

## **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 Bilgin<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>*Dokuz 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.

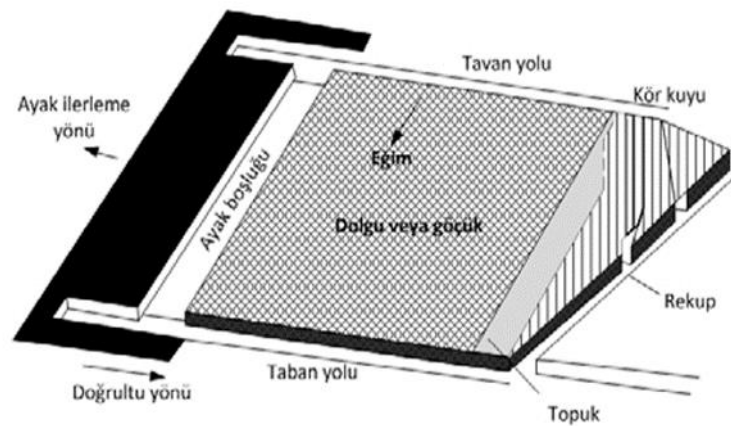
*Key words: Gob, Ventilation, Underground mining, Longwall, LTCC, CFD, Computational Fluid Dynamics, Oxidation of Coal*

## 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 kayaçların özelliklerine fazlasıyla duyarlıdır. Dünya madencilik tarihine bakıldığında üretim çalışmaları sırasında karşılaşılan tehlikeler yüzünden çoğunluğu ölümlerle 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 dönüşümlü 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 kütleli 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 karşılaşması 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.

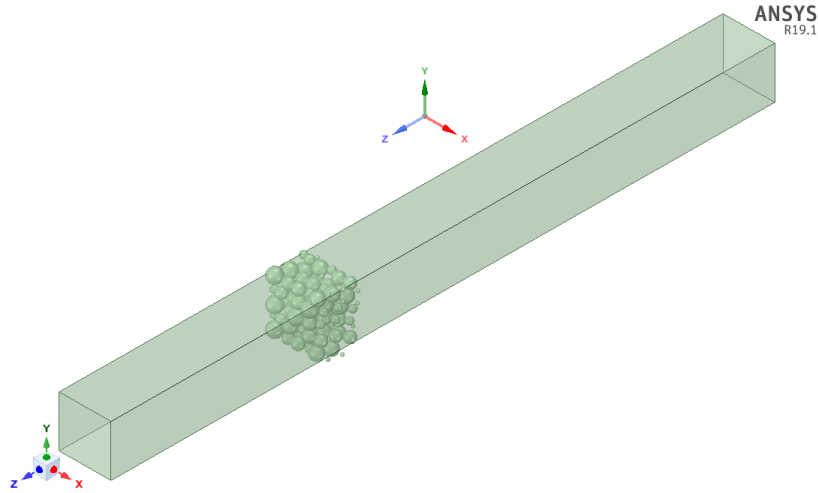
Bu kapsamda yeni bir bakış açısı kazanmak üzere yapılan bu çalışmada, göçük ortamında ocak havasının davranışı ( hava hızı, izlediği yol, basınç kaybı vb.) ANSYS® Fluent® yazılımı içerisinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak nicel ve nitel olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

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**

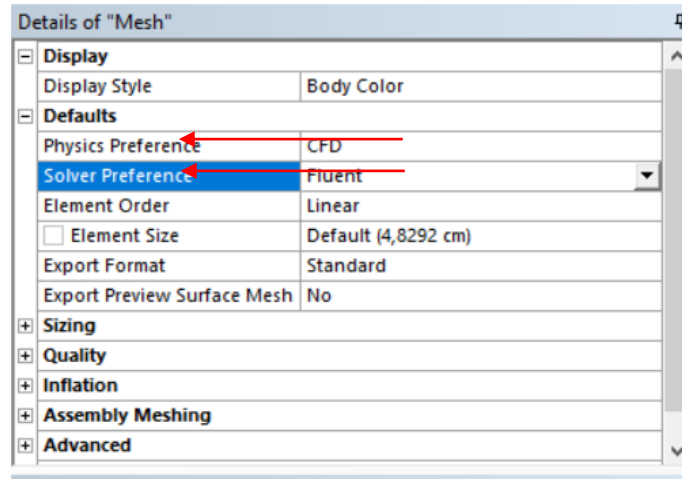
Porous media (gözenekli ortam) modellenmesi ve Geometrinin oluşturulması aşamasında ortamın geçirimsizlik katsayılarını hesaplayabilmek için ilk olarak ANSYS paket yazılımı içindeki Space Claim Direct Modeler® kullanılarak göçük ortamını temsil edecek bir geometri hazırlanmıştır. Bu geometri

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 aradığımız geometri Şekil 3’de verilmiştir.



**Şekil 3.** Oluşturulan hava koridoru

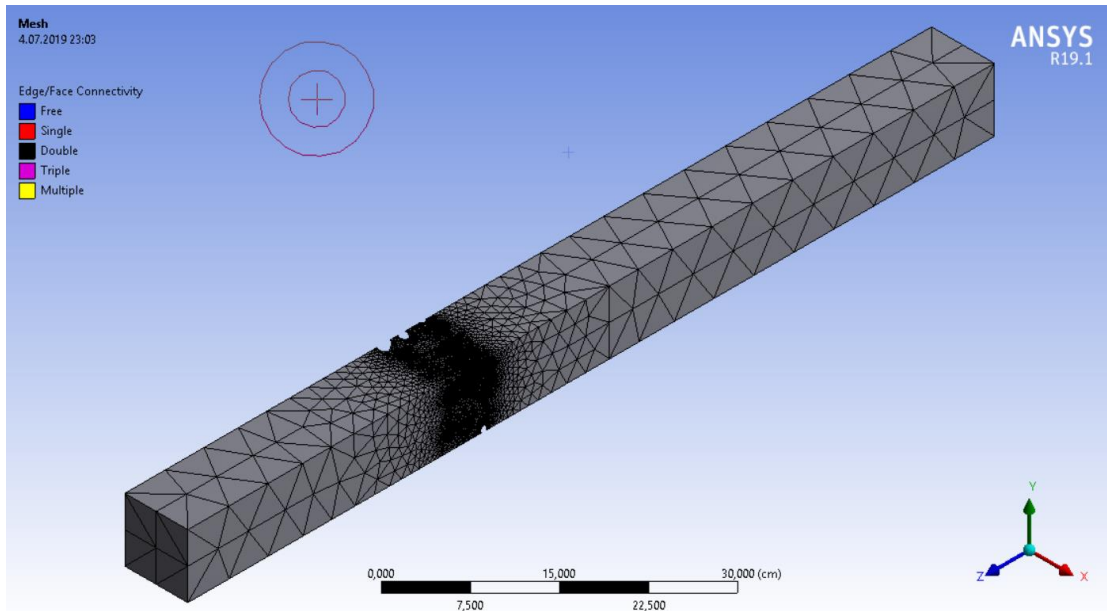
Ağ Yapısının Oluşturulması aşamasında Ansys Mesh® programı kullanılarak, geometriye hacimsel ağ örgüsü tanımlanmıştır. Mesh işlemi çözümlemenin hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Ağ yapısı ne kadar düzgün ve sık hazırlanırsa elde edilecek sonuçlar o kadar doğruya yaklaşır.



**Şekil 4.** Çözücünün ve yöntemin seçilmesi

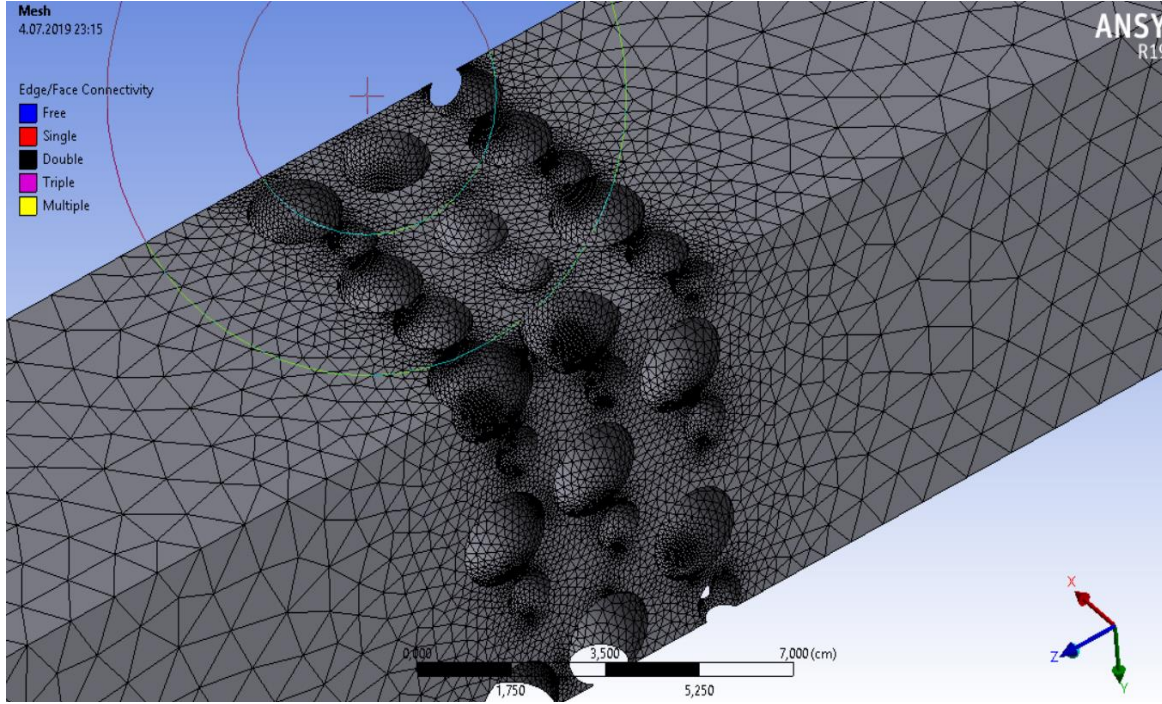
Details of "Mesh"	
<b>Sizing</b>	
Use Adaptive Sizing	No
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
<input type="checkbox"/> Max Size	Default (9,6584 cm)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,4146e-002 cm)
Capture Curvature	Yes
<input type="checkbox"/> Curvature 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 <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	0,16664 cm
<b>Quality</b>	

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)



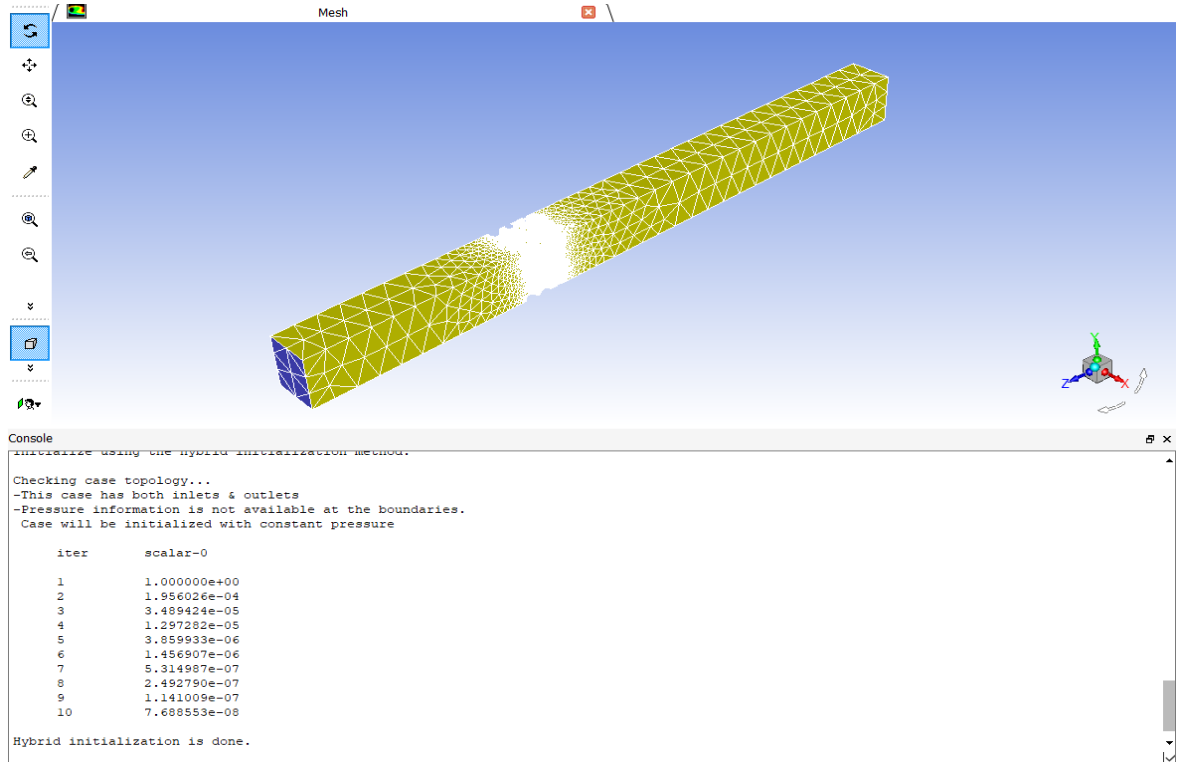
**Şekil 7.** Fluent'te çözüm için uygun olan düzgün ve detaylı ağ örgüsü



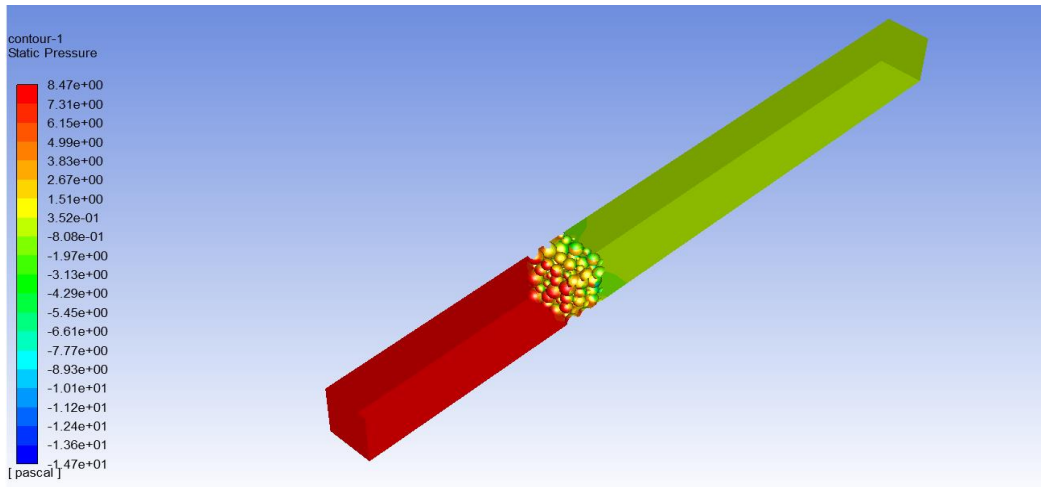
**Şekil 8.** Geçirimli ortam olarak kullanılacak geometrinin ağ örgüsü

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, isoterml akış (ısı transferi dahil edilmemiştir) ve türbülanslı akış kabulleridir.

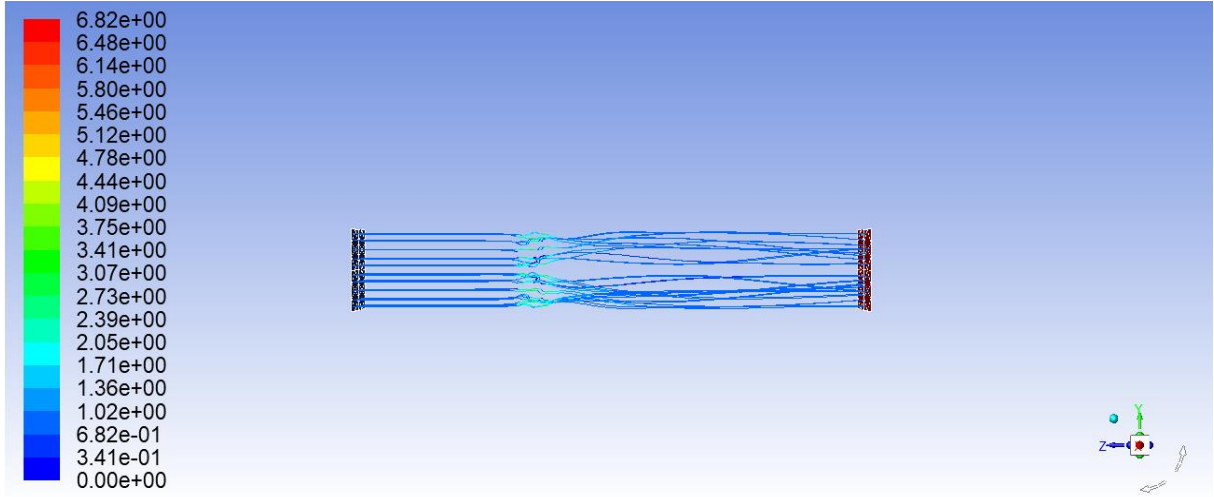


Şekil 9. Konsol ve grafik pencereleri

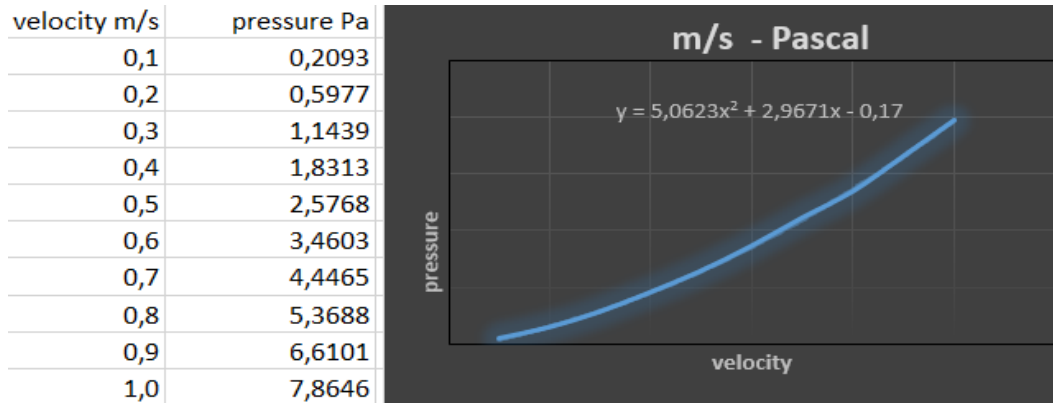


Şekil 10. Basınç konturu

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 11.** Hava hızı çizgileri( Streamline)



**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).

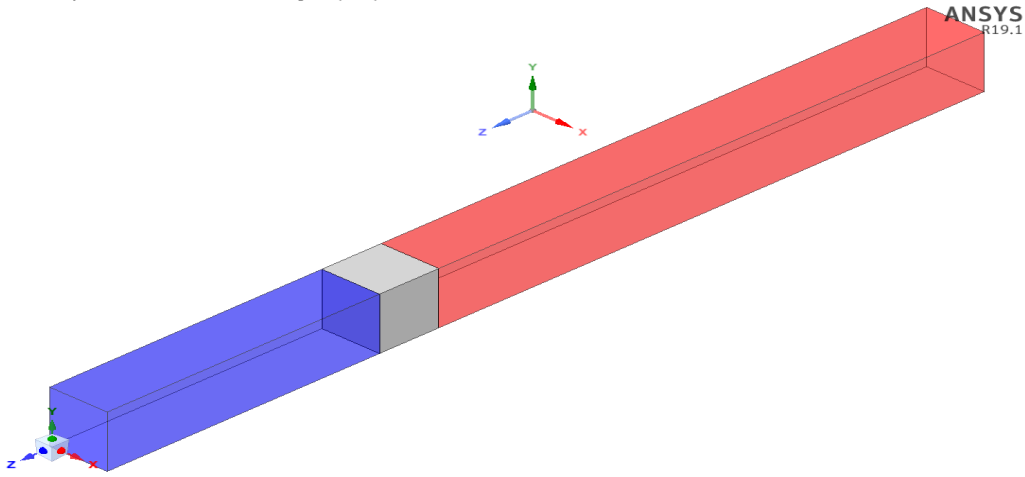
Porous Media'yı (Gözenekli ortam) kullanarak Yeniden çözümleme yapılması: Elde edilen katsayılar ile aynı boyutlarda yeniden katı cisim geometrisi tasarlayıp aynı işlemler uygulanarak elde edilen sonuçlar ile bir önceki tasarımın sonuçları kontrol edilmiştir. Bu sayede bu yöntemin gerçek boyutlardaki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

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.



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

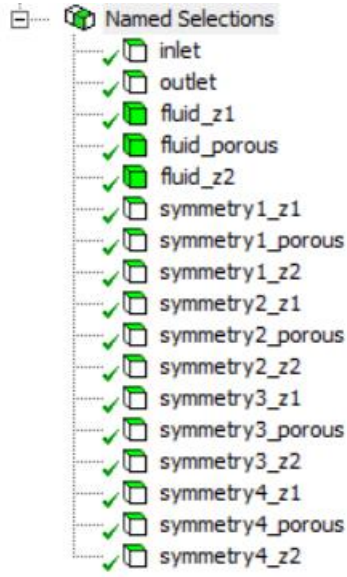
Şekil 13. Atalet direnci faktörü ve permeabilite katsayısı hesaplama (Excel)



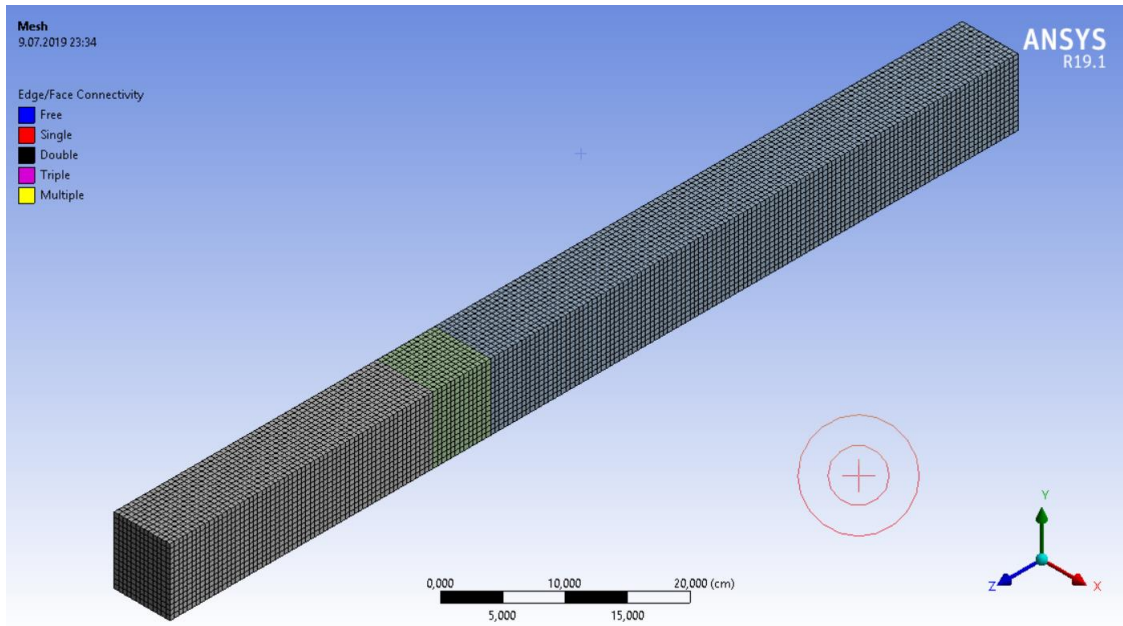
Şekil 14. İkinci geometri tasarımı

Details of "Body Sizing" - Sizing	
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	3 Bodies
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Type	Element Size
<input type="checkbox"/> Element Size	0,5 cm
<b>Advanced</b>	
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,4125e-002 cm)
Behavior	Soft
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,2)
Capture Curvature	No
Capture Proximity	No


Şekil 15. Mesh boyutlandırma



Şekil 16. Yüzey ve sınırların isimlendirilmesi



Şekil 17. Mesh Yapısı

 Fluid

Zone Name  
fluid\_porous

Material Name air

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

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

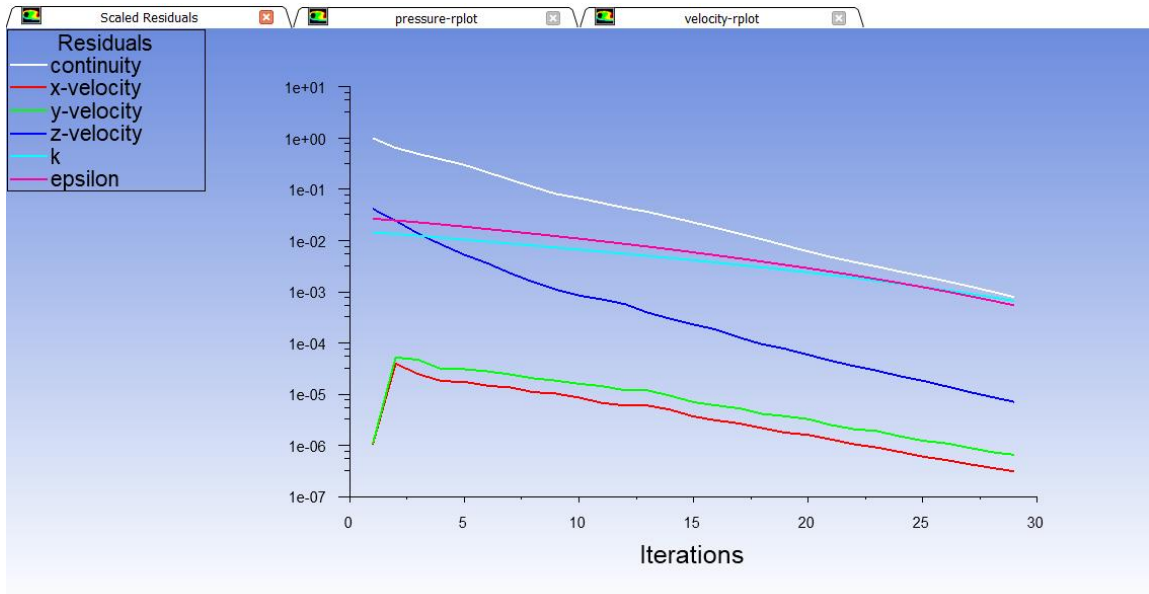
Viscous Resistance (Inverse Absolute Permeability)  
Direction-1 (1/m<sup>2</sup>) 2551005 constant  
Direction-2 (1/m<sup>2</sup>) 2551005 constant  
Direction-3 (1/m<sup>2</sup>) 2551005 constant

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

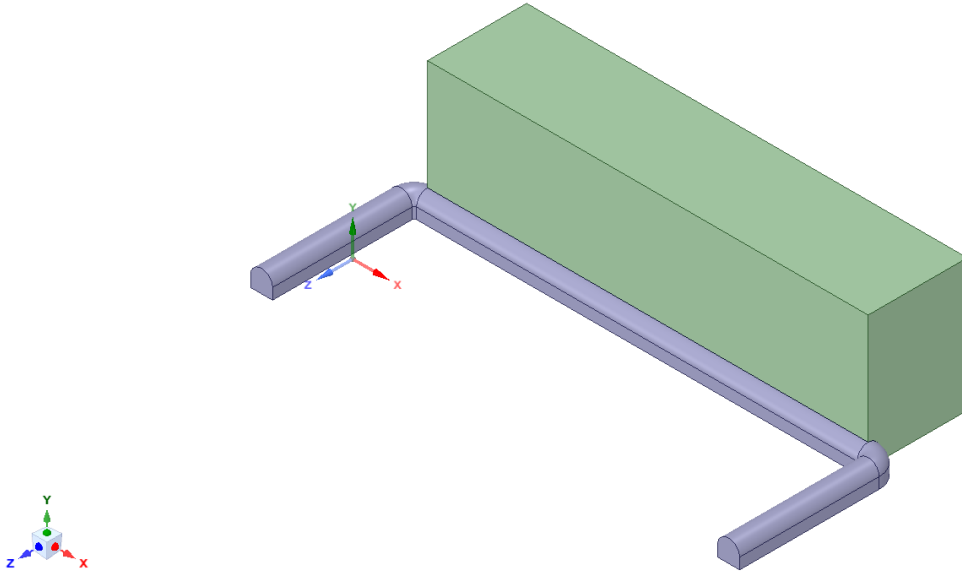
Power Law Model  
C0 0 P C1 0 P

Fluid Porosity  
Porosity 1 constant

Şekil 18. Katsayıların Fluent'e tanımlanması



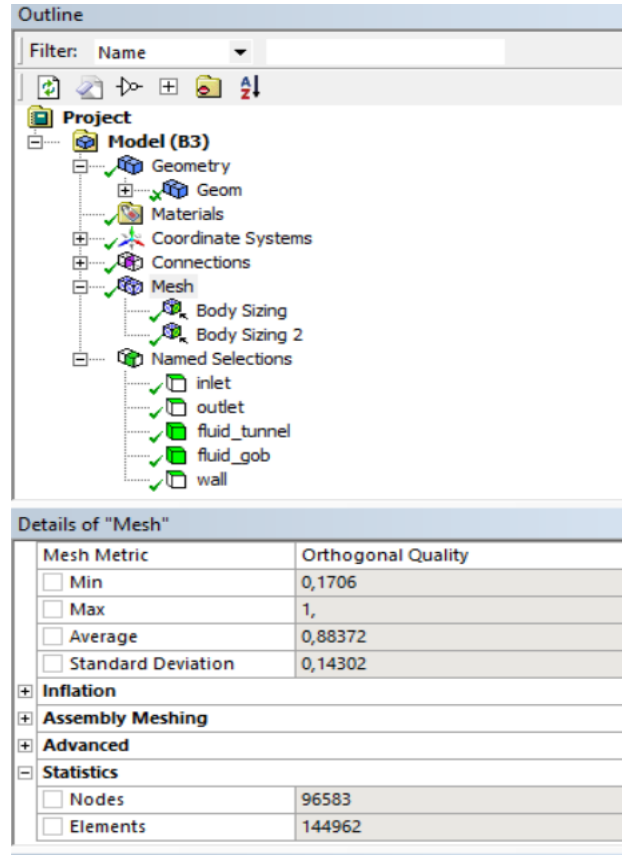
Şekil 19. Çözümleme grafikleri



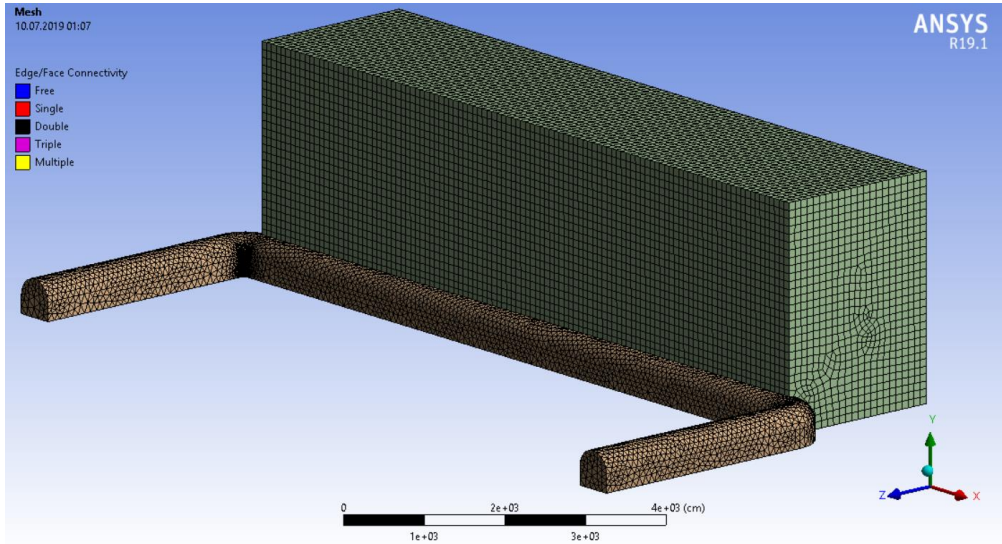
**Şekil 20.** Geri Dönümlü Göçertmeli Uzunayakta Göçük ve Galeriler

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 çözümlenme süresini 4-5 katına çıkarması olmuştur.

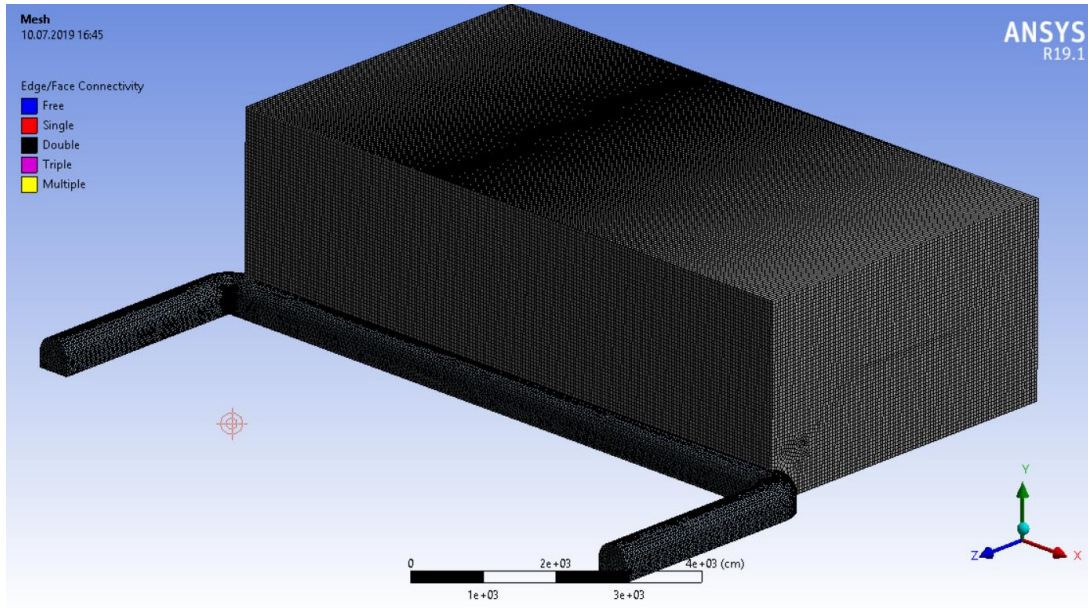
Fluent® Çözümlenmesinde yapılan kabuller: Sıkıştırılamaz akış, zamana bağlı olmayan daimi akış, ısı transferi dahil edilmemiştir (isotermal akış) ve türbülanslı akış kabulleridir. Bu kabuller eşliğinde Fluent'te 5-0.5 m/s arasında çeşitli hava hızları ile ayağa gelen havanın debisi 80.3– 8.03 m<sup>3</sup>/sn arasında farklı gönderilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.



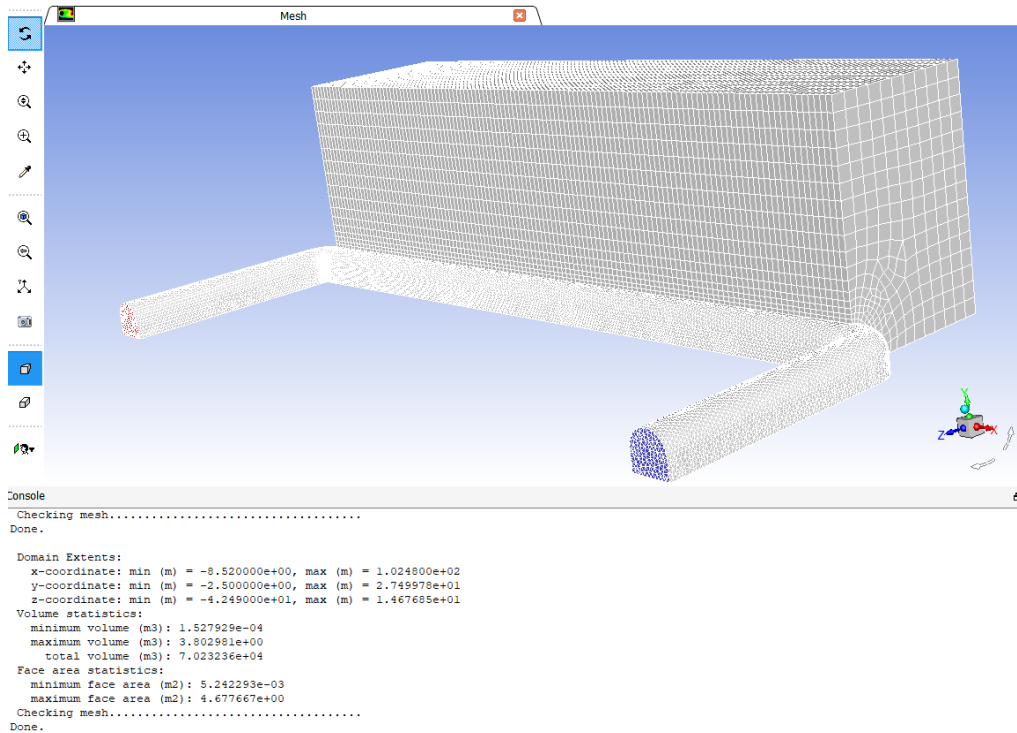
Şekil 21. Proje ağacı mesh kalitesi ve düğüm-nokta sayıları



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



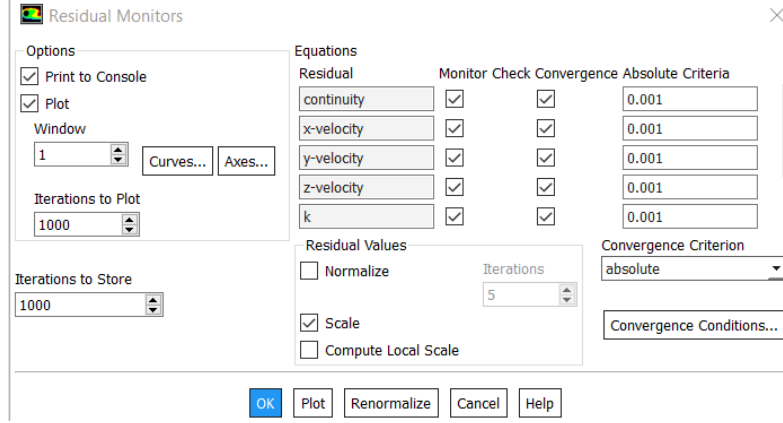
**Şekil 23.** Ağ yapısının son hali (50m ilerlemiş göçük)



**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 çözümlenme durdurulabilir.



Şekil 25. Yakınsama kriterleri penceresi

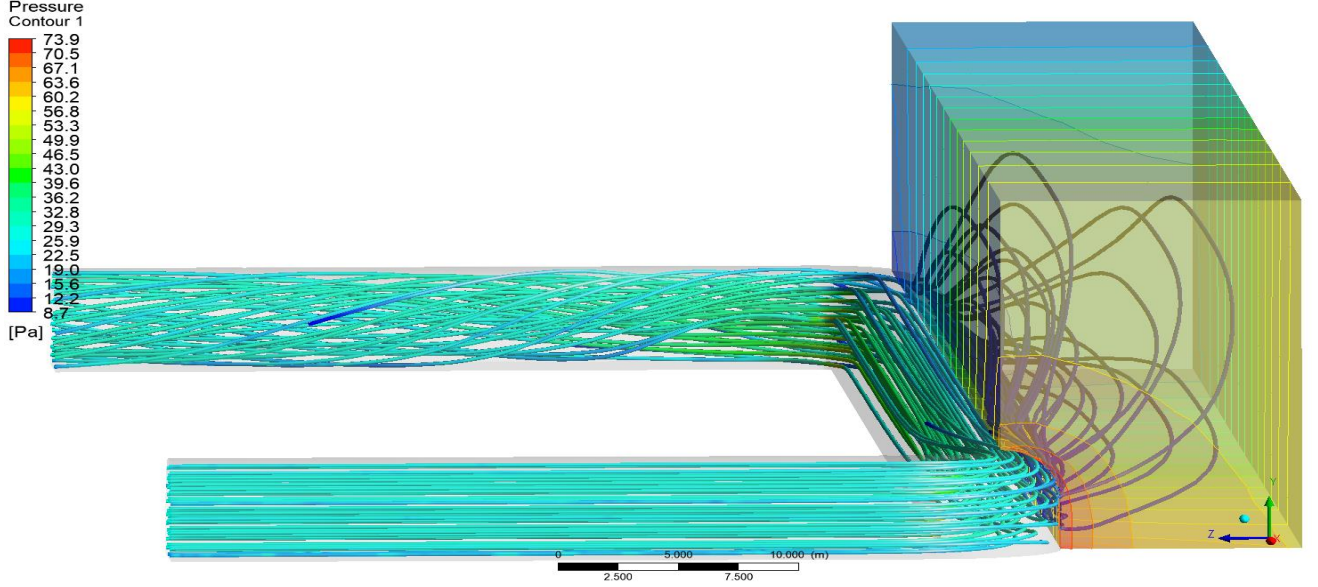


Şekil 26. Çözümleme grafiği ve konsola aktarılan veriler

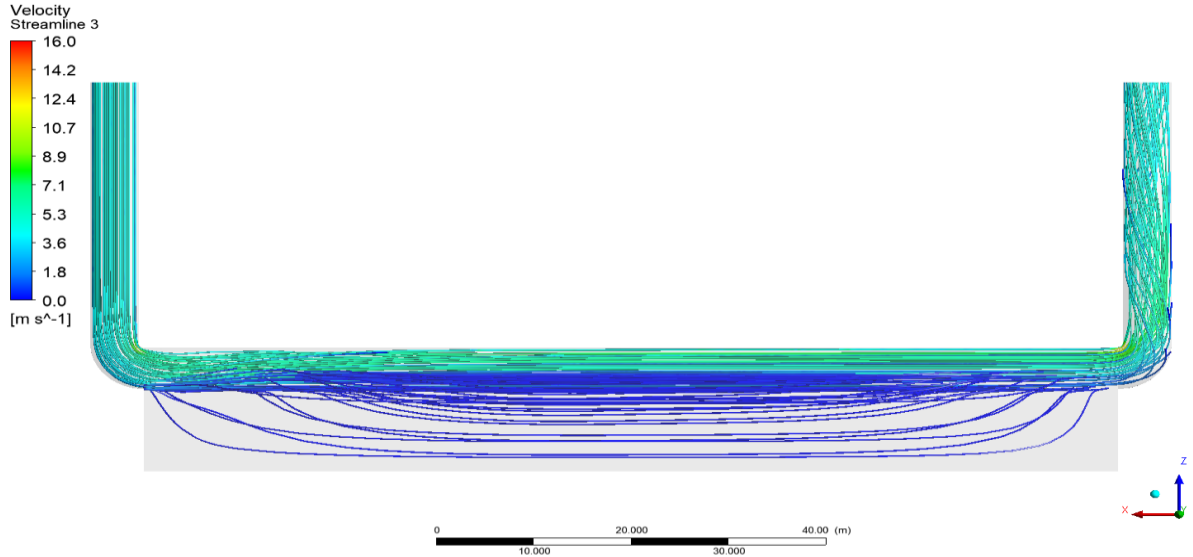
Çözümleme yakınsadıktan sonra Fluent® aşaması tamamlanmış olmaktadır. İsteğe bağlı olarak sonuçlar Fluent Post Processing bölümünden değerlendirilebilir yada CFD-Post programı açılıp elde edilen sonuçlar .dat uzantılı sonuç belgesi ile aktarılabilir. CFD-Post, daha detaylı görsel veriler elde edilebildiği için bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu çalışmanın devamında aranan 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.



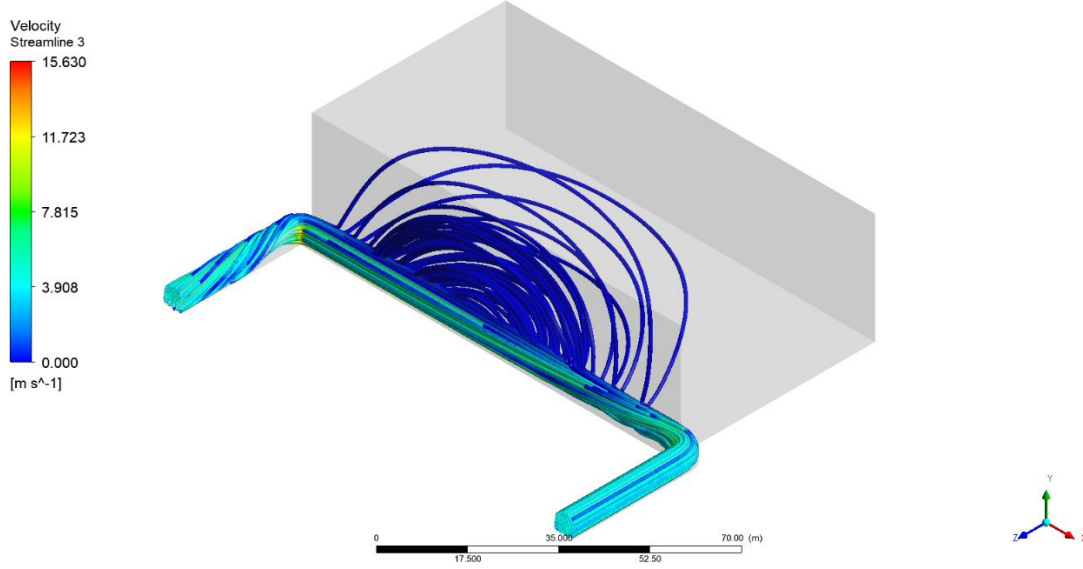
Şekil 27. Ocak içinde havanın hareketi ve basınç konturu



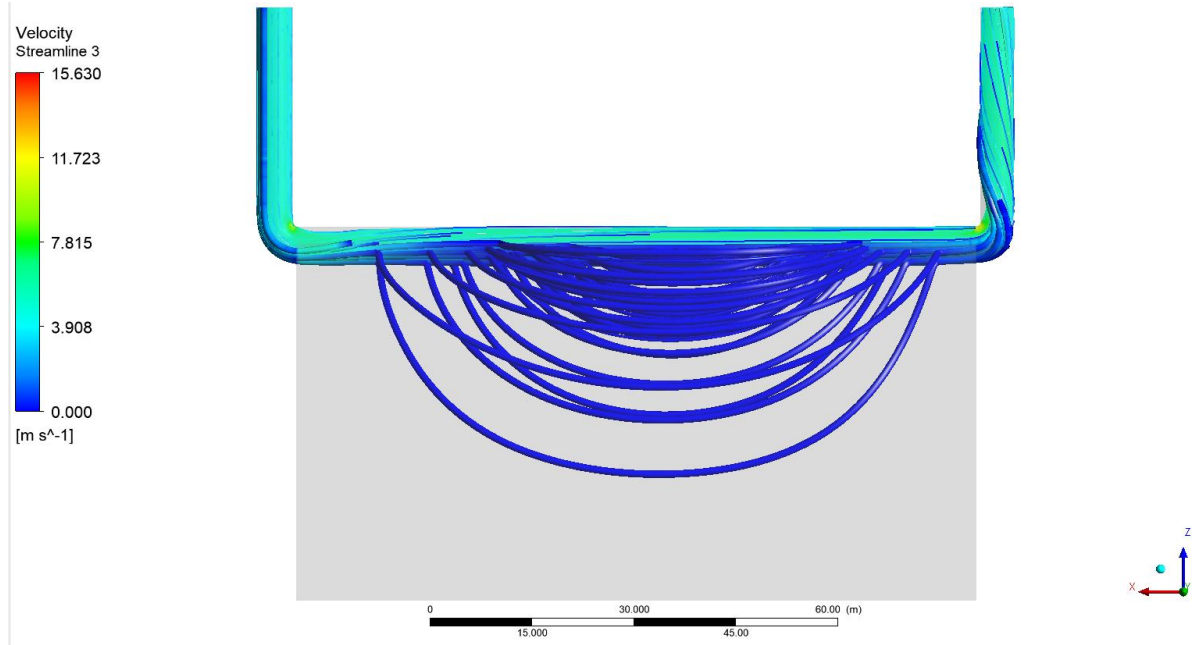
Şekil 28. Göçük boşluklarından sızan havanın ayak arkasına gidebileceği yerler



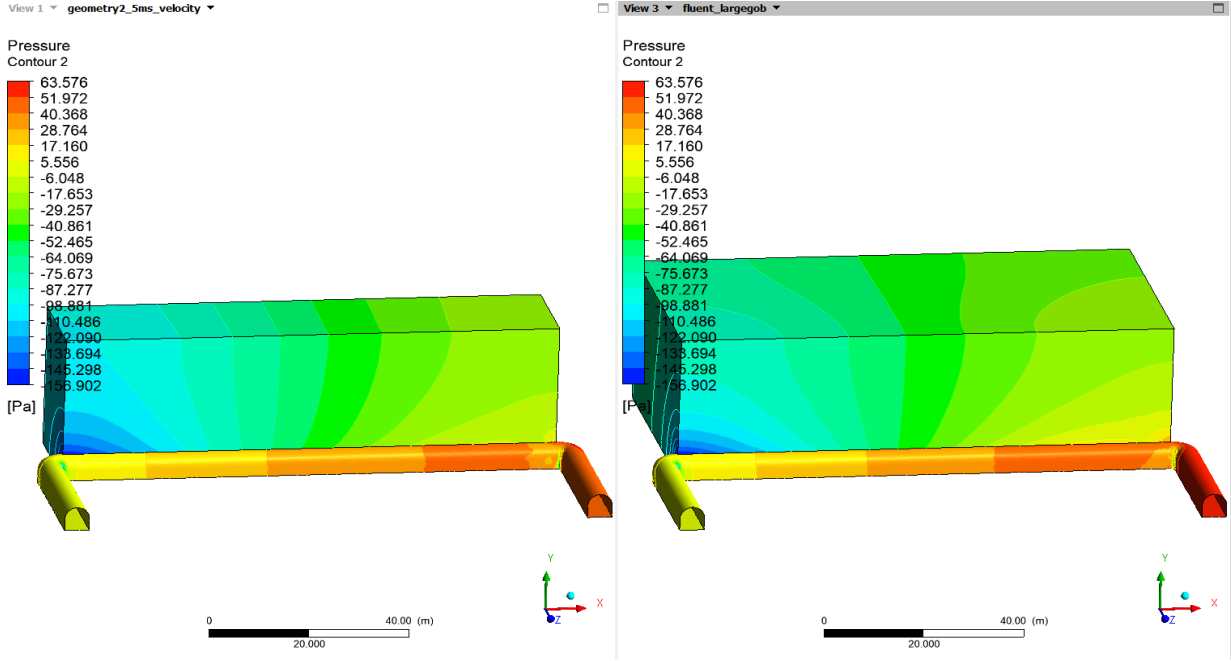
Göçük Kalınlığının 50m Olduğu Durumda Havanın Davranışı: Göçüğün 50m ilerlemiş olduğu durumda tavan yoluna 5m/s hava gönderilmiş olup hava hızı çizgilerinin ayak içinde ve ayak arkasındaki göçük bölgesinde muhtemel davranışı Şekil 29 ve 30’da verilmiştir.



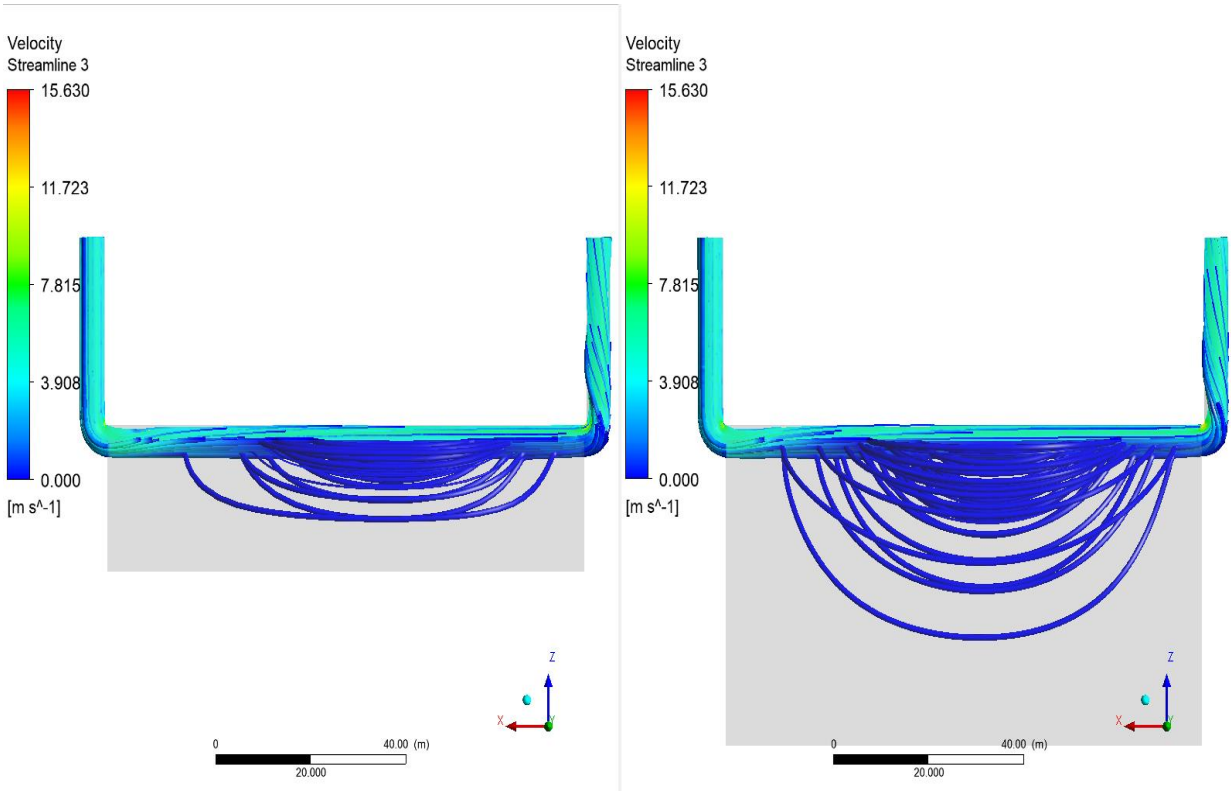
**Şekil 29.** Göçük boşluklarından sızan havanın ayak arkasına gidebileceği yerler (50m göçük)



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



Şekil 31. İki farklı durumda  $80 \text{ m}^3/\text{sn}$  havanın ocak içinde yarattığı basınç etkileri

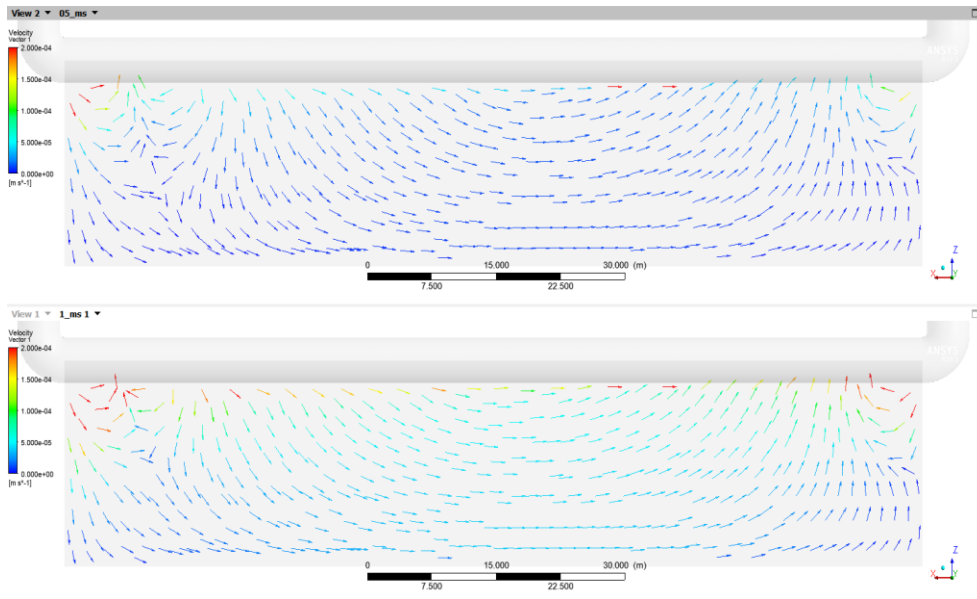


Şekil 32. İki farklı durumda  $80 \text{ m}^3/\text{sn}$  havanın ocak içinde ve göçük bölgesinde m/s cinsinden hızları ve izlediği yollar

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

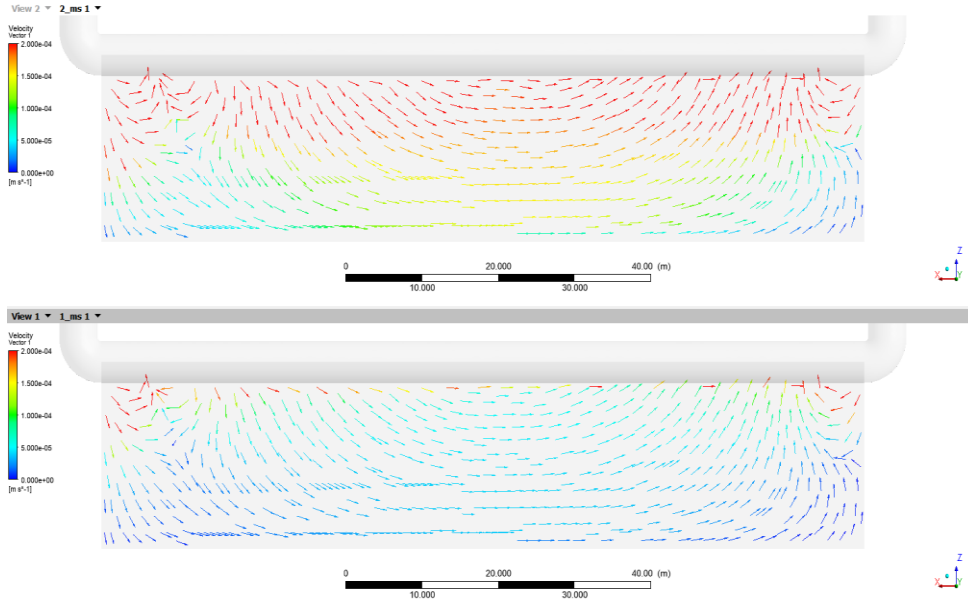
aramaktır. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada Ansys Fluent® yazılımının gelecekte yapılacak olan madencilik çalışmalarında güvenle kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Daha önceki bölümlerde anlatılan yöntem ve kabuller yapılan proje ile araştırılan konuda ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilecektir.

Önceki bölümlerde tavan yolundan ayağa gönderilen temiz havanın debisi  $80 \text{ m}^3/\text{sn}$  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 ( $64, 32, 16 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ayak arkasına geçen (göçük bölgesi) havanın, bu bölgede hangi yönlerde ilerlediği ve renkli vektörler sayesinde hangi hızda hareket ettiği belirlenmiştir. (Şekil 33)



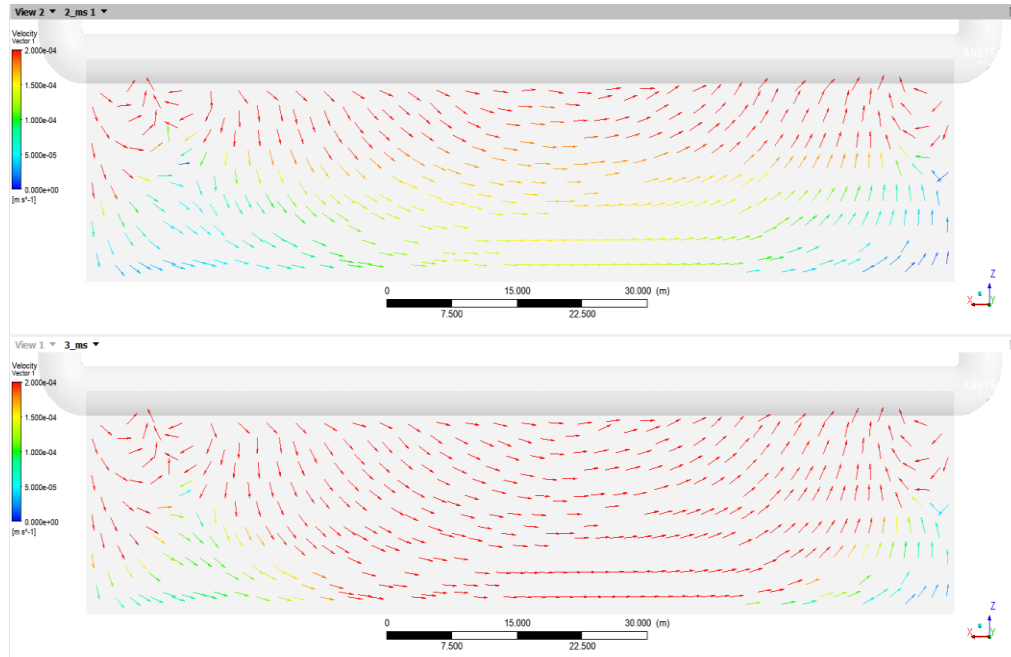
**Şekil 33.** 20m göçük kalınlığı için hava'nın vektörler ile gösterimi 0,5m/s (üstte) ile 1m/s (altta)

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)

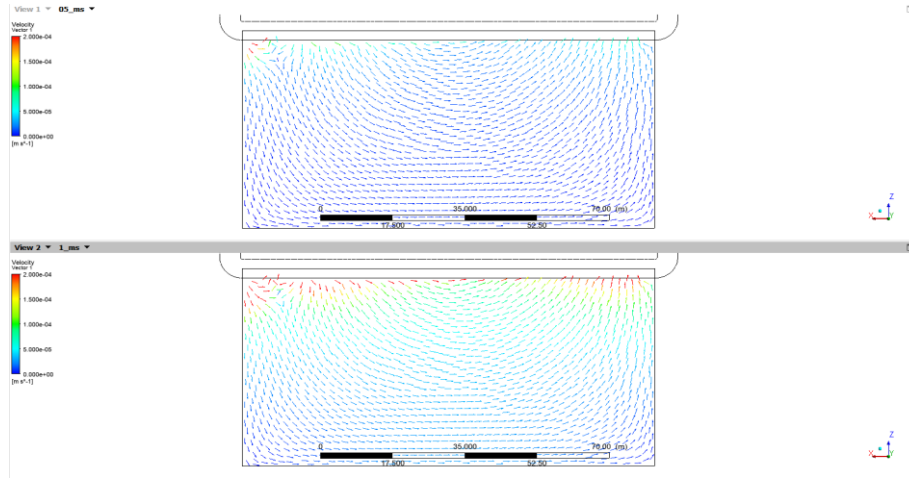
Debiyi biraz daha artırıp  $48\text{m}^3/\text{sn}$  hava gönderildiğinde:



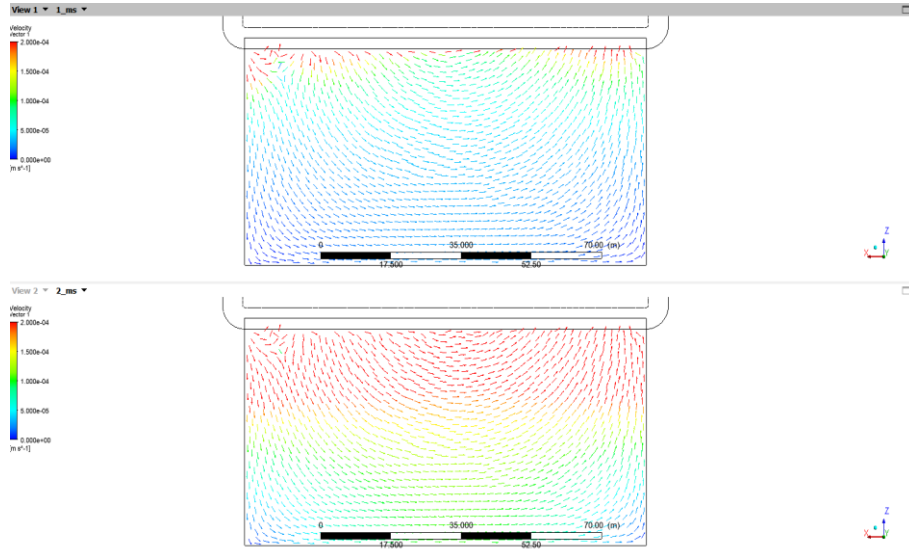
**Şekil 35.** Hava'nın vektörler ile gösterimi, 2m/s (üstte) ile 3m/s (altta)

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 Havalandırıcının 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. Silindirik 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