

**İKİ KADEMELİ SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN  
MEKANİK MODÜLASYONLU BRÜLÖRE  
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ  
VE BAĞLANTI MEKANİZMASINA AİT  
MUKAVEMET  
ANALİZİ**

**2014  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Özkan AKDENİZ**

**İKİ KADEMELİ SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN MEKANİK  
MODÜLASYONLU BRÜLÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BAĞLANTI  
MEKANİZMASINA AİT MUKAVEMET ANALİZİ**

**Özkan AKDENİZ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2014**

Özkan AKDENİZ tarafından hazırlanan “İKİ KADEMELİ SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN MEKANİK MODÜLASYONLU BRÜLÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BAĞLANTI MEKANİZMASINA AİT MUKAVEMET ANALİZİ“ başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/ 06/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Emrah DENİZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

İmzası



...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Özkan AKDENİZ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **İKİ KADEMELİ SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN MEKANİK MODÜLASYONLU BRÜLÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE BAĞLANTI MEKANİZMASINA AİT MUKAVEMET ANALİZİ**

**Özkan AKDENİZ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Mustafa GÜNAY**

**Haziran 2014, 84 sayfa**

Bu çalışmada, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (BEPY) kapsamına uygunluk bakımından, 1200 kW üzerindeki iki kademeli sıvı yakıtlı brülörlerin modülasyonlu tip brülöre dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda mekanik modülasyonlu bir brülörün tasarımı yapılmış ve uygunluğu bir takım laboratuvar testleri ile doğrulanmıştır. Yanma performans testleri sonucunda modülasyonlu brülörün çalışma eğrisi elde edilmiştir. Performans testlerinin yanında brülörün kazana montajını sağlayan bağlantı mekanizmasının tasarımı çeşitli mukavemet analizleri ile gerçekleştirilerek yenilenmiştir.

Bu sayede, brülörün kendi ağırlığından kaynaklanan menteşe çatlaması, kırılması gibi olumsuzluklar neticesinde brülöre zarar verebilecek oluşumların önüne geçilmiştir. Bu bağlamda, yeni tasarım menteşelerin sonlu elemanlar yöntemine göre bilgisayar ortamında statik mukavemet analizleri yapılmıştır. Tasarımlar arasından en iyi mukavemete sahip olan belirlenmiş olup, bir test düzeneği kullanılarak menteşe tasarımının uygunluğu doğrulanmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : Sıvı yakıtlı brülörler, mukavemet analizi, sonlu elemanlar yöntemi, modülasyonlu brülör.

**Bilim Kodu** : 914.3.029

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **CONVERSION OF A TWO STAGE LIQUID FUEL BURNER TO MECHANICALLY MODULATING BURNER AND STRENGTH ANALYSIS OF CONNECTION MECHANISM**

**Özkan AKDENİZ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY**

**June 2014, 84 pages**

The aim of this study is the conversion of two stage liquid fuel burners which is greater than 1200 kW to modulated burners in according to BEPY (Energy Performance Regulations at Buildings). In this manner, a mechanically modulating burner was designed and the confirmation of the design was done with some laboratory tests. Modulated burner study curve were found through the burning performance tests. In addition to performance tests, the connection mechanism which connects the burner to boiler was redesigned with several strength analysis.

In this way, formations which may damage to burner was prevented as a result of negativity such as hinge cracking and fracture caused by the weight of the burners. In this regard, static strength analysis of new design hinges was made as software according to finite element method. The design having the best strength was determined between all desings and suitability of hinge design was validated by using a test setup.

**Keywords** : Liquid fuel burners, strength analysis, finite element method, modulated burner.

**Science Code** : 914.3.029



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Brülör testlerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Alarko Carrier A.Ş. personeli AR-GE (Araştırma - Geliştirme) ısı bölüm şefi Sayın Mehmet ÖNSEL'e teşekkür ederim. Ayrıca, analiz çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen KBÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Mehmet Erdi KORKMAZ'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. BRÜLÖRLER ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.2. BAĞLANTI MEKANİZMALARINI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR ...	9
BÖLÜM 3. ....	13
BRÜLÖRLER VE YANMA TEORİSİ .....	13
3.1. BRÜLÖR ÇEŞİTLERİ .....	13
3.1.1. Katı Yakıt Brülörleri .....	13
3.1.2. Sıvı Yakıt Brülörleri.....	13
3.1.3. Gaz Yakıt Brülörleri.....	14
3.1.4. Özel Yakıt Brülörleri.....	14
3.1.5. Yakıtın Atomizasyon Yöntemine Göre Brülörler.....	15
3.2. YANMA VE YAKITLAR.....	16
3.2.1. Yanma Koşulları .....	17
3.2.2. Teorik Yanma Hali.....	18

	<u>Sayfa</u>
3.2.3. Yakıtlar .....	19
<b>BÖLÜM 4.</b> ....	<b>22</b>
<b>MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>22</b>
4.1. İKİ KADEMELİ VE SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN MEKANİK MODÜLASYONLU BRÜLÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ .....	22
4.1.1. İki Kademeli Sıvı Yakıtlı Brülörlerin Çalışma Prensibi Ve Yapısı .....	22
4.1.2. Modülasyonlu (Oransal) Brülörlerin Çalışma Prensibi Ve Yapısı .....	23
4.1.3. Brülörlere Ait Ana Elemanların Gösterilmesi .....	24
4.1.4. İki Kademeli Brülör İle Modülasyonlu Brülörün Karşılaştırılması .....	28
4.1.5. Brülör Seçimi Ve Kapasite Hesabı .....	33
4.2. BRÜLÖR BAĞLANTI MEKANİZMASI TASARIMI VE ANALİZİ .....	35
4.2.1. Eski Bağlantı Mekanizmasının Tasarımı .....	35
4.2.2. Yeni Bağlantı Mekanizmasının Tasarımı .....	37
4.2.3. Bağlantı Mekanizmasının Mukavemet Analizi .....	39
4.2.4. Modülasyonlu Brülörün Ağırlık Merkezinin Saptanması .....	39
<b>BÖLÜM 5.</b> .....	<b>44</b>
<b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>44</b>
5.1. BAĞLANTI MEKANİZMASININ ANALİZ SONUÇLARI .....	44
5.1.1. Eski Bağlantı Mekanizmasına Ait Analiz Sonuçları .....	44
5.1.2. Yeni Bağlantı Mekanizmasına Ait Analiz Sonuçları .....	47
5.1.3. Analiz Doğrulama Testi .....	67
5.1.4. Bağlantı Mekanizmasının Değerlendirilmesi .....	69
5.2. MODÜLASYONLU BRÜLÖRE AİT DENEYSEL SONUÇLAR .....	70
5.2.1. Deney Laboratuvarı .....	69
5.2.2. Yanma Testi Düzenegi .....	71
5.2.3. Yanma Testi .....	73
5.2.4. Deneysel Sonuçlar .....	74
5.2.5. Mekanik Modülasyonlu Brülörün Değerlendirilmesi .....	77

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 6. ....	78
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 4.1. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün çalışma sistemi.....	23
Şekil 4.2. Mekanik modülasyonlu (Oransal) brülörün çalışma sistemi .....	24
Şekil 4.3. İki kademeli brülörün ana elemanları .....	25
Şekil 4.4. Modülasyonlu (oransal) brülörün ana elemanları. ....	26
Şekil 4.5. İki kademeli ve modülasyonlu brülörün karşılaştırılması.....	27
Şekil 4.6. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün modellenmiş görüntüsü .....	28
Şekil 4.7. Modülasyonlu (oransal kontrollü) brülörün modellenmiş görüntüsü.....	29
Şekil 4.8. Mekanik modülasyonlu brülörde kullanılan kam sistemi.....	30
Şekil 4.9. İki kademeli ve modülasyonlu brülör için ortak kapasite-basınç eğrisi ...	32
Şekil 4.10. Fuel – oil İçin özgül hava ihtiyacı ve duman miktarları.....	35
Şekil 4.11. Brülör yükünü taşıyamamış ve kırılmış menteşe görüntüsü.....	36
Şekil 4.12. Brülör yükünü taşıyamamış ve kırılmış menteşe görüntüsü.....	36
Şekil 4.13. Brülörün konumları .....	38
Şekil 4.14. Yeni menteşe tasarımının gösterilmesi.....	38
Şekil 4.15. Yeni tasarım menteşe çiftinin genel görüntüsü.....	38
Şekil 4.16. Brülör ve menteşesinin açık konumda gösterilmesi.....	40
Şekil 4.17. Brülör ve menteşesinin kapalı konumda gösterilmesi.....	40
Şekil 4.18. X, Y, Z eksenleri şematik gösterimi.....	41
Şekil 4.19. Xm ve Ym noktalarının gösterimi.....	43
Şekil 4.20. Zm noktasının gösterimi.....	43
Şekil 5.1. Eski menteşe çiftinin gösterilmesi.....	44
Şekil 5.2. Eski menteşe çiftindeki eşdeğer gerilme (Equivalent Stress) dağılımı ....	45
Şekil 5.3. Eski menteşe çiftindeki toplam deformasyon (Total Deformation).....	45
Şekil 5.4. Eski menteşe de ki elastik yer değiştirme (Equivalent Elastic Strain).....	46
Şekil 5.5. Eski menteşe çiftindeki emniyet faktörü .....	46
Şekil 5.6. Açık konumdaki menteşelerin iç ve dış yüzey görüntüleri.....	47
Şekil 5.7. Elemanlara bölünmüş bağlantı mekanizmasının iç yüzey görünümü .....	48

## **Sayfa**

Şekil 5.8. Elemanlara bölünmüş bağlantı mekanizmasının dış yüzey görünümü ....	48
Şekil 5.9. Analiz parça ilişkilerinin gösterilmesi .....	49
Şekil 5.10. Yeni menteşenin mevcut menteşe ile ilişkilendirilmesi .....	50
Şekil 5.11. Yeni menteşenin temsili brülör ile ilişkilendirilmesi .....	50
Şekil 5.12. Temsili brülörle ilişkilendirilmiş menteşe çiftlerinin gösterilmesi .....	51
Şekil 5.13. Menteşe sabitleme bilgileri .....	51
Şekil 5.14. Menteşe çiftinin sabitlenen mesnet yüzeylerinin gösterilmesi.....	52
Şekil 5.15. Uygulanan kuvvet bilgileri .....	53
Şekil 5.16. Kuvvet konumunun gösterilmesi .....	53
Şekil 5.17. Menteşeler üzerine uygulanan kuvvetin gösterilmesi .....	54
Şekil 5.18. Analiz öncesi menteşelerin iç ve dış görünüşleri .....	55
Şekil 5.19. Menteşeler üzerine uygulanan analiz tipleri .....	55
Şekil 5.20. Menteşe iç yüzeyindeki eşdeğer gerilme (Equivalent Stress) dağılımı....	56
Şekil 5.21. Menteşe dış yüzeyindeki eşdeğer gerilme (Equivalent Stress) dağılımı ..	56
Şekil 5.22. Menteşe iç yüzeyindeki toplam deformasyon (Total Deformation) .....	57
Şekil 5.23. Menteşe dış yüzeyindeki toplam deformasyon (Total Deformation).....	57
Şekil 5.24. İç yüzeyde oluşan elastik yer değiştirme (Equivalent Elastic Strain) .....	58
Şekil 5.25. Dış yüzeyde oluşan elastik yer değiştirme (Equivalent Elastic Strain)....	58
Şekil 5.26. İç yüzeyde oluşan mak. asal gerilmeler (Max. Principal Stress) .....	59
Şekil 5.27. Dış yüzeyde oluşan mak. asal gerilmeler (Max. Principal Stress).....	59
Şekil 5.28. Analizdeki emniyet faktörleri (Safety Factor) .....	60
Şekil 5.29. Analizdeki emniyet faktörü-1 .....	60
Şekil 5.30. Analizdeki emniyet faktörü-2 .....	61
Şekil 5.31. Analizdeki emniyet faktörü-3 .....	61
Şekil 5.32. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe geometrisi -1.....	63
Şekil 5.33. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -1 .....	63
Şekil 5.34. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -2.....	64
Şekil 5.35. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -2.....	64
Şekil 5.36. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -3.....	65
Şekil 5.37. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -3 .....	65
Şekil 5.38. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -4.....	66
Şekil 5.39. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -4.....	66
Şekil 5.40. Menteşeye uygulanacak kuvvete göre seçilen piston çapları .....	68

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 5.41. Test düzeneği ve menteşe kırılma testi.....	69
Şekil 5.42. ALF 180/M modülasyonlu brülörün kazana montajlanmış görüntüsü ....	70
Şekil 5.43. Yakıt tankının brülöre ve brülörün de kazana bağlanmış görüntüsü. ....	70
Şekil 5.44. Brülör testinin yapılmasını temsil eden şematik gösterim.....	71
Şekil 5.45. Testin yapıldığı TESTO - 350 analyzer marka emisyon ölçüm cihazı ....	72
Şekil 5.46. TESTO-350 marka cihaz ile yapılan baca gazı emisyon ölçüm detayı....	72
Şekil 5.47. Türbülator mesafelerinin gösterilmesi.....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Bazı sıvı ve gaz yakıtlarının tutuşma sıcaklıkları .....	18
Çizelge 3.2. Fuel-Oil için karakteristik değerler .....	21
Çizelge 4.1. Modülasyonlu brülörün iki kademeliyle kıyaslanan parça farklılıkları..	27
Çizelge 4.2. Hafif ve ağır yağların teknik özellikleri.....	31
Çizelge 4.3. Yanma ürünlerinin yanma kaliteleri.....	31
Çizelge 4.4. En düşük ve en yüksek ısı girişleri.....	32
Çizelge 4.5. İki kademeli ve modülasyonlu brülör için ortak teknik özellikler .....	33
Çizelge 4.6. Mentşelere ait malzeme bilgisi .....	37
Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan girdi ve çıktı parametreleri.....	75



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

kW	: Kilowatt
kcal/kg	: Kilokalori / kilogram
kcal/h	: Kilokalori / saat (Isı miktarı)
kg/h	: Kilogram / saat (Brülör kapasitesi)
kg/cm <sup>2</sup>	: Kilogram / santimetre kare
mm <sup>2</sup> /s	: Milimetre kare / saniye
cm	: Santimetre
m <sup>3</sup>	: Metreküp
Pa	: Pascal
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
NO <sub>x</sub>	: Azot oksit (Azot bileşikleri)
% RH	: Bağlı nem
V	: Volt
λ	: Lambda (Hava fazlalık katsayısı)
Q <sub>k</sub>	: Brülör kapasitesi
η	: Verim
B	: Gerekli yakıt miktarı
H <sub>u</sub>	: Yakıt alt ısıl değeri
V <sub>h</sub>	: Özgül hava ihtiyacı
V <sub>q</sub>	: Özgül duman miktarı
Nm <sup>3</sup> /kg	: Newton metreküp / kilogram
Nm <sup>3</sup> /h	: Newton metreküp / saat

## KISALTMALAR

BEPY	: Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
AR-GE	: Araştırma – Geliştirme
YDP	: Yakıt Dağıtım Parçası
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: Avrupa Normu
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Entitüsü
ACST	: Alarko Carrier Őirketler Topluluğu
N.A.	: Normalde Açık
N.K.	: Normalde Kapalı
ALF 180/2	: İki kademeli sıvı yakıtlı brülör tipi
ALF 180/M	: Sıvı yakıtlı modülasyonlu brülör tipi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

İki kademeli sıvı yakıtlı brülörler, tam otomatik ve basınçlı püskürtme tipi brülörlerdir. Optimum hava-yakıt karışımı ile yüksek yanma verimi elde edilebilmektedir. Brülör, hava ve yakıtı kontrollü ve verimli olarak yanmayı sağlayacak karışım oluşturan cihazlardır. Bu cihazların genel prensibi esas olarak yanma verimini yükselterek, ideal yanma şartlarına ulaşılması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji tasarrufu sağlanmasıdır. Günümüzde, sıcak su kazanlarında, okul, sanayi, konut ve otel gibi merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadırlar.

İki kademeli brülör cihazlarında yakıtın püskürtüldüğü iki adet meme bulunmaktadır. Genel anlamda, iki kademeli brülör tanımlaması bu meme sayısının iki adet olmasından kaynaklanmaktadır. Modülasyonlu brülörler ise, memeden püskürtülen yakıtın oransal olarak kontrol edilebilmesini sağlayan brülör tipidir. Modülasyonlu brülörler oransal kontrolü olacağı için kademe sayısı sonsuzdur. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörler ile modülasyonlu yani diğer bir ifadeyle oransal brülörlerde kullanılan yakıtlardan biri olan fuel-oil, brülör cihazları içerisinde devirdaim ve püskürtme mantığıyla hareket etmekte ve yanma görevini üstlenmektedir. Kullanılan fuel-oil yakıtlar petrol tesislerinde damıtma sırasında, damıtma kolonundan dip ürünü olarak elde edilen, doğrudan veya belirli oranlarda damıtma ürününe yakıt ilavesiyle piyasaya verilen ve ön ısıtma yapılarak atomizörlü veya buharlaştırılmalı yakıcılarda kullanılan bir petrol ürünüdür [1].

Sıvı yakıtlı brülörler düşük kapasiteli, orta kapasiteli ve yüksek kapasiteli brülörler şeklinde sınıflandırılmaktadır. <60 kg/saat kapasiteye kadar olan brülörleri düşük kapasiteli brülörler, <120 kg/saat kapasiteye kadar olan brülörleri orta kapasiteli brülörler ve <180 kg/saat kapasiteye kadar olan brülörleri ise yüksek kapasiteli brülörler olarak geniş aralıklı değerlendirilmektedir. Hafif yağ düşük kapasiteli

brülörlerde, orta yağ orta kapasiteli brülörlerde (Ev, apartman, hastane, okul vb.) binalarda ve sanayide kullanılan ön ısıtıcılı brülörlerde kullanılır. Ağır yağ ise tam otomatik sanayi tip brülörlerinde kullanılmaktadır. Diğer yakıtlarla karşılaştırdığımızda fuel-oil yakıtın ısı değerinin iyi netice verdiği de görülmektedir [1].

İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün, mekanik modülasyonlu brülöre dönüştürülmesinin yanı sıra, brülörün bağlantı mekanizmasına (menteşe) ait mukavemet analizi, ANSYS Workbench R14.5 programı kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmıştır. Ayrıca, tasarımı ve imalatı yapılan menteşenin dayanımı gerçek çalışma şartlarına uygun olarak yapılan menteşe test düzeneği ile kontrol edilmiştir.

Üç boyutlu katı modellemesi tamamlanmış bir ürünün analiz ve optimizasyon işlemleri bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözümleme yapan ANSYS, ABAQUS, CATIA vb. analiz programları ile henüz ürün imal edilmeden yapılabilmektedir. Bu işlemler firmaların yeni ürünlere geçişlerinde minimum maliyet ve zaman kaybı ile tasarım yapmalarını sağlamaktadır. Dolayısıyla kaliteli ve minimum maliyetli bir ürün için gerekli tasarım şartları bu analiz programları sayesinde kolaylıkla bulunabilmektedir. Ayrıca, ürünlerin malzeme ağırlıklarındaki iyileştirmeler ile minimum ağırlığa sahip düşük maliyetli ürünler imal edilebilmektedir. Ancak bu sağlanırken firmalar kaliteden de ödün vermek istemezler. Bu doğrultuda yeni ürün geliştirme sürecinde tasarlanan ürünler çok iyi bir tasarım optimizasyonu işlemine tabi tutulmaktadır [2,3].

Bu çalışma; genel anlamda literatür araştırması, deneysel çalışmalar ve analiz olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Ancak, tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ayrı bölümler halinde detaylı olarak irdelenmiştir. Birinci bölüm olan giriş bölümünde brülörler hakkında kısa açıklamalar verilmiştir. İkinci bölümde, brülör ve çeşitleri hakkında literatür bilgilerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde ise asıl konu olan, iki kademeli sıvı yakıtlı brülörler ile modülasyonlu brülörler hakkında bilgiler verilerek, iki kademeli sıvı yakıtlı brülörün mekanik modülasyonlu (oransal) brülöre dönüştürülmesi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, modülasyonlu brülör performans testi ekipmanları ve bağlantı mekanizmasına ait statik mukavemet analizi

sürecinden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ise modülasyonlu brülör sistemi ve bağlantı mekanizmasına ait mukavemet analizleri ile modülasyonlu brülörün performans testi sonuçları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular ve bağlantı mekanizmasına ait mukavemet analizi sonuçları verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırmaları, tez kapsamına uygun olarak iki ayrı konu üzerine odaklanmıştır. Birincisi, brülörler ve yanma olayı üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalardır. İkincisi ise bağlantı mekanizmalarının dayanımı üzerine yapılan bilgisayar destekli analiz çalışmalarından oluşmaktadır.

#### 2.1. BRÜLÖRLER ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

İlbaş, sıvı yakıtla ve doğalgazla çalışan üç farklı yakıcı tipinde mümkün olan minimum düzeyde NO<sub>x</sub> emisyonu veren sistemi belirlemeye çalışmış ve CFD (Computational Fluid Dynamics) sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Hava fazlalık değeri arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonunun azaldığı, SO<sub>2</sub> emisyonunun fazla değişmediği tespit edilmiştir. Ayrıca, hava fazlalık değeri arttıkça CO emisyonunun ve ısı veriminin azaldığı belirlenmiştir. 4 numara fuel-oil kullanılan kazanlarda, 6 numaralı fuel-oil kullanılan kazanlara göre SO<sub>2</sub> emisyonunun daha fazla olduğu vurgulanmıştır [4].

Jaafar, CO emisyonu yakıt ve havanın homojen karışımıyla azaltılabileceğinden, bu çalışmanın ana noktası NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaktır. Yakıt ve havanın homojen karışımının elde edilmesi NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için de gereklidir. 163 mm iç çaplı yanma başlığı kullanılarak; 30°, 40°, 50° ve 60° kanat açılı radyal karıştırıcıya sahip bir sıvı yakıtlı brülör sistemi araştırılmıştır. Karıştırıcı çerçevesinin arka plakasına 20 mm, 25 mm ve 30 mm ölçülerinde farklı ölçülere sahip türbülatorler yerleştirilmiştir. Tüm testler dizel yakıt kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki farklı noktada yakıt enjekte edilmiştir. Eksenel olarak dışarıya bakan tek memeye sahip merkezi bir yakıt enjektörü kullanılarak karıştırıcı çerçevesinin yukarisına (yukarı yönlü) ve aşağısına (aşağı yönlü). Deney NO<sub>x</sub>, CO ve SO<sub>2</sub> emisyonlarını

karşılaştırmak üzere yapılmıştır. Aşağı yönlü yakıt enjekte edilmiş 20 mm'lik türbülötör plakasında yukarı yönlü akışa göre NO<sub>x</sub> emisyonlarında %53 azalma elde edilmiştir. Aynı konfigürasyonla CO<sub>2</sub> emisyonu %26, SO<sub>2</sub> emisyonu ise %56 oranında düşürülmüştür. Bu karşılaştırma 60o kanat açılı karıştırıcı kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki, daha büyük karıştırıcı kanat açıları düşük açılara oranla daha az emisyon değerleri üretmektedir. Aynı zamanda, aşağı yönlü enjeksiyon pozisyonları yukarı yönlü enjeksiyon pozisyonlarına göre emisyon seviyelerini ciddi oranda düşürmektedir. En küçük türbülötör plakasına ve en büyü karıştırıcı kanat açısına sahip aşağı yönlü enjeksiyon en geniş ve en kısa alev boyunu üretmektedir [5].

Sedighi, sıvı yakıt damlacıkları üzerinde yapılan çalışmaları değerlendirmiş ve atomize olmuş yakıtların yanması üzerine yapılan araştırmaların çoğunun tek bir damlacık için yapıldığını vurgulamıştır. Bu araştırması sonucunda, damlacıklar arası etkileşimi inceleyen araştırmaların az sayıda olduğunu ve bu çalışmalarda genellikle durgun ortamlarda yalnızca difüzyonun göz önüne alındığını tespit etmiştir. Sedighi, sıvı yakıt damlacıklarının yanmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneysel sonuçlar ile delphi programlama dilinde yapılmış program sonuçlarını karşılaştırmış ve sonuçların birbirleriyle uyumlu olduklarını belirtmiştir [6].

Önal, sıvı yakıtla çalışan buhar kazanlarında ekserji metoduyla yanma verimliliği analizi üzerinde çalışmıştır. Öncelikle, ekserji ifadesi ile belirli bir haldeki sistemden elde edilebilecek kullanılabilir maksimum iş kastedilmiştir. Diğer bir ifadeyle bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belli bir başlangıç halinden tersinir bir hal değişimi ile çevrenin bulunduğu hale (ölü hale) getirilirse elde edilir. Elde edilen bu işe, kullanılabilirlik veya ekserji dendiği bilinmektedir. Bu çalışmada değişik yakıt sarfiyatlarının hepsinde, hava fazlalık katsayılarının artırılması ile baca gazlarının ekserjilerinin azaldığı ve böylece iyi bir yanmanın gerçekleştiği farkedilmiştir [7].

Özen, iki boyutlu bir brülörde yanma olayının daha iyi anlaşılabilmesi için yanmanın olduğu (reaksiyonel) ve yanmanın olmadığı (izotermal) durum problemlerini sayısal olarak incelemiştir. Bu çalışmada, iki ayrı problem, çözüm ağıları GAMBİT 2.2.30

programında tasarlandıktan sonra sonlu hacimler metodunu kullanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) paket programlarından FLUENT 6.2.16 kullanılarak çözülmüştür. Elde edilen sayısal sonuçlara göre hız ve sıcaklık incelenerek, değişik alev parametreleri için hız büyüklüklerinin, türbülans kinetik enerjisinin, boyutsuz parametreler ile değişimleri incelenmiştir [8].

Gökçe, BOSCH ısıtma ekipmanlarından lamella brülörün başlıca parçalarından biri olan kanat demetinin farklı tasarımlarının deneysel analizi ve optimizasyonu yapmıştır. Emisyon oranları, yanmanın olduğu yüzey tasarımından doğrudan etkilenen bir özelliktir. Lamella brülörde yanma, kanat demeti yüzeyinde oluşur. Bu sebeple, lamella brülör kanat demeti tasarımının analizi ve optimizasyonu, emisyon oluşumunun (CO ve NO<sub>x</sub> ölçümlerine göre) düşürülmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışma, lamella brülör kanat demeti özelliklerinin incelenmesi, deneysel analizi ve modelleme ile desteklemesi olmak üzere başlıca üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, gazların yanması, emisyonlar, gaz brülörleri ve düşük emisyonlu lamella brülör incelenmiştir. Sonrasında kanat demeti ile ilişkili fiziksel özellikler ve yanma karakteristikleri analiz edilmiştir. Bu analize dayanarak kanat demeti yapısal parametreleri bir araya getirilmiştir. Ardından kullanımdaki tasarıma alternatif olarak dört kanat demeti tasarlanmıştır. Bu alternatif tasarımlar birbirlerine ve kullanımdaki tasarıma göre kanat kalınlıkları, uzunlukları ya da üretim süreçleri bakımından farklıdırlar. Deneysel analiz bölümünde, her bir yeni tasarım ve kullanımdaki kanat demeti için BOSCH Manisa Geliştirme Laboratuvarı'nda emisyon, alev kararlılığı, sıcaklık ve basınç kaybı testleri yapılmıştır. Test sonuçları karşılaştırılarak optimum kanat demeti tasarımı belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, lamella brülör kanat demeti ve dört yeni tasarımı test edilmiş, sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların teorik açıklamaları yapılmıştır. Emisyon testlerinde farklı CO miktarları ölçülen iki yeni tasarım karşılaştırılmış ve geometrideki farkların alev kararlılığını, bu yüzden de egzozdaki yanmayan gaz miktarını etkilediği görülmüştür. Bu iki tasarım modellenmiş ve egzoz simülasyonlarındaki kütleli metan oranları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarıyla karşılaştırılan nümerik modelleme sonuçları geometrinin alev kararlılığına etkisini doğrulamıştır [9].



Parmantier vd., lamella brülör kanat demeti tasarımının analizi ve optimizasyonu ile ilgili bir model geliştirmişlerdir. Normal şartlarda en önemli ve en yaygın hava kirliliği kaynakları katı, sıvı ve gaz yakıtların kullanıldığı yakma prosesleridir. Yakma esnasında uygulanacak bazı yöntemler ile gerek kullanılan yakıt gerekse uygulanan proses neticesinde oluşan NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> gibi kirletici yanma ürünlerinin kontrol edilmeleri veya yasal sınırlar altına düşürülmesi mümkündür. Bu yöntemlerden bazıları; sisteme beslenen havanın ayarlanması (artırma/azaltma), atık baca gazının belli oranda sisteme geri beslenmesi, yakma sisteminde yapılabilecek modifikasyonlar ve yakma sistemi içine adsorplayıcı maddeler (kalsiyum, potasyum gibi) ilave etmek şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışmada geliştirilen model, CO ve NO<sub>x</sub> ölçümlerine göre, emisyon oluşumunun düşürülmesi esasına dayanmaktadır. Bunun sonucu olarak da hava kirliliği oluşumunun minimum düzeye çekilebilmesi öngörülmüştür [10].

Karel, yaptığı bu çalışmada, yanma olayını etkileyen çeşitli parametrelerin etkilerini araştırmıştır. Yanma olayına etki eden bir çok durum olduğu gibi bu durumlar minimize edilerek düzgün bir yanma elde etmek mümkün olmuştur. Bu parametrelerden en önemlileri arasında hava ve gaz veya hava ve yakıt karışımının uygunluğu olduğu gibi uygun alev formu da bu karışım oranı ve diğer parametrelere bağlıdır. Bu çalışmada, çeşitli yanma parametreleri ele alınarak, bu parametrelerin değişimlerinin yanma odası çıkış sıcaklığını nasıl etkilediği incelenmiştir [11].

Karakoç, sıvı yakıtların yanması için bunların pülverize edilerek buhar haline getirilmesi ve uygun oranda hava ile karıştırılması gerekmektedir. Fuel-oil uçuculuğu az olan bir sıvı yakıttır. Yakılabilmesi için buharlaştırmak amacıyla pülverize edilmesi gerekir. Yakıtın bu şekilde küçük parçacıklara ayrılması buharlaşmayı sağladığı gibi, hava ile olan temas yüzeyini de artırarak verimli bir yanma olmasını sağlar. Bu amacı yerine getirebilecek çeşitli tip brülörler bulunmaktadır. Yakıt tipine göre brülörler motorin ve fuel-oil olarak imal edilebilmektedir. Motorin brülörleri genellikle çok küçük kapasitelerde üretilebilmektedir [12].

Gollin, sıvı yakıt brülörlerinin görevi, yakıtı ince zerrecikler halinde yanma odasına göndermektir, bu işlem atomizasyon olarak anılır. Sıvı yakıtı atomize etmekle ilgili

ciddi miktarda akademik çalışma yapılmıştır. Brülör çıkış gücünün istenilen değerde sağlanabilmesi için yakıtın burun parçasından sabit viskozite ve basınçta geçmesi sağlanmalı, memelerin tıkalı olmaması gerekmektedir. Meme içerisinde oluşabilecek bir tıkanıklık sistemi olumsuz yönde etkileyeceği gibi alev durumunu ve emisyon değerlerini de olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Ayrıca yanma odasında oluşan alev rengi, kıvamı ve formu iyi değilse, bunun sonucunda çok yüksek bir ihtimalle emisyon değerleri de istenen doğrultu da çıkmayacaktır. Alevin düzgün bir şekilde çıkması emisyon değerlerini de etkileyen önemli unsurdan birini teşkil etmektedir. Diğer bir anlatımla emisyon değerlerinin istenen düzeyde olmasıyla yanma odasından çıkan alevin görünümü de ilgili oranda düzelecektir. Yapılan deneysel çalışmalar da bu bağlantıyı ispatlamıştır. Olumlu emisyon değerleri alev kalitesiyle doğru orantılıdır [13].

Weinberger, sıvı yakıtlı brülörlerde ateşleme sistemi ve önemi hakkında incelemeler yapmıştır. Brülörde, yanmayı başlatmak için gereken ısıyı sağlamak için yüksek voltajlı elektrik kıvılcımı üretilir. Yakıt-hava karışımı brülörü terk ettiği anda bu karışımın küçük bir bölümü ateşlenir. Sistem düzgün çalıştığında alev alma da düzgün olur. Bununla birlikte alevin ani oluşumu titreşim, is, duman gibi problemlere yol açabilmektedir. Ateşleme sistemi; 1-Ateşleme trafosu veya elektronik ateşleme cihazı, 2-Düğü alev alma için kıvılcımı ileten elektrodlar, 3-Yüksek voltajlı elektriğı trafodan elektroda taşıyan kablolar, 4-Elektrodları sabit şekilde tutan elektrod kelepçesi olmak üzere 4 parçadan oluşmaktadır. Servisler, ateşleme sisteminin öneminin farkında olmalıdır ve bu yüzden brülörü devreye alırken bu sistemin düğü çalıştığından emin olmak gereklidir [14].

İlbaş ve Yılmaz, araştırmalarında hava fazlalık katsayısının yanma verimi ve emisyonlara etkisinin belirlenmesini amaçlanmışlardır. İki farklı yakıt, üç farklı sıvı yakıt kazanında yakılmış ve duman kanalından değışik radyal uzaklıklarda kazan yanma verimleri ve emisyon davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ile çok sayıda deneysel veriler elde edilmiştir. Hava fazlalık değıeri arttıkça NO<sub>x</sub> emisyonunun genellikle azaldığı, SO<sub>2</sub> emisyonunun fazla değışmediğı görülmüştür. Hava fazlalık değıeri arttıkça CO emisyonunun ve ısıl verimin azaldığı

görülmüştür. Ayrıca SO<sub>2</sub> emisyonunun yakıttaki kükürt miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür [15].

İlbaş ve Karyeyen, kömürlerin koklaştırılması sonucunda açığa çıkan kok fırını gazının alternatif bir yakıt olarak model bir gaz türbini yanma odasındaki yanma performansı sayısal olarak incelenmişlerdir. Yanma analizleri, günümüzde yaygın olarak kullanılan Ansys Fluent paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı difüzyon alevi ön karışimsız olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan yanma modeli Mixture Fraction/PDF yanma modeli olup, seçilen türbülans modeli k-ε türbülans modelidir. Yanma odası sıcaklığı yüksek seviyelerde olduğundan P-1 radyasyon modeli yanma odası için kullanılmıştır. Modelleme, 60 kW güçteki bir model yanma odası için  $\lambda=1,1$ ,  $\lambda=1,3$  ve  $\lambda=1,5$  hava fazlalık katsayılarında metan ve kok fırını gazı için yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek yanma odası sıcaklığı, metan yanmasında ve 60 kW ve  $\lambda=1,1$  yanma şartlarında yaklaşık 2230 K olarak belirlenmiştir. Hava miktarı seyreltme ve ikincil hava ile birlikte artırıldıkça yanma odasının ve çıkış bölgesinin sıcaklık değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Benzer şartlarda kok fırını gazı yanması için maksimum sıcaklık dağılımı 60 kW ve  $\lambda=1,1$  yanma şartlarında 2150 K olarak gözlemlenmiştir. Kok fırını gazı yanması ile elde edilen sıcaklık dağılımları metana göre daha düşük olmakla birlikte çok ciddi sıcaklık farklılıklarının olmadığı gözlemlenmiş ve kok fırını gazının, gaz türbini yanma odaları için alternatif bir yakıt olabileceği sonucuna varılmıştır [16].

## 2.2. BAĞLANTI MEKANİZMALARINI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Vasadravellis ve Karavasilis, kendi kendini merkezleyen yeni bir ön gerilmeli çelik bağlantı şekli sunmuşlardır. Çalışmalarında, kiriş ve kolon kesiti boyutlarını tasarım parametreleri olarak kullanmışlardır. Bağlantı, kendini merkezleme davranışını sağlayan ön gerilmeli çelik barlardan ve gelişmiş deformasyon kapasitesini sağlayan çelik enerji giderme elemanlarından oluşmaktadır. Büyük ölçekli deneyler sonucunda, bu bağlantının artık etkileri (%6 ve daha düşük etkiler için) ve kiriş hasarını önleyerek mükemmel bir merkezleme özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Söz konusu bağlantının tasarım ve davranışını güvenilir şekilde değerlendirmek için sonlu

elemanlar modeli kullanmışlardır. Bu model bağlantı rijitliğini ve dayanımını yüksek doğrulukla tahmin edebilmektedir. Ayrıca, detaylı bir non-linear (doğrusal olmayan) sonlu elemanlar modeli geliştirilerek, deneysel sonuçlarla kalibre edilmiştir. Bağlantının tüm doğrusal olmayan çevrimsel davranışını izleme ve mümkün olan tüm yerel kırılma modlarını yakalama yeteneğine sahip olduğu saptanmıştır [17].

Zubaidy vd., CFRP/Çelik malzemeli, bir kenarında 1 ve 3 CFRP katman olan çift şeritli mafsalların 3.35, 4.43 ve 5 m/s hızlarındaki üç ayrı çekme yükü altındaki ve yarı statik yük altındaki sayısal analizini yapmışlardır. Analizler, ABAQUS sonlu elemanlar paket programında açık ve kapalı kodlarla yapılmıştır. Bu analizlerde, hem CFRP sacının hem de yapıştırıcının bozulması düşünülmüş olup, ara yüzü modellemek için yapışkan eleman kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen yarı statik ve dinamik bulgular karşılaştırılarak her iki tipteki mafsallın, geliştirilmiş sonlu elemanlar modeli (FEM) oluşturulmuştur. Bu karşılaştırma dört farklı değişkeni içermektedir: mafsal dayanımı, efektif bağ uzunluğu, bozulma modeli ve yer değiştirme dağılımı. FEM ile yapılan yarı statik ve dinamik analizler için tüm parametrelerin ön görüldüğü kanıtlanmıştır [18].

Sharaf ve Fam, civatalarla güçlendirilmiş içi boş dikdörtgen çelik kesitlerin kiriş-kolon arası bağlantılarını analiz etmek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Model, değişik derinlik-duvar kalınlığı oranları ( $h/t$ ) için ve değişik civata konfigürasyonları için deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Bu model daha sonra kiriş derinliğinin genişliğine oranının ( $h/b$ ), uzunluğun derinliğe oranının ( $L/h$ ), kolon genişliğinin kiriş derinliğine oranının ( $B/h$ ) ve civataların kiriş gövdesine kaynağının çekme-plastik momenti oranı ( $M/M_p$ ) üzerindeki etkilerini araştırmak için parametrik bir çalışmada kullanılmıştır. ( $L/h$ ) oranı 4,9'dan 7,9'a çıktığında ( $M/M_p$ ) oranı kontrol bağlantıları için 0,57'den 0,77'ye güçlendirilmiş bağlantılar için 0,71'den 1,0'a çıkmıştır. Güçlendirmenin dikdörtgen çelik kesit kirişlerin tam plastik momentine ulaşmasına izin verdiği ( $h/b$ ) ve ( $B/h$ ) limit değerleri belirlenmiştir. Civataların kirişe kaynak edilmesi, sünekliği ciddi miktarda artırırken dayanımı az miktarda artırdığı tespit edilmiştir [19].

Demirel ve Gölbaşı, çekme kepçeli yerkazarın kepçesinde oluşan gerilme dağılımının incelenmesi, bu gerilmelerin farklı kaya birimi özellikleri için gösterdiği değişimi incelemiştir. Bu çalışmada hedefe ulaşmak için çekme kepçeli yerkazar kepçesinin üç boyutlu katı modelinin oluşturulması, kepçe-kaya birimi etkileşim ve kuvvet modelinin geliştirilmesi, sonlu eleman analizi kullanılarak kepçe üzerinde oluşan gerilmelerin ve şekil değişikliklerinin incelenmesi, gerilme ve kaya birimi özellikleri arasında hassasiyet analizi ve sonuçların değerlendirilmesi sırası takip edilmiştir. Çalışma sonuçları, en yoğun gerilmelerin çekme halatının kepçe ile birleştiği bağlantı noktaları ve kepçenin dışlarında oluştuğunu ve zeminin sıkılığının arttıkça şekil değişikliklerinin arttığını göstermiştir. Ayrıca hassasiyet analizi, kepçe üzerindeki gerilmelerin en fazla hassasiyet gösterdiği kaya birimi özelliğinin içsel sürtünme açısı olduğunu ve en az hassasiyet gösterdiği kaya birimi özelliğinin yoğunluk olduğunu göstermiştir [20].

Aldaş ve Şen, karma bağlantı uygulanmış farklı metal plakalarda meydana gelen gerilmeleri incelenmişlerdir. Karma bağlantı, pim bağlantısı ve yapıştırıcı bağlantısından meydana getirilmiştir. Bağlantısı yapılan alt levha alüminyum olarak sabit tutulurken, üst levha sırasıyla çelik, bakır, titanyum ve alüminyum olarak modellenmiştir. Yapıştırıcı olarak epoksi kullanılmıştır. Çözümde, üç boyutlu modeller oluşturularak, sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Daha önceki birçok çalışmada, sadece yapıştırıcı bağlantıları veya pim bağlantıları incelenmiş olmakla birlikte, bu çalışmada her iki bağlantının birlikte kullanıldığı karma bir bağlantı analiz edilmiştir. Karma bağlantıya, çekme yükü ve 40 °C uniform sıcaklık yükleri birlikte uygulanmıştır. Alüminyum-alüminyum karma bağlantılarda meydana gelen gerilmeler en düşük değerlerde meydana gelirken, en yüksek gerilmelerin alüminyum-çelik karma bağlantılarda meydana geldiği görülmüştür. Bir başka ifadeyle, aynı malzemeden yapılan benzer plakalardan meydana gelen karma bağlantılar, daha düşük gerilmelere neden olmuştur [21].

Aktaş vd., ANSYS v12.0 sürümlü sonlu elemanlar programı kullanılarak civata bağlantılı karbon/epoksi kompozit bir plakanın kademeli hasar analizini yapmışlardır. Hasar kriteri olarak matriks ve fiberde meydana gelen hasarı ayrı ayrı tespit edebilen Hashin hasar kriterleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda civata bağlantısının

maksimum hasar yükü belirlenmiştir. Geliştirilen kademeli hasar analizi programıyla elde edilen hasar yükü deneysel sonuçlarla yaklaşık olarak % 5 oranında farklılık gösterdiğini ifade etmişlerdir [22].

Mackerle, bağlantı ve birleşme elemanlarının analizi için uygulanan sonlu elemanlar yöntemlerinin bibliyografisini teorik ve pratik bakış açılarından değerlendirmiştir. Makalenin sonundaki bibliyografi, bu konu hakkında 1990-2002 yılları arasında yayınlanmış 726 adet makale ve konferans bildirgesini içermektedir. Yazar incelemesinde, bağlantı ve birleştirme elemanlarını pim bağlantıları, dış bağlantıları, civatalı bağlantılar, vidalar, somunlar, perçinler, ara bağlantı parçaları, borulu bağlantılar, genişletilmiş bağlantılar, contalar ve diğer bağlama şekilleri olarak sınıflandırılmaktadır. Özet olarak şu tespitleri yapmıştır; bağlama ve birleştirmenin anlamı bir araya getirme, bağlama veya bir bütünü oluşturacak şekilde birleştirmedir. Bağlayıcıların civatalar, somunlar, yapıştırıcılar, kaynak gibi birçok çeşidi vardır. Ancak bu makale ana olarak mekanik bağlayıcılar üzerinde yoğunlaşmıştır. Mekanik bağlayıcılar dayanım, yeniden kullanılabilirlik ve görünüm gibi amaçlarla montajlarda kullanılmaktadır [23].

## BÖLÜM 3

### BRÜLÖRLER VE YANMA TEORİSİ

Brülör, yakıtın hava ile uygun oranda karıştırılarak tam olarak yakılmasını sağlayan cihazdır. Kalorifer ve kombi kazanlarında mazot ve gaz püskürtmeye yarayan cihaz olarak da tanımlanmaktadır. Bu cihazların genel prensibi, esas olan yanma verimini yükselterek ideal yanma şartlarına ulaşmak, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji tasarrufunun sağlanmasıdır [24,25].

#### 3.1. BRÜLÖR ÇEŞİTLERİ

##### 3.1.1. Katı Yakıt Brülörleri

Katı yakıt brülörleri, kömür, talaş, prina, pelit, kabuk, bioatık, linyit vb. yanabilir ürünlerin toz halinde yakıt olarak kullanıldıkları brülör tipleridir [26]. Kömür, linyit, bioatık gibi katı yakıtlar şantiyelere toz halinde getirilir ve pnömatik sistem ile özel dizayn edilmiş depolama silolarına aktarılır. Bazı şantiyelerde sahada yakıt işlemi için kömür pulverizasyon plenti de bulunabilir. Yüksek yanıcı özelliği olan yakıtlar direkt brülöre gönderilip pilot ateşi ile yakılabilir. Düşük kalite yakıtlar için kesintisiz yağ veya gaz ateşi ile ateşleme desteği gerektirmektedir [27].

##### 3.1.2. Sıvı Yakıt Brülörleri

Sıvı yakıt brülörleri, fuel-oil, motorin, gaz yağı gibi sıvı yakıtların yakıldıkları brülör tipleridir [28]. Fuel-oil basınç altında enjektöre beslenir ve enjektörden atomize edilerek fanın oluşturduğu şiddetli hava akımının içine püskürtülür ve propan gazı ile ateşlenir. Ayrı bir yanma bölümüne veya yüksek ısıya dayanıklı özel kaplamaya gerek kalmadan brülör kafasında temiz, dengeli bir ateş sağlanır.

Ağır yakıtların kullanıldığı durumlarda ön ısıtıcı kullanılarak yakıt akışkanlığı ve verimli yanma sağlanır. Sıvı bir yakıtın yanabilmesi için buhar durumuna geçmesi ve bu buharın da hava ile karışması zorunludur. Sanayi kuruluşlarındaki buhar kazanlarının yakacağı olarak kullanılan yakıt yağının (fuel-oil) yanması için buharlaştırılıp hava ile karıştırılması gerekir. Fuel-oil az uçucu bir yakıt olduğundan, çok küçük parçacıklara ayrılması ve dolayısıyla hava ile karışan yüzeylerin artması, hem buharlaşmayı hızlandırır, hem de kolaylaştırmaktadır. Buharlaşmayı, hava ile karışmayı sağlayan ve yakıtı yanmaya hazır duruma getirip ateşleyen kazanların can damarları brülörlerdir. Fuel-oil'in bileşiminde karbon ve hidrojen vardır. Yanma sırasında bileşimindeki hidrojen, havanın oksijeni ile birleşerek su durumuna gelir. Bileşimindeki karbon ise havanın oksijeni ile birleşerek, karbon dioksit oluşturur. Yaklaşık 1 kg fuel-oil'in yanması için 11 m<sup>3</sup> havaya gereksinim vardır [29]. Brülör, bu karışımı en iyi şekilde gerçekleştirmelidir.

### **3.1.3. Gaz Yakıt Brülörleri**

Doğalgaz, propan, LNG ve LPG gibi gaz yakıtları yakan brülör tipleridir. Bu brülörler kendi içlerinde, tek yakıtlı, çift yakıtlı ve çok yakıtlı olarak sınıflandırılmışlardır. Tek yakıtlı olan brülörler katı, sıvı ya da gaz yakıtlardan sadece birini yakma özelliğine sahiptir. Yakma ayarı yakma havasının basınç ve debisine bağlı olarak değiştirilmektedir. Çifte yakıtlı olan tiplerde, sıvı yakıttan küçük kapasitelerde motorin, büyük kapasitelerde fuel-oil ve katı yakıtlardan kömür veya talaş tozundan, gaz yakıttan LPG ve doğalgazdan herhangi ikisini birlikte yakılacağı gibi ayrı ayrı yakılabilebilir. Çok yakıtlı olan brülörler ise büyük kapasitelidir. Bu tip brülörlerde gaz, fuel-oil ve kömür tozu aynı anda yakılmaktadır. Prosesteki yük ayarı en kolay yanan gazdan yapılmaktadır. İmal tarzına göre gaz brülörleri, brülörlerin konstrüktif yapısına bağlı olarak çalışma yerlerine göre imal edilebilir [30].

### **3.1.4. Özel Yakıt Brülörleri**

Gliserin, hayvansal yağlar, fırın gazları vb. yanabilen maddelerle çalışan brülörlerdir. Yakıt olarak gliserin gibi yakıtlar kullanılan motorlarda brülör kullanılmakta ve özel yakıtlı brülör olarak adlandırılmaktadır. Motorda kullanılan yakıt tipi ne olursa olsun,



yanma odasına alınan yakıtın tamamını sağladığı için brülör, üretilen gücü etkilemekte ve sistemin verimliliğini arttırmaktadır. Motorun, yakıtı kullanarak mekanik enerji ürettiğinden, kullandığı yakıtın tamamının yanması daha verimli güç üretilmesi manasına gelmektedir. Hayvansal yağlar ve yüksek fırın gazları yakan motorlarda kullanılan brülöler de özel yakıtlı brülör tipine girmektedir [31].

### **3.1.5. Yakıtın Atomizasyon (Parçalanması) Yöntemine Göre Brülör Tipleri**

Yakıtın parçalanması ya da diğer adıyla atomizasyon yöntemiyle enerji elde edilen sistemlerde rotatif çanaklı ve hava parçalamalı brülör cihazları kullanılarak, verimlilik arttırılmaktadır. Bu brülörler kendi içinde sınıflara ayrılmaktadırlar. Bu sınıflandırma verimliliğe göre yapılmış ve aşağıda ayrı ayrı değinilmiştir. [32].

#### Yüksek Basınçlı Püskürtmeli Brülörler:

Kullanımı en yaygın olan brülör tipleridir. Bu brülörler yüksek basınçlı brülörlerdir. Yüksek basınçlı püskürtmeli brülörler, ana hatları ile yağın emilmesini sağlayan yakıt pompası, yakıt vizkozitesini düşürerek akıcı hale gelmesini sağlayan ısıtıcı (hafif yağ brülörlerinde yakıtın viskozitesi düşük olduğundan ısıtıcı ve ısıtıcı gurubu kullanılmaz) buharlaşmayı, yakışı sağlayan bir fan ve yüksek basınçla yağın püskürdüğü memeden ibarettir. Yağ pompasında basılan yağ; ısıtıcıdan geçerek vizkozitesi düşer, memeden çıkan yağ 7-20 kg/cm<sup>2</sup> arası bir basınçla püskürtülerek zerrelere ayrılır. Zerrelere bölünen yakıt bulutu hava ile karışır, buharlaşır, bu karışım iki elektrot arasında bir transformatör yardımıyla oluşan 10,000 V (volt) gerilim sayesinde tutuşarak yanmayı sağlar [32].

#### Atomizasyonlu Brülörler:

Bu brülörler buhar - hava parçalamalı tipte olan brülörlerdir. Yakıt, düşük basınçla brülöre gönderilir. Brülörün parçalayıcı ve püskürtücü bölümünde hava veya buhar yakıtla hızla çarpar. Hava veya buhar, yakıtı küçük zerrelere parçalar ve yanmaya hazır duruma getirir. Büyük kapasiteli brülörlerde, yakıtı parçalayan ilk havaya ek olarak, yakıtın yanmasını tamamlamak için ikinci bir hava verilir. Yüksek yağ basınçlı brülörlerde olduğu gibi yakıt ağır (kalınsa) yakıtın inceltilmesi gerekir [33].

### Rotatif Çanaklı Brülörler:

Yakıt atomizasyonu tipine göre yapılan sınıflandırmada sıvı yakıtların atomizasyonunu diğer tiplere göre daha düşük basınç ve sıcaklıkta sağlayabilen tipteki brülörlerdir. Pompalarla yeterli sıcaklık ve basınca ulaşan sıvı yakıt brülöre beslenir. Brülör merkez vanasından geçen yakıt dönel çanak adı verilen kısma boşalmaya başlar. Dönel çanak çok yüksek hızda dönerken merkez kaç kuvvetinin etkisiyle sıvı yakıt çanak yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturur. Bu ince film tabakası çanağı radyal olarak terk eder ve eş eksenli olarak beslenen yüksek hızdaki hava ile atomize edilir [33].

### **3.2. YANMA VE YAKITLAR**

Yanma, yakıtların genellikle havadan sağlanan oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur. Yakıtlar esas olarak karbon, hidrojen ve oksijenden oluşur. Bunlara ek olarak daha az oranlarda kükürt, azot, klor ve diğer elementleri içerir. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşür. Ayrıca az miktarda bulunan kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri oluşur [34].

Eğer yanma tam olarak gerçekleşmezse ürün gazları içerisinde, CO ve O<sub>2</sub>, kurum ve katran oluşur. Bu durum hava kirliliği yükünü artırır. Katı yakıtların yanma ürünleri arasında bulunan kül veya kalıntıların yanmaya ısı üretim açısından herhangi bir katkısı olmadığı gibi ısıyı kısmen tüketici bir durumları söz konusudur. Ayrıca yakıt içerisinde bulunan yanmamış hidrokarbonlar, metaller ve kendi kütleleri kara, su ve hava kirliliğinin önemli bir nedenidir. Yakıtların içerisindeki suyun yanma sırasında buharlaşması çevreye doğrudan bir zarar vermektedir. Suyun, yoğun SO<sub>2</sub> içeren baca gazlarında yoğunlaşma sınırında asit oluşumunu hızlandırıcı etkisi söz konusudur [34,35].

Teorik olarak yanma; yakıtların (doğalgaz, petrol, kömür) temel yanıcı elemanları (karbon, hidrojen ve azot) ile hava içerisindeki yakıcı elemanın (oksijen) arasında yüksek sıcaklıklarda ısı meydana getiren kimyasal bir süreçtir.

### 3.2.1. Yanma Koşulları

#### Türbülans (Yanıcı Karışım Oluşturma Süreci):

Yanmanın birinci koşulu, yakıtın çok küçük parçacıklar halinde hava ile iyi bir şekilde karıştırılarak, sürekli tutuşma bölgesinde yanıcı bir karışımın oluşturulmasıdır.

Hava ve yakıtın gaz fazı da olduğu yakma sistemlerinde bu süreç kolayca gerçekleşmektedir. Bu süreçte homojen yanma oluşmaktadır. Sıvı ve katı yakıtlarda moleküler seviyede yanıcı bir karışımın oluşturulması, yakıtın önce çeşitli işlemlerle gaz fazına geçirilmesi gerekir.

Bu süreçte heterojen bir yanma oluşmaktadır. Yanıcı karışımın oluşturulması işlemi, yanmanın en zor ve pahalı bölümünü oluşturur [36]. Uygun bir yanmanın gerçekleştirilebilmesi için, sıvı yakıtların uygun ön ısıtma işlemlerinin ardından yakıt atomizasyonu (yakıtın parçalara ayrılması) ve buharlaşma işlemleri ile katı yakıtların (kömür vb.) yakıt parçalama kurutma, uçucuların gazlaştırılması gibi işlemlerden geçirilmesi gerekir.

#### Sıcaklık (Tutuşma Süreci):

Tutuşma, yanıcı karışımın sıcaklığının tutuşma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma reaksiyonunun başlatılması sürecidir. Yanma sonucu açığa çıkan ısı, alev sıcaklığını tutuşma sıcaklığının üzerinde tutarak yeni gelen yakıt-hava karışımının sürekli tutuşmasını sağlamaktadır. Tutuşma süresi yakıtın yapısal özelliğine (bileşimine, molekül yapısına, reaksiyon hızına), ortam özelliklerine (karışım oranlarına, yakıt parçacıklarındaki ısı aktarım durumuna, hıza) ve yanma odası özelliklerine (ön ısıtma, atomizasyon, brülör özellikleri) bağlıdır. Bu nedenle tutuşma sıcaklığının tanımlanması ve ölçülmesi kolay yapılamamaktadır. Bazı sıvı ve gaz yakıtların tutuşma sıcaklıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir [36].

Çizelge 3.1. Bazı sıvı ve gaz yakıtlarının tutuşma sıcaklıkları [36].

Yanıcı Gaz	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	Sıvı Yakıt	Tutuşma Sıcaklığı (°C)
Karbonmonoksit (CO)	590	Benzin	330-520
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	450	Benzol	520-600
Metan (CH <sub>4</sub> )	645	Gaz Yağı	230-242
Etan (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	500	Fuel-Oil	212
Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	485	Linyit Katran yağı	260
Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	490	Taşkömürü	315
Bütan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	460		

#### Zaman (Yanmanın Tamamlanması Süreci):

Yanma davranışı alev davranışı ile tanımlanır. Alev, yanıcı karışımın ısıya dönüştüğü yanma odası bölümüdür. Tüm karışım, tutuşma ve yanma süreçleri yanma olgusu kapsamında, eş zamanlı olarak karşılıklı etkileşim içerisinde ve çok karmaşık bir yapıda alevde meydana gelir.

Alevin olabildiğince yanma odasını doldurması, buna karşın ısıtma yüzeyleri ile temasta bulunması, yakıt, hava ve işletme koşullarındaki değişimlerden olabildiğince etkilenmeden kararlı kalması beklenir. Bundan dolayı, brülörler dahil olmak üzere tüm yakma sistemleri belirli yakıt türü, belirli yakıt özelliği ve yük değişimleri göz önüne alınarak tasarlanırlar [36,34].

#### **3.2.2. Teorik Yanma Hali**

Teorik yanma durumunda  $0 < a < 1$  ve  $\lambda = 1$  hali geçerlidir. Burada  $a$  değeri yanıcı olmayan madde miktarı ve  $\lambda$  ise hava fazlalık katsayısını ifade etmektedir. Teorik yanma halinde de CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> oranı arasındaki ilişki doğrusal durum gösterir [37,34].

$$\text{CO}_{2 \max} - \text{CO}_2 - \text{CO}_{2 \max} \times \text{O}_2 - 2 \text{O}_2 = 0 \quad (3.1)$$

Bir yanma olayı anında oluşan alevin ortalama sıcaklığı aşağıdaki bağıntı yardımıyla verilebilir.

$$T_A = 100 \times 4 \sqrt{\frac{(T_v - T_e) \times B \times V_r \times C_{pr} + 750}{4 \times p \times F_s}} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.2)$$

Burada ;

B : Saatte yakılan yakıt miktarı, (Kg / h)

V<sub>r</sub> : Her kg yakıtın verdiği duman gazı hacmi, (Nm<sup>3</sup> / kg)

C<sub>pr</sub> : Duman gazının özgül ısısı, (Kcal / Nm<sup>3</sup> °C)

T<sub>v</sub> : Duman gazı sıcaklığı, (°C)

T<sub>e</sub> : Yanma odası çıkış sıcaklığı, (°C)

F<sub>s</sub> : Aleve karşı gelen boruların toplam yüzeyi, (m<sup>2</sup>)

P : Sabit olup eski ocaklarda 0.70 ızgaralı ve soğutma duvarlı yanma odalarında 0.46'dır [38].

### 3.2.3. Yakıtlar

Yakıldıkları zaman ortama kullanılabilir miktarda ısıveren maddelerdir. Fiziksel durumlarına göre yakıtlar; katı yakıtlar, sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılırlar. Yakıtların katı, sıvı ve gaz halleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir [38,39].

#### Katı Yakıtlar:

Türkiye'nin en önemli enerji kaynağı katı yakıtlardır. Katı yakıtların en önemli kısmını oluşturan linyitlerin genelde nem, yüksek kükürt, yüksek kül içerdikleri ve buna ilave olarak düşük ısıl değerlikli oldukları bilinmektedir. Linyitlerimizdeki kükürt içeriği ve düşük ısıl değer özellikleri birleşince yanma sonucunda kükürt dioksit yayılımı açısından tehditler ortaya çıkarmaktadır. Linyitlerin fiziksel

özellikleri rezervden rezerve ve aynı rezerv içerisinde dahi önemli değişiklikler göstermektedir. Çok kırılabilir olması nedeniyle madencilik, yükleme, boşaltma ve taşıma gibi işlemler sürecinde %60' lara varan oranlarda ince taneciklere kırılmakta veya tozlaşmaktadır. Bunun sonucunda atmosferi doğrudan kirletme ve yanmadaki zorluklar nedeniyle hava kirliliğine neden olmaktadır [40,34].

### Sıvı Yakıtlar:

Genellikle ham petrolün damıtılması (distilasyon) sonucu elde edilen ürünlerdir. Ham petrol, bitki ve hayvan fosillerinin çok uzun süre toprak altında kalması ve bu arada bir takım bakteriyolojik etkilerle değişime uğraması sonucu oluşan siyah renkli yanıcı bir sıvıdır. Ham petrolün, rafinelerde kademeli distilasyonu sonucu elde edilen sıvı yakıtlara teknikte “yakıt yağları (fuel-oil)” denmektedir. Sıvı yakıt sınıfında petrolden türetilmiş değişik yakıtlar anlaşılmaktadır. Ülkemizde kullanımının yoğunluğu sebebiyle fuel-oil yakıtın özellikleri incelenmiştir.

Rafinasyon teknolojisinde yapılan seçime ve rafineriye gelen ham petrolün kaynağına bağlı olarak, fuel-oil yakıtın değişik numaralarının yapıları da değişebilir. Beş ayrı sınıfa ayrılan fuel-oil ile ilgili esaslar TS 2277'de belirtilmiştir. Bu belirlemede esas alınan parametreler yoğunluk ve viskozitedir. 1, 2 ve 4 numaralı fuel-oil ev yakıtı olarak, buna karşılık 5 ve 6 numaralı yakıtlar ağır sanayi yakıtları olarak tanımlanmaktadır.

Ham petrolün rafineride distile edilmesi suretiyle elde edilen sıvı yakıtlar sırasıyla, benzin, gaz yağı, motorin, çok ince fuel-oil, ince fuel-oil, orta fuel-oil, orta ağır fuel-oil ve çok ağır fuel-oil' dir [40].

Fuel-oil yakıtlar için karakteristik değerler ilgili yakıtta ait numaralar ile birlikte Çizelge 3.2'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Fuel-oil için karakteristik değerler [40].

Numarası	No 1	No 2	No 4	No 5	No 6
Tip	Gaz yağı	Damıtılmış	Çok Hafif Artıklar	Hafif Artıklar	Artıklar
Renk	Açık	Amber	Siyah	Siyah	Siyah
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0,8251	0,8654	0,9279	0,9529	0,9861
Viskozite	1,6	2,68	15,0	50,0	360,0
Kükürt (%)	0,1	0,4-0,7	0,4-1,5	Max 2,0	Max 2,8
Kül (%)	Eser	Eser	0,02	0,05	0,08
Isıl Değer (kcal/lt)	9121	9387	9720	9853	9986
Isıl Değer (kj/lt)	38125	39240	40630	42850	41740

#### Gaz Yakıtlar:

Taşıma, yakma kolaylığı, katı içermemesi, kirlenici bileşenlerinin az olması, kolay arındırılabilmesi ve çok düşük hava fazlalığı ile yakılabilmesi açısından gaz yakıtlar hava kirliliğini önlemede en uygun yakıtlardır.

LPG ve Doğalgaz sanayide en çok kullanılan gaz yakıtlarıdır. Gaz yakıtlar yanma sonucu hiç artı bırakmayışı çok az hava fazlalığına ihtiyaç duyulmasından dolayı buhar üretimi için ideal yakıtlardır. Hava gazı, su gazı gibi sentetik olanlarından başka ham petrolün distilasyonundan üretilen sıvılaştırılmış petrol gazı (lpg) ve doğalgaz gibi çeşitleri vardır. Buhar kazanlarında kullanılabilecek en önemli gaz yakıt doğalgazdır [40,34]. Ülkemizde yeterli miktarda doğal gaz kaynakları olmadığından çoğunlukla buhar kazanlarında 6 numara fuel-oil kullanılmaktadır.

## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1. İKİ KADEMELİ VE SIVI YAKITLI BRÜLÖRÜN MEKANİK MODÜLASYONLU BRÜLÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

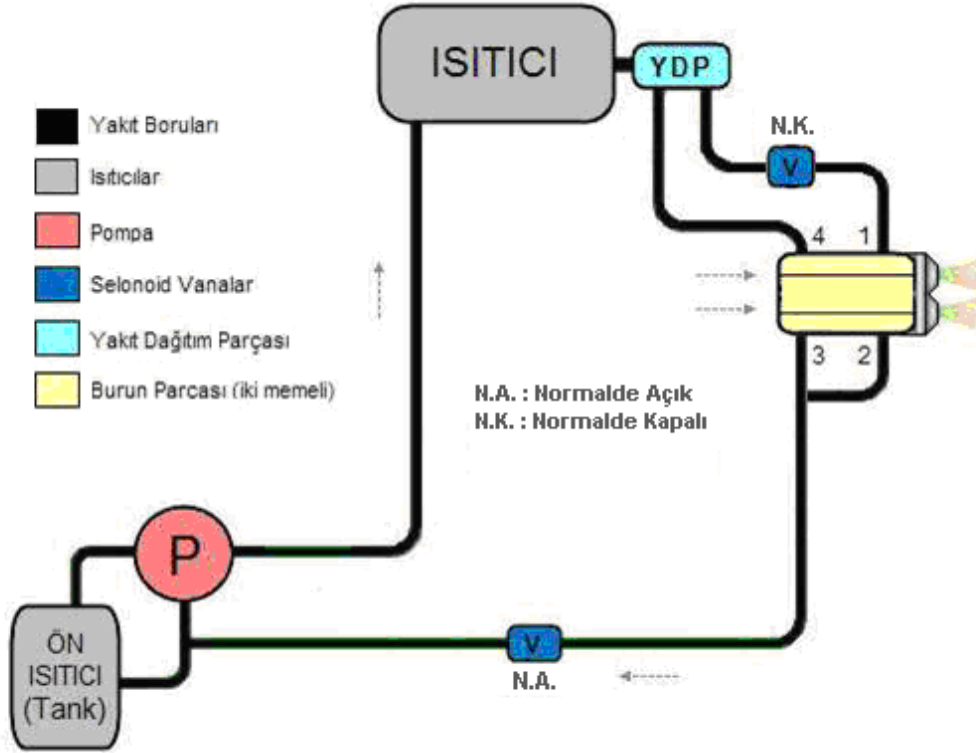
##### 4.1.1. İki Kademeli Sıvı Yakıtlı Brülörlerin Çalışma Prensipli Ve Brülörün Yapısı

Bu tip brülörler otomatik kumandalı olarak imal edilmekte olan brülörlerdir. Kazan veya prosestattan çekilecek ısı yüküne bağlı olarak küçük veya büyük yük konumuna uygun kapasitede hizmet verirler. Yakıt pompası tarafından basınçlandırılan (yaklaşık 20 bar) sıvı yakıt, yakıt besleme hattı vasıtası ile memeye gönderilir ve pulverize şekilde püskürtülür. Bu sırada fan tarafından sağlanan havaya türbülátörde dönme hareketi verilir ve pulverize yakıtla karışım sağlanır. Alev, türbülátör üzerinde hava hızının azaldığı bölgelerde tutunur. İki kademeli brülörler düşük kapasite ve yüksek kapasite olmak üzere iki güç seviyesinde çalışabilmektedir. [41].

Her iki brülör tipinde ise ortak kullanılan elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlardan başlıcaları daha önce de değinildiği üzere brülör ana gövdesi, yakıt pompası, yağ ayar regülátörü, hava emiş hücresi gibi elemanlardan oluşmaktadır. Özellikle iki kademeli brülörden modülasyonlu yani oransal kontrollü brülöre dönüşümde, brülörlerin çalışma sistemlerindeki fark ortaya çıkmaktadır.

İki kademeli ve modülasyonlu (oransal) brülörlerin çalışma sistemlerine aşağıdaki şekillerde ayrı ayrı değinilmiştir. Bu şekillerde, yakıtın gidiş-dönüş hatları belirtilmiş ve ayrıca eleman konumları gösterilmiştir. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün çalışma sistemi şematik gösterimle Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



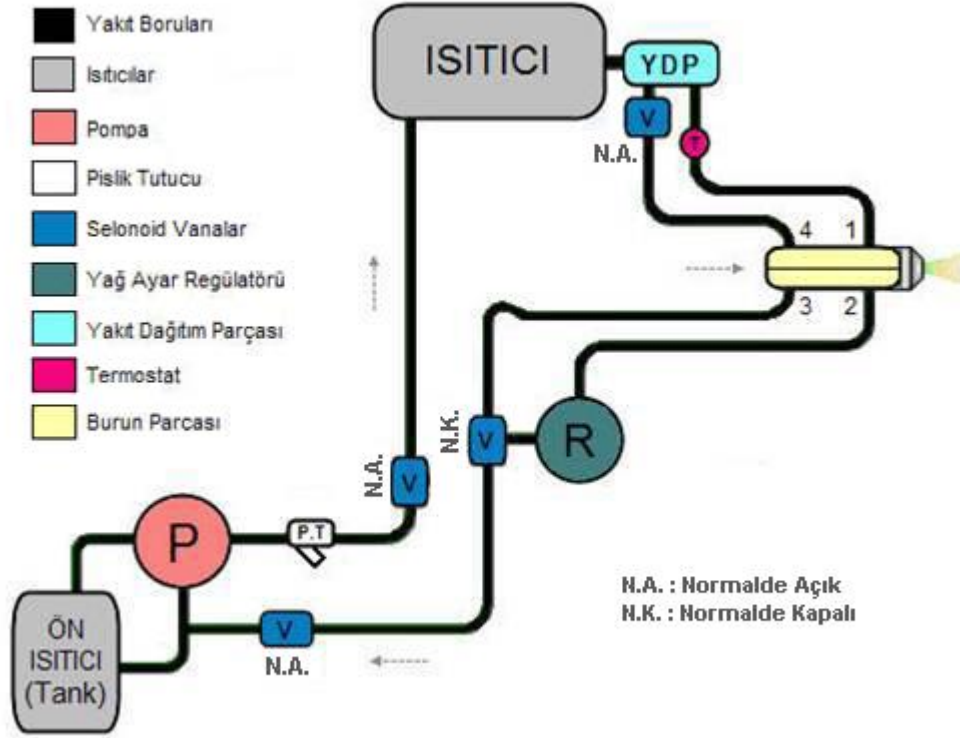


Şekil 4.1. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün çalışma sistemi.

#### 4.1.2. Mekanik Modülasyonlu (Oransal Kontrollü) Brülör Çalışma Prensipleri Ve Brülörün Yapısı

Mekanik modülasyonlu (oransal kontrollü) olarak adlandırılan brülörlerde ise hava-yakıt karışımı değişken oranlarda temin edilir. Bu sayede verimli yanma ve yakıt tasarrufu sağlanır. Başak bir ifadeyle kademesiz yani kademe sayısı sonsuz ayarlı olan brülörlerdir [42,1].

Bu tip brülörler özellikle ısı üretme tesisinden çekilen ısı yükünün, sürekli değişken olması halinde ve yakma kapasitesi arasında kalan, birden fazla pik değerine isabet eden miktarda yakıt yakılmak istendiğinde tercih edilmektedir. 2000 kW kapasitenin üstündeki tüm brülörlerin oransal olmasında enerji tasarrufu açısından büyük fayda vardır. Ancak küçük kapasiteli brülörler de, çekilen ısı yükü sürekli değişken ise oransal brülör tercih edilmelidir. Brülörlerin otomatik olarak kontrolünün sağlanması, elektrik panosunda yerleştirilmiş bir oransal kontrol modülü vasıtasıyla olur [43]. Mekanik modülasyonlu brülörlerin çalışma sistemi şematik olarak Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

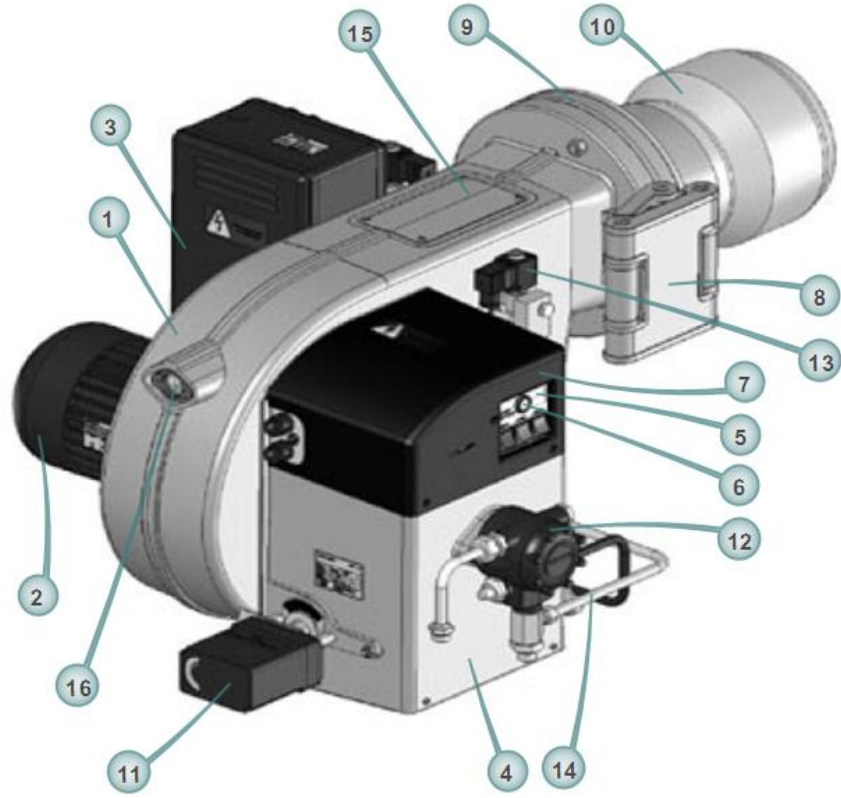


Şekil 4.2. Mekanik modülasyonlu (Oransal) brülörün çalışma sistemi.

#### 4.1.3. Brülörlere Ait Ana Elemanların Gösterilmesi

##### İki Kademeli Sıvı Yakıtlı Brülörler:

İki kademeli brülörlerde, brülör yanma başlığı içerisinde iki adet meme bulunmaktadır. Yakıt hattı üzerinden gönderilen (Şekil 2.1) yakıt, elektrodlar vasıtasıyla ateşlenerek yanma işlemi sağlanır. Yakıt memeden ateşlenmeden önce, brülör içindeki fandan gönderilen hava ile karıştırılır. Oluşan bu karışım ateşlenerek memeden pürkürtülür. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörlerin oransal kontrollü brülörlerden en önemli farkı sonsuz sayıda kontrollü kademe imkanına sahip olmamasıdır. Şekil 4.3'te iki kademeli brülörün ana elemanları, Şekil 4.4'te ise modülasyonlu brülörün ana elemanları gösterilmiştir.

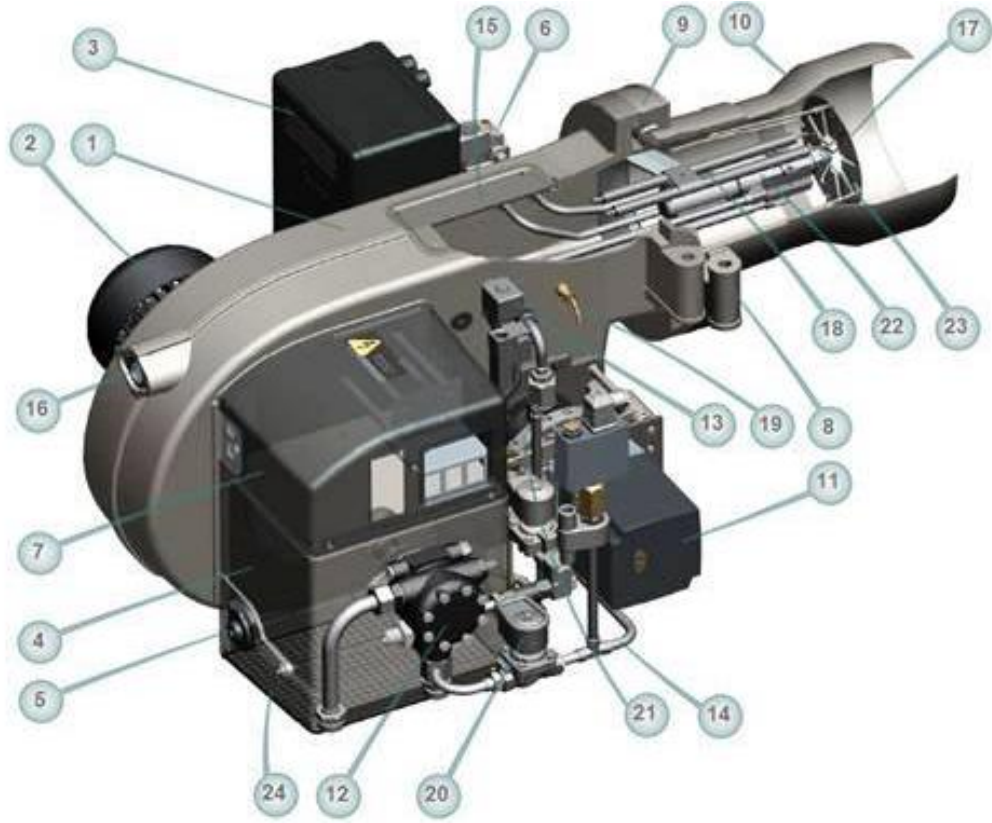


Şekil 4.3. İki kademeli brülörün ana elemanları.

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Brülör gövdesi       | 9. Kazan bağlantı flanşı |
| 2. Brülör motoru        | 10. Yanma başlığı        |
| 3. Isıtıcı              | 11. Damper motoru        |
| 4. Hava emiş hücresi    | 12. Yakıt pompası        |
| 5. Beyin                | 13. Selenoid ventili     |
| 6. Reset butonu         | 14. Yakıt boruları       |
| 7. Elektrik pano kapağı | 15. Üst kapak            |
| 8. Bağlantı menteşeleri | 16. Gözetleme camı       |

İki kademeli brülörler ile modülasyonlu (oransal kontrollü) brülörler kıyaslandığında özellikle parça sayısından dolayı oluşan maliyet iki kademeli olan brülörlerde daha ekonomiktir. Ancak modülasyonlu (oransal kontrollü) brülörlerin sonsuz kademe imkanına sahip olması, iki kademeli brülörlere göre üstünlük sağlamaktadır.

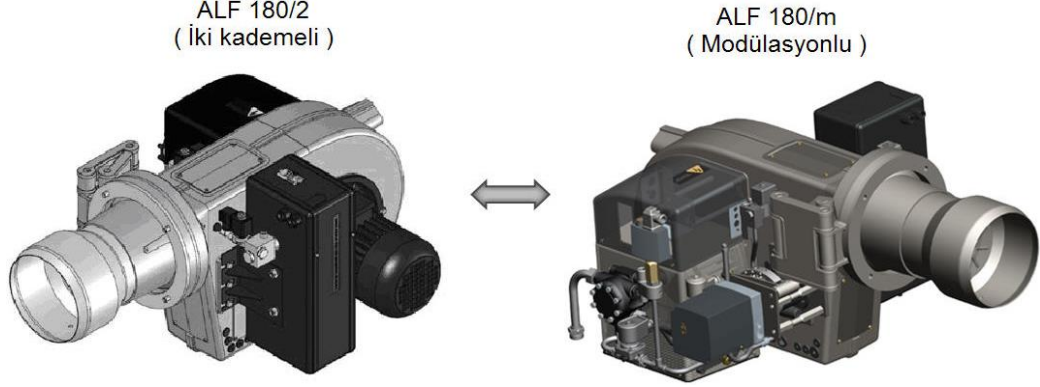
### Modülasyonlu (Oransal Kontrollü) Brülörler:



Şekil 4.4. Modülasyonlu (oransal) brülörün ana elemanları.

- |                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Brülör gövdesi            | 13. Selenoid ventil |
| 2. Brülör motoru             | 14. Yakıt boruları  |
| 3. Isıtıcı                   | 15. Üst kapak       |
| 4. Hava emiş hücresi         | 16. Gözetleme camı  |
| 5. Hava klape kolu           | 17. Türbulatör      |
| 6. Yakıt dağıtım parçası     | 18. Elektrotlar     |
| 7. Elektrik pano kapağı      | 19. Fotosel çubuğu  |
| 8. Bağlantı menteşe yuvaları | 20. Selenoid vana   |
| 9. Kazan bağlantı flanşı     | 21. Kam mekanizması |
| 10. Yanma başlığı            | 22. Burun parçası   |
| 11. Damper motor             | 23. Meme            |
| 12. Yakıt                    | 24. Hava Klapeleri  |

Tez kapsamında Alarko Carrier A.Ş. laboratuvarlarında yapılan çalışmalarda, ALF 180/2 kodlu iki kademeli sıvı yakıtlı brülör ALF180/M kodlu modülasyonlu brülöre dönüştürülmüştür. İki kademeli ve modülasyonlu brülörler Şekil 4.8’de gösterilmiş olup, temel eleman farklılıklarının karşılaştırması ise Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.5. İki kademeli ve modülasyonlu brülörün karşılaştırılması.

Çizelge 4.1. Modülasyonlu brülörün iki kademeliyle kıyaslanan parça farklılıkları.

Parça Adı	Eklenen / Değişen Elemanlar
Meme	Değişti
Türbülötör	Değişti
Yağ pompası	Değişti
Elektrik motoru	Değişmedi
Solenoid valfler	Değişti
Yakıt boruları	Değişti
Yanma başlığı	Değişti
Yağ ayar regülatörü	Eklendi
Kam mekanizması	Eklendi
Damper motor	Değişti
Beyin	Değişti
Elektrik sistemi	Değişti
Fişek ısıtıcılar	Eklendi
Enjektör Hacı	Değişti
Burun Parçası	Değişti

İki kademeli brülörden, modülasyonlu (oransal kontrollü) brülöre dönüşümde salyangoz gövdesi, hava emiş hücresi, fan, motor, türbulatör, ana ısıtıcı gibi elemanlar aynı kalmıştır. Modülasyonlu meme, 4 adet selenoid valf, fişek ısıtıcılar, yağ ayar regülatörü, kam mekanizması, yeni kontrol sistemi, yeni yakıt boruları, burun parçası, enjektör hacı, yanma başlığı, damper motor ve kablo grupları gibi diğer elemanlar değişmiştir.

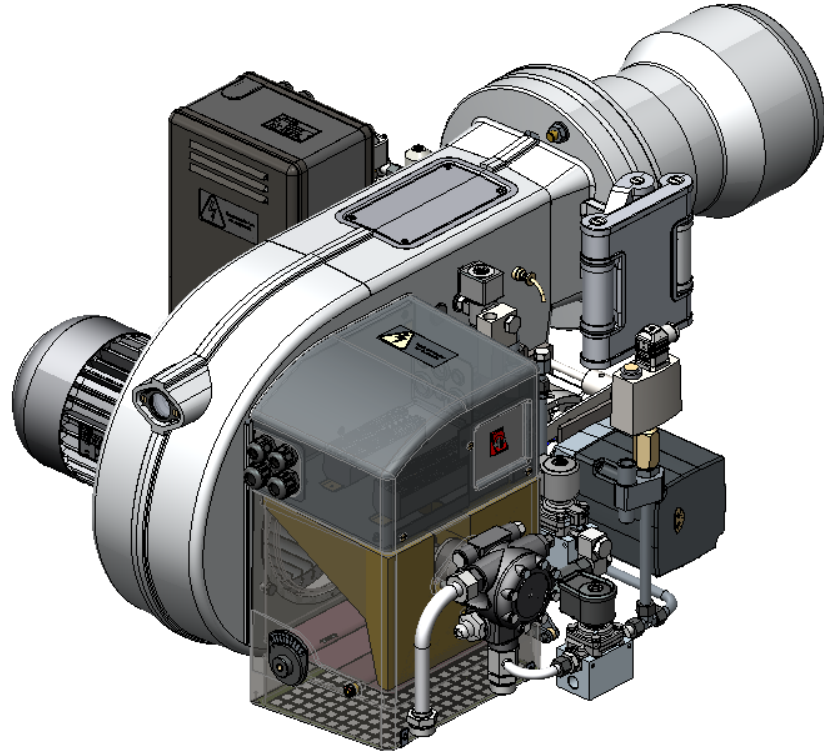
Diğer bir ifadeyle Çizelge 4.1 incelendiğinde görüleceği üzere modülasyonlu brülör için, meme parçası, türbulatör, yağ pompası, solenoid valfler, yakıt boruları, yanma başlığı, damper motoru, brülör beyni, brülör elektrik sistemi, enjektör hacı, burun parçası gibi parçalar modülasyonlu brülör için değişirken elektrik motorunun hem iki kademeli sıvı yakıtlı brülör için ve hem de modülasyonlu brülör için değişmediği görülmektedir.

#### **4.1.4. İki Kademeli Sıvı Yakıtlı Brülör İle Mekanik Modülasyonlu Brülörün Karşılaştırılması**

İki kademeli sıvı yakıtlı brülör ile modülasyonlu brülörün üç boyutlu modellenmiş görüntüleri sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün modellenmiş görüntüsü.



Şekil 4.7. Modülasyonlu (oransal kontrollü) brülörün modellenmiş görüntüsü.

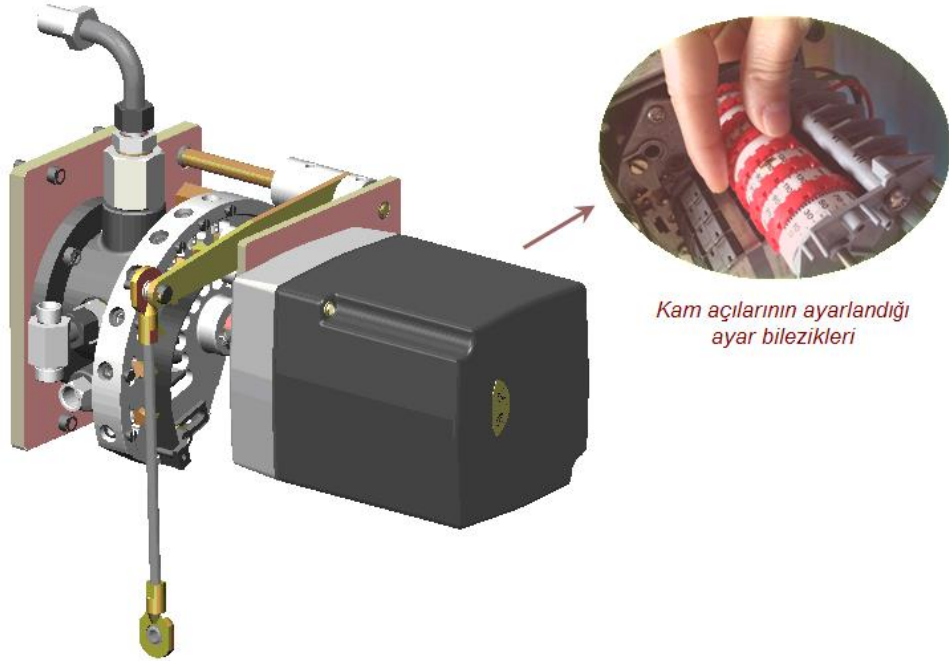
Modülasyonlu brülörün avantajları:

- ✓ Hava ve yakıt karışımının değişik oranlarda sağlanabilmesi,
- ✓ Farklı ısı ihtiyaçlarını karşılayabilmesi,
- ✓ Daha verimli yanma sağlaması,
- ✓ Oransan kontrolü sayesinde yakıt tasarrufu sağlaması,
- ✓ Modülasyon ile emisyonların daha etkin kontrolü,

Modülasyonlu brülörün dezavantajları:

- ✓ İki kademeli brülöre göre daha maliyetli olması,
- ✓ Üretiminin daha fazla zaman alması,
- ✓ Daha kompleks bir tasarımının olması,
- ✓ İki kademeliye göre biraz daha ağır olması,

şeklinde sıralanabilir. Bu avantaj ve dezavantajlar ana farklılıkları belirtmektedir. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün mekanik modülasyonlu yani oransal kontrollü brülöre dönüştürülmesinde kullanılan kam sistemi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Mekanik modülasyonlu brülörde kullanılan kam sistemi.



Şekil 4.8’de gösterilen kam sistemi ALF 180/M brülöründe bulunan ve brülörün mekanik modülasyonlu olma özelliğini sağlayan temel mekanizmalardan birisidir. Kam sistemi sayesinde modülasyonlu çalışma yani yakıtın oransal kontrolü sağlanabilmektedir.

#### Ürün Konsepti:

Brülörler apartmanlarda, sitelerde, toplu konutlarda, gelişen sanayi sistemlerinde, müstakil ev, iş yerlerinde ısı ihtiyacına yönelik her türlü mekanda kullanılabilir [44]. Genel olarak yakıt tipleri olarak hafif ve ağır yağlar kullanılmaktadır. Yakıt özelliklerinin belirsiz olması sebebiyle performansı ve tasarım ölçülerini etkileyen en sorunlu yakıt fuel-oil’dir. Bu nedenle Türkiye’de çok çeşitli özellikler gösteren fuel-oil hakkında araştırmalar yapılmış ve bazı özelliklerinin aşağıda belirtilen özelliklerine ulaşılmıştır. Hafif ve ağır yağların teknik özellikleri ve yanma kaliteleri sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Hafif ve ağır yağların teknik özellikleri.

Yakacak	Yoğunluk [kg/m <sup>3</sup> ]	Özgül ısı [kJ / kg.K]	Isı iletim katsayısı [W / m.K]	Dinamik viskozite [µPa . s]
Ağır fuel-oil	940 (15 °C)	1,8 – 1,9	0,16	15.000 (100 °C)
Hafif fuel-oil	860 (15 °C)		0,14	3.700 (20 °C)

Çizelge 4.3. Yanma ürünlerinin yanma kaliteleri.

Yakacak	İs Numarası	Yanmamış Hidrokarbonlar [ppm]	NO <sub>x</sub> [mg/kWh]	CO [mg/kWh]	λ
Ağır fuel-oil	En fazla 1	En fazla 10	250	110	TS EN 267
Hafif fuel-oil	-	-	-	-	-

Yağların bu özelliklerinin belirlenmesinin amacı yanma özelliklerinin tespit edilmesi gerekliliğinin yanında, fuel-oil yakıtının ülkemizde de çok çeşitli özelliklerde bulunabiliyor ve kontrolsüz şekilde kullanılabilir olması kaynaklanan problemleri minimize etmektir [44,41].

Brülörler bahsedildiği üzere yakıtın hava ile uygun oranda karıştırılarak tam olarak yakılmasını sağlayan cihazlardır. ALF 180/2, 2 kademeli brülör olup düşük kapasite ve yüksek kapasite olmak üzere 2 güç seviyesinde çalışabilmektedir. Çalışmanın ana çıktısı olan ALF 180/M modülasyonlu brülör olup bu brülörlerde hava-yakıt karışımı değişken oranlarda temin edilebilir. Bu sayede verimli yanma ve yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir [30]. Bu ürünler, TS EN 303-2'ye uygun karşı basınçlı sıcak su kazanları, buhar kazanları, kızgın yağ kazanları gibi kullanım alanları vardır [45].

ALF 180/2 – ALF 180/M dönüşümü neticesinde brülörler, kapasite ve karşı basınç açısından ilgili kazanlar ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.9'da belirtilen kapasitelerde karşı basınçlar sağlanabilmektedir. Brülör en düşük ve en yüksek ısı giriş yükü ise Çizelge 4.4'de verildiği gibi olmalıdır [46,41].

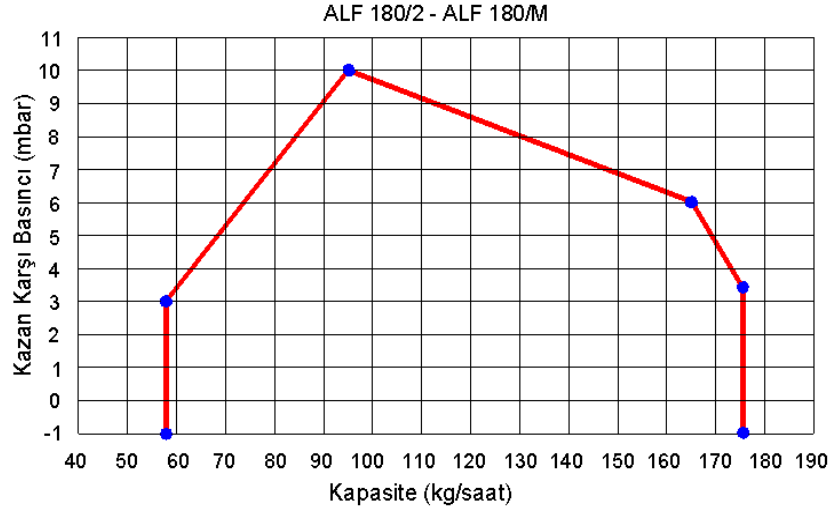
Çizelge 4.4. En düşük ve en yüksek ısı girişleri.

<b>ALF 180/M</b>		
1	Brülör en düşük ısı giriş yükü [kW] +%5	654
2	Brülör en yüksek ısı giriş yükü [kW] -%5	1968

Sıvı yakıtlı brülörlerde yakıt cinsi olarak hafif ve ağır yağlar kullanılır. Aynı şekilde ALF 180/M brülöründe de sıvı yakıtlar (fuel-oil) kullanılmaktadır. Modülasyonlu (oransal kontrollü) brülörlerde hava ve yakıt karışımı değişken oranlarda temin edilebilir. Modülasyonlu yani oransal kontrollü olması, brülör için sonsuz kademe imkanı sunmaktadır. Bu sayede verimli yanma ve yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir.

## Kapasite – Basınç Eğrileri:

İki kademeli ve modülasyonlu brülör için ortak kapasite-basınç eğrileri ile ortak teknik özellikleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İki kademeli ve modülasyonlu brülör için ortak kapasite-basınç eğrisi.

Çizelge 4.5. İki kademeli ve modülasyonlu brülör için ortak teknik özellikler.

TEKNİK ÖZELLİK											
BRÜLÖR TİPİ	KAPASİTE kg/saat		ISI YÜKÜ				MOTOR		ISITICI (kW)	AĞIRLIK (kg)	ELEKTRİK BESLEMESİ
	Min.	Max.	Kw		kcal/saat		Hız (d/d)	Güç Kw			
			Min.	Max.	Min.	Max.					
ALF 180/2 ALF 180/M	58	175	654	1968	562.600	1.692.650	2850	3	10,5	95 110 – 120	3 ~ 220 / 380 V-50 Hz.

(Yakıt alt ısıl değeri 9.700 kcal/kg'dir.)

### 4.1.5. Brülör Seçimi ve Kapasite Hesabı

Brülör seçiminde aşağıda belirtilen faktörlere dikkat edilmelidir [47,46].

- ✓ Kazanın tipi,
- ✓ Kazan kapasitesi,
- ✓ Kazan karşı basıncı,
- ✓ Yakıtın cinsi,
- ✓ Fan basıncı,
- ✓ Yakma havası miktarı,
- ✓ Yanma odası geometrisi,
- ✓ Meme açısı ve tipi.

*Brülör kapasitesi* değeri standart olarak [kW] olarak verilmesine rağmen, birim zamanda brülöre beslenen yakıt miktarına istinaden sıvı yakıt brülörleri için [kg/h], gaz yakıt brülörleri için [m<sup>3</sup>/h] birimleri de kullanılmaktadır. Brülör kapasitesi;

$$\text{Brülör Kapasitesi (Q}_k\text{)} = [\text{Isı Miktarı (kcal/h)} / \text{Verim}(\eta) \times 860] \quad (4.1a)$$

formülüne göre hesaplanır.

Brülör için gerekli olan *yakıt miktarı*;

$$B = Q_k / (H_u \cdot \eta) \quad (\text{kg/h}) \quad (4.1b)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada;

Q<sub>k</sub> : Kazan kapasitesi (kcal/h)

H<sub>u</sub> : Yakıtın alt ısıl değeri (kcal/kg.)

η : Kazan ısıl verimi (%)

Brülör seçilirken, gerekli yakıt miktarı değeri ilgili kataloglarda belirtilen brülör çalışma aralığının ortasında kalmalıdır. Yakıt basıncı ise meme seçimi ile yakından ilgilidir [47,46].

*Yakma havası miktarı*:

$$V_h = B \cdot V_h \quad (\text{Nm}^3/\text{h}) \quad (4.1c)$$

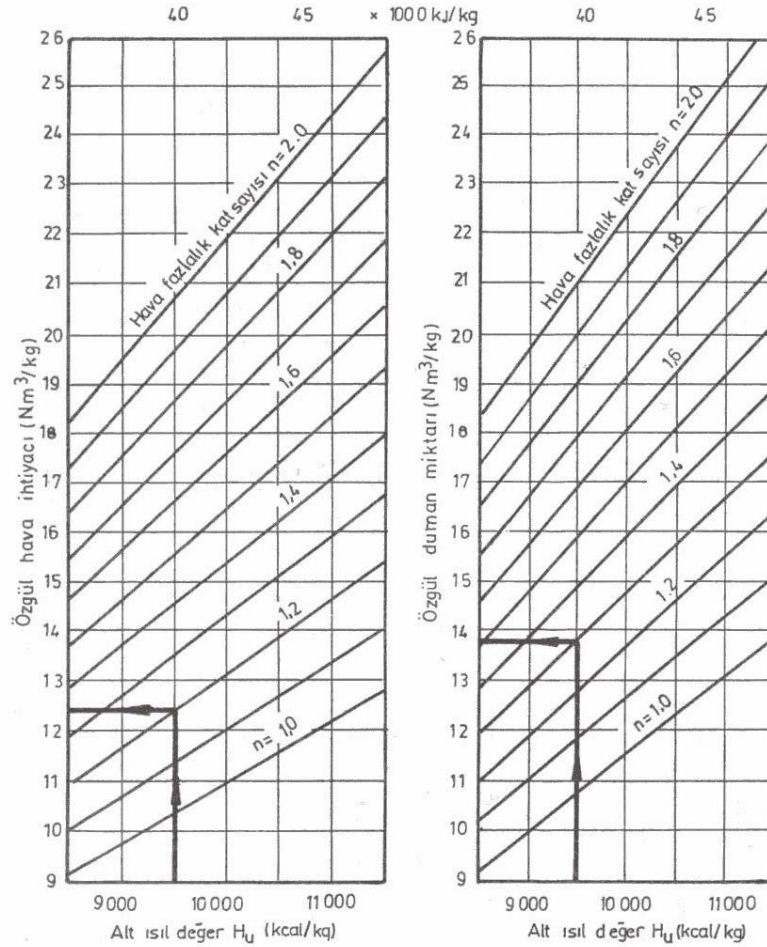
olarak belirlenebilir.

Burada V<sub>h</sub> (Nm<sup>3</sup>/kg) özgül hava miktarı olup, sıvı yakıtlar için Şekil 4.10'dan hava fazlalığı ve yakıt alt ısıl değerine bağlı olarak okunabilir. Brülör kataloğunda fan basıncı, kazan karşı basınç değerinin 2 katı veya üzerinde olacak şekilde seçim yapılır. Kullanılacak meme açısı yanma odası boyutlarına bağlıdır. Dar ve uzun yanma odalarında 45° açılı, geniş ve kısa yanma odalarında 60° açılı meme kullanılmalıdır. Daha özel yanma odaları için daha farklı açılı ve daha farklı tiplerde memeler kullanılabilir.

Brülörün yerdeki tozları emerek memenin tıkanmasını önlemek için, brülör alt kısmı bitmiş döşemeden yaklaşık 30 cm yukarıda olacak şekilde, kalorifer kazanı beton kaideleri yükseltilmelidir [47]. Yakma hava miktarı verim açısından çok önemli bir unsurdur. Çünkü yakma hava miktarı düşük olursa, ölçülecek olan emisyon miktarında karbon monoksit (CO) gazı miktarı artacaktır.

Önemli olan en önemli hususlardan biri ise yakıt-hava karışımının istenen emisyon değerlerini sağlayabilmesi için uygun miktarlarda yakıt-hava karışımının olması ve bunun için ortam şartlarının ve girdilerin sağlanması gerekir.

Fuel-Oil için özgül hava ihtiyacı ve duman miktarları alt ısıl değerleri ile birlikte Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

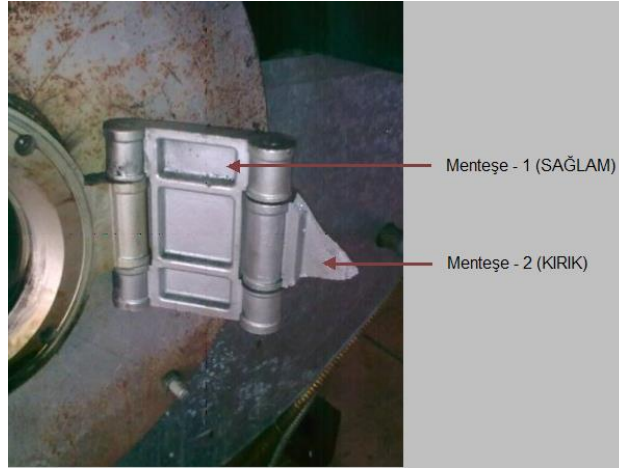


Şekil 4.10. Fuel – Oil için özgül hava ihtiyacı ve duman miktarları.

## 4.2. BRÜLÖR BAĞLANTI MEKANİZMASI TASARIMI VE ANALİZİ

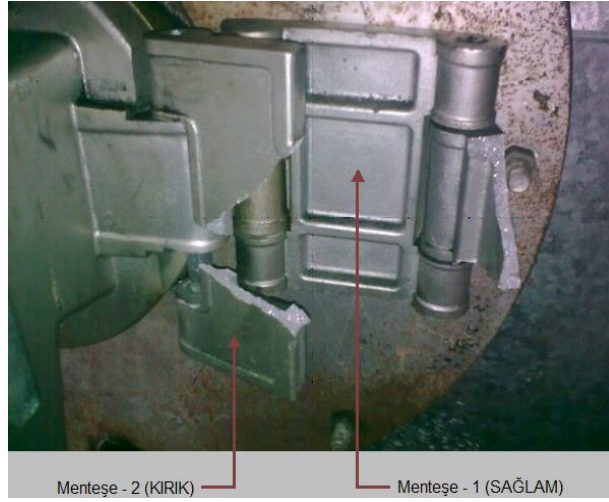
### 4.2.1. Eski Bağlantı Mekanizmasının Tasarımı

Brülör bağlantı mekanizmasına ait menteşe çiftinin tasarımı ve mukavemet analizi, brülör imalatçı firmaya gelen müşteri şikayeti üzerine tez çalışması kapsamına dahil edilmiştir. Bu bağlamda, ilgili müşteriye ait brülörün kazana montajında kullanılan menteşenin kırılması ve buna bağlı olarak brülörün yere düşmesi şeklinde bir olay meydana geldiği anlaşılmıştır. Brülör yere düştüğünde, brülör üzerinde bulunan ekipmanlar zarar görmektedir. Kırılma sorunu, bağlantı mekanizmasının Menteşe-2 parçasında gerçekleşmektedir. Menteşedeki kırılmanın köşeden çatlak oluşumu şeklinde başlayarak ilerlediği tespit edilmiştir. Brülörün kazana montajlanmasından sonra brülör yükünü taşıyamamış ve kırılmış menteşe görüntüleri sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Brülör yükünü taşıyamamış ve kırılmış menteşe görüntüsü.

Kırılma sebebinin menteşe malzemesinin geometrik formundan kaynaklandığı ve bu yüzden yeterli mukavemeti sağlayamadığı düşünülerek, kırılan menteşe üzerinde iyileştirme hedeflenmiştir. Daha sonra yapılan sonlu elemanlar analizine dayalı yapılan gerilme analizleri ile kırılma sonucunun menteşenin geometrik formundan kaynaklandığı doğrulanmıştır. Bu bağlamda, yeni bir menteşe tasarımı ile bağlantı mekanizması daha mukavemetli bir forma dönüştürülmüş olup, menteşenin kırılma problemleri ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 4.12. Brülör yükünü taşıyamamış ve kırılmış menteşe görüntüsü.

Bağlantı mekanizmasında kullanılan menteşeler kum döküm yöntemi ile üretilmektedir. Menteşe malzemesi ve mekanik özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Menteşelere ait malzeme bilgisi.

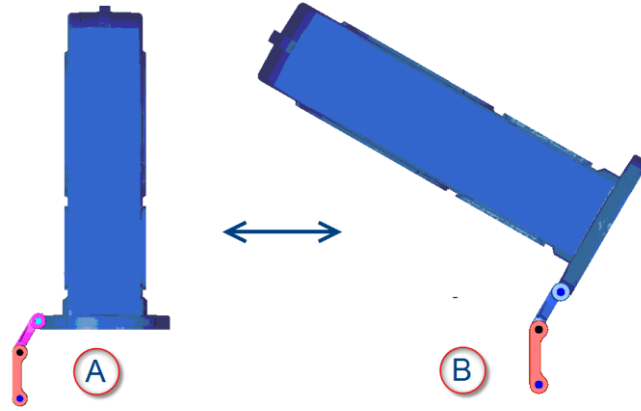
Malzeme	G-AISi12
Malzeme No	3.2581.01
Üretim Yöntemi	Kum Döküm
0.2 Uzama Sınırı ( $R_{p0.2}$ )	70... 100 N/mm <sup>2</sup>
Çekme Dayanımı ( $R_m$ )	150...200 N/mm <sup>2</sup>
Kopma Uzaması ( $A_5$ )	5... 10 %
Sertlik	45...60 HB
Yoğunluk	2,65 kg/dm <sup>3</sup>
Elastikiyet Modülü	71 GPa
Akma Dayanımı	85 MPa
Poisson Oranı	0.33

#### 4.2.2. Yeni Bağlantı Mekanizmasının Tasarımı

Menteşelerin üç boyutlu tasarımları Solidworks 14 programında yapılmış olup, estetik ve ağırlık bakımından optimum tasarımları oluşturulmuştur. Aynı yazılım kullanılarak bağlantı mekanizmasının ön analizleri yapıldıktan sonra yan sanayiye

prototipleri imal edilmiştir. Brülörün kazan bağlantısında bulunan ve brülörün kazandan çıkarılıp, takılması esnasında taşıyıcı görevi üstlenen menteşenin, brülörün yarı açık veya tam açık konumda yapma seçenekleri düşünülerek menteşe zorlanmaları değerlendirilmiş ve brülörü tam açık konumda analiz etmenin daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Çünkü brülör-kazan bağlantısı açık konumdayken brülör ağırlık merkezi menteşe arasındaki mesafe en fazla olacağı için bağlantı mekanizmasına daha fazla yük gelecektir.

Bağlantı mekanizmasının her iki durumu Şekil 4.13'te brülörün yarı ve tam açık konumları, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'da ise yeni menteşe tasarımı ile yeni tasarım menteşe çiftleri görülmektedir.

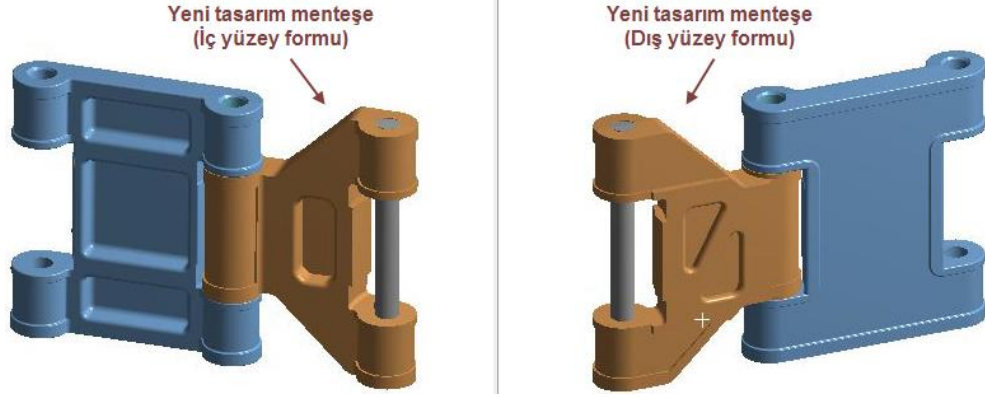


Şekil 4.13. Brülörün konumları; a) Yarı açık, b) Tam açık.



Şekil 4.14. Yeni menteşe tasarımının gösterilmesi.





Şekil 4.15. Yeni tasarım menteşe çiftinin genel görüntüsü.

#### 4.2.3. Bağlantı Mekanizmasının Mukavemet Analizi

Bağlantı mekanizmasına ait menteşelerin mukavemet analizi için bir dizi işlem literatüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Analiz çalışmaları, sonlu elemanlar yöntemine dayalı mühendislik analizlerinde yaygın olarak kullanılan ANSYS Workbench R14.5 programında yapılmıştır. Öncelikle eski ve yeni menteşeler için Solidworks 14 yazılımında tasarımı yapılan üç boyutlu menteşe modelleri ANSYS Workbench R14.5 programına aktarılmıştır. Sonrasında, sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz prosedürü literatüre göre uygulanmıştır. İlk olarak, menteşelerin Çizelge 4.6'da verilen malzeme bilgileri atanmıştır. Daha sonra, bu bilgiler doğrultusunda menteşe modelleri üzerine sonlu elemanlar ağı (mesh) uygulamasına geçilmiştir. Mesh uygulamasından sonra kontak yüzeyleri ve sınır şartları belirlenmiştir. Sonrasında ise mesnet yüzeyleri seçilmiş ve brülörün en açık mesafedeki konumu dikkate alınarak brülör ağırlık merkezinden menteşelere uygulanacak 983 N'luk bir kuvvet yüklemesi ile menteşelerde oluşabilecek gerilmelerin tespiti için belirlenen ölçütlerde çözümlene işlemine geçilmiştir.

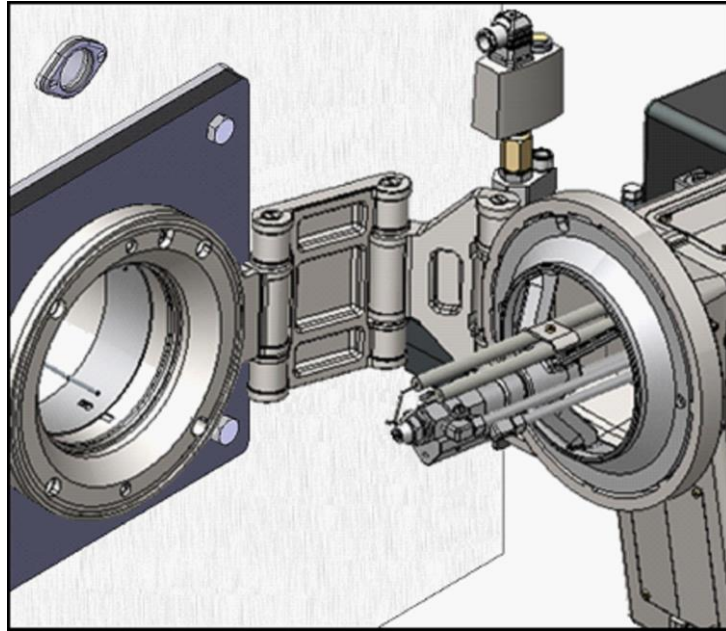
#### 4.2.4. Modülasyonlu Brülörün Ağırlık Merkezinin Saptanması

Brülör ve Menteşe İlişkisi (Açılma – Kapanma Döngüsü):

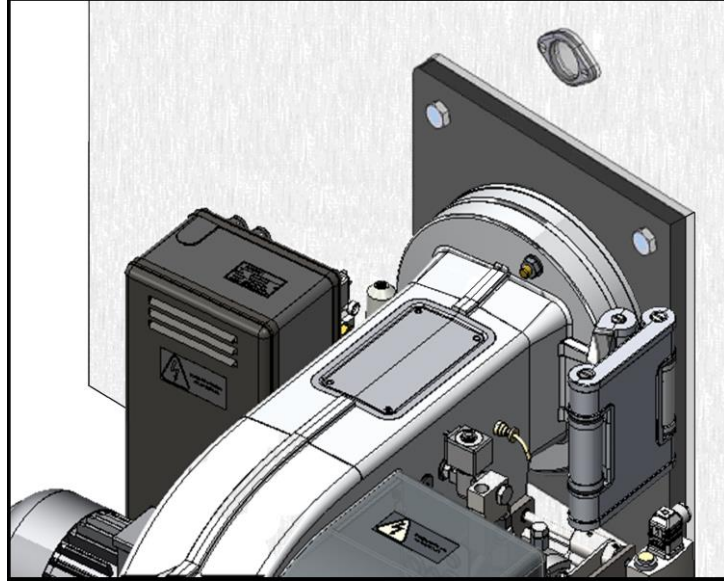
Brülörler brülör kazanlarına sökülebilir bağlantılarla montajlanmış cihazlardır. Bu montajlanma işleminde, brülörü kazan üzerinde tespit eden elemanlar ise hem kazana

hem brülöre takılmış olan menteşelerdir. Bu menteşeler en fazla yükü brülör kazandan çıkarıldığında taşırlar. Menteşelerin, brülörün kazanla bağlantısını sağlamasının yanında bir diğer önemli işlevi ise herhangi bir bakım ya da ayar gerektiğinde brülörün kazandan ayrılmasını (demontajını) sağlamalarıdır. Brülör kazana doğru itildiğinde menteşe kanatları katlanır ve kapanır. Sonrasında ise kazan kısmında bulunan ve brülör gövde başına geçen bir adet saplama ve somun ile sıkılarak kazan üzerinde sabitlenirler.

Brülör ve menteşe çiftinin birbirleriyle çalışma mekanizmasında menteşe, brülörü taşıma ve sabitleme rolünü üstlenmektedir. Brülör, brülör kazanına montajlandıktan sonra bir daha açılması gerekmeyecek gibi gözükse de, kazan veya brülörde beklenmedik arızalar olduğunda servis ve bakım ihtiyacı doğacağından menteşe çiftleri gibi taşıyıcıların kullanılması zaruriyet getirmektedir. Brülör ve menteşesinin açık ve kapalı haldeki konumları sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görülmektedir.

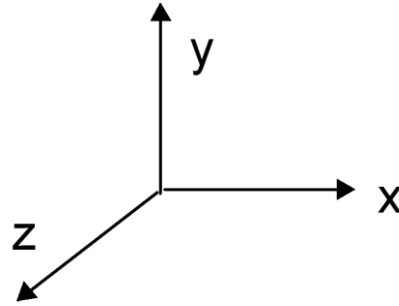


Şekil 4.16. Brülör ve menteşesinin açık konumda gösterilmesi.



Şekil 4.17. Brülör ve menteşesinin kapalı konumda gösterilmesi.

Analizde doğru sonuç elde etmenin anahtarı, parça üzerine etkiyen kuvvetin/kuvvetlerin değerini ve etki noktasını doğru olarak saptamaktan geçmektedir. İlk olarak, brülör üzerindeki önemli parçaların ağırlıklarının ölçülmesi sağlanmıştır. Daha sonra ağırlık merkezinin konumu X, Y, Z eksenlerine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplama biçimi aşağıda detaylı olarak verilmektedir. X,Y ve Z eksenlerinin şematik görüntüsü Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. X, Y, Z eksenleri şematik gösterimi.

#### X-Y ve Z Eksenlerine Göre Ağırlık Merkezi:

Brülör ağırlığı üzerinde önemli payı olan parçalar, ısıtıcı, motor, gövde (montajlı), klamens grubu, hava emiş hücresi, yakıt pompası ve kam mekanizma sistemi olarak

değerlendirilebilir. Brülörün ağırlık merkezinin hesaplanması uygun mukavemette bir menteşe tasarımının oluşturulması ve bunun analizde doğrulanabilmesi için zorunludur. Brülörün X,Y ve Z eksenlerine göre ağırlık merkezi hesaplanmasına karşın sonlu elemanlar analizinde  $Y_m$  ve  $Z_m$  noktalarından gelen kuvvetin etkisi hesaba katılmıştır. Bunun sebebi ise, Şekil 5.4'te belirtilen  $X_m$  mesafesinin,  $Y_m$  noktası ile referans yüzey eksenini temel alındığında ve brülör açılırken bir daire yayı üzerinde hareket ettiği düşünüldüğünde,  $X_m$  mesafesinin analiz yapılırken temsili brülör modelinde konumlandırılmasına gerek kalmamıştır. Çünkü  $Y_m$  ve  $Z_m$  noktalarından gelen kuvvetler menteşe mukavemetini ölçecek asıl kuvvetleri oluşturmaktadır.

$X_0$  eksenini gövdenin tam ortası ve  $Y_0$  eksenini brülör gövdesinin kazan dışında kalan ön yüzeyin merkezidir. (Şekil 4.20).  $X_0$  ve  $Y_0$  eksenleri ağırlık merkezi bulunurken moment alınan eksenlerdir. Buna göre, parçaların her birinin ağırlığı ile  $X_0$  ve  $Y_0$  eksenlerine olan mesafeleri aşağıda sıralanmıştır.  $X_m$ ,  $Y_m$ ,  $Z_m$  ölçülerinin birleşme noktası, bize ALF 180/M brülörünün ağırlık merkezini yaklaşık olarak vermektedir.

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de konumlara göre ekipman ağırlıkları aşağıda belirtilmiştir. Parçaların ağırlıkları ve eksenlere göre mesafeleri "Ağırlık;  $Y_0$  eksenine olan mesafe;  $X_0$  eksenine olan mesafe;  $Z_0$  eksenine olan mesafe" şeklinde aşağıda verilmiştir:

- ✓ Isıtıcı (22,3 kg; -207 mm; 245 mm; 86 mm)
- ✓ Motor (16,9 kg; -203,5 mm; 460 mm; 180 mm)
- ✓ Gövde (40 kg; 0 mm; 348 mm; 106,5 mm)
- ✓ Klamens grubu (2 kg; 188 mm; 460 mm; 60 mm)
- ✓ Hava emiş hücresi (4,3 kg; 188 mm; 460 mm; 238,5 mm)
- ✓ Yakıt pompası (4 kg; 354 mm; 460 mm; 177 mm)
- ✓ Kam mekanizma sistemi (10,7 kg; 172 mm; 210 mm; 166 mm)

Ağırlık merkezinin hesabı (Toplam Ağırlık : ~100,2 kg) ;

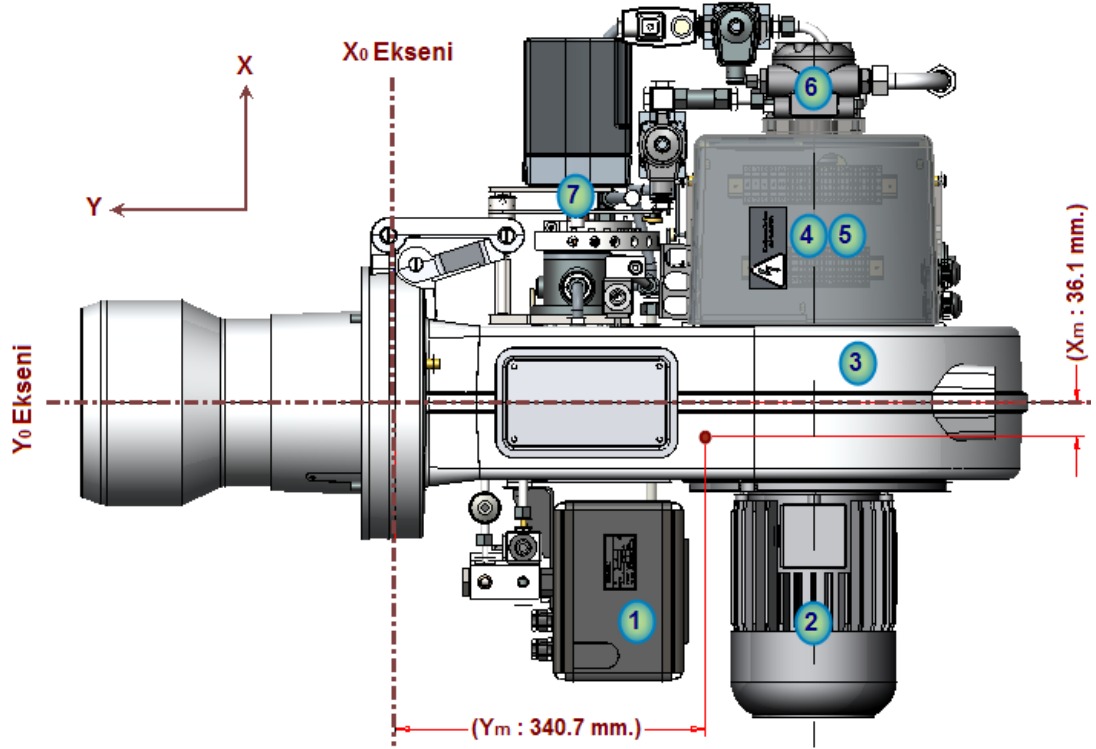
$$X_m = \frac{(-22,3 \times 207) - (16,9 \times 203,5) + (40 \times 0) + (2 \times 188) + (4,3 \times 188) + (4 \times 354) + (10,7 \times 172)}{22,3 + 16,9 + 40 + 2 + 4,3 + 4 + 10,7}$$

$$X_m = -36,1 \text{ mm}$$

$$Y_m = \frac{(22,3 \times 245) + (16,9 \times 460) + (40 \times 348) + (2 \times 460) + (4,3 \times 460) + (4 \times 460) + (10,7 \times 210)}{22,3 + 16,9 + 40 + 2 + 4,3 + 4 + 10,7}$$

$$Y_m = 340,7 \text{ mm}$$

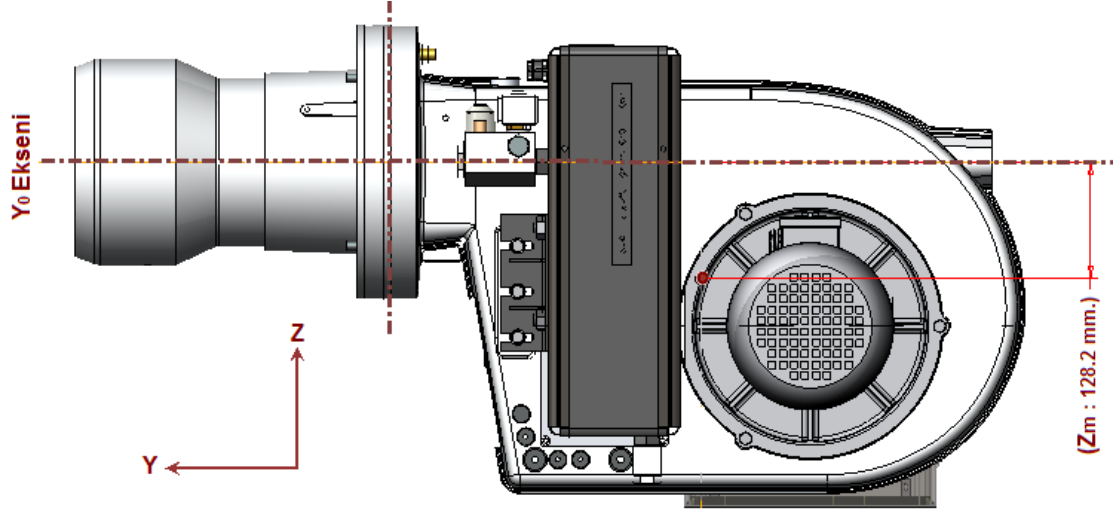
$X_m$ ,  $Y_m$  ve  $Z_m$  noktaları sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19.  $X_m$  ve  $Y_m$  noktalarının gösterimi.

$$Z_m = \frac{(22,3 \times 86) + (16,9 \times 180) + (40 \times 106,5) + (2 \times 60) + (4,3 \times 238,5) + (4 \times 177) + (10,7 \times 166)}{22,3 + 16,9 + 40 + 2 + 4,3 + 4 + 10,7}$$

$$Z_m = 128,2 \text{ mm}$$



Şekil 4.20.  $Z_m$  noktasının gösterimi.

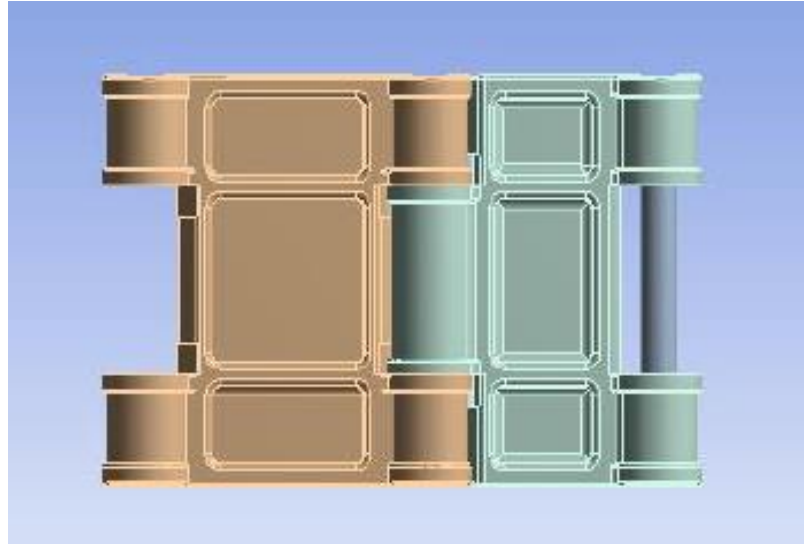
## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 5.1. BAĞLANTI MEKANİZMASININ ANALİZ SONUÇLARI

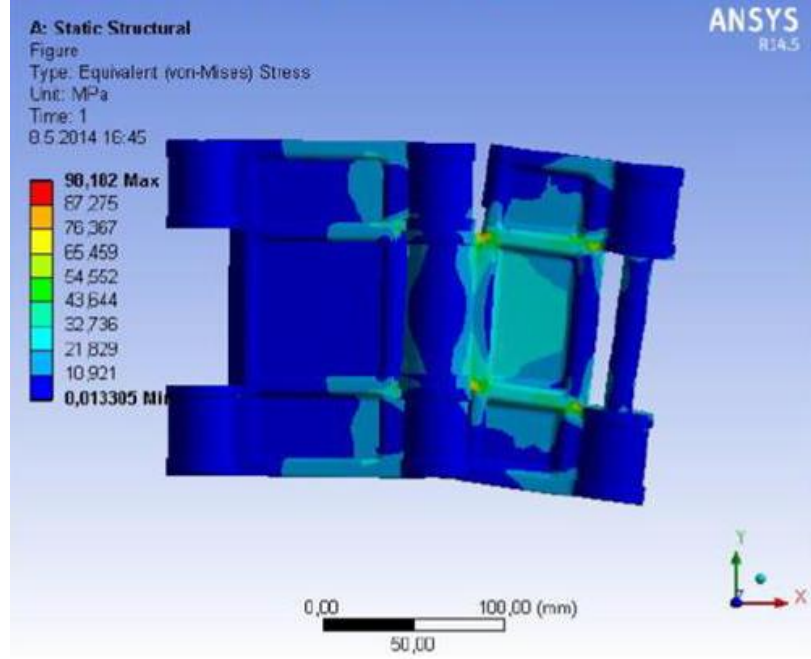
##### 5.1.1. Eski Bağlantı Mekanizmasına Ait Analiz Sonuçları

Bu bölümde kırılma problemi yaşanan eski menteşe çiftinin ANSYS Workbench R14.5 programında yapılan statik analiz görüntülerine yer verilmiştir. Eski menteşe analizinde, yeni tasarım menteşe çifti analizi için gerçekleştirilen sonlu elemanlar yöntemi işlem basamakları aynen uygulanmıştır. Şekil 5.1’de eski menteşe çiftinin üç boyutlu modeli gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçları; menteşe çiftine uygulanan yük eksenini doğrultusunda elde edilen eşdeğer gerilme (von Mises), toplam deformasyon, elastik yer değiştirmeler ve emniyet faktörü göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

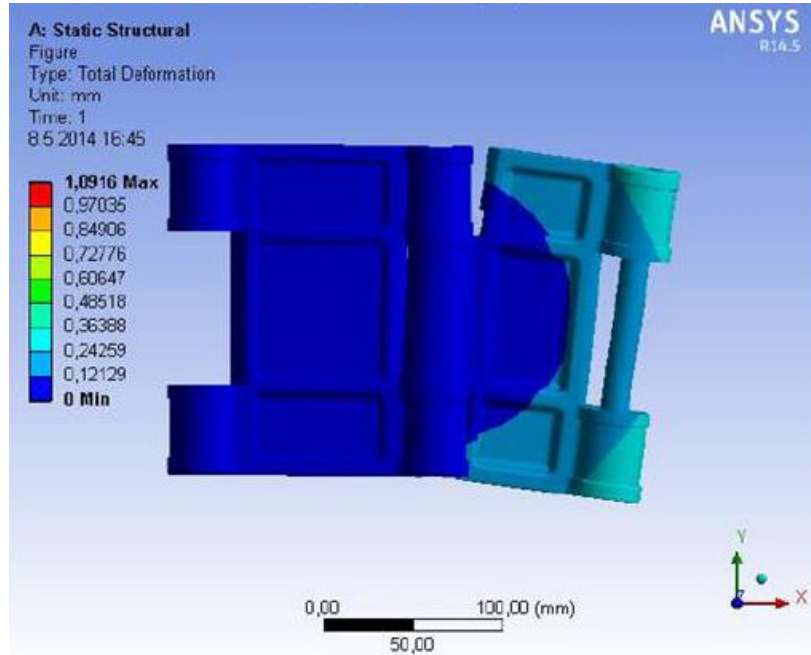


Şekil 5.1. Eski menteşe çiftinin gösterilmesi.

Şekil 5.2’de eski menteşeye ait eşdeğer gerilme dağılımları ve Şekil 5.3’te toplam deformasyon bölgelerinin oluşumu gösterilmiştir.



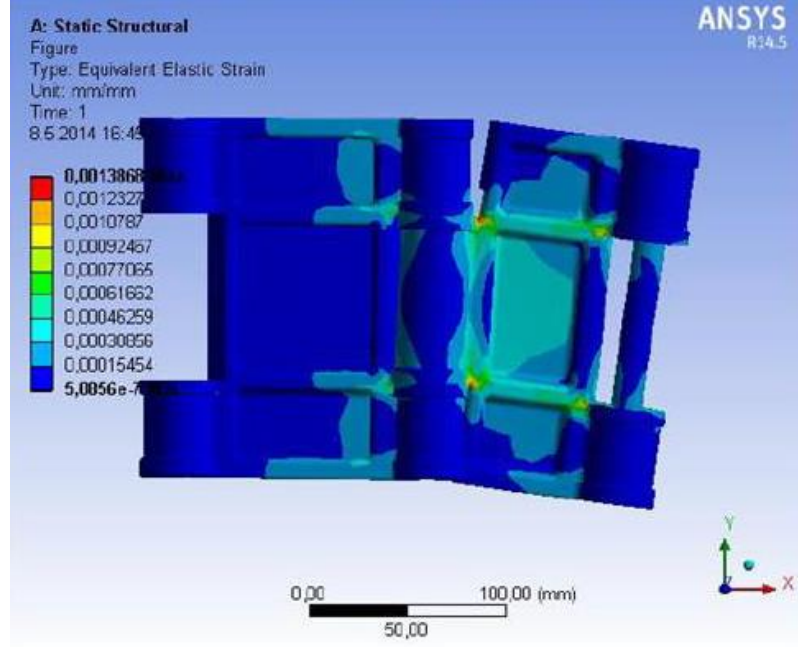
Şekil 5.2. Eski menteşe çiftindeki eşdeğer gerilmeler (Equivalent Stress) dağılımı.



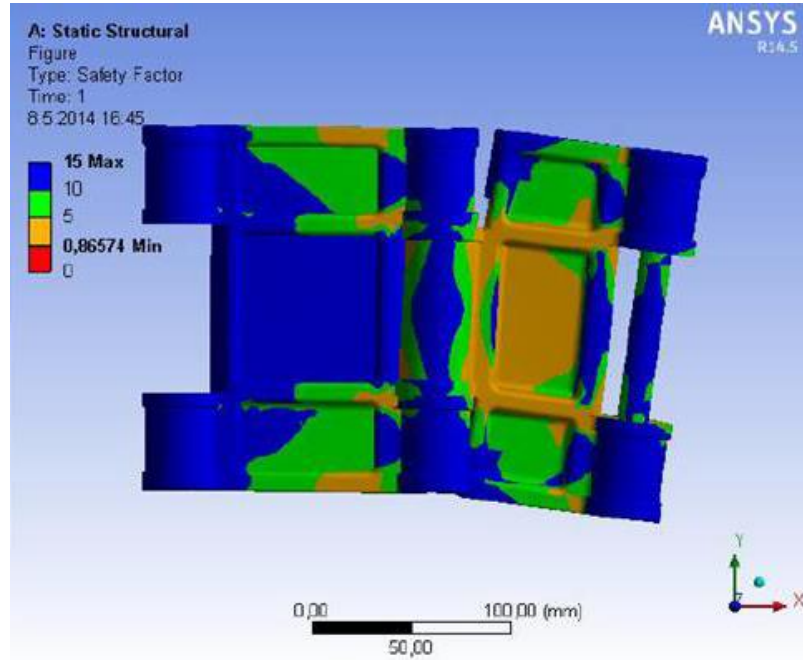
Şekil 5.3. Eski menteşe çiftindeki toplam deformasyon (Total Deformation).



Şekil 5.4'te eski menteşe çiftine ait elastik yer değiştirmeler ve Şekil 5.5'te emniyet faktörü durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Eski menteşe çiftindeki elastik yer değiştirmeler (Equivalent Elastic Strain).



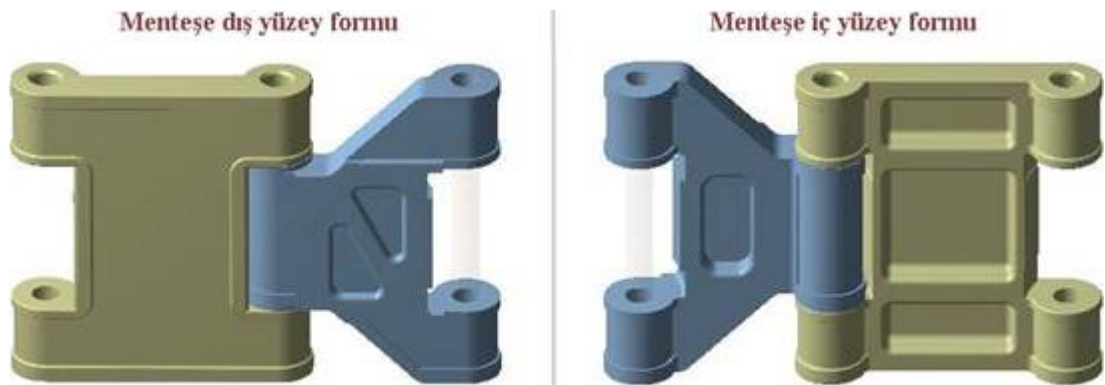
Şekil 5.5. Eski menteşe çiftindeki emniyet faktörü.

Eski menteşe çifti için yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda, eşdeğer gerilme değerinin 98,18 MPa olarak bulunmuştur. Bu değer, menteşe çifti malzemesinin akma gerilmesi değerinden (85 MPa) büyük olması mevcut geometriye sahip bağlantı mekanizmasının kırılabileceğini göstermektedir.

### 5.1.2. Yeni Bağlantı Mekanizmasına Ait Analiz Sonuçları

Modülasyonlu brülörün bağlantı mekanizmasını oluşturan menteşe çifti için beş farklı yeni tasarım yapılmıştır. Tasarımları yapılan menteşe çiftlerinin mukavemet analizleri ANSYS Workbench R14.5 programında gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan statik mukavemet analizi prosedürü her yeni bağlantı mekanizması için ayrı ayrı uygulanmıştır. Beş farklı forma sahip yeni tasarımlar için yapılan sonlu elemanlar analizi değerlendirilmiş olup, bunlar içerisinde mukavemet açısından en iyi olan menteşe çifti tasarımının analiz aşamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

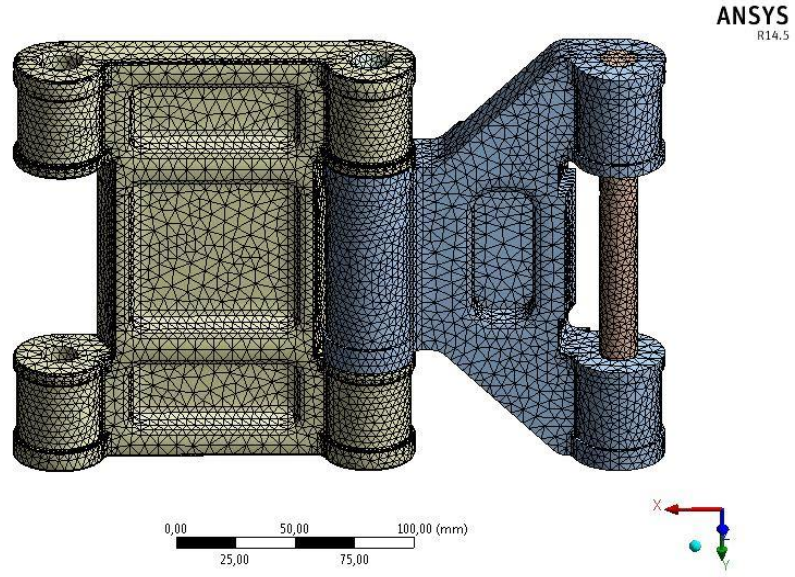
Şekil 5.6'da gösterilen sarı renkli olan menteşe Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilen Menteşe-1 parçasını ve mavi renkli menteşe ise kırılmanın olduğu Menteşe-2 parçasının yerine kullanılan yeni menteşe tasarımını temsil etmektedir. Bağlantı mekanizmasının tam açık konumunda menteşelerin iç ve dış yüzey görüntüleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Yeni tasarım menteşe çiftleri için mukavemet analizleri bağlantı mekanizmasının tam açık durumdaki konumu dikkate alınarak yapılmıştır. Menteşe çifti tasarımlarının analiz emniyet faktörü iki olarak seçilmiştir.



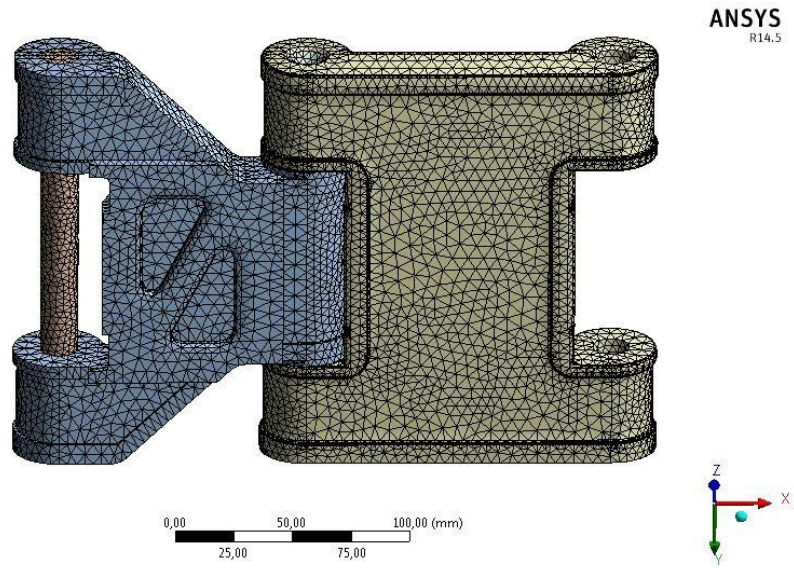
Şekil 5.6. Açık konumdaki menteşelerin iç ve dış yüzey görüntüleri.

### Menteşe Çiftlerinin Sonlu Elemanlara Ayrılmış Gösterimleri:

Menteşe çiftlerinin sonlu elemanlara ayrılmasında, ANSYS Workbench R14.5 programının alt yapısında bulunan üçgen eleman tipi seçilmiştir. Bağlantı mekanizmasında bulunan tüm parçalar için en uygun sonlu eleman ağ yapısı (mesh) kullanılmıştır. Sonlu elemanlara bölünmüş bağlantı mekanizmasının iç ve dış yüzey görüntüleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Elemanlara bölünmüş bağlantı mekanizmasının iç yüzey görünümü.



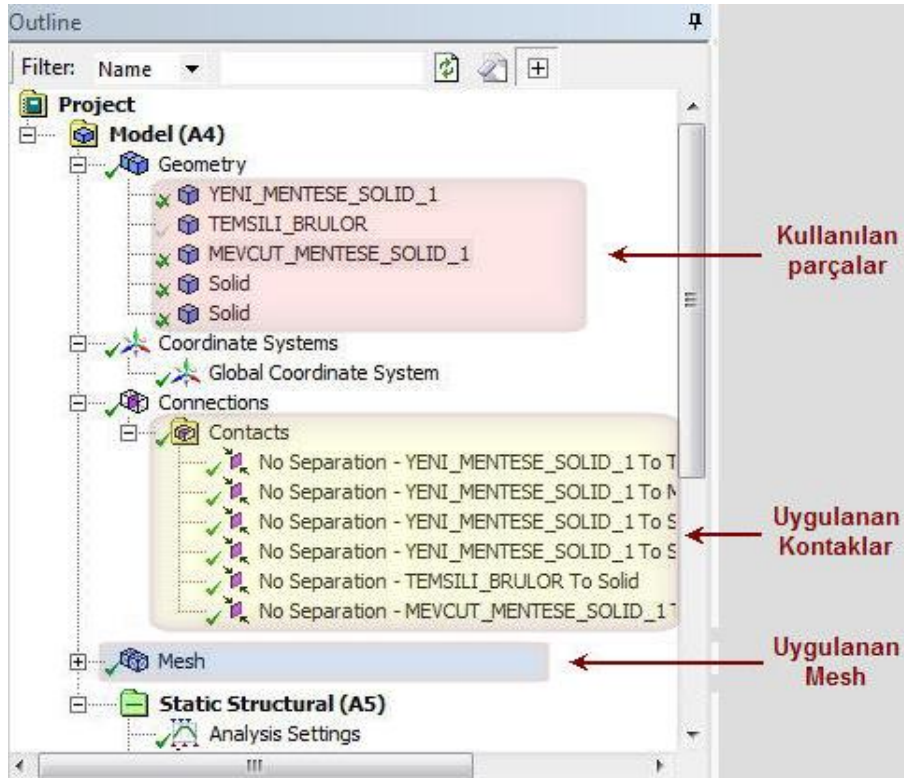
Şekil 5.8. Elemanlara bölünmüş bağlantı mekanizmasının dış yüzey görünümü.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de sınır şartlarının belirlenmesinden önceki aşama olarak, menteşe çiftlerine uygulanan sonlu elemanlar ağı gösterilmiştir. Bundan sonra sonlu elemanlar analizinde bir sonraki aşama olan sistemin sınır şartları belirlenerek bağlantı mekanizmasının analizine devam edilmiştir.

#### Sınır Şartlarının ve Kontak Yüzeylerinin Belirlenmesi:

Kontak yüzeyleri ve sınır şartları belirlenerek, bağlantı mekanizmasını oluşturan tüm parçalar için yüzey ilişkileri kurulmuştur. Tüm parçalar için oluşturulan yüzey ilişkileri sırasıyla Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Mukavemet analizi gerçekleştirilirken, analizde kullanılan parçalar arasında temsili brülör adında şeffaf olarak gösterilen bir kuvvet uygulama elemanı konumlandırılmıştır. Bu eleman isminden anlaşılacağı gibi mevcut brülörün ağırlık merkezini temsil etmek için kullanılmıştır. Temsili brülör elemanı Şekil 5.16’da görülmektedir.

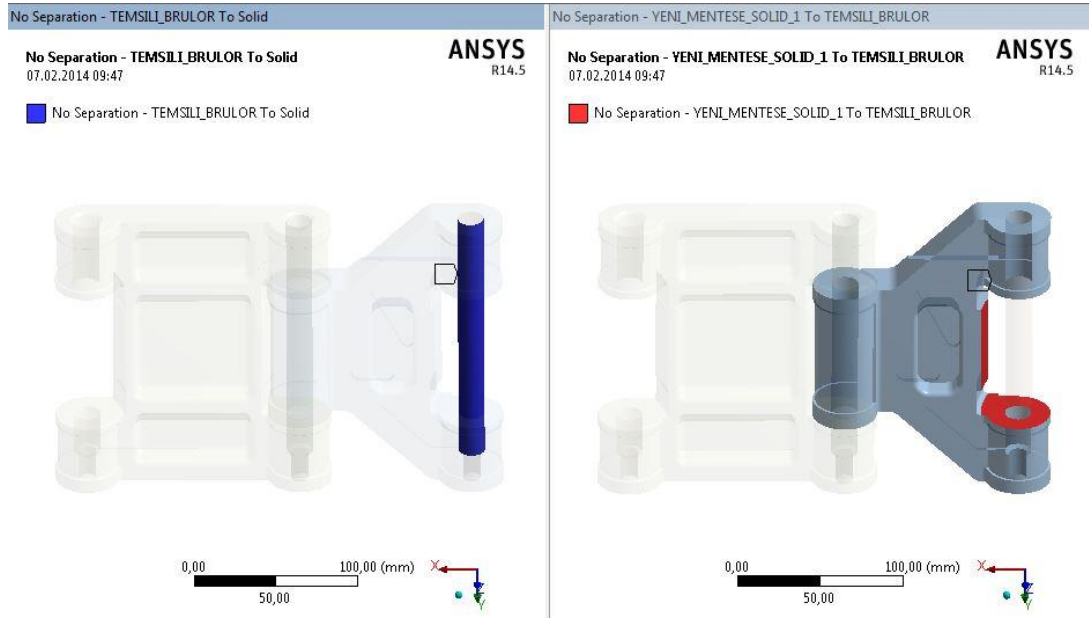


Şekil 5.9. Analiz parça ilişkilerinin gösterilmesi.

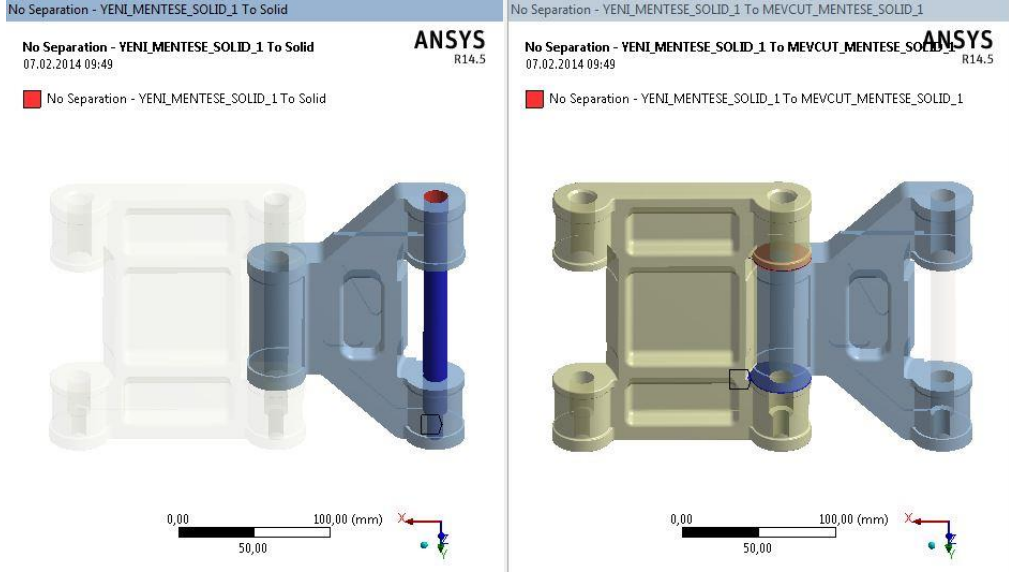
Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de menteşe çiftlerinin diğer elemanlarla olan ilişkilendirilme durumları gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Yeni menteşenin mevcut menteşe ile ilişkilendirilmesi.



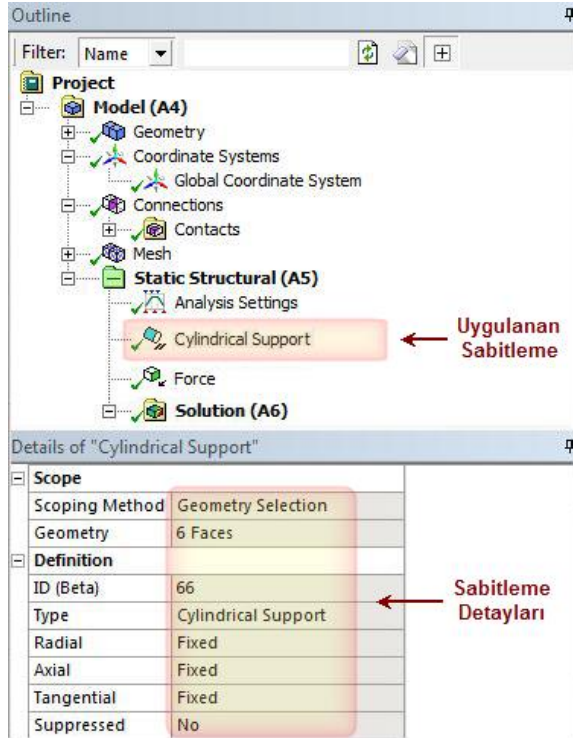
Şekil 5.11. Yeni menteşenin temsili brülör ile ilişkilendirilmesi.



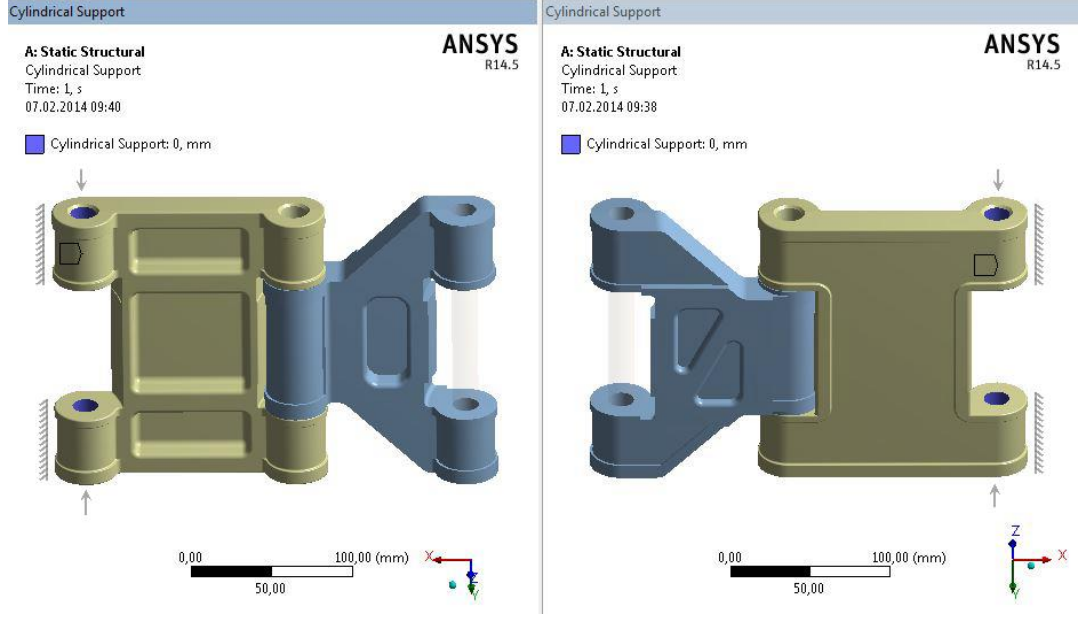
Şekil 5.12. Temsili brülörle ilişkilendirilmiş menteşe çiftlerinin gösterilmesi.

### Mesnet Yüzeylerinin Belirlenmesi:

Menteşe çiftinin yüzey sabitleme bilgileri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Menteşe sabitleme bilgileri.



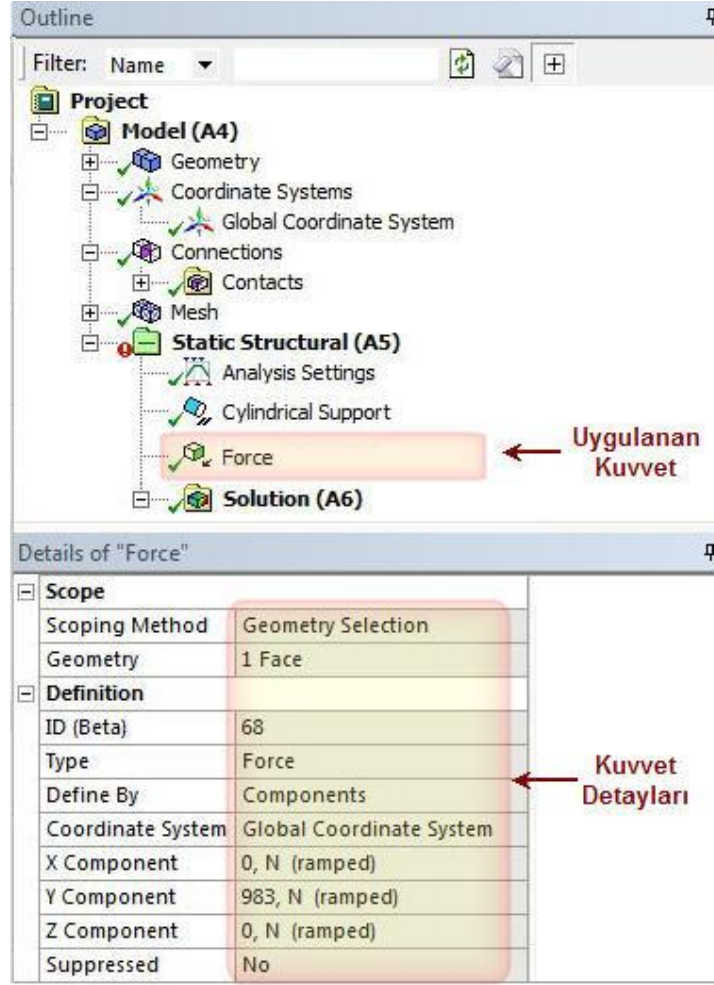
Şekil 5.14. Menteşe çiftinin sabitlenen mesnet yüzeylerinin gösterilmesi.

Menteşeler, Şekil 5.14'te görüldüğü gibi delik iç yüzeylerinden sabitlenerek, kuvvet uygulama öncesinde gerçekte olduğu gibi konumlandırılmıştır. Bu mesnetleme işleminden sonra kuvvet uygulamasına geçilmiştir.

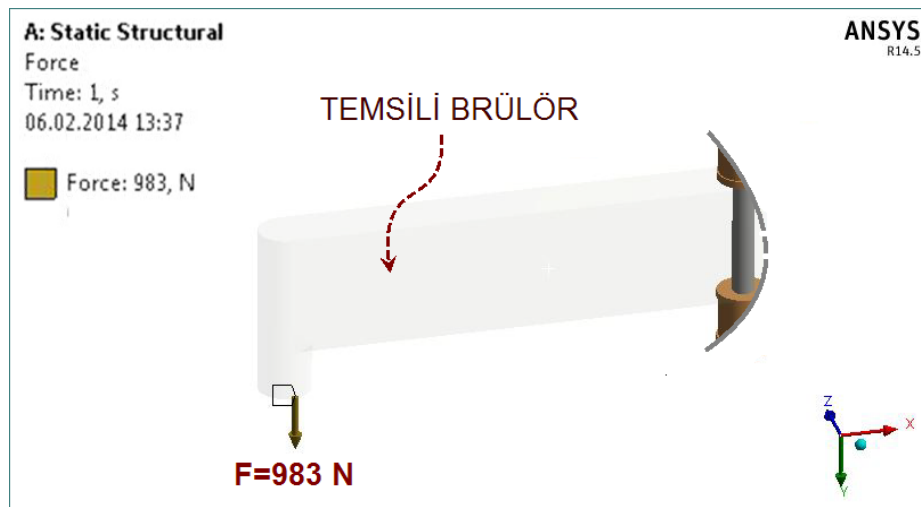
#### Kuvvetin Uygulanması:

Bütün sınır şartları ve kontak yüzeyleri belirlendikten sonra brülörün ağırlığından dolayı bağlantı mekanizmasına dolayısıyla menteşelere uygulayacağı kuvvetin oluşturacağı gerilme dağılımlarını görebilmek için, brülörü temsil eden temsili brülör adındaki parçaya 983 N'luk bir kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvet, Bölüm 4'te hesaplanan brülör yaklaşık ağırlığının (100,2 kg) yerçekimi ivmesi ile çarpımı sonucunda bulunmuştur. Kuvvet değeri, koordinat sisteminin Y eksenine doğrultusunda, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilen ağırlık merkezi noktalarına göre modellenen temsili brülör üzerinde ilgili noktaya yük olarak uygulanmıştır.

Modülasyonlu brülör ağırlığından bağlantı mekanizmasına etki eden yük değeri; uygulanan kuvvet değeri, kuvvet konumunun gösterilmesi ve menteşeler üzerine uygulanan kuvvet sırasıyla Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

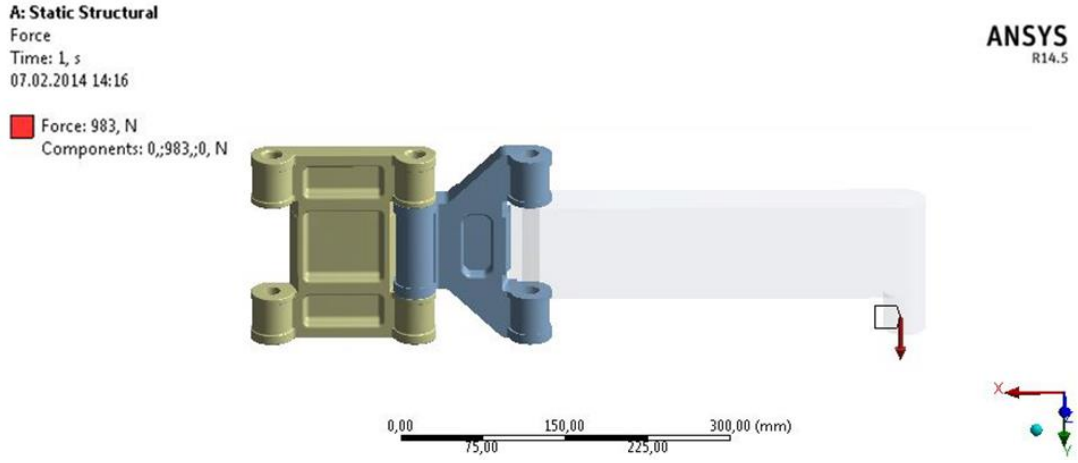
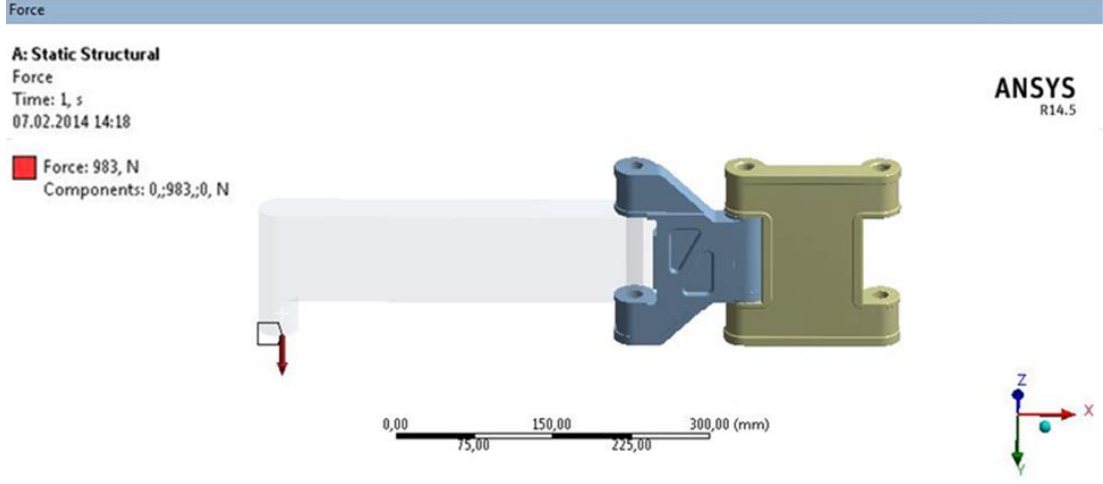


Şekil 5.15. Uygulanan kuvvet bilgileri.



Şekil 5.16. Kuvvet konumunun gösterilmesi.





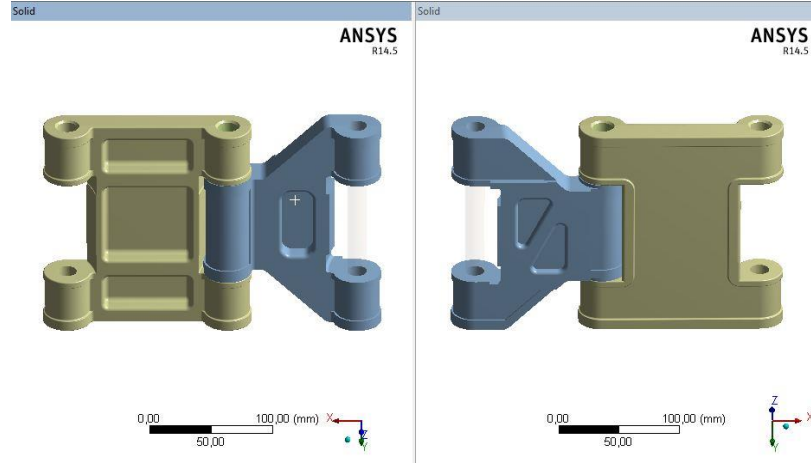
Şekil 5.17. Menteşeler üzerine uygulanan kuvvetin gösterilmesi.

Şekil 5.17’de, brülör ağırlık merkezinden menteşelere uygulanan kuvvetin konumu temsilen gösterilmiştir. Burada kuvvetin uygulandığı seffaf olarak gösterilen kısımda, daha önce hesaplanan Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de brülör ağırlık merkezinin, brülör üzerinde gösterdiğimiz  $(X_0, Y_0)$  referans yüzeylerine göre X,Y,Z ölçüleri ile kuvvet noktası belirlenmiştir. Sonrasında ise belirlediğimiz bu noktadan menteşelerde oluşan gerilme dağılımlarının tespiti için 983 N’luk bir kuvvet uygulanmış ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.

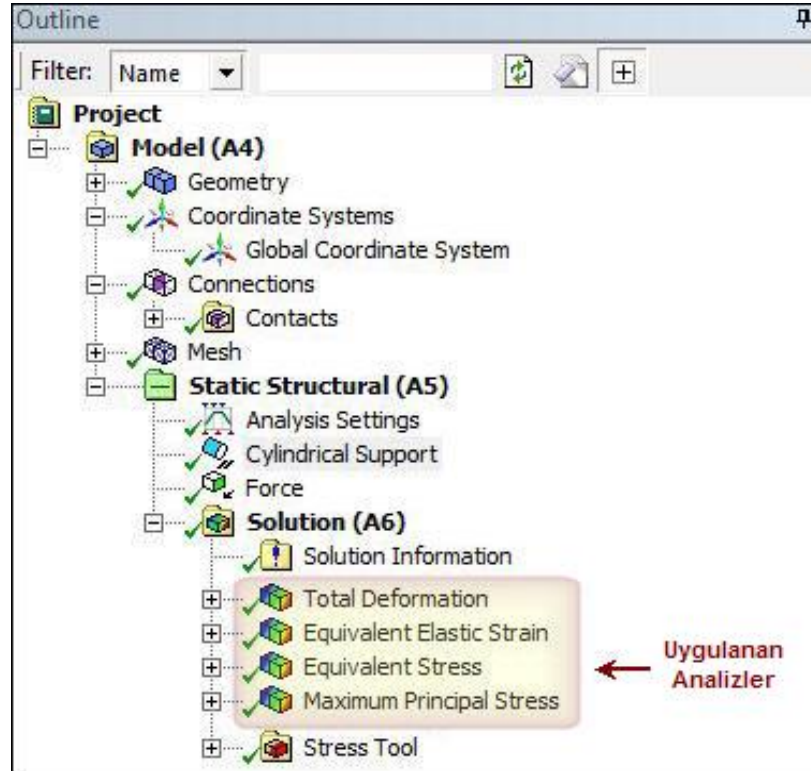
Böylece, brülörün kazan bağlantısında bulunan ve brülörün kazandan çıkarılıp takılması esnasında taşıyıcı görevi üstlenen menteşelerin, sonlu elemanlar yöntemine dayalı statik gerilme analizinde son aşama olan çözümlenme aşamasına geçilmiştir.

## Çözümleme İşlemi Sonrasında Oluşan Analiz Sonuçları:

Çözümleme işlemi öncesinde menteşe çiftlerinin iç ve dış yüzey görünüşleri Şekil 5.18’de ve menteşeler üzerine uygulanan analiz tipleri ise Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



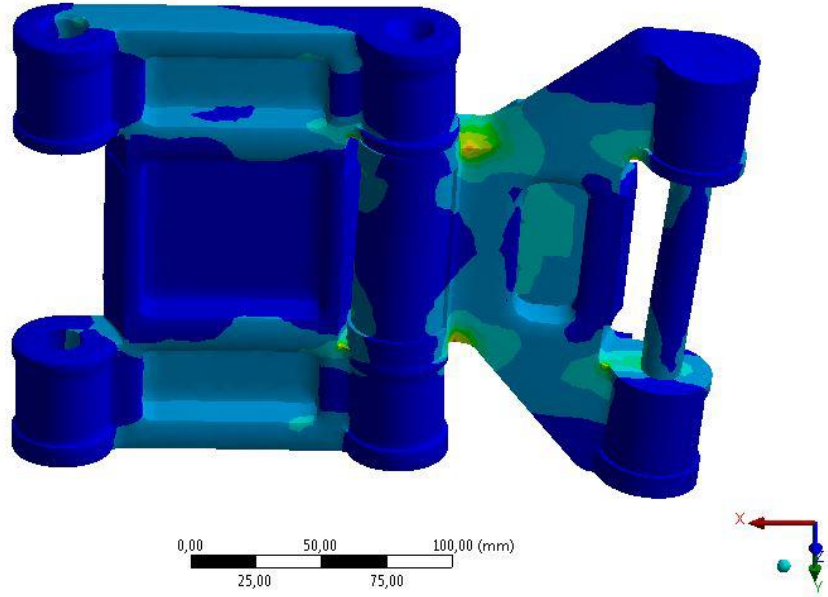
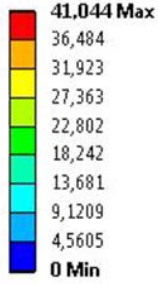
Şekil 5.18. Analiz öncesi menteşelerin iç ve dış görünüşleri.



Şekil 5.19. Menteşeler üzerine uygulanan analiz tipleri.

A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
07.02.2014 10:01

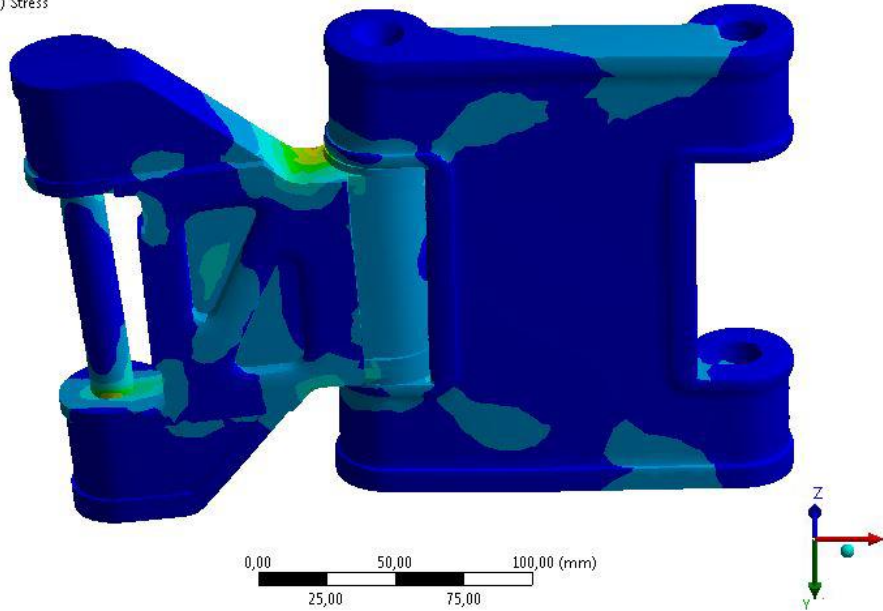
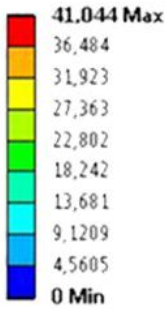
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.20. Menteşe iç yüzeyindeki eşdeğer gerilmeler (Equivalent Stress) dağılımı.

A: Static Structural  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
07.02.2014 10:01

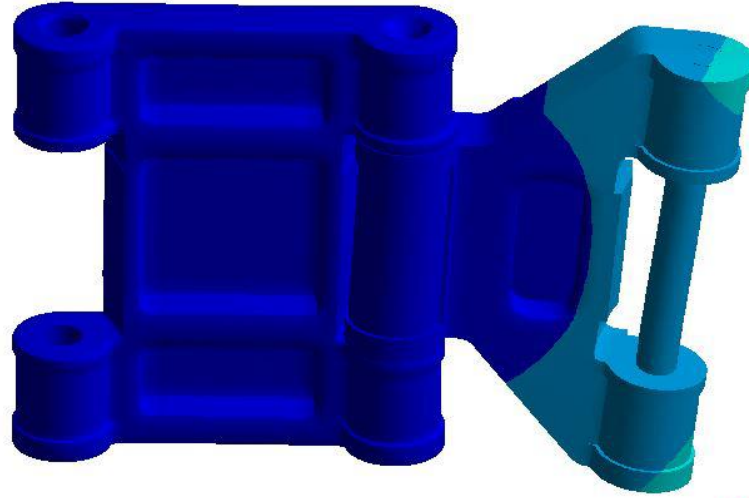
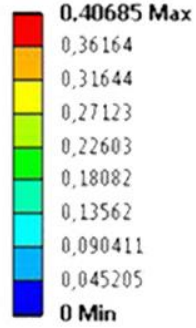
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.21. Menteşe dış yüzeyindeki eşdeğer gerilmeler (Equivalent Stress) dağılımı.

A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
07.02.2014 10:07

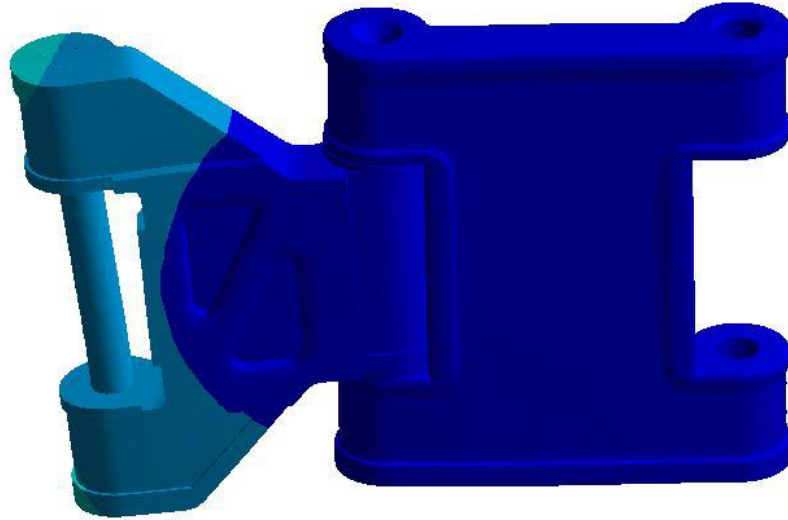
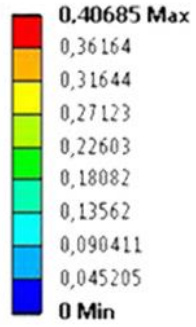
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.22. Mentеше iç yüzeyindeki toplam deformasyon (Total Deformation).

A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
07.02.2014 10:07

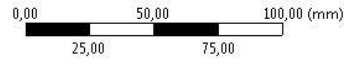
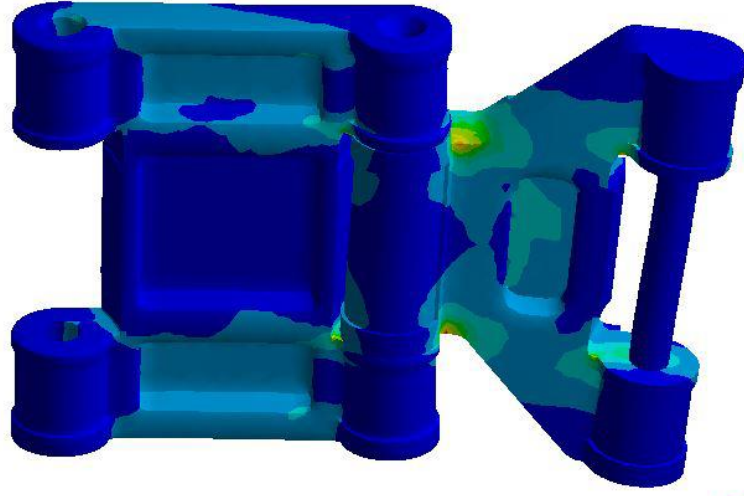
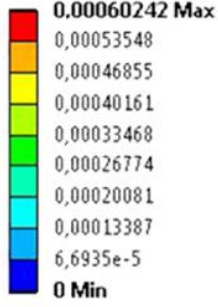
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.23. Mentеше dış yüzeyindeki toplam deformasyon (Total Deformation).

A: Static Structural  
Equivalent Elastic Strain  
Type: Equivalent Elastic Strain  
Unit: mm/mm  
Time: 1  
07.02.2014 10:07

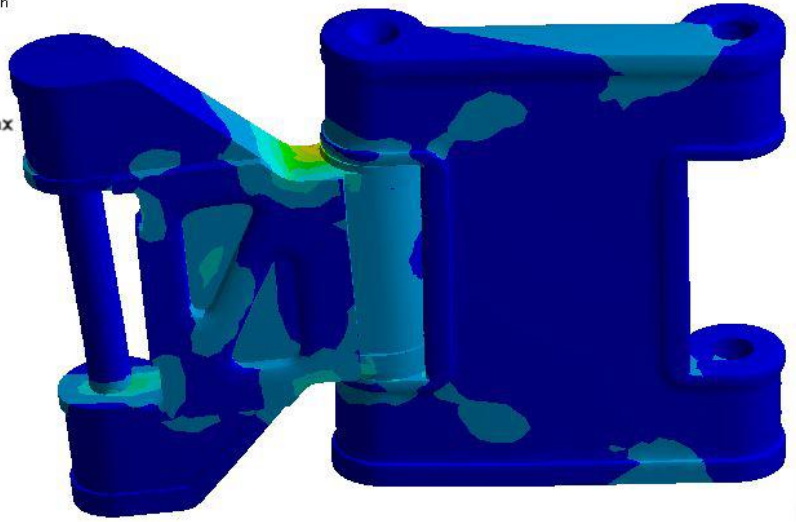
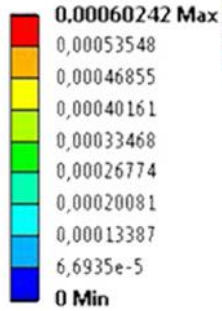
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.24. İç yüzeyde oluşan elastik yer değiştirmeler (Equivalent Elastic Strain).

A: Static Structural  
Equivalent Elastic Strain  
Type: Equivalent Elastic Strain  
Unit: mm/mm  
Time: 1  
07.02.2014 10:07

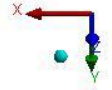
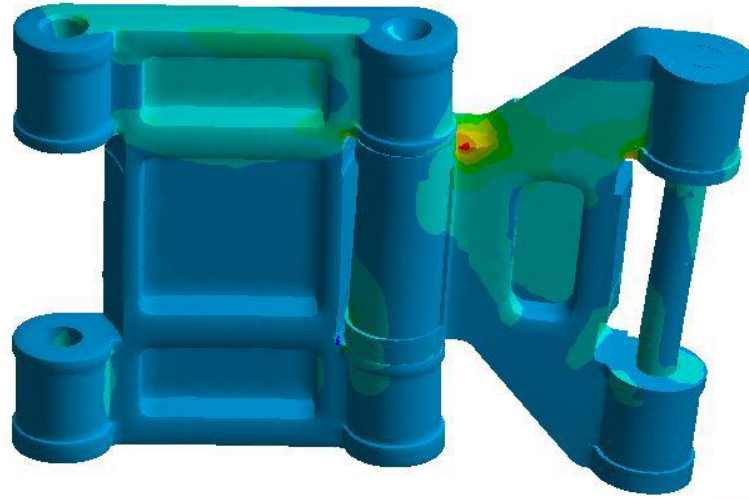
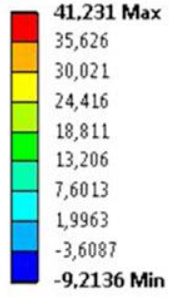
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.25. Dış yüzeyde oluşan elastik yer değiştirmeler (Equivalent Elastic Strain).

A: Static Structural  
Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
07.02.2014 10:09

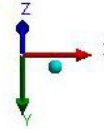
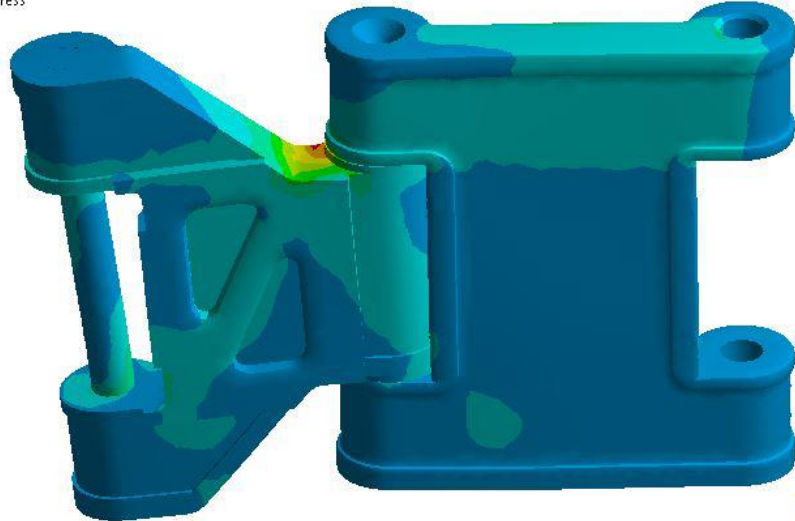
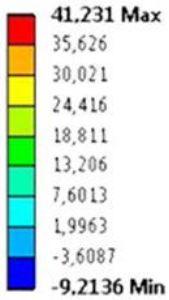
ANSYS  
R14.5



Şekil 5.26. İç yüzeyde oluşan maksimum asal gerilmeler (Max. Principal Stress).

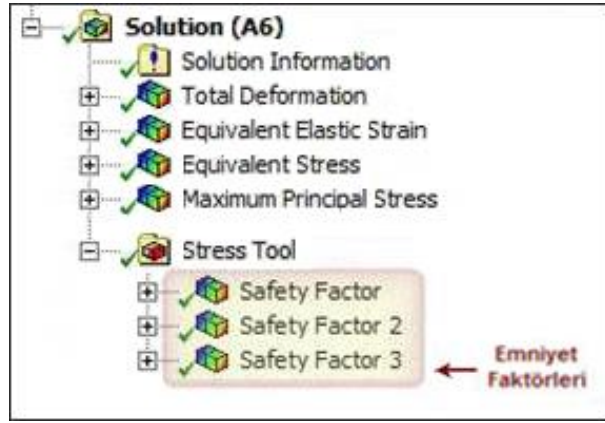
A: Static Structural  
Maximum Principal Stress  
Type: Maximum Principal Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
07.02.2014 10:09

ANSYS  
R14.5

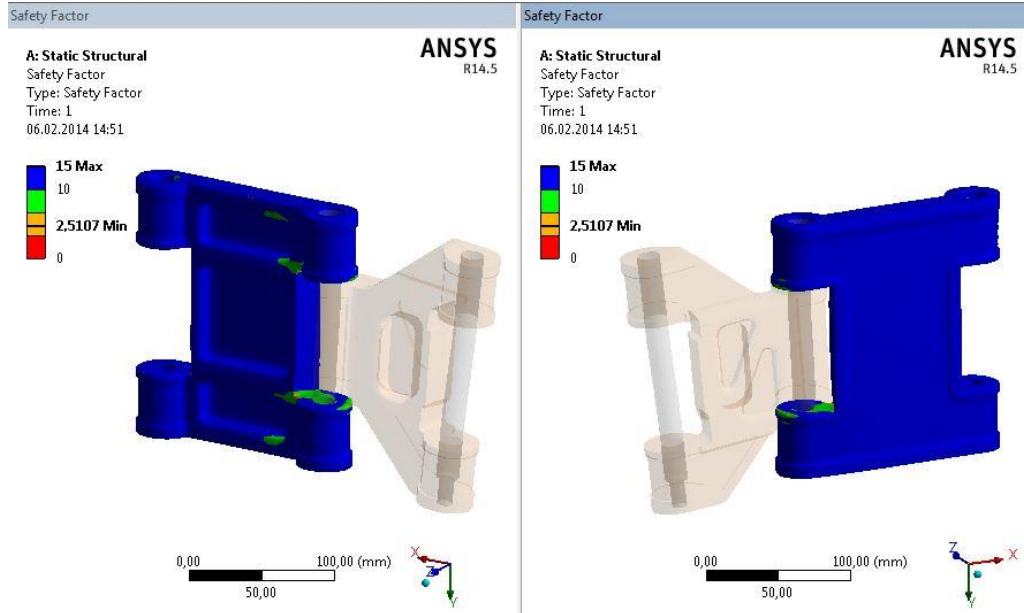


Şekil 5.27. Dış yüzeyde oluşan maksimum asal gerilmeler (Max. Principal Stress).

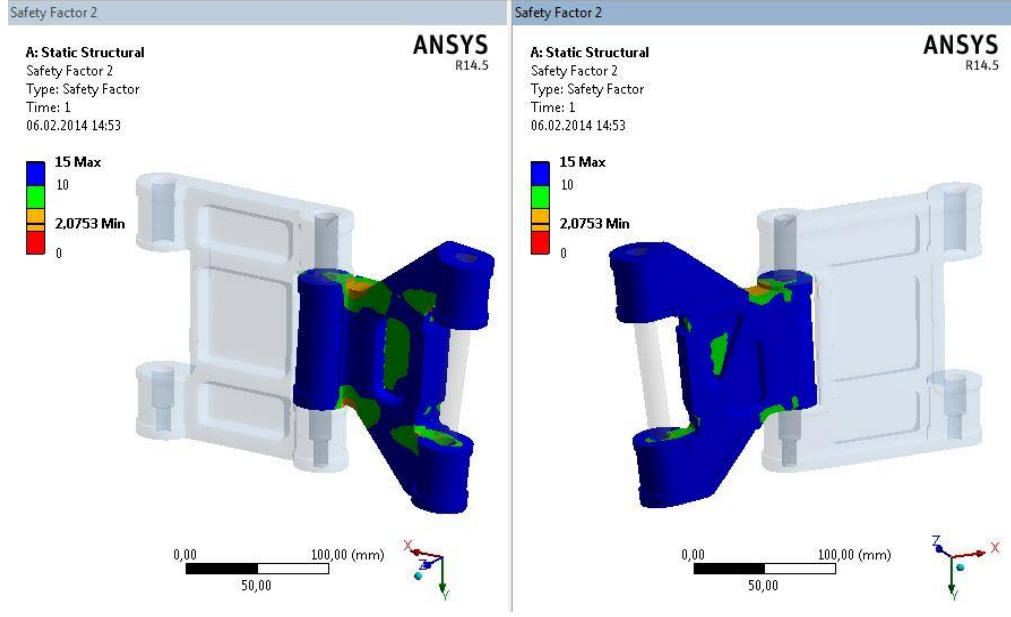
Emniyet faktörleri analizde bütün çözümlene işlemleri yapıldıktan sonra en son olarak analizde hesaplanan değerlerdir. Çözümlene işlemi sonrasında kontrol edilen emniyet faktörü değerleri, önceki menteşe ikilisinde sorunlu olmayan menteşeyi (Safety Factor), yeni tasarım menteşeyi (Safety Factor 2) ve menteşe çiftlerinde kullanılan pimler (Safety Factor 3) için alınmış görüntüleri kapsamaktadır. Sonlu elemanlar analizi sonucunda hesaplanan emniyet faktörleri sırasıyla Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de sırasıyla gösterilmiştir.



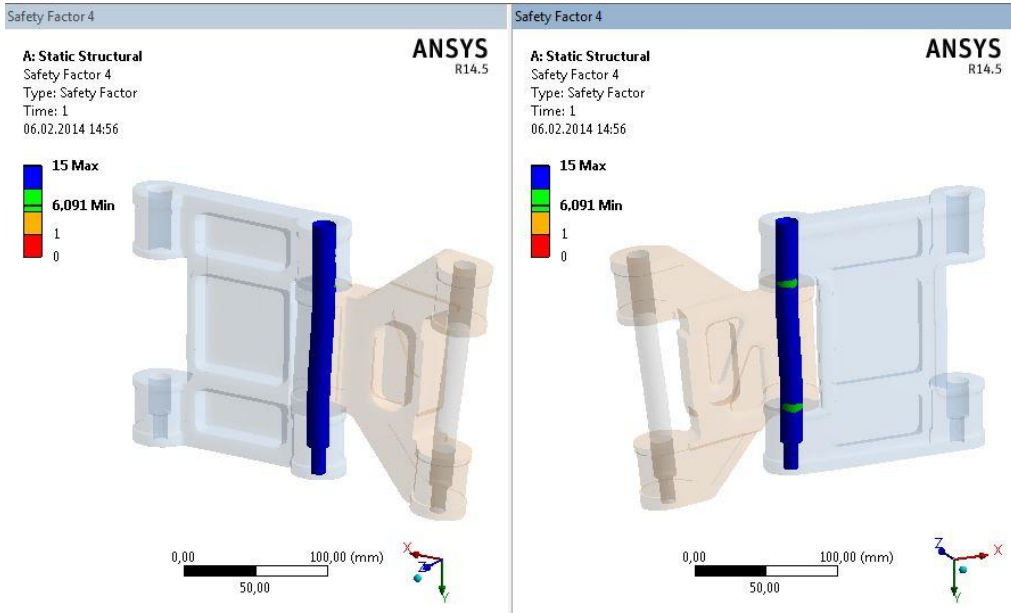
Şekil 5.28. Analizdeki emniyet faktörleri (Safety Factor).



Şekil 5.29. Analizdeki emniyet faktörü-1.



Şekil 5.30. Analizdeki emniyet faktörü-2.



Şekil 5.31. Analizdeki emniyet faktörü-3.

### Nihai Tasarım Öncesinde Yapılan Menteşe Analizleri:

Brülör bağlantı mekanizması için elde edilen nihai menteşe çifti tasarımında, mukavemetin yanısıra menteşenin ağırlığının eskisinden daha hafif ve görsel açıdan

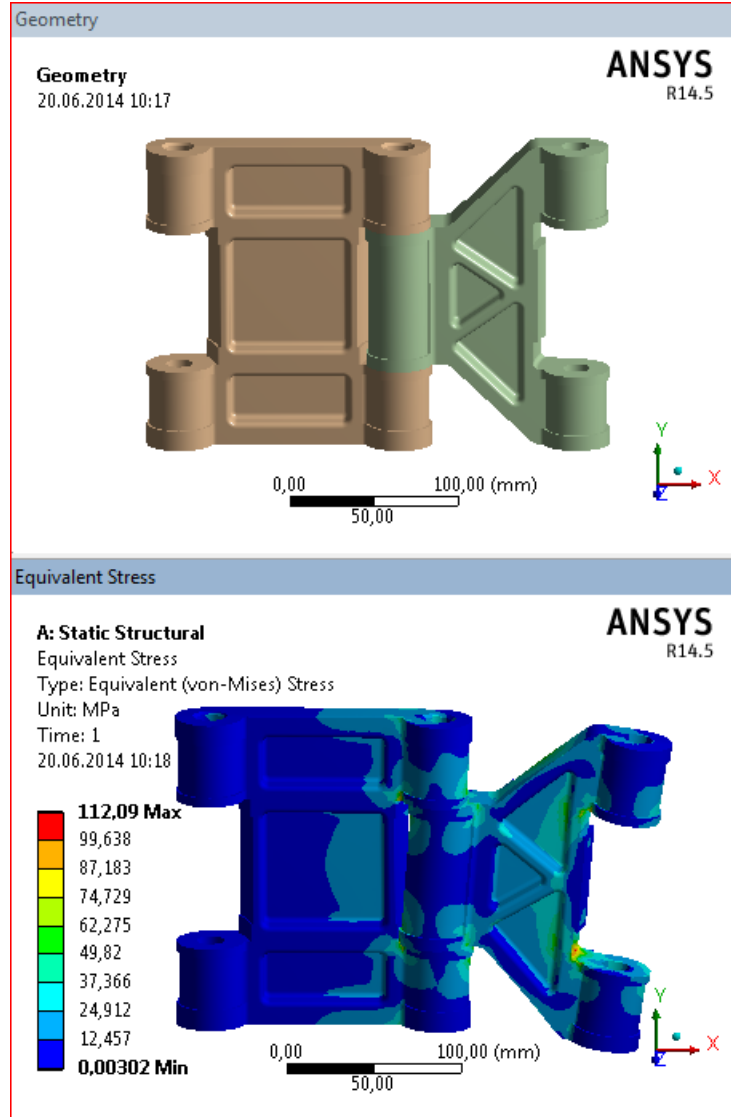


estetik bir görünümde olması hedeflenmiştir. Bu amaçla, farklı geometrik ve sonlu elemanlar analizleri sonucunda yapılan iyileştirmeler neticesinde nihai menteşe çifti tasarımı elde edilmiştir. Şekil 5.32-Şekil 5.39'da farklı menteşe çifti tasarımları için yapılan geometrik ve buna bağlı sonlu elemanlar analizi sonuçları gösterilmiştir.

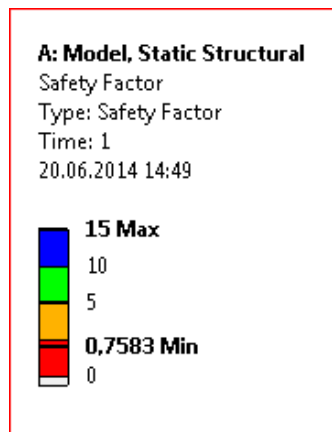
Yeni menteşe tasarımına göre gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi sonucunda, menteşe iç yüzeyindeki boşaltmanın menteşe dayanımı üzerindeki etkisinin büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun nedeni olarak, menteşe yüzeyindeki değişik formlardaki boşaltmaların menteşe geometrisinde farklı kesit değişimlerine neden olmasını göstermek mümkündür.

Menteşenin boşaltma geometrisi değiştirilerek yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda; ilk tasarım için elde edilen eşdeğer gerilme (von Mises) 112 MPa olurken, boşaltma formunun iyileştirilmesi ile nihai tasarımda 41 MPa'a düşürülmüştür. Böylece, menteşe mukavemeti için gerekli olan emniyet faktörünün 0.75'den 2.07'ye çıkarılması sağlanmıştır. Bu durumda menteşelerin, brülör yükü altında kaldığı zorlanmaya karşı daha sağlam bir duruş sergilediği ve dayanıklılığının artması ile daha güvenilir bir taşıma görevi üstlendiği görülmüştür. ALF 180/M modülasyonlu brülörün kazana montajından önce, brülör yanma başlığının takılı olduğu yanma başlığı kovanı kazan içerisine sabitlenmektedir. Sonrasında ise brülörün geri kalan kısmı menteşelerin de takılı olduğu gövde başından, brülör kazanındaki bu yanma başlığı kovanına bir adet saplama ve somun ile tespit edilerek brülörün kazandan çıkması engellenmiştir. Bu sayede hem brülörün kazan da sabit durmasına ve hemde istenildiğinde de brülörün kazandan çıkarılmasını sağlayan menteşeler üzerinde ki yükün (menteşe kapalı konumda iken) azalmasına katkı sağlamaktadır. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de bu durum görülmektedir.

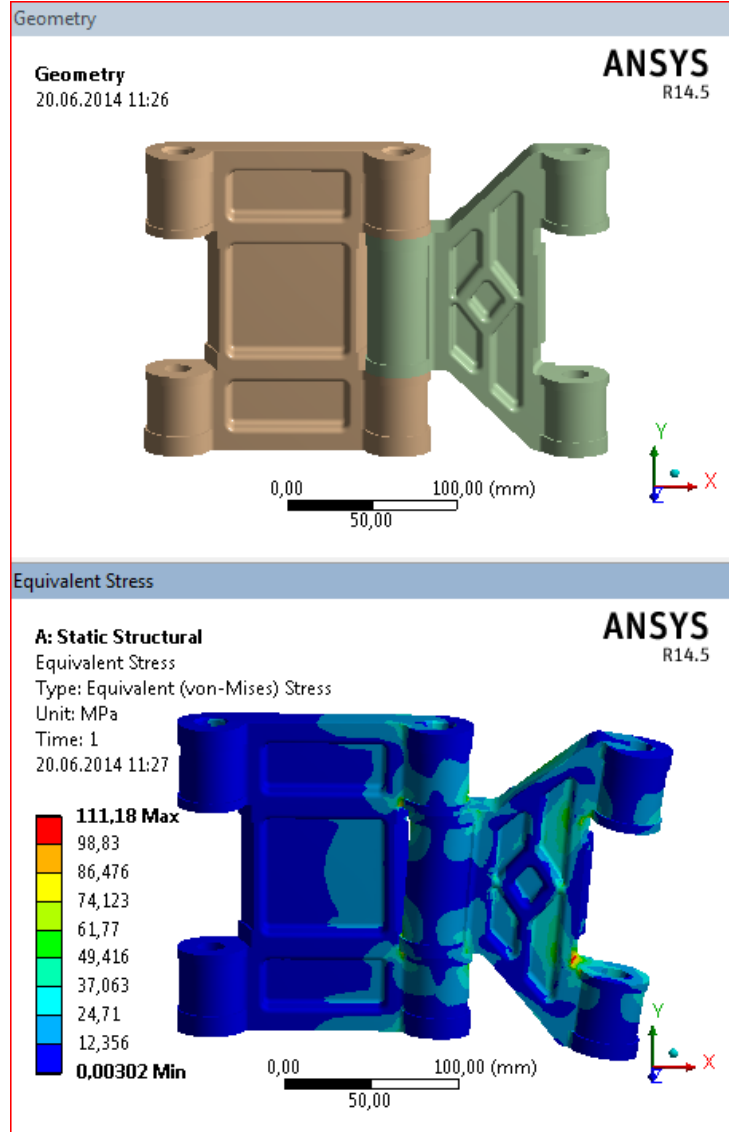
Bağlantı mekanizmasına ait nihai menteşe tasarımının optimum iyileştirilmesi sonucunda elde edilen eşdeğer gerilme ve emniyet faktörü analiz gösüntüleri, sırasıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.30'da verilmiştir.



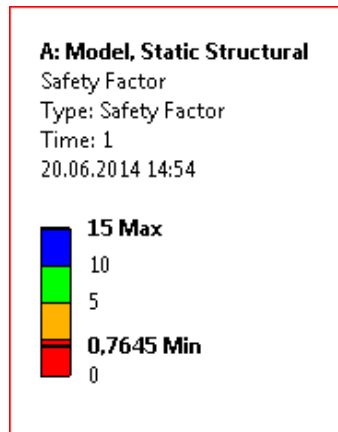
Şekil 5.32. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe geometrisi -1.



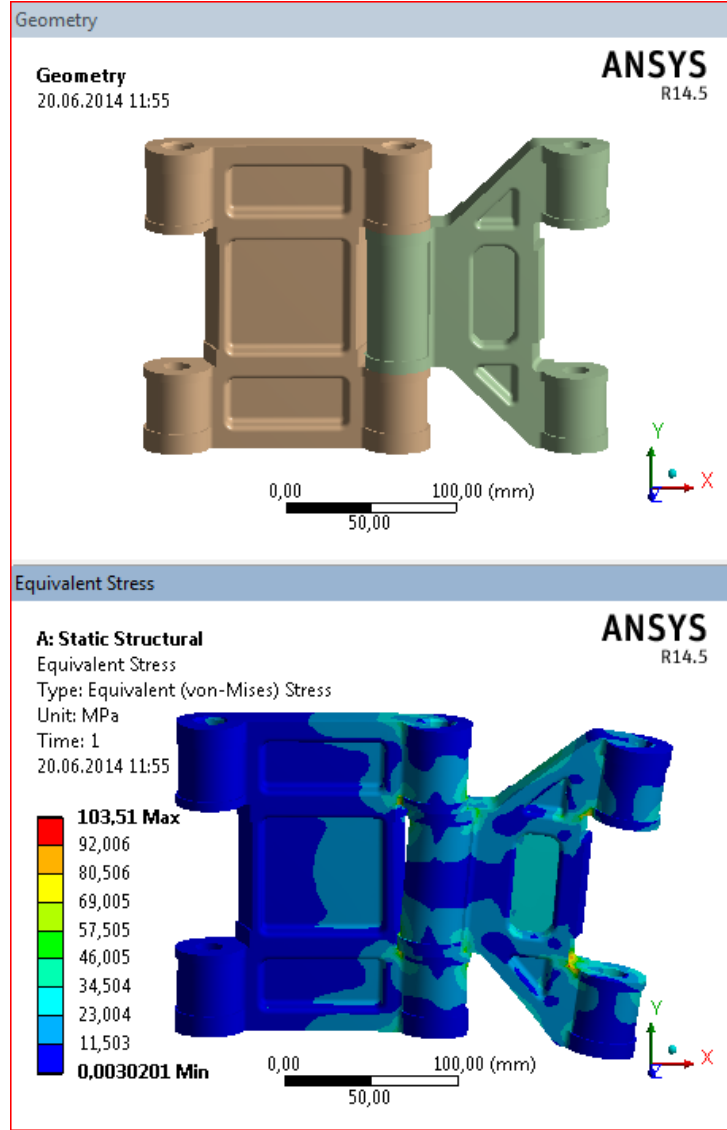
Şekil 5.33. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -1.



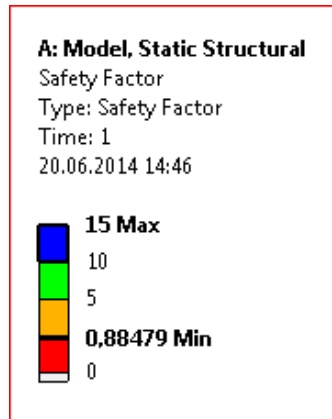
Şekil 5.34. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -2.



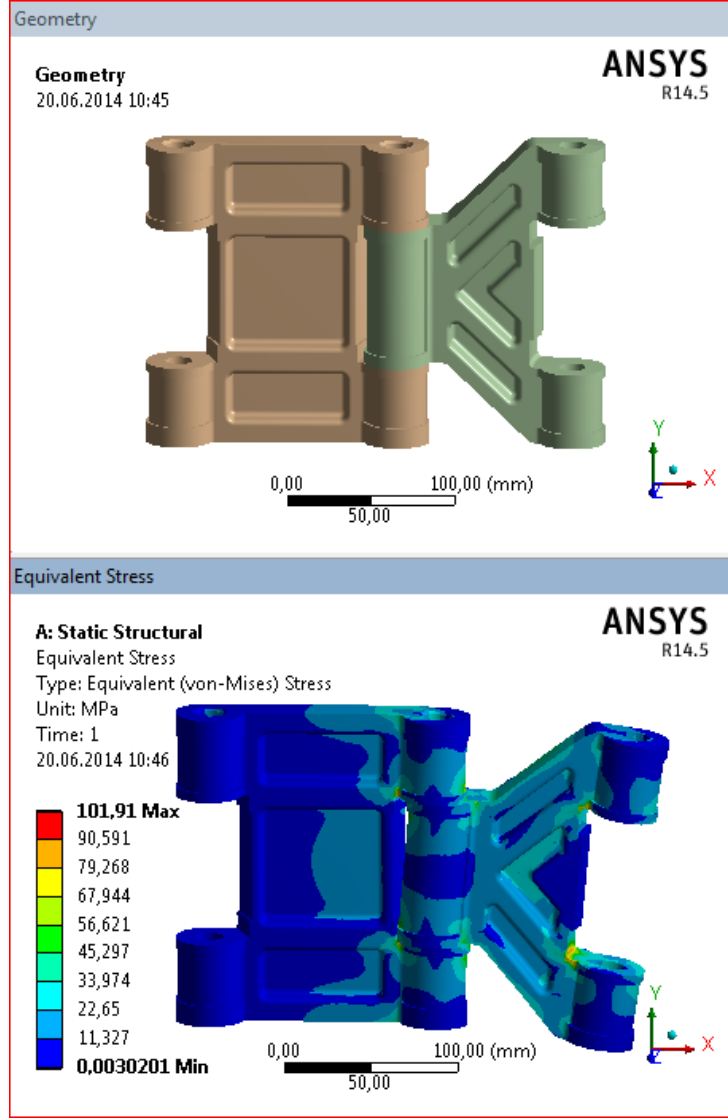
Şekil 5.35. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -2.



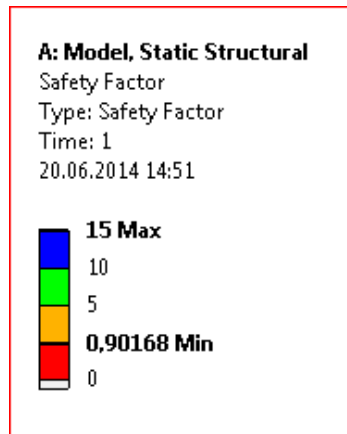
Şekil 5.36. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -3.



Şekil 5.37. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -3.



Şekil 5.38. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen menteşe formu -4.



Şekil 5.39. Analiz sonucu emniyetsiz olduğu görülen emniyet faktörü -4.

Menteşe geometrisi değiştirilerek mukavemet iyileştirmesi yapılan yeni tasarım menteşelerin, geometrik formlarına göre ağırlıkları sırasıyla, 900 gr (Şekil 5.32), 917 gr (Şekil 5.34), 942 gr (Şekil 5.36), 935 gr (Şekil 5.38) olarak bulunmuştur. Nihai tasarım sonunda ise yeni tasarım menteşe ağırlığı 962 gr olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.20). Bu sonuç, yeni menteşe ağırlığının kırılmanın meydana geldiği eski menteşe ağırlığından düşük olduğunu göstermektedir.

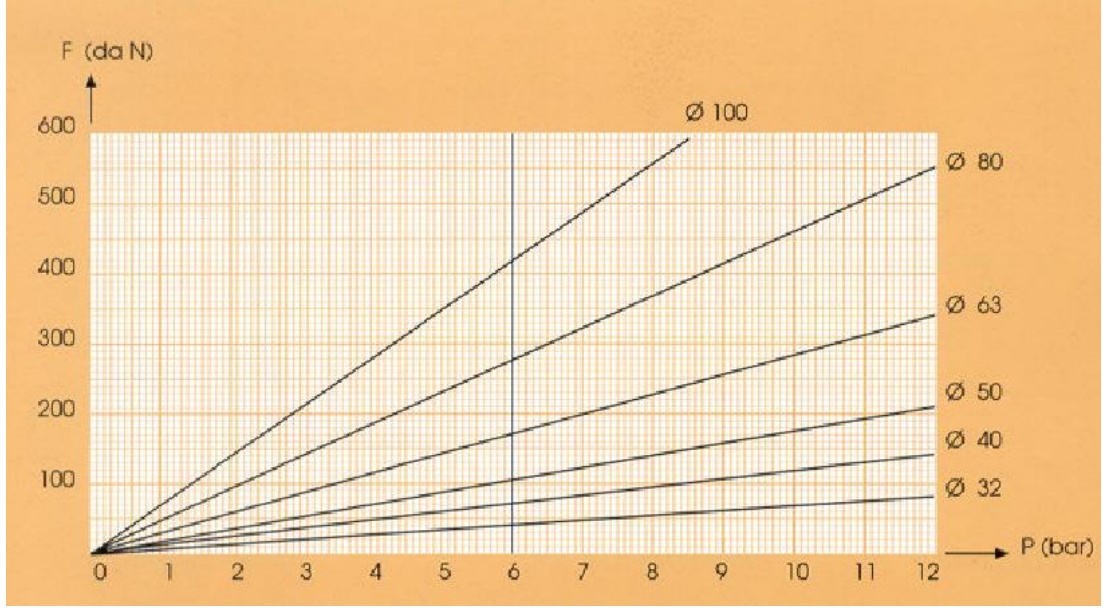
Sonuç olarak, brülör bağlantı mekanizmasına ait beş farklı geometriye sahip menteşe çiftlerinin mukavemet analizleri incelenmiştir. Bunlar içinden nihai menteşe tasarımına ait analiz sonuçlarını değerlendirdiğimizde, özellikle Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de görülen analiz sonuçlarında eşdeğer gerilmelerin 41.044 MPa değerinde olduğu görülmüştür.

Buradan, G-ALSi12 malzemedan imal edilen yeni menteşe malzemesinin akma gerilmesi değerinin 85 MPa olmasından dolayı, yeni menteşe tasarımının teorik olarak iki kat daha emniyetli olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür.

### **5.1.3. Analiz Doğrulama Testi**

ANSYS Workbench R14.5 programı yardımıyla yapılan mukavemet analizinin doğrulanması amacıyla bir test düzeneği hazırlanmıştır. Test düzeneği üzerinde bulunan bir pnömatik silindir (MAG NS-80-100), bir kuvvet kolu vasıtasıyla istenilen kuvveti menteşelere iletmektedir. Pnömatik silindire bağlanan bir manometre vasıtası ile uygulanan hava basıncı ölçülmekte ve aşağıdaki grafiğe göre ne kadar bir kuvvet uygulandığı tespit edilmektedir. Kuvvet kolunun uzunluğu brülörün ağırlık merkezinin bulunduğu yere göre ayarlanmıştır. Kullanılan pnömatik silindir 80 mm çapındadır.

Menteşeye uygulanacak kuvvete göre seçilmesi gereken piston çapları bilgisi Şekil 5.40'da verilmiştir.



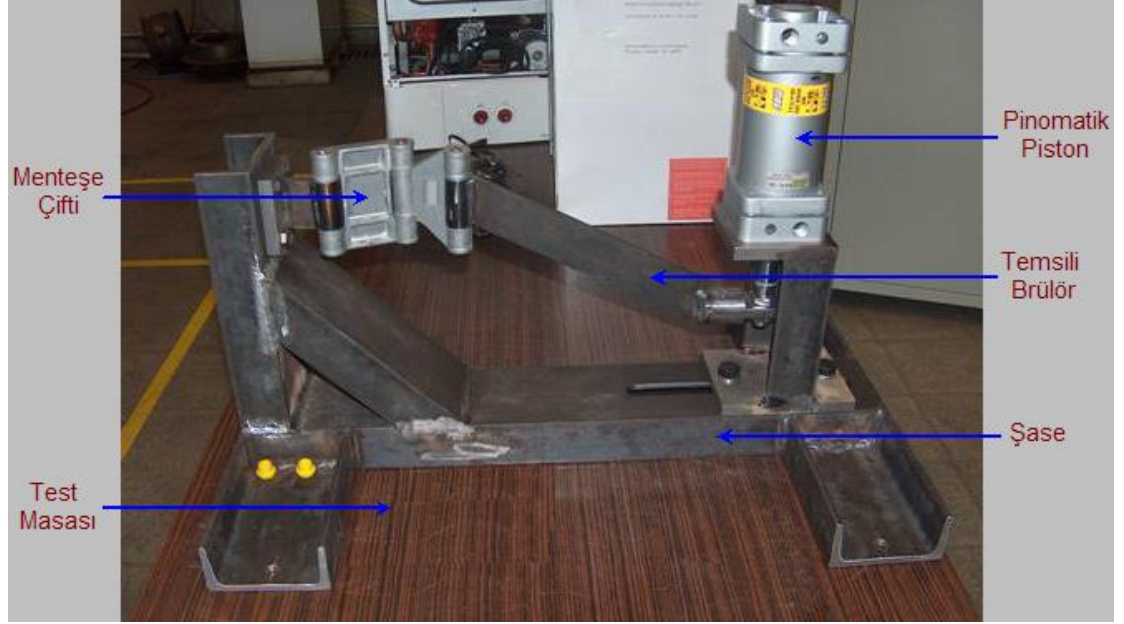
Şekil 5.40. Mentşeeye uygulanacak kuvvete göre seçilen piston çapları [33].

Şekil 5.40'da gösterilen bilgiler, mentşe kırılma testinin yapılacağı test düzeneğindeki mentşeeye uygulanacak olan kuvveti ve bu kuvvete bağlı olarak kullanılması gereken test düzeneğindeki piston çaplarını ifade etmektedir. Test düzeneği ve kırılma testine tabi tutulan parça görüntüsü Şekil 5.41'te verilmiştir.

Mentşelerin dayanımını ölçmek için hazırlanan test düzeneği, Şekil 5.41'de görüldüğü üzere bir masa üzerine sabitlenmiş ve birbirine kaynatılmış çelik profillerden oluşan bir bağlantı mekanizmasıdır. Şekil 5.40'da mentşeeye uygulanacak kuvvete göre piston çapları gösterilmiştir. Bu piston çapları uygulanacak kuvvetin büyüklüğüne göre seçilebilmektedir. Deney düzeneğine yerleştirilen yeni mentşe tasarımı ile sistem hazır hale getirilmiş ve mentşe kırılma testine tabi tutulmuştur.

Yeni tasarıma göre imal edilen mentşe çifti, ANSYS Workbench R14.5 programında yapılan nihai mukavemet analiz sonuçlarının onaylanması ve güvenilirliğin ölçülmesi için gerçek bir kırılma testine tabi tutulmuştur. Test düzeneğinde mentşeeye uygulanan yük değeri, analizlerde uygulanan yük değeri ile aynı değerdedir. Yapılan doğrulama testi ile yeni tasarım mentşenin istenen

şartlarda mukavemetli olduğu ve eski menteşede görülen çatlama ve kırılma gibi olumsuzlukların yeni menteşe tasarımında oluşmadığı doğrulanmıştır.



Şekil 5.41. Test düzeneği ve menteşe kırılma testi.

#### 5.1.4. Bağlantı Mekanizmasının Değerlendirilmesi

Brülörlerin çoğunlukla ilgili kazana menteşeler vasıtası ile bağlanırlar. Menteşeler brülörü kazana sabitlemenin yanında brülörü taşıma görevini de üstlenirler. Bu görevleri sırasında yaşanabilen en büyük problemlerden biri menteşelerin kırılmaya maruz kalmasıdır. Bu sebeple, brülörün kazan bağlantısı esnasında ve açılıp-kapanma döngüsünde brülör ağırlığını taşıyabilecek yeni bir menteşe tasarımının yapılması gerekliliği doğmuştur.

Bilgisayar ortamında yapılan yeni menteşe tasarımı ile bağlantı mekanizmasının daha mukavemetli olduğu bir montaj formu geliştirilmiş ve brülör ağırlığından kaynaklanan menteşe kırılma sorunu giderilmiştir. Bu sayede üretilen brülörler müşteri hizmetinde sunulduğunda menteşe kırılmasına dayalı müşteri şikayetlerinin önüne geçilmiştir. Bu yeni menteşe tasarımı Şekil 5.6' da gösterilmiştir.



## 5.2. MODÜLASYONLU BRÜLÖRE AİT DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.2.1. Deney Laboratuvarı

ALF 180/M brülörünün kazana montajlanmış görüntüleri Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'te fotoğraf olarak verilmiştir.



Şekil 5.42. ALF 180/M modülasyonlu brülörün kazana montajlanmış görüntüsü.

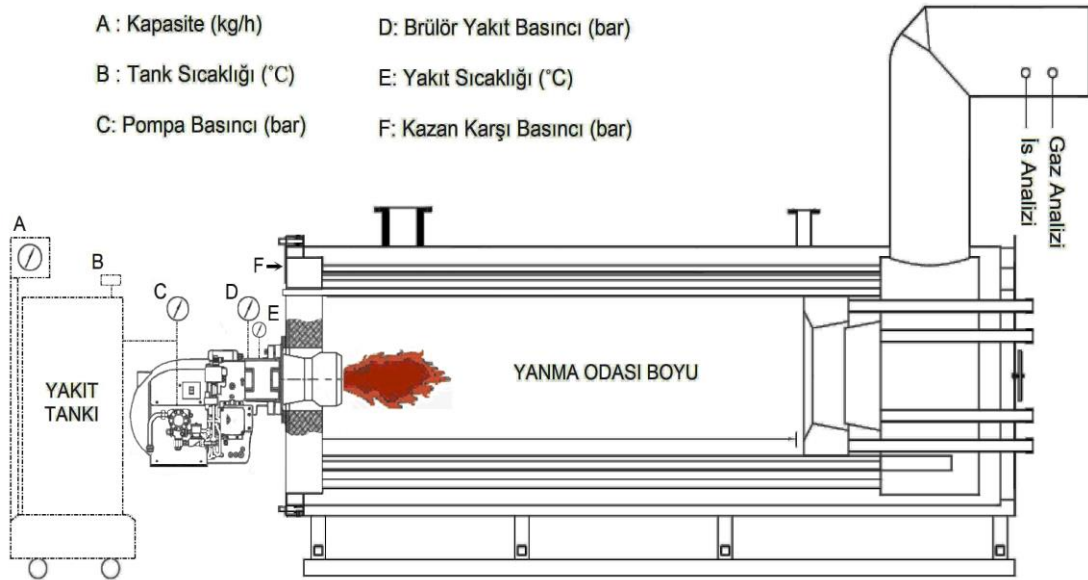


Şekil 5.43. Yakıt tankının brülöre ve brülörün de kazana bağlanmış görüntüsü.

## 5.2.2. Yanma Testi Düzenegi

ALF 180/M modülasyonlu brülörün yanma testi düzenegi, TSE tarafından hazırlanan brülörler ile ilgili standardda belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır [48]. Yanma testleri, yine bu standartta belirtilen yöntemlere uygun olarak kalibrasyonlu cihazlarla yapılmaktadır. Yanma testleri süresince elde edilen veriler kayıt altına alınmış olup Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Şekil 5.44’de yakıt tankı, brülör ve brülör-kazan bağlantı üçlüsünün yanma testi esnasındaki şematik gösterimi verilmiştir.



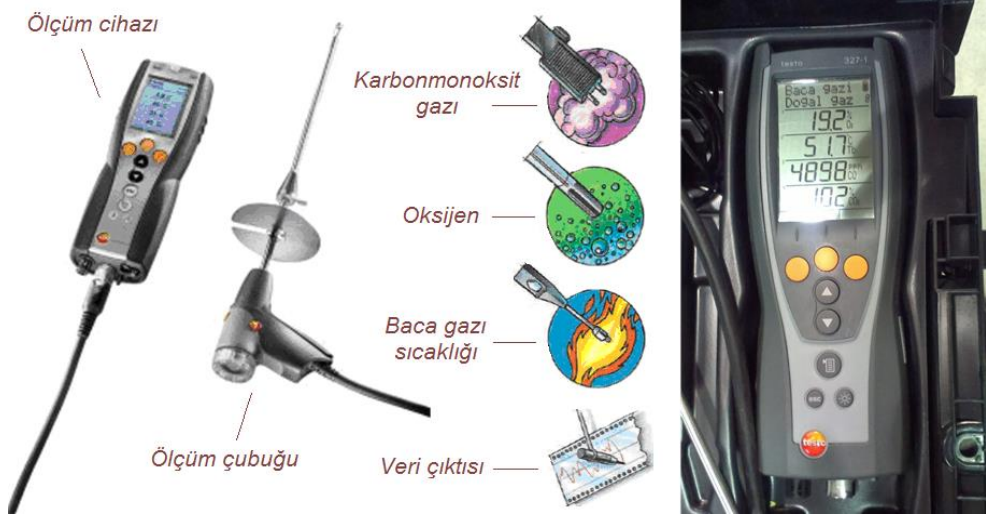
Şekil 5.44. Brülör testinin yapılmasını temsil eden şematik gösterim.

Yanma testine başlanmadan önce, brülör-kazan bağlantısının tam olarak yapıldığı, yakıt tankı ile brülör arasındaki boru bağlantılarından ve de brülör içerisindeki boru tesisatına ait bağlantılardan herhangi bir sızma olmadığı, yakıt tankı içerisindeki yakıt miktarının yeterli seviyede olduğu kontrol edilerek yanma testi için genel bir ön hazırlık yapılmıştır. Genel güvenlik önlemleri alınarak yanma testine geçilmiştir.

Şekil 5.45 ve Şekil 5.46’da TESTO-350 marka cihaz görüntüsü ile bu cihazla yapılan baca gazı emisyon ölçüm detayları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.45. Testin yapıldığı, TESTO - 350 analyzer marka emisyon ölçüm cihazı.



Şekil 5.46. TESTO-350 marka cihaz ile yapılan baca gazı emisyon ölçüm detayı.

Şekil 5.46'da gösterilen örnek emisyon cihazı ile brülörün emisyon değerleri izlenmekte ve bu doğrultuda uygun olmayan çıktı verileri standarda uyum sağlayacak şekilde iyileştirilmektedir. Tüm girdi ve çıktı parametreleri ile tekerrür eden testler neticesinde optimum emisyon değerlerine ulaşılmaktadır.

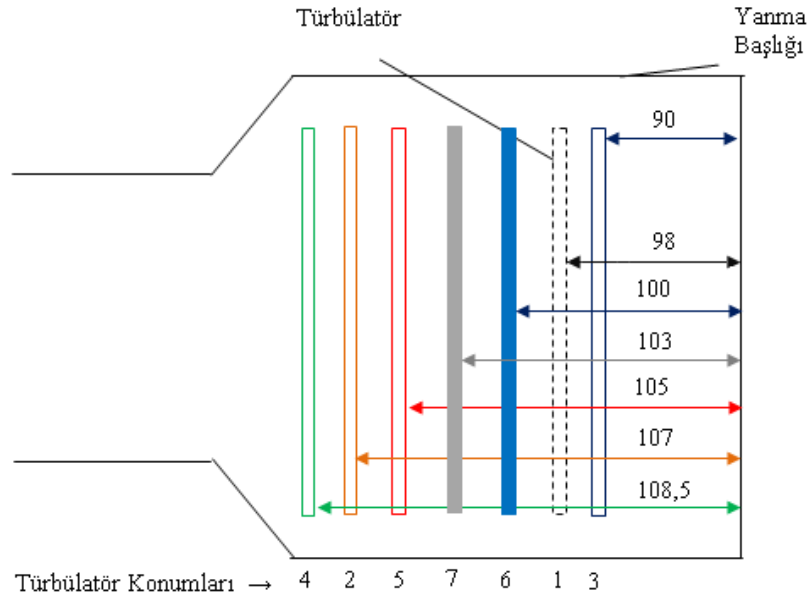
### 5.2.3. Yanma Testi

Yanma testinde kullanılan parametreler iki ayrı ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar ayarlanabilir girdi parametreleri ile ölçülebilir çıktı parametreleridir.

*Ayarlanabilir girdi parametreleri;* türbülator çapı (mm), türbülator konumu, strok mesafesi (mm), klape konumu, damper motor kam 1 açısı (°), damper motor kam 2 açısı (°), damper motor kam 3 açısı (°), damper motor kam 7 açısı (°), meme kapasitesi (kg/h) ve pompa basıncı (bar) değerleridir.

*Ölçülebilir çıktı parametreleri;* kapasite (kg/h), hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ), CO-karbon monoksit (ppm), tank yakıt depo çıkış sıcaklığı (°C), yakıt dağıtım parçası sıcaklığı (°C), yakıt dağıtım parçası basıncı (bar) değerleridir.

Çizelge 5.1’de verilen parametre değerleri birbirlerini zincirlemesine değiştiren ve testteki emisyon sonuçlarını etkileyen değerler olduğundan, bu dengeyi sağlamak adına belirtilen değerlerin gözetilmesi zorunluluk arz etmiştir. Yanma testi için deney düzeneğinde uygulanan türbülator mesafeleri ve konumları ise Şekil 5.47’de gösterilmiştir.



Şekil 5.47. Türbülator mesafelerinin gösterilmesi.

Yanma testleri aşağıda belirtilen belirli amaçlara göre yapılmıştır:

- ✓ Fan, gövde, türbülatör ve yakıt sisteminin doğrulanması yapılmıştır,
- ✓ Zamana bağlı aralıklarla emisyonların kontrolü ve iyileştirilmesi yapılmıştır,
- ✓ Standardın ngrdğ uygunlukta testler yapılmıştır,
- ✓ Değişik girdi ve çıktı parametreleriyle testler yapılmıştır.
- ✓ Prototip olarak hazırlanan brülör uygun yakıtla çalıştırılmıştır,
- ✓ Emisyonlar ölçülerek, izin verilen değerlerle kıyaslanmıştır,
- ✓ Standartta belirtilen test kriterlerine uygunluğu kontrol edilmiştir,
- ✓ Uygunsuzluk tespit edildiğinde gerekli önlemler alınmış ve uygun değişiklikler yapılmıştır.

Testler yapılırken çıktı parametrelerinin uygunluğuna göre girdi parametreleri belirlenmiştir. ıktı parametreleri istenen emisyon değerlerini sağlamadığında, girdi parametreleri değiştirilmiş ve emisyon sonuçlarına olumlu etki etmesi sağlanmıştır. Optimum emisyon değerlerine ulaşıncaya kadar izelge 5.1'de belirtildiği gibi çok sayıda testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler en uygun emisyon değerlerini sağlayıncaya kadar tekrarlanmış ve bunun sonucunda ise çıktı parametrelerine göre girdi parametreleri belirlenmiştir. Testler esnasında olumsuz emisyon değerleri oluştuğunda karbonmonoksit (CO), Azot Oksit (NO<sub>x</sub>), Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) gibi sağlığı tehdit edici gazların ortama sızdığı grlmştir.

Bunun tersi olarak uygun emisyon değerlerine ulaşıldığında da, bu tür zehirleyici gazların sağlığı tehdit edici boyutta ortama yayılmadığı görüldüğü gibi, hem olması gereken çıktı parametreleri sağlanmış ve hem de bu çıktı parametreleri oluşturan girdi parametreleri belirlenmiştir. Diğer bir durum ise akışkan basıncının artırılması ya da azaltılmasında ve/veya hava yakıt karışımındaki herhangi bir uyumsuzlukta alev renginde değiştiği gözlemlenmiştir.

#### **5.2.4. Deneysel Sonuçlar**

Yanma testleri TS EN 267 standardına uygun olarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar izelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1’de, ayarlanan girdi parametreleri ile ölçülen çıktı parametreleri ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deneyde kullanılan girdi ve çıktı parametreleri.

Deney Sıra ve Sayısı	AYARLANAN GİRDİ PARAMETRELERİ								ÖLÇÜLEN ÇIKTI PARAMETRELERİ							
	Türbülötör Çapı [mm]	Türbülötör Kon.	Strok Mesafesi	Klape Konumu	Damper mot. açısı (max)- Kam 1 [°]	Damper mot. açısı ((0) nok.)- Kam 2 [°]	Damper mot. açısı (min)- Kam 3 [°]	Damper mot. açısı (kısmi yük) Kam 7 [°]	Meme [kg/h]	Pompa Basıncı [bar]	Kapasite [kg/h]	Hava Faz. Kat. (λ)	CO [ppm]	Tyakıt (dep. ç.ık.) [°C]	Tyakıt (Yak. dağ. Parçası) [°C]	Pyakıt (Yak. Dağ. Parçası) [bar]
1	Ø 145	1	3	5	85	55°	45°	55°	180	26	162	1,26	17	53	112	23,2
2		7	3	5						26	173	1,28	36	54	112	23
3		7	3	5						27	174	1,34	70	57	112	24,2
4		1	3	5						27	174	1,16	83	52	118	≥25
5		1	3	5,5						27	171	1,15	1770	52	130	24,5
6		1	5	5,5						24	163	1,2	25	57	128	22
7		1	3	5	115					26	156	1,16	3105	66	122	≥25
8		1	3	5,5						27	187	1,05	3000	65	110	≥25
9		5	3	5,5						26	180	1,07	3100	68	120	18,5
10		5	3	5						27	160	1,14	253	48	110	22
11		5	3	5						26	165	1,19	11	48	110	21
12		5	3	5						80	27,8	183	1,11	15	59	108
13		5	3	5	90	27			205	1,26	9800	56	108	25		
14		5	3	5	80	29			156	1,21	15	47	108	25		
15		5	3	5	90	26,8			177	1,08	5854	57	115	23,5		
16		5	3	5		24			175	1,14	830	57	119	21		
17		5	3	5		23			171	1,15	120	59	121	20		
18		5	3	5		26			138	1,45	12	70*	122	21,5		
19		5	3	5,5		27			169	1,16	270	70*	119	24		
20		5	3	5,5		26			171	1,18	45	70*	120	24		
21		5	3	5	85	27			166	1,27	24	48	108	23,1		
22		5	3	5		28			171	1,23	35	50	108	24,1		
23	Ø141	5	3	5		28,2	173	1,26	40	50	109	24,5				
24		5	3	2		28,2	min.	-	-	-	-	-				
25	Ø149	5	3	5		28	176	1,18	2500	55	110	24,5				
26	Ø 145	5	3	5		27	174	1,21	2600	70*	120	24				
27		5	3	5	25,5	170	1,21	1378	75*	127	22,5					
28		5	3	5,5	27	162	1,24	14	53	110	22,5					
29		5	3	5	27	173	1,19	1260	60	111	24					
30		6	3	5	28	174	1,22	20	52	107	24,5					
31		4	3	5	28	175	1,28	280	50	114	24,5					
32		1	3	5	115	27	171	1,15	1770	52	130	24,5				
33		1	5	5,5		24	163	1,2	25	57	128	22				
34		1	5	5,5		26	163	1,2	65	42	125	23				
35		1	5	5,5		28	171	1,15	2000	42	120	25,5				
36		1	5	5,5		21	164	1,16	40	50	130	19				
37		1	5	6		120	21	166	1,16	110	50	130	19			
38	1	3	5,5	115	21,8	168	1,13	47	50	130	19					

Çizelge 5.1'den görülebileceği gibi girdi parametrelerinde yapılan en küçük değişiklik, çıktı parametrelerindeki değerlere yansımıştır. Bu nedenle çıktı parametreleri, girdi parametreleri için yol gösterici olmuştur.

Sonuç olarak, modülasyonlu brülör için yapılan yanma deneylerinde yukarıda belirtilen ayarlanabilir girdi parametreleri ile ölçülen çıktı parametrelerinin birbirlerini takip eden sonucu incelenmiş ve Çizelge 5.1'deki 38 nolu deneyin en uygun, optimum sonuç olduğu tespit edilmiştir. Özellikle, 38 nolu deney sonucunda bulunan hava fazlalık kat sayısı ( $\lambda$ ) değerinin TS EN 267 [48] standardına uygun olması, yapılan yanma testlerinin geçerliliğini göstermektedir.

Uygun sonucun sağlandığı ayarlanan girdi parametreleri;

- ✓ Türbülötör çapı (mm) : Ø145
- ✓ Türbülötör konumu : 1
- ✓ Strok mesafesi (mm) : 3
- ✓ Klape konumu (ibre) : 5,5
- ✓ Damper motor kam 1 açısı (°) : 115
- ✓ Damper motor kam 2 açısı (°) : 0
- ✓ Damper motor kam 3 açısı (°) : 40
- ✓ Damper motor kam 7 açısı (°) : 50
- ✓ Meme kapasitesi (kg/h) : 180
- ✓ Pompa Basıncı (bar) : 21,8

Uygun sonucun sağlandığı ölçülen çıktı parametreleri;

- ✓ Kapasite (kg/h) : 168
- ✓ Hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) : 1,13
- ✓ CO Karbon monoksit (ppm) : 47
- ✓ Tank yakıt depo çıkış sıcaklığı (°C) : 50
- ✓ Yakıt dağıtım parçası sıcaklığı (°C) : 130
- ✓ Yakıt dağıtım parçası basıncı (bar) : 19

### **5.2.5. Mekanik Modülasyonlu Brülörün Değerlendirilmesi**

Bu çalışmada iki kademeli sıvı yakıtlı brülörün, mekanik modülasyonlu brülöre dönüştürülmesinden, ikisi arasındaki farklılıklardan, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Modülasyonlu brülörün parça sayısı fazla ve işleyişi farklı olmasından dolayı maliyetli olması dezavantaj gibi görülse de, sonsuz kademe imkanı sağlaması ve yakıtın istenen noktada kontrolünü sağlaması modülasyonlu brülörü cazip konuma getirmiştir. İki kademeli sıvı yakıtlı brülörün, modülasyonlu brülöre dönüştürülmesi aşamasında hem mekaniksel ve hem de işlevsel olarak birçok durum değerlendirilerek göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerlendirmelerde, modülasyonlu brülörün proje aşamasından satın alma sürecine, sonrasında imalat ve montajından, testlerine kadar geçen sürede oluşan olumlu gelişmeler izlenmiş, olumsuz gelişmeler için bir dizi çözüm üretilmiştir. Genel değerlendirme neticesinde, hem bağlantı mekanizması analizi hem de yanma testleri sonuçlarına göre seri üretime hazır hale gelinmiştir.



## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

ALF 180/2 kodlu iki kademeli sıvı yakıtlı brülörün ALF180/M kodlu modülasyonlu brülöre dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Modülasyonlu brülörün performansını değerlendirmek için yapılan yanma testleri Alarko Carrier A.Ş. ısı laboratuvarında yapılmıştır. Burada kazana takılan brülörün emisyon değerlerini tespit etmek için bir dizi testler yapılmıştır. Bu testler yapılırken değişik değerlerde girdi ve çıktı parametreleri belirlenmiş, denenmiş ve bu doğrultuda brülörün yanma testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sırasında emisyon değerlerinin iyi veya kötü olduğunun değerlendirilmesi, sadece bunlara bağlı olmamakla birlikte emisyon cihazında gösterilen hava fazlalık katsayısı lambda ( $\lambda$ ) ve karbon monoksit gazı (CO) miktarı gibi belirleyici değerler okunarak anlaşılmıştır. Sonuçların değerlendirilmesinde emisyon değerleri kadar alevin geometriside önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlarda emisyon değerleri, standartlarda verilen (TS EN 267) [48]. sınırlara uygun olup alev formatının düzgün ve sürekli olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, optimum emisyon değerlerine ulaşılabilmesi amacıyla, mekaniksel parametreler kapsamındaki yanma başlığı-türbülötör mesafesi, pompa basıncı, damper motor ayarı ve buna bağlı olarak kam sistemi gibi elemanların yanı sıra uygun yakıt ve sistemdeki yakıt ısısı gibi bazı unsurların önemi üzerinde titizlikle durulmuştur.

Alarko Carrier A.Ş. tarafından üretilen ALF 180/2 ve ALF 180/M gibi üçüncü gövde brülörlerin kazan bağlantısını sağlayan yeni tasarım menteşeleri için, analizleri ANSYS Workbench R14.5 programında yapılan beş farklı geometrik forma sahip menteşe analiz sonuçları değerlendirilmiş ve belirlenen nihai tasarımın mukavemet açısından emniyetli olduğu saptanmıştır. Analiz sonuçları sonrasında, yeni tasarlanan menteşe çiftinin güvenilirliği gerçek çalışma şartlarına uygun olarak imal edilen menteşe kırılma düzeneğinde yapılan test ile onaylanmıştır. Ayrıca, modülasyonlu

(oransal kontrollü) brülör ile istenilen girdi parametrelerinde yanma deneylerinin yapılabileceği gösterilmiştir. Yanma deneyleri sonucunda, özellikle  $\lambda$  ve CO emisyonu açısından optimum girdi parametreleri tespit edilmiştir.

Bundan sonra yapılabilecek çalışmalar aşağıda önerilmiştir:

- ✓ Modülasyonlu brülör girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerindeki etki düzeylerinin anlaşılabilmesi açısından istatistiksel analizler yapılabilir.
- ✓ İki kademeli sıvı yakıtlı brülör için aynı şartlarda yanma deneyleri yapılarak modülasyonlu brülörler ile karşılaştırılabilir. Ayrıca, her iki brülör için azot oksit ( $\text{NO}_x$ ), kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) emisyonları ölçülerek analiz edilebilir.
- ✓ Yanma çıktıları için matematiksel modeller geliştirilebilir.
- ✓ Modülasyonlu brülör ile ısıtılan kazan için ısıl gerilme analizi yapılarak kazan mukavemeti kontrol edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Alarko-Carrier, “ALF Orta ve Ağır Yağ Brülörleri”, [http://www.alarko-carrier.com.tr/Urun/TekKitap/Brulor\\_ALF\\_130](http://www.alarko-carrier.com.tr/Urun/TekKitap/Brulor_ALF_130), 4-7 (2010).
2. Emre, S., “Dip klepesinin ANSYS ile dizayn optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-3 (2004).
3. Akhoroz, E., “ANSYS Programı ile Dizayn Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 41,42 (1999).
4. İlbaş, M., “Sıvı yakıtlı yakma sistemlerinde (kazanlarda) yanma ve emisyon davranışlarının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 5 (2001).
5. Jaafar, M. A., “Development of Low Liquid Fuel Burner”, *Universiti Teknologi Malaysia*, Malaysia (2005).
6. Sedighi, K., “The Combustion of fuel oil and factors influencing pollutant formation”, PhD thesis, *University of Leeds*, U.K., 42-43 (1990).
7. Önal, S., “Buhar kazanlarında ekserji metoduyla verimlilik analizi, bölüm 2”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 35-36 (1993).
8. Özen, E., “İki boyutlu bir brülördeki yanmanın hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-10 (2009).
9. Gökçe Ç., “Lamella Brülör Kanat Demetinin Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*, İzmir (2007).
10. Parmantier, S., Braack M., Riedel U., Warnatz J., “Modeling of combustion in a lamella burner”, *Taylor & Francis, Combust. Sci. and Tech.*, 175: 185-206 (2006).
11. Karel, A., “Sürekli yanma odalarında alev çıkış sıcaklığına etkiyen çeşitli parametrelerin analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-99 (1990).
12. Karakoç, T. H., “Brülörler”, Demirdöküm Teknik Yayınları 7, *İTÜ Merkez Kütüphanesi*, İstanbul (2000).
13. Gollin, G. J., “Fuel Oil and Oil Firing”, *First Edition*, English, 19-32 (1989).

14. Weinberger, H., "Residential Oil Burners", *Third Edition*, English, 18-23 (2008).
15. İlbaş M., Yılmaz İ., Farklı ısı güçlerdeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Kayseri, 18 (1-2): 18-27 (2002).
16. İlbaş M., Karyeyen S., "Kok Fırını Gazının Model Bir Gaz Turbini Yanma Odasındaki Yanma Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi" *Politeknik Dergisi*, Ankara, 15 (4): 171-176 (2012).
17. Vasadravellis G., Karavasilis T. L., "Finite element models and cyclic behavior of self-centering steel post-tensioned connections with web hourglass pins", *Engineering Structures*, English, (52): 1-16 (2013).
18. Zubaidy H., Mahaidi R., Ling Zhao X., "Finite element modelling of CFRP/steel double strap joints subjected to dynamic tensile loadings", *Composite Structures*, English, (99): 48-61 (2013).
19. Sharaf T., Fam A., "Finite element analysis of beam-column T-joints of rectangular hollow steel sections strengthened using through-wall bolts", *Thin-Walled Structures*, English, (64): 31-40 (2013).
20. Demirel, N., "Dynamic Dragline Modeling and Boom Stress Analysis for Efficient Excavation", Doktora Tezi, *Missouri University of Science and Technology*, 148 (2007).
21. Aldaş, K., Şen, F., "Karma Bağlantı Uygulanmış Farklı Metal Plakalarda Meydana Gelen Gerilmelerin İncelenmesi", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Aksaray, 8(2): 1-12 (2011).
22. Aktaş, A., Demircioğlu, T.K., Arslan N., "Civata Bağlantılı Karbon/Epoksi Kompozit Plakaların Kademeli Hasar Analizi", *2.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, 11-12 Kasım (2010).
23. Mackerle J., "Finite element analysis of fastening and joining" *Department of Mechanical Engineering, Linköping Institute of Technology*, Sweden, 83 (2003).
24. İnternet: Brülör Servisi "Brülör Çeşitleri", <http://www.brulorservisi.gen.tr/brulor-nedir> (2012).
25. İnternet: Onur Teknik "Brülör Çeşitleri", <http://www.kazanbrulorservisi.com/?p=15> (2012).
26. İnternet: Özsoy Elektrik Elektronik Doğalgaz "Isı teknolojileri servislik hizmetleri", <http://www.ozsoyelektrik.com/brulor-serviskazanservisi.asp?api=155> (2012).

27. İnternet: Teknoasfalt “Brülör”, <http://www.teknoasfalt.com/detay/brulor.html> (2012).
28. İnternet: Yıldız Teknik Üniversitesi “Yakıtlar ve Yanma Ders Notları”, [http://www.yildiz.edu.tr/~oisin/Dersler/Dersnotlari/0653634/YAKITLAR\\_YANMA\\_11Hafta.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~oisin/Dersler/Dersnotlari/0653634/YAKITLAR_YANMA_11Hafta.pdf) (2012).
29. İnternet: Sakarya Üniversitesi Akyazı Meslek Yüksek Okulu “Kazanlar-Brülörler” <http://tr.scribd.com/doc/73275643/Kazanlar-Brulorler>, 2-5 (2009).
30. İnternet: İGDAŞ “Gaz Brülörleri”, <http://www.igdas.com.tr/Docs/Pdf/Brulor.pdf>, 2-3 (2012).
31. İnternet: Merakname Teknoloji “Brülör Nedir”, <http://www.merakname.com/brulor-nedir/> (2013).
32. İnternet: Üret Brülör “Sıvı yakıtlar ve Sıvı Yakıt Brülörleri” <http://www.uret.com.tr/upload/pdf/SIVI%20YAKITLAR%20VE%20SIVI%20YAKIT%20BRULORLER%20C3%96CL%20C3%96RLER%20C4%B0.pdf> (2012).
33. İnternet: Brox Brülör “Rotatif Çanaklı Brülör”, [http://www.brox.com.tr/tr/urn\\_detay.asp?id=4](http://www.brox.com.tr/tr/urn_detay.asp?id=4) (2010).
34. İlbaş, M., “Yakıtlar ve yanma ders notları”, *Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Kayseri (1997).
35. Yılmaz, İ., “Seminer notları”, *Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Kayseri (2000).
36. Atılğan, İ., “Tunç bilek linyitin dolaşımli akışkan yatakta yanma ve emisyon davranışının incelenmesi, Bölüm 3”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1997).
37. Jones, J. C., ”Principle and Practice”, Millennium Boks, *Combustion Science*, Australia (1993).
38. İlbaş, M., “Studies of Ultra Low NO<sub>x</sub> Burner”, PhD Thesis, *Universty of Vales, Cardiff*, U.K. (1997).
39. Griffiths, J. F., Barnard J. A., “Flame and Combustion”, *Third Edition* (1994).
40. “Baca Gazı Emisyon Ölçümü”, Mühendis El Kitabı, *Makine Mühendisleri Odası*, Yayın No:233, Ankara (1999).
41. İnternet: Alarko-Carrier “Brülör döküman arşivi” [http://www.alarko-carrier.com.tr/AC\\_Urunler.asp?ID=ACU&UrunKodu=22](http://www.alarko-carrier.com.tr/AC_Urunler.asp?ID=ACU&UrunKodu=22) (2010).
42. Tuncer, E., Öğüt S., “Alarko Oransal Brülörleri Eğitim Notları”, *Alarko-Carrier*, Gebze 2-14 (2003).

43. İnternet: T.C Milli Eğitim Bakanlığı “Tesisat Teknolojisi ve İklimlendirme” [http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/tesisat/moduller/sivi\\_yakitli\\_kazani\\_yakma.pdf](http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/tesisat/moduller/sivi_yakitli_kazani_yakma.pdf), 47-61 (2009).
44. İnternet: Öz Kıvrak Isı “Doğalgaz ve ısı dünyası” <http://www.ozkivrakisi.com/brulor.html> (2012).
45. İnternet: “Ankara Grup Başkanlığı Ostim Isı Laboratuvarları Müdürlüğü Hizmet Profili”, <http://global.tse.org.tr/docs/hizmetprofilleri/ankaraostimisolab.pdf?sfvrsn=3> Sayfa 1, Sıra No 3 (2009).
46. İnternet: Gürsel Brülör “Mühendislik ve Teknoloji” <http://www.gurselgunacar.com/brulor-secimi-nasil-yapilir> (2012).
47. İnternet: GEO Eğitim Notları-20 “Brülörler hakkında genel bilgiler” <http://www.geotr.com/htmlarea/Brulorler%20hakkında%20genel%20bilgiler.pdf> 1-4 (2012).
48. TS EN 267, “Brülörler - Sıvı Yakıtlar İçin - Otomatik Cebri Çekişli”, *Türk Standardları Enstitüsü* (2011).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Özkan AKDENİZ 1980 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Zeytinburnu Endüstri Meslek Lisesi Makine-Tesviye Bölümü'nden 1997 yılında mezun oldu. 1996-1997 yılları arasında İstanbul çapında yapılan meslek liseleri arası beceri yarışmasında kendi alanında İstanbul üçüncüsü olarak İSO (İstanbul Sanayi Odası) tarafından plaketle ödüllendirildi.. 1998 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Makine Resim Konstrüksiyon Bölümü'nden Ön Lisans düzeyinde 2000 yılında mezun oldu. 2002 yılında başladığı uzun dönem askerlik görevini 2003 yılında tamamladıktan sonra 2004 yılında tekrar üniversite sınavına girerek kazandığı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde öğrenimine başladı. Bölüm derslerindeki başarısı sebebiyle 2006 yılında Onur Öğrencisi seçildi ve 2007 yılında iyi derece ile mezun oldu. Mezuniyet sonrasında ki iş yaşamında, sanayi sektörünün içinde barındırdığı alüminyum profil imalatı, dişli çark imalatı ve redüktör imalatı gibi firmalarda teknik ofis departmanlarında görev aldı. Son olarak, 2010 yılında göreve başladığı Alarko-Carrier A.Ş.'nde Ar-Ge departmanında Ar-Ge personeli olarak görevine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : GOSB - Gebze Organize Sanayi Bölgesi, Şahabettin Bilgisu Caddesi  
Gebze / KOCAELİ

Tel. : (0537) 702 40 81

E-posta : ozkan.akdeniz@alarko-carrier.com.tr