

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ELEKTRİKLİ ARK OCAĞINDA YANMANIN
HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ İLE
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin AKIN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA

Temmuz 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ELEKTRİKLİ ARK OCAĞINDA YANMANIN
HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ İLE
MODELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selin AKIN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 26/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Selin AKIN

22.06.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve lisans eğitimimde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her aşamada, araştırmalardan tez yazım sürecine kadar yardımını esirgemeyen ve destek olarak beni yönlendiren danışman hocam Pof. Dr. Ekrem BÜYÜKKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteğini her zaman hissettiren ve yardımlarını esirgemeyen her anımda yanımda olan aileme, tez için gerekli yazım sürecinde destek olan sevgili Alkan GROUP ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma TÜBİTAK 3001 proje desteği programı ile desteklenmiştir. Ayrıca çalışmada olan destekleri için CVS Teknoloji Firmasına teşekkür ederiz

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. EAO’nda Çelik Üretimi.....	5
2.2. EAO’nda Meydana Gelen Reaksiyonlar	13
2.2.1. Çelikte bulunan temel moleküllerin oluşturduğu standart reaksiyonlar	13
2.2.2. Cüruf yapıcı maddelerin oluşturduğu standart reaksiyonlar.....	14
2.2.3. Kok yapısında bulunan moleküllerin oluşturduğu standart reaksiyonlar	14
2.2.4. Deoksidasyon moleküllerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar	14
2.2.5. Elektrotların eriyik içerisinde yanması ile oluşan standart reaksiyonlar	15
2.2.6. Doğal gazın yanması ile oluşan standart reaksiyonlar.....	15
2.2.7. Alaşım elementlerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar	16
2.3. EAO Enerji Tüketimi.....	17

2.4. EAO' nda Radyasyon	17
2.5. EAO' nda Ters Isı Transferi ve Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Konusunun İncelenmesi	19
2.6. EAO' nda Türbülanslı Akış	23
2.7. EAO' nda Cüruf Etkisi	28
2.8. EAO' nda Elektrot Tüketimi	29
 BÖLÜM 3.	
GEREÇ VE YÖNTEM	31
 BÖLÜM 4.	
SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	35
4.1. Elektrikli Ark Ocağı'nın Geometrisi	35
4.2. Elektrikli Ark Ocağı'nın Sınır Şartları	37
4.3. Elektrikli Ark Ocağı' nın Ağ Yapısı.....	40
4.4. EAO Model Seçimi.....	43
4.5. EAO Akış Analizleri.....	46
4.6. EAO Isı Analizleri	49
4.7. EAO Yanma Analizleri.....	55
4.7.1. Karbon yanması.....	55
4.7.2. EAO Elektrik ark radyasyonu	56
 BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	58
KAYNAKÇA.....	60
ÖZGEÇMİŞ	64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BOF	: Bazık oksijen fırını
EAO	: Elektrikli ark ocağı
S2S	: Surface to surface
CFD	: Computational Fluid Dynamics
HAD	: Hesaplamalı akışkan dinamiği
EAF	: Elektrikli ark fırını
Re	: Reynolds
Fe	: Demir
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
GJ	: Giga joule
PF	: Pota fırını

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektrikli ark ocağı genel görünümü.....	6
Şekil 2.2. EAO üretim tesisi proses şeması.....	10
Şekil 2.3. EAO cürufun alınması	11
Şekil 2.4. EAO genel yapısı	13
Şekil 2.5. Fırının farklı bölümlerinin termografi görüntüsü	22
Şekil 2.6. Silindir üzerindeki akışın RE sayısına göre sınıflandırılması.....	23
Şekil 2.7. Büyük girdap simülasyonu (LES) basitleştirilmiş modeli.....	25
Şekil 4.1. Elektrik ark fırınının üç yönden temel görünüşleri.....	35
Şekil 4.2. Çelik eritme ark fırını.....	36
Şekil 4.3. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO yüzey isimledirmeleri	37
Şekil 4.4. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO baca.....	38
Şekil 4.5. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO grafit elektrot konumlandırılması...	38
Şekil 4.6. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör bölgeleri.....	39
Şekil 4.7. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO’nda oksijen ve karbon enjeksiyon bölgeleri.....	40
Şekil 4.8. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör açıları	40
Şekil 4.9. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO ağ yapısı.....	41
Şekil 4.10. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör ağ yapısı.....	42
Şekil 4.11. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO elektrot ağ yapısı	42
Şekil 4.12. Model 1 ve Model 2 Mesh yapısı	43
Şekil 4.13. 1 Model 1 ve model 2 türbülans kinetik enerji dağılımı.....	43
Şekil 4.17. Model 1 ve Model 2 genel sıcaklık dağılımı	45
Şekil 4.18. Model 1 ve Model 2 türbülans dağılım modeli.....	46
Şekil 4.19. EAO enjektör yol çizgisi.....	47
Şekil 4.20. EAO enjektörlerden gönderilen partiküllerin ocak genelinde sebep olduğu kinetik enerji.....	48

Şekil 4.21. EAO türbülans oluşan bölgeler	49
Şekil 4.22. EAO Statik sıcaklık.....	50
Şekil 4.23. EAO total sıcaklık.....	50
Şekil 4.24. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık grafiği	51
Şekil 4.25. Model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık grafiği	51
Şekil 4.26. Model 1 ve model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık karşılaştırma çizgi grafiği.....	52
Şekil 4.27. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık grafiği	53
Şekil 4.28. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık grafiği	53
Şekil 4.29. Model 1 ve model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık karşılaştırma çizgi grafiği.....	54
Şekil 4.30. Eriyik yüzeyindeki duvar ışınlımlı ısı akısı dağılımı	54
Şekil 4.31. Elektrot çevrelerinde duvar ışınlımlı ısı akısı dağılımı.....	55
Şekil 4.32. Model eriyik yüzeyinde radyasyon sıcaklık dağılımı	56
Şekil 4.33. Elektrot ve elektrot altı radyasyon sıcaklık değerleri	57

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Türk Çelik Sektörü Genel Durum(2108/Kaynak: Çelik İhracatçıları Birliği (ÇİB))	7
Tablo 2.2. Cüruf bileşim oranları.....	12
Tablo 2.3. Cüruf tabakası kalınlığının panel sıcaklığına etkisi [21].	29
Tablo 4.1. Örnek enjektör için alınan çizginin başlangıç ve bitiş noktaları.....	46

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elektrikli ark ocağı, Radyasyon, Sıcaklık, Yanma, Hesaplamalı akışkan dinamiği, analiz, enerji

Dünya’da çeşitli sektörlerde tüketilen ana materyallerden biri çeliktir. Çeşitli alaşım ve şekillerde üretimi mümkündür. Çelik üretiminde yaygın olarak kullanılan üretim şekli elektrikli ark ocaklarında olan üretimdir. Bu ocaklarda çelik malzemesinin üretimi için kullanılan enerji miktarı çok fazladır ve kayıp olarak kayda geçen miktar ise bir hayli yüksektir. Çalışması yapılan elektrikli ark ocağında yanma, radyasyon, türbülans akışı ve baca gazının da dahil olduğu akış analizleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan ocak üç adet grafit elektrota ve üç adet enjektöre sahiptir. Yaklaşık üretim kapasitesi bir dolum için 250 ton civarındır. Çalışmada ocak için karbon yanması, ark radyasyon enerjisi, sıcaklık, türbülans oluşum bölgeleri incelenme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

MODELING THE COMBUSTION IN AN ELECTRIC ARC FURNACE WITH CALCULATED FLUID DYNAMICS

SUMMARY

Key words: Electric arc furnace, Radiation, Temperature, Combustion, Computational fluid Dynamics, analysis, energy

One of the main materials consumed in various sectors in the World is steel. It can be produced in various alloys and shapes. The production method commonly used in steel production is the production in electric arc furnaces (EAF). The amount of energy used for the production of steel material in these furnaces is very high, the amount recorded as loss is quite high. Flow analyses including combustion, radiation, turbulent flow and flue gas were performed in the electric arc furnace studied. The furnace used in the study has three graphite electrodes and three injectors. Approximate production capacity is around 250 tons for one filling. In the study, studies of carbon burning, arc radiation energy, temperature, turbulence formation regions were carried out for the furnace.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada sanayi sektöründen günden güne üretiminin artışı çeliğin üretim yöntemlerinden biri olan, çeşitli alışımlarda üretim yapabilme imkanı sağlayan elektrikli ark ocakları incelenmiştir.

Sanayi tipi olarak tanımlanan bir elektrik ark ocağındaki (EAO) hurdanın, erime ısısına çıkarılabilmesi için yüksek oranda kimyasal enerjiye ve aynı zamanda elektrik enerjisine ihtiyaç duyulur. Çelik üretiminin elektrikli ark ocakları ile yapılan kısmı %30' luk ciddi bir orana sahiptir [1].

Türkiye' de çelik üretiminde yaklaşık olarak $\frac{3}{4}$ gibi bir oranı ark ocaklarına sahip olan tesislerde, kalan bölümü de demir çelik imalatı yapan tesislerce üretilmektedir. Sanayi tipi-Yüksek kapasiteli ocaklarda yapılacak olan her yüklemde içerisinde maksimum 350 ton civarında hurda işleyebilmektedir [2, 3]. Yapılan bir işlem için 50-60 dakika civarındadır ve EAO'da üretilecek 1 ton çeliğin ihtiyacı olan 6-8 GJ civarındaki enerji pota tarafından tüketilmektedir. EAO tarafından tüketilen bu enerji komplike çalışan tesislerde kullanılan enerjinin yarısı olarak bilinmektedir ve bu enerji miktarının 100000 nüfuslu bir yaşıan bölgesinin tüketeceği elektrik enerjisi miktarı ile eş orandadır [4, 5]. Çelik üretimi için kullanılan enerjinin %50'ye yakın bir oranı çeşitli sebeplerden dolayı kayıp olarak salınmaktadır [6].

EAO' larında kaynakların verimli kullanılması için verimli bir yanma oluşturulması ve az elektrik enerjisi ile planlı aynı zamanda kaliteli sarfiyat gerçekleştirilmelidir. Çelik sektöründe ergitme süresini azaltabilen ve ergitme için maliyeti düşürme amaçlı çeşitli çözümler bulunmaktadır. Bunlara ek olarak EAO' ların da verimliliği artırma amaçlı kimyasal enerjiden yüksek oranda faydalanılması ve aynı zamanda ocak için istenilen zamanda yüksek enerjinin elde edilebilmesi gerekmektedir. Bu sebeple

ergitme işlemi sırasında eklenen hurda çeliğinin enerji kaybına minimum seviyede sebep olarak ocak içerisine yüklenmesi ve ön ısıtmayı amacına hizmet eden brülör konumunun, sayısının ve enjektör için kullanılacak olan püskürtme açılarının doğru belirlenmesi, ocakta bulunan eriyik çelik akışkanının hızlı ve en uygun şartlarda eriyik çeliğin boşaltılması ve etmenler değerlendirilmeye alınmalıdır. Bu konu ile ilgili örnek vermek gerekirse elektrik ark ocaklarına hurda enjektesi sırasında ocak kapağı açılarak hurda enjektesi kapılır ve bu esnada ısınan ocağın kapağın açılması ile ısı kaybına uğradığı görülmüştür. Diğer bir örnek ise elektrikli ark ocaklarında ocakta oluşan tepkimeler sonucunda bazı baca gazları oluşur. Bu baca gazları yüksek ısıya sahiptir ve direk atmosfere verilmesi büyük bir enerji kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple baca gazları ocakta toplanır ve gaza yön vererek hurda bölümüne iletilir, hurda bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Böylece hurda ısı arttırılarak ocağın dolum sonrası ihtiyaç duyduğu enerji oranı biraz daha azalmış olur.

Elektrik enerjisi EAO da yaklaşık %60-65'lik enerjiyi oluşturmaktadır.%30-35'lik enerji ise Sisteme kimyasal enerji ile giren enerjidir. Elektrik enerjisi yerine kimyasal enerjide karbon enjeksiyonuyla köpüklü cüruf elde edilmesi ve kapağın açılmaması durumunda %4-5'lik bir artış sağlandığı bilinmektedir[7]. Hurda ergitirken elektrik enerjisinin yüksek bölümü harcanmaktadır. Sisteme elektrik enerjisinden kimyasal enerji miktarının arttırılmasıyla ekstra enerji ilavesi yaparak elektrik tasarrufu sağlanabilir. Bu işlemde ergime ocakta yapılip cürufa elektrotlar gömülmüş halde çalışma aşamasında yapılabilir. Kimyasal enerji ile enerji ilavesinin EAO' da %30-35'ı sağlanabilmektedir [7].

EAO üzerinde ilk yapılan çalışmalar Ushio ve arkadaşları sonra ise Szekely ve arkadaşları tarafından kompleks fiziksel olayların hesaplanmasında HAD yöntemi kullanımı yaygınlaşmaya başlandığı yıllarda yapılmıştır [5, 6]. Navier ve Stokes çalışmalarında ark ve hazne bölgelerini, EAO sistemini Maxwell denklemini ve enerji korunumu denklemini kullanarak modellemişlerdir. Navier ve Stokes HAD ile elektrottan hazne yönüne gerçekleşen enerji geçişini farklı ısı transferi modellerini kullanarak ilk modelleyen araştırmacılarıdır. EAO sisteminde Alexis ve diğerleri Maxwell denklemlerini momentum, kütle ve enerji korunumu denklemleriyle basınç,

hızı ve plazma sıcaklığını hesaplamak için kullanmıştır [8]. Yapılan sayısal çözümlerinde arktan çıkmış olan enerjinin %2'lik bölümün elektrot tarafından absorbe edildiği ve %18 'inin metal hazneye direk ulaştığını ve EAO içerisine %80'lik bölümün radyasyon enerjisi olarak dağıldığını belirtmişlerdir [5, 6, 7, 8]. EAO' de termokimyasal nedenler sonucunda ortaya çıkacak enerjinin tespiti için projede önceki çalışmalardan farklı olarak ayrıntılı bir yanma simülasyonu yapılacaktır. Yanma, hava miktarlarının yanma reaksiyonları ve sistem içerisine giren gerçek yakıt kullanılarak oluşturulacaktır.

Li ve Fruehan yaptığı çalışmalarda hazne içerisinde üç adet elektrotun bulunduğu, bölgenin modele eklentisinin yapılmadığı bir EAO' na 3D model oluşturularak çalışma yapılmıştır [9]. Oluşturulan model üstünden ayrıntılı HAD analizi ile EAO' larda yanma sırasında reaksiyonları, ısı geçişini, akış ve radyasyonu aynı zamanda incelemeyi başarmışlardır. HAD analizi sonucunda enerjinin büyük bir kısmını radyasyon (ocak üst kapak ve yan duvarları) ve baca gazları ile ocağı terk ettiğini detaylı bir şekilde sayısal verilerle elde etmişlerdir. %30 gibi ciddi bir enerjinin sistemi baca gazları ile terk ettiğini çözümlemişlerdir. %12' lik enerjinin radyasyon enerjisi olarak sisteme entegre olarak çelik eriyiğine aktarıldığını görmüşlerdir. %56 'lık enerji kısmının da radyasyon ile ocak üst ve yan duvarlarına geçtiğini belirlemişlerdir. Yapılan çalışmada, sıvı cüruf veya elektrotlarda bulunan C ve CO₂ arasında reaksiyona dahil olan ısı iletimi, radyasyon, nihai yanma reaksiyonlarını ve sonrasında yanma reaksiyonunu analiz yapmışlardır. Araştırmacılar araştırmalarında, radyasyonla ısı iletiminin EAO' daki metali eritmek için önemli bir faydaya sahip olduğunu açık olarak belirtmişlerdir [4].

Guo and Irons 3D bir model üzerinde HAD yöntemini standart olarak kabul edilebilecek bir sanayii EAO içerisinde oluşan radyasyon enerjisini ve ocak içerisindeki dağılımını belirlemek için kullanmışlardır. Araştırmacıların oluşturduğu modelde EAO yapısı silindirik üst gövde içerisinde üç adet elektrot ve alt kısmı silindir şeklinde olan gövdeye bağlı ergitme bölümünden meydana gelmektedir. 3 boyutlu modele cüruf hacmini radyasyon enerjisinin cüruf içerisindeki dağılımını tespit etmek için eklemişlerdir. Yan çeperlerde bulunan yansıtıcıları, su dolandırılarak soğutulan

yan duvarlar ve ocak çatısında yer alan radyasyon enerji dağılımı incelemesini yaptıkları modelleme çalışması ile tespit etmişlerdir. Grafit malzemesinden oluşturulan elektrotların max ortalama sıcaklığının 3600 K olduğu sayısal hesaplamaların sonucunda bulmuşlardır. Aynı zamanda % 0.3'lük kısmın elektrotlardan iletilen ısı kaybının toplam elektrik enerjisi olduğunu hesaplamışlardır. Oluşturulan modelde duvarların radyasyon yayılımı, ısı transfer katsayıları ve elektrik ark yüzeyleri üzerine Guo'nun çalışmasına dayanarak bazı varsayımlar uygulanmıştır. Son dönemlerde geliştirilen çözümleme metotları, türbülans ve radyasyon dışında katı partikül yanması(karbon) ve buharlaşma gibi karmaşılaşmış fiziksel problemleri de çözebilmektedir.

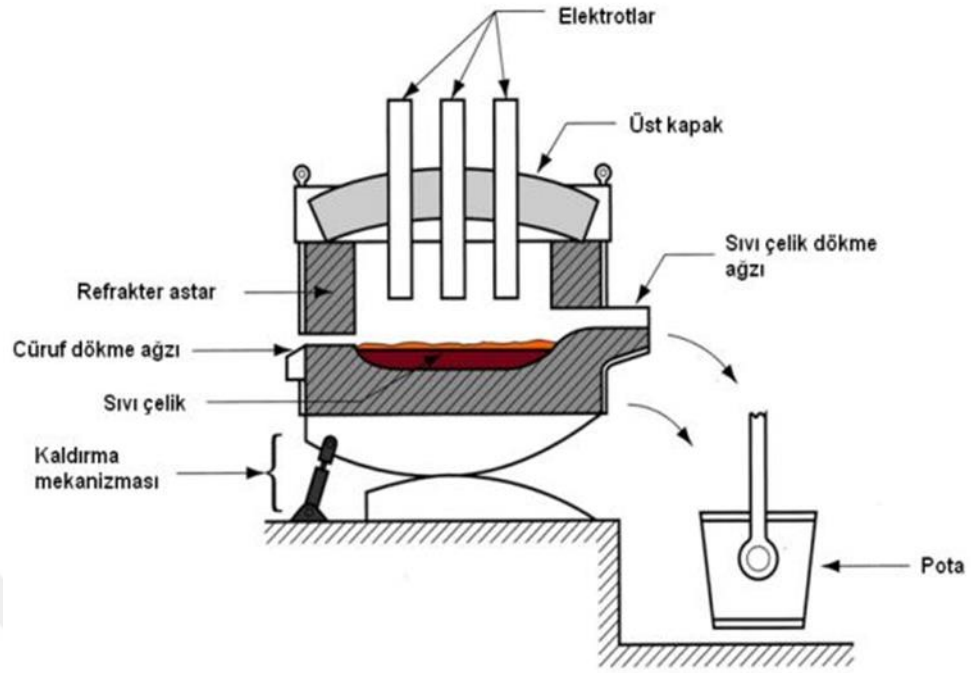
Bu çalışmayla, daha önce yapılmış olan çalışmalara göre daha ileri seviyeye taşınmasını sağlamak için ocakta uygun bir ağ yapısı modeli oluşturuldu. EAO yapısının gerek mesh gerek analiz kısmında ram kaynaklarını tükettiği görülmüştür. Bu sebeple model oluşturulurken bilgisayar özellikleri değerlendirerek bir plan oluşturulmasına dikkat edildi.

Literatür kısmı eski yıllardan günümüze kadar olan süreç incelendi ve analiz bölümü bu şekilde oluşturuldu. Bu sayede doğruluğu görülmüş veya birçok araştırmada doğru olduğu kabul edilmiş yöntemler kullanılmaya çalışıldığından, fazla miktarda girdiye yer verilmedi.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. EAO' nda Çelik Üretimi

Demir çelik sektörü, saf demir cevheri ya da hurdanın çeşitli yollarla işlenmesi ile demir elde edilmesi ardından demirde mevcut olan oksitlenmenin, içerisinde bulunan fakat alışımda istenmeyen moleküllerin azaltılarak ve/veya artırılarak çelik üretilmesini içerir. Elektrikli ark ocaklarını(EAO) genel oluşumu açısından kısaca incelediğimizde ana parçalar; Döküm deliği olan EAO astarı, bugünün sanayisinde sıklıkla kullanılan merkezden kaçık olan alt döküm deliği bunun ile birlikte cüruf kapısıdır. Ek olarak da hareket edebilen üst kısım, soğutmalı reflakter tuğlalardan örülerek oluşturulmuş duvar plakaları, elektrot taşıyıcı kollarla birlikte genellikle grafit olan elektrotlar, ocakta elektrik taşıyan diğer kısımlar ve son olarak eğme mekanizması-piston grubu ana parçalar olarak görülebilir. Elektrikli ark ocaklarında döküm ağırlığı miktarı test amaçlı laboratuvarlarda oluşturulan ocaklar hesaba katılırsa birkaç kilogram başlar ve 350 tona kadar ulaşılabilir. Yaklaşık döküm ağırlığı 80-120 ton arasındadır [1].



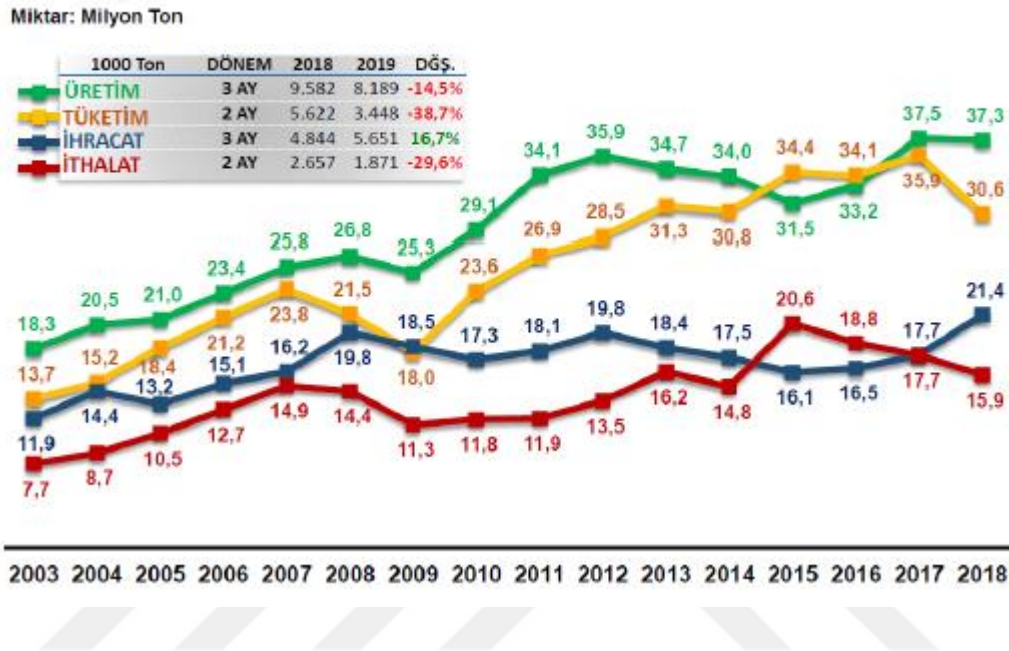
Şekil 2.1. Elektrikli ark ocağı genel görünümü

Elektrikli ark fırınlarının yüksek fırınlara kıyaslandığında yüksek oranda tercih haline gelmesindeki ana sebepler; üretim kolaylığı, kurulum maliyetleri, yüksek fırınlara göre hızlı devreye alma ve durdurma özelliği belirtilebilir. Dünyada %60 oranında bütünleşmiş üretim sahalarında, %40 oranında EAO' larında çelik imalatı yapılırken, bu oran ülkemiz için incelendiğinde %34'lük dilimin bütünleşmiş üretim tesislerinde, %66'luk dilimin ise EAO' lardaki çelik üretimi oluşturmaktadır. Üretimde çoğunluk kısmı elektrikli ark ocaklarının almasının temel sebepleri ilk yatırım maliyetinin düşük olması, hammadde olarak hurda kullanıldığından malzeme temininde kolaylıktır [2].

Günümüz sanayiinde hurda metalürjisi geliştirilip ikinci metalürji ile birleştirilmiş ve bu avantaj ile geniş bir ürün çeşitliliğine sahip çelik cinsleri ve kıyaslandığında ağır tonajlarda üretilen çelik türlerinin karbon ve yapı çelikleri gibi üretiminde başrol olarak boy göstermiştir. Hurda metalürjisi gelişmiş fakat sistemde kullanılan hurda ithal olduğundan bazı sıkıntılar yaşanmıştır. EAO' larda ana malzeme olarak kullanılan hurdanın %70 civarında ciddi bir oranı yurtdışından temin edilmektedir. 2019 T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına ait veriler kontrol edildiğinde 5,826 bin

ton koklaşabilir taş kömürü, 21 milyon ton hurda, 11 milyon ton demir cevheri ithal edilmiştir [3]. Tablo 2.1.'de yıllara göre Türk Çelik Sektörü verileri yer almaktadır.

Tablo 2.1. Türk Çelik Sektörü Genel Durum(2108/Kaynak: Çelik İhracatçıları Birliği (ÇİB))



Tablo 2.1. incelendiğinde çelik üretiminin her yıl bir önce yıl ile kıyaslanırsa ortalama olarak yaklaşık %8 değerinde artış olduğu görülmektedir. Artan üretim kapasitesi ile birlikte ocakların çalıştırılması için ihtiyaç duyulan enerji de doğru oranda artmıştır. Bir EAO'nın çalışması için gerekli olan enerjiyi Çamdalı ve Tunç'un yaptıkları çalışmalarında Elektrik Ark Fırınının kapak ağzından radyasyonla kayıp olan ısının 2. şarj sırasında 252000 kcal ve 3. şarj sırasında 303900 kcal, toplamda 555 900 kcal olduğunu tespit etmiştir [4, 5]. Bu tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %50'sinin farklı yollarda j-kaba uğradığı tespit edilmiştir[5, 6]. Enerji tüketiminin bu denli büyük olması elektrikli ark ocaklarında tüketilen enerjiden max düzeyde yararlanılması için yapılan çalışmalara destek verilmesini gerektirmiş, bu konuda birçok araştırmacı çalışmıştır.

EAO bütünüyle hurdanın kullanılarak çelik üretiminin yapıldığı sanayii yöntem özelliğine sahip olup dünyada olduğu gibi Türkiye'de de birçok sanayi kuruluşu tarafından kullanılmaktadır. Demir cevheri ve hurda çeliğin birlikte belirli oranlarda

olmak koşuluyla üretim gerçekleştirilen elektrik ark ocağı(doğrudan indirgeme) yöntemiyle ülkemizde henüz üretim yapılmamaktadır. Ergitme indirgenmesi yöntemiyle üretilen demir çelik, dünya genelinde sadece az sayıda sanayi kuruluşlarında gerçekleştirilmektedir. Anlaşılabacağı üzere piyasada sıklıkla kullanılan bir metod değildir. Ülkemizde demir-çelik üretiminin temelini oluşturan iki yöntem vardır. Bunlar;

1. Entegre-birleşmiş tesisler kullanılarak demir cevherinden veya hurda demirden çelik üretimi,
2. EAO' nda hurda kullanılarak çelik üretimidir.

EAO' nda 2 tür ocak içi astarlama yöntemi mevcuttur. Bunlar; asidik veya baziktir. Asidik astarlama yönteminde, çelik üretimi tam ve kısmi oksidasyon yöntemi ile yapılır, oluşan cüruf asidik özellik taşır. Bu tipteki fırınlarda cüruf asidik özelliğe sahip olduğu için aynı zamansa fosfor ve kükürt giderimi işlemlerinin uygun olmadığı için hammaddelerin bu özelliklere bağlı kalınarak tedarik edilmesi gerekir. Bazik astarlı fırınlarda oksitleyici ve redükleyici çift cüruf üretim sistemi uygulanabilir. Potadan P ve S kolaylıkla giderilebilir Bazik astarlı ocaklarda tabanda astarlama uygulaması yapılır. Kapak kısmında tuğla kullanılır. Cüruf seviyesi ve üst kısmında krom-magnezit tuğla veya silika tuğla kullanılabilir.

EAF' ler iki tip akıma (AC veya DC) göre çalışmaktadır. AC akım uygulanmasında 3 elektrot vardır ve 3 elektrot arasında akım oluşturulup çeliğin eriyik haline gelmesi sağlanır. DC akım uygulamasında bir elektrot vardır ve akım anot-katot prensibiyle üstten elektrot ve ocak tabanı arasında akım oluşturulur. Çelik oluşan akım içerisinde eriyik hale getirilir.

EAF' lerde uygulanan işlemler sıralanırsa;

1. Hurda şarjı
2. Eritme
3. Oksidason

4. Redüksiyon
5. Alaşım
6. Deoksidasyon
7. Döküm alma
8. Ocağın hazırlanması

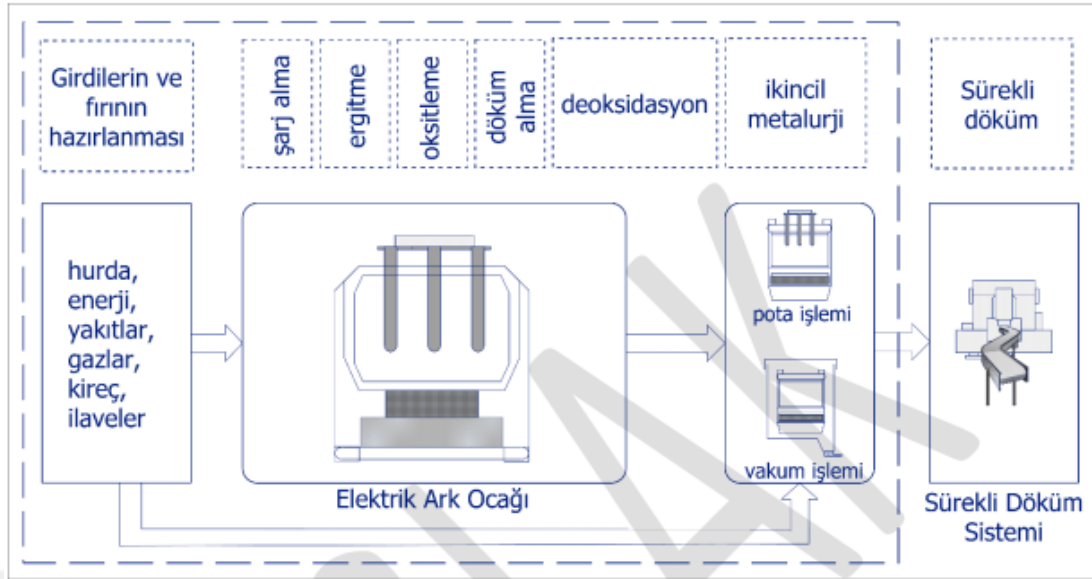
Kok kömürü ile yüksek ocaklarda demir oksit in oksijen ile yanma reaksiyonuna maruz bırakarak reaksiyona sokulur ve indirgenir ardından eriyik ham demir meydana getirilir. Elektrikli ark ocağı ile çalışan firmalar;

1. Kısım; çelikhane
2. Kısım; haddehane olacak şekilde iki ana bölümden oluşur.

Çelikhane olarak adlandırılan birinci kısım, hurdaların elektrikli ark ocaklarına şarjı ve sonrasında da eritilmesiyle oluşturulan ham çeliğin çeliğin katılaştırılması için döküm makinelerinde çeşitli boyutlarda kütük çelik oluşturulan bölümdür.

Haddehane olarak adlandırılan ikinci kısım ebatlanan çeliğin şekillendirilerek son ürüne yönelik hazırlıkların yapıldığı ana birimdir. Haddehaneler, demir çelik tesislerinde bir bölüm olarak bulunabilir ya da ebatlanan kütüklerin işlenebilmesi amacıyla oluşturulan başka bir lokasyona sahip tesis de olabilir. Dünya genelinde en yaygın kullanım elektrikli ark ocakları olduğundan, çelikhanelerin ana üretim hattı haline gelmiştir.

EAO' da hammadde olarak kullanılan hurda, çelikhane içerisinde oluşan firelerden, çeşitli yerlerden toplanan çelik ile imalat yapan gruplardan (inşaat, otomotiv sanayi gibi) gelen malzeme kalitesi, tipi ayırt etmeksizin oluşan demir artıklarından, sonuncu tüketicilerden gelen raf ve/veya kullanım ömrü olarak belirtilen süreyi aşmış malzemelerden elde edilmektedir. Ya da ithal edilmektedir.



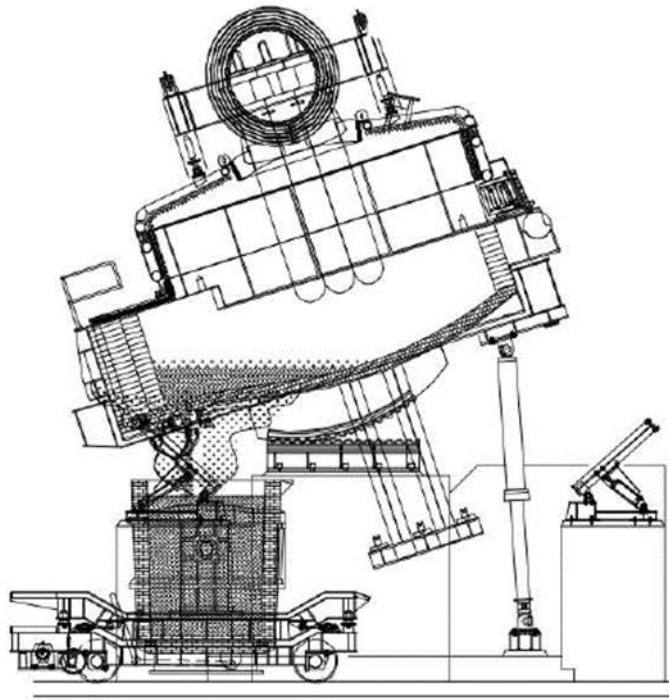
Şekil 2.2. EAO üretim tesisi proses şeması

Elektrikli ark fırınında hurdaya, pik demiri, cüruf elde etmek için partiküller, kok tozu ve sıvı oksijen eklenir. Ocaklardan baca gazları, cüruf çeşitli toz ve eriyik çelik elde edilir. Bunlar için ocağa her amaca hizmet eden bazı takviyelerde bulunulur. Bunlar;

- Cüruf yapıcı olarak; kireç, fluşpat, kireç taşı; tamir malzemesi olarak dolomit ve magnezit.
- Alaşımlama ve deoksidasyon oluşturma için; Fe-Si, Fe-Cr, Fe-Cr, vb
- Karbon enjektesi için; kaktoz
- Ergimeyi hızlandırma için; sıvı oksijen
- Karbon takviyesi için; hematit fırına gönderilir.

Toplanan hurdalardan oluşan çelik için uyulması gerek bir takım iş adımları bulunmaktadır. Bu iş hattı; hurda demirin kullanıldığı EAO'nde baca gazı ile hurda bir ön ısıtmadan geçirilir ve sonrasında EAO'na şarj edilir. Hurda şarjı sonrasında, su soğutmalı sisteme sahip ve üzerinde fırın içerisine daldırılabilen grafit elektrotlar mevcut olan kapak ile fırın kapatılır. Elektrotlardan geçen akımın oluşturduğu yüksek ark enerjisiyle hurdayı eritir. Eritme işleminin başlatmak ve devam ettirme için yüksek oranda elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır.

Erime, elektrotlar şarjın üstündeki hafif hurda olarak yanana kadar düşük bir güç ayarıyla başlar ve yüksek güçte erime sırasında yan duvarları aşırı ısınmadan korur. Arıtma aşamasında redüksiyon ve oksidasyon kademeleri vardır. Oksidasyon aşamasında çelik içinde istenmeyen maddeler katkı bazları ile oksitlenerek cürufa katılması sağlanır. Ergitme sonrasında güç düşürme yapılır. Sıvı metallerden numuneler alınır, sıcaklık kontrol edilir, ilaveler yapılır ve tüm koşullar uygunluğu denetlenir. Sonuç istenildiği gibi olması durumunda sıvı metalden cüruf sola yatırılarak alınır ve fosfor takviyesi gerçekleştirilir. Şekil 2.3.'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2.3. EAO cürufun alınması

Oluşan cürufun kimyasal bileşimi şu şekildedir;

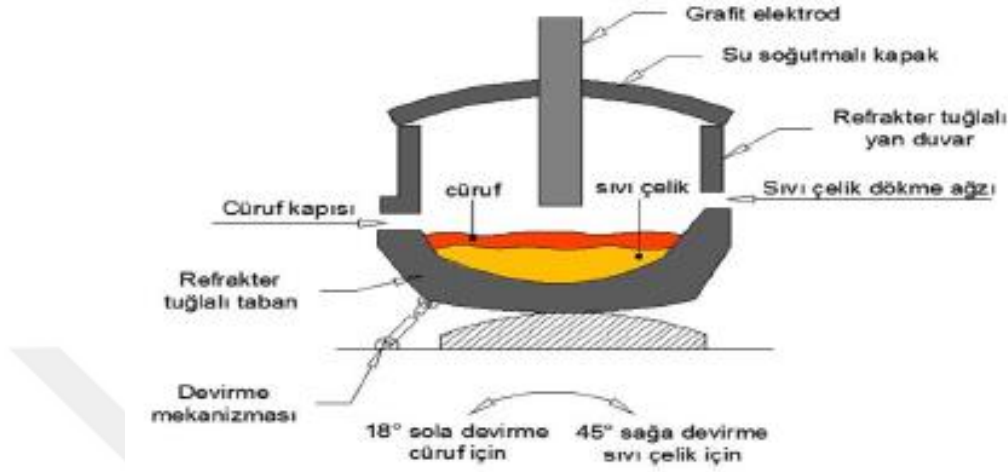
Tablo 2.2. Cüruf bileşim oranları

Bileşik	Kaynak	Oluşum oranı
CaO ₂	Yükleme	% 40-60
SiO	Oksidasyon ürünü	% 5-15
FeO	Oksidasyon ürünü	% 10-30
MgO	Yükleme	% 3-8
CaF ₂	Sıvı Cüruf yükleme	
MnO	Oksidasyon ürünü	% 2-5
SiO	Çelikten absorbe	
P	Oksidasyon ürünü	

Sıvı metal oluştuktan sonra fosfor takviyesi yapılır. Silisyum, fosfor, mangan ve demir gibi moleküllerde kısmen oksidasyona uğrar. Redüksiyon periyodunda kükürt giderme işlemi banyo sıcaklığını arttırarak yapılır ve çelik içerisine çeşitli takviyeler ile istenen molekül yapısındaki ürün elde edilir. Baziklik oranı çalışma şartlarına göre iyi ayarlanmalıdır.

Bileşimin kontrol altında tutabilmek için düzenli şekilde sıcaklık ölçümü ve ocaktan numune alınma işlemi yapılır. Alınan numunenin talep-durum dengesine eksik görülen malzemenin eriyiğe kazandırılması için çeşitli alaşım ilaveleri yapılır. Fakat bu eriyik içerisinde her zaman moleküllerin eksik olmayacağı bazı durumlarda fazla bulunabileceği koşullarda vardır. Bunun için alaşım ilaveleri ile eriyik içerisinde bulunan fazlalık cüruf yapısına kazandırılır. Sıra ile fosfor, kükürt, mangan, silisyum ve karbonun alaşımdaki miktarları ayarlanır. Ardından banyodaki oksitleri almak ve eriyikteki oksijen seviyesini minimum seviyeye düşürmek için kireç ve karbon (deoksidanlar) eklenir ve cüruftaki oluşumu sağlanır. Bitiş işlemi olarak sıcaklık ve bileşim kontrolü yapılır, ardından güç düşürülür ve gerekli görülürse ilaveler yapılır sonrasında, ocak yeterli sıcaklığa ulaşılmışsa, yatayla 18° açı yapacak şekilde yegilmekte ve erimiş çeliğin üzerinde bulunan cüruf ilk olarak ayrılmaktadır (Şekil 2.4.). Cüruf alımı sonrasında ocak eski konumuna tekrar getirilir ve içerisinde olan eriyiği potaya boşaltmak için tersi yönde yatayla 45° açı yapacak şekilde yatırılır ve sıvı çelik potaya dökülür. Eriyiğin içerisinde hala bulunan fazla oksijenin alınabilmesi için, eriyik potasına boşaltma aşamasında külçe alüminyum eklentisi yapılır ve

sonrasında üretimi planlanan ürün kimyasal özelliklerine göre hesaplanan miktarlarda Ferro-Siliko-Mangan, Ferro-Silis ve kireç potaya ilave edilir.



Şekil 2.4. EAO genel yapısı

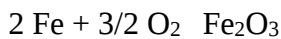
2.2. EAO’nda Meydana Gelen Reaksiyonlar

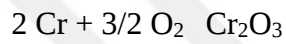
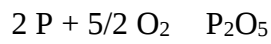
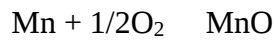
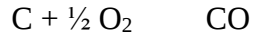
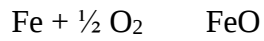
EAO’nda ilave edilen maddeler ile potada fırınında (PF) bulunan maddeler arasında kimyasal tepkimeler oluşmaktadır. Bu tepkimeler sonucunda bazı elementlerin istenilen ölçülere getirilmesi ve bunun içinde gereken element ve ya alaşım ilaveleri ile yeni bileşimler oluşmaktadır. Bu bileşimler çeliğe farklı özellikler bir süreç ile kazandırılmaktadır. Aynı anda gerçekleşen değişik sıcaklık ve hızlardaki çeşitli reaksiyonlar gerçekleştiğinden istenmeyen birçok madde çelikten uzaklaştırılır, ya da istenen birçok madde çeliğe eklenebilir.

Bu reaksiyonlar bazı standart reaksiyon gruplarına ayrılarak işlenmiştir [9, 10, 11, 12].

2.2.1. Çelikte bulunan temel moleküllerin oluşturduğu standart reaksiyonlar

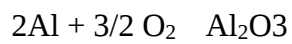
Çelikte bulunan temel moleküllerin yanarak oluşturduğu reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];





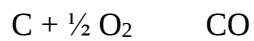
2.2.2. Cüruf yapıcı maddelerin oluşturduğu standart reaksiyonlar

Cüruf yapıcı maddelerin oluşturduğu standart reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];



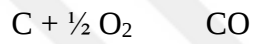
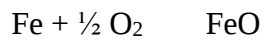
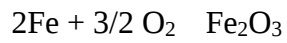
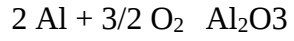
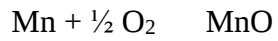
2.2.3. Kok yapısında bulunan moleküllerin oluşturduğu standart reaksiyonlar

Kok yapısında bulunan moleküllerin oluşturduğu standart reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];



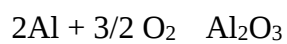
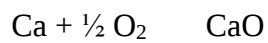
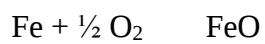
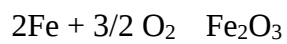
2.2.4. Deoksidasyon moleküllerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar

Deoksidasyon moleküllerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];



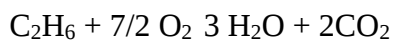
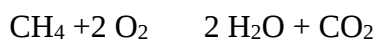
2.2.5. Elektrotların eriyik içerisinde yanması ile oluşan standart reaksiyonlar

Elektrotların eriyik içerisinde yanması ile oluşan standart reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];



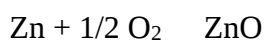
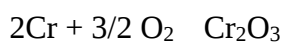
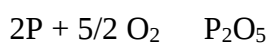
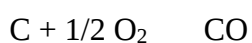
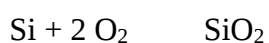
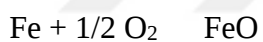
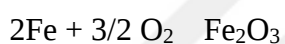
2.2.6. Doğal gazın yanması ile oluşan standart reaksiyonlar

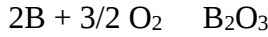
Doğal gazın yanması ile oluşan standart reaksiyonlar [8, 9, 10, 11];



2.2.7. Alaşım elementlerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar

Alaşım elementlerinin oluşturduğu standart reaksiyonlar [9, 10, 11, 12];





2.3. EAO Enerji Tüketimi

Bir elektrikli ark ocağında pota fırınında gerçekleşen reaksiyonların bir kısmı ekzotermik iken bir kısmı da endotermiktir [12]. Ekzotermik reaksiyonlarda sisteme enerji kazandırılırken, endotermik reaksiyon sayılarının fazla olması sistemin çalışması için ihtiyaç duyduğu enerjiyi arttırmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjilerin entalpi değerlerine göre kıyaslayıp sonuç çıkarmayı Çamdalı [13] araştırmalarında incelemiş ve 1 ton çeliğin ark ocaklarında üretilebilmesi için gerekli olan enerjinin yaklaşık 558000 kCal iken pota fırınında 383000 kCal olduğu görülmüştür. Buna karşılık ark ocağında kimyasal tepkimeler sonucu oluşan enerji sisteme giren toplam enerjinin yaklaşık %30'u iken pota fırınında %11 olduğu görülmüştür. Dolayısıyla endüstride çalışan fırınlarda üretime başlamadan önce yetkililerin reaksiyon enerjilerinin önceden öngörüp, enerji maliyetlerini düşürücü araştırmalar yapmaları gerekmektedir.

Enerji kullanımının bu denli yüksek olması EAO üzerine yapılan araştırmalara yoğunluk verilmesine sebep olmuştur. Fırın çevresinde bulunan refrakter tuğlaların araştırılmasından [14, 15, 16], arktaki ısı değişimlerinin incelenmesi [17], soğutma tiplerine ve yollarına kadar birçok konuda araştırmalar yapılmıştır. İncelenecek olan bu tezde yanma reaksiyonları ve oluşturduğu ısı enerji bölgeleri incelenmiştir.

2.4. EAO' nda Radyasyon

Erfan Khodabandeh ve arkadaşları ile yapılan çalışmada [17] Fırınlarda içi gibi farklı sıcaklıktaki yerler ve çeşitli yüzeyleri içeren ateşleme odaları ve radyatif ısı akışını yayan ve emen gazlar, doğruluk ve makul hesaplama maliyeti ile ışımsal ısı transferini yaklaştıran bir modele ihtiyaç duyuldu. CO₂, buharın önemli radyasyon kaynağıdır. Işımsal modeller, farklı yüzeyler ve gazlar ile sıcaklığın belirlenmesini çeşitli alanlarda dağılımlarını mümkün kılar. Kazanda su ile soğutulan yüzeyler

ateşleme odasında, borulara benzer bir ısı emici görevi görür. Hafif hidrokarbon yakıtların tutuşma proseslerinde, karbon dioksit ve buhar en önemli radyasyon gazlarıdır. Bu iki gaz güçlü emiciler olmasına rağmen, radyasyon saçılması katsayısı oldukça düşüktür. Karbon monoksit ve metan da nispeten yüksek radyasyon absorpsiyonu ve emisyon sergilemekle birlikte Karbondioksit ve buhar ile karşılaştırıldığında konsantrasyonları küçüktür. Soğutma panelini modellenmesinde boru, içindeki akışkan ve soğutma sisteminin gövdesi dikkate alınmıştır. Soğutma kutusunun geleneksel tasarımında elde edilen simüle edilmiş sonuçlar ile uyum sağladığı gösterilmiştir. Ayrıca sistemde ayrık ordinat (DO) radyasyon modeli ile sayısal sonuçlar, EAO' nın termal fotoğraf görüntüsü ile daha iyi bir uyum sağladığı görülmüştür [18]. Bu sebeple sistemde kullanılacak olan ordinat sistemi daha gerçekçi bir sonuç elde etmek amacıyla tez çalışmasında DO olarak kabul edilmiş ve uygulanmıştır.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalarımız sonucunda hurdanın eritilmesinde ortamda açığa çıkan radyasyonun yanmaya kıyasla daha fazla enerji ortaya çıkardığı tespit edildi ve radyasyon ısı transferinin çalışmada konumu önem kazandı. İncelemeler sonucunda farklı olarak enjektörlerin ocağa ve birbirlerine göre olan konumlarının, ocak ile arasında olan açılarının optimizasyonu ile kullanılan enerjiden uygulanabilir max verim elde edilebileceği düşüncesinin bizim için tekrar doğruluğunu kanıtladı. Bu çalışma kullandığımız radyasyon modeli üzerine çalışmamız gerektiğini gösterdi ve [23] Surface To Surface modeline (S2S) geçildi .

Termal radyasyon elektrikli ark ocaklarında ana ısı transfer mekanizması olarak kabul edilmiştir [19, 20]. Bazı çalışmalarda EAO' ndaki radyoaktif ısı transferi dikkat çekmiş ve araştırmamızda olduğu gibi irdelenmiştir. Örneğin bir elektrikli ark ocağında çelik üretiminde enerji ve koruma analizleri uyguladılar. Sonucunda yapılacak olan bir ön ısıtmanın EAO' nda geri kazanılan enerji miktarını arttırılabileceğini Çamdalı ve arkadaşları göstermiş oldu [6]. Modellerinde konvektif ve radyoaktif ısı kayıplarını da dikkate almışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda [21] kullanılmış olan radyasyon modeli P1 olarak belirlendi. Bu modelin seçilmesinde önemli olan etkenin modelin kolay ve hızlı bir şekilde çözüm yaptığı ön görüldü.

İncelemeler sonucunda ısıyı asıl oluşturan gücün radyasyon enerjisi olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra enerjiden doğru şekilde yararlanmak için ocakta bulunan enjektörlerin konumlandırılmasının yanma hızını etkilediği tespit edilmiştir. Yanmanın max düzeyde olması için bir açı belirlenmiş ve enerji de tasarruf etme yoluna gidilmiştir.

2.5. EAO' nda Ters Isı Transferi ve Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Konusunun İncelenmesi

Mohamed hafid [22] ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada eritme ocağında tuğla duvarın durumunun ters ısı transferi konusu incelenmiştir.

Ters algoritma olarak hem eşlenik gradyanları hem de değişken metrik yöntemleri kullandılar ve her iki yöntemin doğruluğunu ve çözüm maliyetini karşılaştırdılar. Düzensiz geometrilerde iletim-radyasyon probleminin ters sınır tasarımı Hosseini Sarvari ve ark. Tarafından yapılan bir çalışmada bildirilmiştir [23]. En küçük kareye dayalı bir işlevi tanımlamışlar ve bunu eşlenik gradyanlar yöntemi ile en aza indirmeye çalışmışlardır. Kim ve Baek [24], katılımcı bir ortamla dolu eş merkezli bir silindirde ters iletim-radyasyon problemini inceledi. Bildirdikleri gibi, Levenberg- Marquard algoritması ters çözücü olarak seçildi. Ayrıca duyarlılık kat ayılarının hesaplanmasını hızlandırmak için Broyden yöntemi kullanılmıştır.

Ters yöntemler, hem radyasyonun hem de serbest konveksiyonun önemli olduğu kare bir mahfazadi bir ışınsal parametre tahmin probleminde Hong ve diğerleri tarafından kullanılmıştır [25]. İncelenen makalede istenen sıcaklık ve ısı akışını üretmek için bir fırının ısıtıcı güç dağılımının bululmasına odaklanılmıştır. Fırınların gerçek uygulamalarında ve tasarımlarında doğal konvektif ısı transferi radyasyona eşlik eder ve her iki mod da dikkate alınmalıdır. Moghadassian ve Kowsary'a göre ters termal tasarım üzerine önceki alışımlarda, birleşik reaksiyonun etkisi-doğal taşınım asla dikkate alınmaz.

Endüstriyel bir bakış açısıyla zorluk fırın tabakaları için optimum kalınlık belirleyerek çalıştırmaktır. Ancak EAO' ları içerisindeki tabakanın termal davranışlarını kontrol etmek zor bir sorundur. Isı transferinin ve akışının simülasyonu cüruf ve metal içindeki dolaşımı modern CFD araçları için mümkündür. Fakat bu hesaplama yaklaşımı zaman ve kaynakların tüketimi, bir endüstriyel tesisatın kontrol sistemi hat üzerinde uygulanması için en uygun yöntem olmayabilir. En umut verici alternatif ters ısı transferi yaklaşımı olarak görülmüştür. Bu çalışmada kullandığımız yöntemin (CFD ile bilg. Analizi kısmı) fazla zaman kaybettirdiği öne sürülmüş. Bu sebeple sadece ters ısı transferi kullanılmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), fırın endüstrisi de dahil olmak üzere çok sayıda uygulamada akışkan akışını ve ısı transferini araştırmak için ekonomik ve güçlü bir yöntemdir [24] . Daha önce tartışıldığı gibi, Ark fırınları farklı endüstrilerde geniş bir kullanım alanı içindedir ve birçok çalışmanın konusu olmuştur. Bu nedenle, EAO'deki ısı transferi ve termal transfer işleminin özelliklerini tam olarak anlamak çok önemlidir.

Bekker vd. [25] teorik kavramlar ve ampirik verilerin bir kombinasyonunu kullanarak bir EAO için çok değişkenli doğrusal olmayan bir durum-uzay modeli türetmiştir. 2007 yılında, ekonomik kriterlere göre bir EAO' nun dinamik optimizasyonu Mac Rosty ve Swartz [26] tarafından yapılmıştır. Gonzalez vd. [27], anot ve fırın arasındaki etkileşimi araştırmak için sayısal bir model kullandı. Model, serbest yanan bir ark konfigürasyonuna başarıyla uygulandı. Endüstriyel çelik yapımı EAO için dinamik bir ısı transfer metodu önerildi [28]. Bu model eritme sürecine ve ilgili reaksiyonlara ve bunların ısı transfer hızına katkılarına odaklanmıştır.

Eritme sürecini ve kimyasal değişiklikleri açıklamak için kütle ve enerji dengesine dayalı ayrıntılı bir fiziksel model geliştirilmiştir [29, 30] . Fırının aşırı ısınmasını önlemek için bir soğutma sistemi olarak çalışan su sirkülasyonu panel sistemi ile ilgili birçok çalışmanın konusu haline gelmiştir.

Yüzeyden yüzeye (S2S) radyasyon modeli, gri bir cisimde, belirli bir yüzeyden çıkan enerji akısının doğrudan yayılan ve yansıyan enerjiden oluştuğunu ifade eder. Başka bir yüzeyden bir yüzey üzerine gelen enerji miktarı, karşılık gelen görüş faktörünün doğrudan bir fonksiyonudur. Gri cisim radyasyonu J_i her yüzey için Denklem ile tanımlanır (A), [32]:

$$J_i = \varepsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) \sum_{j=1}^N VF_{ij} \cdot J_j \quad (A) \quad (2.1)$$

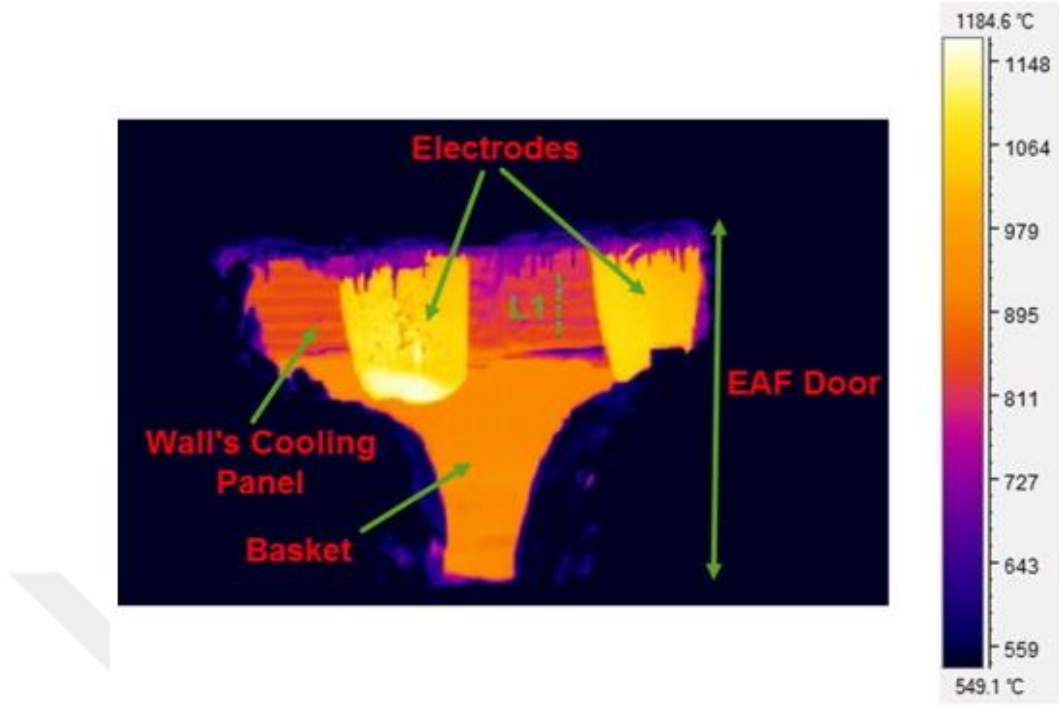
Yüzeyin emissivity değeri, σ Stefan-Boltzman sabitidir. Ark elektrot yüzeyleri dışında iç duvarlardan aktarılan radyatif ısı miktarı aşağıda verildiği gibi hesaplanır (B), [33]:

$$J_i = A_i \sum_{j=1}^N VF_{ij} (J_i + J_j) \quad (B) \quad (2.2)$$

Direk olarak metala aktarılan enerji, elektrotlar tarafından emilen enerji ve gaza aktarılan enerji hesaba katılarak arkın ışıma enerjisi toplam salınan enerjini %75' i olarak kabul edilir (C), [34] :

$$\sigma_{arc} - RAD = 0,75 \cdot P_{arc} \quad (C) \quad (2.3)$$

EAO' de kullanılan su sirkülasyon panelleri, Mehrjerdi ve diğerleri tarafından ANSYS Fluent kullanılarak simüle edildi [31]. Elektrikli ark ocağındaki ısı akışı ve sıcaklık dağılımı incelenmiş ve sonuç olarak köpüklü cüruf geliştirilerek cüruf kalınlığının artırılmasının iç duvarlardan ve çatıdan ısı akışını azaltmak için önemli bir yöntem olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Fırının farklı bölümlerinin termografi görüntüsü

Yapılan analiz sonucunda deneysel ölçümlere dayanarak, bakır panelin ortalama sıcaklığının 865°C 'ye eşit olduğu ölçülmüş. Sayısal simülasyon, bakır panel gövdesinin sıcaklığının 827°C olacağı öngörülmüştür. Konveksiyonla ısı transferinin göz ardı edilmesi ve ayrıca elektrik ark ocağındaki torçların etkisi vb. sebeplerin etkili olduğu modellemelerde yapılan basitleştirmeler ile sayısal ve deneysel veriler arasındaki %4' lük hata haklı çıkarılabilir olduğu tespit edildi. Başarılı doğrulama, HAD simülasyonundaki tüm teoremler dikkate alınarak fırın sıcaklığının tahmin edilmesinde sayısal çözümlerin işlevselliğini doğrulamıştır. İkinci bir doğrulama için çalışmada çıkış suyu ile ilgilidir. Çıkış suyunun simülasyonda hesaplanan sıcaklığı $39,2^{\circ}\text{C}$ iken, gerçek ocak üzerinden ölçülen sıcaklık değerinin $41,25^{\circ}\text{C}$ olduğu tespit edilmiş ve sistemde uygulanan yöntemin doğruluğu kanıtlanmış olmuştur [20]. Bu çalışmada da görüldüğü üzere çalışmamızda HAD ile tespit edilecek sonuçların büyük oranda gerçek değerlere yakın olacağı tespit edildi.

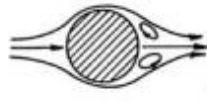
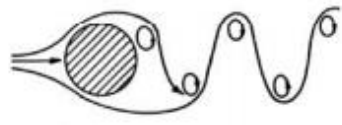
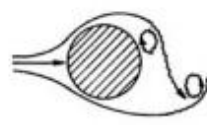
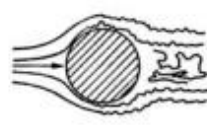
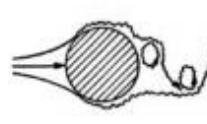
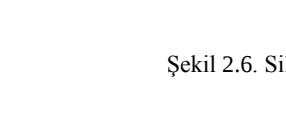
Araştırma da kullanılan HAD metodunun doğru sonuçlara çok yakın veriler elde edildiği tespit edilmiş, bu sonuçlara bağlı olarak çeşitli teoriler üretilebileceği görülmüş oldu.

2.6. EAO' nda Türbülanslı Akış

Akışkanın atalet kuvvetinin viskoz kuvvetine oranı Reynolds sayısı (Re) ile boyutsuz bir biçimde ifade edilir. Akışkanın atalet kuvvetinin viskoz kuvvete oranını Reynolds sayısıdır. Re sayısı akışkanın hızına (U), yoğunluğuna (ρ), viskozitesine (μ) ve akışkanın temas ettiği cismin karakteristik uzunluğa bağlıdır. Silindir üzerindeki çapraz akış için cismin karakteristik uzunluğu silindirin çapıdır (D). Silindir üzerindeki akışın Reynolds sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{\text{atalet kuvvetleri}}{\text{viskoz kuvvetler}} \quad (2.4)$$

Hesaplamalar sonucunda Reynolds sayısının değerine göre akış sınıflandırılır. Bu sınıflandırma aşağıdaki çizelgeye göre yapılır.

	$Re < 5$	kopmaların olmadığı akış
	$5 \leq Re < 40$	durgun Föppl girdaplarının oluşması
	$40 \leq Re \leq 150$	laminer girdap yolu
	$150 \leq Re < 300$	girdapların türbülanslı akışa geçişi
	$300 \leq Re < 3 \times 10^5$	girdap yolu tamamıyla türbülanslı
	$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$	laminer sınır tabakanın türbülanslı hale gelişi
	$Re > 3.5 \times 10^6$	türbülanslı sınır tabaka ve akış

Şekil 2.6. Silindir üzerindeki akışın RE sayısına göre sınıflandırılması [44]

EAO içerisinde bulunan akış rejimi türbülanslıdır. Bu sebeple EAO'nın verimli bir şekilde HAD analizini yapabilmek için türbülanslı akış kavramını düzgün bir şekilde anlatması önem taşımaktadır. Bu çalışmada, EAO kullanılması için yedi çeşit türbülanslı akış modeli incelenecek ve en doğru modelin seçimi yapılacaktır.

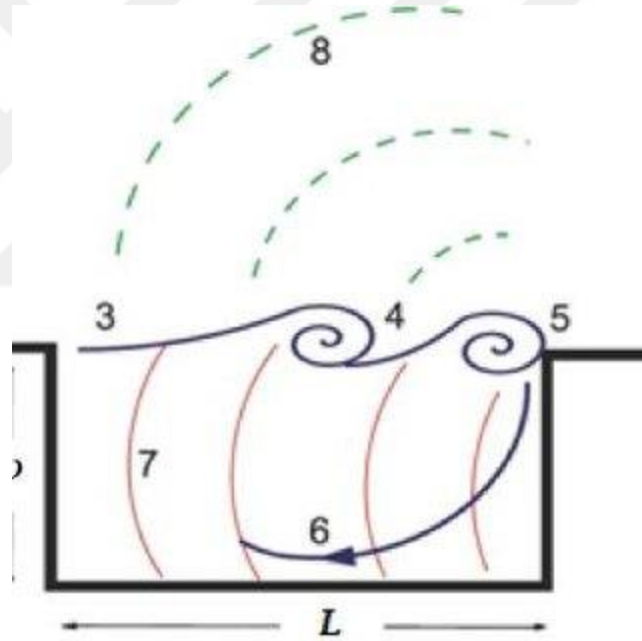
Türbülanslı akış, belli bir akış düzeni olmadığından kesin tanımını zorlaştıran en karmaşık sıvı akışı türüdür. Türbülans süreci net bir yöntem-formül ile ifade edilemediğinden çeşitli yaklaşımlar ile modellenmiştir. Bu durumun sebebi türbülanslı akış alanının küçük ölçekteki özelliklerinin hiçbir zaman daimi olamaması ve her zaman üç boyutlu olmamasıdır. Türbülanslı akışların dahil edildiği simülasyonlarda akışın doğru anlaşılması ve doğru şekilde uygulanması gerekmektedir.

Türbülanslı akış Navier-Stokes denklemleri ile tanımlanır. Bu denklemleri çözmek için çeşitli sayısal yöntemler bulunmaktadır. Telinde türbülanslı akışın modellenmesi için üç yöntem vardır [39, 40, 41, 42]. Bunlar;

1. İstatiksel türbülans modelleme- Statiscal turbulence modeling (STM)
2. Büyük girdap simülasyonu- Large eddy simulation (LES)
3. Doğrudan sayısal simülasyon- Direct numerical simulation (DNS)

Bir türbülanslı akışta tüm yönlerde türbülans girdapları ismi verilen rastgele (kaotik), girdaplı ve vorteks yapılar ortaya çıkar. HAD hesaplamalarında, türbülanslı akışın tüm ölçeklerinin daimi olmayan hareketini çözmek için bir girişimin yapıldığı doğrudan sayısal simülasyon (direct numerical simulation, DNS) adı verilen teknik kullanılır. Bunun ile beraber en büyük ve en küçük girdaplar arasında birkaç merteye büyüklük ve zaman ölçeği farkı olabilir. Reynolds sayısı ile birlikte bu farklar büyür. Reynolds sayısı büyüdükçe türbülanslı akışların DNS hesaplamaları zorlaşır. DNS çözümlerinde aşırı derecede sık, tamamen üç boyutlu ağlar, güçlü bilgisayarlar ve uzun CPU zamanları gerekir. Günümüz teknolojisi ile bire bir ölçekte çizilen uçak gibi tasarımların DNS ile çözümü mümkün değildir.

Yüksek Reynolds sayılı, türbülanslı akış alanlarının simülasyonunu yapabilmek için bazı birleştirici kabuller yapmak gerekir. DNS' nin bir altındaki seviye büyük girdap simülasyonudur (Large Eddy Simulation, LES). Bu yöntem ile türbülans girdapların büyük ölçekli daimi olmayan özellikleri çözülür. Bu arada küçük ölçekli ve yitirgen eğilimli türbülans girdapları ise modellenir. Küçük türbülanslı girdapların izotropik olduğu temel kabuktur. Anlaşıldığı gibi türbülanslı akış alanına bakılmaksızın, küçük girdapların koordinat sisteminin yerleştirilme biçiminden bağımsız olduğu ve her zaman istatistiksel olarak benzer ve tahmin edilebilir şekilde davrandığı kabul edilir. Akış alanındaki en küçük girdapları işleminden kaldırdığından LES, DNS' nin kullanıldığı kaynaklardan daha azını kullanır. Yine de güçlü bilgisayar kaynakları gerektirdiğinden karşılanması güçtür.



Şekil 2.7. Büyük girdap simülasyonu (LES) basitleştirilmiş modeli

LES ve DNS' den daha düşük zorluk seviyesi, bazı türbülans modelleri ile tüm daimi olmayan türbülans girdaplarını modellemektedir. Hiçbir türbülans girdabının, hatta en büyüklerinin bile daimi olmayan özelliklerini çözebilme amaçlı bir girişimde bulunulmaz. Bunu yerine türbülans girdaplarının meydana getirdiği artan karışım ve difüzyonu dikkate almak için bazı matematiksel modeller kullanılmaktadır. Basitlik açısından burada sadece daimi(durağan) sıkıştırılamaz akış ele alınacaktır. Herhangi türbülans modeli kullanılırken Navier-Stokes denklemi, Reynolds ortalama Navier-

Stokes (Reynolds avarage Navier-Stokes, RANS) denklemi ismi verilen denklem ile yer değıştirilir.

Türbölanslı akışlar, zamana bağı üç boyutlu Navier-Stokse denklemlerinin çözümü ile tanımlanabilir. Modelde türbölans etkilerinin tahmini için, zaman ortalamalı miktarları içeren Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri gösteriliştir [43].

Analizde kullanılan varsayımlar aşağıdaki gibidir;

- Sıvılar sıkıştırılmaz
- Kararlı durum ve tam gelişmiş akış
- İzotermal sistem (fiziksel özellikler sabittir).

Navier-Stokes denklemleri, akışkanın kontrol hacimdeki momentumunun korunumunun diferansiyel olarak ifade edilmiş halidir. Kartezyen koordinatlarda Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\text{X yönünde } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + g_x + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial xz^2} \right) \quad (2.5)$$

$$\text{Y yönünde: } \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + g_y + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial xz^2} \right) \quad (2.6)$$

$$\text{Z yönünde: } \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + g_z + w \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial xz^2} \right) \quad (2.7)$$

Burada u , v , w sırasıyla x, y ve z yönünde olan hızları, ρ yoğunluk, P basınç, g kontrol hacimdeki akışkana etkiyen dış kuvveti ifade etmektedir. Diferansiyel süreklilik denklemi kontrol hacimdeki kütlenin korunumu prensibinden yola çıkılarak diferansiyel olarak kartezyen koordinatlarda aşağıda olduğu şekilde elde edilir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

Sıkıştırılmaz akışlarda yoğunluğun sabit kabul edilir. Böylece denklemlerdeki bilinmeyen değerler x , y ve z yönündeki hız bileşenleri ve basınç değeri olur. Süreklilik denklemi ve üç adet momentum denklemi ile akışın hareketi toplamda dört denklem ile tanımlanmaktadır. Bahsedilen dört denklemin çözülmesi ile az önce bahsedilen dört adet bilinmeyen değer elde edilebilecektir. Aynı zamanda, Navier-Stokes denklemleri şu ana kadar herhangi bir sadeleştirme yapmaksızın analitik olarak çözümü yapılamamıştır. Bu sebeple Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri ayrıştırılıp sayısal olarak çözülebilmektedir. Akış problemi sınır ve ilk değer koşulları ile sayısal çözümün içerisine tanımlanır, ayrıştırmanın yapıldığı her nokta için sonuç elde edilir.

Cebirsel, tek denklemlilik, iki denklemlilik ve Reynolds gerilme modelleri ile birlikte günümüzde kullanılan birçok türbülans modeli mevcuttur. Türbülans modelleri arasında en çok kullanılan üç model;

1. k - $\mathcal{E}$ modeli
2. k - w modeli
3. q - w modelidir.

İki denklemlilik türbülans modelleri olarak anılan bu modeller, kütle ve lineer momentum (eğer çözülmesi gerekiyorsa enerji) denklemleri ile birlikte çözülmesi gereken iki adet daha transport denklemi getirmektedir. Herhangi türbülans modeli kullanılması durumunda, çözülmesi gereken iki ilave transport denklemi ile beraber, giriş ve çıkıştaki türbülans özellikleri için ilave iki adet daha sınır şartı belirtilmelidir. Örnek vermek gerekirse k - $\mathcal{E}$ modelinde hem k (türbülans kinetik enerji) hem de $\mathcal{E}$ (türbülans yitim hızı) belirtilebilir. Fakat değişkenlerin doğru değerleri hiçbir zaman bilinmez.

Bu çalışmada k - $\mathcal{E}$ türbülans modeli kullanılmıştır. Birçok HAD programlarında varsayılan yazılım modelidir. Daimi olmayan (durağan olmayan) türbülanslı akışların türbülans modelleri ile zaman adımli şemalar kullanılarak çözülebilecektir.

2.7. EAO' nda Cüruf Etkisi

Çoğu çelik cürufu esas olarak CaO, MgO, SiO₂ ve FeO' dan oluşur ve bu oksitlerin toplam konsantrasyonu % 88-92 aralığındadır. Bu nedenle çelik cürufu bir mali değere sahiptir ve önemli çimentolama özelliğine sahiptir. Cüruf yapısı aynı zamanda radyasyon taşınımını yavaşlattığından birçok inşaat alanında izole edici olarak kullanılmaktadır ve her yıl bununla ilgili çok fazla araştırma yapılmaktadır [36, 37, 38].

Cüruf yapıcı olarak EAO' na kireç, fluşpat, kireç taşı ; tamir malzemesi olarak dolomit ve magnezit ekiminde bulunulur.

Cüruf tabakaları boyunca ısı transferi, iletim mekanizmalarına bağlıdır. Böylece, aktarılan enerji duvar kalınlığı ile ters orantılıdır. Böylelikle cüruf kalınlığı arttıkça, panellerin dış yüzeyindeki sıcaklık düşürülmekte ve panel ömrü uzatılmaktadır. Yani kalın bir cüruf tabakası için ısı kaybı azalır.

Bu çalışmada, 5-25 mm cüruf tabakası kalınlığı için bir dizi simülasyon gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 2.5.'de gösterilmiştir. Bu tabloda gösterildiği gibi cüruf tabakası kalınlığındaki 20 mm' lik artış, panelin ortalama sıcaklığında 154 ° C (yani% 20) düşüşle sonuçlanır. Panel üzerindeki maksimum sıcaklığın kalın cüruf tabakası için önemli ölçüde azaldığı da bulunmuştur ki bu, soğutma paneli ömrü için kritik olabilir. Kalın cüruf tabakasının ana dezavantajı, fırının iç yüzeylerinin aşırı ısınmasıdır [21].

Tablo 2.3. Cüruf tabakası kalınlığının panel sıcaklığına etkisi [21].

Cüruf tabakası kalınlığı (mm)	Panelin dış yüzeyinin ortalama sıcaklığı (k)	Tüm panelin ortalama sıcaklığı (k)	Panelin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklık (k)
5	901	768	1020
10	826	706	918
15	779	674	859
20	736	641	809
25	701	614	768

Çatı paneli su borularındaki sıcaklık dağılımı, farklı cüruf tabakalarının kalınlığına göre analiz edilmiştir. Çalışmada araştırmacıların beklediği gibi $t = 5$ mm olması durumunda borularda maksimum sıcaklık çok yüksektir ve cürufun minimum kalınlığa sahip olduğu konumda oluştuğu görülmüştür.

2.8. EAO' nda Elektrot Tüketimi

Çoğu fırın duvarları değiştirilebilir, su soğutmalı panellerden yapılır; bu koruma ve ısı kaybı aşağı tutmak için püskürtülür refrakter ve cüruf ile kaplıdır. Çatı da su soğutmalı paneller yapılır ve silindirik elektrotlar yerleştirmek için, eşit aralıklı üç dairesel açıklıklar vardır. Başka bir büyük çatı açılışı, sözde dördüncü delik, off-gaz kaldırma için kullanılır. Fırın duvarında, su soğutmalı kapılarla ek açıklıklar mızrak enjeksiyonu, numune alma, test, muayene ve onarım için kullanılır. Çatı ve elektrotlar hurda şarj ve ocak bakımı için kaldırılabilir ve uzağa taşınabilir.

Grafit elektrotlar, özel bir endüstri tarafından yüksek standartlarda üretilen, aslında kısa grafit meme uçtan uca cıvatalı bireysel elektrotların dizeleri vardır. Kısa elektrotların üretimi, taşınması ve sapı daha kolaydır, çünkü bu yapılır. Elektrot çapları fırın büyüklüğüne bağlıdır; 100 tonluk EAO genellikle 600 milimetrelik elektrotlar kullanır. Üç elektrot dizeleri her fırın çatı üzerinde uzanan ve fırın yanında bulunan dikey hareketli direğe cıvatalı kollara kelepçeli. Direk, her bir elektrot ucu ile hurda veya erime arasındaki mesafeyi kontrol ederek yay uzunluğunu ve akım akışını

düzenler. Güç besleme ekipmanları normalde bir step-down transformatör, vakum devre kesiciler, elektrot voltaj kontrolü için bir musluk değiştirici ve bir fırın transformatör- bir beton tonoz fırın kısa bir mesafe yüklenir. Ağır su soğutmalı kablolar ve güç taşıyan kollar fırın transformatörü elektrotlarla bağlar.

Elektrotlardaki enerji kaybının minimum düzeyde olması için iletkenliklerinin son derecede iyi olması gerekmektedir. Ark, akım ve enerjinin büyük bir kısmı elektrotlar sayesinde oluşmaktadır. Zaman zaman ark uçlarını aşındırırken ve yüksek sıcaklıktaki fırın atmosferi gövdelerini oksitler. Bu sebeple fırının iç potası yüksek ısıl dayanımına sahip olması için refrakter malzemeler ile kaplıdır. Bu malzeme düzenli ve sık olarak ısı değişimlerine maruz kaldığından ısıl kararlılıkları yüksek, iletkenlik katsayılarının olabildiğince düşük olması istenir. Fırındaki elektrot dizilerinin üstüne yeni elektrotlar eklenir. Elektrotlar, işlemin türüne bağlı olarak ton çelik başına üç ila altı kilogram oranında tüketilir. Bu istenmeyen bir sonuçtur. Elektrotlar ergimeye maruz kalmamalı ve oldukça kararlı olmalıdırlar ki olabilecek en alt düzeyde reaksiyon oluştursun. %100 verim ile olaylar gerçekleşmeyeceğinden ark fırınlarında kullanılan kararlı elektrotlar dahi zaman ile ark etkisiyle yapıtaşlarına ayrılıp oksidasyon ile ortamı gaz olarak terk etmektedirler. Yapılan çalışmada oluşan reaksiyonlar sonucunda sistemde düzenli olarak C yanımı gerçekleştiği sıcaklık artışı ile tespit edilmiştir.

BÖLÜM 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Ansyst 18.1 Fluent yazılımı ile birlikte EAO için oluşturulan HAD modelinde;

- Türbülanslı akış,
- Yanma reaksiyonları (karbon ve radyasyon),
- Radyasyon ısı transferi ana başlıklar olmak üzere gerçekleşen diğer fiziksel olaylar için matematiksel çözüm yolları kullanılması gerekir.

Çözüm başlangıcında seçeneklerden “double precision”, Processing options kısmından “paralel (local machine)” seçildi ve kullanılan bilgisayar 4 işlemciye sahip olduğundan Processes:4 olarak girildi.

Yapılan çalışmalar ve araştırmalarımız sonucunda hurdanın eritilmesinde ortamda açığa çıkan radyasyonun yanmaya kıyasla daha fazla enerji ortaya çıkardığı tespit edildi ve radyasyon ısı transferinin çalışmada konumu önem kazandı. İncelemeler sonucunda farklı olarak enjektörlerin ocağa ve birbirlerine göre olan konumlarının, ocak ile arasında olan açılarının optimizasyonu ile kullanılan enerjiden uygulanabilir max verim elde edilebileceği düşüncesinin bizim için tekrar doğruluğunu kanıtladı. Bu çalışma kullandığımız radyasyon modeli üzerine çalışmamız gerektiğini gösterdi ve [23] Surface To Surface modeline (S2S) geçildi.

Literatür tarandığında EAO için yapılan çeşitli HAD çalışmaları bulunmaktadır. Termal radyasyon elektrikli ark ocaklarında ana ısı transfer mekanizması olarak kabul edilmiştir [19, 20]. Bazı çalışmalarda EAO’ ndaki radyoaktif ısı transferi dikkat çekmiş ve araştırmamızda olduğu gibi irdelenmiştir, elektrikli ark ocağında çelik üretiminde enerji ve koruma analizleri uygulamışlardır. Sonucunda yapılacak olan bir ön ısıtmanın EAO' nda geri kazanılan enerji miktarını arttırılabileceğini Çamdalı ve

arkadaşları göstermiş oldu [6]. Modellerinde konvektif ve radyoaktif ısı kayıplarını da dikkate almışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda [21] kullanılmış olan radyasyon modeli P1 olarak belirlendi. Bu modelin seçilmesinde önemli olan etkenin modelin kolay ve hızlı bir şekilde çözüm yaptığı ön görüldü.

Brülörlere giren akış için türbülans modeli için k- ϵ modeli kullanılmıştır. Bu model türbülans kinetik enerjisi(k) ve yayılma hızı (ϵ) için taşıma denklemlerine dayanmaktadır. için k- ϵ modeli modelinin en önemli faydalarından biri dönüş, ayırma ve devridaimi içeren akışlar için daha iyi performans sağlamasıdır [47]. Çok fazla akışta türbülansın modellenmesi, momentum denklemlerinde bulunan terim çokluğundan karmaşıktır [47]. k- ϵ modeli içerisinde realizable modeli seçilip Near wall treatment / standard wall function olacak şekilde ilerlendi.

Türbülans kinetik enerji hesaplaması için kullanılan formül;

$$k = 1,5(u.I)^2 \quad (3.1)$$

Formül içerisinde bulunan u: brülör çıkışındaki O₂ hızı ve türbülans yoğunluğu olarak ifade eder. Türbülansın (yaklaşık) bulunması için kullanılabilir olan formül;

$$I = 0,16Re^{-1/8} \quad (3.2)$$

k- ϵ modelinde türbülans kullanım oranı için;

$$\epsilon = C_\mu^{3/4}(k^{3/2} / I) \quad (3.3)$$

Denklemden I: boyut skalasıdır ve sınır koşullarına bağlı olarak belirlenir, C_μ : model sabitidir. Hız girişi için sınır şartında gerekli olan boyut skalası formülü;

$$I = 0,009L \quad (3.4)$$

L: Brülör çıkış yarıçap. O₂ akışının oluşması için (karbon partikülü taşıyıcı) ayrık faz modeli(DPM) kullanıldı. Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan enjektör davranışının incelenmesi üzerine olan araştırmada kullanmışlardır ve doğruluğunu O₂-CaO enjeksiyonu için soğuk test cihazı kurup test etmişlerdir [49]. Enjeksiyon tipi olarak yüzey seçilmiştir. Partikül için de yanma seçilmiştir. Karbon partikül boyutları Rosin-Rammler modeli ile belirlenmiştir.

Partikülün atalet kuvvetlerinin kayma yerçekimi ve dış kuvvetler tarafından dengelendiği kabul edildi.

$$\frac{d\vec{u}_d}{dt} = F_D \left(\vec{u}_h - \vec{u}_d \right) + \frac{\vec{g}(\rho_d - \rho_h)}{\rho_d} + \vec{F} \quad (3.5)$$

U_h: Gaz fazın (O₂) hızı,

U_d: ayrık fazın (karbon partikülün) hızı,

ρ_h ve ρ_d sırasıyla O₂ ve karbon partikül yoğunluğu olarak ifade edilmektedir.

g: yerçekimi ivmesi, F dış kuvvetlerdir.

$$F_n = \frac{18\mu_d C_D Re}{\rho_d d^2 24} \quad (3.6)$$

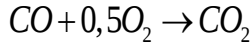
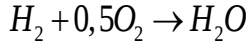
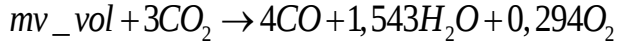
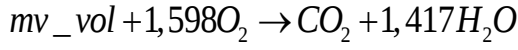
Denklemden kullanılan Re sayısını hesaplamak için formül;

$$Re = \frac{\rho_h d |u_d - u_h|}{\mu_h} \quad (3.7)$$

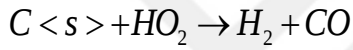
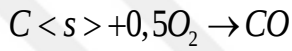
Sistemdeki karbon partikülleri ve O₂ arasındaki tepkime “ Species transport “ modeli ile tanımlandı.

Yanma kısmının çözülebilmesi için modelde 4 adet hacimsel ve 3 adet partikül yüzeyinde olmak üzere 7 adet reaksiyon tanımlandı.

Hacimsel reaksiyonlar;



Partikül yüzeyindeki reaksiyonlar;



Sayısal hesaplamalar için akış, radyasyon, türbülans, reaksiyon ve enerji denklemleri çözüldü.

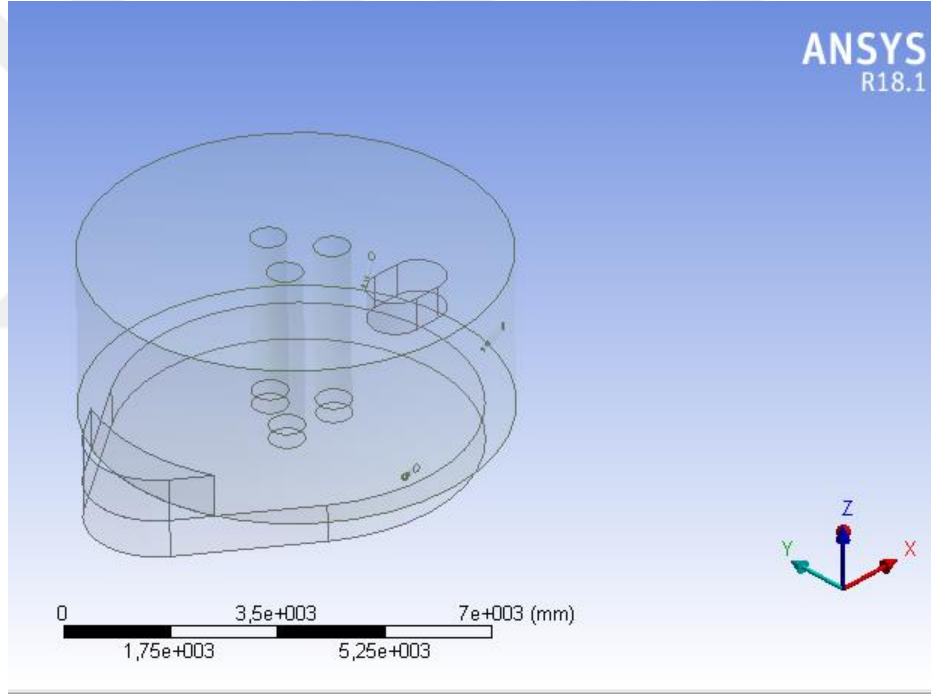
Model kabulleri aşağıda listelenmiştir;

- 3 boyutlu sayısal hesaplama bölgesi oluşturuldu.
- Çözücü metodu Navier-Stoke seçildi.
- Enerji denklemleri aktif edildi ve radyasyonla ısı transferi için S2S modeli seçildi.
- O_2 hızı 480 m/s, toplam karbon debisi 3600 kg/h alındı.
- k-ε türbülans modeli kullanıldı.
- DPM model kullanılarak karbon enjeksiyonu tanımlandı.
- Karbon partiküllerinin yörüngeleri gaz akışı içerisinde alındı ve modele stokastik olarak hesaplatıldı.
- Duvar yüzey sınır koşulu olarak belirlendi.
- Model sonlu farklar çözümüne yönelik bir sayısal analiz yöntemiyle çözüldü.
- Sayısal analiz yöntemiyle sonuçlar alındı.

BÖLÜM 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

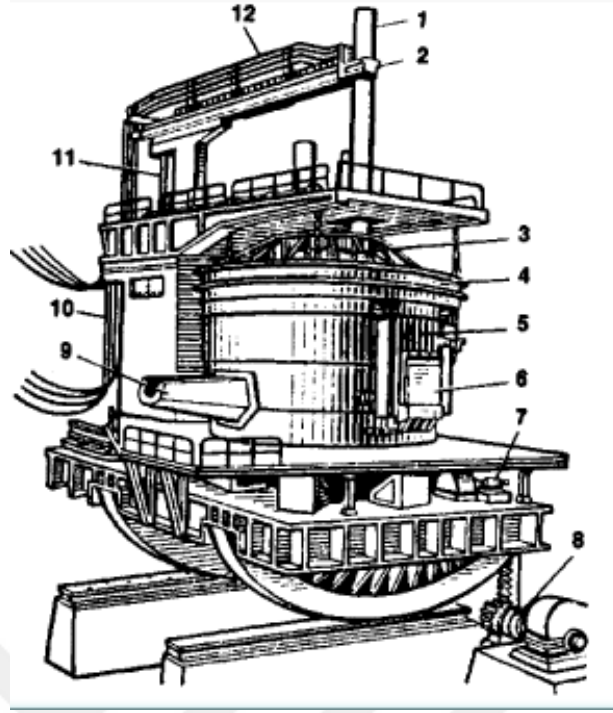
4.1. Elektrikli Ark Ocağı'nın Geometrisi

Elektrikli ark fırını ocak yapısı Fırın boyutları CVS makine San. Ve Tic. AŞ'den boyutları alınarak ANSYS 18.1/ Design modeller ile çizimi yapıldı. EAO model görünüşü aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.1. Elektrik ark fırınının üç yönden temel görünüşleri

Elektrikli ark ocağında yanmanın hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD/ (Computational Fluid Dynamics (CFD)) ile modellenmesi tez konulu çalışmada model olarak sanayi tipi bir ocak tercih edilmiştir. Ocak kapasitesi yaklaşık 250 tondur.



Şekil 4.2. Çelik eritme ark fırını

Şekil 4.2.'de gösterilen 200 ton kapasiteli bir EAO;

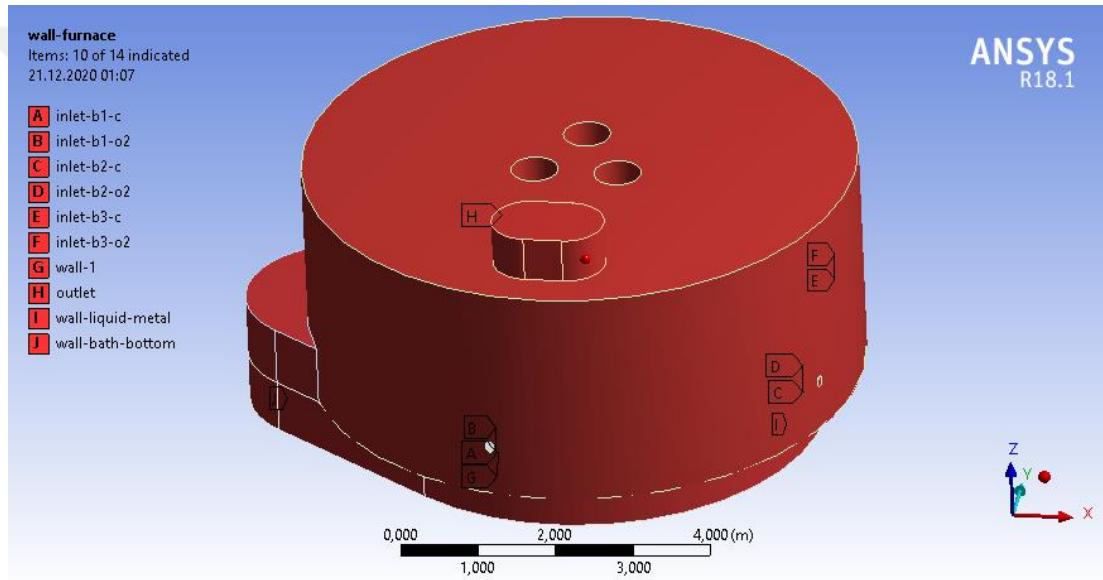
1. numaralı ok: Grafit elektrot numaralı ok: Elektrot tutucu
2. numaralı ok: Çatı
3. numaralı ok: Su soğutmalı çatı halkası
4. numaralı ok: Silindirik kabuk
5. numaralı ok: Su soğutmalı yardımcı kapı
6. numaralı ok: Dikey eksen hakkındaki fırın döndürmek için elektromekanik mekanizma
7. numaralı ok: Eğimli fırın için elektromekanik mekanizma
8. numaralı ok: Döküm emziği
9. numaralı ok: Esnek su soğutmalı hareketli kablolar
10. numaralı ok: Stand-Sleeve-eletrot tutucu sisteminin dikey hareketi için gövde
11. numaralı ok: Su soğutmalı bakır akım tüpleri bölümlerinden oluşur[44].

Modellenen elektrikli ark ocağında 3 adet elektrot, 3 adet enjektör yuvası bulunmaktadır. Fırının gövdesi tam olarak dairesel bir yapıda değildir. Baca çıkışının

olduğu kesim elips şeklinde modellenmiştir. Ocak yapısı ile ilgili bilgiler CVS Makine Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nden alınmıştır.

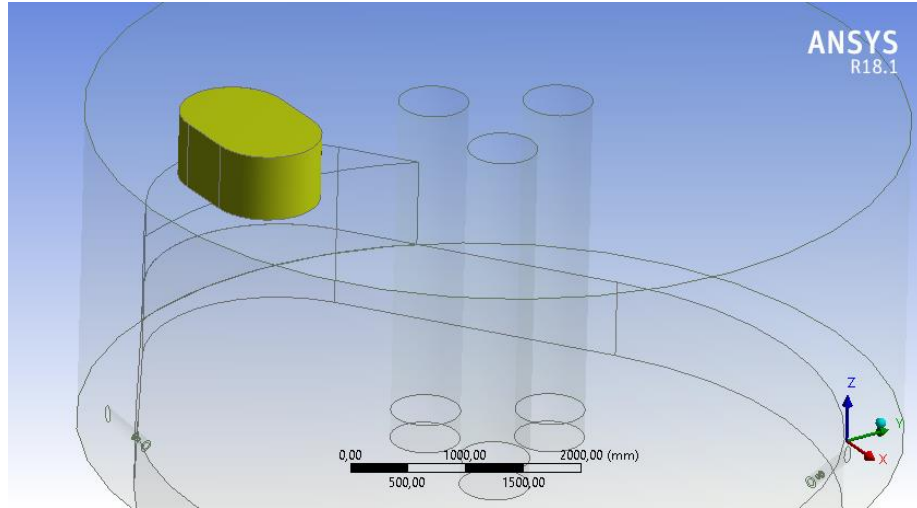
4.2. Elektrikli Ark Ocağı'nın Sınır Şartları

Oluşturulan EAO hesaplama bölgesi Şekil 4.3.'de gösterilmektedir. EAO üzerinde analiz kısımlarına reaksiyonların belirlenebilmesinde ve tanımlamalarda kolaylık sağlamak için bazı isimlendirmeler yapılmıştır. İsimlendirmeler Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



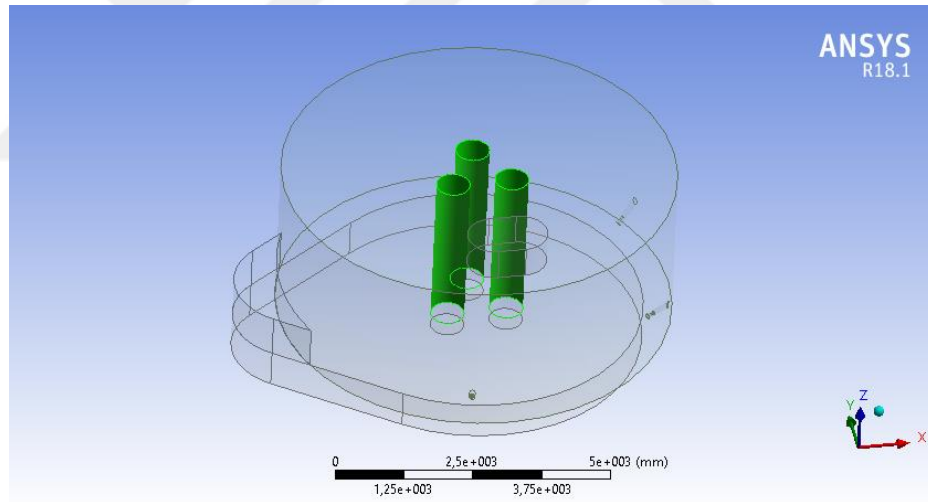
Şekil 4.3. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO yüzey isimlendirmeleri

Modellenen yapıda baca bölgesi Şekil 4.5.'te gösterilmiştir. Baca kısmı slot olarak tasarlanmıştır ve ocak sol kısmına konumlandırılmıştır.



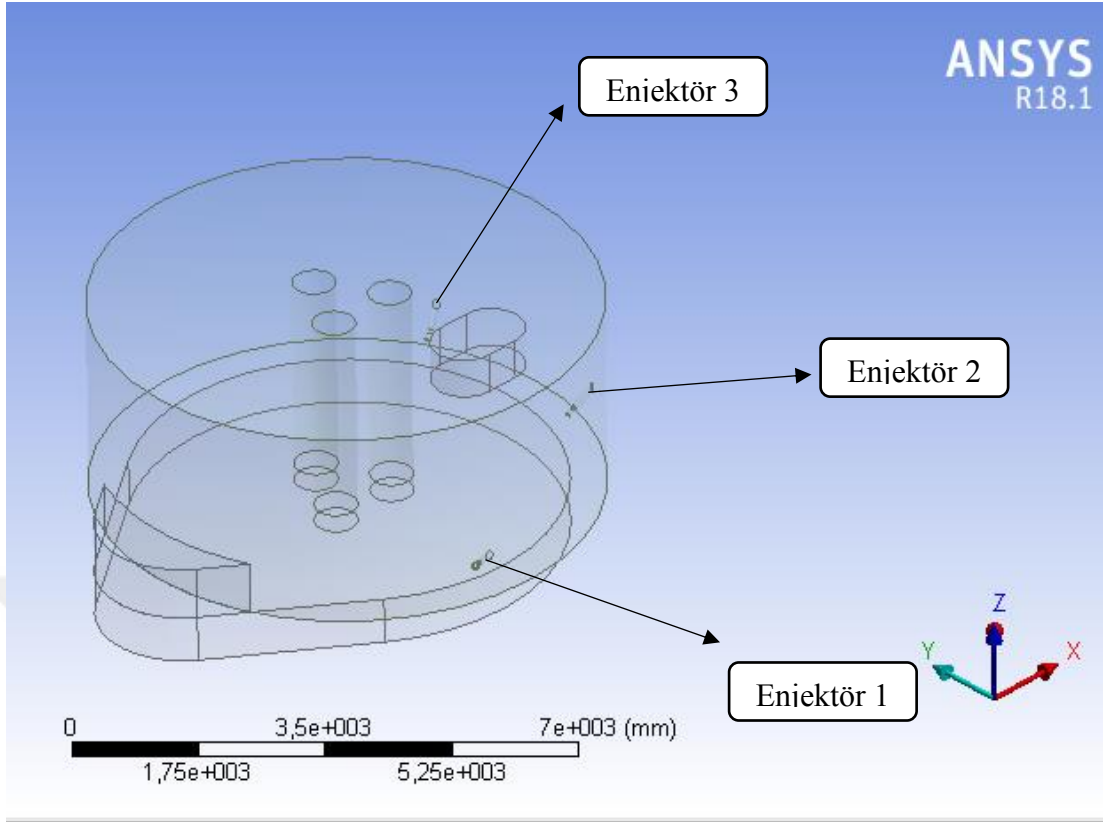
Şekil 4.4. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO baca

Modellenen yapıdaki grafit elektrotlar şekildeki gibi konumlandırılmış olup yeşil renk ile gösterilmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO grafit elektrot konumlandırılması

Modellenen yapıda üç adet enjektör bulunmaktadır. Enjektör numaralandırmaları Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

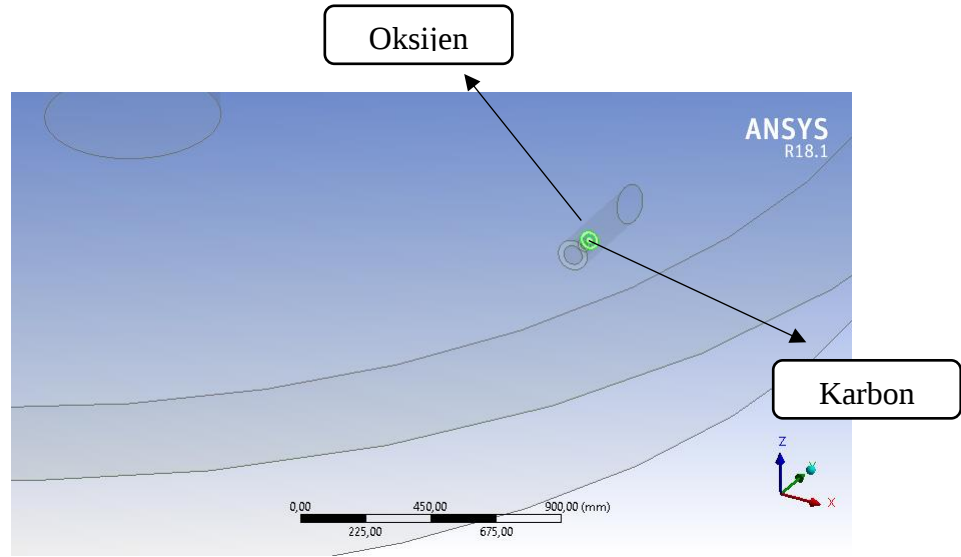


Şekil 4.6. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör bölgeleri

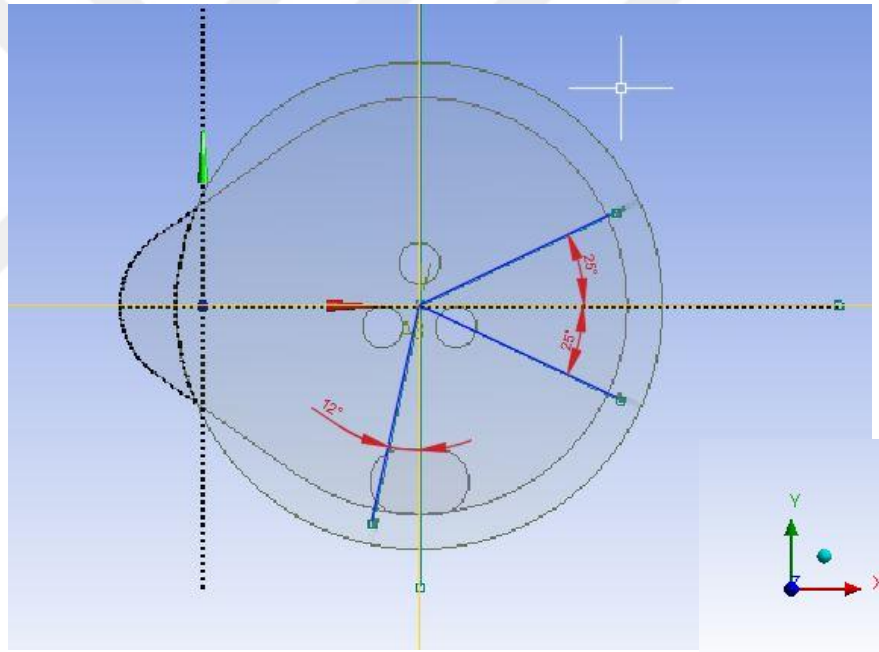
Enjektörlerin koordinat açıları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Konumlandırılan tüm enjektörlerde z yönünde (aşağı yönde) 45° iken, y eksenine göre farklı açılara sahiptirler. Y ekseninde yaptıkları açılar;

- Enjektör 1 için: -102°
- Enjektör 2 için: -25°
- Enjektör 3 için: $+25^\circ$

Enjektörler üzerinde iki adet enjektör alanı bulunur. Bunlardan bir tanesi elektrikli ark ocaklarında oksijen enjeksiyonu, diğeri ise ocağa karbon enjeksiyonu içindir.



Şekil 4.7. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO'nda oksijen ve karbon enjeksiyon bölgeleri



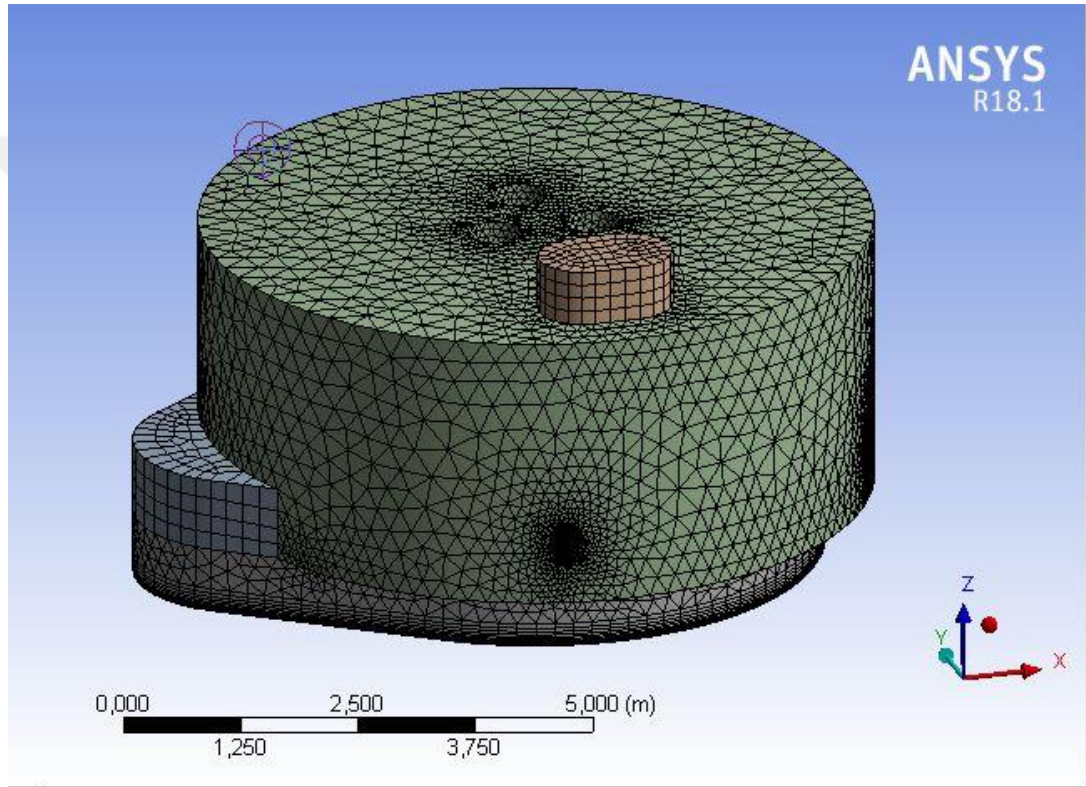
Şekil 4.8. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör açıları

4.3. Elektrikli Ark Ocağı' nın Ağ Yapısı

Elektrikli ark ocağı geometrisinde hesaplamalı akışkan dinamiği analizi için üçgensel bağ kullanılarak mesh yapısı oluşturuldu. Oluşturulan ağ yapısı ile ilgili oluşturulan eleman sayısı 1.modelde: 564657, 2.modelde: 733962 olarak ayarlandı.

Oluşturulan EAO geometrisinde brülör çevreleri ve enjektör çevrelerinde oluşturulan ağ yapıları için bir düzenleme yapıldı. Ağ yapıları ne kadar düzgün üçgensel kenarlara sahipse ve homojen olarak dağılmış ise analiz sonuçlarında daha doğru verim alındığı bilinmektedir.

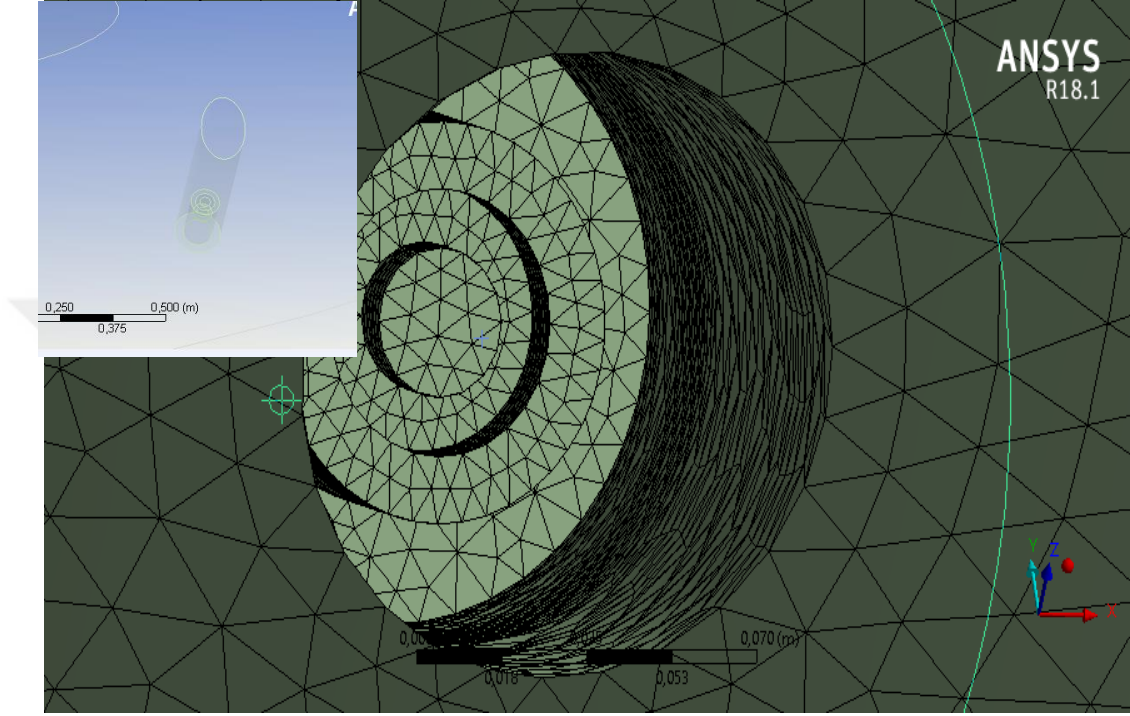
Aşağıdaki ağ yapısı geometrisinde bazı bölgelerde ince yapılı mesh oluşturulduğu görülmektedir. Şekil 4.9.'da gösterilmektedir.



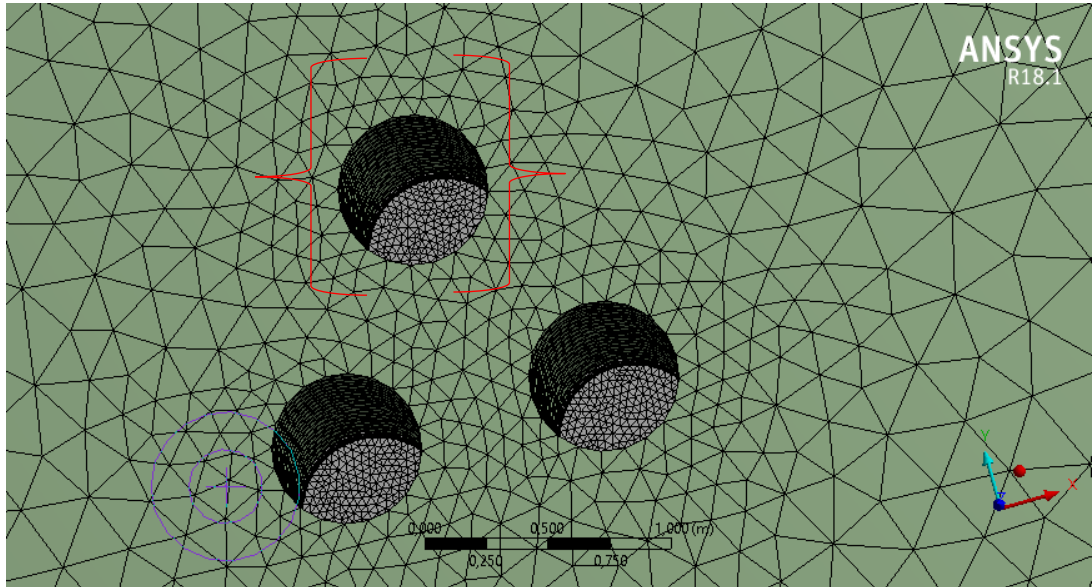
Şekil 4.9. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO ağ yapısı

Oluşturulan ince yapılı mesh için;

- Grafit elektrot için Şekil 4.10.
- Ejektörler için Şekil 4.11. örnekleri eklenmiştir.



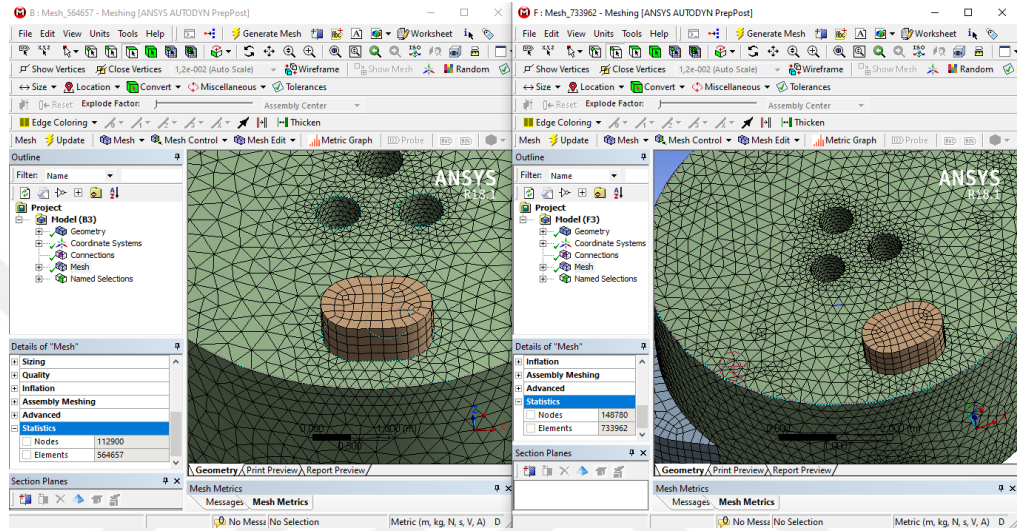
Şekil 4.10. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO enjektör ağ yapısı



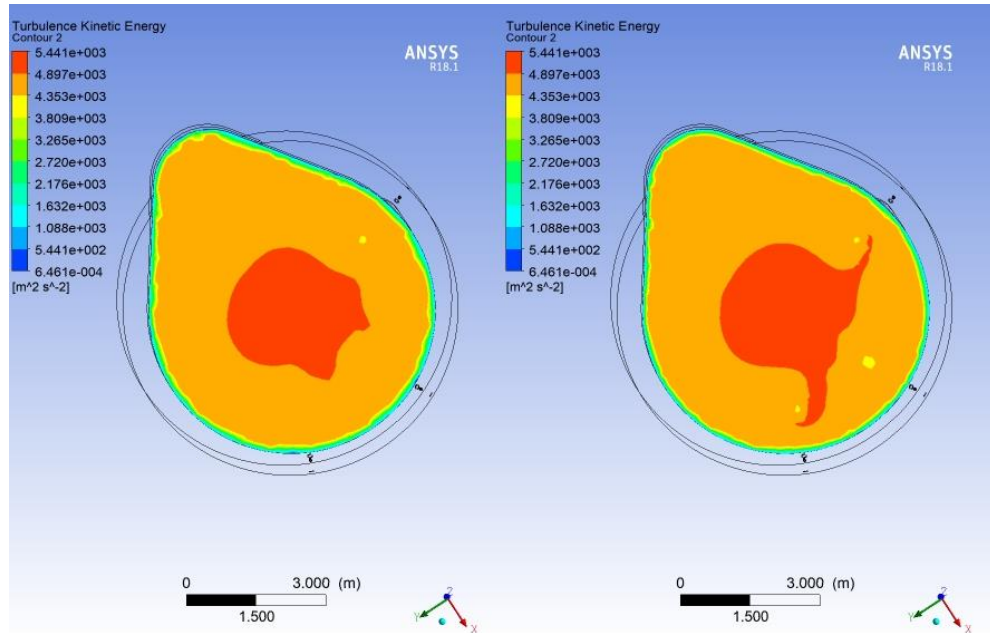
Şekil 4.11. ANSYS 18.1 ile Modellenen EAO elektrot ağ yapısı

4.4. EAO Model Seçimi

2 farklı mesh yapısına göre aşağıda üç farklı tipte analiz sonucu alınmıştır. Alınan sonuçlar kıyaslandığında model 2’de ağ yapısı daha düzgün olduğu için alınan sonuçların daha hassas yapıda oluşu görülmüştür. Bu sebeple çalışma boyunca model 2 üzerinden analiz sonuçları alınmış ve çıkarımlarda bulunulmuştur.

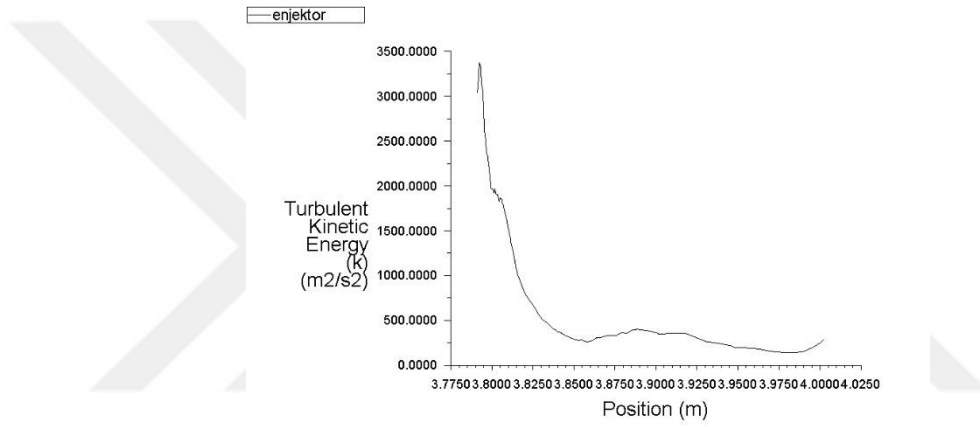


Şekil 4.12. Model 1 ve Model 2 Mesh yapısı

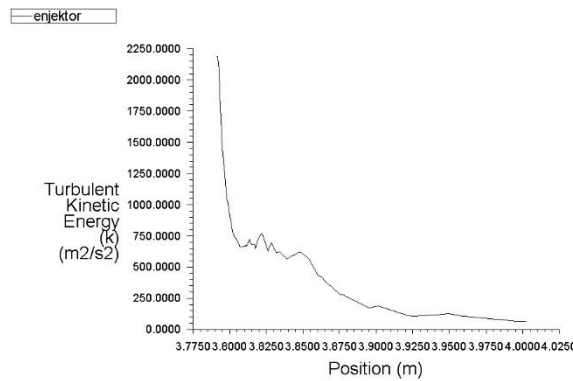


Şekil 4.13. 1 Model 1 ve model 2 türbülans kinetik enerji dağılımı

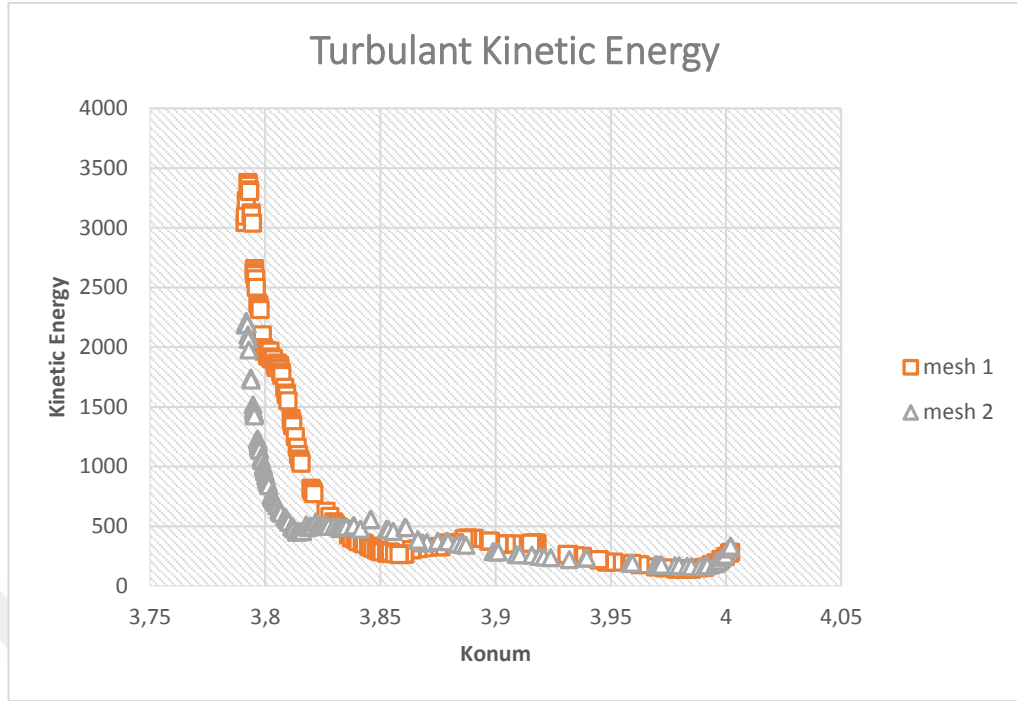
Oluşturulan model 1 ve model 2 için yapılar incelendiğinde model 1 de oluşan yüksek enerjili bölgenin merkezde toplandığı görülmüştür. Bu yapı incelendiğinde analiz sırasında kalın mesh yapısına sahip olan model 1'in enerji bölgelerini daha yüzeysel ele aldığı model 2 incelemesi ile görülmüş oldu. Bu konuyu inceleme amaçlı olarak ejektör boyunca tablo 4.1.' de verilen ejektör başlangıç ve bitiş noktası alınarak bir yol çizgisi belirlenmiştir. Bu yol çizgisi kullanılarak model 1 (mesh 1) ve model 2 (mesh 2) için analiz verileri alınarak aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur. Şekil 4.14.' de verilen mesh 1 için, şekil 4.15.' de verilen sonuç mesh 2 incelenmesi için oluşturulmuştur. Son olarak iki farklı veri elde edilen bu çalışmada iki grubun verileri bir çizgi grafik oluşturulup kıyaslanmıştır şekil 4.16.



Şekil 4.14. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan türbülans kinetik enerji grafiği

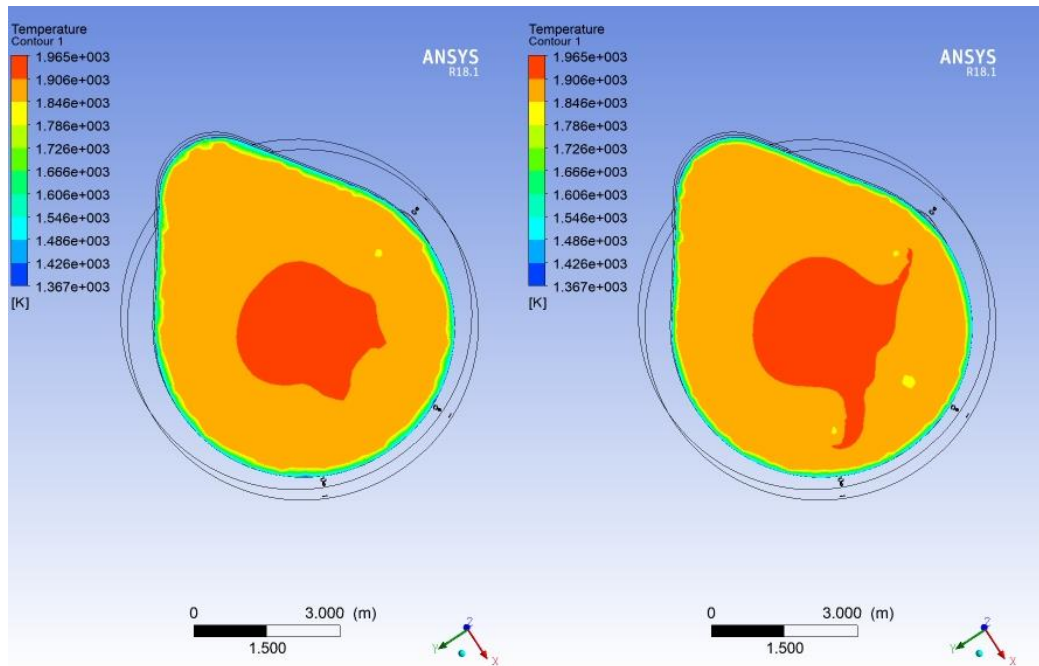


Şekil 4.15. Model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan türbülans kinetik enerji grafiği

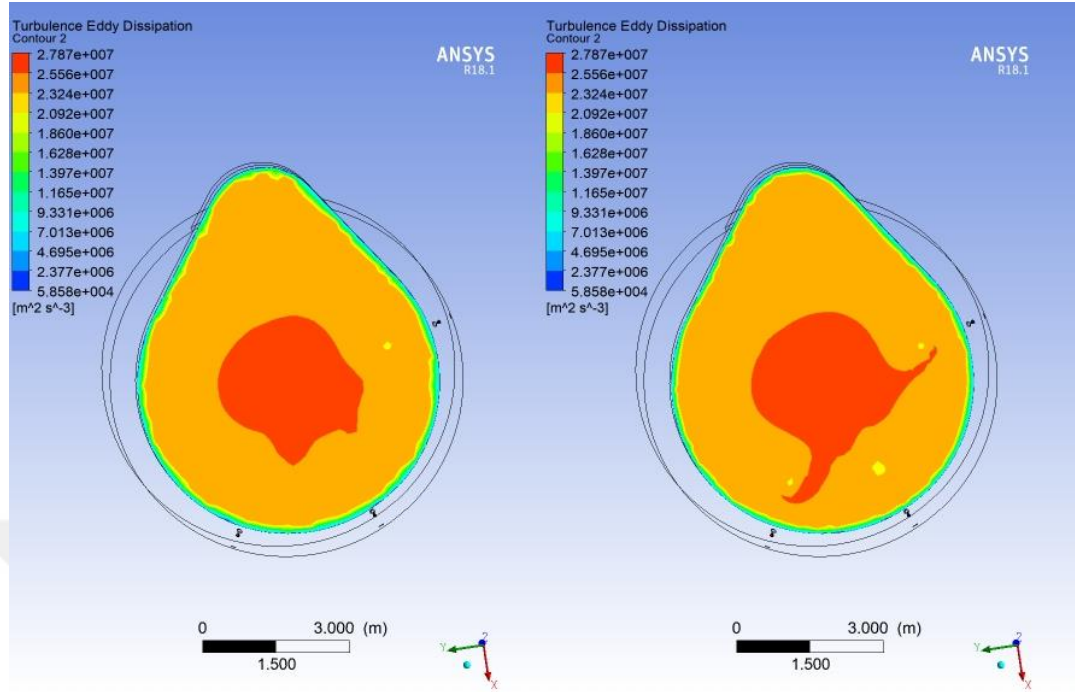


Şekil 4.16. Model 1 ve model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan türbülans kinetik enerji kıyaslama grafiği

Yukarıda verilen grafikleri incelendiğinde aşağıdaki iki farklı tip meshin renklendirme ile oluşturulan sonuçları net bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4.17. Model 1 ve Model 2 genel sıcaklık dağılımı



Şekil 4.18. Model 1 ve Model 2 türbülans dağılım modeli

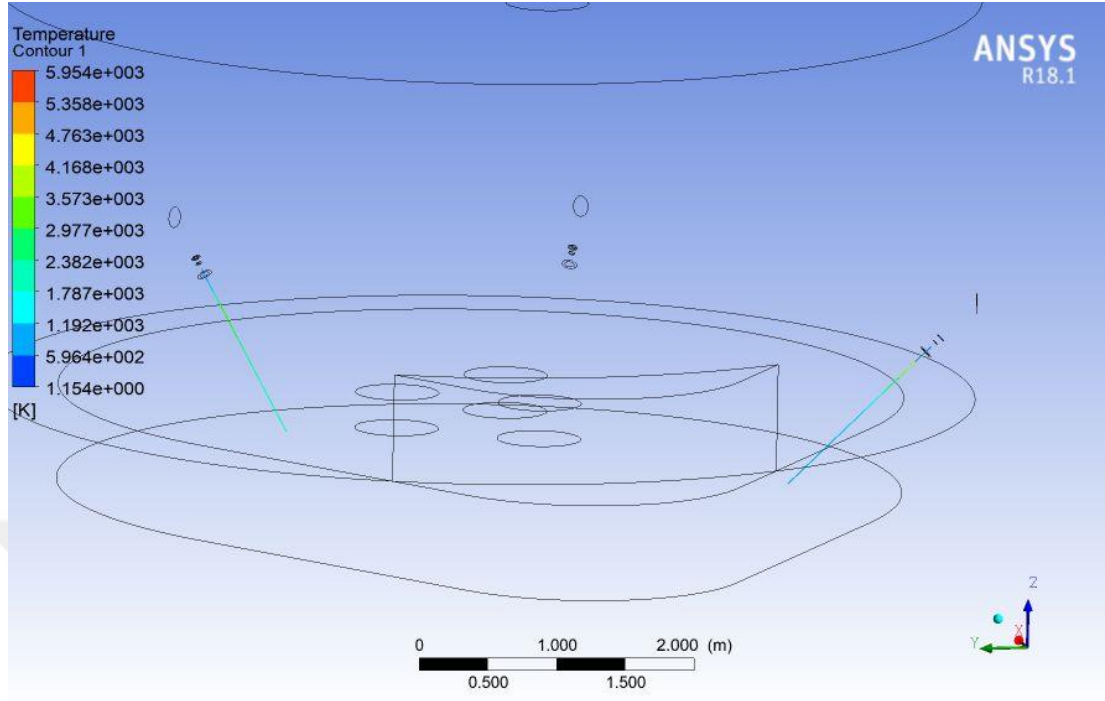
4.5. EAO Akış Analizleri

EAO üzerinde yapılan HAD analizinde enjektörler boyunca bir çizgi oluşturuldu. Bu çizgi enjektörlerden gönderilen O_2 , CO vb. maddelerin yol şeması olarak alındı. Bu yol çizgisi üzerinde enjektörden gönderilen partiküllerin çıkış bölgesinde ısının daha yüksek olduğu görüldü. Bu durum bize enjektörlerden gönderilen partiküllerin eriyik içerisine yanarak girdiğini göstermiş oldu.

Oluşturulan bu modelde model alınacak bir enjektör için kullanılan koordinatlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1. Örnek enjektör için alınan çizginin başlangıç ve bitiş noktaları

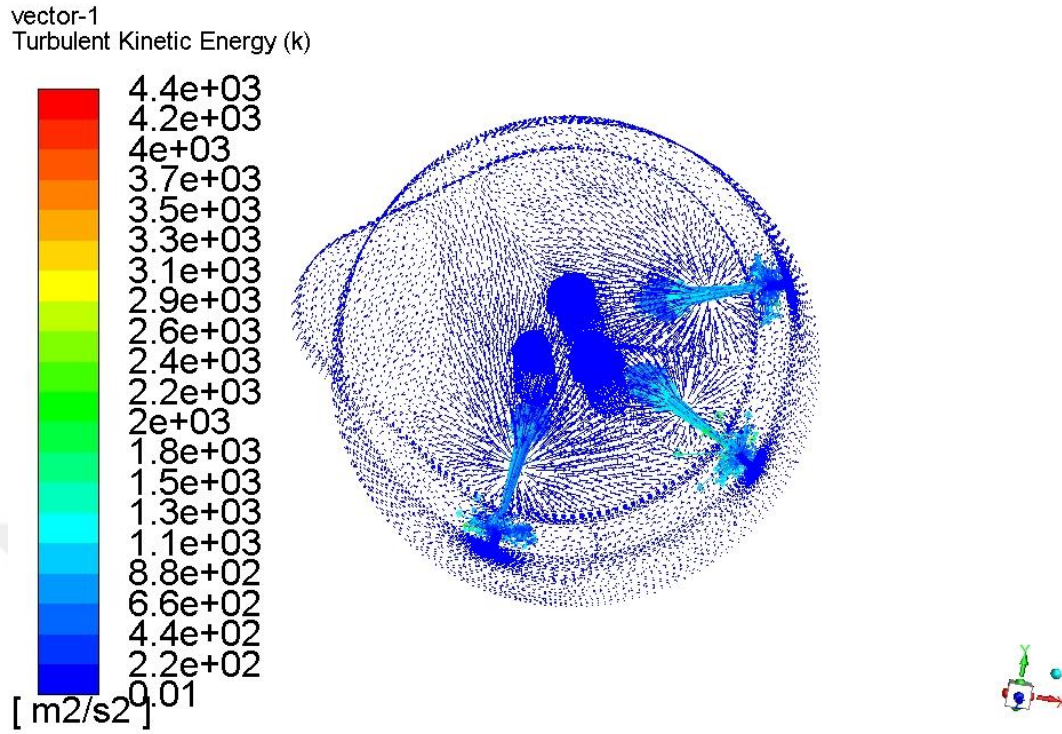
	Point 1	Point 2
X	3.7913	4.00204
Y	0.441144	1.4186
Z	1.07053	0.0405728



Şekil 4.19. EAO enjektör yol çizgisi

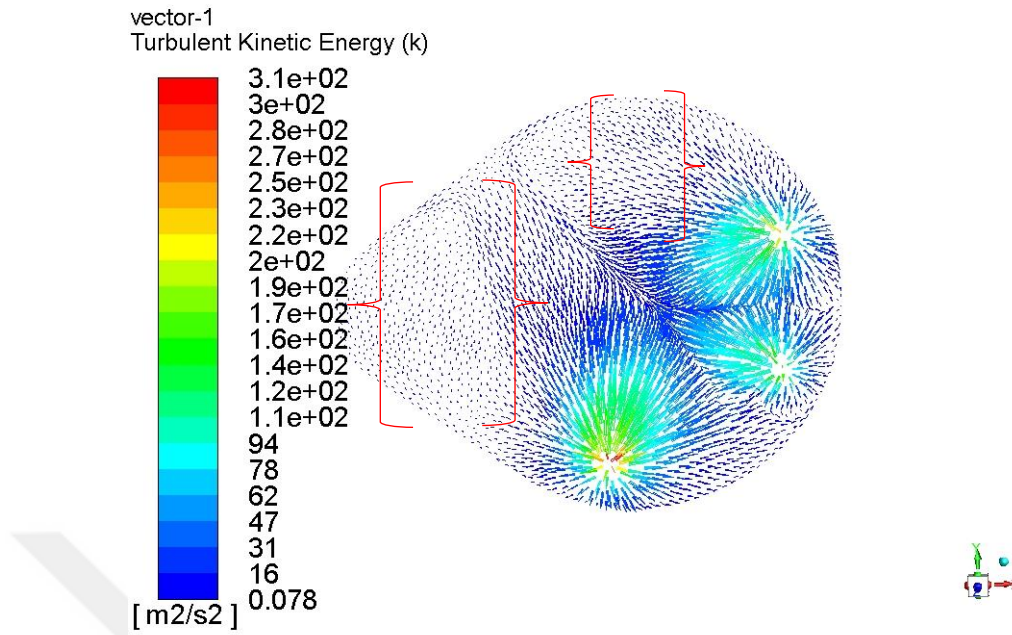
Oluşturulan bu yol doğrusu izlendiğinde enjektörlerden çıkan partiküllerin eriyik içerisinde türbülansa sebep olduğu görüldü. Türbülans kinetik enerji kontüründe merkez bölgenin en yüksek seviyede olduğu görüldü ve enjektör partikül hızından dolayı diğer yönler hızın dağıldığı, yani potanın sağ ve sol kısmında türbülans oluşturduğu da görülmüş oldu.

Aşağıdaki şekilde enjektörlerden gönderilen partiküllerin kinetik enerjileri ve partikül hızlarının sebep olduğu türbülansın vektörel olarak gösterilmiştir. Tüm ocak için geçerlidir. Akışın yönlendiği bölgeler takip edildiğinde potanın uç kısmında, hurda şarjı yapılan tarafında türbülans oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. EAO enjektörlerden gönderilen partiküllerin ocak genelinde sebep olduğu kinetik enerji

Türbülans için $k-\epsilon$ model/ Realizable/ Near Wall treatment/ Standart Wall function yapılan analizde kullanılmış ve bunu sonucunda belirlenen bölgeler açıklanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar Gu Angsheng Wei ve arkadaşları [47] tarafından yapılan çalışmada da aynı türbülans modeli kullanılmış olup aynı sonuçlar elde edilmiştir. Böylece çalışmada elde edilen sonuçların doğru olarak kabul edilebileceği bu aşamada görülmüş oldu.



Şekil 4.21. EAO türbülans oluşan bölgeler

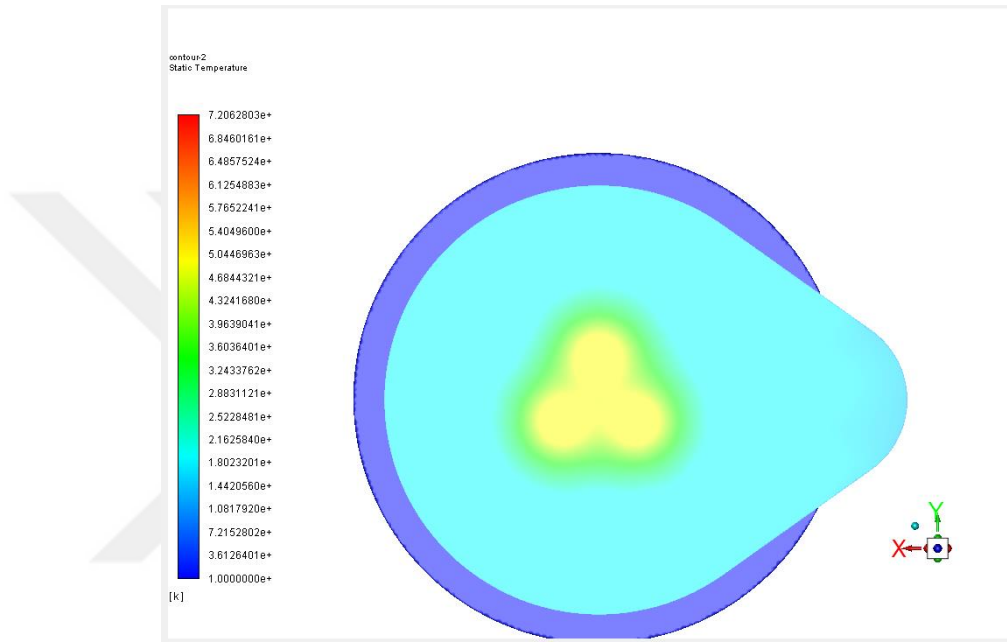
4.6. EAO Isı Analizleri

EAO gerçekleşen tepkimelerden birçoğunun ekzotermik yani ısı olarak tepkimeye girdiğini çeşitli kaynaklardan belirlemiştik. Bu grafikte de görüldüğü gibi ilk girdi olan elektrik enerjisi ocak içerisinde meydana gelen tepkimeler sonucunda tüketildiği görülmüştür. Bunun yanı sıra oluşan bu tepkimeler sonucunda meydana gelen cüruf tabakası radyasyona karşı geçirmez bir tabaka oluşturmuştur ve radyasyon ısısında artış görüldüğü yapılan HAD analizi ile doğrulanmıştır.

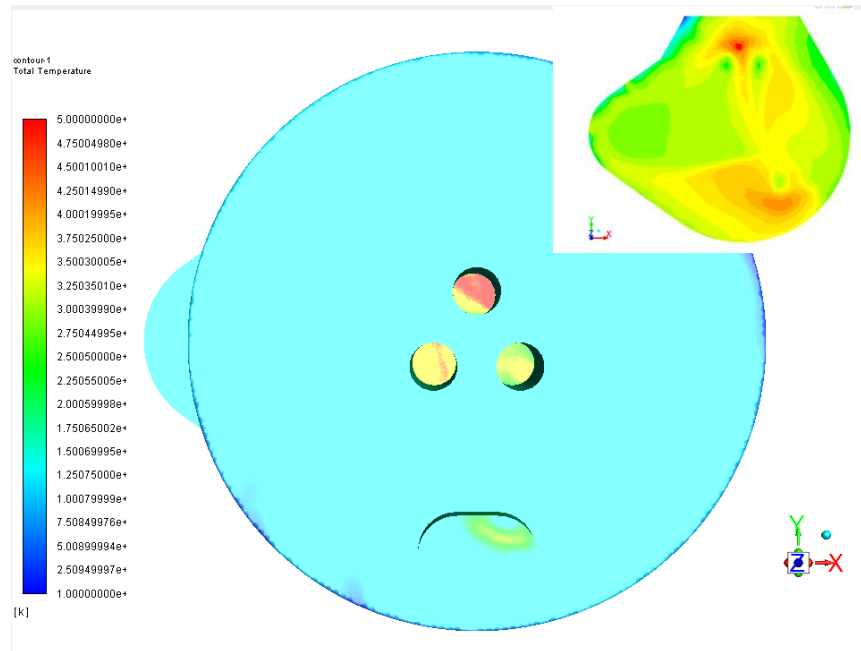
Ocak içerisinde hurdanın eritilmesini elektrotlar ile sağlanan ark enerjisi başlatmış olsa da asıl enerji kaynağı daha doğru şekilde ifade etmek gerekirse gerekli gücü sağlayan radyasyon enerjisidir.

Grafikten da görüleceği üzere radyasyon ısısı ile beraber toplam ısıda artmış eriyik elde edilmiştir. Bu sınırın düzenli olarak artmasındaki sebeplerden biri cürufun radyasyona karşı yalıtım malzemesi olması büyük önem taşımaktadır.

Bu konuda çelik üretim sürecinde ortaya çıkan yan ürünlerin (cüruf) geliştirilmesi, döngüsel bir ekonomiye ilerlemek için inşaatta kullanılmaya başlanmıştır. EAO cürufunun kullanılması daha az çevresel etki ile teknik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Bu cüruf ile elde edilen betonun artan sıcaklıklar karşısında daha az miktarda mukavemet düşüşü gösterdiği tespit edilmiştir. Radyasyona karşı verimli ve güvenilir bir yapı oluşturulmada kullanılmıştır [49].

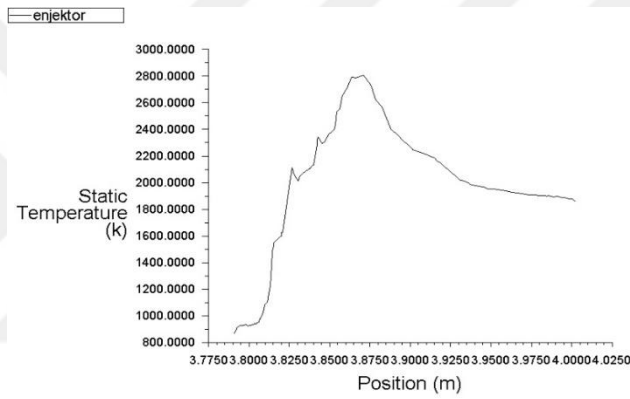


Şekil 4.22. EAO Statik sıcaklık

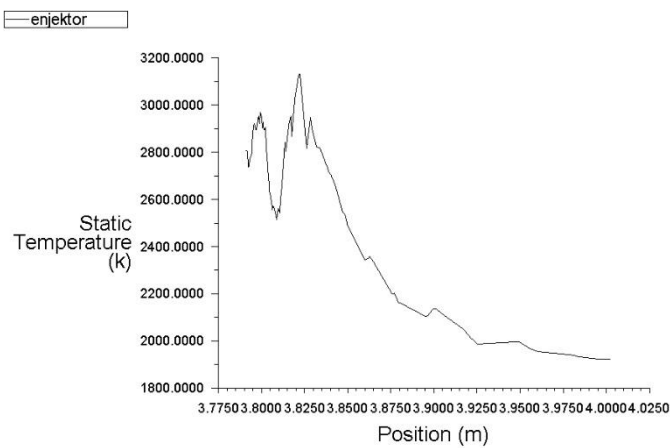


Şekil 4.23. EAO total sıcaklık

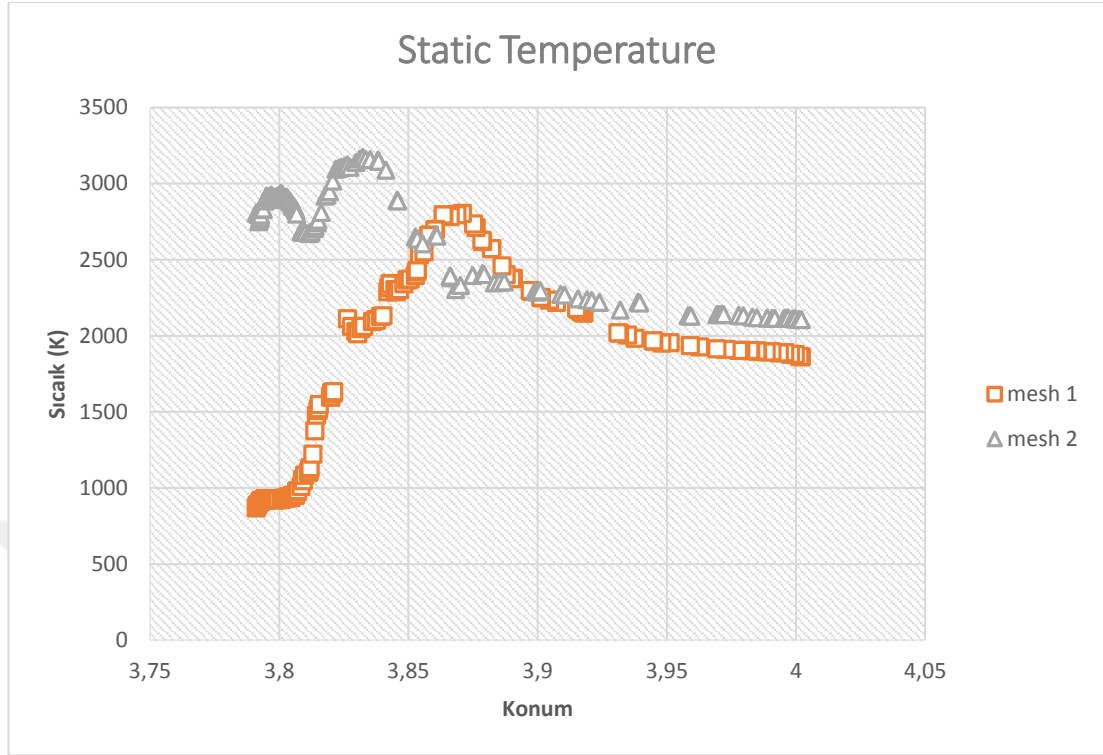
Oluşturulan model 1 ve model 2 için yapılar incelendiğinde model 1’ de elde edilen verilerin oluşturduğu grafiğin ocak içerisinde meydana gelen aktivitelerden daha doğrusal şekiller olacak şekilde ilerlediği görüldü. Aynı tip analiz için model 2’ ye göre grafik oluşturulduğunda statik sıcaklık için sonuç neredeyse aynı sıcaklık değerlerine ulaştığı görüldü fakat bu sonuç için oluşan grafiğin model 1’e kıyasla ocak içerisinde meydana gelen reaksiyonlarda oluşan etkinin daha net görüldüğü şeklinde oluşan grafik yorumlandı. Bu verinin elde edilmesinde modellerin kıyaslanması için çizgi grafik oluşturularak iki farklı sonuç için ortak bir değer grafiği oluşturuldu. Bu etki incelendiğinde daha önceki bölümlerde referans verilerek ilerlenen makaleler incelendiğinde mesh yapısı ve uygun dağılımın analiz sonuçlarının eldesinde pozitif bir etki yarattığı kanısına varıldı.



Şekil 4.24. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık grafiği



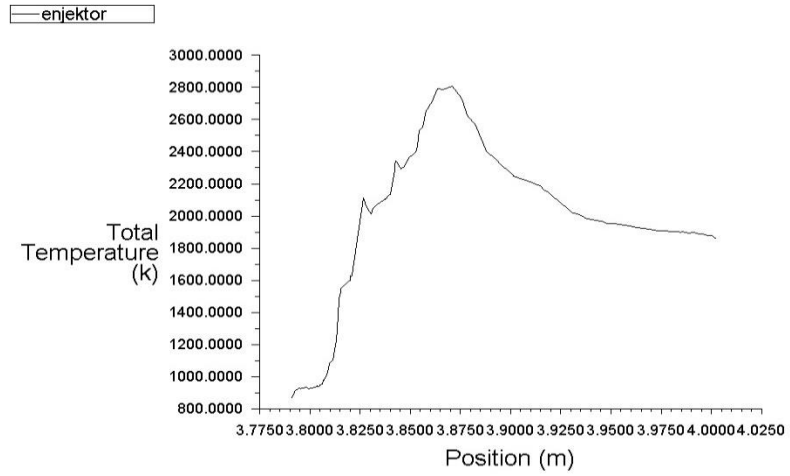
Şekil 4.25. Model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık grafiği



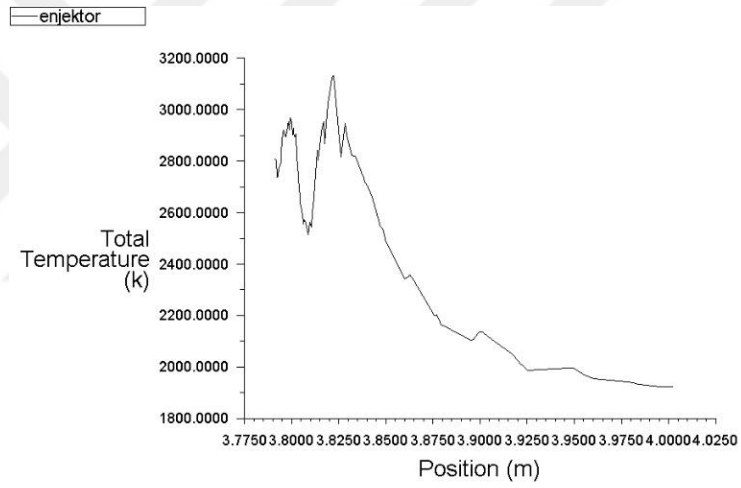
Şekil 4.26. Model 1 ve model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan statik sıcaklık karşılaştırma çizgi grafiği

Oluşturulan model 1 ve model 2 için statik sıcaklıkta elde edilen sonuçların genel doğruluğunun incelenmesi için total sıcaklık için yapılar incelenmiş ve model 1’ de elde edilen verilerin oluşturduğu grafiğin ocak içerisinde meydana gelen aktivitelerden daha doğrusal şekiller olacak şekilde ilerlediği görüldü.

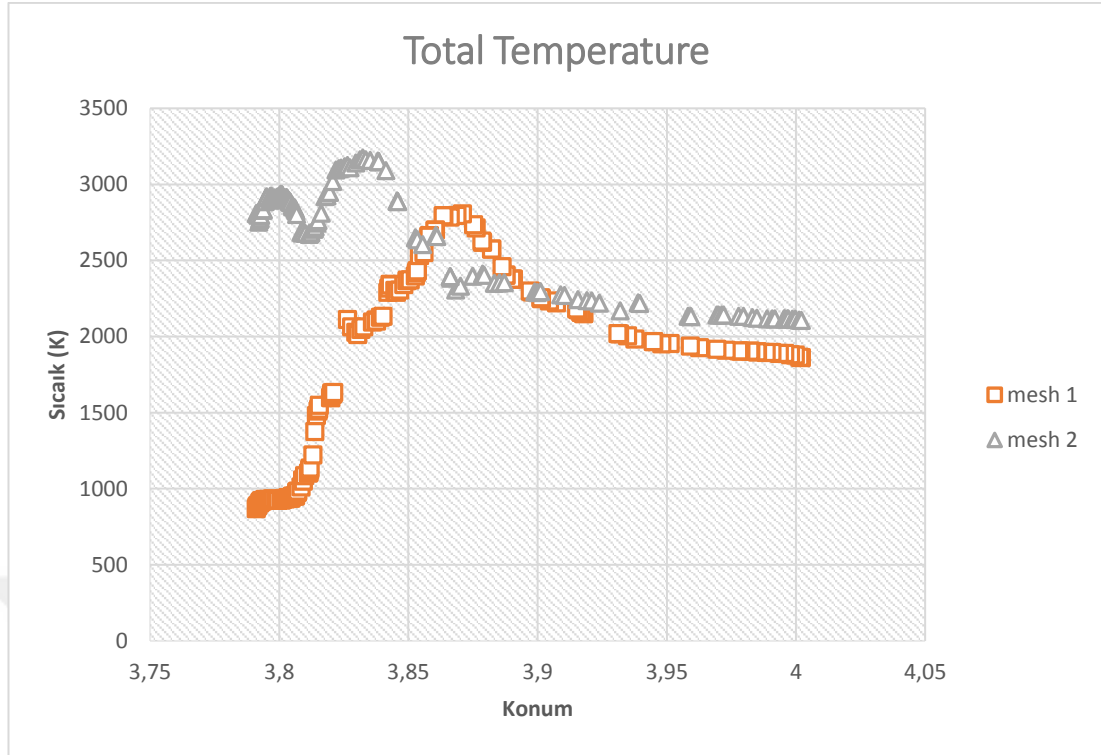
Bu grafik sonuçları incelenirken elde edilen analiz sonuçlarına göre iki grafiğin birbirinden farklı pik değerlerine ulaştığı görüldü. Fakat bu sonucu inceleme amaçlı olarak iki model için elde edilen analiz sonuçları birleştirildi ve sonuç olarak yaklaşık rakamlarda analizi iki mesh yapısının tamamladığı görüldü. Beklendiği üzere model 2’ sonuçların reaksiyonlardan daha fazla etkilendiği görülmüş oldu.



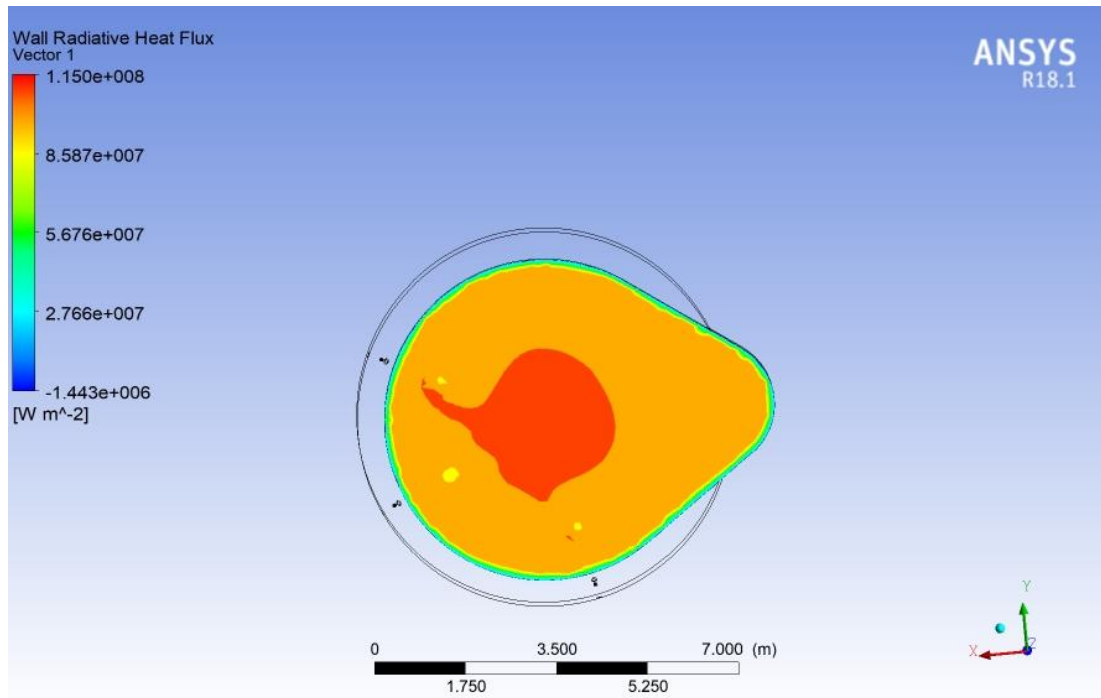
Şekil 4.27. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık grafiği



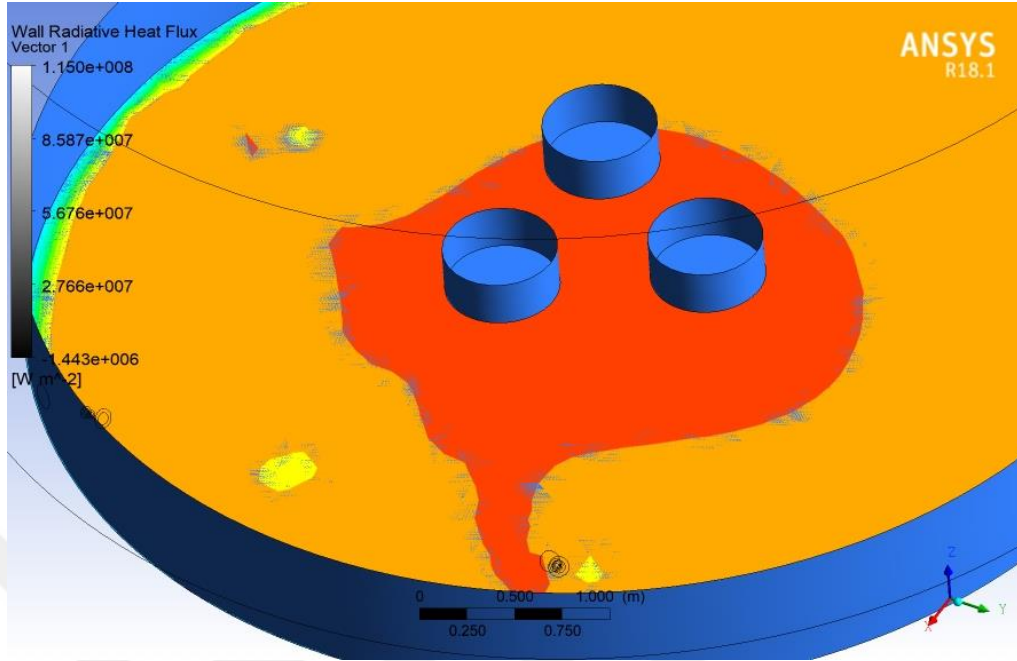
Şekil 4.28. Model 1 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık grafiği



Şekil 4.29. Model 1 ve model 2 pozisyon yerlerine bağlı olarak oluşturulan total sıcaklık karşılaştırma çizgi grafiği



Şekil 4.30. Eriyik yüzeyindeki duvar ışınlımlı ısı akısı dağılımı



Şekil 4.31. Elektrot çevrelerinde duvar ışınlımlı ısı akısı dağılımı

4.7. EAO Yanma Analizleri

Yanma kısmında enjektörlerden pota içerisine gönderilen oksijenin düzenli olarak yanma reaksiyonları oluşturduğu görülmüş ve oksijen oranının artmadığı tespit edilmiştir. Reaksiyonlar sonucunda kükürt, fosfor, mangan, silisyum gibi yapılar baca gazına dönüşerek potayı terk eder.

4.7.1. Karbon yanması

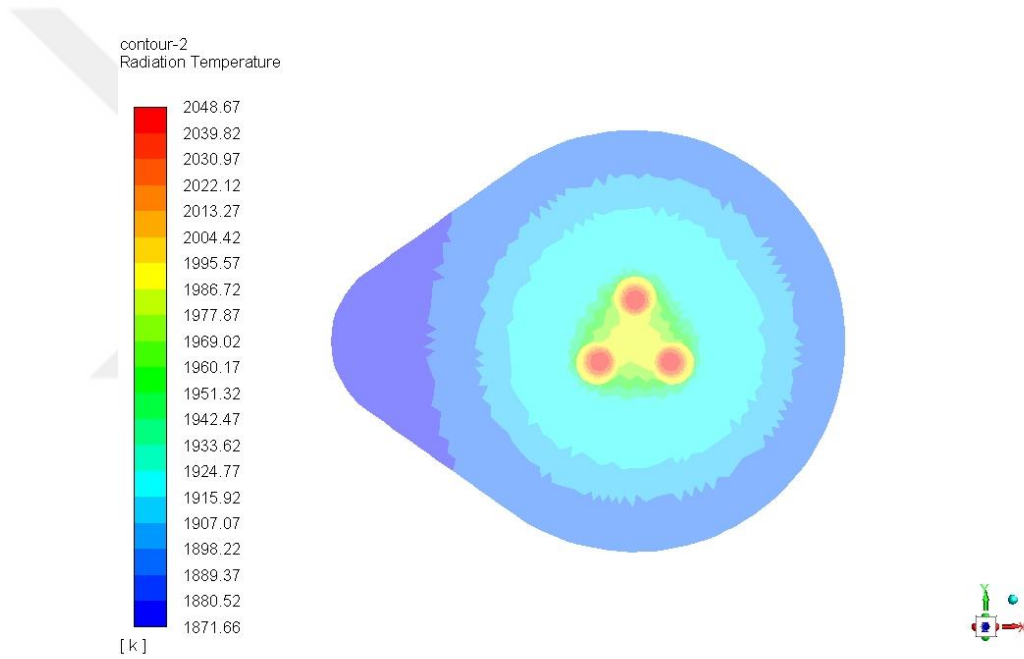
Oluşturulan eriyik içerisinde malzeme yapısından, enjektörlerden düzenli olarak karbon gönderilmesi ve elektrotların grafit oluşundan dolayı düzenli olarak bir C stoğu aynı zamanda da girişi bulunmaktadır.

Elektrikli ark ocaklarında kullanılan elektrot yapısı grafitir. Elektrotların dış yüzeyleri eriyik içerisinde düzenli olarak tükenmelerini engellemek için çeşitli yöntemlerle üzerlerine kaplama işlemleri uygulanmıştır. Fakat yine de bu durum tamamıyla engellenememiştir. Bu sebeple ocak kullanım sıklığına bağlı olarak elektrotlarda

değişim işlemi uygulanır. İşlem başı tüketim miktarı kaplama kalitesine bağlı olarak 5-15 kg arasında olduğu daha önce belirtilmişti.

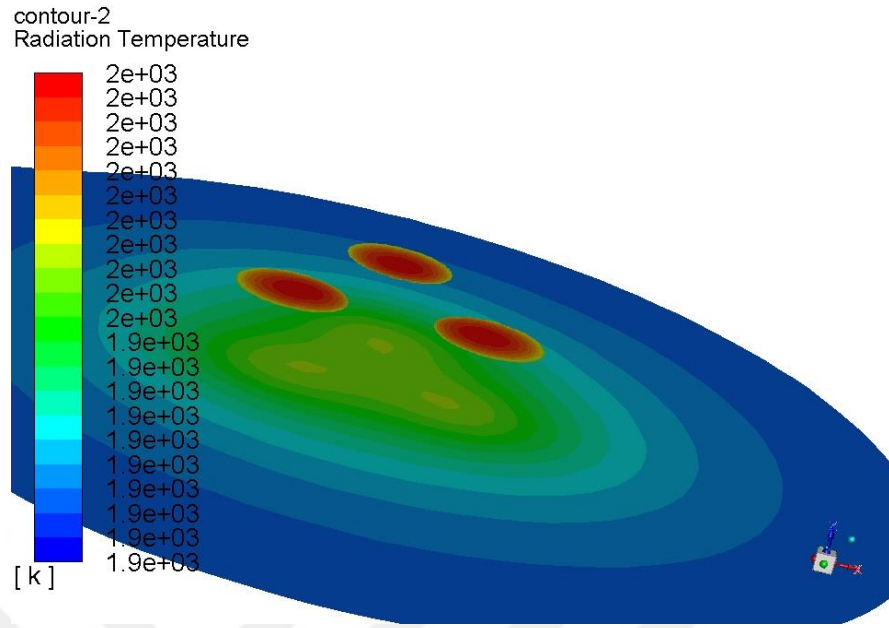
4.7.2. EAO Elektrik ark radyasyonu

Aşağıdaki şekilde eriyik yüzeyindeki radyasyon sıcaklık dağılımını gösterilmektedir. Yapılan analiz modeli olarak ilk yapılan araştırmalarda P1 radyasyon modeli kullanıldı, Sonrasında alınan referanslar sonucunda S2S modeline geçildi. Fakat alınan sonuçlarda tutarlılık P1 kadar net değildi. Bu sebeple P1 ile işleme devam edildi. Modelde seçilen P1 radyasyon modeli adımları; P1/ Solar Model/ Off.



Şekil 4.32. Model eriyik yüzeyinde radyasyon sıcaklık dağılımı

Radyasyon sıcaklık dağılımı incelendiğinde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi elektrot alt kısımlarında sıcaklığın daha yüksek olduğu ve bu değerin 2000 K değerine kadar geldiği görülmüştür.



Şekil 4.33. Elektrot ve elektrot altı radyasyon sıcaklık değerleri

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada sanayi sektöründen günden güne üretiminin artışı çeliğin üretim yöntemlerinden biri olan, çeşitli alışımlarda üretim yapabilme imkânı sağlayan elektrikli ark ocakları incelenmiştir.

Çelik üretiminde ana madde olarak hurda kullanılır. Hurdalar ülke içerisinde sağlanmakla beraber yurt dışından ülkemize ithal edilmektedir. Bu sebeple ocağa şarj edilen hurda yapıları genellikle farklılık göstermekte ve çeşitli kimyasal bileşimlere sahip olmaktadır. Ocak potasında eritmeye başlanan hurda için çeşitli hacimsel ve yüzeysel reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu çalışmada meydana gelen bu reaksiyonlar için analiz çalışmaları yapılmıştır.

Analiz kısmında net sonuçlar elde edilmeden önce farklı sayılarda ağ yapısı modellemeleri yapılmıştır. Bu modelleme ile ram kapasitesine uygun olacak ve aynı zamanda analizler için doğru sonucun elde edilebileceği bir ağ yapısı optimizasyon sisteme uygulanmış ve seçim yapılmıştır [50].

Çalışmada ejektörler içerisinde oksijen ve karbon grubunun pota içerisindeki eriyik davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Enjektörlerin pota içerisinde ön ve dolum kısmının sağ tarafında türbülanslı bir akışa sebep olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda enjektörlerden gönderilen partiküllerin eriyik içerisine ejekte edilmeye başladığı anda reaksiyon başlattığı analiz sonucundaki görseller ile desteklenmiştir. Bu modelin oluşturulmasında kullanılacak olan metot çeşitli araştırmalar ile desteklenmiş ve net bir yol belirlenmiştir [51, 52].

Çalışmada diğer üzerinde durulan konulardan diğeri de elektrotlar çevresinde oluşan radyasyon enerjisi olduğu görülmüştür. Radyasyon enerjisinin oluşmasında ana

kaynak elektrotlardır. Bu enerji pota içerisinde 2000 K gibi ciddi bir sıcaklık değerine sahip olmayı başarmış ve ürün elde edilmesi için ana enerji kaynaklarından biri olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda eriyik üzerinde oluşan cürufun radyasyon geçirgenliğini engelleyici bir özelliği olduğu görülmüştür. Cüruf tabakası ile enerjinin içeride hapsedildiği görülmüştür. Tabakanın enerji korunabilirliği için önemli bir rolü vardır.

Cüruf hurda içerisinde istenmeyen moleküllerin reaksiyonlara sebep olarak metalden uzaklaştırılmış halidir. Cüruf tabaka kalınlığının optimum seviyede olması en önemli faktörlerden biridir. Eğer ince olursa ısı ocak içerisinde korunamaz, kalın olduğunda da daha fazla yanmaya ihtiyaç duyulacağından enerji sarfiyatı oluşur. Bu sebeple metal potadan alınmadan önce cüruf diğer yöne pistonlar ile eğilerek ocaktan alınır ve ardından da metal eriyiği ocaktan aktarılarak ayrılır. Sonrasında işlenmesi için gerekli birimlere iletilir.

KAYNAKÇA

- [1] TOBB sanayi müdürlüğü, Kapasite kriterleri, Grup 3710.
- [2] Akman, E. Dünyada ve Türkiye’de Demir Çelik Sektörü ve Türk Demir Çelik Sektörünün Rekabet Gücü’. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 2007.
- [3] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve verimlilik genel müdürlüğü, Demir çelik sektör raporu,2019.
- [4] Çamdalı, Ünal; Murat, Tunç. Elektrikli ark fırınında fiziksel ekserji potansiyelinin ve veriminin elde edilmesi,2016.
- [5] Launder, B.E., Spalding, D.B., Lectures in mathematical models of turbulence, Academic Press., London, England, 1972.
- [6] Çamdalı, Ü., Elektrik Ark Fırını Yöntemi ile Çelik Üretim Bir Tesiste Termodinamiğin İkinci Kanununun Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1998.
- [7] J Zhang, W Rationa , L. Zhang, Z Zhang, Computational Fluid Dynamics Modeling on the Air-Firing and Oxy-fuel combustion of dried victorian Brown coal, 2013.
- [8] Okorokov, N. V. Elektroplavil’nye pechi chenoï metallurgi, 3.ed. Moskova-Lennigrad, 1950.
- [9] Özenen, Çakıroğlu; Mustafa, Adnan; 3.Ulusal hidrolik, pnömatik kongresi ve sergisi.
- [10] V.Logar and I. Skrjan; Modeling and validation of the radiative heat transfer in a EAO, 2012.
- [11] Camp, FrancisThe Making Shapingand Treating of Steel_10609463.
- [12] Çamdalı, Ü.,” Elektrikli ark fırını yöntemi ile çelik üreten bir tesise termodinamiğin ikinci kanununun analizi” Doktora tezi, İTÜ FBE, İstanbul, 1988.

- [13] Yetişken, Y. , Çelik üreten bir tesisin termo ekonomik optimizasyonu, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005.
- [14] Yetişken, Çamdalı, Ekmekçi, Özçelebi, Y.,Ü.,İ.,S., Elektrik ark ocağı ve pota fırınındaki kimyasal reaksiyonların termodinamik analizi.
- [15] Levet, M., Kırmızı çamur katkılı tuğla üretiminin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [16] Şahin, M., Borik asit katkılı tuğla üretiminin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [17] Makarov A N, Okuneva V V, Pavlova Yu M, Research of heat Exchange and efficiency of the arcs in the arc steel-melting furnaces with usual conveyor and loaded, 2019.
- [18] Khodabandeh, Rahbari, Roseni Ashrafi, Akbari, Anvari, Experimental and numerical investigations on heat transfer of a water cooled lance for blowing oxidizing gas in an electicial arc furnace, 2017.
- [19] Acevedo L, Uson S, Uche J. Exergy transfer analysis of an aluminium holding furnace, Energy convers manage, 2015.
- [20] Rajh B Yin C, Samec N, Hribersek M, Zadavec M, Advanced modelling and testing of a 13 MW th waste wood-fired grate boiler with recyled flue gas, Energy convers manage, 2016.
- [21] Khodabandeh, Ghaderi, Afzalabadi, Rouboa, Salarifard, Parametric study of heat transfer in an electric arc furnace and cooling system, 2017.
- [22] Hafid, Marcel, Inverse heat transfer prediction of the brick Wall of a melting furnace, 2017.
- [23] S.M. Hosseini, Sarvar, S.H. Mansouri, Inverse design for radiative heat source in a irregular 2-D participating, 2004.
- [24] Khodabandeh, pourramezan, Pakravan, Effects of excess air and preheating on the flow pattern andefficiency of the radiative sectşon of a fired heater, 2016.
- [25] Bekker, Craig, Pistorious, modeling and simulation of an electric arc furnace process, 1999.
- [26] MacRosty, Swartz, Dynamic ptimization of electric arc furnace operation, 2007.

- [27] Gonzales, Lago, Masquere, Franceries, Numerical modelling of an electric arc and its interaction with the anode: part 2. The three dimensional model-influence of external forces on the arc column, 2005.
- [28] MacRosty, Swartz, Dynamic modeling of an industrial electric arc furnace, 2005.
- [29] Oliveira, Asis, leal, Ilidio, Study of biomass applied to a cogeneration system: a steelmaking industry case, 2015.
- [30] Çamdalı, Yetişken, Ekmekçi, Mass balance modeling for electric arc furnace system in steelmaking facility in Turkey, 2007.
- [31] Mehrjerdi, Meration, Edris, Zamani, Thermal simulation of intake panels Mobarakeh steel complex EAF's, 2008.
- [32] Henning, Shapiro, Marx, Pienaar, Neal, Evaluating AC and DC Furnace water-cooling systems using CFD analysis, Infaction XII, 2010.
- [33] Eckert, Sparrow, Radiative heat Exchange between surfaces with specular reflection, Heat mass fraction. 1961.
- [34] Logar, Dovzan, Skrjanj, Modeling and validation of an electric arc furnace: Part 1, heat and mass transfer, 403-412.
- [35] Shi C. , Steel slag- Its production, processing, characteristics and cementitious properties, 2004.
- [36] Balaguera, Botero, Characterization of steel slag for the production of chemically bonded phosphate ceramics (CBPC), 2020.
- [37] Penn, Livingston, Shedekar, Kingi Williams, Performance of Field-scale phosphorus removal structures utilizing steel slag treatment of surface and subsurface drainage, 2020.
- [38] Kim, Azimi, Technospheric mining of niobium and titanium from electric arc furnace slag, 2020.
- [39] Rodi, Wolfgang. Turbulence models and their application in hydraulics. CRC Press, 1993.
- [40] Nichols, Robert H. Turbulence models and their application to complex flows. University of Alabama at Birmingham, Revision, 2010.
- [41] Friedrich R., et al. Direct numerical simulation of incompressible turbulent flows. Computers & fluids, 2001, 30.5: 555-579.

- [42] Markatos, N. C. The mathematical modelling of turbulent flows. Applied Mathematical Modelling, 1986, 10.3: 190-220.
- [43] İlker, P. , Comparison of turbulence models for single and multiphase flows, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [44] Lienhard, J. , H, Synopsis of Lift, Drag and Vortex Frequency Data for Rigid Circular Cylinders, Washington State University College of Engineering Research Division Bulletin 300, 3, 1966.
- [45] Çelikler/karabuk.edu.tr, Erişim tarihi: 10. 2020.
- [46] H. Movahedi , S. Jamshidi, Experimental and CFD simulation of slurry flow in the annular flow path using two-fluid model, 2020.
- [47] Gu Angsheng wei, Rong Zhu, Baochen Han, Shuffeng Yang, Kai Dong, Simulation and application of submerged CO₂-O₂ injection in electric arc furnace steelmaking: Modeling and arrangement of Submerged nozzles, 2020.
- [48] Zhang, Guang-sheng Wei, Run-zao Liu, Rong Zhu, Simulation and analysis of O₂-CaO jet behavior with different shrouding fuel mediums in electric arc furnace steelmaking, 2020.
- [49] Beaucour, Pliya, Faleschini, Njinwoa, Pellegrino, Noumowe, Influence of elevated temperature on properties of radiation shielding concrete with electric arc furnace slag as coarse aggregate, 2020.
- [50] E. Büyükkaya, EAO'daki enerji kaynaklarının HAD simülasyonu, 2017.
- [51] C. Sarıkaya, G. Coşkun, E. Büyükkaya, S. Akın, Elektrik ark ocağı HAD simülasyonlarının farklı ağ yapıları ile modellenmesi (INCOS2018), 2018.
- [52] C. Yiğit, G. Coşkun, E. Büyükkaya, U. Durmaz, H. Güven, CFD modelling of carbon combustion and electrode radiation in an electric arc furnace, 2015.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selin AKIN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Sakarya Üniversitesi/ Makine Tasarım ve İmalat	2017-Halen
Lisans	Sakarya Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2017
Lise	Şehit Nurullah Saraç Anadolu Lisesi	2013

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2021-Halen	Alkan Group	Üretim Müdürü
2018-2021	Alkan Group	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce