

## **Geri Dönümlü Göçertmeli Uzunayak Kömür Üretim Yönteminde Oksidasyon Ürünü Gazların Hareketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi (HAD) ile Analizi**

*Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis of the Movement of Oxidation Product Gases in the Longwall Top Coal Caving Method*

C. Okay Aksoy<sup>1\*</sup>, Emrullah Bilgin<sup>2</sup>

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

\*Sorumlu yazar: [okay.aksoy@deu.edu.tr](mailto:okay.aksoy@deu.edu.tr)

### **Özet**

Yeraltı maden havalandırmasında en önemli amaç ocak içinde sağlığa uygun solunabilir havanın devamlılığının sağlanabilmesidir. Ocak içi parametrelere uygun havalandırmanın yoksunluğu genellikle işçilerin çalışma konforunu ve üretimin verimliliğini düşürmekte bunun yanı sıra iş kazalarının oranını yükseltmektedir. Kalın kömür damarlarında uygulanan, tavan kömürünün ayak arkasından göçertilerek üretilmesi ilkesine dayanan uzunayaklar, göçük içerisine üretilmeyen bir miktar kömürün karışmasına olanak sağlamaktadır. Bu bölgelerde oksijenin varlığı kömür ile temas halinde başlayan oksidasyon olayının gerçekleşme riskini artırmakta ve insan sağlığı ve iş güvenliğini tehdit etmektedir. Panolarda ana galerilerde ve üretim ayaklarında sağlanan hava kalitesinin yanı sıra ayak arkasında bırakılan göçertilmiş bölgeye sızabilecek olan ocak havasının da dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, göçük ortamında meydana gelen oksidasyon olayının bir ürünü olan karbon monoksit gazının, göçük içerisindeki hareketi ve ocak havasına tesirini gözlemlemek için bir yeraltı kömür ocağı modellenmiştir. Havanın hızı, gazın izlediği yol ve ocak içine yayılması ANSYS® Fluent® yazılımı içerisinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda, karşılaşılabilecek olan tehditlerin göz önüne alınmasını ve işletmelerin havalandırma planlamalarında benzer çalışmaların yapılmasına teşvik yaratması amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Göçük, Havalandırma, Yeraltı Madenciligi, Uzunayak, CFD, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Oksidasyon, Kendiliğinden yanma, Karbon monoksit

### **Abstract**

*The most important and essential object of underground mining ventilation is to provide respirable and healthy air and keeping ventilation continuously. 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 is applied in thich 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. In these areas, the presence of oxygen increases the risk of oxidation which starts resulting from contact of the air and the coal and also this incident threaten human health and work safety. In addition to providing air quality in panel, main road and longwall, the air which can leak into goaf behind longwall should be analyzed very carefully. In this study, underground coal mine is designed to observe the movement of the carbon monoxide gas caused by oxidation in the goaf. The speed of the air, the movement of the gas and spreading into the mine is researched by the help of ANSYS® Fluent® computational fluid dynamics (CFD). As a result of the*

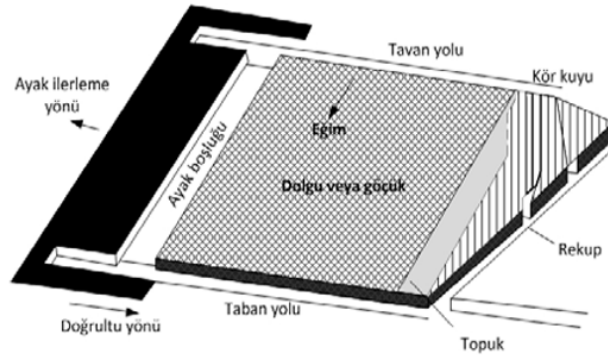
study, it is aimed to take into consideration the threats that may be encountered and to create encouragement for enterprises to carry out similar studies in ventilation planning.

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

## 1.Giriş

Yeraltı kömür madenciliği genellikle zor çalışma koşulları ve tehlike arz eden çalışma ortamlarının varlığı ile bilinmektedir. Bu koşullar kömür rezervinin yapısal özelliklerine bağlı olarak her ocakta farklı özellikler gösterebilmektedir. Dünya madencilik tarihine bakıldığında yeraltı kömür işletmelerinde üretim veya hazırlık esnasında 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<sub>4</sub>), karbon monoksit (CO) vb. gibi kömürden kaynaklı tehlikeli gazların kömürün ısınması veya alev alması sonucu ocak havasına karışması ve gaz konsantrasyonunun aniden artması ile insan sağlığı ve iş güvenliğini tehdit eden durumlar yaratması olarak bilinmektedir. Kendiliğinden ısınma-yanma özelliği yüksek olan kömürlerde bu durum yavaş yavaş ve fark ettirmeden seyredebilmekte ve maalesef koruyucu önlemleri almaya fırsat vermeden büyük zararlar doğurabilmektedir. Kömür yangınları sonucunda çıkan gazlardan çalışanların hayatı tehlikeye girebilmekte ve ölümler olabilmekte bunun yanı sıra ciddi miktarda rezerv kaybı meydana gelebilmektedir.

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 1.1). Uzunayak panoları, kesitler ve çalışılan makineler düşünüldüğünde oldukça dar ve birçok tehlike kaynağının bir arada olduğu bölgelerdir (Şekil 2).(Özfirat vd., 2016)



Şekil 1. Uzunayak üretim yöntemi (Şimşir, 2015)



Şekil 2. Tam mekanize bir uzunayaktan görünüm (Özfirat vd., 2016)

Gerı dönümlü 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 kaçacağı 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.

Ayağa gönderilen bol oksijen oranına sahip temiz ocak havası ayak arkasındaki boşluklardan sızarak bu kömürlere ulaştığında iki tehlikeli durum söz konusudur. Bunlardan ilki göçük içerisindeki ara boşluklarda biriken metan gazının ocak havasına karışarak ayak içerisine taşınmasıdır. İkinci durum ise kömür ile oksijenin teması ile başlayan oksidasyon (kendiliğinden yanma) olayıdır.

Araştırma-geliştirme çalışmaların bu konuda üzerine yoğun ilgisi mevcuttur, gelişen teknoloji sayesinde ulaşılan çeşitli yenilikler ile yeraltı kömür ocaklarında yaşanabilecek tehlikeli senaryolar üzerinde detaylı çalışmak mümkündür. Kömür damarının sahip olduğu özellikler göz önüne alınarak, üretim ve havalandırma planlarının henüz tasarım aşamasında çeşitli simülasyon ve nümerik analiz programları yardımı ile uygunluğu test edilip, gerekli hesaplarda emniyet katsayılarının doğru tespit edilmesi ve güvenlik önlemlerinin artırılması mümkün hale gelmiştir. Bu iyileştirmeler özenli ve doğru şekilde uygulandığında gerek can güvenliğinin artırılması, gerek yapılan yatırımların korunması gerekse ulusal ekonomik kaynaklarımız olan cevherlerin mümkün olduğunca kayıp vermeden kazanılması mümkündür.

Bu kapsamda yeni bir bakış açısı kazanmak üzere yapılan bu çalışmada, göçük ortamında meydana gelen oksidasyon olayının bir ürünü olan karbon monoksit gazının, göçük içerisindeki hareketi ve ocak havasına tesirini gözlemlemek için bir yeraltı kömür ocağı modellenmiştir. Havanın hızı, gazın izlediği yol ve hava içerisindeki konsantrasyonu ANSYS® Fluent® yazılımı içerisinde Hesaplamalı Akışkanları Dinamiği yöntemi kullanılarak nicel ve nitel olarak ortaya koymaya 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).

### **1.1. Literatür Araştırması**

Bilgisayar yazılımı esaslı araştırmalara bakılırsa yeraltı havalandırması ile ilgili yapılan bazı ulusal ve uluslararası çalışmalar şunlardır :

Yalçın (1999), yaptığı çalışmada; giriş ve çıkış verilerinin Imperial birim sisteminde hazırlandığı PCVENT yazılımını, SI birim sisteminde hazırlanan verilerle yeniden düzenlemiştir. Düzenlenen yazılımı örnek bir maden ocağına uygulamıştır. Çalışmada öncelikle ocağa giren havanın ocak içinde serbest dağılımı sonucunda kollardan geçen hava miktarları, basınç düşüşleri gibi bilgiler elde edilmiştir. İkinci aşamada ise ocağa giren havanın ocak içinde kontrollü olarak dağılımı sonucunda kollardan geçen hava miktarları ve diğer özellikler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda her iki yöntemle göre elde edilen verilerin karşılaştırması yapılmıştır.

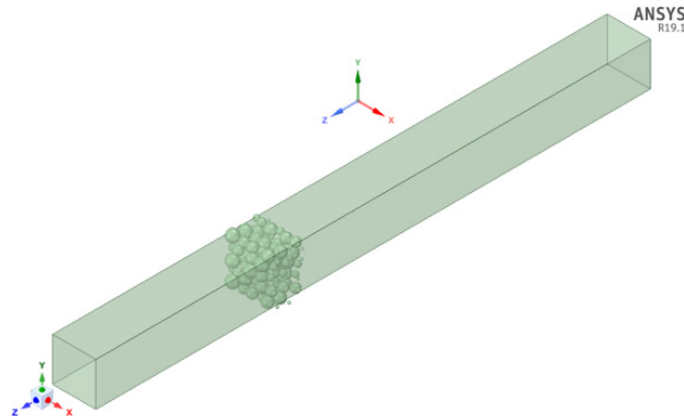
Dalgıç (2001), yapmış olduğu çalışmada; yeraltı maden ocağında toz konsantrasyonunun azaltılması ve rahat bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla, maden ocağının ihtiyacı olan hava miktarını gerçekleştirecek havalandırma tasarımını yapmıştır. Bu amaçla tasarımda VnetPC2000 paket programını kullanmıştır. Çalışma sonucunda, yeraltı maden ocağında sorun teşkil eden havalandırma yetersizliği ve toz konsantrasyonu için optimum değerler belirlenmiştir.

Daloğlu (2017) çalışmasında tali havalandırma sistemleriyle havalandırılan ve TTK Kozlu müessesinde bulunan bir galeri içindeki metan ve hava hızı durumlarının CFD ile modellenmesini yapmıştır. Çalışma yapılan bacadan alınan metan konsantrasyon ve hava hızı değerleri CFD tabanında çalışan Ansys® 12.00 programı ile k-ε türbülans modelleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen verilere göre ölçüm ve modelleme verilerinin arasında istatistiksel olarak yakın değerli bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece, modellemede kullanılan veri setinin güvenilir olduğu, ocağın diğer kısımlarındaki çalışmalar içinde uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

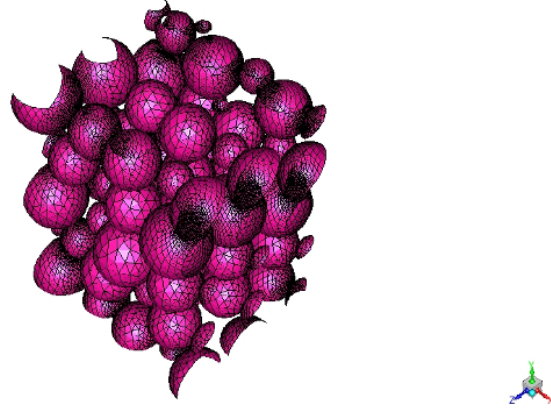
Literatür incelemesi sonunda yapılan çalışmalara bakıldığında özellikle ulusal alanda yapılan; güncel yazılımlarla yeraltı madenciliğinde havalandırma hesaplarının yapılması ve üç boyutlu tasarım ile irdelenmesi konusunda çalışmalar yeterli değildir. Yeraltı madenlerinde karşılaşılabilecek tehlike durumlarının büyük çoğunluğu havalandırma konusu ile bağlantılıdır, dolayısıyla bu alandaki havalandırma hesapları önem arz etmektedir. Yazılımsal analizler karmaşık ocak havalandırma şebekelerinde çözümlerin kolaylaştırılmasını sağlayacaktır. Hesap ve tasarım hatalarının önüne geçilerek doğru değerlere ulaşılması kolaylaşacak ve görselleştirilerek detaylar üzerinde yoğunlaşılması sağlanabilecektir.

## 2. Ansys® Fluent® Yazılımında İzlenen Adımlar

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 (Bilgin, 2020). İçinden çeşitli debilerde hava gönderip basınç düşmesi değerlerini aradığımız geometri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Oluşturulan hava koridoru



Şekil 4. Havanın boşluklarından sızarak ilerleyeceği geçirimli yapı

Porous media için gerekli olan geçirimsizlik katsayılarını hesaplayabilmek için geometri oluşturulduktan sonra önce Ansys® Mesh programı kullanılarak, geometriye çözücü programda kullanılmak üzere mesh işlemi uygulanmış, sonrasında Ansys® Fluent® programında çözümlenmiştir. Bu işlemlerde hava farklı hızlarda oluşturulan geometrideki taşların arasından geçecek şekilde tanımlanıp, çözümlenme sonunda basınç düşmeleri gözlemlenmiştir. Bu sayede elde edilen Hava hızı-Basınç düşmesi grafiği ile oluşturulan eğriden elde edilen 2. Dereceden polinomun katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayılar Darcy yasası ve atalet modelini veren bir şablona uygulanmış ve göçük bölgesini temsil eden gözenekli ortamın atalet direnci faktörü ve permeabilite katsayısı matematiksel olarak tanımlanmıştır (Bilgin E, 2020).

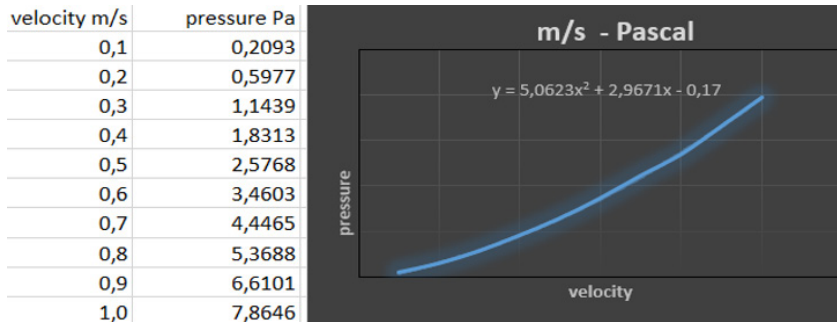
Darcy modeli, Henry Darcy tarafından Darcy'nin 'Dijon su kaynağının hidrolojisi' üzerine yaptığı araştırmalar sırasında kazandığı deneyimleri sonucu önerilmiştir (Bejan A.,2006). Darcy eşitliğinin matematiksel ifadesi;

$$\frac{\Delta p}{l} = - \frac{\mu}{\alpha} V \quad (1)$$

Burada,  $\Delta p$  basınç düşmesi,  $l$  borunun uzunluğu,  $V$  ortalama hava hızı,  $\mu$  dinamik viskozite ve  $\alpha$  ortamın geçirgenliğidir. Geçirgenlik, ortamın akışkan özelliklerine ve geometrik özelliklerine göre farklılık gösterir.

$$\Delta P = \frac{\mu}{\alpha} \cdot V \cdot \Delta n + \frac{C_2}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \Delta n \quad (2)$$

Burada  $C_2$  atalet direnci faktörü,  $1/\alpha$  permeabilite katsayısıdır



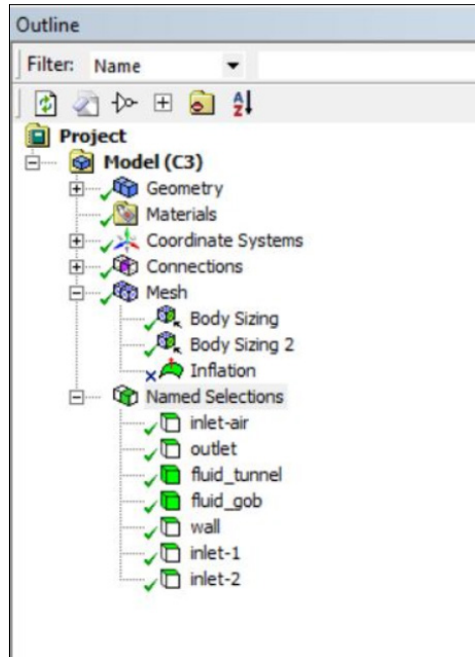
Şekil 5. Hava hızı / Basınç grafiği ve eğrinin denklemi

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

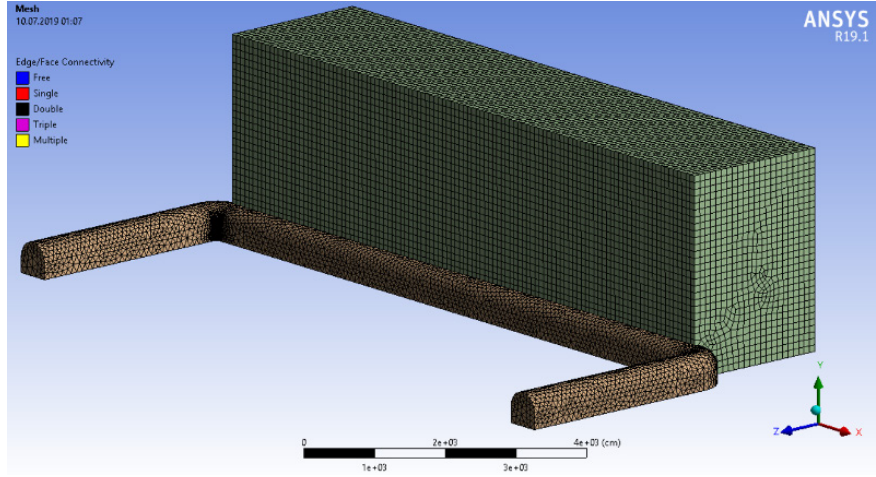
Şekil 6. Atalet direnci faktörü ve permeabilite katsayısı hesaplama (Excel)

Göçük bölgesinin geçirimsizlik katsayıları elde edildikten sonra, Space Claim Direct Modeler® programında oluşturulan yeraltı kömür ocağı modelinin özellikleri aşağıda verilmiştir;

Üretim yöntemi olarak, geri dönüşlü göçertmeli uzunayak yöntemi kullanılan bu modelde, ayak uzunluğu 100 m, galeri yüksekliği 5m, galeri genişliği 5m, göçük bölgesinin yüksekliği 30 m, yatay kalınlığı 20 m olarak seçilmiştir. Ayrıca göçük geometrisinde tabanda kendiliğinden yanmanın meydana geleceği yeri temsil edecek şekilde küçük bir bölge oluşturulmuştur.



Şekil 7. Mesh kısmında tanımlanan sınırlar



Şekil 8. Mesh yapısının görüntüsü

Problemin tanımlanım çözümlemenin yapılacağı Fluent programına, ağ yapısı (mesh) yükledikten sonra, çözücü programında sonlu elemanlar yöntemi ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği metodu'na uyarlamak için yapılması gereken kabuller ve ayarlamalar kısaca aşağıda verilmiştir.

HAD metodu, bilindiği üzere genel olarak Navier-Stokes denklemlerinin çözülmesi ile çalışmaktadır. Navier-Stokes denklemleri özellikle viskoz etkileri modellediğinden bu denklemler çoğunlukla ticari yazılımların ana denklemleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Akbulut,2010).

Bu denklemler; akışkan içerisindeki birim kütleye etki eden momentum (ivmelenme) değişimlerinin, basınç değişimleri ve sürtünme kayıplarına neden olan viskoz kuvvetlerin (sürtünmeye benzer) toplamına eşit olduğunun doğruluğunu ortaya koymaktadır. Bu viskoz kuvvetler moleküller arası etkileşimlerden meydana gelmekte ve akışkanın akmaya ne kadar dirençli (viskoz) olduğunu göstermektedir. Böylece, Navier-Stokes denklemlerinin, verilen akışkanın herhangi bir bölgesindeki kuvvetler dengesinin dinamik ifadesi olduğu söylenebilir (Fefferman, C., 2006).

Bununla beraber, yapılabilen bazı kabuller ile doğru sonuca ulaşmak mümkün olmaktadır. İlk olarak denklemler çözülmemiş olsalar bile akışkanın hareketini düzenleyen temel boyutsuz parametreleri ortaya çıkarırlar. Daimi akış ve sıkıştırılamaz akış kabulleri yapılırsa önemli sayıda yararlı çözümler elde edilebilir.

Bir diğer kabul ise sürtünmesiz akış kabulüdür ve Bernoulli denklemini geçerli kılar bu sayede idealleştirilmiş akışkan veya ideal akışkan, muhtemel çözümleri sağlar. Akışkan hareketlerini analiz etmek için kullanılan akışkanlar mekaniğinin temel diferansiyel denklemleri şunlardır. Kütle korunumu denklemi;

$$\mathbf{U} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (3)$$

Sonsuz küçük bir denetim hacmi için kütle korunumu, yoğunluk ve hızın sürekli fonksiyonlar olması dışında başka bir kabul gerektirmediği için sıklıkla süreklilik denklemi olarak adlandırılır. Yani akış daimi ya da daimi olmayan, sürtünmeli ya da sürtünmesiz, sıkıştırılabilir ya da sıkıştırılamaz olabilir.

Momentum korunumu denklemi;

$$\rho \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + (\mathbf{U} \cdot \nabla) \mathbf{U} = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{U} \quad (4)$$

Momentum korunumu herhangi bir akışkanın genel hareketi için geçerli olup özel akışkanlar, özel viskoz gerilme terimleri ile karakterize edilir.

Reynold sayısı;

Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını ölçer ve aşağıdaki gibi belirlenir:

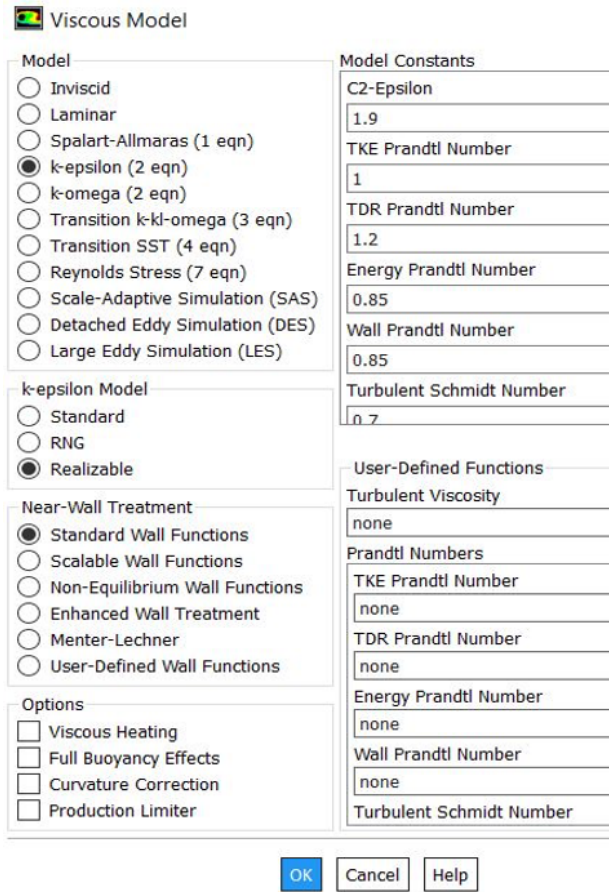
$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (5)$$

Burada, U ve L, ilgilenilen bölge için uygun hız ve uzunluk ölçüleri karakteristiği,  $\nu$  ,dinamik viskozitedir.

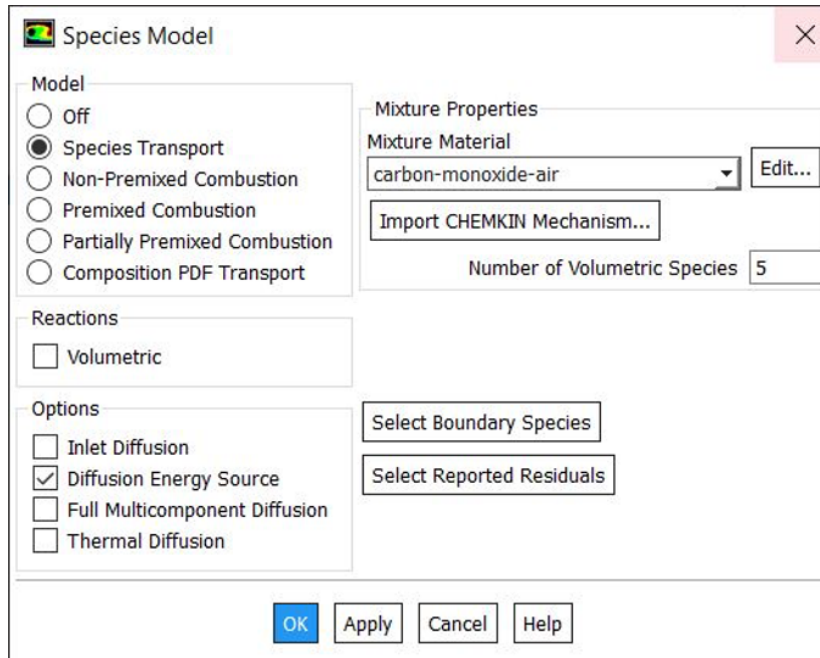
Reynolds sayısının yüksek olduğu yüksek hızlarda, büyük uzunluk ölçeklerinde ve düşük viskozitede türbülans oluşur.

Bunların yanı sıra yapılan diğer kabuller: Sıkıştırılamaz akış, zamana bağlı olmayan daimi akış, izotermal akış (ısı transferi dahil olmayan akış) ve türbülanslı akış kabulleridir. Ayağa gönderilen havanın debisi 8- 48,18 m<sup>3</sup>/s arasında değiştirilerek çözümlenmeler yapılmıştır. Göçük içerisinde 8metre yatay derinlikte ve tabanda karbon monoksit kaynağı tanımlanmış ve kesit alanı büyük olduğu için 0.5 m/s velocity inlet olarak tanımlanmıştır. Çözümleme algoritması olarak SIMPLE tercih edilmiştir.





Şekil 9. Seçilen türbülans modeli realizable k-epsilon



Şekil 10. Species Transport modeli ayarları

**Create/Edit Materials**

Name: carbon-monoxide-air  
 Material Type: mixture  
 Chemical Formula: carbon-monoxide-air  
 Mixture: none

Order Materials by:  
 Name  
 Chemical Formula

Fluent Database...  
 User-Defined Database...

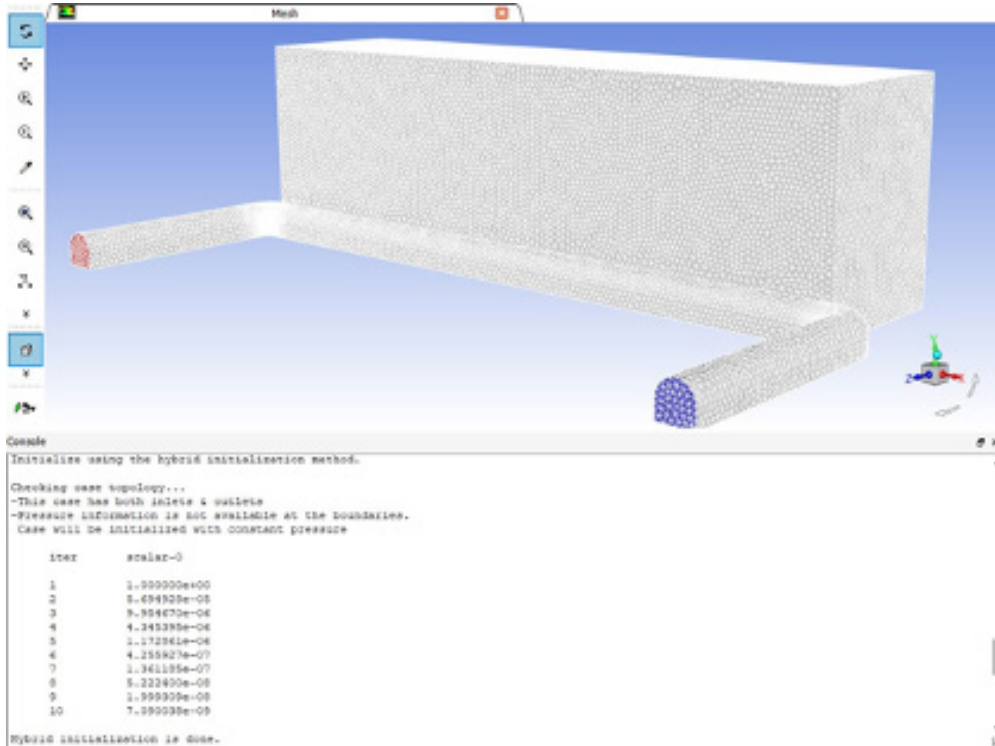
**Properties**

Mixture Species: names  
 Density (kg/m3): incompressible-ideal-gas  
 Cp (Specific Heat) (j/kg-k): mixing-law  
 Thermal Conductivity (w/m-k): constant  
 Viscosity (kg/m-s): constant  
 Mass Diffusivity (m2/s): constant-dilute-appx

0.0454  
 1.72e-05  
 2.88e-05

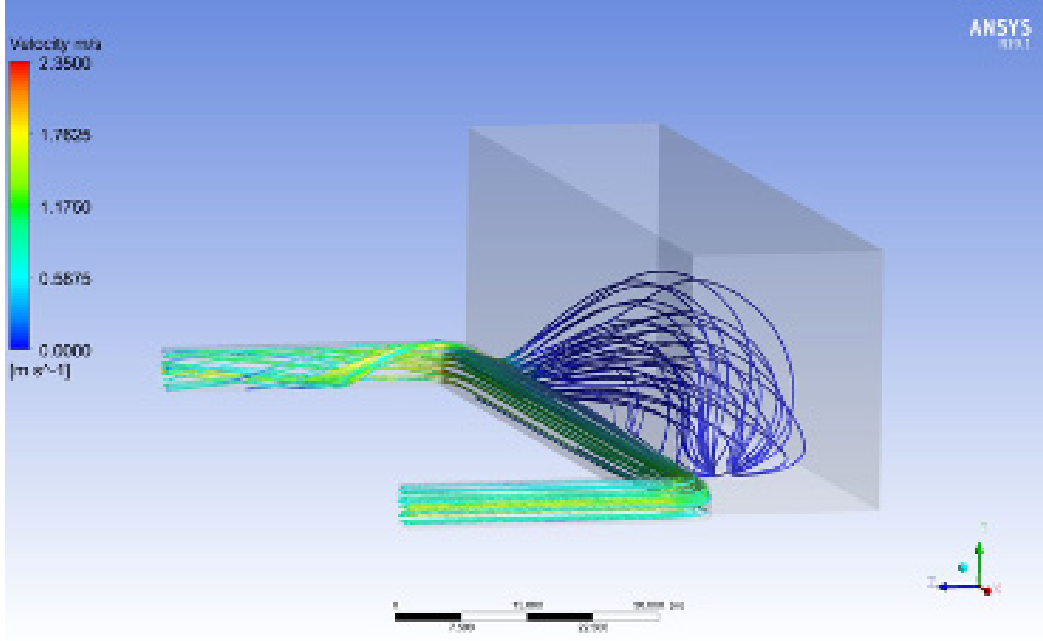
Change/Create Delete Close Help

Şekil 11. Karbon monoksit- hava karışımının özelliklerinin seçilmesi

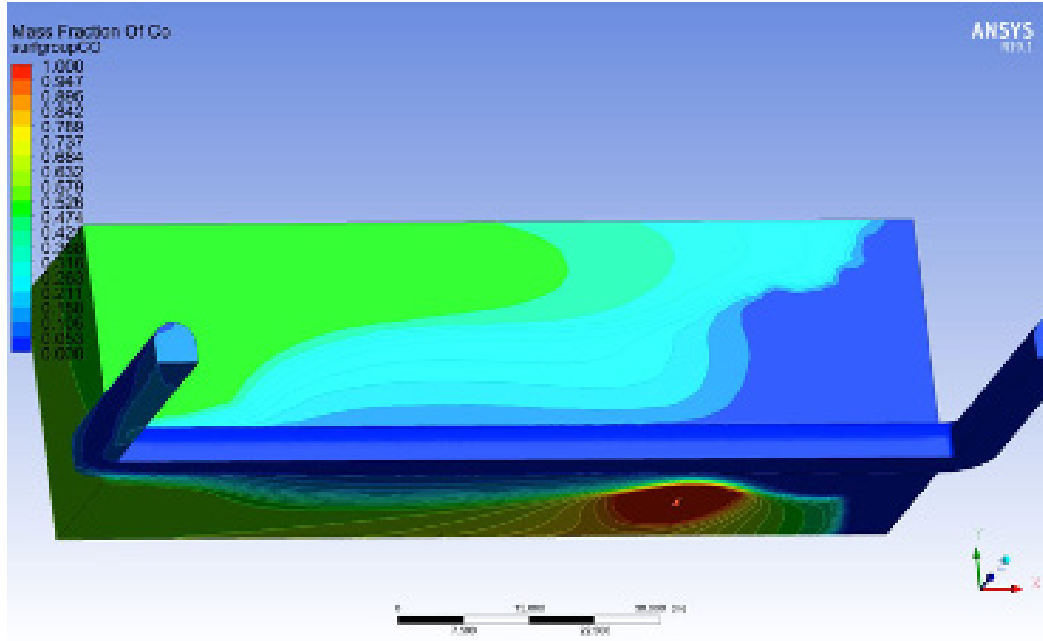


Şekil 12. Çözümleme başlangıç koşullarına getirilmesi

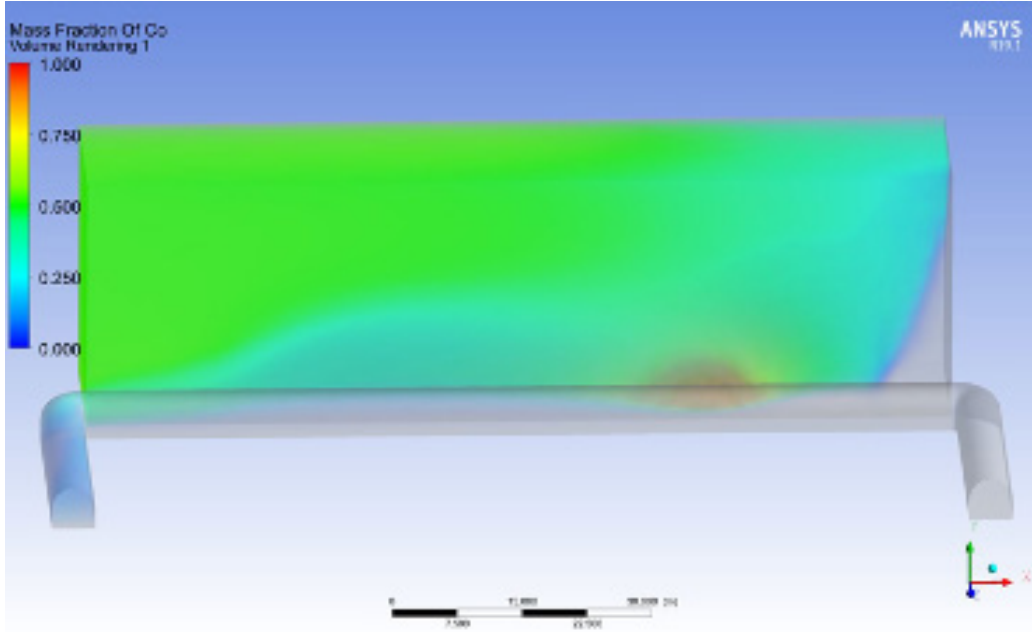
Çözümleme yakınsadıktan sonra elde edilen veriler ve raporlar CFD-Post programında gözlemlenmiştir. Elde edilen hava hızı eş çizgileri, karbon monoksit konturları, gaz dağılımı aşağıda verilmiştir.



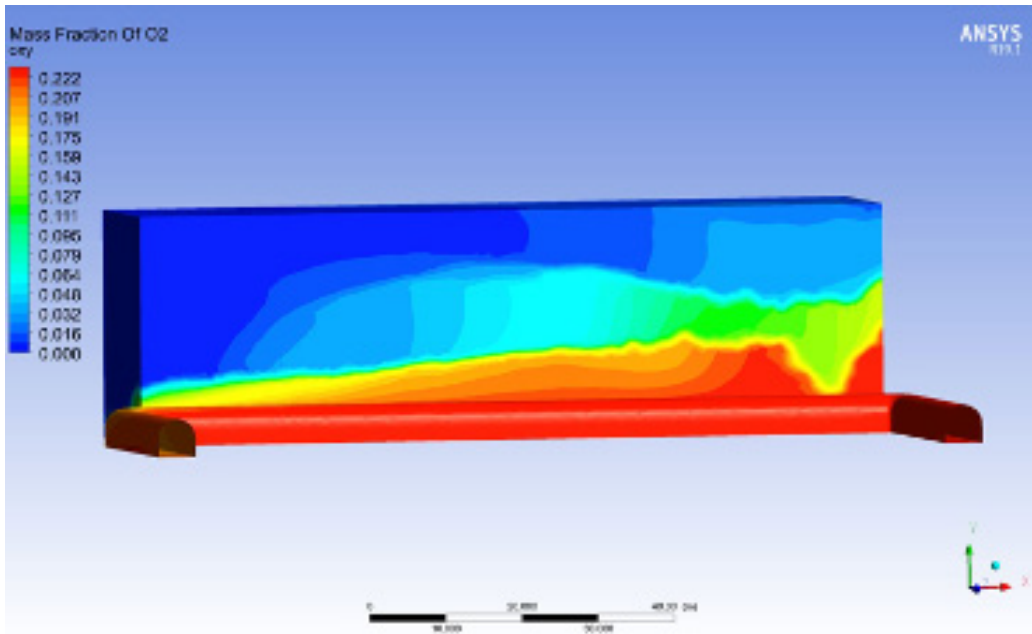
Şekil 13. Göçük içerisinde ve hava yolu içerisinde hava hızı çizgileri



Şekil 14. Gaz kaynağından başlayarak dağılan karbon monoksidin ocak içinde dağılımı



Şekil 15. CO gazının göçükte ve ayak içerisinde muhtemel hacimsel görüntüsü



Şekil 16. Oksijenin ara boşluklardan sızarak göçük içindeki bulunabileceği muhtemel yerler

### 3.Sonuç

Yeraltı kömür madenlerinin en önemli sorunlarından biri olan tehlikeli gazların davranışı bu çalışmadaki uygulanan senaryoyu bir araştırma konusu haline getirmiştir. Senaryoya göre önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, kazanılan kömür ile birlikte ayak ilerledikçe ilerleyen göçük bölgesinde kazanılması mümkün olmayan ve göçükte biriken kayıp kömürün kendiliğinden yanma özelliği sayesinde bir karbon monoksit kaynağı olarak davranması durumunun ocak havasına etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda Ansys Fluent ve CFD-Post yazılımlarından alınan verilere göre, ocak havasının göçükteki ara boşluklarda hareketi ve göçükteki karbon monoksit gazının yayılımı izlenmiştir. Bunun yanı sıra kömürün oksidasyonu için gerekli ve yeterli olan oksijen varlığı ve ısı artışı bir bölgeden tepkimeye başlayarak ve yavaşça genişleyerek önüne geçilemez bir tehdit oluşturmaya yatkın olduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda verilen görsellerden de anlaşılacağı üzere ocak havası rahatlıkla göçük içerisine nüfuz edebilir, düşük konsantrasyonlarda da olsa kendiliğinden yanmayı tetikleyebilmekte ve bir noktadan yayılmaya başlayan tehlikeli gazları ayak arkasından ocak içine taşıyabilmektedir. Madencilik sektörü özelinde bu gibi nümerik analiz programları yardımıyla her ocak planlama ve işletme aşamalarında kendi özelliğine göre oluşturulan senaryolar ile sınanmalı ve ortaya çıkan sonuçlara göre itina ile ve vakit kaybetmeden gerekli önlemler alınmalıdır. Bu sayede karşılaşılması muhtemel tehlike ve sağlık tehditlerinin henüz meydana gelmesine engellenmesi mümkün olacaktır. Ve durum belki birçok insan hayatının ve milli ekonomik değerlerimiz olan cevherlerin korunmasını sağlayacaktır.

### **Kaynaklar**

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.

Akbulut, C., 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,2010.

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

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

ANSYS Training Course Notes, 2006

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

Bilgin, E., (2020), "Geri Dönümlü Göçertmeli Uzunayak Yönteminde Ocak Havasının Göçük İçinde Hareketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi (HAD) ile Analizi, MT Bilimseli Yeraltı Kaynakları Dergisi, Sayı: 17

Dalgıç, A. , 2001 "Ventilation Design of the Guleman Kef Chromium Mine". Maden Mühendisliği Bölümü. Doktora Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi.

Daloğlu, G., (2017) "Yeraltı Maden İşletmelerindeki Hava Hızı Ve Metan Davranışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) İle Modellenmesi" . Maden Mühendisliği Bölümü . Doktora Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Fefferman, C. (2006) 'Existence and Smoothness of the Navier-Stokes Equation', in Carlson, J., Jaffe, Wiles, A. (eds.) The Millennium prize problems. Providence, The Clay Mathematics Institute.

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

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

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