



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOĞUŞMALI KOMBİLER İÇİN ÇOK GEÇİŞLİ KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİSİ VE YARI KÜRESEL METAL MATRİX YAKICININ GELİŞTİRİLMESİ

Muhammed Arslan OMAR

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YOĞUŞMALI KOMBİLER İÇİN ÇOK GEÇİŞLİ KOMPAKT ISI DEĞİŞTİRİCİSİ VE YARI KÜRESEL METAL MATRİX YAKICININ GELİŞTİRİLMESİ

Muhammed Arslan OMAR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliğ Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr Kemal ALTINIŞIK

2014, 134 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

Bu çalışmanın amacı, yoğuşmalı kombiler için çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve sisteme uygun yarı küresel metal matrix yakıcının geliştirilmesidir. Solid works programı kullanılarak tasarlanan sistemin parçaları paslanmaz çelik sactan ticari firmalara imal ettirildi. Parçalar montaj edilerek deneysel çalışmaya tabi tutuldu. Geliştirilen çok geçişli kompakt ısı değiştirici içine yerleştirilen yarı küresel metal matrix yakıcının simülasyonu Ansys Fluent programı ile yapıldı. Teorik sonuçlar kombi üzerinde yapılan deneysel çalışma ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldı.

Yapılan bu çalışmada yarı küresel metal matrix yakıcı ile açık ortamda 1274 K sıcaklık elde edildi. Tasarlanan yoğuşturucu ile egzoz gazından % 43' lik enerji geri dönüşümü sağlandı. CO emisyon değerleri sınır değerin % 77,5 altına indirildi. Yanma verimi % 99,2 olarak gerçekleşmesi sonucu yakıt ve enerji tasarrufu sağlandı.

Anahtar Kelimeler: Kombi, kompakt ısı değiştirici, simülasyon, yoğuşturucu, yarı küresel yakıcı.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DEVELOPMENT OF MULTI TRANSITIVE COMPACT HEAT EXCHANGER AND SEMI-SPHERICAL METAL MATRIX BURNER FOR CONDENSING COMBIES

Muhammed Arslan OMAR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK

2014, 134 Pages

Jury
Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Ali ATEŞ

The aim of this study is to develope the multi transitive compact heat exchanger and the semi-spherical metal matrix burner for the combi boilers. The systems components designed by Solidworks programe and the designed components produced from satinless steel sheet by commercial companies. The produced components mounted and experimented.

The simulation of the semi-spherical metal matrix burner inside the multi transitive compact heat exchanger is made by mean of Ansys Fluent programe. The results obtained are compared with exprimental data.

With this study, the temperature reached at the semi-spherical metal matrix burner to 1274 K. The % 43 energy saved by recyling of exhaust gas by compact condenser unit. The CO emission decreased to the % 77,5 of limit values. The increase of combustion efficiency to the % 99,2 caused the fuel and energy saving.

Keywords: Combi boiler, compact heat exchanger, simulation, condenser, semi-spherical burner.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada yoğuşmalı kombiler için çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve yarı küresel metal matrix yakıcı geliştirildi. SANTEZ projeleri kapsamında desteklenen bu proje ile kombilerde kullanılan ısı değiştirici ve yarı küresel metal matrix yakıcı tasarlanarak, imal edildi ve test edildi. Deneysel sonuçların irdelenmesi ile düşük emisyon değerleri, yüksek yanma verimleri elde edildi.

Sadece bu çalışma boyunca değil, bütün okul hayatı boyunca bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen ve her zaman beni destekleyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK'a sonsuz teşekkür ediyorum.

Muhammed Arslan OMAR
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Kombiler 2
1.1.1. Bacalı kombiler 3
1.1.2. Hermetik kombiler 4
1.1.3. Yarı hermetik kombiler 5
1.1.4. Yoğuşmalı kombiler 5
1.1.4.1. Yoğuşmalı kombilerin çalışma prensibi 6
1.2. Kazanlar 7
1.3. Yanma 7
1.3.1. Az hava ile yanma 7
1.3.2. Fazla hava ile yanma 8
1.3.3. Tam yanma 8
1.4. Kombilerde Yakma Sistemleri 8
1.5. Çalışmanın Amacı 10

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **12**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **15**

3.1. Materyal 15
3.1.1. Isı değiştirici 15
3.1.2. Yakıcı (Burner) 19
3.1.3. Ön yoğuşturucu 21
3.1.4. Kombi deney ünitesi 24
3.2. Yöntem 30
3.2.1. Literatür taraması 30
3.2.2. Sistem tasarımı 31
3.2.3. Matematik model 31
3.2.4. Yanma simülasyonu 31
3.2.5. Deneysel çalışma 31
3.2.6. Sonuçların değerlendirilmesi 31

4. TEORİ **32**

4.1. Matematik Model 34
4.1.1. Süreklilik denklemi 34
4.1.2. Enerji denklemi 34

4.1.3. Momentum denklemi 35
4.1.4. Türbülans modeli 37
4.1.4.1. Standart k-ε modeli 37
4.1.5. Radyasyon modeli 37
4.2. ANSYS FLUENT Programı 38
4.3. Sistemde Kullanılan Yarı Küresel Formda Metal Matrix Yakıcının Simülasyonu 40
4.3.1. Katı model oluşturma ve mesh atma 41
4.3.2. Simülasyonun doğruluğunun kontrolü 42
4.3.3. Simülasyon 47

5. DENEYSEL ÇALIŞMA 52

5.1. Hata Analizi 73

6. DENEY SONUÇLARININ YORUMU VE TARTIŞMA 82

6.1. Deneysel Ve Teorik Çalışmanın Karşılaştırılması 82
Şekil 6.1. Deneysel ve teorik çalışmada elde edilen sıcaklığın karşılaştırılması 82

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 86

7.1. Sonuçlar 86
7.2. Öneriler 88

9. EKLER 94

ÖZGEÇMİŞ 134

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A : alan (m^2)

m : kütle (kg)

$\dot{m}_s$: kütlesel su debisi (kg/s)

T : sıcaklık (K, °C)

U : toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2 K)

μ :dinamik viskozite, Ns/m^2

ρ : Yoğunluk , kg/ m^3

p : yerel bağıl basınç (pascal)

p_0 : sistem çalışma basıncı (pascal)

R : gaz sabiti (kJ/kg K)

$Q_{yoğ}$: yoğuşturucu ısı kapasitesi (W)

$\dot{m}_{yoğ}$: yoğuşturucudan geçen suyun kütlesel debisi (kg/s)

c_p : özgül ısı (J/kgK)

$\Delta T_{yoğ}$: yoğuştırıcı giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı (K, °C)

h : taşınım katsayısı (W/m^2 K)

$A_{yoğ}$: yoğuşturucu ısı transfer alanı (m^2)

Q_{kazan} : kazan ısı kapasitesi (W)

ΔT_{kazan}: ana eşanjör (kazan) giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı (K, °C)

η_{kazan} : kazan ısı verimi (%)

Q_B : birim zamanda yakıttan elde edilen ısı (W)

Hu : yakıtın alt ısıl değeri ($kcal/m^3$)

$\dot{V}_y$: yakıt hacimsel debisi (m^3/h)

ΔT_{sis} : ana eşanjör (kazan) çıkışı ve yoğuşturucuya giriş sıcaklık farkı (K, °C)

η_{yanma} : yanma verimi (%)

T_{egz} : egzoz gazı sıcaklığı (K, °C)

T_{hav} : hava sıcaklığı (K, °C)

k_1 : sabit katsayı, LPG için 0,42

k_2 : sabit katsayı, LPG için 0,63

TH : teorik hava miktarı (Nm^3 hava / Nm^3 gaz)

FH : fazla hava miktarı (%)

O_2 : yanma sonu gazlarındaki O_2 yüzdesi (%)

CO_2 : yanma sonu gazlarındaki CO_2 yüzdesi (%)

Ø : azimut açısı (rad)

θ : zenit aşısı (rad)

Kısaltmalar

ETKB : enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı

CFD : computational fluid dynamics

PBS : pressure based solver

DBS : density based solver

T_{gyg} : yoğuşturucu egzoz gazı giriş sıcaklığı (K)

$T_{gyç}$: yoğuşturucu egzoz gazı çıkış sıcaklığı (K)

T_{syg} : yoğuşturucu su giriş sıcaklığı (K)

$T_{syç}$: yoğuşturucu su çıkış sıcaklığı (K)

$T_{skç}$: kazan su çıkış sıcaklığı (K)

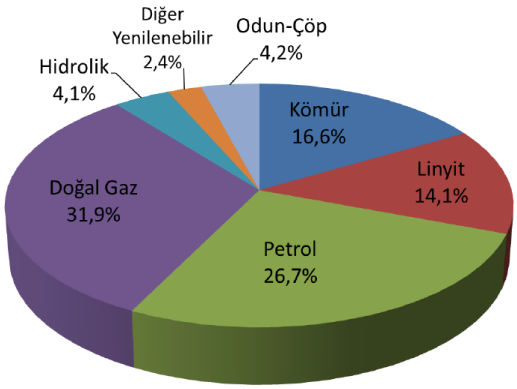
T_{srg} : radyatör su giriş sıcaklığı (K)

$T_{srç}$: radyatör su çıkış sıcaklığı (K)

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ile birlikte toplam enerji ihtiyacının artmasına karşın, günümüzde kullanılmakta olan enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, enerjiyi verimli ve tasarruflu kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, petrol krizlerinin ve çevre sorunlarının etkisi altında enerji üretiminde kullanılan doğalgaz, kömür ve petrol kökenli konvansiyonel yakıtların tüketilmesi gözden geçirilmek zorundadır.

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak fosil kökenli enerji kaynakları büyük bir hızla tükenmektedir. Yanmadan kaynaklanan baca gazı emisyonları ve karbon kökenli yakıtların atmosferde yarattığı sera etkisi ve küresel ısınma nedeniyle, doğada ekolojik dengeler bozulmaktadır. **Şekil 1.1**'de 2010 yılı itibarıyla Türkiye'de tüketilen enerji oranları görülmektedir (ETKB, 2010).



Şekil 1.1. 2010 yılı itibarıyla Türkiye'de tüketilen enerji oranları

Enerji son yüzyılda sosyal ve ekonomik kalkınmaların temel etkenlerinden biri olmuştur. Bilindiği gibi Türkiye kullandığı enerjinin büyük bir kısmını ithal etmektedir. Tüketilen toplam enerjinin içinde ısıtma ve soğutma sistemlerinin payı % 35 olup, endüstriyel tesisler de dikkate alınırsa bu pay % 65–70 mertebelerine ulaşmaktadır. Fosil kökenli yenilenemeyen enerji kaynaklarının hızla tükendiği dikkate alınırsa, enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımı son derece önem arz etmektedir.

Çevre bilincinin gelişmesi ile birlikte, yönetimlerce daha az zararlı yanma ürünleri çıkartan cihazların kullanılması için getirilen zorunluluklar, ısı yalıtımının önem kazanarak, ısınma konforu için daha az enerjiye gereksinim duyan binaların yapılmasına yönlendirmiştir. Enerji maliyetlerinin gittikçe artan bir eğilime girmesi ısıtma cihazlarına olan talebin yönünü; daha az enerji veren, daha kompakt, çevreye çok

duyarlı cihazlara yönlendirmiştir. Bugün Avrupa'nın Almanya, İsviçre, Danimarka, Hollanda gibi gelişmiş ülkelerinde yürürlüğe giren yerel kurallar, bu özelliği taşımayan cihazların kullanımını yasaklamıştır. Bu zorunluluklar, yakıt ekonomisi ve düşük atık gaz emisyonları talebini karşılayan yoğuşmalı sistemle çalışan kombi ve kazan sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Türkiye'de, konutların ısıtılmasında merkezi sistem ısıtmanın yanında, lokal ısıtma sistemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Merkezi sistem ısıtmalarda büyük kapasiteli kazanlar kullanılırken, lokal ısıtma sistemlerinde kat kaloriferleri (küçük kapasiteli kazanlar) ve kombiler kullanılmaktadır. Kat kaloriferleri eskiden tercih edilirken, yeni yapılan binalarda yeni nesil verimli kombiler kullanılmaktadır. Bu gün Türkiye'de yılda 650.000 konvansiyonel kombi, 60.000 kadar da yoğuşmalı kombi kullanılmaktadır. Verilere göre bu rakamlar yılda ortalama % 15-20 mertebesinde arttığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, piyasadaki kombi sektörü sürekli gelişmekte ve büyümektedir.

1.1. Kombiler

Kombi kelimesi ingilizce Combi Boiler (birleşik ısıtıcı) anlamına gelir. Combi Boiler'in tam yazılması ise "Gas-fired Combination Boiler" şeklindedir. Burada combination kelimesinin kısaltması olarak **combi** kullanımı yaygınlık kazanmıştır.

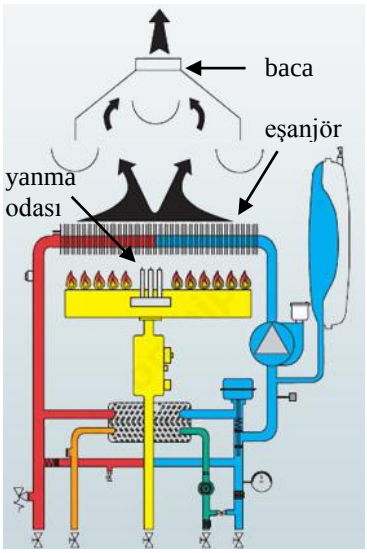
Konutların, ısınma ve sıcak su ihtiyacını karşılayan kombilerde yakıt olarak LPG veya doğalgaz kullanılır. Kombiler tek başına kullanılabildikleri gibi kaskad sistemi ile birkaç kombi seri şekilde bağlanarak daha fazla enerjinin gerektiği merkezi ısıtma sisteminin uygulandığı yerlerde de kullanılabilir. Ancak kaskat sistemlerinin uygulanması, işletme ve ilk yatırımlar yönünden daha pahalıdır.

Teknik detaylar göz önüne alındığında kombiler birbirlerine çok yakın olsalar da, bazı bakımlardan değişik katagorilerde sınıflandırlır, bunlar;

- Bacalı kombiler
- Hermetik kombiler
- Yarı hermetik kombiler
- Yoğuşmalı kombilerdir.

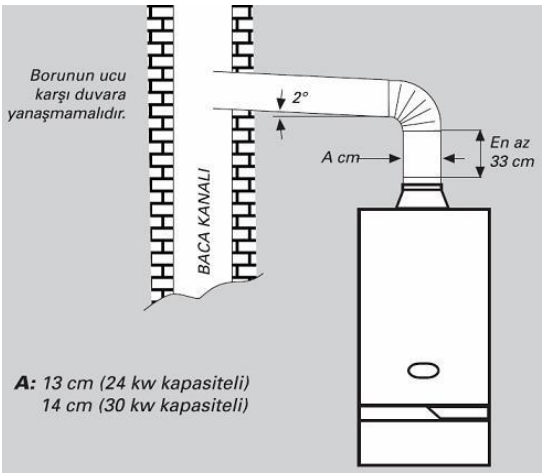
1.1.1. Bacalı kombiler

Bu tip kombilerde fan tertibatı yoktur, yanma odası bulundukları ortama açıktır ve yanma işlemi için bulunduğu ortamın havasını kullanırlar. Yanma sonu oluşan atık gaz baca sistemi ile dış ortama atılmaktadır. Bu tip kombilerde fan olmamasından dolayı baca tertibatı, atık gaz çekiş gücü, atıkgaz erozyonu dikkate alınarak standartlara uygun yapılmalıdır. **Şekil 1.2**'de bacalı kombilerin prensip şeması görülmektedir.



Şekil 1.2. Bacalı kombinin prensip şeması

Bacalı kombilerin bulunduğu ortam mutlaka havalandırılmalı ve çekişi iyi bir bacaya bağlanmalıdır. Kombilerin banyolara ve hacmi 8 m^3'ten az olan yerlere konması uygun değildir. Bu tip kombilerde baca temizliği çok önemlidir, peryodik olarak yıllık baca temizliği mutlaka yapılmalıdır. **Şekil 1.3**'de bacalı kombilerde baca bağlantı gösterilmiştir.

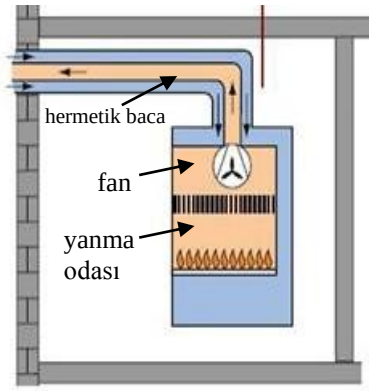


Şekil 1.3. Bacalı kombilerde baca bağlantı şekli

1.1.2. Hermetik kombiler

Açık yanma odası bulunmayan kombiler hermetik tabir ettiğimiz cihazlar olup bacaya ihtiyaç göstermezler. Yanma odaları kapalı hücre biçiminde olup, gerekli olan yanma havasını bir fan yardımı ile dışarıdan alırken, yanma sonucu oluşan atık gazları aynı şekilde dış ortama vermektedir. Hermetik cihazlar bir hava akım borusu ile dış ortama bağlanmak zorundadır. **Şekil 1.4**'de hermetik kombinin temel çalışma prensibi görülmektedir.

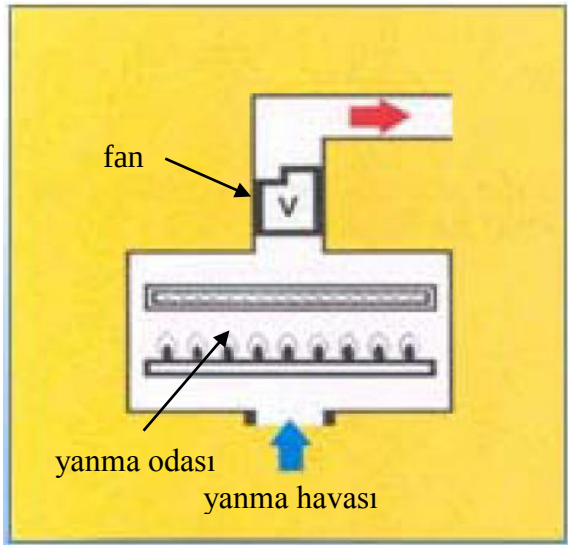
Hermetik kombi sistemlerinde yanma sonu oluşan atık gaz fan sayesinde dış ortama şarj edilir ve yanma için ihtiyaç duyulan hava, aynı şekilde dış mekandan alınır. Bu sayede iç mekandaki hava temiz kalır.



Şekil 1.4. Hermetik kombinin çalışma prensibi

1.1.3. Yarı hermetik kombiler

Hermetik kombilere benzer olarak bir de yarı hermetik kombiler vardır. Yarı hermetik kombiler çalışma sistemi olarak bacalı kombiler gibi açık yanma odasına sahip olup yanma havasını bulundukları ortamdan alırlar. Yanma sonu atık gazlar fan yardımıyla dışarıya atılır. Bu kombiler baca tertibatı olmayan yerlerde veya bacanın iyi çekmediği yerlerde tercih edilir. Bu tip kombilere her ne kadar yarı hermetik kombi denilse de bu ifade tamamen yanıltıcı bir ifadedir. Çünkü yanma için gereken taze havayı bulunduğu ortamdan alır, oysa hermetik kombiler kapalı yanma odasına sahip olup yanma havasını dış ortamdan alırlar. Bu kombilerin yarı hermetik olarak adlandırılmasının nedeni atık gaz sisteminde fan kullanılmasıdır. **Şekil 1.5**'de yarı hermetik kombinin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 1.5. Yarı Hermetik kombinin çalışma prensibi

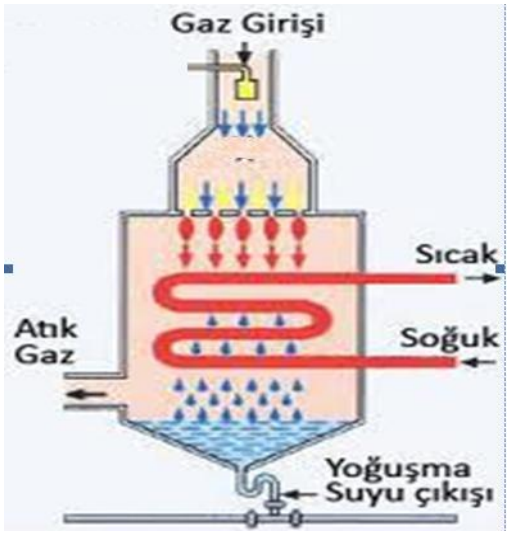
1.1.4. Yoğuşmalı kombiler

Bu tip kombilerin çalışma prensibi, kombilerdeki ısı değiştiricisi yardımıyla atık gaz sıcaklığını yoğuşma sıcaklığına düşürülmesi ile baca gazı içindeki su buharının buharlaşma gizli ısısının kullanılması esasına dayanmaktadır. Yoğuşmalı kombilerde tesisat tasarımı, enerji verimliliği açısından son derece önemli olduğundan mutlaka profesyonel kişilerce yapılmalıdır.

Bu sistemin, düşük sıcaklıklarda daha verimli çalışması söz konusu olduğu için, petek metrajını ayarlamak da oldukca önemlidir. Önemli olan bir başka husus ise kazan kapasitesinin doğru olarak seçilmesidir. Yatırım maliyeti diğer tiplere göre fazla olduğu için, yoğuşmalı kombileri tercih etmeden önce, detaylı bir teknik analiz yapmalısı önemlidir.

1.1.4.1. Yoğuşmalı kombilerin çalışma prensibi

Yoğuşmalı kombilerde turbo eşanjör sistemi ile atıkgaz sıcaklığı düşürülerek yanma sonucu oluşan su buharındaki ısı enerjisi sisteme geri kazandırılmakta ve bu sayede yüksek verim elde edilmektedir. Yoğuşma tekniği kullanılan kombilerin standart kombilere göre başlıca farkı, baca gazı ürünlerindeki su buharı yoğuştuğunda ortaya çıkan buharlaşma gizli ısısının bir kısmının kullanılabilmesi prensibine dayanmaktadır. Yoğuşma esnasında yakılan 1 m^3 doğalgaz başına yanma şartlarına bağlı olmakla birlikte yaklaşık 1,5 – 1,7 kg arasında su oluşmaktadır. Bu enerji gizli ısı olarak anılmakta ve standart kombilerde bu ısı, su buharı ile bacadan dışarı atılmaktadır (**Şekil 1.6**). Yoğuşma sonucu oluşan su, özel bir tahliye borusu ile dışarı atılır. Baca gazı sıcaklıkları klasik konvansiyonel kazanlarda 200–250 ^oC iken bu değer yoğuşmalı kazanlarda 50-60 ^oC arasındadır. Aynı durum kombiler içinde söz konusudur. Konvansiyonel kombilerde baca çıkış sıcaklığı 100^oC'nin üzerindedir. Yoğuşmalı kombilerde ise 50-60 ^oC arasındadır.



Şekil 1.6. Yoğuşmalı kombinin çalışma prensibi

1.2. Kazanlar

Yakıtın kimyasal enerjisinin yanma yoluyla ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısı enerjisini taşıyıcı akışkana aktaran makinalara genel olarak kazan adı verilir. Kazanların verimi, yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin hangi oranda kullanma mahalline taşınmasına bağlıdır. Yanma sonucu oluşan ısı enerjisinden ne kadar yüksek oranlarda yararlanılırsa, o oranda yakıt tüketimi düşük, atmosfere atılan zararlı gazlar o kadar az, dolayısıyla kazan için yapılacak işçilikte aynı oranda düşük olacaktır.

1.3. Yanma

Yakıtların oksijen ile reaksiyona girerek ısı ve diğer yanma ürünlerinin oluşmasına, yanma olarak adlandırılıyor. Yanma sırasında havanın içindeki oksijen yakıt ile karışarak yanma gerçekleşir. Bu hava miktarının gerekenden az veya çok olması, ya da gerektiği kadar olması yanmanın özelliklerini belirler. Yakıt-hava karışımındaki hava durumuna göre yanma,

- Az hava ile yanma,
- Fazla hava ile yanma ve
- Tam yanma

olarak isimlendirilmektedir.

1.3.1. Az hava ile yanma

Yanma işlemine katılan hava yakıt oranındaki havanın yetersiz olmasına az hava ile yanma deniliyor. Az hava ile yanmanın en belirgin özelliği baca gazının çok koyu renkli ve isli olmasıdır. Az hava ile yanma durumunda baca gazı içinde fazla miktarda CO (Karbonmonoksit) oluşur. Fazla miktardaki CO ısı geçiş yüzeylerinde is ve kurum birikmesine sebep olarak ısıl direnç oluşturacaktır ve yakıt tüketiminin artmasına sebep olacaktır. Az hava ile yanmada zehirli bir gaz olan CO, is ve kurum ile birlikte bacadan dışarı atıldığı için çevre kirliliği oluşmaktadır.

1.3.2. Fazla hava ile yanma

Az hava ile yanmanın tersine fazla hava ile yanmada yanma işlemine katılan hava yakıt oranındaki havanın fazla olmasına fazla hava ile yanma deniliyor. Fazla hava ile yanma durumunda alev rengi çok açık ve parlaktır. Baca gazı hemen hemen gözle görülmez. Bu durumda yanma odası sıcaklığı düşer, baca gazı sıcaklığı artar. Böylece istenen miktardaki enerjiyi elde etmek için daha fazla yakıt yakılması söz konusudur. Daha fazla yakıt yakıldığı için atık gazı miktarı ve buna bağlı olarak çevre kirliliği de artmaktadır.

1.3.3. Tam yanma

Tam yanma olayı yanma işlemi için gereken bütün şartların optimum bir şekilde gerçekleştiği bir olaydır. Yanma ürünleri içinde CO ve yanıcı madde bulunmaz ise yanma tam yanmadır. Tam yanmada alev rengi katı ve sıvı yakıtlarda açık sarı - portakal renginde, gaz yakıtlarda ise mavi renktedir.

Yanma olayında baca gazı sıcaklığı da kazan verimi üzerinde doğrudan rol oynar. Baca gazı sıcaklığı yakıt cinsi ve yakıt bileşenlerine bağlıdır. Kükürt ve kükürtlü bileşikler içeren yakıtlarda baca gazı sıcaklığı 180 °C altına düşürülmemelidir. Aksi halde kükürt havanın içindeki oksijen ve hidrojenle birleşerek sülfürik asit oluşumuna neden olur. Doğalgaz içinde kükürt bulunmadığından baca gazı sıcaklığı 56 °C'ye kadar düşürülebilir.

İdeal bir yanmada baca gazının karbondioksit ve azot gazından oluşması gerekir. Fakat genellikle yanma bir miktar fazla hava ile yapılır.

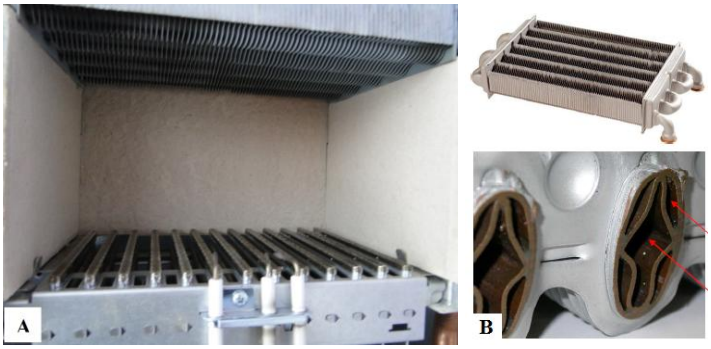
Yakıtın içinde karbon miktarının artması alev renginin kırmızıya dönmesine, hidrojen miktarının artması ise yanma sonucu oluşan su miktarının (su buharı) artmasına neden olmaktadır. İyi bir yanma neticesinde baca gazı içinde % 12-13 CO_2 bulunmalı, CO miktarı ise mümkün olan en alt seviyeye indirilmelidir.

1.4. Kombilerde Yakma Sistemleri

Esas olarak kombilerde yakma işlemi yanma odasına gelen hava-yakıt karışımının ateşlenmesi ile gerçekleşir. Piyasada değişik tiplerde yakma sistemleri kullanılsa da

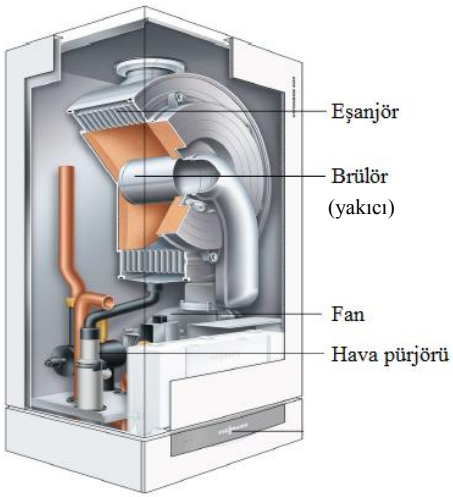
temel olarak yakma işelemi, hava-yakıt karışımının hazırlanması, yanma işleminin gerçekleştirilmesi ve atık gazın dışarı atılması olayından oluşmaktadır.

Hava-yakıt karışımı bacalı kombilerde yanma odasının içinde oluşur (**Şekil 1.7. A**). Yanma odasına gelen yakıt için gereken taze hava ortamdan sağlanarak yanma gerçekleşir. Yanma sonucu oluşan ısı enerjisi bitermik eşanjör diye adlandırılan (**Şekil 1.7. B**) ısı değiştiricisi vasıtasıyla içinden geçen suya aktarılır. Klasik kombilerde yakıcı genel olarak paslanmaz çelik malzemden veya döküm malzemeden imal edilir.



Şekil 1.7. A tipi bacalı kombilerdeki brülör (A), Bitermik eşanjör (B)

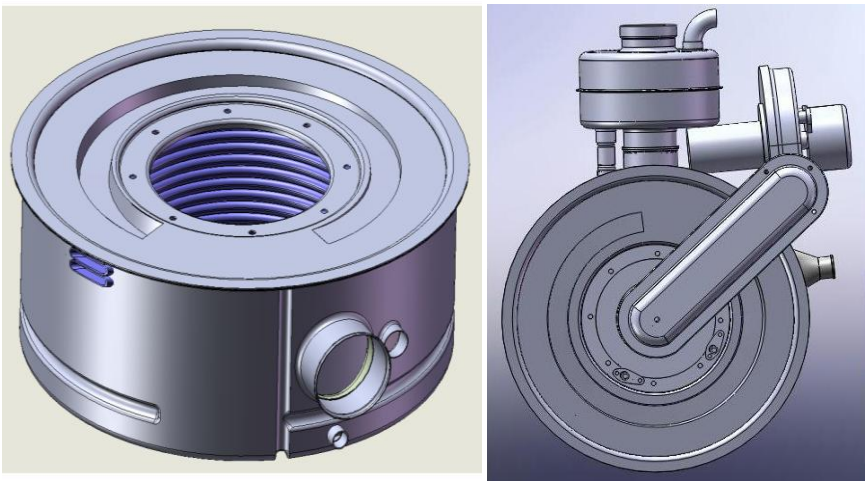
Yeni nesil kombilerde yakıcılar genelde silidirik veya küresel şekilde dizayn edilmiştir. Buna uygun olarak yanma odası ve eşanjör de silindirik bir şekilde imal edilir. **Şekil 1.8**'de silindirik yakıcılı bir kombinin kesiti görülmektedir.



Şekil 1.8. Silindirik yakıcılı bir kombinin kesit görünüşü

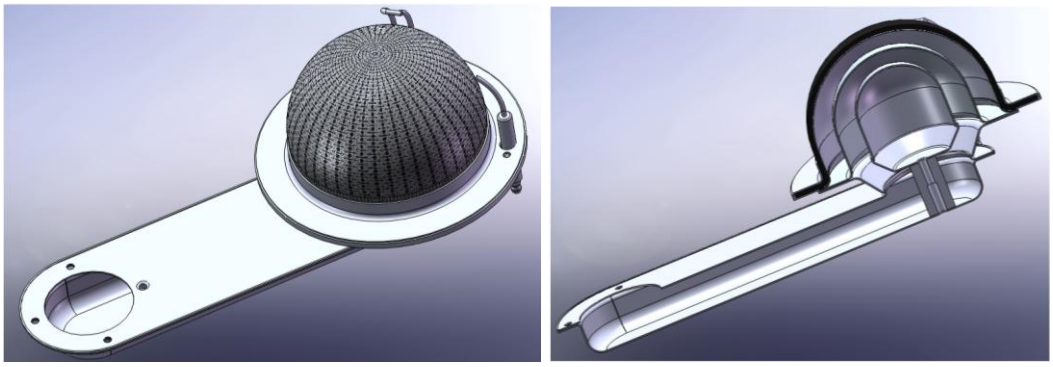
1.5. Çalışmanın Amacı

Gerçekleştirilen bu çalışmada, çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve bu ısı değiştiricine uygun yarı küresel formda yakıcı tasarlandı ve prototip imalatı yapıldı. **Şekil 1.9**'de çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve sistemin montajı hali görülmektedir. Geliştirilen çok geçişli kompakt ısı değiştirici içine yerleştirilen yarı küresel yakıcının simülasyonu Ansys Fluent 6.3.26 programıyla yapıldı. Elde edilen teorik sonuçlar kombi üzerinde yapılan deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.



Şekil 1.9. Çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve sistemin montajı

Yarı küresel formdaki yakıcı (burner) için 304 ve 316 kalite paslanmaz saç malzeme tercih edildi. Geliştirilen sistemde hava-yakıt karışımının homojen dağılması için özgün tasarım gerçekleştirilerek delikli ve gözenekli yarı küresel formdaki katmanlardan geçirilerek homojen bir yanma elde edildi. Çalışmanın bu aşamaya gelmesi için daha değişik tasarımlar üzerinde durularak Ansys Fluent programı ile simülasyonlarına bakıldı. Nihai tasarım olarak **Şekil 1.10**'da gösterilen form üzerinde karar kılındı.



Şekil 1.10. Sistemde kullanılan yarı küresel yalıcı ve kesit görünüşü

Tasarlanan sistem 304 ve 316 kalite paslanmaz çelik olan sac malzemeden maliyetleri düşürmek ve işçiliği azaltmak için sıvama ve bükme yöntemi kullanarak prototip imal edildi.

Yapılan bu çalışma ile verim artışı sonucu enerji tasarrufu sağlandı, sabit yatırımlar ve işletme giderleri düştü ve ışınım esaslı yanma nedeniyle emisyon değerleri sınır değerlerin çok altına düşürüldü. Bu nedenle çalışmanın sonucunda elde edilen ürünün kullanılması çevre ve insan sağlığına pozitif yönde katkı sağlayacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kombiler sahip olduğu değişik avantajlar nedeniyle, yakın tarihte geniş kullanım alanınına sahip olmuştur. Kombilerde göze çarpan en önemli avantaj boyutlarının küçük olması nedeniyle, mutfaklara monte edilebilmesi ve hem ısıtma suyunu hem de kullanım sıcak suyunu aynı anda sağlayabilmeleridir.

Yanma ile ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak yanma odaları ve özellikle kombiler için tasarlanan yarı küresel yanma sistemleriyle ilgili olarak literatürde fazla çalışmaya raslanmamıştır.

Kuck (1996), kombilerdeki yanma sonu gazlarındaki su buharının taşıdığı ısının değerlendirilmesi üzerinde çalıştı ve patentini aldığı bu çalışmasında yanma havasının egzoz gazı ile ısıtılarak yoğuşma ısısından yararlanma olanaklarını hesapladı.

Markatos ve Moult (1986), eksenel simetrik yanma odalarında, türbülanslı, sıkıştırılamayan akış için, içinde kimyasal reaksiyonları ve ısıl radyasyonu da kapsayan bir hesaplama tekniği geliştirdiler. Geliştirdikleri bu metodun yanma odalarında sıcaklık dağılımlarının hesaplanmasında endüstride geniş bir alanda uygulanabileceği görüşünü öne sürdüler.

Defu ve ark. (2004), yanmalı su ısıtıcılarında yanma sonu gazlarının sıcaklığının oldukça yüksek olmasından çevreye büyük miktarda ısı enerjisi atan konvansiyonel su ısıtıcılar üzerinde çalıştılar. Yoğuşmalı ısı değiştiricisi kullanılarak duyulur ısı ve gizli ısıyı geri kazanıldığında boyler veriminin %10 kadar arttığını gördüler. Bu çalışmada değişik dizaynlar göz önüne alınarak geri kazanılabilecek ısı ve artırılabilecek boyler verimini hesapladılar. Sonuçlarda yoğuşmalı ısı değiştiricisi kullanılarak konvansiyonel doğal gaz yakıldığında yanma sonu gaz sıcaklığının 40–55 °C olduğunu açıkladılar.

Kontogeorgos ve ark. (2007), bir doğalgaz yakmalı ocakta mühendislik hesaplamaları için ısıl radyason analizleri üzerinde çalıştılar. Yapılan bu nümerik çalışmada türbülans karakteristiği, kimyasal mekanizmaların oluşumu ve kontrolü ve p-1 radyason modelininin özelliklerini araştırdılar. Yaptıkları deneysel çalışmaları teorik çalışmaları ile karşılaştırdıklarında modelin mühendislik uygulamalarında uygulanabileceğini saptadılar.

Jones ve Mcguirk (1975), gaz türbünlerindeki yanma odaları için bir matematiksel model geliştirdiler. Bu modeli iki ve üç boyutlu yanma odaları üzerinde uyguladılar ve sonuçları yapılan diğer çalışmalardaki deneysel çalışmalarla karşılaştırdılar. Sonuç

olarak, küçük türbülans sayılarının sıcaklık dağılımı üzerinde fazla etkili olmadığını gördüler.

Li ve ark. (2009), bir mikro yakıcıda doğalgaz-hava karışımını ön karışımlı şartlarda nümerik olarak incelediler. Bu çalışmada yakıcı geometrisi, ölçüsü ve sınır şartlarının yanma sıcaklığı üzerindeki etkisini iki boyutlu denklemler kullanarak araştırdılar. Araştırma sonucunda daha büyük ölçüdeki yakıcıda, giriş hızının olması gereken hızdan düşük olması durumunda daha yüksek sıcaklıkta alev sıcaklığı elde ettiler.

Nikjooy ve ark. (1987), eksenel simetrik yanma odalarında girdabın mevcut olduğu ve olmadığı durumlar için kimyasal modeller kullanıp bu modeller arasındaki farkları incelediler ve girdabın simetrik yanma odalarındaki etkili olduğunu ispatladılar.

Bidi ve ark. (2008), silindirik yanma odası için metan-hava karışımının yanmasında radyasyon ektisini dikkate alarak nümerik çalışma yaptılar. Bu çalışmada standard k-e türbülans modelini, energy denklemlerini, radyasyon denklemlerini kullanarak türbülanslı yanmada radyasyon etkisiyle sıcaklık ve derişikliğin etkilendiğini kanıtladılar ve elde edilen nümerik bulgularda radyasyonlu sonuçların deneysel sonuçalara radyasyonsuz sonuçlardan daha yakın olduğunu saptadılar.

Rodi (1982), sıkıştırılamıyan akışlar için türbülans modeller üzerinde çalıştı. Sıkıştırılamayan akışlar için yaptığı türbülans modellerle, daha önce yapılan çalışmaları karşılaştırdığında birbirine yakın değerler bulduğunu saptadı.

Haas ve Koehne (1999), bir çok yakıtın (petrol, odun ve proses gazları) yanma sonu atık gazlarında asit bileşenleri bulundurduğunu ve çiğ noktasına ulaşıldığında bu asit bileşenler yoğuşan sıvı tarafından absorbe edildiğini ve bu asitler ve dolayısıyla yoğuşan sıvı korozif özelliğe sahip olduğundan temas ettikleri malzemelerde ve yoğuşma kabında korozyona sebep olduğunu saptadılar. Bu nedenle yanma sonu gazları çığ noktası altında doğal şartlarda soğutulması gerektiğini yanma sonu gazlarındaki asitlerin nötralize edilmesi ve iki fazlı akış prensiplerinin uygulamasını gerektiğini kanıtladılar.

Khalil ve ark. (1975), yanma odalarında, iki boyutlu eksen sisteminde akışı incelediler. Kullandıkları modelin sonuçlarının, deneysel araştırmaların sonuçları ile çok yakın benzerlik içinde olduğu sonucuna vardılar.

Gafletti ve ark. (1988), iki değişik türbülans modeli kullanarak, karşılaştırma yaptılar. İki ayrı model arasındaki farklılıkların, yüksek basınçlarda azaldığı sonucunu elde ettiler.

Torii (1997), k-ε türbülans model kullanarak akışkan akış alanını simüle ederek transport denklemlerinde kullanılan ampirik sabitleri nümerik olarak buldu.

Torii ve ark. (1990), silindirik bir tüpte ısıtılmış türbülanslı gaz akışının laminerizasyonunu, modifiye edilen k-ε modeli yardımı ile nümerik analiz yaptılar ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlarla yakın benzerlik içinde olduğu sonucuna vardılar.

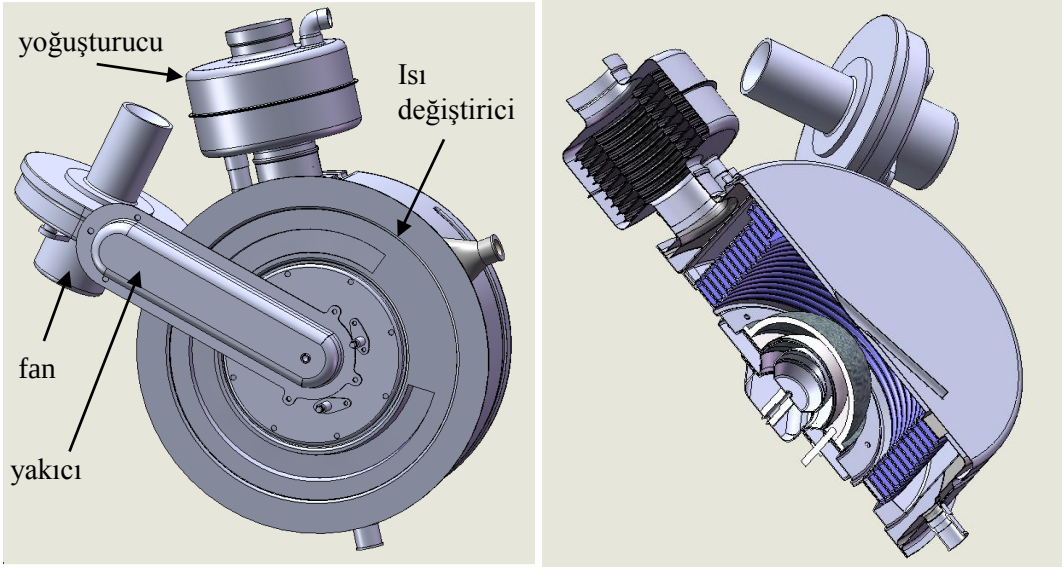
Altınışık ve Teberoğlu (2005), yarı küresel seramik köpük yakıcılar ile ilgili teorik çalışma yaptılar. Bu çalışmada sanayide kullanılan köpük yakıcıların simülasyonu Fluent programında yaparak yarı küresel seramik yakıcı yüzeyinde üniform bir ışınım elde etmek için türbülans oranının % 95, karışım giriş hızının 10 m/s olması gerektiğini saptadılar.

Elshafei ve ark. (2006), sanayide kullanılan 160 MW kapasiteli doğalgaz kazanında NOx emisyonunu incelediler. Problemi Fluent programında sonlu hacimler metodu ile 371000 adet kontrol hacmi oluşturarak 3 boyutlu olarak türbülans, yanma, radyasyon ve NOx modelleri ile çözdüler. NOx emisyonunun hangi bölgelerde ne kadar üretildiğini anlamak için 3 boyutlu sıcaklık dağılımını incelediler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

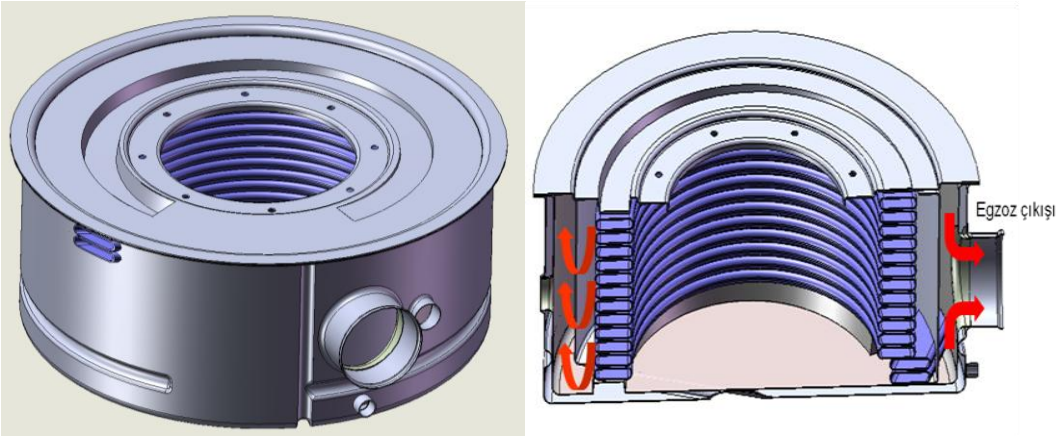
Deneysel çalışmalara başlanabilmesi için önce kombiyi oluşturan ana bölümler sanayide değişik firmalara 304 ve 316 kalite paslanmaz sactan sıvama tekniği ile imal ettirildi. Üretilen parçalar birleştirilerek Selçuk Üniversitesi Müh. Fakültesi Makine Müh. Bölümü Termodinamik Laboratuvarında deneysel çalışmalar yapıldı. **Şekil 3.1**'de kombi elemanlarının montaj hali ve kesiti gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kombi elemanlarının montajı ve kesit görünüşü

3.1.1. Isı değiştirici

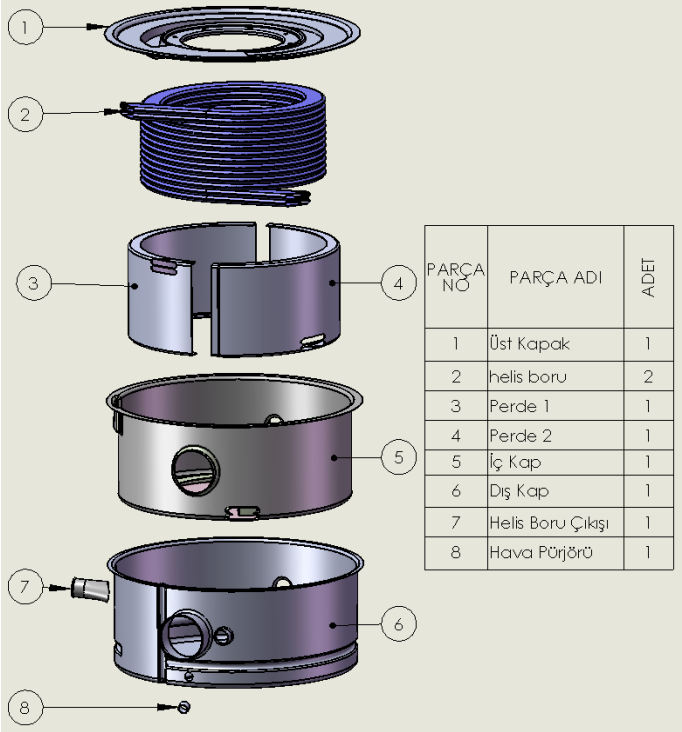
Isı değiştirici kombinin ana gövdesini oluşturmaktadır, ısı değiştircisinin montaj resmi ve kesit resmi **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Isı değiştiricisi ve kesit görünüşü

Isı değiştiricisi aşağıdaki parçalardan oluşmakatadır ve **Şekil 3.3**'de demontaj resmi gösterilmiştir.

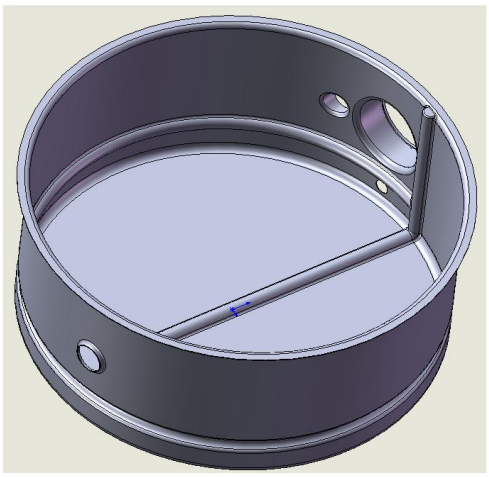
1 - Üst kapak
2 - Helis boru
3 - Alev perdesi-1
4 - Alev perdesi-2
5 - İç kap
6 - Dış kap
7 - Helis boru çıkışı
8 - Hava tahliye pürjörü



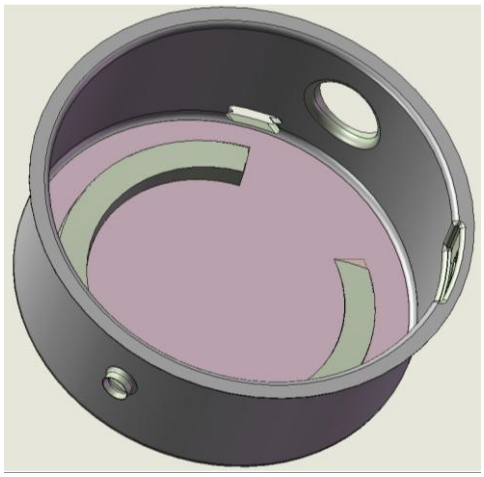
PARÇA NO	PARÇA ADI	ADET
1	Üst Kapak	1
2	helis boru	2
3	Perde 1	1
4	Perde 2	1
5	İç Kap	1
6	Dış Kap	1
7	Helis Boru Çıkışı	1
8	Hava Pürjörü	1

Şekil 3.3. Isı değiştiricisinin demontaj görünümü

Dış ve iç kap 0,80 mm kalınlığında sıvama kolaylığı nedeniyle 304 kalite paslanmaz sactan sıvama yöntemi ile imal edildi. Üretilen ısıdan daha fazla yararlanmak amacıyla, iç kap ve dış kap arasında suyun kısa devre yapmadan dolaşımını sağlamak için dış kabın iç tarafına doğru kordon makinesi ile trapez oluşturuldu. Bu trapez aynı zamanda sisteme mukavemet kazandırmaktadır. Dış kaba ve iç kaba ait katı model resimleri **Şekil 3.4** ve **Şekil 3.5**' de gösterilmiştir.

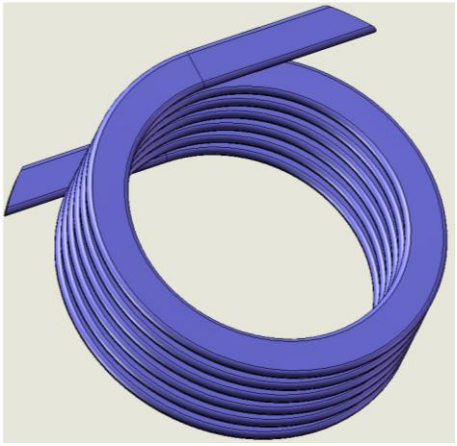


Şekil 3.4. Dış kap



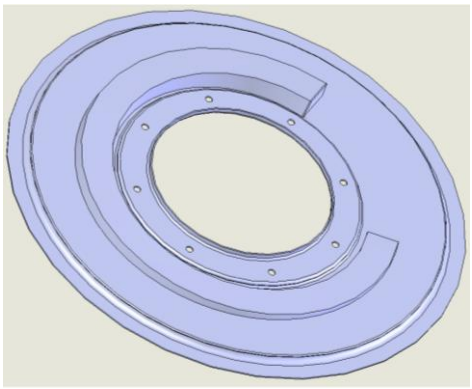
Şekil 3.5. İç kap

Helis slot boru boru 1 mm kalınlığında 316 kalite paslanmaz malzemeden 18,5 mm helis yüksekliğnde 6 tur döndürülerek imal edildi. Sistemde, iki adet helis boru aralarında 1 mm mesafe kalacak şekilde iç içe geçmiş şekilde montaj edildi. Helisel borunun kesit alanı 1,68 cm^2 'dir ve katı model resmi **Şekil 3.6**'da verilmiştir.



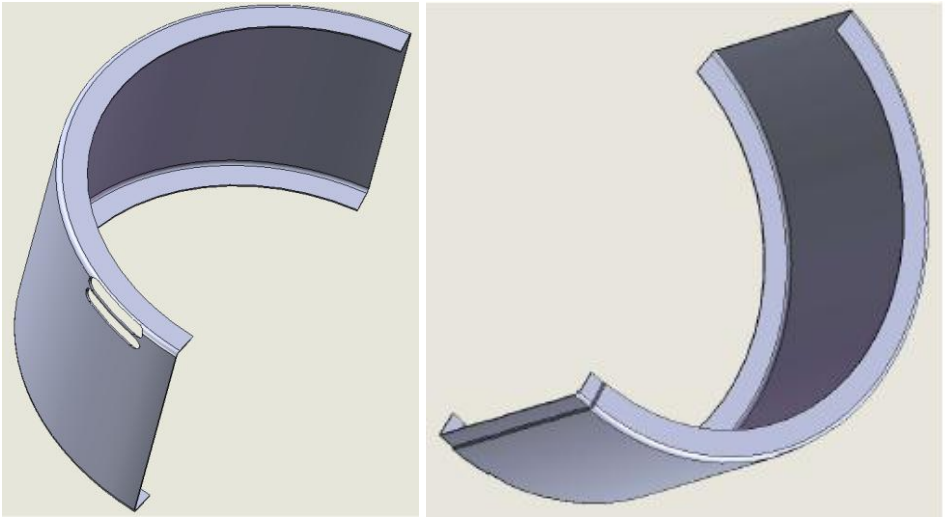
Şekil 3.6. Helis boru

Isı değiştiricisi üst kapağı 1 mm kalınlığında 316 kalite paslanmaz sactan üretildi. Üst kapakta da iç kapta olduğu gibi, helis şeklinde bükülmüş borunun oturması için, iç tarafına doğru açılmış helisel bir kabartma oluşturuldu. Bu helisel kabartmanın helis özellilkleri, helis şeklinde bükülmüş borunun helis özellikleri ile aynıdır. Üst kapağa ait katı model resmi **Şekil 3.7**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Isı değiştiricisi üst kapağı

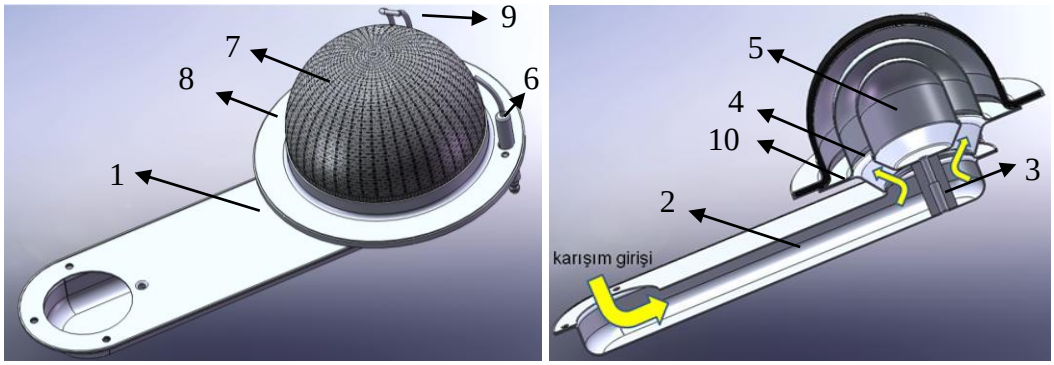
Isı değiştiricisindeki alev perdesi yakıcı kürelerde oluşan alevin kısa devre yaparak bacadan atılmasını önleyecek şekilde, eşanjör yüzeyine daha fazla temas etmesini sağlamak için tasarlandı. Bu sayede duman, eşanjör içinde daha uzun bir yol izleyerek bacaya girmektedir. Alev perdesi de 1 mm kalınlığında 316 kalite paslanmaz sactan sıvama yöntemiyle iki parçalı olarak imal edildi. Alev perdesine ait katı model resimleri, **Şekil 3.8**'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Isı değiştircisi alev perdesi

3.1.2. Yakıcı (Burner)

Yakıcı, kombilerde hava ve yakıtı karışım haline getirerek yanmaya hazırlayan, yanma sonucu oluşan ısı enerjisini üreten önemli bölümdür. **Şekil 3.9**'da yakıcının resmi ve kesit görünüşü gösterilmiştir.

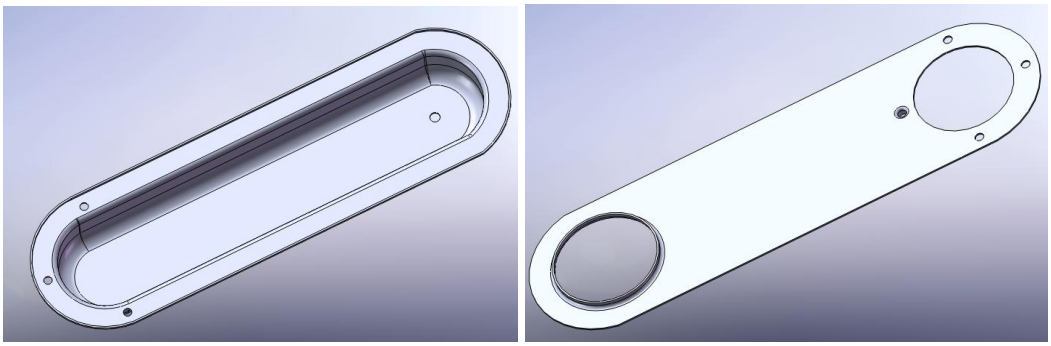


Şekil 3.9. Yakıcı ve kesit görünüşü

Yakıcı aşağıdaki parçalardan oluşur,

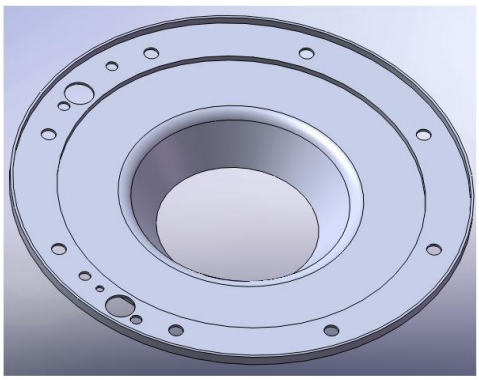
1 - Hava kanalı kapağı	6 - Buji
2 - Hava kanalı	7 - Wire mesh
3 - Küre tutucu	8 - Wire mesh tutucu
4 - Yarı küresel delikli sac	9 - İyonizasyon çubuğu
5 - Dağıtıcı küre	10 - küre tutucu sac

Hava kanalı ve kapağı 0,6 mm kalınlığında 304 kalite paslanmaz sactan sıvama yöntemi ile imal edildi. Hava-yakıt karışımının homojen bir şekilde dağıtılabilmesinin sağlanabilmesi için akış simülasyonu yapılarak optimum dağılımı sağlayacak form oluşturuldu. Kanal ve kapak resimleri **Şekil 3.10**'da gösterilmiştir.

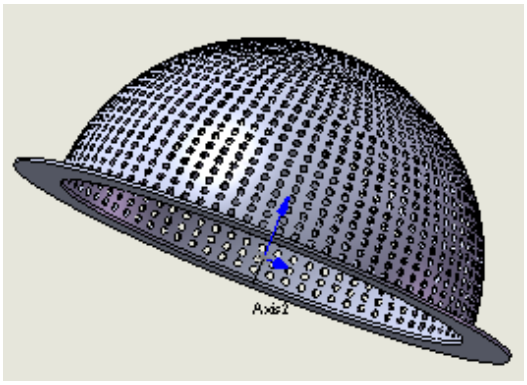


Şekil 3.10. Hava kanalı ve hava kanalı kapağı

Küre tutucu sac 0,6 mm kalınlığında 316 kalite paslanmaz sactan sıvama yöntemi ile imal edildi. Küre tutucu sac yarı küresel delikli sacı, paslanmaz çelik telli çiti, wire mesh ve ateşleme bujilerini sabitlemek için kullanıldı ve bu parça hava kanalı kapağına lehim kaynağı ile sabitlendi (**Şekil 3.11).**

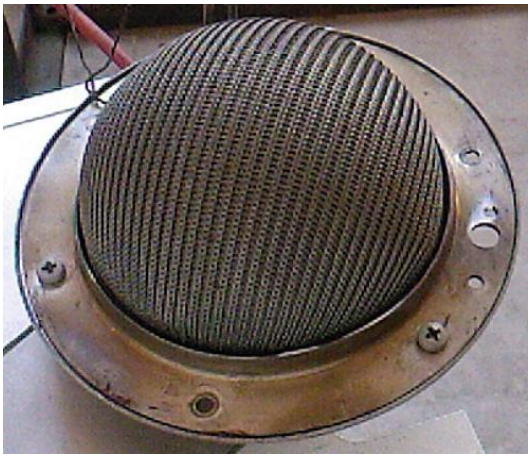


Şekil 3.11. Küre tutucu sac

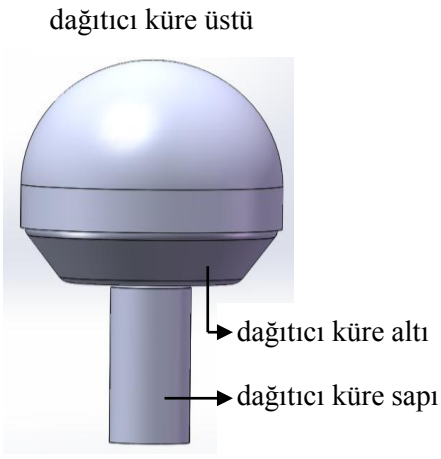


Şekil 3.12. Delikli sac

Delikli sac hava yakıt karışımını küresel formda homojen dağıtmak için kullanıldı. **Şekil 3.12**'de delikli sac gösterildi. Wire mesh, örülmüş paslanmaz çelik tellerden oluşmaktadır ve belli bir geçirgenliğe sahiptir. Hava yakıt karışımı bu bölgede buji ile ateşlenmekte ve yanma ışınım ile gerçekleşmektedir, sıcaklık 900 °C'ye ulaşmaktadır. Dağıtıcı küre hava yakıt karışımını yarı küre formundaki deliklli saca homojen şekilde yayılmasını sağlamak için kullanıldı ve bir vida-somun mekanizması ile aşağı- yukarı hareket ettirilerek optimum aralıkta (karışımın hzına bağlı olarak değişmektedir, bu çalışmada karışım hızı 5 m/s olduğu için venturi kesit alanı 42 cm^2 olacak şekilde ayarlandı) sabitlendi. **Şekil 3.13**'de wire mesh'lı yarı küresel yakıcı ve **Şekil 3.14**'de ise dağıtıcı küre gösterilmiştir.

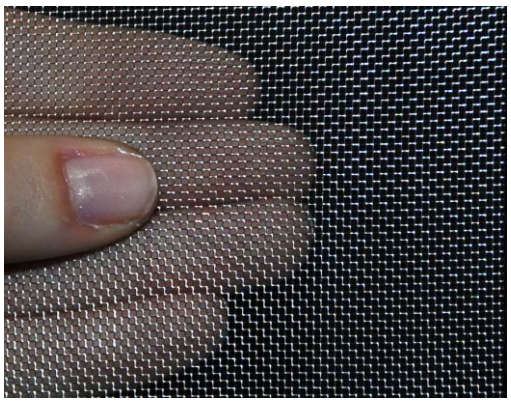


Şekil 3.13. Wire mesh'li yarı küresel yakıcı



Şekil 3.14. Dağıtıcı küre

Şekil 3.15'de wire mesh'in üzerine gerildiği örülmüş paslanmaz tel çit ve **Şekil 3.16**'de wire mesh malzemesi görülmektedir.



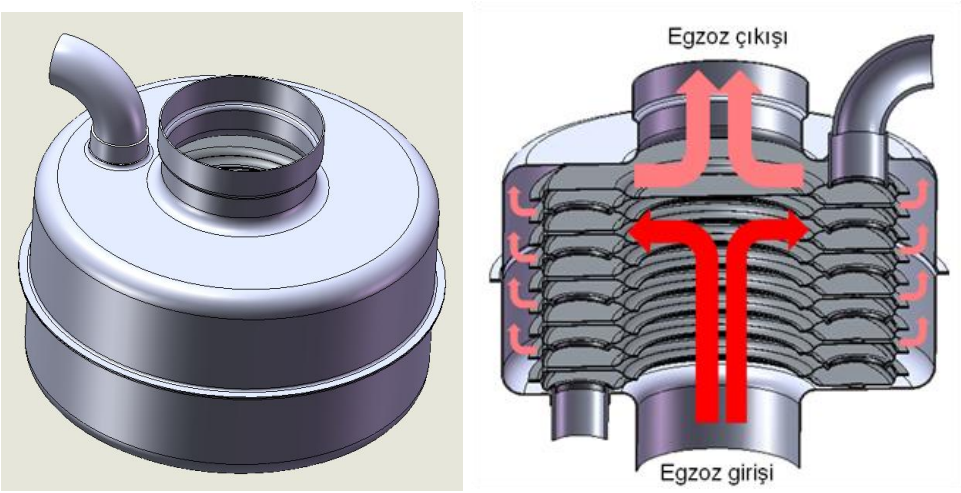
Şekil 3.15. Paslanmaz tel çit



Şekil 3.16. Wire mesh

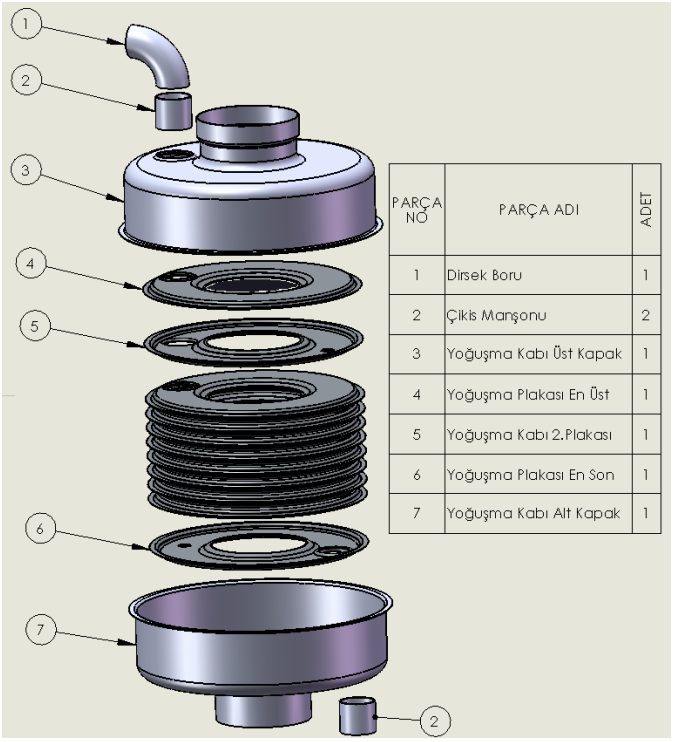
3.1.3. Ön yoğuşturucu

Ön yoğuşturucu egzoz gazındaki su buharını yoğuşturarak yoğuşma esnasında ortaya çıkan gizli ısıyı kanatlı plakalar vasıtasıyla suya aktarmak için kullanıldı. **Şekil 3.17**'de ön yoğuşturucu resmi ve kesit görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Ön yoğuşturucu ısı değiştiricisi ve kesit görünüşü

Ön yoğuşturucunun demontaj halinde parçaları **Şekil 3.18**'de gösterilmiştir.

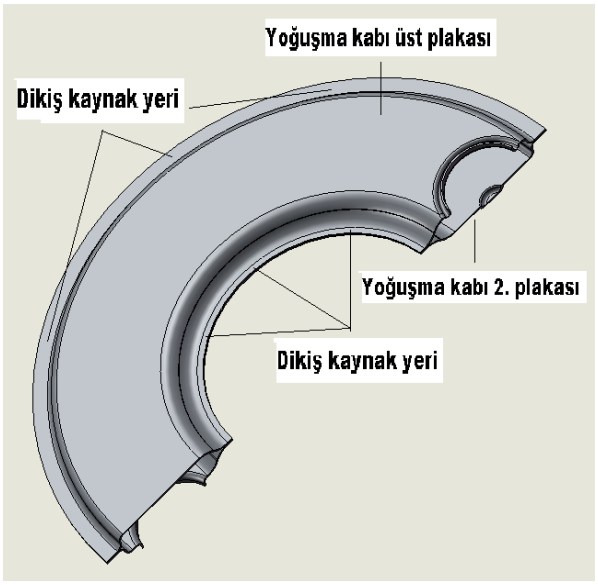


PARÇA NO	PARÇA ADI	ADET
1	Dirsek Boru	1
2	Çikis Manşonu	2
3	Yoğuşma Kabı Üst Kapak	1
4	Yoğuşma Plakası En Üst	1
5	Yoğuşma Kabı 2.Plakası	1
6	Yoğuşma Plakası En Son	1
7	Yoğuşma Kabı Alt Kapak	1

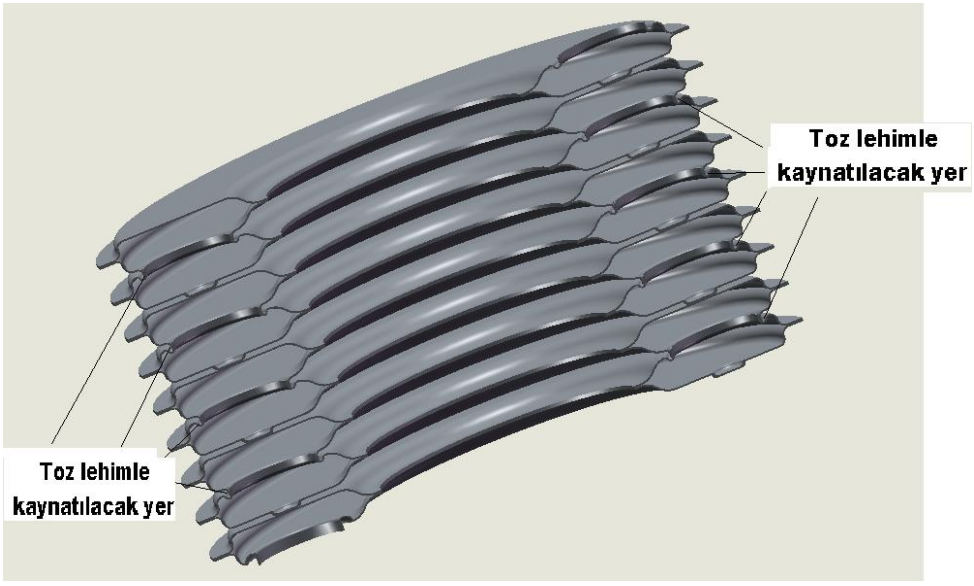
Şekil 3.18. Ön yoğuşturucu demontaj görünüşü

Ön yoğuşturucunun imalatında 304 kalite paslanmaz sac kullanıldı. Yoğuşturucu 9 adet alt ve üst plakadan oluşmaktadır ve bu plakalar birbirine dikiş kaynak yöntemi ile kaynatıldı. Yoğuştucu, yanma sırasında oluşan su buharındaki ısı enerjisini geri

kazanmak için kullanıldı. Bu işlem için yoğuşturucu plakaların sıcaklığı, dolayısıyla dönüş suyunun sıcaklığı 50 – 60 °C civarında olmalıdır. Yoğuşturucu plakalara temas eden yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı içindeki su buharı tekrar yoğuşarak gizli ısı enerjesini pakalara aktarır ve dönüş suyu sıcaklığı yükseltilir. Ön yoğuşturucuya giren sıcak egzoz gazı, ısısını yoğuşturucu plakalara aktarak 50 – 60 °C yoğuşturucuyu terkeder. **Şekil 3.19**'da Ön yoğuşturucu üst ve alt plakalarının montajı ve **Şekil 3.20**'de 9 adet plakanın montajı gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Ön yoğuşturucu üst ve alt plakalarının montajı



Şekil 3.20. Ön yoğuşturucu 9 adet plakasının montajı

Ön yoğuşturucu plakaları 0,60 mm kalınlığında 304 kalite paslanmaz sactan sıvama yöntemi ile imal edildi. Yoğuşma kabı plakalarının resimleri **Şekil 3.21**'de gösterildi.



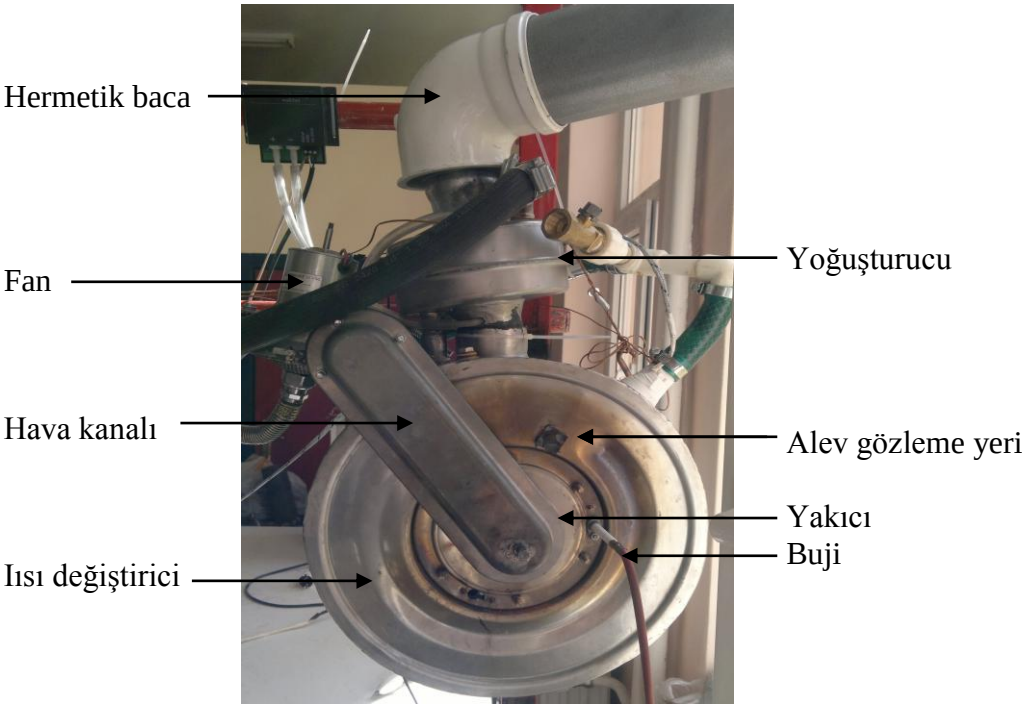
Şekil 3.21. Ön yoğuşturucu üst, alt ve son plakaları

3.1.4. Kombi deney ünitesi

Deney ünitesi Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Laboratuvarında kuruldu. Deney ünitesi gaz sayacı, gaz tüpü, gaz regülatörü, gaz filtresi, selenoid vana, manometre, su sayacı, su filitresi, çek valf, sirkülasyon pompası, genleşme tankı, emniyet ventili, açma kapama vanaları, radyatör, üç yollu vana, manometre, termometre, lazer sıcakılık okuyucu, ateşleme trafosu, AC-DC dönüştürücü, termo elemanlar, data logger ve bilgisayardan oluşmaktadır. **Şekil 3.22**'de deney düzeneğinin genel görünüşü, **Şekil 3.23**'de kombi parçalarının montaj hali gösterilmiştir.

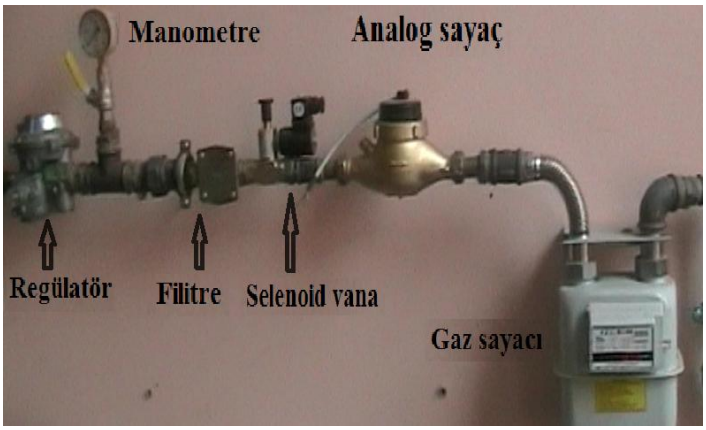


Şekil 3.22. Deney düzeneği genel görünüşü

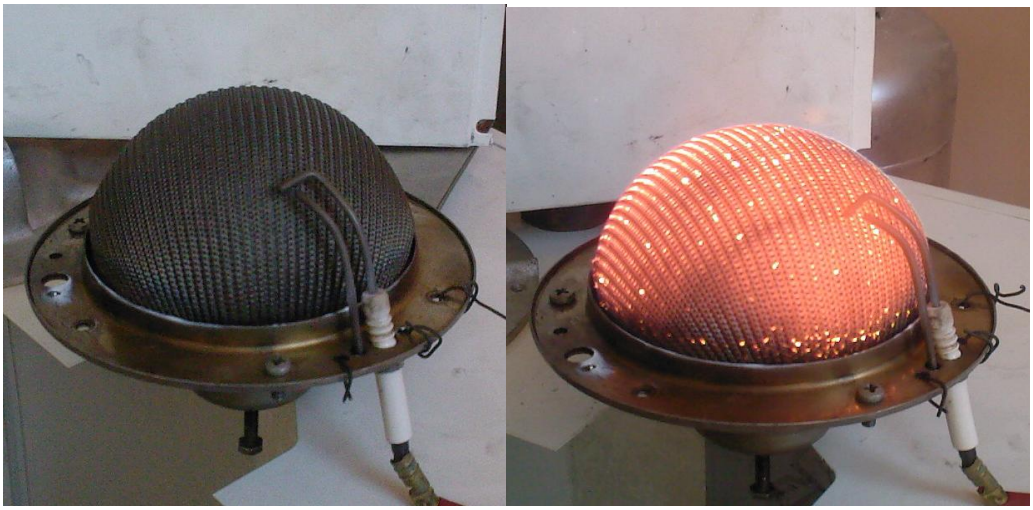


Şekil 3.23. Kombi parçalarının montaj hali

Deneylerde yakıt olarak LPG kullanıldı, deney tesisatına LPG tüpü ile sağlanan gazın girişte manometre ile basıncı okundu. Filitreden geçirilen gaz selenoid vana, analog gaz ölçer cihazlarından sonra sayaçta okunduktan sonra kombinin hava kanalında hava ile karışımı sağlanarak yakıcıda yanması sağlandı. **Şekil 3.24**'de deney tesisatındaki gaz bölümündeki elemanlar ve **Şekil 3.25**'de de yakıcının ışıma ile yanma hali gösterildi. Hava yakıt karışımı buji ile ateşlendi, buji ateşlemesi yüksek voltaj trafosu tarafından sağlanan voltaj ile yapıldı. Yanma sonu egzoz gazı baca ile dışarıya deşarj edildi.



Şekil 3.24. Deney tesisatındaki gaz elemanları

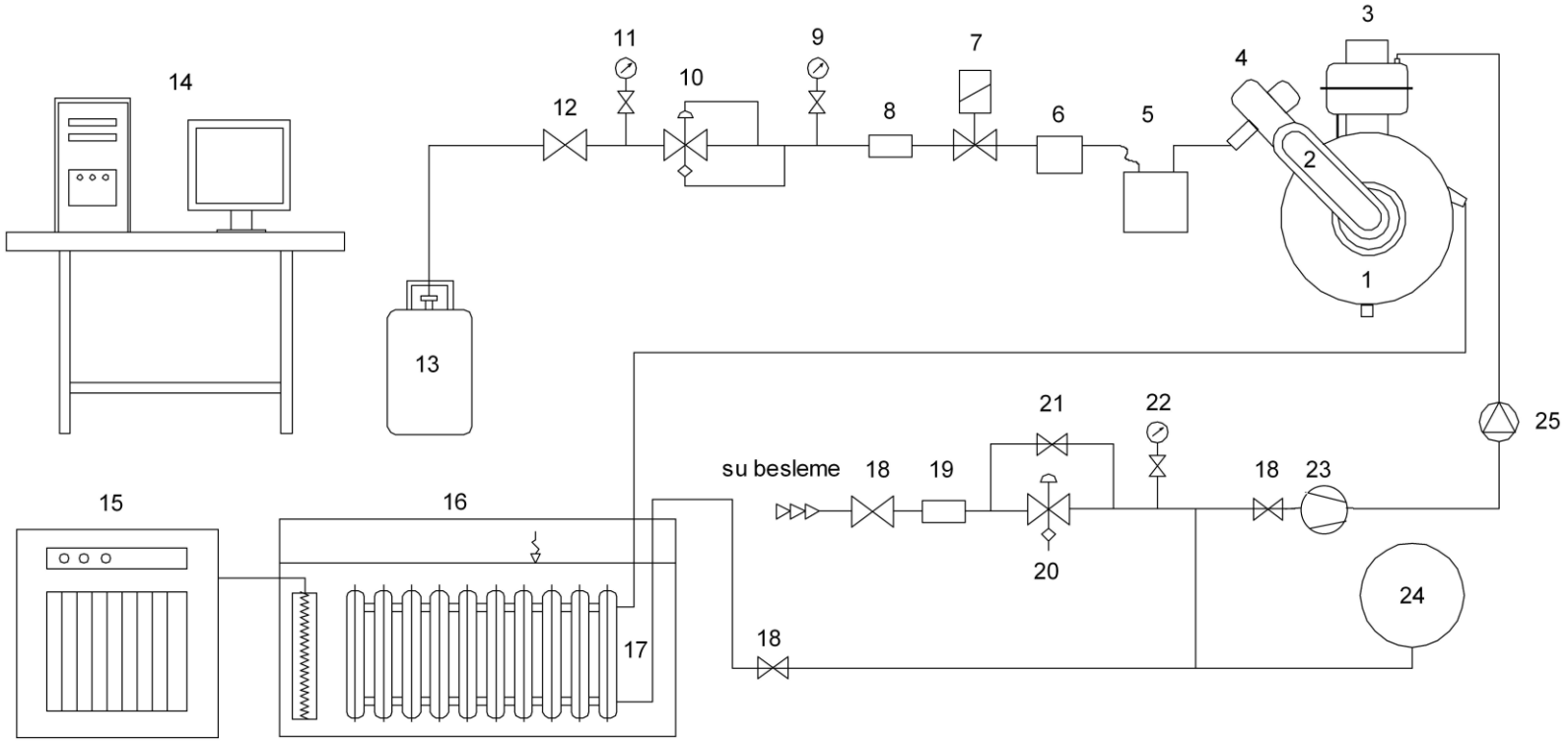


Şekil 3.25. Yakıcının ışıma ile yanma hali

Deneyde taşıyıcı akışkan olarak su kullanıldı. Filitreden geçirildikten sonra tesisata şebekeden beslenen su manomettreden izlenerek gerekli basınç (1,5-2 bar) sağlandıktan sonra kesme vanası ile kapatıldı. Su sirkülasyon pompası aracılığıyla ısı değiştiricisi ve petekler arasında dolaştırıldı. Tesiatta bulunan genleşme tankı basınç dalgalanmalarını dengelemek için kullanıldı. Ayrıca emniyet ventili istenmeyen basınç yükselmelerinde fazla basıncı tahliye etmek için kullanıldı. **Şekil 3.26**'de deney tesisatının elemanları ve **Şekil 3.27**'de de deney tesisatının şematik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Deney tesisatı elemanları



1. Isı değiştirici
2. Hava kanalı
3. Yoğuşturucu
4. Fan
5. Gaz sayacı
6. Dijital gaz debimetre
7. Selenoid vana
8. Gaz filitresi
9. Manometre (0-21mbar)
10. Regülatör
11. Manometre (0-5 bar)
12. Gaz vanası
13. LPG tüpü
14. Bilgisayar
15. Soğutucu
16. Radyatör havuzu
17. Radyatör
18. Kesme vanası
19. Su filitresi
20. Basınç ayarlayıcı
21. Bypas hattı
22. Manometre
23. Debimetre
24. Genleşme tankı
25. Sirkülasyon pompası

Şekil 3.27. Deney tesisatı şematik resmi

Deney tesisatında kullanılan ölçüm cihazları aşağıdakilerden oluşmaktadır,

G-4 tip gaz sayacı; bu tip sayaclar domestik doğalgaz için yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu sayaçlar körüklü tip olarak da bilinir. G-4 tipi gaz sayacı 0,001 hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. **Şekil 3.28**'de deney tesisatında kullanılan gaz sayacı gösterilmiştir.



Şekil 3.28. G-4 tip gaz sayacı

Manometre; deney tesisatındaki su ve gaz basıncını ölçmek için iki tip manometre kullanıldı. Su basıncını ölçmek için 0-10 bar basınç aralıklarında alttan bağlantılı tip manometre kullanıldı. **Şekil 3.29**'de alttan bağlantılı manometre resmi gösterilmiştir. Gaz basıncını ölçmek için 0-100 mbar basınç aralıklarında alttan bağlantılı kapsül diyaframlı manometre kullanıldı, **Şekil 3.30**'de resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Su manometresi



Şekil 3.30. Gaz manometresi

Su sayacı; deney tesisatındaki sirküle eden suyun miktarını dolayısıyla debisini ölçmek için 0,0001 hassasiyete sahip kuru tip sayaç kullanıldı, **Şekil 3.31**'de su sayacı resmi gösterilmiştir.

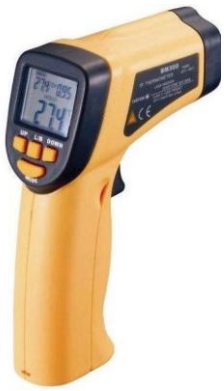


Şekil 3.31. Su sayacı

Lazer sıcaklık okuyucu; deneysel işlemlerde alev sıcaklığını okumak için kullanıldı. Lazer sıcaklık okuyucunun resmi **Şekil 3.32**'de gösterilmiştir. Bu sıcaklık okuyucu yüksek sıcaklıkları okumak için tasarlanmıştır. Dolayısıyla yanmanın gerçekleştiği küre yüzeyindeki sıcaklıkları (800-1000 °C) okuyabilmektedir. Düşük derecedeki sıcaklıklar (ısı değiştiricisi çevresi) **Şekil 3.33**'de gösterilen lazer sıcaklık okuyucu ile okunmuştur.



Şekil 3.32. Lazer yüksek sıcaklık okuyucu



Şekil 3.33. Lazer düşük sıcaklık okuyucu

Termoeleman; Egzoz gazı giriş - çıkış sıcaklıklarını, yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklıkları, kazan su çıkış sıcakılığını ve radyatör su giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek için K tipi nikel krom-nikel termo elemanlar kullanıldı. Bu termo elemanlar -200,+1200 °C aralığında ve %2,5 °C doğrulukta ölçüm yapabilmektedir. **Şekil 3.34**'de termo eleman resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Termoeleman

Data logger; termo elemanlardan gelen analog verileri dijital verilere dönüştürerek bilgisayara aktarmak için kullanıldı. Deney teasisatında kullanılan data logger 56 kanal sayısına sahiptir ve **Şekil 3.35**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Data logger

3.2. Yöntem

Çalışmada uygulanan yöntem aşağıda verildiği şekildedir,

3.2.1. Literatür taraması

Konuya ilişkin olarak 1975 - 2012 tarihleri arasında yapılan yayınlar tarandı.

3.2.2. Sistem tasarımı

Sistemi oluşturan tüm parçaların katı modelleri ve imalat teknik resimleri Solidworks programı kullanılarak hazırlandı. Teknink resimler **Ek-1**'de verilmiştir.

3.2.3. Matematik model

Sistemin matematik modelinin elde edilmesinde karışımın fiziksel özellikleri, kütle korunumu yasası, türbülans model ve çözüm için sınır şartları kullanıldı.

3.2.4. Yanma simülasyonu

Bu çalışmada Ansys Fluent 6.3.26 programı ve Gambit 2.4.6 programı kullanıldı. Gambit programı ile yarı küresel yakıcının modellemesi yapılarak, Ansys Fluent programı ile yanma, akış, hız, basınç ve sıcaklık simülasyonları yapıldı.

3.2.5. Deneysel çalışma

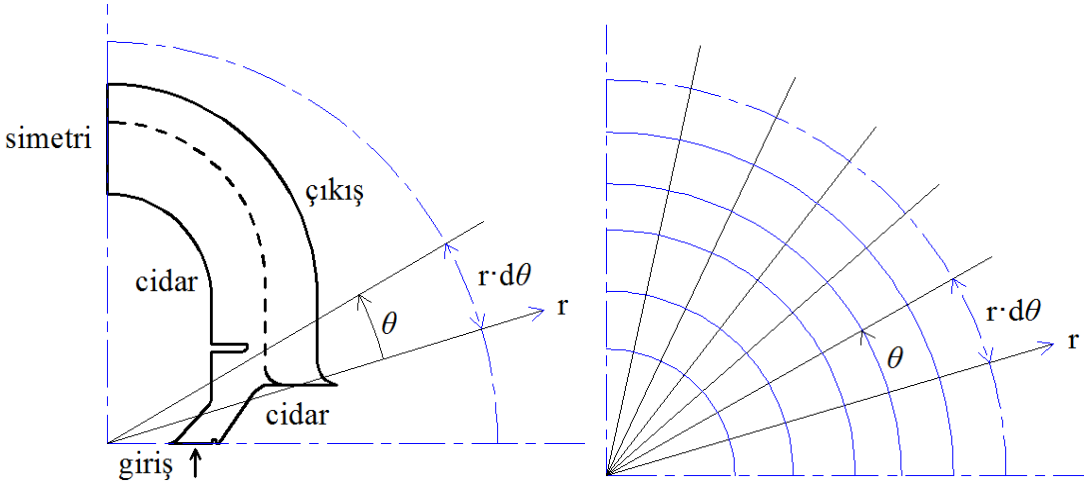
Deneysel çalışmada ısı değiştiricisine ve ön yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklıkları, baca gazının ön yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları ve karışım oranına bağlı olarak emisyon değerleri ölçüldü. Sistem, ısı değiştirici ve yoğuşturucu verimi ve ısı kapasiteleri hesaplandı. Deney ünitesisinin resimleri **Şekil 3.22**, **Şekil 3.23**, **Şekil 3.24**, **Şekil 3.26** ve **Şekil 3.27'**de gösterilmiştir.

3.2.6. Sonuçların değerlendirilmesi

Teorik ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması yapıldı.

4. TEORİ

Yarı küresel metal matrix yakıcının çözüme konu olan simetrisi ve iki boyutlu küresel koordinat sistemi **Şekil 4.1**'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yarı küresel metal matrix yakıcının iki boyutlu küresel koordinat sisteminde gösterimi

Problemin akış ve ısıl davranışlarını inceleyebilmek için süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Bu denklemlerin çözülmesiyle hız, basınç ve sıcaklık dağılımları belirlenecektir.

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kontrol hacim tekniği kullanılarak cebirsel denkleme dönüştürüldükten sonra nümerik olarak çözülmektedir. Çözüm uygulanacak bölge (domain) **Şekil 4.2'**de görüldüğü gibi sonlu kontrol hacim kümelerine ayrıştırılır. Süreklilik, momentum ve enerji için genel korunum (transport) denklemleri her bir kontrol hacmi üzerinde çözülmektedir.

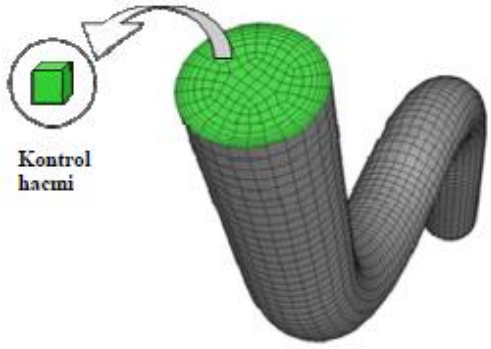
Ansys Fluent programında çözüm uygulanacak denklem setleri (transport) eşitliği genel bir ifade ile aşağıdaki gibi verilir (Anonymous, 2006).

$$\begin{bmatrix}\text{kontrol hacmi}\\ \text{içindeki Ø'nin}\\ \text{zamana bagli}\\ \text{degisim oranı}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\text{kontrol hacmi}\\ \text{içindeki Ø'nin}\\ \text{konveksiyon}\\ \text{nedeniyle}\\ \text{akisi}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\text{kontrol hacmi}\\ \text{içindeki Ø'nin}\\ \text{difizyon nedeniyle}\\ \text{net akisi}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\text{kontrol hacmi}\\ \text{içindeki Ø'nin}\\ \text{net üretimi}\end{bmatrix} \qquad (4.1)$$

Genel transport denklemi;

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}}_{\text{zamana bağlı değişim}} + \underbrace{div\,(\rho\phi u)}_{\text{konveksiyon terimi}} = \underbrace{div\,(\Gamma\, grad\ \phi)}_{\text{difüzyon terimi}} + \underbrace{S_\phi}_{\text{kaynak terimi}} \qquad (4.2)$$

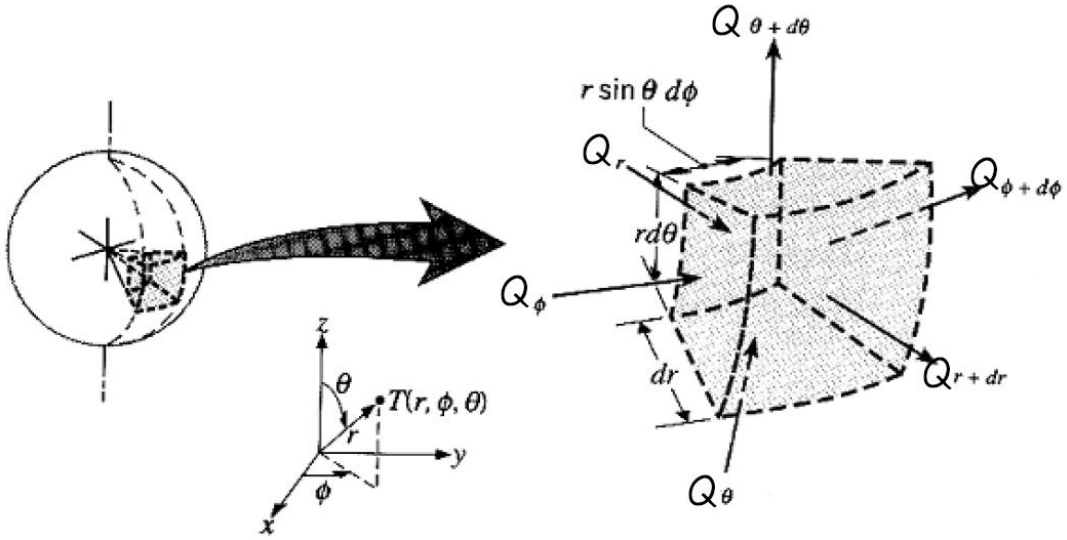
Burada *Ø* genel akış değişkeni, *u* hız, *ρ* yoğunluk, *Γ* difüzyon katsayısı, *t* zaman ve *SØ* kaynak terimdir.



Şekil 4.2. Domain'in sonlu kontrol hacim kümelerine ayrıştırılmasının tasviri

4.2 eşitliğinin sonlu sayıda kontrol hacmi üzerine integre edilmesi ile cebirsel denklem takımları oluşturulur.

Şekil 4.3'de küresel koordinat sistemi ve kontrol hacim elemanının küresel koordinat sistemlerindeki hücre yapısı gösterilmiştir (Incropera ve ark., 2001).



Şekil 4.3. Küresel koordinatlarda hücre yapısı

4.1. Matematik Model

4.1.1. Süreklilik denklemi

Süreklilik denklemi, kontrol hacmine net kütle giriş-çıkışının sıfır olduğunu ifade eder ve genel hali aşağıdaki gibidir (Rohsenow ve ark., 1985),

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2.v_r)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(v_\theta\sin\theta)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\phi}{\partial\phi}=0 \qquad (4.3)$$

Burada, v_r, v_θ, $v_\varnothing$ sırasıyla r, θ ve $\varnothing$ doğrultusundaki akışkan hız bileşenlerini göstermektedir.
Simetriden dolayı $\varnothing$ açısı yönündeki boyut kalkar ve denklem aşağıdaki hali alır.

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2.v_r)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}(v_\theta\sin\theta)=0 \qquad (4.4)$$

4.1.2. Enerji denklemi

Küresel koordinatlarda enerji denkleminin genel hali aşağıdaki gibidir (Rohsenow ve ark., 1985),

$$\begin{aligned}
&\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_r\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial T}{\partial\theta}+\frac{v_\phi}{r\sin\theta}\frac{\partial T}{\partial\phi}\right)\\
&=k\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial T}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 T}{\partial\phi^2}\right]\\
&+2\mu\left\{\left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2+\left(\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial\theta}+\frac{v_r}{r}\right)^2+\left(\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\phi}{\partial\phi}+\frac{v_r}{r}+\frac{v_\theta\cot\theta}{r}\right)^2\right\}\\
&+\mu\left\{\left[r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v_\theta}{r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial\theta}\right]^2+\left[\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v_r}{\partial\phi}+r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v_\phi}{r}\right)\right]^2+\left[\frac{\sin\theta}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\frac{v_\phi}{\sin\theta}\right)+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\theta}{\partial\phi}\right]^2\right\}
\end{aligned} \qquad (4.5)$$

Burada, ρ akışkanın yoğunluğunu, u_r, u_θ ve $v_\varnothing$ sırasıyla r, θ ve $\varnothing$ doğrultusundaki akışkan hız bileşenlerini, k ısı iletim katsayısını, T sıcaklığını, c_p özgül ısıyı, μ dinamik viskoziteyi göstermektedir.

Bu denklemde simetriden dolayı $\emptyset$ ile ilgili ifadeler kalkar ve denklem şu hali alır.

$$\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial t}+v_r\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta}\right)=k\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial T}{\partial\theta}\right)\right]$$
$$+2\mu\left\{\left(\frac{\partial v_r}{\partial r}\right)^2+\left(\frac{1}{r}\frac{\partial\theta}{\partial\theta}+\frac{v_r}{r}\right)^2+\left(\frac{v_r}{r}+\frac{v_\theta\cot\theta}{r}\right)^2\right\}+\mu\left\{\left[r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v_\theta}{r}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial\theta}\right]^2\right\} \quad (4.6)$$

4.1.3. Momentum denklemi

F=ma Newton'un ikinci hareket yasasından yola çıkarak, kontrol hacmini etkileyen kuvetlerin toplamı, kontrol hacmi içindeki momentum değişimine eşit olmalıdır. Momentum (Navier Stokes) denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir (Anonymous, 2006),

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}=-\nabla p+\mu\nabla^2 u+f \quad (4.7)$$

Burada;

ρ = akışkanın yoğunluğu

t = zaman

u = akış hızı

p = basınç

μ = dinamik vizkozite

f = yerçekimi ve kütle kuvvetleri

Küresel koordinatlarda momentum denklemi aşağıdaki gibi yazılır (Rohsenow ve ark., 1985),

r doğrultusu için,

$$\rho\left(\frac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_r}{\partial\theta}+\frac{v_\theta}{r\sin\theta}\frac{\partial v_r}{\partial\phi}-\frac{{v_\theta}^2+{v_\phi}^2}{r}\right)$$
$$=-\frac{\partial P}{\partial r}+\mu\left(\nabla^2 v_r-\frac{2v_r}{r^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_\theta}{\partial\theta}-\frac{2v_\theta\cot\theta}{r^2}-\frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial v\phi}{\partial\phi}\right)+\rho g_r \quad (4.8)$$

θ doğrultusu için,

$$\rho\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_\theta}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta}+\frac{v_\phi}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\theta}{\partial \phi}+\frac{v_r v_\theta}{r}-\frac{{v_\phi}^2\cot\theta}{r}\right)$$
$$=-\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial \theta}+\mu\left(\nabla^2 v_\theta+\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_r}{\partial \theta}-\frac{v_\theta}{r^2\sin^2\theta}+\frac{2\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial v\phi}{\partial \phi}\right)+\rho g_\theta \qquad (4.9)$$

$\emptyset$ doğrultusu için,

$$\rho\left(\frac{\partial v_\phi}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_\phi}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_\phi}{\partial \theta}+\frac{v_\phi}{r\sin\theta}\frac{\partial v_\phi}{\partial \phi}+\frac{v_r v_\phi}{r}+\frac{v_\theta v_\phi}{r}\cot\theta\right)$$
$$=-\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial P}{\partial \phi}+\mu\left(\nabla^2 v_\phi+\frac{2}{r^2\sin\theta}\frac{\partial v_r}{\partial \phi}-\frac{v_\phi}{r^2\sin^2\theta}+\frac{2\cos\theta}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial v\theta}{\partial \phi}\right)+\rho g_\phi \qquad (4.10)$$

Simetriden dolayı bu denklemler aşağıdaki şekilde sadeleşirler.

r doğrultusu için,

$$\rho\left(\frac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \theta}-\frac{{v_\theta}^2}{r}\right)$$
$$=-\frac{\partial P}{\partial r}+\mu\left(\nabla^2 v_r-\frac{2v_r}{r^2}-\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta}-\frac{2v_\theta\cot\theta}{r^2}\right)+\rho g_r \qquad (4.11)$$

θ doğrultusu için,

$$\rho\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_\theta}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta}+\frac{v_r v_\theta}{r}\right)$$
$$=-\frac{1}{r}\frac{\partial P}{\partial \theta}+\mu\left(\nabla^2 v_\theta+\frac{2}{r^2}\frac{\partial v_r}{\partial \theta}-\frac{v_\theta}{r^2\sin^2\theta}\right)+\rho g_\theta \qquad (4.12)$$

4.1.4. Türbülans modeli

Hareket denklemlerinin matematiksel olarak son haline gelmesi için, ortalama hız gradyanı cinsinden türbülans gerilmesini (Reynolds gerilmesi) modellemek amacıyla yarı ampirik birçok formülasyon geliştirilmiştir. Bu modellere türbülans modelleri denir. Türbülans modelinin seçiminde problemin sınıfına, doğruluk seviyesine, mevcut hesaplama kaynaklarına, simülasyon için mevcut zamana bakılır.

Ansys Fluent içinde verilen türbülans modelleri incelendiğinde standart k-ε modelinin bu çalışma için en uygun türbülans modeli olduğu görülmektedir. Çünkü Standart k-ε modeli ısı transferi simülasyonlarında ve endüstriyel akış problemlerinde doğru sonuçlar vermesi açısından türbülans modelleri arasında kullanılan en yaygın modeldir.

4.1.4.1. Standart k-ε modeli

k-ε modelinin yapısında akış tam gelişmiş türbülanslı şartlarda farz edilerek, moleküler viskozitenin etkileri ihmal edilir, bu nedenle k-ε modeli sadece tam gelişmiş akışların çözümüne uygun bir model olarak dikkate alınır.

k-ε modeli ısı iletimi ve kütle transferi için (Rohsenow ve ark., 1985),

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^2.v_r(\rho E+P)\right]+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left[v_\theta\sin\theta(\rho E+P)\right] \tag{4.13}$$
$$=\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^2\left(k+\frac{C_p\mu_t}{\Pr t}\right)\frac{\partial T}{\partial r}+u_\theta(\tau_{r\theta})_{eff}\right]+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left[\sin\theta\left(k+\frac{C_p\mu_t}{\Pr t}\right)\frac{\partial T}{\partial r}+u_r(\tau_{\theta r})_{eff}\right]+Sh$$

şeklinde yazılabilir. Burada, ρ akışkanın yoğunluğunu, v_r ve, v_θ sırasıyla r ve θ doğrultusundaki akışkan hız bileşenlerini, k ısı iletim katsayısını, T sıcaklığını, c_p özgül ısıyı, μ dinamik viskoziteyi ve r kürenin yarı çapını göstermektedir.

4.1.5. Radyasyon modeli

P-1 radyasyon modeli için denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Anonymous, 2006).

$$q_r = -\frac{1}{3(\alpha + \sigma_S) - C\sigma_S}\nabla G \tag{4.14}$$

Burada,

α , absorbsiyon katsayısı

σ_S , dağılım katsayısı

G , ışınım katsayısı ve

C , lineer faz fonksiyon katsayısıdır.

Γ parametresi aşağıdaki gibi tanımlanarak yerine konursa,

$$\Gamma = \frac{1}{3(\alpha + \sigma_S) - C\sigma_S} \tag{4.15}$$

$$q_r = -\Gamma\nabla G \tag{4.16}$$

G parametresi için transport denklemi,

$$\nabla.(\Gamma\nabla G) - aG + 4a\sigma T^4 = SG \tag{4.17}$$

Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti ve SG radyasyon kaynağıdır.

4.2. ANSYS FLUENT Programı

Kısmı diferansiyel denklemleri bilgisayarlarda çözmek mümkün değildir. Bu diferansiyel denklemleri ancak lineer cebirsel denklemlere dönüştürerek çözmek mümkündür ve bu denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürmek için bir çok yöntem mevcuttur. Simülasyon için kulllanılan ANSYS FLUENT programında kısmı diferansiyel denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürmek için sonlu hacimler metodu kullanılmaktadır.

Akışkanlar dinamiği ve ısı transferi problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan nümerik yöntemler; sonlu farklar, sonlu elemanlar, sınır elemanları ve enerji

denge metotlarıdır. Sonlu hacimler metodu ise sonlu farklar yönteminin özel olarak geliştirilmiş bir halidir.

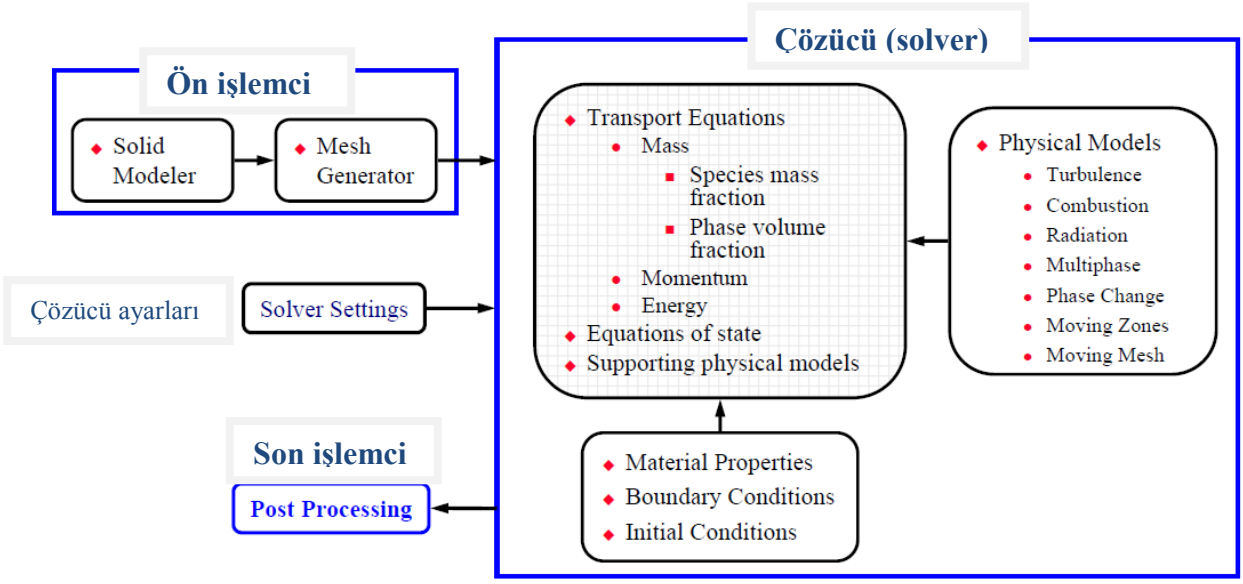
Sonlu hacimler yönteminde önce akışı temsil eden korunum denklemleri integre edilir daha sonra integre edilmiş denklemlerde taşınım, iletim ve kaynak terimleri gibi akışı temsil eden terimler değişik yaklaşımlarla (sonlu farklar) yerine konur ve integral formundaki denklemler cebirsel denklemlere dönüştürülerek iteratif yöntemlerle çözülür.

ANSYS FLUENT programı **Şekil 4.4**'de gösterildiği gibi ön işlemci (pre processing), çözücü (solver) ve son işlemci (post processing) kısımlarından oluşmaktadır (Anonymous, 2006).

Ön işlemci; bu çalışmada ön işlemci olarak Gambit programı kullanıldı. Ön işlemcide geometri oluşturularak sonlu hacimler metoduna göre ağlara (hücrelere) ayrılarak sınır şartları belirlenir.

Çözücü; çözücüde sonlu hacimler metodu kullanılarak temel denklemler çözülür.

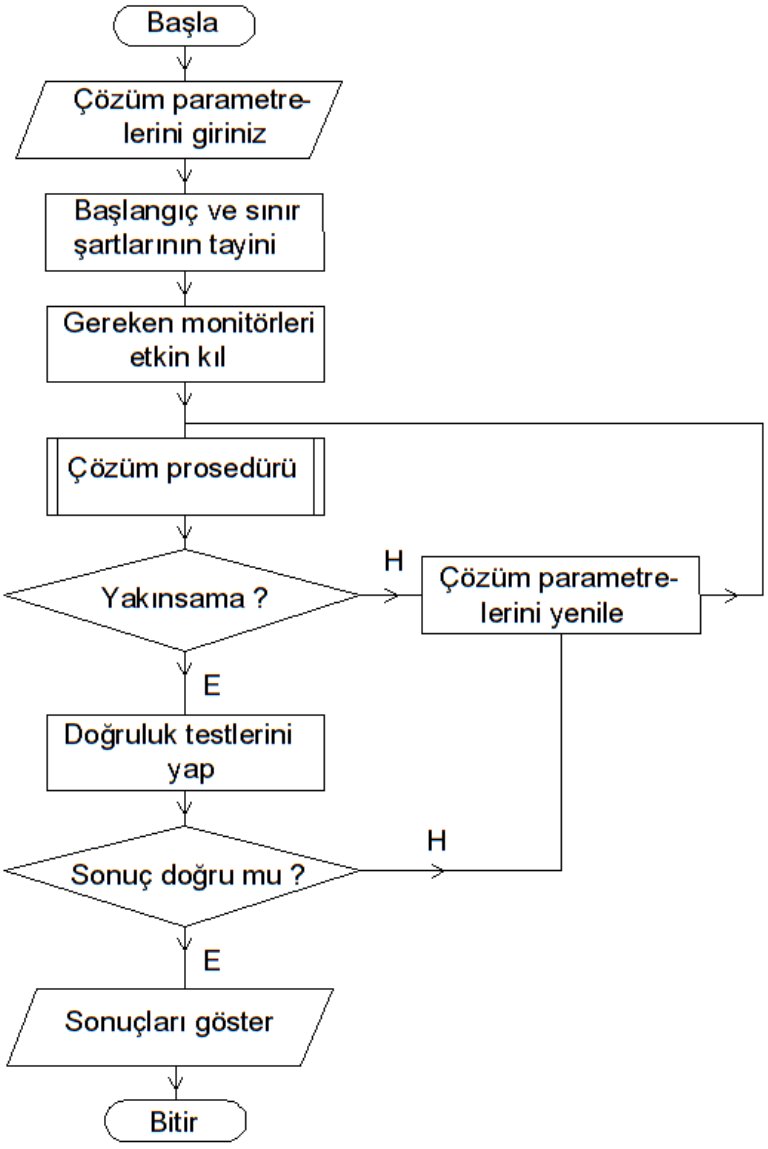
Son işlemci; son işlemcide bir önceki aşamada elde edilen sonuçlar düzenlenerek yorumlanır ve değerlendirilir.



Şekil 4.4. ANSYS FLUENT programının çalışma adımları

4.3. Sistemde Kullanılan Yarı Küresel Formda Metal Matrix Yakıcının Simülasyonu

Yarı küresel metal matrix yakıcı için Ansys Fluent 6.3.26 programı ile 2 boyutlu akış ve yanma simülasyonları yapıldı. **Şekil 4.5**'de ANSYS FLUENT programının çözümlemede kullanılan algoritması gösterilmiştir (Anonymous, 2006).



Şekil 4.5. ANSYS FLUENT programının algoritması

Simülasyon aşağıdaki adımlardan oluşturuldu:

1- Katı model oluşturuldu

2- Oluşturulan modele Gambit programı ile mesh atıldı
3- Mesh'li model, Ansys Fluent programına transfer edilerek çözüme uyarlandı
4- Sistem için şartlar ve model belirlenerek simülasyon yapıldı
Yapılan simülasyonlarda yoğunluk, viskozite, sıcaklık, basınç ve hız dağılımı ayrı ayrı incelendi.

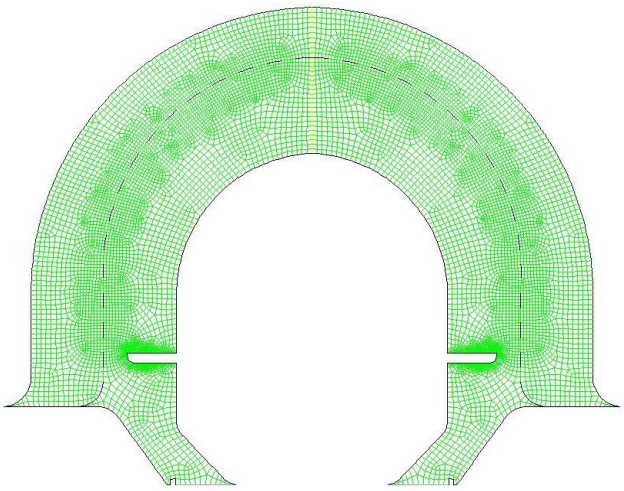
Ansys Fluent programında Basınç Esaslı Çözüm (Pressure Based Solution-PBS) ve Yoğunluk Esaslı Çözüm (Density Based Solution-DBS) olmak üzere iki çözüm seçeneği bulunmaktadır. Basınç Esaslı Çözüm, genellikle düşük hızlardaki akışlar için ve Yoğunluk Esaslı Çözüm ise yüksek hızlardaki akışlar için kullanılmaktadır. Hızların düşük olması nedeniyle, bu çalışmada yapılan çözümlerde Basınç Esaslı Çözüm yöntemi kullanıldı. Ansys Fluent programında türbülans modelleri olarak, k-ε ve Sparlart-Allmaras modelleri olmak üzere çeşitli türbülans modelleri vardır. Türbülans modeli seçimi, çözümleme için gerekli zamana, çözümde istenen doğruluk oranına, çözümlemek için yeterli ekipman (bilgisayar kapasitesi) gibi bir çok değişkene bağlıdır. Ansys Fluentte kimyasal reaksiyonlar ve karışımlar için,

- Premixed combustion (ön karışımlı yanma)
- Species transport (transport türü modeli)
- Non-premixed combustion (ön karışımsız yanma)
- Partially premixed combustion (kısmi ön karışımlı yanma)

modelleri bulunmaktadır. Burada reaksiyona giren gazları belirleme seçeneğini sunanması nedeniyle, kimyasal reaksiyonlar ve karışımlar için transport türü (species transport) modeli kullanıldı.

4.3.1. Katı model oluşturma ve mesh atma

Gambit programında sistemin katı modeli oluşturuldu ve modelin teknik ölçüleri **Ek-2**'de verildi. Model üzerinde sınır şartları tanımlanarak, modele mesh atıldı. **Şekil 4.6**'de gösterilen yakıcı, 3180 adet "Quadrilateral" tipi (dört köşeli) elementten oluşturuldu.



Şekil 4.6. Quad tipi mesh elementi ile oluşturulan yakıcı modeli

Mesh atma işlemi bittikten sonra, model, ANSYS FLUENT programına transfer edilerek çözüm yapıldı.

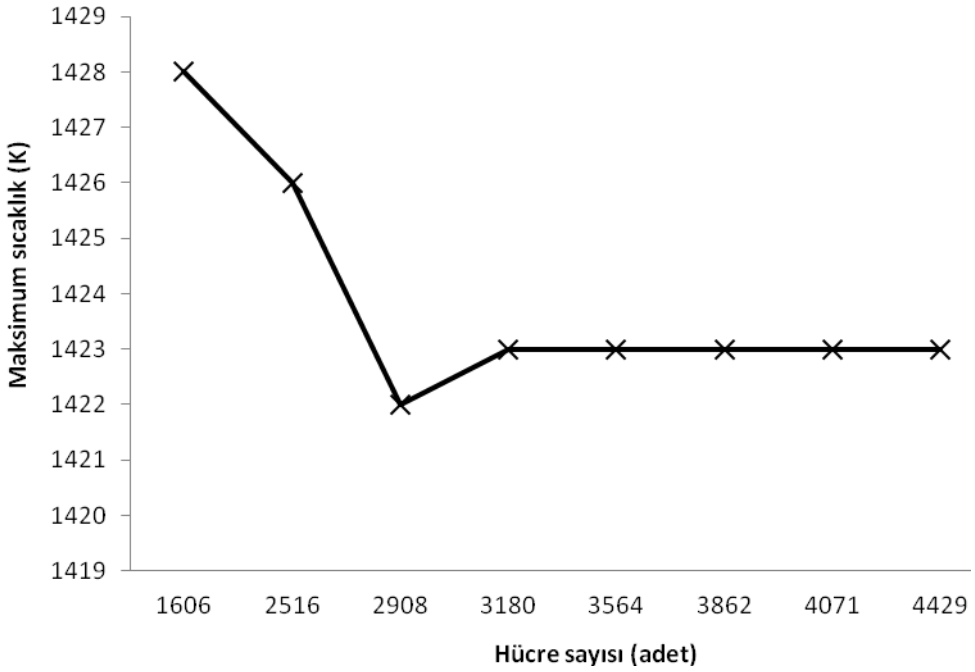
4.3.2. Simülasyonun doğruluğunun kontrolü

CFD yöntemleri ile elde edilen simülasyon sonuçlarının doğruluğundan emin olmak için aşağıda verilen kontroller yapılarak olumlu sonuç alınması şarttir.

4.3.2.1. Çözümün hücre sayısından bağımsızlığı

Simülasyon sonucunda elde edilen sonucun hücre (mesh) sayısından bağmsız olması gerekir. Bu kontrolü yapabilmek için belirli sayıdaki hücre artışı sağlanarak elde edilen maksimum sıcaklık değerleri karşılaştırılarak değişimin yüksek değerlerde olmadığı hücre sayısı çözüm için seçilir.

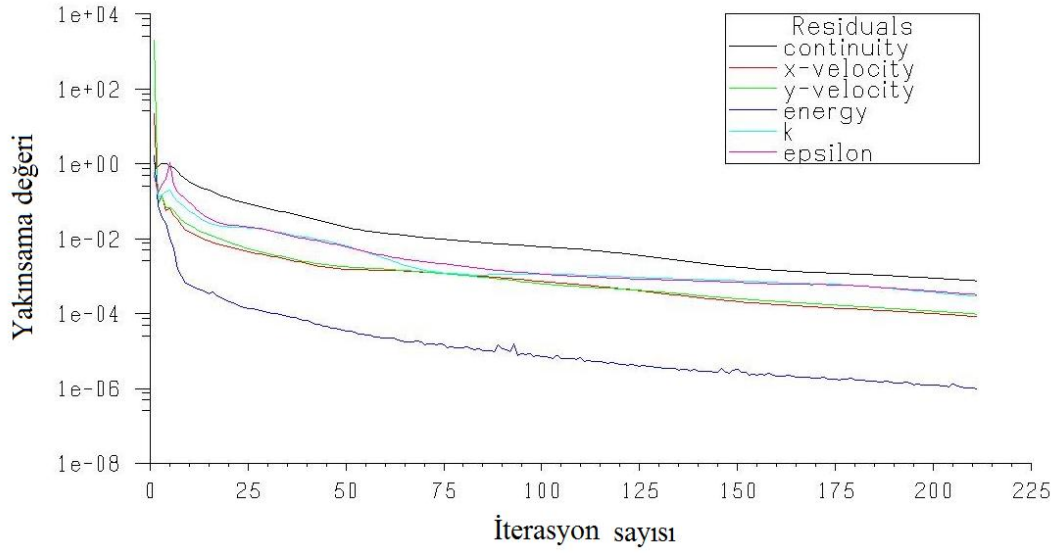
Bu çalışmada **Şekil 4.7**'de görüldüğü gibi 1606 hücre sayısı ile çözüme başlandı ve modelin hücre sayısı 4429 değerine kadar artırılarak karşılaştırma yapıldı. yapılan karşılaştırmada 3180 hücre sayısından itibaren maksimum sıcaklıkta fazla değişim görülmediği için simülasyon için bu sayı seçildi.



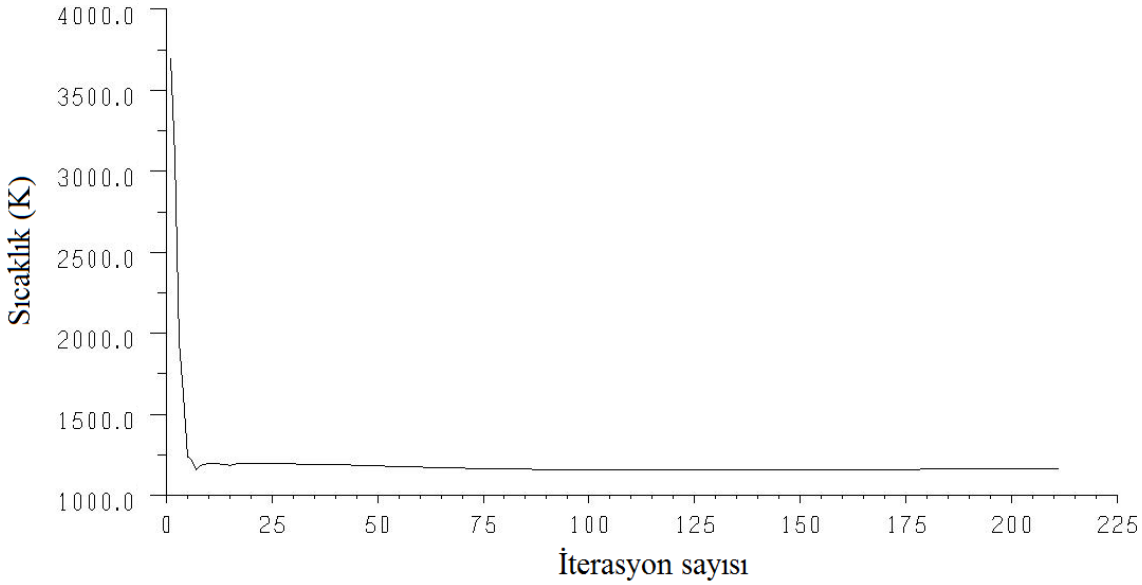
Şekil 4.7. Maksimum sıcaklığın hücre sayısına göre değişimi

4.3.2.2. Çözümün yakınsaması

Çözümün yakınsaması elde edilen iterasyon grafiklerinin kontrolu ve belirlenen yakınsaklık kriteri ile kontrol edilir. **Şekil 4.8**'de iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen yakınsama değerleri gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yakınsama değerlerinde monoton ve değişken bir azalma kayıt edildiğinden çözümün yakınsadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca **Şekil 4.9**'de iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen sıcaklık değişmi gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi 100'üncü itrasyondan sonra sıcaklıkta bir değişim kayıt edilmemiştir.



Şekil 4.8. İterasyon sayısına bağlı olarak değişkenlerin yakınsama değerleri

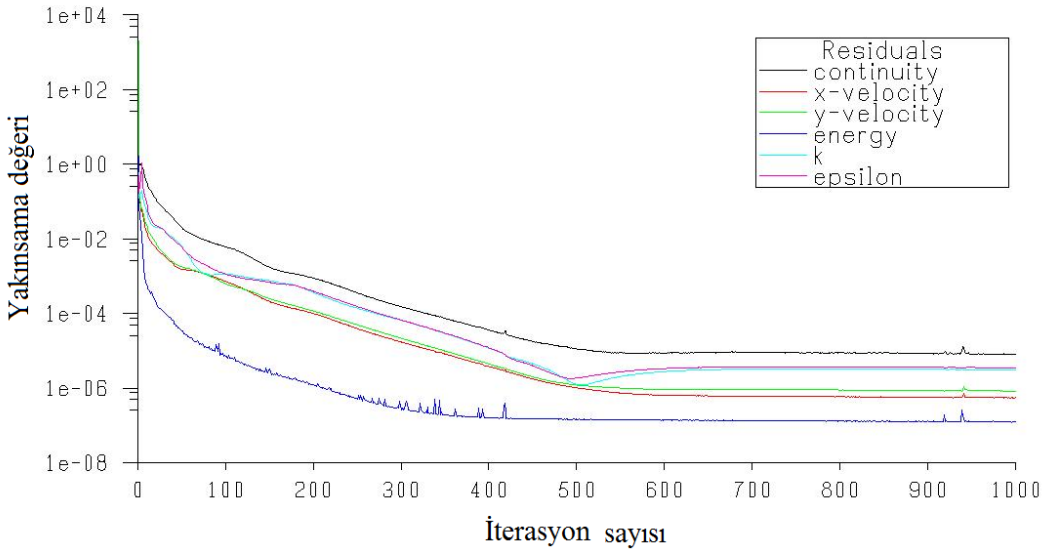


Şekil 4.9. İterasyon sayısına bağlı olarak sıcaklık değişimi

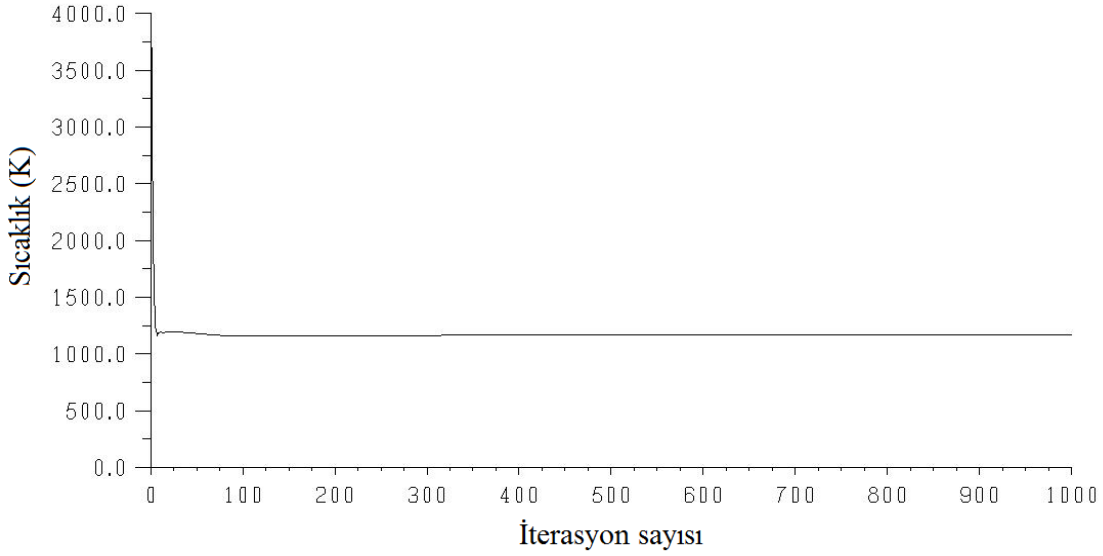
Çözüm ayrıca, belirlenen yakınsama kriteri ile kontrol edilir. Burada enerji için yakınsama değeri olarak $1{,}0x10^{-6}$ ve diğer değişkenler için $1{,}0x10^{-4}$ belirlenmişti, **Şekil 4.8**'de görüldüğü gibi belirlenen bu yakınsama kriterleri sağlandı.

4.3.2.3. Çözümün iterasyon sayısından bağımsızlığı

Çözümün iterasyon sayısından bağımsızlığını anlamak için yakınsama kriterleri ve itearasyon sayısı değiştirilerek yeniden çözüm yapılır. Burada amaç yakınsamış çözümün yakınsamasının devam ettiğini gözlemlemektir. 211 iterasyonda yakınsamış problemin yakınsama kriteri bütün değişkenler için $1{,}0x10^{-10}$ olarak değiştirilerek 1000 iterasyon ile çözüm yapıldı ve **Şekil 4.10.** ve **Şekil 4.11.** elde edildi. Şekillerde görüldüğü gibi değişkenlerin değerleri sürekli küçüldüğünden ve sıcaklık belli bir değerden sonra değişmediğinden dolayı çözüm itrasyon sayısından bağımsızdır.



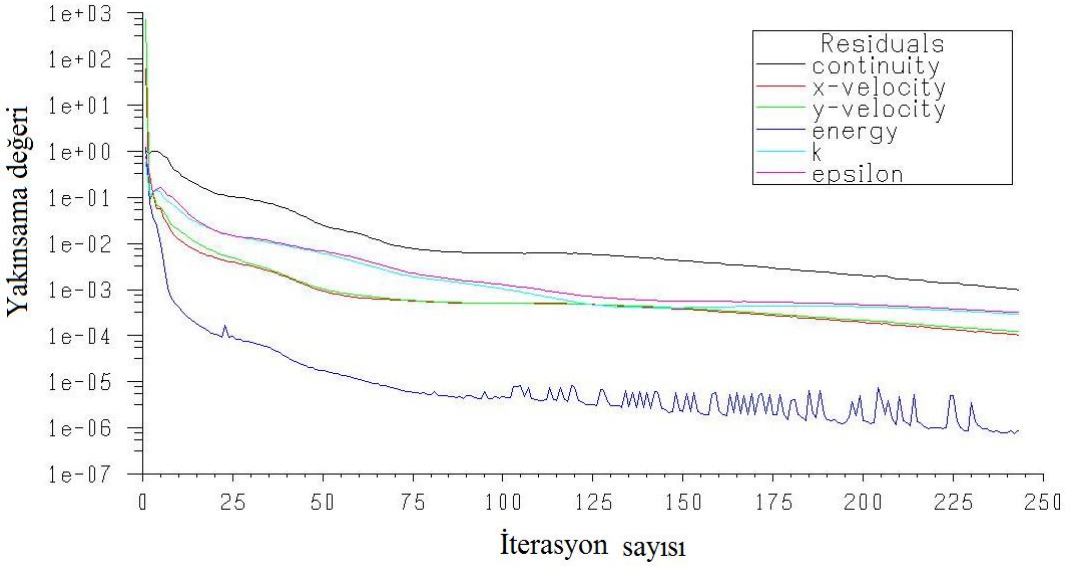
Şekil 4.10. İterasyon sayısına bağlı olarak değişkenlerin değerleri



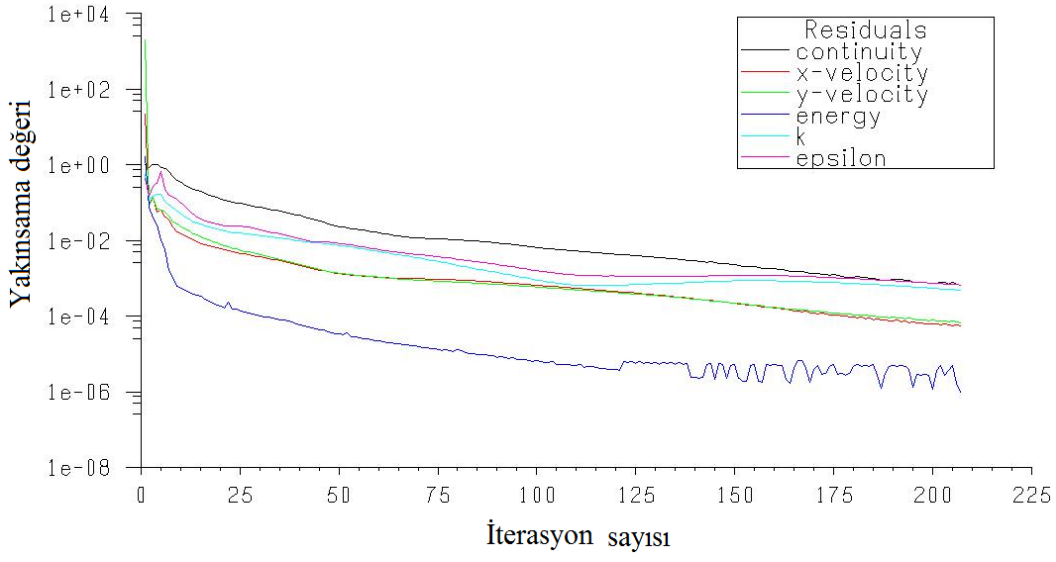
Şekil 4.11. İterasyon sayısına bağlı olarak sıcaklık değişimi

4.3.2.4. Seçilen türbülans türünün doğruluğu

Şekil 4.8'de iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen değişkenlerin yakınsama değerleri gösterilmişti. Burada elde edilen sonuç "standart k-ε" türbülans türü kullanılarak elde edildi. **Şekil 4.12**'de iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen değerlerinin "Realizable k-ε" türbülans türü kullanılarak elde edilen grafiği ve **Şekil 4.13**'de iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen değerlerinin "RNG" türbülans türü kullanılarak elde edilen grafiği gösterildi.



Şekil 4.12. İterasyon sayısına bağlı olarak değişkenlerin değerleri ("Realizable k-ε" türbülans türü)



Şekil 4.13. İterasyon sayısına bağlı olarak değişkenlerin değerleri ("RNG" türbülans türü)

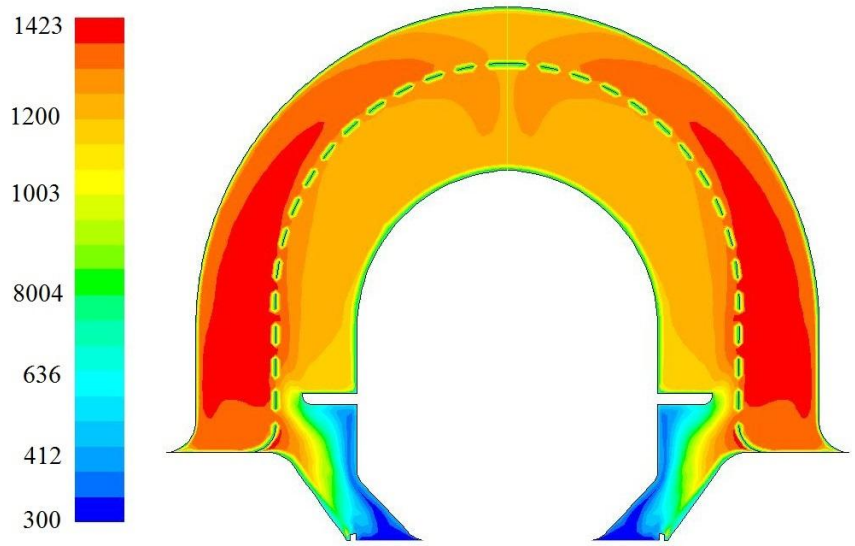
Şekil 4.8, Şekil 4.11 ve **Şekil 4.12** karşılaştırıldığında **Şekil 4.8** ile gösterilen iterasyon sayısına bağlı olarak elde edilen değerleri "standart k-ε" türbülans türü kullanıldığında diğer "Realizable" ve "RNG" türbülans türlerine göre daha monoton bir azalma göstermiştir. Bu nedenle çözümde "standart k-ε" modeli kullanılmıştır.

4.3.3. Simülasyon

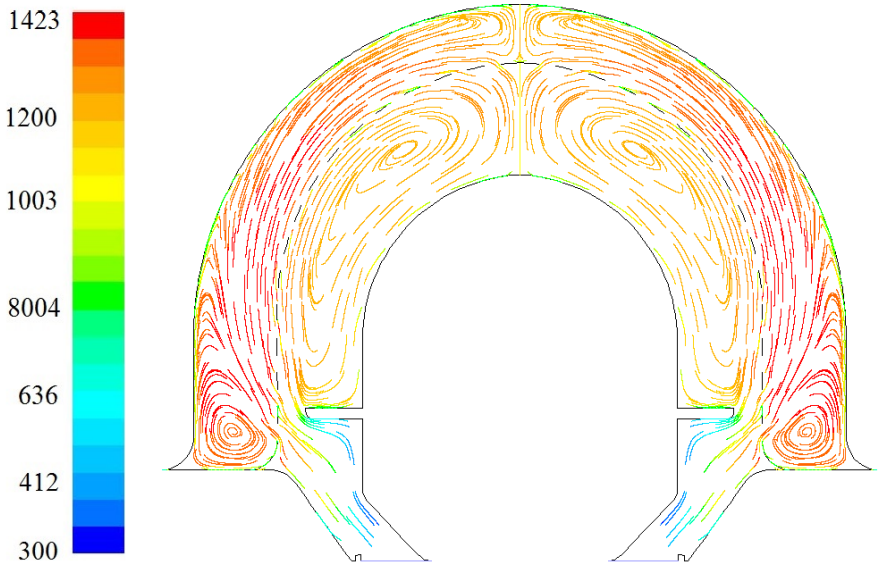
Gambit programı ile mesh atılan modele ANSYS FLUENT programında matematik model ve sistem şartları uygulandı ve sonlu hacimler metodu kullanılarak simülasyon yapıldı. Simülasyon aşağıdaki adımlardan oluşturuldu.

- Modelin ölçü birimi (m) seçildi,
- Sistemin sınır şartları belirlendi,
- Malzeme olarak metan-hava karışımı kullanıldı,
- Çözüm için PBS seçildi,
- İmplict (kapalı) yöntem kullanıldı,
- Çözümün uygulanacağı model olarak iki boyut (2D) alındı,
- Enerji modeli seçildi,
- Türbülans model olarak, k-ε modeli seçildi
- Radyason modeli olarak kolay kullanımı ve kabul edilebilir sonuçlar verdiği için P1 modeli seçildi.
- Karışım modeli olarak transport türü (species transport) modeli seçildi ve
- Sistemin diğer parametreleri belirlenerek akış simülasyonu yapıldı.

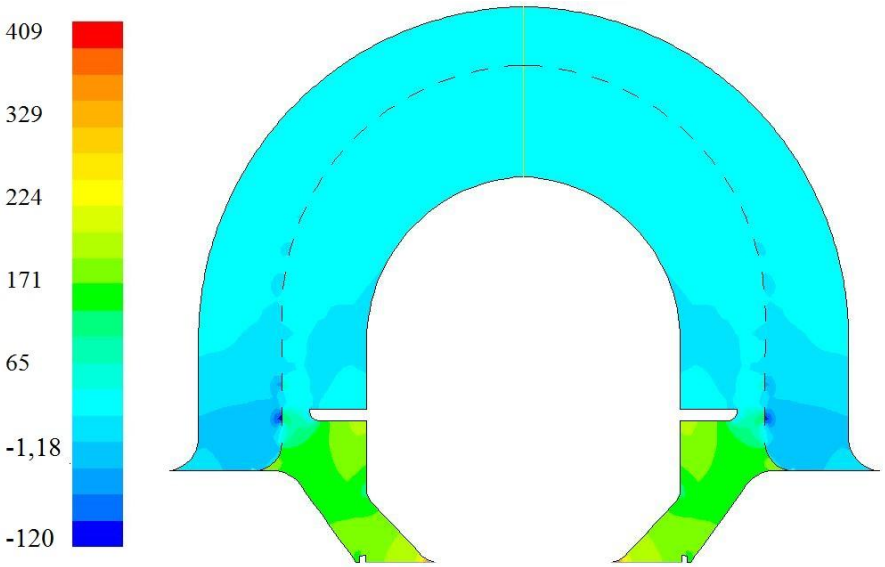
ANSYS FLUENT'te yapılan simülasyonun özeti **Ek-3**'de verilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen grafik ve resimler aşağıda verilmiştir.



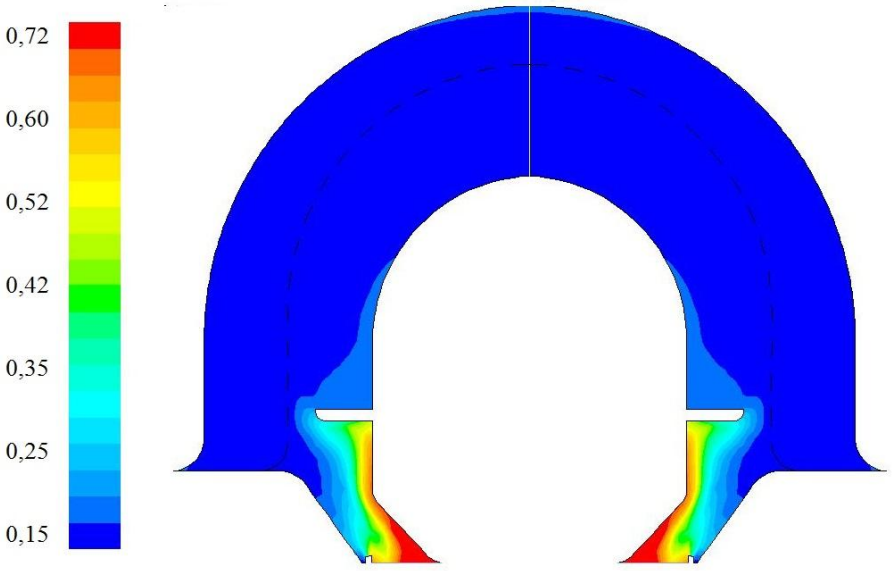
Şekil 4.14. Yarı küresel yakıcının sıcaklık dağılımı (K)



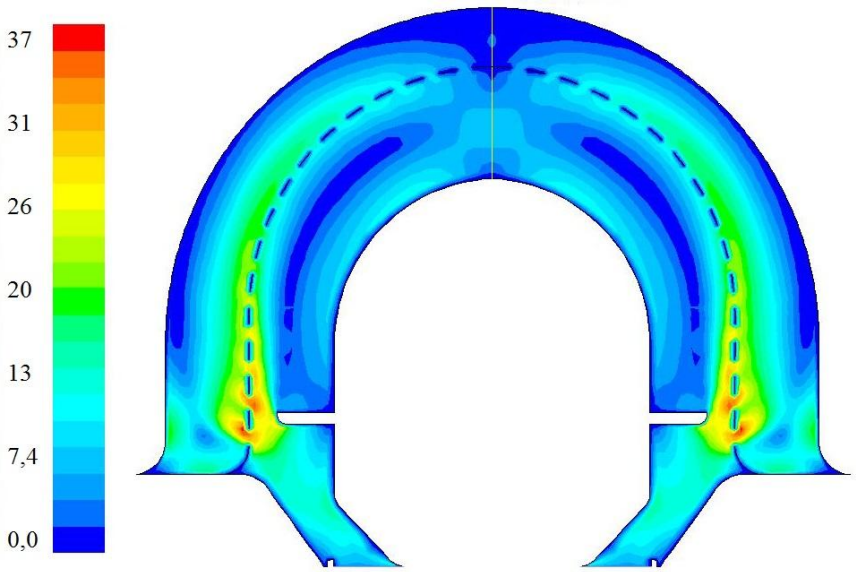
Şekil 4.15. Yarı küresel yakıcının sıcaklık dağılımının akış çizgileri ile gösterimi (K)



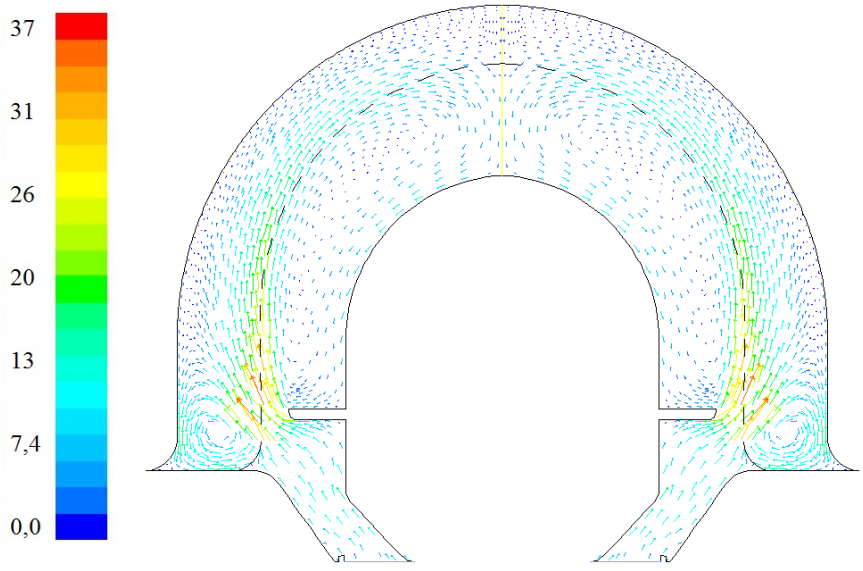
Şekil 4.16. Yarı küresel yakıcının basınç dağılımı (paskal)



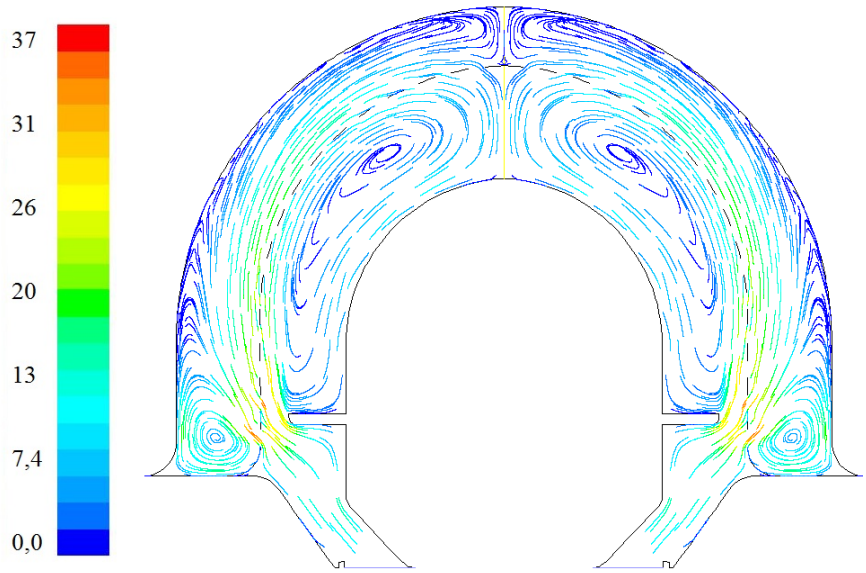
Şekil 4.17. Yarı küresel yakıcının yoğunluk dağılımı (kg/m^3)



Şekil 4.18. Yarı küresel yakıcının hız dağılımı (m/s)



Şekil 4.19. Yarı küresel yakıcının hız dağılımının vektörler ile gösterimi (m/s)



Şekil 4.20. Yarı küresel yakıcının hız dağılımının akış çizgileri ile gösterimi (m/s)

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma bölüm 3.1.4.'de bahsedildiği gibi Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Laboratuvarında gerçekleştirildi. Deneysel çalışmada yakıt olarak LPG gazı ve ısı transfer akışkanı olarak su kullanıldı. Sensörler ile okunan değerler data logger aracılığıyla bilgisayara aktarılarak kayıt edildi.

Deneysel çalışmada ısı değiştiricisine ve ön yoğuşturucuya su giriş ve çıkış sıcaklıkları, baca gazının ön yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklıkları ve karışım oranına bağlı olarak emisyon değerleri, yanma ve sistem verimi ölçüldü.

Sistem fan motoru, ateşleme bujisi, sirkülasyon pompasının çalışması ile birlikte çalışmaktadır. Veriler bilgisayar ekranında anlık olarak okunarak ve 1'er dakika ara ile kaydedildi.

Farklı zaman aralıklarında ve farklı akışkan debilerinde olmak üzere toplamda 7 deney yapıldı. Yapılan deneylerde debi ve ölçüm zaman aralıkları aşağıda verilmiştir.

- Deney – 1 : 0,125 kg/s debi ile 10 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 2 : 0,125 kg/s debi ile 19 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 3 : 0,455 kg/s debi ile 20 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 4 : 0,455 kg/s debi ile 40 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 5 : 0,455 kg/s debi ile 60 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 6 : 0,274 kg/s debi ile 40 dakika zaman aralığında yapıldı
- Deney – 7 : 0,176 kg/s debi ile 30 dakika zaman aralığında yapıldı

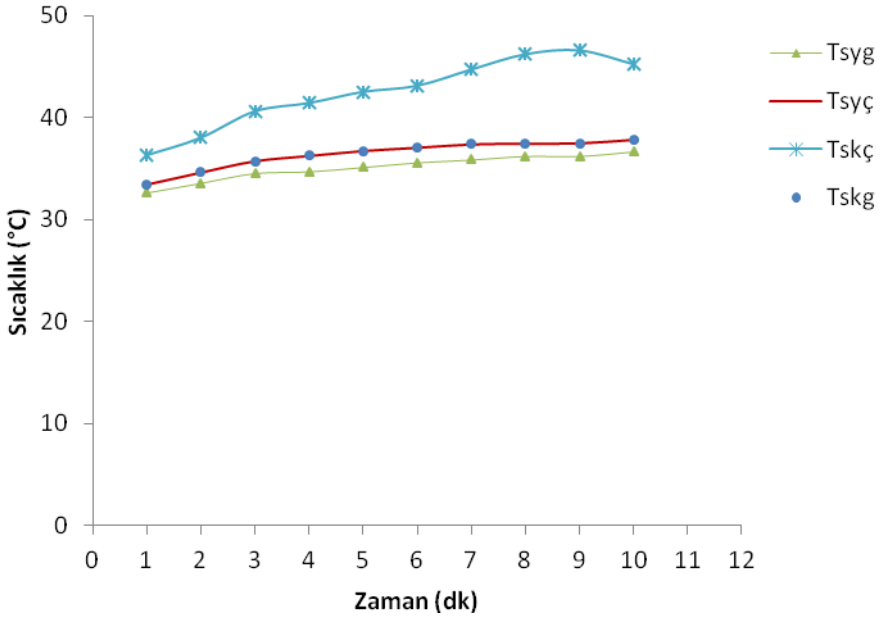
Deneyler sırasında hava yakıt oranını dolayısıyla yakıt miktarını sabit tutmaya özen gösterilmesine rağmen, yakıt açma düzeneğindeki ayarlar nedeni ile, küçük sapmalar meydana geldi.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge-1, Çizelge-2, Çizelge-3, Çizelge-4, Çizelge-5, Çizelge-6 ve Çizelge-7'de gösterildi. Yapılan her deneyin sonuçları ise Şekil 5.1'den Şekil 5.21'e kadar, ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları, yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları ve kazan, sistem ve yanma verimi grafik olarak gösterildi.

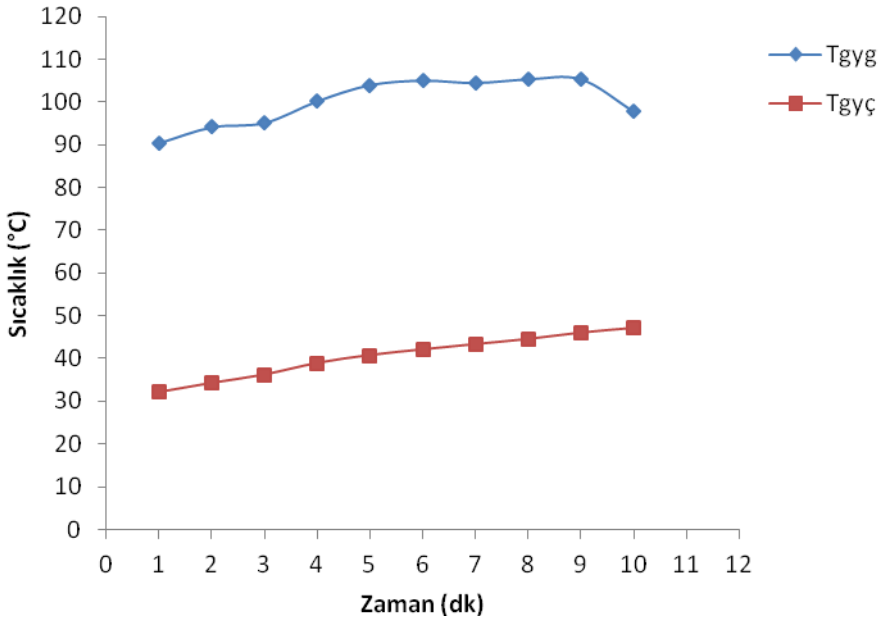
Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de toplam 7 deneyin, ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları ortalaması ve toplam 7 deneyin, yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları ortalaması gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney - 1 sonuçları

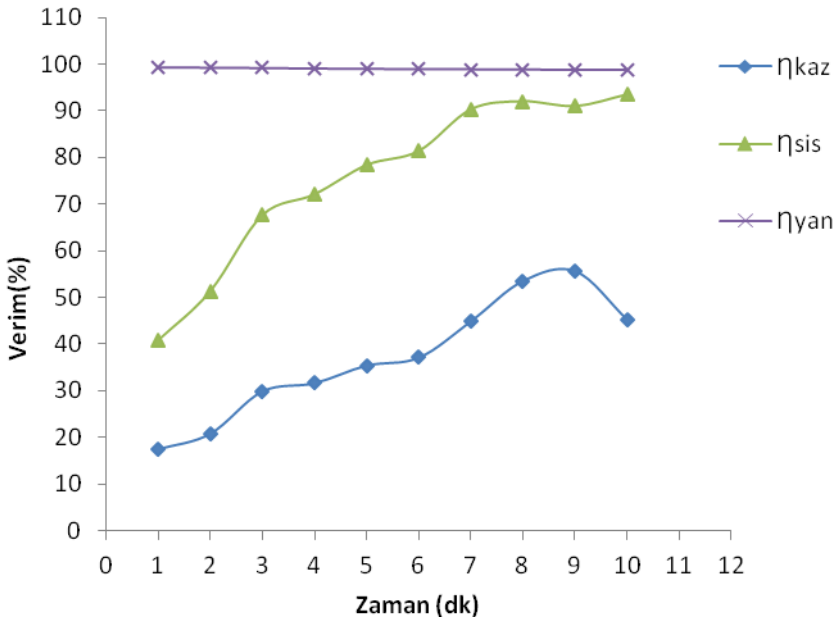
Deney - 1 Su debisi m_s = 0,125 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,273 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,05 kg							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	90.5	32.1	32.6	33.5	36.3	34.0	29.6
2	94.1	34.2	33.6	34.6	38.0	35.6	29.6
3	95.1	36.2	34.5	35.7	40.6	39.1	29.6
4	100.2	38.9	34.7	36.3	41.4	39.3	29.6
5	103.9	40.7	35.1	36.7	42.5	40.7	29.7
6	104.9	42.0	35.6	37.1	43.1	41.2	29.8
7	104.4	43.3	35.9	37.4	44.7	42.2	30.0
8	105.2	44.5	36.2	37.5	46.2	43.2	29.8
9	105.2	46.0	36.2	37.5	46.6	43.5	29.8
10	97.8	47.0	36.7	37.8	45.2	43.4	29.9



Şekil 5.1. Deney-1, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



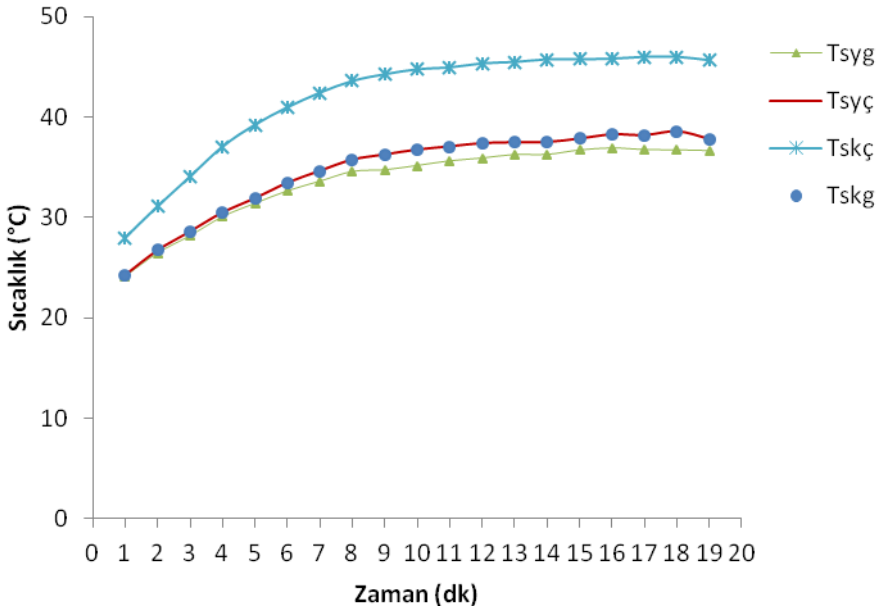
Şekil 5.2. Deney-1, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları



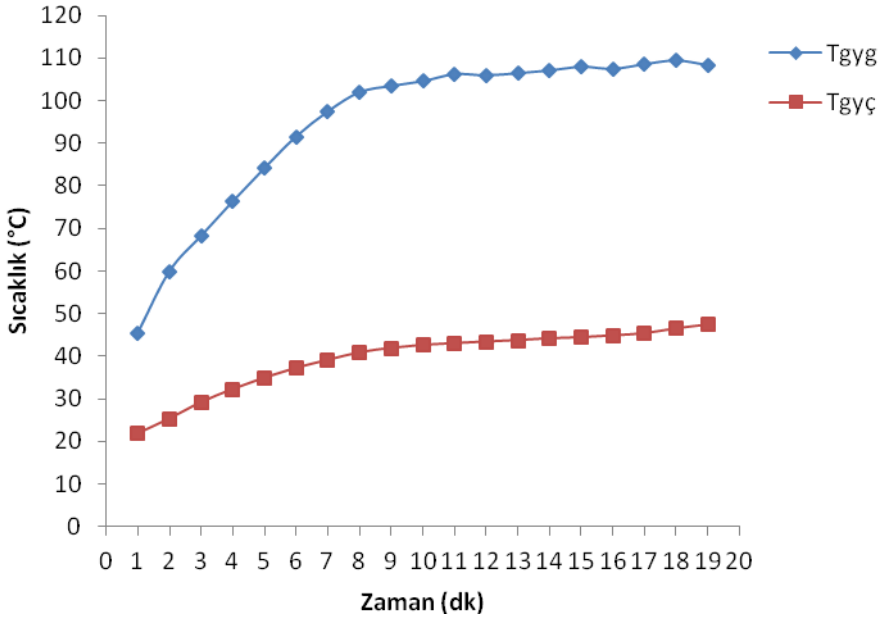
Şekil 5.3. Deney-1, Kazan, sistem ve yanma verimi

Çizelge 5.2. Deney - 2 sonuçları

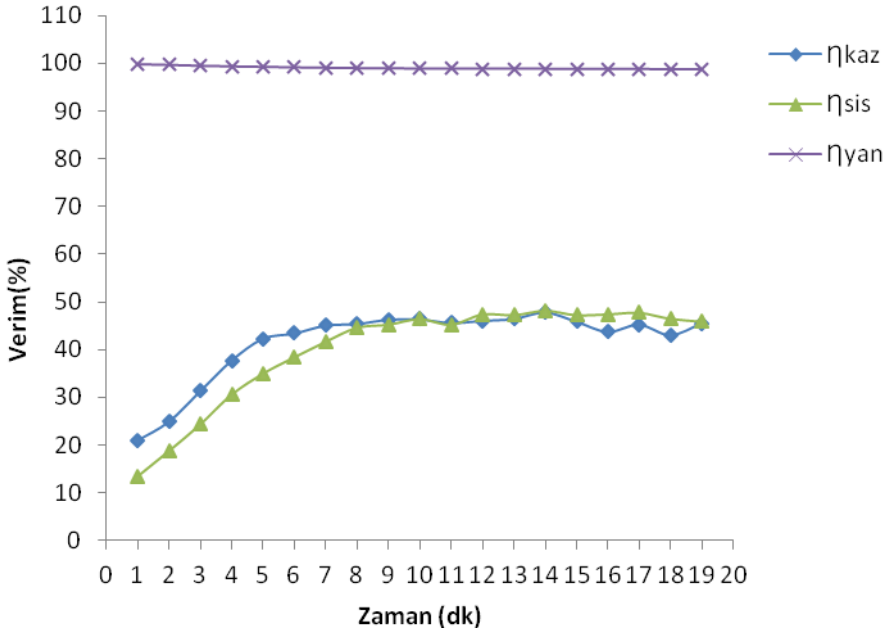
Deney – 2 Su debisi m_s = 0,125 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,288 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,096 kg							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	45.2	21.8	24.1	24.3	27.9	26.3	25.6
2	59.8	25.3	26.5	26.8	31.1	29.4	27.8
3	68.2	29.1	28.2	28.6	34.0	31.9	29.8
4	76.3	32.2	30.1	30.5	37.0	34.6	31.7
5	84.1	34.9	31.4	31.9	39.2	36.8	33.2
6	91.6	37.2	32.6	33.5	41.0	38.5	34.3
7	97.5	39.0	33.6	34.6	42.4	40.0	35.2
8	102.0	40.8	34.5	35.7	43.6	41.0	35.9
9	103.5	41.9	34.7	36.3	44.2	41.6	36.4
10	104.6	42.6	35.1	36.7	44.7	42.0	36.7
11	106.3	43.0	35.6	37.1	44.9	42.5	37.1
12	106.0	43.3	35.9	37.4	45.3	42.7	37.2
13	106.5	43.7	36.2	37.5	45.5	42.6	37.3
14	107.1	44.1	36.2	37.5	45.7	42.8	37.4
15	108.0	44.4	36.7	37.8	45.8	43.0	37.6
16	107.5	44.8	36.9	38.2	45.8	43.4	37.6
17	108.6	45.3	36.7	38.2	46.0	43.6	37.7
18	109.5	46.4	36.7	38.6	46.0	43.8	38.0
19	108.4	47.3	36.6	37.8	45.6	43.1	37.7



Şekil 5.4. Deney-2, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



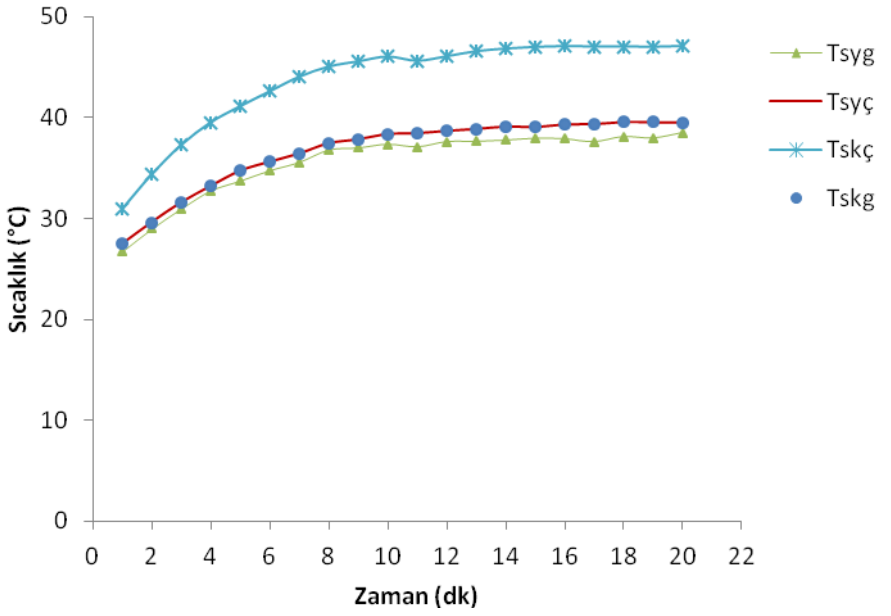
Şekil 5.5. Deney-2, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları



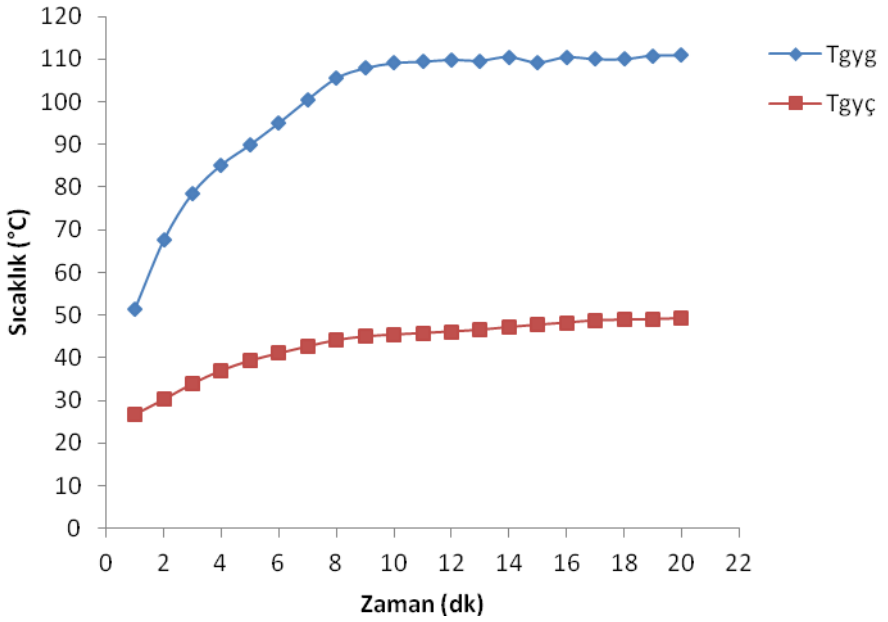
Şekil 5.6. Deney-2, Kazan, sistem ve yanma verimi

Çizelge 5.3. Deney - 3 sonuçları

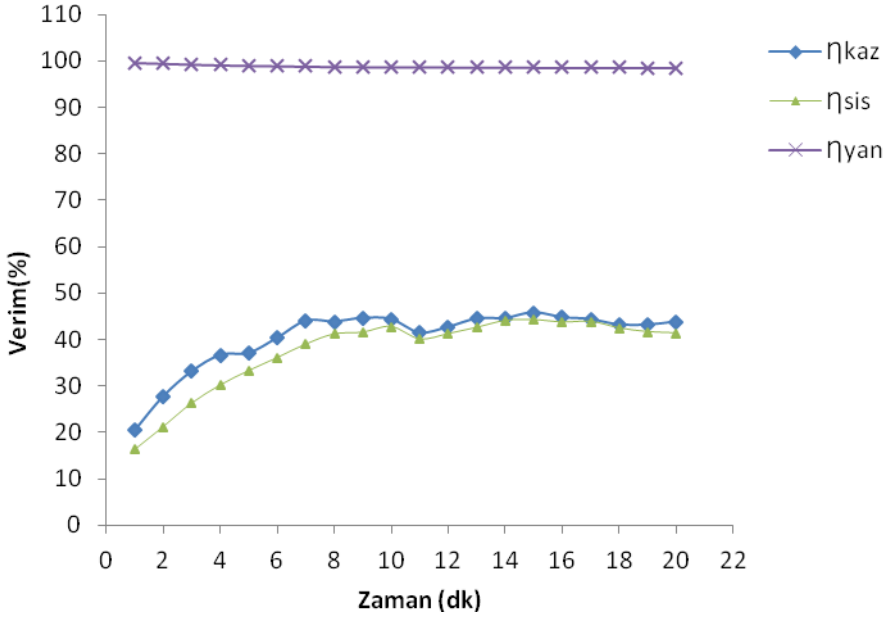
Deney - 3 Su debisi m_s = 0,125 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,282 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,1 kg							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	51.44	26.66	26.71	27.45	30.97	28.93	28.16
2	67.52	30.17	28.97	29.60	34.39	32.39	30.73
3	78.52	33.88	30.96	31.57	37.29	35.10	32.76
4	85.16	36.97	32.74	33.20	39.52	37.33	34.32
5	89.89	39.27	33.71	34.72	41.12	38.87	35.38
6	94.97	41.00	34.73	35.62	42.58	40.37	36.36
7	100.43	42.62	35.55	36.43	44.02	41.90	37.30
8	105.50	44.08	36.78	37.45	45.02	42.84	37.92
9	107.85	44.95	36.98	37.85	45.54	43.40	38.38
10	109.05	45.39	37.35	38.37	46.02	43.88	38.64
11	109.38	45.74	37.10	38.46	45.61	43.64	38.69
12	109.84	46.10	37.61	38.68	46.05	43.90	38.93
13	109.63	46.51	37.64	38.87	46.55	44.18	39.20
14	110.53	47.15	37.75	39.11	46.81	43.75	39.21
15	109.21	47.70	37.94	39.07	46.98	44.17	39.34
16	110.45	48.19	37.89	39.33	47.05	44.72	39.51
17	110.01	48.71	37.60	39.36	47.01	44.29	39.45
18	109.98	48.87	38.11	39.56	47.01	44.68	39.69
19	110.84	49.02	37.97	39.54	46.98	44.66	39.80
20	110.90	49.19	38.50	39.49	47.06	44.57	39.91



Şekil 5.7. Deney-3, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



Şekil 5.8. Deney-3, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları

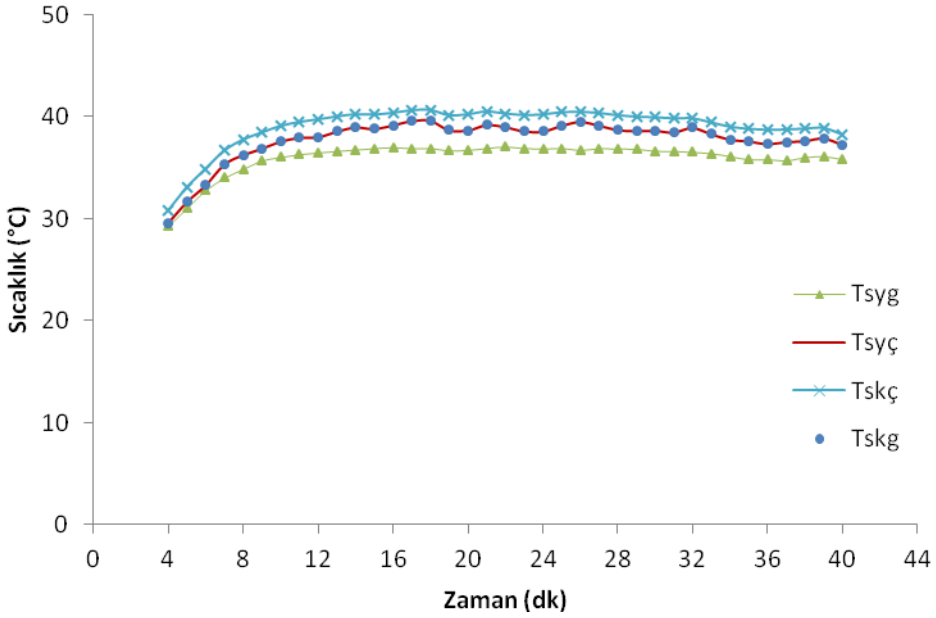


Şekil 5.9. Deney-3, Kazan, sistem ve yanma verimi

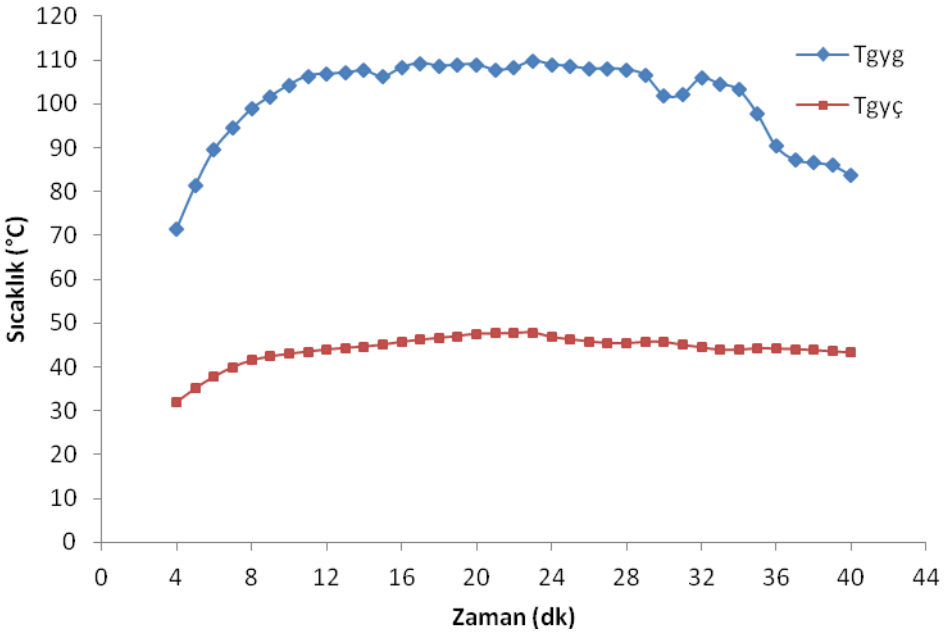
Çizelge 5.4. Deney - 4 sonuçları

Deney - 4
Su debisi m_s = 0,125 kg/s
Gaz Debisi m_g = 0,214 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,2 kg

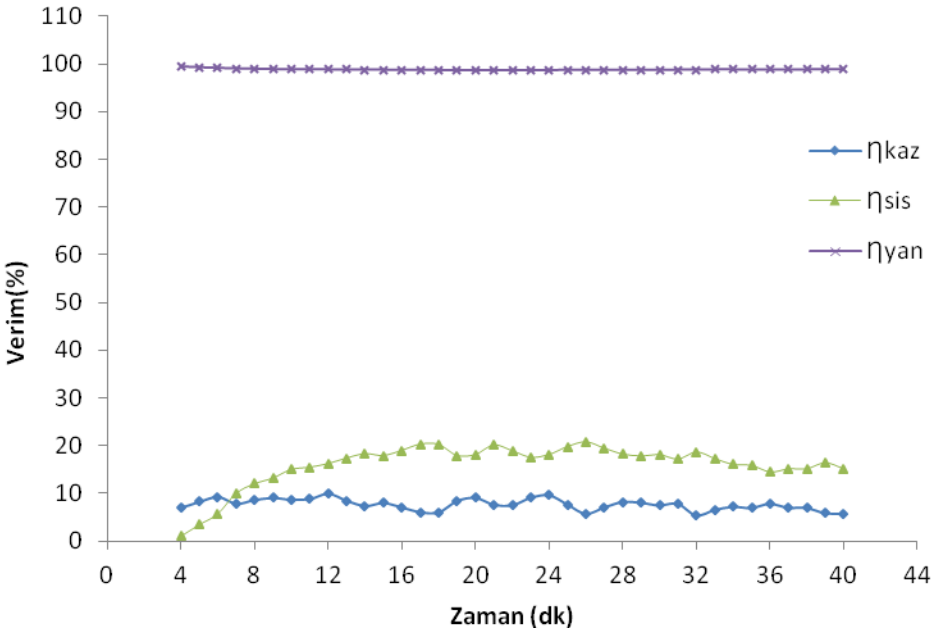
Zaman	T_{gyg} (Egzoz giriş sıc.)	$T_{gyç}$ (Egzoz çıkış sıc.)	T_{syg} (Yoğ. giriş sıc.)	$T_{syç}$ (Yoğ. çıkış sıc.)	$T_{skç}$ (Kazan çıkış sıc.)	T_{srg} (Radyatör giriş sıc.)	$T_{srç}$ (Radyatör çıkış sıc.)
dk	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1	47.71	45.26	47.55	47.54	47.84	48.13	48.69
2	41.87	24.09	24.52	24.38	25.24	26.09	25.86
3	60.43	28.06	27.26	27.23	28.35	29.48	28.57
4	71.45	32.01	29.28	29.56	30.76	31.97	30.57
5	81.35	35.16	31.07	31.63	33.06	34.49	32.45
6	89.52	37.81	32.80	33.27	34.88	36.48	33.88
7	94.46	39.97	34.02	35.32	36.67	38.03	34.95
8	98.81	41.50	34.87	36.25	37.75	39.25	35.67
9	101.65	42.38	35.69	36.87	38.45	40.02	36.17
10	104.28	42.98	36.04	37.58	39.09	40.59	36.50
11	106.34	43.50	36.31	37.94	39.48	41.01	36.80
12	106.89	43.95	36.48	38.01	39.74	41.47	36.94
13	106.96	44.32	36.63	38.55	40.02	41.49	37.02
14	107.62	44.65	36.77	38.97	40.24	41.51	37.09
15	106.16	45.04	36.90	38.82	40.21	41.59	37.12
16	108.21	45.70	37.00	39.17	40.39	41.60	37.11
17	109.27	46.16	36.88	39.60	40.64	41.68	37.14
18	108.64	46.58	36.91	39.63	40.66	41.69	37.17
19	108.88	47.00	36.67	38.70	40.16	41.61	37.07
20	108.92	47.52	36.74	38.67	40.24	41.81	37.11
21	107.76	47.60	36.91	39.20	40.52	41.83	37.05
22	108.14	47.67	37.07	39.01	40.31	41.61	37.05
23	109.76	47.81	36.90	38.59	40.17	41.75	37.14
24	108.96	46.82	36.86	38.55	40.22	41.90	37.10
25	108.55	46.28	36.90	39.12	40.45	41.77	37.04
26	107.97	45.80	36.74	39.51	40.49	41.47	36.92
27	108.05	45.42	36.89	39.16	40.37	41.59	37.02
28	107.77	45.38	36.85	38.72	40.14	41.56	37.00
29	106.51	45.67	36.84	38.61	40.00	41.39	36.92
30	101.94	45.68	36.64	38.65	39.94	41.24	36.82
31	102.09	44.99	36.62	38.48	39.83	41.19	36.87
32	105.79	44.46	36.54	38.93	39.84	40.76	36.63
33	104.48	43.89	36.40	38.31	39.44	40.56	36.46
34	103.18	43.91	36.12	37.77	39.01	40.26	36.24
35	97.70	44.22	35.80	37.61	38.80	40.00	36.07
36	90.32	44.15	35.82	37.34	38.70	40.05	36.20
37	87.21	44.05	35.70	37.53	38.74	39.95	36.13
38	86.54	43.81	36.02	37.62	38.82	40.01	36.20
39	85.91	43.55	36.10	37.89	38.89	39.90	36.06
40	83.73	43.27	35.82	37.28	38.25	39.23	35.64



Şekil 5.10. Deney-4, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



Şekil 5.11. Deney-4, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları



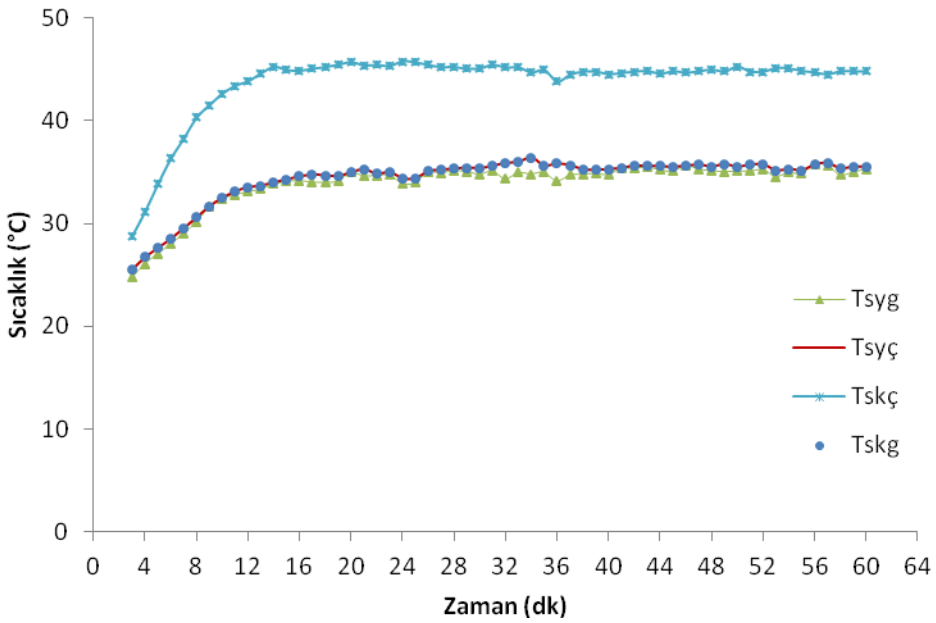
Şekil 5.12. Deney-4, Kazan, sistem ve yanma verimi

Çizelge 5.5. Deney - 5 sonuçları

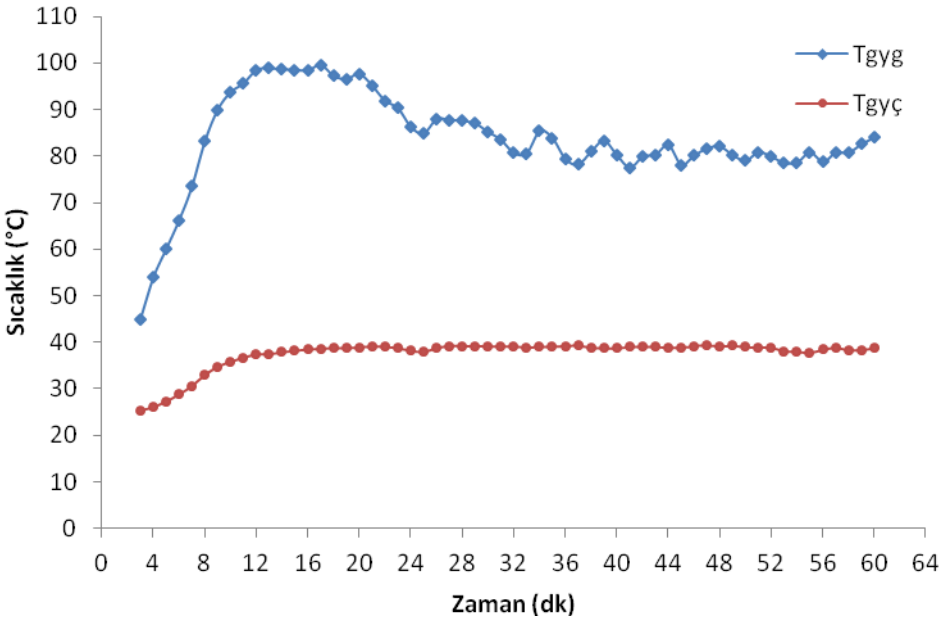
Deney - 5 Su debisi m_s = 0,126 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,231 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,3 kg							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	34.42	26.51	26.47	34.14	26.62	26.79	24.53
2	34.94	25.90	24.60	25.99	24.92	25.28	23.63
3	44.98	25.33	24.70	25.49	28.79	27.05	24.75
4	53.94	26.08	26.05	26.70	31.16	28.91	26.22
5	60.10	27.31	27.06	27.59	33.83	30.51	27.51
6	66.24	28.81	27.99	28.50	36.31	32.05	28.63
7	73.48	30.63	28.98	29.52	38.25	33.59	29.66
8	83.15	32.98	30.13	30.57	40.30	35.24	30.78
9	89.97	34.75	31.56	31.67	41.51	36.41	31.61
10	93.72	35.83	32.41	32.47	42.63	37.37	32.21
11	95.62	36.72	32.80	33.11	43.40	37.85	32.72
12	98.48	37.40	33.06	33.50	43.84	38.36	33.16
13	98.90	37.48	33.34	33.68	44.59	38.79	33.58
14	98.62	37.86	33.82	33.96	45.23	38.98	33.66
15	98.56	38.23	34.07	34.30	44.93	39.17	33.83
16	98.39	38.44	34.17	34.56	44.85	39.26	33.95
17	99.61	38.64	34.01	34.74	45.05	39.50	34.13
18	97.25	38.80	33.99	34.66	45.21	39.43	34.13
19	96.55	38.74	34.11	34.61	45.44	39.53	34.20
20	97.68	38.90	34.94	34.97	45.69	39.64	34.23
21	95.11	39.13	34.64	35.26	45.38	39.84	34.36
22	91.88	39.01	34.66	34.81	45.41	39.83	34.45
23	90.31	38.75	34.70	34.98	45.33	39.70	34.31
24	86.29	38.18	33.89	34.37	45.78	39.62	34.36
25	84.88	37.95	33.94	34.40	45.66	39.75	34.41
26	88.01	38.76	34.98	35.07	45.41	39.69	34.35
27	87.77	39.23	34.91	35.22	45.21	39.55	34.48
28	87.58	39.20	35.14	35.31	45.22	39.60	34.39
29	87.04	39.22	35.05	35.42	45.04	39.61	34.51
30	85.19	39.09	34.79	35.37	45.08	39.55	34.53
31	83.51	39.11	35.08	35.61	45.43	39.61	34.47
32	80.71	39.12	34.33	35.86	45.17	39.95	34.46
33	80.63	38.88	34.93	35.99	45.18	39.63	34.47
34	85.37	39.04	34.80	36.40	44.69	39.50	34.49
35	83.90	39.05	34.97	35.62	44.92	39.38	34.49
36	79.42	39.21	34.11	35.82	43.81	39.41	34.43
37	78.23	39.29	34.70	35.65	44.47	39.45	34.46
38	81.02	38.83	34.78	35.25	44.77	39.53	34.63
39	83.31	38.78	34.85	35.22	44.77	39.40	34.38
40	80.24	38.70	34.75	35.25	44.52	39.34	34.52
41	77.54	39.03	35.33	35.40	44.65	39.52	34.62
42	79.91	39.05	35.36	35.61	44.76	39.68	34.64

Çizelge 5.6. Deney - 5 devamı

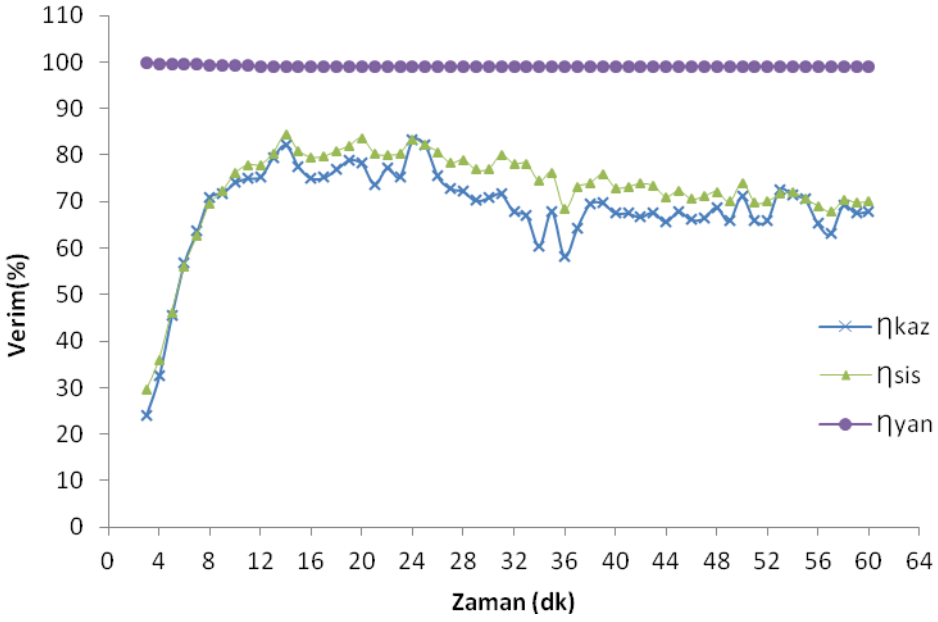
Deney - 5 Su debisi m_s = 0,126 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,231 m^3/h							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
43	80.33	39.04	35.46	35.56	44.84	39.35	34.79
44	82.41	38.80	35.21	35.56	44.57	39.23	34.83
45	78.15	38.83	35.06	35.50	44.80	39.42	34.89
46	80.16	39.16	35.63	35.60	44.67	39.43	35.01
47	81.66	39.40	35.27	35.71	44.81	39.49	35.07
48	82.11	39.09	35.11	35.53	44.97	39.49	35.08
49	80.23	39.25	35.03	35.76	44.78	39.55	35.20
50	79.05	38.96	35.08	35.52	45.27	39.64	35.12
51	80.87	38.91	35.07	35.71	44.76	39.57	35.19
52	79.89	38.84	35.23	35.74	44.78	39.54	35.17
53	78.57	38.09	34.55	35.15	45.11	39.58	35.30
54	78.64	37.97	34.96	35.30	45.08	39.60	35.21
55	80.84	37.75	34.84	35.16	44.83	39.58	35.16
56	78.76	38.41	35.77	35.74	44.70	39.46	35.23
57	80.76	38.84	35.67	35.87	44.51	39.32	35.22
58	80.76	38.27	34.71	35.34	44.81	39.37	35.18
59	82.60	38.32	34.99	35.53	44.80	39.54	35.24
60	84.00	38.76	35.28	35.47	44.78	39.59	35.19



Şekil 5.13. Deney-5, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



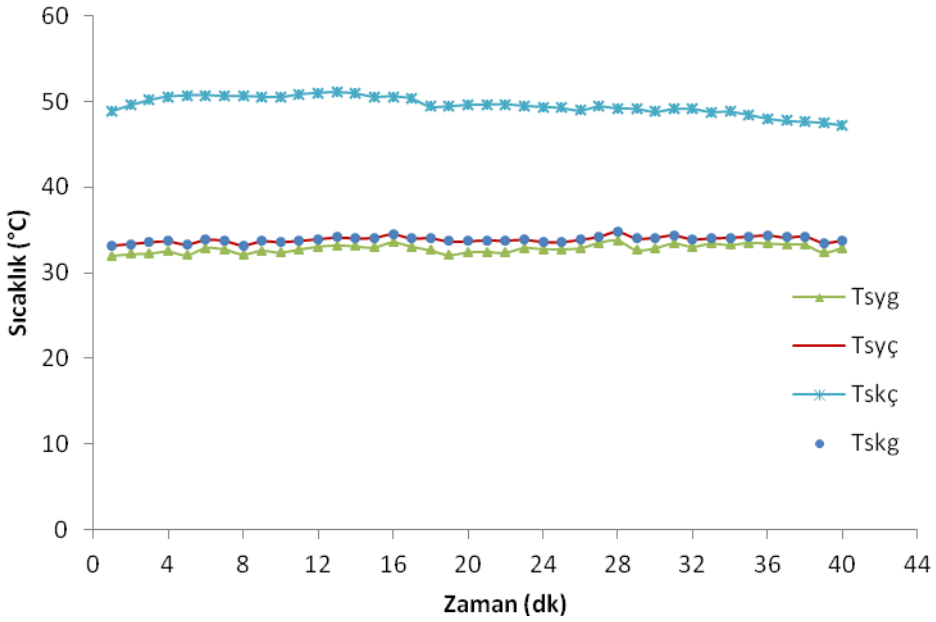
Şekil 5.14. Deney-5, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları



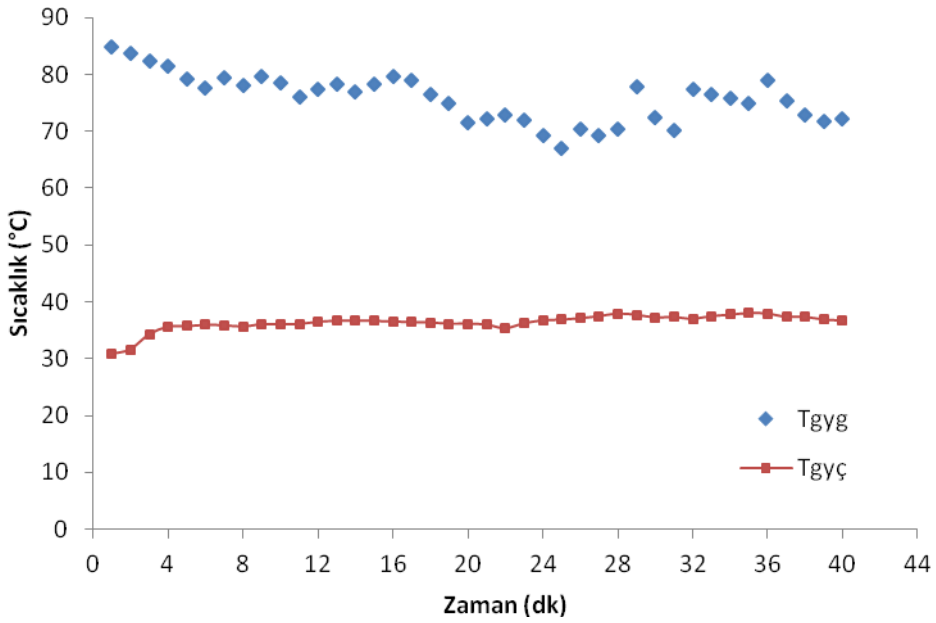
Şekil 5.15. Deney-5, Kazan, sistem ve yanma verimi

Çizelge 5.7. Deney - 6 sonuçları

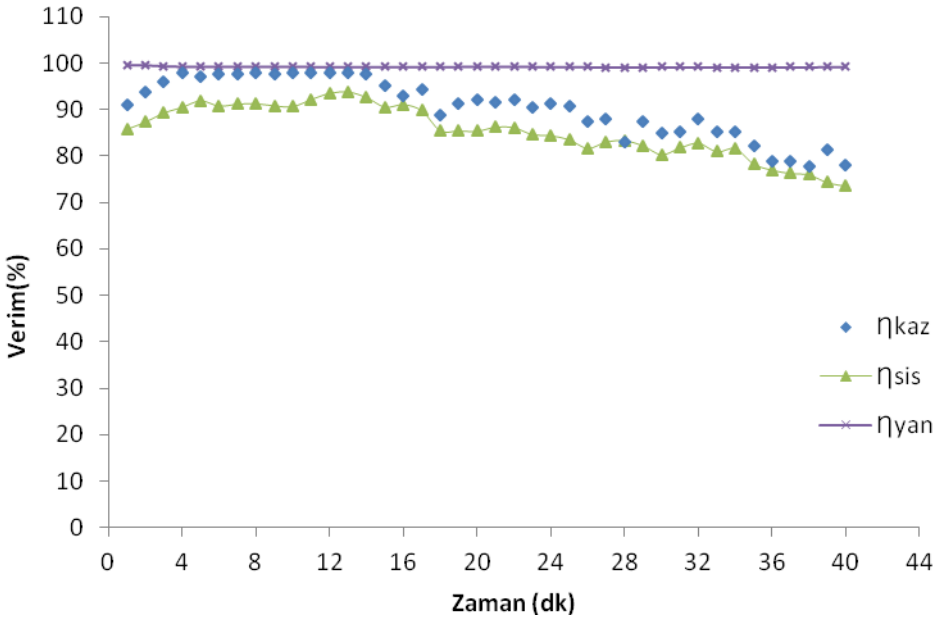
Deney - 6 Su debisi m_s = 0,075 kg/s Gaz Debisi m_g = 0,214 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,15 kg							
Zaman	**Tgyg (Egzoz giriş sıc.)**	**Tgyç (Egzoz çıkış sıc.)**	**Tsyg (Yoğ. giriş sıc.)**	**Tsyç (Yoğ. çıkış sıc.)**	**Tskç (Kazan çıkış sıc.)**	**Tsrg (Radyatör giriş sıc.)**	**Tsrç (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	84.90	30.81	32.00	33.16	48.89	43.15	34.07
2	83.61	31.63	32.20	33.38	49.58	43.64	34.50
3	82.41	34.27	32.27	33.58	50.17	44.05	34.75
4	81.51	35.62	32.50	33.68	50.57	44.26	34.95
5	79.12	35.72	32.09	33.31	50.68	44.45	34.82
6	77.72	35.95	32.88	33.86	50.74	44.63	35.07
7	79.37	35.88	32.76	33.77	50.61	44.55	34.86
8	78.15	35.66	32.18	33.20	50.62	44.51	34.86
9	79.60	36.07	32.60	33.69	50.54	44.56	34.86
10	78.52	36.08	32.39	33.60	50.50	44.66	34.84
11	76.06	36.11	32.74	33.76	50.82	44.43	34.91
12	77.48	36.50	33.04	33.94	50.97	44.37	34.82
13	78.24	36.71	33.20	34.16	51.06	44.46	34.87
14	76.84	36.71	33.09	34.05	50.92	44.43	34.92
15	78.29	36.66	32.96	34.11	50.53	44.32	34.90
16	79.75	36.54	33.54	34.55	50.58	44.27	34.85
17	78.86	36.45	33.06	34.04	50.32	44.02	34.82
18	76.54	36.38	32.64	34.07	49.40	43.82	34.64
19	74.91	36.16	32.11	33.68	49.46	43.81	34.71
20	71.62	36.15	32.42	33.70	49.61	44.10	34.87
21	72.24	36.01	32.47	33.82	49.64	44.11	34.74
22	72.87	35.36	32.36	33.77	49.69	44.09	34.82
23	72.04	36.22	32.91	33.89	49.49	44.01	34.87
24	69.36	36.75	32.78	33.62	49.39	43.90	34.81
25	67.01	36.87	32.76	33.60	49.25	43.79	34.83
26	70.41	37.12	32.87	33.89	48.96	43.88	34.85
27	69.32	37.47	33.47	34.23	49.42	43.68	35.07
28	70.46	37.95	33.75	34.85	49.20	43.90	34.81
29	77.78	37.74	32.67	34.05	49.16	43.95	34.96
30	72.46	37.27	32.88	34.13	48.81	43.63	34.93
31	70.09	37.34	33.41	34.42	49.13	43.81	35.01
32	77.49	37.04	33.05	33.94	49.14	43.65	34.84
33	76.52	37.50	33.40	34.06	48.78	43.28	34.80
34	75.87	37.75	33.23	34.13	48.83	42.97	34.73
35	74.96	38.05	33.49	34.26	48.47	43.16	34.95
36	78.98	37.96	33.41	34.43	48.04	43.00	34.74
37	75.30	37.37	33.31	34.14	47.77	42.62	34.59
38	72.81	37.37	33.25	34.28	47.68	42.65	34.56
39	71.66	36.90	32.39	33.52	47.55	42.75	34.71
40	72.20	36.72	32.91	33.80	47.28	42.35	34.57



Şekil 5.16. Deney-6, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları



Şekil 5.17. Deney-6, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları

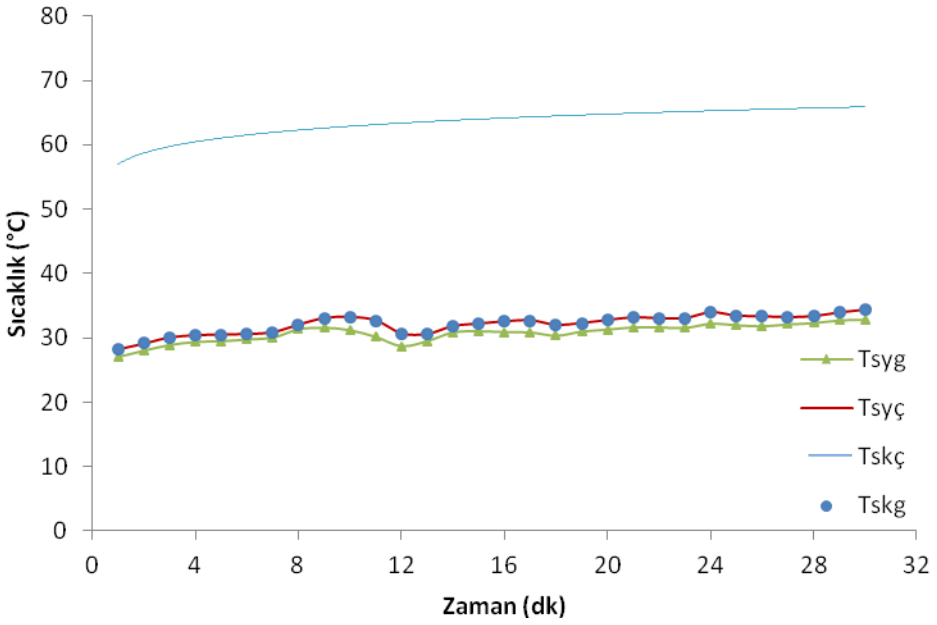


Şekil 5.18. Deney-6, Kazan, sistem ve yanma verimi

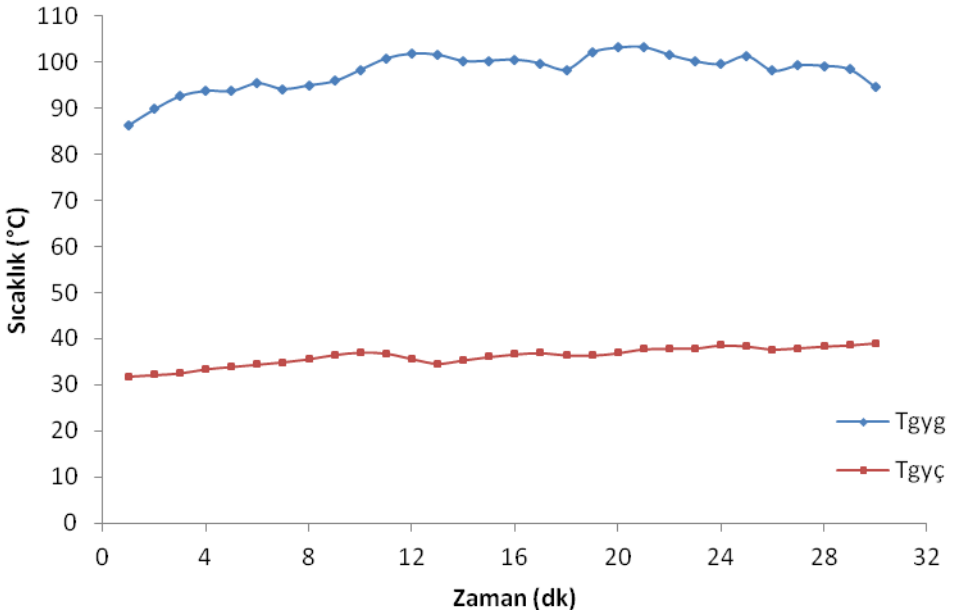
Çizelge 5.8. Deney - 7 sonuçları

Deney - 7
Su debisi m_s = 0,048 kg/s
Gaz Debisi m_g = 0,314 m^3/h , Yoğuşan su miktarı = 0,12 kg

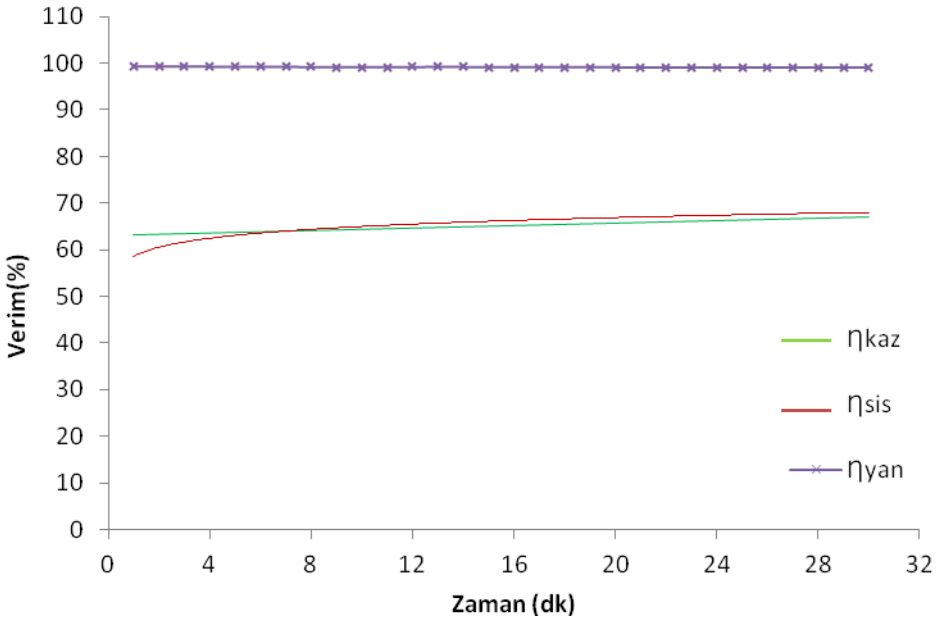
Zaman	**T_{gyg} (Egzoz giriş sıc.)**	**$T_{gyç}$ (Egzoz çıkış sıc.)**	**T_{syg} (Yoğ. giriş sıc.)**	**$T_{syç}$ (Yoğ. çıkış sıc.)**	**$T_{skç}$ (Kazan çıkış sıc.)**	**T_{srg} (Radyatör giriş sıc.)**	**$T_{srç}$ (Radyatör çıkış sıc.)**
dk	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**	**°C**
1	86.30	31.83	26.95	28.26	56.27	46.62	29.36
2	89.80	32.17	27.97	29.14	58.31	48.17	30.23
3	92.63	32.55	28.87	30.09	58.37	48.66	30.69
4	93.82	33.44	29.35	30.41	59.08	48.95	30.55
5	93.75	33.93	29.47	30.53	60.52	49.19	30.58
6	95.45	34.45	29.74	30.60	62.14	50.36	31.32
7	94.19	34.94	30.04	30.89	62.19	50.97	32.66
8	95.02	35.61	31.36	32.04	62.13	51.22	33.02
9	95.93	36.53	31.61	33.05	64.14	51.50	30.79
10	98.37	37.04	31.21	33.24	69.42	53.18	27.89
11	100.85	36.83	30.13	32.68	72.38	56.01	27.11
12	101.89	35.63	28.68	30.70	65.60	56.04	30.59
13	101.65	34.63	29.50	30.62	59.56	52.53	32.54
14	100.29	35.37	30.88	31.84	60.96	50.46	32.40
15	100.36	36.10	31.05	32.19	59.57	50.70	32.16
16	100.59	36.64	30.92	32.55	62.59	51.10	32.14
17	99.77	36.92	30.86	32.71	63.60	51.77	31.62
18	98.42	36.44	30.34	32.01	62.55	52.12	32.15
19	102.14	36.39	31.01	32.30	66.50	52.56	32.80
20	103.19	36.91	31.32	32.76	65.48	53.00	33.03
21	103.28	37.76	31.68	33.17	64.75	53.27	33.23
22	101.61	37.88	31.66	33.00	66.76	53.27	33.28
23	100.21	37.93	31.59	33.04	65.84	53.90	32.90
24	99.61	38.57	32.25	33.93	64.71	54.13	32.79
25	101.32	38.35	32.01	33.41	67.32	53.67	33.08
26	98.17	37.72	31.84	33.32	63.22	53.41	33.58
27	99.32	37.98	32.15	33.19	63.20	52.36	33.93
28	99.23	38.36	32.35	33.35	65.42	51.86	34.17
29	98.43	38.61	32.79	33.91	66.39	54.11	33.36
30	94.54	39.05	32.87	34.33	64.94	53.70	33.52



Şekil 5.19. Deney-7, Isı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları

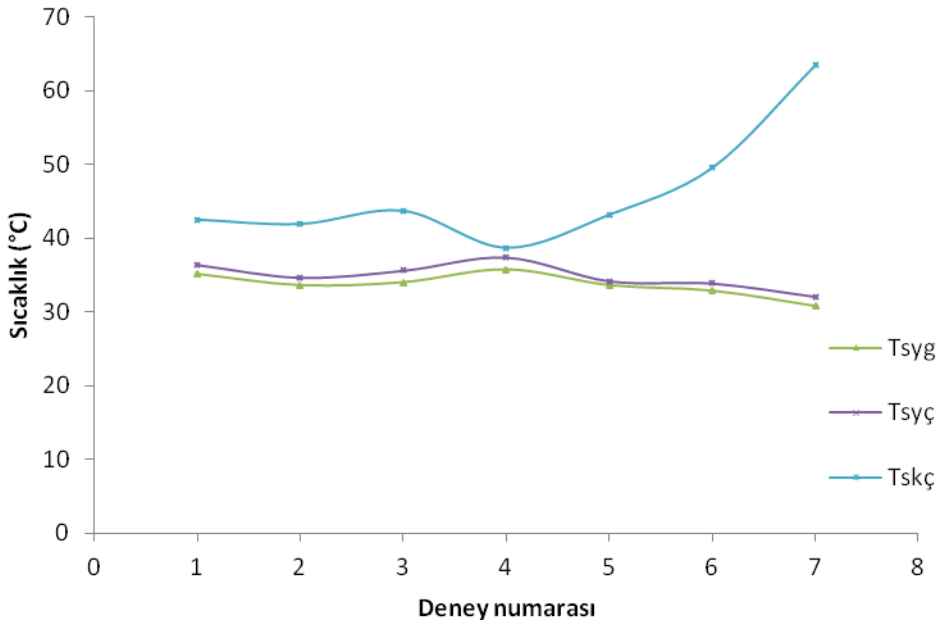


Şekil 5.20. Deney-7, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları



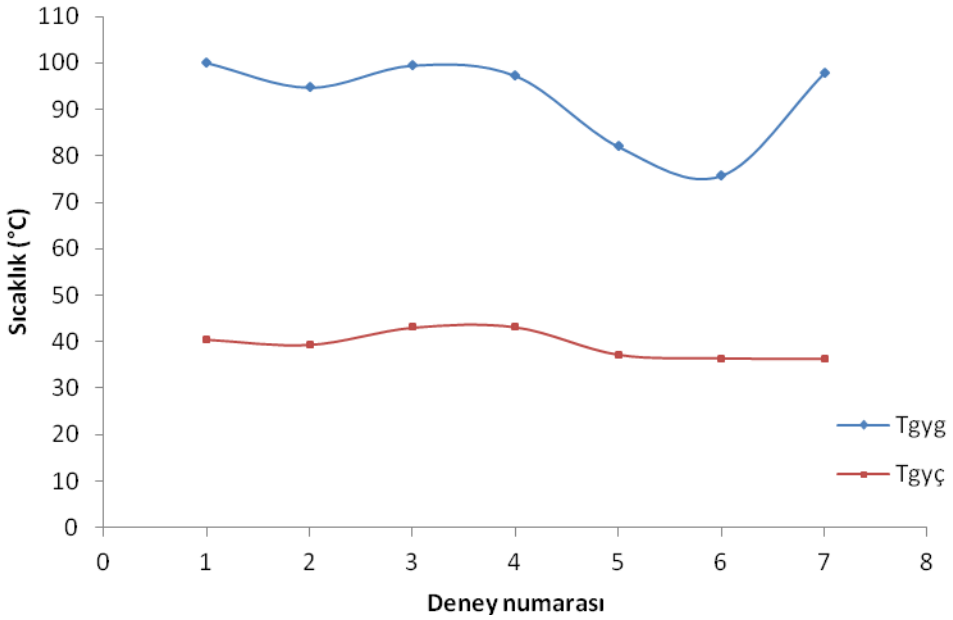
Şekil 5.21. Deney-7, Kazan, sistem ve yanma verimi

Deneylerden elde edilen sonuçları daha kolay irdeleyebilmek için deney sonuçlarının ortalama değerleri alınarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 5.22. Toplam 7 deneyin, ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları ortalaması

Şekil 5.22. Toplam 7 deneyin, ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları ortalaması alınarak gösterildi. Resimde görüldüğü gibi $T_{skç}$ aynı debideki deney 1, 2, 3, 4 ve deney 5 de yaklaşık aynı değerlerde kalırken daha düşük debide olan deney 6 ve deney 7 de yükselmiştir. $T_{syç}$ ve T_{syg} parelel olarak aynı debideki deney 1, 2, 3, 4 ve deney 5 de yaklaşık aynı değerlerde kalırken daha düşük debide olan deney 6 ve deney 7 de düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.23. Toplam 7 deneyin, Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları ortalaması

Şekil 5.23. Toplam 7 deneyin, yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları ortalaması alınarak gösterildi. Resimde görüldüğü gibi deneylerde T_{gyg} ortalaması maksimum 100,1 °C değere kadar çıkmıştır ve $T_{gyç}$ ortalaması 36,2 °C değere kadar düşmektedir. Aradaki ΔT sıcaklık farkı kadar ısı enerjisi dönüş suyuna aktarılmaktadır.

Bu veriler ışığında yoğuşturucu ısı kapasitesi (Altınışık, 2004),

$$Q_{yoğ} = \dot{m} c_p \Delta T_{yoğ} \tag{5.1}$$

$$Q_{yoğ} = \dot{m} c_p (T_g - T_ç)_{yoğ} \tag{5.1a}$$

Bağıntısından bulundu.

Yoğuşturucu da taşınım ile gerçekleşen ısı (Altınışık, 2004),

$$Q_{taş} = h.A.\Delta T_{yoğ} \tag{5.2}$$

Isı değiştiricisi (kazan) ısı kapasitesi de (Altınışık, 2004),

$$Q_{kazan} = \dot{m}c_p \Delta T_{kazan} \tag{5.3}$$

$$Q_{kazan} = \dot{m}c_p (T_ç - T_g)_{kazan} \tag{5.3a}$$

Kazan verimi aşağıdaki ifade ile bulunur,

$$\eta_{kazan} = \frac{Q_{kazan}}{Q_B} x100 \tag{5.4}$$

Burada Q_B yakıttan elde edilen birim zamandaki ısı olup aşağıdaki şekilde verilir

$$Q_B = H_u \dot{V}_y .1{,}162 \tag{5.5}$$

Sistemin ısı kapasitesi,

$$Q_{sis} = \dot{m}c_p \Delta T_{sis} \tag{5.6}$$

$$Q_{sis} = \dot{m}c_p (T_ç - T_g)_{sis} \tag{5.6a}$$

Sistemin verimi,

$$\eta_{sis} = \frac{Q_{sis}}{Q_B} x100 \tag{5.7}$$

Yanma verimi İngliz standardına göre yanma sonu ürünlerindeki CO_2 veya O_2 yüzdesi kullanılarak bulunur (Kan, 1999),

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_1}{CO_2} \tag{5.8}$$

Veya,

$$\eta_{yanma} = 100 - (T_{egz} - T_{hav}) \frac{k_2}{21 - O_2} \tag{5.8a}$$

Yanma için gerekli teorik hava miktarı yakıtın ısıl değeri kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunur (Kan, 1999),

$$TH = \frac{1{,}09 x Hu}{1000} - 0.25 \tag{5.9}$$

Yanma işleminde kullanılan fazla hava oranı yanma sonu gazlarındaki O_2 yüzdesi kullanılarak bulunur (Kan, 1999),

$$FH = \frac{O_2}{21 - O_2} x100 \tag{5.10}$$

5.1. Hata Analizi

Deneysel çalışmalarda hata güvenirlik sınırlarını belirleyen hata analizlerinin yapılması büyük önem arzetmektedir. Hatalar birçok nedenden dolayı oluşabilmektedir, bunlar genellikle aşağıdaki şekillerde görülür.

-Deneyi gerçekleştiren personelden kaynaklanan bilgi eksikliği, tecrübesizlik, yalnış ölçü aleti kullanımı ve yalnış sistem tasarımı

-Sabit ve sistematik şekilde devam eden hatalar

-Rastgelege hatalar

Deneysel çalışmalarda en sık görülen hata kaynakları arasında ölçüm aletlerinin kalibrasyon eksikliğinin ve cihazların yalnış kullanımının olduğu bilinmektedir. Sıcaklık ölçüm hataları kullanılan sıcaklık sensörlerinin kalibrasyon eksikliği, bağlantı noktalarındaki ve ölçüm cihazındaki hatalardan kaynaklanmaktadır.

Cihaz ve ölçüm aletlerinin hatalarını ölçebilmek için hata analizi yönteminde hesaplanması istenilen büyüklüğü *R* ve bu büyüklüğe etki eden *n* adet bağımsız değişkenler $x_1, x_2, x_3, ...x_n$ ise (Genceli, 2000);

$$R = R(x_1, x_2, x_3, ...x_n) \tag{5.11}$$

Yazılabilir, eğer *R* büyüklüğünün hata değerine W_R denirse ve her bağımsız değişkene ait hata oranları $w_1, w_2, w_3, ...w_n$ ise;

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + ... + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \tag{5.12}$$

Şeklinde ifade edilir. Sıcaklık farkının hesaplanmasından kaynaklanan hata oranın bulmak için denklem (5.12) aşağıdaki biçimde yazırılır (Baysal, 2009),

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{\partial T_1}{\partial \Delta T} \right)^2 + \left(\frac{\partial T_2}{\partial \Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{5.13}$$

Burada $\Delta T = T_1 - T_2$ dir

Bu çalışmada kullanılan K tipi termo elemanların katalog verilerine göre belirsizlik oranı %1 ‘dir fakat termo elemanların yerleştirilmesi, ölçüm esnasında oluşan titreşim, temas hataları ve diğer olumsuzlıklar gözönüne alınarak %1,5 ilave belirsizlik oranı ile, toplam belirsizlik oranı %2,5 olarak tanımlanmıştır. **Çizelge 5.9 – 5.12**’de Deney 1-7 için egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları gösterildi.

Çizelge 5.9. Deney - 1 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 1 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	58.4	0.0411	0.8	1.4034	2.9	0.4351
2	59.9	0.0009	1.0	1.1490	3.4	0.3828
3	59.0	0.0009	1.2	1.0367	4.9	0.2884
4	61.3	0.0010	1.5	0.8115	5.2	0.2760
5	63.2	0.0010	1.6	0.7930	5.8	0.2544
6	62.9	0.0010	1.5	0.8835	6.1	0.2457
7	61.1	0.0011	1.5	0.8614	7.3	0.2094
8	60.8	0.0011	1.2	1.0632	8.8	0.1805
9	59.3	0.0012	1.2	1.0430	9.1	0.1753
10	50.8	0.0014	1.2	1.1401	7.4	0.2122
Ortalama	59.7	0.0051	1.3	1.0185	6.1	0.2660

Çizelge 5.10. Deney - 2 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 2 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	23.4	0.0535	0.1	6.3203	3.6	0.2641
2	34.5	0.0011	0.3	3.0611	4.3	0.2478
3	39.1	0.0011	0.4	2.2639	5.4	0.2157
4	44.1	0.0011	0.4	2.4363	6.5	0.1944
5	49.2	0.0011	0.5	2.1129	7.3	0.1840
6	54.4	0.0010	0.8	1.4034	7.5	0.1875
7	58.5	0.0010	1.0	1.1490	7.8	0.1874
8	61.2	0.0010	1.2	1.0367	7.8	0.1909
9	61.6	0.0010	1.5	0.8115	8.0	0.1902
10	62.1	0.0010	1.6	0.7930	8.0	0.1918
11	63.3	0.0010	1.5	0.8835	7.9	0.1963
12	62.7	0.0010	1.5	0.8614	8.0	0.1957
13	62.8	0.0010	1.2	1.0632	8.0	0.1943
14	63.1	0.0011	1.2	1.0430	8.2	0.1899
15	63.7	0.0011	1.2	1.1401	7.9	0.1982
16	62.8	0.0011	1.4	0.9727	7.6	0.2088
17	63.4	0.0011	1.5	0.9092	7.8	0.2028
18	63.1	0.0011	1.9	0.7175	7.4	0.2134
19	61.1	0.0012	1.2	1.1297	7.9	0.1998
Ortalama	55.5	0.0038	1.1	1.5847	7.2	0.2028

Çizelge 5.11. Deney - 3 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 3 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	24.8	0.0585	0.7	1.2984	3.5	0.3005
2	37.4	0.0012	0.6	1.6553	4.8	0.2465
3	44.6	0.0011	0.6	1.7848	5.7	0.2240
4	48.2	0.0012	0.5	2.4997	6.3	0.2151
5	50.6	0.0012	1.0	1.1990	6.4	0.2210
6	54.0	0.0011	0.9	1.4009	7.0	0.2108
7	57.8	0.0011	0.9	1.4491	7.6	0.2001
8	61.4	0.0011	0.7	1.9324	7.6	0.2053
9	62.9	0.0011	0.9	1.5314	7.7	0.2043
10	63.7	0.0011	1.0	1.3135	7.6	0.2078
11	63.6	0.0011	1.4	0.9832	7.2	0.2206
12	63.7	0.0011	1.1	1.2518	7.4	0.2160
13	63.1	0.0011	1.2	1.0977	7.7	0.2091
14	63.4	0.0011	1.4	1.0005	7.7	0.2082
15	61.5	0.0012	1.1	1.2055	7.9	0.2039
16	62.3	0.0012	1.4	0.9501	7.7	0.2101
17	61.3	0.0012	1.8	0.7741	7.7	0.2110
18	61.1	0.0012	1.5	0.9471	7.5	0.2176
19	61.8	0.0012	1.6	0.8715	7.4	0.2177
20	61.7	0.0012	1.0	1.3834	7.6	0.2143
Ortalama	56.4	0.0040	1.1	1.3265	7.0	0.2182

Çizelge 5.12. Deney - 4 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 4 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	2.4	0.6724	0.4	3.8555	0.1	23.5802
2	17.8	0.0023	0.3	2.6195	0.6	1.4669
3	32.4	0.0013	0.6	1.5812	0.8	1.2870
4	39.4	0.0012	0.3	3.7224	1.2	0.9200
5	46.2	0.0012	0.6	1.9718	1.4	0.8357
6	51.7	0.0011	0.5	2.4568	1.6	0.7856
7	54.5	0.0011	1.3	0.9438	1.4	0.9749
8	57.3	0.0011	1.4	0.9102	1.5	0.9087
9	59.3	0.0011	1.2	1.0795	1.6	0.8825
10	61.3	0.0011	1.5	0.8436	1.5	0.9356
11	62.8	0.0010	1.6	0.8042	1.5	0.9283
12	62.9	0.0011	1.5	0.8611	1.7	0.8299
13	62.6	0.0011	1.9	0.6896	1.5	0.9824
14	63.0	0.0011	2.2	0.6077	1.3	1.1371
15	61.1	0.0011	1.9	0.6946	1.4	1.0466
16	62.5	0.0011	2.2	0.6207	1.2	1.1916
17	63.1	0.0011	2.7	0.4988	1.0	1.3975
18	62.1	0.0011	2.7	0.4974	1.0	1.4102
19	61.9	0.0011	2.0	0.6578	1.5	0.9919
20	61.4	0.0012	1.9	0.6911	1.6	0.9213
21	60.2	0.0012	2.3	0.5871	1.3	1.1066
22	60.5	0.0012	1.9	0.6942	1.3	1.1133
23	61.9	0.0012	1.7	0.7923	1.6	0.9179
24	62.1	0.0011	1.7	0.7876	1.7	0.8678
25	62.3	0.0011	2.2	0.6060	1.3	1.0966
26	62.2	0.0011	2.8	0.4855	1.0	1.4804
27	62.6	0.0011	2.3	0.5934	1.2	1.1931
28	62.4	0.0011	1.9	0.7161	1.4	1.0158
29	60.8	0.0011	1.8	0.7546	1.4	1.0349
30	56.3	0.0012	2.0	0.6630	1.3	1.1091
31	57.1	0.0012	1.9	0.7159	1.4	1.0560
32	61.3	0.0011	2.4	0.5578	0.9	1.5564
33	60.6	0.0011	1.9	0.6906	1.1	1.2616
34	59.3	0.0011	1.7	0.7895	1.2	1.1288
35	53.5	0.0013	1.8	0.7179	1.2	1.1649
36	46.2	0.0015	1.5	0.8513	1.4	1.0281
37	43.2	0.0016	1.8	0.7064	1.2	1.1527
38	42.7	0.0016	1.6	0.8117	1.2	1.1661
39	42.4	0.0016	1.8	0.7342	1.0	1.3828
40	40.5	0.0017	1.5	0.8872	1.0	1.4071
Ortalama	54.1	0.0180	1.7	1.0187	1.3	1.6664

Çizelge 5.13. Deney - 5 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 5 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	7.9	0.1373	7.7	0.1409	-7.5	0.1256
2	9.0	0.0072	1.4	0.6407	-1.1	0.8290
3	19.6	0.0022	0.8	1.1277	3.3	0.2993
4	27.9	0.0014	0.7	1.4344	4.5	0.2383
5	32.8	0.0013	0.5	1.8088	6.2	0.1824
6	37.4	0.0012	0.5	1.9467	7.8	0.1551
7	42.9	0.0011	0.5	1.9314	8.7	0.1458
8	50.2	0.0010	0.4	2.4328	9.7	0.1376
9	55.2	0.0010	0.1	10.9253	9.8	0.1402
10	57.9	0.0009	0.1	18.5636	10.2	0.1394
11	58.9	0.0009	0.3	3.7547	10.3	0.1399
12	61.1	0.0009	0.4	2.6902	10.3	0.1409
13	61.4	0.0009	0.3	3.5129	10.9	0.1354
14	60.8	0.0009	0.1	8.6249	11.3	0.1325
15	60.3	0.0010	0.2	5.4225	10.6	0.1402
16	59.9	0.0010	0.4	3.1058	10.3	0.1448
17	61.0	0.0010	0.7	1.6481	10.3	0.1453
18	58.5	0.0010	0.7	1.8110	10.6	0.1422
19	57.8	0.0010	0.5	2.4043	10.8	0.1391
20	58.8	0.0010	0.0	41.2856	10.7	0.1410
21	56.0	0.0011	0.6	1.9827	10.1	0.1492
22	52.9	0.0011	0.2	8.0029	10.6	0.1424
23	51.6	0.0011	0.3	4.3281	10.3	0.1457
24	48.1	0.0012	0.5	2.5513	11.4	0.1327
25	46.9	0.0012	0.5	2.5868	11.3	0.1344
26	49.3	0.0012	0.1	14.7421	10.3	0.1458
27	48.5	0.0012	0.3	4.0075	10.0	0.1503
28	48.4	0.0012	0.2	7.0977	9.9	0.1517
29	47.8	0.0012	0.4	3.3605	9.6	0.1558
30	46.1	0.0013	0.6	2.1365	9.7	0.1544
31	44.4	0.0013	0.5	2.3873	9.8	0.1533
32	41.6	0.0015	1.5	0.8075	9.3	0.1620
33	41.8	0.0014	1.1	1.1878	9.2	0.1635
34	46.3	0.0013	1.6	0.7888	8.3	0.1799
35	44.8	0.0013	0.6	1.9215	9.3	0.1606
36	40.2	0.0015	1.7	0.7249	8.0	0.1844
37	38.9	0.0016	1.0	1.3036	8.8	0.1685
38	42.2	0.0014	0.5	2.6451	9.5	0.1568
39	44.5	0.0013	0.4	3.3528	9.6	0.1560
40	41.5	0.0014	0.5	2.4765	9.3	0.1603
41	38.5	0.0016	0.1	18.2199	9.3	0.1611

Çizelge 5.13. Devamı

Deney - 5 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
42	40.9	0.0015	0.2	5.1415	9.2	0.1634
43	41.3	0.0015	0.1	12.6196	9.3	0.1607
44	43.6	0.0014	0.3	3.6337	9.0	0.1648
45	39.3	0.0015	0.4	2.8775	9.3	0.1603
46	41.0	0.0015	0.0	49.3632	9.1	0.1642
47	42.3	0.0014	0.4	2.8458	9.1	0.1640
48	43.0	0.0014	0.4	2.9572	9.4	0.1586
49	41.0	0.0015	0.7	1.7254	9.0	0.1654
50	40.1	0.0015	0.4	2.8271	9.7	0.1543
51	42.0	0.0014	0.6	1.9553	9.1	0.1650
52	41.0	0.0015	0.5	2.4623	9.0	0.1653
53	40.5	0.0015	0.6	2.0495	10.0	0.1506
54	40.7	0.0014	0.3	3.6655	9.8	0.1533
55	43.1	0.0013	0.3	3.7981	9.7	0.1546
56	40.4	0.0015	0.0	42.8872	9.0	0.1664
57	41.9	0.0014	0.2	6.2636	8.6	0.1718
58	42.5	0.0014	0.6	1.9616	9.5	0.1574
59	44.3	0.0013	0.5	2.3073	9.3	0.1611
60	45.2	0.0013	0.2	6.5506	9.3	0.1605
Ortalama	44.9	0.0037	0.6	5.9953	9.0	0.1687

Çizelge 5.14. Deney - 6 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 6 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	54.1	0.0417	1.2	0.9971	15.7	0.1037
2	52.0	0.0009	1.2	0.9876	16.2	0.1019
3	48.1	0.0011	1.3	0.8931	16.6	0.1006
4	45.9	0.0012	1.2	0.9890	16.9	0.0995
5	43.4	0.0013	1.2	0.9449	17.4	0.0970
6	41.8	0.0013	1.0	1.2098	16.9	0.1001
7	43.5	0.0013	1.0	1.1627	16.8	0.1001
8	42.5	0.0013	1.0	1.1304	17.4	0.0967
9	43.5	0.0013	1.1	1.0731	16.9	0.1000
10	42.4	0.0013	1.2	0.9664	16.9	0.0997
11	40.0	0.0014	1.0	1.1629	17.1	0.0989
12	41.0	0.0014	0.9	1.3128	17.0	0.0992
13	41.5	0.0014	1.0	1.2357	16.9	0.1002
14	40.1	0.0014	1.0	1.2412	16.9	0.1001
15	41.6	0.0013	1.2	1.0272	16.4	0.1023
16	43.2	0.0013	1.0	1.1927	16.0	0.1048
17	42.4	0.0013	1.0	1.2141	16.3	0.1027
18	40.2	0.0014	1.4	0.8215	15.3	0.1077
19	38.7	0.0014	1.6	0.7396	15.8	0.1047
20	35.5	0.0016	1.3	0.9137	15.9	0.1043
21	36.2	0.0016	1.3	0.8734	15.8	0.1049
22	37.5	0.0015	1.4	0.8326	15.9	0.1043
23	35.8	0.0016	1.0	1.1948	15.6	0.1062
24	32.6	0.0018	0.8	1.3950	15.8	0.1048
25	30.1	0.0020	0.8	1.3909	15.7	0.1053
26	33.3	0.0018	1.0	1.1606	15.1	0.1090
27	31.9	0.0019	0.8	1.5742	15.2	0.1085
28	32.5	0.0019	1.1	1.1103	14.4	0.1149
29	40.0	0.0015	1.4	0.8549	15.1	0.1091
30	35.2	0.0017	1.2	0.9501	14.7	0.1115
31	32.8	0.0018	1.0	1.1903	14.7	0.1118
32	40.5	0.0014	0.9	1.3237	15.2	0.1081
33	39.0	0.0015	0.7	1.8159	14.7	0.1107
34	38.1	0.0015	0.9	1.3304	14.7	0.1106
35	36.9	0.0016	0.8	1.5538	14.2	0.1142
36	41.0	0.0014	1.0	1.1790	13.6	0.1184
37	37.9	0.0015	0.8	1.4340	13.6	0.1175
38	35.4	0.0017	1.0	1.1547	13.4	0.1193
39	34.8	0.0017	1.1	1.0315	14.0	0.1139
40	35.5	0.0016	0.9	1.3240	13.5	0.1177
Ortalama	39.5	0.0025	1.1	1.1472	15.7	0.1061

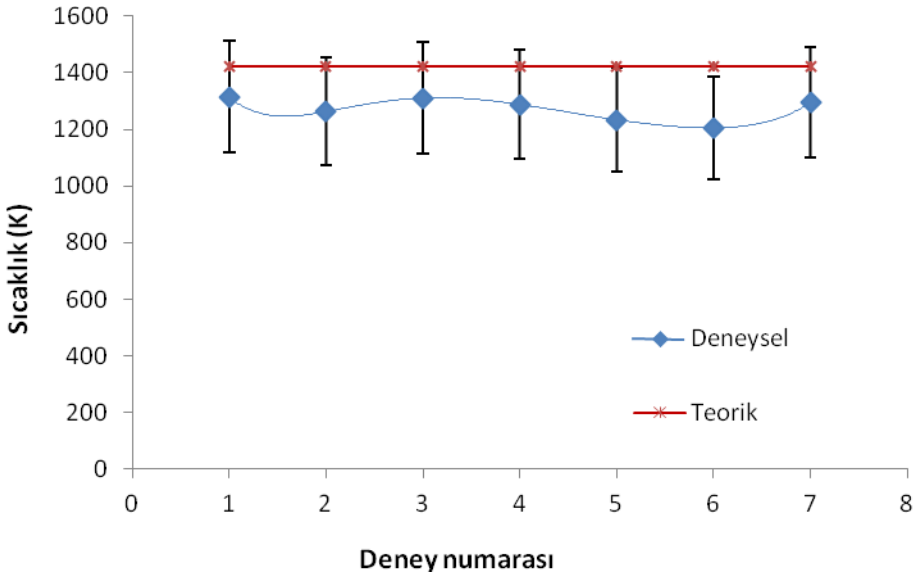
Çizelge 5.15. Deney - 7 Egzoz gazı, yoğuşturucu ve kazan sıcaklık farklarının hata oranları

Deney - 7 Hata analizi						
Zaman	**ΔTeg (Egzoz gazı)**	**$W_{\Delta Teg}$**	**ΔTyg (Yoğusturucu)**	**$W_{\Delta Tyog}$**	**ΔTkaz (Kazan)**	**$W_{\Delta Tkaz}$**
dk	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**°C**	**%**
1	54.5	0.0422	1.3	0.7486	28.0	0.0652
2	57.6	0.0009	1.2	0.8648	29.2	0.0648
3	60.1	0.0008	1.2	0.8530	28.3	0.0672
4	60.4	0.0009	1.1	0.9948	28.7	0.0669
5	59.8	0.0009	1.1	0.9988	30.0	0.0650
6	61.0	0.0009	0.9	1.2428	31.5	0.0634
7	59.2	0.0009	0.9	1.2628	31.3	0.0642
8	59.4	0.0009	0.7	1.6560	30.1	0.0669
9	59.4	0.0009	1.4	0.7925	31.1	0.0662
10	61.3	0.0009	2.0	0.5617	36.2	0.0604
11	64.0	0.0009	2.5	0.4368	39.7	0.0576
12	66.3	0.0008	2.0	0.5181	34.9	0.0618
13	67.0	0.0008	1.1	0.9464	28.9	0.0686
14	64.9	0.0008	1.0	1.1577	29.1	0.0679
15	64.3	0.0009	1.1	0.9742	27.4	0.0714
16	64.0	0.0009	1.6	0.6900	30.0	0.0672
17	62.8	0.0009	1.9	0.6071	30.9	0.0664
18	62.0	0.0009	1.7	0.6622	30.5	0.0666
19	65.7	0.0008	1.3	0.8683	34.2	0.0620
20	66.3	0.0009	1.4	0.7890	32.7	0.0644
21	65.5	0.0009	1.5	0.7709	31.6	0.0664
22	63.7	0.0009	1.3	0.8477	33.8	0.0633
23	62.3	0.0009	1.5	0.7840	32.8	0.0649
24	61.0	0.0010	1.7	0.6950	30.8	0.0685
25	63.0	0.0009	1.4	0.8281	33.9	0.0635
26	60.4	0.0009	1.5	0.7802	29.9	0.0692
27	61.3	0.0009	1.0	1.1144	30.0	0.0684
28	60.9	0.0010	1.0	1.1608	32.1	0.0651
29	59.8	0.0010	1.1	1.0508	32.5	0.0659
30	55.5	0.0011	1.5	0.8124	30.6	0.0688
Ortalama	61.8	0.0023	1.4	0.8823	31.4	0.0656

6. DENEY SONUÇLARININ YORUMU VE TARTIŞMA

6.1. Deneysel Ve Teorik Çalışmanın Karşılaştırılması

Şekil 4.14.'de simülasyonda elde edilen yarı küresel yakıcının dış cidarındaki sıcaklık dağılımı gösterildi, burada görüldüğü gibi sıcaklık 1423 K'e kadar çıkmaktadır. Deneysel çalışmalarda yüksek sıcaklık lazer okuyucu ile açık ortamda 1274 K okundu. Simülasyon ve deneysel çalışma arasındaki sıcaklık farkı, deneysel çalışma ortamı ile simülasyon çalışma şartları arasındaki farktan kaynakanmaktadır. Sıcaklığın okunabilmesi için yarı küresel metal maktrix yakıcı sistemden sökülerek açık ortamda çalıştırılarak sıcaklığı okunduğundan çevreye ısı kayıpları olmaktadır. **Şekil 4.14.**'de yarı küresel yakıcıdaki sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. **Şekil 6.1'**de deneysel ve teorik çalışmada elde edilen sıcaklığın karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Deneysel ve teorik çalışmada elde edilen sıcaklığın karşılaştırılması

Şekil 4.16.'de yarı küresel yakıcının dış cidarında basınç dağılımı gösterildi. şekilden de açıkça görüldüğü gibi küre yüzeyinde basınç eşit şekilde dağılmıştır, bu eşit basınç dağılımı yanmanın bütün küre yüzeyinde eşit bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.17.'de yarı küresel yakıcının dış cidarında yoğunluk dağılımı gösterildi, burada kürenin tepe noktasında simetri eksenine doğru karışım yoğunluğu dağılım alanının genişlemesinden dolayı düşmektedir.

Şekil 4.18.'de yarı küresel yakıcının dış cidarındaki hız dağılımı gösterilimiştir. Şekilde görüldüğü gibi dış cidarda karışım hızı sabit kalmaktadır, bu olayın gerçekleşmesindeki en büyük etken delikli sac ve wire mesh'dir. Delikli sac ve wire mesh sahip oldukları geometrik özelliklerinden dolayı karışımın eşit dağılmasını sağlayarak yanmanın bütün küre yüzeyinde üniform bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.19. 'de yarı küresel yakıcının dış cidarındaki hız dağılımı akış çizgileri ile ve **Şekil 4.20**. 'de yarı küresel yakıcının dış cidarındaki hız dağılımı vektörler ile gösterilmiştir.

Şekil 5.1., **Şekil 5.4**., **Şekil 5.7**., **Şekil 5.10**., **Şekil 5.13**.,'de sırasıyla aynı debideki (0,125 kg/s) Deney-1, Deney-2, Deney-3, Deney-4 ve Deney-5 için ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi ısı değiştiricisi ve yoğuşturucudan çıkan su sıcaklıkları zamana bağlı olarak artmaktadır.

Şekil 5.2., Şekil 5.5., Şekil 5.8., Şekil 5.11., **Şekil 5.14**.,'de sırasıyla Deney-1, Deney-2, Deney-3 Deney-4 ve Deney-5 için yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıklarını gösterildi. Burada yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıklarının paralel olarak arttığı görülmektedir.

Şekil 5.3., Şekil 5.6., Şekil 5.9., Şekil 5.12., **Şekil 5.15**.,'de sırasıyla Deney-1, Deney-2, Deney-3 Deney-4 ve Deney-5 için kazan, sistem ve yanma verimini gösterildi. Grafikte görüldüğü gibi yanma verimi deney süresince ortalama %98,99 verim ile sabit kalırken kazan ve sistem verimi değişmektedir.

Şekil 5.16. Deney-6 (0,075 kg/s) için ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi ısı değiştiricisi ve yoğuşturucudan çıkan su sıcaklıkları zamana bağlı olarak neredeyse sabit kalmaktadır.

Şekil 5.17. Deney-6 için yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıklarını göstermektedir. Burada yoğuşturucuya giren gaz sıcaklığında dalgalanma görülmektedir ve çıkan egzoz gazı sıcakılığı sabit kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.18. Deney-6 için kazan, sistem ve yanma verimini gösterildi. Grafikte görüldüğü gibi yanma verimi deney süresince ortalama %99,12 verim ile sabit kalırken kazan ve sistem verimi zamana bağlı olarak düştüğü görüldü.

Şekil 5.19. Deney-7 (0,047 kg/s) için ısı değiştirici ve yoğuşturucuya giren ve çıkan su sıcakılıkları görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi ısı değiştiricisi ve yoğuşturucudan çıkan su sıcaklıklarında zamana bağlı olarak artış görüldü.

Şekil 5.20. Deney-7 için yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıklarını göstermektedir. Burada yoğuşturucuya giren gaz sıcaklığında dalgalanma görülmektedir ve çıkan egzoz gazı sıcakılığı kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.21. Deney-7 için kazan, sistem ve yanma verimini gösterildi. Grafikte görüldüğü gibi yanma verimi deney süresince ortalama %99,20 verim ile sabit kalırken kazan ve sistem veriminde zamana bağlı olarak artış görüldü.

Gerçekleştirilen deneyler için piyasada egzoz gazı ölçümleri yapan bir firmaya emisyon ölçümleri yaptırıldı. **Şekil 6.2'**de 4 ayrı egzoz gazı ölçüm raporları gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Egzoz gazı ölçüm raporları

Yukarıdaki 4 ayrı ölçüm raporlarında görüldüğü gibi egzoz gazındaki O_2 miktarı sırasıyla % 5,62, % 5,88, % 5,74 ve % 6,53 çıkmıştır, oysa bu oran % 3 olması lazımdı. Sınır değer ve ölçülen değerler arasındaki fark baca tertibatı ile kazan birleşme yerindeki boşluktan kaynaklanmaktadır, çünkü bu boşluktan bacada oluşan vakum nedeniyle ortamdan oksijen emilmektedir.

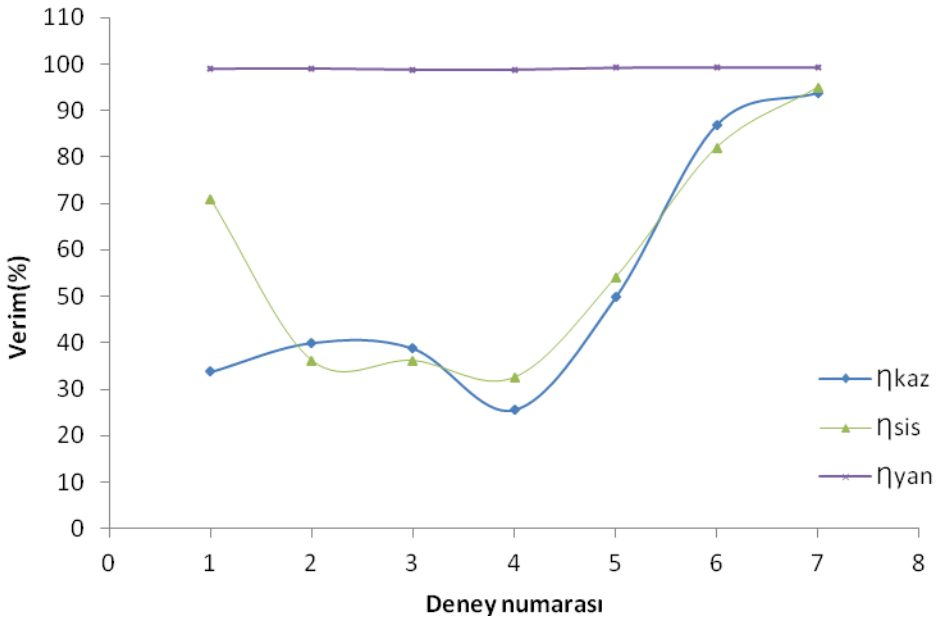
Ölçümlerde görülen CO miktarı sırasıyla 10 mg/m^3, 5 mg/m^3, 8 mg/m^3 ve 8 mg/m^3 olarak ölçüldü. **Çizelge 6.1.**'de yakma ısı gücü 100 MW ın altındaki tesisler için baca gazı emisyonlarının sınır değerleri gösterilmiştir. Bu çizelgede görüldüğü gibi CO sınır değeri 100 mg/m^3 dür, deneysel ölçümlerde elde edilen CO emisyonları 100 mg/m^3 değirinin çok altındadır.

Çizelge 6.1. Yakma ısı gücü 100 MW ın altındaki tesisler için baca gazı emisyonlarının sınır değerleri

Yakıtlar	Kükürtdioksit mg/Nm^3	Karbonmonoksit mg/Nm^3	Azot dioksit mg/Nm^3	Toz mg/Nm^3
Doğal Gaz, LPG, Rafineri gazı	100	100	800	10
Kok Fabrikası Gazı	200	100		100
Biyogaz	800	100		100

Ölçümlerde fazla hava katsıyısı sırasıyla 1,37-1,39-1,38 ve 1,45 olarak ölçülmüştür. Deneylerde denklem (5.12) kullanılarak elde edilen değer 1,37 dir.

Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi ölçümlerde yanma verimi % 99,2 olarak kayıt edildi. **Şekil 6.3.**'de toplam 7 deneyin yanma verimi ortalaması gösterildi, burada 7 deneyin ortalaması % 99 olarak hesaplandı, ölçümlerde ve teorik hesaplamadaki % 0,2'lik fark görüldü, bu fark ölçümlerdeki sapmalardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.3. Toplam 7 deneyin, Kazan, sistem ve yanma verimi ortalaması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada yoğuşmalı kombiler için çok geçişli kompakt ısı değiştiricisi ve yarı küresel metal matrix yakıcının geliştirilmesi amaçlandı. Material ve metod belirlenerek hazırlandıktan sonra yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

Çalışmada kullanılan metal matrix yakıcı ile açık ortamda 1274 K yüksek sıcaklıklara ulaşıldı. Kapalı ortamda (kazan içinde) muhtemel sıcaklık 1300 K olduğu düşünülmektedir.

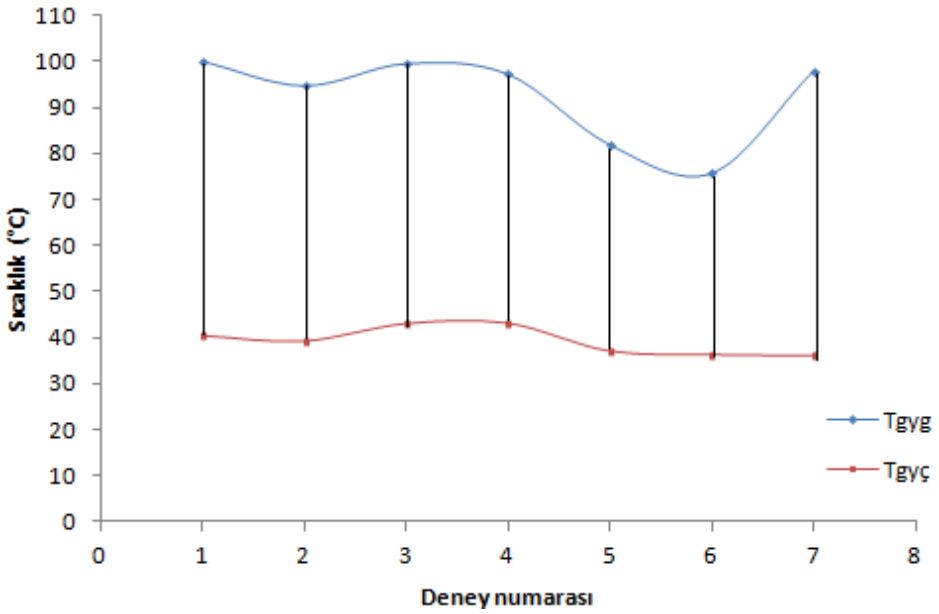
Yakıcıda **Şekil 3.12**. delikli sac, **Şekil 3.13.** wire mesh'li yarı küresel yakıcı, **Şekil 3.14.** dağıtıcı küre kullanılması hava-yakıt karışımının homojen şekilde karışım oluşturmasını sağladı, ayrıca karışımı yarı küresel yakıcının bütün yüzeyine eşit dağıtarak dengeli bir yanma oluştuldu (**Şekil 3.25.**) .

Kazan su çıkış sıcaklığının 0,455 m^3/h debideki oratalama değeri maksimum 42,7 °C iken, debi düşürüldüğünde (0,274 m^3/h) su sıcaklığı 49,6 °C ortalama değerine yükseldi. Buradan daha yüksek debideki sıcak su ihtiyacı için yakıcı kapasitesinin büyütülmesi gerektiği anlaşıldı.

Şekil 3.17'de gösterilen yoğuşturucu, kompakt olması nedeniyle boyutları küçültülmüş ve toplam 0,5 m^2 ısı transfer alanına sahiptir. Yoğuşturucuya giren ve çıkan egzoz gazı sıcakılıkları arasında yüksek fark (ΔT = 63,9 °C, **Şekil 7.1'**deki taranmış alan) kombilerde yoğuşturucunun önemini göstermektedir. Bu çalışmada yoğuşturucu kullanımı ile baca gazı ısısının ortalama % 43'ü geri dönüştürülerek kazan ısı kapasitesinde ortalama % 12 artış sağlandı.

Egzoz gazı ölçümleri raporlarında (**Şekil 6.2**) CO emisyon değerlerinin (ortalama 7,75 mg/m^3) sınır değerlerin (100 mg/m^3) çok altında olduğu görüldü.

Yanma verimi için hem ölçüm raporlarında (**Şekil 6.2**) hem de terorik hesaplarda % 99 olan yüksek değerler elde edildi. Kazan ve sistem verimi 0,125 kg/s debide sırasıyla % 30 ve % 70 değerlerinde kalırken daha düşük debide (0,075 kg/s ve 0,047 kg/s) % 90 değerlerine kadar çıktığı kayıt edildi.



Şekil 7.1. Yoğuşturucu kullanılması ile elde edilen ısı enerjisi

Deneysel çalışma ile elde edilen veriler piyasada kullanılnan bir markanın yoğuşmalı kombisi ile karşılaştırılarak **Çizelge 7.1**'de gösterildi. Burada görüldüğü gibi deneysel çalışmalarda maksimum çıkış sıcaklığında (pik değerde) sistemin verimi % 104 ve ortalama çıkış sıcaklığında sistemin verimi % 78 olarak hesaplandı. Piyasada kullanılan kombinin verimi ise maksimum çıkış sıcaklığı için % 97'dir.

Çizelge 7.1. Deneysel çalışma ile piyasada kullanılan kombinin karşılaştırılması

Açıklama	Tip	Giriş kapasitesi (Üst Isıl degerde)	Giriş kapasitesi (alt Isıl degerde)	Çıkış kapasitesi	Verim	NOx emisyonu	CO emisyonu	Baca gazı sıcaklığı	Yakıt miktarı
		kW	kW	kW	%	ppm	ppm	°C	m3/h
Deneysel çalışma (maksimum değer)	yoğuşmalı	9.3	8.6	8.9	104	5	8	46	0.26 LPG
Deneysel çalışma (ortalama değer)	yoğuşmalı	8.9	8.2	6.4	78	5	8	37	0.26 LPG
Piyasada kullanılan kombi-1	yoğuşmalı	25	22.5	21.9	97	8.9	11.3	31	2.43 CH4
Piyasada kullanılan kombi-2	yoğuşmalı	25.2	-	24.6	98	-	-	-	0.87 LPG

Şekil 6.2'de gösterilen baca gazı emisyon ölçüm raporlarından da görüldüğü gibi NOx miktarı 5 ppm ve CO miktarı 8 ppm olduğu görülmektedir. Bu değerin piyasada kullanılan kombinin emisyon değerleri (NOx miktarı 8.9 ppm ve CO miktarı 11.3 ppm) ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmektedir.

Yakıt tüketimi açısından piyasadaki kombiler ile karşılaştırıldığında; **Çizelge 7.1**'de görüldüğü gibi deneysel çalışmalarda birim kW başına harcanan yakıt 0,028 m^3/h iken piyasada kullanılanan kombi-1 için 0.039 m^3/h ve piyasada kullanılanan kombi-2 için 0.034 m^3/h'dir. Buradan açıkça görüldüğü gibi birim kW başına daha az yakıt tüketimi gerçekleştirilmiştir.

7.2. Öneriler

Doğruluk oranı daha yüksek nümerik çözümler elde etmek için Ansys Fluent programı ile problemin nümerik 3 boyutlu çözümü yapılması lazım. 3 boyutlu çözüm yüksek kapasiteye sahip bilgisayar gerektirdiğinden bu çalışmada 2 boyutlu çözüm ile yetinildi.

Isı değiştirici ve yoğuşturucudaki çevreye olan ısı kayıpları önlenerek sistemin verimi daha da artırılabilir ve açık alanda 1274 K sıcaklıkta olan yakıcı küre sıcaklığı simülasyonlarda ölçülen 1423 K sıcaklığa erişilebilir.

Bu çalışmada kullanılan çok geçişli kompakt ısı değiştirici için tasarlanan ve kullanılan yarı küresel yakıcı kapasitesi yertersiz olduğundan, daha büyük kapasiteli yakıcı tasarlanarak aynı sistemden yüksek sıcaklık ve debilerde sıcak su elde edilebilir.

Deneylerin gerçekleştirildiği Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Termodinamik Laboratuvarında doğalgaz tesisatı olmadığından yakıt olarak LPG gazı kullanıldı, sistemde doğalgaz kullanılarak , emisyon değerleri ve yanma verimi yeniden ölçülebilir.

Sisteme otomasyon sistemi uygulanarak hava yakıt oranı gibi donelerin optimum bir şekilde ayarlanması otomatik olarak sağlanarak daha yüksek verimler elde edilebilir.

8. KAYNAKLAR

Altınışık, K., 2003, Uygulamalarla ısı transferi, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, 243-261, 675-723.

Altınışık, K., Teberoğlu, Ö., Tekin, M., Şahin, S., 2005, semi spherical ceramic foam burners and burning simulation, 9th International Research/Expert Conference, Trends in Development of Machinery and Associated Technology, TMT2005, Antalya-Turkey.

Andersson, A., Johnsson, P., 2007, Flame and radiation characteristics of gas-fired O_2/CO_2 combustion, Fuel 86 (2007) 656–668.

Anonim, 1999, Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmi Gazete, 25.09.1999, Sayı 23827.

Anonim, 2001, Kazanlar - merkezi ısıtma - gaz yakan -anma ısı yükü 70 kW aşmayan c tipi kazanlar, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 483.

Anonim, 2013, Emisyon iznine tabi tesisler için esaslar ve sınır değerler, Çevre ve Şehircilik Bakanalığı [online], http:// www.csb.gov.tr / dosyalar / images / file / Sanayi_Kaynakli_Hava_Kirliliginin_Kontrolu_Yonetmeligi_Ekleri.pdf [Ziyaret Tarihi: 16 Haziran 2013].

Anonim, 2013, Yanma temelleri [online], http://www.enerjiverim.com/yanma-temelleri.html [Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2013].

Anonin, Alarko kombi kataloğu [online], http://www.alarko-carrier.com.tr [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2013].

Anonim, Viessmann kombi kataloğu [online], http://www.viessmann.com.tr [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2013].

Anonim, Ferroli kombi kataloğu [online], http://www.ferroli.com.tr [Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2013].

Anonim, Vaillant kombi kataloğu, [online], http://www.vaillant.com.tr [Ziyaret Tarihi: 15 Haziran 2013].

Anonymous, 2005, Combustion Models (Gas Phase Models), Fluent Software Training, Fluent User Services Center.

Anonymous, 2005, Radiation modeling in FLUENT, Fluent Software Training, Fluent User Services Center.

Anonymous, 2006, Introduction to CFD Analysis, Fluent Software Training, Fluent User Services Center.

Anonymous, 2006, Heat transfer modeling, Fluent Software Training, Fluent User Services Center.

Anonymous, 2006, Solver setting, Fluent Software Training, Fluent User Services Center.

Başkaya, Ş., 2007, Uygulamalı sayısal akışkanlar dinamiği, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-30.

Baysal, E., 2009, "Eşmerkezli borulu ısı değiştiricilerinde helisel türbülatörlerin etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Ankara, 35-36.

Bidi, M., Hosseini, R., Nobari, M.R.H., 2008, Numerical analysis of methane–air combustion considering radiation effect, Energy Conversion and Management 49 (2008) 3634–3647.

Bilger, R.W., Pope, S.B., Brayc, K.N.C., Driscoll, J.F., 2005, Paradigms in turbulent combustion research, Combustion Institute 30 (2005) 21–42.

Bilgin, A., 2011, Kazanlarda enerji verimliliği ve emisyonlar [online], http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/0486860a1f7c526_ek.pdf?dergi=1116 [Ziyaret Tarihi: 27 Mayıs 2013].

Bird, R., B., Stewart, W., E., Lightfoot E., N,. 1960, Transport phenomena. New York : Willey.

Çengel, Y. A., Boles, M. A., 1996, Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, 2. Baskı, Literatör Yayıncılık, 662-665.

Çengel, Y. A., 2003, Heat transfer, 2. Baskı, McGraw-Hill, 869.

Che, D., liu, Y., Gao, C., 2004, Evaluation of retrofitting a conventional natural gaz fired boiler into a condensing boiler, Energy conversion and management ,45 (2004) 3251-3266.

D'Errico, G., 2008, Prediction of the combustion process and emission formation of a bi-fuel s.i. engine, Energy Conversion and Management 49 (2008) 3116–3128.

Dal, A. R., 2007, Kombilerde kullanılan ısı değiştiricisi farklı kanatçık geometrilerinin kombi verimine etkisinin sayısal analizi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

De Lemos, M. J.S., Analysis of turbulent combustion in inert porous media, ICHMT-02067; 6.

Eral, H., Modern yoğuşmalı kazanlarda kullanılan yanma kontrol sistemleri, V.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi, 609-614.

Farzaneh, M., Ebrahimi, R., Shams, M., Shafiey, M., 2009, Numerical simulation of thermal performance of a porous burner, Chemical Engineering and Processing 48 (2009) 623–632.

FLUENT 6.3 User's Guide, 2006, FLUENT Inc. USA.

Forgo, L., Afgan, N. H., Schliinder, E. U., 1988, Some extra high capacity heat exchangers of special design in heat exchanger, Hemisphere Washigton, 101- 120.

Gafletti, L., Belli, M., Bruno, C., 1988, Numerical modelling of combustion processws in gas turbines, pp 13/1:13.

Genceli, O., "Ölçme tekniği", Birsen Yayınevi, İstanbul, 21-29 (2000).

Göç, H., 2010, Bir kazan test merkezinin kurulması, devreye alınması, belgelendirme amaçlı ısıl ve çevresel performans testleri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Goldin, G., Rida, S., 2000, An in depth review of combustion physics and models, Fluent Software Training.

Günther, R., Lenze, B., 1972, Exchanhge coefficients and mathematical models of jet-diffusion flames, 14th. Symposium on Combustion, USA, 675-687.

Haas, F., Koehne, H., 1999, design of scrubbers for condensing boilers, Progress İn Energy And Combustion Science 25 (1999) 305 – 337.

İlbaş, M., 1997, Studies of Ultra Low NOx Burner, PhD Thesis University of Wales, Cardiff, U.K., 35-47.

Incropera, F. P., De Witt, D. P., 2001, Isı ve kütle geçişinin temelleri, literatür yayıncılık, 61.

Jones, W. P., Mcguirk, J. J., 1975, Mathematical modelling of gas turbine combustion chambers, USA, 4/1-11.

Kan, M. D., 1999, Yanma gaz analizleri ve doğalgaz uygulamalarındaki önemi [online],http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/7af4fb322bb5c89_ek.pdf?dergi=156 [Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2013].

Kadırgan, N., 1991, Doğal gazın fiziksel özellikleri, yanması, yanma ürünleri ve hava kirliliği, Y. Ü. Mühendislik Fakültesi.

Kartal, E., 2013, Yanma ve yanmanın optimizasyonu [online], TTMD, http: // www.ttmd.org.tr / userfiles / dergi / dergi16.pdf [Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2013].

Kays, W.M., London, A.L., 1984, Compact Heat Exhangers, 3rd ed., Mc Graw Hill, Newyork, 156-161.

Keleşer, S., Say, S. S., Akgüngör, A. A., 2008, Doğalgaz dönüşümünde yanma ve baca uyumu, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyomu, UTES 2008, 617-626.

Khalil, E. E., Spalding, D. B., Whitelaw, J. H., 1975, The Calculation of local flow properties in two-dimensional furnaces, Int. J. Heat and Mass Transfer, 775-791.

Kılıçaslan, İ., Saraç, H. İ., 1998, Enhancement of heat transfer in compact heat exchanger by different type of rib with holographic ınterferometry, Experimental Thermal and Fluid Science, 17: 339-346.

Kombi tanımı ve tipleri, [online], Alarko Carrier, http://www.alarko-carrier.com.tr/ebulten/YeniUrun/images_2/KombiTipleri.pdf [Ziyaret Tarihi: 08 Haziran 2013].

Kuck, J., 1996, Efficiency of vapour-pump-equipped condensing boilers, Applied Thernal Engineering, Volume 16, Issue 3, 233-244.

Lee, C. K., Abdel-Moneim, S. A., 2001, Computational analysis of heat transfer in turbulent flow past a horizontal surface with two-dimensional ribs, Inernational Communication of Heat and Mass Transfer, 28 (2): 161-170.

Li, L., Choua, S. K., Yanga, W. M., Li, Z. W., 2009, A numerical study on premixed micro-combustion of CH4–air mixture, effects of combustor size, geometry and boundary conditions on flame temperature, Chemical Engineering Journal, 213–222.

Magnussen, B., F., Hjertager, B., 1077, On mathematical modelling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion, Sixttenth Symposium İnternational on Combustion, Pittsburgh, PA: The Combustion İnstute, 1-719.

Mancini, M., Schwöppe, P., Weber, R., Orsino, S., 2007, On mathematical modelling of flameless combustion, Combustion and Flame, 54–59.

Markatos, N., C., G., Moult, A., 1988, The computation of steady and unsteady flows in axi-symmetrical domains, Heat and Momentum Limited, London.

Nagano, Y., Kim, C., A., 1988, Two-equation model for heat transport in wall turbulent shear flows. ASME J Heat Transfer, 110-583.

Nikjooy, M., So, R., M., C., Peck, R., E., 1987, modelling jet and swirl-stabilized reacting flows in axisymmetric combustors, Combustion Sci. and Tech., 135-153.

Kontogeorgos, D.A., Keramida, E.P., Founti, M.A., 2007, Assessment of simplified thermal radiation models for engineering calculations in natural gas-fired furnace, International Journal of Heat and Mass Transfer, 5260–5268.

Norton, D. G., Vlachos, D. G., 2003, Combustion characteristics and flame stability at the microscale, a CFD study of premixed methane/air mixtures, Chemical Engineering Science, 4871 – 4882.

Paul, S. C., Paul, M.C., 2010, Radiative heat transfer during turbulent combustion process, International Communications in Heat and Mass Transfer, 1–6.

Rodi, W., 1982, Examples of turbulence models for incompressible flows, 20-872.

Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P., Ganic, E. N., 1985, Handbook of heat transfer fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1-13, 1-28.

Teberoğlu, Ö., Altınışık, K., 2005, Yarıküresel seramik yakıcılar ve yanma simülasyonu, . Yüksek Lisans Tezi, S.Ü. Fen Bilimleri Ens., Konya.

Torii, S., Shimizu, A., Hasegawa, S., Higasa, M., 1990, Laminarization of by means of strongly heated gas flows in a circular tube (Numerical Analysis by Means of a Modified k- ε model). JSME Int j, 33-538.

Torii, S., Yang, W., 1997, Laminarization of turbulent gas flow inside a strongly heated tube, Int. J. Heat and Mass Transfer, 40-3105.

Vaynante, D., Vervisch, L., 2002, Turbulent combustion modeling, Energy and combustion science, 193-266.

Versteeg, H.K., and Malalasekera, W., 1995, Computational fluid dynamics, Longman, Scientific & Technical, London, 102-157.

Westbrook, C. K., Mizobuchi, Y., Poinsot, T. J., Smith, J. S., Warnatz, J., 2005, Computational combustion, Combustion Institute, 125–157.

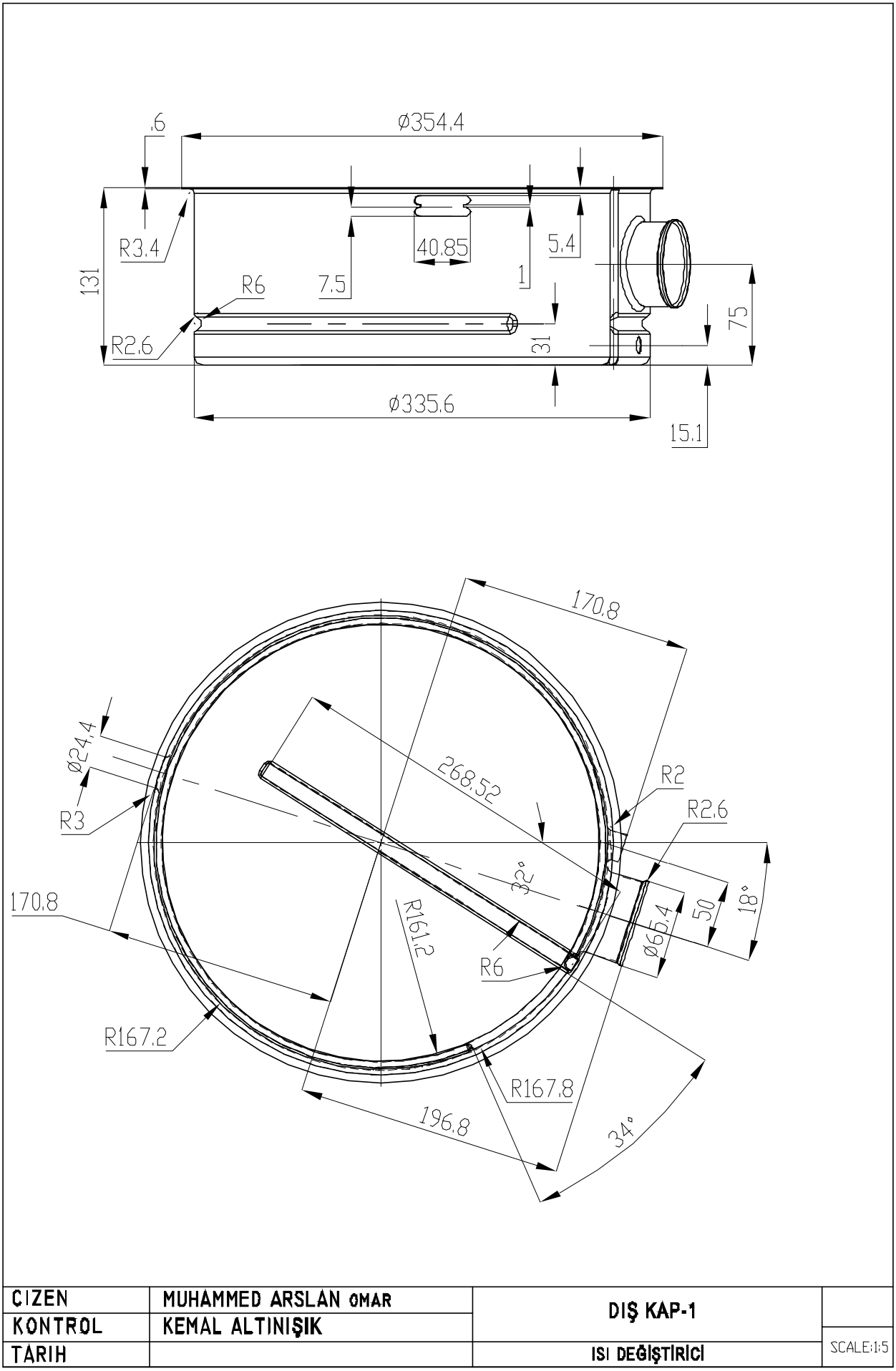
Yamamoto, K., Takada, N., Misawa, M., 2005, Combustion simulation with Lattice Boltzmann method in a three-dimensional porous structure, Combustion Institute, 1509–1515.

Yıldız, K., Yakıtlar ve yanma reaksiyonları, Metalorji Termodinamiği, 39-48.

Yıldız, A., Günerhan, H., 2005, Katı yakıtlı kazan tasarımı ve kazan ısıl kapasite verimlilik değerinin deneysel olarak belirlenmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 50-57.

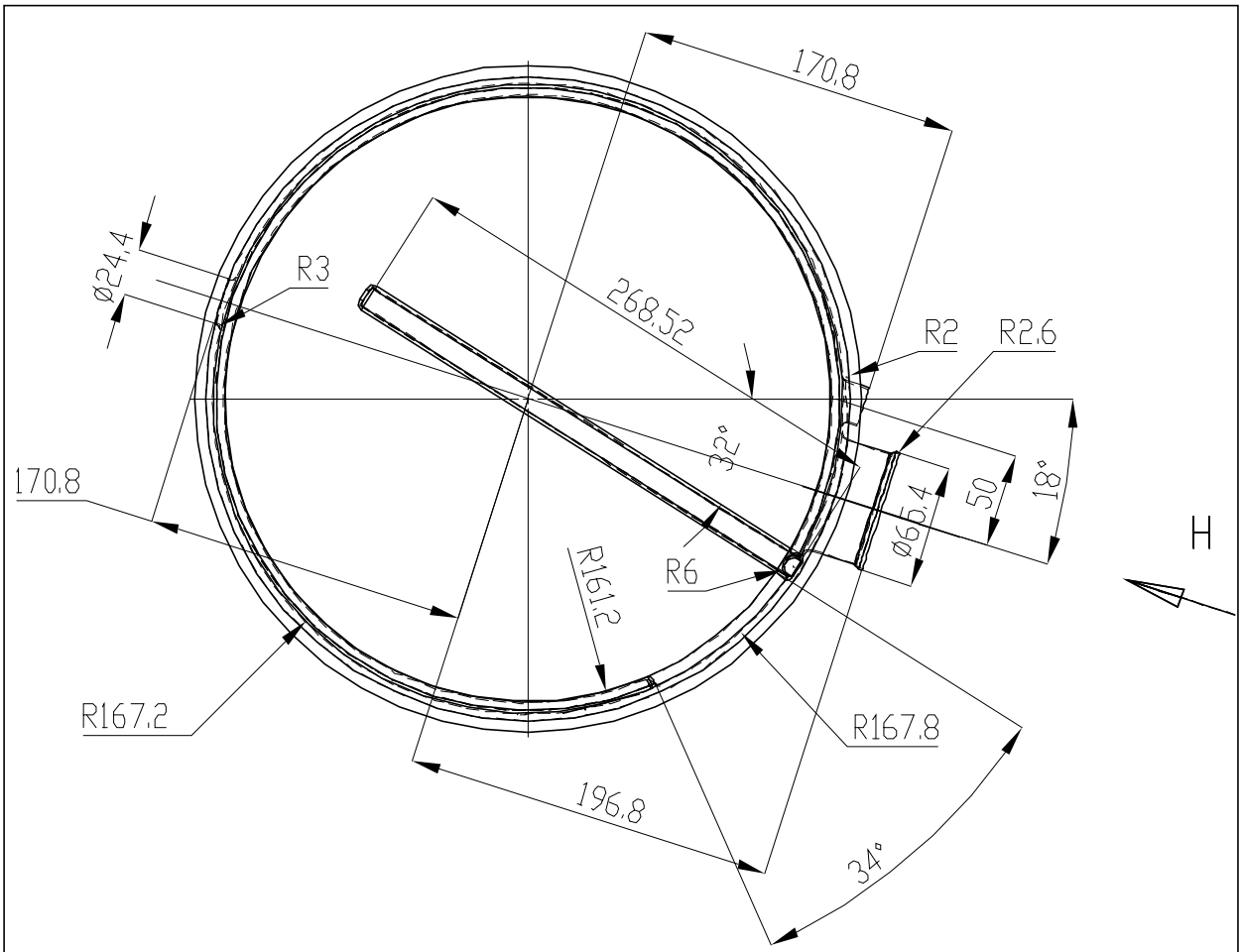
9. EKLER

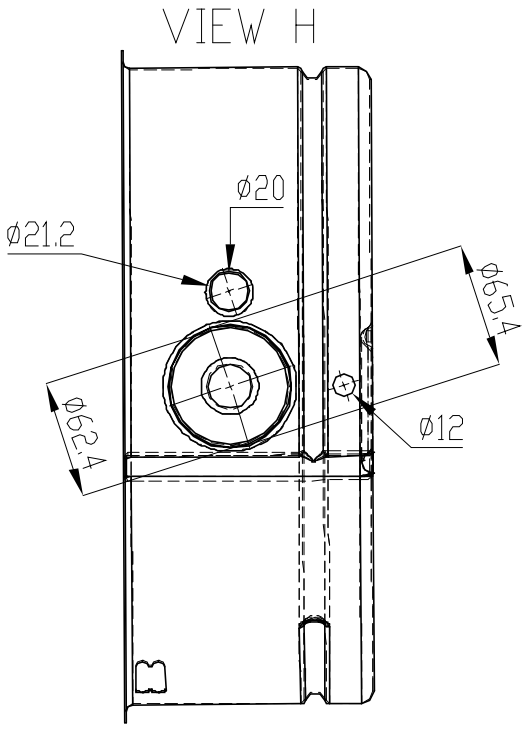
EK-1 Teknik resimler



ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	DIŞ KAP-1	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARİH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

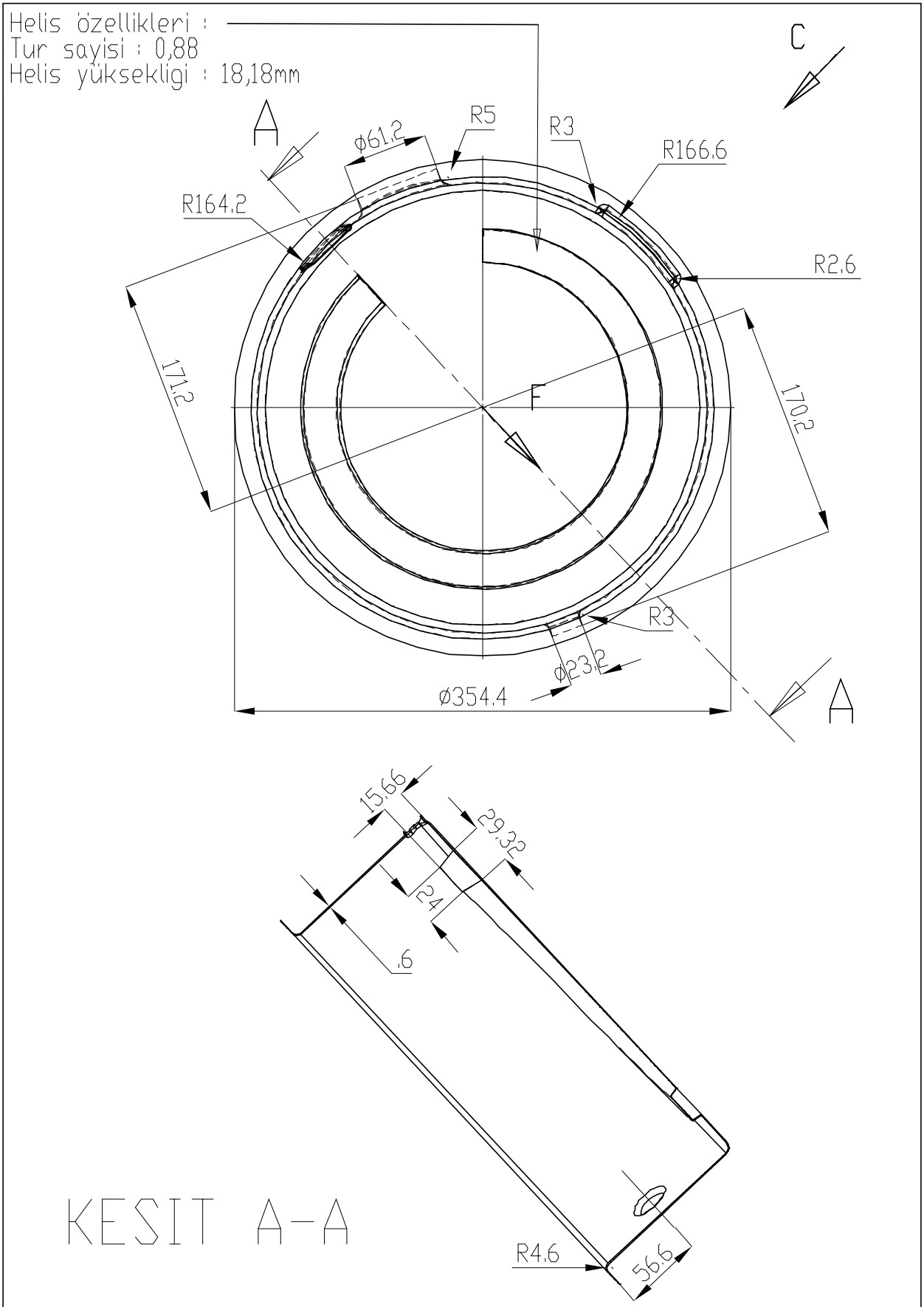
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)





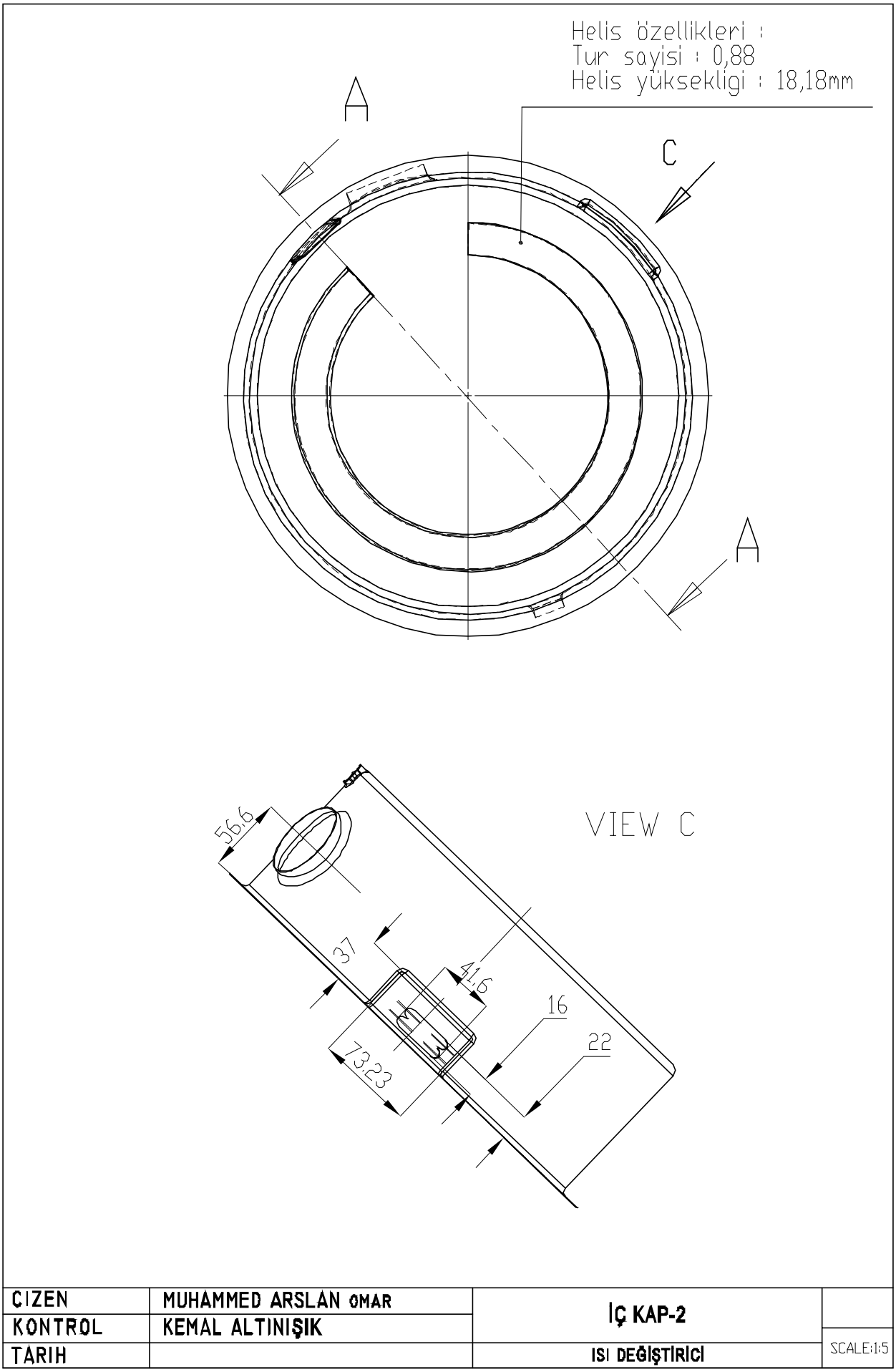
ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	DIŞ KAP-2	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARİH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

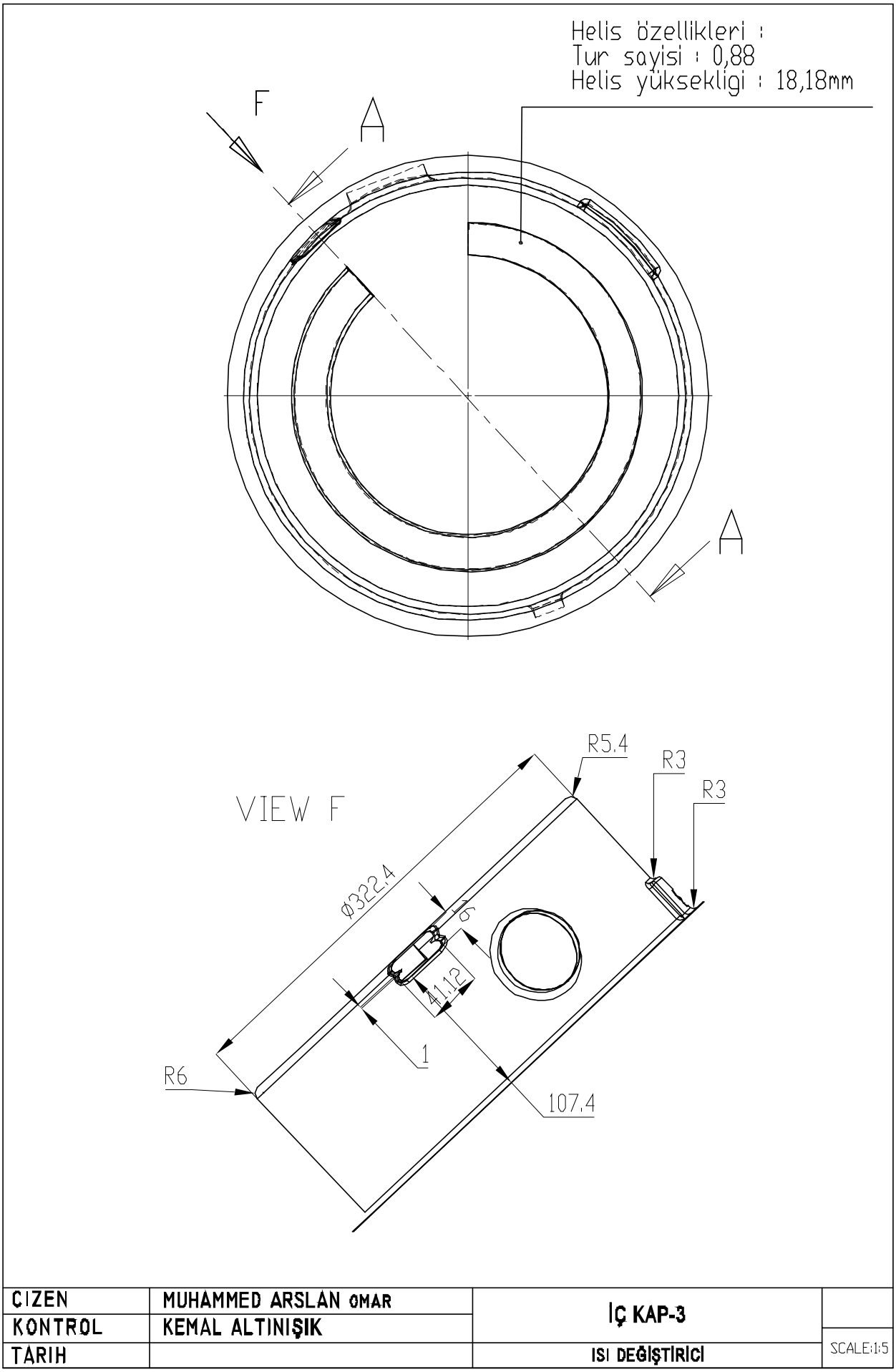


ÇIZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	İÇ KAP-1	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARIH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

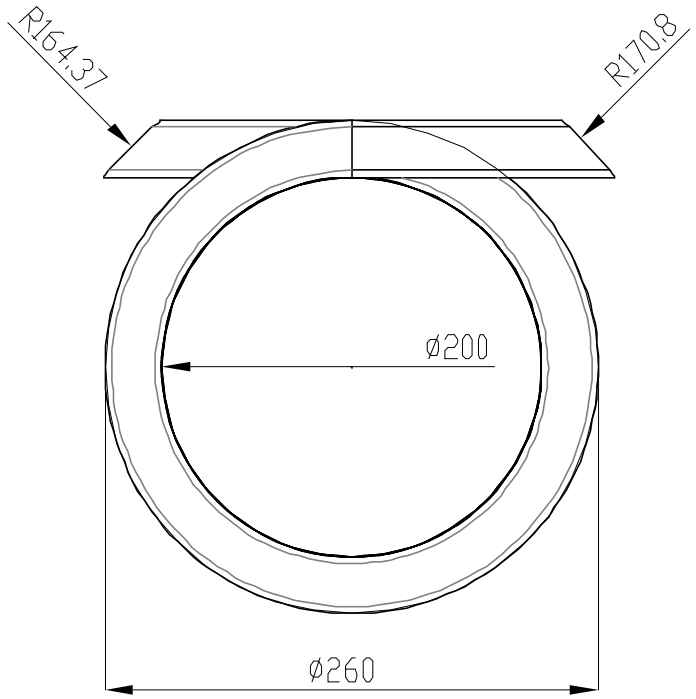
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

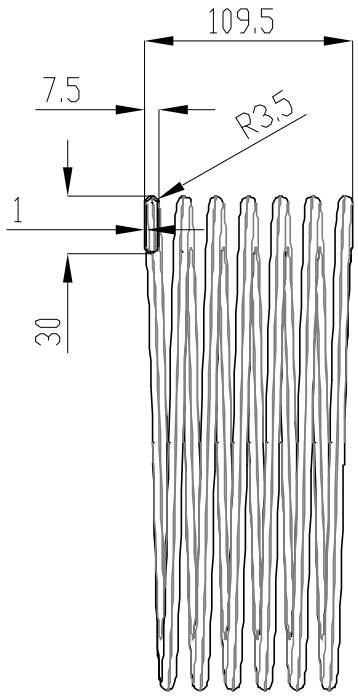


EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

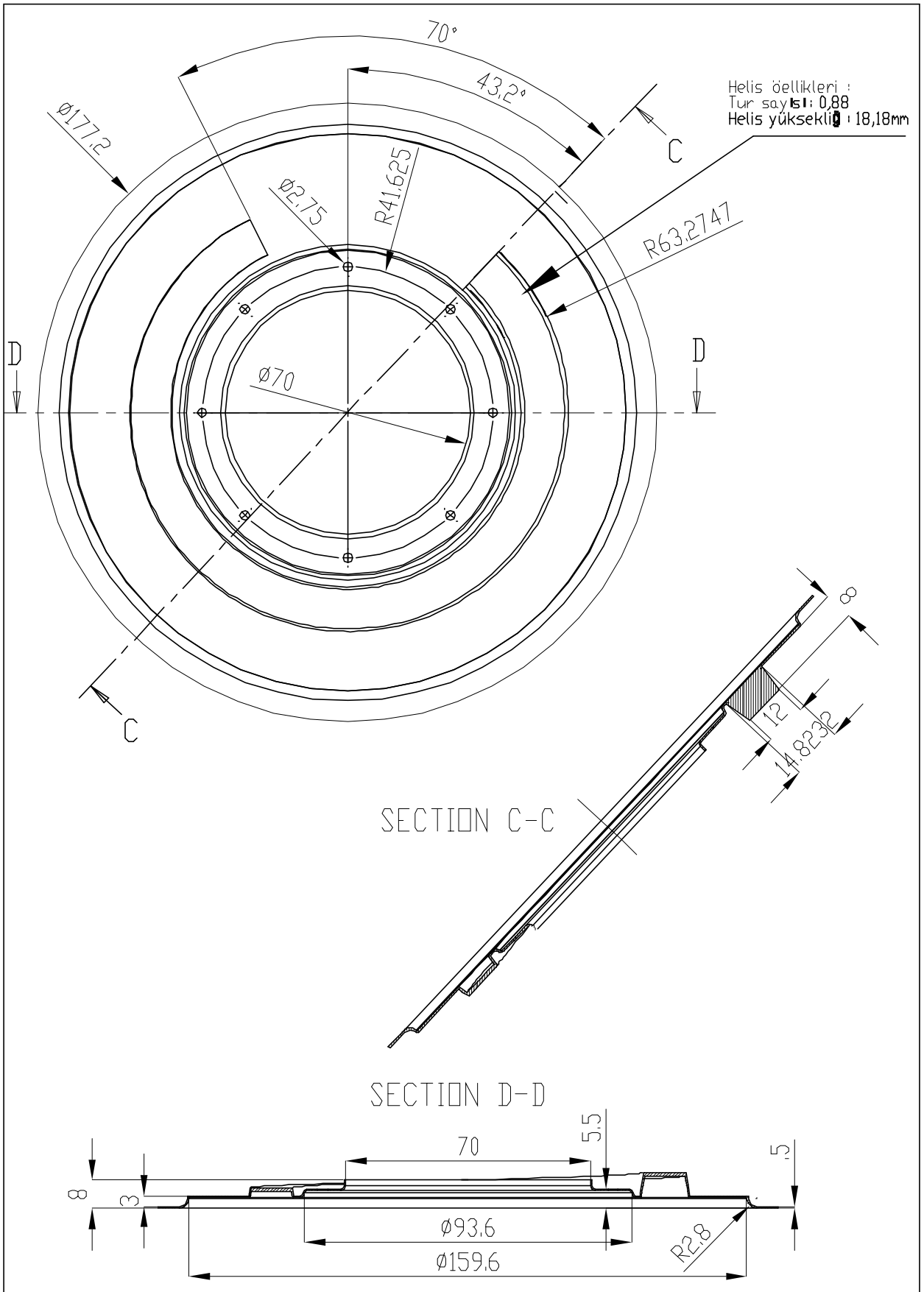




Helis öellikleri :
Tur sayısı : 6
Helis yüksekliği : 18,5mm

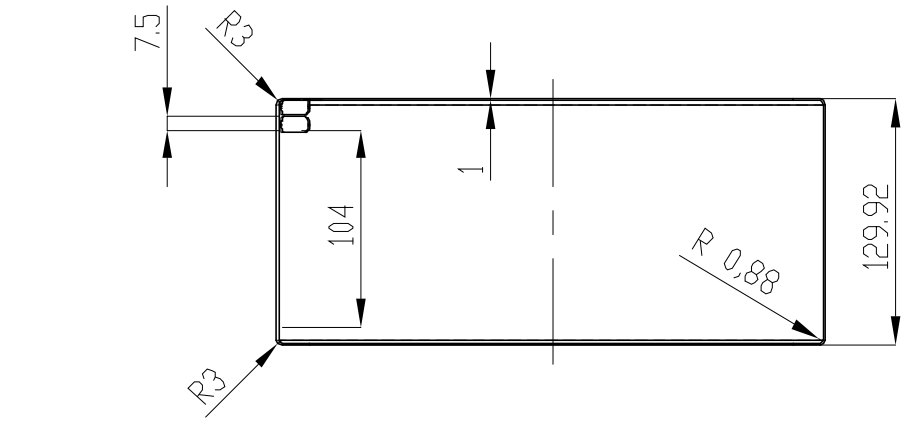
ÇIZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	HELİS BORU	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARIH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

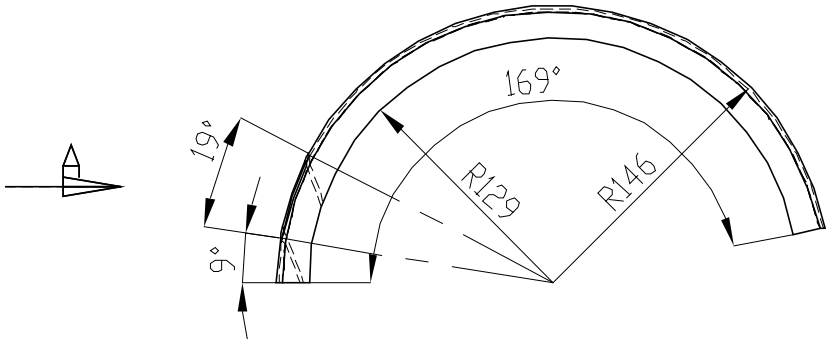
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

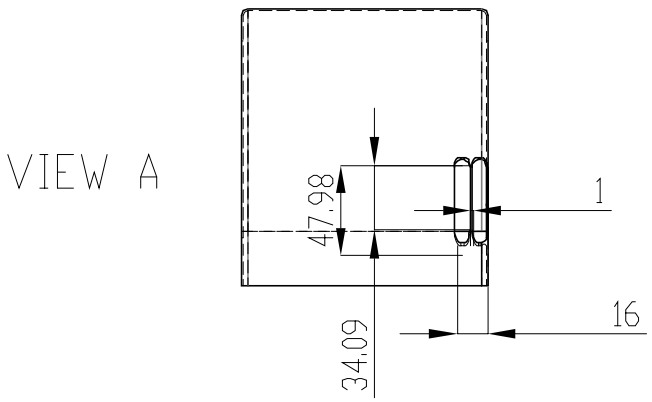


ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	ÜST KAPAK	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:4
TARİH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

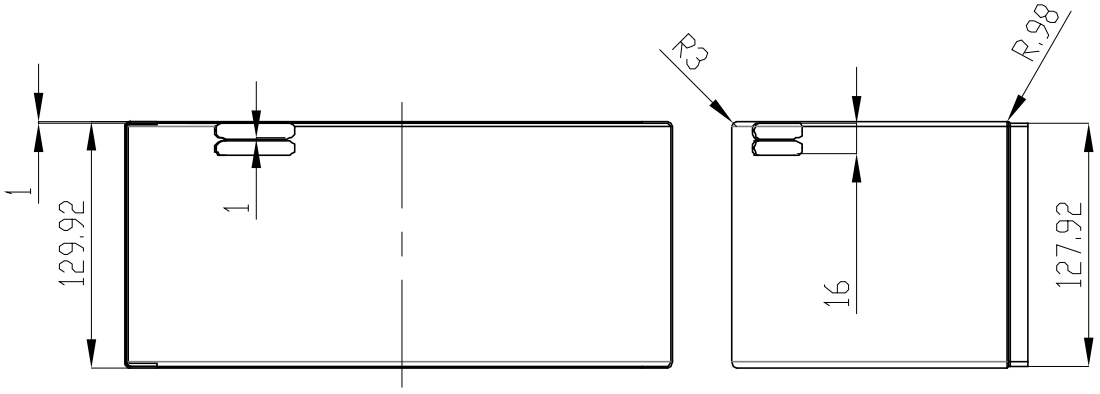


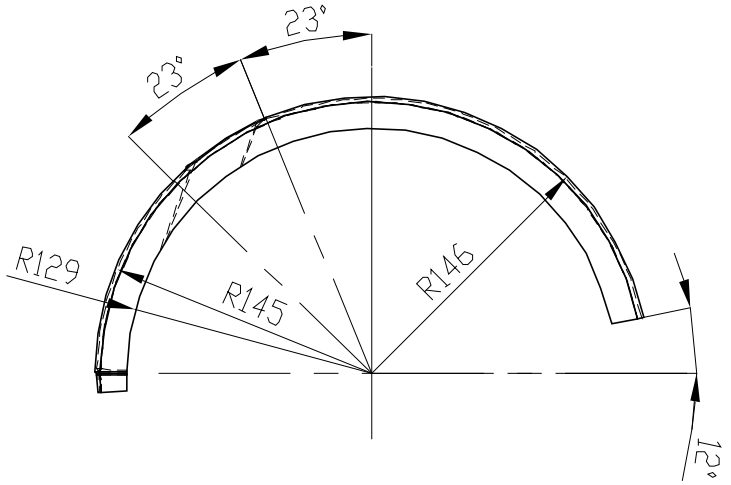




ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	ALEV PERDESİ-1	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARİH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	

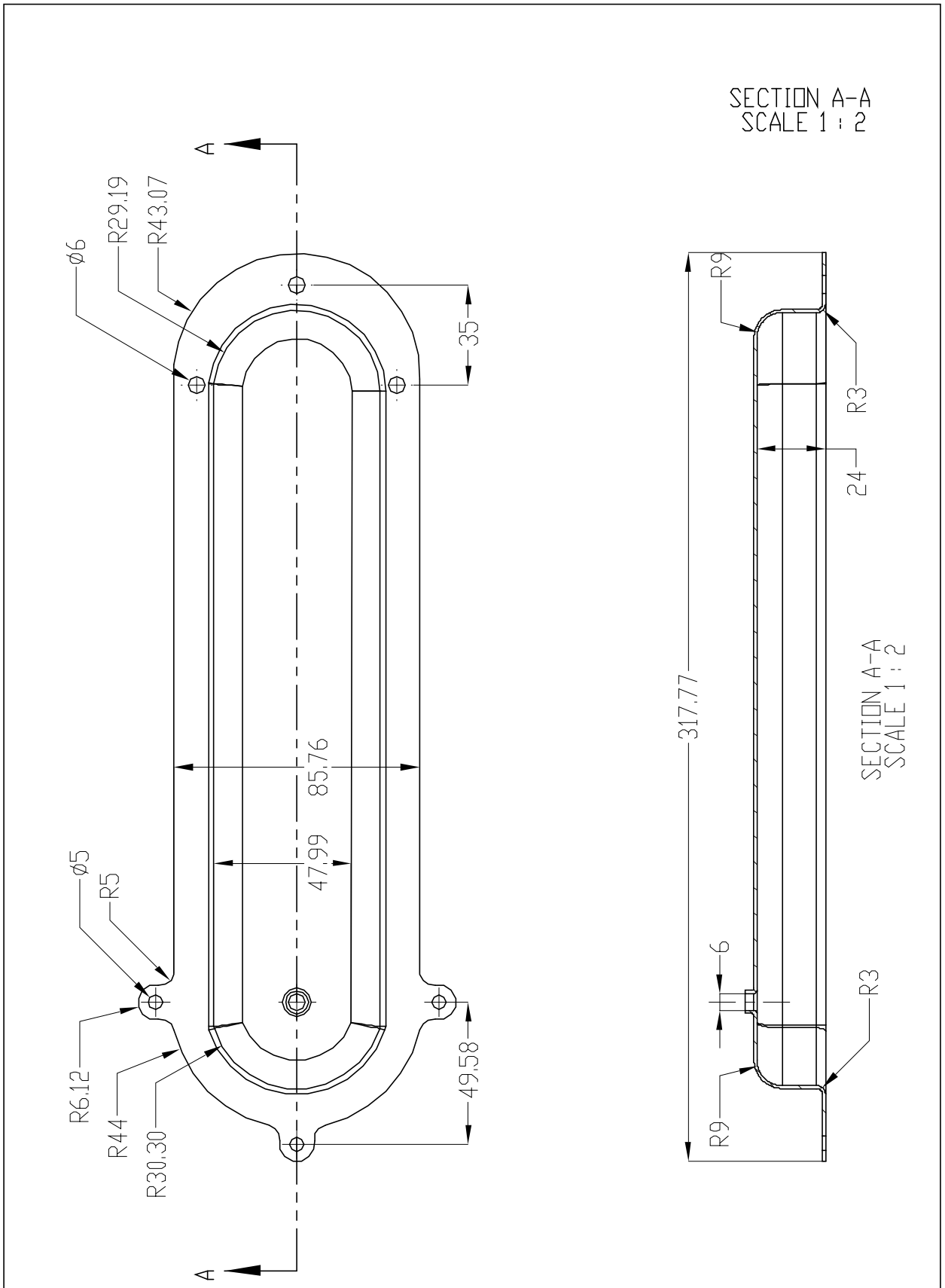
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



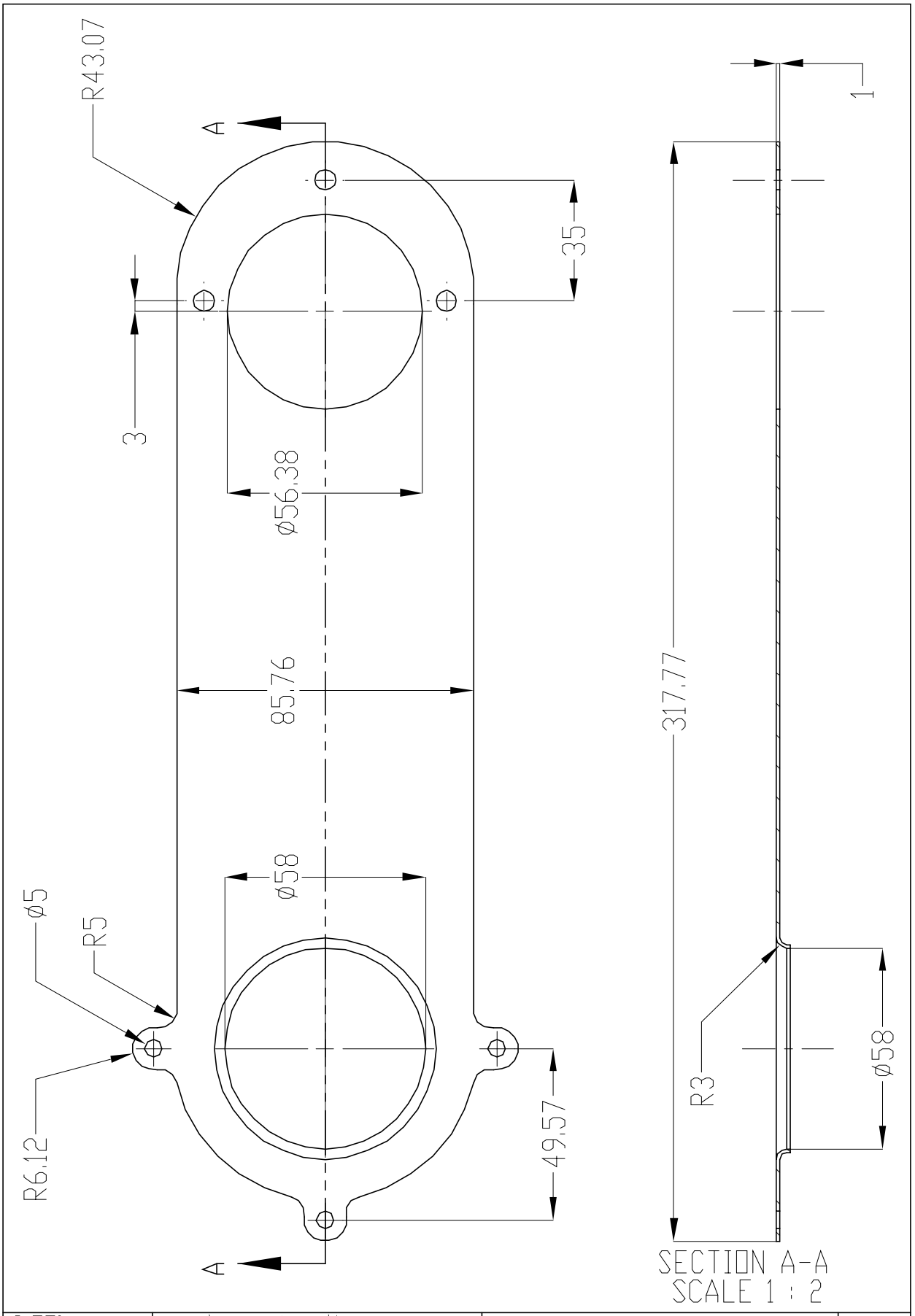


ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	ALEV PERDESİ-2	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		
TARİH		ISI DEĞİŞTİRİCİ	SCALE:1:5

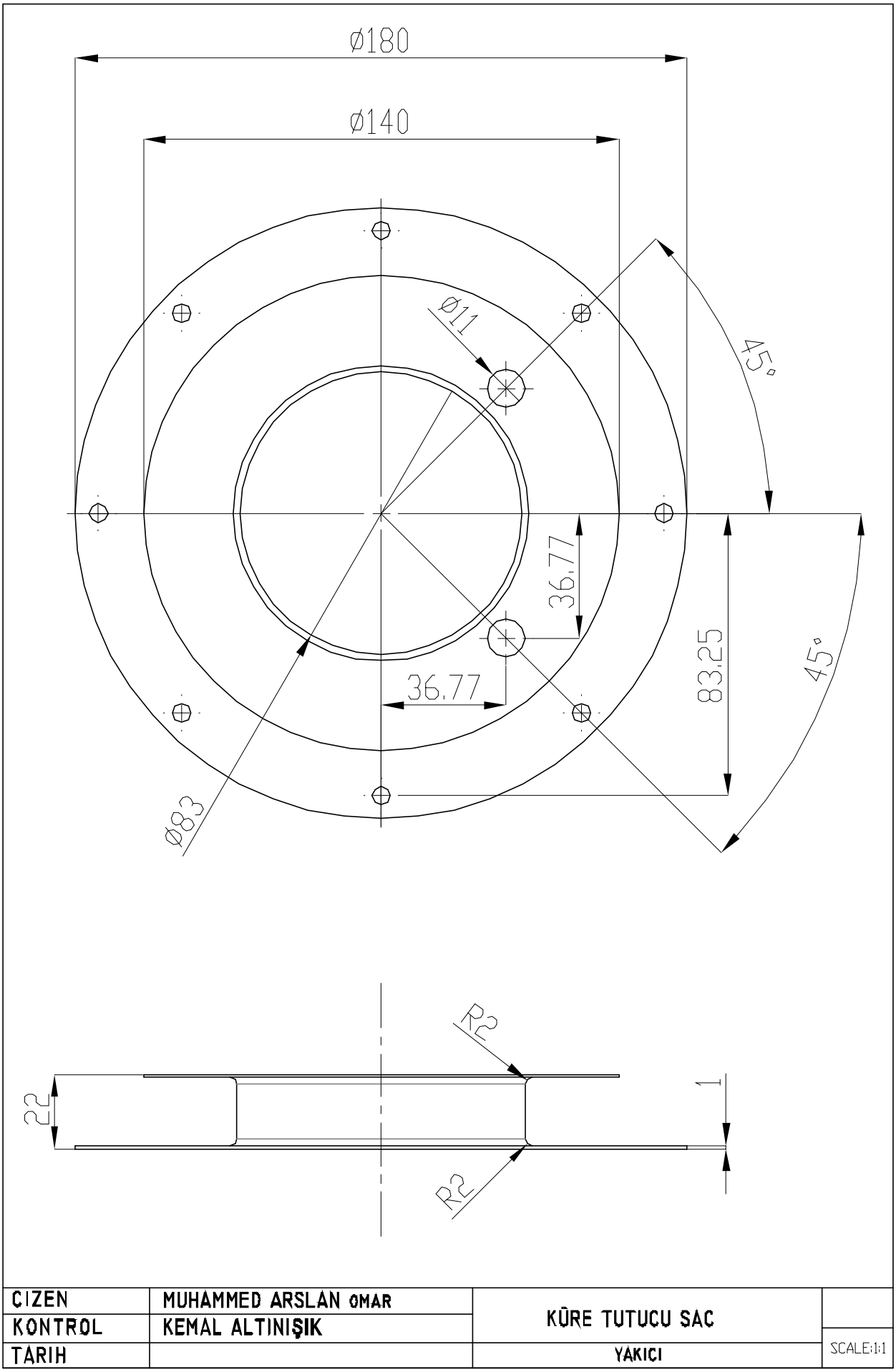
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

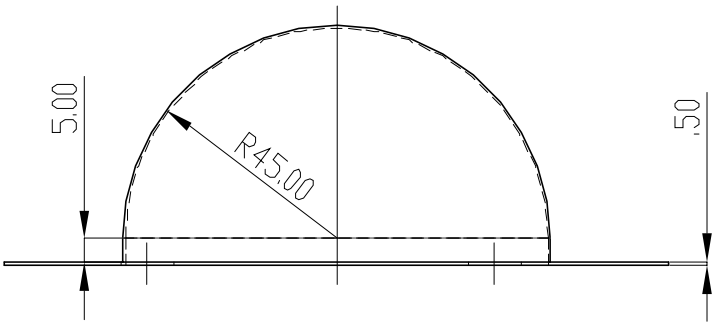


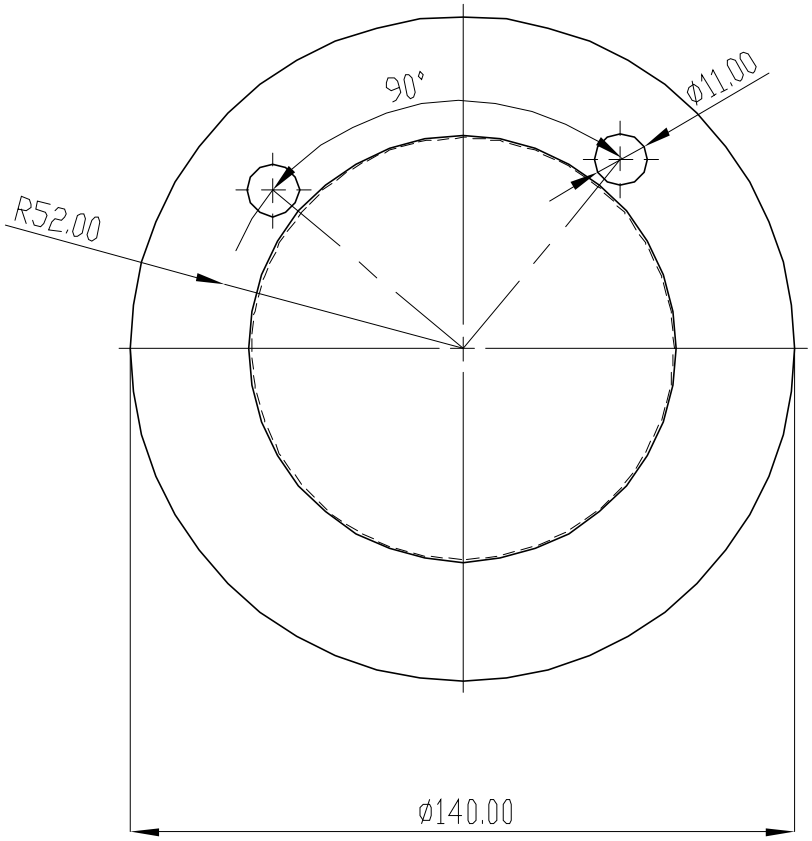
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	KÜRE TUTUCU SAC	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:1
TARİH		YAKICI	

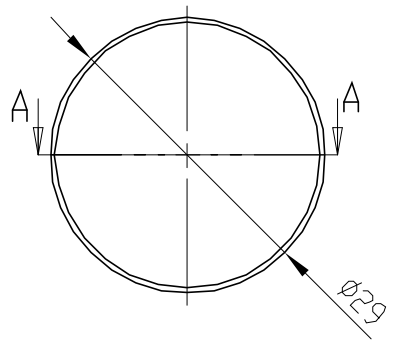
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

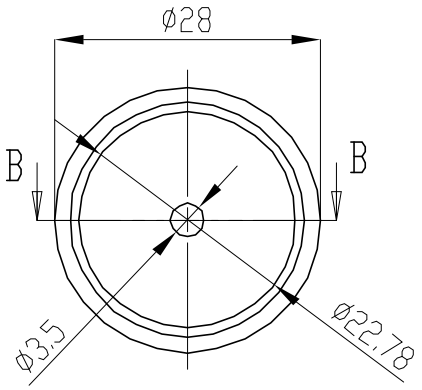


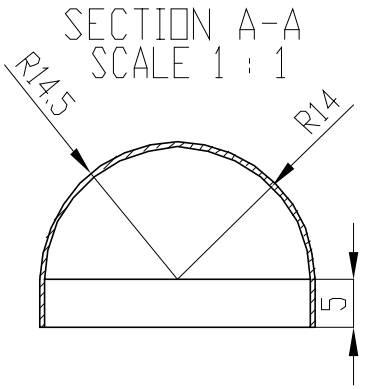


ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	DELİKLİ SAC	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:5
TARİH		YAKICI	

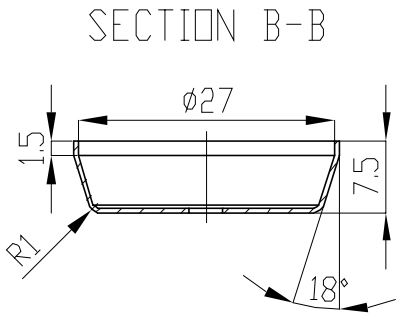
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



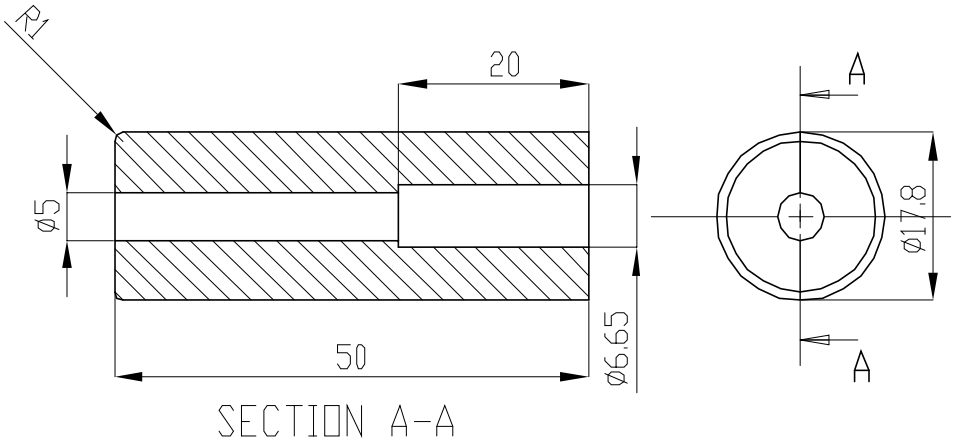




KURE USTU



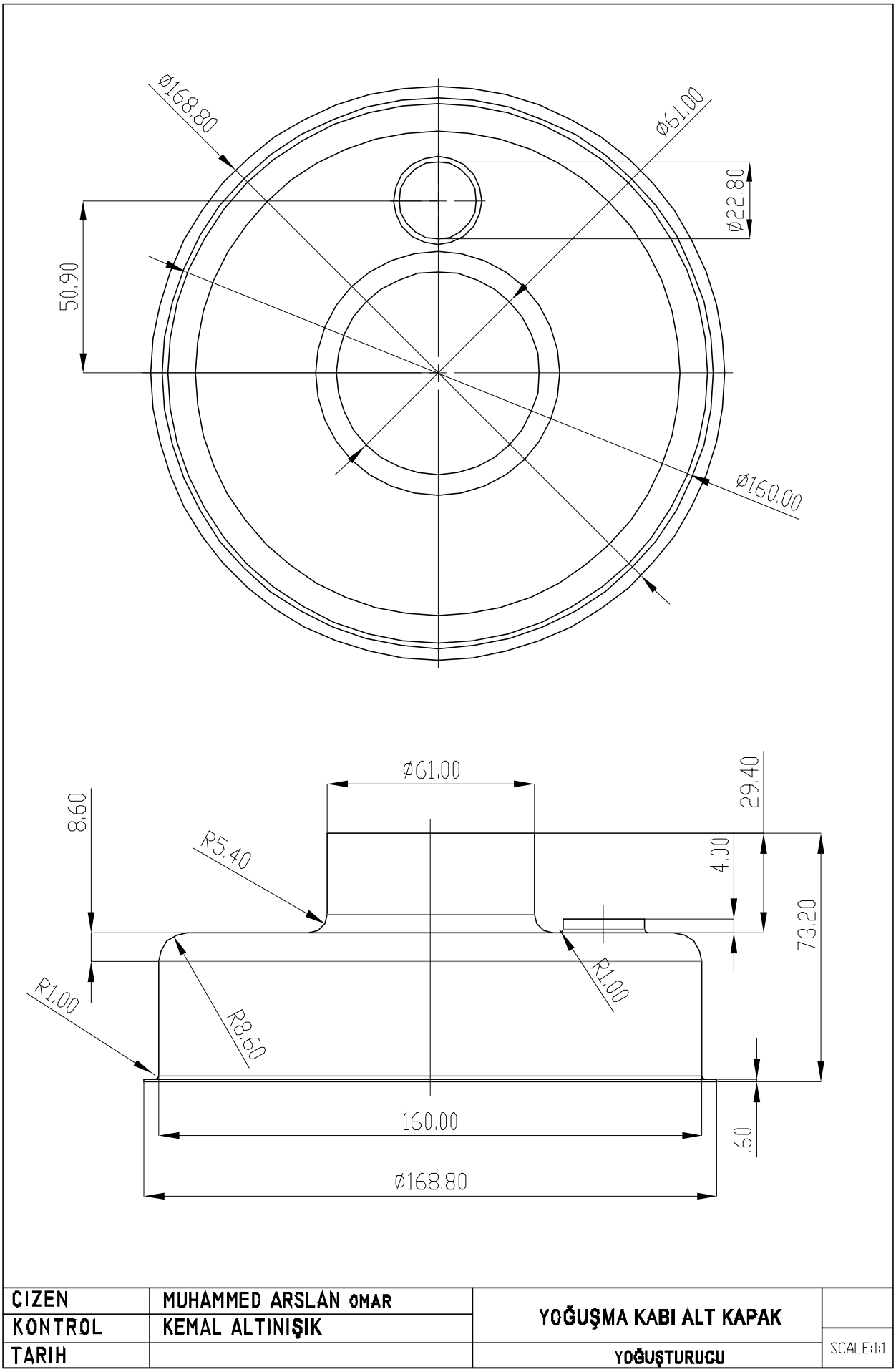
KURE ALTI



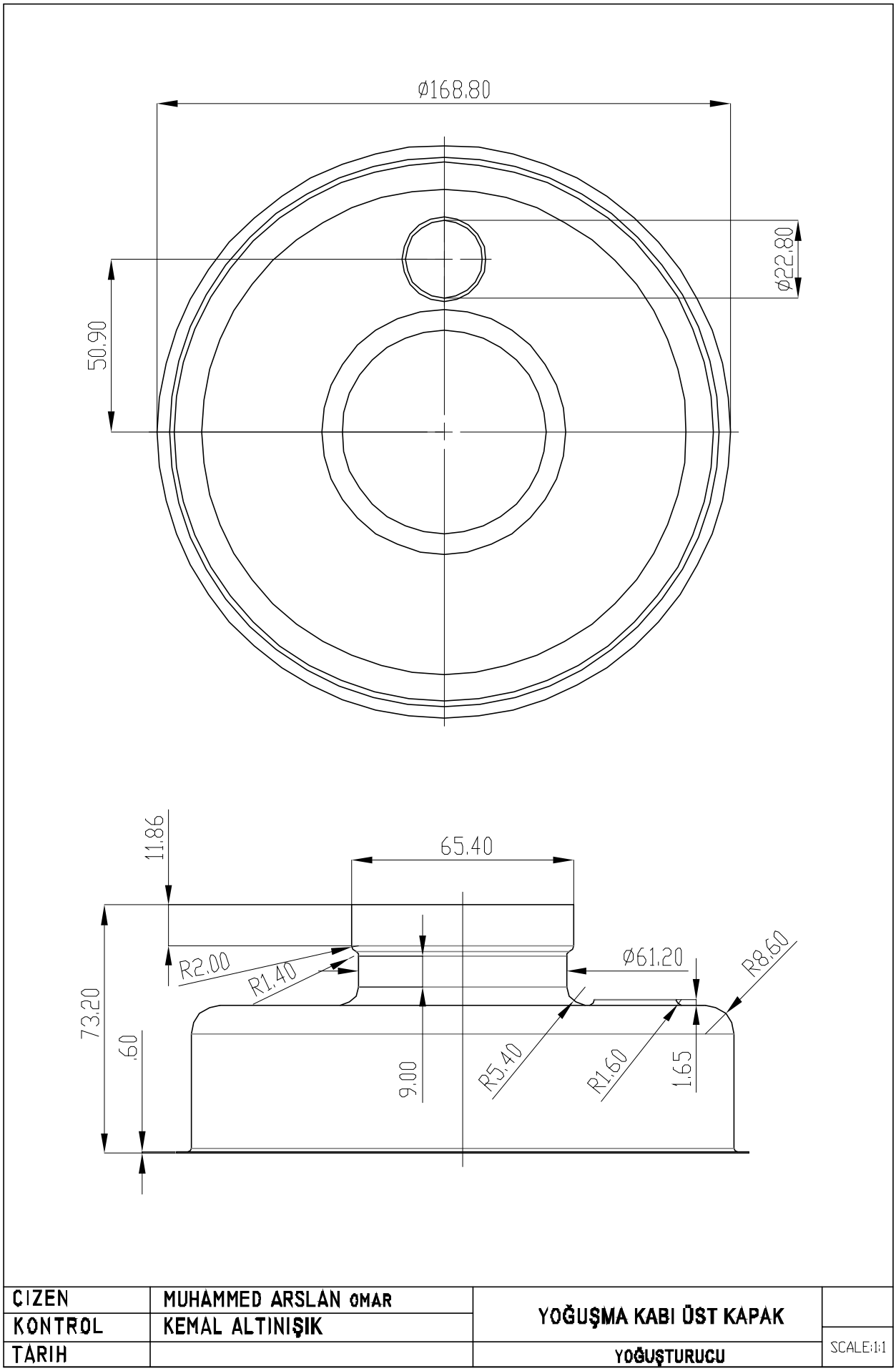
KURE SAPI

CIZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	DAĞITICI KÜRE ELEMANLARI	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		
TARIH		YAKICI	SCALE:1:2

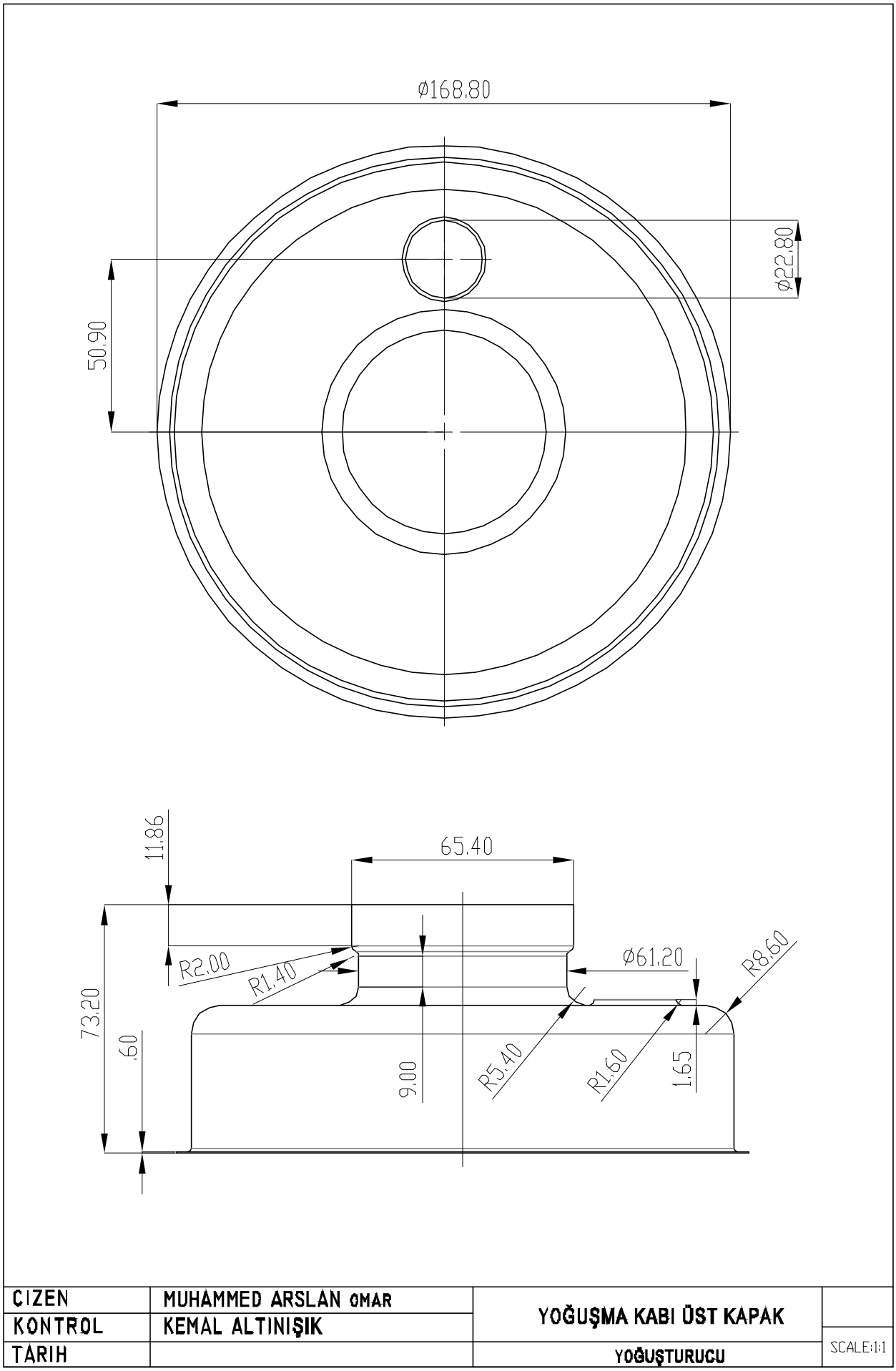
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



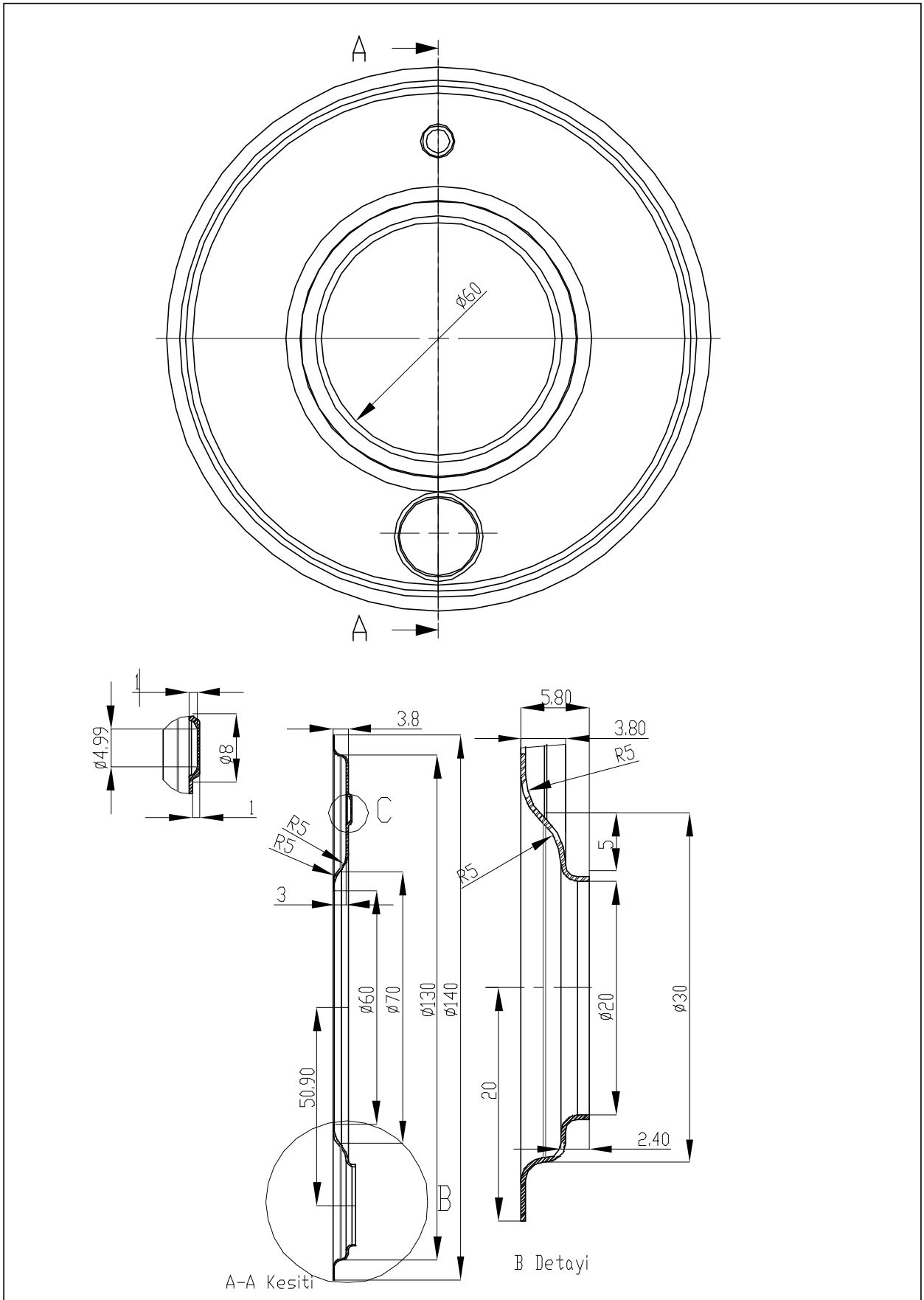
EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)

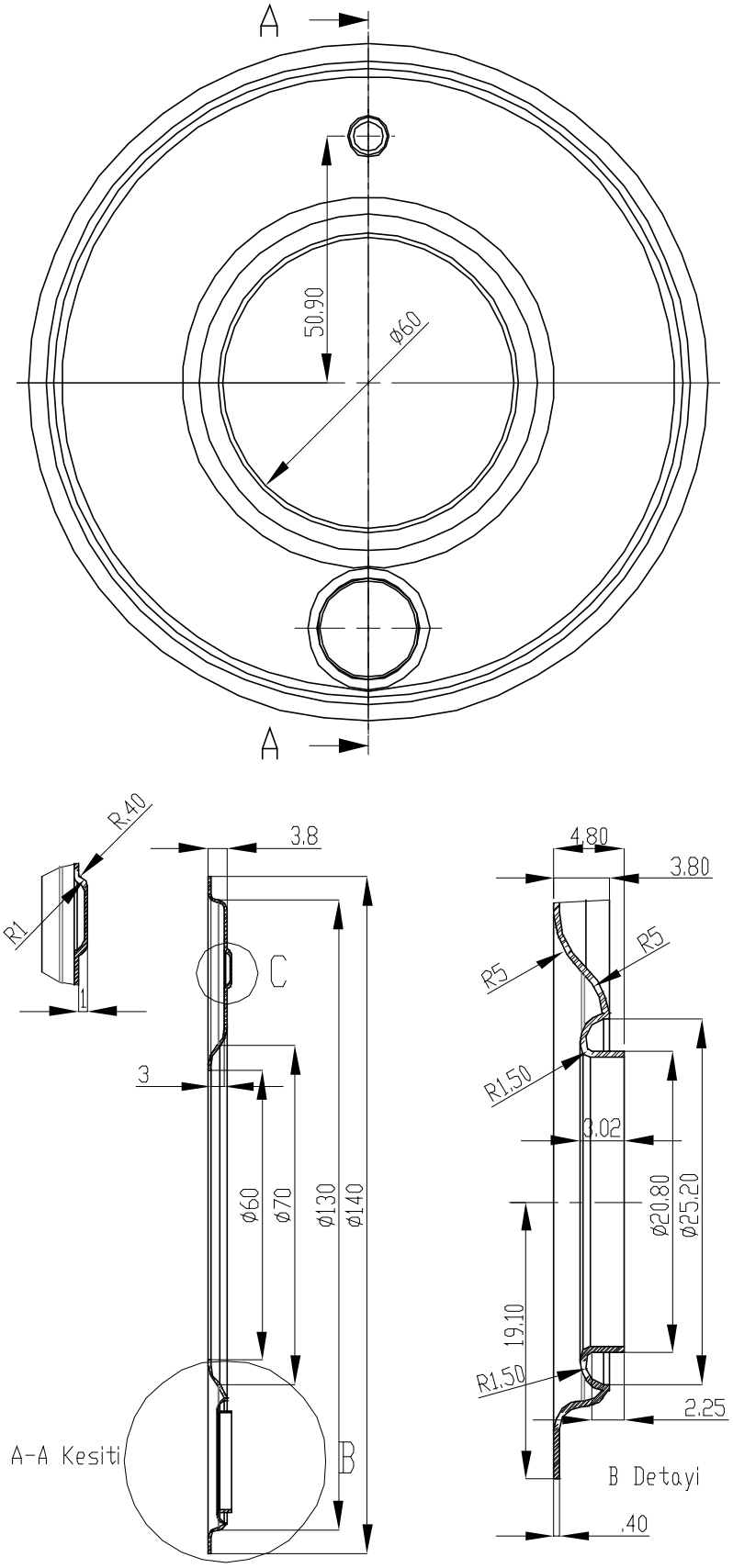


EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



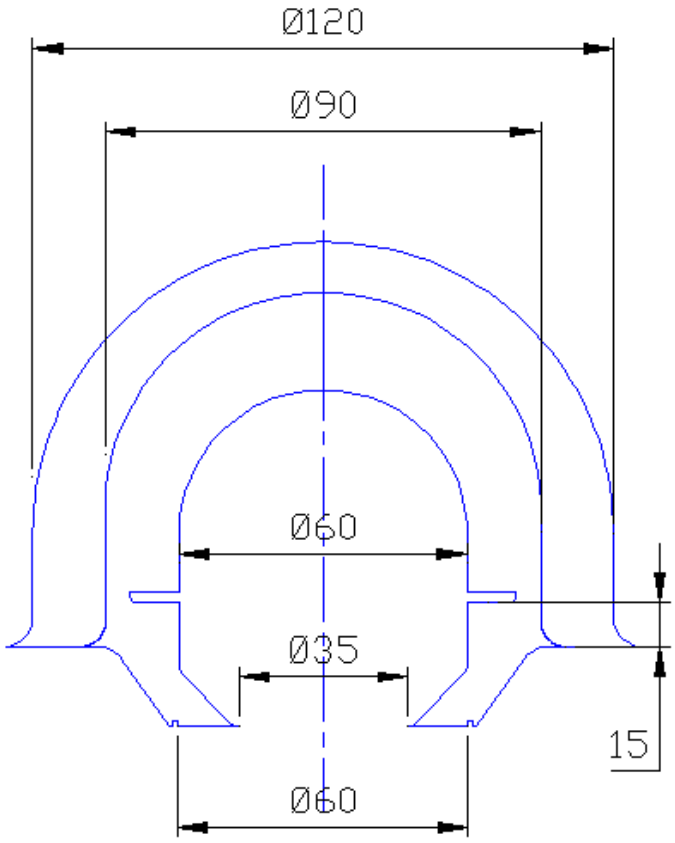
ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	YOĞUŞTURUCU 2. PLAKA	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:2
TARİH		YOĞUŞTURUCU	

EK-1 Devamı, Teknik resimler (mm)



ÇİZEN	MUHAMMED ARSLAN OMAR	YOĞUŞTURUCU SON PLAKA	
KONTROL	KEMAL ALTINIŞIK		SCALE:1:2
TARİH		YOĞUŞTURUCU	

EK-2 Gambit programı ile oluşturulan modelin teknink ölçüleri (mm)



EK-3 Ansys Fluent 6.3.26 programı ile yapılan simülasyon özeti

Welcome to Fluent 6.3.26

Copyright 2006 Fluent Inc.
All Rights Reserved

Loading "C:\Fluent.Inc\fluent6.3.26\lib\fl_s1119.dmp"
Done.

Loading "C:\Users\Hp DV6/.cxlayout"
Done.

> Reading "C:\Users\Hp DV6\Desktop\qaz\YENI\ceyrek yeni ORJ 3179 conv.cas"...
3179 quadrilateral cells, zone 2, binary.
157 2D wall faces, zone 3, binary.
154 2D wall faces, zone 4, binary.
9 2D velocity-inlet faces, zone 5, binary.
30 2D symmetry faces, zone 6, binary.
53 2D wall faces, zone 7, binary.
53 2D wall faces, zone 8, binary.
6130 2D interior faces, zone 9, binary.
53 shadow face pairs, binary.
3392 nodes, binary.
3392 node flags, binary.

Building...
grid,
materials,
interface,
domains,
mixture
zones,
default-interior
wall.1
sym
velocity
wall
wall.1-shadow
pres
fluid
shell conduction zones,
Done.
Reading "C:\Users\Hp DV6\Desktop\qaz\YENI\ceyrek yeni ORJ 3179 conv.dat"...
Done.

FLUENT
Version: axi, pbns, spe, ske (axi, pressure-based, species, standard k-epsilon)
Release: 6.3.26

Title:

Models

Model	Settings
Space	Axisymmetric
Time	Steady
Viscous	Standard k-epsilon turbulence model
Wall Treatment	Standard Wall Functions
Heat Transfer	Enabled
Solidification and Melting	Disabled
Radiation	P1 Model
Species Transport	Reacting (5 species)
Coupled Dispersed Phase	Disabled
Pollutants	Disabled
Pollutants	Disabled
Soot	Disabled

FLUENT
Version: axi, pbns, spe, ske (axi, pressure-based, species, standard k-epsilon)
Release: 6.3.26
Title:

Boundary Conditions

Zones

name	id	type
fluid	2	fluid
pres	4	wall
wall.1-shadow	8	wall
wall	3	wall
velocity	5	velocity-inlet
sym	6	symmetry
wall.1	7	wall
default-interior	9	interior

Boundary Conditions

fluid

Condition	Value
Material Name	methane-air
Specify source terms?	no

Source Terms	(species-2) (species-3) (energy) (p1))
Specify fixed values?	no
Fixed Values	()
Motion Type	0
X-Velocity Of Zone (m/s)	0
Y-Velocity Of Zone (m/s)	0
Rotation speed (rad/s)	0
Deactivated Thread	no
Laminar zone?	no
Set Turbulent Viscosity to zero within laminar zone?	yes
Porous zone?	no
X-Component of Direction-1 Vector	1
Y-Component of Direction-1 Vector	0
Relative Velocity Resistance Formulation?	yes
Direction-1 Viscous Resistance (1/m2)	0
Direction-2 Viscous Resistance (1/m2)	0
Choose alternative formulation for inertial resistance?	no
Direction-1 Inertial Resistance (1/m)	0
Direction-2 Inertial Resistance (1/m)	0
C0 Coefficient for Power-Law	0
C1 Coefficient for Power-Law	0
Porosity	1
Solid Material Name	aluminum
Reaction Mechanism	0
Activate reaction mechanisms?	yes
Surface-Volume-Ratio (1/m)	0

pressure

Condition	Value
Wall Thickness (m)	0
Heat Generation Rate (w/m3)	0
Material Name	aluminum
Thermal BC Type	1
Temperature (k)	300
Heat Flux (w/m2)	0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)	0
Free Stream Temperature (k)	300
Wall Motion	0
Shear Boundary Condition	0
Define wall motion relative to adjacent cell zone?	yes
Apply a rotational velocity to this wall?	no
Velocity Magnitude (m/s)	0
X-Component of Wall Translation	1
Y-Component of Wall Translation	0
Define wall velocity components?	no
X-Component of Wall Translation (m/s)	0

Y-Component of Wall Translation (m/s)	0
Internal Emissivity	1
External Emissivity	1
External Radiation Temperature (k)	300
Wall Roughness Height (m)	0
Wall Roughness Constant	0.5
	(0 0 0 0)
	(((constant . 0) (profile))
	((constant . 0) (profile))
	((constant . 0) (profile))
	((constant . 0) (profile)))
Rotation Speed (rad/s)	0
X-component of shear stress (pascal)	0
Y-component of shear stress (pascal)	0
Surface tension gradient (n/m-k)	0
Specularity Coefficient	0

wall.1-shadow

Condition	Value
Wall Thickness (m)	0
Heat Generation Rate (w/m3)	0
Material Name	aluminum
Thermal BC Type	3
Temperature (k)	300
Heat Flux (w/m2)	0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)	0
Free Stream Temperature (k)	300
Wall Motion	0
Shear Boundary Condition	0
Define wall motion relative to adjacent cell zone?	yes
Apply a rotational velocity to this wall?	no
Velocity Magnitude (m/s)	0
X-Component of Wall Translation	1
Y-Component of Wall Translation	0
X-Component of Wall Translation (m/s)	0
Y-Component of Wall Translation (m/s)	0
Internal Emissivity	1
External Emissivity	1
External Radiation Temperature (k)	300
Wall Roughness Height (m)	0
Wall Roughness Constant	0.5
	(0)
	(((constant . 0) (profile)))
Rotation Speed (rad/s)	0
X-component of shear stress (pascal)	0
Y-component of shear stress (pascal)	0
Surface tension gradient (n/m-k)	0
Specularity Coefficient	0

wall

Condition	Value
Wall Thickness (m)	0
Heat Generation Rate (w/m3)	0
Material Name	aluminum
Thermal BC Type	1
Temperature (k)	300
Heat Flux (w/m2)	0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)	0
Free Stream Temperature (k)	300
Wall Motion	0
Shear Boundary Condition	0
Define wall motion relative to adjacent cell zone?	yes
Apply a rotational velocity to this wall?	no
Velocity Magnitude (m/s)	0
X-Component of Wall Translation	1
Y-Component of Wall Translation	0
Define wall velocity components?	no
X-Component of Wall Translation (m/s)	0
Y-Component of Wall Translation (m/s)	0
Internal Emissivity	1
External Emissivity	1
External Radiation Temperature (k)	300
Wall Roughness Height (m)	0
Wall Roughness Constant	0.5
	(0) (((constant . 0) (profile)))
Rotation Speed (rad/s)	0
X-component of shear stress (pascal)	0
Y-component of shear stress (pascal)	0
Surface tension gradient (n/m-k)	0
Specularity Coefficient	0

velocity

Condition	Value
Velocity Specification Method	0
Reference Frame	0
Velocity Magnitude (m/s)	5
Axial-Velocity (m/s)	0
Radial-Velocity (m/s)	0
Axial-Component of Flow Direction	0
Radial-Component of Flow Direction	1
X-Component of Axis Direction	1
Y-Component of Axis Direction	0
Z-Component of Axis Direction	0
X-Coordinate of Axis Origin (m)	0

Y-Coordinate of Axis Origin (m)	0
Z-Coordinate of Axis Origin (m)	0
Angular velocity (rad/s)	0
Temperature (k)	300
Turbulent Specification Method	3
Turbulent Kinetic Energy (m2/s2)	1
Turbulent Dissipation Rate (m2/s3)	1
Turbulent Intensity (%)	0.099999994
Turbulent Length Scale (m)	1
Hydraulic Diameter (m)	0.18000001
Turbulent Viscosity Ratio	10
	(((constant . 1) (profile)) ((constant . 0.23) (profile)) ((constant . 0) (profile)) ((constant . 0) (profile)))
External Black Body Temperature Method	0
Black Body Temperature (k)	300
Internal Emissivity	1
is zone used in mixing-plane model?	no

symmetry

Condition	Value

wall.1

Condition	Value
Wall Thickness (m)	0
Heat Generation Rate (w/m3)	0
Material Name	aluminum
Thermal BC Type	3
Temperature (k)	300
Heat Flux (w/m2)	0
Convective Heat Transfer Coefficient (w/m2-k)	0
Free Stream Temperature (k)	300
Wall Motion	0
Shear Boundary Condition	0
Define wall motion relative to adjacent cell zone?	yes
Apply a rotational velocity to this wall?	no
Velocity Magnitude (m/s)	0
X-Component of Wall Translation	1
Y-Component of Wall Translation	0
Define wall velocity components?	no
X-Component of Wall Translation (m/s)	0
Y-Component of Wall Translation (m/s)	0
Internal Emissivity	1
External Emissivity	1
External Radiation Temperature (k)	300
Wall Roughness Height (m)	0

Wall Roughness Constant	0.5
	(0)
	(((constant . 0) (profile)))
Rotation Speed (rad/s)	0
X-component of shear stress (pascal)	0
Y-component of shear stress (pascal)	0
Surface tension gradient (n/m-k)	0
Specularity Coefficient	0

default-interior

Condition Value

Solver Controls

Equations

Equation	Solved
Flow	yes
Turbulence	yes
ch4	yes
o2	yes
co2	yes
h2o	yes
Energy	yes
P1	yes

Numerics

Numeric	Enabled
Absolute Velocity Formulation	yes

Relaxation

Variable	Relaxation Factor
Pressure	0.3
Density	1
Body Forces	1
Momentum	0.7
Turbulent Kinetic Energy	0.8
Turbulent Dissipation Rate	0.8
Turbulent Viscosity	1
ch4	1
o2	1
co2	1

h2o	1
Energy	1
P1	0.8

Linear Solver

Variable	Solver Type	Termination Criterion	Residual Reduction Tolerance
Pressure	V-Cycle	0.1	
X-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Y-Momentum	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Kinetic Energy	Flexible	0.1	0.7
Turbulent Dissipation Rate	Flexible	0.1	0.7
ch4	Flexible	0.1	0.7
o2	Flexible	0.1	0.7
co2	Flexible	0.1	0.7
h2o	Flexible	0.1	0.7
Energy	Flexible	0.1	0.7
P1	Flexible	0.1	0.7

Pressure-Velocity Coupling

Parameter	Value
Type	SIMPLE

Discretization Scheme

Variable	Scheme
Pressure	Standard
Momentum	First Order Upwind
Turbulent Kinetic Energy	First Order Upwind
Turbulent Dissipation Rate	First Order Upwind
ch4	First Order Upwind
o2	First Order Upwind
co2	First Order Upwind
h2o	First Order Upwind
Energy	First Order Upwind

Solution Limits

Quantity	Limit
Minimum Absolute Pressure	1
Maximum Absolute Pressure	5e+10
Minimum Temperature	1
Maximum Temperature	5000
Minimum Turb. Kinetic Energy	1e-14

Minimum Turb. Dissipation Rate 1e-20
Maximum Turb. Viscosity Ratio 100000

Material Properties

Material: methane-air (mixture)

Property	Units	Method	Value(s)
Mixture Species		names	(ch4 o2 co2 h2o n2)
Reaction		eddy-dissipation	((reaction-1 ((ch4 1 1 1) (o2 2 1 1)) ((co2 1 0 1) (h2o 2 0 1)) ((n2 0 1)) (stoichiometry 1ch4 + 2o2 --> 1co2 + 2h2o) (arrhenius 2.119e+11 2.027e+08 0) (mixing-rate 4 0.5) (specifed-rate-exponents? . #t) (use-third-body-efficiencies? . #f)))
Mechanism		reaction-mechs	((mechanism-1 (reaction-type . all) (reaction-list reaction-1) (site-info)))
Density	kg/m3	incompressible-ideal-gas	#f
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	mixing-law	#f
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0454
Viscosity	kg/m-s	constant	1.72e-05
Mass Diffusivity	m2/s	constant-dilute-appx	(2.88e-05)
Absorption Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: (nitrogen . methane-air) (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	1040.67
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	28.0134
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	0
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	191494.78
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.621
L-J Energy Parameter	k	constant	97.53
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: nitrogen (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	1.138
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	1040.67
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0242
Viscosity	kg/m-s	constant	1.663e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	28.0134
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	0
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	191494.78
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.621
L-J Energy Parameter	k	constant	97.53
Absorption Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: (water-vapor . methane-air) (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	2014
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	18.01534
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-2.418379e+08
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	188696.44
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	2.605
L-J Energy Parameter	k	constant	572.4
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: water-vapor (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	0.5542
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	2014
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0261
Viscosity	kg/m-s	constant	1.34e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	18.01534
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-2.418379e+08
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	188696.44
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	2.605
L-J Energy Parameter	k	constant	572.4
Absorption Coefficient	1/m	c onstant	0.54

Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: (carbon-dioxide . methane-air) (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	840.37
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	44.00995
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-3.9353235e+08
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	213720.2
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.941
L-J Energy Parameter	k	constant	195.2
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: carbon-dioxide (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	1.7878
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	840.37
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0145
Viscosity	kg/m-s	constant	1.37e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	44.00995
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-3.9353235e+08
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	213720.2
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.941
L-J Energy Parameter	k	constant	195.2
Absorption Coefficient	1/m	constant	0.43
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: (oxygen . methane-air) (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	919.31
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	31.9988
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	0
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	205026.86
Reference Temperature	k	constant	298.15

L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.458
L-J Energy Parameter	k	constant	107.4
Degrees of Freedom	constant	0	
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: oxygen (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	1.2999
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	919.31
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0246
Viscosity	kg/m-s	constant	1.919e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	31.9988
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	0
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	205026.86
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.458
L-J Energy Parameter	k	constant	107.4
Absorption Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: (methane . methane-air) (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	2222
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	16.04303
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-74895176
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	186040.09
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.758
L-J Energy Parameter	k	constant	148.6
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: methane (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	0.6679
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	2222
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0332
Viscosity	kg/m-s	constant	1.087e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	16.04303
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	-74895176

Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	186040.09
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.758
L-J Energy Parameter	k	constant	148.6
Absorption Coefficient	1/m	constant	0.62
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: air (fluid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	1.225
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	1006.43
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	0.0242
Viscosity	kg/m-s	constant	1.7894e-05
Molecular Weight	kg/kgmol	constant	28.966
Standard State Enthalpy	j/kgmol	constant	0
Standard State Entropy	j/kgmol-k	constant	0
Reference Temperature	k	constant	298.15
L-J Characteristic Length	angstrom	constant	3.711
L-J Energy Parameter	k	constant	78.6
Absorption Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Coefficient	1/m	constant	0
Scattering Phase Function		isotropic	#f
Thermal Expansion Coefficient	1/k	constant	0
Degrees of Freedom		constant	0
Speed of Sound	m/s	none	#f

Material: aluminum (solid)

Property	Units	Method	Value(s)
Density	kg/m3	constant	2719
Cp (Specific Heat)	j/kg-k	constant	871
Thermal Conductivity	w/m-k	constant	202.4

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	time/iter	
temperature limited to 5.000000e+003 in 2869 cells on zone 2 in domain 1								
1	1.0000e+00	2.2155e+01	1.9447e+03	1.6762e+00	5.7709e-01	4.8121e-01	0:16:39	999
2	8.5164e-01	9.0310e-02	8.8371e-02	7.6544e-02	1.2348e-01	1.6715e-01	0:13:18	998
3	1.0000e+00	1.3666e-01	1.3652e-01	3.8665e-02	1.5101e-01	2.9208e-01	0:10:38	997
4	1.0000e+00	5.6349e-02	6.7717e-02	2.5899e-02	1.8091e-01	3.8505e-01	0:11:49	996
5	8.4096e-01	6.5704e-02	6.5689e-02	1.0421e-02	2.0564e-01	1.0348e+00	0:09:27	995
6	7.8581e-01	4.3061e-02	5.6651e-02	5.2262e-03	1.2959e-01	2.6664e-01	0:07:33	994
7	6.0068e-01	3.3207e-02	4.1263e-02	1.5422e-03	9.7898e-02	1.7095e-01	0:06:02	993

8 4.5354e-01 2.2226e-02 2.9542e-02 9.5430e-04 7.9657e-02 1.3445e-01 0:08:08 992
9 3.6917e-01 1.7025e-02 2.6133e-02 6.4465e-04 6.6218e-02 1.1180e-01 0:06:30 991
10 3.2362e-01 1.4650e-02 2.2773e-02 5.8048e-04 5.3196e-02 8.7795e-02 0:05:12 990
11 2.8227e-01 1.3202e-02 1.9847e-02 5.1306e-04 4.5535e-02 7.3623e-02 0:07:27 989

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
12 2.5115e-01 1.1556e-02 1.7387e-02 4.4157e-04 3.8048e-02 5.7301e-02 0:05:57 988
13 2.2564e-01 1.0274e-02 1.5448e-02 4.0965e-04 3.3173e-02 4.5873e-02 0:04:45 987
14 2.0838e-01 9.3014e-03 1.4036e-02 3.7220e-04 2.9199e-02 3.8323e-02 0:03:48 986
15 1.9581e-01 8.5881e-03 1.2799e-02 3.3349e-04 2.6204e-02 3.3913e-02 0:06:19 985
16 1.7820e-01 7.9017e-03 1.1575e-02 3.9107e-04 2.4078e-02 3.0582e-02 0:05:03 984
17 1.5777e-01 7.3194e-03 1.0502e-02 2.9971e-04 2.2538e-02 2.7444e-02 0:07:19 983
18 1.4363e-01 7.0599e-03 9.6377e-03 2.5969e-04 2.1754e-02 2.5454e-02 0:05:51 982
19 1.3227e-01 6.6608e-03 8.9391e-03 2.2688e-04 2.1264e-02 2.4155e-02 0:04:40 981
20 1.1977e-01 6.2028e-03 8.2057e-03 2.0646e-04 2.0814e-02 2.3153e-02 0:03:44 980
21 1.0904e-01 5.7705e-03 7.4403e-03 1.9144e-04 2.0585e-02 2.2503e-02 0:06:15 979
22 1.0093e-01 5.3859e-03 6.8062e-03 1.7504e-04 2.0315e-02 2.2058e-02 0:05:00 978

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
23 9.4575e-02 5.0505e-03 6.3340e-03 1.5606e-04 1.9973e-02 2.1624e-02 0:03:59 977
24 8.8876e-02 4.7954e-03 5.8773e-03 1.4835e-04 1.9791e-02 2.1120e-02 0:06:27 976
25 8.4681e-02 4.5396e-03 5.5083e-03 1.3624e-04 1.9521e-02 2.0633e-02 0:05:09 975
26 7.9490e-02 4.3311e-03 5.1683e-03 1.3352e-04 1.9177e-02 2.0112e-02 0:04:07 974
27 7.4464e-02 4.1242e-03 4.8690e-03 1.2548e-04 1.8743e-02 1.9448e-02 0:03:17 973
28 7.0418e-02 3.9526e-03 4.6160e-03 1.1896e-04 1.8115e-02 1.8556e-02 0:05:52 972
29 6.6422e-02 3.7614e-03 4.3498e-03 1.1588e-04 1.7449e-02 1.7568e-02 0:04:41 971
30 6.2807e-02 3.5883e-03 4.0916e-03 1.0978e-04 1.6770e-02 1.6690e-02 0:03:45 970
31 5.9796e-02 3.4220e-03 3.8668e-03 1.0359e-04 1.6061e-02 1.5761e-02 0:06:14 969
32 5.7066e-02 3.2692e-03 3.6491e-03 9.8818e-05 1.5335e-02 1.4861e-02 0:04:58 968
33 5.4139e-02 3.1234e-03 3.4556e-03 9.3266e-05 1.4568e-02 1.3939e-02 0:03:59 967

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
34 5.1681e-02 2.9743e-03 3.2845e-03 8.8903e-05 1.3852e-02 1.3115e-02 0:03:11 966
35 4.9182e-02 2.8222e-03 3.0999e-03 8.6040e-05 1.3185e-02 1.2309e-02 0:05:45 965
36 4.7092e-02 2.6861e-03 2.9295e-03 8.1874e-05 1.2571e-02 1.1543e-02 0:04:36 964
37 4.5175e-02 2.5386e-03 2.7725e-03 7.8771e-05 1.1962e-02 1.0827e-02 0:03:41 963
38 4.2103e-02 2.4111e-03 2.6528e-03 7.0224e-05 1.1683e-02 1.0604e-02 0:06:09 962
39 3.9765e-02 2.2710e-03 2.5352e-03 6.6982e-05 1.1297e-02 1.0229e-02 0:04:55 961
40 3.7955e-02 2.1406e-03 2.4265e-03 6.7686e-05 1.0883e-02 9.8624e-03 0:03:55 960
41 3.5738e-02 2.0418e-03 2.3275e-03 5.7948e-05 1.0443e-02 9.4870e-03 0:06:20 959
42 3.3443e-02 1.9444e-03 2.2243e-03 5.4627e-05 9.9708e-03 9.0708e-03 0:05:04 958
43 3.1135e-02 1.8604e-03 2.1459e-03 5.1311e-05 9.4958e-03 8.6502e-03 0:04:03 957
44 2.8787e-02 1.7822e-03 2.0731e-03 4.6904e-05 9.0269e-03 8.2461e-03 0:03:14 956

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
45 2.6961e-02 1.7238e-03 2.0105e-03 4.5238e-05 8.5623e-03 7.8467e-03 0:05:46 955
46 2.5216e-02 1.6747e-03 1.9593e-03 4.1776e-05 8.0993e-03 7.4593e-03 0:04:36 954
47 2.3510e-02 1.6247e-03 1.9065e-03 4.0298e-05 7.6414e-03 7.0725e-03 0:03:41 953
48 2.1980e-02 1.5881e-03 1.8611e-03 3.9682e-05 7.1954e-03 6.6945e-03 0:06:07 952

49 2.0768e-02 1.5621e-03 1.8215e-03 3.5925e-05 6.7530e-03 6.3197e-03 0:04:53 951
50 1.9773e-02 1.5463e-03 1.7991e-03 3.3950e-05 6.3292e-03 5.9611e-03 0:03:54 950
51 1.8842e-02 1.5281e-03 1.7672e-03 3.1516e-05 5.9211e-03 5.6175e-03 0:06:17 949
52 1.8062e-02 1.5175e-03 1.7390e-03 3.0581e-05 5.5216e-03 5.2840e-03 0:05:01 948
53 1.7398e-02 1.5031e-03 1.7105e-03 3.1207e-05 5.1394e-03 4.9718e-03 0:04:01 947
54 1.6762e-02 1.4928e-03 1.6835e-03 2.9150e-05 4.7764e-03 4.6821e-03 0:03:12 946
55 1.6159e-02 1.4858e-03 1.6640e-03 2.6949e-05 4.4328e-03 4.4368e-03 0:05:43 945

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
56 1.5597e-02 1.4747e-03 1.6388e-03 2.5969e-05 4.1011e-03 4.2075e-03 0:04:34 944
57 1.5114e-02 1.4702e-03 1.6193e-03 2.4526e-05 3.7876e-03 3.9960e-03 0:03:39 943
58 1.4675e-02 1.4576e-03 1.5980e-03 2.3806e-05 3.4896e-03 3.8095e-03 0:06:03 942
59 1.4269e-02 1.4469e-03 1.5748e-03 2.2290e-05 3.2055e-03 3.6381e-03 0:04:50 941
60 1.3920e-02 1.4373e-03 1.5471e-03 2.4376e-05 2.9395e-03 3.4825e-03 0:03:52 940
61 1.3599e-02 1.4294e-03 1.5197e-03 2.2488e-05 2.6922e-03 3.3381e-03 0:06:13 939
62 1.3246e-02 1.4213e-03 1.4987e-03 2.0516e-05 2.4614e-03 3.2003e-03 0:04:58 938
63 1.2871e-02 1.4064e-03 1.4800e-03 1.9756e-05 2.2616e-03 3.0751e-03 0:03:58 937
64 1.2497e-02 1.3905e-03 1.4554e-03 1.8517e-05 2.0899e-03 2.9608e-03 0:03:10 936
65 1.2148e-02 1.3757e-03 1.4275e-03 1.7792e-05 1.9453e-03 2.8565e-03 0:05:39 935
66 1.1830e-02 1.3594e-03 1.3953e-03 1.8448e-05 1.8198e-03 2.7618e-03 0:04:31 934

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
67 1.1534e-02 1.3433e-03 1.3677e-03 1.7525e-05 1.7073e-03 2.6768e-03 0:06:43 933
68 1.1267e-02 1.3258e-03 1.3437e-03 1.6950e-05 1.6051e-03 2.5921e-03 0:05:22 932
69 1.1002e-02 1.3082e-03 1.3225e-03 1.6599e-05 1.5183e-03 2.5128e-03 0:04:18 931
70 1.0718e-02 1.2904e-03 1.2978e-03 1.5892e-05 1.4450e-03 2.4336e-03 0:06:32 930
71 1.0459e-02 1.2711e-03 1.2706e-03 1.5000e-05 1.3825e-03 2.3593e-03 0:05:13 929
72 1.0202e-02 1.2530e-03 1.2472e-03 1.5213e-05 1.3318e-03 2.2920e-03 0:04:10 928
73 9.9917e-03 1.2343e-03 1.2215e-03 1.6880e-05 1.2887e-03 2.2306e-03 0:03:20 927
74 9.8199e-03 1.2134e-03 1.1956e-03 1.5127e-05 1.2534e-03 2.1777e-03 0:05:45 926
75 9.6330e-03 1.1943e-03 1.1764e-03 1.4003e-05 1.2248e-03 2.1279e-03 0:04:36 925
76 9.4419e-03 1.1734e-03 1.1534e-03 1.3673e-05 1.2033e-03 2.0826e-03 0:03:40 924
77 9.2244e-03 1.1526e-03 1.1282e-03 1.2164e-05 1.1859e-03 2.0373e-03 0:06:01 923

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
78 9.0351e-03 1.1317e-03 1.0980e-03 1.2739e-05 1.1718e-03 1.9942e-03 0:04:48 922
79 8.8494e-03 1.1110e-03 1.0726e-03 1.2439e-05 1.1609e-03 1.9555e-03 0:03:50 921
80 8.6604e-03 1.0903e-03 1.0506e-03 1.1879e-05 1.1278e-03 1.8624e-03 0:06:08 920
81 8.4888e-03 1.0705e-03 1.0332e-03 1.3361e-05 1.1060e-03 1.7861e-03 0:04:54 919
82 8.3025e-03 1.0499e-03 1.0086e-03 1.1204e-05 1.0905e-03 1.7221e-03 0:03:55 918
83 8.1171e-03 1.0299e-03 9.8476e-04 1.0881e-05 1.0817e-03 1.6700e-03 0:03:08 917
84 7.9786e-03 1.0124e-03 9.6130e-04 1.2272e-05 1.0801e-03 1.6220e-03 0:05:33 916
85 7.8406e-03 9.9087e-04 9.3564e-04 1.6169e-05 1.0848e-03 1.5812e-03 0:04:26 915
86 7.6850e-03 9.8083e-04 9.2372e-04 9.2983e-06 1.0887e-03 1.5381e-03 0:03:33 914
87 7.5163e-03 9.5381e-04 8.9678e-04 1.0563e-05 1.0961e-03 1.4951e-03 0:05:53 913
88 7.5230e-03 9.3151e-04 8.6942e-04 9.6875e-06 1.1069e-03 1.4645e-03 0:04:42 912

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
89 7.2231e-03 9.1403e-04 8.4355e-04 1.4302e-05 1.1168e-03 1.4391e-03 0:03:45 911
90 7.2887e-03 8.9564e-04 8.2029e-04 1.1528e-05 1.1272e-03 1.4111e-03 0:06:02 910

91 7.0215e-03 8.8534e-04 8.0840e-04 8.5099e-06 1.1325e-03 1.3784e-03 0:04:49 909
92 7.0012e-03 8.6250e-04 7.8897e-04 1.6104e-05 1.1359e-03 1.3384e-03 0:03:51 908
93 6.7838e-03 8.4813e-04 7.7243e-04 7.9250e-06 1.1383e-03 1.3146e-03 0:03:05 907
94 6.7995e-03 8.2729e-04 7.3393e-04 8.5146e-06 1.1413e-03 1.2868e-03 0:05:29 906
95 6.6842e-03 8.0766e-04 7.1141e-04 9.1971e-06 1.1474e-03 1.2657e-03 0:04:23 905
96 6.4261e-03 7.9254e-04 6.9701e-04 7.8312e-06 1.1500e-03 1.2425e-03 0:03:30 904
97 6.4173e-03 7.7423e-04 6.7943e-04 7.8095e-06 1.1517e-03 1.2151e-03 0:05:48 903
98 6.1960e-03 7.5949e-04 6.6370e-04 7.1148e-06 1.1506e-03 1.1886e-03 0:04:38 902
99 6.2006e-03 7.4410e-04 6.4590e-04 7.9602e-06 1.1501e-03 1.1638e-03 0:03:42 901

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
100 6.0088e-03 7.2987e-04 6.3211e-04 6.9273e-06 1.1460e-03 1.1413e-03 0:05:58 900
101 6.0094e-03 7.1375e-04 6.1497e-04 7.1567e-06 1.1441e-03 1.1202e-03 0:04:46 899
102 5.8292e-03 7.0249e-04 6.0503e-04 7.0372e-06 1.1387e-03 1.0997e-03 0:03:48 898
103 5.8097e-03 6.8726e-04 5.8881e-04 6.8398e-06 1.1325e-03 1.0794e-03 0:06:02 897
104 5.6592e-03 6.7393e-04 5.8480e-04 7.8385e-06 1.1262e-03 1.0582e-03 0:04:49 896
105 5.6429e-03 6.5949e-04 5.6788e-04 6.2734e-06 1.1196e-03 1.0436e-03 0:03:51 895
106 5.5077e-03 6.4592e-04 5.6191e-04 6.3381e-06 1.1112e-03 1.0246e-03 0:03:05 894
107 5.4815e-03 6.3101e-04 5.4780e-04 6.2630e-06 1.1035e-03 1.0133e-03 0:05:26 893
108 5.3577e-03 6.1798e-04 5.4421e-04 6.1038e-06 1.0938e-03 9.9804e-04 0:04:21 892
109 5.3401e-03 6.0332e-04 5.3130e-04 5.9453e-06 1.0849e-03 9.8694e-04 0:03:28 891
110 5.1821e-03 5.9346e-04 5.2928e-04 6.1655e-06 1.0755e-03 9.7424e-04 0:05:44 890

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
111 5.1582e-03 5.7796e-04 5.1538e-04 5.5034e-06 1.0649e-03 9.6360e-04 0:04:35 889
112 4.9736e-03 5.6667e-04 5.1228e-04 5.4462e-06 1.0551e-03 9.5279e-04 0:03:40888
113 4.8587e-03 5.5341e-04 5.0396e-04 5.4621e-06 1.0443e-03 9.4169e-04 0:05:53887
114 4.7637e-03 5.4037e-04 4.9620e-04 5.3025e-06 1.0328e-03 9.3053e-04 0:04:42886
115 4.6598e-03 5.2795e-04 4.8859e-04 5.0749e-06 1.0212e-03 9.1960e-04 0:03:46885
116 4.5534e-03 5.1556e-04 4.8154e-04 5.0532e-06 1.0100e-03 9.0954e-04 0:03:00884
117 4.4473e-03 5.0305e-04 4.7415e-04 4.7928e-06 9.9929e-04 8.9992e-04 0:05:21883
118 4.3388e-03 4.9074e-04 4.6795e-04 4.9227e-06 9.8773e-04 8.8985e-04 0:04:16882
119 4.2336e-03 4.7896e-04 4.6096e-04 4.5364e-06 9.7636e-04 8.8067e-04 0:06:21881
120 4.1261e-03 4.6664e-04 4.5398e-04 4.5098e-06 9.6561e-04 8.7232e-04 0:05:04880
121 4.0314e-03 4.5413e-04 4.4659e-04 4.4231e-06 9.5491e-04 8.6400e-04 0:04:03879

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
122 3.9119e-03 4.4295e-04 4.3883e-04 4.2499e-06 9.4478e-04 8.5591e-04 0:03:14878
123 3.7901e-03 4.3067e-04 4.3125e-04 4.2900e-06 9.3494e-04 8.4869e-04 0:05:31877
124 3.6702e-03 4.1886e-04 4.2340e-04 4.0529e-06 9.2580e-04 8.4217e-04 0:04:24876
125 3.5573e-03 4.0824e-04 4.1539e-04 4.0605e-06 9.1697e-04 8.3562e-04 0:03:31875
126 3.4488e-03 3.9735e-04 4.0750e-04 4.0456e-06 9.0852e-04 8.2954e-04 0:05:44874
127 3.3583e-03 3.8602e-04 4.0015e-04 3.8236e-06 9.0085e-04 8.2328e-04 0:04:35873
128 3.2652e-03 3.7530e-04 3.9273e-04 3.9917e-06 8.9302e-04 8.1767e-04 0:03:39872
129 3.1731e-03 3.6469e-04 3.8541e-04 3.7219e-06 8.8565e-04 8.1235e-04 0:05:49871
130 3.0773e-03 3.5461e-04 3.7738e-04 3.5265e-06 8.7850e-04 8.0653e-04 0:04:39870
131 2.9832e-03 3.4466e-04 3.6967e-04 3.5434e-06 8.7141e-04 8.0041e-04 0:03:43869
132 2.9018e-03 3.3457e-04 3.6234e-04 3.4468e-06 8.6467e-04 7.9412e-04 0:05:52
868

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	time/iter
133	2.8116e-03	3.2521e-04	3.5498e-04	3.5325e-06	8.5843e-04	7.8780e-04	0:04:41867
134	2.7231e-03	3.1609e-04	3.4730e-04	3.3860e-06	8.5188e-04	7.8138e-04	0:03:45866
135	2.6369e-03	3.0611e-04	3.3998e-04	3.1177e-06	8.4608e-04	7.7560e-04	0:05:53865
136	2.5570e-03	2.9806e-04	3.3253e-04	3.1881e-06	8.4005e-04	7.6922e-04	0:04:42864
137	2.4652e-03	2.8934e-04	3.2540e-04	3.2343e-06	8.3390e-04	7.6322e-04	0:03:45863
138	2.3912e-03	2.8173e-04	3.1836e-04	2.8892e-06	8.2829e-04	7.5820e-04	0:03:00862
139	2.3283e-03	2.7556e-04	3.1210e-04	3.0544e-06	8.2222e-04	7.5240e-04	0:05:16861
140	2.2567e-03	2.6775e-04	3.0563e-04	3.1517e-06	8.1597e-04	7.4671e-04	0:04:12860
141	2.1941e-03	2.6079e-04	2.9892e-04	2.7630e-06	8.1002e-04	7.4073e-04	0:03:22859
142	2.1311e-03	2.5406e-04	2.9234e-04	2.8850e-06	8.0387e-04	7.3383e-04	0:05:33858
143	2.0573e-03	2.4654e-04	2.8640e-04	2.8513e-06	7.9712e-04	7.2669e-04	0:04:26857

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	time/iter
144	1.9952e-03	2.3992e-04	2.8025e-04	2.6123e-06	7.9095e-04	7.2032e-04	0:03:32856
145	1.9413e-03	2.3473e-04	2.7424e-04	2.6720e-06	7.8460e-04	7.1416e-04	0:05:41855
146	1.8857e-03	2.2904e-04	2.6862e-04	2.7403e-06	7.7818e-04	7.0812e-04	0:04:32854
147	1.8430e-03	2.2414e-04	2.6336e-04	3.2609e-06	7.7158e-04	6.9971e-04	0:03:38853
148	1.8243e-03	2.1647e-04	2.5950e-04	2.7934e-06	7.6378e-04	6.9347e-04	0:05:44852
149	1.7397e-03	2.1454e-04	2.5386e-04	3.0084e-06	7.5744e-04	6.8930e-04	0:04:35851
150	1.7185e-03	2.1161e-04	2.4882e-04	2.3871e-06	7.5195e-04	6.8455e-04	0:03:40850
151	1.6687e-03	2.0685e-04	2.4489e-04	2.5701e-06	7.4459e-04	6.7652e-04	0:02:56849
152	1.6576e-03	1.9965e-04	2.4164e-04	2.5525e-06	7.3724e-04	6.7022e-04	0:05:10848
153	1.6003e-03	1.9858e-04	2.3675e-04	2.3007e-06	7.3034e-04	6.6366e-04	0:04:08847
154	1.5710e-03	1.9425e-04	2.3301e-04	2.3534e-06	7.2283e-04	6.5591e-04	0:03:18846

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	time/iter
155	1.5653e-03	1.8847e-04	2.2971e-04	2.4212e-06	7.1548e-04	6.5008e-04	0:05:27845
156	1.5209e-03	1.8734e-04	2.2512e-04	2.1984e-06	7.0858e-04	6.4349e-04	0:04:21844
157	1.4912e-03	1.8330e-04	2.2156e-04	2.2332e-06	7.0120e-04	6.3583e-04	0:03:29843
158	1.4855e-03	1.7813e-04	2.1867e-04	2.5207e-06	6.9378e-04	6.2906e-04	0:05:35842
159	1.4341e-03	1.7656e-04	2.1395e-04	2.2684e-06	6.8538e-04	6.2023e-04	0:04:28841
160	1.4272e-03	1.7152e-04	2.1147e-04	2.1015e-06	6.7787e-04	6.1485e-04	0:03:34840
161	1.3926e-03	1.7152e-04	2.0793e-04	2.0993e-06	6.7054e-04	6.0828e-04	0:05:39839
162	1.3798e-03	1.6840e-04	2.0506e-04	2.2841e-06	6.7485e-04	6.1958e-04	0:04:31838
163	1.3594e-03	1.6531e-04	2.0223e-04	2.0229e-06	6.6452e-04	6.0908e-04	0:03:36837
164	1.3424e-03	1.6282e-04	1.9927e-04	2.0258e-06	6.6713e-04	6.1787e-04	0:05:40836
165	1.3172e-03	1.6034e-04	1.9635e-04	2.1558e-06	6.5505e-04	6.0508e-04	0:04:32835

iter	continuity	x-velocity	y-velocity	energy	k	epsilon	time/iter
166	1.3009e-03	1.5756e-04	1.9322e-04	1.9937e-06	6.5541e-04	6.1092e-04	0:03:37834
167	1.2774e-03	1.5489e-04	1.9078e-04	1.9168e-06	6.4211e-04	5.9679e-04	0:02:53833
168	1.2688e-03	1.5343e-04	1.8757e-04	2.0101e-06	6.4181e-04	6.0197e-04	0:05:05832
169	1.2579e-03	1.5156e-04	1.8470e-04	1.9523e-06	6.3967e-04	6.0453e-04	0:04:04831
170	1.2451e-03	1.4895e-04	1.8220e-04	1.8947e-06	6.3622e-04	6.0540e-04	0:06:01830
171	1.2336e-03	1.4700e-04	1.7949e-04	1.8811e-06	6.3168e-04	6.0453e-04	0:04:48829
172	1.2168e-03	1.4483e-04	1.7690e-04	2.0231e-06	6.2568e-04	6.0235e-04	0:03:50828
173	1.2112e-03	1.4342e-04	1.7428e-04	1.7685e-06	6.1944e-04	5.9939e-04	0:03:04827
174	1.2004e-03	1.4193e-04	1.7158e-04	1.8044e-06	6.1218e-04	5.9500e-04	0:05:12826
175	1.1884e-03	1.3992e-04	1.6904e-04	1.7079e-06	6.0415e-04	5.8930e-04	0:04:09825

176 1.1723e-03 1.3763e-04 1.6667e-04 1.7856e-06 5.9556e-04 5.8322e-04 0:03:19824

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
177 1.1583e-03 1.3625e-04 1.6396e-04 1.7931e-06 5.8639e-04 5.7634e-04 0:05:24823
178 1.1456e-03 1.3470e-04 1.6163e-04 1.8665e-06 5.7710e-04 5.6958e-04 0:04:19822
179 1.1407e-03 1.3354e-04 1.5891e-04 1.6998e-06 5.6764e-04 5.6204e-04 0:03:27821
180 1.1284e-03 1.3162e-04 1.5702e-04 1.6667e-06 5.5785e-04 5.5413e-04 0:05:29820
181 1.1166e-03 1.2992e-04 1.5450e-04 1.6514e-06 5.4783e-04 5.4573e-04 0:04:23819
182 1.1016e-03 1.2799e-04 1.5222e-04 1.7208e-06 5.3735e-04 5.3713e-04 0:03:30818
183 1.0933e-03 1.2658e-04 1.4986e-04 1.5516e-06 5.2736e-04 5.2866e-04 0:05:31817
184 1.0808e-03 1.2513e-04 1.4739e-04 1.5624e-06 5.1730e-04 5.2024e-04 0:04:25816
185 1.0662e-03 1.2339e-04 1.4518e-04 1.5529e-06 5.0706e-04 5.1163e-04 0:03:32815
186 1.0532e-03 1.2183e-04 1.4309e-04 1.4814e-06 4.9680e-04 5.0296e-04 0:05:32814
187 1.0412e-03 1.2028e-04 1.4108e-04 1.4828e-06 4.8675e-04 4.9471e-04 0:04:25813

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
188 1.0293e-03 1.1896e-04 1.3894e-04 1.5298e-06 4.7663e-04 4.8625e-04 0:03:32812
189 1.0186e-03 1.1748e-04 1.3695e-04 1.4030e-06 4.6679e-04 4.7781e-04 0:02:49811
190 1.0033e-03 1.1582e-04 1.3491e-04 1.4261e-06 4.5684e-04 4.6925e-04 0:04:57810
191 9.8837e-04 1.1403e-04 1.3293e-04 1.3994e-06 4.4709e-04 4.6083e-04 0:03:58809
192 9.7572e-04 1.1248e-04 1.3102e-04 1.5013e-06 4.3747e-04 4.5274e-04 0:03:10808
193 9.6464e-04 1.1121e-04 1.2898e-04 1.3774e-06 4.2793e-04 4.4444e-04 0:05:13807
194 9.5129e-04 1.0928e-04 1.2723e-04 1.3186e-06 4.1862e-04 4.3633e-04 0:04:10806
195 9.4008e-04 1.0774e-04 1.2540e-04 1.3042e-06 4.0940e-04 4.2839e-04 0:03:20805
196 9.2839e-04 1.0628e-04 1.2342e-04 1.2784e-06 4.0052e-04 4.2080e-04 0:05:20804
197 9.1626e-04 1.0486e-04 1.2155e-04 1.2770e-06 3.9175e-04 4.1309e-04 0:04:16803
198 9.0299e-04 1.0317e-04 1.1974e-04 1.2522e-06 3.8313e-04 4.0544e-04 0:03:25802

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
199 8.9034e-04 1.0152e-04 1.1793e-04 1.2399e-06 3.7463e-04 3.9788e-04 0:05:24801
200 8.7802e-04 9.9958e-05 1.1607e-04 1.2009e-06 3.6632e-04 3.9035e-04 0:04:19800
201 8.6242e-04 9.8228e-05 1.1426e-04 1.2588e-06 3.5803e-04 3.8298e-04 0:03:27799
202 8.5225e-04 9.6709e-05 1.1248e-04 1.1427e-06 3.5014e-04 3.7591e-04 0:02:45798
203 8.3956e-04 9.5217e-05 1.1072e-04 1.1577e-06 3.4236e-04 3.6896e-04 0:04:51797
204 8.2770e-04 9.3667e-05 1.0890e-04 1.3124e-06 3.3509e-04 3.6216e-04 0:03:53796
205 8.1042e-04 9.1818e-05 1.0710e-04 1.1690e-06 3.2734e-04 3.5520e-04 0:03:06795
206 7.9723e-04 8.9963e-05 1.0550e-04 1.1343e-06 3.2017e-04 3.4888e-04 0:05:07794
207 7.8901e-04 8.8823e-05 1.0378e-04 1.0621e-06 3.1337e-04 3.4305e-04 0:04:06793
208 7.7442e-04 8.7302e-05 1.0215e-04 1.0653e-06 3.0650e-04 3.3692e-04 0:03:16792
209 7.6216e-04 8.5716e-05 1.0052e-04 1.0335e-06 2.9987e-04 3.3077e-04 0:05:15791

iter continuity x-velocity y-velocity energy k epsilon time/iter
210 7.5111e-04 8.4237e-05 9.8879e-05 1.0152e-06 2.9344e-04 3.2468e-04 0:04:12790
! 211 solution is converged
211 7.3899e-04 8.2737e-05 9.7221e-05 9.9709e-07 2.8719e-04 3.1868e-04 0:03:21789

EK-4 Yakıtların ısıl değerleri

Miktar		Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Alt Isıl Değer	Birim	TEP Çevrim Katsayısı
1	ton	Taşkömürü		6.100.000	kCal	0.610
1	ton	Kok Kömürü		7.200.000	kCal	0.720
1	ton	Briket		5.000.000	kCal	0.500
1	ton	Linyit teshin ve sanayi		3.000.000	kCal	0.300
1	ton	Linyit santral		2.000.000	kCal	0.200
1	ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1	ton	Petrokok		7.600.000	kCal	0.760
1	ton	Prina		4.300.000	kCal	0.430
1	ton	Talaş		3.000.000	kCal	0.300
1	ton	Kabuk		2.250.000	kCal	0.225
1	ton	Grafit		8.000.000	kCal	0.800
1	ton	Kok tozu		6.000.000	kCal	0.600
1	ton	Maden		5.500.000	kCal	0.550
1	ton	Elbistan Linyiti		1.100.000	kCal	0.110
1	ton	Asfaltit		4.300.000	kCal	0.430
1	ton	Odun		3.000.000	kCal	0.300
1	ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2.300.000	kCal	0.230
1	ton	Ham Petrol		10.500.000	kCal	1.050
1	ton	Fuel Oil No: 4		9.600.000	kCal	0.960
1	ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10.025.000	kCal	1.003
1	ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9.860.000	kCal	0.986
1	ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10.200.000	kCal	1.020
1	ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10.400.000	kCal	1.040
1	ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8.290.000	kCal	0.829
1	ton	Siyah Likör		3.000.000	kCal	0.300
1	ton	Nafta		10.400.000	kCal	1.040
bin	m3	Doğal Gaz	0.670 Kg/m³	8.250.000	kCal	0.825
1	ton	Kok Gazı		8.220.000	kCal	0.820
bin	m3	Kok Gazı	0.490 Kg/m³	4.028.000	kCal	0.403
1	ton	Yüksek Fırın Gazı		535.000	kCal	0.054
bin	m3	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m³	690.000	kCal	0.069
bin	m3	Çelikhane Gazı		1.500.000	kCal	0,15
bin	m3	Rafineri Gazı		8.783.000	kCal	0.878
bin	m3	Asetilen		14.230.000	kCal	1.423
bin	m3	Propan		10.200.000	kCal	1.020
1	ton	LPG		10.900.000	kCal	1.090
bin	m3	LPG	2.477 Kg/m³	27.000.000	kCal	2.700
bin	kWh	Elektrik		860.000	kCal	0.086
bin	kWh	Hidrolik		860.000	kCal	0.086
bin	kWh	Jeotermal		860.000	kCal	0.860

EK-5 Doymuş suyun özellikleri (Çengel, 2003)

Sıc.,	Doyma Basıncı,	Yoğunluk ρ kg/m³		Buharlaşma Entalpisi	Özgül Isı Cp J/kg .°C		Isı iletim Katsayısı k W/m .°C		Dinamik Vizkozite μ kg/m . s	
T °C	P_{sat} kPa	Sıvı	Buhar	h_{fg} kJ/kg	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar	Sıvı	Buhar
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4186	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}
180	1002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}
190	1254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}
200	1553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}
220	2318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}
240	3344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}
260	4688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}
280	6412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}
300	8581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}
374.14	22,090	317.0	317.0	0	∞	∞	∞	∞	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammed Arslan OMAR
Uyruğu : Afganistan
Doğum Yeri ve Tarihi : Afganistan 1977
Telefon : 0507 066 02 60
Faks : -
e-mail : arslanomar3@yahoo.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, ilçe, il**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Abu Muslim Lisesi, Andhoy, Faryab	1995
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2003
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2005
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2014

UZMANLIK ALANI

Termodinamik, Isı transferi,

BİLDİĞİ DİLLER

İnglizce, Türkçe, Türkmence, Farsça, Özbekçe

YAYINLAR

Kemal Altinişik, **Muhammed Arslan Omar**, Şenay Yalçın, Muhittin Tekin, Simulation of Hydrogen Production System with Parabolic Hybrid Solar Collector, 10th International Research/Expert Conference ”Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2006, Barcelona-Lloret de Mar, Spain, 1003-1006, 11-15 September, 2006. (Yüsek lisans tezinden yapılmıştır.)

Kemal Altınışık, **Muhammed Arslan Omar**, Muhittin Tekin, Düşük Sıcaklıklarda Hibrid Güneş Kollektörü ile Hidrojen Üretimi, III.Ulusal Hidrojen Enerjisi Kongresi, 17 Temmuz, 2006, İstanbul. (Yüsek lisans tezinden yapılmıştır.)