

**DİZEL MOTORLARDA SCR SİSTEMİNDE
KULLANILAN KATALİZÖRLERİN
NO_x EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN
NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Neslihan AKSOY

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL MOTORLARDA SCR SİSTEMİNDE KULLANILAN
KATALİZÖRLERİN NO_x EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN
NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Neslihan AKSOY

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

TEZ ONAY SAYFASI

Neslihan AKSOY tarafından hazırlanan “Dizel Motorlarda SCR Sisteminde Kullanılan Katalizörlerin NO_x Emisyonlarına Etkilerinin Nümerik Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01 / 07 / 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN

Başkan : Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğretim Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

..... /..... /..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01 / 07 / 2021

Neslihan AKSOY



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORLARDA SCR SİSTEMİNDE KULLANILAN KATALİZÖRLERİN NO_x EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ

Neslihan AKSOY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN

Analizde, dizel motorlarda motorin yakıtının yanması sonucunda azot oksitler (NO_x), karbon oksitler (CO_x), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (is, kurşun vb.) emisyonları incelenmiştir. Bu oluşan emisyonlardan en önemlisi büyük ölçüde atmosferi kirleten, insan ve diğer canlı varlıkları hem de çevreyi kirleten NO_x emisyonlarıdır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında emisyonlar üzerinde araştırılma yapılarak nümerik analiz yapılmıştır. Öncelikle dizel bir motor ve motorin üzerinde araştırma yapılmıştır. Dizel motorun teorik yanma denklemi incelenmiş olup yanma sonrasında meydana gelen emisyonlar gösterilmiştir. Bu incelemenin ardından oluşan emisyonlara bakılarak bizim için en önemli kirletici emisyonlardan olan NO_x emisyonları kapsamlı bir araştırma yapılarak incelenmiştir. Daha sonra bu emisyonları azaltmaya yönelik sistemler incelenerek, seçici katalitik indirgeme (SCR) üzerinde durulmuştur. SCR araştırılarak kullanılabilen katalizörler belirlenmiştir (V₂O₅, TiO₂ vb.). Araştırmanın ardından nümerik analizde, analizin yapılması için egzoz gazı sıcaklığı, akış şekli enjeksiyon tipi gibi gereken sabit değerler belirlenmiştir. Bu belirlenen değerler sonrasında bu çalışmada kullanılacak dünyada atmosferi büyük ölçüde kirletmede rol oynayan, NO_x emisyonlarına yönelik bir nümerik analiz yapılmıştır. Bu nümerik analiz NO_x emisyonlarını azaltmaya yardımcı olan SCR sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nümerik analiz Ansys 2019 R3 ile yapılmıştır. Analizde belirli koşullar sabit tutularak, SCR sisteminde emisyonların indirgenmesini sağlayan katalizörlerin malzemesinin değiştirilmesi ile sonuçlar elde edilmiştir.

2021, xiii + 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, SCR, Katalizör, Nümerik analiz.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT CATALYSTS USED IN SCR SYSTEM IN DIESEL ENGINES ON NO_x EMISSIONS

Neslihan AKSOY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Yaşar Önder ÖZGÖREN

In analysis, emissions of nitrogen oxides (NO_x), carbon oxides (CO_x), hydrocarbon (HC) and particulate matter (soot, lead, etc.) of diesel fuel burning in diesel engines were investigated. The most important of these emissions are NO_x emissions, which pollute the atmosphere to a great extent, pollute human beings and other living things as well as the environment. First of all, research has been done on a diesel engine and diesel. The theoretical combustion equation of the diesel engine is examined and the emissions after combustion are shown. After this development, NO_x emissions, which is one of the most important pollutant emissions for us, have been examined by a comprehensive research. Then, systems aimed at reducing these emissions are examined and focused on selective catalytic reduction (SCR). The catalysts (TiO₂, V₂O₅ etc.) to be investigated by investigating SCR. In the numerical analysis after the research, the fixed values required for analysis, such as exhaust gas temperature, flow pattern injection type. During this period, a numerical analysis was made for NO_x emissions, which plays a major role in pollution to be used in this environment in this environment. This numerical analysis has been performed on the SCR system that helps reduce NO_x emissions. This numerical analysis was done with Ansys 2019 R3. In the analysis, it was obtained with the material available of the catalysts to achieve the reduction of emissions in the SCR system.

2021, xiii + 78 pages

Keywords: Diesel engine, SCR, Catalytic, Numerical analysis.

TEŐEKKÖR

GerçekleŐtirmiŐ olduğum Yüksek Lisans Tez çalışmasında konunun belirlenmesi çalıŐmaların yönlendirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi ve aynı zamanda tez yazım esnasında yapmıŐ olduğu özen ve katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN'e, tez süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Emrah ERÇEK'e ve Sayın Mehmet KUNT'a, SCR sisteminin tasarımında yardımcı olan Sayın Veysel YILMAZ'a, her konuda öneri ve eleŐtirileriyle yardım aldığım saygıdeğer hocalarım ve sevgili arkadaşlarıma teŐekkürlerimi sunarım.

Bu süreç içerisinde daima maddi ve manevi destekleriyle her an yanımda olan aileme sonsuz ve içten teŐekkürlerimi sunarım.

Neslihan AKSOY
Afyonkarahisar, 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. DİZEL MOTOR ve EGZOZ EMİSYONLARI.....	3
2.1 Dizel Motor.....	3
2.1.1 Dizel Motorda Kullanılan Yakıtlar	3
2.1.2 Dizel Motorda Yanma.....	10
2.1.3 Dizel Motorun Çalışması	12
2.2 Egzoz Emisyonları.....	15
2.2.1 Egzoz Zamanı Oluşan Emisyonlar.....	15
2.2.2 Dizel Motorda NO _x Emisyonlarına Etki Eden Faktörler.....	20
2.2.3 Dizel Motorlarda NO _x Emisyonlarını Azaltan Sistemler	25
3. MATERYAL ve METOT	33
3.1 Analizde Kullanılacak SCR'nin Oluşturulması.....	33
3.2 Analiz Öncesi Hazırlık.....	34
3.3 Analizde İzlenecek Adımlar.....	35
3.3.1 Ağ Yapısının Ayarlanması	35
3.3.2 Akış Modellerinin Belirlenmesi	35
3.3.3 Malzemelerin Belirlenmesi	42
3.3.4. Hücre Bölge Şartlarının Belirlenmesi	44
3.3.5 Sınır Şartlarının Belirlenmesi.....	45
3.3.6 Analizin Çözüm Aşaması.....	52
4. BULGULAR	56
4.1 Katalizör Girişi ve Çıkışındaki V ₂ O ₅ 'e Ait Değerler.....	56

4.2 Katalizör Giriş ve Çıkışındaki WO_3 'e Ait Değerler	60
4.3 Katalizör Giriş ve Çıkışındaki TiO_2 'ye Ait Değerler.....	64
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	68
6. KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

NO _x	Azot Oksit
HC	Hidrokarbon
SO _x	Kükürt Oksit
CO	Karbon Monoksit
C	Karbon
H	Hidrojen
O ₂	Oksijen
NO	Azot Oksit
CO ₂	Karbon Dioksit
H ₂ O	Dihidrojen Monoksit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
SO ₂	Kükürt Dioksit
SO ₃	Kükürt Trioksit
NH ₃	Amonyak
(NH ₂) ₂ CO	Katı Üre
HNCO	İzosiyanik Asit
V ₂ O ₅	Vanadyum PentaOksit
WO ₃	Tungsten Trioksit
TiO ₂	Titanyum Dioksit
°C	Santigrat Derece
K	Kelvin

Kısaltmalar

AÖN	Alt Ölü Nokta
Cr	Sıkıştırma Oranı
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyonu
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
kcal	Kilokalori
KMA	Krank Mili Açısı
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
P	Pascal
P _B	Püskürtme Başlangıcı
P _S	Püskürtme Sonu
ppm	Milyonda bir Parçacık
PM	Partikül Madde
SCR	Seçici Katalitik İndirgeme
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
V1	Pistonun Çıkabildiği Maksimum Nokta
V2	Pistonun İnebildiği Minimum Nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kinematik viskozitenin basınç ve sıcaklığa göre değişimi.	5
Şekil 2.2 Biyodizel döngüsü.....	10
Şekil 2.3 Dizel motorda oluşan basınç-krank açısı ve püskürtme seyri.....	11
Şekil 2.4 Dört zamanlı bir dizel motorunun çalışma evreleri.	13
Şekil 2.5 Emme zamanı ve dizel çevrimi.	13
Şekil 2.6 Sıkıştırma zamanı ve dizel çevrimi.	14
Şekil 2.7 Yanma zamanı ve dizel çevrimi.	15
Şekil 2.8 Dizel motorda emisyonların dağılımı.....	16
Şekil 2.9 NO _x emisyonlarının setan sayısı ile değişimi.	21
Şekil 2.10 NO _x emisyonunun KMA ile değişimi.	22
Şekil 2.11 NO _x emisyonunun eşdeğerlik oranı ile artışı.	23
Şekil 2.12 NO _x 'e emme manifoldu sıcaklığının etkisi.	23
Şekil 2.13 NO _x 'e emme manifoldu basıncının etkisi.....	24
Şekil 2.14 NO _x 'e türbülans oranının etkisi.	25
Şekil 2.15 NO _x ' e sıkıştırma oranının etkisi.	25
Şekil 2.16 EGR sistemi.	26
Şekil 2.17 Common rail sistemi ve elemanları.	27
Şekil 2.18 Katalitik konvertör.	28
Şekil 2.19 AdBlue sıvısının bileşenleri.	30
Şekil 2.20 AdBlue sıvısının egzoz borusu içine püskürtülmesi.	31
Şekil 2.21 Su ve azot gazına dönüşen azot oksitler.....	32
Şekil 4.1 V ₂ O ₅ 'e ait katalizör girişindeki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütle oranı ve sıcaklık, basınç, hız dağılımları.....	57
Şekil 4.2 V ₂ O ₅ 'e ait katalizör çıkışındaki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.	59
Şekil 4.3 WO ₃ 'e ait katalizör girişindeki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.	61
Şekil 4.4 WO ₃ 'e ait katalizör çıkışındaki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.	63

Şekil 4.5 TiO ₂ 'ye ait katalizör girişindeki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütleli oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.	65
Şekil 4.6 TiO ₂ 'ye ait Katalizör çıkışındaki NH ₃ , N ₂ , H ₂ O'nun kütleli oranı, sıcaklık, basınç ve hız dağılımları.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Motorinin yakıt özellikleri.	4
Çizelge 2.2 Diesel indeks ve setan sayısı arasındaki ilişki.	7
Çizelge 3.1 0. Enjeksiyon değerleri.....	40
Çizelge 3.2 1. Enjeksiyon konum değerleri.	40
Çizelge 3.3 2. Enjeksiyon konum değerleri.	40
Çizelge 3.4 Girişteki tür değerleri.	51
Çizelge 5.1 Analiz sonucu katalizör girişinde oluşan değerler.	68
Çizelge 5.2 Analiz sonucu katalizör çıkışında oluşan değerler.....	68

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 SCR'nin genel olarak görüntüsü.....	33
Resim 3.2 Modellenen SCR sistemi.	33
Resim 3.3 Modellenen SCR'nin toplam alanı.	34
Resim 3.4 Ağ ayarları yapıldıktan sonra oluşan görüntü.....	35
Resim 3.5 Viskoz modelinin ayarlanması.....	36
Resim 3.6 Model türlerinin belirlenmesi.	37
Resim 3.7 Ayrık faz modelinin belirlenmesi.	37
Resim 3.8 Fiziksel modelin belirlenmesi.	38
Resim 3.9 Enjeksiyon değerlerinin girilmesi.	39
Resim 3.10 Türbülans dağılımı değerleri.....	41
Resim 3.11 Yanma modeli değerlerinin belirlenmesi.....	42
Resim 3.12 Malzemelerin belirlenmesi.....	42
Resim 3.13 Karışım türleri.....	43
Resim 3.14 Kaynama modeli seçimi.....	43
Resim 3.15 Devolatilizasyon değerleri.	44
Resim 3.16 Malzeme değerleri.	44
Resim 3.17 Bölge şartlarının belirlenmesi.	45
Resim 3.18 Sınır şartlarının sıcaklık özelliklerinin belirlenmesi.	46
Resim 3.19 Sınır şartlarının türlerinin belirlenmesi.	46
Resim 3.20 Ayrık faz modelinin düzenlenmesi.	47
Resim 3.21 Karıştırıcının termal özelliklerinin belirlenmesi.....	47
Resim 3.22 Karıştırıcı türlerinin belirlenmesi.....	48
Resim 3.23 Karıştırıcının ayrık faz modelinin belirlenmesi.	48
Resim 3.24 Karıştırıcının mevcut sınır şartlarının belirlenmesi.	49
Resim 3.25 Giriş bölgesi tipinin seçilmesi.....	49
Resim 3.26 Giriş bölgesinin momentum değerleri.	50
Resim 3.27 Giriş bölgesinin termal özellikleri.	50
Resim 3.28 Girişteki tür değerlerinin belirlenmesi.....	51
Resim 3.29 Ayrık faz modeli BC tipi.	52
Resim 3.30 Monitör oluşturma.	52

Resim 3.31 Oluşturulan monitör değerleri.....	53
Resim 3.32 İkinci monitörün oluşturulması.....	54
Resim 3.33 Çözüm aşamasına hazırlık işlemi.....	54
Resim 3.34 Çözüm aşamasının adım sayısının belirlenmesi.	55
Resim 3.35 Analizin başlatılması.....	55

1. GİRİŞ

Genel olarak istatistiklere bakıldığında dünyada ortalama olarak petrol %40'lık bir orana sahiptir. Bu yüzdeler dilim genel olarak içten yanmalı motorların ihtiyacını karşılamıştır (Ciniviz vd. 2001). Motorin yakıt kullanılan dizel motorlara bakıldığında yüksek güç üretimiyle, daha az yakıt tüketimi ve sessiz çalışmasıyla, çok fazla azot oksit emisyonu yaymasına rağmen çok fazla tercih edilmektedir (Dobrzynska vd. 2020). Araştırmalara bakıldığında atmosferde bulunan azot oksit emisyonlarının %80'inden dizel motorların sorumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Buna rağmen çok fazla tercih edilmektedir (Kwon vd. 2017).

Türkiye de bu durum incelendiğinde, azot oksit emisyonu yüksek olmasına rağmen motorin yakıt kullanımı, benzin yakıtına göre yaklaşık 6 kat daha fazladır. İçten yanmalı motorlar incelendiğinde, motorin yakıtı kullanan araçlarda oluşan emisyonları karbon monoksit (CO), azot oksitler (NO_x), hidrokarbon (HC) ve partikül emisyonları olarak sıralayabiliriz (Çanakçı 2007). Bu oluşan emisyonlar incelendiğinde, insan sağlığı ve çevre için en çok sorun teşkil eden emisyonun azot oksitler (NO_x) olduğu bilinmektedir (Gholami vd. 2020). Motorin yakıtının yanması sonucu oluşan bu NO_x emisyonunun çok ciddi zararları vardır (Balmes vd. 2009).

2016 yılında Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan bir araştırmada, insanların %91'lik bölümünün düşük kalitedeki hava şartlarında yaşadığı tespit edilmiştir. Bu şartlarda yaşayan insanların sağlık ve maddi konular başta olmak üzere çok ciddi sorunlarla karşılaştığı bilinmektedir (Chan vd. 2019, Yi vd. 2020). Bu olumsuz etkiler üzerinde gün geçtikçe yapılan araştırmalar çoğalmaktadır (Rosalind vd. 2018). Yukarıda belirtilen emisyonların oluşturduğu kirliliğe çok uzun süreli maruz kalmak özellikle solunum sistemi hastalıklarına da yol açmaktadır (Janke 2014). Aynı zamanda hava kirliliği insanların uyuma ve bilişsel performanslarında da olumsuz etkiye neden olmaktadır (Zhang vd. 2018).

Bu oluşan emisyonlardan karayolları taşımacılığı büyük oranda sorumludur. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, motor teknolojilerinin geliştirilmesi sayesinde ve karayollarında emisyon üzerine yapılan düzenlemelerle bu değerler minimuma

indirilmeye çalışılmıştır. Bu sorunlara maddi açıdan da bakılacak olursa, yadsınmayacak kadar zararı vardır. Son dönemde bu zararların önüne geçilmesi için yapılan çalışmalar artmaya başlamıştır (Schweitzer ve Valenzuela 2004). Bu çalışmalar özellikle 2000’li yıllardan sonra giderek hız kazanmaya başlamıştır. Bu çalışmalarda ki amaç emisyonu olabildiğince minimum seviyeye indirmek olmuştur (Brünekreef ve Holgate 2002). Emisyonları azaltmak için kullanılan yeni sistemlerden bir tanesi ise üre-SCR (Seçici Katalitik İndirgeme)’dir. Bu sistemde üre yani add-blue sıvısı egzoz gazı akımına püskürtülerek amonyağa dönüşmesini sağlar. Bu sayede NO_x emisyonları verimli bir şekilde minimum seviyeye inmiş olur (Koebel vd. 2000).

Bu çalışmada, literatür sonucunda elde edilen bilgiler ışığında nümerik bir analiz yapılacaktır. Buradaki asıl amaç NO_x emisyonunu azaltan ve son sistemlerden biri olarak görülen SCR’de kullanılan katalizörlerin oluşan emisyonu etkisi incelenecektir. Bu nümerik analiz dizel bir motorda motorin yakıtının kullanılması sonucu oluşan emisyonlara yönelik olarak gerçekleştirilmiştir.

2. DİZEL MOTOR ve EGZOZ EMİSYONLARI

2.1 Dizel Motor

Dizel motorların kullanım alanları incelendiğinde geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Otomobillerde, ağır iş araçlarında, hava taşımacılığında, tarımda kullanılmaları bu alanların sadece birkaçıdır (Harsh vd. 2019). Dizel motoru 1892’de benzinli motorun icadından sonra Alman mühendis olan Rudolf Diesel tarafından tasarlanmıştır. Bu dizel motorunun patenti 23 Şubat 1893’de alınmıştır (Bosh 2006).

2.1.1 Dizel Motorda Kullanılan Yakıtlar

Dizel motorlara bakıldığında motorin, biyodizel, hidrojen, metanol, etanol gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Motorin dışındaki kullanılan yakıtlarda dizel motorda herhangi bir değişikliğe gerek yoktur. Fakat yaygın olarak kullanılan yakıtlar ele alındığında bunlar motorin ve biyodizeldir.

2.1.1.1 Motorin Yakıtı

Yakıtların görevi aslında yandığında çevreye ısı vermektir. Yakıtların yapısında karbon (C) ve hidrojen (H) atomları vardır. C ve H kendi arasında değişik kimyasal bağlar kurarlar (Bilgen 2000). Motorin ham petrol damıtılarak elde edilir. Genel formülü $C_{15}H_{32}-C_{18}H_{38}$ ’dir (Tac 2016). Motorin yakıtı %29 aromat, %45,5 parafin ve %25,5 naftalin içermektedir. Bu yakıtların yoğunluk, viskozite vb. özellikleri çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Motorinin yakıt özellikleri (Tac 2016).

Özellik	Motorin
Molekül Ağırlık (g/mol)	120-320
Alt Isıl Değer	42.7
Özgül Kütle (kg/l 15.6°C)	0.82-0.86
Kinematik Viskozite (mm ² /s 40°C)	2.5-3.5
Alevlenme Noktası (°C)	55
Kükürt Miktarı (% Kütlesel)	0.05
Su Miktarı (mg/kg)	200
Setan Sayısı	45
Kül (% Kütlesel)	0.01
Kaynama Noktası (°C)	160
Buharlaştırma Noktası (°C)	731
Karbon (% Kütlesel)	-
Hidrojen (% Kütlesel)	-
Oksijen İçeriği (% Kütlesel)	0.0

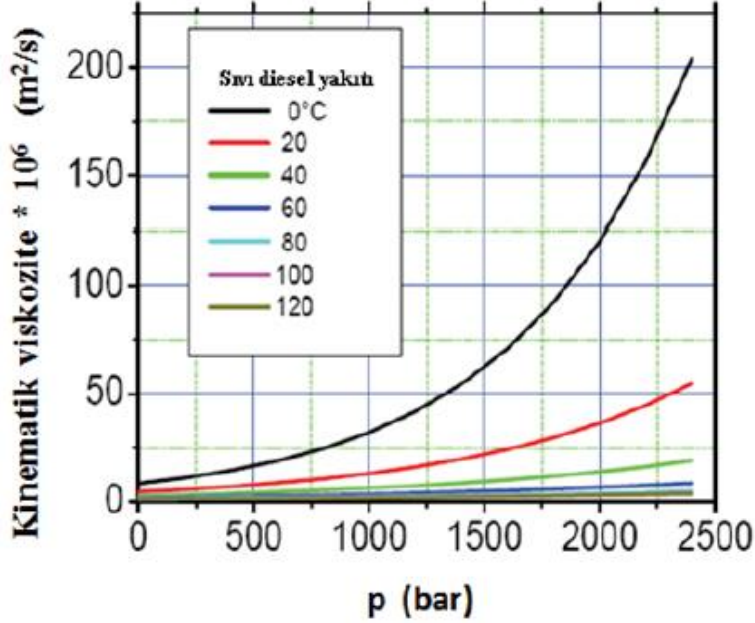
Yoğunluk

Yoğunluk maddenin birim hacmine düşen kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır. Yoğunluk aynı zamanda yakıttaki mevcut olan C-H miktarı hakkında bilgi verip, yakıtın birbirinden ayrışmasını ve tutuşabilme özelliği gibi konularda ön fikir verebilmektedir. Yoğunluk özelliğine bakıldığında bakıldığında, sıcaklık faktöründen çok az etkilendiği görülmektedir (Uçar 2006).

Viskozite

Bu ifadeye bakıldığında sıvıların akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak. Bu özellik yakıt pompası, enjeksiyon sistemi ve yanma gibi olgularda çok önemlidir. Viskozitenin düşük olmasının avantajı olduğu gibi bunun yanı sıra dezavantajı da vardır. Çok düşük viskozite yakıt sistemindeki kaçaklıkları arttırarak ciddi tehlikelere yol açabilir. Viskozitenin yüksek olması yanma olayına etki ederek

verimsizleştirmektedir. Bunun tersi yani viskozitenin düşük olması yanma işlemini verimli hale getirerek egzoz emisyonlarını azaltır. Viskozite sıcaklık ve basınca bağlıdır. Sıcaklık arttıkça viskozite azalır, basınç arttıkça da viskozite artar. Aşağıda verilen Şekil 2.1’de basınç ile kinematik viskozite arasındaki ilişki gösterilmiştir (Saraç 2011).



Şekil 2.1 Kinematik viskozitenin basınç ve sıcaklığa göre değişimi (Saraç 2011).

API Gravite

America petrol enstitüsüne (API) göre yoğunluk ölçme yöntemidir. Yoğunluğa bakıldığında her değeri akılda tutmak zor olduğundan belirli bir eşik değeri belirlenerek kolaylaştırılmıştır. Bu sistemde yoğunluk eşik değeri dediğimiz on ve katları olarak virgülden sonrada iki hane olacak şekilde belirlenmesidir (Acar 2019).

Anilin Noktası

Bu ifade aynı miktarda mevcut olan anilin ve yakıtın minimum çözünme için gerekli olan sıcaklıktır. Motorin yakıtı eşit hacimdeki anilin ile karıştırılarak ısıtılıp soğumaya bırakılır. Soğuma esnasında parafinler yavaşça ayrışır. Bu ayrışma tamamen

sonuçlandığında ise iki katman haline geldiğinde sahip olduğu sıcaklık anilin noktasıdır (Ickes 2009).

Setan Sayısı

Setan sayısı bir yakıtın tutuşabilme özelliğidir. Egzoz emisyonları ve motor gücünü de doğrudan etkiler. Bu özellik yani setan sayısının düşük olması tutuşmanın geç olması demektir. Tutuşmanın gecikmesi parçalarda aşınmaya ve vuruntuya sebebiyet vermektedir. Setan sayısı değerinin çok yüksek olması ise tutuşma gecikmesini azaltarak yanma işleminin enjektörlere yakın gerçekleşmesine, enjektör uçlarının tıkanmasına yol açacaktır (Safgönül vd. 1995). Bu nedenden dolayı setan sayısı alt sınır 40, üst sınır 70 olarak belirlenmiştir (İnt. Kyn. 1).

Diesel İndeks

Motorinde setan sayısı kolay ölçülmediği için bunu kolaylaştırmak ve anlaşılır hale getirmek için diesel indeks denilen bir ifade kullanılmaktadır. Bu ifadeyi hesaplayabilmek için API gravite ve Anilin noktasına ihtiyaç vardır. Bu hesaplama denklem 2.1’de gösterilmiştir.

$$Diesel\ İndeks = (API\ Gravite * Anilin\ Noktası)/100 \quad (2.1)$$

Burada diesel indeksin yüksek olması demek yakıtın tutuşabilirliğinin de yüksek olduğu anlamına gelir. Yani setan sayısı da yüksek diyebiliriz. Setan sayısı ve diesel indeks arasındaki ilişki aşağıda Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (Acaroğlu 2007).

Çizelge 2.2 Diesel indeks ve setan sayısı arasındaki ilişki (Acaroğlu 2017).

Dizel İndeks	Setan Sayısı	Dizel İndeks	Setan Sayısı
0	18	50	50
5	20	55	53
10	24	60	56
15	28	65	59
20	30	70	62
25	34	80	65
30	37	85	68
35	40	90	71
40	43	95	75
45	46	100	78

Isıl Değer

Birim hacim veya kütlelerin meydana getirdiği enerji şeklinde ifade edilir. Motorda oluşan yanma sonu egzoz gazı sıcaklığında olan su sürekli buhar halinde mevcut olduğu için ısıl değer hep alt sınırdadır istenir. Isıl değer motorun enerjisinin de göstergesi olduğu için hep üst sınırdadır istenir.

Kalorifik Değeri

Bu değer önemli bir faktör olup motorun ortaya koyacağı güç miktarı ve kalorifik enerjiyle ilgilidir. Kalori değeri genel olarak kcal olarak ifade edilir. Bu değerlere bakıldığında DİN 51900-3 test yöntemi ile oluşturulduğu görülmektedir (Erçek 2011). Motorin yakıtında bu kalorifik değer, 10 900 Kcal/kg üst sınır olarak belirlenmiş olup alt sınır değeri ise 10 100 Kcal/kg olarak belirlenmiştir (İnt. Kyn. 2).

Donma Noktası

Yakıt soğuduğunda içindeki parafin dediğimiz maddenin kristalleşmesi sonucu bulanıklık meydana getirerek yakıtın akıcılığının kaybolmasına neden olacaktır. Bu

kristalleşen parafin sorunu motorda aşınmalara neden olup ciddi ölçütte arızalara yol açacaktır. Bu sorunun ortadan kaldırılması maliyetli olup herhangi işlem yapılamamaktadır. Bu yüzden donma noktası çok önemli bir faktördür (Soh vd. 2018).

Akma Noktası

Bu etmen aynı zamanda katılaşma noktası da olarak bilinir. Bu faktörün önemli olmasının nedeni katılaşma çok fazla olduğu takdirde yanma için gereken yakıt sağlanamayacağı için motor görevini yerine getirmeyecektir. Bu faktörde donma noktasında olduğu gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Motora zarar vererek motor ömrünü kısaltacaktır. Bundan dolayı akma noktasının güvenli olarak taşınabilmesi ve motorun ömrünü artırması için yaklaşık olarak ortam sıcaklığından 5°C ila 100°C daha az olması beklenir.

Alevlenme Noktası

Buharın ilk tutuşmaya başladığı andaki yakıtın sahip olduğu mevcut sıcaklıktır. Bu sıcaklığın yüksek olması yanma işlemini zorlaştıracaktır fakat bu aynı zamanda yakıtın taşınması ve saklanması aşamasında kolaylık sağlayacaktır. Motorinlerin parlama noktasının 74°C olduğu bilinmektedir (Thilagan 2014).

Destilasyon

Diğer bir adı ile uçuculuktur. Motorinin tam yanması, kolay çalışması ve daha az emisyonlu bir yanma için gerekli olan bir özelliktir. Destilasyon değerinin az olması yanmanın daha iyi ve az dumanlı olduğunun göstergesidir (Nişancı 2007).

Kükürt Miktarı

Motorinde bulunan kükürt istenmeyen bir durumdur. Egzoz sisteminde ve emme sistemindeki aşınmalara sebep olabilir. Motorin üretiminde kükürtsüz yakıt yapılamaz fakat bu oranı en aza indirmek gerekir. Kükürt'e (S) bakıldığında oksijen (O) ile

birleşerek kükürt dioksit (SO_2) veya kükürt trioksit (SO_3) meydana getirdiği görülmektedir. Oluşan SO_3 su (H_2O) ile birleşerek sülfirik asite (H_2SO_4) dönüşmektedir (Tillem 2005).

Kül Miktarı

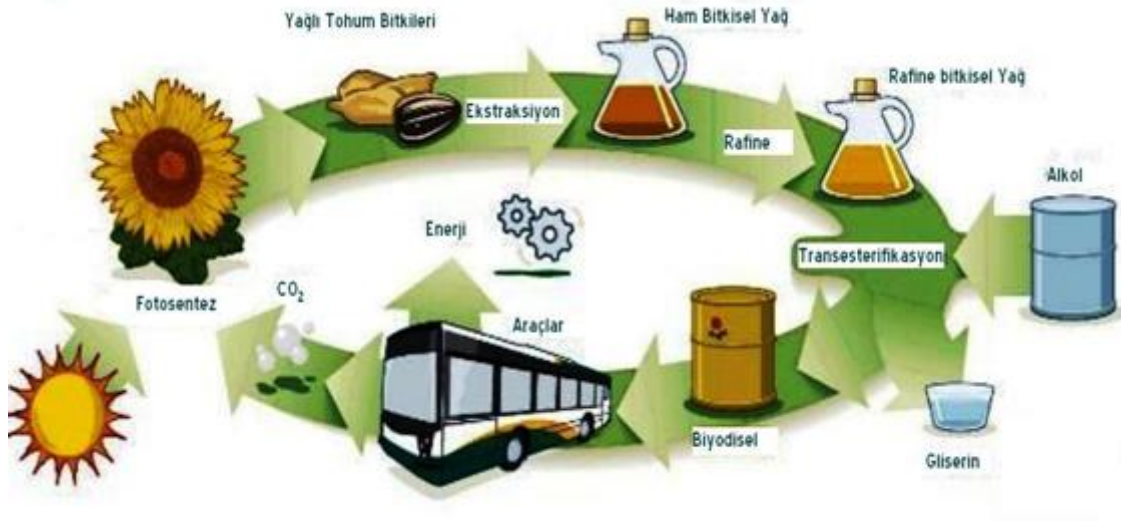
Bu faktör bize yanma işlemi gerçekleştikten sonra arda kalan maddelerin miktarını gösterir. Yakıtlarda bu özelliğin oldukça minimum seviyede olması istenir. Bu kül kalıntısı oranının en fazla %0,01 olması gerekmektedir (Azi 2017).

Yakıttaki Kül Miktarı

Yakıtlarda su olması yanmanın düzensiz olmasını ve oluşan ısı değerinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Yakıttaki su miktarının fazla olması soğuğa karşı dayanıklılığı da azaltır. Yakıtta bulunan su belirli bir oranda olduğu sürece zararı yoktur. Belirli orandaki su NO_x emisyonunu azaltmaktadır (Erçek 2011).

2.1.1.2 Biyodizel Yakıt

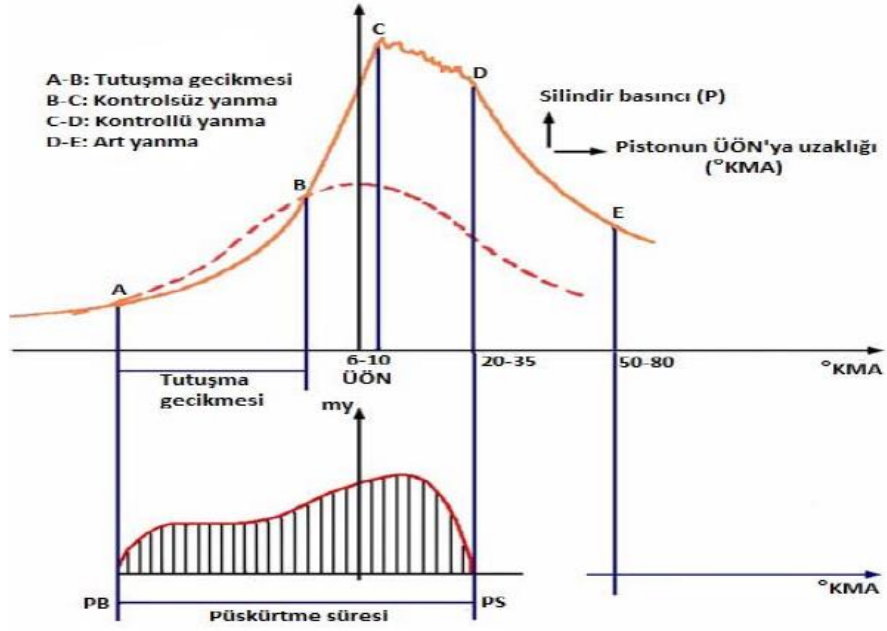
Kısaca tanımına bakılacak olursa, hayvansal veya bitkisel yağların alkol ile birlikte uygun katalizör eşliğinde tepkimeye sokulmasından elde edilen üründür (Alptekin vd. 2006). Biyodizel birçok yöntemle üretilebilir. Fakat günümüzde en yaygın yöntemlerden birisi de transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntem alkoliz yöntemi olarak da bilinir (Tillem 2005). Biyodizel yakıtlara bakıldığında diğer mevcut yakıtlara göre daha az emisyon değerlerine sahip oldukları görülür fakat NO_x emisyon değerleri için aynı durum söz konusu değildir (Berrios ve Skelton 2008). Bu yakıtlar incelendiğinde, genel olarak dizel motora herhangi bir değişiklik yapmadan da yakıt olarak kullanılabilirdiği görülmektedir (Temizer vd. 2020). Aşağıda verilen Şekil 2.2'de biyodizel döngüsü verilmiştir.



Şekil 2.2 Biyodizel döngüsü (İnt. Kyn. 3).

2.1.2 Dizel Motorda Yanma

İçten yanmalı motorlarda kimyasal enerjiyi ısı enerjisine, ısı enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi ise kinetik enerjiye dönüştüren bir sistem mevcuttur. Bu işlemler bizim yanma dediğimiz olay ile gerçekleşir. Yanma reaksiyonu O_2 varlığında gerçekleşmektedir (Safa 2006). Bu zamana bakıldığında, dizel motorlarda yakıtın enjekte edildiği andan itibaren başlayıp egzoz zamanının başlamasına kadar ki zaman aralığının yanma sürecini kapsadığı söylenebilir (Ünal 2006). Bu yanma süreci ise aşağıda verilen Şekil 2.3'deki gibi 4 bölümde incelenebilir.



Şekil 2.3 Dizel motorda oluşan basınç-krank açısı ve püskürtme seyri (Eliçin 2011).

2.1.2.1 Tutuşma Gecikmesi Süreci

Bu süreç kısaca yakıtın ilk olarak püskürtülmesi ile başlar ve yanmanın başlaması ile son bulur. Tutuşma gecikmesi genel olarak yakıtın kalitesine, sıcaklığa, basınca ve yanma odasının şekline bağlıdır. Sıcaklık ve basıncın yüksek olması bu süreyi kısaltır. Silindir içerisine yakıtın ilk enjekte edilmesiyle hava ile yakıt karışır ve ilk olarak zengin karışım yani yakıtın yoğun olduğu bölgelerde yanmaya başlar. Bu süreçte karışımın homojen olması da tutuşma gecikmesi süresini azaltacaktır. Tutuşma süreci uzadığı takdirde de silindir içerisine giren yakıt miktarını arttıracığından ani patlamaya sebebiyet vererek dizel motorlarda vuruntuya neden olacaktır (Erçek 2011). Şekil 2.3'e bakıldığında püskürtmenin başlamasıyla A noktasından B noktasına kadar geçen sürece tutuşma gecikmesi denir. Bu şekilde kesikli çizgi ile gösterilen eğri havanın, sürekli çizgi olan eğri ise hava-yakıt karışımının basınç-krank açısı değerleridir (Çavgun 2019).

2.1.2.2 Ani Yanma Süreci

Birinci süreçte yakıt silindirlere girer ve buharlaşır. Bu süreçte daha küçük parçacıklara bölünerek hava ile homojen bir karışım oluşturmaktadır. Bunun sonucunda oksijen ile

temas halinde ani yanma gerçekleşir ve daha önce bahsedildiği gibi vurutuya sebep olur (Borat vd. 1994).

2.1.2.3 Kontrollü Yanma Süreci

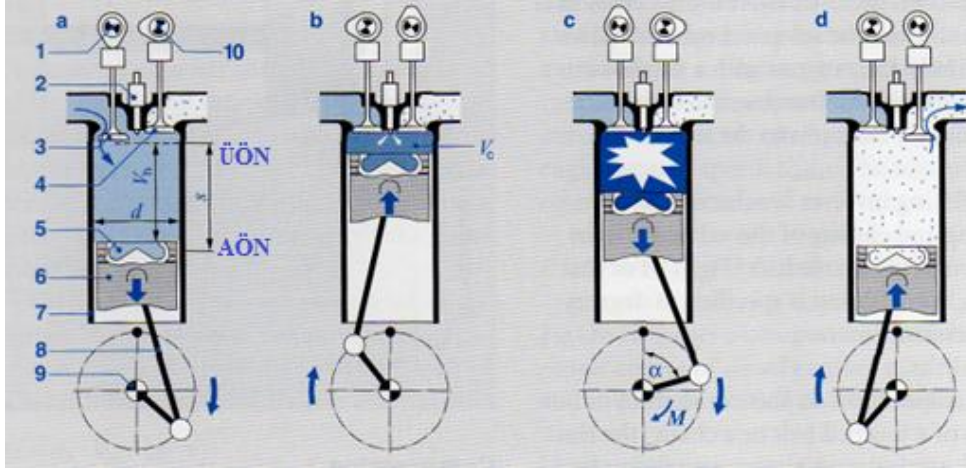
Kontrollü yanma sürecinden önce, tutuşma gecikmesi sürecinde püskürtülen yakıt ani yanma ile tamamen yanmış olacak, devam eden süreçte yüksek basınçla püskürtülen yakıt oksijen ile yüksek sıcaklık etkisi altında hemen tepkimeye girerek yanacaktır. Tamda bu sırada artık kontrollü yanma sürecine geçilmiş olacaktır. Kontrollü yanmada, yanmanın olabildiğince ÜÖN civarında olması istenir ve kontrollü yanmanın bu konumda olması verimin yüksek olmasını sağlayacaktır (Aktaş vd. 2010).

2.1.2.4 Art Yanma Süreci

Adından da anlaşılacağı gibi bu süreçte bir miktar yanmamış yakıt bulunur. Bu yakıtın genişleme esnasında yanması için bir miktar hava girişi sağlanarak yanma işlemi gerçekleşir. Verimin yüksek olması istendiği için bu sürenin çok kısa olması gereklidir. Bu süreç uzadığında aşırı sıcaklıktan dolayı silindir kapağında ve piston başında aşınmaya, segman yuvalarında emisyonların oluşmasına sebebiyet verecektir (Aktaş ve Sekmen 2008).

2.1.3 Dizel Motorun Çalışması

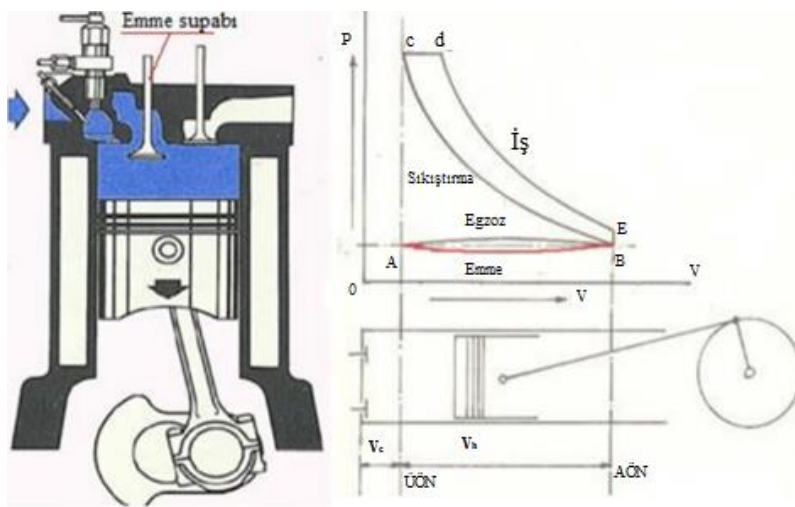
Dizel motorlar genelde dört zamanlı ya da iki zamanlı çalışmaktadır. Günümüzde dört zamanlı motorlar ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bu analizde şekil 2.4 de gösterildiği gibi dört zamanlı bir dizel motoru kullanılmıştır (Bosh 2006).



Şekil 2.4 Dört zamanlı bir dizel motorunun çalışma evreleri (Bosch 2006).

2.1.3.1 Emme Zamanı

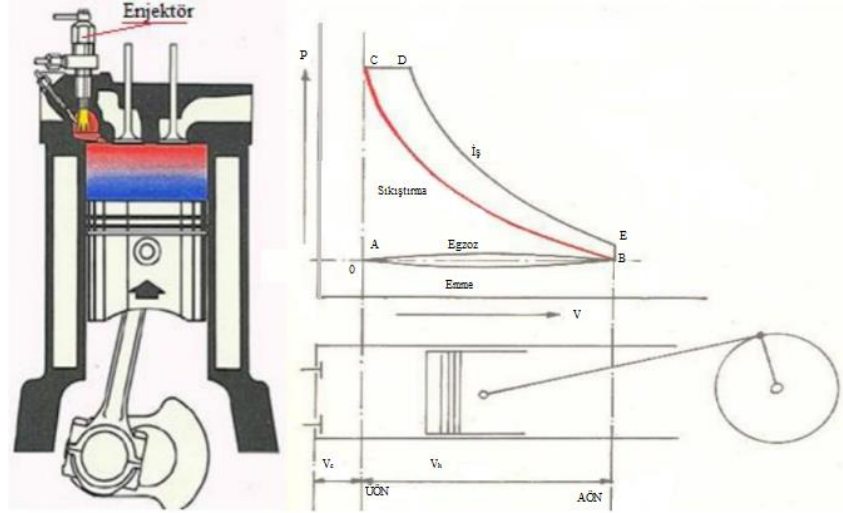
Bu zamanlara en basit haliyle bakılacak olursa, burada piston ÜÖN'de iken AÖN'ye doğru hareket eder. Tabii bu geçiş egzoz valfinin (4 numaralı valf) açılması ile sağlanır. Silindir içi basınç yaklaşık 0,085 ile 0,095 MPa arasında olur. Buradaki önemli noktadan biri emme supabının ÜÖN'den daha önce açılması ve AÖN'den sonra kapanmasıdır. Bu işlemdeki amaç silindir içerisine daha fazla hava girişi sağlamaktır. Aşağıda verilen Şekil 2.5'e bakıldığında Dizel çevriminde emme zamanı görülmektedir.



Şekil 2.5 Emme zamanı ve dizel çevrimi (İnt. Kyn. 4).

2.1.3.2 Sıkıştırma Zamanı

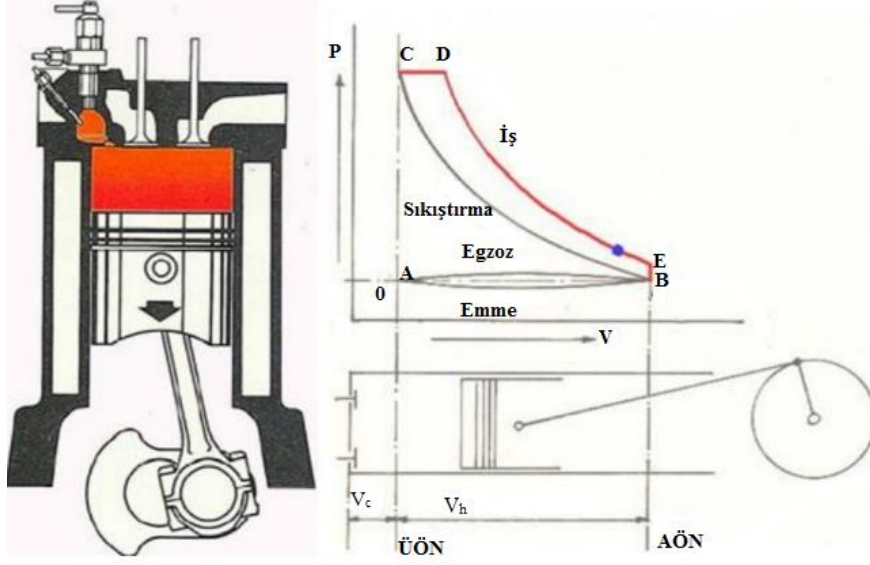
Emme zamanı bitiminin ardından silindir içine alınan hava AÖN'den, ÜÖN'ye doğru silindir içinde sıkıştırılır. Silindir içinde sıkıştırılan havanın basıncı 0,085-0,095 MPa'dan 3,0-5,0 MPa'a kadar yükselir. Bununla birlikte sıcaklık 900-1200 K'i bulur. Aşağıda verilen Şekil 2.6'da sıkıştırma zamanı ve dizel çevrimi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Sıkıştırma zamanı ve dizel çevrimi (İnt Kyn. 4).

2.1.3.3 Yanma Zamanı

Sıkıştırma zamanından sonra basıncı ve sıcaklığı yükselen havaya motorin yakıtı püskürtülerek yanma işlemi gerçekleşir. Burada oluşan enerji basınç ve sıcaklıkla doğru orantılıdır. Basınç pistonu aşağı doğru yani AÖN'ye doğru iter. Açığa çıkan kimyasal enerji yerini kinetik enerjiye bırakır. Bu kinetik enerji krank mili tahriki ile döndürme kuvvetine çevirmiş olur (Keleş 2012). Aşağıda verilen Şekil 2.7'de yanma zamanı ve dizel çevrimi görülmektedir.



Şekil 2.7 Yanma zamanı ve dizel çevrimi (İnt. Kyn. 4).

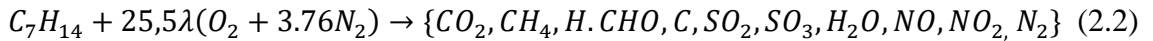
2.1.3.4 Egzoz Zamanı

Burada yakıt-hava karışımının yanması sonucunda art gazlar yani yanma sonu ürünler egzoz subabı açılarak dışarıya atılır. Egzoz zamanında piston AÖN'den ÜÖN'ye hareketini gerçekleştirir. Burada önemli noktalardan biri de egzoz supabının AÖN' dan daha önce açılması ve ÜÖN'den sonra kapanmasıdır. Bu çalışma şekliyle egzoz gazlarının daha kolay bir şekilde dışarı atılması sağlanmaktadır. Bu zamanın da tamamlanmasının ardından motor çevrim periyodunu tamamlamış olur (Çakır 2007).

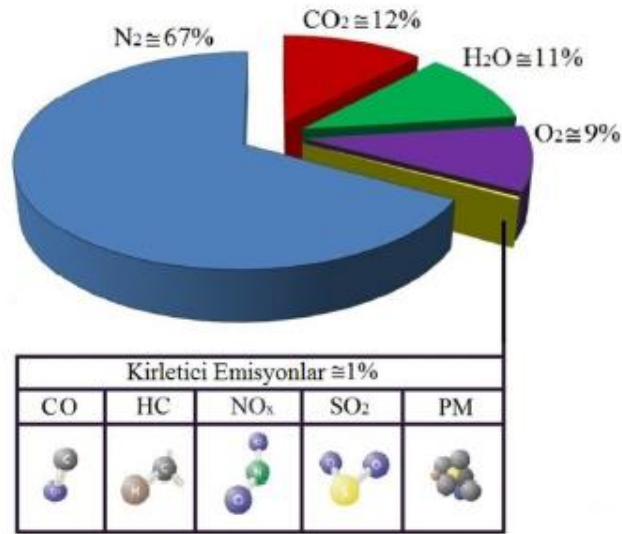
2.2 Egzoz Emisyonları

2.2.1 Egzoz Zamanı Oluşan Emisyonlar

Egzoz zamanı sonrasında motorinin O_2 ile yani hava varlığında yanması sonucunda normalde H_2O ve CO_2 oluşması gerekirken bazı durumlara göre yan ürünlerde oluşmaktadır. Bu oluşan yan ürünler insan sağlığını ve çevreyi etkileyen istenmeyen ürünlerdir. Motorinin hava eşliğinde yanması denklem 2.2'de gösterilmiştir.



Burada ortaya çıkan emisyonlara bakıldığında, Dizel motorların CO ve HC emisyonlarının benzin motorlarına göre düşük olduğu, NO_x bakımından incelendiğinde ise dizel motorların daha fazla NO_x emisyonu oluşturduğu söylenebilir. Bu oluşan emisyonlar göz önünde bulundurulduğunda, NO_x, SO_x, CO, HC ve partikül madde emisyonlarının incelenmesiyle ilgili konuların büyük öneme sahip olduğu görülmektedir. Aşağıda verilen Şekil 2.8’de dizel motorda emisyonların dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.8 Dizel motorda emisyonların dağılımı (Reşitoğlu vd. 2015).

2.2.1.1 NO_x Emisyonları ve Oluşum Mekanizması

NO_x emisyonları incelendiğinde NO₂, N₂O₂, NO ve buna benzer şekilde oluşumların gerçekleştiği görülür. Bunlardan en çok çevreye ve insana zararı olanlar NO_x ve NO emisyonlarıdır. NO_x emisyonları çevre için de çok zararlıdır. Aerosol ve fotokimyasal duman oluşumuna neden olmakta ve ozon tabakasına da zarar vermektedir (Kaytakoğlu 1995). Bu emisyonların önemli olmasının nedeni insanlarda da çok ciddi solunum sorunlarına yol açmasıdır. O₂ ve N₂, sıcaklık 1800 K ve üzerine çıktığında birleşerek NO_x emisyonlarını oluşturmaktadırlar (Amin 2009). NO_x emisyonlarının oluşumuna bakıldığında bunu üç başlık altında inceleyebiliriz.

Isıl veya Zeldovich Oluşum Yöntemi

NO_x emisyonları olarak adlandırdığımız, NO ve NO₂ emisyonlarından silindir içerisinde üretilen en fazla emisyon NO'dur. Bu emisyonun kaynağına bakacak olursak havada mevcut olan moleküler haldeki azotun neden olduğunu söyleyebiliriz. Aşağıda verilen Zeldovich Mekanizması denklem 2.3, 2.4 ve denklem 2.5'de moleküler azottan NO'nun nasıl meydana geldiği gösterilmiştir.



2.3 nolu denklemde NO'da oran limitli bir tepkimedir. Bunun nedeni ise aktivasyon enerjisinin çok yüksek olmasıdır. Bu enerji yaklaşık 320 kJ/mol'dür. Sıcaklık da önemli bir faktördür. Aktivasyon enerjisi ve O₂'nin birbirinden ayrılmak istemesi için önemlidir. NO'nun oluştuğu zaman, hem alev sonrası hem de alev önünde gerçekleşebilir. Bundan dolayı alev reaksiyon bölgesine bakıldığında çok ince yani yaklaşık 0,1 mm olduğu görülür.

Ani veya Fenimore Oluşum Yöntemi

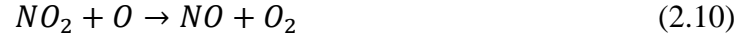
Adının da ani olmasından anlaşılacağı gibi yakıt oranının fazla olduğu yani zengin karışım bölgesinde aniden gerçekleşir.



2.6 nolu denklemde oluşan N'ye baktığımızda, NO haline dönüşeceği düşünülür. Dizel motorlarda oluşan NO₂ emisyonları diğer araçlardan kaynaklanan emisyonların yaklaşık %10 ile %30'unu oluşturmaktadır. NO emisyonuna baktığımızda alev bölgesinde çok hızlı bir şekilde NO₂ emisyonuna dönüştürülebilir. Bu dönüşümün denklemi aşağıdaki denklem 2.9'da görülebilir.



Daha sonra oluşan bu NO₂ bileşiğinin NO bileşiğine dönüşmesi ise 2.10 nolu denklemde gösterilmiştir.



Bu alev bölgesinde oluşan emisyon soğuk akışkanla karıştırılarak azaltılabilir. Bu ifadeye bakılarak dizel yakıttan kaynaklanan NO₂ ve NO değerlerinin yüksek olduğu ve bunu azaltmak için çalışma alanının hafif motor yükü bölgesi olduğu söylenebilir.

Yakıttan Kaynaklanan NO Oluşum Yöntemi

Yakıtların çoğuna bakıldığında içlerinde organik azot bulduklarını söylenebilir. Bu azotlu bileşikler NO_x emisyonlarını oluşturmaya eğilimlidirler. Yakıt içeriğinde NH₃, NH veya CN, HCN'lerin bulunması sonucunda NO_x emisyonları oluşabilmektedir (Fernando vd. 2006).

2.2.1.2 SO_x Emisyonları

Bu emisyonlar yakıttaki kükürt ve yağlamada kullanılan yağdaki kükürten oluşmaktadır. Bu emisyonların azaltılması için yakıt içinde bulunan kükürt oranının azaltılması gerekmektedir. Bu emisyon aynı zamanda sülfürik asit (H₂SO₄) oluşturup motor yağının kimyasını bozarak aşınma artışına sebep olmaktadır (Challen ve Baranescu 1999). Bu emisyon yakıtta bulunan kükürt oranına bağlıdır. Bu değerler 2000 yılında m³ başına 350 ppm ve 2005 yılında ise 50 ppm olarak ölçülmüştür. Bu değerler 2005

yılından sonra daha da düşürülerek kükürtsüz yakıtlar mevcut iken 2009 yılından sonra zorunlu kılınmıştır (Christine 2006).

2.2.1.3 CO Emisyonları

CO emisyonu eksik yanma sonucunda ortaya çıkan bir egzoz emisyonudur. Bu emisyon hava\yakıt oranına bağlıdır. Zengin karışım olduğunda yakıt miktarı fazla olacağından CO emisyonunda fazla olacaktır. Bu oluşan emisyonda diğer emisyon türleri gibi insan sağlığına zarar vermektedir (Agarwal vd. 2006). CO emisyonuna maruz kalındığında insan kanındaki hemoglobinle birleşerek oksijen taşınımını zayıflatmaktadır ve bu insanlarda çeşitli sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Diler 2006). Bu emisyonun oluşumuna bakılacak olursa; 2.11 nolu denklemde bu oluşum aşağıdaki gibi gösterilmiştir.



Denklemdaki R radikal bir hidrokarbon örneğidir. Bu denkleme göre oluşan CO oksitlenerek düşük oranlarda CO₂ emisyonuna dönüşür.



Bu dönüşüm mekanizması denklem 2.12'de gösterilmiştir (Aydoğan 2008).

2.2.1.4 HC Emisyonları

Eksik yanmadan kaynaklı emisyonlardan birisi de hidrokarbon (HC) emisyonudur. Hidrokarbon emisyonunun oluşmasının bir başka nedeni ise yakıttaki buharlaşmadır. Bu emisyon insanlarda zehirleyici özellik gösterebilir ve kansere neden olabilir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında bu emisyonların oluşum şu şekilde sıralanabilir;

- Yanma odasındaki mevcut boşluklara yakıt-hava karışımının nüfuz etmesi,
- Karışımın heterojen olması,
- Yatak ve supaplardaki boşluklar (Alkaya ve Yıldırım 2000).

2.2.1.5 Partikül Madde Emisyonları

Dizel motorlarda daha çok rastlanan bu emisyon, zengin karışım olduğunda benzinli motorlarda da karşımıza çıkmaktadır. Bu partikül madde (PM) emisyonu, gaz fazda olan ağır HC'lerin fazla zengin karışımın olduğu yerde yüksek sıcaklığın etkisi ile yoğunlaşarak birleşmesiyle oluşur. Aynı zamanda bu emisyonda diğer emisyonlar gibi tam yanmanın gerçekleşmemesi ve yağ zerreciklerinin bir araya toplanmasıyla da oluşur. Sağlık açısından bakıldığında kanser oluşumuna ve solunum hastalıklarına neden olmaktadır (Amin 2009).

Genel olarak bakıldığında dizel araçlarda oluşan egzoz emisyonları bunlardır. Bu emisyonların içinde en önemlisi NO_x emisyonudur. Başta insan sağlığı olmak üzere çevreyi de olumsuz olarak etkilemektedir. Bu emisyonlara etki eden birçok etken bulunmaktadır.

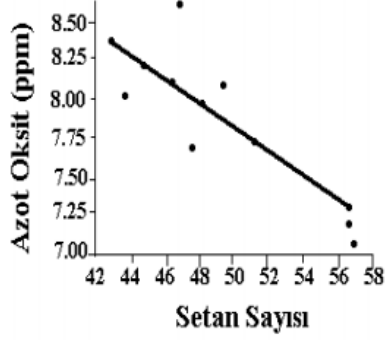
2.2.2 Dizel Motorda NO_x Emisyonlarına Etki Eden Faktörler

Bu faktörlerin egzoz emisyonları ile arasında doğru orantı bulunurken bazıları ile arasında ters orantı vardır. Bu faktörler ve etkileri aşağıda belirtildiği gibidir.

2.2.2.1 Yakıtın Kalitesi

Yakıtın kalitesini en önemli faktör setan sayısıdır. Bu ifade yakıtın kendi kendine tutuşabilme özelliğini gösterir. Setan sayısı yakıtın kaynama noktası ile yakıttaki mevcut aromatik içeriği de etkilemektedir (Jeong ve Kang, 2000). Düşük setan sayısı olduğunda tutuşma gecikmesi olacağından emisyon olumsuz etkilenecektir (Oh vd. 2003). Yüksek setan sayısına sahip yakıtlarda bu durum tam tersidir. Setan sayısı arttıkça tutuşabilme özelliği artacağından emisyon değerlerinde de azalma meydana gelecektir. Aynı zamanda setan sayısının yüksek olmasından kaynaklanan yakıtın yanma odasında daha küçük sıkıştırma oranı ile çalışması motor sesini de önemli ölçüde azaltacaktır. Setan sayısı dizel motorlarda 40 ile 60 değerleri arasında olmalıdır. Daha düşük ve daha yüksek değerlerde olması motoru olumsuz yönde etkiler. Setan sayısı ve emisyon değerleri ile arasında ters bir orantı vardır. Setan sayısı artış gösterdiği takdirde

emisyona değerlerinde dūřuř yaşanır (Uzun 2020). Aşağıda verilen Őekil 2.9’da NO_x emisyonlarının setan sayısı ile değişimi verilmiştir.



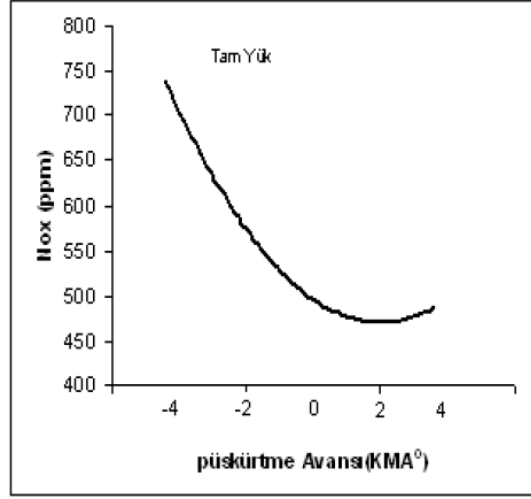
Şekil 2.9 NO_x emisyonlarının setan sayısı ile değişimi (Eliçin 2011).

2.2.2.2 Karışım İğerisindeki Oksijen Konsantrasyonu

Azot gazı (N₂) oksijen ile 1800 K ve űzeri sıcaklıklarda tepkimeye girmesi sonucunda NO_x emisyonlarını oluşturur (Merker ve 2006). Oksijenin artması yanmayı iyileştirip, yanma sonu sıcaklık ve basıncın artmasına neden olur. Bu nedenden dolayı O₂ konsantrasyonu artıkça NO_x emisyonlarında artış gstermektedir (Rakopoulos 2009).

2.2.2.3 Pūskūrtme Zamanının Etkisi

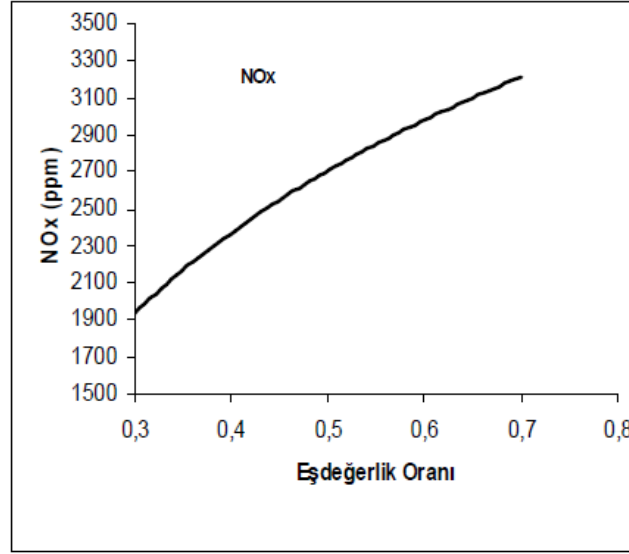
Pūskūrtme zamanı dizel araęlar ięin en temel faktörlerden biridir (Yahya ve Marley 1994). Bu faktör, pūskūrtmenin bařladıęı zamanın biraz daha erken geręekleřmesi tutuřma gecikmesini artırır. Bu artıř sonucunda silindirlere pūskūrtūlen yakıt daha fazla olacaktır. Bu tutuřma gecikmesinin artıřı ile birlikte ani yanma evresinde birim krank derecesine etki eden basınc ařırđ miktarda artıř gsterir. Basınc ve sıcaklıęında artması ile NO_x emisyonunda artıř olacaktır (Hařımoęlu ve İęingūr 2000). Pūskūrtmenin daha geę yapıldıęı durumda, basınc ve sıcaklıęı azalttıęı ięin NO_x emisyonunu azaltmıř olacaktır (Kegl 2006). Ařaęıda verilen Őekil 2.10’da NO_x emisyonunun KMA ile deęiřimi gsterilmiřtir.



Şekil 2.10 NO_x emisyonunun KMA ile değişimi (Haşimoğlu ve İçingür 2000).

2.2.2.4 Eş Değerlik Oranının Etkisi

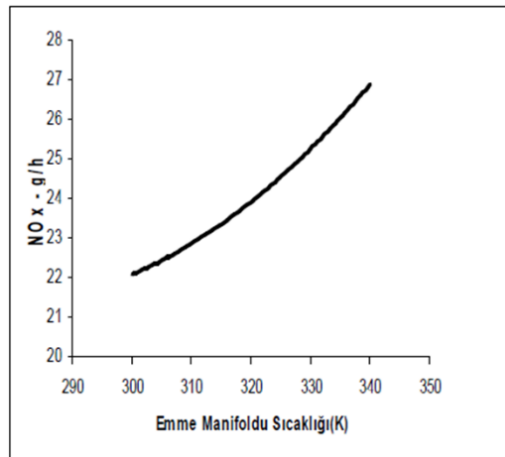
NO_x emisyonu HFK'dan önemli ölçüde etkilenmektedir. Zengin karışımda yani yakıt oranının hava oranından daha fazla olduğu takdirde NO_x emisyonu artış gösterecektir. Bunun tam tersi bir durumda fakir karışımda NO_x emisyonu azalacaktır (Maurya ve Agarwal 2011). Eşdeğerlik oranına bakıldığında ise HFK'nın tersi alınarak hesaplanmaktadır. Bu demek oluyor ki eşdeğerlik oranı artış gösterdiğinde karışım zenginleşiyor, eşdeğerlik oranı azaldığında ise karışım fakirleşiyor (Sert 2008). Bu bilgiler göz önünde bulundurularak aşağıda verilen Şekil 2.11'de NO_x emisyonunun eşdeğerlik oranı ile artışı verilmiştir (Yurttaş 2013).



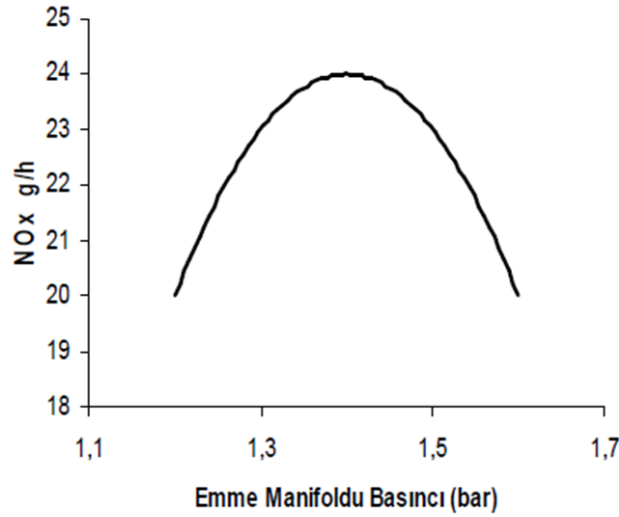
Şekil 2.11 NO_x emisyonunun eşdeğerlik oranı ile artışı (Yurttaş 2013).

2.2.2.5 Dolgu Sıcaklığı ve Basıncın Etkisi

Bu iki faktöre de bakıldığında NO_x emisyonunu doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık ve basınç arttırıldığı takdirde oluşan hızlı kimyasal tepkimeler sonucunda yanma daha erken gerçekleşir. Bu durum tutuşma gecikmesini kısaltır (Saxena ve Bedoya 2013). Oluşan bu etkiler basınç ve sıcaklığın artmasıyla NO_x emisyonlarını artırır. Bu artış Şekil 2.12’de ve Şekil 2.13’de verilmiştir.



Şekil 2.12 NO_x'e emme manifoldu sıcaklığının etkisi (Yurttaş 2013).

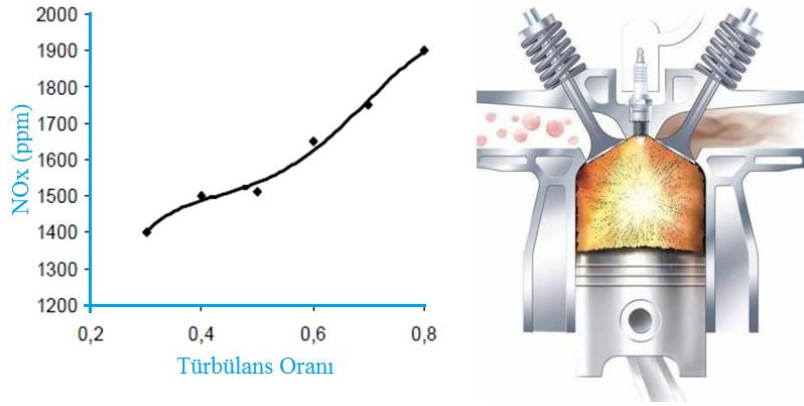


Şekil 2.13 NO_x'e emme manifoldu basıncının etkisi (Yurttaş 2013).

Şekil 2.13'de belirli bir basınç artışından sonra NO_x emisyonu artış göstermeyerek bunun tersi azalmıştır. Bunun sebebi aşırı basınç artışında aynı miktarda yakıt püskürtüldüğü düşünülürse aşırı bir fakir karışım olacaktır ve NO_x emisyonunda azalma olacaktır (Eliçin 2011).

2.2.2.6 Yanma Odasındaki Türbülansın Etkisi

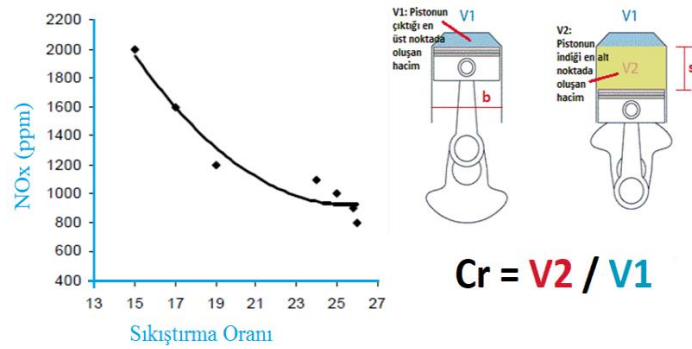
Türbülans oranı, hava/yakıt ve yakıt buharlaşmasına önemli ölçüde etkir. Bunun dışında motorun sıkıştırma esnasındaki püskürtme sıcaklığını ve silindir cidarında gerçekleşen ısı transferini etkilemektedir. Bu oran normal çalışma da tutuşma gecikmesine çok az etki etmektedir. En önemli etki motorun ilk çalışma esnasındadır. Bu esnada yüksek buharlaşma ve karışım elde edilmektedir. Türbülans oranı azaltıldığı takdirde hava ile yakıtın karışım oluşturması için gereken süre artmış olur ve yakıttaki mevcut O₂ miktarı azalır. Bunun sonucu olarak sıcaklık çok ciddi anlamda yükselmez ve NO_x emisyonunda azalma olur (Newton vd. 1996). Şekil 2.14'de NO_x'e türbülans oranının etkisi görülmektedir.



Şekil 2.14 NO_x'e türbülans oranının etkisi.

2.2.2.7 Sıkıştırma Oranının Etkisi

Kısaca tanımlanırsa pistonun indiği AÖN'de oluşan hacmin, pistonun çıktığı ÜÖN'ye oranına sıkıştırma oranı denir. Sıkıştırma oranının artışına bağlı olarak, silindir sıcaklığının artması tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Bu oluşumlara bağlı olarak sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte NO_x emisyonunda azalma olmaktadır (Alper vd. 2019). Bu artış aşağıda verilen Şekil 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 NO_x'e sıkıştırma oranının etkisi.

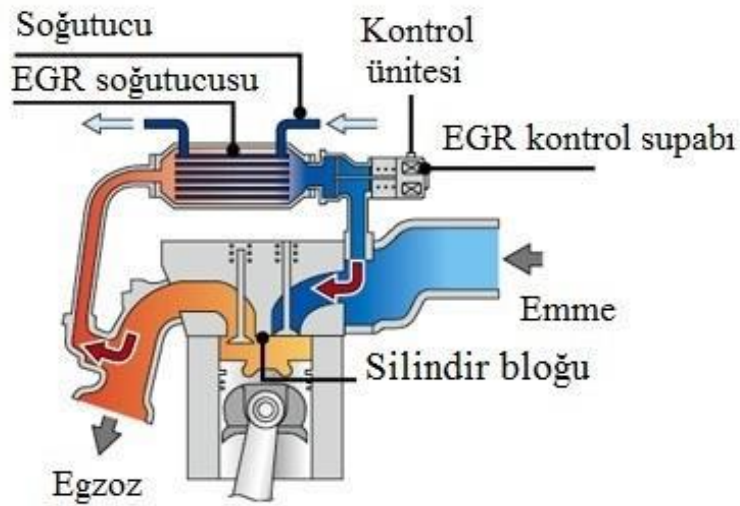
2.2.3 Dizel Motorlarda NO_x Emisyonlarını Azaltan Sistemler

İçten yanmalı motorlarda oluşan bu emisyonlar insan ve çevre açısından çok zararlıdır. Bu emisyonlar kontrol altına alınmadığı sürece çok daha tehlikeli bir duruma gelecektir.

Bundan dolayı araştırmalar yapılarak NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik sistemler yapılmıştır (Uyumaz vd. 2017).

2.2.3.1 EGR (Egzoz Gazı Resirkülasyonu)

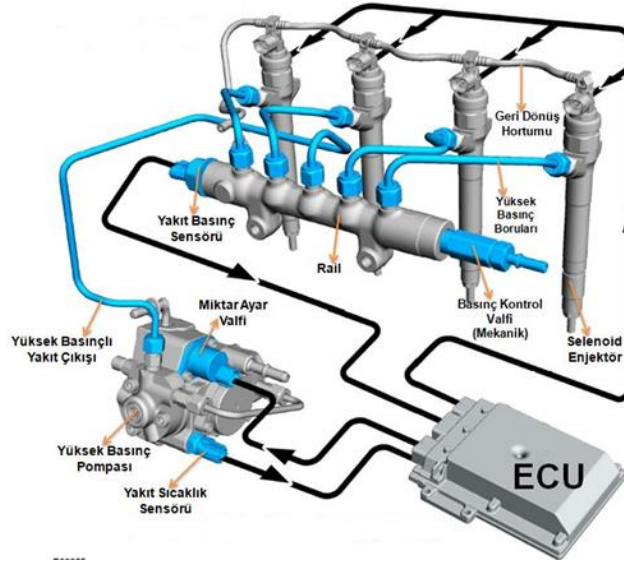
Dizel araçlarda NO_x emisyonunu en çok etkileyen faktör sıcaklıktır. Sıcaklık ne kadar fazla ise NO_x oluşumu da o kadar fazla olacaktır (Kouremenos vd. 2001). EGR sistemi, NO_x emisyonunu önemli ölçüde düşüren yöntemlerden biridir (Sher 1998). Bu sistem yanmış olan egzoz gazlarını alınan hava ile birlikte yeniden silindir içersine göndermektedir. EGR ile silindire geri gönderilen egzoz gazı taze hava dolgusu ile karışarak ve yanmayı bir miktar zayıflatarak yanma sonucu meydana gelen sıcaklığı düşürmektedir. Bunun sonucunda da NO_x emisyonunda azalma olmaktadır (Lazaro 2002). şu anda mevcut EGR sistemine bakıldığında soğutucu vardır. EGR oranının artırılması volümetrik verimde düşüşe neden olmaktadır (Hountalas vd. 2006). Yeni yapılan çalışmalar bu sistemin dezavantajlarını en alt seviyeye indirmektedir. Zengin karışım da bile düşük emisyon elde edilmesi bunlardan biridir. Aynı zamanda düzenlenmiş kinetik yanmada yakıtta artma olmadan eş zamanlı olarak ön karışımly yanma olayını gerçekleştirerek EGR oranının artmasında mevcut O₂ yoğunluğunu azaltarak NO_x'i azaltmıştır (Kimura vd. 2001). Bu sistem aşağıda verilen şekil 2.16'daki gibidir.



şekil 2.16 EGR sistemi (Uyumaz vd. 2017).

2.2.3.2 Common Rail Teknolojisi

Common rail sistemi gelişmiş bir yakıt püskürtme sistemidir. Bu sistemin en büyük avantajı püskürtme süresini ve basıncını önemli bir ölçüde değiştirmeye olanak sağlar. Bu durum basınç oluşturma ve yakıt püskürtme sisteminin tamamen bağımsız hale gelmesiyle sağlanmıştır. Bu sistemde pompa yardımı ile gönderilen yakıt filtreden geçerek ortak hatta ulaşır ve yakıt sıkıştırılır. Burada basınç yaklaşık 1100 ile 2200 bar arasındadır. Ortak hatta motorun yakacağı maksimum yakıt gönderilir. Normal devirlerde ve rölanti devirlerinde kullanılmayan yakıt ortak hattaki basıncın artışı sayesinde, basınç ayar valfinin açılması ile geri dönüş borusu yardımıyla yakıt deposuna iletilir. Common rail ile düşük motor devri ve yüksek motor devirlerinde dahi püskürtme basıncında artış sağlamak mümkündür. Bu sistem ile hem yakıt ekonomisi sağlanır hem de en önemli olan NO_x emisyonu azaltılır (Aydın ve Aktaş 2016). Bu sistem ve elemanları aşağıda Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

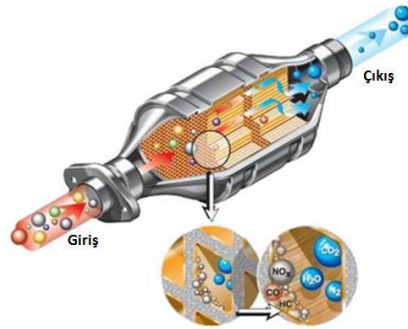


Şekil 2.17 Common rail sistemi ve elemanları (İnt. Kyn. 5).

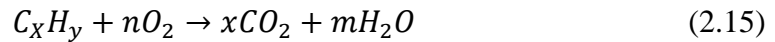
2.2.3.3 Katalitik Konvertör (Oksidasyon Katalisti)

Bu sistem ile motorda yanma sonrasında oluşan emisyonların zararsız hale gelmesi sağlanır. Aynı zamanda oksidasyon katalisti olarak adlandırılmaktadır. Emisyon

değerlerinin dengede tutulması için bu sistemin kullanılması zorunludur. Katalizörün yapısı bal peteği gibi kanallardan oluşmakta ve bu kanallarda platin, paladyum, radyum ve seryum gibi metaller kullanılmaktadır. Tepkimeler bu metaller sayesinde gerçekleşmektedir. Burada NO_x'in indirgenmesini radyum sağlamaktadır. Katalitik konvertörde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar 2.13, 2.14 ve 2.15 nolu denklemde sırasıyla gösterilmiştir (Anar ve Bayram 2018). Aşağıda verilen Şekil 2.18'de oksidasyon katalisti verilmiştir.



Şekil 2.18 Katalitik konvertör (İnt. Kyn. 4).



2.2.3.4 SCR (Seçici Katalitik İndirgeme)

Dizel motorlar yüksek ısıl verimlilik, yakıt ekonomisi ve daha az sera gazı emisyonları gibi özelliklerinden dolayı ağır hizmet araçlarında kullanılmaktadır. Günümüzde binek araçlarda da kullanılmaktadır. Motorlarda güç kaybına neden olmadan NO_x emisyonlarını azaltmak için araştırmalar yapılmıştır (Li vd. 2011). Seçici katalitik indirgeme (SCR) bu bakımdan çok önemli bir sistemdir (Johnson, 2008). SCR egzoz gazında mevcut olan NO_x emisyonunu katalizör yardımı ile amonyak (NH₃) ile tepkimeye sokarak en aza indirmektedir (Biswas vd. 2009).

SCR’de Kullanılan Katalizörler

SCR’de, NO_x’in indirgenmesi katalizörler yardımı ile sağlanmaktadır. En çok kullanılan türü ise vanadyum ve zeolit esaslı katalizörlerdir. Bu katalizörlerin seçiminde en önemli etken sıcaklıktır. Bakır zeolitler düşük sıcaklıkta, demir zeolit ise yüksek sıcaklıkta verimli olmaktadır (Hamada ve Hanada 2012). SCR sisteminde yaygın olarak kullanılan katalizörler ise şunlardır: Vanadyum penta oksit (V₂O₅), tungsten trioksit (WO₃) ve titanyum dioksit (TiO₂)’dir. Ayrıca Fe-ZSM5, Cu-ZSM5, Ag/Al₂O₃, Cu-Al₂O₃ gibi katalizörlerde nadir olarak kullanılmaktadır (Casapu vd. 2011).

Vanadyum Pentaoksit

Vanadyum pentaoksit genellikle katalizör olarak kullanılan bir organik olmayan bileşiktir. V₂O₅ olarak gösterilir ve molar kütlesi 181, 88 g/mol’dür. Bu katalizör 3,36 g/cm³ yoğunluğa sahip olup 1750 °C’de kaynama noktasına sahiptir (İnt. Kyn. 6).

Tungsten Trioksit

Bu bileşiğe bakıldığında bileşimi kalsiyum volframittir. Kimyasal özellikleri ise 7,16 g/cm³ yoğunluğa sahip olup molar kütlesi 231,84 g/mol’dür. Bu bileşik 1,473°C erime noktası ve 1700°C ise kaynama noktasına sahiptir (İnt. Kyn. 7).

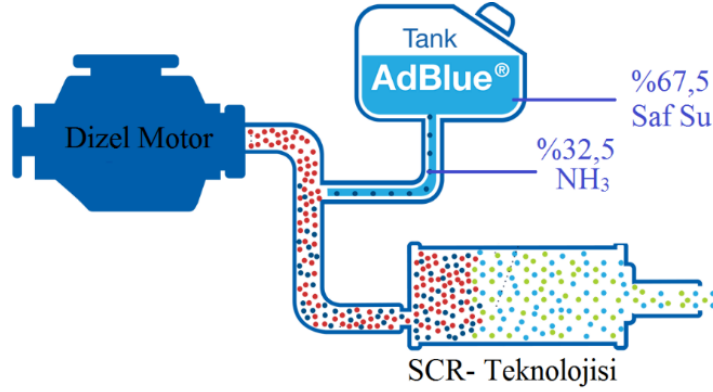
Titanyum Dioksit

Aynı zamanda titania olarak da bilinmekte olup doğada saf halde bulunabilmektedir. İyi bir katalizör olarak kullanılmaktadır. Yoğunluğu 4,23 g/cm³’tür. Gerçekleşecek kimyasal reaksiyonları hızlı bir şekilde oluşturmaktadır (İnt. Kyn. 8).

SCR’de Kullanılan Adblue Sıvısı

Bu özel sıvı ‘‘VDA- Verbard der Automobilindustrie’’ şirketi tarafından tescil edilmiş markadır. Üre çözültisi olan sıvı AdBlue olarak adlandırılmakta ve buradaki mevcut

olan üre, doğalgaz yöntemi ile elde edilmektedir. Üre ısıtıldığı takdirde NH_3 'e dönüşmektedir. Özelliklerine bakılırsa; renksiz, zehirsiz, kokusuz, yanıcı olmayan ve kristal yapılu tozdur. Adblue sıvısı dayanıklı olduğundan kolay bir şekilde muhafaza edilip taşınabilir. AdBlue sıvısı aşağıdaki Şekil 2.19'da gösterildiği gibi %32,5 NH_3 ve %67,5 oranında saf su içermektedir.

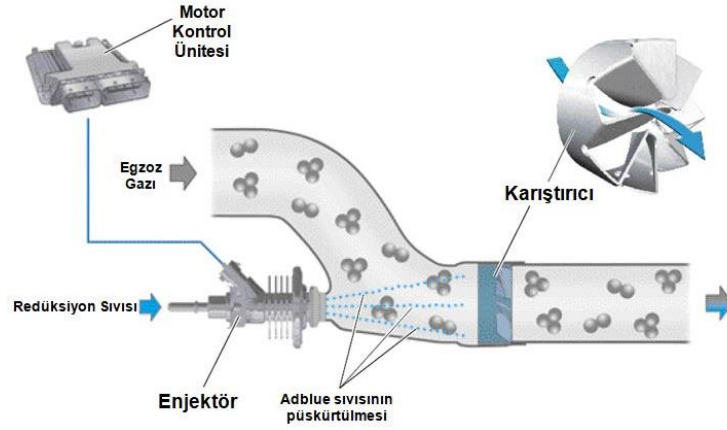


Şekil 2.19 AdBlue sıvısının bileşenleri (İnt. Kyn. 9).

AdBlue sıvısında mevcut ürenin %32,5 oranında olmasının en önemli gayesi donma derecesini düşürmektir. Bu donma derecesi yaklaşık -11°C 'dir (Hamada ve Haneda 2012).

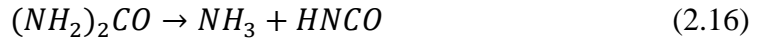
SCR Sisteminin Çalışması

SCR'nin çalışması için egzoz gazı sıcaklığının 200°C ile 600°C arasında olması gerekir. 200°C 'nin altında sıcaklık yeterli olmadığı için kimyasal reaksiyonlar olmamaktadır. Sıcaklık 200°C 'ye ulaştığında kimyasal reaksiyonlar başlayarak NO_x 'ler zararsız bileşenlere dönüşmeye başlar. Bu dönüşümün verimliliği maksimum 350°C civarında meydana gelmektedir (Way vd. 2009). AdBlue sıvısı elektrik pompası ile, 5 bar basınç yardımıyla AdBlue enjektörüne gönderilirler. Elektronik kontrol ünitesinin (ECU) kontrol ettiği enjektör, AdBlue sıvısının egzoz borusu içine püskürtülmesini sağlar. Şekil 2.20'de AdBlue sıvısının egzoz borusu içine püskürtülmesi görülmektedir.

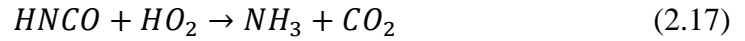


Şekil 2.20 AdBlue sıvısının egzoz borusu içine püskürtülmesi (İnt. Kyn. 10).

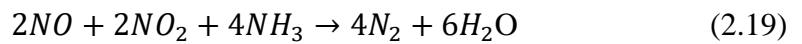
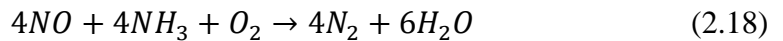
Bu işlemin ardından ısı çözünme reaksiyonu meydana gelir. AdBlue’da bulunan saf su yüksek sıcaklığın yardımı ile buharlaşır ve katı kristal yapıda bulunan üre tanecikleri ısı çözünme tepkimesini meydana getirir (Yim vd. 2004).

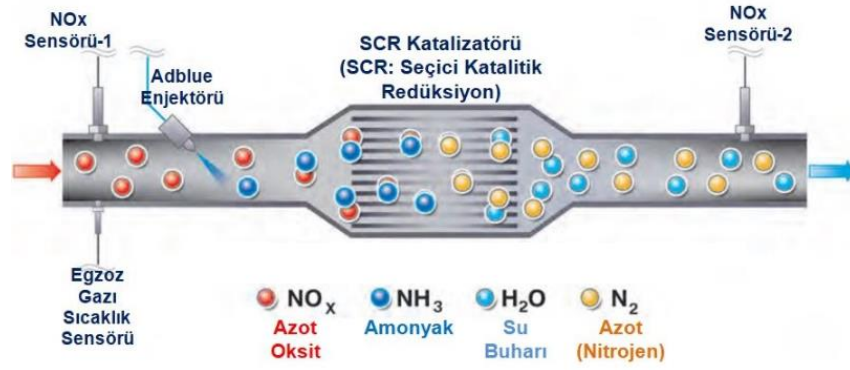
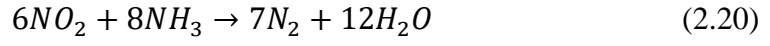


Bu ısı çözünme tepkimesinde oluşan ürünler NH_3 ve $HNC O$ ’dur. NH_3 ’e bakıldığında SCR’de meydana gelen tepkimede rol alırken, $HNC O$ ’da hidroliz tepkimesinde H_2O ile tepkimeye girer, bu tepkimelerin sonucunda NH_3 ile CO_2 meydana gelir.



Oluşan iki tepkime diğer oluşan tepkimelere göre daha hızlı oluşmaktadır (Chi ve DaCosta 2005). Isıl tepkime ve hidroliz tepkimesi sona erdikten sonra SCR katalizöründe oluşan tepkimeler aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir. Şekil 2.21’de su ve azot gazına dönüşen azot oksitler görülmektedir.





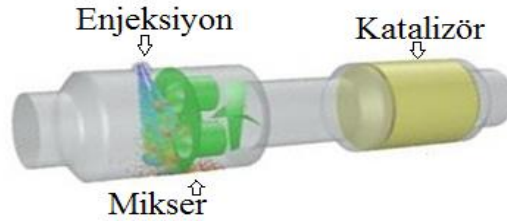
Şekil 2.21 Su ve azot gazına dönüşen azot oksitler (İnt. Kyn. 11).

Yukarıda verilen denklemlerdeki kimyasal reaksiyonlar sonucunda zararlı NO_x emisyonları, zararsız olan N₂ ve H₂O'ya dönüştürülür (Sluder vd. 2005).

3. MATERYAL ve METOT

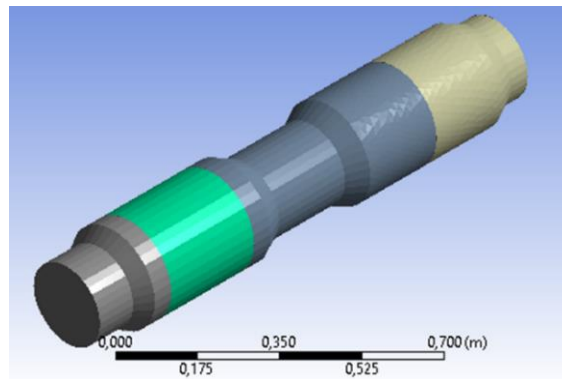
3.1 Analizde Kullanılacak SCR'nin Oluşturulması

SCR'nin modelleme kısmı mevcut sistemden esinlenerek tasarlanmış olup daha basit bir yapıda çizimi yapılmıştır. Analiz için gerekli değerler yapılmış örnek bir çalışmadan alınmıştır. Malzeme kısmında sadece katalizör malzemesi eklenmiştir. SCR; enjektör, mikser (karıştırıcı) ve katalizör olmak üzere üç bölümde dizayn edilmiştir. Katalizör gözenekli olarak tasarlanmıştır. Genel olarak tasarlanacak SCR sistemi görüntüsü Resim 3.1'de gösterilmiştir.

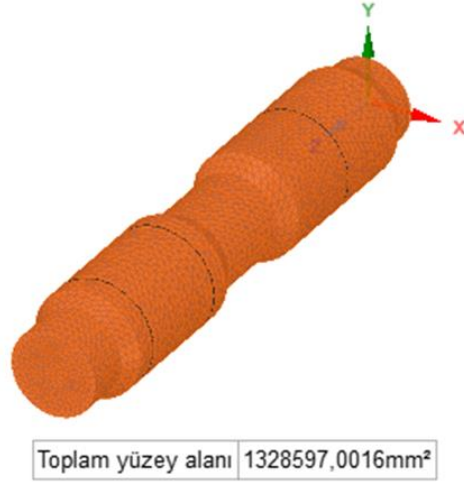


Resim 3.1 SCR'nin genel olarak görüntüsü.

SCR tasarlanırken adblue çözeltisini püskürtecek enjeksiyonun konumunda uyumsuzluk olmaması için mevcut sistem ölçüleri dikkate alınmıştır. Her bir katalizör malzemesi eklenerek model kaydedilmiştir. Modellenen SCR sistemi aşağıdaki Resim 3.2 de gösterilmiştir. Resim 3.3'de ise modellenen SCR'nin toplam alanı görülmektedir.



Resim 3.2 Modellenen SCR sistemi.



Resim 3.3 Modellenen SCR'nin toplam alanı.

3.2 Analiz Öncesi Hazırlık

Yapılan bu analizde başlıca kabul edilen özellikler üç katalizör içinde sabit tutulmuş olup ve NO_x verimliliğinin dolaylı bir göstergesini veren tekdüzelik indeksi kullanılmıştır. Bu tekdüzelik indeksleri; alan ağırlıklı tekdüzelik indeksi denklem 3.1'de, kütle ağırlıklı tek düzelik indeksi denklem 3.2'de aşağıda gösterilmiştir.

$$\gamma_{\alpha} = 1 - \frac{\int A (\phi - \bar{\phi}) dA}{2\bar{\phi} \int A dA} \quad (3.1)$$

$$\gamma_m = 1 - \frac{\int A (\phi - \bar{\phi}) \rho \vec{v} dA}{2\bar{\phi} \int A \rho \vec{v} dA} \quad (3.2)$$

γ_{α} =Alan ağırlıklı tekdüzelik indeksi

γ_m =Kütle ağırlıklı tekdüzelik indeksi

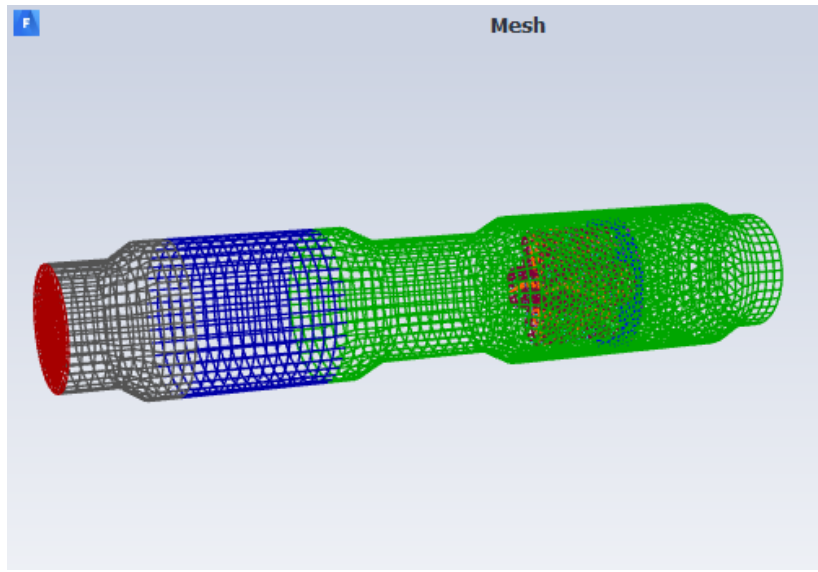
Diğer önemli bir nokta ise analizde k-ε türbülans modelinin kullanılmasıdır ve akış olarak laminer sonlu akış modeli seçilmiştir. Bu seçimin nedeni SCR'nin iç yapısında

doğrusal bir akış gerçekleşmesindedir.

3.3 Analizde İzlenecek Adımlar

3.3.1 Ağ Yapısının Ayarlanması

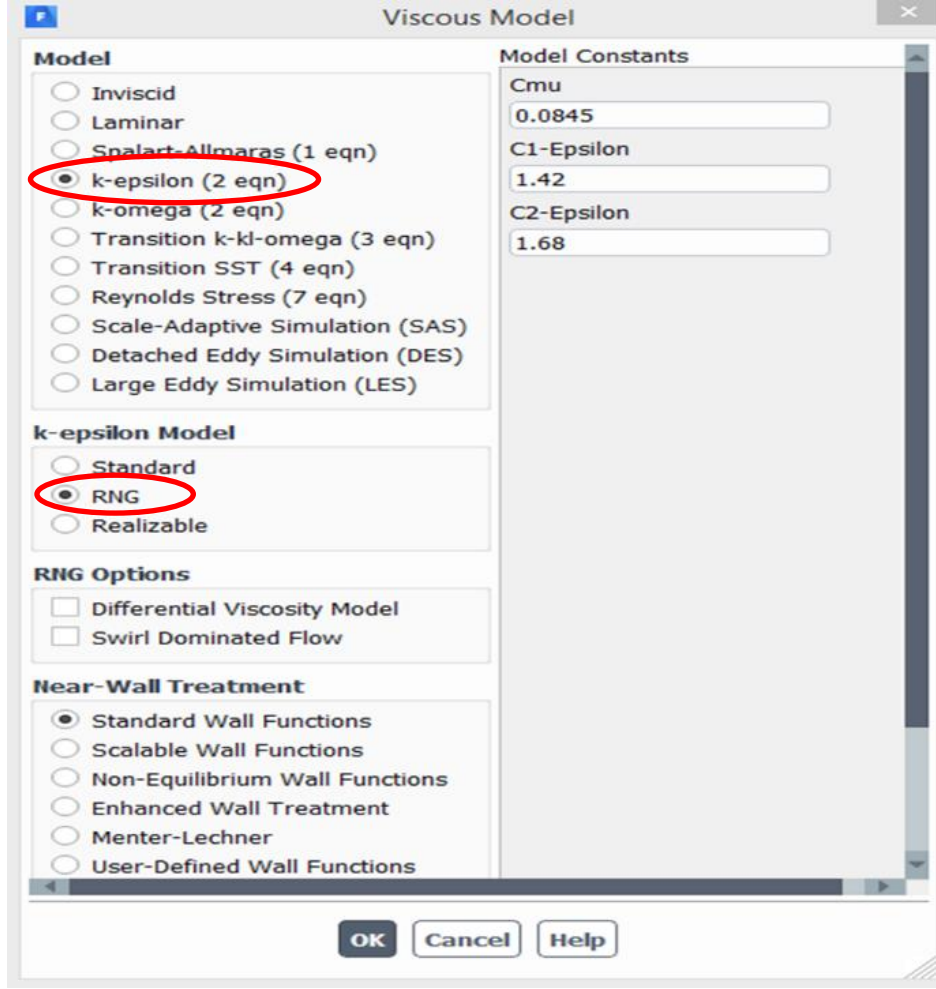
Öncelik olarak birimde mm kullanacağımızdan bu ayarlama yapılmalıdır. Gerekli ağ ayarlamaları yapılır. Bu işlem ayarlardan seçilerek ve tüm yüzeyleri bu işleme tabi tutarak yapılır. Bunun sonucunda aşağıdaki Resim 3.4’de gösterilen ağ yapısı oluşur.



Resim 3.4 Ağ ayarları yapıldıktan sonra oluşan görüntü.

3.3.2 Akış Modellerinin Belirlenmesi

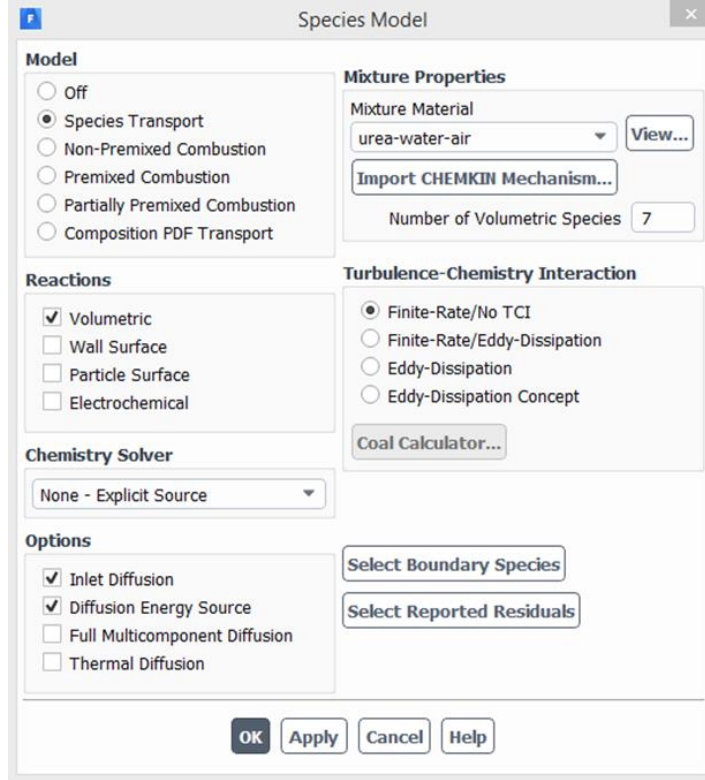
Bu aşamada analizde uygulanan viskoz modelleri belirlenmiştir. Model olarak k-epsilon seçilip RNG işaretlenerek standart fonksiyon ayarları yapılmıştır. Resim 3.5’de viskoz modelinin ayarlanması görülmektedir.



Resim 3.5 Viskoz modelinin ayarlanması.

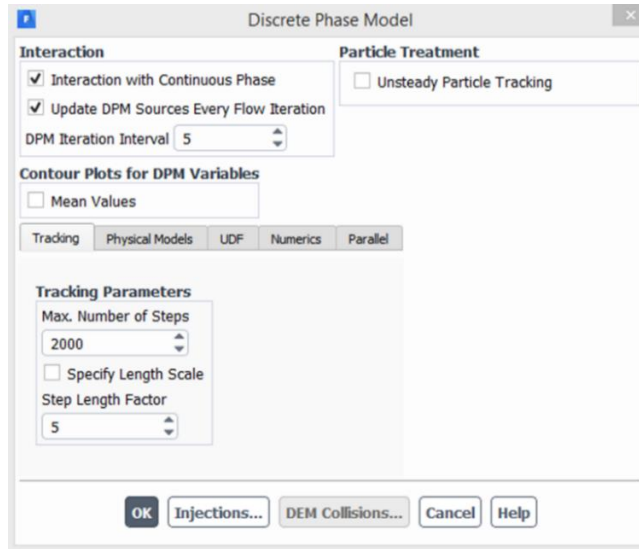
Resim 3.6’da model türlerinin seçimi görülmektedir. Model sekmesinden model türleri belirlenir.

Models → Species → Edit



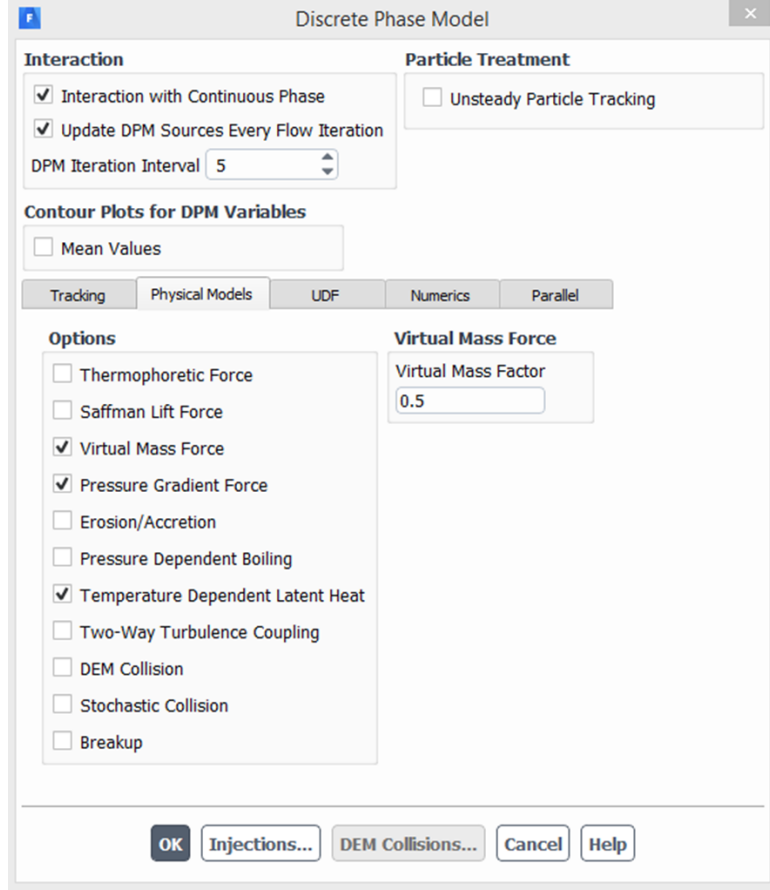
Resim 3.6 Model türlerinin belirlenmesi.

Resim 3.7’de ayrık faz modelinin belirlenmesi görülmektedir. Buna göre;
Models → Discrete Phase → Edit seçenekleri işaretlenir.



Resim 3.7 Ayrık faz modelinin belirlenmesi.

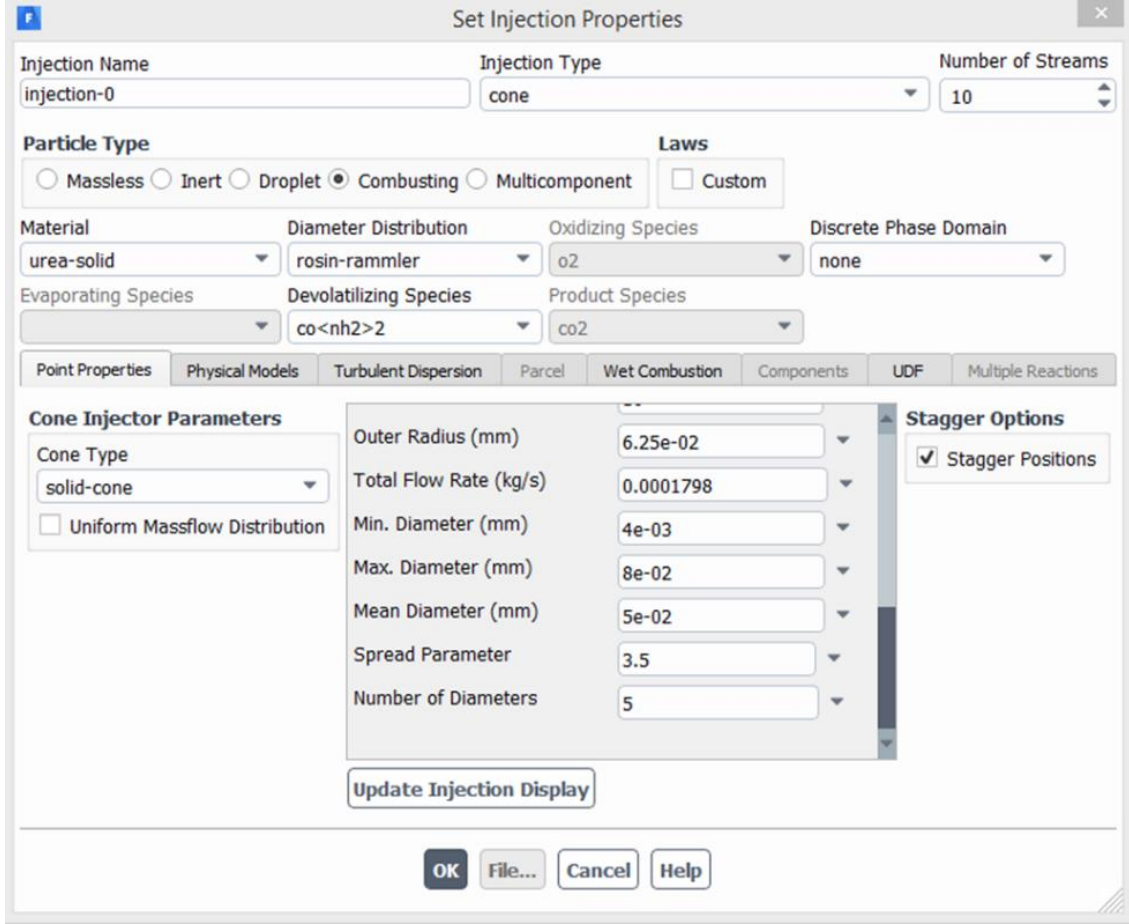
Resim 3.8’de fiziksel modelin belirlenmesi ile ilgili seçimler yapılmıştır. Sayfayı kapatmadan Physical (fiziksel) sekmesine geçilir ve gerekli değerler mevcut yerlere yazılır.



Resim 3.8 Fiziksel modelin belirlenmesi.

Resim 3.9’da enjeksiyon değerlerinin girilmesi ile ilgili işaretlemeler yapılmıştır. Akış için bu aşamada enjeksiyon seçimleri yapılır.

Define → Injections



Resim 3.9 Enjeksiyon değerlerinin girilmesi.

Bu üç enjeksiyon tipi için bazı değerler aynı olup, bazı değerler farklı olmaktadır. Bu nedenle birinci enjeksiyon kopyalanıp farklı olan değerleri değiştirilerek kaydedilip oluşturulmuştur. Bu değerler Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’de her bir enjeksiyon için ayrı bir değer olarak verilmiştir.

Çizelge 3.1 0. Enjeksiyon değerleri.

Enjeksiyon	Değişken	Değer
0. Vektörel Enjektör Konumu	X Ekseni (mm)	0
	Y Ekseni (mm)	124
	Z Ekseni (mm)	180
	Sıcaklık (°C)	20
	Azami Başlangıç Açısı	0
	Azami Bitiş Açısı	360
0. Vektörel Püskürtme Yönü	X Ekseni	0
	Y Ekseni	-0.866
	Z Ekseni	0.5
	Hız Büyüklüğü (m/s)	20
	Koni Açısı	10
	Yarıçap (mm)	6.25e-02
	Toplam Akış Hızı (kg/s)	0.0001798
0. Rosin-Ramler Katsayıları	Minimum Çap (mm)	4e-03
	Maksimum Çap (mm)	8e-02
	Ortalama Çap (mm)	5e-02
	Yayıma Parametresi	3.5
	Çap Numarası	5

Çizelge 3.2 1. Enjeksiyon konum değerleri.

Enjeksiyon	Değişken	Değer
1. Vektörel Enjektör Konumu	X Ekseni (mm)	4.48
	Y Ekseni (mm)	123
	Z Ekseni (mm)	172.707
2. Vektörel Püskürtme Yönü	X Ekseni	0.15038
	Y Ekseni	-0.95511
	Z Ekseni	0.25523

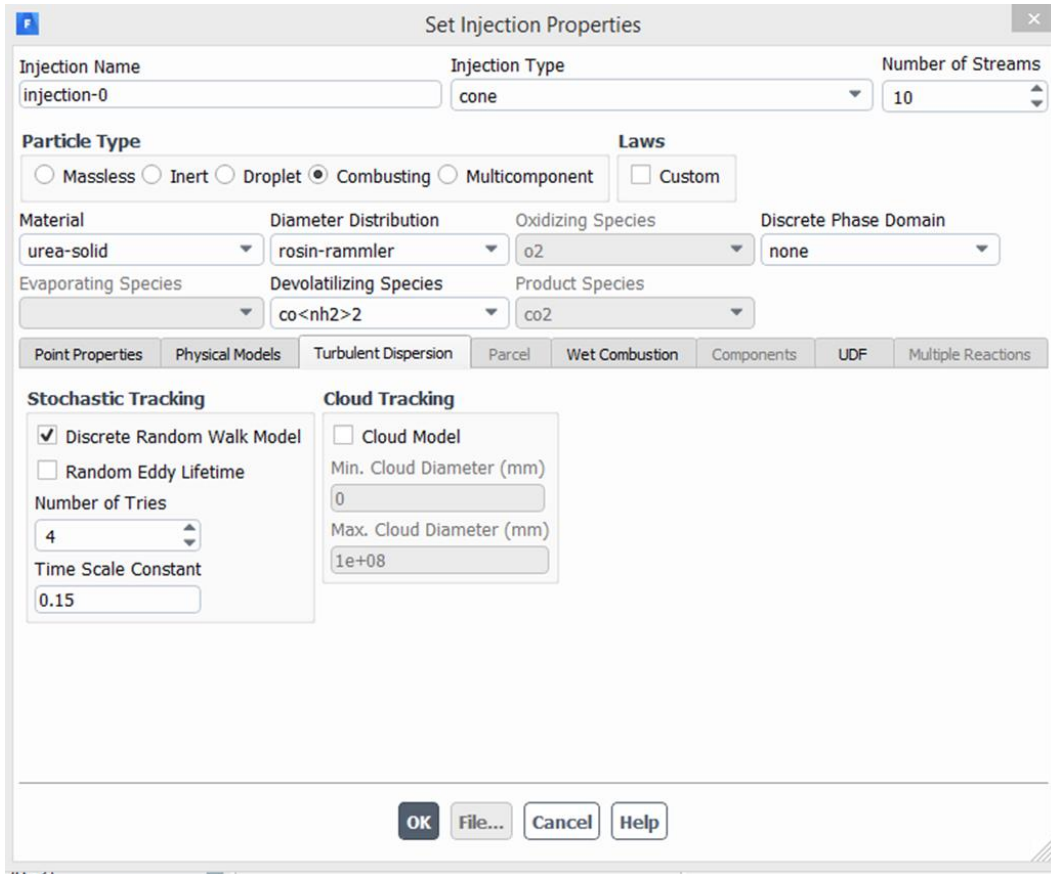
Çizelge 3.3 2. Enjeksiyon konum değerleri.

Enjeksiyon	Değişken	Değer
1. Vektörel Püskürtme yönü	X Ekseni (mm)	-4.48

Çizelge 3.3 (Devam) 2. Enjeksiyon konum değerleri.

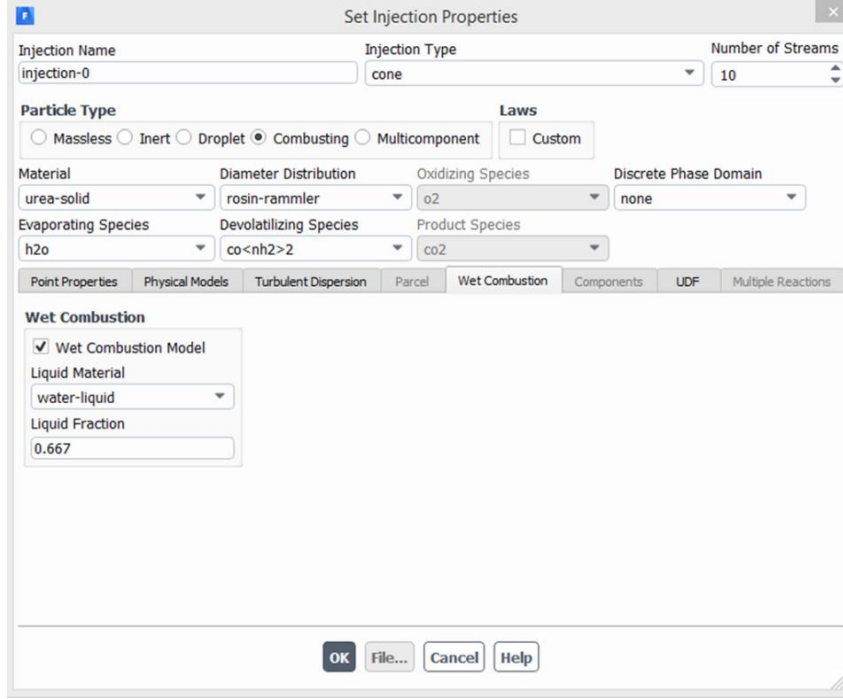
Enjeksiyon	Değişken	Değer
2. Vektörel Püskürtme Yönü	Y Ekseni	123
	Z Ekseni	172.707
	X Ekseni	-0.15038
	Y Ekseni	-0.95511
	Z Ekseni	0.25523

Bu değerler girildikten sonra türbülans dağılımı bölümüne geçiş yapılarak gerekli değerler girilir. Resim 3.10'da Türbülans dağılımı değerleri görülmektedir.



Resim 3.10 Türbülans dağılımı değerleri.

Enjeksiyon kısmında son olarak yanma modeli sekmesine geçiş yapılarak gerekli düzenlemeler ve seçimler yapıлып sayfa kapatılmıştır. Resim 3.11'de yanma modeli değerlerinin belirlenmesi ile ilgili seçimler gösterilmektedir.

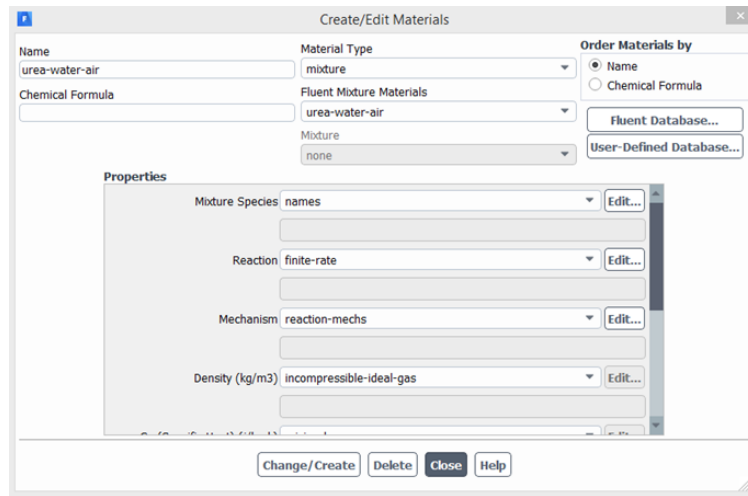


Resim 3.11 Yanma modeli değerlerinin belirlenmesi.

3.3.3 Malzemelerin Belirlenmesi

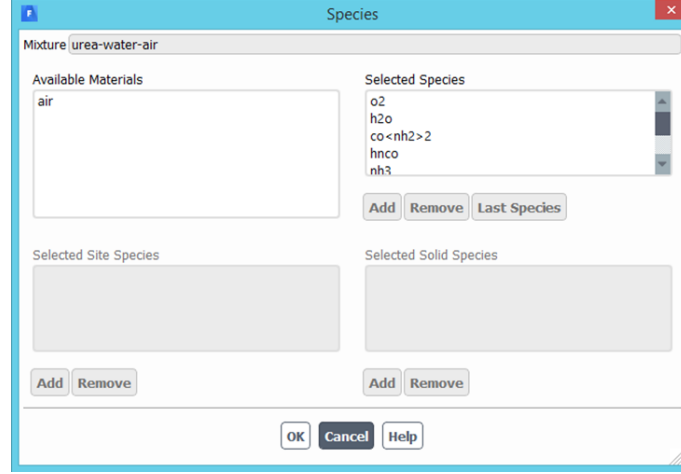
Resim 3.12’de malzemelerin belirlenmesi ile ilgili seçenekler gösterilmiştir.

Materials → Mixture → Create/Edit seçenekleri işaretlenmiştir.



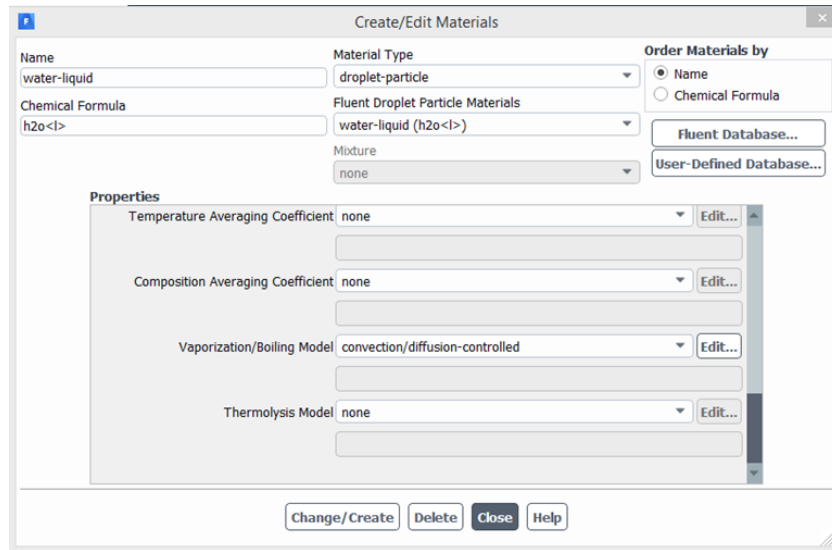
Resim 3.12 Malzemelerin belirlenmesi.

Resim 3.13’de karışım türlerinin seçimi gösterilmiştir. Gerekli düzenlemeler yapılmasının ardından özelliklerden karışım türleri düzenlenir.



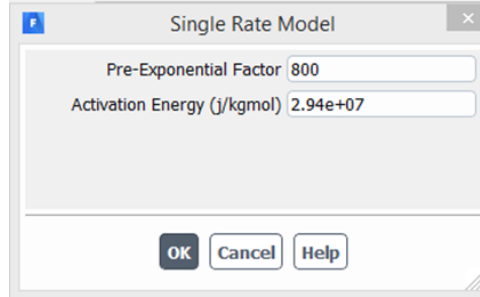
Resim 3.13 Karışım türleri.

Resim 3.14’te kaynama modeli seçimi yapılmıştır. Mevcut sayfa kapatılmadan özelliklerden kaynama modeli aşağıda belirtildiği gibi seçilir ve değişiklik yapılarak mevcut sayfa kapatılır.



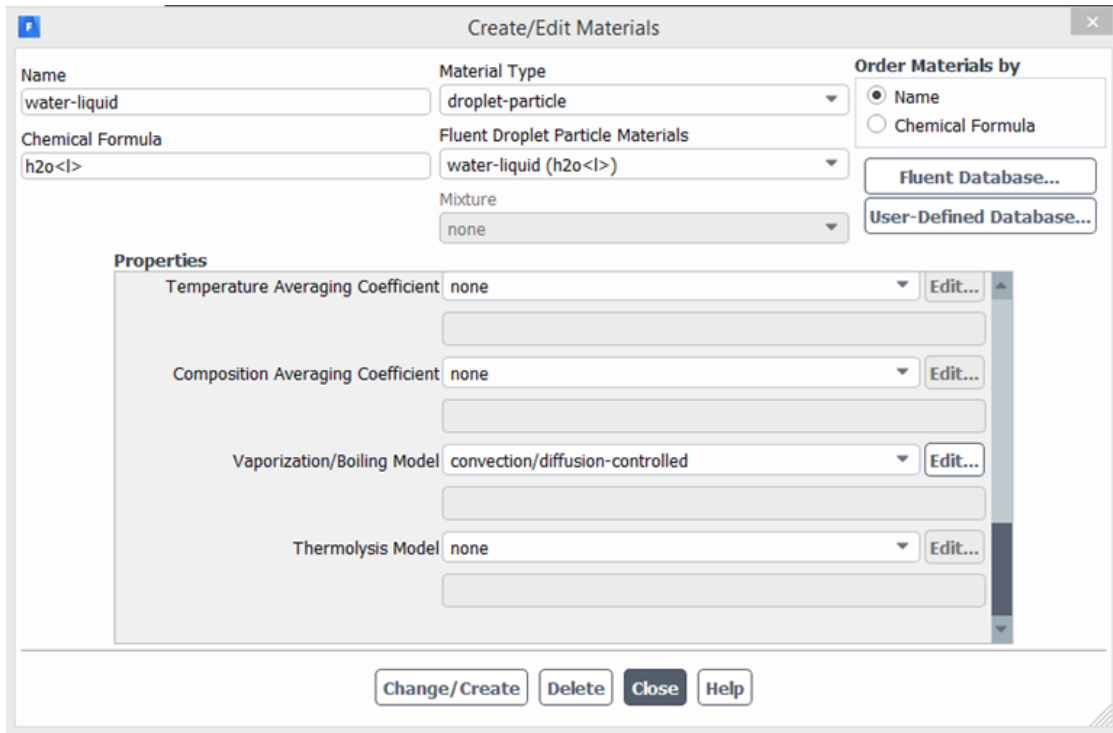
Resim 3.14 Kaynama modeli seçimi.

Kullanılacak malzemeler katı olmadığından, liquid (sıvı) seçeneği seçilmiştir. Malzeme belirlenmesi ile buharlaşma modeli olan devolatilizasyon düzenlenir ve açılan sekmeye Resim 3.15'te belirtilen değerler girilerek onaylanır. Son olarak Resim 3.16'da gösterildiği gibi malzeme değerleri girilir.



The image shows a dialog box titled "Single Rate Model". It contains two input fields: "Pre-Exponential Factor" with the value "800" and "Activation Energy (j/kgmol)" with the value "2.94e+07". At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Resim 3.15 Devolatilizasyon değerleri.



The image shows a dialog box titled "Create/Edit Materials". It has several sections:

- Name:** water-liquid
- Material Type:** droplet-particle
- Order Materials by:** Name (selected), Chemical Formula
- Chemical Formula:** h2o<l>
- Fluent Droplet Particle Materials:** water-liquid (h2o<l>)
- Mixture:** none
- Properties:**
 - Temperature Averaging Coefficient: none
 - Composition Averaging Coefficient: none
 - Vaporization/Boiling Model: convection/diffusion-controlled
 - Thermolysis Model: none

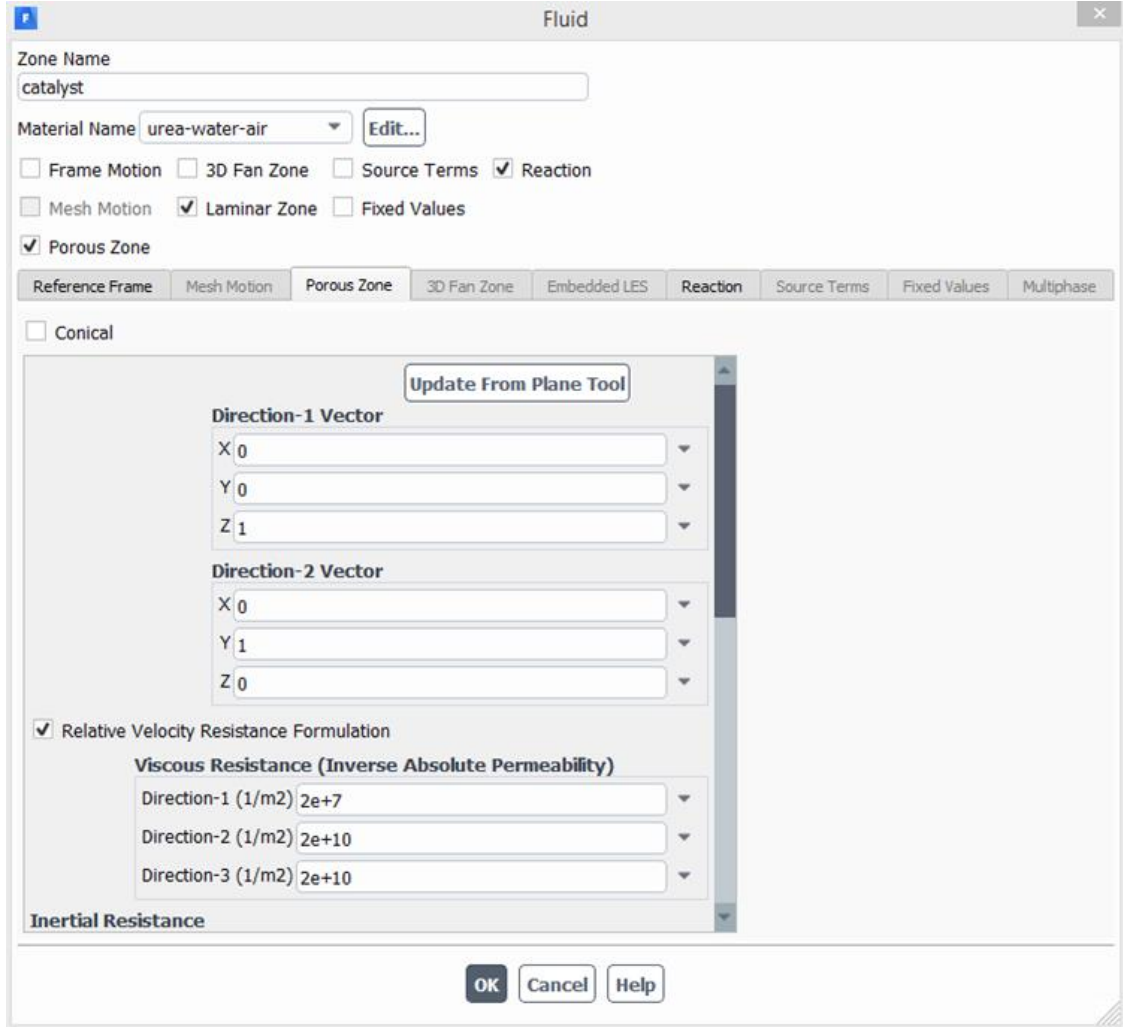
At the bottom, there are four buttons: "Change/Create", "Delete", "Close", and "Help".

Resim 3.16 Malzeme değerleri.

3.3.4. Hücre Bölge Şartlarının Belirlenmesi

Resim 3.17'de bölge şartlarının belirlenmesi ile ilgili seçenekler gösterilmiştir.

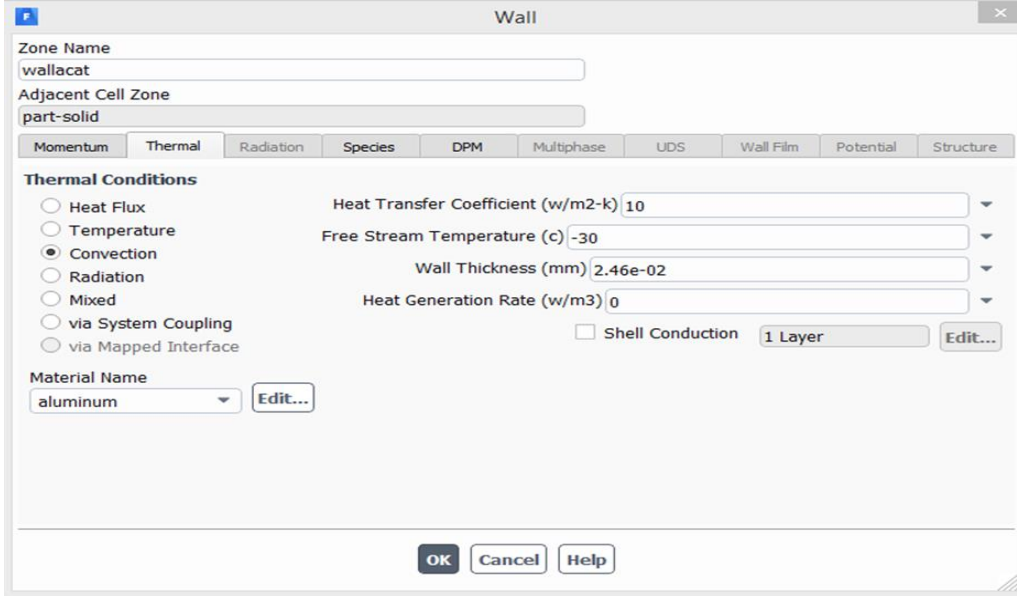
Cell Zone Conditions → Catalyst → Edit seçenekleri işaretlenmiştir.



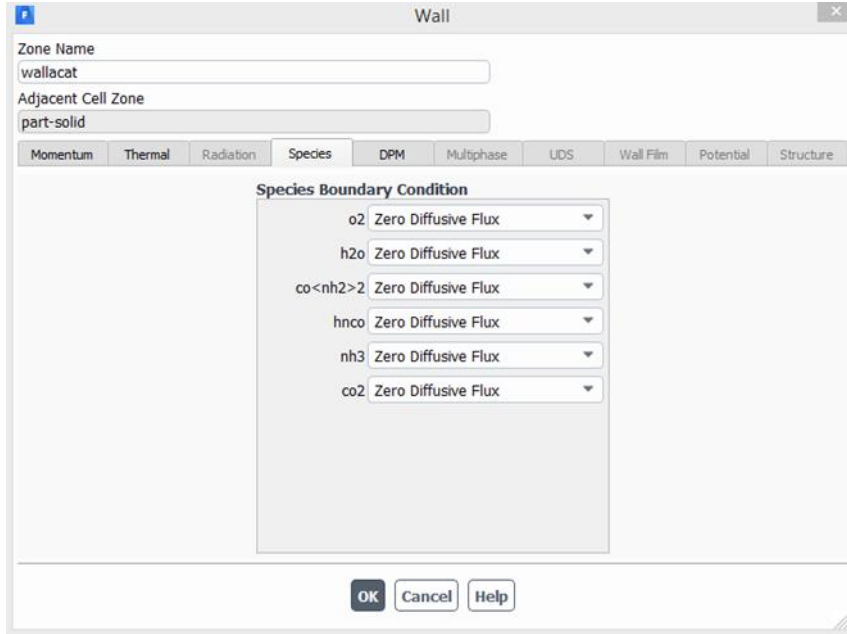
Resim 3.17 Bölge şartlarının belirlenmesi.

3.3.5 Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Boundary Conditions → wallcat → Edit seçenekleri işaretlenmiş olup sınır şartları Resim 3.18'deki gibi sınır şartlarının sıcaklık değeri ve Resim 3.19'da sınır şartlarının türleri belirlenmiştir.

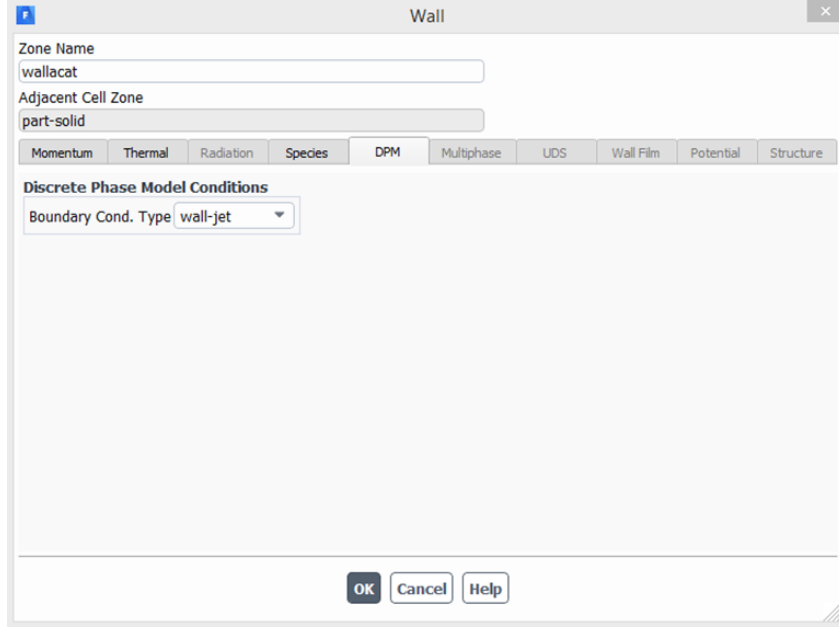


Resim 3.18 Sınır şartlarının sıcaklık özelliklerinin belirlenmesi.



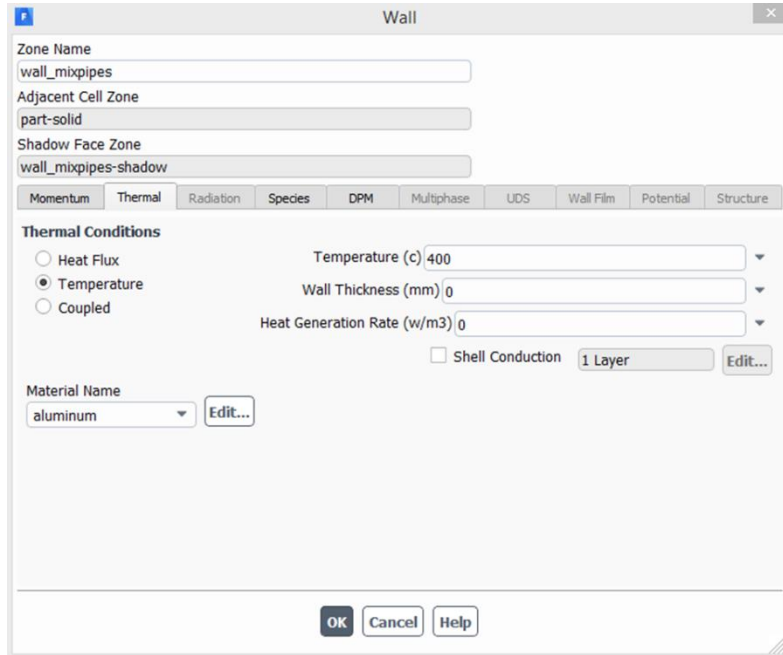
Resim 3.19 Sınır şartlarının türlerinin belirlenmesi.

Son olarak DPM sekmesine geçiş yapıp ayrıık faz modeli belirlenerek sayfa onaylanıp kapatılır. Ayrıık faz modelinin belirlenmesi Resim 3.20'de gösterilmiştir.



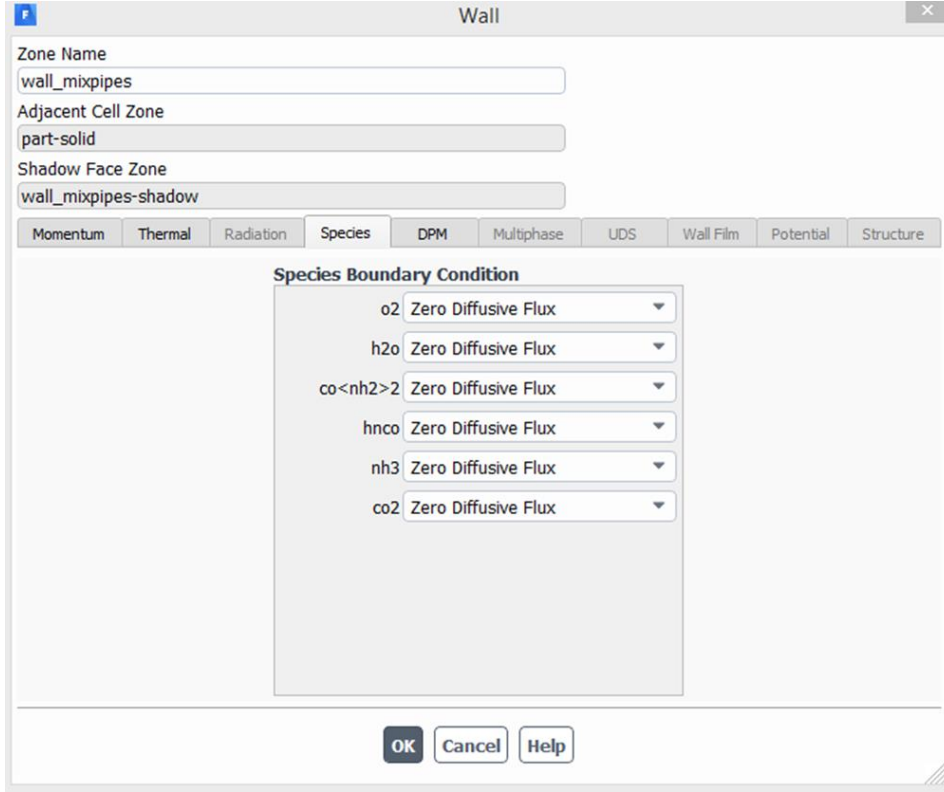
Resim 3.20 Ayrık faz modelinin düzenlenmesi.

Bu işlemlerin ardından Wallbeat sınır şartları içinde aynı değerler girilip onaylanmıştır. Boundary conditions → wall mixpipes → Edit seçeneği yapılarak Resim 3.21’de karıştırıcının termal özellikleri belirlenmiştir.

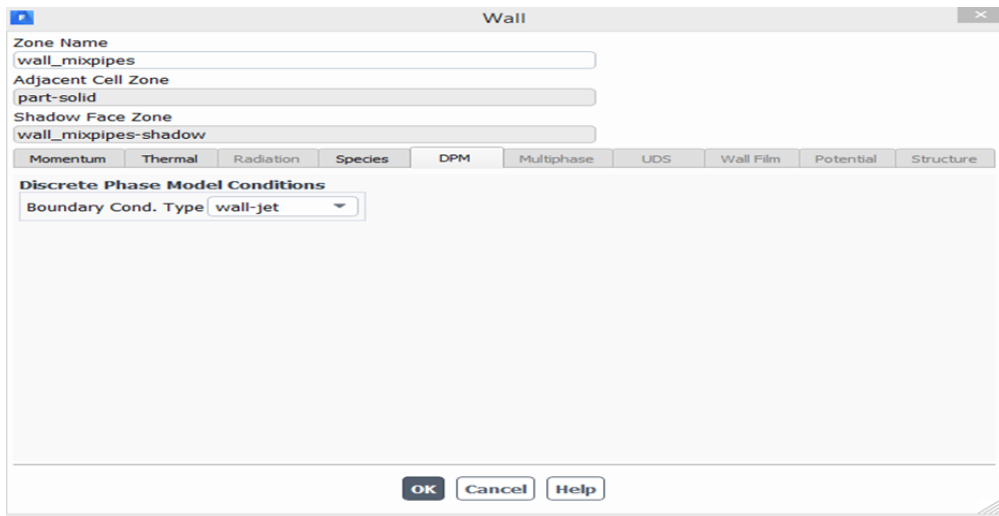


Resim 3.21 Karıştırıcının termal özelliklerinin belirlenmesi.

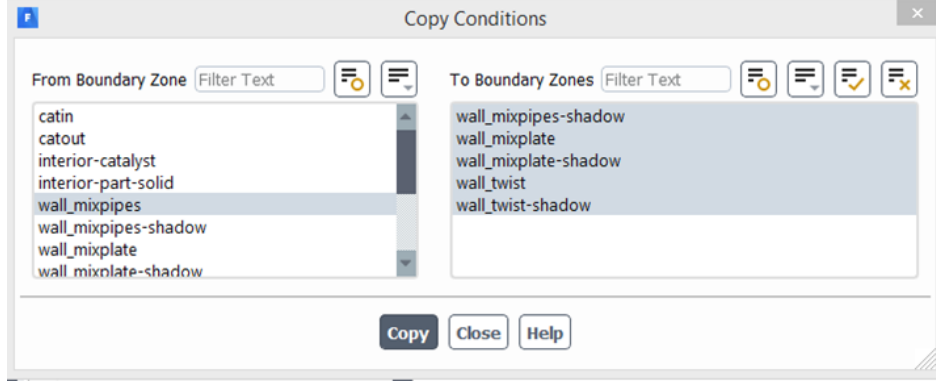
Karıştırıcının termal özelliklerinin belirlenmesinin ardından aşağıda verilen Resim 3.22’de karıştırıcı türlerinin belirlenmesi, Resim 3.23’te karıştırıcının ayrık faz modelinin belirlenmesi ve Resim 3.24’te mevcut sınır şartlarının belirlenmesi gösterilmiştir.



Resim 3.22 Karıştırıcı türlerinin belirlenmesi.

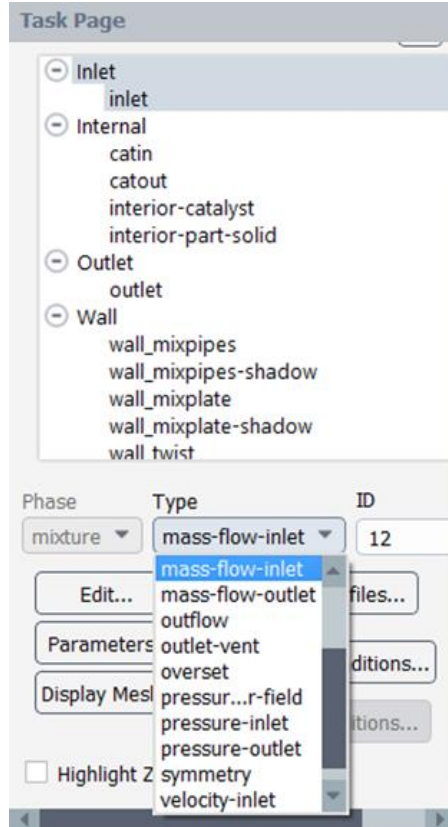


Resim 3.23 Karıştırıcının ayrık faz modelinin belirlenmesi.



Resim 3.24 Karıştırıcının mevcut sınır şartlarının belirlenmesi.

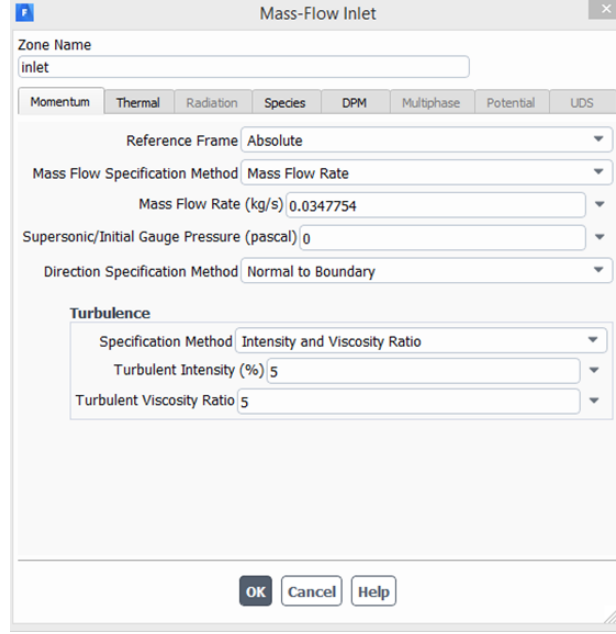
Görev sayfasında inlet seçeneği işaretlenerek tipi seçilir. Bu işlem Resim 3.25'te gösterilmiştir.



Resim 3.25 Giriş bölgesi tipinin seçilmesi.

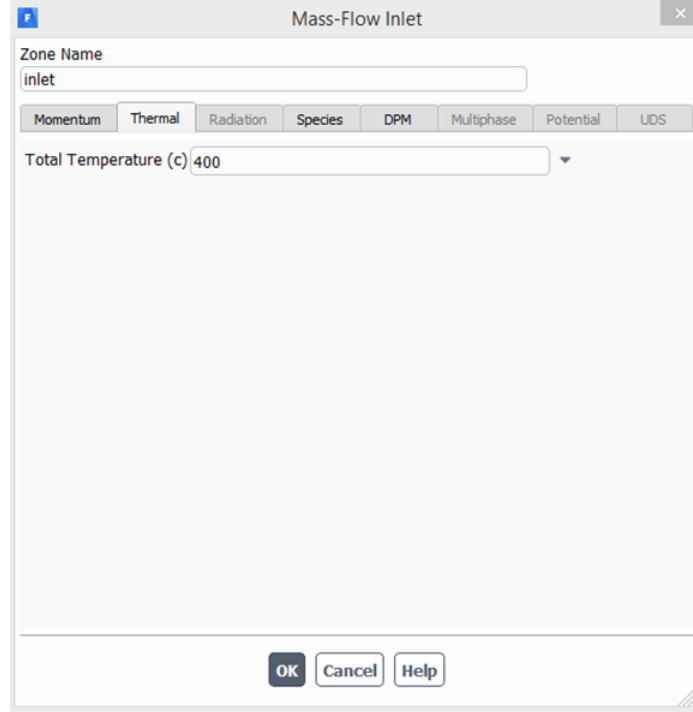
Açılan sayfada momentum bölümündeki gerekli değerler ve seçenekler aşağıda verilen

Resim 3.26'daki gibi işaretlenir ve sıcaklık sekmesinde Resim 3.27'deki değerler girilir.



The screenshot shows the 'Mass-Flow Inlet' dialog box with the 'Momentum' tab selected. The 'Zone Name' is 'inlet'. The 'Reference Frame' is 'Absolute'. The 'Mass Flow Specification Method' is 'Mass Flow Rate' with a value of 0.0347754 kg/s. The 'Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)' is 0. The 'Direction Specification Method' is 'Normal to Boundary'. The 'Turbulence' section is expanded, showing 'Specification Method' as 'Intensity and Viscosity Ratio', 'Turbulent Intensity (%)' as 5, and 'Turbulent Viscosity Ratio' as 5. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

Resim 3.26 Giriş bölgesinin momentum değerleri.



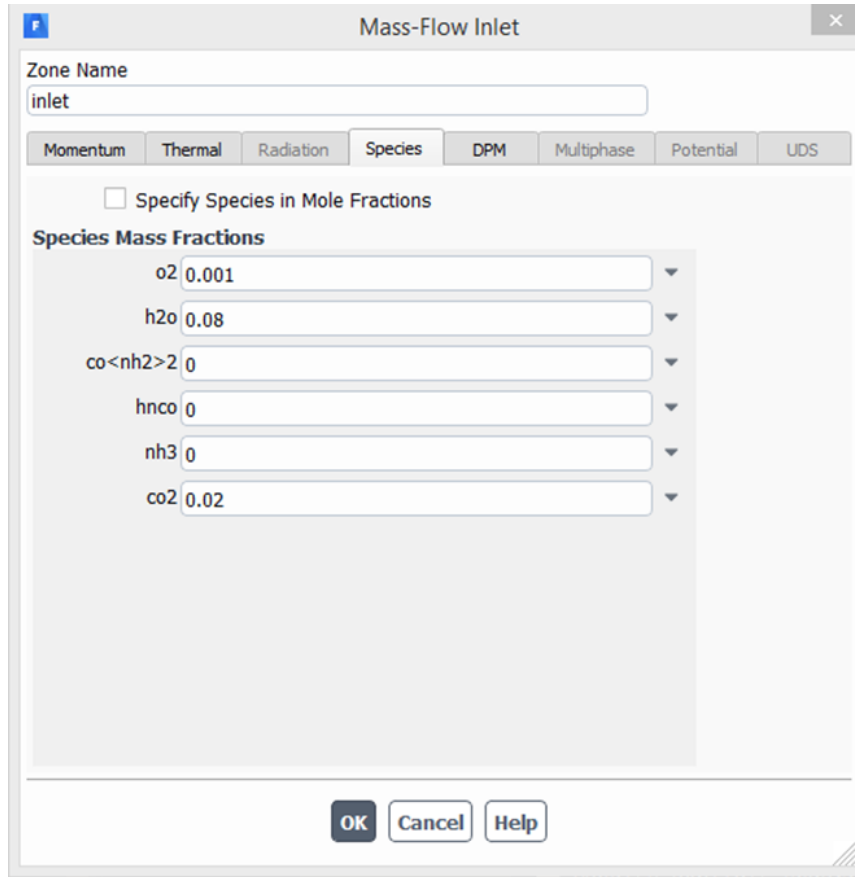
The screenshot shows the 'Mass-Flow Inlet' dialog box with the 'Thermal' tab selected. The 'Zone Name' is 'inlet'. The 'Total Temperature (c)' is 400. Buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

Resim 3.27 Giriş bölgesinin termal özellikleri.

Species sekmesine geçiş yaparak çizelge 3.4'teki değerler Resim 3.28'de yerlerine yazılır.

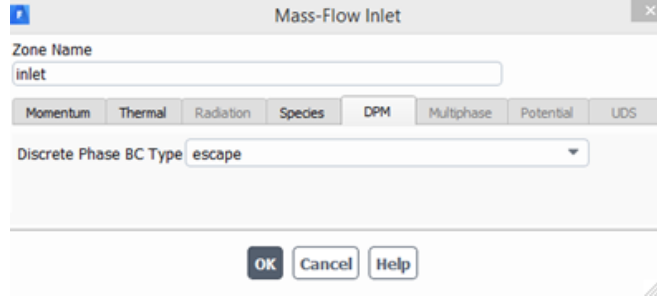
Çizelge 3.4 Girişteki tür değerleri.

Tür	Kütle Kesri
O ₂	0.001
H ₂ O	0.08
CO ₂	0.02



Resim 3.28 Girişteki tür değerlerinin belirlenmesi.

Son olarak DPM sekmesine geçiş yaparak ayrık faz BC tipi seçilerek sayfa onaylanıp kapatılmıştır. Bu işlem Resim 3.29'da gösterilmiştir.



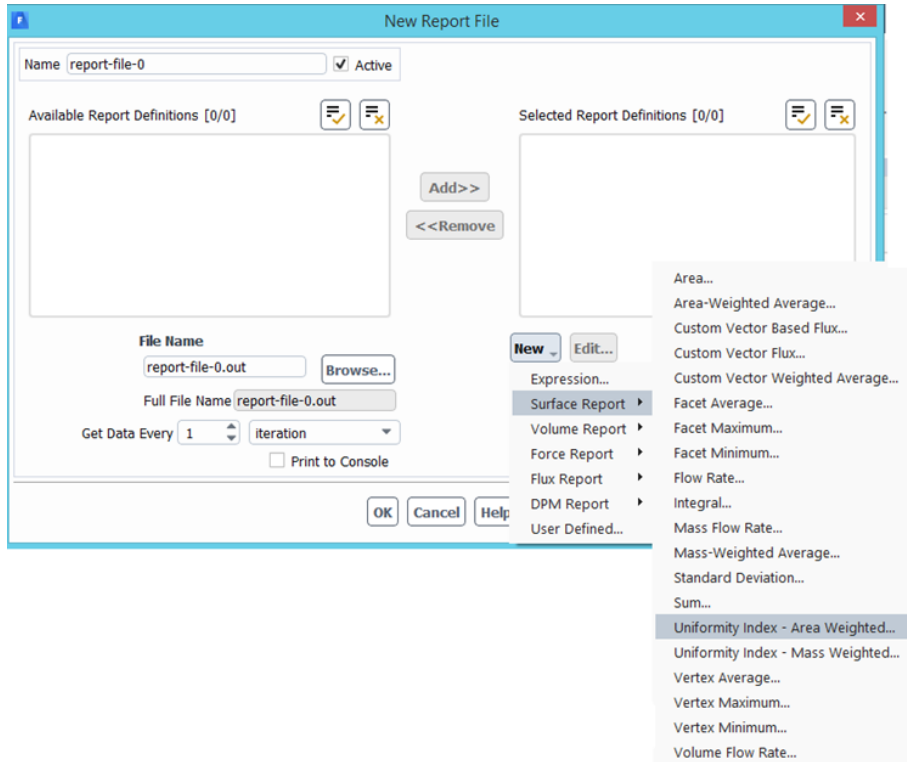
Resim 3.29 Ayırık faz modeli BC tipi.

Bu bölümde son olarak Outlet değerleri içinde aynı komutları sırasıyla uyguluyoruz.

3.3.6 Analizin Çözüm Aşaması

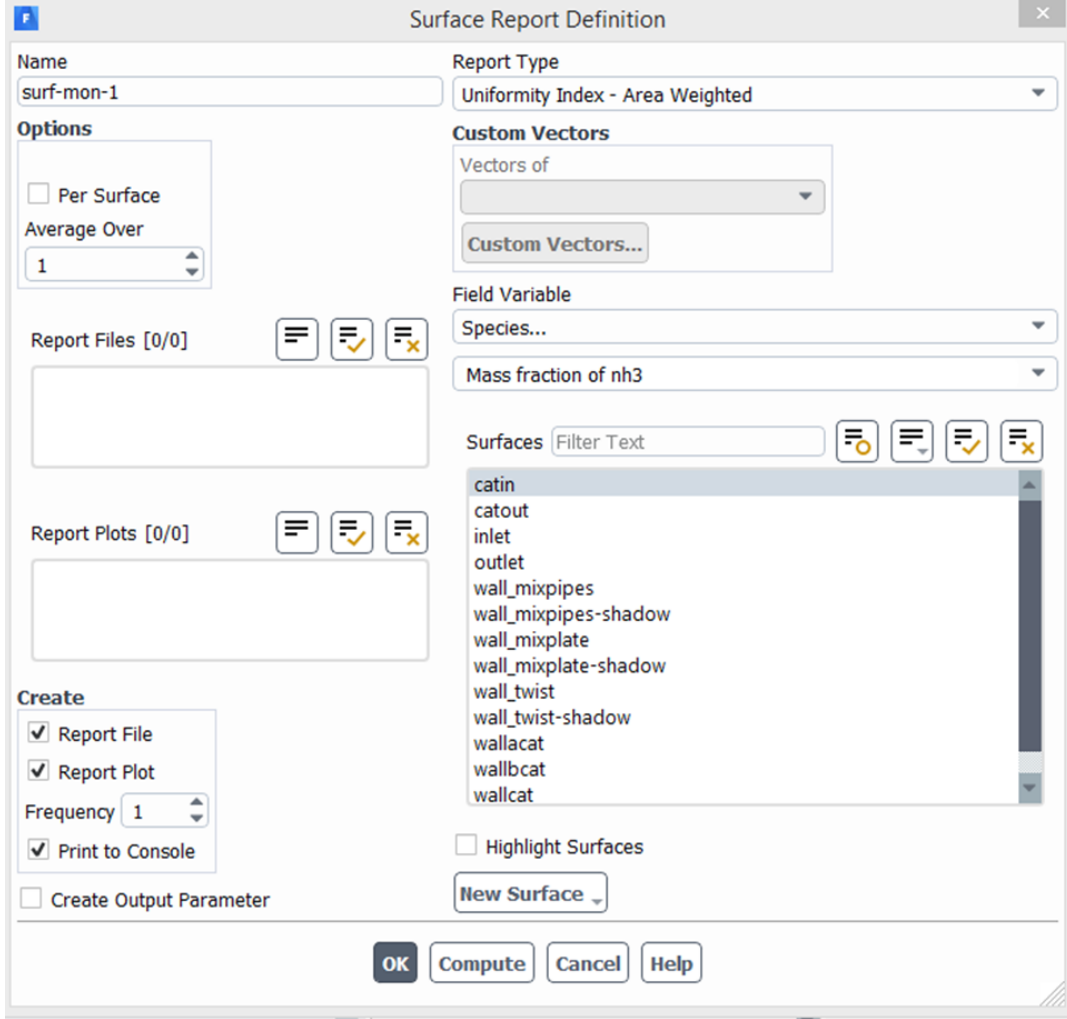
Burada analiz sonuçlarının gösterileceği monitörlerin ayarlanması yapılacaktır.

Monitors → Report Files seçeneği işaretlenip Resim 3.30'da gösterildiği gibi seçilmiştir.



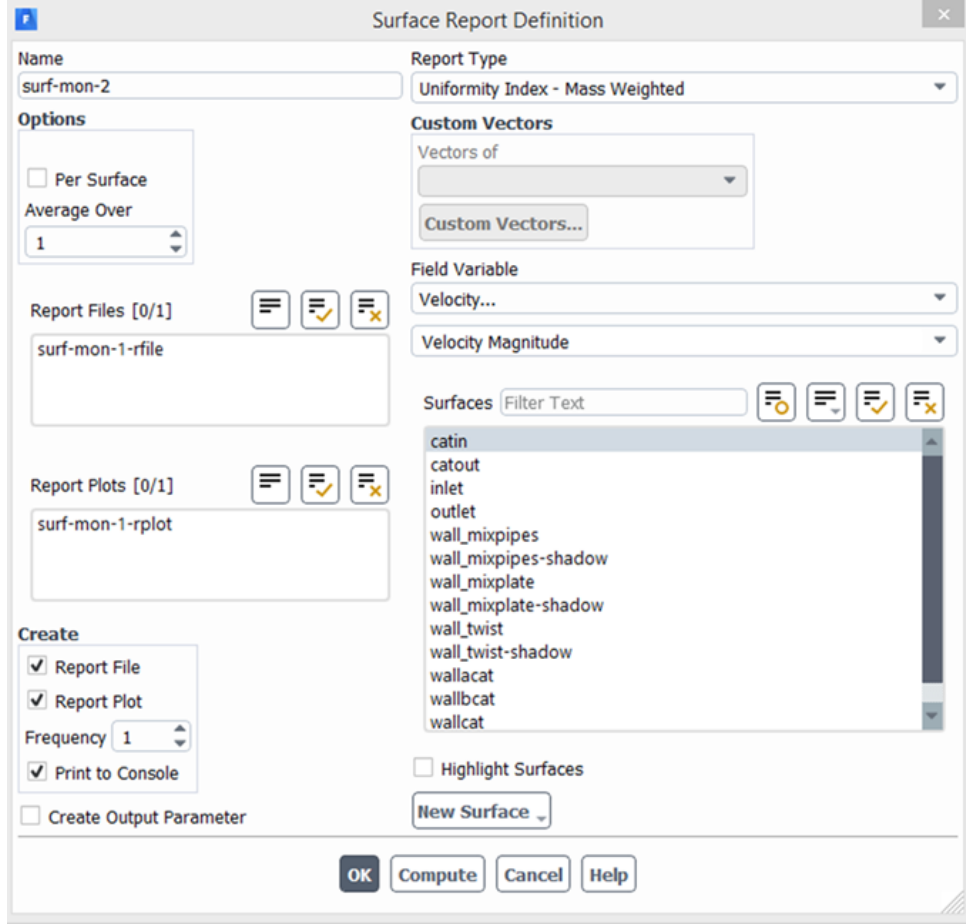
Resim 3.30 Monitör oluşturma.

Bu işlemin ardından Resim 3.31'de mevcut seçimler yapıp monitör oluşturulur.



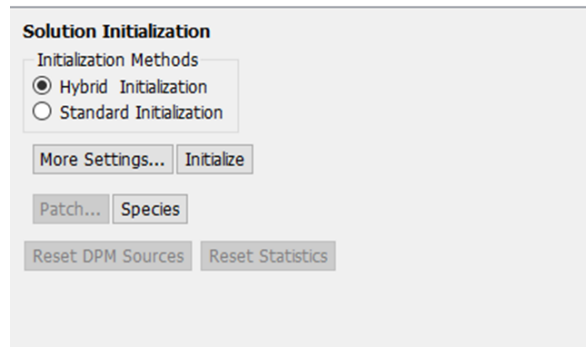
Resim 3.31 Oluşturulan monitör değerleri.

Aynı yöntemle ikinci monitör oluşturulur. İlk oluşturulan monitör alan tekdüzelik indeksi kullanılarak oluşturulurken ikinci monitör kütleli tekdüzelik indeksi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu işlem Resim 3.32 de gösterilmiştir.



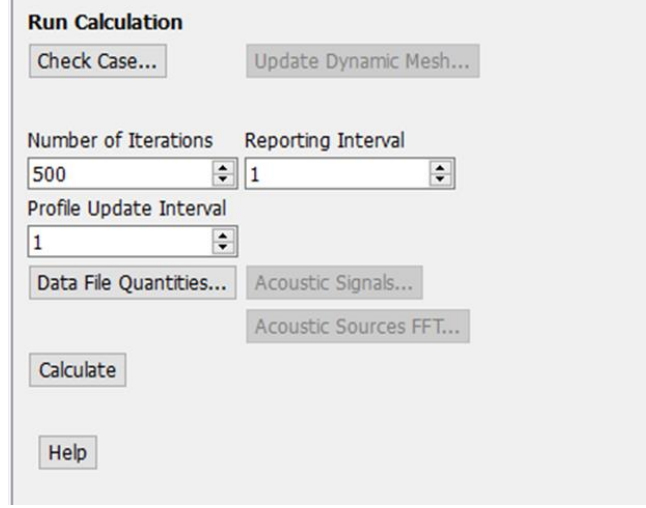
Resim 3.32 İkinci monitörün oluşturulması.

Tamamlanan işlemlerin ardından çözüm işlemi aşamasına geçip 500 iterasyon kullanılarak program çalıştırılmıştır. Aşağıdaki Resim 3.33'te çözüm hazırlık aşamasına başlanmıştır.

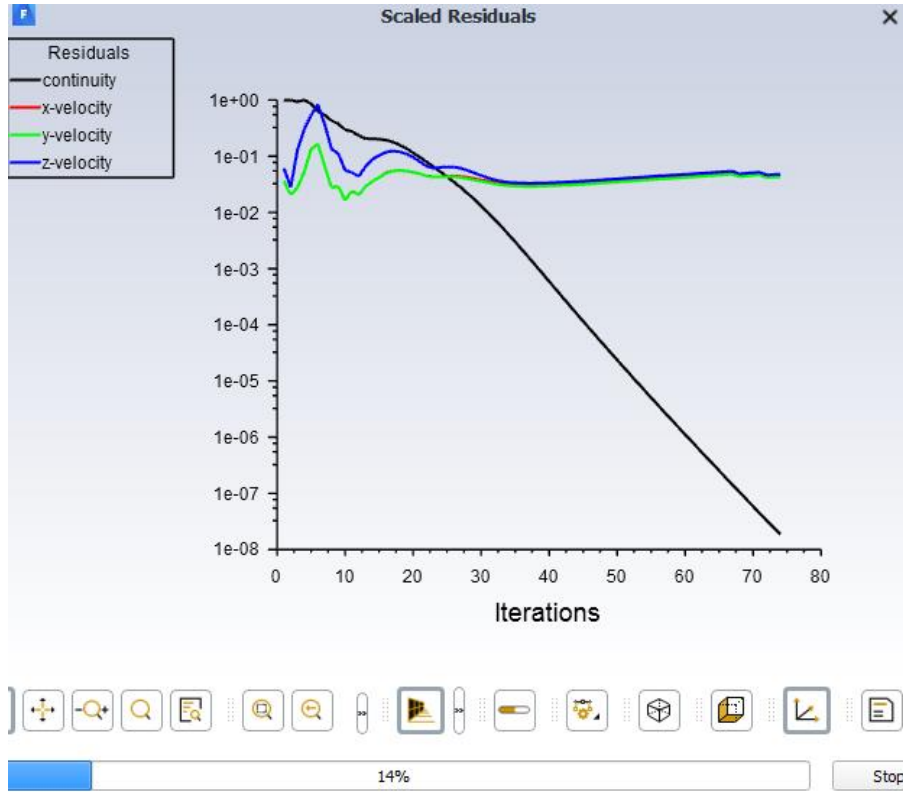


Resim 3.33 Çözüm aşamasına hazırlık işlemi.

Son olarak Resim 3.34'teki gibi adım sayısı belirlenip çözüm Resim 3.35'teki gibi hesaplama başlatılmıştır.



Resim 3.34 Çözüm aşamasının adım sayısının belirlenmesi.



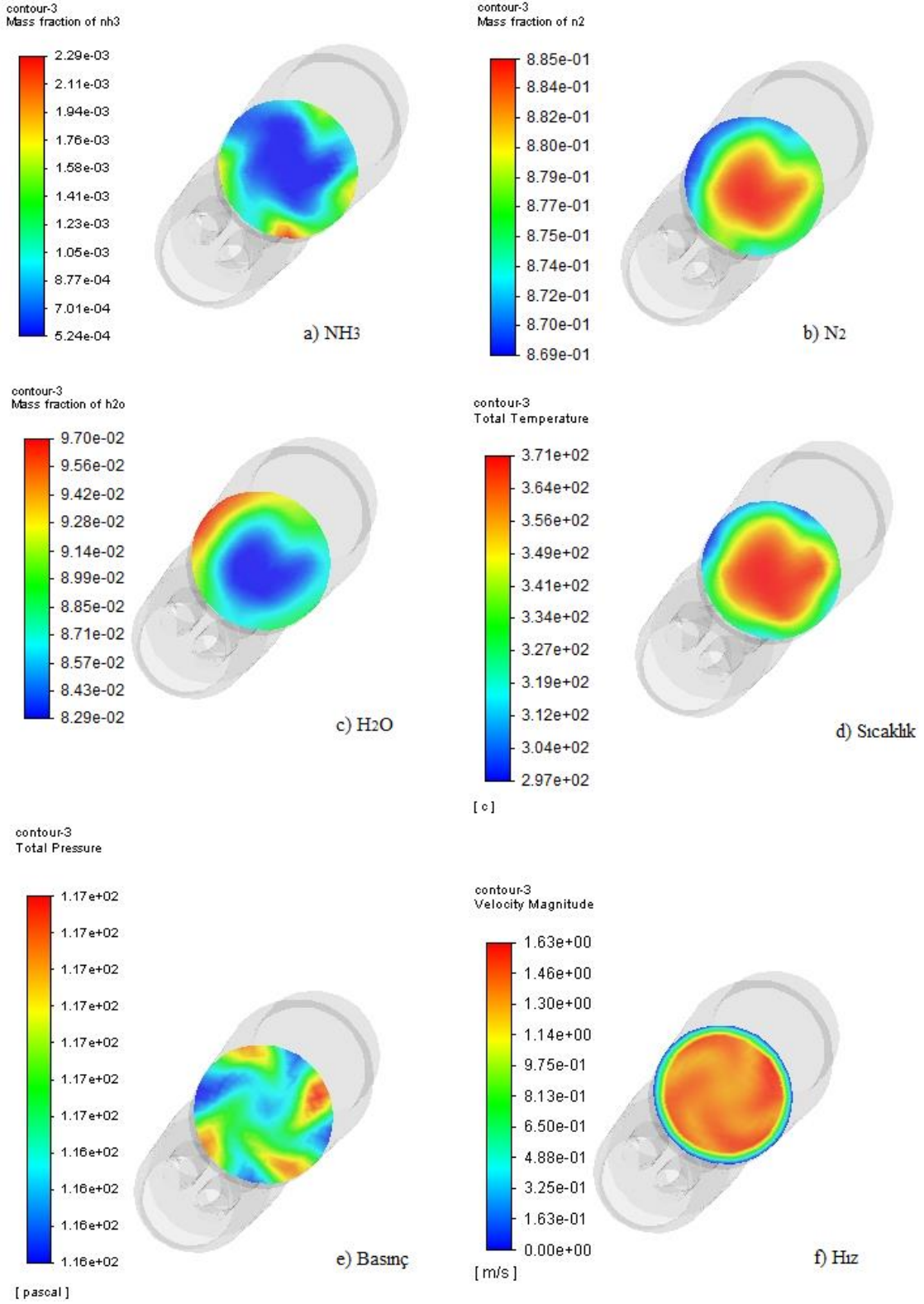
Resim 3.35 Analizin başlatılması.

4. BULGULAR

Belirlenen değerler ve şartlar sonucunda hesaplanma tamamlanmıştır. SCR'de bulunan katalizör girişi ile katalizör çıkışı bölgesinde meydana gelen kimyasal tepkime sonucu oluşan ürünlere ve sıcaklık, basınç, hız değerlerine bakılmıştır.

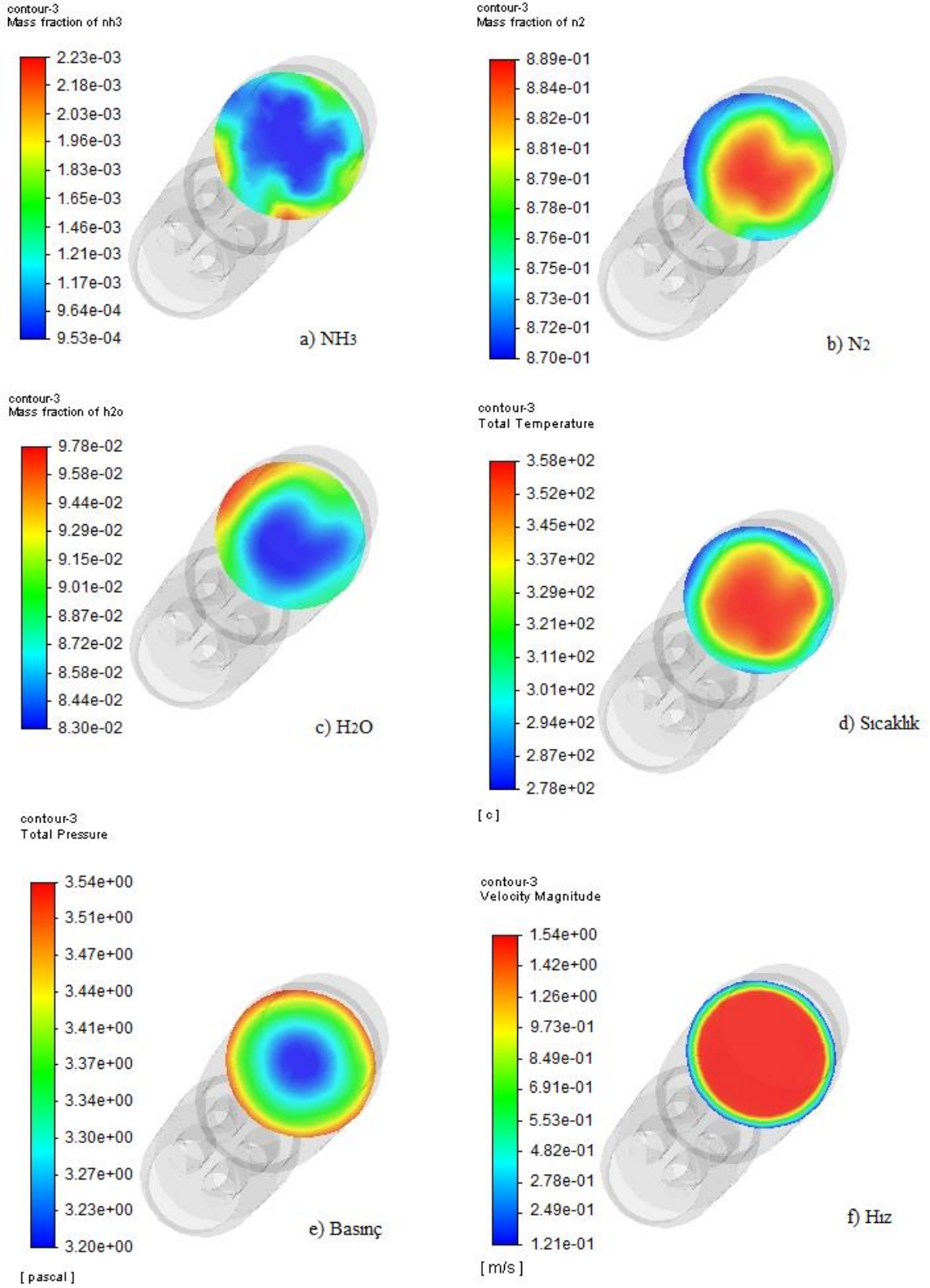
4.1 Katalizör Girişi ve çıkışındaki V_2O_5 'e Ait Değerler

şekil 4.1'de analizde kullanılan katalizörlerden biri olan V_2O_5 'e ait katalizör girişindeki NH_3 , N_2 ve H_2O 'nun kütleel oranları incelenmiştir. Aynı zamanda emisyonu etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerlerine bakılmıştır. N_2 ve H_2O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH_3 'e göre daha fazla kütleel orana sahip olduğu görölmüştür. Bakılan kütleel oranlar diğer katalizörlere göre daha yüksektir. Sıcaklık dağılımının diğer iki katalizöre göre daha düşük olduğu basınç dağılımının ise eşit olduğu görölmüştür.



Şekil 4.1 V₂O₅'e ait katalizör girişindeki NH₃, N₂, H₂O'nun kütleli oranı ve sıcaklık, basınç, hız dağılımları.

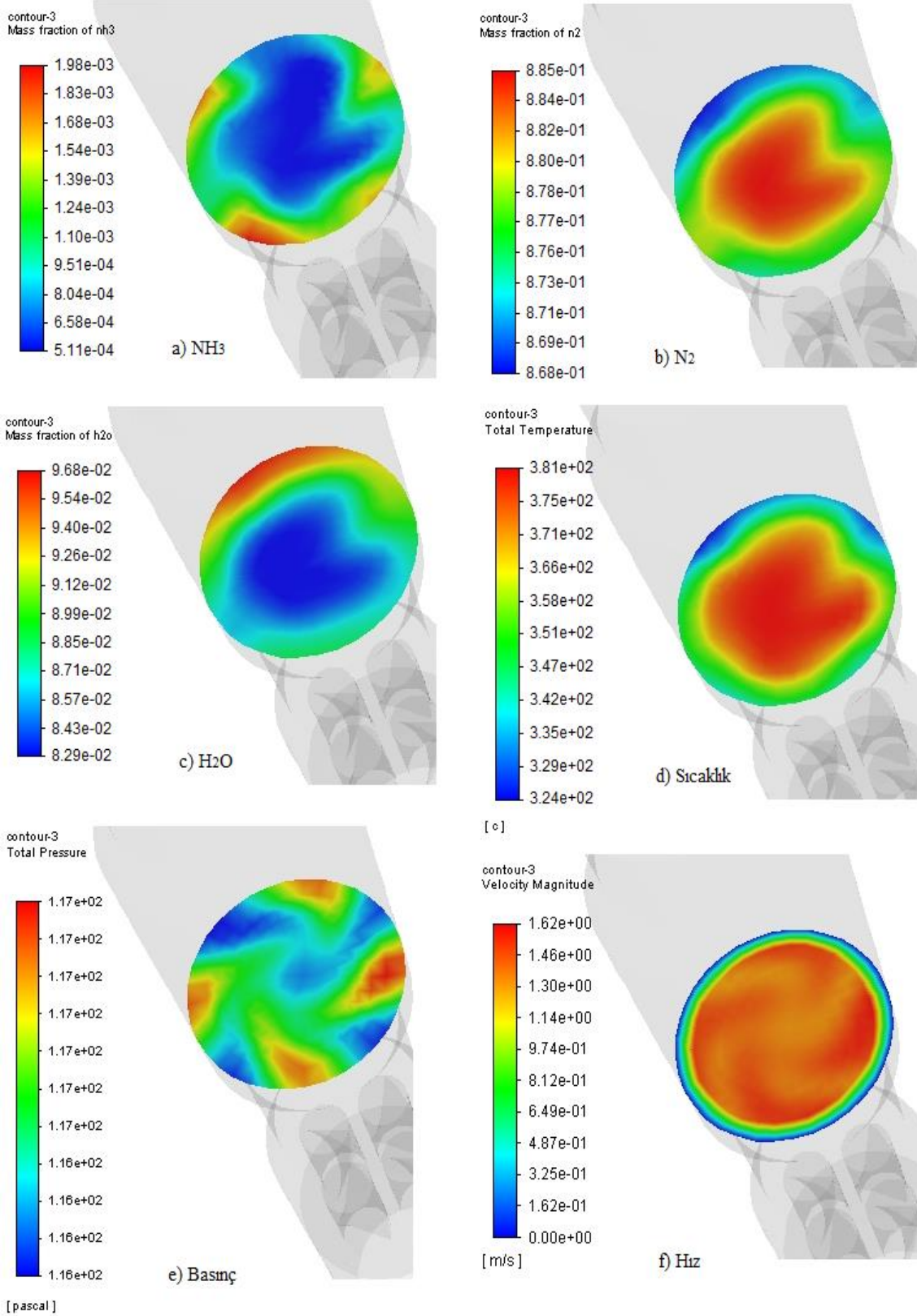
Şekil 4.2’de analizde kullanılan katalizörlerden biri olan V_2O_5 ’e ait katalizör çıkışındaki NH_3 , N_2 ve H_2O ’nun kütle oranları verilmiştir. Aynı zamanda emisyona etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerler incelenmiştir. N_2 ve H_2O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH_3 ’e göre daha fazla kütle oranına sahip olduğu görülmüştür. NH_3 , N_2 ve H_2O kütle oranı diğer iki katalizör malzemesine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ve basınç değerlerinin diğer iki katalizöre göre daha düşük olduğu görülmüştür. Katalizör çıkışındaki hız dağılımının ise diğer iki katalizör malzemesinden yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 4.2 V₂O₅'e ait katalizör çıkışındaki NH₃, N₂, H₂O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.

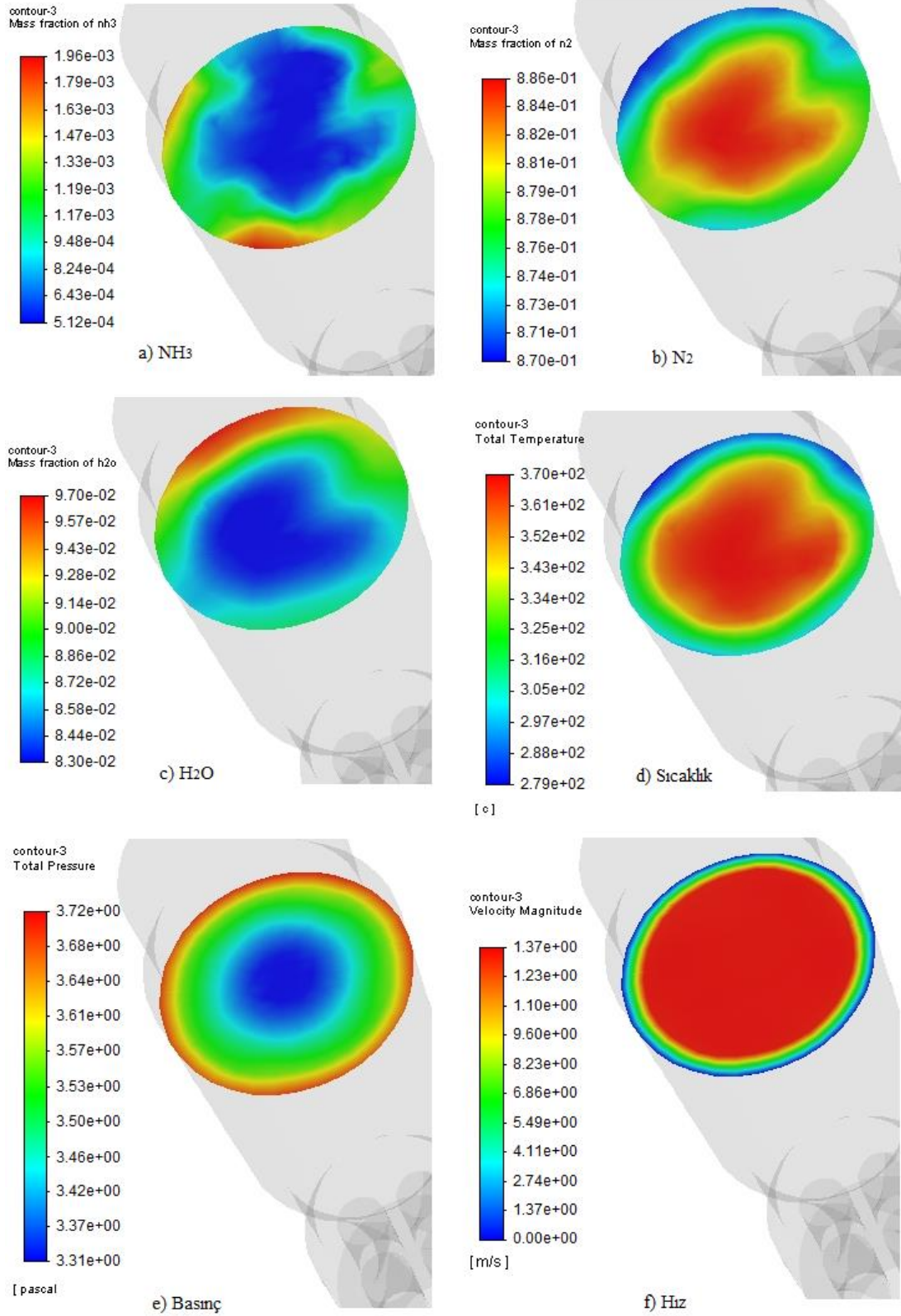
4.2 Katalizör Girişi ve Çıkışındaki WO₃'e Ait Değerler

Şekil 4.3'de analizde kullanılan katalizörlerden biri olan WO₃'e ait katalizör girişindeki NH₃, N₂ ve H₂O'nun kütleli oranları verilmiştir. Aynı zamanda emisyonu etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerleri incelenmiştir. NH₃, N₂ ve H₂O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH₃'e göre daha fazla kütleli orana sahip olduğu görülmüştür. NH₃ ve H₂O'nun kütleli oranı diğer iki katalizör malzemesine göre düşük olup N₂'nin ise kütleli oranı TiO₂ ve V₂O₅'e eşit olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık dağılımının diğer iki katalizöre göre daha yüksek olduğu basınç dağılımının ise diğer iki katalizör değerlerine eşit olduğu görülmüştür. Son olarak bakılan hız dağılımının ise TiO₂ katalizör malzemesine eşit, V₂O₅ katalizöründen düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3 WO₃'e ait katalizör girişindeki NH₃, N₂, H₂O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.

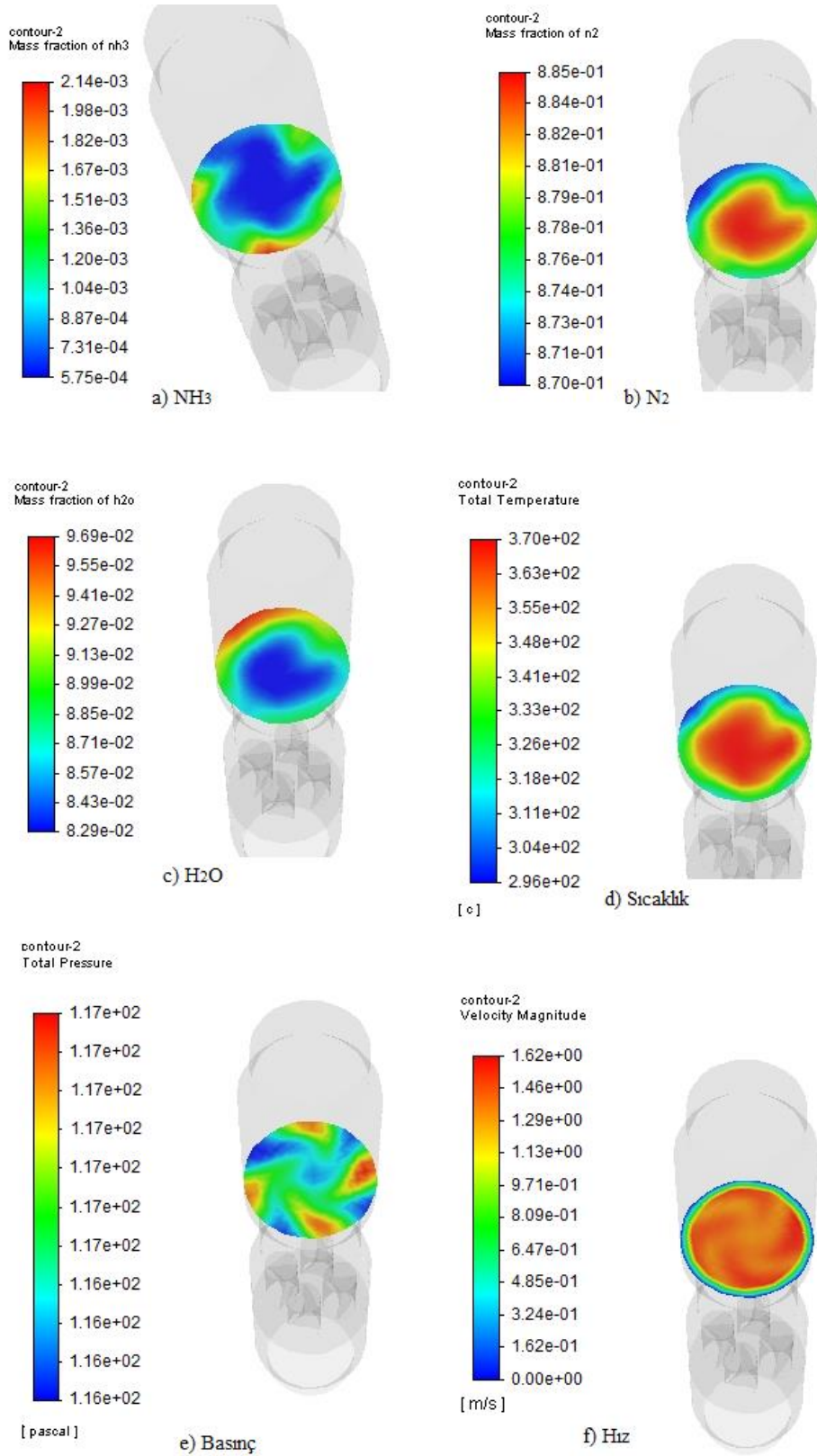
Şekil 4.4’de analizde kullanılan katalizörlerden biri olan WO_3 ’e ait katalizör çıkışındaki NH_3 , N_2 ve H_2O ’nun kütleli oranları verilmiştir. Aynı zamanda emisyonla etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerleri incelenmiştir. NH_3 , N_2 ve H_2O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH_3 ’e göre daha fazla kütleli orana sahip olduğu görülmüştür. NH_3 , N_2 ve H_2O ’nun kütleli oranı diğer iki katalizör malzemesine göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ve basınç dağılımının diğer iki katalizöre göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Son olarak bakılan hız dağılımının ise TiO_2 katalizör malzemesine eşit, V_2O_5 katalizöründen düşük olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.4 WO₃'e ait katalizör çıkışındaki NH₃, N₂, H₂O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.

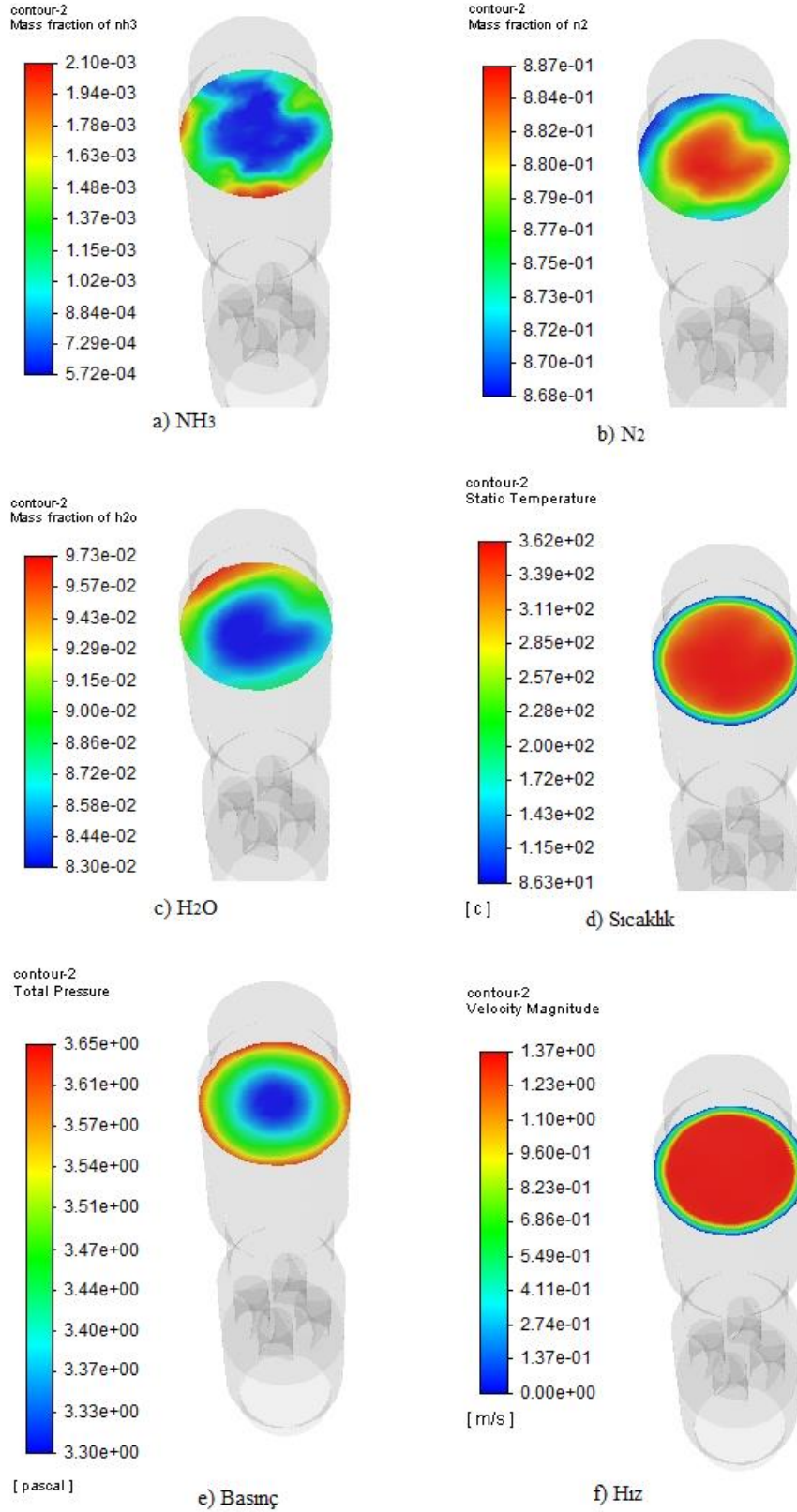
4.3 Katalizör Girişi ve Çıkışındaki TiO₂'ye Ait Değerler

Şekil 4.5'de analizde kullanılan katalizörlerden biri olan TiO₂'ye ait katalizör girişindeki NH₃, N₂ ve H₂O'nun kütleli oranları elde edilmiştir. Aynı zamanda emisyonuna etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerlerine bakılmıştır. NH₃, N₂ ve H₂O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH₃'e göre daha fazla kütleli orana sahip olduğu görülmüştür. NH₃ ve H₂O'nun kütleli oranı V₂O₅'e göre düşük, WO₃'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür. N₂'nin ise kütleli oranının ise WO₃ ve V₂O₅'e eşit olduğu incelenmiştir. Sıcaklık dağılımı diğer iki katalizöre göre daha düşük olduğu basınç dağılımının ise diğer iki katalizör değerlerine eşit olduğu görülmüştür. Son olarak bakılan hız dağılımının ise WO₃ katalizör malzemesine eşit, V₂O₅ katalizöründen düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5 TiO₂'ye ait katalizör girişindeki NH₃, N₂, H₂O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç, hız dağılımları.

Şekil 4.6’da analizde kullanılan katalizörlerden biri olan TiO_2 ’ye ait katalizör girişindeki NH_3 , N_2 ve H_2O ’nun kütleli oranları elde edilmiştir. Aynı zamanda emisyonuna etki eden sıcaklık, basınç ve hız dağılımlarının minimum ve maksimum değerleri incelenmiştir. NH_3 , N_2 ve H_2O değerleri kimyasal reaksiyonda oluşan ürünler olduğu için NH_3 ’e göre daha fazla kütleli orana sahip olduğu görülmüştür. NH_3 , N_2 ve H_2O ’nun kütleli oranı V_2O_5 ’e göre düşük, WO_3 ’e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ve basınç dağılımı V_2O_5 ’e göre yüksek, WO_3 ’e göre düşük olduğu görülmüştür. Son olarak bakılan hız dağılımının ise WO_3 katalizör malzemesine eşit, V_2O_5 katalizöründen düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6 TiO₂'ye ait Katalizör çıkışındaki NH₃, N₂, H₂O'nun kütle oranı, sıcaklık, basınç ve hız dağılımları.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmadaki temel amaç SCR sisteminde katalizörlerin etkisinin analizidir. Yapılan çalışmada üç katalizör malzemesine ait üç farklı sonuç elde edilmiştir. Bu farklılık katalizörlerin kimyasal kimliklerine göre değişmektedir. SCR’de gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonrasında N_2 ve H_2O meydana gelmektedir. Bu nedenle analiz sonucunda katalizör giriş bölgesinde ve çıkış bölgesinde meydana gelen NO_x , N_2 ve H_2O yoğunluğu göz önünde bulundurularak aynı zamanda egzoz emisyonlarını etkileyen sıcaklık basınç ve hız dağılımlarına bakılmıştır. Yapılan analiz sonucunda aşağıda çizelge 5.1 ve çizelge 5.2’deki değerler elde edilmiştir. Verilen değerlerde kütle oran, boyutsuz olduğu için birim yazılmamıştır.

Çizelge 5.1 Analiz sonucu katalizör girişinde oluşan değerler.

Katalizör Türü	NH_3	N_2	H_2O	Sıcaklık (°C)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)
Vanadyum Pentaoksit (V_2O_5)	0.00229	0.885	0.0970	371	117	1.63
Tungsten Trioksit (WO_3)	0.00198	0.885	0.0968	381	117	1.62
Titanyum Dioksit (TiO_2)	0.00214	0.885	0.0969	370	117	1.62

Çizelge 5.2 Analiz sonucu katalizör çıkışında oluşan değerler.

Katalizör Türü	NH_3	N_2	H_2O	Sıcaklık (°C)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)
Vanadyum Pentaoksit (V_2O_5)	0.00223	0.889	0.0978	358	3.543	1.54
Tungsten Trioksit (WO_3)	0.00196	0.886	0.0970	370	3.72	1.37
Titanyum Dioksit (TiO_2)	0.00210	0.887	0.0973	362	3.63	1.37

Verilen çizelgelerde ki değerlere bakıldığında katalizörün giriş ve çıkış bölgesindeki en yüksek NH_3 yoğunluğu V_2O_5 ’e aittir. Bu değer tek başına bir anlam ifade etmediğinden

N_2 ve H_2O değerleri ile birlikte bakılmıştır. V_2O_5 'de ortamda tepkimede kullanılan diğer katalizörlere göre daha fazla NH_3 yoğunluğu olmasına rağmen giriş ve çıkış bölgesinde daha fazla N_2 ve H_2O yoğunluğu mevcuttur. Çizelgede bulunan sıcaklık, basınç ve hız dağılımına bakıldığında giriş bölgesindeki basıncın eşit olmasına rağmen iki çizelge de göz önünde bulundurulduğunda en düşük sıcaklık ve basınç dağılımının V_2O_5 'e ait olduğu görölmektedir. Sıcaklık ve basınç egzoz emisyonunu olumsuz etkilemektedir. Bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda V_2O_5 'in diğer katalizörlere göre daha verimli olduğu kanıtını desteklemektedir. Bu iki çizelgedeki verilen NH_3 , N_2 ve H_2O yoğunlukları ve sıcaklık basınç ve hız dağılımlarından en yüksek verimliliğin V_2O_5 'de, en düşük verimliliğin ise WO_3 'de olduğu görölr. Bu sonuçlardan da bakılarak SCR'de kullanılacak en uygun katalizör V_2O_5 olduğu olduğu anlaşılmaktadır. Ancak V_2O_5 'in maliyeti çok yüksektir. Bundan dolayı katalizör malzemesi seğerken bu faktörde önemli bir etkindir. Katalizörlerin SCR'deki etkisini deneylerle yapmak yerine analiz yöntemleri ile yapmak daha hızlı ve daha maliyeti az bir yöntem olacaktır. Bu analiz yöntemi ile daha verimli katalizörler geliştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M, 2007, Alternatif Enerji Kaynakları, 9786053950479, Nobel Yayın Dağıtım, 609, Ankara.
- Acar, M, 2019, Batman'da ıkarılan Ham Petrolün Ağır Metal İçeriklerinin Aas ile Tayini, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s Batman.
- Agarwal, D, Sinha, S, Agarwal, A.K, 2006, Experimental Investigation of Control of NO_x Emissions in Biodiesel-fueled Compression Ignition Engine, Renewable Energy, 31, 2356-2369
- Aktaş, A, Sekmen, Y ,2008, Biyodizel ile alışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakakltesi Dergisi, 23, 199-206.
- Aktaş, D, Doğan, O, 2010, ift Yakıtlı Bir Dizel Motorda Lpg Yüzdesinin Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25, 171-178.
- Alkaya, B, Yıldırım, M.A, 2000, Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma, Yöntemleri, Ekoloji, 34, 16-20.
- Alptekin, E, anakı, M, 2006, Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu, Mühendis ve Makina, 47 (561), 57-64.
- Amin, N, 2009, Reducing Emissions From Private Cars: Incentive Measures For Behavioural Changes. United Nations Environment Programme, 7-9.
- Anar., N, Bayram P, 2018, Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) Sistemi ve Araçlara Adaptasyonu. Politeknik Dergisi, 21, 941-950.
- Aydın, M, and Aktaş, A, 2016, Common Rail Dizel Motorlarda Yakıt Enjeksiyon Basıncı Kontrol Yöntemleri, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi , 5, 237-255.
- Aydoğan, B, 2008, Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NO_x Emisyonlarının ve NO_x Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Denizli.

- Azi, H, 2017, Bir Dizel Motorunda Hint Yağı Biyodizeli ve Dietil Eter Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Batman.
- Balmes, J.R, Earnest, G, Katz, P.P, Yelin, E.H, Eisner, M.D, Chen, H, Trupin, L, Lurmann, F, Blanc, P.D, 2009, Exposure to Traffic: Lung Function and Health Status in Adults With Asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 123, 626-631.
- Berrios, M, Skelton, R.L, 2008, Comparison of Purification Methods for Biodiesel, *Chem Eng J*, 144, 459-65.
- Bosh, R, 2006, Diesel-Engine Management, 4, Wiley, 680s, Germany
- Bilgen, S, 2000, Bazı Yakıtların Kimyasal Ekserji Değerlerinin Hesaplanması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Trabzon.
- Borat, O, Balcı, M, Sürmen, A, 1994, Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, 3, 259-264
- Brünekreef, B, Holgate, S.T, 2002, Air pollution and health, *The Lancet* 360, 9341, 1233-1242.
- Calam, A, Solmaz, H, Yılmaz, E, İçingür Y, 2019, Investigation of Effect of Compression Ratio on Combustion and Exhaust Emissions in A HCCI Engine, *Energy*, 168, 1208–1216.
- Challen, B, Baranescu, R, 1999, Diesel Engine Reference Book 2nd e, Butterworth-Heinemann, Oxford, 479-480.
- Christine, B.K, 2006, Shaping The Terms of Competition: Environmental Regulation and Corporate Strategies to Reduce Diesel Vehicle Emissions, Massachusetts Institute of Technology, 244-256.
- Ciniviz, M, Salman, M.S, Çarman, K, 2001, Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Selçuk-Teknik Online Dergisi, ISSN 1302-6178, Volume: 2, Number: 1.

- Çanakçı, M., (2007) Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresource Technology*, 98, 1167–1175.
- Çakır, E, 2007, Dizel Motorun Gerçek Çevrimi ve Piston-Biyel Mekanizmasının Kinematik, Dinamik ve Mukavemet Hesaplarının Matematik Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, İstanbul.
- Çavgun, E, 2019, Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda Sıkıştırma Oranının LPG Kullanımına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Batman.
- Diler, A. (2006). Şehir İçi Toplu Taşımacılıkta Kullanılan Otobüslerde Doğal Gaz.Kullanımının Karbondioksit Emisyonlarına Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, İstanbul.
- Dobrzyńska, E, Szewczyńska, M, Pośniak, M, Szczotka, A, Puchalka, B, Woodburn, J, 2020, Exhaust Emissions From Diesel Engines Fueled by Different Blends With the Addition of Nanomodifiers and Hydrotreated Vegetable Oil HVO. *Environmental Pollution* ,259, 113772.
- Eliçin, A.K, 2011, Biyodizel Yakıtlı Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyonlarının Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 124s, Ankara.
- Erçek, E, 2011, Dizel Araçlarda Biyomotorin Karışımlarının Yanmasının ve Egzoz Gazı Ürünlerinin Modellenmesi Üzerine Bir Araştırma, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Konya.
- Fernando, S, Kara, P, Hernandez, R, Jha, S. K, 2006, Effect of Incompletely Converted Soybean Oil on Biodiesel Quality, *Energy*, 32, 844-851.
- Gholami, F, Tomas, M, Gholami, Z, Vakili, M, 2020, Technologies For the Nitrogen Oxides Reduction From Flue Gas: A review. *Science of The Total Environment*, 136712.
- Hamada, H, Haneda, M, 2012, A Review of Selective Catalytic Reduction of Nitrogen

- Oxides with Hydrogen and Carbon Monoxide, Applied Catalysis A: General, 421- 422 ,1-13.
- Harsh, K, Hardik, B, Yuvrajsinh, D, Sajjan C, 2019, Investigation of Emulsion and Effect on Emission in CI Engine by Using Diesel and Bio-Diesel Fuel: R Review, Egypt J Pet, 28, 323–37.
- Hountalas, D.T, Mavrapoulos, G.C, Binder, K.B, 2006, Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) Temperature For Various EGR Rates on Heavy Duty DI Diesel Engine Performance and Emission, Energy, 33, 272-283.
- Ickes, M.A, 2009, Fuel property İmpact on a Premixed Diesel Combustion Mode, Michigan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 167s, USA.
- Jeong, C.S, Kang, J, 2000, Effects of Fuel Composition and Properties on Autoignition of Automotive Diesel Engine, Applied Chemistry, 4, 125-128.
- Johnson, T, 2008, Diesel Emission Control Tecnology in Review, SAE Paper, 69.
- Kaytakoglu, S, Var, F, Ocal, S.E, 1995, Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Kirlilik ve Giderilme Yöntemleri, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü 3.Ulusal Sempozyumu, Ankara, 143-155,
- Kegl B., 2006, Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel, Fuel, Energy & Fuels, 20, 1460-1470.
- Keleş, G, 2012, Dizel Motorların CNG ve LPG Yakıtlarına Gönüşümünde Gerçek Çevrimin Teorik ve Deneysel Çalışmalarla Optimizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İstanbul.
- Kimura, S, Aoki, O, Kitahara,Y, Aiyoshizawa, E, 2001, Ultra-Clean Combustion Technology Combining a Low-Temperature and Premixed Combustion Concept For Meeting Future Emission Standards, SAE paper no. 2001-01-0200, Society of automotive Engineers Inc, Warrendale, PA.
- Koebel, M, Elsener, M, Kleemann M, 2000, Urea-SCR- a Promising Technique to Reduce NOx Emissions From Automotive Diesel Engines, Catal Today, 59, 335–45.

- Kouremenos, D.A, Hountalas, D.T, Binder, K.B, Raab, A, Schnabel, M.H, 2001, Using Advanced Injection Timing and EGR to Improve DI Diesel Engine Efficiency at Acceptable No and Soot Level, Society of Automotive Engineers Inc, Warrendale, PA, SAE paper no. 2001-01-0199.
- Kwon, S, Park, Y, Park, J, Kim, J, Choi, K.-H, Cha, J.-S, 2017, Characteristics of on-Road NOx Emissions From Euro 6 Light-Duty Diesel Vehicles Using a Portable Emissions Measurement System, Science of The Total Environment ,576, 70-77.
- Lazaro, J.L, Garcia-Bernad, J.L, Perez,C, Galindo, J, Climent, H, Arnau, F.J, 2002.Cooled EGR Modulation: a Strategy to Meet EURO IV Emission Standards in Automotive DI Diesel Engines, Society of Automotive Engineers Inc, Warrendale, PA SAE paper no. 2002-01-1154.
- Li Z, Deng J, Li L, Cao L, Wu Z. A study on the factors affecting heated wall impinging characteristics of SCR spray. SAE Technical Paper; 2011.
- Maurya, R.K, Agarwal A.K, 2011, Experimental Study of Combustion and Emission Characteristics of Ethanol Fuelled Port Injected Homogenous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion Engine, Applied Energy, 88,1169-1180.
- Merker, G, P, Schwarz, C , Stiesch, G, and Otto, F, 2006, Simulating Combustion Simulation of Combustion and Pollutant Formation for Engine-Development, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 60-140.
- N, Parish, C, Davies, J, Fitzpatrick vd, Air quality-Fourt Report of Session 2015–16, House of Commons, 27 April 2016, London.
- Newton, K, Steeds, W, Garrett, T.K, 1996, The Motor Vehicle, Butterworth Heinemann Press, England.
- Nişancı, S, 2007, Biyodizel Yakıt Karışımlarının Performans ve Emisyon Üzerine Etkilerinin Deneysel Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 4-14, İstanbul.
- Oh, S. K, Baik, D. S, Han, Y. C, 2003, Emission Characteristics in Ultra Low Sulfur Diesel, International Journal of Automotive Technology, 4, 95- 100.

- Rakopoulos, C. D, Giakoumis, E. G, 2009, Diesel Engine Transient Operation principles of Operation and Simulation Analysis, Springer-Verlag London Limited, Tempere, 141-178, Finland.
- Reşitoğlu, İ.A, 2015, NOx Pollutants from Diesel Vehicles and Trends in the Control Technologies, Diesel and Gasoline Engines, IntechOpen.
- Safa, A, 2006, İçten Yanmalı Motorlarda Proses ve Emisyon Modellemesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 15-25, İstanbul.
- Safgönül, B, Ergeneman, M, Aslan, H.E, Sorusbay, C, 1995, İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, ,50-57, İstanbul.
- Saraç, S, 2011, Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda LPG/Biyodizel Oranının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , 76s, Karabük
- Saxena S, Bedoya I.D, 2013, Fundamental Phenomena Affecting Low Temperature Combustion and HCCI Engines, High Load Limits and Strategies for Extending These Limits, Progress in Energy and Combustion Science, 39, 457–488.
- Sert, İ, 2008, Balıkesir İl Merkezinde Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Hesaplanması, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, Balıkesir.
- Schweitzer, L, Valenzuela, A, 2004, Environmental injustice and transportation: the claims and the evidence, Journal of Planning, 18, 383–398.
- Sher, E., 1998. Handbook Of Air Pollution From Internal Combustion Engines: Pollutant Formation and Control. Academic Press, 312-315, Boston.
- Sluder, S.C, Storey, J, Lewis, S, and Lewis, L, 2005, Low Temperature Urea Decomposition and SCR Performance, SAE Technical Paper, 2005-01-1858.
- Soh, L, Leggieri P.A, Senra, M, 2018, Cloud Point and Crystallization in Fatty Acid Ethyl Ester Biodiesel Mixtures With and Without Additives, Fuel, vol. 222, 243-249.
- Tac, A, 2016, Sıvı Yakıtların Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109s, Trabzon.

- Temizer, İ, Eskici, B, 2020, Tek Silindirli Dizel Bir Motorun Performans ve Emisyonları Üzerinde Biodizel Karışımli Yakıtların Etkisinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi, BEU Fen Bilimleri Dergisi, 9, 733-746.
- Tillem, İ, 2005, Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, 71s Denizli.
- Uçar, G, 2006, Bazı Biyodizel Yakıtlarında Yoğunluk, Viskozite ve Parlama Noktasının Isıl Değere Etkisinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3-9, Konya.
- Uyumaz, A, Boz, F, Yılmaz, E, Solmaz, H, Polat, S, 2017a, Taşıt Egzoz Emisyonlarını Azaltma Yöntemindeki Gelişmeler, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, özel sayı 1:15-24,11.
- Uzun, S, 2020, Dizel Bir Motorda Atık Lastikten Elde Edilen Pirolitik Yakıtın Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, Karabük,83.
- Ünal, C, 2006, Örnek Dizel Motorda Püskürtmenin Fazlara Ayrılmasının NOx ve İş Oluşumuna Etkisinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 12s, İstanbul.
- Yahya, A, and Marley S.J, 1994, Performance and Exhaust Emissions of A Compression Ignition Engine Operating on Ester Fuels at Increased Injection Pressure and Advanced Timing, Biomass and Bioenergy, 6,4, 297-319.
- Yim, S. D, Kim, S. J, Baik, J. H, Nam, I. S, Mok, Y. S, Lee, J. H, Cho, B. K, Oh, S.H, 2004, Decomposition of Urea into NH3 for the SCR Process, Industria and Engineering Chemistry Research, 43, 4856-4863.
- Yurttaş, İ.İ, 2013, Hidrojene Amonyak İlavesinin İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Kayseri.
- Way, P, Viswanathan, K, Preethi, P, Gilb, A, Zambon, N, Blaisdell, J, 2009, SCR Performance Optimization Through Advancements in Aftertreatment Packaging, SAE-Worldcongress, 01-0633.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.thesisat.org/motorin-nedir-yapisi-ozellikleri.html>, (12.08.2017)
- 2- <https://www.dogalgazprojesi.com/5238/yakitlarin-isil-degerleri.html> , (27.03.2008)
- 3- <http://apelasyon.com/Yazi/890-ulkemiz-icin-alternatif-biyodizel-hammaddesi-pelemir>, (17/10/2018)
- 4- <https://www.tech-worm.com/dizel-motorlarinin-calisma-prensibi/amp/>, (17.07.2016)
- 5-<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2016/06/common-rail-yakit-sistemi-parcalari-ve-arizasi.html?showComment=1480773005771>, (14.06.2016)
- 6-<https://ipa-news.com/index/pgm-applications/automotive/>, (19.03.2014)
- 7-<https://nanokar.com/blog/makale/Vanadyum-Penta-Oksit-Nedir-Kullanim-Alani-96.html> (18.11.2018)
- 8-<https://metaltozlari.com/tungsten-trioksit-nedir/>, (04.07.2019)
- 9-<https://haliccevre.com/titanyum-dioksit/>, (08.15.2017)
- 10-<https://www.abfuellservice.com/AdBlue>, (02.06.2018)
- 11-<https://otomobilteknoloji.blogspot.com/2019/05/scr-sistemi-nedir-nasl-calsr-secici.html?m=0> (12.05.2017)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Neslihan Aksoy
Doğum Yeri ve Tarihi : Kilis/ 18.07.1995
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 0543 302 0342/neslihanaksoy2027@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mehmet Uygun Lisesi (2009–2013)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği (2014–2018)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı (2019-2021)