

MT Bilimsel

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

Derginin Adı
MT Bilimsel

İmtiyaz Sahibi
MAYEB Basın Yayın
İnsan Kaynakları Ltd. Şti.
adına Onur Aydın

Genel Koordinatör
Onur Aydın
onur@mayeb.com.tr

Yazı İşleri Müdürü
Volkan Okyay
volkan@mayeb.com.tr

Yurtdışı İlişkiler
Eray İmgel
eray@mayeb.com.tr

Grafik Tasarım - Uygulama
Simge Ören
simge@mayeb.com.tr

Hukuk Danışmanı
Av. Evrim İnal
evrim@madencilik-turkiye.com

Yayın İdare Merkezi
1042. Cd. (Eski 4. Cd.) 1335. Sk.
(Eski 19. Sk.) Vadi Köşk Apt.
No: 6/8 A. Öveçler ANK.
Tel : +90 (312) 482 18 60
Fax : +90 (312) 482 18 61

info@mtbilimsel.com
www.mtbilimsel.com

Yerel Süreli Yayındır

ISSN 2146-9431

Ulusal Hakemli Dergidir



Yayın Kurulu

Baş Editör:

C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
o.aksoy@mtbilimsel.com

Editörler:

Mahmut Yavuz

Eskişehir Osmangazi Üni., Maden Müh. Bölümü

Vehbi Özacar

Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü

Eren Kömürlü

Giresun Üni., İnşaat Müh. Bölümü

Güzin Gülsev Uyar Aksoy

Ankara Üni., Jeofizik Müh. Bölümü

Madencilik Türkiye Dergisi Temsilcisi

Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)
onur@mtbilimsel.com

Bilimsel Yayın Kurulu (Alfabetik):

- Ali Sarıışık (Afyon Kocatepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Bahtiyar Ünver (Hacettepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Christopher Mark (Mine Safety & Health Admin., Coal Mine S. & H.)
- Çağatay Pamukçu (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Emin Candansayar (Ankara Üni., Jeofizik Müh. Bölümü)
- Erol Kaya (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Güner Gürtunca (National Institute for Occupational Safety & Health)
- Hakan Başarır (Malatya İnönü Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Işık Yılmaz (Cumhuriyet Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- İhsan Özkan (Selçuk Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Kadri Dağdelen (Colorado School Of Mines, Dept. of Mining Eng.)
- Kerim Küçük (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Melih Geniş (Zonguldak Karaelmas Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Melih İphar (Eskişehir Osmangazi Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Mustafa Ayhan (Dicle Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuh Bilgin (İstanbul Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuray Demirel (Orta Doğu Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Pinnaduva Kulatilake (The Univ. of Arizona, Dept. of Min. & Geo. Eng.)
- Raşit Altındağ (Süleyman Demirel Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Reşat Ulusay (Hacettepe Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- Sair Kahraman (Niğde Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Samuel Frimpong (Missouri Univ. of Science & Tech., Dept. of Min. Eng.)
- Şevket Durucan (Imperial College, Mining And Environmental Eng.)
- Tim Joseph (Univ. of Alberta, School of Mining & Petroleum Eng.)
- Turgay Ertekin (The Pennsylvania State Univ., Petroleum & Nat. Gas Eng.)
- Turgay Onargan (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)

Yıl:8 | Sayı:17 | Şubat 2020

ISSN: 2146-9431

Year:8 | Number:17 | Feb 2020

İçindekiler

M. Çamkerten, A. Çalışcı, C.O. Aksoy

Püskürtme Betonda Bazalt Lif Kullanımının Değerlendirilmesi.....1

Eren Kömürlü, Atila Gurhan Celik

Boşluk Oranının Farklı Siltlerin Likit Limit Değerleri üzerindeki Etkisi.....11

S. Eren, C. Okay Aksoy

Yeraltısuyu Seviyesinin Açık Ocularda Şev Duraylılığına Etkilerinin Araştırılması.....23

Abdul Vahap Korkmaz

Perlit Ve Traverten Atıkları İle Üretilen Puzolanik Çimentoların Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi.....33

Emrullah Bilgin

Geri Dönümlü Göçertmeli Uzunayak Yönteminde Ocak Havasının Göçük İçinde Hareketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi (HAD) ile Analizi.....51

C. Okay Aksoy, Kerim Küçük, Turgay Onargan, Vehbi Özacar, H. Eray Yaman

Halkapınar-Otogar Güzergahındaki EPBM Tüneli 3 Boyutlu Sayısal Modelleme İle Analizi....73

Makale Gönderim Tarihi: 7 Eylül 2019

Yayına Kabul Tarihi: 11 Kasım 2019

Püskürtme Betonda Bazalt Lif Kullanımının Değerlendirilmesi

*Evaluation of Bazalt Fiber In Shot-Concrete*M. Çamkerten^{1*}, A. Çalışcı², C.O. Aksoy³¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

* Sorumlu Yazar:mehmet.camkerten@gmail.com

Özet

Beton, en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Günümüzde, betonun farklı alanlarda kullanılması ihtiyacının artması, beton teknolojisi alanında bazı gelişmelere neden olmuştur. Beton birçok üstün özelliğinin yanı sıra, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi düşük olan kompozit bir malzemedir. Bu alandaki gelişmelerden birisi de lifli beton üretimidir. Betonun bu zayıf özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli türlerde lifler katılmaktadır. Özellikle, tünel inşaatlarında ve metalik maden galerilerinde lifli betonlar çok sık kullanılırlar. Genellikle günümüzde çelik ve polimer lifli betonlar kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada, son dönemde kullanım alanı bulan bazalt liflerin püskürtme betonda kullanım şartları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lifli beton, doğal lif, çelik lif, polimer lif, bazalt lif.

Abstract

Concrete is one of the most widely used building materials. Today, the need to use concrete in different areas has led to some improvements in the field of concrete technology. Concrete is a composite material with many superior properties as well as tensile strength and tensile capacity. One of the developments in this area is the production of fiber concrete. Various types of fibers are incorporated in order to improve this weakness of concrete. Especially, in tunnel constructions and metallic mine galleries, fibrous concretes are frequently used. Usually today, steel and polymer fiber concrete has been found to be used. In this study, the usage conditions of the basalt fibers, which have been used in recent years, were investigated.

Keywords: Fiber reinforced concrete, natural fiber, steel fiber, polymer, basalt fiber.

1. Giriş

Tünel inşaatlarında ve metalik yeraltı madenlerindeki galerilerde hem dayanım hem de iş süresi açısından çelik hasır yerine lifli püskürtme beton kullanım alanı bulmuştur. Püskürtme betonda genel olarak çelik tel ve polimer elyaf lif olarak kullanılır. Son dönemlerde, doğal malzeme kullanılması amacıyla bazalt liflerin betonda kullanılabilirliği sorgulanmaktadır. Dayanım olarak gerekli standartları sağlamasına karşın ekonomiklik açısından incelemeler devam etmektedir. Çelik lifli püskürtme beton, içinde homojen dağılmış çelik lifler bulunan ve basınçlı hava ile uygulanacak yüzeye, yüksek hızla püskürtülen harç veya betondur. Püskürtme betonda çelik liflerin kullanımındaki öncelikli amaç, çelik hasır donatısının yerleştirilmesindeki zorlukların ve zaman kayıplarının azaltılması, hatta ortadan kaldırılmasıdır. Çelik liflerle güçlendirilmiş püskürtme betonun yeraltı tahkimatlarında ilk uygulamaları, Kuzey Amerika'da 1970'li yıllarda başlamıştır. İlk uygulamalarda, çelik lif olarak 0,25 mm çapında ve 25 mm uzunluğundaki düzgün teller kullanılmış, çimento ile agrega karışımına ağırlıkça % 3-6 arasında katılmıştır (Yurdakul, 2001). Çelik lif, 1973 yılında ilk kez bir yaklaşım tüneline (Rivie Barajı, Idaho, ABD) uygulanmıştır (Özbayoğlu ve Kenet, 1989). 1980'lerden sonra, çelik lifli püskürtme betonun mühendislik özellikleri üzerinde yapılan çok sayıda araştırmaya paralel olarak üniform karıştırmayı sağlayan besleme ekipmanlarının da geliştirilmesiyle, çelik lifin betonda kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çelik lifli püskürtme beton, uluslararası tünel uygulamalarında çelik hasırlı püskürtme betonun yerini almaya başlamıştır. Bu olgunun temel nitelikleri şöyle özetlenebilir:

- Çelik hasırlı kaplamada, hasırdan dolayı püskürtme betonun yapışma özelliğinin çok değişken olması ve geri sıçramanın özellikle tavan bölgelerinde % 40 gibi yüksek değerlere ulaşması.
- Çelik hasır kullanıldığında, tünel cidarı ile hasır arasında kalan boşluğun doldurulamaması ve bu nedenle kaplamanın nem-su gibi dış etkenlere açık olması.
- Çelik hasırın tünel cidarlarına tespit edilmesi ve yerleştirilmesi işlemlerinde harcanan “zaman” ve “işçilik” girdisinin tünel ilerlemesindeki yüksek payı.
- Kaya patlaması gibi ani ve tahripkâr özellik sergileyen dinamik zorlamalarda, yaşamsal işlevi olan “süneklik özelliği” nin çelik lifli püskürtme beton kaplamalarında daha iyi gerçekleştirilmesi.
- Çelik lifli püskürtme betonun taşıyıcılık özellikleri nedeni ile “kaplama kalınlığı” hasırlı kaplamaya kıyasla daha düşük olması, böylelikle anlamlı boyutta “kazı ekonomisi” yaratması.

Çelik telleri betonda kullanmanın başlıca beş yararı vardır:

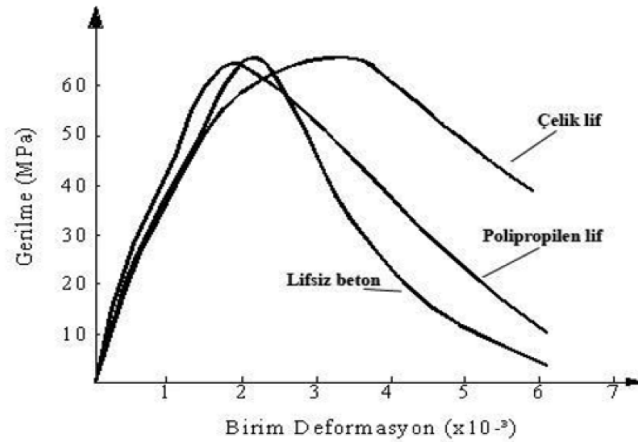
- a) Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton.
- b) Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi.
- c) Etkin çatlak kontrolü.
- d) Dayanıklılık.
- e) Donatı işçiliğinde belirgin azalma.

Çelik teller beton içinde yüzey ve kenarlar da dahil olmak üzere homojen biçimde dağılır. Betonun sertleşmesi sırasında, hidrasyon süreci malzeme içinde sayısız küçük boşluklara ve çatlaklara neden olur. Çekme gerilmelerinin rastlantısal doğasına çelik teller karşı koyar; rötreye çatlakları oluşmadan, şekillenmeden ve daha fazla büyümeden önlenir.

Polipropilen lifler ilk olarak 1960' larda betonda kullanılmıştır. Polipropilen, sentetik hidrokarbon polimerdir. Polipropilenlerin hidrofobik oluşu çimento matrisi ile zayıf bağ meydana getirmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu yapısından ötürü düşük ergime sıcaklığı, kolay tutuşabilen ve diğer sentetik liflere göre daha düşük elastisite modülüne sahiptir. Polipropilen liflerin düşük çekme gerilmesi ve düşük elastisite modülü onları plastik şekil değiştirmeye sürükler.

- Polipropilen lifler, basınç dayanımını lifsiz yüksek dayanımlı betona göre % 0,4 - 0,5 civarında azaltmakta.
- Çekme dayanımlarını da % 12 ve % 14 oranında arttırmaktadır.
- Çekme dayanımı, lif yoğunluğu ile oluşan boşluklara rağmen, yük arttıkça yükselen moment kolu daha çok lifli betonda sıyırmaya karşı zorlamaktadır. Bu da mukavemette artışı sağlamaktadır.

Lifli betonların 28 günlük Gerilme-Deformasyon Eğrisi Şekil 1'de verilmektedir.

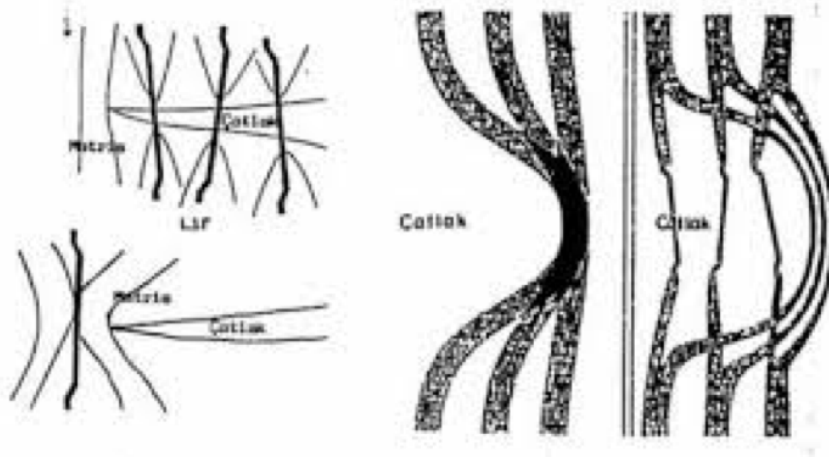


Şekil 1. Lifli Betonların 28 Günlük Gerilme Deformasyon Eğrisi (Sarı, 2013)

Bazalt lifler ve epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formunda üretilen bazalt lifli donatı Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdendir. Lifli donatı, özellikle korozyon bulunan yapı elemanlarında donatı çeliği için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Donatı çeliğinden daha yüksek dayanıma sahip olan bazalt lifli donatı, çelik donatıya oranla yaklaşık üç kat daha hafiftir. Aynı zamanda termal genişleme katsayısı da betonun genişleme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır. Bazalt elyafı kısıtlı olsa da ülkemizde bilinmekte ve kullanılmaktadır. Farklı boyutlarda üretilme olanağı vardır. 20 mikron çapında liflerden oluşan ve genellikle 5 mm ile 100 mm arasında uzunluğa sahip olarak üretilen lifler beton içerisinde üç boyutlu olarak donatı etkisi oluşturmaktadır. Hafif olduğu için beton içerisinde homojen dağılması mümkündür. Bazalt elyafın betona karıştırılması ile fiziksel ve teknik bazı avantajlar sağlanmaktadır. Örneğin beton içerisinde oluşan çatlaklar ciddi oranda azalmakta, betonun eğilme ve çekme etkisi altındaki performansı artmakta, geçirimsiz ve don dayanımı yüksek betonlar elde edilebilmektedir. Benzer şekilde betonun yorulma dayanımı ve aşınma dayanımı da artmaktadır. Bazalt lifin, betonun kuru karışımı hazırlanırken karışıma ilave edilmesi ve normal betona göre karışım süresinin %20 artırılması önerilmektedir. Topaklanma riski olduğundan taze beton içerisine sonradan ilave edilmesi tavsiye edilmemektedir.

2. Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi

Lif donatılı betonlarda kullanılan lifler, yüksek çekme mukavemetleri sayesinde, betondaki çatlakların başlangıcını, yayılmasını ve birleşmesini önlerler. Amacına uygun yeterli miktarlarda kullanılan lifler betonda oluşabilecek çatlaklardaki gerilmeleri betonda çatlak oluşmamış kısımlara iletirler. Lifler çatlak sonlarına bitişik olduklarından, matristeki gerilmelerin üzerlerinden geçmesini ve böylece daha önce çatlama başlamış beton kesitlerinin de dayanımından yararlanılmasını sağlamaktadırlar. Bu durum Şekil'2 de görülmektedir. Çatlakların oluştuğu bölgede bu şekilde taşıma gücü artırılarak, mühendislik özellikleri gelişmiş bir malzeme elde edilmektedir. Şekil 2'de lif etkisinin betonlarda gerilme şekil değiştirme bağıntısı üzerindeki etkisi görülmektedir.

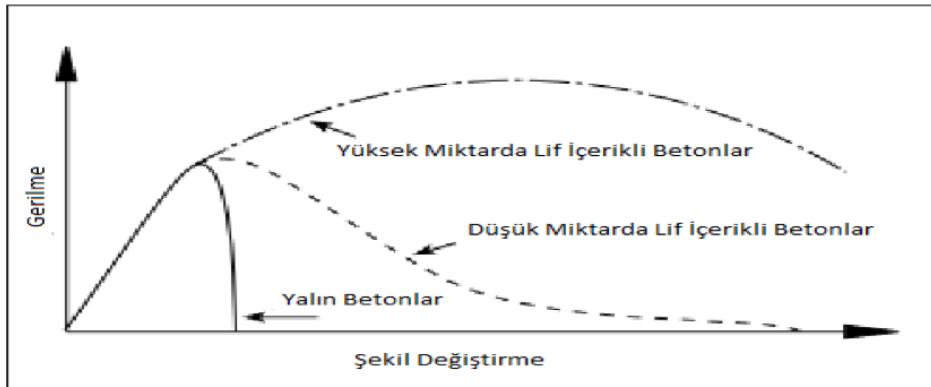


Şekil 2. Fiber kullanımı (Sarı, 2013)

Şekil 2' de Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması görülmektedir. Liflerin betona verdiği katkılar kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Taze betonda çatlakların oluşmasını engeller,
- Çekme ve eğilme dayanımlarını artırır,
- Çarpma dayanımını ve tokluğu artırır,
- Gevrek kırılmayı engeller,
- Durabiliteyi artırır

Şekil 3'de lif miktarına göre betonlardaki gerilme-deformasyon karakteristiği temsili olarak verilmektedir.



Şekil 3. Gerilme kuvvetleri (Sarı, 2013)

3. Laboratuvar Çalışmaları

Bu araştırmada, bazalt lif ve bazalt elyaf katkılı betonlarda yapılan deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bazalt lif içeren betonların dayanım parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı (eğilmede çekme) ve kırılma enerjileri hesaplanarak yalın betonla kıyaslanmıştır.

Bazalt liflerinin 24 mm uzunluğunda kırılmasıyla üretimi yapılan bazalt elyaf ürünü, beraber kullanılacağı malzeme ile uyum sağlaması için sizing ile kaplanmıştır. Bazalt lifler, yüksek mekanik ve termal özelliklere sahip olması nedeniyle pek çok alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanları; mikrodonatı oluşturma için beton katkısı olarak, termoplastik enjeksiyon parçalarının mekanik olarak güçlendirilmesinde olarak sayılabilir. Teknik Özellikleri; Çekme Dayanımı: 4840 MPa, Elastisite Modülü: 89 GPa, Uygulama Sıcaklık limetleri -260°C - +982°C , Ergime Sıcaklığı 1450°C, Özgül Ağırlık 2,60-2,80 gr/cm³, Elyaf Çapı: 9-23 mikron. Bazalt liflerin görünümü Şekil 4'de verilmektedir.

Bazalt liflerin kullanıldığı püskürtme beton örneklerinin dayanım parametrelerini belirleyebilmek amacıyla bazı laboratuvar testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde PORTLAND TS EN 197 -1 CEM 1 42.5 R Çimento kullanılmıştır.

Tek eksenli basınç dayanımı ve kırılma enerjilerini hesaplamak için 15x15x15 cm boyutlarında 16 adet küp numune, eğilme dayanımı belirlemek amacıyla 45x10x10 cm boyutlarında 12 adet çentikli kiriş numune üretilmiştir. Önceden etüvde kurutulmuş ve kuru, ıslak ağırlıkları tartılmış 0-3 mm boyutlarında 21,238 kg, 0-5 mm boyutlarında 20,792 kg, 5-15mm boyutlarında 14,274 kg ve 15-25mm boyutlarında 14,205 kg agrega kullanılmıştır (Şekil 5).

Akışkanlaştırıcı malzeme LYKSOR LEXP 917 (Şekil 6) kullanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda lifsiz betonda 34 g, 2kg/m³, bazalt lifli betonda 45 g, 6 kg/m³ bazalt lifli betonda 90 g, 10kg/m³ bazalt lifli betonda ise 102 g akışkanlaştırıcı malzeme kullanılmıştır.



Şekil 4. Bazalt lifi (24 mm kırılmış)

Yapılan farklı bazalt lif içerikli betonlarda, çırpıcı içine 6,865 kg su eklenmiştir. Mikser içinde önce agrega konulur ve karıştırılır, 2. Aşama olarak bazalt lif konulur ve karıştırılır, 3. Aşama olarak Portland CEM1 çimento konulur ve karıştırılır, 4. Aşama olarak su eklenir ve mikser içerisinde karıştırılır ve son olarak akışkanlaştırıcı konularak beton elde edilir. Gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 1'de verilmektedir.

Üretilen betonlarda, taze beton deneylerinden slump (çökme) (Şekil 7) ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden önce çırpıcı 'den boşaltılan betonun sallantılı masada içindeki hava kabarcıklarının atılması sağlanmıştır. Lifsiz beton deneyinde, slump uzunluğu 16 cm, 2kg/m³ bazalt lif içeren beton deneylerinde 18,30 cm, 6kg/m³ bazalt lif içeren betonda 24,30 cm ve 10kg/m³ bazalt lif içeren beton da slump uzunluğu 8 cm'dir (Şekil 8).

Çizelge 1. Ağırlık Hacim Tablosu

Malzeme	Ağırlık kg/m ³	Hacim dm ³
Çimento	350,000	4,52
Uçucu Kül	0,00	0,00
Su	171,62	6,86
0-3 agregası	519,79	8,21
0-5 agregası	530,96	8,11
5-15 agregası	356,84	5,28
15-25 agregası	355,12	5,27
Akışkanlaştırıcı	0,00	0,00
Hava	0,00	0,80
Toplam	2284,32	39,06



Şekil 5. Slump ölçümü

Slump işlemi, taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılmıştır. Çökme konisi içerisine beton üç kademeyle şişlenerek yerleştirildikten sonra çökme konisinin yukarı kaldırılması ve betonun kendi ağırlığıyla yayılması sonrasında ilk konumuna göre yükseklik farkı ölçülerek çökme miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen ıslak betonu küp ve çentikli kırıntılara koyduktan sonra 24 saat kuruma aşaması beklenmiştir.



Şekil 6. Küp ve çentikli kiriş numuneler

Beton numuneleri kuruduktan sonra (Şekil 9), yüksek basınçlı hava ile numune kaplarından çıkartılarak 20 °C ' lik bekleme havuzunda 28 gün beklemeye alınmıştır.



Şekil 7. Kurumuş çentikli kiriş ve küp numuneler

Betonun tek eksenli basınç dayanımı ve basınç gerilmeleri altında gerilme-deformasyon davranışı normal olarak, tek bir eksende yüklenmiş kiriş veya küp örneklerin eksenel basınç deneyi kullanarak bulunur.



Şekil 8: Tek eksenli basınç dayanımı

Örneklerin boy (L) ve çap (D) değerleri kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilir. Numune, hidrolik press tablaları arasına yerleştirilir. Yükün numune üzerine homojen şekilde yayılmasını sağlamak amacıyla numune alt ve üst kısmına numune ile aynı çapta olan çelik diskler konulur. Hidrolik preslerde numunenin üzerine konulduğu alt tabla yukarı doğru hareket eder. Prese bağlı bilgisayar aracılığıyla numune üzerine düşey yük uygulanır. Numune yenildiği anda bilgisayardan yenilme yükü (Fc) okunarak kaydedilir (Şekil 10). Deney, 4 adet numune üzerinde gerçekleştirilir ve her bir numunenin dayanım değerleri hesaplanarak bunların ortalaması alınarak, kayacın Tek Eksenli Basma Dayanımı hesaplanır. Çizelge 2’de gerçekleştirilen deneyler sonrasında elde edilen Tek Eksenli Basınç Dayanımları verilmektedir.

Çizelge 2. Lif miktarına göre Tek Eksenli Basınç Dayanımı sonuçları

Lif Miktarı(kg/m ³)	Tek Eksenli Basınç Dayanım (MPa)
2	33,40
6	28,50
10	33,60

Beton kirişlere eğilme yüklerinin uygulanması ile eğilme dayanımının ve dolaylı olarak çekme dayanımının elde edilir. Bu yöntemde, kiriş beton örnekleri iki mesnet üzerine yerleştirilir ve ortadan tekil veya üç te bir açıklıklarda çift tekil yük uygulanarak eğilme etkisi yaratılıp örnekler kırılmaktadır (Şekil 11).

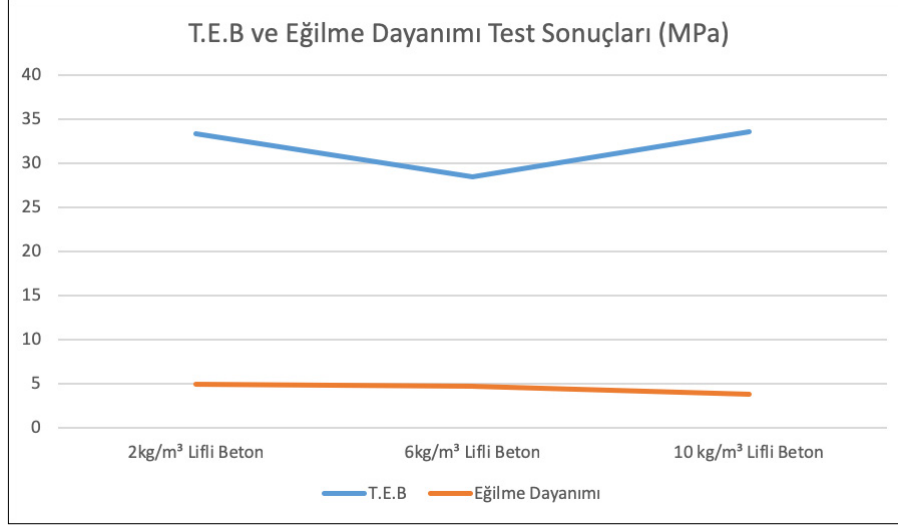


Şekil 9. Eğilme Çekme Dayanımı

Bu deneyde, donatı içermeyen beton bir kirişi eğmek üzere, yenilme gerçekleşene kadar iki noktadan veya tek noktadan yükleme yapılır. İki noktadan yükleme durumunda, yükleme noktaları açıklığın üçtebir kısımlarına yerleştirildiği için ‘dört-noktalı yükleme deneyi’ olarak isimlendirilir. Betonun eğilme dayanımı bulunması ile ilgili standartlar şunlardır; TS EN 12390-5, ASTM C 78 ve ASTM C 293. ASTM C 293 standardında, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından (L/2 mesafesinde) yüklenmesi durumundaki deney yöntemini açıklamaktadır. ASTM C 78 ise, beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumunda eğilme dayanımının nasıl bulunması gerektiğini anlatmaktadır. Çizelge 3’de elde edilen eğilme dayanımları verilmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarının karşılaştırıldığı grafik Şekil 10’da verilmektedir.

Çizelge 3. Lif miktarına göre Eğilme Dayanımı Deneyle sonuçları

Lif Miktarı(kg/m ³)	Eğilme Dayanımı (MPa)
2	4,91
6	4,75
10	3,85



Şekil 10. Tek Eksenli Basınç Dayanımı ve Eğilme Dayanımı deney sonuçları

Püskürtme betonda çelik ve polimer liflerinde kullanıldığında daha önce bahsedilmiştir. Bu liflerin dayanım özellikleri ile bazalt liflerin dayanım özelliklerinin karşılaştırması Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 4. Farklı lif içerikli betonların dayanım özelliklerinin karşılaştırması

Lif Tipi	Eğilme Dayanımı (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Çelik Lif(20 kg/m ³)	6,84	32,20
Polimer Lif(2,3 kg/m ³)	6,18	36,90
Bazalt Lif(2,0 kg/m ³)	4,91	33,40

4. Sonuç

Bazalt lif katkılı olarak hazırlanan kiriş ve küp numunelerin kullanıldığı bu çalışmada, betonun basınç ve eğilme testleri gerçekleştirilerek malzeme davranışı tespit edilmiştir. Ayrıca, polipropilen lif ve çelik lif katkılı betonların, bazalt lif katkılı betonlara göre kıyaslama yapılmıştır. Bu sonuçlar kullanılarak püskürtme beton ve tünel çalışmaları için örnek bir çalışma yapılmıştır.

Bazalt lifli beton karışımlarında farklı oranlarda lifler kullanılarak, oran değişiminin beton davranışına etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 28 günlük Küp numunelere yapılan tek eksenli basınç dayanımı testi sonucunda bazalt lifli beton karışımları arasında en yüksek dayanım 10 kg/m³ lifli betonda 33.6 MPa'dır. Tüm beton karışımları arasında en yüksek dayanım polimer lifli beton karışımdan elde edilmiştir.

- 28 günlük kiriş numunelere yapılan eğilme dayanımı deneyi sonuçlarında en yüksek dayanım çelik lifli beton karışımından elde edilmiştir.
- Bazalt lifli çentikli kiriş numuneleri, 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde, 4.91 MPa dayanım ile en yüksek 2 kg/m³ bazalt lif içeren numuneden elde edilmiştir.
- Küp ve kiriş beton numunelerin birim ağırlıkları testlerden önce hesaplanmış ve birim ağırlık artışıyla test sonucu belirlenen basınç ve eğilme dayanımlarında belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak üretimi gerçekleştirilen beton numuneleri içinde, lif katkılı olan betonların donatısız şahit numunelere göre ve kuru püskürtme beton işleminde kullanılacak numunelerin eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Beton, tünellerde kullanılabilirlik bakımından karşılaştırıldığında sırasıyla çelik lif, polipropilen lif ve bazalt lif katkısıyla en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Araz, N. G., Aksoy, A., İskender, E., Sayın, A. (2018) Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Arslan M.E., 2017. Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 203-208.

Devlet Planlama Teşkilatı, (Çimento Sanayi) Özel İhtisas Komisyon Raporu, DPT, (2006), Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007- 2013) Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler.

Erdoğan T., 2000. Türkiyede Üretilen Çimentolar, Özellikleri ve Kullanımları. Web adresi: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12317.pdf>

Avcıoğlu, M., 2012. Malzeme Bilimi Yapı Malzemeleri ve Deneyleri, Birsen Yayınevi

Günaydın, A. , Güçlüer K., 2018. Bazalt lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 416-424

Kapkaç, F. 2016. Çimento Çeşitleri, Özellikleri, Hammaddeleri Ve Üretim Aşamaları. Web adresi: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_16/223.pdf (Erişim tarihi: 11.5.2019)

Sarı, M. 2013. Farklı Tipteki Liflerin Betonun Davranışlarına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özdoğan, M. V. (2009) Yeraltı yapılarında püskürtme beton ve dolgu dizaynı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

Yeğinoğlu, A., 2009. Çimento- Yeni Bir Çağın Malzemesi, TÇMB Yayınları.

Yeğinoğlu A. ,Ertün, A., 2007. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, TÇMB Yayınları

Makale Gönderim Tarihi: 13 Kasım 2019

Yayına Kabul Tarihi: 21 Aralık 2019

Boşluk Oranının Farklı Siltlerin Likit Limit Değerleri üzerindeki Etkisi

Effect of Void Ratio on Liquid Limit Values of Various Silts

Eren Komurlu^{1*}, Atila Gurhan Celik¹

¹*Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye*

* *Sorumlu Yazar:ekomurlu@giresun.edu.tr*

Özet

Bu çalışmada farklı silt türü zeminlerin likit limit değerleri Casagrande ve koni penetrometre deneyleri ile farklı boşluk oranı değerleri için belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, zeminlerin boşluk oranının likit limit değerleri üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğu görülmüştür. Boşluk oranı etkisi ve operatöre bağımlı etkinin minimize edilmesi için koni penetrasyon deneyinin Casagrande deneyine kıyasla avantajlı olduğu belirlenmiştir. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki zeminlere göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple boşluk oranı değişime bağlı likit limit değerinin kestirimine yönelik genel bir bağıntının kullanımı önerilmemiştir. Bunun yerine, boşluk oranındaki değişim için zeminlerin ayrı olarak test edilmesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Likit limit, Atterberg limitleri, Boşluk oranı, Zemin sınıflama, Zemin testleri

Abstract

The liquid limits of different types of silts were determined under varying void ratio conditions by carrying out the cone penetrometer and the Casagrande tests. According to the results obtained from this study, the void ratio was determined to have a notable effect on the liquid limit values of soils. In terms of eliminating the void ratio effect based and operator dependent variations of results, the cone penetrometer test was assessed to be advantageous in comparison with the Casagrande test. The liquid limit values of soils were found to have various relations with the void ratio parameter depending on the soil material. Therefore, a general correlation between the liquid limit and void ratio parameters is not suggested to use. Instead, it is recommended to separately evaluate the liquid limit values for the change of the void ratio values of different soils..

Keywords: *Liquid limit, Atterberg limits, Void ratio, Soil classification, Soil testing*

1. Giriş

Likit limit ilk kez 1911 yılında İsveçli kimyacı ve tarım bilimcisi Albert Atterberg tarafından tanımlanmıştır (Atterberg, 1911). Likit limit zeminlerin plastik davranıştan çıkarak sıvı davranışa geçtikleri su içeriğidir. Bir başka deyişle, likit limit üzerinde su içeriğine sahip zeminler sıvılaşmış durumdadırlar. Sıvılaşma sebebi ile zeminler dayanım değerlerini kaybeder ve kalıp şeklini koruyamaz durumda olurlar (Andrade vd., 2011; Sharma ve Sridharan, 2018; Fiegel ve Kutter, 1994; Stanchi vd., 2017).

Likit limit değeri zemin mekaniğinde farklı alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin zemin sınıflama konusundaki temel parametrelerden biridir. Bu sebeple, likit limit değerlerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Likit limit değerlerinin belirlenmesi için farklı deney yöntemleri içerisinde, Casagrande ve koni penetrometre deneyleri en popüler ve yaygın kullanılanlarıdır.

Casagrande deneyi Avusturya doğumlu Amerikan inşaat mühendisi Prof. Dr. Arthur Casagrande (1902-1981) tarafından 1932 yılında geliştirilmiştir (Casagrande, 1932; Casagrande, 1958). Koni penetrometre deneyi ise İsveçli inşaat mühendisi Prof. Dr. Sven Hansbo (1924-2018) tarafından 1957 yılında ilk kez zeminlerin makaslama (kesme) dayanımlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (Hansbo, 1957). Koni penetrometre deneyi 1970'li yıllarda zeminlerin likit limit değerlerinin belirlenmesi için Casagrande deneyinin alternatifi olarak kullanılmaya başlamıştır (Clayton ve Jukes, 1978; Sherwood ve Ryley, 1970; Wasti, 1987; Wasti ve Bezirci, 1986; BSI, 1975). Koni penetrometre deneyi için kullanımda olan BS 1377-2, CEN ISO/TS 17892-6, CAN/BNQ 2501-092/2006 and TS 1900-1 gibi birçok standart mevcuttur (BSI, 1990; ISO, 2017; SCC, 2006; TSE, 2006).

Koni penetrometre ve Casagrande deneyleri malzeme ve metod başlığında detayları verileceği üzere farklı mekanizma ve metodolojik detaylara sahiptir. Kısaca değinmek gerekirse, koni penetrometre deneyi standart çelik bir koninin ıslak zemin içerisindeki ilerleme derinliğine dayalı olarak likit limit değerini belirlemede, Casagrande deneyinde ise standart bir oluğun ikiye ayırdığı ıslak zeminin tekrarlı düşen bir kase içerisinde kapanmasına dayalı likit limit değeri tayin edilmektedir.

Hem Casagrande hem koni penetrometre deneyinde önemli bir eksik olarak zemin numunesinin boşluk oranı değerleri dikkate alınmamaktadır. İlgili standartlarda zeminlerin boşluk oranları ile ilgili hiç bir değer belirtilmemiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki neden olarak, zeminlerin dayanım ve deformabilite özellikleri konusunda önemli bir parametre olduğu için boşluk oranınının zeminlerin sıvılaşması üzerinde de önemli bir rolü olduğu düşünülmüştür (Heniche ve Belkacemi, 2018; Yılmaz vd., 2016; Li 2013; Bensoula vd., 2018). Bu çalışmada boşluk oranınının zeminlerin likit limit değerlerinde anlamlı bir etkiye sahip olup olmaması durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı zeminlerin değişen boşluk oranları için likit limit değerleri Casagrande ve koni penetrometre deneyleri ile belirlenmiştir.

2. Malzeme ve Metod

Karadeniz bölgesinden dört farklı konumdan alınan toprak numuneleri incelenmiştir. Giresun, Bulancak, Piraziz ve Ünye'den alınan dört farklı numune sırası ile Zemin G, Zemin B, Zemin P ve Zemin U olarak kodlandırılmıştır. Likit limit deneyleri öncesi zemin numuneleri 200 numaralı (0,075 mm) elekten elenmiştir.

Boşluk oranı hesaplaması için numunelerin özgül ağırlık değerleri ASTM D854-10 kodlu standarta uygun olarak piknometre deneyi ile belirlenmiştir (ASTM International, 2010a). Bu deneyde ilk olarak kuru ve boş piknometre ağırlığı 0.001 gr hassasiyetli elektronik terazi ile ölçülmüştür. Sonra kuru zemin ve piknometre ağırlığı ölçülmüştür. Kuru zemin hazırlamak için numuneler 105 °C sıcaklıktaki etüvde bir gün süre ile bekletilmişlerdir. Kuru zemin konulan 250 ml hacmindeki piknometre tartıldıktan sonra saf su ile doldurulmuş ve 30 dakika bekletildikten sonra içeride kalan havanın çıkması için vakum yapılmıştır. Vakum işlemi takiben piknometre üzerinde 250 ml hacmi belirten çizgi üzerine kadar ek saf su ilave edilmiş ve direnajlı kapakçık kapatılarak su seviyesi çizgiye indirilmiştir. Numunelerin özgül ağırlıkları Eşitlik 1'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır (ASTM International, 2010a)

$$G_s = \frac{W_0}{(W_0 + (W_A - W_B))} \quad (1)$$

Burada G_s özgül ağırlık, W_0 kuru zemin kütlesi, W_A saf su dolu piknometre kütlesi, W_B zemin ve saf su ile dolu piknometre kütlesidir. W_0 ve W_B deneyde ölçülmüş, 250 mililitrelik hacmi belli olan piknometreler kullanıldığı için W_A değeri boş piknometre kütlesi ve 250 gr toplanarak hesaplanmıştır.

Koni penetrometre deneyi TS 1900-1 kodlu Türk standartına uygun olarak yapılmıştır (TSE, 2006). Numune boşluk oranı etkisinin incelenmesi için, koni penetrometre deneyinin 80 ml hacmindeki standart numune kabı aynı su içeriğinde farklı kütleye sahip numuneler ile doldurulmuştur. Koni penetrometre testleri her zeminin (Zemin G, Zemin B, Zemin P, Zemin U) dörder farklı su içeriği için tekrar edilmiştir.

TS 1900-1 kodlu standarta göre 80 gram kütlede 30° açığa sahip çelik konik uç sabit bit yükseklikten serbest bırakılarak numune üzerine düşer ve 5 saniye süre ile numune içerisindeki batma miktarı ölçülür (Şekil 1). Konik ucun numune içerisindeki 20 mm penetrasyonu için gerekli olan su içeriği zeminin likit limiti olarak belirlenir. Bu ölçüm için farklı su içeriğinde numuneler test edilir (TSE, 2006).



Şekil 1. Koni penetrometre deneyi düzeneği

Casagrande deneyi ASTM D3418-10 kodlu Amerikan standardında belirtilen metodolojiye uygun olarak yapılmıştır. Numuneler standart Casagrande kasesi üzerine yerleştirilerek standart yarık açma bıçağı ile kesilmiş ve kase üzerinde ikiye bölünmüştür. Kase otomatik motor yardımı ile tekrarlı olarak düşmüş ve 25 vuruşta yarıktaki 13 mm uzunluğunda kapanmanın yaşandığı su içeriği likit limit değeri olarak belirlenmiştir (ASTM International, 2010b). Su içeriğinin belirlenmesi için 105 oC derecede 1 gün süre ile etüvde bekletilerek numuneler kurutulmuştur. Su içeriği, numune hacmi, kuru yoğunluk ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak Eşitlik 2-5'te görüldüğü gibi boşluk oranları hesaplanmıştır (ASTM International, 2019).

$$\rho_b = M_b / V \quad (2)$$

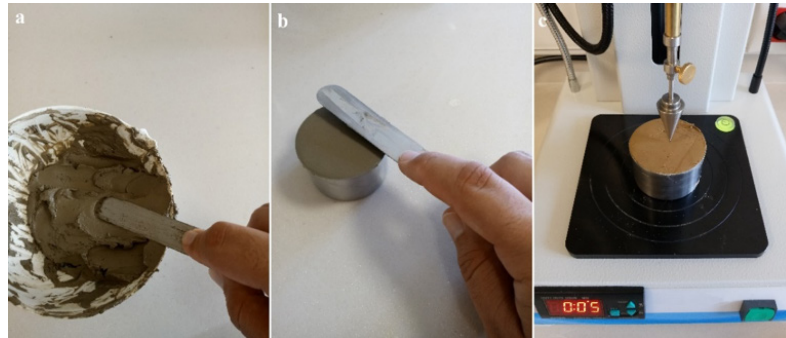
$$\rho_{dry} = \rho_b / (1 + m) \quad (3)$$

$$\gamma_{dry} = \rho_{dry} \cdot g \quad (4)$$

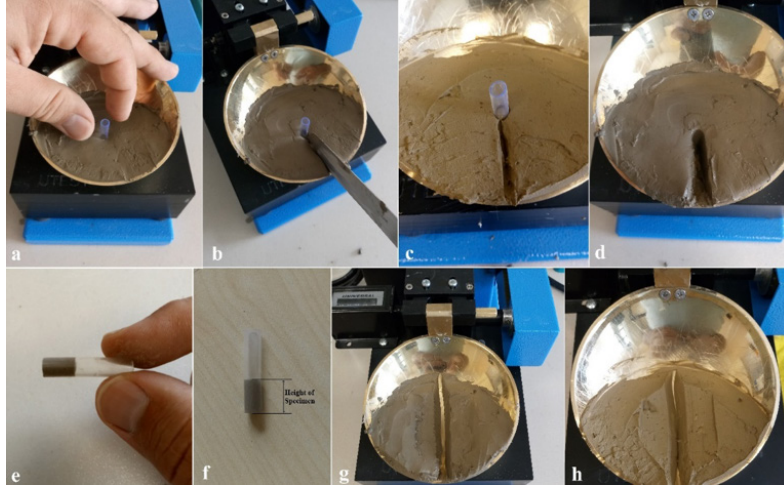
$$\gamma_{dry} = (G_s \cdot \gamma_w) / (1 + e) \quad (5)$$

Burada M_b su ve zemin karışımının kütlesi, V numune hacmi, ρ_b numune yoğunluğu, ρ_{dry} kuru numune yoğunluğu, m su içeriği, g yerçekimi ivmesi, γ_{dry} kuru birim hacim ağırlık, γ_w suyun birim hacim ağırlığı, G_s özgül ağırlık ve e boşluk oranıdır. Koni penetrometre deneyinde 80 cm³ standard kap kullanıldığı ve kabın içindeki numunelerin yüzeyi spatula ile düzleştirildiği için numune hacmi (V) bilinmektedir (Şekil 2). Farklı boşluk oranında numuneleri test etmek için aynı su içeriğine sahip numuneler deney tekrarlarında farklı kütlelerde kap (aynı hacim) içine yerleştirilmiştir. Farklı su içeriğinde farklı boşluk oranına sahip numuneler için koni penetrometre testleri gerçekleştirilmiş ve farklı su içerikleri için boşluk oranına bağlı olarak hesaplanan likit limit değerinin değişimi incelenmiştir. Kuru yoğunluk Eşitlik 3'teki gibi su içeriği ve ilgili su içeriğine sahip olunan yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplanmış ve numunelerin boşluk oranları Eşitlik 4 ve 5'te görüldüğü gibi belirlenmiştir.

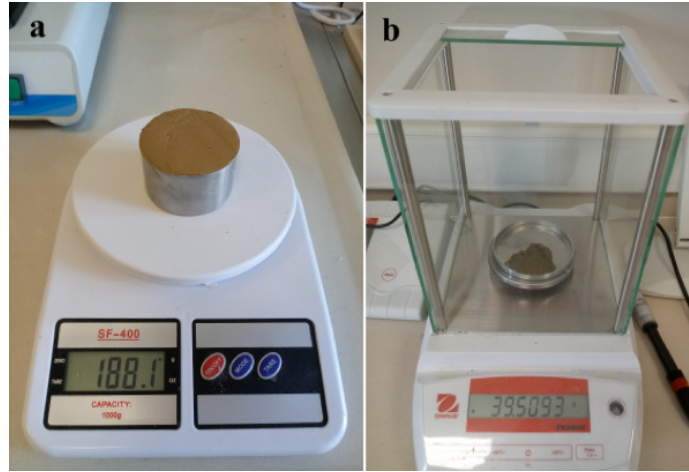
Casagrande deneyinde boşluk oranının belirlenmesi amacıyla kaseden numune alınması için saydam, ucu sivriltilmiş ve 5 mm iç çapa sahip ince cam tüpler kullanılmıştır. Boşluk oranı için numuneler yarık açılacak yerden, yarık açmadan önce cam tüpler kasedeki numuneye sokularak alınmıştır (Şekil 3). Cam tüp içindeki numunelerin boyları hassas verniyeli kumpas kullanılarak ölçülmüş ve numune hacimleri belirlenmiştir. Sonrasında 0.0001 gram hassasiyetindeki çok hassas terazi kullanılarak cam tüp ve numunelerin ağırlıkları ölçülmüş, cam tüpün ağırlığı çıkarılarak numune ağırlıkları hesaplanmıştır (Şekil 4). Numune hacmi, yaş ve kuru ağırlıkları, yoğunlukları, su içeriği ve özgül ağırlığı değerleri kullanılarak Eşitlik 2-5'te görüldüğü gibi Casagrande deneyindeki boşluk oranları belirlenmiştir.



Şekil 2. a) Zemin ve su karışımı hazırlama, b) kaba yerleştirme ve yüzey düzleme, c) koni penetrometre deneyinde numune



Şekil 3. a) Casagrande kasesindeki numuneye tüp sokma, b ve c) tüpü çıkarmak için yön doğrultusunda kesim, d) tüpü aldıktan sonra numune, e ve f) cam tüp içindeki zemin numuneleri, g) yarık kesilmiş numune, h) yarığın kapanması ile deneyin sonlandırılması



Şekil 4. Çalışmada kullanılan tartılar: a) 0.1 gram hassasiyetindeki tartı b) 0.0001 gram hassasiyetindeki tartı

3. Sonuçlar

Piknometre testi ile belirlenen numunelerin özgül ağırlık değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Farklı boşluk oranları için değişen koni penetrasyonu değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Farklı su içeriğindeki numuneler için 20 mm koni penetrasyonuna denk gelen boşluk oranı değerleri Tablo 3’te verilen regresyon analizleri ile hesaplanmıştır. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki test edilen zemin türleri için Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, koni penetrometre deneyinde likit limit değerleri boşluk oranındaki artış ile önemli ölçüde azalmıştır. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasında güçlü korelasyonlar görülse de, bu ilişkinin zemin türüne göre değiştiği ve genel bir bağıntının olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 1. Zeminlerin özgül ağırlık değerleri

Zemin	G_s
Giresun (Zemin G)	2.55
Bulancak (Zemin B)	2.61
Piraziz (Zemin P)	2.52
Unye (Zemin U)	2.47

Tablo 2. Numunelerin koni penetrasyon (CP) değerleri (m: su içeriği, e: boşluk oranı)

Zemin G			Zemin B			Zemin P			Zemin U		
m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)
0.25	0.74	13.0	0.24	0.79	13.2	0.31	0.93	12.2	0.30	0.87	16.0
0.25	0.93	15.0	0.24	0.90	15.4	0.31	1.08	14.1	0.30	1.02	17.3
0.25	1.15	17.9	0.24	1.04	17.8	0.31	1.25	16.8	0.30	1.21	18.5
0.32	0.89	16.3	0.28	0.81	16.3	0.37	1.00	14.5	0.33	0.92	16.9
0.32	1.05	18.0	0.28	0.92	19.1	0.37	1.14	16.7	0.33	1.05	18.0
0.32	1.24	20.5	0.28	1.08	21.4	0.37	1.26	19.0	0.33	1.29	20.4
0.37	1.08	19.6	0.31	0.90	19.0	0.42	1.13	17.3	0.38	1.04	19.7
0.37	1.20	21.3	0.31	0.99	21.5	0.42	1.28	20.1	0.38	1.26	21.9
0.37	1.33	24.2	0.31	1.13	23.6	0.42	1.37	23.0	0.38	1.40	24.2
0.41	1.15	22.9	0.35	0.97	22.5	0.49	1.32	22.8	0.44	1.19	22.0
0.41	1.25	25.7	0.35	1.05	24.8	0.49	1.41	24.9	0.44	1.31	25.3
0.41	1.37	28.1	0.35	1.16	26.7	0.49	1.49	27.6	0.44	1.43	27.1

Tablo 3. Koni penetrasyon (CP) ve boşluk oranı (e) arasındaki ilişki için korelasyon verisi

Su içeriği, Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²	Testte boşluk oranı aralığı
0.25, Zemin G	CP: 11.94e + 4.214	0.990	0.74-1.15
0.32, Zemin G	CP: 12.04e + 5.509	0.996	0.88-1.24
0.37, Zemin G	CP: 18.45e - 0.5065	0.984	1.08-1.33
0.41, Zemin G	CP: 23.52e - 3.986	0.989	1.05-1.27
0.24, Zemin B	CP: 18.34e - 1.226	0.996	0.79-1.16
0.28, Zemin B	CP: 18.56e + 1.547	0.974	0.81-1.08
0.31, Zemin B	CP: 19.57e + 1.670	0.970	0.90-1.13
0.35, Zemin B	CP: 21.81e + 1.545	0.979	0.97-1.16
0.31, Zemin P	CP: 14.41e - 1.290	0.995	0.93-1.25
0.37, Zemin P	CP: 17.26e - 2.832	0.986	1.00-1.26
0.42, Zemin P	CP: 23.23e - 9.138	0.977	1.13-1.37
0.49, Zemin P	CP: 28.09e - 14.47	0.979	1.32-1.49
0.30, Zemin U	CP: 7.308e + 9.715	0.991	0.87-1.21
0.33, Zemin U	CP: 9.527e + 8.081	0.998	0.92-1.29
0.38, Zemin U	CP: 12.28e + 6.791	0.980	1.04-1.40
0.44, Zemin U	CP: 21.25e - 3.038	0.972	1.09-1.43

Tablo 4. 20 mm koni penetrasyonu için hesaplanan boşluk oranı (e) ve likit limit (LL) değerleri

Zemin G		Zemin B		Zemin P		Zemin U	
e	LL	e	LL	e	LL	e	LL
1.32	0.25	1.02	0.24	1.48	0.31	1.41	0.30
1.20	0.32	0.99	0.28	1.32	0.37	1.25	0.33
1.11	0.37	0.93	0.31	1.25	0.42	1.08	0.38
1.02	0.41	0.85	0.35	1.22	0.49	0.80	0.44

Tablo 5. Koni penetrometre deneyinden elde edilen boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki

Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²
Zemin G	LL: $-0.5273e + 0.9621$	0.984
Zemin B	LL: $-0.6074e + 0.8705$	0.959
Zemin P	LL: $-0.6153e + 1.196$	0.881
Zemin U	LL: $-0.2344e + 0.6286$	0.995

Koni penetrometre deneyi ile benzer şekilde Casagrande deneyinde de likit limit ve boşluk oranı arasındaki ilişki zemin türüne bağlı olarak farklılık göstermiştir. Boşluk oranı ve likit limit arasında genel bir ilişki bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak, test edilen tüm zeminler için boşluk oranı artışı ile Casagrande testinde vuruş sayısı düşmüştür. Tablo 6'da farklı su içeriğindeki numuneler için Casagrande testindeki vuruş sayısı değerleri verilmiştir. Tablo 7'deki regresyon kullanılarak 25 vuruşa denk gelen boşluk oranı değerleri farklı su içeriğine sahip numuneler için hesaplanmıştır. Test edilen zeminler için boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir. Ayrıca, regresyon analizlerine göre likit limit değerlerindeki değişimi gösteren grafikler Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 6. Casagrande testinden elde edilen vuruş sayısı (BN) değerleri (m: su içeriği)

Zemin G			Zemin B			Zemin P			Zemin U		
m	e	BN	m	e	BN	m	e	BN	m	e	BN
0.26	0.82	35	0.22	0.73	29	0.30	0.92	46	0.29	0.89	65
0.26	0.89	34	0.22	0.84	26	0.30	1.10	43	0.29	1.06	47
0.26	0.94	32	0.22	0.89	26	0.30	1.14	41	0.29	1.15	41
0.31	0.95	26	0.29	0.88	17	0.38	1.13	32	0.36	1.08	29
0.31	1.01	24	0.29	1.00	15	0.38	1.20	28	0.36	1.23	24
0.31	1.06	21	0.29	1.07	13	0.38	1.28	25	0.36	1.30	19
0.37	1.06	15	0.34	0.95	12	0.48	1.25	14	0.45	1.29	12
0.37	1.17	13	0.34	1.06	11	0.48	1.33	13	0.45	1.41	10
0.37	1.20	13	0.34	1.13	8	0.48	1.42	11	0.45	1.47	7

Tablo 7. Vuruş sayısı (BN) ve boşluk oranı arasında korelasyon verisi

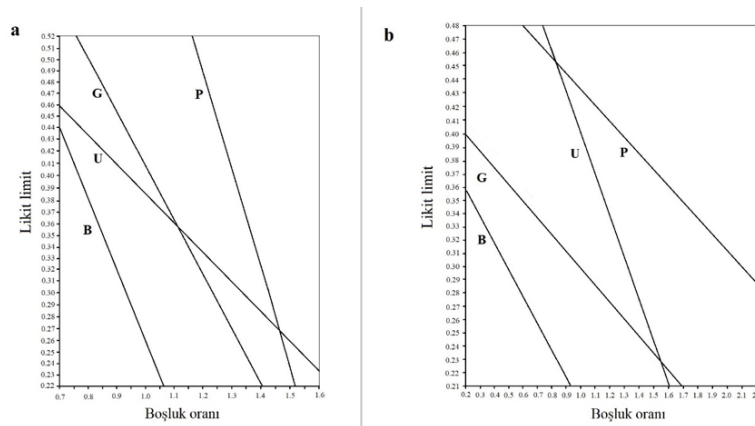
Su içeriği, Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²	Testte boşluk oranı aralığı
0.26, Zemin G	BN: 55.142-24.312e	0.903	0.82-0.94
0.31, Zemin G	BN: 69.023-45.055e	0.972	0.95-1.06
0.37, Zemin G	BN: 31.202-15.337e	0.958	1.06-1.20
0.22, Zemin B	BN: 43.521-20.150e	0.907	0.73-0.89
0.29, Zemin B	BN: 35.237-20.581e	0.976	0.88-1.07
0.34, Zemin B	BN: 32.371-21.056e	0.842	0.95-1.13
0.30, Zemin P	BN: 65.323-20.874e	0.944	0.92-1.14
0.38, Zemin P	BN: 84.236-45.458e	0.985	1.13-1.28
0.48, Zemin P	BN: 36.060-17.653e	0.970	1.25-1.42
0.29, Zemin U	BN: 148.203-94.069e	0.986	0.89-1.15
0.36, Zemin U	BN: 76.394-43.538e	0.957	1.08-1.30
0.45, Zemin U	BN: 46.067-26.190e	0.909	1.29-1.47

Tablo 8. Casagrande testinde 25 vuruş için hesaplanan boşluk oranı ve likit limit değerleri

Zemin G		Zemin B		Zemin P		Zemin U	
e	LL	e	LL	e	LL	e	LL
1.24	0.26	0.92	0.22	2.17	0.30	1.31	0.29
0.98	0.31	0.50	0.29	1.30	0.38	1.18	0.36
0.41	0.37	0.35	0.34	0.63	0.48	0.80	0.45

Tablo 9. Casagrande deneyinden elde edilen boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki

Soil	Equation of the regression line	R ²
Soil G	LL: -0.1281e+0.4256	0.974
Soil B	LL: 0.2010e+0.4019	0.970
Soil P	LL: -0.1157e+0.5447	0.981
Soil U	LL: -0.3004e+0.6917	0.959



Şekil 5. Koni penetrometre (a) ve Casagrande (b) testlerinde likit limitin boşluk oranına bağlı değişimi

4. Tartışma

Elde edilen sonuçlara göre zeminlerin boşluk oranının likit limit değerleri üzerinde önemli role sahip olduğu belirlenmiştir. Gerek koni penetrometre ve gerek Casagrande testlerinde sonuçların boşluk oranına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bu sebeple, ilgili deney standartlarında boşluk oranı ile ilgili ifade olmaması önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir. Doğru ve kıyaslamalı olarak farklı zeminlerin likit limit değerlerinin belirlenmesi için standart bir boşluk oranı veya aralığı kullanılabilir.

Hacmi bilinen düzgün şekilli silindirik numunelerin kullanılması sebebi ile koni penetrometre deneyinde numune boşluk oranı ayarlanabilir. Likit limit deneyi öncesi istenilen bir boşluk oranına sahip olmak için zeminin özgül ağırlık ve su içeriği bilinmeli, bu sebeple önce kuru numune hazırlanmalıdır. Koni penetrometre deneyinin aksine Casagrande deneyinde hedef bir boşluk oranında numune hazırlamak, boşluk oranının belirli bir değerde olmasını ayarlamak mümkün değildir. Bunun yerine, numune hazırlandıktan ve kase üzerine yerleştirildikten sonra boşluk oranı belirlenebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında koni penetrometre deneyinin Casagrande deneyine göre daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişkinin farklı zeminler için değişiklik göstermesi sebebi ile farklı zeminler için bir korelasyon kullanımı uygun değildir.

Likit limit değerinin aşılıp sınırlanması zeminin dayanımını kaybetmesi ve dışardan gelen bir gerilme altında sıvı gibi hareket etmesi ile ilgili bir olgudur (Moradi vd., 2014; Zhang vd., 2015; Kheirbek-Saoud ve Fleureau, 2012). Boşluk oranı azaldıkça tanelerin kenetlenmesinde iyileşme olmaktadır. İçsel sürtünme açısı da boşluk oranındaki azalma ile artış göstermektedir (Alikonis, 1995; Santana ve Candeias, 2018; Zhang vd., 2018). Casagrande deneyindeki oluğun kapanması mikro bir şev duraysızlığı olarak düşünüldüğünde, sıkı ve boşluk oranı az olan numunelerin kayma ve kapanmaya karşı direncinin yüksek olduğu öngörülebilmektedir (Ukritchon ve Keawsawasvong, 2018; Zhang vd., 2015; Duncan vd., 2014; Zhai ve Cai, 2018).

Koni penetrometre deneyi mekanizması hususunda koninin zemin içerisindeki ilerlemesi boşluk oranı ile doğrudan ilgilidir ve elde edilen sonuç sadece su içeriğine bağlı değildir. Bu sebeple, boşluk oranı göz ardı edilerek hesaplanan likit limit değerleri güvenilir olmayacaktır. Benzer şekilde, popüler arazi deneylerinden olan koni penetrasyon deneyi (CPT) ve standart penetrasyon deneyi (SPT) sonuçlarının da zemin rölatif sıkılık değeri ile güçlü korelasyona sahip olduğu bilinmektedir (Anbazhagan, 2017; Barounis ve Philpot, 2018; Muhtaba vd., 2018).

Plastik limit gelecek çalışmalar için incelenebilecek olan bir diğer konudur. Boşluk oranının doğru zemin sınıflaması yapmak için önemli bir parameter olan plastik limit üzerindeki etkileri incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

5. Sonuç

Kısaca, boşluk oranının gerek koni penetrometre ve gerek Casagrande deneyi ile belirlenen likit limit değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu değerlendirilmiştir. Boşluk oranının dikkate alınmadığı deney yöntemleri operatöre bağlı sonuçlara sebep olmaktadır ve önemli eksikliklere sahiptir. Bu konuda kullanımda olan standartların güncellenmesi gerekmektedir. Numune hacmi belirli olduğu için koni penetrometre deneyi hedef bir boşluk oranına sahip olunması için Casagrande deneyine kıyasla avantajlıdır. Boşluk oranı ile değişen likit limit değerleri sebebi ile zeminlerin sınırlanma özellikleri için tek bir likit limit değerinin dikkate alınması önerilmemektedir. Çalışmanın bir diğer çıktısı olarak, likit değerleri ve boşluk oranı arasında farklı zeminler

için geçerli genel bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sebeple, zeminlerin likit limit değerleri test yapmadan farklı boşluk oranı değerleri ile ilişkilendirilmemelidir.

Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiş ve deneyler FEN-BAP-A-150219-27 kodlu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

Kaynaklar

Alikonis, A., 1995. Ground compaction zone of structures and structural strength of soil, Journal of Civil Engineering and Management, 1(2), 65-70. <https://doi.org/10.3846/13921525.1995.10531513>

Anbazhagan, P., Uday, A., Moustafa, S.S.R., Al-Arifi, N.S.N., 2017. Soil void ratio correlation with shear wave velocities and SPT N values for Indo-Gangetic basin, Journal of Geological Society of India, 89, 398-406. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0621-z>

Andrade F.A., Al-Qureshi H.A., Hotza, D., 2011. Measuring the plasticity of clays: A review, Applied Clay Science, 51, 1–7. doi:10.1016/j.clay.2010.10.028

ASTM International, 2010. ASTM D854-10: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, 2010 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM International, 2010. ASTM D4318-10: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2010 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

ASTM International, 2019. ASTM D2216 – 19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. 2019 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Atterberg, A. 1911. Die Plastizität der Tone, Internationale Mitteilungen für Bodenkunde 1, 10–43

Barounis, N., Philpot, J., 2018. Estimation of in-situ water content and void ratio using CPT for saturated sands, Proceedings of the 4th International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'18), Eds: Hicks, M.A., Pisanò, F., Peuchen, J., 21-22 June, 2018, Delft, The Netherlands, CRC Press, pp. 129-135

Bensoula, M., Missoum, H., Bendani, K., 2018. Liquefaction potential sand-silt mixtures under static loading. Revista de la Construcción, 17(2), 196-208. doi: 10.7764/RDLC.17.2.196

British Standards Institute, 1975. Methods of Test for Soils for Engineering Purposes, London

British Standards Institute, 1990. BS 1377-2 Methods of test for soils for civil engineering purposes: Classification Tests, London

- Casagrande, A., 1932. Research on the Atterberg limits of soils, *Public Roads*, 13 (3), 121-136.
- Casagrande, A., 1958. Notes on the Design of the Liquid Limit Device, *Geotechnique*, 8, 84-91
- Clayton, C.R.I., Jukes, A.W., 1978. A One Point Cone Penetrometer Liquid Limit Test?, *Geotechnique*, 28, 469-472, <https://doi.org/10.1680/geot.1978.28.4.469>
- Duncan, J.M., Wright, S.G., Brandon, T.L., 2014. *Soil Strength and Slope Stability*, John Wiley & Sons, United States, New Jersey.
- Fiegel, G.L., Kutter, B.L., 1994. Liquefaction Mechanism for Layered Soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, Paper no: 737. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:4\(737\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:4(737))
- Hansbo, S., 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall cone test, Royal Swedish Geotechnical Institute
- Henniche, A., Belkacemi, S., 2018. Numerical Simulation to Select Proper Strain Rates during CRS Consolidation Test, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(2), 404-412. <https://doi.org/10.3311/PPci.9650>
- International Organization for Standardization, 2017. ISO 17892-6:2017: Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 6: Fall cone test. Geneva, Switzerland.
- Kheirbek-Saoud, S., Fleureau, J., 2012. Liquefaction and post-liquefaction behaviour of a soft natural clayey soil. *Geomechanics and Engineering*, 4(2), 121-134. <https://doi.org/10.12989/gae.2012.4.2.121>
- Li, Y., 2013. Effects of particle shape and size distribution on the shear strength behavior of composite soils, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 371-381. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0482-7>
- Moradi, G., Sotoubadi, M.H., Khatibi, B.R., 2014. The influence of overburden pressure on liquefaction potential, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 38, 323-337.
- Mujtaba, H., Farooq, K., Sivakugan, N., Das, B.M., 2018. Evaluation of relative density and friction angle based on SPT-N values, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 572-581. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1899-5>
- Santana, T., Candeias, M., 2018. Effect of Void Ratio on K_0 of a Sand by Means of Triaxial Stress-Path Testing, *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 257-266. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0324-7>
- Sharma, B., Sridharan, A., 2018. Liquid and plastic limits of clays by cone method, *International Journal of Geo-Engineering*, 9:22. <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0092-0>
- Sherwood, P.T., Ryley, M.D., 1970. An investigation of a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, *Géotechnique*, 20(2), 203-208. <https://doi.org/10.1680/geot.1970.20.2.203>

Stanchi, S., Catoni, M., D'Amicoa, M.E., Falsone, G., Bonifacio, E., 2017. Liquid and plastic limits of clayey, organic C-rich mountain soils: Role of organic matter and mineralogy, *Catena*, 151, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.021>

Standards Council of Canada (SCC), 2006. CAN/BNQ 2501-092/2006: Soils-determination of liquid limit by the Swedish fall cone penetrometer method and determination of plastic limit, National Standard of Canada, Ottawa, Ont.

Turkish Standards Institution (TSE), 2006. TS 1900-1: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylemleri, TSE, Bakanlıklar, Ankara

Ukritchon, B., Keawsawasvong, S., 2018. A new design equation for drained stability of conical slopes in cohesive-frictional soils, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(2), 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.10.004>

Wasti, Y., 1987. Liquid and Plastic limits as determined from the fall cone and the Casagrande methods, *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 10(1), 26-30. <https://doi.org/10.1520/GTJ10135J>

Wasti, Y., Bezirci, M.H., 1986. Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test, *Canadian Geotechnical Journal*, 23, 241-246. <https://doi.org/10.1139/t86-033>

Yilmaz, Y., Kheirjouy, A.B., Akgungor, A.P., 2016. Investigation of the Effect of Different Saturation Methods on the Undrained Shear Strength of a Clayey Soil Compacted with Standard and Modified Proctor Energies, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(3), 323-329. <https://doi.org/10.3311/PPci.8891>

Zhai, J., Cai, X., 2018. Strength Characteristics and Slope Stability of Expansive Soil from Pingdingshan, China, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, Article ID 3293619, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/3293619>.

Zhang, L.L., Fredlund M.D., Fredlund D.G., Lu, H., Wilson, G.W., 2015. The influence of the unsaturated soil zone on 2-D and 3-D slope stability analyses, *Engineering Geology*, 193, 374-383. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.05.011>

Zhang, Q., Upadhyaya, S.K., Liaoa, Q., Li, X., 2018. Determination of in-situ engineering properties of soil using an inverse solution technique and limited field tests, *Journal of Terramechanics*, 79, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.07.001>

Zhang, W., Goh, A.T.C., Zhang, Y., Chen, Y., Xiao, Y., 2015. Assessment of soil liquefaction based on capacity energy concept and multivariate adaptive regression splines, *Engineering Geology*, 188, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.01.009>

Makale Gönderim Tarihi: 5 Eylül 2019
Yayına Kabul Tarihi: 15 Aralık 2019

Yeraltısuyu Seviyesinin Açık Ocaklarda Şev Duraylılığına Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effects of Groundwater Level on Slope Stability in Open Pits

S. Eren^{1*}, C.Okay Aksoy²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

*Sorumlu yazar: eren.sibel0092@gmail.com

Özet

Sanayinin büyümesi ve teknolojinin gelişmesiyle, günümüzde hammaddeye olan ihtiyaç artmıştır. Bu hammadde talebinin karşılanması için cevherin, açık işletmeden en verimli şekilde alınabilmesi gerekmektedir. Dekapaj miktarının az, şev açılarının ise yüksek tutulduğu bir açık işletme basitçe en verimli şartlar altında çalışıyor demektir. Ancak yüksek şev açıları, şev stabilitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir. Madenin ekonomik şartlar altında işletilmesi için şev duraylılığı etütleri ve tasarım planlama için toplanan veriler, bu aşamada büyük bir öneme sahiptir. Uygun tasarım ve boyutlandırma için işletme sahasının jeolojik-jeofizik özellikleri tanımlanmalı, süreksizlikleri belirlenmeli ve yeraltı suyu durumu iyi bir şekilde ortaya koyulmalıdır. Bu çalışma kapsamında yeraltısuyu seviyesindeki değişimlerin şev duraylılığına etkileri sayısal modelleme yöntemleri ile zamana bağlı akış çözümlenmeleri yapılarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şev duraylılığı, Yeraltı suyu, Nümerik modelleme, Zamana bağlı analiz, Akış analizi

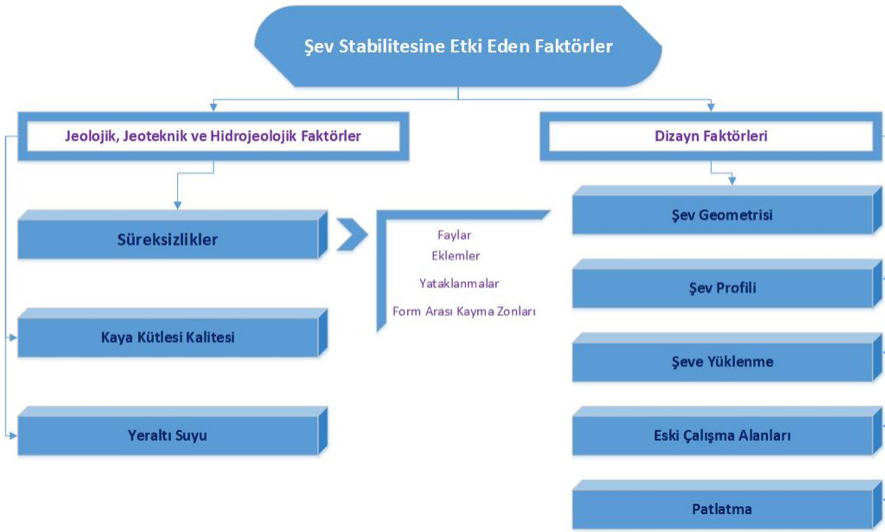
Abstract

With the growth of industry and the development of technology, the need for raw materials has increased. In order to meet this raw material demand, the ore must be taken from the open pits in the most efficient way. An open pit operation in which the excavation amount is low and the slope angles are kept high is simply working under the most efficient conditions. However, high slope angles bring about slope stability problems. The data collected for slope stability studies and design planning for the operation of the mine under economic conditions is of great importance at this stage. The geological-geophysical characteristics of the operation area should be defined for proper design and dimensioning, discontinuities should be determined and the groundwater situation should be well established. In this study, the effects of changes in groundwater level on slope stability were investigated by using time dependent flow analysis with numerical modeling methods.

Keywords: *Slope stability, Groundwater, Numerical modeling, Time-dependent analysis, Flow analysis*

1. Giriş

Bir açık işletmenin ekonomik olarak işletilebilmesi için dekapaj miktarının en az seviyede, buna karşın basamak şev açıları ise en yüksek seviyede tutulması gerekir. Ancak emniyetli bir çalışma ortamı yaratmak için genellikle bu açılar düşük olur. Artan hammadde talebi açık ocak maden işletmelerinin gittikçe derinleşerek, büyümesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu aşamada şev stabilite kontrolü önem kazanır. Açık ocağın bulunduğu sahanın jeolojik ve jeofizik özelliklerinin belirlenmesi, süreksizliklerinin saptanması ve yeraltı suyu dinamiğinin ortaya koyulması şev duraylılığı için yapılacak olan mühendislik çalışmalarına temel oluşturur. Şev stabilitesine etki eden faktörleri Şekil 1'den de görülebileceği üzere iki başlık altında toplamak mümkündür (Atkinson, 1977).



Şekil 1. Şev stabilitesine etki eden faktörler (Atkinson, 1977).

Bu çalışma kapsamında özel olarak yeraltı su dinamiğinin, şev duraylılığı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Yüzeysel su birikintileri, yağmur ve sel suları, ıslak dekapaj, kapalı işletmelere dolan sular ve yeraltı suları ocağa giren suyun çeşitli kaynaklarını oluşturmaktadır (Kızıllı ve Köse, 1995).

Singh ve Denby (1989)'nin belirttiği üzere yeraltı suları kayacın efektif dayanımını azaltarak, kayaç içinde bir su basıncı oluşturur. Bunun yanı sıra yeraltı suları kaya kütlelerinin kesme dayanımını azaltır ve kayacın bozulmasına neden olur.

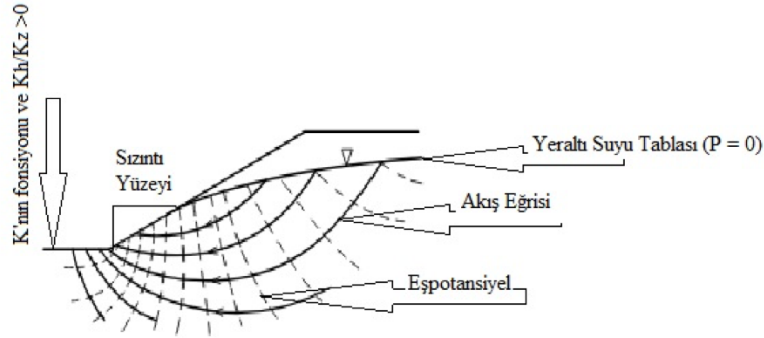
Singh ve Ghose (2006) ise bir kayma düzlemi boyunca kaymaya karşı direncin, sadece kaya kütlelerinin kesme dayanımına değil, aynı zamanda kayma yüzeyi boyunca etkiyen normal gerilmelere de bağlı olduğunu belirtmiştir. Buradan yola çıkarak yeraltı sularının, şev stabilitesi üzerine etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Su, kil ve şeyl yüzeylerini kayganlaştırarak kohezyon dayanımını azaltır ve içsel sürtünme açısını (ϕ) düşürür.
- Kayma yüzeyi boyunca etkiyen normal gerilmeleri azaltır.
- Şev üzerine gelen ölü ağırlığı artırır.
- Kazı yönünde basınç kuvveti oluşturur
- Patlatmada, hidromekanik şok dalgalarına sebep olur.

Yataklanma, foliasyon ve iki kayacın ayrılma-birleşme noktalarında ise su basıncı etkileri daha fazla çıkmaktadır. Su problemlerine sahip bir şev olduğu yoksayılarak, düzleştirilebilse de, şev drenajı (susuzlaştırma) yöntemi daha çok tercih edilen ve ekonomik bir yöntemdir (Atkinson, 2000).

1.1 Yeraltı Sularının Temel Hidrolik Prensipleri

Yeraltı suyu hidroliği üzerinde bir anlayış geliştirmek için öncelikle Şekil 2’de gösterilen, şevdeki yeraltı suyu akış sistemini anlamak önemlidir. Gözeneklerdeki basıncın, atmosferik basınca göre sıfır ($P=0$) olduğu doymuş ve doymamış kaya kütlesi arasındaki sınır “yeraltı suyu tablası” olarak adlandırılır. Su tablası ile kesişen veya şev üzerinde mostra veren ve aynı zamanda $P = 0$ olan yüzey, sızıntı aynasının tepesidir. Sızıntı yüzeyinin yüksekliği, hidrolik iletkenliğin ve eğimi oluşturan malzemelerin yatay-dikey anizotropisinin bir fonksiyonudur. Düşük hidrolik iletkenliğe ve geniş yanaldan-dikeye hidrolik iletkenlik oranına sahip malzeme, daha geçirgen ve izotropik kaya kütlelerinde olduğundan daha yüksek sızıntı yüzeyine sahip olacaktır. Sızıntı yüzeyinin yüksekliği her zaman sıfırdan büyüktür (Atkinson, 2000). Şekil 2’de ayrıca eşpotansiyel çizgileri ve teorik akış çizgilerine dair bir ağ gösterilmektedir.



Şekil 2. Bir şevdeki yeraltı suyu akışının sistematığı (Singh ve Atkins, 1984).

Kayada yapılan her madencilik işlemi akmayan yeraltı sularından “akan artezyen” koşulları yaratır. Bir kayacın, yeraltı suyu akışına göre en önemli özelliği hidrolik iletkenliğidir. Homojen ve izotropik bir kaya malzemesi için hidrolik iletkenlik (K), Darcy yasasından türetilmiştir. Hidrolik iletkenlik, bir birim alandaki akış hızı olarak tanımlanır.

$$K = Q / A \quad (1)$$

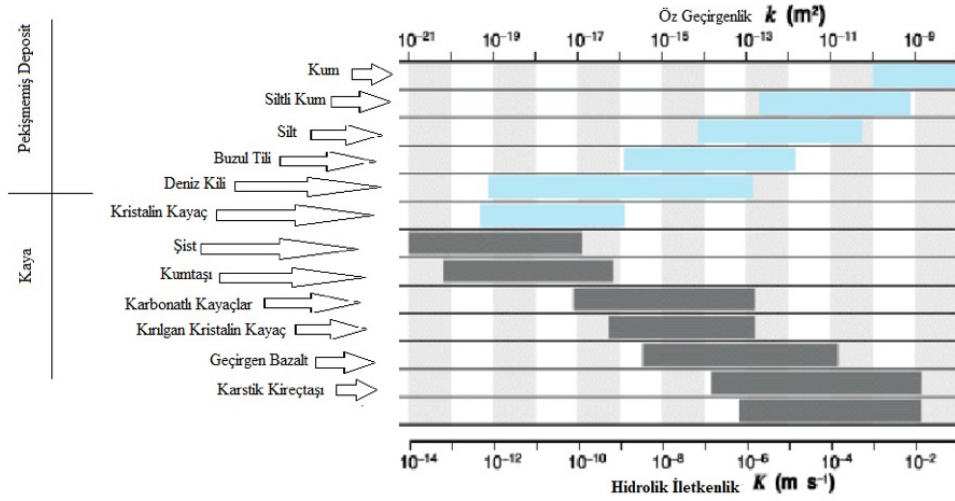
Burada;

K = Hidrolik iletkenlik [L/T]

Q = Debi [L^3/T]

A = Kesit alanı [L^2] dır.

Kaya malzemeleri için literatürde on üç farklı aralıkta (K) değeri belirlenmiştir (Şekil 3). Bir maden sahasında farklı (K) değerine sahip birden fazla malzeme olması beklenen bir durumdur. Bu tarz bölgelerde analizler için değerlendirme yapılırken hidrolik iletkenliğin yanı sıra kaya malzemesinin jeolojik özellikleri ve süreksizlikleri de göz önünde bulundurulur.



Şekil 3. Farklı jeolojik malzemelerin Hidrolik İletkenlik (K) değerleri (Atkinson, 2000)

1.2 Yeraltı Sularının Duraysızlığa Neden Olduğu Şevlerde Sağlamaştırma Yöntemleri

Bir şev üzerinde kaymanın ne zaman olacağını öngörmek çoğu zaman pek mümkün olmamaktadır. Ancak ufak kaymalar ve çökmeler, yer yer belirginleşen oturmalar ve topoğrafyada meydana gelen değişimler bir şev kayması olayının yaşanabileceğini gösteren durumlardır. Kesin bilgilere ise sahada yapılan uzun süreli gözlem ve ölçümler sonucunda ulaşılabilir ve kaymanın asıl nedeni belirlendikten sonra gerekli tedbirler alınabilir.

Şevin duraylılığını bozan sebepler şu şekilde özetlenebilir (Kızıllı ve Köse, 1995):

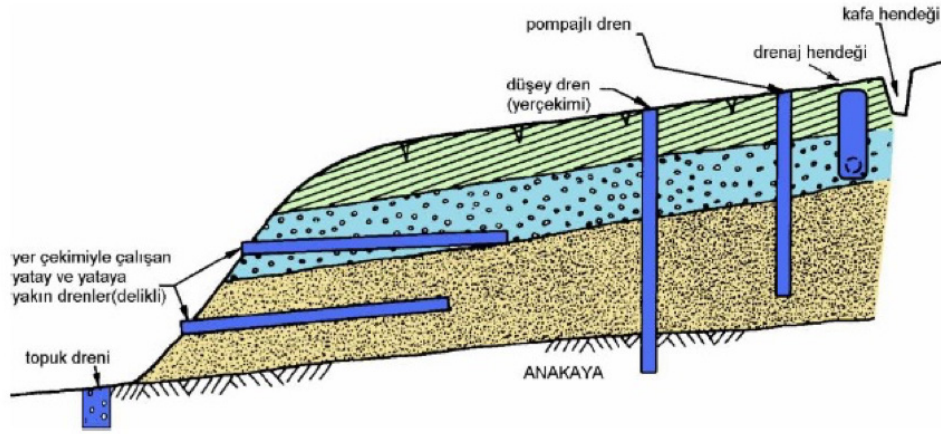
- Şev çok yüksek veya çok dik olabilir.
- Şevin kaya kütlesi özellikleri, mevcut şevi taşıyabilecek özelliklere sahip olmayabilir.
- Yeraltı suyu seviyesi ve su basıncı çok yüksek olup, kayacın dayanımını azaltıyor olabilir.
- Şev aşırı yağmur ve sel sularına maruz kalmış olabilir.
- Makineler ve dekapaj tarafından aşırı yüklenmiş olabilir.

1.2.1 Şevlerin Drenajı

Şev dengesini bozan su basıncının ortadan kaldırılmasına yönelik olarak şevler drene edilir. Şev drenajı, dengiyi koruyucu ve arttırıcı bir etkiye sahiptir. Bir şeve drenaj yapılacaksa şu noktalarda dikkatli olunması gerekmektedir:

- Yüzey sularının, gerilim çatlaklarından veya eklem yerlerinden şeve akmasının önlenmesi,
- Olası kayma yüzeyi çevresinde seçimli temel drenaj ile su basıncının düşürülmesi,
- Drenaj konumunun şevin yakın çevresinde drenaj sağlayacak şekilde saptanması.

Bir maden ocağında, şevlerin drene edilmesi için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler kısaca şöyledir; yüzey drenajı, yatay drenaj galerileri, toplayıcı drenajlar, düşey drenaj kuyuları, drenaj galerileri (Kızıllı ve Köse, 1995). Şekil 4'de genel olarak drenaj yöntemlerine dair bir görüntü verilmektedir.



Şekil 4. Şev drenaj yöntemleri (Paşamehmetoğlu vd.,1977)

2. Materyal ve Metod

Yeraltı sularının açık ocaklarda duraylılığı etkilerinin araştırılması konusu kapsamında öncelikle bir şevin duraylılığına etki eden parametreler ortaya konulmuştur. Şev stabilitesine etki eden parametreler "Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik" ve "Dizayn faktörleri" olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik faktörlerden biri olan yeraltı suyu koşullarının bir şevin duraylılığına nasıl etki ettiği ise bu çalışmanın ana konusunu oluşturmuştur. Aksoy vd. (2016) farklı modeller ile derin açık işletmelerdeki şev duraylılığı üzerine yaptıkları statik analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriterinin daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

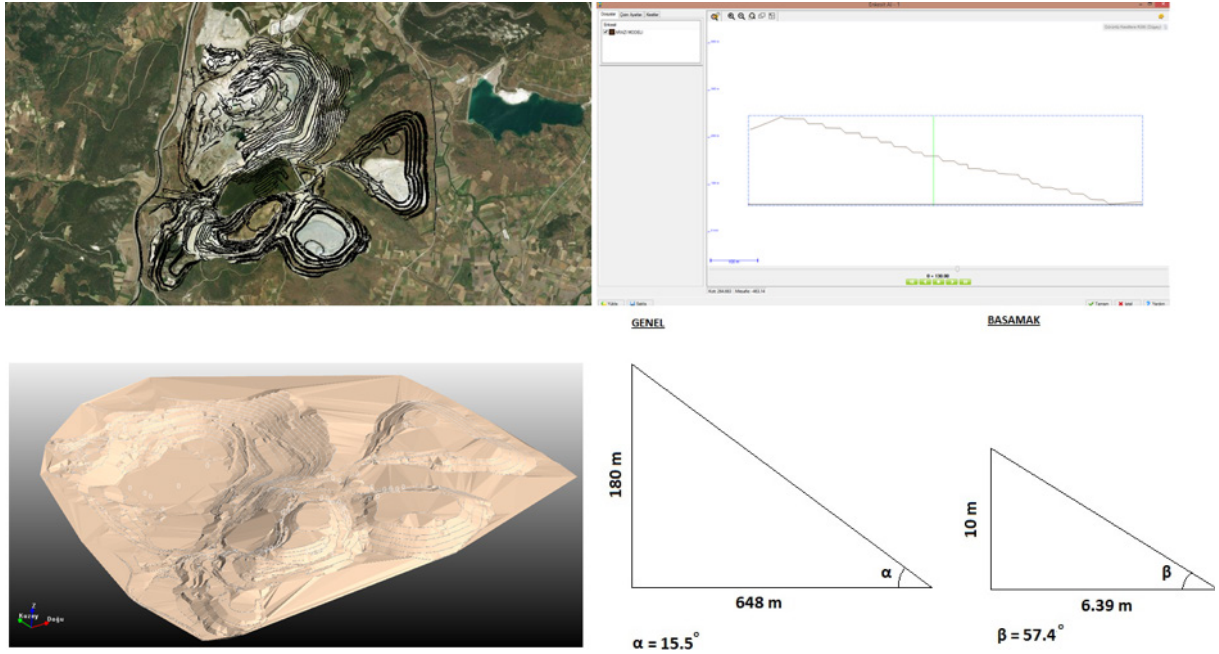
Yeraltı suları, şevde su basıncını arttırarak dayanımını azaltır. Başka bir deyişle yeraltı sularının varlığı kaya kütlelerinde kohezyonu, içsel sürtünme açısını ve yüzey boyunca etkiyen normal gerilme kuvvetlerini düşürmektedir. Şev duraysızlığı, çalışma şartlarında tehlike yarattığından çalışılan saha kontrol altında tutulmalıdır. Bunun için çeşitli ön uyarılar sahada görülebilse de daha karmaşık mühendislik çalışmaları gereklidir. Öncelikle sahanın jeolojik ve jeoteknik özellikleri çok iyi bir şekilde bilinmelidir. Daha sonra ise saha gözlemlenerek, analizler yapılmalı ve gereken tedbirler probleme yönelik olarak alınmalıdır.

Şevde duraysızlık sebebinin yeraltı suları olduğu saptandığı takdirde, yapılacak tedbir çalışmalarında sahadaki kaya malzemesinin hidrolik iletkenlik değeri (K), en az kayacın jeolojik özellikleri ve içerdiği süreksizlikler kadar önem taşımaktadır. Hidrolik iletkenlik değeri basitçe Darcy kanunundan türemiş bir eşitliğe sahip olup, birim alana düşen debi miktarı olarak tanımlanmaktadır. Hidrolik iletkenlik değeri homojen ve izotropik özellikler içeren on üç farklı değerde tanımlanmıştır. Fakat bu değerlerin tek bir tanesini bir maden sahası için kullanmak çok mümkün değildir. Pratikte en az dört farklı kaya malzemesi veya toprak için birleştirilmiş değerlere ihtiyaç duyulur.

Duraysızlığın kaynağının tespit edildiği şevlerde, nedenin yeraltı sularına bağlı olduğu bulunmuşsa çözüm olarak susuzlaştırma (drenaj) yöntemlerinden biri uygulanabilir. Bu susuzlaştırma yöntemleri arasında yüzey drenajı, toplayıcı drenaj, yatay drenaj galerileri, düşey drenaj kuyuları ve drenaj galeri yöntemleri vardır. Bu drenaj yöntemlerinin uygulandığı ocaklarda suların izlenmesi ve gerekli ölçümlere devam edilmesi ve ayrıca sahanın gözlemlenmeye devam etmesi de emniyet şartları açısından önemlidir. Bu çalışmada, yeraltı su seviyesinde

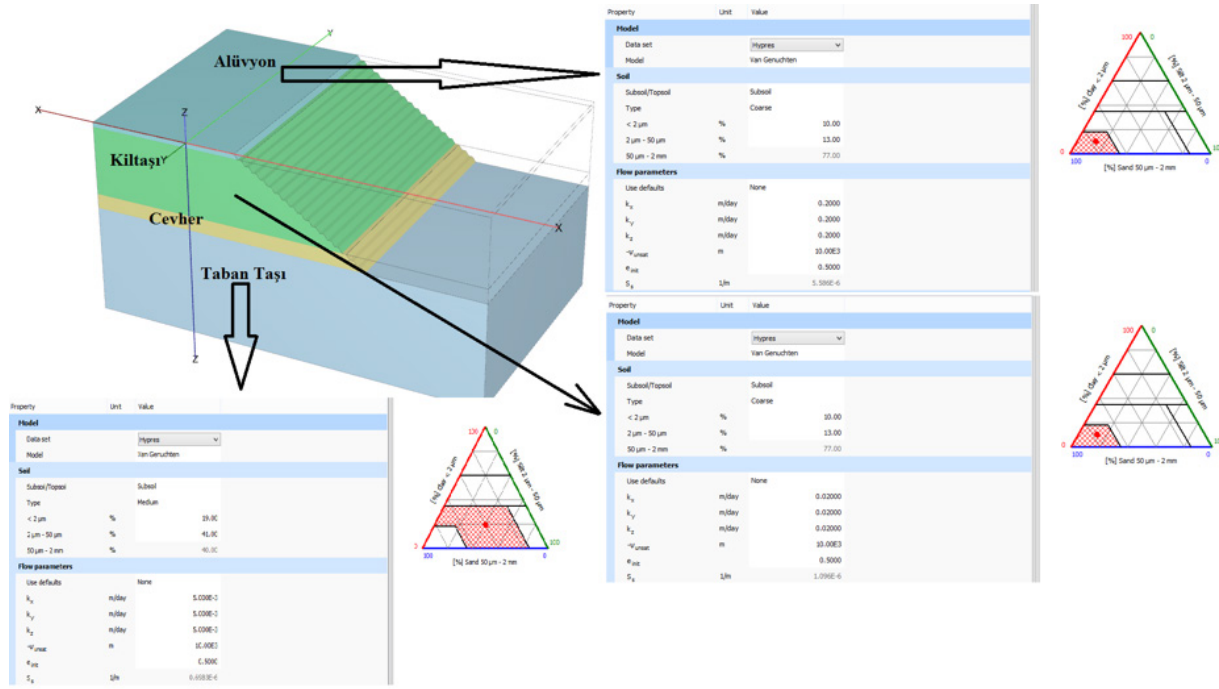
uzun süreç içerisinde oluşan değişimlerin şev duraylılığı üzerine etkileri sayısal modelleme yöntemi ile gerçekleştirilen zamana bağlı akış analizleri ile incelenmiştir. Modeli oluşturabilmek için Bigadiç'te bulunan bir açık işletmenin işletme boyut parametreleri kullanılarak yeraltı su seviyesinin farklı seviyelerde olması durumunda şevlerde oluşan deformasyonlar, gerilmeler ve yeraltı suyu akışları ile güvenlik faktörleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Modelin boyutları 650×700×500 m olarak oluşturulmuştur. Modelde, Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmıştır.

Açık işletmenin ocak plan görünümü, 3B görünümü, genel şev geometrisi ve basamak geometrisi Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 5'ten de görüleceği üzere genel şev açısı 15.50 ve basamak şev açısı ise 57.4°'dir.



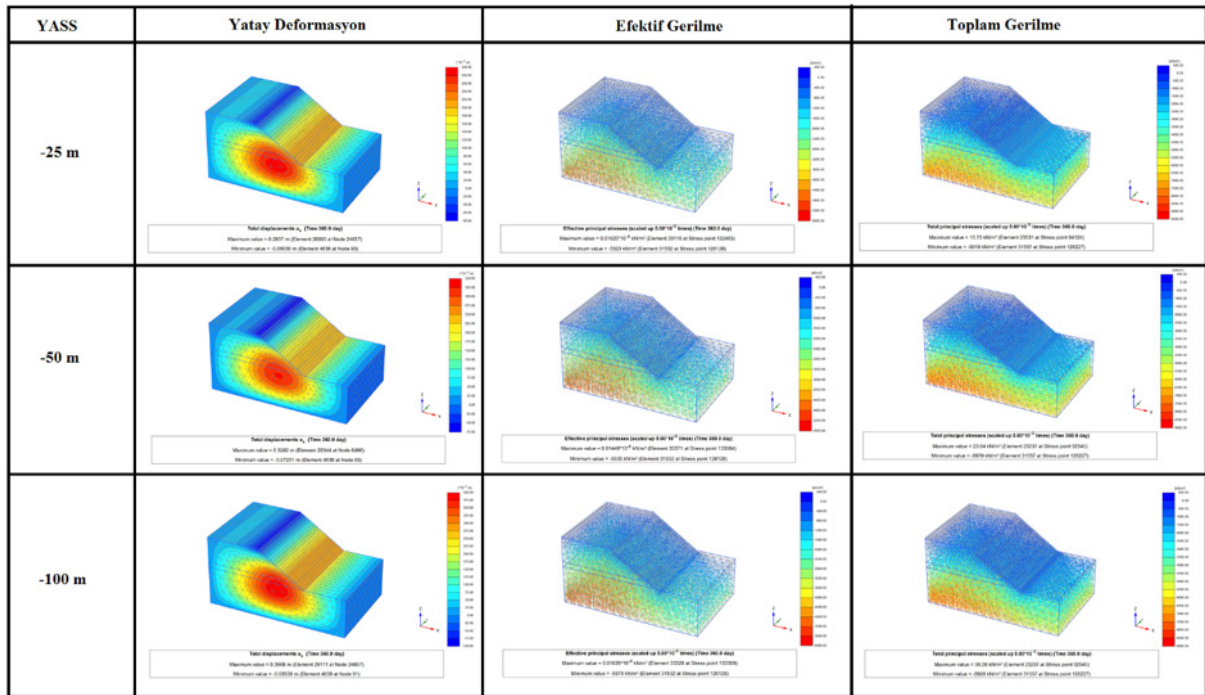
Şekil 5. Araştırmaya konu olan açık işletmenin geometrik bilgileri

Bu kapsamda gerçekleştirilen sayısal modelleme ana modeli ve birimlere ait bazı bilgiler Şekil 6'da verilmektedir.

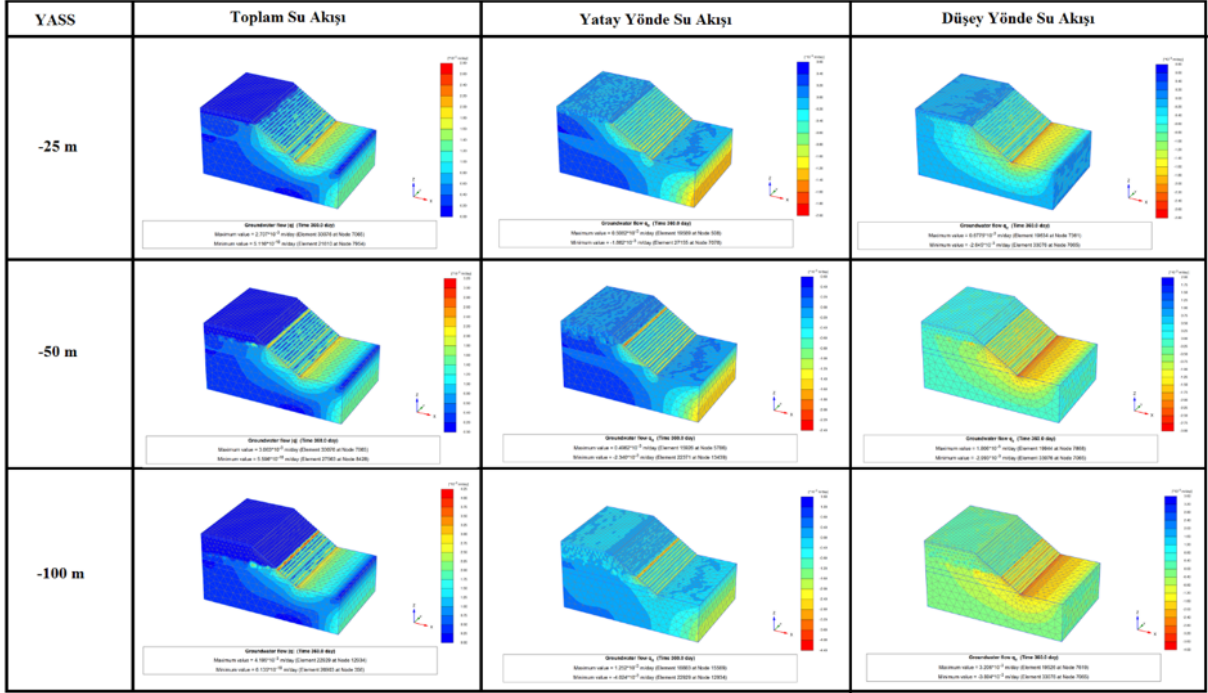


Şekil 6. Sayısal analizde kullanılan geometri ve kaya kütlesi özellikleri

Sayısal modellemede zamana bağlı akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde süre olarak 360 gün kullanılmıştır. Bu aşamada, farklı senaryolar oluşturmak için yeraltı su seviyesinin -25, -50 ve -100 m'de olduğu düşünülmüştür. Her bir su seviyesinde 360 günlük analizler gerçekleştirilmiş olup, bu analizlerde akış modeli olarak Van Ganuchen Modeli kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 7'de bu analizler sonucu elde edilen yatay deformasyon, efektif gerilme ve toplam gerilmeler özetlenmektedir. Şekil 8'de ise 360 günlük analiz sonucunda 3 boyutlu toplam su akışı, yatay ve düşey su akışları görülmektedir.



Şekil 7. Farklı yeraltı su seviyelerinde yatay deformasyon, efektif ve toplam gerilmeler



Şekil 8. Zamana bağlı akış analizi yeraltı suyu akış miktarları

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yeraltı su seviyesinin -25 m'de olduğu durum için yatay deformasyon miktarı 29 cm iken, bu modelde oluşan efektif gerilme miktarı 5.3 MPa ve toplam gerilme miktarı 9.02 MPa olarak tahmin edilmektedir. Bu modeldeki su akışlarına bakıldığında sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.027 m/gün (şev topuğunda), 0.017 m/gün ve 0.026 m/gün olarak gerçekleşmiştir. Bu modelin hesaplanan güvenlik faktörü 1.842'dir.

Yeraltı su seviyesinin -50'de m olduğu durum için yatay deformasyon 32 cm iken, efektif ve toplam gerilmeler sırasıyla 5.53 MPa ve 8.98 MPa olarak belirlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin -50 m'de olduğu durum için sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.03 m/gün (şev topuğunda ve 50. m'de), 0.02 m/gün ve 0.029 m/gün (şev topuğunda) olarak gerçekleşmiş ve bu modelde hesaplanan güvenlik faktörü 1.844 olmuştur.

(-100) m'de yeraltı su seviyesi için yapılan zamana bağlı akış analizinde yatay deformasyon miktarı 39 cm iken, efektif gerilme 5.97 MPa ve toplam gerilme 8.92 MPa olarak tahmin edilmiştir. Sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.042 m/gün (şev topuğunda 100 m'de), 4.02 m/gün (100 m'de) ve 3.6 m/gün olarak belirlenmiştir. Bu modelde hesaplanan güvenlik faktörü 1.852 olmuştur.

Bütün bu sonuçlar incelendiğinde, açık işletmenin içinde bulunduğu jeolojik birimlerin geçirimsizliklerinin önemli etkisi olduğu görülmüştür. Yeraltı su seviyesi azaldıkça yatay deformasyonların ve efektif gerilmelerin arttığı ancak toplam gerilmelerin ise düştüğü görülmektedir. Bunlara ek olarak, yeraltı suyunun akışları incelendiğinde, genel şev topuğunda ve yeraltı suyu seviyesinde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Yeraltı su seviyesindeki düşüş ile güvenlik faktöründe artış olmaktadır. Güvenlik faktöründeki bu artış, birimlerin geçirimsizlikleri ile ilgilidir. Daha fazla geçirimsizliğe sahip jeolojik birimlerde su seviyesindeki değişiklik güvenlik faktörünü daha çok etkileyecektir.

Kaynaklar

Aksoy C.O., Uyar G.G., Özcelik Y., "Comparison of Hoek-Brown and Mohr-Coulomb failure criterion for deep open coal mine slope stability", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 60, No. 5 (2016) 809- 828.

Atkinson, L.C., 2000. *Slope Stability in Surface Mining. The role and Mitigation of Groundwater in Slope Stability*, Colorado, USA.

Atkinson, T., 1977. *Surface Mining. De ingénieur*, jrg 89, nr 28/29.

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications. A Complete Manual For Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering*, John Wiley & Sons.

Kızıl, M. ve Köse, H., 1995. *Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi*. DEU Mühendislik Fakültesi Yayını, İzmir.

Paşaaahmetoğlu, A.G. ve Karpuz, C., 1991. *Kaya Şev Stabilitesi*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Singh, R. H. Ve Atkins, A.S., 1984. Application of analytical solutions to simulate some mine inflow problems in underground coal mining. *International Journal of Mine Water*. 3:4:1-27.

Singh, R. N. ve Denby, B., 1989. *Geotechnical Engineering Course. Part I, II, III, and IV*, Held at The University of Nottingham, England.

Singh, R.N. ve Ghose, A.K., 2006. *Engineered Rock Structures in Mining and Civil Construction*.

Stability Analysis of Surface Mining Slope. Taylor & Francis, England.

Makale Gönderim Tarihi: 16 Temmuz 2019

Yayına Kabul Tarihi: 27 Ekim 2019

Perlit Ve Traverten Atıkları İle Üretilen Puzolanik Çimentoların Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation Of The Engineering Properties Of Puzolanic Cement Produced With Perlite And Travertine Wastes

Abdul Vahap KORKMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Sorumlu yazar: avkorkmaz@aku.edu.tr

Özet

Endüstriyel atıkların çevreye olan zararları gözardı edilmeyecek derecede önemlidir. Ülkemizde bulunan traverten atıklarının değerlendirilmesi, hem çevre kirliliği hem de ülke ekonomisine katkısından dolayı, önemlidir. Dolayısıyla, traverten atıklarının; çimento üretiminde kullanımı ekonomiye önemli katkı sağlayacaktır. Öncelikle malzeme olarak kullanılabilirliği ortaya konulduktan sonra, atıklara yakın ortak alanda kurulacak olan tesisler ile atıklar hızlıca sektöre kaynak olarak dönebilecektir. Traverten atıkları ile üretilen çimentoların beton dayanım bakımından da iyi sonuçlar vermesi halinde; hiçbir maliyeti olmayan traverten atıklarıyla üretilecek olan çimento ve betonlar daha uygun fiyat ile kullanıma sokulabilir. Yapılan bu çalışmada Tokat-Turhal yöresindeki traverten fabrikası atıklarının çimentoya katkı maddesi olarak ilave edilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Traverten atığı ve perlit % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında çimento klinkerine katılarak hazırlanan çimentoların priz süresi, hacim genişmesi, basınç dayanımı ve öğütme performansı gibi fiziksel özellikleri incelemek TS 24 değerleri ile uyum halinde olduğu ve bu katkıların en fazla %20 oranına kadar çimentoya katılarak değerlendirilebileceği gözlemlendi. Hazırlanan katkılı çimentoların kimyasal analizleri XRF (XRyay Floresans) tekniği ile yapılarak Türk Standartları'nın değerleri ile uyumlu olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Traverten, perlit, çimento, öğütme, dayanım, XRF.

Abstract

The damages to the environment of industrial wastes are important to be ignored. Especially the evaluation of travertine wastes arising from the richness of groundwater in our country is important due to both environmental pollution and contribution to the national economy. Therefore, travertine wastes; its use in cement production will make a significant contribution to the economy. First of all, once the usability of the material has been demonstrated, the facilities to be established in the common area close to the wastes will be able to return wastes to the sector as a resource. If the cements produced with travertine wastes give good results in terms of concrete strength; cement and concrete to be produced with travertine wastes, which have no cost, can be put into use at a more affordable price. In this study, it is aimed to add and evaluate the wastes of travertine factory in Tokat-Turhal region as additive to cement. Travertine waste and perlite 5%, 10%, 15% and 20% of the cement prepared by adding the cement clinker setting time, volume expansion, compressive strength and grinding performance by examining the physical properties of the TS 24 values are in compliance with the maximum of 20% It can be evaluated by adding up to the cement. The chemical analyzes of the doped cements prepared by XRF (XRyay Florescence) technique were found to be consistent with the values of Turkish Standards.

Keywords: Travertine, perlite, cement, grinding, strength, XRF.

1. Giriş

Dünyada atıkların değerlendirilmesi ile ilgili yürütülen çalışmaların tarihi son 40 yıllık bir süreci kapsamaktadır. Özellikle Avrupa ve eski doğu bloğu ülkelerinde atık problemi ekolojik dengeyi bozacak, insan ve çevre sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşınca atık sorununun çözümü için değişik alternatifler aranmaya başlanmıştır. Bu çabaların büyük bir kısmı atığın çevre ve insan sağlığını tehdit etmeyecek şekilde depolanması anlayışına dayansa da bir diğer kısmını ise atıkların ya olduğu gibi ya da fiziksel ve kimyasal yapısının başka ürünlerle değiştirilerek bir katkı maddesi olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Bu nedenle özellikle ürün sayısındaki çeşitliliği dikkate alınarak çimento sanayinde değişik ürünlerin üretiminde atık malzemeler değerlendirilmeye başlanmıştır. Dünyada yaşanan bu gelişmelere paralel olarak Türkiye’de de bu anlayışın gelişmesi sonucu son yıllarda atık malzemelerin başka bir malzeme içerisinde değerlendirilmesi çabaları anlam kazanmıştır. Özellikle üniversiteler gibi bilim merkezlerinde bu yöndeki çabalar azımsanmayacak ölçtedir. Yapılan ve yapılacak olan bu çalışmalar sonucunda; atıkların depolama maliyeti azalacak, çevre kirliliği en aza indirgenecek, atık malzemenin içine katıldığı madde daha ekonomik elde edilebilecek ve teknik yönden verimi daha iyi ürünler ortaya çıkabilecektir

Çevresel kaynakların korunmasına bağlı olarak endüstriyel atıkların, çimento ve betonda katkı veya ikame malzemesi olarak kullanılmasına ilişkin geçmişten günümüze birçok çalışma yapılmıştır. Bu atıklar içerisinde en yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri de traverten atıklarıdır. Dünya’daki gelişmeler ve hızlı nüfus artışına paralel olarak daha fazla yapıya, bu yapılaşmaya paralel olarak da daha fazla betona ve dolayısı ile de çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılarda malzemeleri birbirine bağlamak için dünya da en fazla kullanılan bağlayıcı malzeme çimentodur (Worrell ve diğ., 2000). Fazla miktarda enerji tüketimi ve atmosfere salmış olduğu CO₂ miktarı nedeniyle, dünyada tartışılan çözüm arayışının yoğun olduğu bir konudur. Bu yüzden beton ve çimento sektöründe puzolanik malzemeler kullanılarak, hem ekolojik dengeye hem de ekonomiye katkı sağlanmaktadır (Chen vd., 2010).

Hem doğal (zeolit, perlit, tras vb.) hem de yapay (uçucu kül, taban külü, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb.) puzolanik malzemeler uzun zamandır çimento ve betonda katkı veya ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Puzolanik katkıları, çimentoların performanslarının geliştirilmesinde birçok çalışmaya konu olmuştur. Puzolanlar; çimentoda ekonomiklik (Worrell ve diğ., 2000), permabilitiyi azaltması (Shiqun ve Della, 1986), alkali agrega gelişiminin kontrolü (Prigione, 1987), kimyasal direnç sağlaması (Saraswathy ve diğ., 2003), hafiflik (Khandaker ve Anwar, 2004; Aruntağ ve Tokyay, 1996), atıkların değerlendirilmesi (Fu ve diğ., 2002), betonun rötresini azaltması (Homwuttiwong ve Sirivivatnanon, 2004; Kanna ve diğ., 1998) ve mukavemetlerde artış (Pekmezci ve Akyüz, 2004; Turanlı ve diğ., 2004, Yılmaz ve diğ., 2007; Yılmaz ve Olgun, 2008) gibi avantajlar sağlaması nedeniyle üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir alandır. Bu puzolanik malzemelerin arasında en çok kullanılanlardan biri de traverten atıkları ve perlittir (Aruntaş, 2006).

Perlit katkısı öğütme yardımcılarıyla birlikte kullanılarak öğütülen çimentodan yapılan betonların basınç dayanımlarındaki değişimin araştırılması gerekmektedir. Bu sayede artabilecek beton performansı ile çimentolarda klinker kullanım yüzdesi düşürülebilir yani katkılı çimento üretimi artırılabilir. Klinkerin nihai çimentoda daha az kullanılması ise birim çimento miktarı için daha az elektrik enerjisi, daha az fosil yakıt tüketimi, daha az kalsiyum karbonat kalsinasyonu dolayısıyla daha az CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir. Ayrıca dünya perlit rezervinin

büyük kısmına sahip olan ülkemizde ekonomik katma değeri yüksek alanlarda, perlit malzemesinin kullanımı sağlanmış olacaktır (Yazıcıoğlu, 2016).

1. Çimento Hammaddeleri ve Katkı Maddeleri

Çimento; CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi bileşenlerin uygun sıcaklıkta pişirilip isteğe göre katkı maddelerinin eklenip öğütülmesi sonucu meydana gelir. Bu mineralleri oluşturan hammaddeler; kalker, kil ve ayrıca bunların doğal orantılanmış hali olan marndır. Kireç taşından veya kalkerden çimento için gerekli olan kalsiyum karbonat elde edilir. Kilden ise silisyum oksit, alüminyum oksit ve demir oksit gereksinimleri karşılanır. Eğer kilden alüminyum ve demir oksit ihtiyacı karşılanamıyorsa hammadde karışımı olan farine yeterli oranlarda kuvars ve demir mineralleri eklenir. Ayrıca bunların yanında istenilen özelliğe ve niteliğe göre çimentoya çeşitli hammaddeler ilave edilir. Bunlar puzolonik maddeler, demir ve alüminyum cevheri, doğal alçı ve yapay alçı olarak sıralayabiliriz (Heikal vd., 2000).

1.1. Perlit Katkısı

Ülkemizde önemli perlit rezervleri, tersiyer-erken orta kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde yoğunlaşmıştır. Genel olarak riyolitik volkanizmalarla ilgilidir. Türkiye'deki perlit oluşumları yüzeye oldukça yakın oluşumlar olduğundan (Perlit cevheri yataklarının derinliği 25-90 m arasındadır.) üretim zorluğu bulunmamaktadır. Aynı şekilde perlit kalitemizde oldukça iyidir. Tüm bu avantajlara rağmen rezerv payını üretime yansıtamamaktadır (Yu vd., 2003).

Perlit cevheri açık işletmecilik metodu ile genellikle patlatılarak yapılır. Daha sonra kırma, öğütme, sınıflandırma işlemlerini takiben genleştirme işlemi yapılmaktadır. Perlit madenciliği çoğunlukla yerleşim alanlarından uzak bölgelerde yapıldığından ve işgal ettiği alanların az olmasından dolayı ciddi bir sorun çıkarmaz. Terk edilen ocaklarda açıkta kalan posa malzemesinin de çevre sağlığı için bir problem yaratmadığı bilinmektedir. Aslında perlitin ocağının işlenmesi kimyasal işlem değil fiziksel işlemlerle sağlandığı için üretimden kaynaklanan atıklar bulunmamaktadır. Sadece kırma-eleme işlemleri esnasında çok toz çıkışı olabileceğinden bu ünitelerin bulunduğu yerlere toz tutma ekipmanları yerleştirilmektedir (MTA, 1985).

Ham perlit kimyasal bileşimi itibariyle silisli ve alüminyumlu bileşikler içerdiğinden kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterir. Bu özelliği nedeniyle inşaat sektöründen ham perlit olarak talep gelmektedir. Doğal agrega olarak bulunan perlitin ülkemizde geniş rezervleri vardır (özellikle Erzincan, Nevşehir, Ankara civarındaki perlit yatakları) (Bulgu, 2003)

Nevşehir Bölgesi yaygın volkanizma ilde önemli pomza, perlit, kaolen ve kum çakıl yataklarının oluşumuna neden olmuştur. Perlit yatakları Acıgöl ilçesinde yer almakta olup, ilçedeki perlitlerin genleşme oranları 2,3 ile 16 arasında değişmektedir. Yatakların toplam rezervi 450 milyon ton civarındadır. Derinkuyu ilçesindeki sahalarındaki orta kaliteli perlitlerin genleşme oranı 3,2-4,5 arasında değişmekte olup, sahalarda toplam 320 milyon ton olarak jeolojik rezerv belirlenmiştir (MTA, 1985).

1.2. Traverten Atıkları

Traverten; kalsiyum karbonat (CaCO₃) veya kalsiyum bikarbonat (Ca(HCO₃)₂) içerikli sızıntı suları veya kaynak sularının yeraltındaki kırık ve çatlaklarda, mağaralarda, fay hatlarında ve yeryüzünde, dış basıncın azalmasına bağlı olarak CO₂ basıncının düşmesi sonucu bu kaynak sularının hızlı bir çökelim göstermesiyle oluşan kimyasal sedimanter kayalardır. Travertenler

ülkemizde yaygın olarak gözlenmektedir. Denizli- Pamukkale, Antalya, Adana, Mersin, Van-Başkale, Tokat (Turhal, Artova, Sulusaray), Sivas (Sıcak Çermik, Uyuz, Sarıkaya, Soğuk Çermik), Konya, Kayseri, Eskişehir, Erzurum-Hölenk, Bolu-Akkale travertenin gözleendiği yerlerden bazılarıdır. Şekil 1'de Türkiye haritası üzerinde travertenlerin gözleendiği alanlar verilmiştir (Çobanoğlu vd., 2014).



Şekil 1. Türkiye haritası üzerinde travertenlerin gözleendiği alanlar

Tokat bölgesinde bulunan traverten yatakları Türkiye'nin önde gelen traverten yataklarındandır. Bölgede traverteni işleyen birçok işletme tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler traverteni bloklar halinde çıkartarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmak üzere gerekli kesim işlemlerinden geçirmektedir. Traverten ocaklarında sayalama ve fabrikada blok kesim işlemleri sırasında blokların parçalanması, dağılması gibi sonuçlar sebebiyle kullanılmayan atık yığınları oluşmaktadır. Bu atıklar bir atık alanında depolanmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Şekil 2'de traverten ve atık sahasının genel görünümü verilmiştir (Erkek ve Özdemir, 2011).



Şekil 2. Traverten sahasının genel görünümü

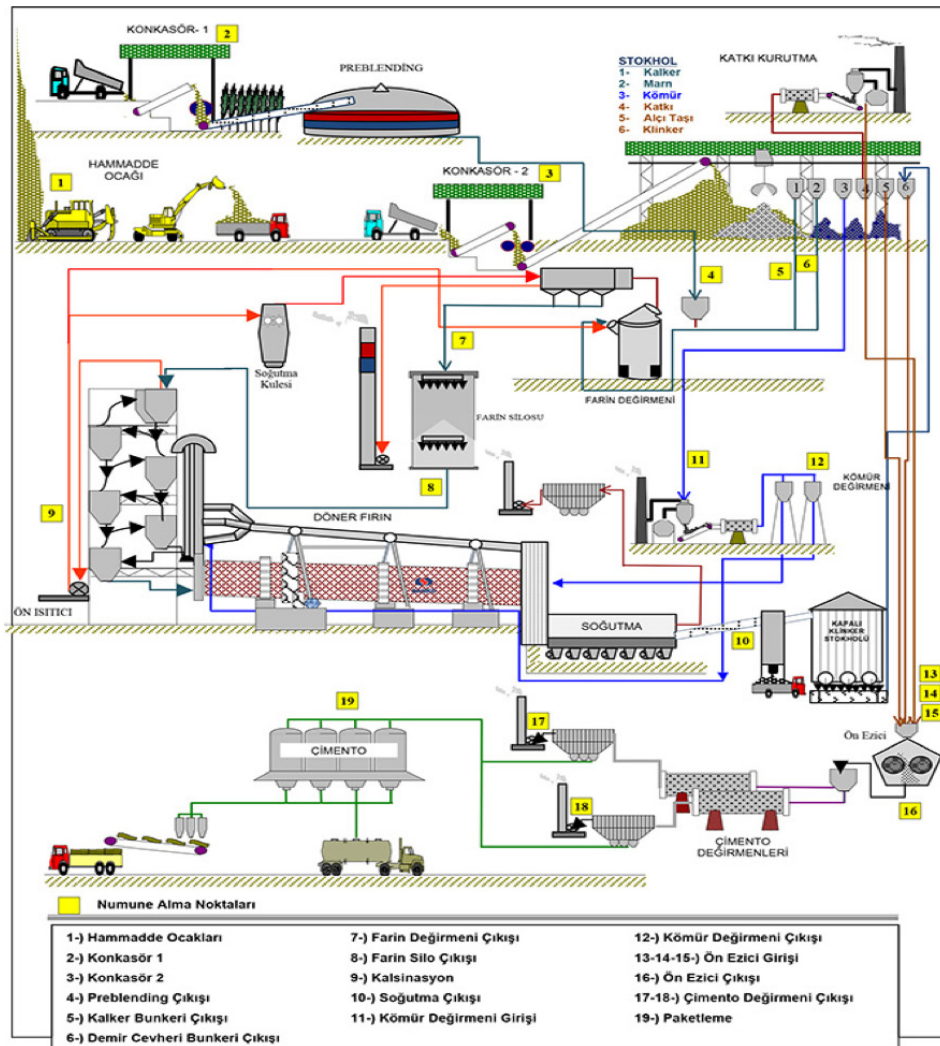
Her yıl tonlarca traverten atığı atık depolama alanlarında depolanmaktadır. Çimento üretiminde kullanılacak traverten atıklarının bölgeden temin edilebiliyor olması hem nakliye masrafları açısından daha ekonomik olacaktır hem de yerel bir malzeme endüstriyel anlamda değerlendirilmiş olacaktır. Bu sebeple bu bölgedeki traverten atıkları çalışma kapsamında çimento standart deneylerine tabi tutularak sınır değerlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir (Mesci, 2013).

1.3. Çimento Üretimi

Genel olarak bağlayıcı maddeler, toz halinde, su ile reaksiyona giren, bir süre plastik davranış gösteren ve daha sonra katılaştıran malzemelerdir. Bağlayıcı malzemeler; hidrolik bağlayıcılar (havada ve suda katılaşabilen) ve hava bağlayıcılar (sadece havada katılaşabilen) olmak üzere ikiye ayrılır. Birinci guruba çimentoları, ikinci guruba ise sönmemiş kireci (CaO) örnek verebiliriz. Portland çimentosunun üretiminde iki ana hammadde kullanılır; kireçtaşı, marn gibi kalkerli malzemeler ve içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, seyl, sist, kum gibi malze-

melerden oluşan killi malzemeler. Bu iki ana hammadde dışında çimento içerisinde ani prizi önlemek için % 3-6 arasında alçıtaşı ve doğal ya da yapay puzolanlar da (tras, tüf, uçucu kül, cüruf, vs) katılır (Şekil 3). Kalkerli malzemeler çimentonun yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü geri kalanını da killi malzemeler oluşturur. Puzolanların kullanılması ile birlikte bu oranlar değişir (Neville, 1997).

Kalkerli ve killi hammaddeler uygun oranlarda bir arada öğütülür. Bu durumdaki hammaddede Fransızca 'da un anlamına gelen farin denilir. Bu karışım kendi eksenini etrafında % 3 - 4 derece eğimle dönen fırınlarda 1350-1500 °C sıcaklıkta pişirilir. Hammadde, fırına su ile ıslatılarak çamur halinde ya da kuru olarak verilebilir. Kuru ya da ıslak süreç olarak adlandırılan bu üretim sistemlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Döner fırında sıcaklık etkisiyle hammadde içerisindeki kalkerin ayrışması sonucu sönmemiş kireç (CaO) ve kilin ayrışması sonucu da silisyum dioksit (SiO₂), alüminat (Al₂O₃) ve demiroksit (Fe₂O₃) meydana gelir. Fırın sonuna doğru sıcaklığın artması ile bu maddeler arasında meydana gelen reaksiyonlar sonucu klinker olarak adlandırılan ve yapısında çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikatlar ve alüminatlar bulunan bir malzeme meydana gelir. Döner fırından çıkan klinker soğutulduğunda henüz bağlayıcılık özelliği yoktur. Bu nedenle değirmenlerde öğütülerek toz haline getirilir. Öğütülme sırasında klinker içerisinde % 3 ile % 6 arasında alçıtaşı (CaSO₄ · 2H₂O) eklenerek birlikte öğütülür. Alçıtaşı ilavesi çimentonun priz süresini düzenlemek amacıyla yapılır. Daha sonra tane boyutu 90 ile 6,5 mikron arasında değişen çimento elde edilir (Schneider, 2011).



Şekil 3. Çimento üretimi akış şeması

2. Materyal Ve Metot

2.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çimento karışımlarının hazırlanmasında Portland çimentosu klinkeri, alçıtaşı (Sivas /Yıldızeli), traverten fabrikası atığı (Tokat/ Turhal), perlit (Nevşehir/Acıgöl), standart kum ve şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kum standart kumdur. Kimyasal madde olarak dilyum tetraborat (merck), lityum iyodür (merck), etilen glikol (merck), HCl (merck) $Ca(OH)_2$ ve $CaCO_3$ kullanılmıştır. Gerek kimyasal deney sonuçları gerekse mekanik dayanım, malzemenin ilgili standarda (TS 25) öngörülen sınırların üzerinde uygunluk gösterdiğini kanıtlamaktadır.

2.1.1 Portland çimentosu klinkeri

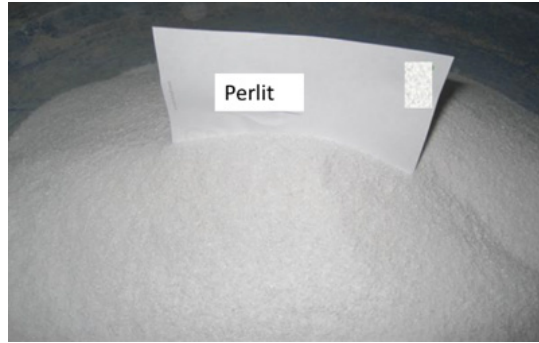
Çalışmalarda kullanılan Portland çimentosu klinkeri, Tokat Adoçim San. ve Tic. A.Ş. fabrikasından temin edilmiş olup XRF; (Atomika teknik panalytical axios modeli) metoduyla kimyasal analizi yapılarak deneylerde bu klinker kullanılmıştır. Kullanılan klinkerin yoğunluğu $3,17 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Klinker numunesinin kimyasal analiz sonucu tablo 2' de verilmiştir.

2.1.2 Alçıtaşı

Kullanılan alçıtaşı Adoçim Çimento San. ve Tic. A.Ş. Tokat fabrikasından temin edilmiş olup, kimyasal analizi yapılarak (XRF cihazı ile) kristal suyu miktarı belirlenmiştir. Alçıtaşı numunesinin kimyasal analiz sonucu tablo 3' de verilmiştir.

2.1.3 Doğal Perlit

Kullanılan doğal perlit malzemesi Nevşehir/Acıgöl'de bulunan perlit ocaklarından sağlanmıştır (Şekil 4). Deneylerde kullanılan doğal perlitin kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Doğal perlit numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablo 4' de verilmiştir.



Şekil 4. Perlit

2.1.4 Traverten Atığı

Kullanılan traverten atığı katkısı Tokat/Turhal traverten fabrikalarına ait ocakların atık sahalarından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan traverten atığının kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Traverten atığı numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablo 5' de verilmiştir.

2.2. Çimentoların harç üretimi kür koşulları ve kodları

On altı farklı tipte harçlar ile çimento üretilmiştir ve kodlamalar yapılmıştır (Tablo 1). Harçlar TSE 24' e göre $4*4*16 \text{ cm}$ lik kalıplarda 1 gün bekletilmiş ve 27 gün su içinde tutulmuştur. Harçlar oluştururken tüm harçlarda % 5 alçıtaşı kullanılmıştır.

Tablo 1. Katkılı çimentolar ve kodları

Çimento Kodları	Klinker	Alçıtaşı	Kalker	Puzolan	Traverten Atığı	Perlit
%	%	%	%	%	%	%
K1	85	5	5	5	0	0
K2	75	5	10	10	0	0
K3	65	5	15	15	0	0
K4	55	5	20	20	0	0
T1	85	5	0	5	5	0
T2	75	5	0	10	10	0
T3	65	5	0	15	15	0
T4	55	5	0	20	20	0
P1	85	5	0	0	5	5
P2	75	5	0	0	10	10
P3	65	5	0	0	15	15
P4	55	5	0	0	20	20
S1	90	5	0	0	0	5
S2	85	5	0	0	0	10
S3	80	5	0	0	0	15
S4	75	5	0	0	0	20

2.2. Yöntem

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (blaine), yoğunlukları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan tras ve perlitin puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır.

Tras ve perlit örneklerinin öncelikle fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Yoğunluklar TS EN 197-1, 2012' ye göre ve özgül yüzey (blaine) TS EN 196-6, 2010' a göre hesaplanmıştır. Tras ve perlitin kimyasal bileşimini belirlemek için X-Işını Kırınımı (XRF) analizi yapılmıştır. Tras ve perlitin puzolanik aktivitelerinin belirleme yöntemi, TS 25'e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süresi ve hacim sabitliği belirlemelerinde, farklı oranlarda (%20 ve %40) tras ve perlit içeren katkılı çimentoların ve Portland çimentosunun normal kıvam su ihtiyacı ve priz süreleri vikat cihazı ile, hacim genişmesi deneyleri ise Le Chatelier deney seti ile TS EN 196-3 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, deney serileri içinde öncelikle kendi aralarında daha sonra birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır.

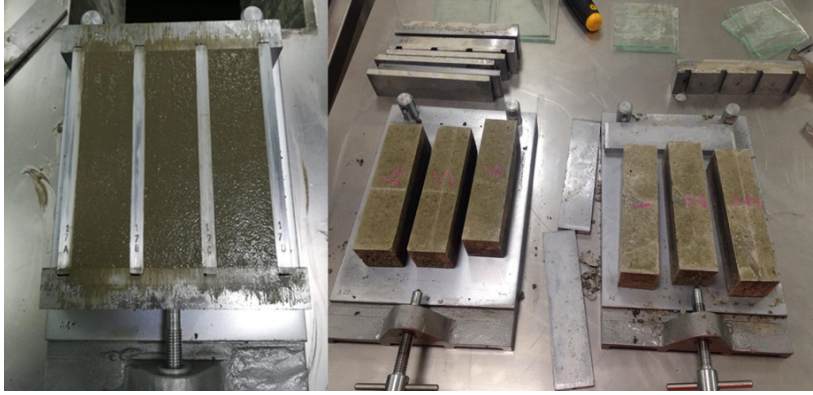
2.2.1. Puzolanik Aktivite Deneyleri Ve Numunelerin Hazırlanışı

Herhangi bir malzemenin puzolanik özelliğe sahip olduğunu anlamak için puzolanik aktivite deneyinin yapılması gerekmektedir. Puzolanik aktivite deneyleri mekanik olarak puzolan – çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Bu çalışmada TS 25'e göre yapılan aktivite deneyleri için kütlece % 75 Portland çimentosu + % 25 puzolanik malzeme kullanılarak farklı tipte çimento örnekleri hazırlanmış, örnekler üzerinde deneyler

yapılarak puzolanların aktivitesi belirlenmiştir. TS 25'e göre hesaplanan malzeme miktarları ile puzolanlı harç numuneleri hazırlanmış ve harç numunelerine ait kalıpların üstü buharlaşmayı önleyecek şekilde temiz bir cam plaka ile kapatılmıştır. Puzolanlı harç numuneleri 24 saat $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ' lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra numunelerin kalıpları sökülmeden $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki bir etüv içerisinde 6 gün daha bekletilmiştir. Puzolanlı harç numuneleri etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur (Bulut ve Tanaçan, 2011). Puzolanik aktivite, "aktivite indeksi" hesabı :

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (1)$$

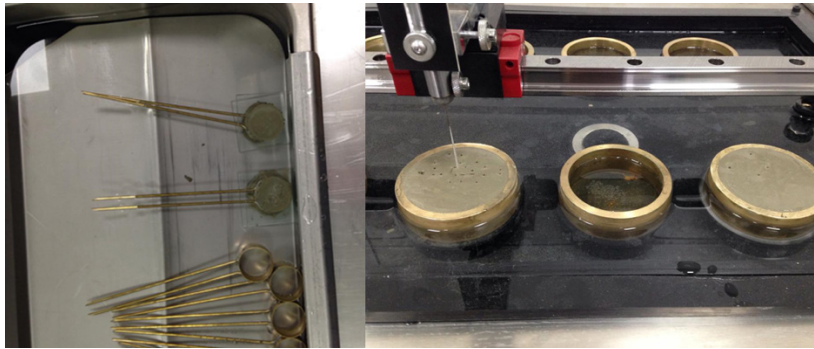
A: Puzolanik harcın ortalama basınç dayanımı,
B: Kontrol harcın ortalama basınç dayanımı



Şekil 5. Harç numunelerinin hazırlanması

2.2.2. Çimento Deneyleri Ve Numunelerin Hazırlanışı

Tras ve perlitin farklı (%20 ve %40) oranlarda Portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkıli çimento numuneleri üzerinde normal kıvam suyu ihtiyacı, çimento harcı priz başlangıç ve bitiş süreleri ve hacim sabitliği deneyleri TS EN 196-3 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Vicat aleti ve Le chateliere hacim genleşme tayini çalışmaları

2.2.3. X Işınları Floresans Spektrometresi Çalışma Prensibi, Örnek Hazırlanması Ve Analiz

Hazırlanan çimento numune türlerinin kimyasal bileşimini belirlemek için analitik bir teknik olan XRF yöntemi kullanılmıştır. Çalışma prensibi basitçe şu şekildedir; bir atomun iç yörüngesindeki elektronlar, X-ışınlarını üst bir enerji seviyesine çekerek bombardıman yoluyla

uyarılırlar ama elektronun durumu kararsızdır. Bu kararsız durum daha fazla kalamayıp daha istikrarlı bir şekilde daha düşük yörüngelere gitmek isterler. Bu iniş esnasında her atom ikincil elektronlar spesifik karakteristik X ışını (floresan) yayarlar. Bu ışınlar analizör ile ayrılırlar. Ayrılan ışınlar ölçülerek elde edilen sonuçlar ile aynı anda ölçülen ışık miktarları nicel analizde kullanılan element miktarı ile orantılı şekildedir (Kaya, 2010).

Çimento klinkeri, tras ve alçı taşı eklenerek oluşturulan çimento numunelerinin kimyasal analizleri XRF metoduyla tespit edilmiştir. Tartılan 0,6 gram öğütülmüş numune, 0,03 gram lityum iyodür ve 4,6 gram dilyum tetraborat platin kroze içine yerleştirilmiştir. Bir spatula malzeme ile kroze içinde karıştırılarak homojen bir karışım haline getirilmiştir. Eritiş cihazı için hazırlanan kroze içerisindeki homojen malzeme tablet kalıba yerleştirilmiştir. Dört aşamalı çalışan eritiş cihazı ilk 10 dakika ısıtma, 5 dakika eritme, son 5 dakika soğutma ve boşaltma programlarında çalışır. Eritiş cihazında oluşturulan cam tabletler X-ışını floresans spektrometresinde, okutularak kimyasal içerik sonuçları bilgisayarda kayıt altına alınmıştır (TS EN 196-2, 2014).

2.2.4. Ham Maddelerin Kızdırma Kaybı Tayini:

Sabit tartıma getirilmiş kroze, rutubeti alınmış çimento numunesinden 0,0001 hassasiyetle 1,00 g (m^1) alınmıştır. $975^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki fırında 15 dakika kızdırılmıştır. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur ve tartılmıştır. Yeniden 5 dakika kızdırılarak oda sıcaklığına kadar soğutulup tekrar tartılmıştır. Bu işleme sabit tartıma (m^2) ulaşıncaya kadar devam edilmiştir (TS EN 196-2, 2014).

Hesaplama:

$$\text{Kızdırma kaybı} = [(m^1 - m^2)/m^1] \times 1000 \quad (2)$$

m^1 : Deney numunesi kütlesi (g)

m^2 : Kızdırılmış deney numunesinin sabit tartıma geldikten sonraki kütlesi (g)

3. Bulgular

Ham maddelerin kimyasal içeriklerinin öğrenilmesi için XRF cihazında oksit oranları tespit edilmiştir. Ayrıca her bir ham madde için kızdırma kaybı analizi yapılarak sonuçları sırasıyla Tablo 2, 3, 4 ve 5'de verilmiştir (TS EN 196-2).

Tablo 2. Klinker numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

İçerik	%	TS10156
SiO ₂	20,46	-
Al ₂ O ₃	4,92	-
Fe ₂ O ₃	3,68	-
CaO	65,94	-
MgO	1,26	< 5,0
Na ₂ O	0,38	< 3,50
K ₂ O	0,81	-
SO ₃	0,64	-
KK	0,28	-
Fiziksel Özellikler		
45µ elekte kalan	4,5	-
90 µm elekte kalan	1,1	<14,0
200 µm elekte kalan	0,1	< 1,0
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,18	-
Çimento Dayanımları		
2 günlük dayanım	24,6	
7 günlük dayanım	41,1	
28 günlük dayanım	48,5	

Tablo 3. Alçıtaşı numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

İçerik	%
SiO ₂	0,81
Al ₂ O ₃	0,35
Fe ₂ O ₃	0,11
CaO	32,65
MgO	0,75
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,05
SO ₃	42,54
KK	22,61
Blaine (cm ² /gr)	10225

Tablo 4. Traverten atığı numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

İçerik	%
SiO ₂	1,33
Al ₂ O ₃	0,38
Fe ₂ O ₃	0,22
CaO	55,17
MgO	0,29
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,13
SO ₃	0,04
KK	42,42
Fiziksel Özellikler	
Blaine(cm ² /gr)	14620
Öğütme zamanı (dk)	42
45 µ elek üstü	12,7
90 µ elek üstü	0,2
200 µ elek üstü	0,1

Puzolanik katkıların (tras ve perlit) ve traverten atıklarının kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde içerdikleri MgO, Al₂O₃, SiO₂, CaO, Fe₂O₃, SO₃, K₂O gibi oksitlerin aynı zamanda çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerin Portland Çimentosuna ilave edildiğinde değerlerinin arttığı ancak sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aynı şekilde klinker ve alçıtaşı kimyasal analiz sonuçlarının da verilen standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Tablo 5. Doğal perlit numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

İçerik	%	TS10156
SiO ₂	54,22	-
Al ₂ O ₃	19,32	-
Fe ₂ O ₃	8,13	-
CaO	7,33	-
MgO	2,61	< 5,0
Na ₂ O	0,42	< 3,50
K ₂ O	1,57	-
SO ₃	0,36	-
KK	4,96	-
Fiziksel Özellikler		
S+A+F	81,67	-
Puzolanik Aktivite (N/mm ²)	6,4	<14,0
Rutubet	1,3	< 1,0
Özgöl ağırlık (g/cm ³)	2,19	

Tablo 6. Çimento örneklerinin fiziksel özellikleri

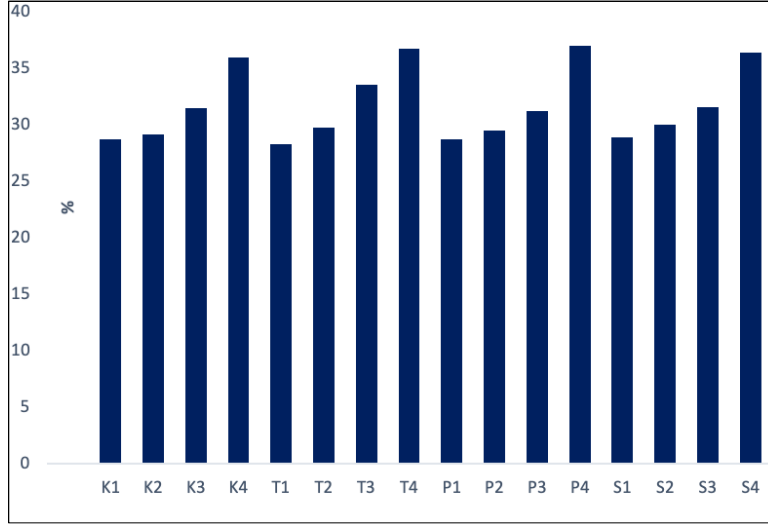
Çimento Kodları	İncelik %			Özgöl Yüzey (cm ² /gr)
	45 µelek üstü	90 µ elek üstü	200 µ elek üstü	
K1	4,4	0,2	0,1	3495
K2	4,7	0,4	0,1	3874
K3	6,1	0,5	0,1	4176
K4	7,6	0,6	0,1	4553
T1	4,6	0,3	0,1	3396
T2	5,1	0,5	0,1	3776
T3	7,2	0,6	0,1	4150
T4	8,2	0,6	0,1	4504
P1	5,6	0,4	0,1	3358
P2	6,3	0,5	0,1	3544
P3	8,6	0,7	0,1	4176
P4	9,1	0,8	0,1	4573
S1	4,2	0,5	0,1	3388
S2	5,8	0,6	0,1	3685
S3	6,8	0,7	0,1	4167
S4	8,4	0,8	0,1	4797

Çimento taneleri ne kadar küçükse incelik o kadar fazladır. Çimentolar çapı 90 mikron olan eleklerden elendiğinde elek üstünde kalan miktarın %14 den fazla olmaması istenir. Hazırlanan çimentoların özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları da Türk standartlarına uygunluk göstermektedir. Hidratasyon olayı sonunda, yüksek dayanımlar elde edilmesi çimento tanelerinin aktif olmalarına bağlıdır. Aktiflik çimentonun ince öğütülmesiyle gerçekleşir. Çimento ne kadar ince olursa o kadar çok su ihtiyacı olacaktır. Taneler inceldikçe daha büyük ısı açığa çıkacaktır. İnceliğin artması üretim maliyetlerini artırır, çimento özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Fakat betonun dayanımını artırır. Çimento inceliği arttıkça erken yaşta mukavemet artar. Su kusma olayı azalır fakat, rötrenin ve çatlamların artmasına neden olur. Ortam neminden çok etkilenir ve kolay bozular. Priz süresi kısılacığından bunu önlemek için alçıtaşı miktarı artırılması gerekir.

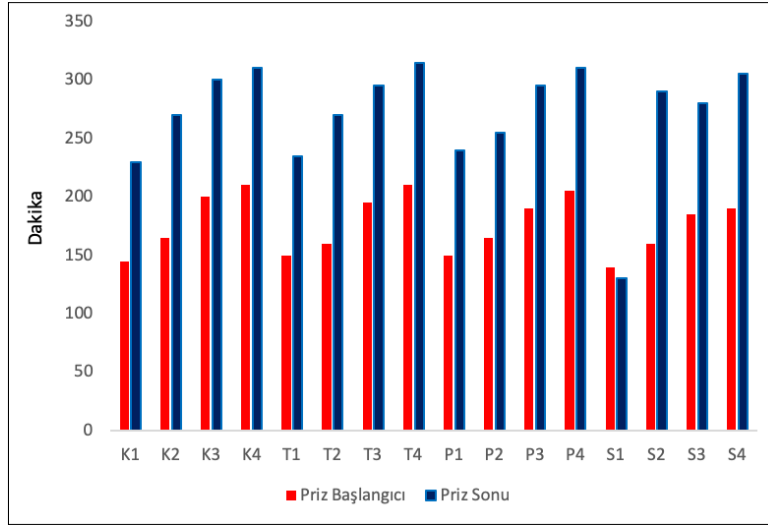
Tablo 7. Katkılı çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento Kodları	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dk)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
K1	28,5	150	280
K2	29,5	165	235
K3	31	175	260
K4	31,5	190	270
T1	32,75	202,5	285
T2	33,8	215,5	299,5
T3	34,8	228,5	314
T4	35,9	241,5	328,5
P1	36,9	254,5	343
P2	38	267,5	357,5
P3	39,5	280,5	372
P4	40,1	293,5	386,5
S1	41,1	306,5	401
S2	42,2	319,5	415,5
S3	43,2	332,5	430
S4	44,3	345,5	44,5

Çimentonun prizi su ile reaksiyona girmesi sonucu başlayan katılaşma olayıdır. Standartlara göre priz başlangıcı, 1 saatten az ve 10 saatten çok olmamalıdır. Daha erken veya geç priz alması istenirse katkı maddeleri kullanılabilir. Çimento sıcaklığı artarsa priz hızlanır. Sıcaklık düşerse priz süresi uzar, fazla su kullanma priz süresinin uzamasına sebep olur.

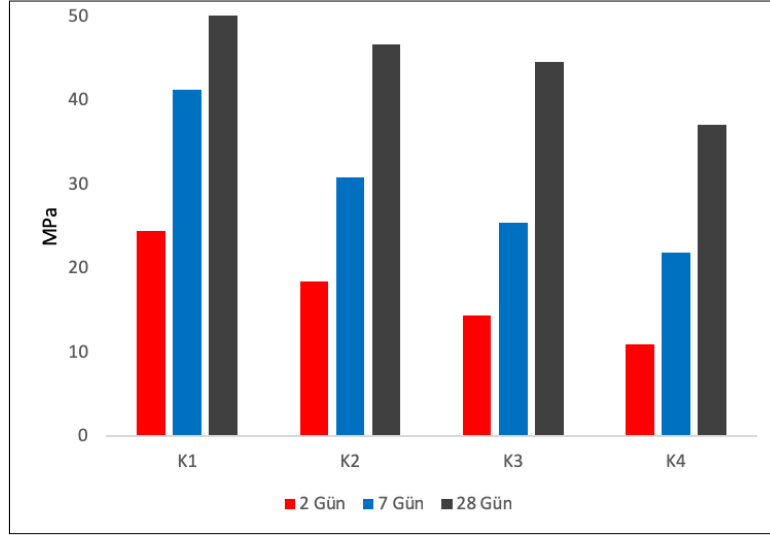


Şekil 7. Çimento örneklerinin su emme özellikleri

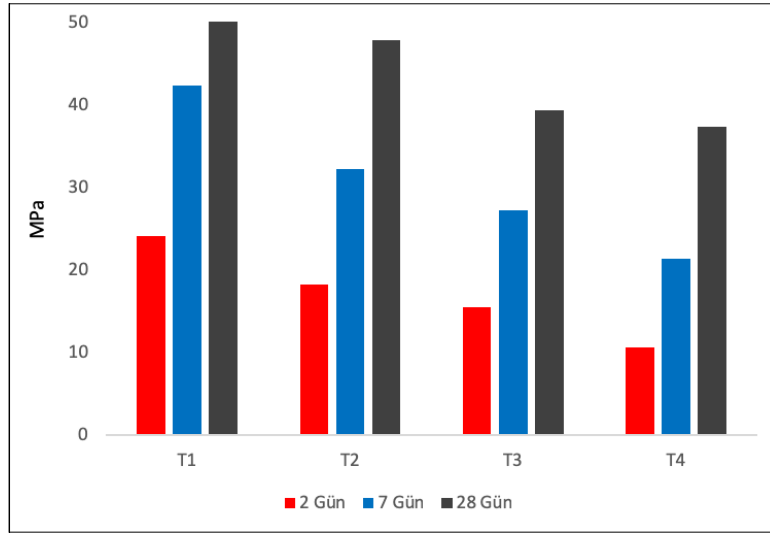


Şekil 8. Çimento örneklerinin priz süreleri eğrisi

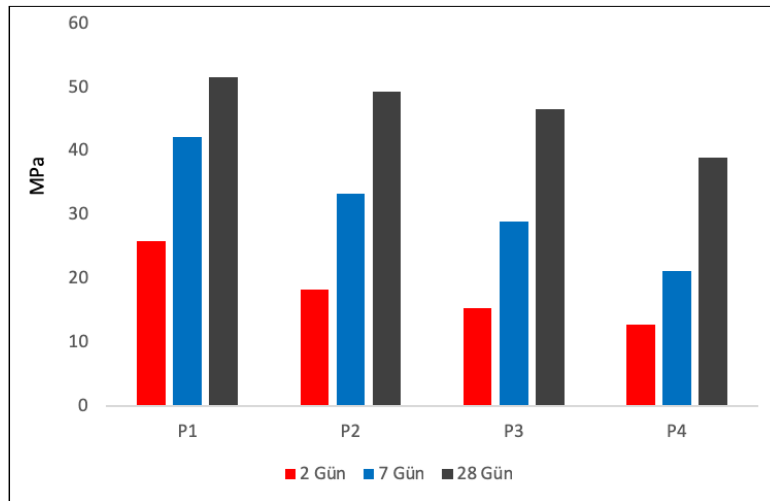
Portland Çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülen atıkların katkı oranına paralel olarak özgül yüzeyleri) ve portland çimentosuna nazaran ihtiyaç gösterdikleri su miktarı artmıştır. Artan su miktarına bağlı olarak da çimento karışımlarının priz süreleri gecikmiştir. Fakat bütün bu artış ve gecikmeler standartlarda verilen sınır değerler arasındadır.



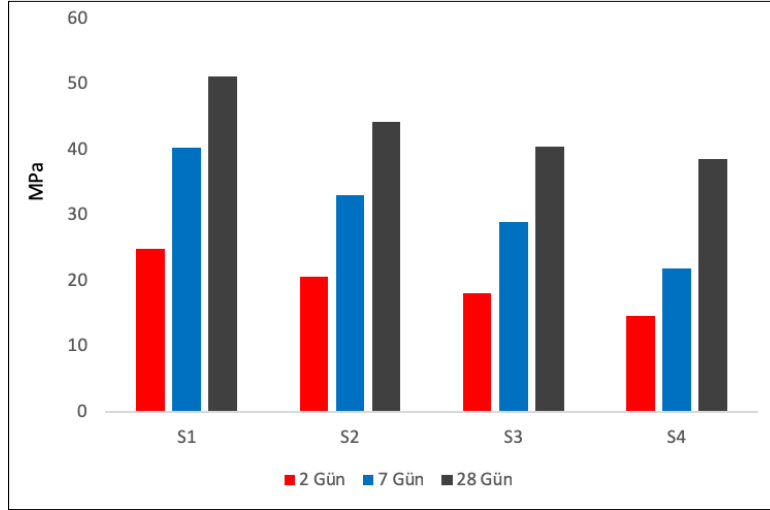
Şekil 9. K Tip çimento örneklerinin basınç dayanım eğrisi



Şekil 10. T Tip çimento örneklerinin basınç dayanım eğrisi



Şekil 11. P Tip çimento örneklerinin basınç dayanım eğrisi



Şekil 12. S Tip çimento örneklerinin basınç dayanım eğrisi

Katkılı numunelerin basınç dayanımı değerlerinin birbirine yakın olması ve katkı miktarının artması ile dayanım değerlerindeki fark daha belirgin hale gelmiştir. Perlitin puzolanik reaksiyonu yüksek miktarda silis (SiO_2) bileşeni ile çimentonun hidrasyonu sonucunda oluşan kirecin Ca(OH)_2 ve suyun arasında gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda C-S-H jeli benzeri ürünler ortaya çıkar, bu jelleşme sürekli devam eder, çimento harcı mikro homojenlik kazanarak boşlukları azalır ve ileriki yaşlardaki dayanımı artar. Bu etki literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde görülebilmektedir

Traverten atığı katkılı çimento (T Tipi) karışımlarının mukavemet sonuçlarına bakıldığında traverten katkı oranı arttıkça dayanımın arttığı görülmüştür. Eğer gerekli miktar ayarlamaları yapılırsa traverten atığı katkısının katkılı çimentolarda etkin olabileceği görülmektedir. Ayrıca bu atıklar kullanıldığında çevreye verdikleri zararlar önlenecek ve ekonomimize yeniden kazandırılmış olacaktır.

Çimento harçlarının basınç dayanımı gelişimleri incelendiğinde, traverten atığı ve perlit ikame oranı %10'un üzerindeki tüm karışımlarda, dayanımların artarak azaldığı görülmektedir. Bu durum doğal puzolan olarak adlandırılan bu katkıların çimento harçlarının ilk günlerdeki dayanımını azaltması ve ileriki yaşlarda arttırması ile açıklanabilir. Kalker ikame oranı %5 olan örneklerde, erken dayanımda kontrol harcına kıyasla bir miktar dayanım artışı söz konusudur. Bu dayanım artışı kalker taneciklerinin kalsiyum hidroksit çökmesi için çekirdek oluşturarak hidrasyonu gelişimini etkilemesine bağlanabilir.

Sonuç

Traverten atıklarının ve perlitin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde içerdikleri MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , SO_3 , K_2O gibi oksitlerin aynı zamanda çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerin Portland Çimentosuna ilave edildiğinde değerlerinin arttığı ancak sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aynı şekilde klinker ve alçıtaşı kimyasal analiz sonuçlarının da verilen standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Portland Çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülen perlitin ve traverten atıklarının katkı oranına paralel olarak (özgül yüzeyleri) ve portland çimentosuna nazaran ihtiyaç gösterdikleri su miktarı artmıştır. Artan su miktarına bağlı olarak da çimento karışımlarının priz süreleri

gecikmiştir. Fakat bütün bu artış ve gecikmeler standartlarda verilen sınır değerler arasındadır. Hazırlanan çimentoların özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları da Türk standartlarına uygunluk göstermektedir. Traverten atığı katkılı çimento ve doğal perlit katkılı çimento karışımlarının mukavemet sonuçlarına bakıldığında traverten atığı katkı oranı ve perlit katkı oranı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. Eğer gerekli miktar % 20 traverten atığı ve % 20 perlit hammadde katkılı çimento ayarlamaları yapılırsa traverten atığı katkısının ve doğal perlit katkısının katkılı çimentolarda etkin olabileceği görülebilir. Ayrıca traverten atıkları kullanıldığında çevreye verdikleri zararlar önlenecek ve ekonomimize yeniden kazandırılmış olacaktır. Mukavemet sonuçları öğütme süresi açısından değerlendirildiğinde normal Portland Çimentosu klinkerine göre daha kolay öğütüldüğünden öğütme süresi ve enerji tüketimi açısından tasarruf sağlayacağı açıktır.

Kaynaklar

Aruntaş, H. Y., 2006, Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 193-203.

Bulut, Ülger ve Leyla Tanaçan, 2011, Perlitin Puzolanik Aktivitesi, İTÜ Dergisi/A 8.1.

Bulgu, M., 2003. Perlitin Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., and Jullien, A., 2010, Environmental impact of cement production, detail of the different processes and cement plant variability evaluation, Journal of Cleaner Production, 18(5), 478-485.

Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B., Çam, O., Etiz, H., & Kurşun, M., 2014, Denizli bölgesi traverten artıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 92-99.

Erkek, D., ve Özdemir, S., 2011, Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım, Güney Ege Kalkınma Ajansı (GEKA).

Heikal, M., H. El-Didamony, and M. S. Morsy, 2000, Limestone-filled pozzolanic cement, Cement and Concrete Research, 30, 1827-1834.

Mesci, B. L., 2013, Özgün Niteliklere Sahip Travertenler ve Önemleri, Sivas Yöresi Travertenlerinden Örnekleri, Geological Bulletin of Turkey, 56(1).

MTA, 1985. Türkiye Perlit Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 193, 1-8, Ankara.

Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., and Bolio, H., 2011, Sustainable cement production present and future, Cement and concrete research, 41(7), 642-650.

Neville, A. M., 1997, Properties of Concrete, Pitman Publishing, London.

Yazıcıoğlu, Ö. F., 2016, Çimento ve Beton Endüstrisinin Sürdürülebilir Üretimlerinde Doğal Zeolit (Analsim)'ün Puzolanik Katkı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek

sek lisans tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yu, L.H., H. Ou, and Lee, L.L., 2003, Investigation on pozzolanic effect of perlite powder in concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 73-76.

Makale Gönderim Tarihi:9 Ekim 2019
Yayına Kabul Tarihi:13 Aralık 2019

Geri Dönümlü Göçertmeli Uzunayak Yönteminde Ocak Havasının Göçük İçinde Hareketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi (HAD) ile Analizi

Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of Flowing Air in Gob in the Longwall Top Caving Method

Emrullah Bilgin¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir

*Sorumlu yazar: emrullah.bilgin9@gmail.com

Özet

Yeraltı maden havalandırmasının asıl amacı sağlığa uygun solunabilir hava sağlanması, ortamdaki patlama riskinin ve solunabilir toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulmasıdır. Ocak içi parametrelere uygun havalandırmanın yoksunluğu genellikle işçilerin çalışma konforunu ve üretimin verimliliğini düşürmekte bunun yanı sıra kazaların oranını yükseltmektedir. Kalın kömür damarlarında uygulanan, tavan kömürünün ayak arkasından göçertilerek üretilmesi ilkesine dayanan uzunayaklar, göçük içerisine üretilmeyen bir miktar kömürün karışmasına olanak sağlamaktadır. Kömür ile ocak havasının teması gerek metan gazının ayak içine dağılmasına gerekse kömürünün oksijen ile etkileşime geçmesi sonucu oksidasyona (kendiliğinden yanma) uğramasına olanak sağlamaktadır. Bu durum ocak havasının kontrolünün göçük hacmi içerisinde de dikkatli bir şekilde yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, geri dönümlü göçertmeli uzunayak üretim yöntemi ile madencilik yapılması durumunda olabilecek gerçekçi veriler ve ölçüler kullanılarak bir geometri tasarlanmıştır ve ANSYS Fluent yazılımı içerisinde, sonlu hacimler yöntemini kullanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonları ile üretim ayağına gelen havanın göçük içerisinde davranışı (hava hızı, basınç kaybı vb.) incelenmiştir. Çalışma sonucunda, göçük içerisine karışan havanın getireceği olumsuzlukların göz önüne alınması ve havalandırma planlaması açısından örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Göçük, Havalandırma, Yeraltı Madenciliği, Uzunayak, CFD, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Oksidasyon, Kendiliğinden yanma

Abstract

Main aim of underground mining ventilation is to provide respirable and healthy air, to keep blowing risk of the environment and inhalable dust concentrations under control. Lack of convenient air in terms of parameters generally effects the main production efficiency, at the same time it decreases the working comfort of workers and leads to more vital accidents. The longwall method, which are applied in thick coal veins, are based on the principle that coal on ceiling is produced by caving from behind the face, it allows the mixing of a quantity of coal which cannot be produced into the gob. The contact of the coal and the air allows both methane gas to be dispersed in the face and the coal to oxidize as a result of the interaction with oxygen. This requires attentive control of the face air within the gob volume. In this study, a geometry has been designed by using realistic data and measurements that may be used in the case of longwall top coal caving (LTCC) with the return coal production method, and in the ANSYS Fluent software, computational fluid dynamics (CFD) simulations using finite volume method

and the behavior of the air coming to the production foot. As a result of the study, it is aimed to consider the negative effects of the air mixed in the gob and to determine an example in terms of ventilation planning.

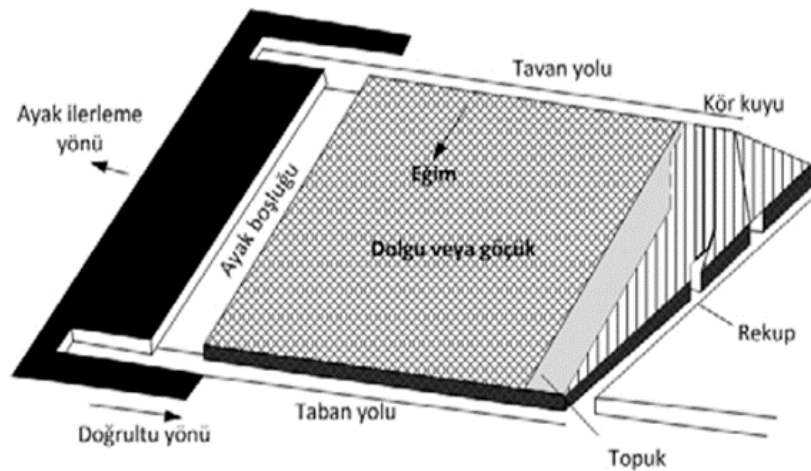
Keywords: Gob, Ventilation, Underground mining, Longwall, LTCC, CFD, Computational Fluid Dynamics, Oxidation of Coal

1. Giriş

Yeraltı kömür madenciliği genellikle zor çalışma koşulları ve tehlike arz eden çalışma ortamlarının varlığı ile bilinmektedir. Bu koşullar kömür rezervinin yapısal özelliklerine ve damar ile etkileşimde olan çevre kayaların özelliklerine fazlasıyla duyarlıdır. Dünya madencilik tarihine bakıldığında üretim çalışmaları sırasında karşılaşılan tehlikeler yüzünden çoğunluğu ölümlü sonuçlanan çok sayıda kaza olduğu görülmektedir. Trajik can kayıplarının yanı sıra, gerekli tedbirleri almayan bazı kömür işletmeleri çeşitli ekonomik sorunlarla da karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu kazaların çok çeşitli sebepleri olmakla beraber, büyük çoğunluğunun metan (CH_4) ya da grizu ve karbon monoksit (CO) gibi patlayıcı ve zehirli gazların ocak havasındaki konsantrasyonlarının aniden artmasıyla ve ocak havasının kömürle teması anında başlayarak zaman içerisinde kendiliğinden yanması ile çıkan ocak yangınlarından kaynaklandığı bilinmektedir.

Ülkemizde yeraltı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan uzunayak madenciliği, yatay olarak yataklanmış olan kömür veya orta sertlikteki cevherlerin, iki damar içi galerisi arasında kalan, uzun, dar ve doğrusal bir arın boyunca üretildiği bir yeraltı üretim yöntemidir (Şekil 1). Uzunayak panoları, kesitler ve çalışılan makineler düşünüldüğünde oldukça dar ve birçok tehlike kaynağının bir arada olduğu bölgelerdir (Şekil 2).(Özfirat vd. ,2016)

Geri dönüşlü göçertmeli uzunayak üretim yönteminde, tavan kömürü ayak arkasından göçertilerek kazanılır ve ayak arkasında bulunan zincirli konveyör yardımı ile nakliye edilir, bu yöntemde göçük bölgesinde göz ardı edilemez miktarda kömür kaçağı söz konusu olmaktadır. Üretim devam ettikçe, ayak arkasında kalan tekrar kazanılması mümkün olmayan farklı tane boyutlarındaki kömür parçaları, patlatılarak göçertilmiş tavan kayacının parçalarının aralarına girer ve tavanın oturması ile göçük kütlesi içinde varlığını sürdürür.



Şekil 1. Uzunayak üretim yöntemi (Şimşir, 2015)



Şekil 2. Tam mekanize bir uzunayaktan görünüm (Yetkin, 2013)

Ayağa gönderilen bol oksijen oranına sahip temiz ocak havası ayak arkasındaki boşluklardan sızarak bu kömürlere ulaştığında iki tehlikeli durum söz konusudur. Bunlardan ilki havanın metan gazı ile karşılaşarak ayak içine metan gazı taşınmasıdır. İkinci durum ise kömür ile oksijenin teması ile başlayan oksidasyon (kendiliğinden yanma) olayıdır.

Madencilik faaliyetlerinde bu gibi tehlikeli ortamlarda insan sağlığını korumak ve iş güvenliğini arttırmak amacı ile yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda geliştirilen farklı yöntemler kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte daha tasarım aşamasında damarın özellikleri göz önüne alınarak, üretim ve havalandırma planlarının en uygun şekilde hazırlanması ile gerek can güvenliğinin artırılması gerekse ulusal ekonomik kaynaklarımız olan cevherleri mümkün olduğunca kayıp vermeden kazanılması mümkündür.

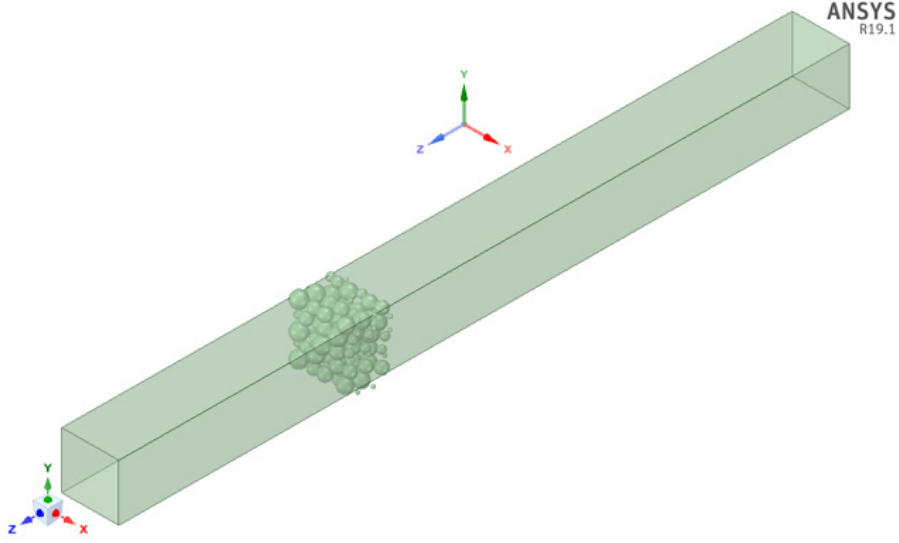
Bu kapsamda yeni bir bakış açısı kazanmak üzere yapılan bu çalışmada, göçük ortamında ocak havasının davranışı (hava hızı, izlediği yol, basınç kaybı vb.) ANSYS® Fluent® yazılımı içerisinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak nicel ve nitel olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Genel olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, her türlü akışkan ve akışın değişik koşullardaki analizini yapmaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntemde temel olarak üç ana denklem (süreklilik, momentum ve enerji denklemleri) esas alınır ve bu denklemler sayısal çözümlerle akış içindeki basınç, hız ve sıcaklık dağılımları ve bu parametrelere bağlı olarak birçok veriye ulaşılır [MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2006]. Örneğin; yeraltında ocak havasında çeşitli gazların (oksijen, metan, karbondioksit, azot vb.) birlikte hareketi belirgin şekilde incelenebilmektedir.

2. ANSYS Fluent Yazılımında İzlenen Proje Adımları

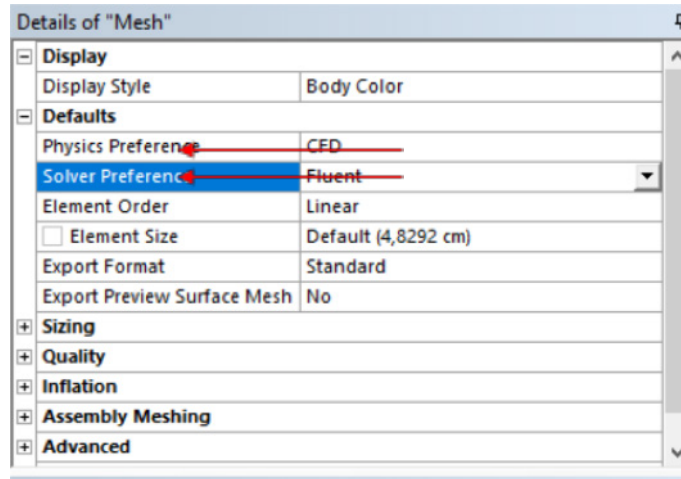
Porous media (gözenekli ortam) modellemesi ve Geometrinin oluşturulması aşamasında ortamın geçirimsizlik katsayılarını hesaplayabilmek için ilk olarak ANSYS paket yazılımı içindeki Space Claim Direct Modeler® kullanılarak göçük ortamını temsil edecek bir geometri hazırlanmıştır. Bu geometri göçük bölgesinde tavanın oturmasından sonra taşların bulunduğu bir bölgeyi baz almıştır. Aynı domainden farklı boyutlarda kesitler alınıp yapılan denemeler gözenekli ortamda karakteristik özelliklerin o ortamın her yerinde **pratik olarak** aynı özellikte olduğunu

anlamamızı sağlamıştır. İçinden çeşitli debilerde hava gönderip basınç düşmesi değerlerini ara-
dığımız geometri Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Oluşturulan hava koridoru

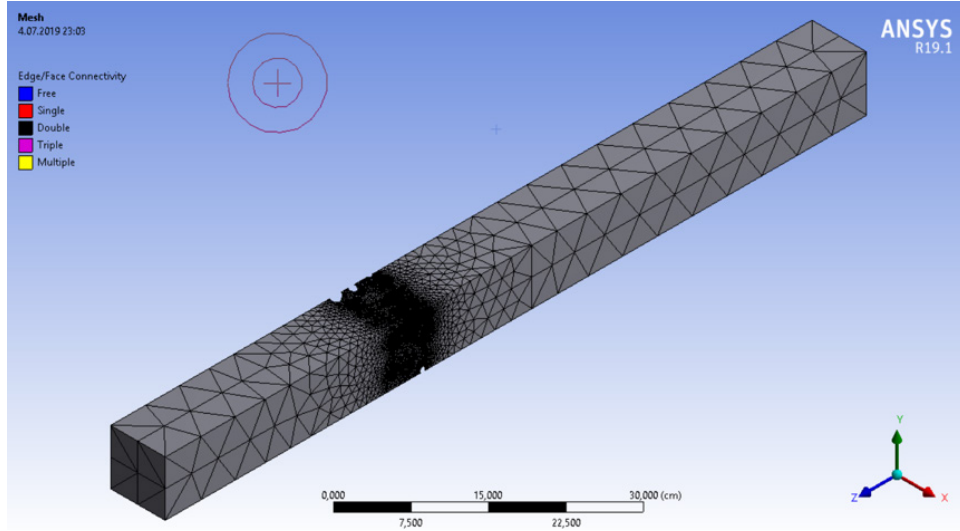
Aę Yapısının Oluşturulması aşamasın da Ansys Mesh® programı kullanılarak, geometriye hacimsel aę örgüsü tanımlanmıştır. Mesh işlemi zmlenemin hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Aę yapısı ne kadar düzgün ve sık hazırlarırsa elde edilecek sonuçlar o kadar doğruya yaklaşır.



Şekil 4. zccnn ve yntemin seçilmesi

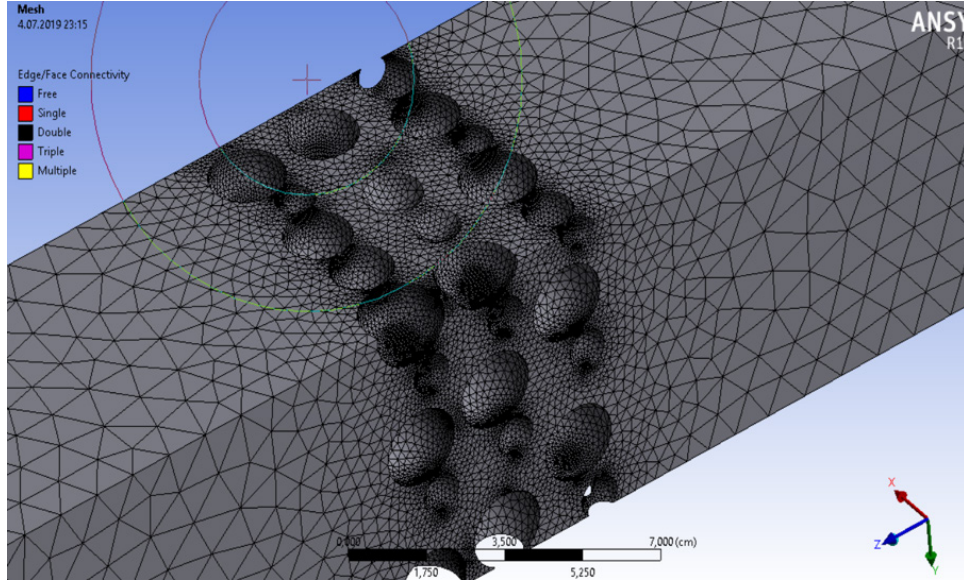
Details of "Mesh"	
Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (9,6584 cm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,4146e-002 cm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature Min Size	Default (4,8292e-002 cm)
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,°)
Capture Proximity	No
Bounding Box Diagonal	96,584 cm
Average Surface Area	13,162 cm ²
Minimum Edge Length	0,16664 cm
Quality	

Şekil 5. Kaba mesh ayarları



Şekil 6. Domain'e atılan kaba mesh yapısı, üçgen prizmalar ve düğüm noktaları

Şekil 6'da görülen bu ağ yapısı Fluent®'e gönderilse bile çözümler sırasında verilerin doğruluğuna çok güvenilmez. Düğüm noktalarının sayısının yanı sıra geometrinin sıkça girintili olduğu yerlerde ya da iki katının birbirine fazla yakın olup da temas etmediği noktalarda özel metodlar uygulamak gerekir. Bu geometrideki zorlu noktalarda ağ örgüsü kalitesini artırabilmek adına Body meshing, İnflation, proximity, curvature ayarları değiştirilerek en kaliteli ağ yapısını bulana dek denenmiştir. Sonuç olarak Fluent® için uygun bir ağ örgüsü hazırlanmıştır. (Şekil 7)



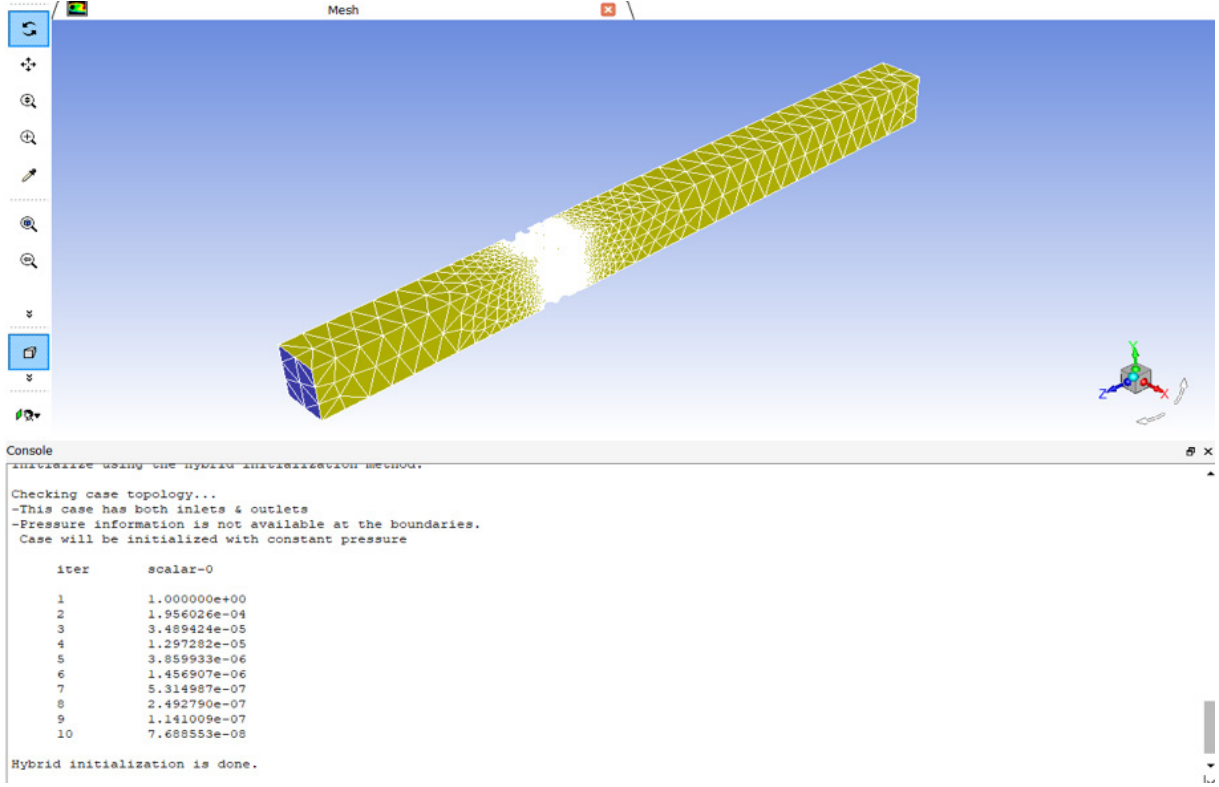
Şekil 7. Fluent'te çözüm için uygun olan düzgün ve detaylı ağ örgüsü



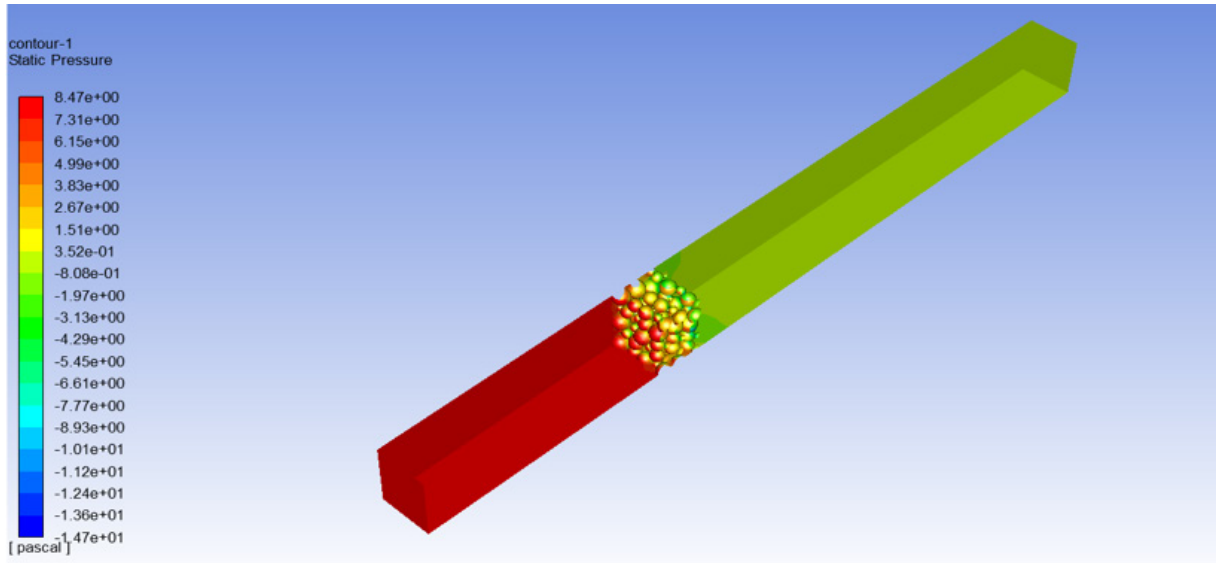
Şekil 8. Geçirimli ortam olarak kullanılacak geometrinin ağ örgüsü

Çözücü Aşaması (Fluent®):

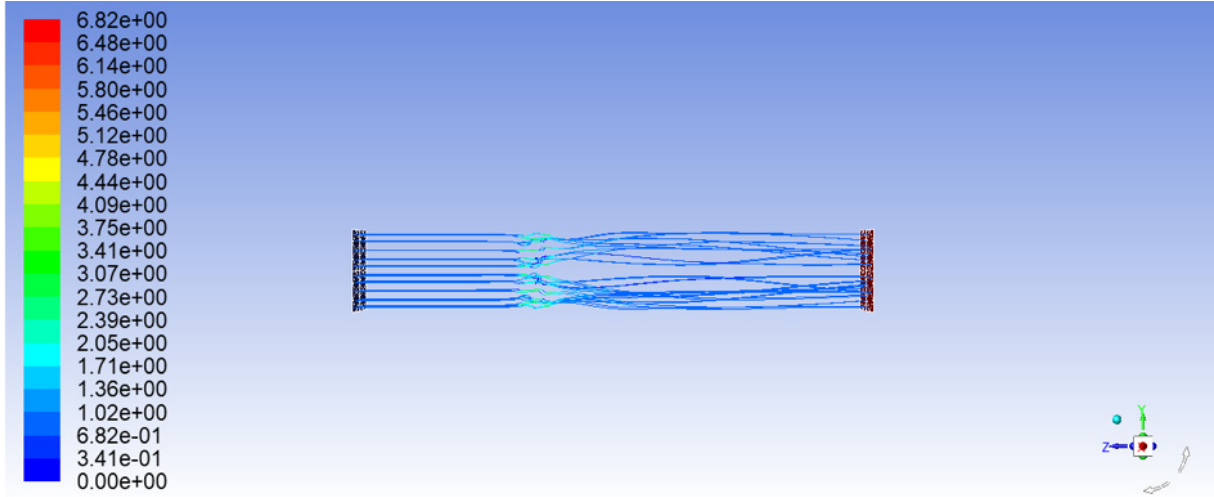
Fluent® çoğu mühendislik prensiplerini bir arada barındırmaktadır. Bu sebeple çalışmanın amacına uygun olan kabullerin mutlaka programda seçilmesi gerekmektedir. Yapılan kabuller: Sıkıştırılamaz akış, zamana bağlı olmayan daimi akış, isothermal akış (ısı transferi dahil edilmiştir) ve türbülanslı akış kabulleridir.



Şekil 9. Konsol ve grafik pencereleri

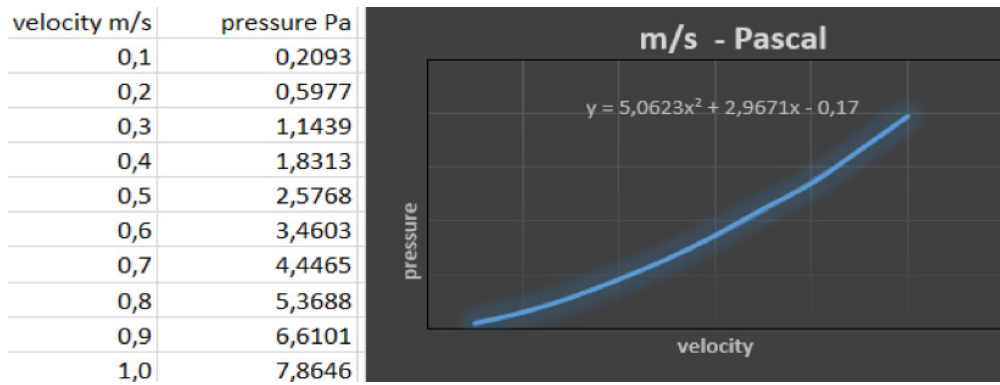


Şekil 10. Basınç konturu



Şekil 11. Hava hızı çizgileri(Streamline)

Gönderilen çeşitli hava hızları karşılığında elde edilen basınç değerleri bir Excel® tablosu hazırlanarak elde edilen grafik sayesinde, gözenekli ortam modellemesi için kullanılacak olan katsayılar, ortaya çıkan 2. dereceden polinomun X^2 ve X 'in katsayılarından elde edilmiştir.



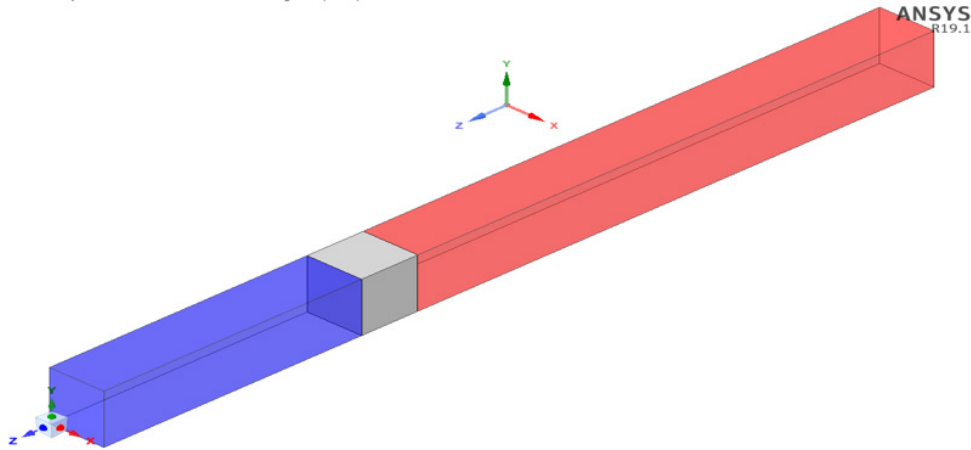
Şekil 12. Hava hızı / Basınç grafiği ve eğrinin denklemi

Kullanılan Darcy yasası ve atalet modelinde 5.0623 ve 2.9671 uygun yerlere konulup excel formülü ile hesaplatılmıştır. Buradan elde edilen sonuç ile gözenekli ortamın geçirimsizliğini ve gözenekliliğini matematiksel olarak tanımlayabiliriz. Burada C_2 atalet direnci faktörü, $1/\alpha$ permeabilite katsayısıdır.(Şekil 13)

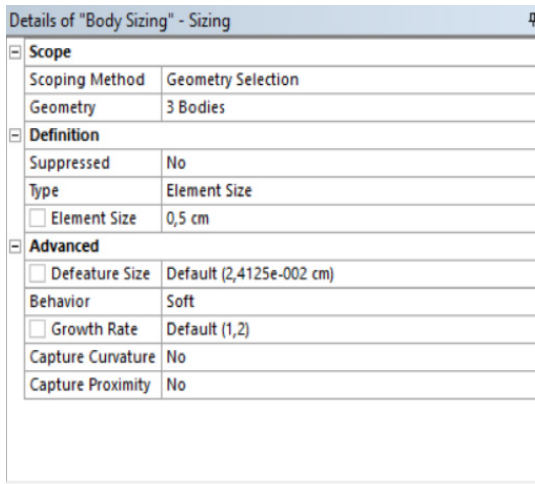
Darcy's Law & Inertia Model		
$\Delta P = (\mu/\alpha \cdot V \cdot \Delta n + C2/2 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \Delta n)$		
Resistance Coefficient formula		
$\mu/\alpha \cdot \Delta n = 2,96710$		
$C2/2 \cdot \rho \cdot \Delta n = 5,06230$		
Calculation Conditions		
$\mu =$	1,789400E-05	kg/m.s
$\rho =$	1,225000E+00	kg/m^3
$\Delta n =$	6,500000E-02	m
Result		
$1/\alpha =$	2,551005E+06	1/m^2
$C2 =$	1,271535E+02	1/m

Şekil 13. Atalet direnci faktörü ve permeabilite katsayısı hesaplama (Excel)

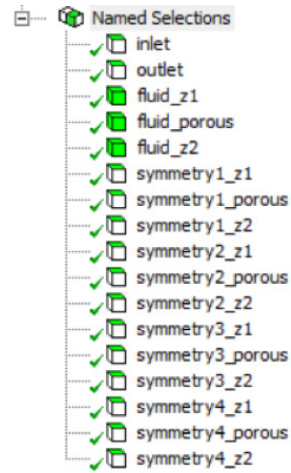
Porous Media'yı (Gözenekli ortam) kullanarak Yeniden çözümleme yapılması: Elde edilen katsayılar ile aynı boyutlarda yeniden katı cisim geometrisi tasarlayıp aynı işlemler uygulanarak elde edilen sonuçlar ile bir önceki tasarımın sonuçları kontrol edilmiştir. Bu sayede bu yöntemin gerçek boyutlardaki maden ocağı geometrisine uygun olduğu anlaşılmak istenmiştir.



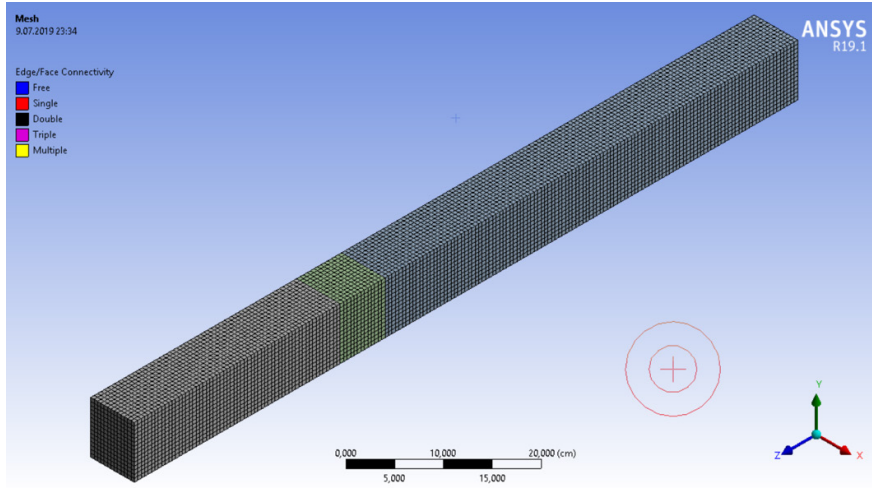
Şekil 14. İkinci geometri tasarımı



Şekil 15. Mesh boyutlandırma



Şekil 16. Yüzey ve sınırların isimlendirilmesi



Şekil 17. Mesh Yapısı

Fluid

Zone Name: fluid_porous

Material Name: air [Edit...]

Frame Motion
 3D Fan Zone
 Source Terms
 Mesh Motion
 Laminar Zone
 Fixed Values
 Porous Zone

Reference Frame Mesh Motion **Porous Zone** 3D Fan Zone Embedded LES

Conical

[Update From Plane Tool]

Direction-1 Vector

X: 1 [constant] Y: 0 [constant] Z: 0 [constant]

Direction-2 Vector

X: 0 [constant] Y: 1 [constant] Z: 0 [constant]

Relative Velocity Resistance Formulation

Viscous Resistance (Inverse Absolute Permeability)

Direction-1 (1/m²): 2551005 [constant] Direction-2 (1/m²): 2551005 [constant] Direction-3 (1/m²): 2551005 [constant]

Inertial Resistance

Alternative Formulation

Direction-1 (1/m): 127.1535 [constant] Direction-2 (1/m): 127.1535 [constant] Direction-3 (1/m): 127.1535 [constant]

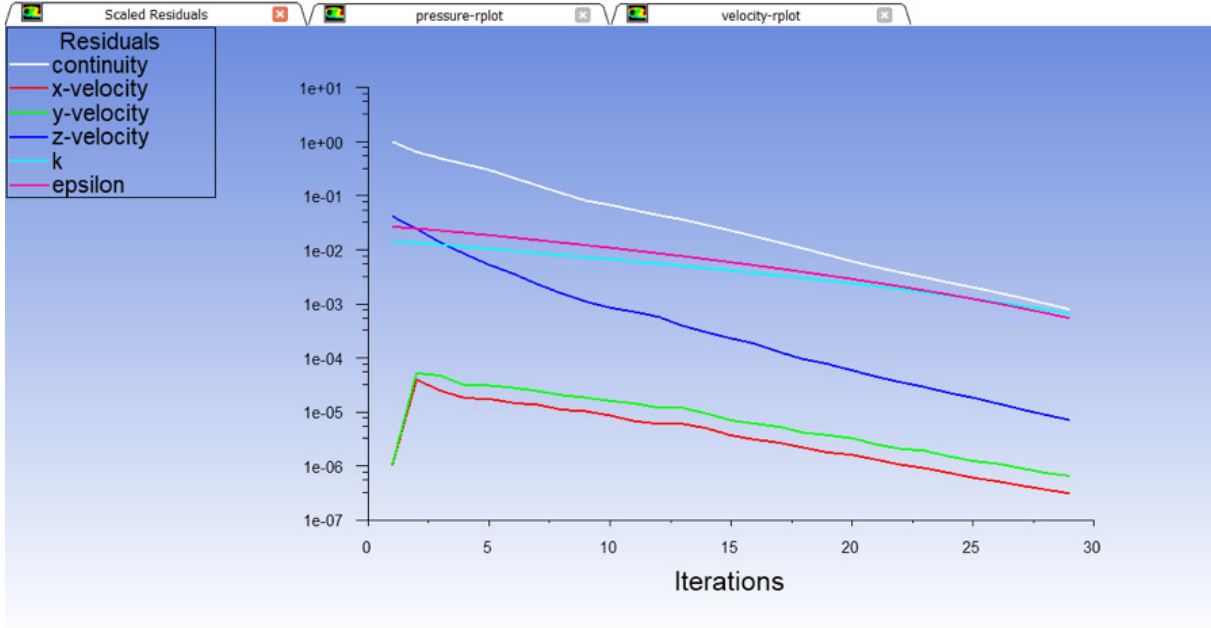
Power Law Model

C0: 0 [P] C1: 0 [P]

Fluid Porosity

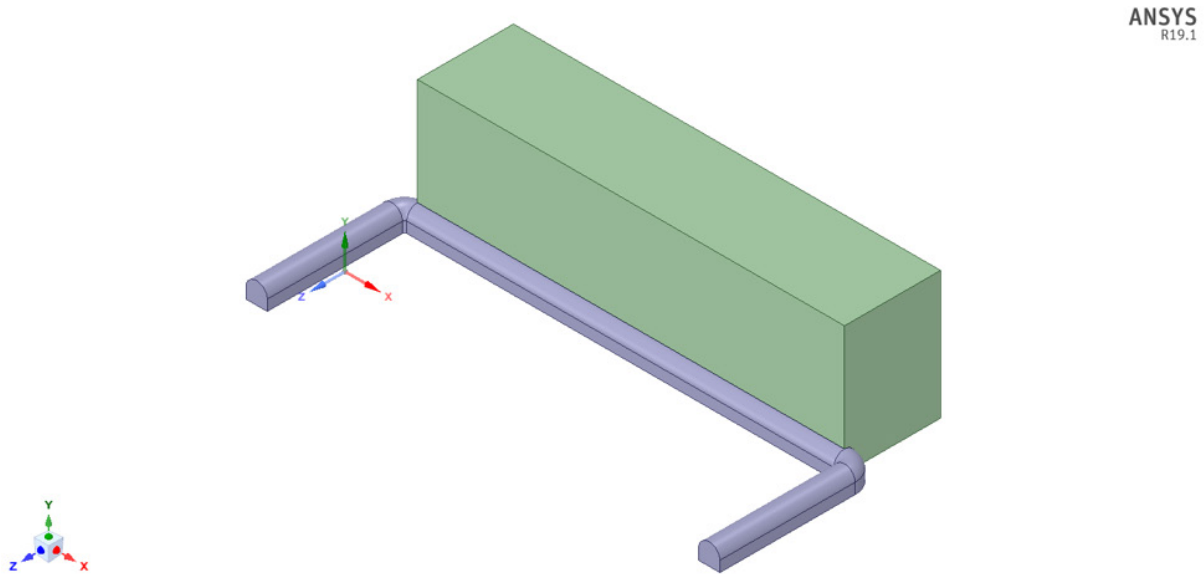
Porosity: 1 [constant]

Şekil 18. Katsayıların Fluent'e tanımlanması



Şekil 19. Çözümleme grafikleri

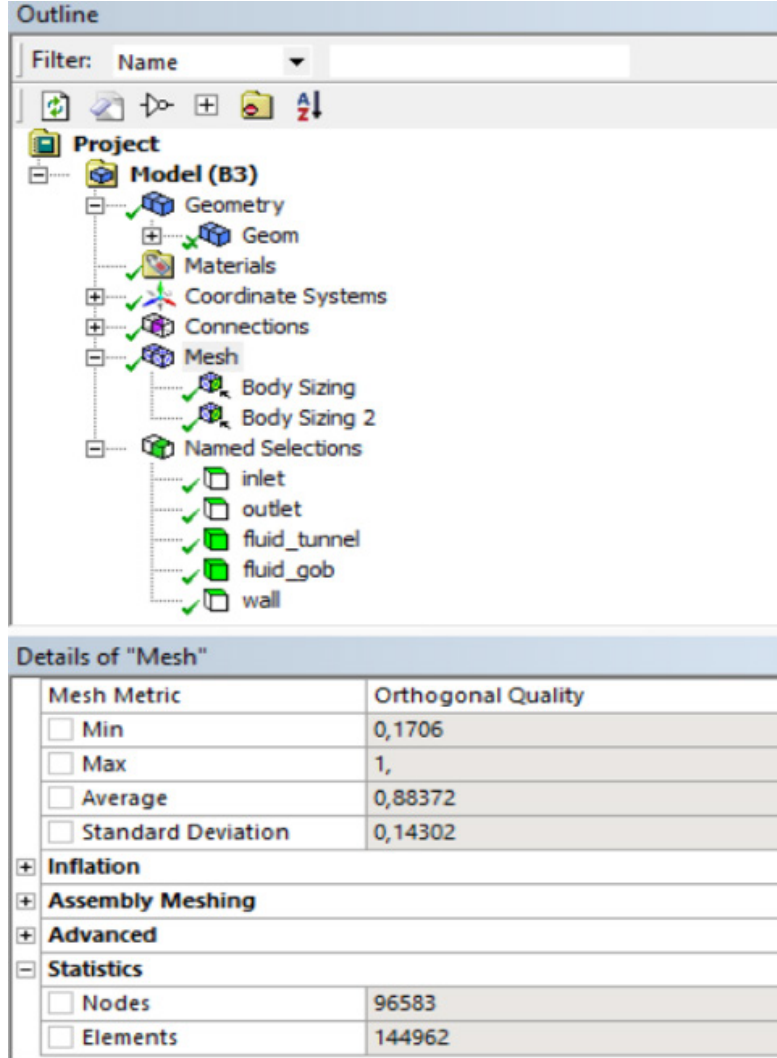
Uzunayak ve Göçük Bölgesi Geometrilerinin Oluşturulması için, Galeri yüksekliği: 5m, Galeri genişliği: 5m, Ayak Uzunluğu: 100m, Göçük Yüksekliği: 30m, Göçük Kalınlığı: 20m, Göçük Kalınlığı(2.durum): 50m alınmıştır.



Şekil 20. Gerİ Dönümlü Göçertmeli Uzunayakta Göçük ve Galeriler

Başlangıçta 20m kalınlıkta göçük bölgesi olduğu kabul edilerek çalışılmıştır. Daha sonraki bölümlerde ayak ilerlemiş, göçük hacmi artmış şekilde tekrar çözümlenmeler alınıp yorumlanacaktır. Bu sayede göçük içindeki hava davranışı ayak ilerlediğinde de izlenmiş olacaktır. Mesh Atma İşlemi: Model iki farklı katı cisimden oluşmaktadır. Bunlardan göçük bölgesini temsil eden parça dikdörtgen prizma biçiminde ve duvarları düzgün yüzey şeklinde iken, diğer model uzunayak'ı ve tavan-taban yollarını temsil etmektedir. Daha önceki geometrilerle aynı yöntemlerle oluşturulan meshin kalitesi kontrol edilip çözücü için uygun olduğu anlaşıldıktan sonra ağ

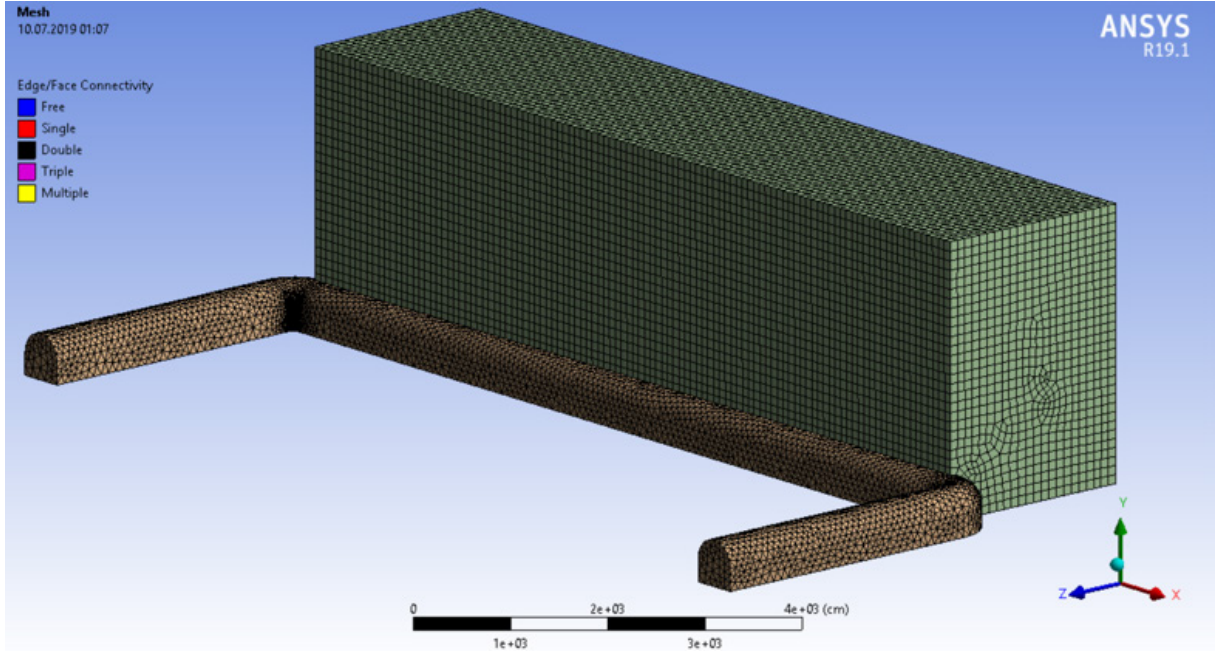
yapısı Fluent®' e aktarılmıştır. Ağ yapısı 144962 adet eleman (element) ve 96583 adet düğüm noktasından (node) oluşmaktadır.(Şekil 23). İkinci durumda(50m göçük) daha sık olan ağ yapısı için bu değerler 2165044 eleman 1443363 düğüm noktası şeklindedir. Bu durumun avantajı daha detaylı sonuç alabilmek olurken, dezavantajı çözümüleme süresini 4-5 katına çıkarması olmuştur.



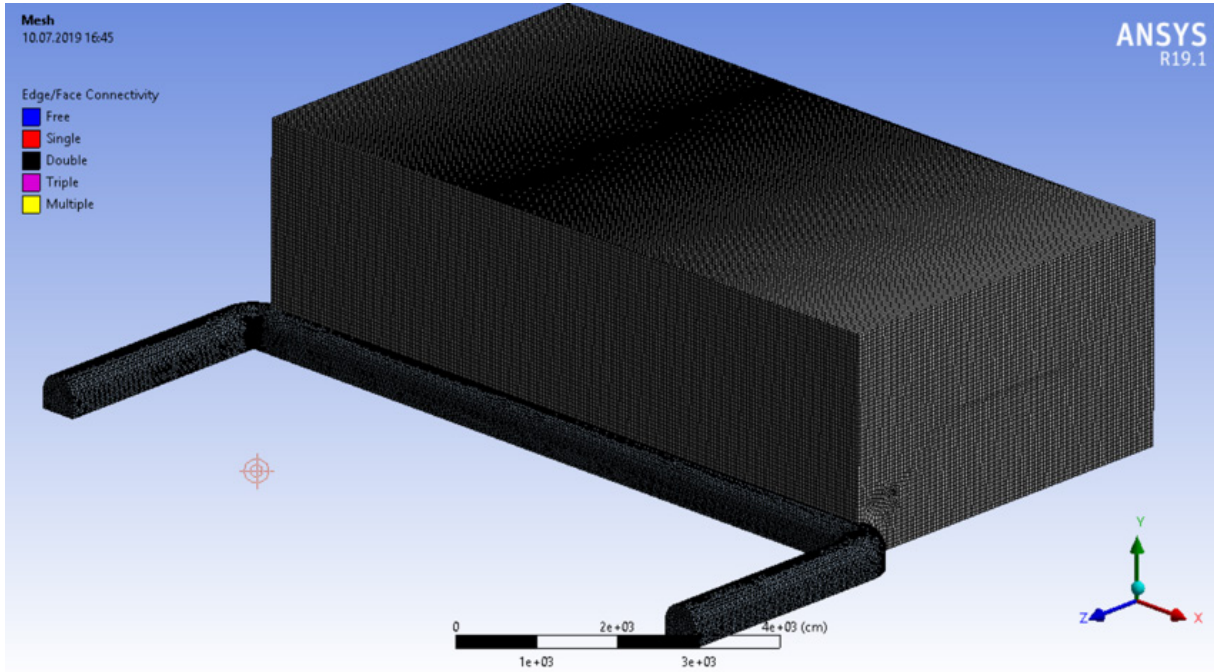
The screenshot displays the ANSYS Fluent software interface. The top panel is the 'Outline' view, showing a project tree. The 'Project' folder is expanded to show 'Model (B3)'. Under 'Model (B3)', the following items are listed: 'Geometry', 'Geom', 'Materials', 'Coordinate Systems', 'Connections', 'Mesh', 'Body Sizing', 'Body Sizing 2', and 'Named Selections'. The 'Named Selections' folder is expanded to show 'inlet', 'outlet', 'fluid_tunnel', 'fluid_gob', and 'wall'. The bottom panel is the 'Details of "Mesh"' view, which contains a table of mesh metrics and statistics.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,1706
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,88372
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14302
+ Inflation	
+ Assembly Meshing	
+ Advanced	
- Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	96583
<input type="checkbox"/> Elements	144962

Şekil 21. Proje ağacı mesh kalitesi ve düğüm-nokta sayıları

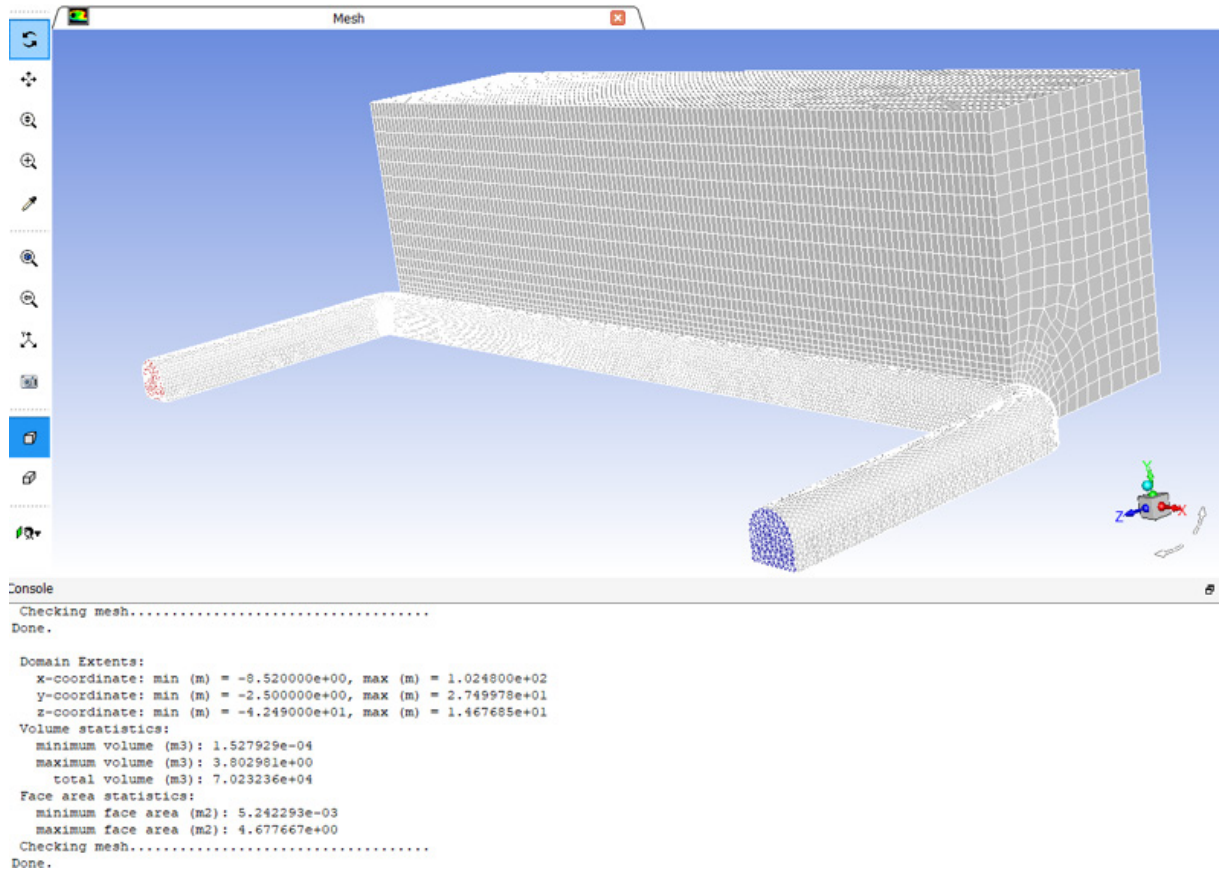


Şekil 22. Ağ yapısının son hali (20m ilerlemiş göçük)



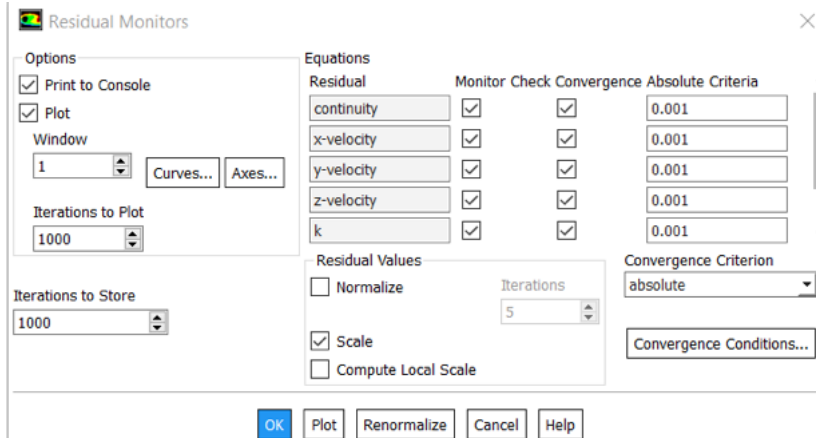
Şekil 23. Ağ yapısının son hali (50m ilerlemiş göçük)

Fluent® Çözümlemesinde yapılan kabuller: Sıkıştırılamaz akış, zamana bağlı olmayan daimi akış, ısı transferi dahil edilmemiştir (isotermal akış) ve türbülanslı akış kabulleridir. Bu kabuller eşliğinde Fluent'te 5-0.5 m/s arasında çeşitli hava hızları ile ayağa gelen havanın debisi 80.3– 8.03 m³/sn arasında farklı gönderilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 24. Çözümleme Yapılacak Ağ Yapısı ve Mesh kontrolü verileri

Çözümleme esnasında yakınsama kriterleri, hesaplanan veriler birbirine belli miktarda yaklaştığı zaman çözümü durduracak değerlerdir. Hassaslıkları Şekil 32’de verilen ekrandan ayarlanmaktadır. Burada iterasyonlar sonucu elde edilen değerler 0.001 yakınlıkta olduğu zaman çözümleme yakınsamış demektir ve otomatik olarak durur. Aradığımız ve sonucunu değerlendirmek üzere çözümlemeye aldığımız hava hızı ve basınç değerleri bölgelere göre ayrı ayrı raporlanmaktadır, çözümleme esnasında eş zamanlı olarak hem çözücü ekranında grafik şeklinde izlenirken hem de .dat uzantılı belgelere kaydedilen bu sonuçlar aynı zamanda konsol bölümüne yazdırılıp her iterasyonda değişimi gözlenebilir. Bu sayede yapılan çözümlemenin istenilen sonuca ulaşma yönünden doğruluğu izlenip olası bir hatada boşa vakit kaybetmeden çözümleme durdurulabilir.



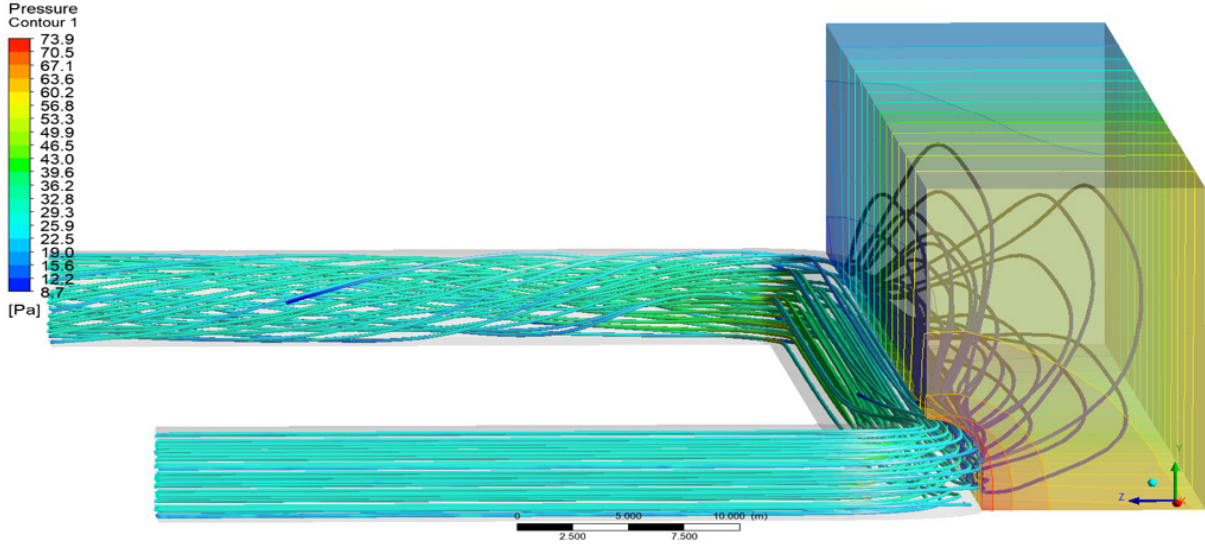
Şekil 25. Yakınsama kriterleri penceresi



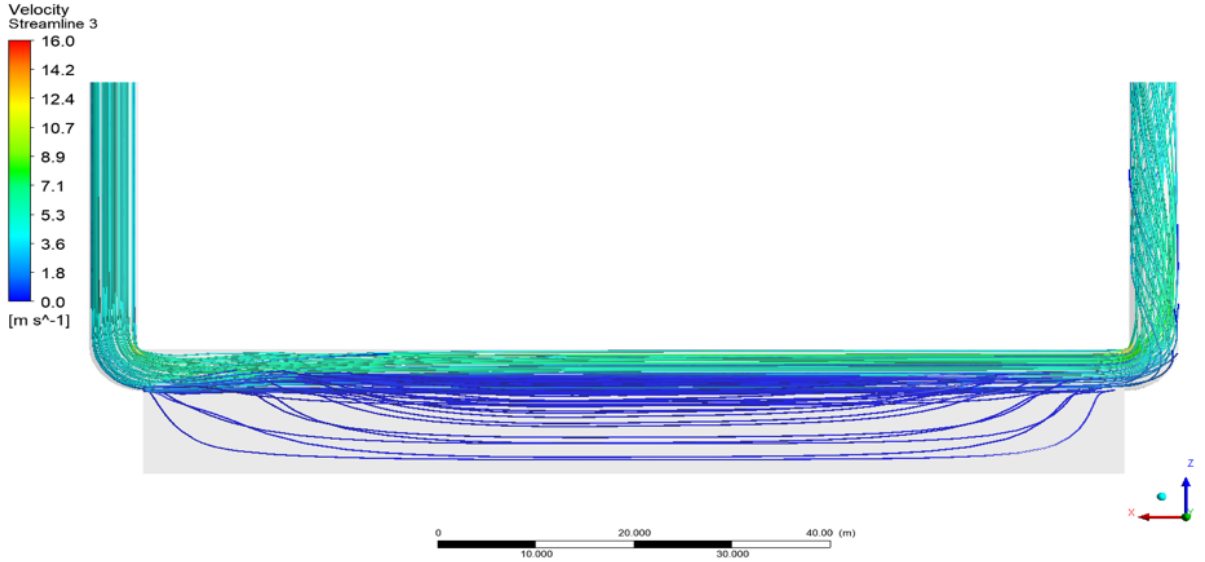
Şekil 26. Çözümleme grafiği ve konsola aktarılan veriler

Çözümleme yakınsadıktan sonra Fluent® aşaması tamamlanmış olmaktadır. İsteğe bağlı olarak sonuçlar Fluent Post Processing bölümünden değerlendirilebilir yada CFD-Post programı açılıp elde edilen sonuçlar .dat uzantılı sonuç belgesi ile aktarılabilir. CFD-Post, daha detaylı görsel veriler elde edilebildiği için bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu çalışmanın devamında aranılan bilgiler basınç dağılımı ve ayak içine gönderilen havanın izlediği yollar ve bu sıradaki hava hızı değerleri kontur ve diğer görseller elde edilecek şekilde ayarlanmış ve karşılaştırmayı sağlamak amaçlı tasarlanarak CFD-Post aşamasında sunulmuştur.

CFD-Post aşaması: Sonuçları görselleştirmek, ölçmek ve birkaç farklı çözümü birbiri ile kıyaslayabilmek için çok elverişli bir yazılım olan CFD-Post kullanarak problemin çıkış sorusu olan göçükte havanın davranışı incelenmiştir. Göçük Kalınlığının 20m olduğu durumda havanın davranışı: Göçüğün 20m ilerlemiş olduğu durumda tavan yoluna 5m/s hava gönderilmiş olup hava hızı çizgilerinin ve ayak içindeki basınç değerlerinin konturu Şekil 27 ve 28'de verilmiştir.

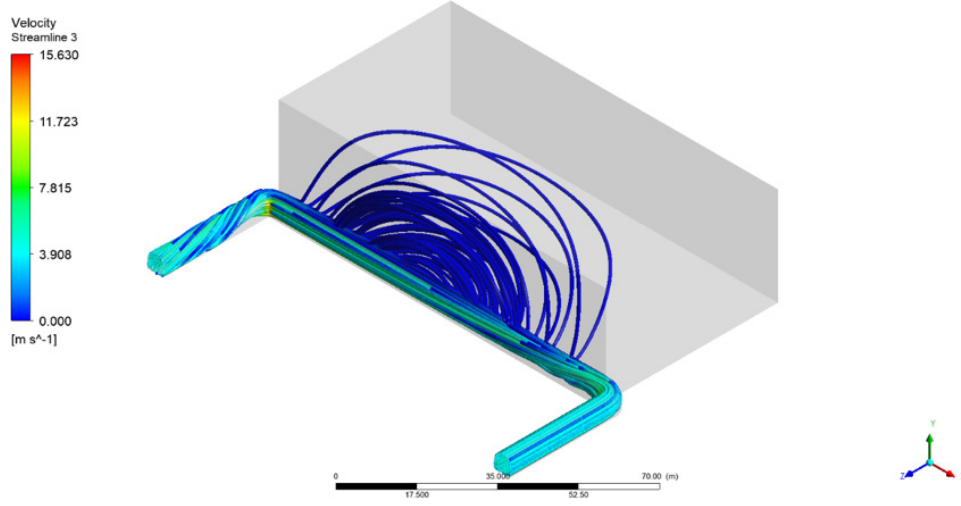


Şekil 27. Ocak içinde havanın hareketi ve basınç konturu

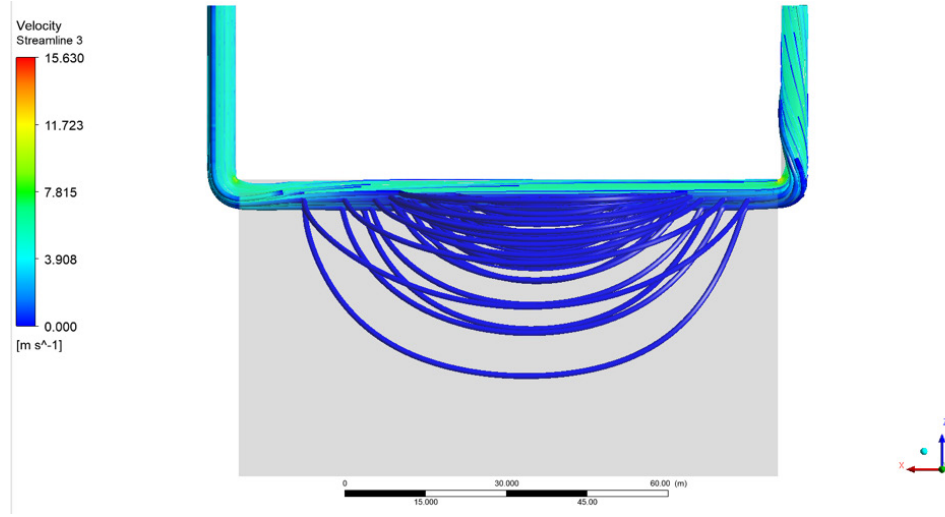


Şekil 28. Göçük boşluklarından sızan havanın ayak arkasına gidebileceği yerler

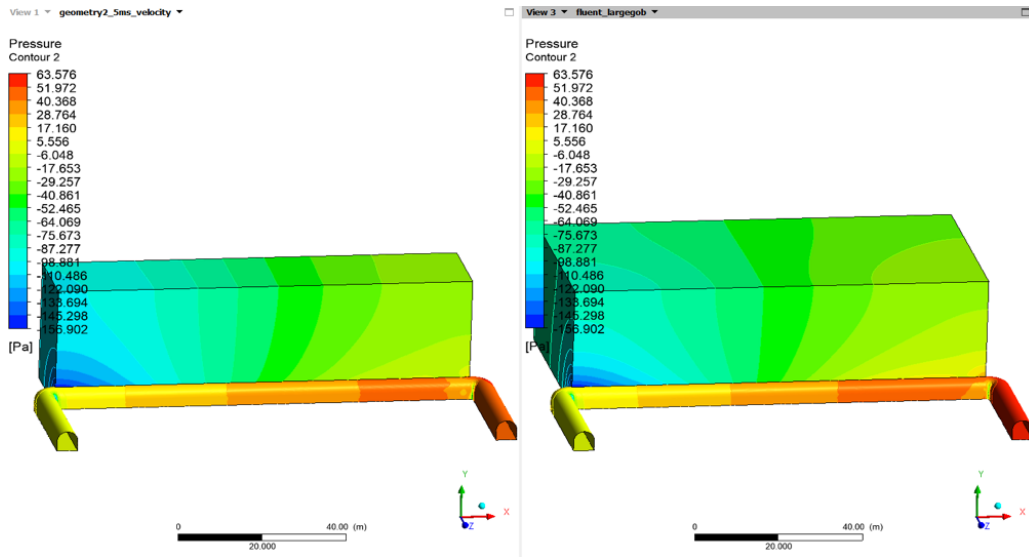
Göçük Kalınlığının 50m Olduğu Durumda Havanın Davranışı: Göçüğün 50m ilerlemiş olduğu durumda tavan yoluna 5m/s hava gönderilmiş olup hava hızı çizgilerinin ayak içinde ve ayak arkasındaki göçük bölgesinde muhtemel davranışı Şekil 29 ve 30'da verilmiştir.



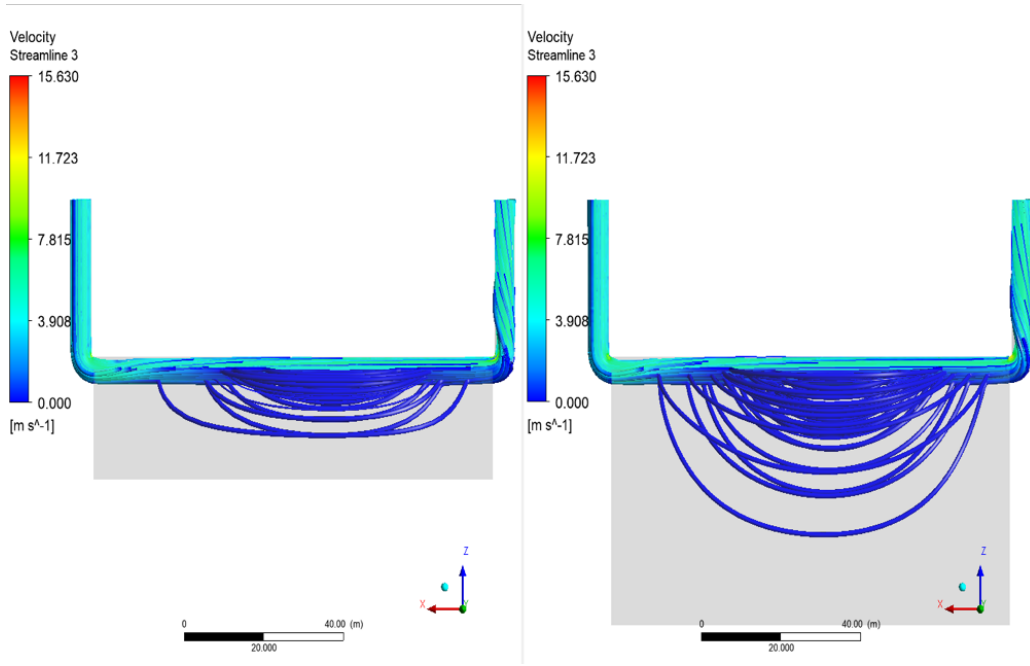
Şekil 29. Göçük boşluklarından sızan havanın ayak arkasına gidebileceği yerler (50m göçük)



Şekil 30. Plan görünüşünden havanın muhtemel hareketi (50m göçük)



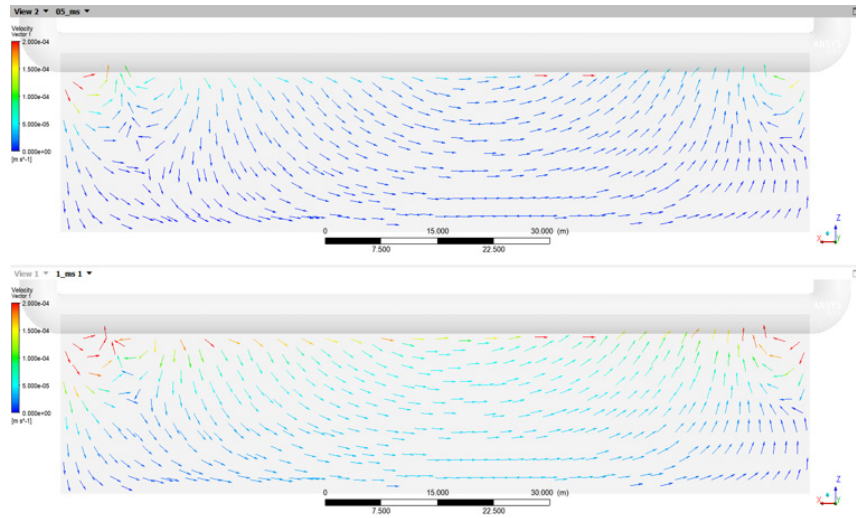
Şekil 31. İki farklı durumda 80 m³/sn havanın ocak içinde yarattığı basınç etkileri



Şekil 32. İki farklı durumda 80 m³/sn havanın ocak içinde ve göçük bölgesinde m/s cinsinden hızları ve izlediği yollar

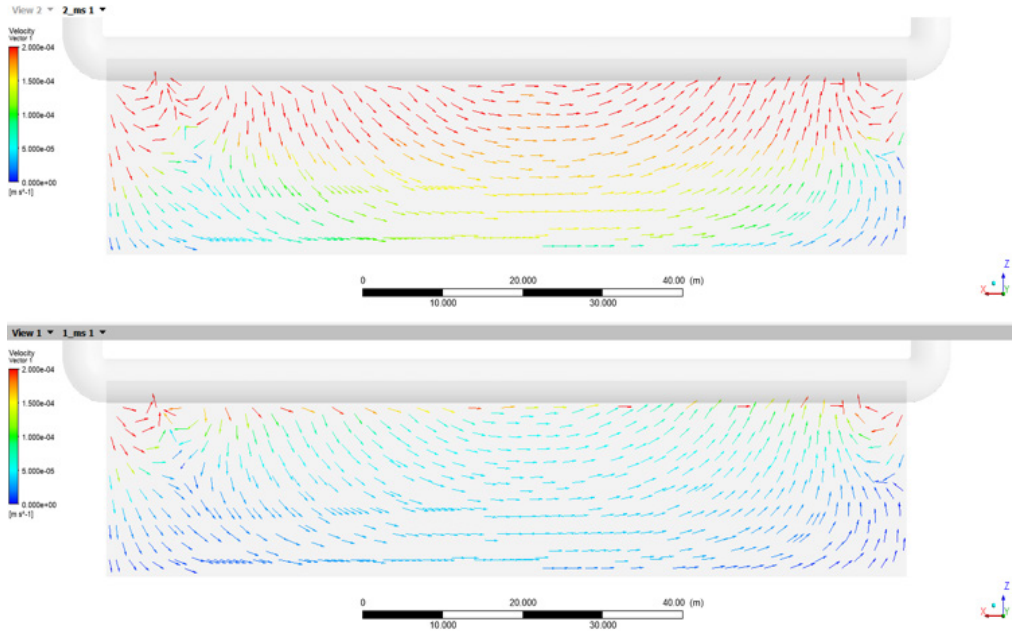
Yapılan projenin amacı yeraltı madenciliğinde havalandırma konusunda, ocak ve işçi güvenliğini maksimum düzeyde tutabilmek amacı ile nümerik analiz yapmak ve proje aşamasında veya işletme çalışmaya devam ederken karşılaşılabilecek tehlikelere karşı hazırlıklı olmak için yeni yöntemler aramaktır. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada Ansys Fluent® yazılımının gelecekte yapılacak olan madencilik çalışmalarında güvenle kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Daha önceki bölümlerde anlatılan yöntem ve kabuller yapılan proje ile araştırılan konuda ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilecektir.

Önceki bölümlerde tavan yolundan ayağa gönderilen temiz havanın debisi 80 m³/sn iken alınan sonuçlar havanın göçük arkasında nasıl hareket edebileceğini göstermişti. Bunu gördükten sonra kazanılan bilgiyi detaylandırmak, yorumlayabilmek ve karşılaştırma yapabilmek adına daha düşük debili havalarda (64, 32, 16 m³/s) ayak arkasına geçen (göçük bölgesi) havanın, bu bölgede hangi yönlerde ilerlediği ve renkli vektörler sayesinde hangi hızda hareket ettiği belirlenmiştir. (Şekil 33)



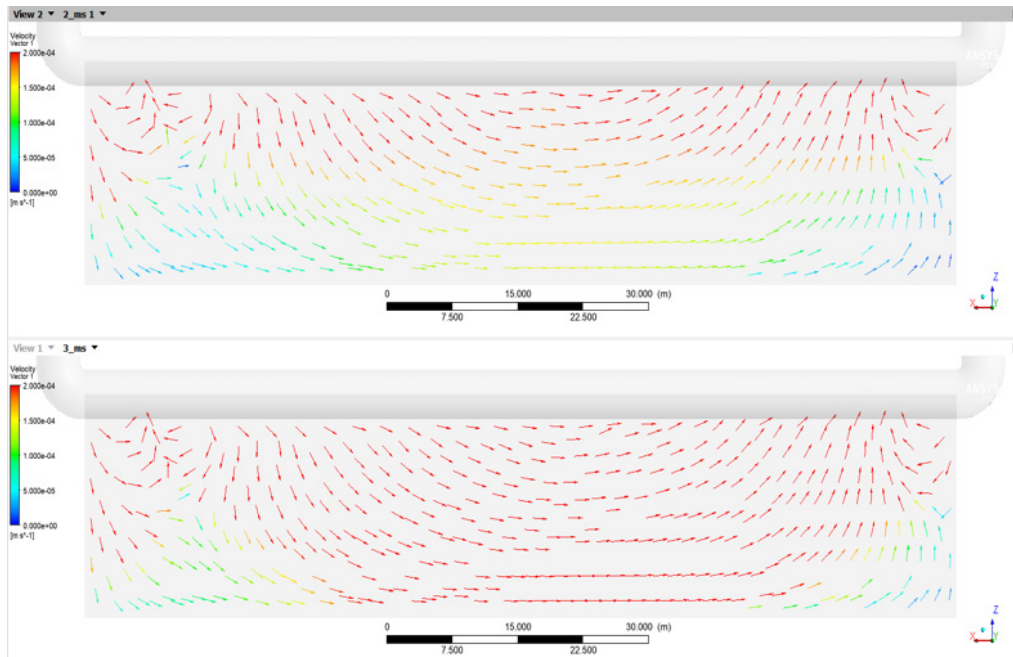
Şekil 33. 20m göçük kalınlığı için hava'nın vektörler ile gösterimi 0,5m/s (üstte) ile 1m/s (altta)

Şekil 33'te görüldüğü gibi temiz hava ayağa geldikten sonra ayak arkasındaki göçük sınırındaki ara boşluklardan göçük içine sızma eğilimine sahiptir. Göçük kütlesi içinde giren havanın çok küçük hava hızı değerlerinde de olsa bulunduğu yollardan ilerlediğini ve tavan yolunun sınırından başlayarak uzunayak'ın ilk yarısından ayak arkasına geçtiği ve diğer yarısından taban yoluna doğru tekrar çıktığı gözlemlenmektedir. Tavan yolundan gönderilen havanın debisi iki katına çıkarıldığında havanın ayak içindeki hızı da Şekil 34'te görüldüğü gibi artmaktadır. Ve bu hızı artan bölgenin göçük içinde daha derinlere ulaşabildiği görülmektedir.



Şekil 34. Hava'nın vektörler ile gösterimi, 2m/s (üstte) ile 1m/s (altta)

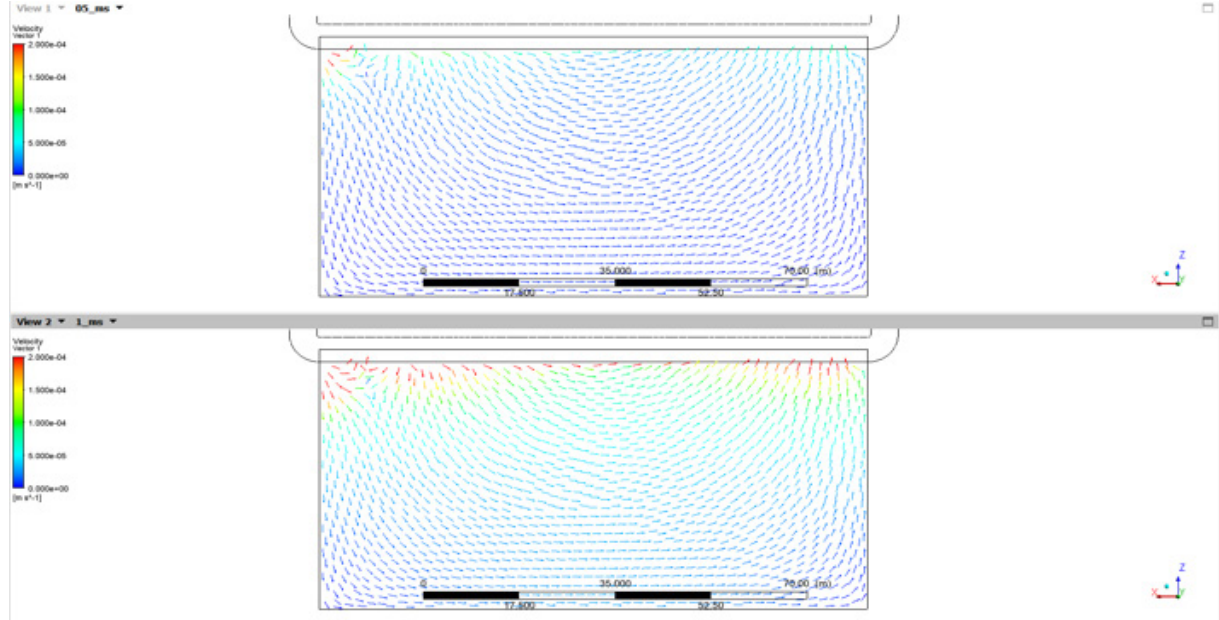
Debiyi biraz daha artırıp $48\text{m}^3/\text{sn}$ hava gönderildiğinde:



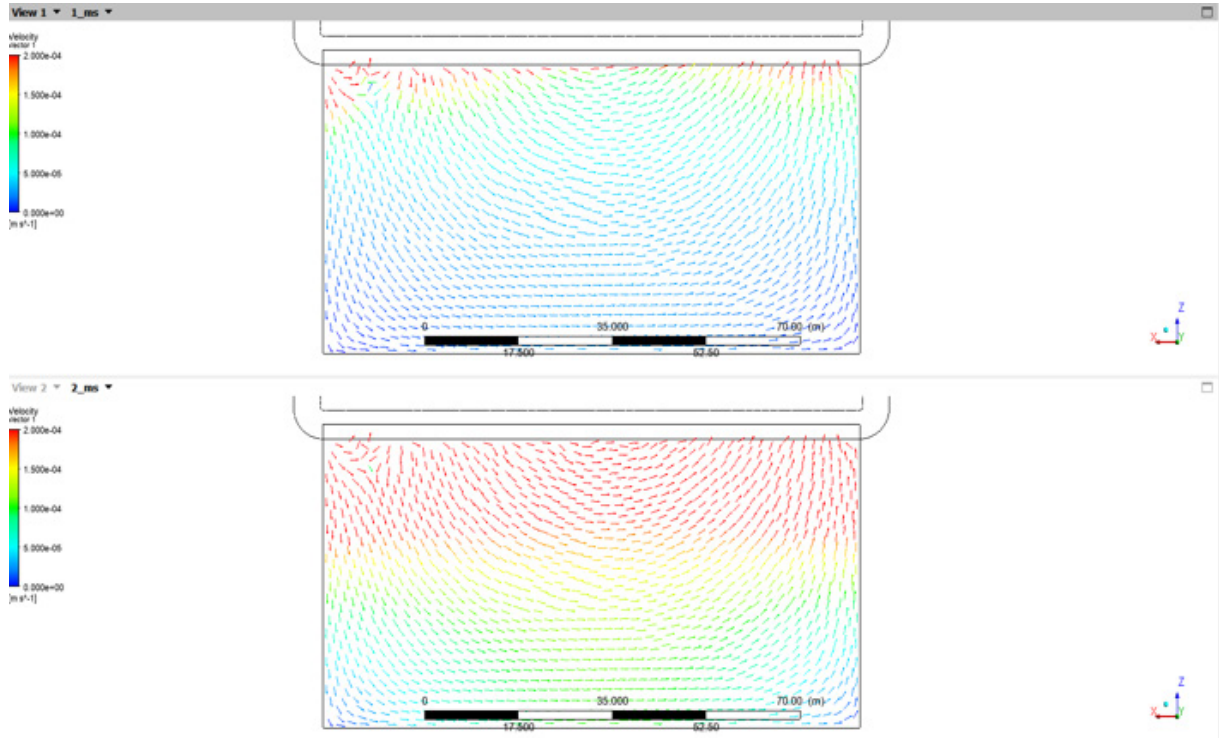
Şekil 35. Hava'nın vektörler ile gösterimi, 2m/s (üstte) ile 3m/s (altta)

Şekil 35’ te görüleceği üzere yine hem hava göçük içinde hızlanmış hem de diğerlerinden hızlı hareket eden havayı temsil eden kırmızı renkle gösterilen bölge göçüğün en arkalarına kadar ulaşabilmektedir.

Üretimin ilerlediği ve ayak arkasındaki göçük kalınlığının 50m’ye ulaştığı durumda göçük kalınlığının havanın hızı üzerinde etkisi olup olmadığını değerlendirebilmek üzere çalışmalar aynı şekilde tekrarlanmıştır ve Şekil 36 ’te gösterilmiştir.



Şekil 36. Hava'nın vektörler ile gösterimi, 0,5 m/s (üstte) ile 1m/s (altta) (50m göçük)



Şekil 37. Hava'nın vektörler ile gösterimi, 1 m/s (üstte) ile 2 m/s (altta) (50m göçük)

3. Sonuç

Görüldüğü üzere göçük kalınlığının artması havayı çok az yavaşlatsa da yine de yarıya kadar ilerlemesine engel olmamaktadır. Burada hava, göçük içinde geçirimsizlik olduğu sürece çok düşük hızlarda da olsa varlığını sürdürüp bulunduğu boşluklardan derinlere kadar ilerlemektedir.

Göçük bölgesinde var olan tehlikeli gazların ocak içine hareketinin mümkün olduğu da net bir şekilde ortaya konmuştur. Ayrıca kömürün hava ile temas ettiği anda oksidasyon olayının başladığı bilinmekte fakat bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları sırasında kendiliğinden yanmanın ilerleyip yangın riski doğurması için gerekli havanın herhangi bir alt sınır değerine rastlanmamıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda yapılabilecek yorum, çok düşük hızlarda da olsa göçük bölgesinde havanın varlığı ve dolaşımı, zehirli veya insan sağlığına zararlı gazların solunabilir havaya karışması ve kendiliğinden yanma olayı için gereken koşullar sağlandığında ocak emniyeti konusunda tehlike arz eden durumlarla karşılaşma ihtimalinin yüksek olduğudur.

Mümkün olduğunca düşük hava debisi tercih edildiğinde ve ikincil gerilmeler sonrasında açılan boşluğa tavanın da iyice oturduğu koşullar mevcuttur. Ayak arkasından ayağa gelebilecek olan metan ve karbon monoksit gazlarının ölçümleri ile toplanacak veriler kullanılarak ortaya çıkabilecek olan yangın ve kazalar erken fark edilebilir, hava hızının etkisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve diğer nümerik analizler kullanarak test edilebilir.

Ayrıca projeye başlamadan önce, planlama aşamasında, formasyonun özellikleri ve diğer bilinen kriterler göz önüne alınarak yapılabilecek olan simülasyonlar, karşılaşılabilecek sorunları öngörebilmek, hem çalışanların can güvenliğini korumak hem de milli ekonomimizi etkileyebilecek olan olası kazaları ve kayıpları önlemek için kullanılabilir.

Kaynaklar

Akbulut C., 2010. Düşük Hızlı Düşey Milli Mekanik Yüzey Havalandırıcısının HAD Analizi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi.

ANSYS FLUENT v12.0, User's Guide, Ocak 2009.

ANSYS FLUENT v12.0, Theory Guide, Ocak 2009.

ANSYS Training Course Notes, 2006

Apaçoğlu, B., Paksoy, A., Aradağ, S., 2010. Silindir Üzerindeki Kontrolsüz ve Kontrollü Laminer Akışın HAD Analizi ve Düşük Boyutlu Modellenmesi, 3. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı UHUK 2010, 126, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, Eylül 2010.

Bejan, D. A. Nield, "Convection in Porous Media", 3rd Ed., Springer, 2006

Eyaya F.A., Department of Mathematics, College of Natural and Computational Science, School of Graduate Studies, Haramaya University, Haramaya, Ethiopia, 2016

Karamanoğlu, Y., Ertöz, Ö., Mobedi, M. 2006. MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı: 91, s. 46-55

Özfirat,M.K., Yetkin M.E., Şimşir F.,Kahraman B.,“Uzunayak Üretimindeki Mevcut Tehlike Kaynaklarının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi”, Bilimsel Madencilik Dergisi, Cilt 55, Sayı 1, Sayfa 3-16, Mart 2016

Web 1: A study on pressure-driven gas transport in porous media: from nanoscale to microscale, <https://advanceseng.com/pressure-driven-gas-transport-porous-media-nanoscale-microscale/> erişim tarihi : Haziran 2019.

Yalçın, E. 1999. “Havalandırma Şebeke Analiz Programı Yardımı İle Madenlerde Kontrollü Hava Dağılımı”. Fen ve Mühendislik Dergisi. 2, 71-79

Makale Gönderim Tarihi:20 Ağustos 2019
Yayına Kabul Tarihi:12 Kasım 2019

Halkapınar-Otogar Güzergahındaki EPBM Tüneli 3 Boyutlu Sayısal Modelleme İle Analizi

3 Dimensional Numerical Modeling of Shallow EPBM Tunnel between Halkapınar and Otogar Route

C. Okay Aksoy^{1*}, Kerim Küçük¹, Turgay Onargan¹, Vehbi Özacar¹, H. Eray Yaman¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye

*Sorumlu yazar: okay.aksoy@deu.edu.tr

Özet

İzmir’de son dönemlerde yapılan yatırımlar içerisinde önemli bir yere sahip olan metro yatırımları arasında Halkapınar-Otogar güzergahı, İzmir’in toplu ulaşım kolları arasında uzun yıllardır bekleyen bir konudur. Bölgedeki jeolojik yapının çok zayıf olması, güzergah üzerinde çok eski ve yorulmuş yapıların yoğun şekilde bulunması, trafik açısından bakıldığında güzergahın önemli bir kanal oluşturması gibi konular düşünüldüğünde, bu bölümde yapılacak olan tünel kazıları konusunda oldukça hassas olunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, çok iyi bir jeolojik ve jeoteknik araştırma sonucunda güzergahta açılacak tünelin tünel açma yönteminin doğru şekilde belirlenmesi, tünel çapının belirli standartlara bağlı kalınarak seçilmesi ve çevreye vereceği olumsuz etkilerin önceden detaylı şekilde ortaya konması gerekmektedir. Bu çalışmada, bahsi geçen güzergahta açılacak olan tünelin gerilme-deformasyon analizleri 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Sonuçta, tünelin açılması ile ortaya çıkacak olan zemin oturma miktarları, tünel içi deformasyonlar, tünel segmentine gelen eksenel yükler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri gibi tasarım parametreleri de belirlenmiş olup, tünelin çevre yapılara verecek olduğu hasarın kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metro, Sığ Tünel, Sayısal Modelleme

Abstract

Investments made in recent years in Izmir, which has an important place in the Otogar-Halkapınar of route in the arms of the public transportation route for many years, waiting for the subway is a matter of Izmir. The geological structure of the region is very weak, the route is heavily on the presence of a very old and tired buildings, traffic constitute an important channel in terms of issues such as the route is concerned, tunnel excavations to be made in this section need to be very sensitive to emerge. For this reason, a very good route to be opened as a result of these geological and geotechnical investigation to determine correctly the method of tunneling, the tunnel, the tunnel diameter adherence to certain standards, pre-selection and negative impacts to the environment needs to be revealed in detail. In this study, the stress-strain analysis of the aforementioned tunnel route, which will be performed by three-dimensional finite element method. Ultimately, that will arise with the opening of the tunnel ground settlements, tunnel deformations, the axial loads, shear forces and bending moments as well as the design parameters of tunnel segment have been determined. The effect of tunnel remains within acceptable limits in terms of the damage to surrounding structures.

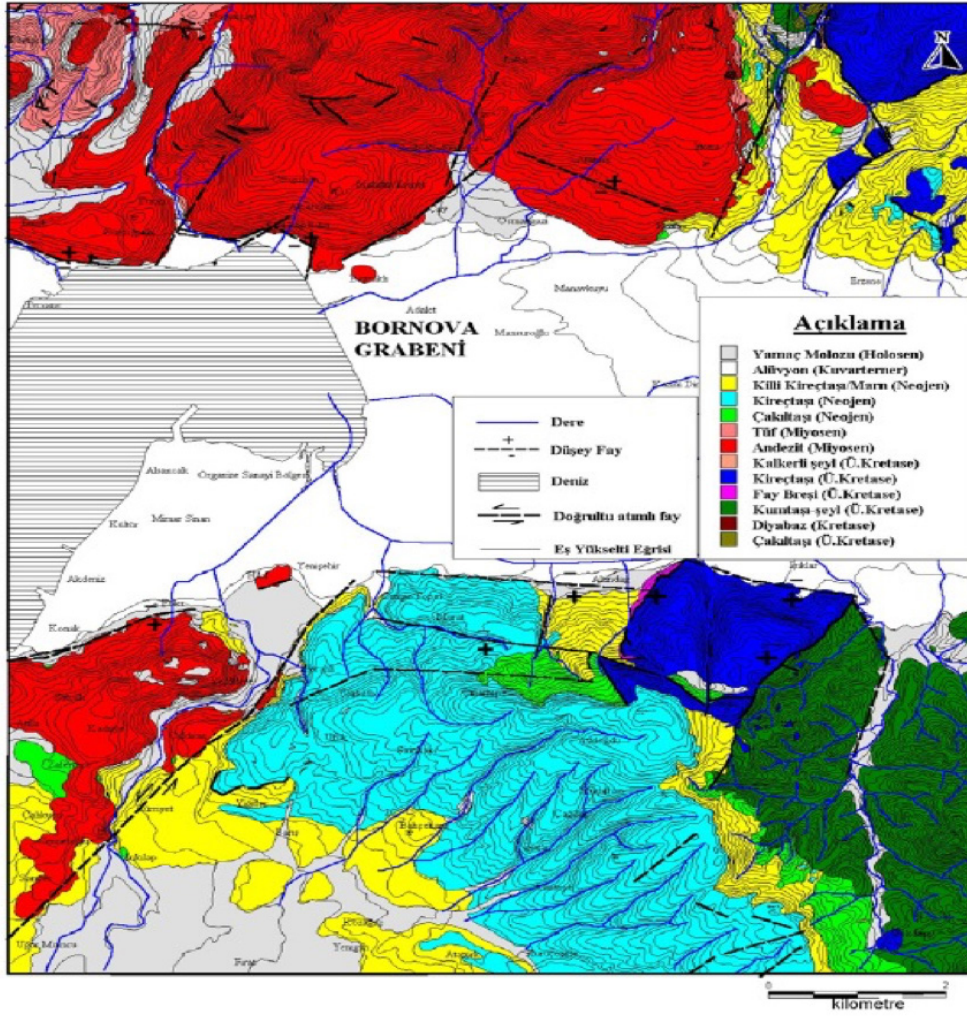
Keywords: Metro, Shallow Tunnel, Numerical Modeling

1.Giriş

Günümüzdeki tüm büyük şehirlerde olduğu gibi İzmir’de de hızlı yapılaşmanın yarattığı en önemli sorunlardan birini oluşturan şehir içi ulaşımı ve bunun hava ve gürültü kirliliğine olumsuz etkisini ortadan kaldırmak ya da en aza indirmek amacıyla planlanan İzmir Metrosu ve Hafif Raylı Sistemi günümüze kadar değişik aşamalarda gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmeye de devam edilmektedir. İZRAY Projesi kapsamında bulunan İzmir Hafif Raylı Sistemi III. Aşama’sı olarak önceki yıllarda planlanmış olan Halkapınar – Otogar arasında yer aldığı güzergah incelemelerimiz onaylı projeler (35202-001 ila 35202-011 no’lu güzergah paftaları) kapsamında önceki bilgiler ve raporlar ışığında değerlendirilmiştir.

Bu raporda öncelikli olarak ele alınıp incelenen Yapı Teknik Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti. tarafından hazırlanmış olan Şubat-2006 tarihli “*İzmir Hafif Raylı Sistem Projesi 3. Aşama Halkapınar – Otogar Bağlantısı Jeoteknik raporu*” nda (Yapı Teknik Proje, 2006) mevcut jeoteknik bilgiler ve değerlendirmeler tarafımızca hazırlanmış olan bu rapor kapsamında esas alınmıştır. İncelenen rapor kapsamında detaylı olarak verilmiş olan SK-1, SK-2, SK-3, SK-4 ve SK-5 sondajlarının tamamı incelenen güzergah üzerinde yer almaktadır. Gerçekleştirilmiş olan sondaj verileri ve bu sondajlardan elde edilen örnekler üzerinde yapılmış olan laboratuvar test sonuçları ve sahada yerinde yapılmış olan test verilerine göre geçilecek olan zeminlerin mühendislik özellikleri hakkında ön bilgiler elde edilmiş ve bu bilgilere dayanılarak bazı ön analizler gerçekleştirilmiştir.

İncelenen güzergah, kısmen İzmir körfezi grabeni ve kısmen Bornova ovası içinde yer almaktadır. Şekil 1’de çalışma alanına ait 1/5.000 ölçekli pafta karelağı içerisinde jeolojik birimlerin dağılımı verilmiştir. İnceleme alanının topografyasına bakıldığında, Halkapınar yöresinin + 2-4 metre kotlarında olduğu ve topografyanın doğuya doğru yükselerek Otogar yöresinde 24 –26 kotlarına ulaştığı görülür. Halkapınar yöresinde, elli metre derinliğe kadar yapılan sondajlarda, Otogar yöresinde otuz metreye kadar yapılan sondajlarda neojen’e ait çökeller içinde kalınmış ve ana kayaya ulaşmamıştır. Bu gözlemler sonucu, Halkapınar – Otogar HRS projesi ile ilgili açılacak yer altı açıklıklarının alçak ova tabanında neojen’e ait çökeller içinde kalacağı kesindir. Söz konusu güzergahta “*Silt-Kil Ağırlıklı Zemin*” ile güzergahın otogar tarafında “*Kum-İnce Çakıl Ağırlıklı Zemin*” içerisinde çalışılacaktır (Yapı Teknik Proje, 2006).



Şekil 1.Çalışma alanının 1/5.000 ölçekli pafta karelağı içerisinde jeolojik birim dağılımı (Kıncal, 2004).

1.1. Halkapınar yöresi

Yüzeyde 2-3 metre kalınlıkta dolgu malzemesi geçildikten sonra, ilk 15 –17 metrede SPT değerleri 10'u geçmeyen gevşek killere veya killi siltlere rastlanmaktadır. Bu gevşek malzemenin altında 7-8 metre kalınlığında kum ve çakıl karışımından oluşan sert bir tabaka görülmekte ve bunun da altında sert, plastisitesi değişken siltli kil veya killi silt tabakalarına rastlanmaktadır.

1.2. Otogar yöresi

Otogar yöresinde killi çakıl veya çakıllı kil ar dalanması 30 metre derinliğe kadar devam etmektedir. Bundan sonra yer yer çakıl cepleri içeren sert killer görülmektedir. Yapılan incelemeler ve değerlendirmeler sonucu, Halkapınar'da gözlenen gevşek kil veya killi silt tabakalarının gittikçe incelerek otogar yöresine kadar uzandığı tahmin edilmektedir.

1.3. Yer altı suyu durumu ve Hidrojeoloji

Halkapınar yöresinde yer altı suyu yüzeye çok yakındır. Mevcut zeminin yaklaşık 2 metre altında yer altı suyu tabakasına rastlanmaktadır. Diğer bir deyimle, yer altı suyu kotu 0.00 alınabilir. Otogar yöresinde ise yer altı suyu tabii zeminin yaklaşık 10 – 15 metre altına gözlenmiştir. "İzray İzmir Hafif Raylı Sistemi 3. Aşama Jeoteknik Değerlendirme Raporu" başlıklı çalışma

kapsamında açılan sondajlarda tünel güzergahı ve diğer aç-kapa inşaat kazı kotları üzerinde yeraltı su seviyeleri tespit edilmiştir (Yapı-Teknik Proje, 2006). Tünel güzergahı civarında yeraltı suyu derinliği 2-4 metre ile 6-12 metre aralığında görülmektedir.

2. Tünel Açma Makinesi İle Yapılacak Tünel Kazısının Ve Olası Etkilerinin Nümerik Modelleme İle Değerlendirilmesi

Bahsi geçen güzergahta öncelikle 14 m çapında tek tüp tünel açılması planlanmıştır. Güzergah boyunca yoğun yapılaşma olması, binaların eski ve deprem yönetmeliği öncesi yapılmış olması ve zemin durumu da göz önüne alınarak analitik çözümleme ile durum incelenmiştir. Analitik inceleme sonrasında oluşan tasmandan dolayı binalarda ağır hasarlar olabileceği görülmüştür. Bu sebeple, güzergah üzerinde 7 m çapında çift tüp tünel açılması durumu incelenmiştir. Analitik çözümleme sonucunda oluşan etkilerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görüldüğü için bu senaryonun Sayısal modelleme ile incelemesi yapılmıştır. Çizelge 1’de tünele ait parametreler verilmektedir (Aksoy vd., 2012).

Çizelge 1. 7 metre çaplı delme tünel için proje teknik parametreleri ve formasyon özellikleri

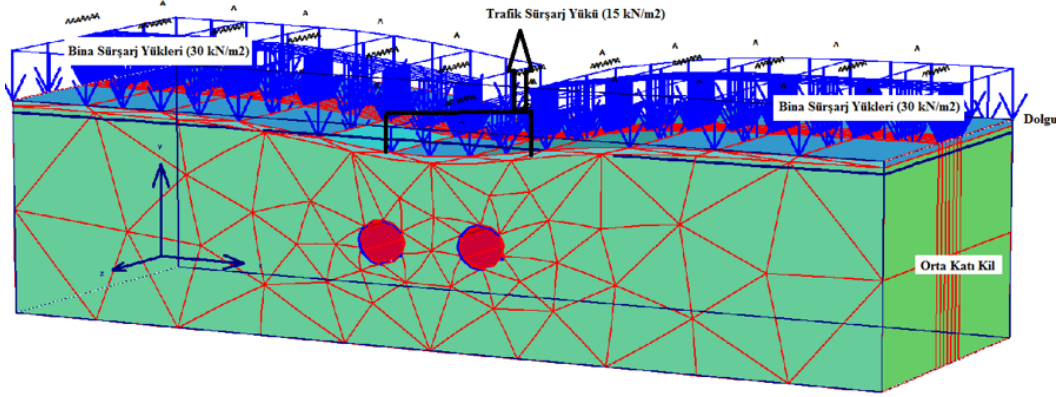
Teknik Parametreler	Değer
Tünel Kazı Çapı (m)	7
Tünel Örtü Kalınlığı (m)	14,58
Zemin Kotu (Siyah Kot)	+14,25
Ray Kotu (m)	-8,25
Yer altı Su Seviyesi (m)	10-12
Geçilen hakim zemin	Sarı, yeşil renkli orta katı-çok katı kıvamdaki doyumlu kil (yer yer kumlu çakıllı (SPT= 9-26))
Ortalama Doğal Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,85
Ortalama drenajsız kayma dayanımı-kohezyon t/m ² (MPa)	2,8 (0,028)
Ortalama Elastisite Modülü t/m ² (MPa)	4000 (39,2)

2.1. Halkapınar-Otogar Güzergahında Açılması Planlanan 7 Metre Çaplı İkiz EPB TBM Tünellerinin 3 Boyutlu Sayısal Modelleme Yöntemleri İle Analizi

Eser Müşavirlik Mühendislik A.Ş. Tarafından Yüklenilmiş olan “Kemalpaşa-Torbalı ve Alsancak Limanı Bağlantısı Demiryolu Etüd Proje Ve Mühendislik” işi kapsamındaki Halkapınar-Otogar arası güzergahta bulunan çok zayıf zemin koşullarında açılması planlanan tünellerin boyutlarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar kapsamında tünel çözümünün Sonlu Elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilen Sayısal model çalışması bu bölümde verilmektedir.

2.2. Sayısal Modellemede Kullanılan Destekleme Elemanları ve İnşaat Aşamaları

Tarafımıza iletilen dökümanlar ve tarafımızca yapılan saha çalışmaları kapsamında yapılan değerlendirmeler sonucu tünel güzergahının idealize edilmiş zemin profili ve modelleme sonucu oluşan deforme olmuş durum Şekil 2’de ve verilmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanının idealize edilmiş zemin profili ve modelin deforme olmuş hali

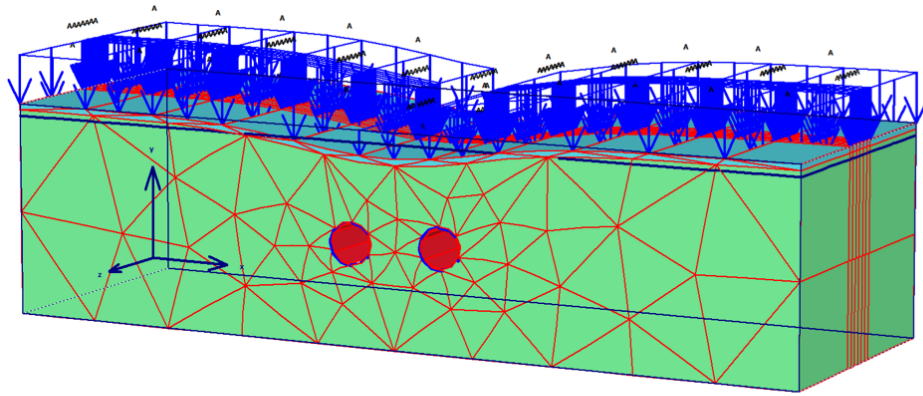
Sayısal modellemede malzemelerin tanımlanmasında daha önce yapılmış jeoteknik sondajlar ve laboratuvar çalışmaları dikkate alınmıştır. Yenilme koşulu olarak dolgu malzemesi için Mohr-Coulomb yenilme koşulu ve Orta Katı Kil için Hardening Soil model kullanılmıştır. TBM 3 boyutlu plak (Plate) eleman (eğilme ve aksel rijitliğe sahip) olarak, tünel kaplaması ise 3 boyutlu hacimsel sonlu eleman olarak modellenmiştir. Tünel kaplaması için elastik malzeme davranışı göz önüne alınarak Young modülü 31000 MPa, Poisson oranı 0.1 ve birim hacim ağırlığı 24 kN/m³ alınmıştır. Modelde tünel aynasında uygulanan dengeleme basıncı için Broere (2001) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır:

$$\sigma = K_0 \gamma' Z_0 + \sigma_W + 20 \text{ kPa}$$

K_0 için 0,4 değeri kullanılarak alın basıncının tünel tepesinde 90 kPa olduğu ve derinlikle 14 kPa olduğu kabul edilmiştir. Grout basıncı olarak da 200 kPa lık bir basınç TBM kuyruğunda bulunan kaplama anında (1,4 m) tünel çeperine uygulanmıştır. Analizler sırasında TBM in tepki kuvveti olarak 640 kPa lık bir basınç, tünel eksenine doğrultusunda kaplama elemanlara uygulanmıştır. Analizler sırasında her bir adım için TBM uzunluğunca (8,6 m) hacim kaybı olarak %0,5 değeri alınmıştır. 3B tünel modelinde tünel-zemin ve temel-zemin etkileşimi için ara yüzey (Negatif Interface) elemanlar göz önüne alınmıştır. TBM kazısında bir ilerleme boyu 1,5 m olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir. Sonlu elemanlar ile Sayısal modelleme yapabilmek için Plaxis 3D Tunnel V2 (Plaxis Manual, 2008) programı kullanılmıştır. Oluşturulan modelde, Otogar-Halkapınar güzergahındaki idealize edilmiş zemin profili modele entegre edilmiştir. Yolda 15 kN/m² trafik yükü ve yol kenarlarında yoğun yapılaşmadan dolayı 30 kN/m² bina sürşarj yükü tanımlanmıştır. Yeraltı suyu tablası zeminde 5 m aşağıda olacak şekilde modele girilmiştir.

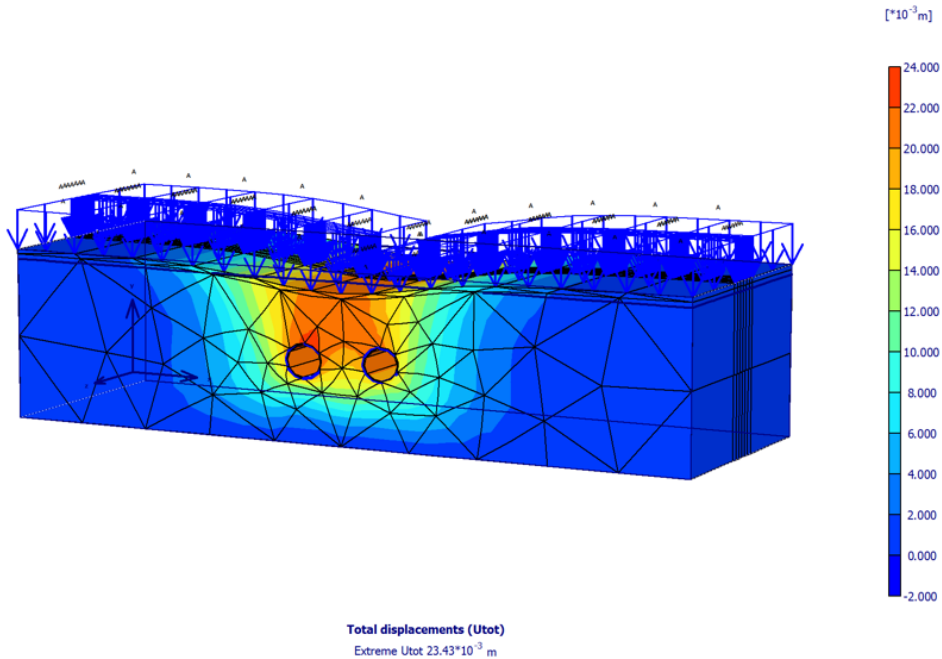
2.3. Sayısal Modelleme Sonuçları

Aşağıda analiz sonuçları şekiller itibariyle verilmektedir. Buna göre Şekil 3'te oluşturulan modelin deforme olmuş hali, Şekil 4'te modelde oluşan toplam deformasyonların kontursal görünümü, Şekil 5'te modelde oluşan yatay deformasyonların kontursal görünümü, Şekil 6'da modelde oluşan düşey deformasyonların kontursal görünümü, Şekil 7'de analiz sonucunda yeryüzünde oluşan düşey oturma miktarının temsili görünümü (Maksimum: 21.43 mm), Şekil 8'de ise modelde oluşan efektif gerilmelerin kontursal görünümü verilmektedir. Aşağıda ayrıca Şekil 9'da modelde oluşan asal gerilmelerin kontursal görünümü, Şekil 10'da analiz sonucu oluşan boşluk basıncının kontursal görünümü verilmiştir.



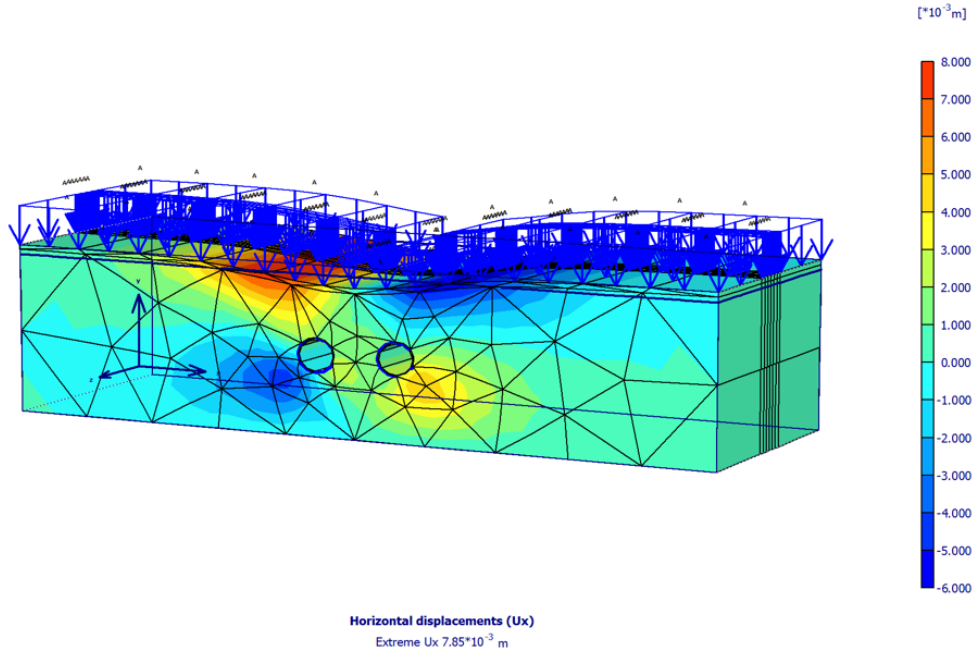
Deformed Mesh
Extreme total displacement $23.43 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 200,00 times)

Şekil 3. Modelin deforme olmuş hali

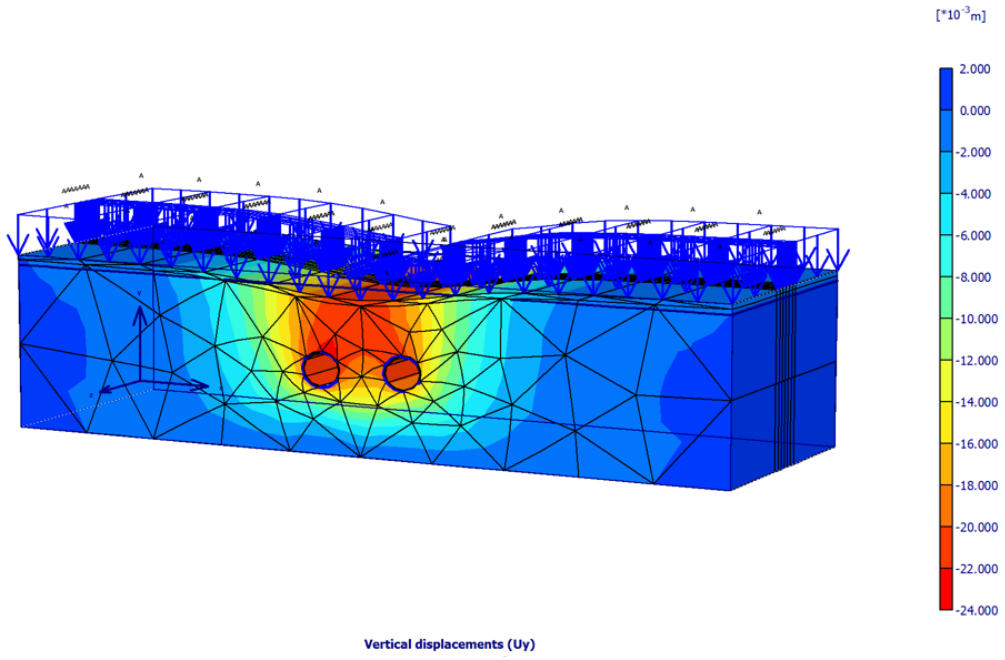


Total displacements (Utot)
Extreme Utot $23.43 \cdot 10^{-3}$ m

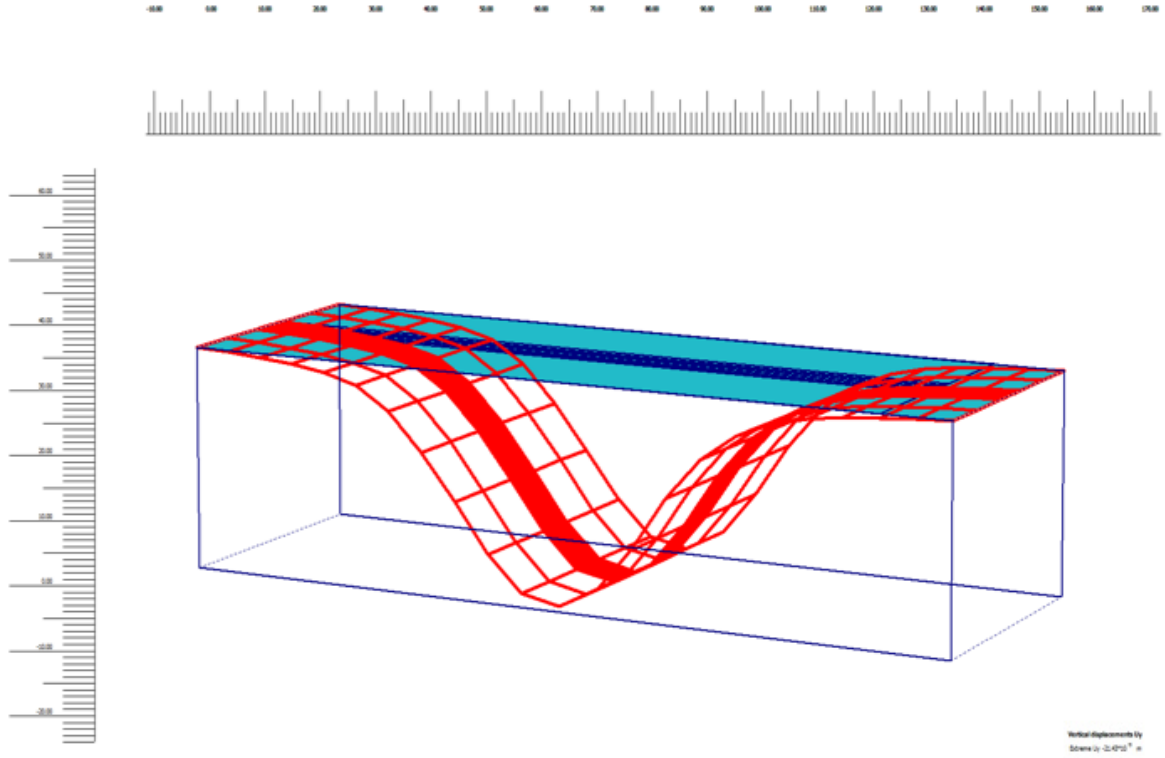
Şekil 4. Modelde oluşan toplam deformasyonların kontursal görünümü



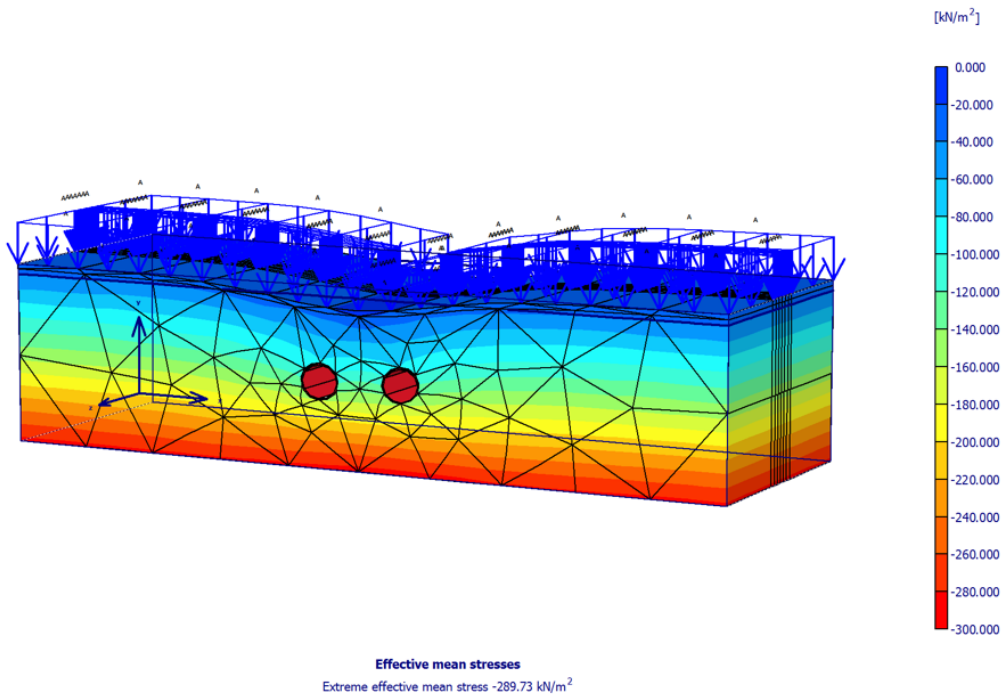
Şekil 5. Modelde oluşan yatay deformasyonların kontursal görünümü



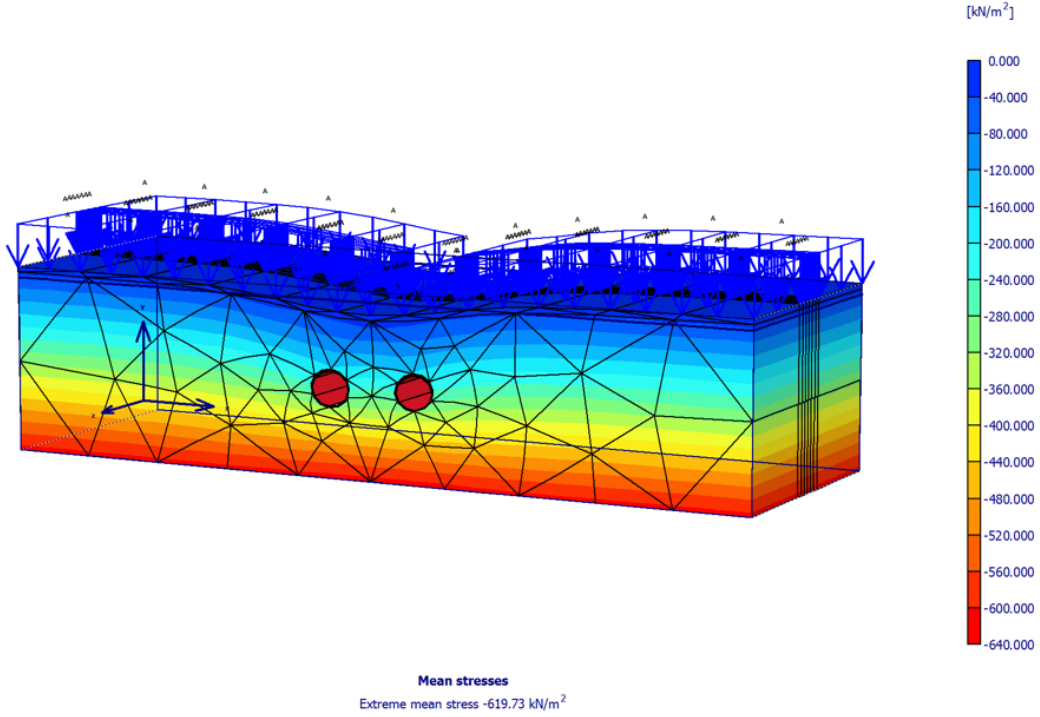
Şekil 6. Modelde oluşan düşey deformasyonların kontursal görünümü



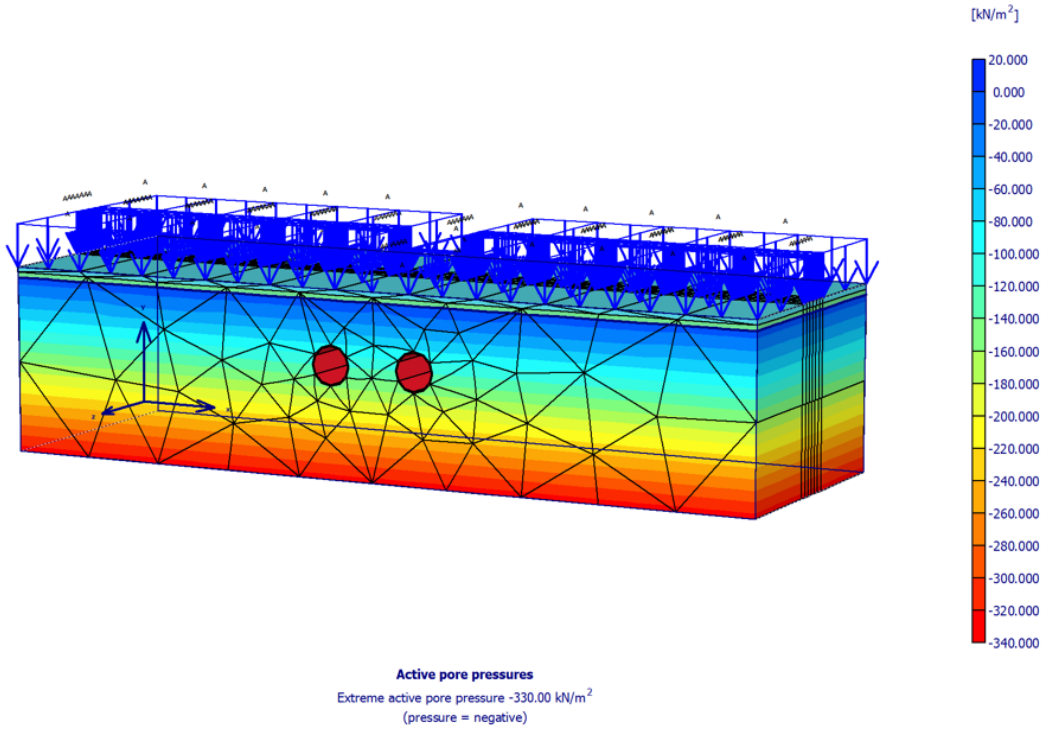
Şekil 7. Yeryüzünde oluşan düşey oturma miktarının temsili görünümü (Maksimum: 21.43 mm)



Şekil 8. Modelde oluşan birincil efektif gerilmelerin kontursal görünümü

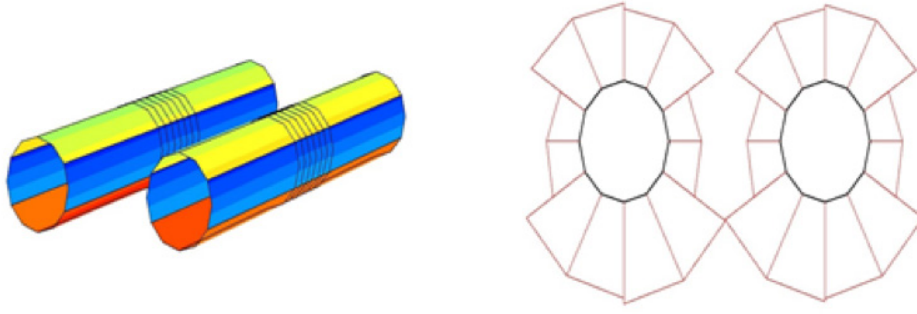


Şekil 9. Modelde oluşan birincil asal gerilmelerin kontursal görünümü

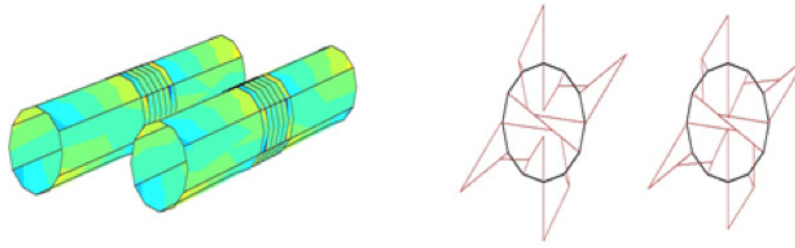


Şekil 10. Modelde oluşan boşluk basıncının kontursal görünümü

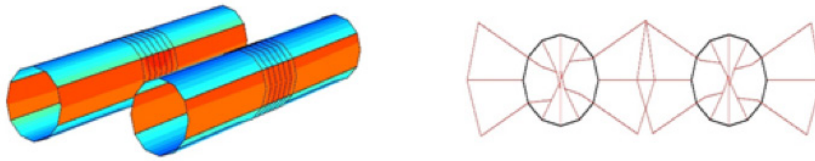
Aşağıda analiz sonucu tahkimatta oluşan gerilme analiz değerleri grafiksel olarak değerleri ile birlikte verilmektedir. Şekil 11’de TBM segmentlerinde oluşan “Eksenel Kuvvetler” (Maksimum: -581.70 kN/m), Şekil 12’de TBM segmentlerinde oluşan kesme kuvvetleri (Maksimum: - 6.52 kN/m), Şekil 13’te ise TBM segmentlerinde oluşan eğilme momentleri (Maksimum: -27.81 kNm/m) şekil üzerinde verilmektedir.



Şekil 11. TBM segmentlerinde oluşan aksel kuvvet (Maksimum: -581.70 kN/m)



Şekil 12. TBM segmentlerinde oluşan kesme kuvveti (Maksimum: - 6.52 kN/m)



Şekil 13. TBM segmentlerinde oluşan eğilme momenti (Maksimum: -27.81 kNm)

3. Sonuçlar

Otogar-Halkapınar güzergahında açılması planlanan EPB TBM tünelinin çevresel etkilerini ve kazı-tahkimat aşamalarını tanımlayabilmek amacıyla daha önce yapılmış olan jeoteknik sondaj ve laboratuvar deneylerine dayalı olarak bir ön değerlendirme çalışması yapılmıştır. Analitik ve ampirik hesaplamalar sonucu geniş tek tüp (14 m çaplı) tünelin olumsuzlukları değerlendirilerek 7 m çapında 2 tünel açılmasının daha uygun olduğu görüşü oluşmuştur. Bu görüşle birlikte yapılan çalışmalar kapsamında 3 boyutlu sayısal modelleme analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, modelde oluşan toplam tasman (oturma) miktarının 21,43 mm, yatay deformasyonların 7 mm ve düşey deformasyonların 23,35 mm olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan modelde oluşan efektif gerilmelerin 289,73 kN/m², toplam gerilmelerin 619,73 kN/m² ve boşluk basıncının 330 kN/m² olduğu tespit edilmiştir. Tünel segmentine etkiyen tesirler incelendiğinde, segmentlerde maksimum 581,70 kN/m aksel kuvvet, 6,52 kN/m kesme kuvveti, 27,71 kNm eğilme momenti olduğu görülmüştür. Bu çalışma sonucunda EBP TBM ile açılacak 7 m çapındaki ikiz tünellerin stabil olacağı ve çarpıklık açıları ile stabilite katsayısı değeren-

dirildiğinde çevredeki yapılarda önemli bir hasara neden olmayacağı düşünülmekle birlikte, bu çalışma analitik yol ile yapılan çalışmalar ile teyit edilmiş ve başka bir çalışma kapsamında bu sonuçlar verilmiştir. Ancak, bölgesel ve konumsal riskler düşünüldüğünde, tünel açma işleri esnasında geçilecek olan özellikle çakıllı zeminlerde ve iri taneli silt-kil geçişlerinde tünel üzerinde gerekli yerlerde bir enjeksiyon katmanı oluşturmaya yönelik uygulamalar düşünülebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Eser Mühendislik Müşavirlik A.Ş. tarafından desteklenmiştir. Yazarlar Eser Mühendislik Müşavirlik A.Ş.'den Özay Öz, Gürsoy Akagündüz, A. Bülent Tiryaki, Belma Ünver'e teşekkür ederler.

Kaynaklar

Aksoy, C.O., Onargan, T., Küçük, K., Pamukçu, P., Özacar, V. 2012. Kemalpaşa-Torbalı Ve Alsancak Limanı Bağlantısı Demiryolu Etüd Proje Ve Mühendislik İşİ Ön Raporu.

Boere, W., 2001. Tunnel Face Stability&New CPT Applications, Ph D. Thesis, Technische Universiteit Delft, Delft University Press, Netherlands.

Kıncal, C. 2004. İzmir İç Körfezi Çevresinde Yer Alan Birimlerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi. D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 3420 sayfa. İzmir.

Plaxis Manual, 2008.

Yapı-Teknik Proje, 2006. İzmir Hafif Raylı Sistem Projesi 3. Aşama Halkapınar – Otogar Bağlantısı Jeoteknik rapor

Makale Yazım Kuralları

1.Dergi Hakkında

MT Bilimsel, Türkiye'nin ilk ve tek madencilik ve yer bilimleri dergisi olan Madencilik Türkiye Dergisi'nin yayıncı şirketi MAYEB Madencilik ve Yerbilimleri Basım Yayın Dağıtım Ltd. Şti. tarafından çıkarılmaktadır.

MT Bilimsel'de yayınlanması için hazırlanan makaleler daha önce yayınlanmamış özgün yazı, derleme yazı, teknik notlar ve tartışma yazıları niteliğinde olmalıdır. Yazının MT Bilimsel'e gönderilmesi, daha önce basılmamış veya başka bir yerde incelemede olmadığını kabulü anlamına gelmektedir.

Maden, petrol, doğal gaz, jeotermal gibi her türlü yer altı kaynakları konusunda ve alt dallarında; ilk kez yazarı tarafından açıklanan teorik ve pratik çalışmaları içeren yazılar **özgün yazı**, daha önce yapılmış çalışmaları eleştirel bir yaklaşımla derleyip o konuda yeni bir görüş ortaya koyan yazılar **derleme yazısı**, devam eden bir çalışmanın ön notları, önceden yapılmış bir çalışmanın uzantısı, sınırlı bir çalışmanın tam anlatımı, özel bir uygulamanın ya da uygulanan deneysel bir işlemin tanıtımı şeklinde çalışılan bilimsel içerikli yazılar **teknik not**, dergide daha önce yayımlanan yazılara okurlardan gelen eleştiriler, katkılar ve bu eleştirilere yazar tarafından verilen yanıtları içeren yazılar da **tartışma yazısı** olarak adlandırılır.

2.Yazıların Telif Hakları

MT Bilimsel'de yayınlanan makalelerin telif hakları MAYEB'e aittir. Yazının yayına kabulünün ardından Yayın İdare Merkezi (YİM) tarafından sorumlu yazara elektronik ortamda "telif hakkı devir sözleşmesi" gönderilir. Bu sözleşme ile dergide yayınlanan yazılar, yazarları adına koruma altına alınmış olur ve başka bir yayın organında yayınlanamaz. Telif hakkının devredildiğine ilişkin bu belgenin imzalanarak YİM'e gönderilmesiyle makale yayın için hazırlanır. Sözleşme YİM'e ulaşmadan, makale kabul edilmiş olsa bile dergide yayınlanmaz.

3.Yazıların Hazırlanması

MT Bilimsel Türkçe ve İngilizce yayınları kabul etmektedir. Yazarların ana dillerinin Türkçe olmaması durumunda, yazıların başlığı, özeti, çizelge ve şekillerin açıklamaları editörlükçe Türkçe'ye çevrilir.

Makalelerin MS Word formatında ve aşağıda verilen düzen çerçevesinde hazırlanması gerekmektedir.

3.1 Makale Bölüm Sıralaması

Makaleler aşağıdaki başlık sıralamasına uygun bir biçimde hazırlanmalıdır.

Özet

Abstract

Giriş

Ana Başlık

Alt Başlıklar

Sonuçlar ve Tartışma
Katkı Belirtme ve Teşekkür
Referanslar

3.1.2 Başlık

Yazının başlığı, olabildiğince kısa ve çalışmanın içeriğini net bir şekilde yansıtmalıdır. Başlığın mutlaka İngilizcesi de bulunmalıdır. Türkçe başlık 14 punto, koyu (bold), satır arası tek ve yalnızca kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde; İngilizce başlık ise 11 punto, italik, satır arası tek ve yalnızca kelimelerin ilk harfleri büyük harf olacak şekilde yazılmalıdır. İngilizce hazırlanmış yazılarda ise yukarıda belirtilenlerin tersi uygulanmalıdır.

3.1.2 Yazarlar

Yazarların ad - soyadları açıkça ve yalnızca ilk harfler büyük olacak şekilde yazılmalı, çalışılan kuruluş isimleri, yazar soyadının sonuna konulacak bir numara ile bir alt satırda italik olarak belirtilmelidir. Birden fazla yazar bulunan makalelerde "Sorumlu Yazar" soyadının sonuna konulacak " * " işareti ile belirtilmelidir. Yazarların elektronik posta adresleri de italik olarak belirtilmelidir.

Sorumlu Yazar: Birden fazla yazara sahip makalelerde YİM ile iletişimde kalacak kişidir. Özellikle belirtilmediyse, yayına kabul aşamasında yazışmalar hangi yazar ile gerçekleştirildiyse, o kişi sorumlu yazar olarak kabul edilir. Sorumlu yazarın telefon, faks elektronik posta adresi ve posta adresi YİM'e bildirilmelidir. İletişim bilgilerinin, sorumlu yazar tarafından güncel tutulması gerekir.

Bu bölümdeki tüm karakterler 11 punto büyüklüğünde, tek satır arası bırakılarak hazırlanmalıdır. Yalnızca belirteçler üslü olarak yazılmalıdır. Örnek yazar adı yazımı aşağıdaki şekildedir:

C. Okay Aksoy^{1*}, Bülent Kaypak²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, İzmir

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Ankara

* Sorumlu Yazar: okay.aksoy@deu.edu.tr

3.1.3 Özet, Abstract ve Anahtar Kelimeler

Özet ve Abstract bölümünün toplamı 400 kelimeyi geçmemelidir. Özet, araştırmanın amacını ve başlıca sonuçları belirtmelidir. Özette kaynaklara atıfta bulunulmamalıdır. Ayrıca, standart olmayan ya da seyrek kısaltmalardan kaçınılmalıdır. Kısaltma kullanılması zorunlu ise özeti içinde tanımlanması gerekir.

Türkçe hazırlanmış yazılarda "Özet"ten sonra "Abstract (İngilizce Özet)" yer almalıdır. Abstract italik olmalıdır. İngilizce makalelerde Abstract önce, italik yazılmış Türkçe Özet sonra yer almalıdır.

Anahtar kelimeler/Key words, özeti ve abstract'ın ayrı ayrı hemen altında yer almalıdır. En az iki en fazla altı kelime kullanılmalıdır. Özet için Türkçe, Abstract için İngilizce olarak verilmelidir. Yalnızca alanıyla direkt ilgisi olan anahtar kelimeler uygun olabilir. Anahtar kelimeler, alfabetik sırayla, küçük harfle (ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük) yazılmalı ve aralarına virgül konmalıdır. Teknik not ve tartışma türü yazılarda anahtar kelimelerin verilmesine gerek yoktur.

3.2 Makalenin Ana Gövdesi

A4 kağıdı boyutlarına (21,0 x 29,7 cm) ayarlanmış MS Word sayfası üzerindeki yazı alanı, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak düzenlenmelidir. Yalnızca yazının başlığının ve yazar isimlerinin bulunduğu ilk sayfada üstten 5,0 cm, sağ, sol ve alt kenarlardan yine 2,5 cm boşluk bırakılmalıdır. Bu şekilde ayarlanan ilk sayfaya başlık, yazar isimleri, çalışılan kurum, iletişim bilgileri, özet, abstract (özet ve abstract toplam 400 kelimeyi geçmemelidir) ve anahtar kelimeler sığmış olmalıdır. Yazarlara kolaylık olması açısından bu ilk sayfa ana yazıdan ayrıca hazırlanarak gönderilebilir.

Makale yazımında, Times New Roman yazı karakteri kullanılmalıdır. Karakterler 12 punto büyüklüğünde, satır aralıkları 1 nk olmalıdır. Sayfa yapısı tek kolon, yazı sayfanın her iki tarafına yaslanmış şekilde kaydedilmelidir. Ayrıca tüm sayfalara numara verilmelidir.

3.2.1 Başlıklar ve Bölüm Numaralandırmaları

Metinde kullanılan değişik türde başlıklar aşağıdaki şartlarda ve tüm başlıklar sayfanın sol kenarında verilmelidir. Tüm başlıklar yalnızca ilk harfleri büyük ve koyu (bold) olarak yazılmalıdır,

Makale, açıkça tanımlanmış ve numaralandırılmış bölüm ve alt bölümlere ayrılmalıdır. Alt bölümler 1.1 (1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, vb. şekilde numaralandırılmalıdır. Özet, numaralandırılmış bölümlere dahil edilmemelidir. Herhangi bir alt bölüme kısa bir başlık verilebilir. Her başlık kendi başına ayrı bir satır üzerinde görünmelidir.

3.2.2 Giriş

Giriş bölümü, araştırmanın amacı ve konu ile ilgili geçmiş çalışmaların sunulduğu, yazıyı okumaya hazırlayan ve yazının genelini anlaşılmasını kolaylaştıran bilgilerden oluşmalıdır.

3.2.3 Gereç ve Yöntemler

Çalışmanın tekrarlanabilmesi için yeterli ayrıntıyı sağlayan bölümdür. Önceden yayınlanmış yöntemler referans olarak belirtilmelidir.

3.2.4 Tartışma ve Sonuçlar

Bu bölümde çalışmanın sonuçları ve önemi tartışılarak açıklanmalıdır.

3.2.5 Ekler

Birden fazla ek varsa, bunlar A, B, vb. şekilde belirtilmelidir. Formül ve denklemler için ayrı bir numaralandırma yapılmalıdır: Eş. 1, Eş. 2 vb. Aynı işlem tablo ve resimler içinde yapılmalıdır: Tablo 1; Şekil 1, vb.

3.2.6 Katkı Belirtme ve Teşekkür

Katkı belirtme ve teşekkür bölümü, makalelerin ilk gönderiminde belirtilmemeli, çalışma yayına kabul edildikten sonra son düzenlemeler yapılırken eklenmelidir. Teşekkür, referanslardan önce, makalenin sonunda ayrı bir bölüm olarak toparlanmalıdır. Teşekkür, araştırma sırasında yardım sağlayan (makaleyi okuma, yazma, dil yardımı vb.) bireylere ve/veya kuruluşlara, olabildiğince kısa ve öz bir şekilde belirtilmelidir.

3.3 Kaynaklar ve Atıflar

3.3.1 Metin İçinde Atıf

Metin olarak gösterilen her referans, aynı zamanda referans listesinde de bulunmalıdır (veya tam tersi). 'Baskıda' gibi bir referans, atfın yayına kabul edildiği anlamına gelmektedir.

3.3.2 Referans Şekli

Metin içinde atıfta bulunulan tüm yayınlar, metni takip eden referans listesinde sunulmalıdır.

3.3.3 Metin

Metin içinde her referansta bakılmalıdır:

1. Tek Yazar: yazarın soyadı ve yayın yılı;
2. İki yazarlı: iki yazarın soyadları ve yayın yılı;
3. Üç ya da daha çok yazarlı yayınlarda ilk yazarın soyadından sonra "ve ark." ve yayın yılı.

Atıflar doğrudan (ya da parantez) içinde yapılabilir. Kaynak grupları ilk olarak alfabetik sırayla, sonra kronolojik olarak listelenmiş olmalıdır.

Örnekler olarak; (Aksoy, 1999; 2004a; 2008b; Aksoy ve Köse, 1995; Geniş ve ark., 2010; Kramer ve ark., 2000).

3.3.4 Kaynakların Listelenmesi

Kaynaklar alfabetik olarak, gerekirse daha sonra kronolojik sıraya göre dizilmelidir. Aynı yıl aynı yazar (lar) 'dan birden fazla referans yayınlandığında, yayınlandığı yıldan sonra konulan "a", "b", "c", vb. harfleri ile gösterilmelidir. Kaynakça için bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Basılmış Dergiye Referanslar

Aksoy, C.O., 2008b. Chemical injection application at tunnel service shaft to prevent ground settlement induced by ground water drainage: a case study. International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences. 45(3), 376-383.

Kitaba Referanslar

Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. Support of Underground Excavations in Hardrock. Rotterdam, Balkema.

Düzenlenmiş Bir Kitaptaki Bölüme Referans

ISRM The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Ulusay R, Hudson JA, editors. Ankara: Kozan Ofset; 2007.

Raporlar ve Tezler

Demirok, Y, 1978. Muğla-Yatağan Linyit Sahaları Jeoloji ve Rezerv Ön Raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayınlanmamış).

Tuna, K., 2011. Stratejik ve Kritik Madenlere İlişkin Küresel Politikalar Çerçevesinde Türkiye'deki Stratejik ve Kritik Madenlerin Ulusal Güvenliğe Etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Çanakkale, Yüksek Lisans Tezi, 240 s (yayınlanmamış).

Kişisel Görüşme

Aksoy, O., 2005. Kişisel görüşme. Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

İnternet Kaynakları

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/ (Erişim Tarihi: 01.01.2012)

4.Dikkat edilmesi Gereken Diğer Konular

4.1 Kısaltmalar

Alanında standart olmayan kısaltmalar, makalenin ilk sayfasında yerleştirilmek üzere bir dipnot olarak tanımlanmalıdır. Kısaltmalarda metin içinde tutarlı olunması gerekmektedir.

4.2 Birimler

Uluslararası kabul görmüş kuralları ve gelenekleri izlenmelidir. Uluslararası birimler sistemi (SI) kullanılmalıdır. Diğer birimler belirtilmişse, lütfen SI birim sistemine eşitliğini veriniz.

4.3 Matematik Formüller

Mevcut basit formüllerde, normal metin içinde küçük kesirli koşullar için yatay bir çizgi yerine “solidus” (/) kullanılmalıdır. Örneğin, (X / Y). Prensiplerde, değişkenler italik olarak sunulur. e'nin kuvvetleri (exp) kullanılarak belirtilmelidir. Herhangi ardışık şekilde numaralandırılıp atıf yapılmış denklemler metinden ayrı bir şekilde belirtilir. Eşitliklerde kullanılan alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterle yazılmalıdır (örneğin; CO₂, x²).

4.4 Dipnotlar

Dipnotlar gerekmedikçe kullanılmamalıdır. Makale boyunca sırayla üstsimge numaraları kullanarak sıralayınız.

4.5 Tablo Dipnotları

Bir tabloda her bir dipnotu üst simge küçük harf ile belirtiniz.

4.6 Şekil, Çizim ve Fotoğraflar

Tek tip yazı ve boyutlandırma kullanılmalıdır. Metin çalışmanın içine grafik olarak kaydedilmelidir. Sadece resimlerde belirtilen yazı tipini kullanılmalıdır; Arial, Courier, Times New Roman, Sembol. Çizimlerin metin içinde sıralandırılması gerekir. Çalışma dosyaları mantıksal bir adlandırma kuralı içinde adlandırılmalıdır. Çizimler için ayrı ayrı başlık verilmelidir. Her şekli ayrı bir dosya olarak gönderilmelidir.

Çizim, grafik ve fotoğraf gibi tüm şekiller yüksek kalitede basılmış olarak "Şekil" başlığı altında ve metin içinde anıldıkları sırayla numaralandırılarak verilmelidir. Şekil numaraları sayfanın sağ üst köşesine yazılmalı, ayrıca şekiller küçültülüp büyütülebilecek halde sunulmalıdır.

Şekiller için en büyük boyut, şekil başlığını da içerecek biçimde 15,8 cm (genişlik) x 22,5 cm (uzunluk) olmalıdır. Tüm şekillerin Dergi'nin tek kolonuna sığacak boyutlarda hazırlanması önerilir. Özellikle haritalar, araziyle ilgili çizimler ve fotoğraflar, sayısal ölçek (1:25000 vb.) yerine, metrik sisteme uygun çubuk ölçekle verilmelidir. Tüm haritalarda kuzey yönü gösterilmelidir. Bölgesel haritalarda, uygun olduğu takdirde, ulusal grid veya enlem/boylam değerleri verilmelidir. Harita açıklamaları, şekil başlığıyla birlikte değil, şeklin üzerinde yer almalıdır. Fotoğraflar, çizimler veya bunların birlikteliğinden oluşan şekiller (a), (b) vb. gibi gruplar halinde verilebilir. Şekillerde açık, gölge ve tonlarından kaçınılmalı, özellikle bilgisayar programlarından elde edilen grafiklerde bu hususa dikkat edilmelidir. Tüm şekiller, Şekil 1 veya Şekil 1 ve 2 (birden fazla şekle değiniliyorsa) gibi ve metinde anıldıkları sırayla numaralandırılmalıdır.

Fotoğraflar mümkün olduğunca net ve aydınlık olmalıdır. Fotoğraflar ilk başvuruda normal çözünürlükte ve yazı içerisinde ilgili yerlerine yerleştirilerek gönderilmelidir. Makale yayına kabul edildikten sonra tüm fotoğraflar en az 300 dpi kalite ile makaleden ayrı bir şekilde gönderilmelidir.

4.7 Şekil Başlıkları

Her şekil ve resimde bir başlık olmalıdır. Başlıklar, şekillerin kaynağından ayrı olmalıdır. Bir başlık, kısa bir başlık ve şeklin bir açıklamasını içermelidir. Kullanılan tüm semboller ve kısaltmaları açıklanmalıdır.

4.8 Tablolar

Tablolar, ardışık şekilde numaralandırılmalıdır. Dipnotlar, tabloya gömülmeli ve üst simge küçük harfler ile belirtilmelidir. Dikey yazımdan kaçınılmalıdır.

5. Makalelerin Dergiye Gönderilmesi

Yazılar ikinci bir duyuruya kadar aşağıdaki editörlere elektronik posta yoluyla gönderilecektir.

Baş Editör C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü)

ör:

o.aksoy@mtbilimsel.com

Madencilik Türkiye Dergisi Temsilcisi: Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)

onur@mtbilimsel.com

6. Yayına Kabul Edilen Makaleler Hakkında

Makalelerin yayına kabul edilmesi halinde editörlük tarafından yazarla iletişime geçilecektir. Çalışmanın yayına kabulünün yazara bildirilmesinin ardından yazarlar, editörlük tarafından belirtilen süre içerisinde, makalelerinin bu yazım kılavuzuna göre düzenlendiği ve editörya tarafından istenen diğer düzenlemelerin yapıldığı son kopyasını YİM'e göndermelidir.

Article Writing Norms

1. About Journal

MT Scientific is published by Turkey's first and only mining and earth sciences journal Mining Turkey's publisher company MAYEB, Mining and Earth Sciences Publication Release Distribution Co. Ltd.

Articles which are prepared to be published in MT Scientific should be unpublished, research articles, edited articles, technical notes and discussion articles. Sending a paper to MT Scientific means the recognition that the paper has never been published or reviewed before in any other magazine.

Papers about any underground resources like mine, petrol, gas, geothermal or about their subfields; articles including theoretical and practical studies firstly mentioned by the author are called **Original Research Article**, articles editing earlier studies with a critical approach and giving new insights about the subject are called **Review Articles**, pre-notes of an ongoing study, extensions of earlier studies, whole presentation of a limited study, articles as an introduction of a specific application or an applied scientific operation are called **Technical Notes** and articles including critics or contributions made by readers on a paper published in a magazine and responses given by the author about those critics are called **discussion articles**.

2. Copyrights of Articles

Copyrights of the papers published in MT Scientific are owned by MAYEB. After the acceptance of the paper for publication, Publication Management Center (PMC) sends a "copyright transfer contract" to responsible author in electronically environment. With this contract, articles published in magazine are put under protection on behalf of the author and cannot be published in an another media organ. With signing this document, indicating the transfer of the copyright and sending it to PMC, the article is prepared for publication. Even if the article is accepted for publication, if the contract is not got through to PMC, the article cannot be published.

3. Preparation of the Articles

MT Scientific accepts papers written in Turkish and English. If the authors are not native Turkish speakers, headline of the article, summary, presentations of the tables and shapes are translated in Turkish by the editorship.

Articles should be written in MS Word format and within the scope of the orders given below.

3.1 Article Outline

- Summary
- Abstract
- Introduction
- Main Topic
- Subtitles
- Conclusion and Discussion

Contributions and Thanks References

3.1.2 Headline

Main headline should be as short as possible and should identify the content transparently. Headline should also be able to be translated into English. Turkish headline should be written in 14 font size, bold, single-spaced and only the word's first letters capitalized; English headline should be written in 11 font size, italics, single-spaced and only the word's first letters capitalized. In English articles, vice versa should be done.

3.1.2 Authors

Author's name and surname should be clearly written and first letters should be capitalized, firms worked in should be stated after author's surname with a number in low line with italics. If there are multiple authors, "Responsible Author" should be indicated by adding " * " symbol after his/her surname.

Responsible Author: In articles with multiple authors, he is the one who communicates with PMC. If not indicated specifically, the author with whom correspondences are made during the publication acceptance phase is considered responsible author. Responsible author's phone and fax number, e-mail address and postal address should be informed to PMC. Contact information of the responsible author should be kept up-to-date.

All characters in this section should be in 11 font size, single-spaced. Only the indicators should be written exponentially. Sample writer name and orthography should be as below:

C. Okay Aksoy^{1*}, Bülent Kaypak²

¹*Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, İzmir*

²*Ankara University,, Engineering Faculty, Department of Geophysical, Ankara*

* *Responsible Author: okay.aksoy@deu.edu.tr*

3.1.3 Summary, Abstract and Key Words

Summary and abstract part shouldn't consist of more than 400 words as a whole. Summary should indicate the author's aims and primary results. In summary, references shouldn't be addressed to. Non-standard and scarce abbreviations should also be avoided. If an abbreviation is compulsory, it should be identified.

In Turkish articles, after the "Summary", there should be an "Abstract". Abstract should be written in italics. In English articles, Abstract should be placed before Turkish Summary and be written in italics.

Key words should be placed just below the summary and abstract separately. There should be at least two and at most six keywords. Keywords should be in Turkish for summary and English for abstract. Only the subject related keywords can be appropriate. Keywords should be written in alphabetic order with lower case (first word's first letter is in upper case) and there should be a comma between them. In technical notes and discussion articles there is no need for keywords.

3.2 Outline of the Article

Writing field on MS Word page which is adjusted as an A4 paper (21,0 × 29,7 cm) should be organized with 2,5 cm margins from all sides. Only the first page on which the headline and the author names are written has 5,0 cm margin from the top and 2,5 cm margins from the other sides. Headline, authors' names, firms worked in, contact information, summary, abstract (summary and abstract should not exceed 400 words as a whole) and keywords should be fitted into this organized page. For convenience, the author can send this first page early on, separately from the main article.

Times New Roman font should be used for articles. Characters should be 12 font sized and line spacing should be 1 pt. Page setup should be single columned, and should be saved justified to both sides. Each page should be given a number as well.

3.2.1 Headings and Numbering the Sections

Diverse headings in an article should be given as below order and left justified. All headings should be written bold with only their first letters in upper case,

Article should be cut into transparently identified and numbered sections and sub-sections. Sub sections should be numbered as 1.1 (1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. Summary should not be attached to these numbered sections. Any sub-section can be given a short heading. Each heading should stand on its own line separately.

3.2.2 Introduction

Introduction part should include information about the aim of the author and earlier studies on same subject and moreover should prepare the reader for the article by giving some general clues about the subject.

3.2.3 Instruments and Methods

This part supplies adequate detail to make the study quotable. Earlier published methods should be stated as reference.

3.2.4 Discussion and Conclusions

In this section conclusions and importance of the study should be mentioned argumentatively.

3.2.5 Appendixes

If there are multiple appendixes, those should be indicated as A, B, etc. Formulas and equations should be numbered separately: Eq. 1, Eq. 2 etc. Same should be done for tables and images too: Table 1; Image 1, etc.

3.2.6 Contributions and Thanks

Contributions and thanks section should not be attached to article at first post but after the acceptance of the article, it should be attached to article by making post normalizations.

Thanks should be stated separately at the last of the article before references. Thanks should be sent to aide (reading, writing and language help etc.) people or firms as short as possible.

3.3 Resources and References

3.3.1 Internal references in article

All internal references should be indicated in reference list as well (or vice versa). A reference as „In-print“ means the article is accepted for press.

3.3.2 Form of Reference

All internal references should also be indicated in reference list as well.

3.3.3 Text

These points should be taken into account at every internal reference:

1. One Author: author's surname and print year;
2. Two authors: two author's surnames and print year;
3. If there are three or more authors in an article, after the first author's surname “et al.” and print year.

References can be done directly (or in brackets). Resource groups should firstly be listed alphabetically, then chronologically.

As a sample; (Aksoy, 1999; 2004a; 2008b; Aksoy ve Köse, 1995; Geniş et al., 2010; Kramer et al., 2000).

3.3.4 Listing of Resources

Resources need to be listed firstly alphabetically, then chronologically. If there are multiple author's quoted articles in same year, those should be indicated with “a”, “b”, “c”, etc. letters after print year. Some samples for resources are listed below.

References Printed To Magazine

Aksoy, C.O., 2008b. Chemical injection application at tunnel service shaft to prevent ground settlement induced by ground water drainage: a case study. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences*. 45(3), 376-383.

References Printed To Book

Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1995. *Support of Underground Excavations in Hardrock*. Rotterdam, Balkema.

References To An Edited Part Of A Book

ISRM The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006. Ulusay R, Hudson JA, editors. Ankara: Kozan Ofset; 2007.

Reports and Theses

Demirok, Y, 1978. Muğla-Yatağan Lignite Fields Geology and Reserve Pre-Report. MTA Compilation No:6234, 17 p (unpublished).

Tuna, K., 2011. Turkey's Strategic and Critical Ore's Effects on National Security within the Frame of Politics Related to Strategic and Critical Ores. Çanakkale Onsekiz Mart University, Institute of Social Sciences, Department of Internal, Çanakkale, Postgraduate Thesis, 240 p (unpublished).

Personal Dialogue

Aksoy, O., 2005. Personal Dialogue. Dokuz Eylül University, Department of Mining Engineering, İzmir, Turkey

Internet Resources

USGS, Chromium Statistics and Information, 2011.

www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/ (Erişim Tarihi: 01.01.2012)

4. Other Points to Take into Account

4.1 Abbreviations

Non-standard abbreviations should be placed at first page, defined as footnotes. Abbreviations should be coherent with the text.

4.2 Scales

Internationally accepted rules and customs should be followed. The International System of Units (SI) should be used. If there are different scales, please mention their SI equivalents.

4.3 Mathematical Formulas

In present basic formulas, for fractional expressions in text, "solidus" (/) should be used rather than a horizontal line. For example, (X/Y). In principles, variables are presented in italics. e's powers should be given with the use of (exp). Any referred, sequentially numbered equations are indicated separately from the text. Subscripts and superscripts used in equalities should be indicated explicitly and in lower character fonts (for example; CO₂, x²).

4.4 Footnotes

Footnotes shouldn't be used if unnecessary. List the footnotes in the course of article with superscript numbers.

4.5 Table Footnotes

In a table indicate each footnote with a superscript letter.

4.6 Image, Drawing and Photos

Writing font and size should be monotype. Text should be saved into article as a graph. Only the typefont mentioned in the image should be used; Arial, Courier, Times New Roman, Symbol. Drawings should be numbered in text. Working files should be named within a logical naming rule. Drawings should be headlined separately. Each graph should be sent as different files.

Images such as drawings, tables and photos, printed in high quality should be given under the title of "Image" and should be given according to their cited numbers in text. Image numbers should be written at the right top of the page, in addition images should be given shrinkable and extendable.

Maximum size for images with heading should be in 15,8 cm (width) x 22,5 cm (length). It is suggested that all images are prepared to be scaled-to-fit to a single column of the magazine. Especially the maps and drawings and photos of the lands should be given with linear scale suitable with metric system rather than numerical scale (1:25000 etc.). Northern direction should be indicated in all maps. In regional maps, if possible, national grid or latitude/longitude units should be given. Map explanations should be given above the image separately from image heading. Photos, drawings or images composed of each can be given as groups like (a), (b) etc. Toning the images with tinting and shading should be avoided, especially for the images generated from computers; this should be taken into account. All images should be numbered as cited in the text as Image 1 or Image 1 and 2 (if more than one image is mentioned).

Photos should be as explicit and bright as possible. Photos should be sent in normal quality and placed in it's related section at the first application. After the acceptance of the article for publishing, all photos should be sent separately from the article with at least in 300 dpi quality.

4.7. Image Headings

Each image and picture should have a heading. Headings should be different from the image's resources. A heading should include a short heading and an explanation of the image. All symbols and abbreviations used should be identified.

4.8 Tables

Tables should be named sequentially. Footnotes should be embedded into tables and should be mentioned with superscript lower case letters. Vertical writing should be avoided.

5. Posting the Article to Magazine

Articles should be sent to editors below with e-mail till further notice.

Editor in Chief: C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül University Department of Mining Engineering)
o.aksoy@mtbilimsel.com

Madencilik Türkiye Magazine Agent : Onur Aydın (Madencilik Türkiye Magazine)
onur@mtbilimsel.com

6. About the Articles Accepted for Printing

Editorship communicates with the author if the article is accepted for printing. After the acceptance of the article for the publication, the author should prepare the article according to this spell check, in time given by the editorship and send the last copy to PMC after doing other editings according to the other requirements of the editorship.