçekli topografik haritalar olarak çıkarılmıştır.

2 METOT

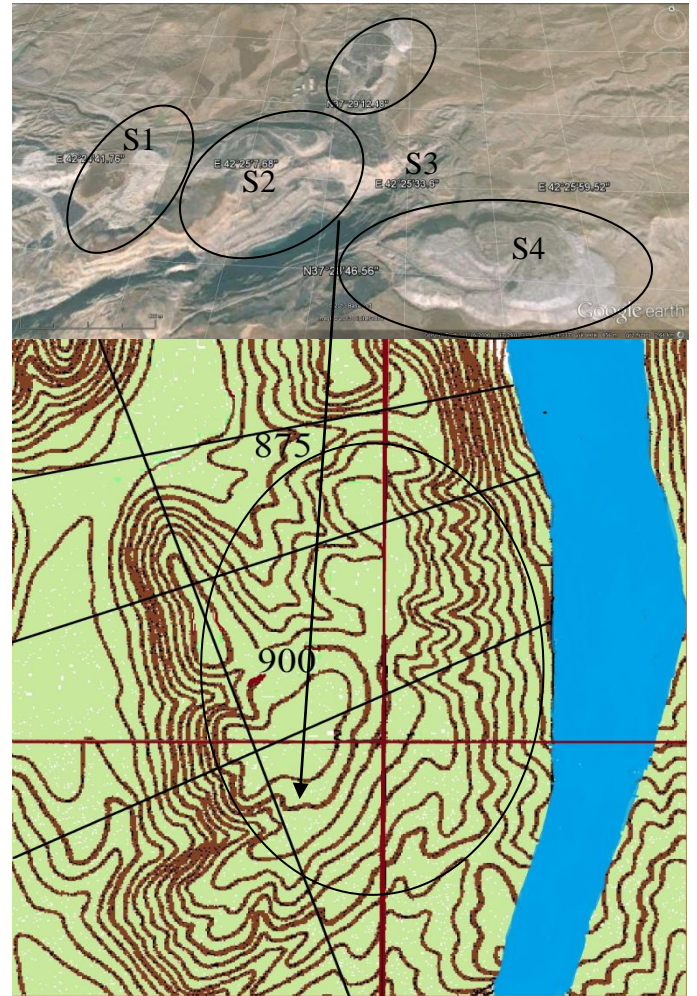
2.1 İnceleme Alanı

Orta Miyosen-Üst Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu içinde yer almaktadır. Şelmo Formasyonu; çakıltaş, kumtaş, çamurtaş, karasal şeyl, marn ve marnlı kalker kaya birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon genel itibarıyla söz konusu sahalarda doğu-batı doğrultulu ve güney yönünde eğimli olup, eğim açısı 15° civarındadır (Işınager, 1985).

Kil taşları, kumtaşları ve çakıl taşları bölgede birbiriyle yatay ve dikey geçişli olarak gözlenmekte ancak proje alanında daha düzenli bir istiflenme sunmaktadır. Bu istiflenmeye göre kiltaşları en üstte, daha sonra kumtaşları ve en altta çakıltaşları bantları bulunmakta, bu istif yinelenerek derine doğru devam etmektedir.

Olası statik zorluklardaki şevlerin stabilitesi yığınlar için atık depolama kriterleri olarak incelenmiştir. Yığınların şev stabilitesine etki eden parametreleri irdelenerek, olası anomal durumlar ve risk analizleri haritada belirtilmiştir. Kömür atık şeyl yığınlarının çevreyi tehdit etmeyecek ve işletmeyi

sıkıntıya sokmayacak boyutlarda inşası önerilmektedir. Statik malzeme özelliklerinin karakterizasyonu ve katı atık depolama alanlarının sismik tasarımı zor bir iştir. Büyük yığın malzemelerin heterojen olması nedeniyle statik ve dinamik analizlerin yapılması gerekir. Bu yönde, Şırnak ili alanı içerisinde, kentin güneyinde ve merkeze 7 km mesafede olan Kömür maden ocağının atık yığınları (Şekil 1) üniversite kampüs yerleşkesi ile belediye sınırları içerisinde yerleşmektedir.



Şekil 1. Şırnak İli Kömür Ocağı Yığınlarının Uydu Haritası ve S2 Topografik Haritası 1/1000.

Çalışma alanı ve çevresindeki 3 km^2 lik bir alanın 1/1.000 ölçekli mühendislik topografik haritası yapılmış, ayrıca yapılan sondaj ve laboratuvar jeoteknik deneyleri ile malzemelerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir (Anonim, 2011). Yakın yerleşim birimlerine uygun, dibindeki dereyi

ve göleti doğaya kazandıracak koşulda yığın yamaçların tasarımı ve jeoteknik özellikleri incelenerek duraylılık analizleri farklı yöntemlerle GEO5 programıyla gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2009). Bu proje kapsamında kentsel kullanıma açılacak olan çalışma alanı ve çevresini kapsayan 3 km²'lik alanda 1/1.000 ölçekli mühendislik haritası arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda hazırlanmış ayrıca kutupsal koordinat sistemi kullanılarak arazi çalışmalarıyla her dört yamaca ait topoğrafik harita oluşturulmuştur.

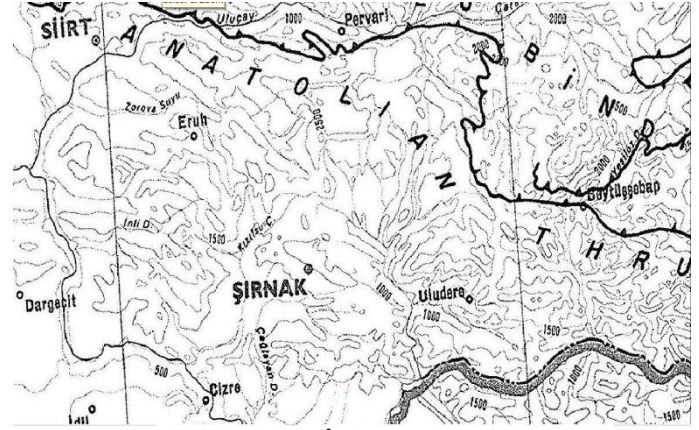
2.2 Şırnak İli Deprem Riski

İnceleme alanındaki litostratigrafi birimi yaşlıdan gence Şelmo Formasyonu kumtaşı, çamurtaşı, karasal şeyl, çökel marn kaya birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon genel itibarıyla söz konusu sahalarda doğu-batı doğrultulu ve güney yönünde eğimli olup, eğim açısı 15° civarındadır (Işınager, 1985). Gercüş Formasyonu, Cudi Grubu, Çığlı Grubu ve Tauin Grubu'ndan oluşmaktadır. Saha genel olarak kumtaşı, çamurtaşı, dolomit, kireçtaşı, marn, marnlı şeyl ve sığ denizel çökellerinden oluşmaktadır. Yamaç Molozu Alüvyon genç birim (Kuvaterner) olarak bulunmaktadır.

Şırnak ili 1. Dereceye sınır bir yerleşim alanındadır, ancak 2. Derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (Anonim, 2011). Yapılaşmadaki kusurlar ve yetersizlikler ilimizde de görülmektedir. Şekil 2 de görüleceği üzere Beytüşşebap ilçesinin fay hattında bulunduğu görülmektedir. Beytüşşebap ilçesinin deprem riskine karşılık Uludere Ortabağ ilçeleri de risk 1'inci derecede olmaktadır. Cizre ve Merkez 2'inci derece riskli alandır (Şekil 3).

Örnek olarak yaşanan civardaki yıkımlı depremler bu bölgenin de büyük bir risk taşıdığını gösterir. Bölgede Dicle Nehri ve buna bağlanan Hezil Çayı da inceleme alanında bulunmaktadır. Hezil Çayı doğu ve güneyde Türkiye-İrak sınırını, Dicle Nehri ise, Cizre'den doğuya doğru Türkiye-Suriye

sınırını oluşturur. Ortalama 17,2 m³/sn debidedir (Anonim, 1977).



Şekil 2. Şırnak İli Fay Haritası

Şırnak İli Deprem Bölge

Tablosu

İL/İLÇE ADI	Derece
SIRNAK (M)	2
Kızılsu	2
Beytüşşebap	1
Cizre	2
Dicle	2
Güçlükonak	2
Eindik	2
İdil	2
Haberni	3
Ovalı	3
Silopi	2
Uludere	1
Ortabağ	1



Şekil 3. Şırnak İli Deprem Risk Haritası

2.3 Kimyasal analizler ve parlak kesit İncelemesi

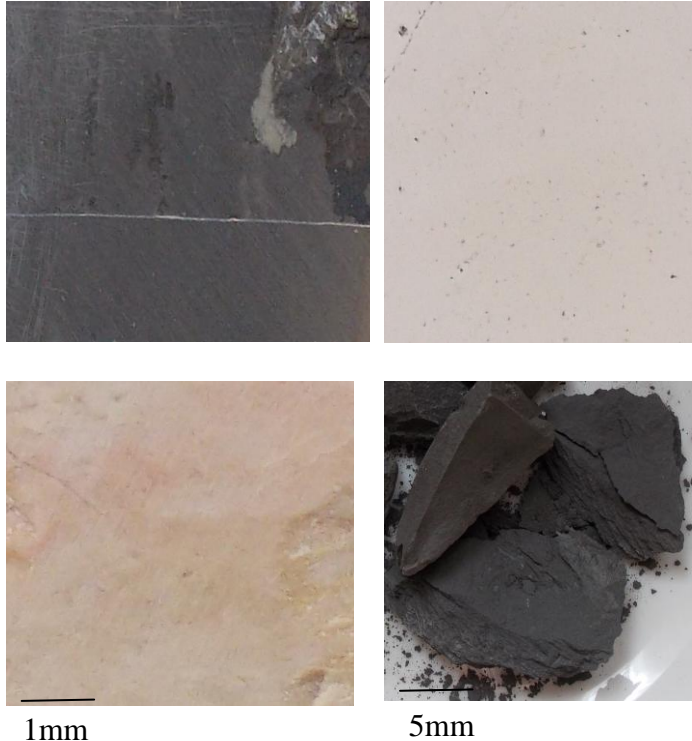
Numunelere ait mineralojik bileşimler XRF ve Standard kimyasal Ca, Mg ve silika analizleri yardımıyla tespit edilmiştir. Numuneler ilk olarak çeneli kırıcıda 40 mm den 10mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş ve 0.1mm ye havanda öğütülerek homojenize edilmiştir. Toz numuneler silika içeriği için platin krozede HF ile çözeltiye yakılmıştır. Deneylerde kullanılan Şırnak ili çevresinden temsili olarak temin edilmiş kayaçların kimyasal bileşimi Çizelge 2 de verilmiştir.

Parlak kesit hazırlanmasından önce akışkan bir sarı renkli epoksi reçine örneklere orta derecede bir vakum ile emdirilmiştir. Bu reçine gözeneklere nüfuz ederek mikroskop altında gözeneklerin daha kolay görünmesini sağlamaktadır. Polarize mikroskop (Zeiss) ile fotoğraflar çekilerek

mikro çatlakların ilerlemesi, gözenekli kalker, şeyl dokusu, heterojen marn dokusu görülmektedir (Şekil 1). Tanecikler arası kırık gelişimi mikrodalga işleminden sonra incelenmiş ve orijinal doku ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Şırnak ili kalker, marn ve şeylin kimyasal analiz değerleri

% Bileşen	Şırnak Kalkeri	Şırnak Marnlı Kalkeri	Şırnak Marnı	Şırnak Şeyl
SiO ₂	1,43	19,42	24,14	48,53
Al ₂ O ₃	1,03	7,53	8,61	24,61
Fe ₂ O ₃	0,59	4,48	7,34	7,80
CaO	47,48	39,2	29,17	9,48
MgO	2,2	2,28	4,68	3,28
K ₂ O	0,41	0,53	3,32	2,51
Na ₂ O	0,35	0,24	1,11	0,35
SO ₃	0,32	0,21	0,2	0,32
Kızd.Kayb	46,19	26,11	21,43	3,09
Toplam	100	100	100	100



Şekil 4. Şırnak Marn, Kalker Parlak Kesit ve Parça Şeylin Fotoğrafları

2.4 Yığma Kayaçların ve Suni Örtü Toprak Zeminin Jeoteknik Etüdü

2.4.1 Arazi Çalışmaları

Arazi gözlemleri ile yığın molozlarının miyosen marnlardan oluştuğu belirlenmiştir. Moloz boyutları son derece değişkendir (Anonim, 2012). İnceleme alanında Kömür Ocak atık yığınları (Şekil 1) güneyine kadar gözlenen yeni alüvyon birikintilerinin yüzeylemeleri gri marn ve şeyldir. Bu kısım genel olarak siltli toprak ile kaplı olup bazı kesimleri ise kumlu ve killi zonlardan ibarettir. İl Özel İdaresi tarafından 35 m' ye kadar yapılan sondajlarda yeni alüvyonun devam ettiği belirlenmiştir. Yamaç Molozları, inceleme alanının Heybeli dere güneyine doğru, yerleşmiştir. Tane boyları ince kil ile iri kum arasında değişir. Boylanma ve derecelenme görülmeyen molozların kalınlıkları 10-35 cm arasında değişir.

2.4.2 Jeoteknik Özellikler

S1, S2, S3ve S4 nolu kömür ocağı atık şeyl marn molozlarından temsili numuneler alınarak yığma alanlarındaki kayaçların mekanik dayanımları standart yöntemler (Bieniawski,1973, Bieniawski,1989, ASTM C 618) ile incelenmiştir. Molozların parça boyutları 10 cm ile 50cm arasında olduğu kabul edilerek ölçeklendirme ile laboratuvarında modeller yapılmıştır. 50mmlik küp için 3-5 mmlik agrega, 70mm numune için 5-7 mmlik agrega çimentolanarak test edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 2 ve 3 de verilmiştir.

2.4.3 Tek eksenli Basma Dayanımı Testleri

Tek eksenli basma dayanımı testleri Mühendislik laboratuvarında 20000kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü test cihazında gerçekleştirilmiştir (TS EN 12390). Eksenel ve deformasyon ölçerler karşılıklı olarak örneklerin her iki tarafına sıkıca yerleştirilmiştir. Eksenel deformasyon ölçerlerin 50 mm numune üzerindeki ölçüm aralığı 35mm olarak belirlenmiştir. Test sırasında kullanılan kontrol değeri 0.05

mm/dk olarak belirlenmiştir. Test sonuçları Çizelge 2 ve 3 de verilmiştir.

2.4.4 Üç eksenli Basma testleri

Üç eksenli sıkışma testleri Kaya Mekaniği laboratuvarlarında 20000 kN kapasiteli servo-hidrolik kontrollü ve dijital test cihazında gerçekleştirilmiştir. Eksenel yer değiştirmeler bildirim sinyali olarak ve oran 0.001mm/s olarak belirlenmiştir. Test sırasında Hoek hücresindeki hacim değişimi 0.1cm³ hassasiyetinde sürekli olarak ölçülmüştür. Hacimsel şekil değiştirmeler silindirik bir şekil değiştirmenin olduğu varsayılarak, yakın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Şekil 7 ve 8 de sonuçlar gösterilmiştir.

2.5 Zemin Analizleri

Yığın alanlarında yüzeylenen zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde Türk Standartları ve Amerikan Standartları (ASTM 3080) esas

alınmıştır (Das, 1985). İnceleme alanındaki yığınların ve burada yapılan jeomekanik test sonuçlarının gösterimi Çizelge 4 de verilmiştir.

3 SONUÇLAR VE YORUM

Şekil 1’de görüldüğü gibi basma testlerine tabi tutulan şeyl marn ve marnlı kalker kayaçlarının nokta dayanımları 1,7 ile 41 MPa arasında değişmiştir. Şeyl numunelerinin nokta dayanımı 1,7 ile 3,7 MPa iken marn numunelerinin 3,9 ile 9 Mpa arasında Marnlı kalkerde ise 5-9 MPa olmuştur. Tek eksenel basma dayanımları 4-7 Mpa iken marn 21-35 MPa ve marnlı kalkerde 57-78 MPa a ulaşmıştır. Genel olarak şeyl miktarı marn tabakalarında 2,5 MPa değerinde düşük gevrek kırılma yapar. Marn daha heterojen bir kayaç dokusuna sahiptir.

Çizelge 2. Yığın Kayaç Numunelerinin jeomekanik test sonuçları

Numune	Şeyl1	Şeyl2	Marn1	Marn2	Marn3	Marnlı Kalker1
γ_k max g/cm ³	1,68	1,89	1,93	1,93	1,67	2,05
Gözenek %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Su Emme %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Permeabilite (k) (cm/s)	$5,63 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$5,65 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Tek eksenli Basma Dayanımı, Mpa	22	32	56	52	67	84
Kohezyon, kPa	150	170	490	410	525	700
İçsel Sürtünme Açısı	22	22	24	27	29	34

Çizelge 3. Çimentolanmış Yığın Agrega Blok Kayaç Numunelerinin test sonuçları

Numune	Şeyl1	Şeyl2	Marn1	Marn2	Marn3	Marnlı Kalker1
γ_k max g/cm ³	1,68	1,89	1,93	1,93	1,67	2,05
Gözenek %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Su Emme %	15,9	12,9	10,8	19,0	15,8	12,3
Permeabilite (k) (cm/s)	$5,63 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$5,65 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$
Tek eksenli Basma Dayanımı, Mpa	5,1	5,2	9,3	9,0	9,5	18,9
Kohezyon, kPa	37	47	110	93	122	424
İçsel Sürtünme Açısı	16	17	23	22	24	26

Çizelge 4. S1 ve S2 Yığınların yamaçlarından alınan alt zemin örnekler üzerinde yapılan jeoteknik testlerden elde edilen sonuçlar.

Numune	Kırma İri Agrega	İnce Agrega	Kum	Taban Külü
Kot (m)	925	921	933	927
Wopt,%	5,9	7,7	10,8	21,4
c'(kg/cm ²)	3,2	0,6	0,53	0,25
φ'	33	35	37	22
L ₁ (%)	11	11	28	17
P ₁ (%)	19	11	18	22
I _p (%)	10	9	8	12
γ _s g/cm ³	2,40	2,50	2,40	2,30
Zemin sınıflaması	SP	SP	SP	SP
γ _{doğal} g/cm ³	1,82	1,76	1,90	1,70
γ _{kuru} g/cm ³	1,65	1,61	1,78	1,60
γ _{dovgun} g/cm ³	2,02	1,84	2,01	1,80
Permeabilite k(cm/s)	3*10 ⁻²	10 ⁻³	5,63*10 ⁻³	1,1*10 ⁻⁴

Şeyl seviyeleri ve kalınlıkları 0,1-0,5cm boyutuna kadar değişmektedir. Mineralojik bileşimi ise genel olarak kaolin, illit kil mineralleri oluşturmaktadır.

Deneylere tabi tutulan örneklerin mikroskop altındaki incelemelerinde makroskopik olarak homojen gözüken şeyl matrisin mikroyapısında ve mineralojisinde değişimler belirlenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü üzere kahverengi, koyu kahverengi ve siyah olan bölgeler genellikle şeyl ve içerisinde çok seyrek saçılmış olarak 1-2mm kalınlığında yapraksı dolomit ve kalsit taneleri içermektedir. Daha açık gri tonlarında görülen marn kayalarda ise ince taneli killer ve dolomit eş boyutlarda 10-30 mikronda yayılmış şekilde bulunmaktadır. Kesitlerde genel olarak kil matris içindeki dolomit ve kalsit içeriği ve dağılımı değişim göstermektedir.

Şekil 5'de nokta yük dayanım değerleride değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde tek eksenli basma dayanımında elde edilen değerlere benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır. Şeyl içeriğinin %10 nun üzerinde iken nokta dayanımı ve darbe dayanımı değerleri azalmaktadır.

Şekil 6 görüldüğü gibi şeyl içeriğine göre farklı marnlı numunelerin mineralojik bileşimlerine bağlı olarak basma dayanımları 75,6 – 92,1 MPa arasında değiştiği tespit

edilmiştir. Kırılma gevrek ve yükleme doğrultusuna farklı açılarda olmuştur.

Tek eksenli basma dayanımının düşük değerine sahip marnlarda kırılma gevrek ve ler şeyl matris boyunca gerçekleşmiştir. Büyük dayanım değerlerinin görüldüğü marn küplerde mineralojik olarak %84'ten fazla kalsit içeren numunelerdir. Genel mikroskopik gözlemede yaklaşık 20-50 mikron boyutunda homojen tane yapısı göstermektedir. Elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri dolomit ve kalsit yapının değerleri olarak kabul edilmiştir. Silikat içeriğinin %10'dan daha fazla olduğu açık gri marnlarda durumlarda tek eksenli basınç dayanımı çok büyük değerlere ulaşmıştır. Şekil 7 de görüldüğü gibi Marnın şekil değişimi gerçekleşmiştir. Şeyl içeriğinin %10 altında olduğu marnlarda dayanım azalmaktadır. Artan dolomit ve kalsit miktarına bağlı olarak tek eksenli basma dayanımı azalmıştır. Marnlı kalkerlerde kalsit tane boyutuna ve heterojen yapıya bağlı olarak daha düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Marnlı kalkerlerde dayanım 52,4-63,2 Mpa arasında değişmiştir.

Çimentolanmış atık yığın kayaç yapısını temsil eden blok numunelerin 28 günlük kür sonrası tek eksenli basma testlerine tabi tutulmuş ve Çizelgede verildiği gibi ve kırılma parlak kesit örneklerinden kırılmanın plastik katmerli düşey

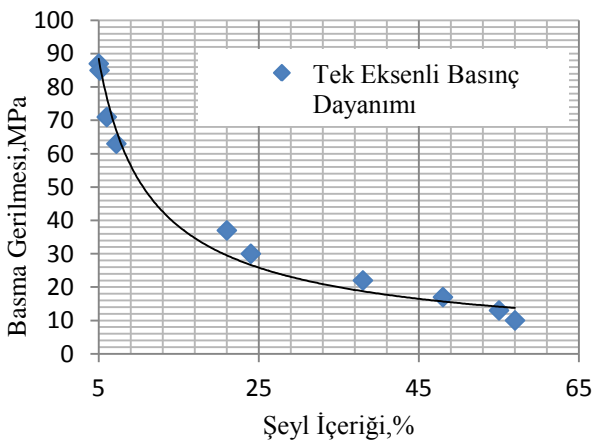
yüzeylerden şişme şeklinde geliştiği gözlenmiştir. Kırılmanın çimento bağ dokusu içerisinde olduğu gözlenmiştir. Darbe dayanımı yüksek marn ve kalkerde dahi heterojen marnlı kalkerde bile mikroyapısal ve mineralojik değişimlere bağlı olarak yukleme doğrultusunda katmerli yüzeylerle kırılma gerçekleşmiştir. Bu atık yığınlarının plastik olarak stabilitelerinin bozulacağını kanıtlar. Şevler dairesel kayma yüzeylerinde duraysız oluşabilecektir

Marn numunelerinin ve marnlı şeyl numuneleri farklı gerilme-şekil değişimi gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir.

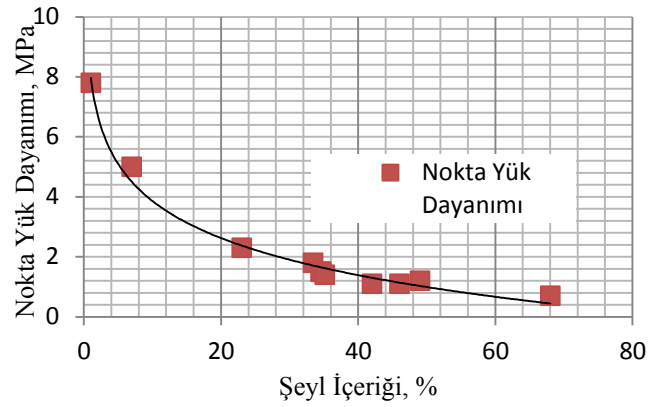
Tek eksenli deneyler sırasında elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde yığın kaya yapısını temsil eden numunelerin kohezyonsuz farklı ani gerilme düşüşleri görülmektedir.

Testlerde numunelerin büyük çoğunluğunda gözenek yapısı ve kırılma aşamasında makro boyutta kırılma gözlenmiştir (Bieniawski 1973, Bieniawski 1989). Parça kaya dolgusunu temsil eden çimentolu bloklar büyük olasılıkla gevşek kaya dolgusunu temsil etmiştir. Ancak arazide iri kaya parçalarında sıkışmaya maruz kaldığını boşluk oranının düştüğünü gözlemlenmiştir. Heterojen dolgulama bu yoğunluğu arttırdığı gözlenmiştir.

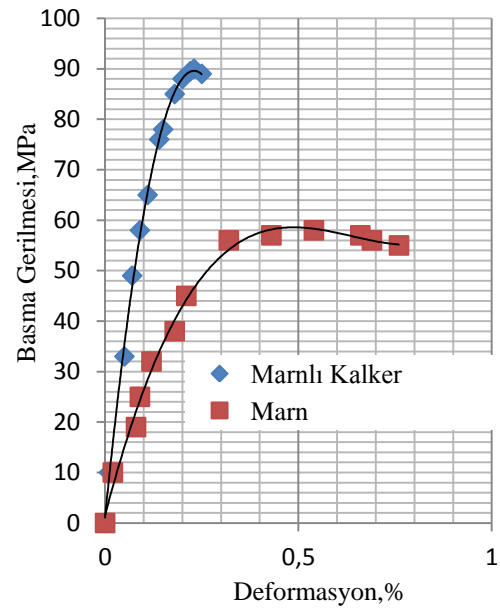
Yığınların sıkışma ile dayanımındaki artışlar çok kırıklı kaya yapısına benzetilmektedir.



Şekil 5. Tek Eksenli Basma Deneyi Marnlı Şeyl İçeriği ve Basma Gerilmesi Arasındaki İlişimi Gösteren Grafik



Şekil 6. Tek Eksenli Basma Deneyi Marnlı Şeyl İçeriği ve Nokta Yük Dayanımı Arasındaki İlişimi Gösteren Grafik



Şekil 7. Marn ve Marnlı Kalker için Tek Eksenli Basma Test Sonucu

Marn ve şeyli marn zayıf kayaç sınıfına girmektedir. %20 nin üzerinde şeyl içeren marn ve marnlı kalkerler düşük nokta ve basınç dayanımı göstermişlerdir. Bu da daha yüksek şeyl kaya dolgusu kırılma direncini azaltacaktır. Aynı zamanda basma yükünün dağıldığı gözlenmiştir. En yüksek dayanım değerleri ise kayanın boşluk dokusu ve yoğunluğu gibi yapısal özelliklerine bağlı olmuştur.

3.1 Marn-Şeyl Yığınlarının Şev Stabilite Analizi

Yapılan çalışmalara göre yığınların duraysız geliştiği bölgeler ve çevresindeki göreceli hareketlerin gözlemlendiği alanlar aktif yığın sahası olarak belirlenmiştir. Göreceli

hareketler yüzeydeki gerilme çatlaklarından yararlanılarak belirlenmiştir. Potansiyel kayma alanları ise söz konusu aktif sahaların çevresindeki gerilme çatlaklarının bulunduğu ancak göreceli hareketlerin şu an gözlenemediği alanlara karşılık gelmektedir. İnceleme alanında 4 ayrı yamaçtan alınan topoğrafik kesitler üzerine dolgu örtü zemin ekli yığın dolgu şev kesitler hazırlanmıştır.

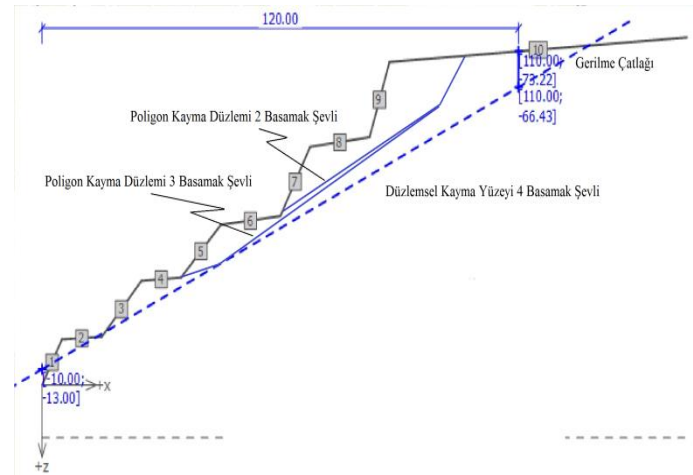
Yamaçlara ait güvenlik katsayıları limit denge prensibine göre çizilen değişik kayma yüzeyleri için Bishop, Janbu ve Fellenius yöntemleri ile dairesel kayma diyagramları GEO5 programı kullanılmıştır.

S2 nolu yığında yağışlar sonrasında yamaçta küçük boyutlu hareketlerin olduğu yapılan arazi çalışmalarında gözlenmiştir. S2 ve S3 no'lu yığının geliştiği yamaç iri marn ve şeyl ile kaplıdır (Şekil 8). Şekilde görüldüğü gibi GEO5 analizi için kesitler alınmıştır. S2 nolu yığının tepe ve topuk noktası arasındaki maksimum kot farkı bu kesitlerde derinliği 45 m, 35m ve 30 m ve yatay uzanımları 125, 75, 60 m lik yamaçları, şev eğim açısı ise 28°, 32° ve 44°dir. Şekil 10 da görüldüğü gibi 32° eğimli şevde duraysız olabilecek yüzeyler belirlenmiştir. GEO5 programında bu kayma düzlemlerinden 4 basamaklı olan kütle duraysız olarak belirlenmiştir.

Duraysız yamaç bloğu 11-20 m derinden dairesel veya yarı düzlemsel kayabilmektedir. Yapılan incelemelerde S2 nolu yığının bulunduğu yamaçta yer altı su seviyesi 35 m tabanda gözlenmiştir. S2 nolu yığındaki yamaçta yapılan duraylılık hesaplamalarında $c'=9$ kPa, $\phi'=22^\circ$, γ doğal = 1.97 g/cm³ ve γ kuru = 2.27 g/cm³ değerleri kullanılmıştır. γ kuru ve γ doğal a göre ayrı ayrı hesaplanan olası kayma yüzeylerine ait güvenlik katsayısı değerleri Şekil 9' de görülmektedir. Hoek-Bray' a göre güvenlik katsayısı değeri ise 1.5 olarak belirlenmiştir. Şekil 8 incelendiğinde sınır güvenlik katsayısı 1.5 olarak alındığı için Dairesel kayma yüzeylerinin duraylı oldukları kolayca görülebilmektedir. Poligon kayma yüzeyi ise γ kuru ya göre yapıldığında sınır

değerlerin üzerinde duraylı olduğu, görülmüştür.

Arazi çalışmaları boyunca bu yamaçta yapılan gözlemlerde su akışı dere kenarında meydana gelen malzemeyi alıp götürdüğü ve yağış sonrası da ufak kopmaların, akmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Yamaca ait duraylılık risk haritası ve GEO5 programı ve risk kesiti ile hesaplamaların yapıldığı yüzeyler Şekil 6'te verilmiştir. Buna göre yığının dere kenarı civarında küçük boyutlu kayma riski olduğu görülmektedir.



Şekil 8. S2 İnceleme alanının olası kayma yamaç kesitleri, kayma temsili yüzeyleri.

Yamaç içindeki şeyl yüzdesine göre değerlendirildiğinde kayaç örnekleri kohezyonsuz kayma düzlemleri oluşturmaktadır. Şekil 10 da görüldüğü gibi S2 yamacındaki kritik kesitte yapılan GEO5 FEM analizinde yaklaşık olarak 7m derinliğindeki bir paralel şeyl düzleminde kayma riski incelenmiştir ve ağ dokusu bu görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. 34 mm lik yatay deformasyonla duraysızlık göstermiştir. Ancak analizden de görüldüğü gibi topuk bölge duraylılığı arttırmaktadır. Bu nedenle reklamasyon planlamasında şev topuk kaya dolgusu kesitlere eklenmiştir ve stabilite analizleri tekrarlanmıştır.

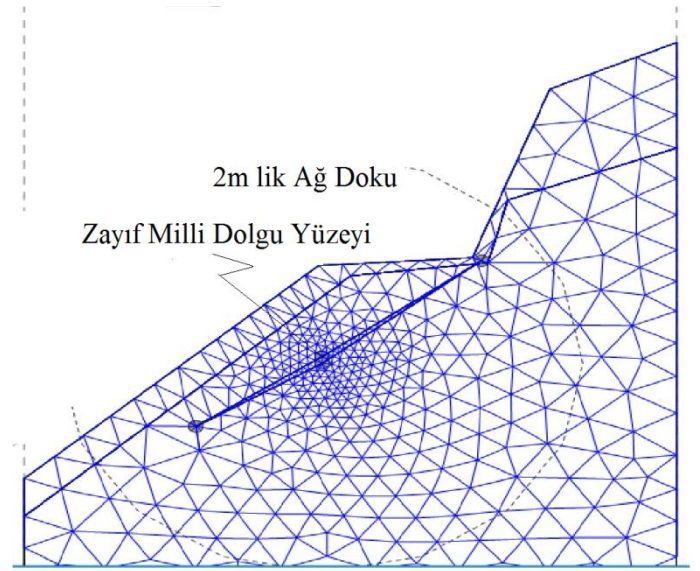
Şekil 12 incelendiğinde S2 ve S3 nolu yamaçlar için 2-4 m genişliğinde sıkı kalker şev topukları tasarlanmıştır. Bu topuklu

şevlerin stabil oldukları GEO5 FEM analizinde belirlenmiştir.

Zemindeki optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık belirlenerek, yamaçların stabilite hesaplamalarında kullanılmıştır. Doğal kaya dolgulu bir şevin stabilitesini sıkıştırma parametreleri pek etkilememiştir. Çünkü bu parametreler istenilen şekilde sıkıştırılan zemine ait parametrelerdir. Yapay şevlerde sıkıştırma parametreleri doğrudan kullanılır. GEO5 programında Fellenius, Bishop ve Janbu ya göre hesaplanması verilmiştir. Fellenius yöntemi; Bu metodlarda kayma yüzeyi dairesel silindiriktir. Kayan kütle mümkün olduğu kadar eşit aralıklarda dilimlere ayrılır (Görög ve Török, 2006, Görög ve Török, 2007).

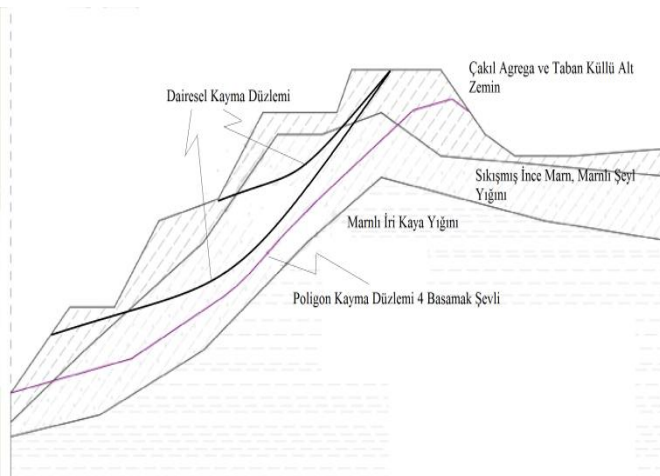
4 SONUÇ

Yapılan laboratuvar deneylerinde c' ve ϕ' efektif ve maksimum direnç parametrelerine göre bulunmuştur. Araziye görülen gerilme çatlaklarında zaman içerisinde hareketlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bu durumda kayma yüzeylerindeki içsel parametrelerin laboratuvarlarda bulunanlardan daha küçük çıkacağı başka deyişle kalıcı değerlere daha yakın olacağı açıktır. Bu açıdan sınır güvenlik katsayısı olarak 1.5 değeri alınmıştır.

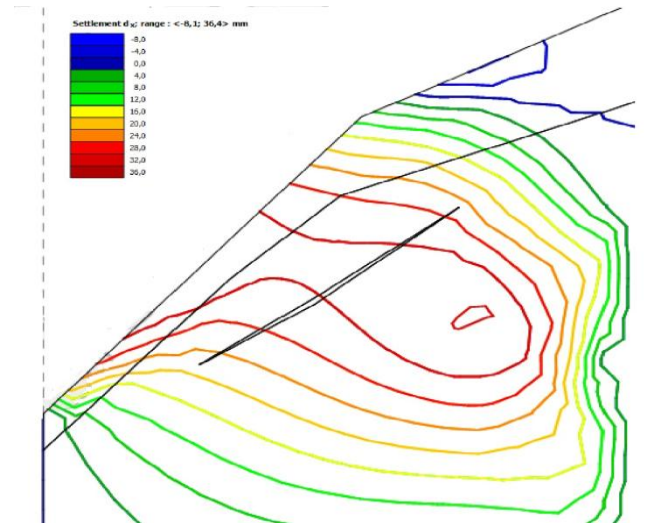


Şekil 10. S2 44°Şevinin olası kayma yüzeyi ve GEO5 FEM Şev Stabilite Analizi Ağ Yapısı.

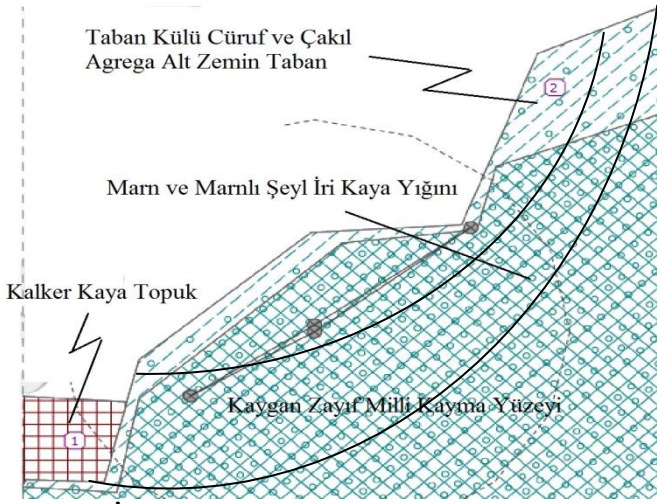
Efektif içsel sürtünme açısı (ϕ') $17^\circ - 22.5^\circ$, şeyl için etkili kohezyon (c') 0.5-1.8 kPa, azami yoğunluk $1,77-2,25 \text{ g/cm}^3$, doymun birim ağırlık $1,87-2,43 \text{ g/cm}^3$, doğal birim hacim ağırlığı $1,9-2,35 \text{ g/cm}^3$, kuru birim ağırlığı $1,97-2,40 \text{ g/cm}^3$, katı birim ağırlığı (γ_s) $2.47-2.60 \text{ g/cm}^3$, olarak belirlenmiştir. Geçirgenlik katsayısı $1 \times 10^{-4} - 6.5 \times 10^{-4} \text{ cm/sn}$ belirlenmiştir. Tasarım kesitlerde, GEO 5 FEM programı ile riskli mümkün kritik yüzey gerilimleri incelenmiştir.



Şekil 9. S2 44°Şevinin GEO5 Şev Stabilite Analizi ve olası kayma yüzeyleri.



Şekil 11. S2 44°Şevinin olası kayma yüzeyi ve GEO5 FEM Şev Stabilite Analizi, Yatay 36 mm lik deformasyon değişimi.



Şekil 12. İncelenen Reklamasyon Şevlerinin tipik Kaya Dolgu Topuklu kesiti S2 İnceleme alanının olası kayma yamaç kesitleri, kayma temsili yüzeyleri.

Kaya dolgu dökümü tasarlanmıştır ve basamaklı yamaçlarda tarıma elverişli alanlar sağlanmıştır. Kaya dolgusu ile S2 ve S3 Nolu yamaç şevlerinin riskli olduğu tespit edilmiştir. GEO5 FEM programı aracılığıyla kalker topuk dolgu dökümü ile stabilitenin artırıldığı bulunmuştur.

Bu çalışmada, Şırnak kömür maden atık sahalarının tasarımı, çevre toprak numunelerinin analizleri yapılarak uygun toprak türünün örtülmesi ve uygun sulama sisteminin tasarımı GEO5 programı ile ÇED değerlendirilmesi yapılmıştır. Alternatif toprak örtü dolgulama sistemlerinden marn agrega ve taban külü zemin olarak değerlendirilmiştir.

Zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucunda yamaç zemin malzemesinin geçirimli olduğu, kohezyon değerinin $0.3 - 2.2 \text{ kg/cm}^2$, içsel sürtünme açısının $17.5 - 22.4^\circ$ arasında değiştiği, birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre yamaç malzemesinin genelde kohezyonsuz kumsu zeminlerden oluştuğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında gerçekleştirilen duraylılık analizlerinden, S2 ve S3 nolu yamaçların stabil olduğu, ancak topuk kalker dolgu ile stabilitenin artırılması sonucuna varılmıştır.

Bitki örtüsü bakımından şevlerin değerlendirilmesi yığının stabilitesinde önemli bir parametredir. Ancak derinliği 10 m

üzerinde olan kayma yüzeyleri için bitki örtüsünün duraylılığa etkisi azalacaktır. Çalışma alanında ayrışma sonucu zayıflayan kayalar kolayca erozyona uğramakta yamaç ve şevlerin eğim açıları ile yüksekliklerini değiştirmektedir. Çalışma alanındaki zeminde görülen erozyonda şevin rekultivasyonunu bozmuştur.

Çalışma alanında gerçekleştirilen jeoteknik analiz neticesinde, gelecekte çok büyük boyutlu yığınlar için tehlike değerlendirilmeli ve sahaya uygun reklamasyon yöntemleri belirlenmelidir. Ayrıca çalışma alanının proje kapsamında kentsel kullanıma açılacak olması sebebiyle de bölgede duraysızlığı önleyici yöntemler araştırılması ve geliştirilmesi ayrı bir önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anderson, M.G., Richards, K.S., 1982, *Slope Stability*, John Wiley and Sons Ltd., New York.
- Anonim, 1977. Silopi Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ.
- Anonim, 2013, GEO5 - Engineering Manuals-Part 1, Part2., <http://www.finesoftware.eu/geotechnical-software/>
- Anonim, 2009, GEO5 - FEM - Theoretical Guide <http://www.finesoftware.eu/geotechnical-software>
- Anonim, 2011, "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası", Afet ve Acil durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Anonim, 2012, Şırnak İl Özel İdare Raporları, Şırnak
- ASTM D3080, 2014, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Condition", ASTM, Philadelphia
- ASTM, C 618, 2014 "Standart Specifications For Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Puzzolan For Use As Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", ASTM Philadelphia.
- Bishop, A.W., 1955, The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes, *Geotechnique*, Vol. 5, 7-17.
- Bieniawski Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans S Afr Inst Civil Eng* 15, 12, s.335-344
- Bieniawski Z.T., 1989. *Engineering rock mass classification*. McGraw-Hill, New York, 237 pp
- Cernica, J.N., 1995, *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*, John Wiley and Sons Inc., Canada.

- Das, B.M., 1994, *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publishing Company, USA
- Delibalta M.S., 2012, Madencilik ve çevre ilişkilerinin ekonomik boyutu, Madencilik ve çevre yönetimi semineri, Afyonkarahisar, s.21.
- Hök, E., 1970, *Estimating the Stability of Excavated Slopes in Opencast Mines*, Institution of Mining and Metallurgy, A105, A132
- Hök, E. ve Bray, J.W., 1977, *Rock Slope Engineering*, Stephen Austin and Sons Ltd, Hertford, 402 s.
- Hök, E., 2013. *Practical Rock Engineering*, Hoek notes by Evert Hoek. <http://www.roscience.com>
- Görög P & Török Á, 2006, Stability Problems of Abandoned Clay Pits in Budapest, *IAEG2006 P295*, The Geological Society of London
- Görög P & Török Á, 2007 Slope stability assessment of weathered clay by using field data and computer modeling: a case study from Budapest, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 417–422, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net
- Gregory, P.S., Nortcliff, S., 2013, Soil conditions and plant growth, Wiley-Blackwell Pub., ISBN 978-1-4052-9770-0
- Güz, H , 1987, “Geoteknikte Gelişmeler”, DSİ Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi ve Dayanma Yapıları Semineri, Samsun
- Işıganer, T., 1985, Mardin-Silopi-Harbul (Aksu) ve Üçkardeşler Asfaltit Filonlarına Ait Jeoloji Raporu, MTA, Radyoaktif Mineraller ve Kömür Daire Başkanlığı
- Lambe, W.T. ve Whitman, R.V., 1969, *Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York
- Langan, B. W. , K. Weng, M. A. Ward, Effect Of Silica Fume And Fly Ash On Heat Of Hydration Of Portland Cement. *Cement And Concrete Research*. 2002. 1045-1051.
- Mallı T., Köse H., Deliormanlı A.H., Karakuş D., 2011, Linyit açıkışletm madencilğinde reklamasyon ve rekültivasyon uygulamasınınteknik ve ekonomik değerlendirmesi, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, TMMOB Maden Müh. Odası Yayını, ISBN 978-605-01-0113-3, İzmir, s. 103-112
- Morgan RPC, 2005, Soil erosion and conservation, Blackwell Publishing.
- Okyay V., Aydın O., 2013, Madenlerde saha düzenlemesi (rekültivasyon ve rehabilitasyon), Madencilik Türkiye, s.64-78.
- Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C., 1991, *Kaya Şev Stabilitesi*, 2. Baskı , T.M.M.O.B Maden Müh. Odası Yayınları, Ankara, Mayıs.
- Pruška, J., 2009, Comparison of geotechnic softwares - Geo FEM, Plaxis, Z-Soil , XIII
- ECSMGE, Vaníček et al. (eds). CGtS, Prague, ISBN 80-86769-01-1, (Vol. 2)
- Şimşir F., Pamukçu Ç., Özfirat M.K., 2007, Madencilikte rekültivasyon ve doğa onarımı, DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 2, s.39-49.
- TS EN 12390-3 2003. *Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*. TSE, Ankara.
- Ünal E., Kara, D., Vatan, B., 1992, Açık ocak kömür madenciliği sırasında bozulan işletme sahalarının yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi, Madencilik, 31, 1, s.5-16.
- Wiley, L., 1987 “Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology”, England,