

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATI YAKITLI KAZANLARA UYUMLU  
PELET BRÜLÖRÜ TASARIMI VE İMALATI**

**Mustafa Kemal TÜZÜN**

**Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Kamil DELİKANLI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2012**

© 2012 [Mustafa Kemal TÜZÜN]

## TEZ ONAYI

Mustafa Kemal TÜZÜN tarafından hazırlanan "**Katı Yakıtlı Kazanlara Uyumlu Pelet Brülörü Tasarımı ve İmalatı**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**                      **Yrd. Doç. Dr. Kamil DELİKANLI**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Prof. Dr. Hikmet RENDE**                      .....

Akdeniz Üniversitesi

**Jüri Üyesi**                      **Doç. Dr. Fevzi BEDİR**                      .....

Süleyman Demirel Üniversitesi

**Enstitü Müdürü**                      **Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN**                      .....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Mustafa Kemal TÜZÜN**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	4
2.1. Enerji Kavramı .....	10
2.2. Türkiye ve Enerji .....	11
2.2. Enerji Kaynakları.....	14
2.3. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....	15
2.3.1. Kömür.....	16
2.3.2. Petrol .....	17
2.3.3. Doğalgaz.....	18
2.3.4. Nükleer enerji .....	18
2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	19
2.4.1. Güneş enerjisi .....	19
2.4.2. Rüzgar enerjisi .....	21
2.4.3. Hidroelektrik enerji .....	21
2.4.4. Hidrojen enerjisi.....	21
2.4.5. Jeotermal enerji .....	22
2.4.6. Deniz enerjisi .....	23
2.4.7. Biyokütle enerjisi .....	24
2.5. Pelet Yakıtı ve Özellikleri.....	27
2.5.1. Biyoyakıt yakma sistemleri .....	31
2.5.1.1. Sabit ızgaralı yakma sistemleri .....	31
2.5.1.2. Alttan beslemeli stokerli yakma sistemleri.....	32
2.5.1.3. Hareketli ızgaralı yakma sistemleri.....	34
2.5.1.4. Akışkan yataklı yakma sistemleri .....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
3.1. Sıcak Su Kazanları .....	36
3.1.2. Kazanlarda ısı verim .....	37
3.1.3. Kazanlarda yanma .....	39
3.1.3.1. Teorik özgül oksijen ihtiyacı .....	41
3.1.3.2. Teorik özgül hava ihtiyacı .....	42
3.1.3.3. Gerçek özgül hava ihtiyacı .....	42
3.1.3.4. Yakıt ısı değeri.....	43
3.2. Brülör Tasarım Aşamaları.....	45
3.2.1. Brülör karakteristikleri .....	46
3.2.2. Isıl kapasite ve yakıt ısı değerin belirlenmesi.....	46
3.2.3. Sistemin çalışma prensibi .....	48
3.2.4. Yakıt besleme ve depolama düzeneği hesabı .....	49
3.2.5. Hava besleme ve ayar düzeneği hesabı .....	54

3.2.6. Tutuřturma dűzeneęi hesabı .....	55
3.2.7. Yakma dűzeneęi hesabı.....	57
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	59
4.1. Brűlűr İmalat AŐamaları .....	59
4.2. Brűlűr Prototip Setinin İncelenmesi .....	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	64
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	69
EK A. Pelet Yakıcısının Teknik Resimleri.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	78

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KATI YAKITLI KAZANLARA UYUMLU PELET BRÜLÖRÜ TASARIMI VE İMALATI**

**Mustafa Kemal TÜZÜN**

**Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kamil DELİKANLI**

Bu tez çalışmasında günümüz ısıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan katı yakıtlı kazanlara uyumlu pelet brülörü tasarımı ve prototip imalatı yapılmıştır.

Tez konusu özel yakıcı sistem, 3 boyutlu olarak Solidworks programında tasarlanmış olup, prototip imalatı ve testi için Esendir Makina Ltd. Şti. ile ortak bir çalışma yapılmıştır.

Gelişen teknoloji ile artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların fiyatlarındaki artışlar ve çevreye olan olumsuz etkileri yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmıştır. Ülkemizde modern biyokütle enerjisinin daha yaygın kullanılması gerekmektedir.

Bir biyoyakıt türü olan pelet yüksek kalorili, düşük emisyon, düşük kül ve düşük nem oranlarına sahip çevreci bir yakıttır. Ülkemizde hava kirliliğinin önlenmesi, yakıttan daha çok verim elde edilebilmesi için konutlarda kullanılan kömürlü kazanların, yüksek verimle pelet yakan pelet yakıcı brülör ile modernize edilmesi gerekmektedir. Böylece kömürlü bir kazan, otomatik, emniyetli ve verimli bir şekilde pelet yakabilir hale getirilecektir.

Tasarlanan ürünün ısıtma sistemlerinde ve proseslerde daha yaygın kullanılmasıyla, yakıt harcamalarında ve sera gazı emisyon oranlarında önemli azalmalar sağlanacak, fosil yakıtların tüketimi ve enerjide dışa bağımlılığımız azalacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Pelet, pelet brülörü, pelet kazanı, pelet brülörü imalatı

**2012, 78 Sayfa**

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DESIGN AND MANUFACTURE OF PELLET BURNER COMPATIBLE WITH THE SOLID FUEL BOILERS**

**Mustafa Kemal TÜZÜN**

**Suleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kamil DELİKANLI**

In this thesis, design and manufacture of prototypes of pellet boilers compatible with solid fuel burners which are widely used in today's heating systems were made.

Special burning system which is the topic of the thesis, is designed in 3D Solidworks program, In prototyping and testing a study was conducted in partnership with Esendir Machinery Co.

Increasing energy needs by developing technology, increases the prices of fossil fuels and the negative effects on the environment necessitated the use of renewable energy sources. Modern biomass energy should be used more widely in our country.

Pellet, which is a biofuel type, is an environmentally friendly fuel with high-calorie, low-emission, low ash and low humidity. For the prevention of air pollution in our country, in order to achieve more efficiency in fuel used residential coal-fired boilers the burner needs to be modernized with pellet-burning wood pellets with high efficiency burner. Thus, a coal-fired boiler can be transformed into an automatic, safe and efficient wood pellet burner.

With the more widespread use of the designed product in heating systems and processes, significant reductions in fuel expenditures and greenhouse gas emission rates will be provided fossil fuels consumption and dependence on foreign energy will be reduced.

**Keywords:** pellet, pellet burners, pellet boiler, pellet burner manufacturing

**2012, 78 Pages**



## **TEŐEKKÖR**

Bu alıŐma için beni ynlendiren, karŐılaŐtıĐım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aŐmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Kamil DELİKANLI'ya Őukranlarımı arz ederim.

Çalışmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Esendir Makina Genel Müdürü Mak. Yük. Müh. Hüseyin ESENDİR, Mak. Müh. Aytaç ESENDİR ve Mak. Tek. Hakan HAKLI olmak üzere tüm Esendir Makina personeline teŐekkr ederim.

YaŐamım süresince desteklerini biran olsun esirgemeyen canım aileme sonsuz sevgi ve sayĐılarımı sunarım.

Mustafa Kemal TÜZÜN  
ISPARTA, 2012

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Sektörlere göre nihai enerji tüketiminin yıllara göre dağılışı.....	11
Şekil 2.2. Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı.....	13
Şekil 2.3. Dünya enerji tüketiminin yıllara göre dağılımı.....	15
Şekil 2.4. Dünya enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı.....	16
Şekil 2.5. Kollektörden alınan enerjinin depoya aktarılması.....	20
Şekil 2.6. Doğal biyokütle çevrimi.....	26
Şekil 2.7. Pelet ve briket.....	27
Şekil 2.8. Pelet presleme makinasının kesit görünümü.....	28
Şekil 2.9. Pelet üretim teknolojisinin aşamaları.....	29
Şekil 2.10. Sabit ızgaralı elle yüklemeli katı yakıt kazanının kesit görünümü.....	31
Şekil 2.11. Alttan beslemeli stokerli pelet kazanı kesiti.....	32
Şekil 2.12. Sabit potalı stoker sistemi.....	33
Şekil 2.13. Döner potalı stoker sistemi.....	33
Şekil 2.14. Hareketli ızgaralı yakma sistemi.....	34
Şekil 2.15. Akışkan yataklı kazan kesiti.....	35
Şekil 3.1. Bir sıcak sulu sistemin çalışma şeması.....	36
Şekil 3.2. Üç geçişli, kömürlü alev-duman borulu sıcak su kazanı kesiti.....	37
Şekil 3.3. Tasarlanan pelet brülörünün kesit görünümü.....	49
Şekil 3.4. Yakıt deposu ve yakıt iletim hattı.....	50
Şekil 3.5. Redüktörlü gölge kutuplu motor.....	54
Şekil 3.6. Tek emişli radyal fan.....	55
Şekil 3.7. Boru şeklinde hava kanallı ateşleme sistemi.....	55
Şekil 3.8. Fişek rezistans kesiti.....	56
Şekil 3.9. Paslanmaz çelik çekme boru.....	58
Şekil 4.1. Tasarımı yapılmış olan brülör.....	59
Şekil 4.2. Yakıt yükleme borusu ve helezonu.....	60
Şekil 4.3. Bağlantı flanşı ve dış cidar borusu montajı.....	61
Şekil 4.4. İç cidar borusu ve yakıt yönlendirme dirseği montajı.....	61
Şekil 4.5. Fanın hava kutusuna montajı.....	62
Şekil 4.6. Brülör sisteminin genel görüntüsü.....	63
Şekil 4.7. Yakıt deposu ve namlu kısmının genel görüntüsü.....	63
Şekil A.1. Bağlantı flanşı.....	70
Şekil A.2. Izgara parçası.....	71
Şekil A.3. Yakıt yükleme borusu.....	72
Şekil A.4. Boru bağlantı flanşı.....	73
Şekil A.5. Hava kutusu.....	74
Şekil A.6. Yakıcı gövde.....	75
Şekil A.7. Yükleme borusu.....	76
Şekil A.8. Komple deney seti.....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Türkiye birincil enerji kaynakları üretim değerleri.....	12
Çizelge 2.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	14
Çizelge 2.3. Pelet ve briketin özelliklerinin karşılaştırılması.....	15
Çizelge 2.4. Enerji düzeyi ve kül içeriği dikkate alınarak peletleme işlemi için kullanılan bazı önemli tarımsal atıklar.....	30
Çizelge 3.1. Kazan ısı verimi için pratikte elde edilen ortalama değerler.....	38
Çizelge 3.2. Çeşitli ocaklarda geçerli hava fazlalık katsayıları .....	40
Çizelge 3.3. Yakıt içerisindeki bazı maddelerin reaksiyon ısı değerleri .....	43
Çizelge 3.4. Bazı yakıtların alt ısı değerleri.....	44
Çizelge 3.5. Yakıtların hava ortamında tutuşma sıcaklıkları.....	45
Çizelge 3.6. Çeşitli odunsu biyokütle örneklerinin elementel analiz sonuçları....	47
Çizelge 3.7. Pelet yakıtının standart özellikleri.....	48
Çizelge 3.8. Malzeme yapısına göre yükleme verimi değerleri.....	51
Çizelge 3.9. Helezon eğimine bağlı $C_e$ katsayısı.....	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$B_h$	Saatlik yakıt ihtiyacı
$BTep$	Milyar ton eşdeğer varil petrol
$C$	Karbon
$^{\circ}C$	Celcius
$Cal$	Kalori
$C_e$	Eğim Katsayısı
$CO_2$	Karbondioksit
$C_p$	Özgül ısı
$D$	Helezon çapı
$H$	Hidrojen
$H$	Yakıt ısııl değeri
$H_u$	Yakıt alt ısııl değeri
$H_{\bar{u}}$	Yakıt üst ısııl değeri
$H_2O$	Su buharı
$IEA$	Uluslararası enerji ajansı
$J$	Joule
$kcal$	Kilokalori
$kg$	Kilogram
$Q_y$	Yakıt ısııl değeri
$m_{hava}$	Hava debisi
$M_k$	Günlük yakıt ihtiyacı
$M_o$	Mil momenti
$m_s$	Su debisi
$m_y$	Yakıt debisi
$n$	Hava fazlalık katsayısı
$n$	Motor çıkış devir sayısı
$N$	Motor gücü
$O$	Oksijen
$OECA$	Ekonomik işbirliği ve kalkınma teşkilatı
$O_{min}$	Teorik oksijen miktarı
$P$	Eksenel kuvvet
$Q_k$	Kazan anma gücü
$Q_r$	Rezistans ısıısı
$Q_y$	Yakıt ısııl enerjisi
$S$	Kükürt
$S_y$	Vida adımı
$T_{\check{c}}$	Kazan su çıkış sıcaklığı
$T_g$	Kazan su giriş sıcaklığı
$t_k$	Günlük çalışma saati
$V$	Kapasite
$V_{depo}$	Yakıt deposu hacmi
$V_h$	Gerçek özgül hava ihtiyacı
$V_{ht}$	Teorik özgül hava ihtiyacı
$\eta_k$	Kazan verimi
$\eta_b$	Brülör verimi
$\gamma$	Malzeme yığıma ağırlığı

$\psi$  Yükleme verimi

## 1. GİRİŞ

Konutlarda ve müstakil binalarda ısınma ihtiyacı; katı, sıvı, gaz yakıtların bireysel veya merkezi ısıtma sistemlerde kullanımı ile sağlanır. Sıvı-gaz yakıtlı ısıtma sistemlerinin işletilmesi kolaydır, ancak birim maliyetleri ve masrafları çok yüksektir. Özellikle gaz yakıt kırsallarda yaygın olmamasından dolayı Türkiye’de ısıtmanın en geçerli yöntemi katı yakıttan (kömür) oluşan ısıtmadır. Isıtma sistemlerinde kömürün yakılmasıyla ısıtılan su, bir pompa yardımıyla konut içindeki radyatörlere gönderilmek suretiyle ısı iletilir. Kömürün yanma verimi, yakıtta, yakıcıya, kontrol cihazlarına ve ortam şartlarına bağlıdır. Bu şartlar değişkenlik gösterdiğinden dolayı verimde düşme ve çevre kirliliği problemleri baş göstermektedir. Mevcut katı yakıtlı ısıtma sistemleri tamamıyla otomatik bir biyoyakıt yakıcı sistemle modernize ederek iyileştirilebilir.

Günümüzde enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenemeyen (fosil) ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Üretim, taşıma ve depolama maliyetlerinin ucuz ve kolay olması nedeniyle fosil yakıt (petrol, kömür ve doğal gaz) kullanımı oldukça yaygındır. Bu fosil yakıtların en büyük dezavantajı, kullanımları sonucu ortaya çıkan büyük miktarlardaki SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> bileşiklerinin asit yağmurlarına dönüşerek çevreye verdikleri zararlar ve CO<sub>2</sub> oluşumundan kaynaklanan küresel ısınmadır. Son yıllarda fosil yakıt tüketimindeki aşırı artışın neticesinde ortaya çıkan küresel ısınmanın olumsuz etkilerini bütün dünya yaşamaktadır (Severoğlu, 2010). Fosil yakıtların yanması sonucu CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> emisyonları önemli değerlere ulaşmıştır. Özellikle CO<sub>2</sub>’in neden olduğu sera etkisi sonucu dünya sıcaklığındaki artışın önümüzdeki 40 yıl içinde 1.5°C ila 4.5°C arasında olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca SO<sub>x</sub> atmosferik olaylarla asit yağmuru olarak yeryüzüne geri dönerek ekolojik dengeleri tümüyle etkilemektedir. Bu sorunların aşılması yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve mümkün olan sektörde kullanımını gündeme getirmektedir. Bu amaçla güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişik sektörlerde uygulanabilmesi için araştırmalar sürdürülmektedir.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler bilinen kömür rezervlerinin yaklaşık 240 yıl, petrolün 40 yıl, doğal gazın ise 58 yıl içinde tükeneceğini ortaya koymaktadır. Fosil

kaynaklarının ve elde edilen yakıtların bu olumsuz durumu karşısında alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması ve kullanılması ile ilgili araştırmalar son yıllarda hızlanmıştır. Bunlardan biri biyokütledir ve özellikle enerji amaçlı kullanılmak üzere biyokütle büyük bir potansiyele sahiptir. Biyokütlenin en büyük avantajlarından biri her yerde yetişmesi ve tükenilmez olmasıdır. Biyokütle, diğer enerji kaynakları gibi sera etkisi ve çevre kirliliği yaratmadığı için çevreye zararsız, sürdürülebilir tek enerji kaynağıdır.

İklim değişikliği ile mücadele amacıyla Kyoto protokolü 2005’de yürürlüğe girmiştir. 15 adet AB ülkesi sera gazı salınımlarını 2008-2012 dönemini kapsayan ilk yükümlülük dönemimde 1990’a göre %8 azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda bazı ülkelerde muafiyet ve teşviklerle biyoyakıt üretimi desteklenmektedir. Avrupa komisyonu 2010 yılı enerji alanında yenilenebilir enerjinin toplam enerjideki payını %10’a, 2020 yılı için ise %20 çıkarmayı planlamaktadır. Biyoyakıtların toplam yakıt üretimindeki payını 2010 yılı için %5,75, 2020 için ise %10’a ulaşmasını hedeflemektedir. Belirlenen bu hedefler, 2012 sonrası Kyoto Protokolünün geleceği için önemli bir karar niteliğindedir (Severoğlu, 2010).

Son yıllarda enerji üretimi bütün dünyada olduğu gibi, ülkemizde de önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesinden dolayı, enerji gereksiniminin karşılanmasında yeni bir seçenekte yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak görülmektedir. Ülkemizde enerji arzı ve tüketilen enerji arasındaki fark her geçen gün daha fazla açılmakta, enerjide kaynak açısından dışa bağımlılığımız daha da artmaktadır. Bu anlamda yenilenebilir enerjiyi yönelmek ve kullanımını yaygınlaştırmak kaçınılmazdır.

Türkiye’nin gelişmesini sürdürebilmesi için ihtiyacı olan enerjiyi zamanında, yeterli miktarda, ekonomik koşullarda ve çevreye zarar vermeden temin edip kullanması gerekmektedir.

Türkiye’de kömür, maliyetlerinin düşük olması ve kolay tedarik edilmesi nedeni ile konut ısıtılmasında özellikle doğalgazın bulunmadığı il ve ilçelerde yaygın olarak

kullanılmaktadır. Yaygın kullanılan kömürler yerli ve ithal olmak üzere iki çeşittir. Özellikle yerli kömürler başta olmak üzere, düşük kaliteli linyitler ve ithal kömür bu yakıtlar için uygun olmayan yakma sistemlerinde yakılarak binaların ısıtılmasında kullanılması, hem çevre kirliliği hem de ekonomik maliyet açısından büyük zararlar vermektedir. Konut ısıtılmasında verimsiz ve kontrolü zor olan küçük kapasiteli bireysel ısıtma sistemleri (sıcak su kazanları, sobalar) kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılacak olan çalışmaların temel amacı, müstakil (bireysel) konutların ve binaların ısıtılmasında sıklıkla kullanılan katı yakıtlı kat kaloriferi kazanlarını modernize ederek, yenilebilir bir biyoyakıt türü olan pelet yakıtını otomatik, verimli ve güvenilir yakabilecek bir katı yakıt brülörü tasarım ve imalatını kapsamaktadır.

Bu amaçla yakıcı sistem 3 boyutlu olarak Solidworks 2011 programında tasarlanıp, prototip imalatı gerçekleştirilecektir. Böylece kat kaloriferi verimli olarak pelet yakabilir hale gelecek olup, emisyonlarda ciddi azalmalar gözlenecektir. Çünkü peletin yakılması sonucu oluşan emisyonlar sınır değerlerin altında olup, doğal çevrime katılmaktadır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Biyokütlenin değerlendirilmesi konusunda dünyada yapılan çalışmalar incelenmiş olup, pelet brülörü (yakıcı) imalatı olarak literatürde herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Peletin yakılması ve çevresel etkileri konularında yapılan çalışmalar aşağıda tarih sıralamasına göre özetlenmiştir.

Demirbaş (1997), yaptığı çalışmada ülkemizin farklı kaynaklarından elde edilen 16 biyokütle materyalinin üst ısıl değerlerini (HHV) deneysel olarak belirlemiştir. Ayrıca, biyokütle materyallerinin üst ısıl değeri üç farklı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitliklerden ilkinde materyallerin elementel analiz sonuçları (C, H, O ve N) kullanılmış, ikincisinde sabit karbon içeriği (FC) ve üçüncüsünde sabit karbon ve uçucu madde içerikleri kullanılmıştır. Deneysel olarak belirlenen ısıl değerler ile eşitliklerle hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır.

Ayçiçeği kabuğu yüksek oranda selüloz içerir, pelet haline getirilmiş ayçiçeği kabuğu briket haline getirilmiş saptan daha yüksek ısı içeriğine sahiptir. Ancak bu pelet haline getirilmiş kabuğun yanma sırasındaki aşırı ısınmayı ve fazla dumanı önleyen yeterli hava alım hızı düşüktür, peletlerin ortalama yanma randımanı %62'dir. Kül oranı ve külün diğer özellikleri odundan farklı değildir. Ancak sap briketinin kül oranı %10,8 iken kabuk peletlerinin ise %3,6'dır (Park et al. 1997)

Ndiema et al. (1998), yaptıkları çalışmada biyokütle yakma sobalarında yanma sonucu oluşan emisyonları ölçmüşlerdir. Çalışmada emisyonlar yanmamış kirleticiler (CO, UHC ve duman) ve oksitlenmiş kirleticiler (CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>) olarak iki gruba ayrılmıştır. Odun kömürünün yanması sonucunda oluşan CO, CH<sub>4</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonları sırasıyla 17,56, 0,89 ve 0,173 kg/ton olarak belirlenmiştir. Odunun yanması sonucunda ise bu emisyonlar sırasıyla 11,3 , 0,46 ve 0,19 kg/ton olarak bulunmuştur. Yakıtlardaki azot, NO ve NO<sub>2</sub> şekline dönüşür. Yakıtlardaki azotun NO<sub>x</sub>' e dönüşüm oranı odun kömürü ve odunda %27,1 ve 33,2 olarak belirtilmiştir. Yüksek CO emisyonundan dolayı biyokütle sobaları yeterli havalandırılmalı olarak kullanılmalıdır. Odunun duman yoğunluğu (%80), odun kömürününkinden iki kat

daha yüksektir. Bu yüzden, odun yakıtlarının bu tür sobalarda kullanılmasının uygun olmadığı açıklanmıştır.

Beker (2000), yaptığı çalışmada linyit ile odunsu biyokütleyi karıştırarak katı bir yakıt elde etmeyi amaçlamıştır. Linyitle yapılan karışımda; %7, 9, 12, 15 ve 20 oranlarında odunsu atıklar kullanılmıştır. Bu karışımlar 400, 550, 700 ve 800 MPa basınçlarla briketlenmiştir. Karışımlarda ayçiçeği kabuğu, odun talaşı ve kağıt fabrikası atıkları kullanılmış ve yapıştırıcı olarak farklı miktarlarda melas kullanmıştır. Briketleme için optimum parametrelerin belirlenmesi amacıyla çalışmalar laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda en sağlam briketler, karışımın %12-20 atık içeriğinde, %10-12 linyit nem içeriğinde ve 550, 700, ve 800 MPa briketleme basıncında elde edilmiştir. Briketlerin uygun mekanik dayanımı için, karışıma %8 oranında melas karıştırmanın daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Chin ve Siddiqui (2000), yaptıkları çalışmada talaş, çeltik kavuzu, yerfıstığı kabuğu, hindistan cevizi lifi ve hurma lifi gibi biyokütle materyalleri piston ve kalıp tipi presler kullanılarak 5-7 MPa basınç altında briketlemişlerdir. Elde edilen briketleri yoğunluğuna, genişleme davranışlarına, kesme kuvvetine ve yanma karakteristiklerine briketleme basıncının etkileri araştırılmıştır. Talaş briketi belirtilen bütün özelliklerin en iyi olduğu briket olarak belirlenmiştir.

Paulrud ve Nilsson (2001), briketlenmiş kırmızı kanarya otunu 180 kW'lık bir yakma sisteminde yakarak, kül içeriğine bağlı olarak yanma esnasında oluşan emisyonları incelemişlerdir. Ayrıca yanma esnasında kül problemleri de araştırılmıştır. Araştırmada, üç farklı kırmızı kanarya otu içeren, beş yakıt kullanılmıştır. Baca gazı emisyonları ölçülmüş ve yakıtlar ve külleri analiz edilmiştir. Kül içeriğindeki değişim briket üretimini ve baca gazı emisyonlarını etkilememiştir. Yapılan ölçümler sonucunda baca gazında düşük karbon monoksit (<42 mg/MJ) ve partiküller (<150 mg/Nm<sup>3</sup>) bulunmuştur. Nitrojen oksit emisyonu <110 mg/MJ olarak ölçülmüştür.

Ünal ve Alibaş (2002a), yaptıkları çalışmada, iki ayrı formdaki ayçiçeği sapının üç tip ızgara üzerinde ve üç farklı yakma koşulundaki enerji üretimleri, yakıt tüketimleri ve baca gazı emisyon değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışmalarında ölçülen baca gazlarının (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) konsantrasyon ve kütleli debi değerleri, hem kendi aralarında hem de Hava Kirliliği Korunması Yönetmeliği'nde verilen sınır değerleri ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Ayçiçeği sapının I. ve II. formlarındaki yakma deneylerinde, en yüksek kazan verimlerine sırasıyla % 25,1 ve % 30,5 değerleri ile yuvarlak delikli ızgaranın önden doğal hava emişli yakma koşulunda elde etmişlerdir. En yüksek kazan yanma ısı enerjisini ise sırasıyla, 266445 kJ/h ve 240660 kJ/h değerleri ile karışık delikli ızgaranın alttan doğal emişli ve alttan zorlanmış çekişli yakma koşullarında elde etmişlerdir. Ayçiçeği sapının I. Formuna ait CO emisyonunun en düşük olduğu 2834,8 mg/Nm<sup>3</sup> ve 2953,9 mg/Nm<sup>3</sup> değerleri, sırasıyla ile karışık delikli ızgara ve oblong delikli ızgaranın alttan zorlanmış emiş koşullarında ölçülmüştür. II. formun deneylerinde ise, en düşük CO emisyon miktarına, 1626,3 ve 1765,5 mg/Nm<sup>3</sup> değerleri ile oblong delikli ızgaranın sırasıyla alttan zorlanmış çekiş ve alttan zorlanmış emiş koşullarında ölçülmüştür. Yuvarlak delikli ızgaranın hava giriş delik alanının küçük olması, bu ızgaranın alttan zorlanmış çekiş ve alttan zorlanmış emiş koşullarında, yanma odasına yetersiz hava girişine neden olmuş ve eksik yanmaya nedeniyle CO emisyonunun yükseldiği belirtilmiştir.

Ünal ve Alibaş (2002b), yaptıkları çalışmada buğday ve ayçiçeği sapsarı su ısıtmalı yarım silindirik katı yakıt kazanında iki farklı formda (balya ve parçalanmış), üç değişik yakma koşulunda ve üç farklı ızgara (yuvarlak delikli, oblong delikli ve karışık delikli) üzerinde yakılarak baca gazı emisyonlarını ölçmüşlerdir. Yakma için gerekli hava miktarı teorik ve gerçek olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda yakıtların balya formunda yakma deneyinde CO emisyonu açısından en iyi sonuç ayçiçeği sapının karışık delikli ızgarada, alttan doğal çekişli yakma koşulunda bulunmuştur. Bu koşulda CO emisyonu 2834,8 mg/Nm<sup>3</sup>, oksijen %13, hava fazlalık katsayısı 1,00, gerçek hava miktarı 4,532 Nm<sup>3</sup>/kg ve gerçek baca gazı miktarı 5,258 Nm<sup>3</sup>/kg olarak bulunmuştur. Yakıtların parçalanmış gevşek formunun yakılması sonucunda CO emisyonu açısından en iyi sonuç yine ayçiçeği sapının yakıldığı oblong delikli ızgaranın alttan zorlanmış çekişli yakma koşulunda bulunmuştur. Bu

koşulda CO emisyonu 1626,3 mg/Nm<sup>3</sup>, oksijen %14,1, hava fazlalık katsayısı 1,16, gerçek hava miktarı 5,254 Nm<sup>3</sup>/kg ve gerçek baca gazı miktarı 5,981 Nm<sup>3</sup>/kg olarak belirlenmiştir. Yakma deneyleri sonucunda CO emisyonunun azaltılması için, %13-17 oksijen ve 1-2 hava fazlalık katsayısı değerleri arasındaki koşulların daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Demirbaş ve Demirbaş (2003) yaptıkları çalışmada biyokütle ve kömürün bazı özelliklerini karşılaştırmışlardır. Biyokütlenin güç üretimi için kullanımı yenilenebilir ve CO<sub>2</sub> içermeyen bir yakıtın avantajlarını sunmaktadır. Biyokütlenin kömürden daha düşük ısıl değere sahip olduğu ve bunun nedeninin genellikle biyokütlenin daha yüksek nem içeriğine ve oksijen içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Bunun da incelenen biyokütle materyallerinin farklı yakma özellikleri göstermesine neden olduğu belirtilmiştir. Biyokütle ve atıkların yapısal, kısmi ve elementel analiz sonuçları oldukça farklılık göstermiştir. Örneğin; lignin seviyesi, C, O, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O ve kül içerikleri sırasıyla %15–53, %42–54, %35–45, %23–49, %4,3–48,5 ve %0,5–13,7 olarak verilmiştir. Fakat, biyokütle örneklerinin bazı özelliklerinin örneğin; hidrojen içeriği, sülfür içeriği ve ateşleme sıcaklığının dar bir aralıkta değiştiği görülmüştür.

Gonzalez et al. (2004), ev ısıtmasında kullanılan 11.6 kW gücünde bir kazanda, farklı atıkların yanma işleminin optimize edilmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, yakıt olarak üç farklı biyokütle atığı peleti (domates, zeytin çekirdeği ve kenger) ve odun peleti kullanılmıştır. Öncesinde yakıtların üst ısıl değeri belirlenmiştir. Yanma parametrelerine atık tipinin, yakıt kütle akışının, hava akımının ve atık karışımının etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Üç farklı atığın davranış özelliklerinin odun peletine benzediği tespit edilmiştir. Kazan verimleri, maksimum yakıt akışı (%100) ve minimum hava akımı (%0) koşullarında, domates posasında % 90, odun peletinde % 90,5, zeytin çekirdeğinde % 89,7 ve kenger otu peletinde % 91,6 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum atık karışımı %75 domates ve %25 orman atığı olarak bulunmuş ve bu karışımın %75 kütle akışı ve %0 hava akımında %92.4'lük brülör verimine sahip olduğu saptanmıştır.

Toraman ve ark. (2004), dolaşımli akışkan yataklı sistemde arıtma çamurunun yakılarak yanma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Atık çamuru içene ayrıca zeytin prinası ve linyit kömürü de ekleyerek yakmışlardır. Karışımlar içerisindeki linyit ve prinanın oranları %80, 85, 90, 95 olarak ayarlanmıştır. Yakma sonucunda oluşan baca gazları ve yanma verimleri belirlenmiştir. Denemeler sonucunda, arıtma çamuru ve kömürün sistemde %96,18' lik bir yanma verimine sahip olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamuru ve prina karışımının yanması sonucunda belirgin derecede CO ve yanmamış hidrokarbonlar oluşmuş ve yanma verimi %92,93' e düşmüştür. Linyit kömürü ile arıtma çamurunun farklı oranlardaki karışımlarının yanması sonucunda oluşan CO ve  $C_mH_n$  emisyonları, kömürün yalnız başına yakılması sonucu oluşan emisyonlardan daha düşük olarak bulunmuştur. Karışım içerisinde arıtma çamurunun miktarı arttıkça,  $SO_2$  emisyonu düşmüş,  $NO_x$  emisyonları azda olsa yükselmiştir. Arıtma çamuru ve prina karışımı yakıldığında  $SO_2$  ve  $NO_x$  emisyonlarında az bir artış gözlenmiştir. Arıtma çamuru prina karışımında, karışım içinde %5 arıtma çamuru olduğunda, CO ve  $C_mH_n$  emisyonlarında keskin bir düşüş gözlenmiştir. Arıtma çamurunun karışım içindeki oranı arttıkça, bu emisyonlarda yanmamış hidrokarbonlardan dolayı bir artış olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, arıtma çamurunun dolaşımli akışkan yataklı yakma sistemlerinde, diğer yakıtlarla karıştırılarak verimli bir şekilde yakılabileceği belirtilmiştir. Özellikle zeytin prinasının daha düşük kaliteli yakıtların yakılması için çok iyi bir katkı maddesi olduğu vurgulanmıştır.

Yorulmaz ve Atımtay (2005), çalışmalarında MDF (orta yoğunlukta fiber) ve çam talaşlarından hazırlanan peletlerin laboratuvar şartlarında yakılmasıyla oluşan "Metan dışındaki Toplam Uçucu Organik Karbon" (NMTVOC) emisyonları incelenmiştir. Belirli oranda (%9) bağlayıcı madde olarak kullanılan mısır nişastasının TVOC emisyonları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, peletlerin yanmalarından kaynaklanan yanma gazı emisyonları (CO,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ ) da incelenmiştir. Sonuç olarak MDF peletlerinin yanmasıyla çam peletlerine göre daha yüksek konsantrasyonlarda NMTVOC emisyonları oluşmuştur. Ayrıca nişastanın MDF ve çam talaşına eklenmesi NMTVOC emisyonlarını arttırmıştır. NMTVOC emisyonlarının yanısıra, MDF peleti yakıldığı zaman, bileşiminde bulunan azotlu

kimyasallardan dolayı, doğal çam peletlerine göre daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonlarına sebep olmuştur.

Al-Windyan et al. (2006), yaptıkları çalışmada zeytin prinasını dikey borulu bir ocakta püskürterek yakılmışlardır ve yanma özellikleri ve baca gazı emisyonlarını belirlemiştir. Çalışma sonucunda, ocağın tasarımının prinanın püskürtülerek verimli olarak yakılmasına uygun olduğu belirlenmiştir. Maksimum ısı verimi %69 ve yanma verimi %82 olarak belirlenmiştir. Maksimum alev sıcaklığı 980 °C' yi bulmuş ve soğutma suyu sıcaklığı değişimi 20 °C olarak belirlenmiştir. Baca gazı emisyonları ölçümü sonucunda, CO konsantrasyonu %1,6 'nın altında kalırken NO<sub>x</sub> emisyonu 550 ppm ve SO<sub>x</sub> emisyonu maksimum 30 ppm olarak belirlenmiştir. Denemelerde hava-yakıt oranının 7,5' dan fazla olduğunda, CO<sub>2</sub> emisyonunun hızla düşmeye başladığı görülmüştür. SO<sub>2</sub> emisyonlarının biyokütle kökenli bütün yakıtlarda olduğu gibi çok düşük olduğu belirtilmiştir. Daha yüksek yanma sıcaklıkları ve oksijen konsantrasyonundaki artışın etkileriyle daha yüksek NO<sub>x</sub> emisyonu belirlenmiştir.

Duranay vd.(2007), çalışmalarında mobilya fabrikasının toz tutucularından alınan odun tozunun pelet haline getirilip sabit yatak yakma sisteminde yanma davranışını incelemiştir. Yakma deneyleri, içinden direnç telleri geçirilmiş refrakter tuğlalarla kaplanmış olan kare kesitli dikey bir kamara içerisine yerleştirilen sepet üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneyleri 873, 973 ve 1073 K fırın başlangıç sıcaklıkları ve 7 mm, 9,6 mm ve 12,5 mm pelet yüksekliği için tekrarlandı. Mobilya tozunun %5,11 nem, %0,93 kül, %75,71 uçucu madde ve 18,64 MJ/Kg kalori olduğu hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, tutuşma, uçucu madde, yanma ve karbon yanma sürelerinin artan fırın sıcaklığı ile azaldığı, artan pelet yüksekliği ile arttığı belirlendi. Uçucu madde yanma hızı artan sıcaklıkla artarken, karbon yanma hızında düşüş kaydedildi. Pelet etrafında oluşan ve düşük sıcaklıkta sinterleşebilen külün biyokütlenin yanması sırasında etkili olduğu belirlendi.

Roy et al (2011), ahşap peleti ve diğer biyokütlelerin birlikte, sobada yanma verimliliğini araştırmışlardır. Yakıt özelliği, gaz emisyonu ve soba verimliliği

karşılaştırılmıştır. Yakıt özellikleri, proksimet analizi, nihai analiz ve ısı değerleri ile ilgili olarak tespit edilir ve karbon monoksit emisyonları (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>) ve sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) ölçülür ve karşılaştırılır. Pilot ölçekli yanma testleri ahşap pelet %90 ile %10 Biyokütleler eş yanma verimliliği ve emisyon önemli bir bozulma olmadan başarılı bir yanma sağladığını göstermiştir. Yakıt içeriğinde azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarının, N<sub>2</sub> ile orantılı olduğu bulunmuştur. Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonları ihmal edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

## 2.1. Enerji Kavramı

Enerji: “Bir sistemin iş yapma yeteneğini veya gücünü niteleyen” bir kavramdır.

Enerji ayrıca bir cismin, konumu, hareketi, taşıdığı elektrik yükü, içinde bulunduğu ortamdan daha yüksek sıcaklığa sahip olması sebebiyle iş yapabilme yeteneğidir. Potansiyel enerji, kinetik enerji, elektrik enerjisi, ışık, ısı, kimyasal enerji ve nükleer enerji başlıca türleridir. Bu enerjiler birbirlerine enerji dönüşüm sistemleri sayesinde dönüşebilir ve iş yapabilirler. SI sisteminde enerji birimi Joule (J)’dür (TDK, 2012).

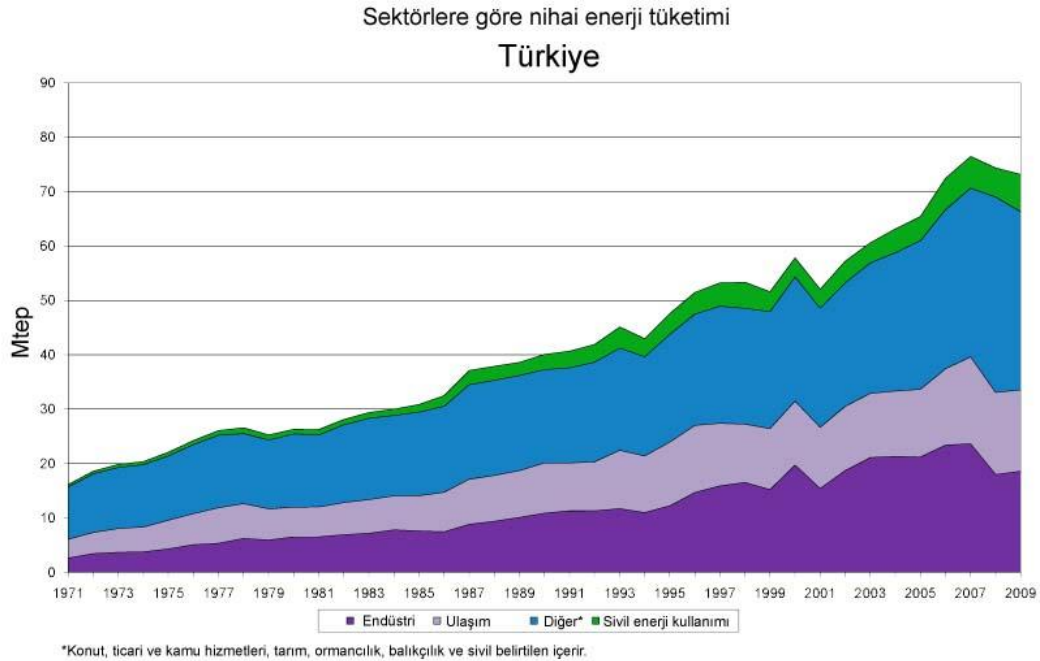
Enerji, elle tutulamayan gözle görülemeyen, bir anlamda maddesel varlığı olmayan bir güç olarak tanımlanır. Enerjinin fizikte en basit tanımı “iş yapabilme gücüdür”. Bu tanım çok basit olmakla birlikte pratik açıdan anlamlıdır. Çok geniş anlamda ise enerji “madde” demektir. Uzaydaki enerjinin devamlı olarak maddeye, maddenin de tekrar enerjiye dönüştüğünü göz önünde bulundurursak; madde, somutlaşmış bir enerji biçimidir, ancak kendi başına hareket edemez (Göksu, 1999).

Gerek sanayileşme gerekse bireylerin daha iyi yaşam istekleri günümüzde enerji tüketimini önemli ölçüde arttırmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kömür, petrol, doğal gaz gibi yakıtlar öncelikli olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yakıtların kullanımında karşımıza iki sorun çıkmaktadır. Birinci sorun; bu yakıtların yakın bir gelecekte tükenme olasılığı, diğeri ise sanayileşmenin belli yörelerde yoğunlaşması sonucu büyük oranda fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre kirliliğinin artmasıdır. Bu sorunların aşılması yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve mümkün olan sektörde kullanımını gündeme getirmektedir. Bu amaçla güneş, rüzgar,

jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişik sektörlerde uygulanabilmesi için araştırmalar sürdürölmektedir.

## 2.2. Türkiye ve Enerji

Türkiye'nin nüfusunun 2010 ve 2022 yıllarında sırasıyla %1,2 ve %1'lik artışla 74.1 ve 83.4 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'nin enerji ihtiyacı da hızla artmakta olup (yılıda ortalama %8 artış) geçmişte karşılaştığı sorunlar ve geleceği değerlendirildiğinde esas olanın enerjiye olan talebin karşılanması olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemizde sektörlere göre enerji tüketimleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sektörlere göre nihai enerji tüketiminin yıllara göre dağılışı (IEA,2009)

Türkiye'de linyit, taş kömürü, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğalgaz, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi gibi kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Türkiye'de en fazla rezerv yaklaşık 8,2 milyar ton ile düşük kaliteli linyit kömüründe bulunmaktadır. Bu linyitler kalori değeri yüksek olmadığı için genel olarak çıkarıldığı yerde termik santrallerde yakılarak elektrik enerjisine çevrilmektedir.



2010 yılı Türkiye toplam birincil enerji kaynakları yönünden yerli üretimi 32.493 BTEP, ithalat 87.398 BTEP ve ihracatı 8.009 BTEP olmuştur. Çizelge 2.1’de 2010 yılına ait Türkiye birincil enerji kaynakları üretim değerleri ve toplam yerli üretimdeki, ithalat ve ihracatta ki kaynak dağılımı verilmektedir. 2010 yılı verilerine göre kişi başına enerji tüketimi 1482 (TEP/kişi), kişi başına elektrik tüketimi net: 2347 (kwh/kişi), brüt: 2865 (kwh/kişi) olarak belirlenmiştir.

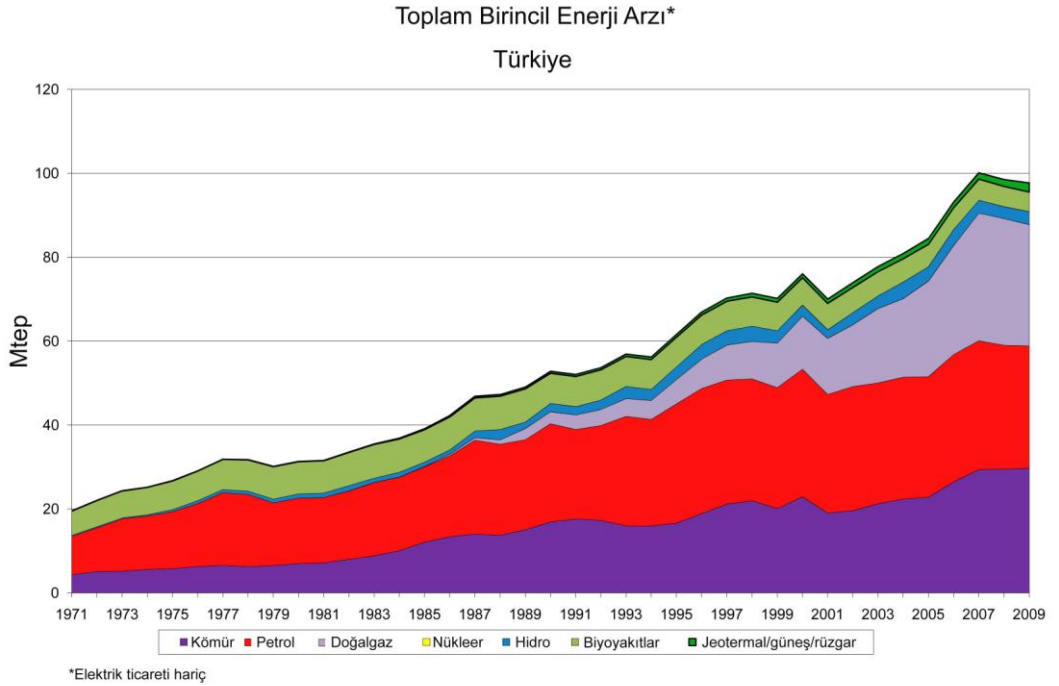
Çizelge 2.1. Türkiye birincil enerji kaynakları üretim değerleri (DEK-TMK, 2010)

<b>Kaynak (Btep)</b>	<b>Yerli Üretim (+)</b>	<b>İthalat (+)</b>	<b>İhracat (-)</b>	<b>Birincil Enerji Arzı</b>
Taş Kömürü	1511	13734		15245
Linyit	15505			15505
Asfaltit	508			508
Kok		115		115
Petro kok		2072		2072
Briket				0
Odun	3392			3392
Hayvan ve Bitki Art.	1166			1166
<b>Toplam Katı Yakıt</b>	22082	15921	0	38003
Petrol	2671	36556	7250	31977
Doğalgaz	625	34823	594	34854
Hidrolik	4454			4454
Jeotermal	575			575
Biyoyakıt	12			12
Rüzgar	251			251
Elektrik		98	165	-67
Geo. Isı	1391			1391
Güneş	432			432
<b>Toplam</b>	32493	87398	8009	111882

Linyit dışında Zonguldak yöresinde 1 milyar ton civarında kaliteli taş kömürü rezervi bulunmaktadır. Toplam kömür rezervimiz dünya rezervinin binde beşinden azdır. Yerli kömürün yanında ülkemizde ısıtma amaçlı ithal kömür kullanılmaktadır. Petrol rezervimiz ise daha da kısıtlıdır. Doğalgaz da ise durum farklı değildir. Trakya yöresinde bulunan doğalgaz rezervi dünya rezervinin onbindebirdir. Türkiye’nin bilinen uranyum yatakları ile ekonomik uranyum üretimi, günümüz teknolojisiyle pek mümkün olmamaktadır. Bu güne kadar bulunan rezervlerini Türkiye’nin gerçek rezervini yansıtmadığı görüşü ağırlık kazanmaktadır. Türkiye toryum yatakları bakımından ise dünyanın sayılı rezervleri arasında bulunmaktadır (Türkoğlu, 2010).

Birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlılık Türkiye’de %72,6’dır. Fosil yakıt enerjisi kısıtlandıkça, Türkiye, gelecek yıllarda, enerji kıtlığı, enerji fiyatlarında belirgin artış ve enerji güvensizliği ile yüz yüze kalacaktır. Bu sebeplerle, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye’nin sürdürülebilir ekonomik gelişimi için giderek artan şekilde önem kazanmaktadır.

Ülkemizde; biyokütlenin enerji üretimindeki payı %4,4 olup, sadece odun, bitki ve hayvan atık-artıklarından yakacak olarak ısınma ve pişirmede yararlanılmakta ve maalesef dünyadaki modern biyokütle kullanım eğiliminin dışında kalınmaktadır. Oysa Türkiye’de hayvansal ve bitkisel artık miktarı 10,3 Mtep değerinde olup, bu değer ülkemiz enerji tüketiminin %13’üne karşılık gelmektedir. Ayrıca ülkemiz enerji ormancılığına uygun (kavak, söğüt, kızılçam, okaliptüs, akasya gibi hızlı büyüyen ağaçlar) 4 milyar hektar devlet orman alanına sahiptir (Önal, 2007).



Şekil 2.2. Türkiye’nin toplam birincil enerji arzı (IEA, 2009)

## 2.2. Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları çok değişik biçimlerde madde hali, depo edilebilirlik, dönüştürülebilirlik, yenilenebilirlik, kullanılabilirlik gibi sınıflandırılabilir. Daha çok kullanılabilirliğine ve yenilenebilirliğine göre yapılan sınıflandırma yaygındır. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir (Karaosmanoğlu, 2004).

Çevreye etkileri ve tükenebilirlikleri açısından dünyadaki enerji kaynakları, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında; kömür, petrol ve petrol ürünleri, doğalgaz ve nükleer enerji gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında ise biyokütle (Odun, bitki artıkları vb.), rüzgar, hidrolik, jeotermal, deniz ve güneş enerjisi ön sıralarda yer almaktadır.

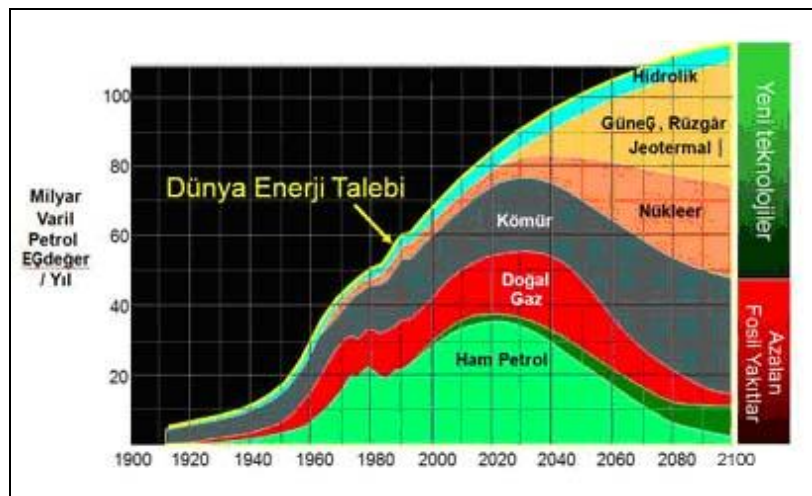
Çizelge 2.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

<b>Yer altı Kaynakları</b>	<b>Yerüstü Kaynakları</b>
Kömür	Ormanlardan sağlanan yakacak odun
Petrol	Biyokütle kaynakları
Doğalgaz	Tezek
Uranyum ve Toryum	Kültürel bitkilerin çeşitli kaynakları
Jeotermal Enerji	
<b>Organik Kökenli</b>	<b>İnorganik kökenli</b>
Kömür	Uranyum
Petrol	Toryum
Odun	
Biyokütle	
<b>Yenilenemeyen Kaynaklar</b>	<b>Yenilenebilir Kaynaklar</b>
Kömür	Güneş enerjisi
Petrol	Rüzgar enerjisi
Doğalgaz	Hidrolik enerji
Nükleer Enerji	Biyokütle enerjisi
	Jeotermal enerji
	Deniz enerjisi
	Hidrojen Enerjisi

Kaynak itibariyle insanlık hayatı açısından sonsuz sayılabilecek kadar çok olan enerjiler yenilenebilir Enerji olarak isimlendirilmektedir. Bunun yanında yenilenemez enerji sınıfındaki Fosil yakıtlar içindeki karbon havadaki oksijen ile birleşerek CO<sub>2</sub> (tam yanma halinde) veya CO (yarım yanma halinde veya yanma havasının az olması) gazları ortaya çıkmaktadır. Yine yakıt içerisinde eser miktarda bulunan kurşun, kükürt gibi elementler yanma sıcaklığında oksijen ile birleşerek insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturan bileşikler (SO<sub>x</sub>, PbO, NO<sub>x</sub>...) oluşturmaktadır. Bu yanma ürünleri atmosfere bırakılmakta ve atmosfer içerisinde birikmektedir (Ünalın, 2002).

### 2.3. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

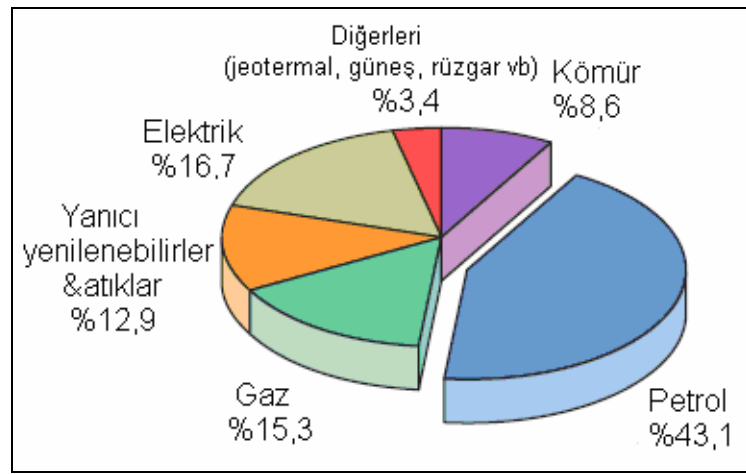
Karbon bazlı olarak adlandırabilecek kaynaklardır. Petrol, kömür ve doğalgaz en temel enerji kaynaklarıdır. Bunlar, meydana gelişleri itibarıyla yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığından, yenilenemeyen enerji kaynakları olarak da adlandırılırlar. Yenilenemeyen (geleneksel, dönüşümsüz) enerji kaynakları milyonlarca yıl öncesinden depolanan güneş enerjisi olan fosil yakıtlar; petrol, doğal gaz, kömür, turba ve nükleer enerji olarak sıralanmaktadır. Şekil 2.3'te dünyanın enerji tüketiminde fosil yakıtların ve yeni teknolojilerin kullanımının yıllara göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Dünya enerji tüketiminin yıllara göre dağılımı

Dünyanın bilinen petrol rezervlerinin 2050 yılında, doğal gaz rezervlerinin 2070 yılında ve kömür rezervlerinin 2150 yılında tükeneceği beklenmektedir. Bu nedenle enerji üretiminde 21. yüzyılın başlarında fosil yakıtların kullanılması gerek çevre, gerekse artan fiyatlar nedeniyle ekonomik olmaktan çıkacaktır (Karaca,2009).

Dünya enerji tüketiminde yakıtların yıllara göre dağılımı Şekil 2.4'te verilmiştir. Enerji tüketiminde en büyük payı %43,1 oran ile petrol ve ürünleri almaktadır. Bunu sırasıyla, %15,3 doğalgaz, %16,7 elektrik, %12,9 yanıcı yenilenebilirler ve atıklar, %8,6 kömür ve %3,4 diğerleri ( jeotermal, güneş, rüzgar vb) takip etmektedir.



Şekil 2.4. Dünya enerji tüketiminin yakıtlara göre dağılımı (IEA, 2009)

### 2.3.1. Kömür

Homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarlarda H, O, S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, iz elementleri gibi) maddelerin de olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir.

Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun şartların sağlanması durumunda, bitki parçaların bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişimlere uğraması sonucu meydana gelirler.

Çoğunlukla bitkisel maddeler veya bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökeler ve jeolojik işlemlerle birlikte yer altına gömülürler. Bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç, daha sonra da ortamın ısısal şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir (TKİ, 2009).

Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütleleri etkilemesi sonucu, bu ortamdan, sırası ile önceleri (turbadan - taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, CO<sub>2</sub>, CO; (taşkömürü aşamasında) CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> ve en ileri aşamalarda H<sub>2</sub> (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Bu şartların dışında (volkanik faaliyet, fay hareketleri, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısısı olağanüstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Isı ve basınç arttıkça önceleri “Turba” olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce “Linyit”, daha sonra “Alt bitümlü kömür”, sonra “Taşkömürü”, “Antrasit” ve en sonunda şartlar uygun olursa “Grafit”e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine “Kömürleşme” denmekte, her seviyeye de “Kömürleşme Derecesi” denilmektedir (TKİ, 2009).

### **2.3.2. Petrol**

Yerküre içerisinde organik materyalin başkalaşımı ile oluşmuş ve gözenekli kayalar içerisinde depolanmış sıvı haldeki hidrokarbonlara ham petrol adı verilir. Petrolün başındaki "ham" terimi bir hammadde olduğunu ve henüz işlenmediğini gösterir. Ham petrol, rafinerilerde bileşenlerine ayrıştırılarak (damıtılarak) günlük yaşamımızda kullandığımız pek çok ara madde ve akaryakıt ürünleri elde edilir.

Petrol, yalnızca iki elementi C ve H içeren organik bileşiklerin bir karışımıdır. Petrol, doğal yollarla yeryüzüne fay hatları ve kayalardaki çatlaklar yoluyla sızar, birikerek katran, asfalt ve zift havuzları oluşturur. Bu nedenle İngilizcede petrol yerine kullanılan petroleum terimi köken olarak Grekçe'den (Yunanca'dan) türemiş olup, taş anlamına gelen "petra" kelimesi ile yağ anlamına gelen "oleo" kelimelerinin birleşimidir ve taşıyağı anlamına gelir. Eski Grekler'den daha önce, Mezopotamya dillerinde naptu kelimesi taşıyağı anlamında kullanılmıştır. Daha sonra bu kelime nafta olarak evrimleşmiş ve bugün pek çok dilin kelime haznesine ham petrol veya

petrolden elde edilen gazyağı ve benzin türü hidrokarbon sıvıları belirtmek üzere girmiştir. Doğal olarak ham petrol, yeşilden kehribara kahverengiden siyaha değişik renklerde bulunur ve muhteviyatına bağlı olarak yeryüzünde su kadar akışkan olabildiği gibi, bal kadar da akamaz olabilir (TPAO, 2011).

### **2.3.3. Doğalgaz**

Doğal gaz; metan ( $CH_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), propan( $C_3H_8$ ) gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bir karışımdır. Yeraltında yalnız başına veya petrol ile birlikte bulunabilir. Petrol gibi doğal gaz da kayaçların mikroskopik gözeneklerinde bulunur ve kayaç içerisinde akarak üretim kuyularına ulaşır. Doğal gaz, yüzeyde ayrıştırılarak içerisinde bulunan ağır hidrokarbonlar (bütan, pentan, vb) uzaklaştırılır. Doğal gaz, evlerimizde kullandığımız en temiz fosil yakıttır. Doğal gazın yanması durumunda karbondioksit, su buharı ve azot oksitler oluşur (TPAO, 2011).

En önemli özelliği temiz bir yakıt olması ve kirletmemesidir. Gaz halinde olduğu için hava ile iyi bir karışım oluşturarak daha kolay yanar. Tam yandığında mavi bir alev oluşur. Doğalgaz, gaz fazında boru hattı olarak başta Rusya, İran ve Azerbaycan olmak üzere, sıvılaştırılmış olarak tankerlerle Cezayir ve Nijerya'dan temin edilmektedir (Karakoç, 2006).

### **2.3.4. Nükleer enerji**

Nükleer enerji, maddenin en küçük birimi olan atomların parçalanması veya birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Ağır atom çekirdeklerinin nötronlarla bombardımanı sonucu atom çekirdekleri parçalanmakta bu tepkimeye “filyon” adı verilmektedir. Bunun haricinde hafif atom çekirdeklerinin birleştirme tepkimeleri de büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olmakta bu birleşme tepkimesine de “füzyon” adı verilmektedir. Filyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen bu enerjiye de “çekirdek enerjisi” veya “nükleer enerji” adı verilmektedir.

Nükleer enerjinin hammadde kaynakları, aynı zamanda da radyoaktivitesi en yüksek metaller olan uranyum ve toryum cevherleridir. Bunlardan uranyum; saf olarak değil,

oksitler biçiminde bulunur. Uranyum ve toryum arasındaki en önemli fark; nükleer enerji üretimi için toryum; birtakım teknolojik işlemlerden sonra parçalanıp uranyum durumuna (U-233) getirildikten sonra kullanılabilir. Uranyum ise, daha az bazı teknolojik işlemlerden sonra kullanılır. Dolayısıyla; toryumdan nükleer enerji, uranyuma göre daha zor ve daha pahalıdır (Zengin, 1957).

## **2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji, "doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanabilir. (TDK, 2012)

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi ve türevleri olan rüzgar enerjisi, biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji ve deniz enerjilerinden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının karbon emisyonlarının, yenilenemeyen (dönüşümsüz) enerji kaynakları ile kıyaslandığında yok denecek kadar az olmasından dolayı temiz enerjiler olarak da adlandırılmaktadırlar (Akkaya vd., 2002).

Dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılıyor olması, çevre sorunlarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu nedenle çevresel etkileri az olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik her bakımdan avantajlı olmaktadır.

### **2.4.1. Güneş enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden kaynaklanır. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (EİE, 2000).





### **2.4.2. Rüzgar enerjisi**

Atmosferdeki sıcaklık ve basınç farklılıklarından dolayı hava kitlelerinin yer değiştirmesi, rüzgar olarak tanımlanmaktadır. Dönüşüme uğramış güneş enerjisi olan rüzgar enerjisi, hava kitlesinin sahip olduğu kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesidir. Çoğu enerji üretim santrallerinin bulundurmaları zorunda olduğu soğutma suyuna ihtiyacı olmaması, rüzgar enerjisini en zararsız enerji kaynağı olarak göstermekte ve rüzgar enerjisinin rüzgar türbinleri, rüzgar çiftlikleri ve rüzgar makineleri ile kullanımı hızla artmaktadır (Akkaya vd., 2002).

### **2.4.3. Hidroelektrik enerji**

“Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan bir enerjidir.”(Akkaya vd., 2002)

Güneş enerjisinin etkisiyle harekete geçen hidrolik çevrim sırasındaki bir kısım enerjinin açığa çıkmasıdır. Yağan yağmurların ardından buharlaşan yağmur suyunun geri kalanı, denizlere doğru hareket etmektedir. Bu akarsu enerjisi, su türbinlerini çevirerek elektrik elde edilmesini sağlamaktadır (Müezzinoğlu, 2001).

Hidroelektrik (hidrolik) enerjisi, hareket halindeki suların sağladığı güç anlamına gelir. Hidroelektrik enerjisi, doğal veya yapay baraj gölleri önüne ve su düşüş düzeyine göre bir hayli alçakta kurulmuş olan hidroelektrik santralleri yoluyla üretilmektedir. Bir başka ifadeyle; Hidroelektrik enerjisi, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan enerji olup, enerji miktarı düşüş yüksekliğine ve debi değişkenlerine bağlıdır. Belli bir düşüş düzeyiyle cebri boru ile türbine gelen suyun potansiyel enerjisi türbinde kinetik enerjiye, türbine bağlı jeneratörde ise; elektrik enerjisine dönüşmektedir. Türbine gelen suyun düşüş yüksekliği ve debisi, üretilen gücü belirlemektedir (Severoğlu, 2010).

### **2.4.4. Hidrojen enerjisi**

Hafif ve temiz olan hidrojen, yenilenebilir ve zehirsizdir. Gaz, sıvı ve katı hallerde depolanıp, ısıtma ve ulaşımda kullanılabilir, termal, mekanik ve elektrik enerjisine

dönüştürülebilir ve motorlarda yakıt olarak kullanılabilir. Hidrojen enerjisinin, geleceğin enerji türleri içinde önemli bir yere sahip olması beklenmektedir. Hidrojeni bu kadar cazip hale getiren iki önemli neden vardır. Bu nedenler hidrojenin dünyada çok miktarda bulunabilmesi ve çok yüksek olan enerji değeridir.

Genellikle bol miktarda bulunan sudan elektroliz yoluyla hidrojen ve oksijen elde edilebilmekte, kullanılıncaya kadar oksijenle birleşerek su haline dönüşmektedir. Bu çevrim sırasında çevreyi kirletme oranı yok denecek kadar azdır (Göksu, 1999).

Yeni enerji kaynakları içinde hidrojenin önemi her geçen gün hızlı bir şekilde artmaktadır. Hidrojen, dünyada en çok bulunan element olup renksiz, kokusuz, havadan yaklaşık 15 kat daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Hafif olan kütlesi nedeniyle çok yüksek yayılma özelliğine sahiptir.

Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine çevrildiği sistemlere “yakıt hücreleri” diye adlandırılır. Bu sistemlerde hidrojenin yanma ürünleri yalnızca su ve su buharlarıdır. Yeni geliştirilen bu sistemlerde, hidrojen doğrudan ya da hidrojen salan herhangi bir kaynak yardımıyla sisteme verilmekte ve istenilen enerji elde edilmektedir. Hidrojenden elde edilen bu enerjiye “Hidrojen Enerjisi” denir (Eroğlu, 2004).

#### **2.4.5. Jeotermal enerji**

Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerinde olağan dışı birikmiş ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu ısı yeryüzüne bazen doğal olarak, bazen de sondajlarla sıcak su, sıcak su buharı veya buhar şeklinde çıkmaktadır (Sancar, 1992).

Jeotermal enerji kaynağını yerkürenin derinliklerindeki magmadan ve kayalardaki radyoaktiflikle oluşan sıcaklıktan alan bir enerji türüdür. Bu etkilerin etkisiyle ısınan yeraltı suları elektrik üretmek veya konutları ısıtmak amacıyla kullanılır. Teknolojik amaçlarla kullanımı yeni olsa da hamam sularının ısıtılmasında olduğu gibi kullanım alanları çok eski tarihlere dayanmaktadır. Diğer alternatif enerji kaynaklarındaki gibi

jeotermal enerjinin de ciddi projelere konu olması 1970'lerdeki petrol kriziyle yaşanan farklı enerji kaynaklarının aranmaya başlamasından sonra olmuştur.

En ucuz jeotermal enerji üretimi kendiliğinden yüzeye çıkan sıcak suların faydalanılarak gerçekleşir. Bu kaynaklar çoğunlukla yeterli değildir ve kullanım alanları kısıtlıdır. Bunun yanında daha yüksek kapasiteli kaynaklara ulaşmak için sondaj çalışmaları yapılır. Günümüze değin gerçekleşen sondaj çalışmalarının çoğu petrol aramak amacıyla yapılmış fakat, jeotermal kaynaklara rastlandıktan sonra, kuyuların işletme amacı değişmiştir (Alternatürk, 2011).

Jeotermal sular çok derinlerde dir. Bu suların yukarı çıkarılması boru hatları döşeme ve pompalama gibi sorunları ortaya çıkarır. Bu suların borularla taşınmasında ortaya çıkan sorun suların aşındırıcı etkiye sahip olmasıdır. Jeotermal kuyularda sık sık boruları ve pompalama sistemlerini değiştirmek gerekebilir.

#### **2.4.6. Deniz enerjisi**

Deniz enerjisinden yararlanılan sistemler, yüzey suları derin sular arasındaki sıcaklık farkından yararlanan teknolojiler, gelgitlerin mekanik enerjisinden yararlanan sistemler, dalgalardan yararlanan sistemler, akıntılardan yararlanan sistemler, yüzey ve dip arasındaki tuzluluk farkından yararlanan sistemler olarak özetleyebiliriz.

Hidrolik kaynaklarında olduğu gibi yine su türbinlerinden (hidroelektrik santrali) yararlanılarak, gel-git hareketinin bir türbinin işletilmesiyle elde edilen cereyana (akıma), “gel-git enerjisi” denir. Bu enerji kaynağı, gel-git (med ve cezir), hareketlerinin oluşturduğu güce dayanır. Kısacası; Gel-git hareketlerinin, kinetik gücünden elektrik enerjisi elde edilmektedir.

Dalga enerjisi: Rüzgar kuvvetinin su yüzeyine etkisi ile rüzgar enerjisi su dalgası enerjisine dönüşmüş olur. Dalga oluşumu rüzgar hızına, rüzgarın esme süresine, suyun derinliğine ve genişliğine bağlıdır. Dalga enerjisi dalga sırtı ve çukuru

arasındaki potansiyel enerji ve dalga ilerleyişinde kinetik enerji toplamı olarak alınabilir.

#### **2.4.7. Biyokütle enerjisi**

Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır.

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirlenmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (Türkoğlu, 2010).

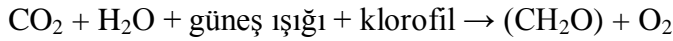
Genel olarak kolay elde edilen bir enerji kaynağı olan biyokütle, enerji kaynaklarının sınırlı olduğu ve ekonomisi tarıma dayalı ülkelerde önem kazanmaktadır (Sancar, 1992).

Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında; odun (enerji ormanları, ağaç artıkları), yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b), karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, v.b), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum,vb.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b), hayvansal atıklar ile şehirsal ve endüstriyel atıklar değerlendirilmektedir. Biyokütle yenilenebilir, her yerde yetiştirilebilen, sosyo-ekonomik gelişme sağlayan, çevre dostu, elektrik üretilen, taşıtlar için yakıt elde edilebilen stratejik bir enerji kaynağıdır.

Biyokütle doğrudan yakılarak veya çeşitli süreçlerle yakıt kalitesi artırılıp, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar (kolay taşınabilir, depolanabilir ve kullanılabilir yakıtlar) üretilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve birikitleme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve

termokimyasal süreçler) ile pek çok sıvı, katı veya gaz biyoyakıt elde edilmektedir (Karaosmanoğlu, 2006).

Bitkilerin fotosentez'i sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen bu enerjinin kaynağı güneştir. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması yenilenebilir enerji oluşturan fotosentez olayının önemini açıkça göstermektedir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijeni de atmosfere verir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO<sub>2</sub> salımı açısından korunmuş olacaktır. Görüldüğü gibi bitkiler yalnız besin kaynağı değil, aynı zamanda çevre dostu tükenmez enerji kaynaklarıdır. Bu olaylar basit bir reaksiyon denklemi ile özetlenebilir.



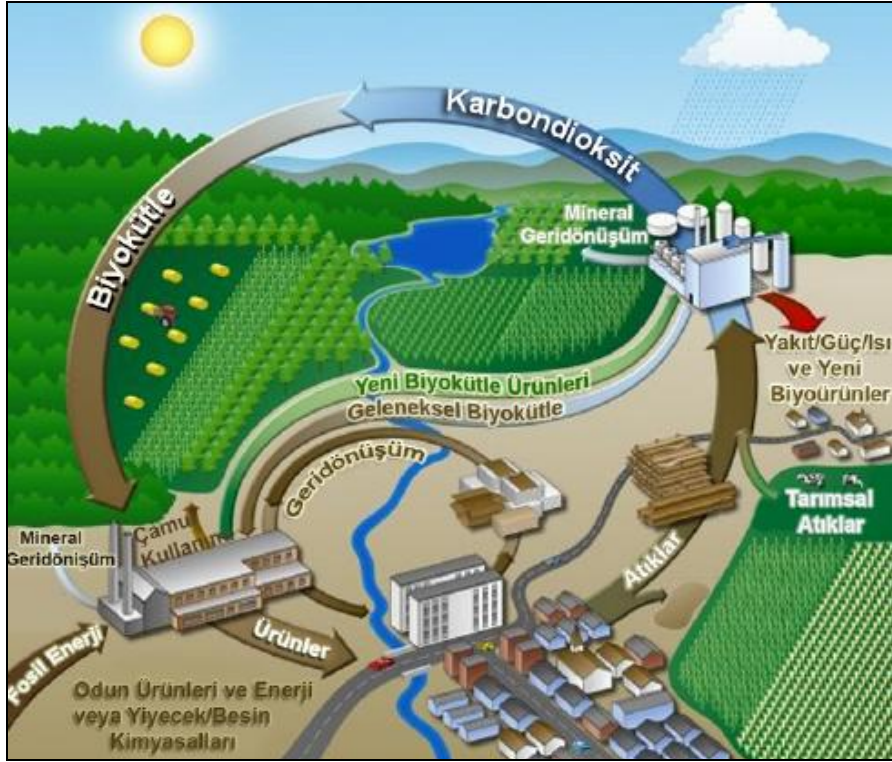
Modern biyokütle kaynakları, enerji ormancılığı ürünleri, orman ve ağaç endüstrisi atıkları, bir yetiştirme sezonu sonunda ürün alınan enerji bitkileri tarımı, tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıklarıdır. Şekil 2.6'da doğal biyokütle çevrimi görülmektedir.

Biyokütle, doğrudan yakılarak enerji elde edilebileceği gibi kirletmeyen yakıtlara dönüştürülmek için bazı ön işlemlerden geçirilerek de yakılabilmektedir. Bunlar, fermantasyonla alkol gibi sıvılara, uygun bağlayıcılar kullanılıp briket şekli verilerek katılara ve anaerobik süreçler sonunda hidrojen ya da metan türü gazlara dönüştürülmeleriyle elde edilen biyokütle kökenli yakıtlar olarak sıralanabilir (Müezzinoğlu, 2001).

Sıkıştırılmamış biyokütle yakıtı bazı olumsuzluklara sahiptir. Bunlar;

- Nispeten birim hacim başına ısı değeri düşüktür.

- Kalite ve ısıl değeri kararsızdır.
- Yakma hızını kontrol etmek zordur.
- Yanma hızlıdır. Bu nedenle yakıtın sık sık yüklenmesi gerekir.
- Sürekli yakıt beslemenin mekanizasyonu zordur.
- Depolama için büyük hacimler ve alanlar gereklidir.
- Taşıma ve dağıtımıyla ilgili ekonomik sorunlarla karşılaşılır.



Şekil 2.6. Doğal biyokütle çevrimi (Karaca, 2009)

Bu olumsuzluklardan birkaçının sebebi, biyokütlenin özellikle tarımsal atıkların düşük yığın yoğunluğuna sahip olmasına bağlıdır. Tarımsal atıkların taşınması, depolanması ve yanma sırasında sistemin yeterince beslenebilmesi için özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Buda biyokütle malzemelerinin mekanik işlemlerle sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Sıkıştırılmış biyokütlenin üstünlükleri şunlardır; Yanma hızı kömürünki ile kıyaslanabilir değerdedir. Izgaralı yakma sistemlerinde yakmak mümkündür. Düzgün bir yanma sağlanabilir. Emisyon özellikleri azaltılabilir. Depolama esnasında kendiliğinden tutuşma olasılığı azaltılır. Taşıma, depolama ve yakıt besleme daha verimli yapılır.

## 2.5. Pelet Yakıtı ve Özellikleri

Pelet, hammaddenin kurutulup, öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasıyla 6-12 mm çapında, 10-30 mm uzunluğunda elde edilen silindirik şeklindeki parçacıklara denilmektedir. Briketler ise peletlerden daha büyük boyuta sahiptir. Şekil 2.7’de pelet ve briketin resimleri gösterilmiştir. Pelet; talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, zirai ürünler, ekinlerin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları, atık kâğıt maddeleri, mısır koçanları, pancar küspesi, ayçiçeği çenekleri, kurumuş zeytin ve kiraz çekirdekleri gibi birçok atık ürünlerden üretilmektedir. Peletler kimyasal bağlayıcı maddeler eklenmeden yüksek basınçla oluşturulurlar. Peletleme işlemi ile; biyokütle karakteristikleri iyileştirilmekte, hacimsel ısı değeri artmakta, yanma karakteristikleri düzelmekte, taşıma maliyetleri düşmekte, depolama masrafları azalmakta, sobalarda kolaylıkla yakılabilmekte, atmosfere salınan partikül emisyonları azalmakta ve aynı boyut ve şekilde iyi bir yakıt elde edilmektedir. Örneğin odun peleti aynı ağırlıktaki yakacak oduna göre daha fazla ısı verir, daha temizdir ve daha uzun süre yanar. Çizelge 2.3’de pelet ve briketlerin özellikleri verilmiştir. Peletler dünyada; kalorifer ısıtma sistemiyle ev, site, otel, sanayi, okul ve devlet daireleri, tarım, hayvancılıkta ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Taşkiran, 2009).



Şekil 2.7. Pelet ve briket

Peletleme ve briketleme işlemi sonucunda, büyük hacim kaplayan materyal, daha küçük hacimde daha büyük kütleyle sahip olmaktadır. Sıkıştırmadan sonra iki temel görünümü ürünün kalitesi hakkında fikir vermektedir:



Çizelge 2.3. Pelet ve briketin özelliklerinin karşılaştırılması (Taşkıran, 2009)

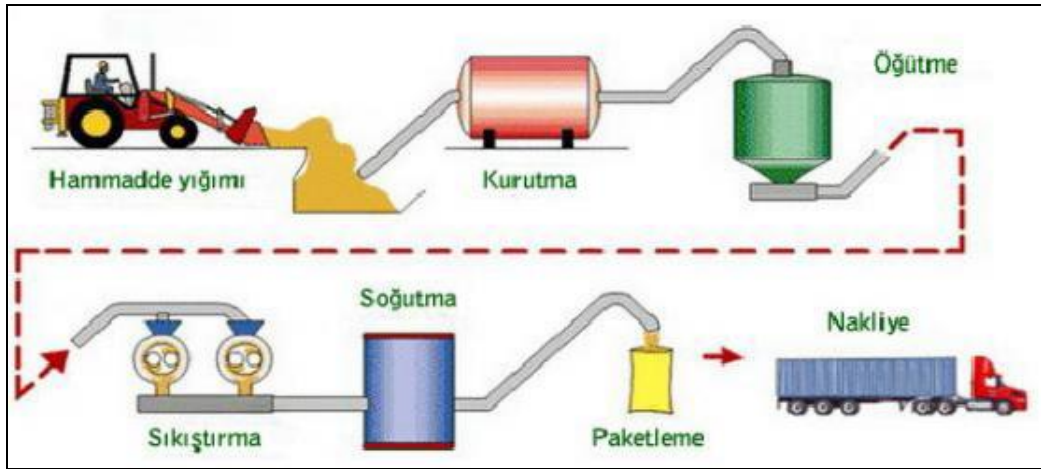
Özellikler	Pelet	Briket
Isıl Değeri	4300-5000 kcal/h	5500-6000 kcal/h
Yoğunluk	650-700kg/m <sup>3</sup>	650-700kg/m <sup>3</sup>
Çap	6-16 mm	65 mm
Uzunluk	20-30 mm	25 – 200 mm
Kül içeriği	% 0,4-1,0	% 1,81
Rutubet	% 7-12	% 7-12

Çizelge 2.3'te görüleceği gibi pelet yaklaşık %7-12 arasında nem içermektedir. Nem oranı az olduğu için kalorisi yakacak oduna göre daha yüksektir. Yakıtın ısıl değeri üzerinde nemin olumsuz bir etkisi olmasına rağmen topaklanabilmesi için talaşın belli bir oranda bir nem içermesi istenir. Fazla miktardaki nem ise talaşın dişliler arasına yapışarak makinelerin düzgün çalışmasına engel olacaktır. Buna ek olarak kimyasal bağlayıcı olmadan sıkıştırılarak üretildiği için pelet üretimi sırasında bir miktar ısı ortaya çıkar. Yanıcı bir madde olmasından dolayı tutuşmayı önlemek için peletin soğutulması gerekmektedir. Pelet üretiminde en az 3 ayrı süreç kullanılmaktadır. Bu süreçler: odunsu artıkların öğütülerek talaş haline getirilmesi, belirli oranda nem içerecek şekilde kurutulması, peletleme kalıplarında (Şekil 2.8) preslenmesi ve soğutulması, daha sonra biten ürünlerin tankerlere doldurulması ya da paketlenmesidir.



Şekil 2.8. Pelet presleme makinesinin kesit görünümü

Genel hatlarıyla pelet üretim teknolojisinin aşamaları Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Pelet üretim teknolojisinin aşamaları (Taşkıran, 2009)

Bunlar kısaca:

- Ham maddenin üretilmesi ve depolanması.
- Ham maddenin kurutulması
- Peletin preslenmesi
- Peletin soğutulması
- Peletin depolanması, olarak açıklanabilir.

Biyokütle atıkları özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için önemli bir kaynak olup bu ülkelerin çoğunda her yıl çok miktarda atık çıkmaktadır. Tarımsal atıklar düşük yoğunluğa ve yüksek nem içeriğine sahip materyaller olduklarından evlerde ve endüstriyel alanlarda doğrudan yakılması çok etkin olmamakta ve bu atıkların doğrudan kullanılması taşıma, depolama ve işleme problemlerini meydana getirmekte ve en önemlisi hava kirliliğine neden olmaktadır.

Çizelge 2.4’te enerji düzeyi ve kül içeriği dikkate alınarak peletleme işlemi için kullanılan bazı önemli tarımsal atıklar tablo olarak verilmiştir. Tarımsal ve diğer biyokütle atıklarının etkin bir biçimde kullanılmasının yollarından birisi de onların peletlenmesidir.

Biyokütleyi peletlemenin avantajları aşağıdaki gibidir (Saraçoğlu ve Gündüz 2009).

- Kuru ve homojen partikül büyüklüğüne sahiptir,
- Yüksek kalori, minimum nem ve minimum kül içermektedir,
- Enerji yoğunluğu / hacim oranını artırılmaktadır,
- Atıkların ileri termokimyasal dönüşümler için kullanılması sağlanmaktadır,
- Direkt yakmaya uygun formda sürdürülebilir ve temiz bir alternatif yakittir,
- Depolama alanı azaltılmaktadır,
- İşleme biçiminin ve taşımanın kolaylaştırılması masrafların azalmasını sağlamaktadır,
- Fermantasyon nedeniyle oluşan madde kaybı ortadan kalkmaktadır.
- Fosil yakıtlara bağımlılık azalmaktadır.

Çizelge 2.4. Enerji düzeyi ve kül içeriği dikkate alınarak peletleme işlemi için kullanılan bazı önemli tarımsal atıklar (Karaca, 2009)

Tarımsal Atıklar	Isıl Değeri (kcal/kg)	Kül İçerikleri (%)
Yerfıstığı Kabuğu	4524	3,80
Küspe	4380	1,80
Hint tohumu kabuğu	3862	8,00
Pamuk sapları	4252	3,00
Bambu tozu	4160	8,00
Bambu odunu	4707	0,90
Kahve kabukları	4045	5,30
Tütün atığı	2910	31,50
Çay atığı	4237	3,80
Çeltik samanı	3469	15,50
Hardal sapları	4200	3,40
Hardal kabuğu	4300	3,70
Buğday samanı	4100	8,00
Ayçiçeği sapları	4300	4,30
Hint keneviri atığı	4428	3,00
Soya fasulyesi kabuğu	4170	4,10
Şeker kamışı	3996	10,00
Ağaç kabukları	1270	4,40
Orman atıkları	3000	7,00
Hindistan cevizi lifleri	4146	9,10
Çeltik kabukları	3200	19,20
Odun yongaları	4785	1,20

### 2.5.1. Biyoyakıt yakma sistemleri

Biyokütleyi kullanılabilir ısı enerjisine dönüştürmek için en yaygın olarak uygulanan yöntem onu doğru bir şekilde yakmaktır. Biyokütleden elde edilen enerjinin yaklaşık %90' ı bu yöntemle açığa çıkmaktadır. Yanma, biyokütle içindeki yanabilir maddelerin oksijenle hızlı kimyasal tepkimesi olarak tanımlanır. İdeal yanma elde edebilmek için uygun koşullarda yakıt ile yanma havasının karışması sağlanmalıdır. Bu sistemler sabit ızgaralı yakma sistemleri, alttan beslemeli stokerli yakma sistemleri, hareketli ızgaralı yakma sistemleri ve akışkan yataklı yakma sistemleri olarak özetlenebilir.

#### 2.5.1.1. Sabit ızgaralı yakma sistemleri

Sabit ızgaralı yakma sistemlerinde yakıt, manuel veya otomatik bir şekilde ızgaraların üstüne yüklenir. Yanma havası bir kısmı ızgara altından, bir kısmı da ızgara üstünden verilerek yanma verimi artırılır. Bu sistemlerde ızgaralar sabittir. Katı yakıtlar ızgara üzerinde yanmaya başlar ve bir miktar gazlaştırma gerçekleşir. Bu durumda, ikinci havanın eklendiği yer, birinci havanın üst kısmında bir başka odada ikinci yanmaya olanak sağlar. Katı yakıt yakan kazanların genel çalışma prensibi bu esasa dayanır. Şekil 2.10'da özetlenmiştir.



Şekil 2.10. Sabit ızgaralı elle yüklemeli katı yakıt kazanının kesit görünümü (Esendir, 2011)

### 2.5.1.2. Alttan beslemeli stokerli yakma sistemleri

Genelde sadece küçük ölçekli sistemler için uygundur. Alttan beslemeli stokerler, biyokütle yakma için nispeten ucuz ve güvenli bir seçimdir. Şekil 2.11’de alttan beslemeli stoker sistemi gösterilmiştir. Kontrolü diğer sistemlerden daha basit olduğundan avantajlıdır. Çünkü yükleme değişimleri yakıt besleme yönteminin basit olmasından dolayı daha çabuk gerçekleştirilebilir. Yakıt ocak içinden alttan helezon götürücü tarafından beslenir ve sonra ızgaranın üstüne yukarı doğru itilir. Alttan beslemeli stokerler, düşük kül içerikli yakıtlar (odun talaşı) için daha uygun olduğu gibi yakıt tipi kullanımında sınırlayıcı bir etkidir. Kül alma problemlerinden dolayı, zengin kül içerikli biyokütle yakıtlarını yakmak için uygun değildir. Çünkü bu durum yanma odasının içine olan hava akışını etkileyebilir ve yanma koşullarının kararsızlaşmasına neden olabilir (Karaca, 2009).

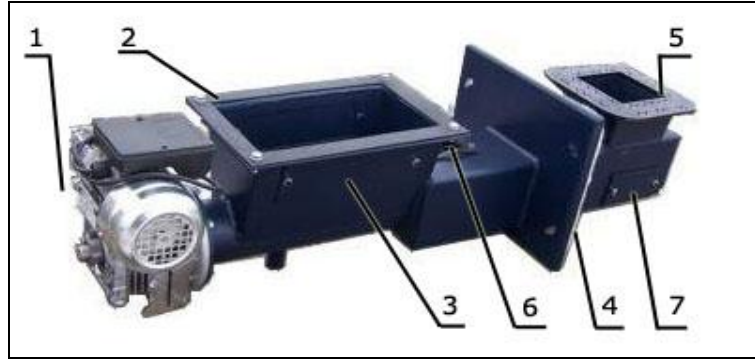


Şekil 2.11. Alttan beslemeli stokerli pelet kazanı kesiti (KWB,2010)

Altan beslemeli stokerli sistemlerde yakıtın yandığı bölüm yanma potası olarak adlandırılır. Yanma potası sabit ızgaralı, döner ızgaralı olarak imal edilebilir. Avantajları farklı olan bu sistemlerde ana amaç mümkün olduğunca iyi bir hava-yakıt karışımı elde etmek ve külü ortamdan uzaklaştırmaktır. Çünkü yanma olayının

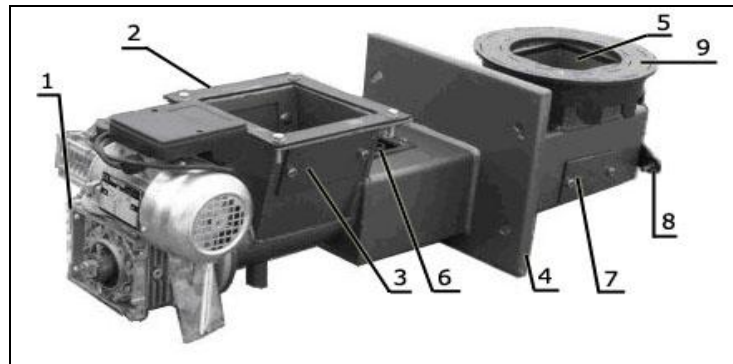
sonucunda oluşan kül zamanla yakıt üzerinde bir tabaka oluşturur ve yalıtım vazifesi görür. Yakıtın hava ile teması zorlaşır. Bu istenmeyen bir durumdur.

Stokerli sistemlerde yanma potasının sabit pota veya döner (hareketli) pota tipleri mevcuttur. Sabit potalı sistemde pota kısmı sabitlenmiştir (Şekil 2.12). Yakıt beslemesi yapıldıkça yanmış küller potanın kenarlarından dökülür. Döner potalı sistemlerde yakıt beslemesi yapıldıkça yanma potası kendi eksenini etrafında dönme hareketi yapar (Şekil 2.13). Bu hareket esnasında oluşan küçük sarsıntılar, yakıtın üstünde kül tabakasının birikmesini engeller. Böylece daha iyi yakıt-hava nüfuziyeti sağlanır. Döner potalı sistemler daha verimli yanma sağlar.



Şekil 2.12. Sabit potalı stoker sistemi (SAG, 2012)

1-Redüktör 2-Yakıt yükleme ağızı 3-Bakım kapağı 4- Kazan bağlantı flanşı  
5-Yakıt çıkış ağızı 6-Hava kutusu 7-Pota temizleme kapağı 8-Döndürme kolu  
9-Döner pota

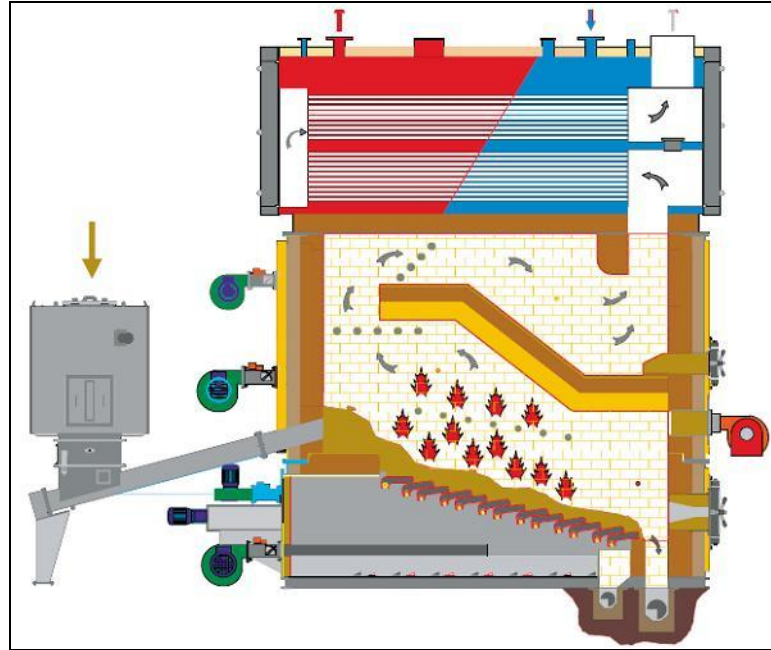


Şekil 2.13. Döner potalı stoker sistemi (SAG, 2012)

### 2.5.1.3. Hareketli ızgaralı yakma sistemleri

Hareketli yakma sistemleri genelde çok ısıl güçlerin gerektiği endüstriyel tesislerde kullanılırlar. Hareketli ızgaralı, döner ızgaralı ve dolaşımli ızgaralı olmak üzere birkaç tipi vardır. Bunlar alttan beslemeli stokerlerden belirgin üstünlüklere sahiptir. Çünkü bunlar değişken yakıt boyutlarına uygun olduğu gibi yüksek nem ve kül içeriğindeki yakıtlar için de uygundur. Bu sistemlerde, havanın, yakıtın her tarafında tekdüze bir şekilde dağılımını sağlamak amacıyla, yakıtın ızgara yüzeyine düz bir şekilde dağılımı sağlanır ve bundan dolayı homojen ve kararlı bir yanma gerçekleşir (Karaca, 2009).

İleri itimli (kayar basamaklı) yakma sistemi Şekil 2.14' te gösterilmiştir. Bu sistemde diziler halinde bulunan ızgaralar basamaklandırılmıştır. Yakıt basamağın en üstüne bir helezon götürücü ile taşınır. Basamaklar birbiri üzerinde kayma hareketi yaparak yakıtı basamaklardan aşağı kaydırırlar. Yakıt en alt basamağa geldiğinde yanmasını tamamlamış ve kül haline gelmiştir. Yanma odası genel olarak refrakter malzeme kaplıdır. Ana yakma havası dışında verim arttırma adına ikinci ve üçüncü yakma havası kullanılır.

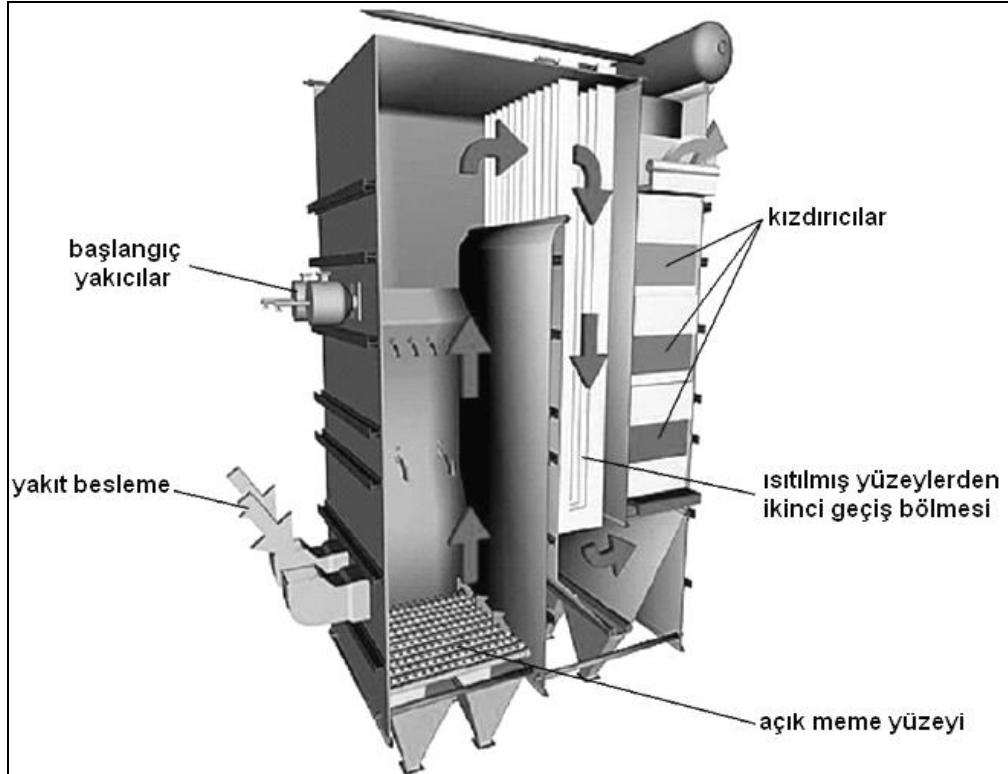


Şekil 2.14. Hareketli ızgaralı (ileri itimli) yakma sistemi (Karaca, 2009)

#### 2.5.1.4. Akışkan yataklı yakma sistemleri

Akışkan yataklı kazanlar sabit yataklı kazanlardan farklı bir yöntemle çalışırlar ve bazı üstünlüklere sahiptirler. Çok büyük endüstriyel tesislerde bu sistemler kullanılır. Akışkan yatak kazanlar yalnızca 20 MWth 'dan daha büyük buhar kazanlı işletmeler için pratik bir seçenektir.

Akışkan yatak kazanların temel prensibi, yakıtın yanma odası içerisine yukarıdan şelale gibi akmasıdır. Yatak genellikle silisli kumdur ve bir meme dağıtıcı plaka üzerine oturur. Bu memelerden yatak içinden geçerek yanma odasına 1 ve 2,5 m/s arasında bir hızda hava püskürtülür. Yatak normal olarak 800- 900°C arasında bir sıcaklığa sahiptir ve kum karışımının yaklaşık %98'ini oluşturur. Kabarcıklı akışkan yataklı sistemlerin yakıt boyutu ve tipi açısından geleneksel sabit yataklı sistemlerden iki temel üstünlüğü vardır. İlki, bu sistemler yakıtların değişken parçacık büyüklükleri ve nem içeriği gibi küçük sorunlar ile başa çıkabilirler (Karaca, 2009).



Şekil 2.15. Akışkan yatak kazan kesiti (Karaca, 2009)



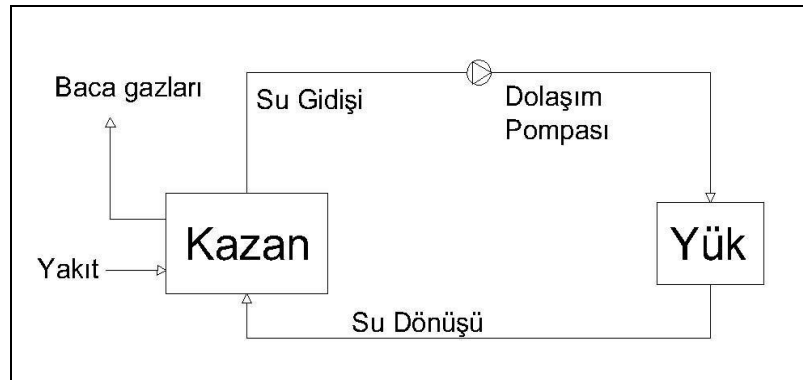
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında materyal; binalarda ve müstakil konutlarda ısıtma amacıyla kullanılan katı yakıtlı (kömürlü) kat kaloriferi kazanlarıdır. Amaç, fosil yakıt türü olan kömür ile çalışan kazanları, otomatik pelet brülörü ile revize ederek, yenilenebilir ve çevreci bir yakıt türü olan peletin etkin ve verimli kullanımına olanak sağlamaktır.

Yöntem olarak ise; katı yakıtlı kazanın ısı kapasitesine göre tasarlanmış tam otomatik pelet brülörünün üzerinde bulunması gereken ekipmanların belirlenmesi, gerekli hesapların yapılması, brülörün tasarımı ve imalatı safhalarından oluşmaktadır. Hesaplamalarda 40 Kw ısı kapasiteli katı yakıtlı kat kaloriferi kazanı referans alınmıştır.

#### 3.1. Sıcak Su Kazanları

Sıcak su kazanları, bir fosil yakıtın yakılması ile açığa çıkan ısı enerjisini suya aktararak, çoğunlukla mahal ısıtması, bazen de proses amacıyla kullanılmak üzere, 105°C ve altındaki sıcaklıklarda ve istenilen basınç ve miktarda sıcak su elde edilmesine yarayan, basınçlı kap türünden cihazlardır. Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen, bir sıcak sulu ısıtma veya proses tesisatında, kazanda elde edilen sıcak suyun ısısından karşılanan yük, bir mahalın veya endüstriyel işlemin ısı veya sıcak su gereksinimidir. Suyun sistemde dolaşması esnasında oluşan basınç kayıplarını karşılamak üzere kullanılan bir dolaşım pompası, sistemin ana unsurlarındandır.



Şekil 3.1. Bir sıcak sulu sistemin çalışma şeması

Şekil 3.2’de şematik kesiti verilen bir sıcak su kazanında, yakıtın yanmasıyla beraber oluşan alev ve yanma ürünü sıcak gazlar ile su, kazanın ısı geçiş cidarlarının karşılıklı taraflarında bulunurlar. Alev sıcak gazlardan suya, kazanın ısıtma yüzeyi olarak adlandırılan bu cidarlardan ısı geçişi gerçekleşir ve kazana düşük sıcaklıkta (kazan türüne bağlı olarak, genellikle 30 ila 80°C) giren su, kazandan 10 ila 30°C ısınmış olarak çıkar. Bu sıcaklık farkını oluşturan ısıyı, sıcak sulu tesisat üzerinde kurulu olan, mahal ısıtması veya proses amaçlı cihazlarda terk eden su, tekrar ısıtılmak üzere kazana döndürülür. Kazanda ısınıp suya vermiş olan, genellikle 50 ila 200°C’ye kadar soğumuş olan yanma ürünü gazlar ise, bacadan atmosfere atılır (Uralcan, 2004).



Şekil 3.2. Üç geçişli, kömürlü bir alev duman borulu sıcak su kazanının kesiti (Esendir, 2011)

### 3.1.2. Kazanlarda ısı verim

Verim kavramı fizikte ve mühendislikte genel olarak, bir sistemden elde edilen faydanın, sisteme ödenen bedele oranı şeklinde tanımlanabilir. Yani verim kavramı özetle, sistemden alınan enerjinin verilen enerjiye bölünmesiyle elde edilen sonuçtur. Burada önemli olan nokta, fayda ve bedel kavramları ile kastedilen büyüklüklerin ne olduğuna bağlı olarak, aynı sistem için farklı verim değerlerinin elde edilebilmesidir. Sıcak su kazanlarının (ya da genel olarak, ısı enerjisi üretmek için yakıt yakan

cihazların ) verimlerinin ifade edilmesinde de, dikkate alınan farklılıklar nedeniyle, değişik verim değerleri ortaya çıkmaktadır (Böke, 2004).

Enerji verimliliği açısından ele alındığı takdirde, bir sıcak su kazanında elde edilmek istenen fayda, kazana  $T_g$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] sıcaklığında ve  $m_s$  [kg/s] debisi ile giren suyun  $T_{\zeta}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] sıcaklığına kadar ısıtılması, yani özgül ısı  $C_p$  [kJ/kg K] olan suya  $Q_s$  kadar ısı enerjisi verilmesidir.

$$Q_s = m_s \cdot C_p \cdot (T_{\zeta} - T_g) \quad [\text{kW}] \quad (3.1)$$

Bunu sağlamak için, kazana ödenmesi gereken bedel ise, kazanda  $m_y$  [kg/s] debisi ile yakılan ve yanma ısı  $H$  [kJ/kg] olan yakıtın sahip olduğu  $Q_y$  kimyasal enerjisi bulunur.

$$Q_y = m_y \cdot H \quad [\text{kW}] \quad (3.2)$$

Böylece alınan ve verilen enerjinin oranlamasından verim değeri elde edilir. Verim değeri 1'den büyük olamaz. Ortalama kazan ısı verimleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_y} = \frac{m_s \cdot C_p \cdot (T_{\zeta} - T_g)}{m_y \cdot H} < 1 \quad (3.3)$$

Çizelge 3.1. Kazan ısı verimi için pratikte elde edilen ortalama değerler (Özkan, 1984)

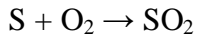
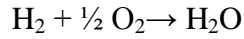
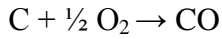
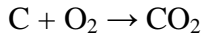
Kapasite	Yakıt-Yükleme Biçimi	Ortalama Verim Değerleri
Küçük kapasiteli kazanlar (Duman, Alev-Duman Borulu)	Elle yüklemeli	% 70-75
	Mekanik yüklemeli	% 75-80
	Sıvı-gaz yakıtlı	% 80-90
Büyük kapasiteli kazanlar (Su borulu kazanlar)	Mekanik yüklemeli	% 80-85
	Toz kömür ocaklı	% 80-88
	Sıvı yakıtlı	% 82-94
	Gaz yakıtlı	% 82-94

### 3.1.3. Kazanlarda yanma

Kazanlarda ısı enerjisi yanma olayından elde edilir. Yanma kimyasal bir olay olup, bu olayda oksijen ışık vererek ve kuvvetle ısı çıkararak diğer herhangi bir yanıcı madde ile birleşir. Eğer reaksiyon çok yavaş olur yani ışık ve duyulur derecede ısı verme olmazsa oksidasyon adını alır.

Genellikle kazanlarda yanma olayı katı yakıtlar karbon, hidrojen, kükürt, sıvı yakıtlar karbon, hidrojen, az miktarda kükürt, gaz yakıtlar ise, karbon ve karbonlu hidrojenlerin oksijenle birleşmeleri sonucu oluşur. Bu olay ısı veren cinsten olduğu için bir ısı açığa çıkar. Bu ısı, 1 kmol karbonun karbondioksit şeklinde yanması halinde 97000 kcal, karbonmonoksit şeklinde yanmasıyla 28500 kcal; 1 kmol hidrojenin yanarak su meydana getirmesi sonunda 68000 kcal ve 1 kmol kükürt de kükürtdioksit şeklinde yanması halinde 80000 kcal ısı ortaya çıkar (Özkan, 1984).

Yakıtların içerisindeki bileşenlerin yanma denklemleri aşağıdaki gösterilmiştir.



Teknik yanma olaylarında yanma için gerekli oksijen, genel olarak atmosfer havasında alınır. Yani yanma havası ile verilir. Kuru hava hacimsel olarak % 21 oksijen, % 78,05 azot, % 0,92 argon ve % 0,03 karbondioksit ihtiva eder. Ancak yanma havası pratik olarak hacimsel % 21 oksijen, %79 azot, ağırlıkça % 23 oksijen, %77 azot gazları karışımından ibaretmiş gibi kabul edilir. Karbon ve hidrojen içeren bir yakıtın tamamen yanabilmesi için gerekli olan hava miktarını teorik olarak hesaplamak mümkündür. Bu hesaplanan değere stokiyometrik hava miktarı denir.

Pratikte yanma şartları ideal olmadığından iyi bir yanmanın oluşabilmesi için teorik olarak gerekli olan havadan fazla havaya ihtiyaç vardır. Gerçekte gerekli olan fazla

hava miktarı yakıt tipi ve yakma sistemi, kazan dizaynına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişir.

Teorik olarak gerekli havanın fazlasına “fazla hava” denir. Gerçek hava miktarının bulunması için teorik hava miktarı hava fazlalık katsayısı ile çarpılır. Yakıt ile havanın çok iyi karıştırılabilmesi oranında hava fazlalık katsayısının değeri küçülür, aksi halde büyür. Örneğin, gaz yakıtlarda buhar olarak püskürtülen sıvı yakıtlarda hava fazlalık katsayısı daha düşük, ızgara üzerinde kalın bir tabaka ve parçalar halinde yakılan kömürler için bu değer yüksektir. Kömürün ızgara üzerine elle atılması halinde, mekanik yüklemeye kıyasla daha yüksek hava fazlalık katsayısı seçilmelidir. Teorik yanma halinde ( $n=1$ ) olacaktır. Hava fazlalık katsayısı yakacağın ve ocağın cinsine göre değişir. Çizelge 3.2’de çeşitli ocaklarda geçerli hava fazlalık katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli ocaklarda geçerli hava fazlalık katsayıları (Özkan, 1984)

<b>Yakıt cinsi</b>	<b>Ocak cinsi</b>	<b>Hava fazlalığı</b>
Toz kömür	Tamamı su soğutmalı, yağ veya kuru tip ocaklı	1,15-1,20
	Kısmi su soğutmalı kuru tip ocaklı	1,15-1,40
Parçalanmış kömür	Siklon ocaklar	1,10-1,15
Tane kömür	Atmalı stokerle mekanik besleme	1,30-1,60
	Su soğutmalı titreşimli ızgara	1,15-1,50
	Altan beslemeli stoker	1,20-1,50
	Elle besleme	1,60-2,00
Fuel-Oil, Yakıt yağı	Yağ yakıcılar(hava üfleli)	1,05-1,10
	Karma yakıt yakıcılar (sıvı+kömür)	1,10-1,20
Doğalgaz	Hava üfleli yakıcılar	1,07-1,12

Hava fazlalık katsayısı arttıkça duman gazı miktarı artacağından bacadan duyulur ısı şeklinde atılan ısı miktarı artar, buna karşılık yeterli hava bulunmaması sonucunda doğan ve karbonun karbonmonoksit şeklinde yanması anlamına gelen eksik yanma kaybı azalır. O halde duyulur ısı kaybını ve eksik yanma kaybı toplamını minimum yapan hava fazlalık katsayısı vardır. Buna optimum hava fazlalık katsayısı denir.

Az hava ile yanma alevin rengi koyu ve uçları ıslıdır. Bu durum yakıtın tam olarak yakılamaması nedeni ile ortaya çıkar bu tür yanma kazandan bacaya olan geçiş yolunda is kurum birikimine neden olduğundan ısı geçişinin kötüleşmesine, kazan veriminin azalmasına ve çevre kirliliğine yol açar. Az hava ile yanma durumunda bacadan gözle görülür koyu renkli duman gözlenir.

Fazla hava ile yanma türünde alev açık renkli ve oldukça parlaktır. Gereğinden fazla hava kullanılarak elde edilen bu yanmada da, fazla hava nedeni ile yanma hücresi ve duman gazlarındaki sıcaklık düşer. Bu nedenle kazan verimi de düşmüş olur.

Tam hava ile yanma türünde alev rengi portakal rengine oldukça yakındır. Yakıtın bileşiminde bulunan yanıcı maddeler karbon (C), hidrojen (H) ve karbonlu hidrojenler ( $C_mH_n$ ) oksijen (O) ile yanarak karbondioksit ( $CO_2$ ) ve su buharı ( $H_2O$ ) meydana getirirler. Yanma sonu meydana gelen gazlarda hiçbir yanıcı madde bulunmuyorsa yanma tamadır. Kazan içi ve baca yollarında kurum oluşma gözlenmez. Kazan için ideal yanma şekli budur.

### 3.1.3.1. Teorik özgül oksijen ihtiyacı

1 kg yakıtta C kg karbon, H kg hidrojen, O kg oksijen, N kg azot, S kg kükürt ve w kg su (rutubet), a kg bulunsun. Yakıt içerisindeki oksijen, hidrojenle kimyasal birleşme halinde bulunmaktadır. Dolayısıyla yakıtın içinde bulunan her 8 kg  $O_2$ , 1 kg  $H_2$ 'nin kimyasal reaksiyona girmesini engelleyecektir. Bu takdirde teorik oksijen ( $O_{min}$ ) miktarı ağırlık olarak:

$$O_{min} = \frac{8}{3}C + 8\left(H - \frac{O}{8}\right) + S, \text{ [kg/kg yakıt]} \quad (3.4)$$

Hacimsel olarak:

$$O_{min} = 1,868C + 5,6\left(H - \frac{O}{8}\right) + 0,7.S, \text{ [Nm}^3\text{/kg yakıt]} \quad (3.5)$$

### 3.1.3.2. Teorik özgül hava ihtiyacı

Yakıtın 1 kg kadarının yanması için gerekli havaya özgül hava ihtiyacı denir. 1 kg havada ağırlık olarak 0,231 kg oksijen, 0,769 kg azot bulunur. 1 m<sup>3</sup> havada hacim olarak 0,21 m<sup>3</sup> oksijen, 0,79 m<sup>3</sup> azot bulunduğundan teorik özgül hava  $v_{ht}$  miktarı:

$$V_{ht} = \frac{O_{\min}}{0,231}, [\text{kg/kg yakıt}] \quad (3.6)$$

$$V_{ht} = \frac{O_{\min}}{0,21}, [\text{Nm}^3/\text{kg yakıt}] \quad (3.7)$$

olarak bulunur.  $O_{\min}$  değerlerini yerine koyarsak:

$$V_{ht} = \frac{1}{0,231} \left[ \frac{8}{3}C + 8 \left( H - \frac{O}{8} \right) + S \right], [\text{kg/kg yakıt}] \quad (3.8)$$

$$V_{ht} = \frac{1}{0,21} \left[ 1,868.C + 5,6 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 0,7S \right], [\text{Nm}^3/\text{kg yakıt}] \quad (3.9)$$

Genel formül yazacak olursak:

$$V_{ht} = 8,89C + 26,7 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 3,34S, [\text{Nm}^3/\text{kg yakıt}] \quad (3.10)$$

### 3.1.3.3. Gerçek özgül hava ihtiyacı

Yanmanın ideale yakın yapılabilmesi için bir miktar ( $n$ ) fazla hava verilmesi gerekir. Hava fazlalık katsayısı  $n = 1,05 \approx 2,0$  arasında değişir. Böylece gerçek özgül hava ( $v_h$ ) miktarı:

$$V_h = V_{ht} \cdot n, [\text{Nm}^3/\text{kg yakıt}] \quad (3.11)$$

olarak bulunur. Havanın bir miktar nem ihtiva etmesi nedeniyle gerçekte bu değer biraz daha fazla olmasına rağmen bu değer ihmal edilir.

#### 3.1.3.4. Yakıt ısı değeri

Bir yakıtın ısı değeri, 1 kg yakıtın tam yanması ile üretilen ısı enerjisidir. Yanma ürünlerinin yanma başlangıcındaki sıcaklığa soğutulduğu kabul edilir. Yakıtların, yanma reaksiyonuna katılarak ısı enerjisi üretimi sağlayan bileşenleri, genel olarak karbon, hidrojen, kükürt, karbonmonoksit ve hidrokarbonlar şeklinde sıralanabilir. Bu bileşenlerin reaksiyon ısıları Çizelge 3.3'de verilmiştir. Yakıtın içindeki hidrojenin yanması ile su buharı oluşmaktadır. Ayrıca, yanmadan önce yakıtın içinde var olan nem de, yanma ürünü gazlar içerisinde su buharı olarak bulunacaktır.

Çizelge 3.3. Yakıt içerisindeki bazı maddelerin reaksiyon ısı değerleri (Özkan, 1984)

Bileşen Adı	Reaksiyon ısı (kcal)	
	1 kg	1 m <sup>3</sup>
Karbon (CO <sub>2</sub> )	8100	
Karbon (CO)	2440	
Kükürt	2220	
Karbonmonoksit	2440	3050
Hidrojen	34100	3070
Metan (CH <sub>4</sub> )	13250	9480
Etilen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	12000	15000
Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	12000	13900

Yakıtın ısı değeri, yanma ürünü gazlardaki su buharının gizli buharlaşma ısının dikkate alınıp alınmamasına göre, sırasıyla üst ısı değeri veya alt ısı değeri olarak tanımlanabilir. Alt ısı değeri, yalnızca yakıt bileşenlerinin yanma ısıları dikkate alınarak hesaplanır. Üst ısı değeri ise, yanma ürünü gazlardan yeterince ısı çekilip, bileşimindeki su buharının yoğunlaştırılması ile elde edilebilecek gizli buharlaşma ısının, alt ısı değeri eklenmesi ile bulunan değerdir. Yakıtın elementel analizine göre hesaplanan alt ısı değeri ve üst ısı değeri bağıntılar yardımıyla bulunur.



$$H_u = H_u - 600 \psi + 9H_2, \text{ [kcal/kg]} \quad (3.12)$$

$$H_u = 8100C + 34100 \left( H + \frac{O}{8} \right) + 2220S - 600 \psi + 9H_2, \text{ [kcal/kg]} \quad (3.13)$$

Konutlarda yaygın olarak kullanılan bazı yakıtların alt ısı değerleri Çizelge 3.4' de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Bazı yakıtların alt ısı değerleri

Yakıt	Alt ısı değer (kcal/kg)
İthal Sibirya linyit kömürü	7000
İthal G.Afrika linyit kömürü	6500
İthal Rusya linyit kömürü	6200
Yerli Soma linyit kömürü	5500
Doğalgaz (konut)	8250
Fuel-oil	9700
Elektrik	860
LPG-Propan dökme gaz	11000
LPG-12 kg tüp	11000
Motorin	10200
Pelet	4350

Isıl değer, katı ve sıvı yakıtlarda, kcal/kg (kJ/kg), gaz yakıtlarda kcal/Nm<sup>3</sup>(kJ/Nm<sup>3</sup>) olarak ifade edilir. Hafif sıvı yakıtlarda ısı değer genellikle kcal/litre (kJ/litre) olarak verilir. Ancak pek yaygın olarak kullanılmazlar.

Türkiye ve Avrupa ülkelerinin çoğunda yakıt ısı değerinde referans alt ısı değer, İngiltere ve ABD de ise üst ısı değer kullanılır (Böke, 2004). Ancak hesaplamalarda alt ısı değer referans alınacaktır.

Yanma olayının başlayabilmesi için yakıtın tutuşması için uygun ortam şartları sağlanması gerekmektedir. Yanma olayının başlayabilmesi için yakıtlar için öngörülen tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılması gereklidir. Bazı yakıtların tutuşma sıcaklıkları Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yakıtların hava ortamında tutuşma sıcaklıkları (Onat, 1998)

Yakıt	Tutuşma sıcaklığı (°C)
Katı yakıtlar:	
Odun	350-400
Turba	225-280
Linyit	250-450
Taş kömürü	400-500
Sıvı yakıtlar:	
Fuel-oil	210
Katran	260-300
Gaz Yakıtlar:	
Hidrojen	510
Metan	645
Etan	530
Asetilen	335
Propan	510
Yüksek fırın gazı	700-800
Yüksek kok gazı	550-650

### 3.2. Brülör Tasarım Aşamaları

Yakıtı belirli miktar ve oranlarda karıştırıp tutuşturarak, kazanın ocağına sevk eden cihazlar yakıcı (brülör) olarak adlandırılırlar. Yanma verimine etki başlıca sistem bileşenleri:

- Yakıt besleme ve ayar düzeneği (yakıt besleme motoru, besleme helezonu )
- Hava besleme ve ayar düzeneği (fan, hava kanalı, ayar kapağı veya klapesi)
- Tutuşturma düzeneği (rezistans, otomasyon)
- Yakma düzeneği (yanma odası veya ocak) sayılabilir.

Tasarım aşamasında referans alınan ısı güce göre hesaplamalar yapılarak kullanılacak malzeme ve donanım belirlenecektir.

Brülör tasarlanırken bazı avantajları sağlaması gerekmektedir. Bu avantajlar; mümkün mertebe tam yanmayı sağlamalı, yanmayı en az hava fazlalığı ile gerçekleştirmeli, ocağı ve kazanı mümkün mertebe az kirletmeli, kazan yüzeylerine ısı geçişini kolaylaştırmalı, kullanımı kolay olmalı, kullanılan malzeme ve yer minimum olmalı, yedek parça ihtiyacı az olmalı, kullanılan yardımcı teçhizat fazla güç sarf etmemelidir.

### 3.2.1. Brülör karakteristikleri

Brülör dizayn sürecine başlamadan önce, brülöre ait başlıca üç parametrenin belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu üç parametre;

- a) Brülör ısı kapasitesi
- b) Yakıt cinsi
- c) Yakıt ısı değeri

Yukarıda belirtilen değerler belirlendikten sonra, brülör yakma sistemi yapısına göre optimum bir genel verim kabulü yapılarak brülör dizaynı yapılabilir. Dizayn aşamasında sırasıyla yakıt besleme ve ayar düzeneği, hava besleme ve ayar düzeneği, ateşleme düzeneği, yanma odası (ocak) düzeneği hesaplanacaktır.

### 3.2.2. Isıl kapasite ve yakıt ısı değerinin belirlenmesi

Isıl kapasitenin belirlenmesi aşamasında öncelikle referans alınan kazanın önce ısı kapasitesi belirlenmeli, buradan yola çıkarak brülörün üretmesi gereken ısı bulunmalıdır. Referans olarak 40 kW ısı gücünde elle yüklemeli ve sabit ızgaralı bir kömür kazanı alınmıştır. Yapılan kabuller;

Kazanın ısı kapasitesi:

$$Q = 40kW/h = 40 \cdot 860 = 34400kcal/h \cong 35000kcal/h \quad (3.14)$$

Kömürlü elle yüklemeli bir kazanın ısı verimi için pratikte elde edilen ortalama verim ( $\eta_k$ ) değeri Çizelge 3.2'den alınmıştır.

$$\eta_k = \% 70$$

değerine göre kazanın anma gücü ( $Q_k$ );

$$Q_k = \frac{Q}{\eta_k} = \frac{35000}{0,70} = 50000kcal/h \quad (3.15)$$

olarak bulunur. Brülör, kazanın etiket ısıl değerini net olarak sağlayabilmelidir.

Brülör anma gücü ve kabul edilen verim değerinden brülörün verebileceği maksimum güç ise,

$$Q_b = 35000kcal/h$$

$$\eta_b = 0,80$$

$$Q_{\max} = \frac{Q_b}{\eta_b} = \frac{35000}{0,8} = 43750kcal/h \quad (3.16)$$

bulunur.

Brülör mekanik yüklemeli ocak sınıfında kabul edildiğinden yanma verimi, elle yüklemeli sabit ızgaralı sistemin yanma veriminden daha yüksektir. Dolayısıyla 40-45 kW ısıl güç aralığında çalışacak olan brülör kapasiteyi rahatlıkla karşılayacaktır.

Yakıt olarak hazır üretim mdf pelet kullanılacaktır. Elementel analizi yapılmış olan yakıtın nemi % 7.13, kül oranı %1.25, uçucu madde oranı %74.79, alt ısıl değeri 4300 kcal/kg yakıt gibi özellikleri üretici firmadan alınmıştır.

Çizelge 3.6.Çeşitli odunsu biyokütle örneklerinin elementel analiz sonuçları (Taşkıran, 2010)

<b>Biyokütle örnekleri</b>	<b>% C</b>	<b>% H</b>	<b>% N</b>	<b>% S</b>	<b>% O</b>
Odun parçaları (Kastamonu)	44,93	5,88	0,32	0,03	47,94
Talaş Briketi	53,53	4,17	0,14	0	40,04
Orman atığı peleti (Manisa)	49	4,08	0,36	0,12	28,88
Mdf peleti (Konya)	51,88	5,68	3,48	0,03	37,54
Odun kabuğu (Kastamonu)	58,83	4,42	0,15	0	32,17
Odun lifi (Kastamonu)	52,98	5,7	4,72	0	36,02
Sazlık kamışı (İstanbul)	53,86	5,44	0,36	0,07	37,32

Biyokütle türlerinin elementel analiz değerleri genel olarak yakın değerlerdedir. Ancak pelet sıkıştırıldığı ve kurutulduğu için kalori değeri diğerlerine nazaran daha yüksektir. Peletin içeriği ve üretimi için yurt dışında standartlar koyulmuştur. Örneğin Avustralya'da ÖNORM M 1735 normu, İsveç'de SS 187120 ve SS 187121 normları, Almanya'da ise DIN 51731 normu, pelet üretimi ve özellikleri ile ilgili

uygulamaya koyulmuş standartlardır. Bu standartlar çerçevesinde pelet sahip olması gereken karakteristik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Ülkemizde şu an için pelet üretimi veya yakıt özellikleri ile ilgili herhangi bir standart yoktur. Standart olmadığı için ülkemizde pelet üretiminde hammadde olarak çoğunlukla md f talaşı kullanılmaktadır.

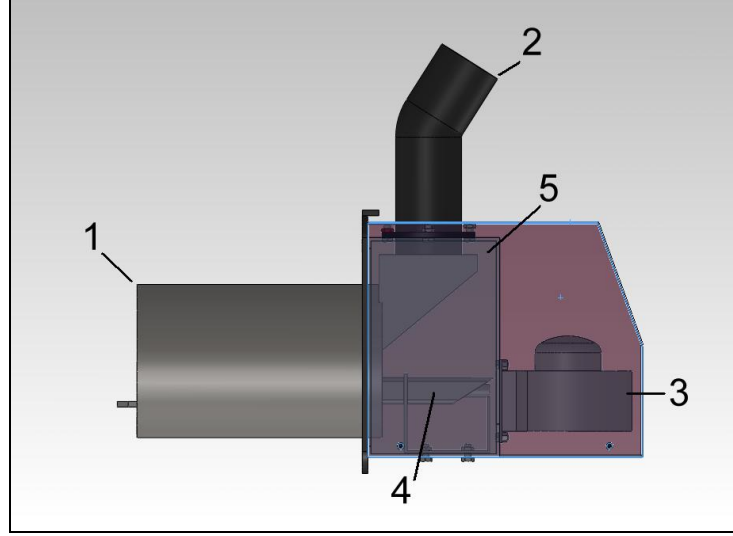
Çizelge 3.7. Pelet yakıtının standart özellikleri (Anonymous, 2012)

Parametre	Limit değerleri
Önerilen Çap (D)	6 mm-8 mm
Ortalama Uzunluk (L)	$L \leq 5.D$
Rutubet oranı	$\leq 10 \%$
Kül oranı	$\leq 0,5 \%$
Kükürt oranı	$< 0,05 \%$
Katkı	Katkı yok
Azot Oranı	$\leq 0,3 \%$
Net kalorifik değeri	Ortalama 5,0 kWh/kg
Dökme yoğunluğu	Ortalama 650 kg/m <sup>3</sup>

Pelet yakıtının ısı değeri 4300-5000 kcal/kg olarak kabul edilmiş olup, hesaplamalarda alt ısı değeri olarak 4300 kcal/kg kullanılacaktır.

### 3.2.3. Sistemin çalışma prensibi

Sistem 5 ana bölümden oluşmaktadır. Brülörün kesit görünümü Şekil 3.3’de verilmiştir. Yakıt iletim motoru ve helezonu yakıt deposunda bulunan yakıtı brülöre temin eder. Yakıt yanma odasına geldikten sonra rezistans ile fan devreye girer. Rezistans ısınmaya başladıktan sonra sıcak hava yolundan gelen havayı ısıtır. Yakıt, sıcak havanın etkisiyle tutuşmaya başlar. Bir süre sonra yanma tamamen düzgünleşir ve belirli aralıklarla yakıt yüklemesine devam edilir. İlk başta sistem soğuk olduğu için tam verim sağlanamaz ancak zamanla ocak borusu ve ızgaranın da kızmasıyla beraber düzgün ve verimli bir yanma elde edilmiş olur.



Şekil 3.3. Tasarlanan pelet brülörünün kesit görünümü (1- Yanma Odası, 2- Yakıt giriş ağzı, 3-Hava fanı, 4-Ateşleme düzeneği, 5- Hava kutusu)

### 3.2.4. Yakıt besleme ve depolama düzeneği hesabı

Yakıt deposu ve yakıt besleme borusu, helezonu ve helezona tahrik edecek olan yakıt motoru yakıt besleme ve depolama düzeneğinin oluşturur. Hesaba başlamadan önce sistemin saatlik yakıt ihtiyacının bulunması gereklidir. Sistemin saatlik yakıt ihtiyacı;

$$B_h = \frac{Q}{\eta_b \cdot H_u} \text{ (kg yakıt/h)} \quad (3.17)$$

Burada  $B_h$  saatlik yakıt ihtiyacı,  $\eta_b$  brülör verim,  $H_u$  yakıt alt ısı değerini temsil eder.

$$B_h = \frac{35000}{0,8.4300} = 10,1 \text{ (kg yakıt/h)}$$

Günlük çalışma saati ( $t_k$ ) ortalama olarak 15 saat kabul edilirse, günlük yakıt ihtiyacı ( $M_k$ ):

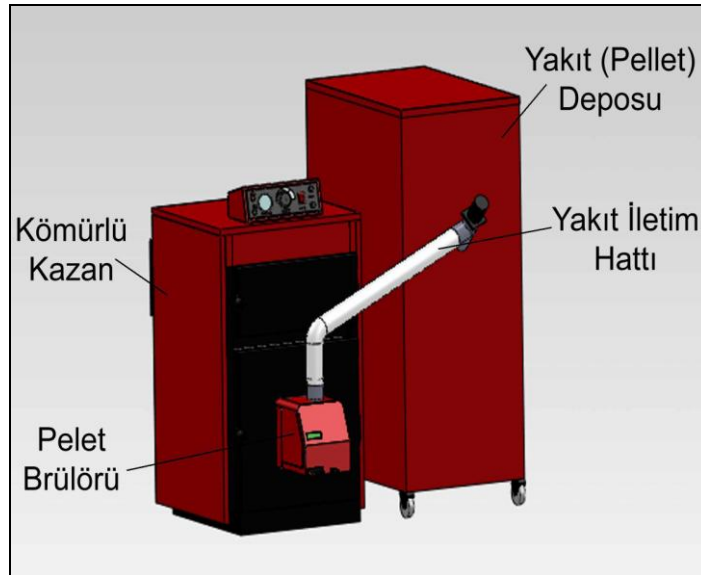
$$M_k = t_k \cdot B_h = 15 \cdot 10,1 = 151,5 \text{ (kg yakıt/gün)} \quad (3.18)$$

Yakıt depoları kazanın bulunduğu mahalin serbestliğine göre günlük, haftalık, aylık, sezonluk yakıt ihtiyacının karşılar şekilde tasarlanırlar. Peletin yığma yoğunluğu 650 kg/m<sup>3</sup>'tür. Günlük pelet ihtiyacını karşılar bir depo hacmi:

$$V_{depo} = \frac{M_k}{\rho_{pelet}} = \frac{151,5}{650} = 0,23m^3 \quad (3.19)$$

Yakıt deposunun günlük ihtiyacı karşılması için hacmi en az 0.25 m<sup>3</sup> olacak şekilde tasarlanabilir. Depo ölçüleri olarak, deponun eni x boyu x yüksekliği olarak (500 x 750 x 1000 mm ) ölçülerinde tasarlanmıştır. (Şekil 3.4).

Depoda bulunan pelet bir boru helezon yükleyici sistemiyle brülöre aktarılacaktır. Burada helezonun özellikleri ve gerekli motor gücü hesaplanacaktır. Helezon konveyörün çalıştırma birimi şunları içerir: Elektrik motoru, kapalı tip bir dişli ya da sonsuz vidalı redüktör, motorla redüktörü ve redüktörle konveyör milini birbirine bağlayan kavramalar.



Şekil 3.4. Yakıt deposu ve yakıt iletim hattı

Bir helezon konveyörün kapasitesi  $D$  helezon çapına,  $S_v$  vida adımına,  $n$  [d/dak] dönme hızına ve helezonun düşey kesit alanının  $\psi$  yükleme verimine bağlıdır (Gerdemeli, 2010).

Sürekli helis biçimindeki bir helezon konveyörün saatlik kapasitesi:

$$Q = V \cdot \gamma = 60 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S_v \cdot n \cdot \Psi \cdot \gamma \cdot C \quad (3.20)$$

Burada, V Kapasite [m<sup>3</sup>/saat],  $\gamma$  Malzemenin yığma ağırlığı [t/m<sup>3</sup>], C Konveyörün eğimini dikkate alan bir katsayıdır.

Tipik tasarımlarda vida adımı D değerine eşit alınır. Yavaş akışlı veya aşındırıcı malzeme için adım 0,8 D olarak alınır (Gerdemeli, 2010).

$\psi$  yükleme verimi, ara yataklar civarlarında oluşabilecek dar boğaz tehlikesini önlemek amacıyla, genellikle düşük değerde alınır. Aşındırıcı olmayan ve serbest akan malzeme için yüksek, aşındırıcı ve yavaş akan malzeme için düşük alınır.  $\psi$  katsayısı için önerilen değerler Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Malzeme yapısına göre yükleme verimi ( $\psi$ ) değerleri (Gerdemeli, 2010)

Malzeme Özellikleri	$\psi$
Yavaş akışlı aşındırıcı malzemeler	0.125
Yavaş akışlı orta derecede aşındırıcı malzemeler	0.25
Serbest akışlı orta derecede aşındırıcı malzemeler	0.32
Serbest akışlı aşındırıcı olmayan malzemeler	0.4

Malzemeyi yukarı doğru götüren helezon konveyörlerde ve özellikle ara yatakların kullanıldığı durumlarda, yükleme verimi çok daha düşüktür. Bu, (3.20) denklemindeki  $C_e$  katsayısı ile dikkate alınır ve  $C_e$  değerinin ortalama değeri, konveyörün yatayla yaptığı  $\beta$  açısına bağlıdır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Helezon eğimine bağlı  $C_e$  katsayısı (Gerdemeli, 2010)

$\beta$	0°	5°	10°	15°	20°
$C_e$	1	0.9	0.8	0.7	0.65



İstenen D helezon çapı, (3.20) denkleminde ve istenen Q [t/saat] kapasitesine bağlı olarak hesaplanır. Taşınacak malzemenin tane boyutu D helezon çapını etkiler. Bu çapın, sınıflandırılmış malzemede tane boyutunun en az 12 katı, sınıflandırılmamış malzemede ise en az 4 katı olmalıdır (Gerdemeli, 2010).

Bir helezon konveyörün harekete karşı toplam direnci şu dirençlerin toplamına eşittir: Malzemeyle tekne arasındaki sürtünme; malzemeyle helezon yüzeyi arasındaki sürtünme; ara ve uç yataklardaki sürtünme; aksel baskı yatağındaki sürtünme; malzemenin boşluğa kaçan ve genellikle tekne duvarında sert bir kabuk oluşturan parçacıkların oluşturduğu sürtünmeden ileri gelen ek dirençler. Eğimli bir konveyörde, ağırlığa karşı ek bir güç de düşünülmelidir.

Toplam direncin yukarıda sayılan bütün elemanları ek dirençler dışarıda bırakılmak koşuluyla sürtünme katsayıları biliniyorsa, belirlenebilirler. Toplam direncin önemli bir bölümünü oluşturan ek dirençler hesapla bulunamaz. Bu nedenle, helezon konveyör uygulanmasından elde edilmiş olan  $w_0$  toplam direnç katsayısı kullanılarak, pratik olarak bulunabilir.

Yatay konveyörün helezon milindeki gerekli güç:

$$N = \frac{Q \cdot L \cdot w_0}{367} \text{ [kW]} \quad (3.21)$$

Yatayla  $\beta$  açısını yapan eğimli bir konveyörde gerekli güç:

$$N = \frac{Q}{367} \left( w_0 \pm H \right) = \frac{Q \cdot L}{367} \left( w_0 \pm \sin \beta \right) \text{ [kW]} \quad (3.22)$$

olur. Artı işaret yukarı doğru harekette, eksi işaret aşağı doğru harekette göz önüne alınır.

Antrasit, havada kurutulmuş linyit, briket kömür ve kaya tuzu gibi malzemeler için  $w_0$  değerinin ortalama değeri 2.5; gips, parça veya ince kuru kil, dökümhane kumu,

kükürt, çimento, kül, kireç, büyük ve küçük taneli kum ve döküm kumu için  $w_0 = 4$  alınır (Kurbanoğlu, 2002).

$n$  [d/dak] hızı ile dönen helezon milinin taşıdığı moment:

$$M_0 = \frac{102.N}{w} = \frac{102.N.60}{2.\pi.n} = 975 \frac{N}{n} \text{ [daNm]} \quad (3.23)$$

dır. Helezona etki eden aksenal kuvvet:

$$P = \frac{M_0}{r. \tan(\alpha + \varphi)} \text{ [daN]} \quad (3.24)$$

Burada,

$r$ , P kuvvetinin uygulama yarıçapı [m];  $r = (0.7-0.8).D/2$

$\varphi$ , Malzeme ile helezon yüzeyi arasındaki indirgenmiş sürtünme açısı ( $\tan \varphi = \mu$ )

$\mu$ , Helezon yüzeyi üzerindeki yükten ileri gelen indirgenmiş sürtünme katsayısı

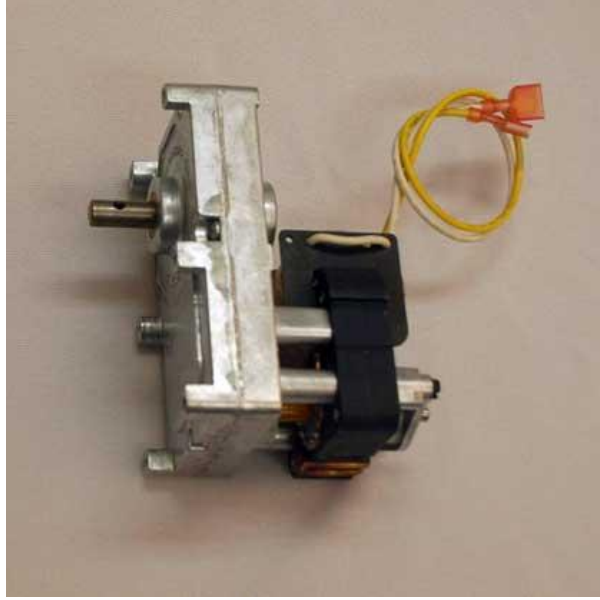
$\alpha$ ,  $r$  yarıçapı üzerindeki helis açısı

Mil;  $M_0$  momentinden doğan burulma, P kuvvetinden doğan basma, öz ağırlıktan doğan yataklar arasındaki eğilme, helezon yüzeyi ile helezon kenarına etkiyen kuvvetin dikey (enine) bileşeni ve dönüşlerin merkezkaç oluşundan meydana gelen kuvvetin bu kesitteki aksenal bileşeni gibi birleşik yüklerin etkisi altındadır. Bütün bu bileşenler duyarlı bir şekilde belirlenemeyeceğinden elemanların mukavemetinin hesaplanması,  $M_0$  ve P ye göre yapılan tahminlerle basitleştirilmiştir.

Yakıt deposundan brülöre yakıt aktarımında yatayla  $\beta=35^\circ$  açısını yapan ve  $L=1.5$  m taşıma uzaklığında eğimli bir konveyör tasarlanmıştır. Şematik görünümü Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Peletin yığma ağırlığı ( $\gamma$ ) ortalama  $0.7 \text{ ton/m}^3$ 'tür. İstenilen kapasite, saatte ortalama 10 kg pelet yakılacağı için  $0.01 \text{ ton/saat}$  ( $Q$ ) kabul edilmiştir. Yükleme verimi ( $\psi$ )

değeri Çizelge 3.8'den ağır ve aşındırıcı olmayan malzeme olan pelet için 0.4 alınmıştır. Çizelge 3.9'dan helezon eğimine bağlı  $C_e$  katsayısı 0.60 referans alınmıştır. Aynı zamanda, mil hızı da düşük seçilecektir, yani  $n = 8$  [d/dak] seçilir. Gölge kutuplu motor bu amaca uygundur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Redüktörlü gölge kutuplu motor

Tüm bu değerler denklem (3.88), (3.89) konularak helezon boru çapı (D) 70 mm ve motor gücü ( $N_0$ ) 0.01 kW bulunmuştur. Besleme motoru karakteristikleri elektrik bağlantısı 220 V 50 Hz, motor gücü 0.01 kW , 4 kademeli , tahvil oranı 395.7, giriş devri 3000 d/d, çıkış devri 7.6 d/d'dır.

### 3.2.5. Hava besleme ve ayar düzeneği hesabı

Brülörde peleti yakabilmek için gerekli yanma havası fan tarafından karşılanacaktır. Öncelikle 1 kg peletin yanması için gerekli teorik ve gerçek hava miktarı bulunacaktır. Çizelge 3.6'dan yararlanarak MDF peletin elementel analizinden elde edilen değerler denklem (3.10)'da yerine konular. Teorik hava ihtiyacı :

$$V_{ht} = 8,89C + 26,7\left(H - \frac{O}{8}\right) + 3,34S = 5.33 \text{ [Nm}^3\text{/kg yakıt]} \quad (3.25)$$

bulunur. Denklem (3.11)'den yararlanarak 1 kg peletin yanması için gerekli gerçek hava ihtiyacı ( $V_h$ ), Çizelge 3.2'den hava fazlalık katsayısı ( $n$ ) 1.5 alınarak bulunur.

$$V_h = V_{it} \cdot n = 5.33 \cdot 1.5 = 7.95 \cong 8 \text{ [Nm}^3\text{/kg yakıt]} \quad (3.26)$$

bulunur. Tasarlanan sistemde saatte ortalama 10 kg pelet yakılacağı için, 80 m<sup>3</sup>/saat hava debisi sağlayacak fanın seçimi, ebm-fan katalogundan yapılmıştır. Fan tek emişli, öne eğik sık kanatlı, AC 220 V, 50 Hz, hava debisi ( $q_v$ ) 80 m<sup>3</sup>/h, devir ( $n$ ) 2350 d/d 'dır (Şekil 3.6).

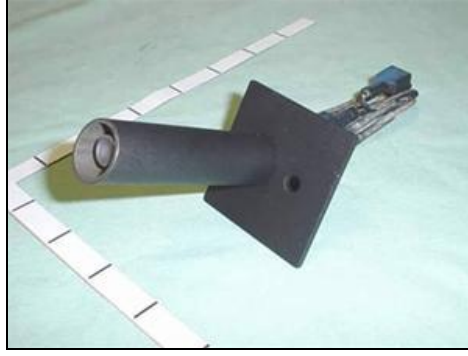


Şekil 3.6 Tek emişli radyal fan

### 3.2.6. Tutuşturma düzeneği hesabı

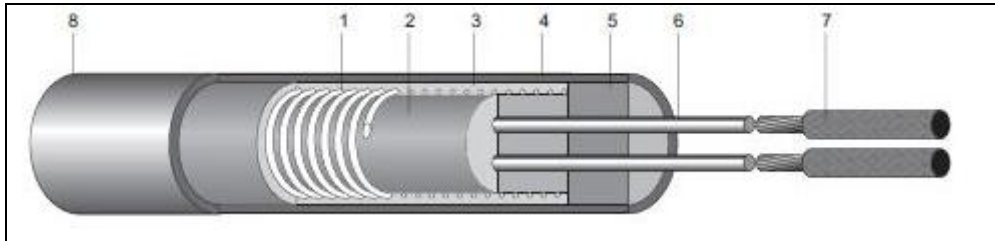
Tutuşturma düzeneği hava kanalı ve hava kanalının içerisine sabitlenmiş rezistansdan oluşur. Fan üflemiş olduğu hava, kanalın içerisinden geçerken yüksek sıcaklığa ulaşmış rezistans tarafından ısıtılır. Kanal boru veya profilden oluşturulabilir. Boru hava kanalı ve rezistans Şekil 3.7'da gösterilmiştir.

Havanın çok yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması gerekir. Aksi takdirde tutuşma gerçekleşmez ve yanma başlayamaz. Hava sıcaklığı için sınır değer, yakıtın tutuşma sıcaklığıdır. Sistemde yakıt olarak odun türevi sayılan pelet kullanıldığı için, peletin tutuşma sıcaklığı Çizelge 3.5'den yararlanarak 350-400 °C referans alınmıştır. Bu yüksek sıcaklığı sağlamak için yaygın olarak fişek rezistans kullanılır.



Şekil 3.7. Boru şeklinde hava kanallı ateşleme sistemi

Fişek rezistansları, son teknolojiyle geliştirilmiş özellikleri sayesinde, ihtiyaç duyulan tüm sektörlerde yüksek wattlı elektrikli ısıtıcılar arasında dayanıklılık ve performans açısından en iyi ısıtıcılardan kabul edilir. Oluşumunda kullanılan materyal seçimindeki büyük hassasiyet, üretim ve test tekniklerindeki ilerici yenilikler, fişek rezistanslarını en ağır koşullarda bile görevini en iyi şekilde yapan bir ürün haline getirmiştir. Yüksek performans elde edilmesinde ısıtıcı ve ısıtılacak yüzeyler arasındaki ısı alışverişinin büyük önem arz etmesi sebebiyle, fişek rezistansları yuvasına tamamen doğru bir şekilde yerleştirilmiş olmalıdır. Fişek rezistansların yüzeyi 750 °C dayanabilirler. Fişek rezistansın kesiti Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Fişek rezistans kesiti (1-Krom-nikel rezistans teli, 2- Yüksek saflıklı magnezyum oksit çekirdek, 3- Yüksek saflıkta kompakt magnezyum oksit, 4-Paslanmaz çelik kılıf, 5-Seramik uç kapağı, 6-Katı nikel iletkenler, 7-Fiberglas-silikon esaslı nikel kurşun bağlantı uçları, 8-Gaz altı kaynaklı disk ucu)

Tutuşturma için gerekli rezistans gücü ( $Q_R$ ) bulunurken, hava kanalının içerisinden geçen hava debisi ( $m_{hava}$ ), havanın özgül ısısı ( $C_{phava}$ ), istenilen son sıcaklık ile ortam sıcaklığı farkından yararlanır.

$$Q_R = m_{hava} \cdot C_{phava} \cdot \Delta T = 2.0,33 \cdot (400 - 25) = 247,5 \text{ kcal/h} \quad (3.27)$$

$$Q_R = 247,5 / 860 = 0.287 \text{ kW} \cong 300 \text{ W} \quad (3.28)$$

bulunur. Rezistans seçimi için bu değer referans alınır.

### 3.2.7. Yakma düzeneği hesabı

Yakma düzeneği kısmı yanma odasından oluşur. Yanma odası (namlu) gerekli yakıtı haznesine kolay alabilmeli, yanma için gerekli koşulları sağlamak adına iyi bir hava-yakıt karışımını sağlar biçimde tasarlanmalıdır. Yanma sonucunda oluşan küller, ocakta birikmemeli, sistemi rahat terk etmelidir. Yanma esnasında yüksek sıcaklığa çıktığı için bu sıcaklığa dayanıklı malzeme seçilmelidir. Endüstri de bu amaçla yaygın olarak paslanmaz çelikler kullanılır.

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı ve estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptir. Paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %11 krom içeren bir çelik ailesidir. Bu çeliklere yüksek korozyon dayanımını veren unsur, yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Bu oksit tabaka, oksijenli ortamlarda oluşur ve dış etkenlerle ( aşınma, kesme veya talaşlı imalat ) bozulsada dahi kendini onararak eski özelliğine kavuşur.

Paslanmaz çelikler içerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak ferritli, östenitli ve martensitli paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılırlar. Ferritli paslanmaz çelikler başlıca alaşım elementi olarak krom içerir. Östenitli paslanmaz çelikler ise kromun yanı sıra nikel elementi de içerir. Korozyona, paslanmaya en dayanıklı olan tür östenitli paslanmaz çeliklerdir. ASTM 304 ve ASTM 316 gibi en çok bilinen türler

bu gruba girer. Bu gruptaki çeliklerin krom oranı azaltılıp su verilmesi ile martensitli paslanmaz çeliklere elde edilir.

Brülörün ocak kısmı ASTM 309 kalite paslanmaz çelikten seçilmiştir. Konstrüksiyon kolaylığı açısından, düz malzemenin düşük çapta bükülmesi zor olacağından hazır çelik çekme boru malzeme kullanılacaktır (Şekil 3.9). Ocak cidarlı olarak tasarlandığından standart paslanmaz çelik çekme boru tablosundan iç cidar ( $D_1=5''$ ), dış cidar ( $D_2=6''$ ) borudan seçilmiştir.

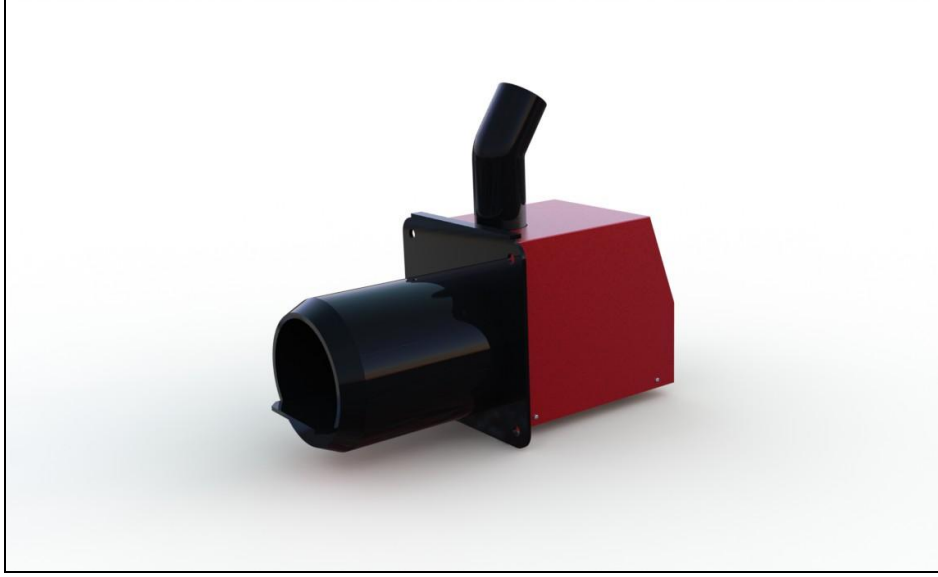


Şekil 3.9. Paslanmaz çelik çekme boru

ASTM 309 standardı paslanmaz çeliğin diğer malzemelere göre birçok üstünlükleri vardır. Korozyon dayanımı kükürtlü gazlara karşı az azotlu gazlara karşı mükemmeldir. Yüksek krom ve nikel miktarı yüksek sıcaklık oksidasyonunu önler. Yaklaşık 1000°C'ye kadar ısıya dayanıklıdır. Mekanik ve sürtünme mukavemeti iyidir. Yüksek sıcaklık malzemesidir. Isıya dayanıklı olması gereken uygulamalarda kullanılır. Fırın ve aparat yapımında, hava ön ısıtıcıları, sementasyon kutuları, tav kapıları, vs.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Teorik bilgiler ışığında yapılan sentez sonucunda elde edilen veriler ile brülörün konstrüksiyon tasarımı 3 boyutlu Solidworks programında tasarımı yapılmıştır (Şekil 4.1). Bu tasarım referans alınarak imalat için izlenmesi gereken adımlar belirlenmiştir. Böylece prototip imalatı öncesi olası eksiklikler önceden görülerek, konstrüksiyon hatalarını minimuma indirmek amaçlanmıştır. Aksi takdirde yanlış yapılan bir kısmın geri dönüşü zor ve maliyetli olabilir.



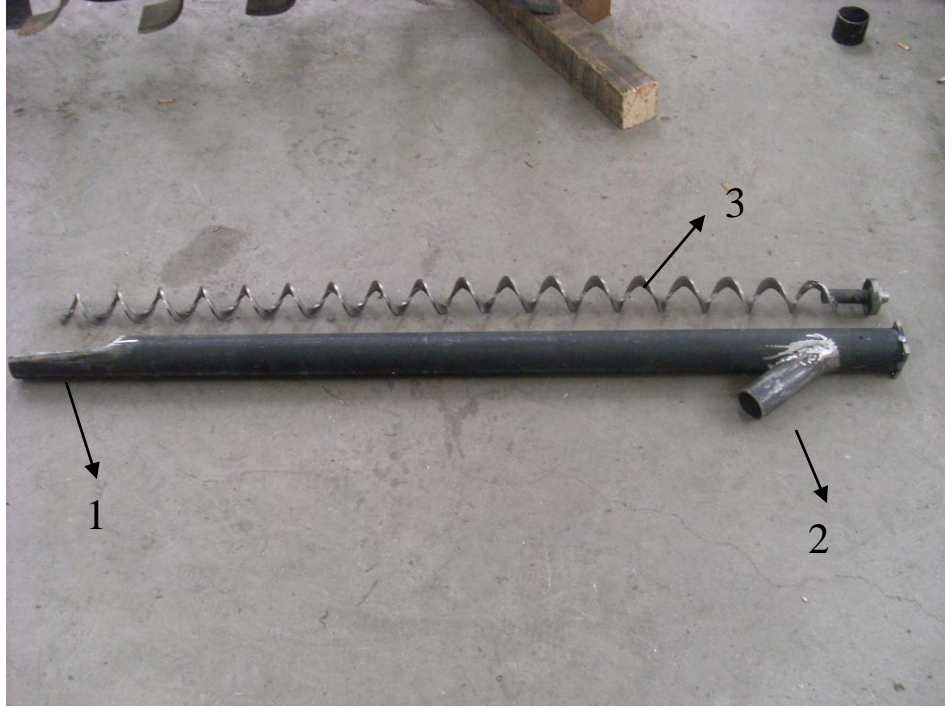
Şekil 4.1. Tasarımı yapılmış olan brülör (yakıcı)

Sistemin başlıca bileşenleri yakıt yükleme konveyörü ve yakıcıdır. Yakıcı da kendi içerisinde yakıt iletim yolu, hava iletim yolu ve hava kutusu, ateşleme düzeneği, yanma ocağı ve ızgaradan oluşur. Sırasıyla tüm bu bileşenlerin imalatı yapılmıştır.

##### 4.1. Brülör İmalat Aşamaları

Yakıt iletim hattının amacı depodan aldığı yakıtı yakıcıya iletmektir. Sistem boru, boru iç çapına uygun helezon ve besleme motorundan oluşur (Şekil 4.2). Besleme motoru sökülebilir olması açısından boruya flanş ile bağlanmıştır. Helezon, besleme motoruna direk bağlıdır. Yükleme borusuna yakıt giriş ve çıkış ağızları açılmıştır.





Şekil 4.2. Yakıt yükleme borusu ve helezonu (1- Yakıt giriş ağzı, 2- yakıt çıkış ağzı, 3-Helezon)

Motor bağlantı flanşı ve yakıt çıkış ağzı boru parçası iletim borusuna kaynaklı bağlantı ile bağlanmıştır. Yükleme sistemi teknik resmi Ek 1’de gösterilmiştir. Boruyu yere 45° olacak şekilde tutacak şekilde ayak yapılmıştır. Yakıt deposu olarak yakıt yükleme borusunu kolayca içine alabilecek mukavva kutu kullanılmıştır.

Brülörün kazana bağlantı flanşı ve dış cidar borusu yekpare olarak tasarlanmıştır. Kaynaklı bağlantısı yapılmıştır (Şekil 4.3). İç cidar borusu ve yakıt yöneltme dirseği tek parça olarak kaynaklı bağlantıları yapılmıştır (Şekil 4.4).

Hava kutusu, yakıt giriş ve fan giriş ağzları açıldıktan sonra sızdırmazlık için fitil kullanılarak, saplamalar yardımıyla brülör bağlantı flanşına bağlanmıştır (Şekil 4.5). Ateşleme grubu profil içine yerleştirilmiş rezistans, fan çıkış ağzının hemen önüne hava kutusunun tabanına kaynaklanmıştır. Fan hava kutusuna civata ile bağlanmıştır. Kaportası tüm ekipmanları kapsayacak ve koruyacak ölçülerde imal edilmiştir. İmalat işlemlerinin tamamlanmasının ardından kaporta kırmızı renge, diğer parçalar siyah renge boyanmıştır.



Şekil 4.3. Bağlantı flanşı ve dış cidar borusu montajı

İç ile dış cidar arasından yakıt yanma havasının bir kısmı geçirilerek ısıtılacaktır. Böylece kızgın hava elde edilerek, yanma verimi yüksek olacaktır.



Şekil 4.4. İç cidar borusu ve yakıt yöneltme dirseği montajı



Şekil 4.5. Fanın hava kutusuna montajı

#### 4.2. Brülör Prototip Setinin İncelenmesi

Brülörün çalışma prensibi, peleti yakıt deposundan helezon yükleyici ile alarak yanma haznesine ulaştırmak, yakıtın ateşlenmesini işlemi gerçekleştirerek, iyi bir hava-yakıt karışımı sağlayarak yakma esasına dayanır.

Sistemin çalışması için tüm elektrik bağlantılarına merkezi bir anahtar, rezistans ve yakıt yükleme motoru kontrolü için anahtar, fan kontrolü için dimmer bağlantısı yapılmıştır. Yanmanın durumuna göre fanın devir ayarı yapılabilir.

Prototip setinin, Esendir Isı Sanayi fabrikasında yapılan testler sonucunda sorunsuz olarak çalıştığı tespit edilmiştir. Deney sırasında yapılan video çekimleri ve gözlemler sonucunda yakıtın depodan brülöre düzenli olarak aktarıldığı, yakıtın ateşlenmesi ve yakılması görevini eksiksiz yerine getirildiği tespit edilmiştir. Yanma esnasında emisyon değeri ölçülmemiştir. Ancak yanma esnasında oluşan portakal rengi alev ve gözle görülür duman olmadığından dolayı yanmanın verimli olduğu kanaatine varılmıştır.

Yakıcı sistemin prototip imalatı sonrası görüntüsü Şekil 4.6'da verilmektedir.





Şekil 4.6. Brülör sisteminin genel görüntüsü



Şekil 4.7. Yakıt deposu ve namlu kısmı görüntüsü

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Katı yakıtlı kazanlara uyumlu şekilde çalışan pelet yakıcı sistemin tasarımı yapıp, 40 kw gücünde örnek bir prototip imal edilmiştir. Sistemi oluşturan bileşenler ayrı ayrı denetlenmiş ve gözlenmiştir.

Yakıt deposundan brülör yanma haznesine kadar olan yakıt iletim hattında, peletin sorunsuz şekilde transport edildiği, yanma odasında otomatik olarak ateşlemeyi gerçekleştirdiği, ocak içerisinde iyi bir hava-yakıt karışımı sağlayarak yakıtı verimli olarak yaktığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak mekanizmanın otomasyonunun yapılmasıyla, termostatik kontrollü olarak katı yakıtlı kazanlarda kullanıcı müdahalesi olmadan verimli bir şekilde pelet yakabileceği fikrine ulaşılmıştır. Elle yüklemeli sistemlerde yanma verimleri düşük, bunun yanında yakıtın yüklenmesi, tutuşturulması işlemleri zor ve zahmetlidir. Yakılacak yakıt baştan topluca yüklenir. Hava-yakıt karışımı homojen değildir ve yanma durdurulamaz. Ancak yavaşlatılabilir. Bu durum hem ekonomik hem çevresel faktörler göz önüne alındığında olumsuz bir durumdur.

Yeni tasarım ile gereksinim duyulan ısı güce göre, oransal çalışma sağlanarak yakıt ekonomisi, yüksek yanma verimi, düşük emisyon ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu çalışmanın avantajları ise şu şekildedir:

- Sistem tam otomatik ve emniyetlidir.
- Yakıtta dışa bağımlılığımız azalacaktır.
- Yakıt harcamalarında ve emisyonlarda önemli azalmalar görülecektir.
- Peletin yaygın kullanımıyla atıklarımız değerlendirilecektir.

Dolayısıyla tasarlanan sistemin konutlarda kullanılan katı yakıtlı kazanlara kolayca uygulanabileceği kanaatine varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Alternaturk, 2011. Erişim Tarihi: 02.04.2012. <http://www.alternaturk.org/termal.php>
- Akkaya, A.V., Akkaya E.K., Dağdaş, A., 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açından Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim, İstanbul, 37-43.
- Al-widyan, M.I., Tashtoush, G., Hamasha, A.M., 2006. Combustion and emissions of pulverized olive cake in tube furnace. *Energy Conversion and Management*, 47, 1588–1596.
- Anonymous. 2012. Greener Homes Scheme Wood Pelet Fuel Information, 2p. Ireland.
- Beker, Ü.G., 2000. Briquetability of Lignite and Woody Wastes Composite Fuel Energy Sources, 22, 99-107.
- Böke, E., 2004. Endüstri Kazanları. ISKAV Teknik Kitaplar Dizisi no: 04, 123s, İstanbul.
- Chin, O.C., Siddiqui, K.M., 2000. Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures. *Biomass and Bioenergy*, 18, 223-228.
- Demirbaş, A., 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel Vol.* 76 (5), 431-434.
- Demirbaş, A., Demirbaş, M.F., 2003. Biomass and Wastes: Upgrading Alternative Fuels. *Energy Sources*, 25, 317–329.
- Duranay, N.D., Yılgin, M., Pehlivan, D., 2007. IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mobilya Fabrikası Artığının Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, 17-19 Eylül, İstanbul, 45-65.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK-TMK), 2010. İklim Değişikliği ve Enerji Sektörü, 23s, Ankara
- Ebm CO, 2011. Erişim Tarihi: 16.06.2012. <http://www.ebmpapst.com>
- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), 2000. Güneş Enerjisi, 1, 126, Ankara.
- Eroğlu, İ., 2004. Türkiye’de ve Dünya’da Hidrojen Enerjisi. 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 26-28 Mayıs, İstanbul, 2, 671-681.
- Esendir Isı Sanayi, 2011. Erişim Tarihi: 25.04.2012. <http://www.esendirmakina.com/index.php>
- Euroheat CO, 2012. Erişim Tarihi: 14.05.2012. <http://www.euroheat.com>

- Gerdemeli, İ., 2010. Helezon Konveyörler Ders Notları. 12, 7-9, İstanbul.
- Gonzalez, J.F., Gonzalez-Garcia, C.M., Ramiroa, A., Gonzalez, J., Sabioa, S., Ganana, J., Rodrigueza, M.A., 2004. Combustion optimisation of biomass residue pellets for domestic heating with a mural boiler. *Biomass and Bioenergy*, 27, 145-154.
- Göksu, Ç., 1999. Güneş-Kent, Güneş Enerjili Yerleşim Modeli., Güneş Kitapları Dizisi, Göksu Yayınları, 133s, Ankara.
- International Energy Agency (IEA), 2009. Key World Energy Statistics Stedia Media, France.
- Karaca, C., 2009. Çukurova Bölgesinde Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 117s, Adana.
- Karakoç, H., 2006. Tüketiciler İçin Doğalgaz El Kitabı, Demirdöküm Teknik Yayınları, no:8, 129s İstanbul.
- Karaosmanoğlu, F., 2004. Enerjinin Önemi, Sınıflandırılması ile Kaynak İhtiyaç Dengesi ve Gelecekteki Enerji Kaynakları. Dünya ve Türkiye'deki Enerji ve Su Kaynaklarının, Ulusal ve Uluslararası Güvenliğe Etkileri Sempozyum Bildirileri, 6-8 Eylül, İstanbul, 25-32.
- Kurbanoglu, C., 2002. Transport Tekniği. Nobel yayınları, 322s, Ankara.
- Kwb CO, 2010. Erişim Tarihi:13.04.2012. <http://www.kwb.at>
- Müezzinoğlu, A., 2001. Enerji Kaynaklarımız Yenilenebilir mi, Yerel Gündem Birlikteliğinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İzmir Büyük Şehir Belediyesi Yerel Gündem Yayınları, 1.b., 35s, İzmir.
- Ndiema, C. K. W., Mpendazoe, F. M., Williams, A., 1998. Emission of pollutants from a biomass stove. *Energy Conversion and Management*, 39(13), 1357-1367.
- Onat, K., Genceli, O., Arısoy, A., 1998. Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları. Teknik Yayıncılık Tanıtım A.Ş., 377s, İstanbul.
- Özkan, M., 1984. Buhar Kazanları Isıl Hesapları. Bizimbüro Basımevi, 230s, Ankara.
- Önal, E., 2007. Farklı Biyokütlelerin ve Bunların Sentetik Polimerlerle Prolizi, Elde Edilen Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, Eskişehir.

- Paulrud, S., Nilsson, C., 2001. Briquetting and combustion of springharvested reed canary-grass: effect of fuel composition. *Biomass and Bioenergy*, 18(3), 25-35.
- Roy R. K., 2001. *Design Of Experiments Using The Taguchi Approach*. John Wiley& sons Inc, New York, USA.
- SAG CO, 2012. Erişim tarihi:14.05.2012. <http://www.sag.pl>
- Sancar, M. S., 1992. Avrupa Topluluğu'nda Enerji Arzı-Çevre Dengesinin Optimizasyonu ve Türkiye'deki Uygulanabilirliği. *Avrupa Topluluğu ile İlişkiler Genel Müdürlüğü DPT-Uzmanlık Tezleri*, 3-11.
- Saraçoğlu, N. and Gündüz, G. 2009. Wood Pellets - A fuel for Europe. *Energy Sources, Part A*, 31(7), 553-559.
- Severoğlu, A., 2010. *Katı Biyoyakıt Üretimi*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Erzurum.
- Taşkıran, I., 2009. Orman Artıklarının Enerji Dönüşümünde Kullanılması ve Gazlaştırıcılar. İstanbul, Orman Genel Müdürlüğü Uluslararası Atıktan Enerji Sempozyumu, 24-27 Kasım, İstanbul.
- Türk Dil Kurumu (TDK),2012. Güncel Türkçe Sözlük. Erişim Tarihi: 12.03.2012. [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&view=gts](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&view=gts)
- Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TKİ), 2009. Kömür Sektörü. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü Yayınları, 12s, Ankara.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), 2012. Erişim Tarihi: 12.03.2012. [http:// www.tpao.gov.tr](http://www.tpao.gov.tr)
- Toraman, Ö.Y., Topal, H., Bayat, O., Atımtay, A.T., 2004. Emission Characteristics of Co-combustion of Sewage Sludge with Olive Cake and Lignite Coal in a Circulating Fluidized Bed. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, A39(4), 973–986.
- Türkoğlu, M., 2010. Gıda Sanayii Biyokütle Atıklarının Enerji Potansiyeli ve Geri Kazanımı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 157s, Ankara.
- Uralcan, Y., 2004. Sıcak Su Kazanları. ISKAV Teknik Kitaplar Dizisi no: 03, 116, İstanbul.
- Ünal, H., Alibaş, K., 2002a. Biyokütle Kaynağı Olarak Ayçiçeği Sapının Yakılması ve Baca Gazı Emisyonlarının Belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2), 113-128.



Ünal, H., Alibaş, K., 2002b. Buğday ve ayçiçeği saplarının yakılması için gerekli yanma havası ve baca gazı miktarlarının belirlenmesi. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt II, 841-851, 16-18 Ekim, İstanbul.

Ünal, S., 2008. Alternatif Enerji Ders Notları. 15, 10-12, İstanbul.

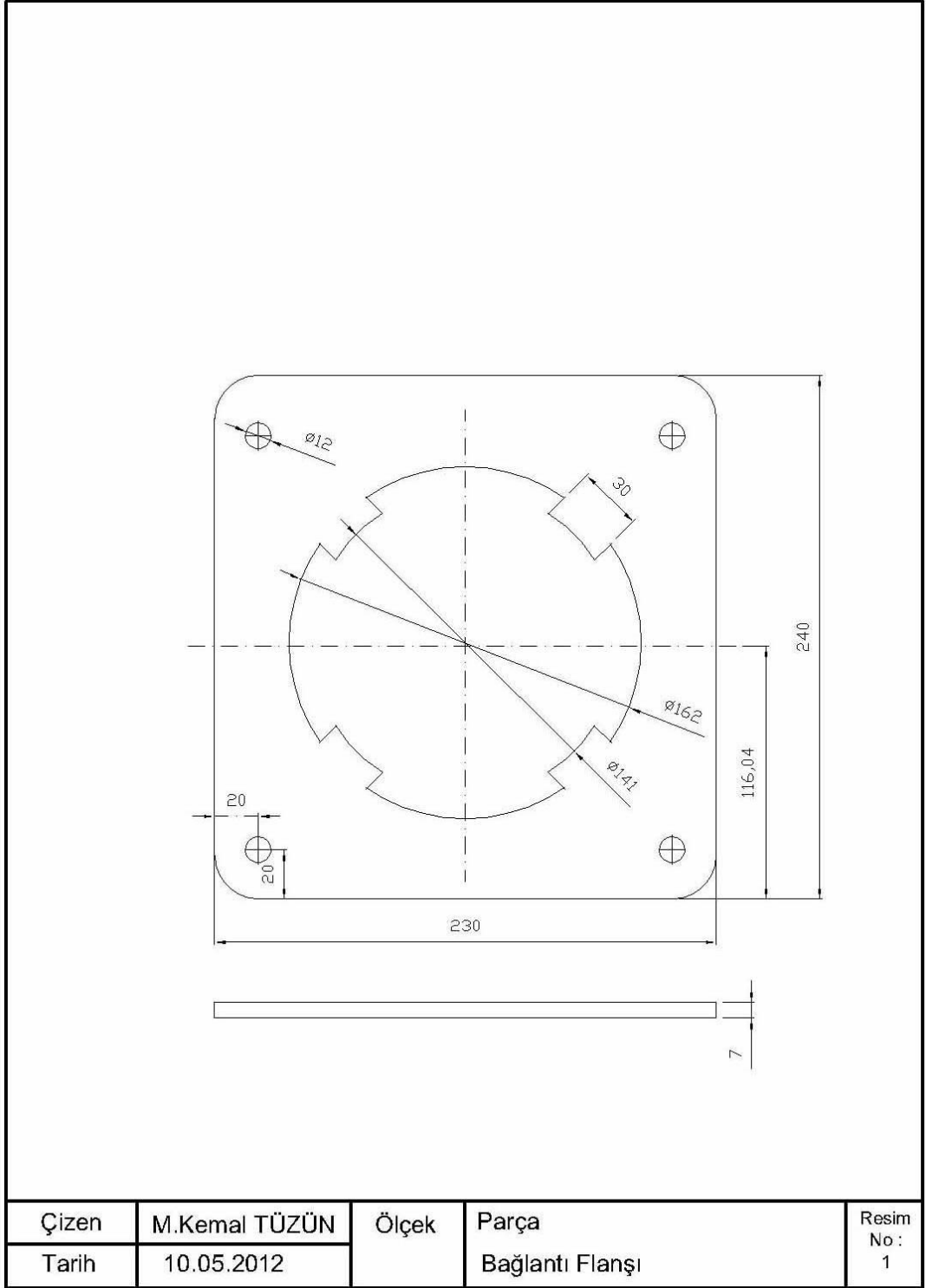
Yorulmaz, S.Y. ve Atımtay, A.T, 2005. 6. Ulusal Çevre Mühendisleri Kongresi. Çam ve mdf talaşından yapılan peletlerin yakılmasıyla oluşan emisyonların incelenmesi, 412-419, Ankara.

Zengin, Y., 1957. Atom Enerjisi Hammaddeleri. M.T.A Enstitüsü Dergisi, 49, 84-86.

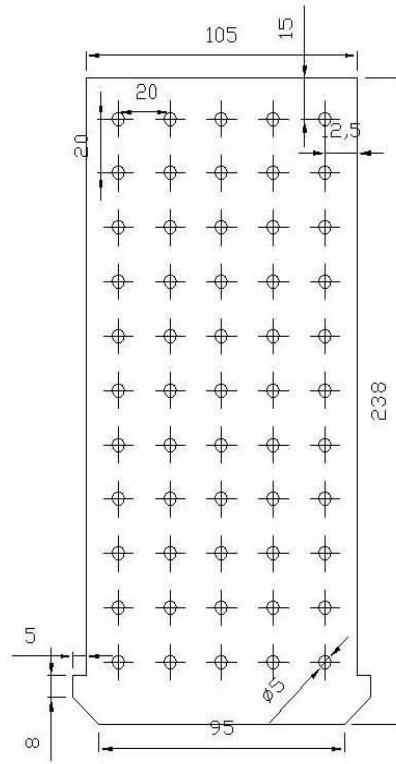
## **EKLER**

### **EK A. Pelet Yakıcısının Teknik Resimleri**

## EK A. Pelet Yakıcısının Teknik Resimleri

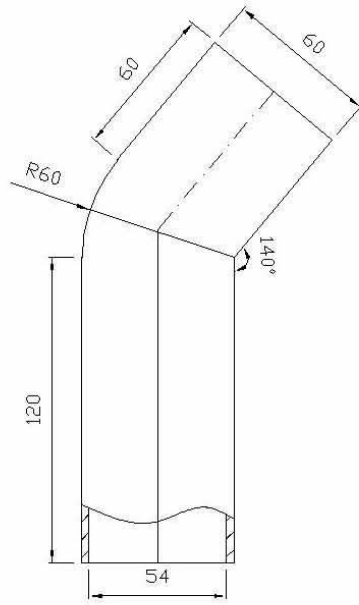


Şekil A.1. Bağlantı flanşı



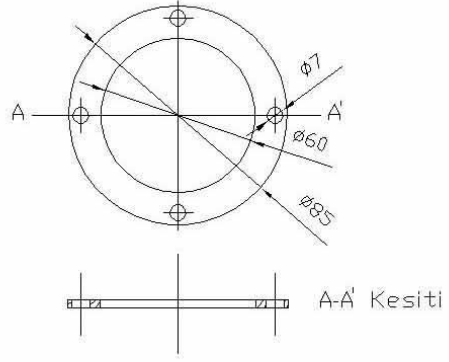
Çizen	M.Kemal TÜZÜN	Ölçek	Parça Izgara Parçası	Resim No : 2
Tarih	10.05.2012			

Şekil A.2. Izgara parçası



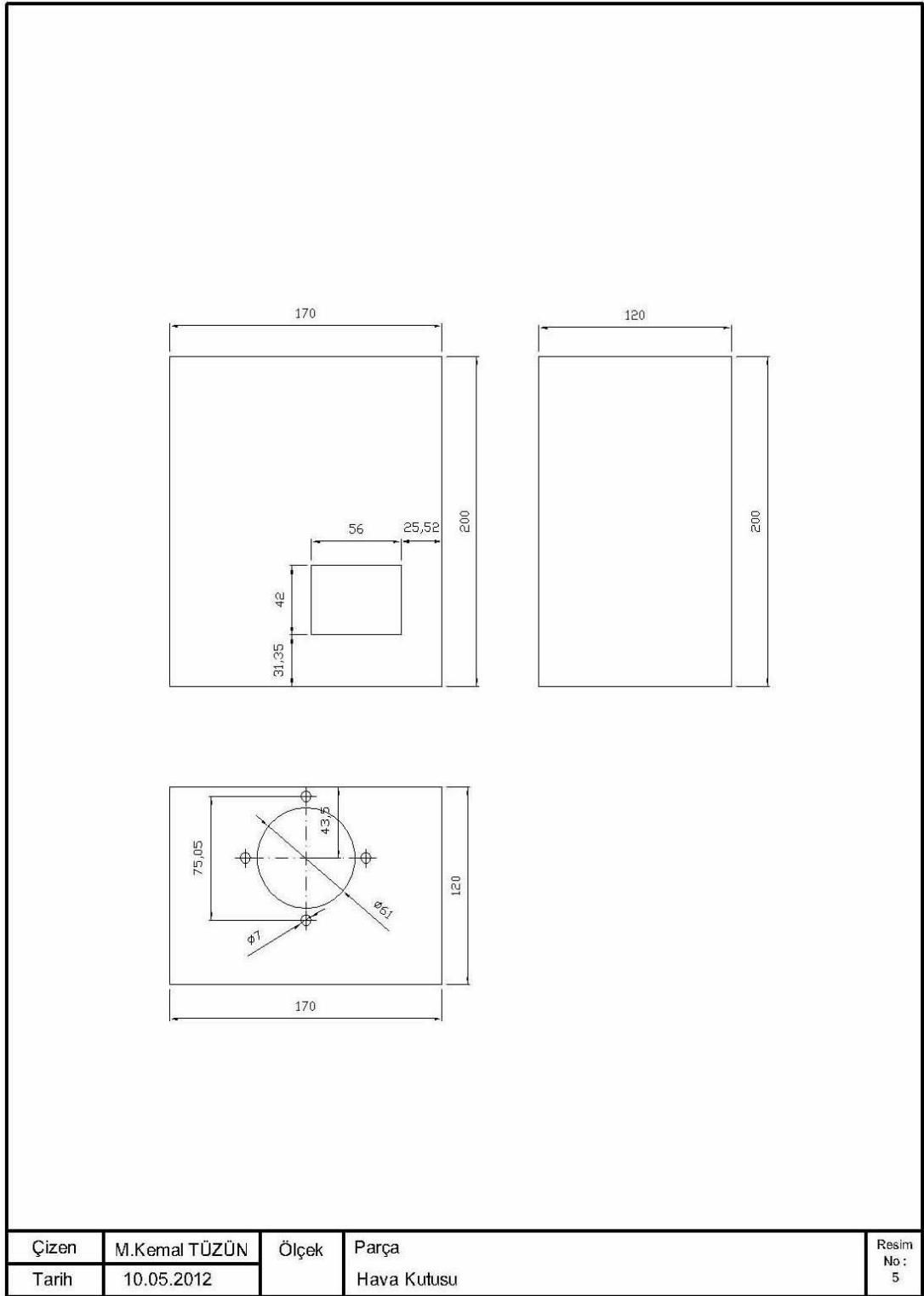
Çizen	M.Kemal TÜZÜN	Ölçek	Parça	Resim No : 3
Tarih	10.05.2012			

Şekil A.3. Yakıt yükleme borusu

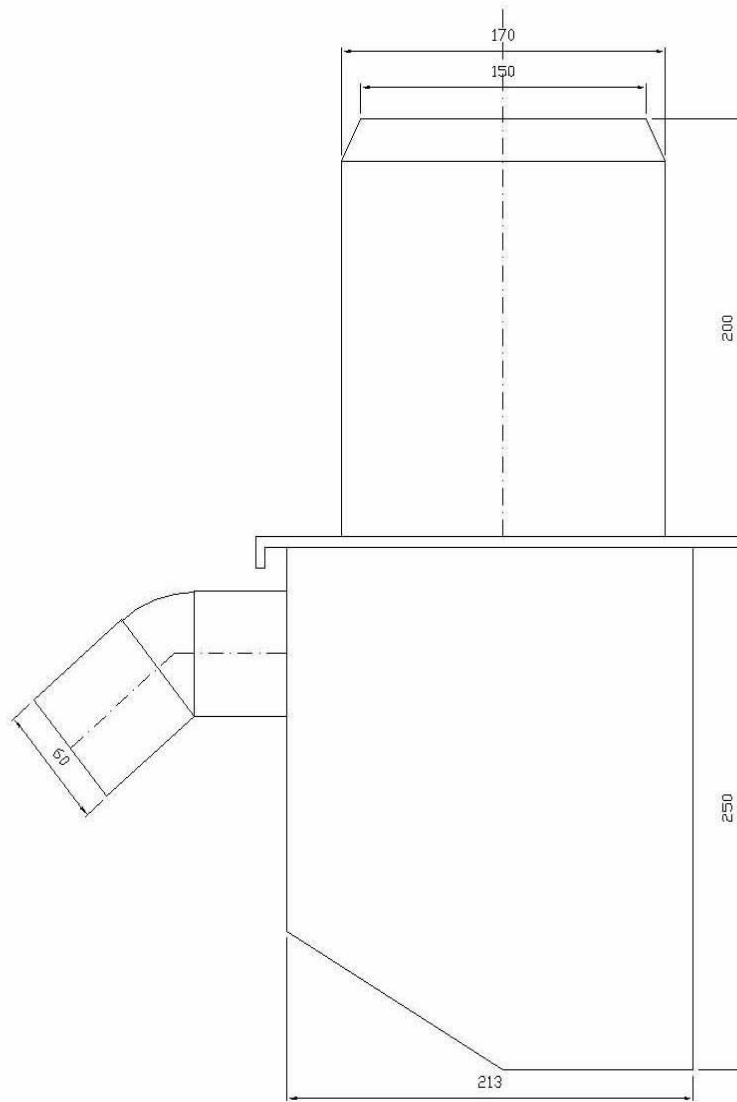


Çizen	M.Kemal TÜZÜN	Ölçek	Parça	Resim No : 4
Tarih	10.05.2012		Boru Bağlantı Flanşı	

Şekil A.4. Boru bağlantı flanşı



Şekil A.5. Hava kutusu

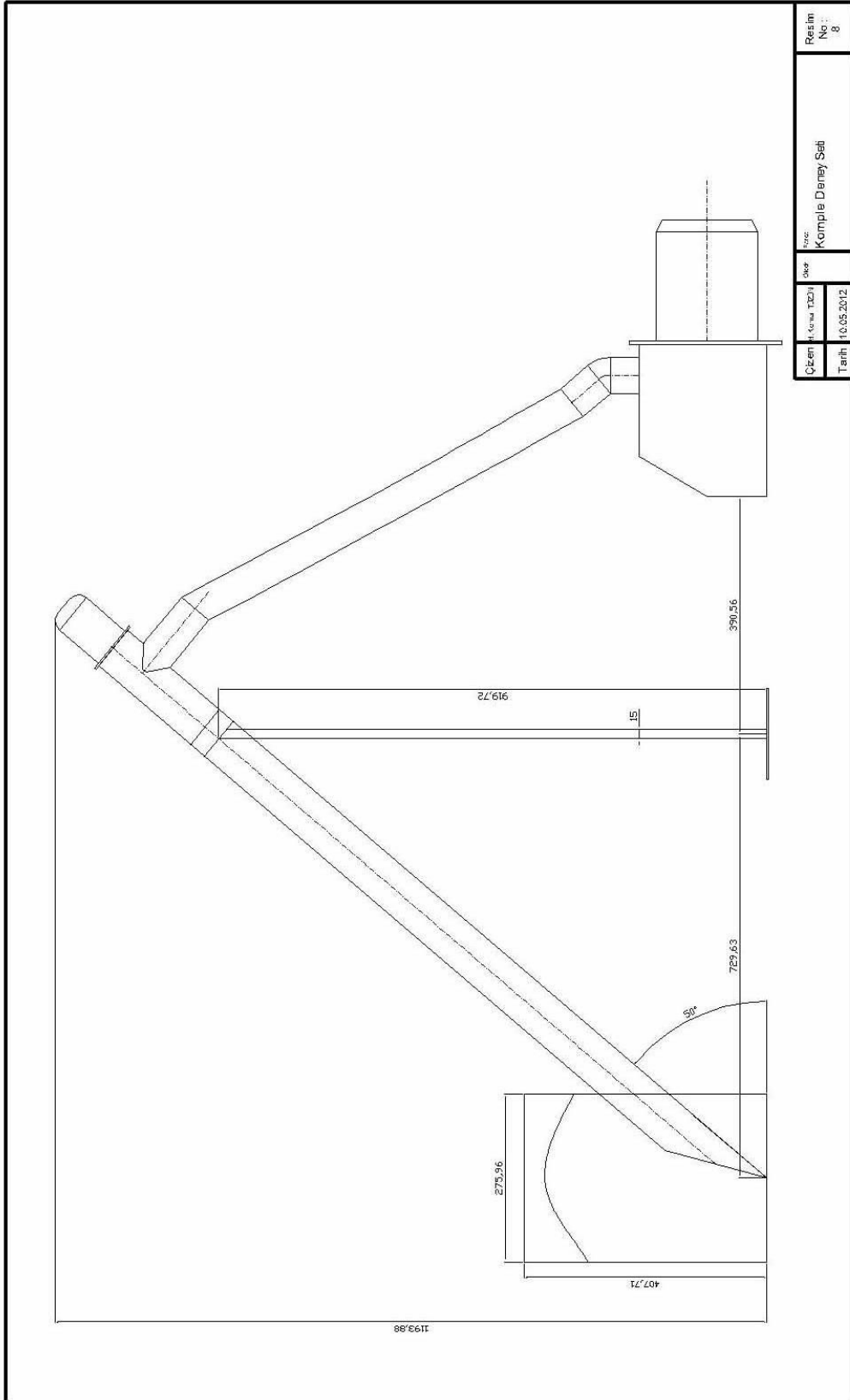


Çizen	M.Kemal TÜZÜN	Ölçek	Parça	Resim No : 6
Tarih	10.05.2012		Yakıcı Gövde	

Şekil A.6. Yakıcı gövde







Çizim No:	13271	Şerh:	Komple Deney Seti	Resim No:	8
Tarih:	10.05.2012				

Şekil A.8. Komple deney seti

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Kemal TÜZÜN  
Doğum yeri ve yılı : Ankara, 1987  
Medeni Hal : Bekar  
Yabancı Dil : Almanca  
E-posta : mustafakemal\_tuzun@yahoo.com



### Eğitim Durumu

Lise : Ankara Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi, 2005  
Lisans : SDÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği

### Mesleki Deneyim

Esendir Makina Ltd. Şti. Ar-Ge Bölümü, 2009-.....(halen)