

Pelet Yakıtlı Yakma Sistemlerinin Isıl Performans ve Emisyon Açısından İncelenmesi

Bilal Sungur¹

Bahattin Topaloğlu²

Mustafa Özbey³

ÖZ

Artan nüfusla birlikte enerji tüketimindeki artış enerjii tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir problem olarak karşımıza çıkarmaktadır. Özellikle sanayi ve konutlarda kullanılan enerjinin büyük çoğunluğunun ithal olması, araştırmacıları daha verimli sistemler tasarlamaya, mevcut sistemlerin verimini arttırmaya ve özellikle de alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya zorlamaktadır. Alternatif enerji kaynaklarından biri biyokütledir. Pelet yakıtı da biyokütle kaynakları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada güncel literatür incelenerek pelet yakıtlı soba ve kazanların teknolojileri, ısıl performansları ve emisyonları değerlendirilmiş, piyasa durumu belirlenmiştir. Sistemlerin ısıl verimlerinin %90 üzerinde gerçekleştiği, hava kirlenici emisyonlarının toz hariç düşük seviyede olduğu görülmüştür. Kojenerasyon sistemleri gibi yeni uygulamalar için uygun ve gelişme potansiyeline sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, yanma, pelet, pelet sobaları, pelet kazanları, pelet kazanı emisyonları

Investigation on the Thermal Performance and Emissions of Pellet-Fuelled Combustion Systems

ABSTRACT

The rising consumption of energy with growing population is an important problem not only in our country but also in the world. Since imported energy is used especially in the industry and buildings, researchers have to design more efficient systems, increase the efficiency of existing systems, and use particularly the alternative energy sources. One of the alternative energy sources is biomass. The pellet fuel is one of the biomass fuels. In this study, the literature is reviewed. The technologies, thermal performances and emissions of pellet-fuelled stoves and boilers are evaluated. The market conditions are determined. It was seen that the thermal efficiencies of systems were above %90, air pollutant emissions (except dust) were at low level. It has been observed that systems have development potential for new applications such as cogeneration systems.

Keywords: Biomass, combustion, pellet, pellet stoves, pellet boilers, pellet boiler emissions

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 13.11.2017

Kabul/Accepted : 06.06.2018

¹ Arş. Gör., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü - bilal.sungur@omu.edu.tr

² Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü - btopal@omu.edu.tr

³ Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü - mozbey@omu.edu.tr



1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle ile ilgili çalışmalar son yıllarda büyük hız kazanmıştır. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biyokütlenin ekonomik ve çevresel açıdan olumlu özellikleri de göz önüne alındığında, biyokütle konusuna ilgi giderek artmaktadır. Biyokütle, dünyada dördüncü en büyük enerji kaynağını oluşturması yönüyle önemli bir enerji kaynağı konumundadır. Birçok gelişmiş ülke biyoenerjiyi geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Örneğin AB ülkeleri enerji tüketiminin biyokütleden karşılanması ile ilgili olarak 2020'de %20 gibi bir hedef koymuşlardır [1]. Biyokütle ısınma ve sanayi amaçlı yakma sistemlerinde kullanılabilir. Kazanlar konutlarda ısınma amaçlı kullanıldığı gibi enerji gereksinimi olan birçok sanayi dalında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazanlarda enerji verimliliği, yanmanın mükemmelliğine ve yanma sonucu açığa çıkan enerjinin aracı akışkana transfer miktarına bağlıdır. Bununla birlikte baca gazı emisyonları ise yine yanmanın kalitesine, brülör tasarımına, yakıt içerisindeki kirleticilerin miktarına ve yakma sisteminin işletme şartlarına bağlıdır. Literatürde pelet yakıtlı yakma sistemleri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Mesela Fiedler [2], küçük ölçekli pelet yakma sistemleri (soba ve kazan) üzerine yaptığı çalışmada İsveç, Avusturya ve Almanya'da kullandıklarını inceleyerek geleneksel ısıtma sistemleri ile karşılaştırmalarını da içeren bir çalışma yapmıştır. Ayrıca çalışmada pelet yakıt, emisyonları ve ilgili teknolojilerini de inceleyerek geleceğe yönelik muhtemel düzenlemelerle faydalı olabilecek resmî olmayan bazı sertifikalar ve çevresel etiket önerileri de sunmuştur. Gonzalez J. ve ark. [3] 11,6 kW'luk kazanda farklı atıkların yanma proseslerini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Yakıt olarak üç adet biyokütle atığından elde edilen peletleri (domates, zeytin çekirdeği ve kenger) ve orman peletini kullanmışlar, atık tipi, yakıt debisi, baca çekişi ve atık karışımlarının yanma parametrelerine etkilerini çalışmışlardır. Üç atığın davranışlarının orman peletine benzediğini belirtmişler ve kazan verimlerinin domates, orman, zeytin çekirdeği ve kenger peletleri için sırasıyla %91, %90,5, %89,7 ve %91,6 olduğunu belirtmişlerdir. Carvalho L. ve ark. [4] 15 kW'luk pelet kazanında farklı biyokütle yakıtlarından elde edilen peletlerin teknik ve çevresel performanslarını değerlendirmişlerdir. Ayrıca verim kaybını engellemek için duman borularında sık sık temizlik yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Taşçı ve ark. [5] bireysel konutların ve binaların ısıtılmasında kullanılan pelet yakıtlı üstten beslemeli 60 kW ısıl gücünde silindirik bir kazan tasarımı yapmışlar ve çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sırasında her bir durum için CO, NO_x emisyonları, baca gazı çıkış sıcaklığı ve ısıl verim değerlerinin zamanla değişimlerini kaydederek gerçek çalışma şartlarındaki durumları incelemiş ve değerlendirmeler yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda kazan veriminin %93-94 ve baca gazı sıcaklıklarının 110 °C civarlarında olduğunu belirlemişlerdir. CO emisyonlarının 80-120 ppm arasında olduğunu, NO_x emisyonlarının ise 100-110 ppm arasında seyrettiğini ifade etmişlerdir. Collazo J. ve ark. [6] evsel pelet kazanının hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile simülasyonunu yap-



mışlardır. Gaz fazının modellenmesinde Finite rate/Eddy dissipation modelini kullanmışlardır. Model sonuçlarıyla deneysel sonuçların iyi uyum sağladığını belirtmişlerdir. Kazan analizlerinin sonucu olarak, su borularının pozisyonu ve hava girişlerinin dağılımının bu tarz sistemlerde yüksek emisyonlara neden olan önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Sui J. ve ark. [7] iki çeşit biyokütle yakıtı (briket) ile kömürün yanmasını ayrı ayrı sayısal olarak araştırmışlar ve yakıtların karakteristiklerini ve içeriklerini deneysel olarak test etmişlerdir. Biyokütle yakıtının kömür yakıtına göre daha yüksek uçucu içeriği, düşük sabit ve toplam karbon içeriği, yüksek oksijen içeriği, düşük ateşlenme sıcaklığı, yüksek yanma hızı ve ısıl değere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sayısal sonuçlar olarak sıcaklık, oksijen, karbondioksit dağılımlarını belirlemiş ve böylece bu faktörlerin yanma sürecine etkilerini yorumlamışlardır. Sungur ve Topaloğlu [8] örnek bir pelet kazanında farklı yükleme koşullarına göre oluşan yanmayı nümerik olarak incelemişlerdir. Hesaplamalarının sonucunda kazan ısı gücü arttıkça baca gazı sıcaklıklarının arttığını ancak kazan veriminin de düştüğünü ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada pelet yakıtı ve pelet yakıtlı soba ve kazanlar incelenmiş, yakma teknolojileri ve emisyonları araştırılmış, üretici firma kataloglarından yararlanılarak piyasa durumu belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Pelet Yakıtı

Talaş, odun yongaları, ağaç kabuğu, atık, zirai ürünler, ekin sapları, fındık, badem, ceviz kabukları, hatta atık kağıt gibi maddelerin öğütüldükten sonra yüksek basınç altında sıkıştırılması sonucu elde edilen pelet, genellikle 6-8 mm çapında, 10-11 mm arasında uzunluğunda, silindirik yapıya sahip tamamen doğal bir yakıttır.

Pelet yakıtının sürdürülebilir bir kaynak olması, fosil kaynaklı yakıt ithalatını azaltarak ülke ekonomisine katkı sağlaması, kullanımı sonrası atık miktarının az olması, zararlı egzoz emisyonlarının kabul edilebilir sınırlarda olması, ferdi sistemler için paket halinde satın alınabilir olması, nakliyesinin çok kolay olması, merkezi ısıtma sistemleri için binanın deposuna bir hortum ve pompa sistemi ile nakledilerek depolanabilmesi ve otomatik besleme yapılabilmesi gibi birçok avantajı vardır. Pelet yakıtının farklı maddelerden üretilmesi sebebiyle özellikleri de farklılıklar göstermektedir. Tablo 1’de farklı atıklardan elde edilen pelet yakıtlarının analizleriyle ilgili bilgiler verilmiştir.

Pelet yakıtın kimyasal ve mekanik özellikleri iyi yanma, yüksek verim, düşük emisyon ve partikül salınımı ile kül ve cüruf atığı açısından büyük önem arz etmektedir. Yüksek yanma verimi, düşük emisyon değerleri ve yakıt tasarrufu sağlamak için Tablo 2’de belirtilen standartlara göre pelet üretilmeli ve kullanılmalıdır. Pelet standart-

**Tablo 1.** Çeşitli Pelet Yakıtı Analizleri [3]

Analiz	Orman peleti	Domates peleti	Zeytin çekirdeği	Kenger peleti
Elemanter analiz (%)				
C	46,5	52,3	46,5	39,1
H	6,8	7,6	6,4	6,0
N	1,9	3,4	0,4	2,0
S	0	0,074	0	0,14
Cl	0,03	0,12	0,34	1,21
Yaklaşık analiz (%)				
Sabit karbon	13,8	9,4	16,2	14,9
Uçucu madde	76,4	80,1	72,7	62,9
Kül	1,0	3,5	2,3	11,3
Nem	8,8	7,0	8,8	10,9
Üst Isıl Değer (MJ/kg)	18,4	22,7	19,4	14,8

ları çoğu Avrupa ülkelerinde mevcuttur [9-13]. İsveç ve Almanya standartları birbirine denktir. Pelet yakıtta düşük nem içeriği yüksek ısıl değer için iyidir. Ayrıca, baca gazı kanallarında ve eşanjör yüzeylerinde cüruf oluşmasını önlemek için kül oluşumu olabildiğince az olmalıdır. Bunun için pelet ham maddesine bazı mısır veya mısır nişastası gibi doğal maddeler ilave edilir. Kimyasal tutkallar kullanılmamalıdır, fakat İsveç standartları bunu belirli ölçülerde tolere etmektedir. Yüksek yoğunluklu pelet yüksek ısıl değer ve kararlı yanma sağlamaktadır. Değişen yoğunluklar özellikle sabit hava kaynağı ve hacimsel pelet yükleme durumunda önemli problemlere sebep olur.

Peletin depodan yanma odasına taşınması için pelet boyutları önemli rol oynar. Avusturya ve Almanya pazarındaki çoğu transport sistemleri için optimum pelet çapı yaklaşık 6 mm'dir [14]. İsveç'te ise 8 mm'dir [15]. Önemli bir kalite parametresi de peletin mekanik dengesini gösteren aşınmadır. Avusturya standartları lingo-test adında bir aşınma değerinin belirlenmesini gerektirir [16]. Bu testte pelet mekanik strese maruz bırakılır ve dökülen küçük pelet parçacıkları ölçülür.

Avusturya'da Ö-Norm, Almanya'da ise DIN plus normları pelet kalitesini yükseltmek için bir pazarlama ögesi olarak düzenlenmektedir, fakat zorunluluk yoktur. Tablo 2'de Alman DIN normları, Avusturya Ö-normları ve ülkemizde de kullanılan Avrupa EN normları karşılaştırmalı olarak verilmiştir [2, 17].

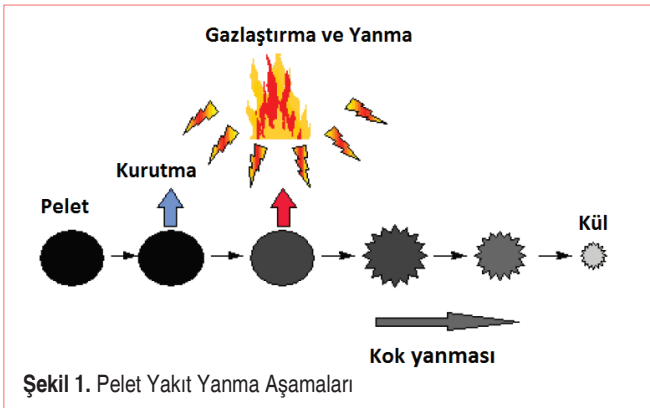
Tablo 2. Odun peleti standartları [2, 17]

Parametre	Birim	DIN 51731	DIN Plus	ÖNORM 7135	ISO 17225-2		
					ENplus A1	ENplus A2	ENplus B
Çap	mm	4-12	-	4-10	6±1 ya da 8±1		
Uzunluk	mm	<50	<5xD	<5xD	3,15<L≤40 ¹		
Yoğunluk	kg/m ³	1,0-1,4	>1,12	>1,12	-		
Su içeriği	%	<12	<10	<10	≤ 10		
Kül	%	<1,5	<0,5	<0,5	≤0,7	≤1,2	≤2,0
Alt ısııl değer	MJ/kg	17,5-19,5	>18	>18	≥ 16,56		
Sülfür	%	<0,08	<0,04	<0,04	≤0,04	≤0,05	
Azot	%	<0,3	<0,3	<0,3	≤0,3	≤0,5	≤1,0
Klor	%	0,03	<0,02	<0,02	≤0,02		≤0,03
Kum taşı	%	-	<2,3	<2,3	-		
Bağlayıcı madde	%	-	<2	<2	-		

¹Peletlerin maksimum %1'i 40mm'lik uzunluğu aşabilir. Uzunlukları 45 mm'ye eşit veya daha fazla olan peletlere izin verilmez.

2.2 Yanma

Pelet yakıtının yanması diğer katı yakıtlarda olduğu gibi dört aşamada gerçekleşir: 1) Suyun buharlaşması ile kuruma, 2) Gazlaştırma (piroliz) ile uçucu bileşenlerin ayrılması, 3) Uçucu (gaz) bileşenlerin yanması, 4) Kok (sabit karbon) yanması. Bu aşamalar Şekil 1'de gösterilmiştir.





Pelet yanmasında düşük emisyon ve düşük cüruf ile tam yanmayı sağlamak için, yanma havasının miktarı ve temin yöntemi aşırı öneme sahiptir. Yanmayı optimize etmek için yanma ortamını birincil ve ikincil yanma bölümleri olarak ikiye ayırmak gereklidir. Her iki bölgenin de kendi hava temini olmalıdır. Birincil yanma bölgesinde yanma, önce kurutma aşaması ardından da piroliz ve son yanma aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Kurutma aşamasında peletlerin bünyesinde kalan nemin buharlaşması ve peletleri terk etmesi sağlanır. Ardından, ısı etkisiyle kuru peletler piroliz ile bozunarak yanıcı ve uçucu gaz bileşenleri ve kok oluşur. Birincil yanma enerji girişi gerektirir ve buradaki yanma stokiometrik oranın altında, yani eksik hava ile gerçekleşir. Bu sırada ikincil yanma bölgesinde yanıcı gazlar hava fazlalığı ile yakılmaktadır. Eş zamanlı olarak kok birincil yanma bölgesinde yakılır. Her iki oksitlenmeler sırasında, enerji salınır. Aynı zamanda birincil yanma bölgesine sürekli olarak yanmamış granül pelet beslenir. Optimal bir yanma için oluşan yanma ürünleri ile ikincil havanın uygun bir şekilde karışmaları gereklidir. Bu husus, yanma odasının geometrisi, sekonder hava nozullarının uygun düzenlenmesi ve tasarımı ile elde edilebilir. Mümkün olduğu kadar uzun baca gazı bekleme süreleri yanmanın tam olmasını sağlar [14].

İkinci yanma bölgesindeki fazla hava miktarı, sadece karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonlar (Unburned hydrocarbon-UHC) için değil, aynı zamanda azot oksitler (NO_x) için de önem taşımaktadır. NO_x emisyonları ile CO ve UHC emisyonları arasında ters bir orantı vardır. Fazla havanın düşük olması CO ve UHC emisyonlarını artırırken, NO_x emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Buna karşılık, fazla havanın yüksek olması NO_x emisyonlarının artmasına ve diğerlerinin ise azalmasına neden olmaktadır. Yapılan ölçümler pelet brülörlerinin konvansiyonel sıvı yakıt brülörlerine oranla genellikle 2-4 kat daha fazla NO_x emisyonu yaydığını göstermiştir. Pelet kazan ve brülörleri, örneğin İsveç piyasasında, ağırlıklı olarak yüksek fazla hava ile çalışmak üzere geliştirilmiştir. Değişken hızlı fan kullanarak hava temini sağlayan sistemler de mevcuttur. Bu amaçla CO veya bir lambda sensörü kullanılmakta, böylece bu emisyonların azaltılması da sağlanmaktadır. Almanya ve Avusturya piyasasında bu tür kazanlar üretilmektedir [18, 19, 20]. Buna karşılık İsveç piyasasındaki kazanlarda hava ayarı daha çok manuel olarak yapılmaktadır [2].

Düşük karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar ve azot oksitler için diğer iki önemli parametre yanma odasındaki yanma ürünlerinin sıcaklığı ve kalma süresidir. Yüksek sıcaklık ve uzun bir kalış süresi CO ve UHC emisyonlarını neredeyse sıfır seviyesine düşürürken azot oksitlerini arttırmaktadır. Bu durumda azot oksitlerini azaltmak için kademeli yakma yöntemi uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır [21].

3. PELET YAKITLI YAKMA SİSTEMLERİ

Kazanlar, yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisini bir akışkana verecek şekilde imal edilmiş ve basınç altında çalışan ısı değiştiriciler olarak da tanımlanabilir.

En temel hâliyle Alev/Duman Borulu ve Su Borulu Kazanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bir kazanın temel parçaları yanma odası/brülör/ateşleme sistemi, besleme sistemi ve ısı değiştiricilerdir. Isı değiştiriciler, pelet yakıtlı kazanlarda büyük oranda (yaklaşık %90) duman borulu olarak tasarlanırlar. Su borulu ısı değiştiriciler, talaş ve odun kütüğü yakan kazanlarda daha çok tercih edilir. Genellikle (%80) pelet yakıtlı kazanlarda duman boruları dikey olarak yerleştirilirler [22].

Pelet yakıtlı kazan (boyler) ve soba olarak iki tip sistem bulunmaktadır. Kazanda yanmış gazların ısı enerjisi bir eşanjör (ısı değiştirici) yardımıyla tesisat suyuna aktarılır. Bu sistemler, tek veya çoklu konutların kalorifer tesisatı ile ısıtılmasında kullanılırlar. Bu sistemlerin maksimum ısı gücü aralığı 10-40 kW'dur. Isı talebine göre %30-100 kapasite aralığında otomatik kontrole sahiptirler. Şekil 2'de pelet yakıtlı bir kazanın şematik görünümü verilmiştir.

Pelet yakıtlı kazanlar temel olarak konvansiyonel sıvı yakıtlı kazanlar gibi tasarlanırlar. Yakıt, depodan yanma odası içindeki yakıcı görevini üstlenen hazneye beslenir. Son-

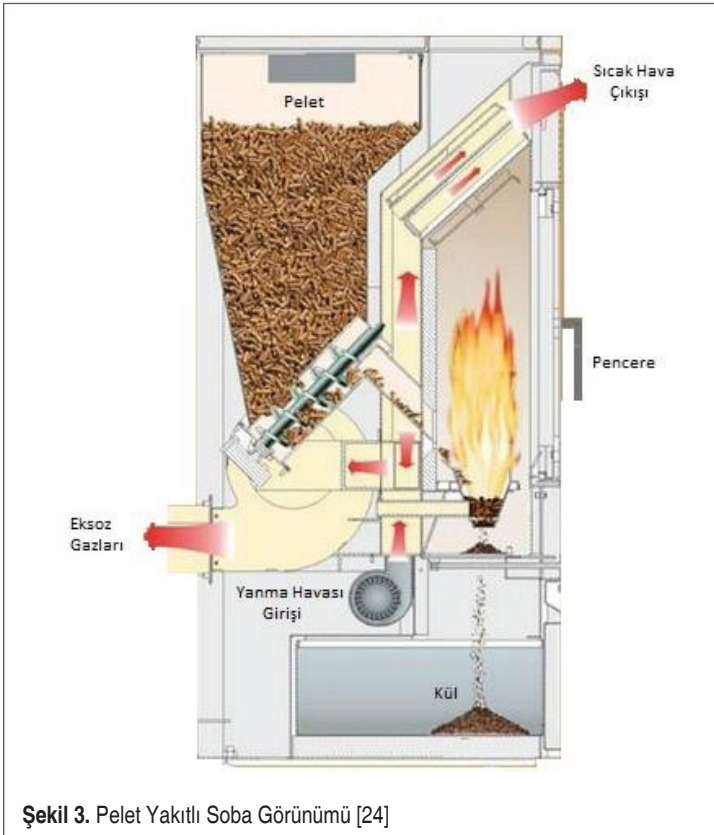




ra, burada tutuşma ve yanma gerçekleşir. Yakıtın yanmasıyla açığa çıkan baca gazları ısı değiştirici etrafındaki birkaç kanaldan iletilir ve ısı enerjisi ısı değiştirici içindeki suya aktarılır. Isınan su bir sirkülasyon pompası vasıtasıyla kalorifer tesisatına pompalanır. Isı transferini iyileştirmek ve yeterli miktarda yanma havasını sağlamak için bir fan kullanılır. Yanma odasının ve ısı değiştiricinin boyutu uygun yanma ve yeterli ısı transferinin sağlanması bakımından önem arz etmektedir. Ayrıca, kazan yerleştirildiği mahale ısı kaybını önlemek için tamamen izole edilir.

Kazanlar, sistem verimliliğini artırmaya yönelik yeterli miktarda hava sağlamak amacıyla bir emme fanı ile, optimum yanma ve ısı enerji modülasyonu amacıyla da bir lambda sensörü ile donatılabilir. Bu özelliklerle donatılmış sistemlerin verimi %94'lere kadar artmaktadır. Bu özelliklere sahip olmayan standart sistemlerin verimleri %85'ten daha düşüktür ve daha yüksek emisyonlar salmaktadır.

Sobalar ise tek bir odanın ısıtılması için kullanılır. Açığa çıkan ısının taşınım ve ışıma yoluyla mahale transferi ile ısıtma gerçekleştirirler. Şekil 3'te pelet yakıtlı bir sobanın



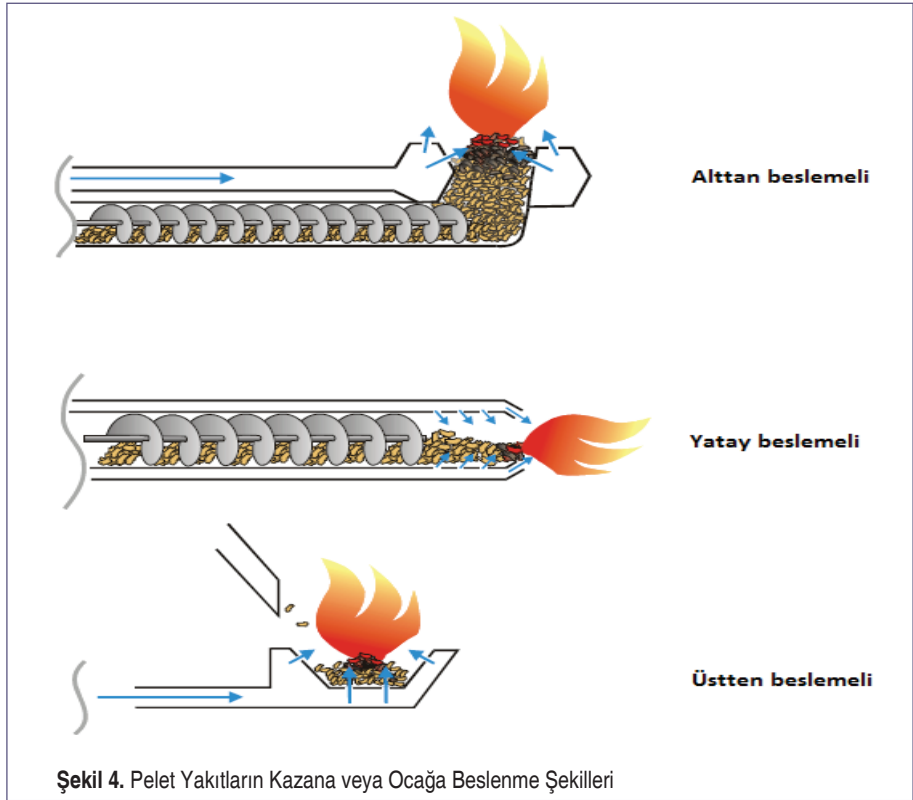
Şekil 3. Pelet Yakıtlı Soba Görünümü [24]

şematik görünümü verilmiştir. Bazı sobalar kalorifer tesisatına bağlı su ceketleri ile donatılmıştır. Isıtma güçleri en fazla yaklaşık 10 kW'dur. Manuel veya otomatik olarak oda sıcaklığına göre kontrol edilebilirler.

Pelet sobaları da kazanlara benzer prensibe sahiptirler. Teori ve konstrüksiyon olarak oldukça benzerdirler. Genelde kapasiteleri ile sınıflandırılırlar. Sobalar, genellikle bir iki günlük yeterli miktarda pelet yakıt deposuna sahiptirler. Az da olsa pelet yakıt deposu kazanlarda olduğu gibi ayrı olan tipleri de mevcuttur [25]. Kazanlarda olduğu gibi pelet yakıt sobaya entegre brülör ile yakılır. Yanma için gerekli birincil hava ve otomatik yanma için gerekli sıcak hava pelet potası altındaki açıklıklardan sağlanır. Bu işlem için yakıcının altına bir emme fanı yerleştirilir. Kül uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için pelet manuel veya otomatik hareket ettirilebilen bir plaka yardımıyla kül haznesine dökülür.

3.1 Pelet Besleme Sistemleri

Pelet besleme sistemleri kazana veya ocağa beslenme şekline göre prensip olarak üçe ayrılır: alttan beslemeli, yatay beslemeli ve üstten beslemeli (Şekil 4). Altan besleme-



Şekil 4. Pelet Yakıtların Kazana veya Ocağa Beslenme Şekilleri



li ve yatay beslemeli durumda pelet yakıtları yanma odasına alttan girerler ve tasarım şekline göre yatay veya yukarı doğru alev oluşur. Üstten beslemeli durumda peletler depolama tankından helezonlar yardımıyla ızgaraya düşerler. Böylece güç ihtiyacına göre daha hassas bir besleme elde edilebilir. Soba ve kazanlarda en çok kullanılan tip üstten beslemeli brülörlerdir. Bu tiplerin avantajı pelet deposunun yanma odasından ayrı olması ve böylece geri yanma tehlikesinin düşük olmasıdır. Ancak üstten düşen peletler toz artışına ve sürekli olmayan yanmadan dolayı yanmayan partikül oluşumuna sebep olurlar [2].

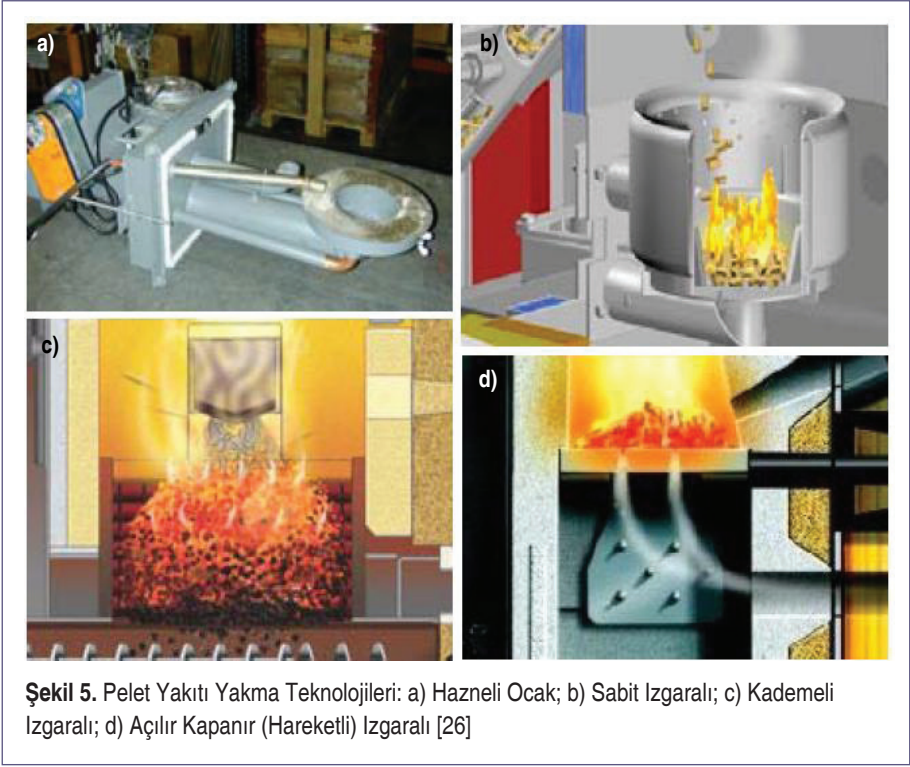
3.2 Pelet Yakma Hazneleri ve Ocakları

Pelet yakmada kullanılan teknolojiler, sorunsuz ve tüketiciye yüksek konfor sağlayan sistemler olmalıdır. Bu kapsamda, uygun ve dayanıklı malzemelerin kullanılması (servis ömrü gibi sebeplerden dolayı) yakma sistemi için oldukça önemlidir. Yanma odası paslanmaz çelik, ateş tuğlası ve silikon karbür gibi malzemelerden yapılabilir. Paslanmaz çelik, düşük ısı depolama kapasitesine sahip, ucuz ve paslanmaya dirençli bir malzemedir. Paslanmaz çeliklerin cüruf oluşturma tehlikesi ateş tuğlalarından daha düşüktür. Ateş tuğlaları paslanmaz çeliklere göre daha pahalıdır ve daha yüksek ısı depolama kapasitesine sahiptir. Silikon karbürler, kül ile reaksiyona girmezler dolayısıyla tortu ve cüruf oluşumuna karşı dirençlidir ve bu nedenle yanma odalarında kullanmak için çok uygundur. Ancak silisyum karbürlerin fiyatları daha pahalıdır [26].

Pelet brülörlerinde helezon taşıyıcılar kullanılır ve bu taşıyıcılar peleti brülör borusu içinden taşır ve yanma yatağı (haznesi) içine iter ve burada yanma gerçekleşir. Yanma havası pelet ile beraber veya yanma haznesindeki açıklıklardan sağlanır. Kül ise pelet ile yer değiştirir ve yanma haznesindeki açıklıklardan kül haznesine veya kül transport sistemine düşer. Bu tip brülör ile yanma oldukça uygundur, fakat pelet besleme tipine bağlı olarak yanma sonrası periyodu uzun olabilir. Geri tutuşmayı minimize etmek için ilave önlemler gerekmekte olup daha fazla geliştirme çalışmaları yapılmaya ihtiyaç vardır [14].

Altan beslemeli brülörler daha çok talaş yakıtlar için tasarlanmış olmakla beraber pelet için de uygun olabilir. Yatay beslemeli brülörler de alttan beslemelilere oldukça benzerdir, tek fark yanma yatağının şeklidir ve bu tip brülörlerde ilave olarak sürekli olarak kül uzaklaştırma gereklidir.

Pelet yakıcıları, tasarımına göre hazneli ocak ve ızgaralı ocak olarak ikiye ayrılabilirler. Izgaralı ocaklar ayrıca sabit ızgaralı, açılır kapanır (hareketli) ızgaralı ve kademeli ızgaralı sistemlere ayrılabilirler ve bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir. Hazneli ocaklar daima alttan beslemeli yakıcı olarak tasarlanırlar. Izgaralı ocaklar ise yatay



ve üstten beslemeli yakıcı olarak tasarlanırlar [26]. Ayrıca, otomatik biyokütle yakma sistemlerinde itici plakalı (ızgarasız) ve yatak altından su soğutmalı gibi tasarımlar da mevcuttur [27].

3.3 Pelet Ateşleme Sistemleri

İncelenen kazanların %94'ünde yakıt ateşlemesi, aşağıdaki tekniklerden biri kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirilir:

- **Sıcak havanın kullanılması (%35):** Sıcak hava jeneratörü, ekipmanın elektronik kartında bulunan bir mikro işlemci tarafından kontrol edilir ve ateşleme alevini üretir.
- **Elektrik kullanımı (%53):** Elektrik ateşlemesi, mevcut kazanlardan yarısında kullanılmıştır ve elektrik rezistansı kullanılarak üretilir.
- **Seramik ateşleme kullanma:** Seramik akkor bir çubuktan oluşan yakıt ateşlemesinde ateşleyici sadece 250 W elektrik tüketir ve 1500-1800 W tüketen bir sıcak hava ateşlemesine göre avantaj sağlar.



Pelet yakıtlı kazanların %56'sında ve sobaların %66,9'unda seramik ateşleme tercih edilir [22].

3.4 Kontrol Teknikleri

Piyasadaki en gelişmiş kazanlar, üreticiye bağlı olarak uygulanan çeşitli kontrol parametreleriyle birlikte otomatik bir kontrol sistemine sahiptir. Bu kontrol, mümkün olan en iyi performansı garanti etmek ve her durumda mümkün olan en düşük emisyonları sağlamak için çok önemlidir. Performans hem yanmanın başlangıcında hem de sonunda nominal (tam) ve kısmi güçte sağlanmalıdır.

Yanma için en yaygın kontrol cihazı lambda probudur. Bu prob baca içine yerleştirilir ve oksijen konsantrasyonunu belirleyerek kontrol eder. Amaç, tam yanma sağlamak için oksijen seviyelerini ayarlamaktır. Azaltılmış oksijen seviyesine ulaşıncaya kadar ikincil hava temini artırılır veya azaltılır.

Modüler kontrol teknikleri, pelet kazanlarında ve sobalarında önemli oranda uygulanmaktadır. Pelet yakıtlı kazanlarda modüler kontrol kullanımı %40,1 iken sobalarda bu değer %43,3'tür. Lambda probu ile kontrol ise pelet yakıtlı kazanlarda %42,0 iken sobalarda bu değer %4,5 değerindedir [22].

3.5 Güvenlik

Pelet yakıtlı ısıtma sistemlerinde en önemli problem yanma odasından pelet taşıyıcı ve deposuna geri tutuşma (yanma) tehlikesidir. Bu problemi çözmenin en basit yolu sıcaklık kontrollü kapaklı üstten beslemeli brülör kullanmaktır. Yatay ve alttan beslemeli brülörlerde ise çark tipi hücre kilit mekanizması kullanmaktır. Bu mekanizmada peleti taşıyan çark alevin pelete ulaşmasını önler. Diğer bir önleme mekanizması da helezon taşıyıcıyı pelet deposundan ve brülörden ayıran düşen mil sistemidir. Bazı kazanlarda belirlenen sıcaklık aşıldığında alevi söndürmek için sprej sistemi kullanılır [2]. Ayrıca, pelet deposunun bağlantı borularının yanmaz malzemeden olması gereklidir.

3.6 Bakım

Pelet yakıtlı kazanlar genel olarak konvansiyonel kazanlara kıyasla daha çok bakıma ihtiyaç duyarlar. En yaygın bakım ve temizlik gereksinimleri şunlardır:

- Baca kanallarının temizlenmesi
- Brülörün kül ve cüruftan temizlenmesi
- Kül haznesinin boşaltımı
- Soba pencere ve kapaklarının temizlenmesi



Baca gazı kanallarının periyodik olarak temizlenmesi gerekir. Aksi takdirde kül ve cüruf kalıntılarının boru ve kanal kesitlerini daraltması nedeniyle hava çekişi azalmakta, yetersiz yanma ve CO artışı gözlemlenmektedir [2].

Tam otomatik kazan temizleme sistemlerinde, duman boruları bir elektrik motoruyla tahrik edilen spiral kazıyıcılarla, yarı otomatik sistemlerde ise bir kol vasıtasıyla dışarıdan çalıştırılan spiral kazıyıcılarla temizlenmektedir. Otomatik kazan temizleme sistemleri verimi arttırmakta ve toz emisyonlarını düşürmektedir.

Modern biyokütle kazanları, çok temiz ve verimli yanma nedeniyle çok düşük bir kül hacmi üretir. Brülörde biriken kül ve yanma odasındaki uçucu kül düşünülmelidir. Bu küller, kazan için özel olarak bu amaçla yerleştirilen depo kutularında toplanır. Brülörde toplanan kül otomatik olarak bertaraf edilir. Bu brülörler sıklıkla titreşimli ızgaralar, vibratörler, menteşe cihazları, salıncak ızgaraları gibi bu külün ortadan kaldırılması için özel mekanizmalarla oluşturulurlar.

Pelet yakıtlı soba/kazanlarda çeşitli kül giderme sistemleri kullanılmaktadır. Izgaradaki veya haznedeki küller genellikle kül sandığında toplanır. Bu kül sandığı periyodik olarak boşaltılmalıdır [26]. Çoğu sistemlerde haftada bir boşaltılır. Büyük sistemlerde ise kül, yanma odasından helezon taşıyıcı ile çekilir ve kül deposunda sıkıştırılarak depolanır. Bu tip sistemlerde sadece yılda üç kez boşaltım yeterli olabilir.

Otomatik ısı eşanjörü temizleme sistemlerinin kullanımı son yıllarda %78'e yükselmiştir. Tercih edilen temizleme cihazı, incelenen kazanların %63'ünde kullanılan türbülötörlerdir. Kazanların %22'sinde yaylar veya spiraller kullanılırken, kazanların sadece %9'unda akış devirdaim sistemleri kullanılmaktadır [22].

3.7 Pelet Yükleme Sistemleri ve Depoları

Çoğu sistemlerde kazanlar depolardan ayrı yerleştirilir. Depodan peleti kazana taşımak için genellikle iki tip sistem kullanılır: helezon konveyör taşıyıcılar ile vakumlu sistemler. Konveyör taşıyıcılar depo ile kazan arasındaki mesafenin az, vakumlu sistemler ise mesafenin fazla olduğu durumlarda tercih edilir. Yıllık ısı enerjisi ihtiyacı 20000 kWh olan bir ev için (yılda bir dolum yapıldığı takdirde) 6-8 m³ pelet deposu gereklidir [2].

3.8 Baca

Pelet yakıtlı soba ve kazanlar egzoz gazlarının atmosfere atımı için bir bacaya ihtiyaç duyarlar. Avrupa'da yasal düzenlemelere göre de pelet yakıtlı ısıtma sistemlerinin bacasız ve direkt olarak duvardan dışarıya egzoz edilmesine müsaade edilmemektedir. Buna ilaveten düzenlemeler baca malzemesi ve boyutlarını da belirlemektedir. Baca-ya bağlanan baca gazı kanalları ve boruları yüzey sıcaklıkları 100°C'yi geçmemelidir. Fakat bacada yoğunlaşmayı önlemek için egzoz gazlarının minimum sıcaklığının ne ol-



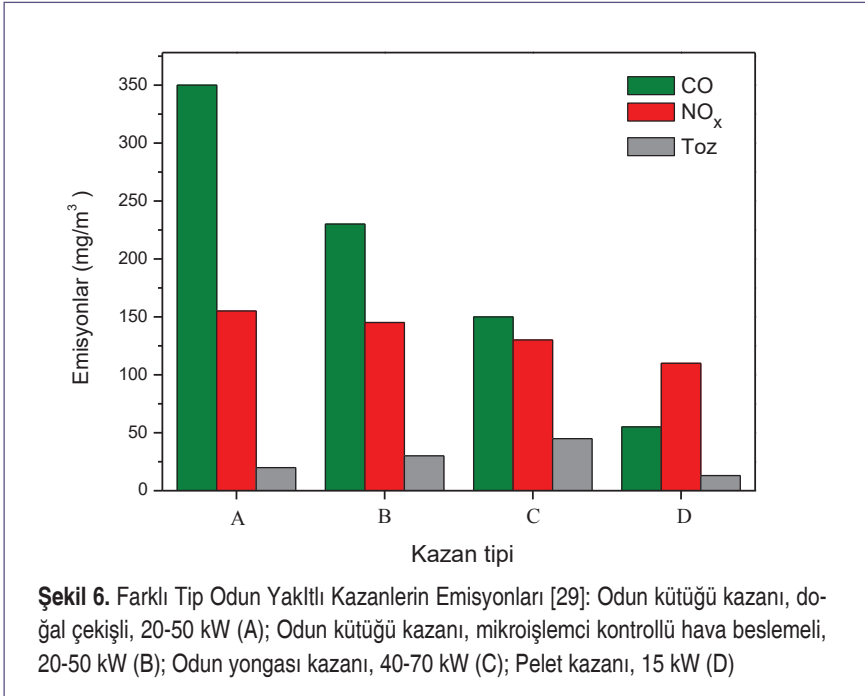
ması ile ilgili bir düzenleme mevcut değildir. Yoğuşmalı kazanlar için standart tuğla bacalar uygun değildir, neme dirençli bacalar kullanılmalıdır [28].

3.9 Emisyon Düzenlemeleri

Yoğun yerleşim bölgelerinde ısınma amaçlı olarak aşırı katı yakıt kullanımı, uygun olmayan kullanımlar ve yetersiz bakıma bağlı olarak hava kalitesini düşürmekte ve sağlık riskleri artmaktadır. Tehlikeli egzoz gazlarından ve partiküllerden korunmak için yasal düzenlemeler gereklidir ve ayrıca bu düzenlemeler üreticileri daha düşük emisyonlar için ürünlerini geliştirmeye teşvik etmektedir. Pelet kazanların diğer tip kazanlara kıyasla daha düşük miktarlarda emisyon ve partikül salınımına sebep olduğu Şekil 6’da görülmektedir [29].

Bazı Avrupa ülkelerinde ve ülkemizde de yürürlükte olan EN 303-5 normuna göre karbonmonoksit (CO), organik karbon gazları (Organic Gaseous Carbon-OGC) ve partikül madde (toz) için emisyon sınır değerleri Tablo 3’te verilmiştir [30].

Almanya, İsveç gibi bazı Avrupa ülkelerinin pelet sistemlerinin emisyonları ile ilgili özel düzenlemeleri de mevcuttur. Yasal düzenlemelere ilaveten bazı sertifikalar da mevcuttur. Ürün bir dizi teste tabi tutulur ve sonuçlara göre sertifikalandırılır. Bu sertifika pazarda önemli bir avantaj sağlar. Benzer bir yöntem de yüksek verimli ve





Tablo 3. Emisyon Sınır Değerleri [30]

Yükleme	Yakıt	Güç (kW)	CO*			OGC*			Toz*		
			Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5
Manuel	Canlı kökenli	≤ 50	5000	1200	700	150	50	30	150	75	60
		>50 ≤ 150	2500			100			150		
		>150 ≤ 500	1200			100			150		
	Fosil	≤ 50	5000			150			125		
		>50 ≤ 150	2500			100			125		
		>150 ≤ 500	1200			100			125		
Otomatik	Canlı kökenli	≤ 50	3000	1000	500	100	30	20	150	60	40
		>50 ≤ 150	2500			80			150		
		>150 ≤ 500	1200			80			150		
	Fosil	≤ 50	3000			100			125		
		>50 ≤ 150	2500			80			125		
		>150 ≤ 500	1200			80			125		

*Emisyon sınır değerleri 0°C, 1013 mbar ve %10 O₂ kuru baca gazı şartlarında mg/m³ olarak verilmiştir.

düşük emisyonlu kazanların ekolojik etiketlenmesidir. Örneğin, Almanya’da Bla-uer Engel (Mavi Melek), Avrupa genelinde Eco-Label çevre dostu ürünler için yaygın kullanılan etiketlenmedir. Ayrıca bazı Avrupa Birliği ülkeleri düşük emisyonlu ve yüksek verimli sistemler için finansal teşvik vermektedir [31-41].

4. PELET YAKITLI KAZANLARIN PİYASA DEĞERLENDİRMESİ

Piyasada çok sayıda pelet yakma sistemi üreten firma mevcut olup, buna bağlı olarak çok farklı tasarımlar ve teknik detaylar bulunmaktadır [18, 19, 42-50]. Bu sistemlerin biri yatay beslemeli [50], diğer sistemler üstten beslemelidir. Ayrıca NOx emisyonlarını azaltmak için eksoz gazı resirkülasyonu (EGR) kullanılan sistem [43] ve yoğuşmalı sistem de mevcuttur [49]. Örnek olarak incelenen bu üretici firmaların bilgilerinden derlenen teknik veriler Tablo 4’te sunulmuştur. Tabloda tam yüklem ve kısmi yüklem olmak üzere iki grupta inceleme yapılmıştır. Dikkat edilirse genel olarak pelet yakıtlı kazanların verimleri %90’ın üstünde çıkmıştır. Kazan ısı gücü arttıkça baca gazı sıcaklığının da genelde arttığı görülmektedir. Yoğuşmalı kazanların yoğuşmasız kazanlara göre yaklaşık olarak %13’lük bir verim artışı sağladığı görülmektedir. Emisyonlar açısından incelenecek olursa genelde tam yüklem durumunda oluşan CO emisyonları kısmi yüklem durumunda oluşan CO emisyonlarına göre daha düşük seviyededir ve bu durum Tablo 4’te görülmektedir. Bunun sebebi genellikle katı yakıtların yüksek hava fazlalık katsayıları ile yakılması gösterilebilir. Bunun



Tablo 4. Piyasada Üretilen Bazı Pelet Kazanlarının Teknik Verileri

Üretici Firma/ Referans	Model	Güç aralığı (kW)	Tam yükleme				Kısmi yükleme			
			CO ₂ (%hacim)	CO (mg/m ³)	Baca Gazı Sıcaklığı (°C)	Verim (%)	CO ₂ (%hacim)	CO (mg/m ³)	Baca Gazı Sıcaklığı (°C)	Verim (%)
Evergreen [42]	Biotech	2,4-9,2	13,1	---	95,0	92,0	10,5	---	54,0	92,2
Evergreen [42]	Biotech	4,1-14,5	13,3	---	94,4	93,6	7,8	---	50,1	96,3
Evergreen [42]	Biotech	4,5-14,9	13,5	---	125,0	93,0	9,9	---	79,0	93,5
ETA [43]	PC20	6,0-20,0	13,0	7,0 (13%O ₂)	130,0	94,8	10,0	25,0 (13%O ₂)	90,0	91,8
ETA [43]	PC25	7,3-25,0	13,5	7,0 (13%O ₂)	135,0	95,2	10,5	21,0 (13%O ₂)	95,0	92,2
ETA [43]	PC32	7,3-32,0	13,5	7,0 (13%O ₂)	140,0	94,5	10,5	21,0 (13%O ₂)	95,0	92,2
İfyıl [44]	GT 25	8,3-25,0	---	---	118,0	91,5	---	---	---	---
Brunner [45]	Pelletini12	3,6-12,0	---	---	90,0	---	---	---	---	---
Brunner [45]	Pelletini15	4,5-15,0	---	---	90,0	---	---	---	---	---
Fröling [18]	P4 8	3,1-10,5	---	---	---	90,0-95,7	---	---	---	90,0-95,7
Fröling [18]	P4 15	3,1-14,9	---	---	---	90,0-95,7	---	---	---	90,0-95,7
Fröling [18]	P4 20	6,0-20,0	---	---	---	90,0-95,7	---	---	---	90,0-95,7
Guntamatic [46]	Biostar12	3,3-12,0	---	---	---	94,7	---	---	---	94,7
Guntamatic [46]	Biostar15	3,5-15,0	---	---	---	94,8	---	---	---	94,8
Arıkazan [47]	Lesta12	3,6-12,0	---	---	170,0	>%90,0	---	---	120,0	>%90,0
Arıkazan [47]	Lesta18	5,4-18,0	---	---	170,0	>%90,0	---	---	120,0	>%90,0
Hargassner [48]	Classic12	3,5-12,0	13,7	45,0 (mg/MJ)	---	93,6	7,1	---	31,0 (mg/MJ)	90,4
Hargassner [48]	HSV15	4,5-16,8	15,1	18,0 (mg/MJ)	---	94,3	12,0	26,0 (mg/MJ)	---	93,2
ÖkoFEN [49]	PE(S)10	3,0-10,0	---	58,0 (13%O ₂)	160,0	92,0-93,0	---	142,0 (13%O ₂)	100,0	91,0-93,0
ÖkoFEN [49]	PE(S)12	3,4-12,0	---	69,0 (13%O ₂)	160,0	92,0-93,0	---	123,5 (13%O ₂)	100,0	91,0-93,0
ÖkoFEN [49]	Condens10	3,0-10,0	---	4,0 (13%O ₂)	38,0-80,0	105,5	---	8,0 (13%O ₂)	38,0-80,0	103,4
ÖkoFEN [49]	Condens12	4,0-12,0	---	5,2 (13%O ₂)	38,0-80,0	106,0	---	7,2 (13%O ₂)	38,0-80,0	103,7
Solarfocus [19]	Octoplus 10	2,9-9,9	---	---	---	%94,0'a kadar	---	---	---	---
Solarfocus [19]	Octoplus 15	2,9-14,9	---	---	---	%94,0'a kadar	---	---	---	---
Sunsystem [50]	PLB15	5,0-15,0	---	---	160	---	---	---	130	---



neticesinde oluşan CO₂ emisyonlarının da tam yükleme durumunda daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak, her firmanın emisyon değerlerine ulaşamamıştır.

Pelet yakıtlı sistemlerle ilgili yeni teknoloji araştırmaları yapılmaktadır. Bunlardan biri kojenerasyon sistemleridir. Kojenerasyon sistemleri, güç ve ısınmın birlikte üretildiği sistemlerdir. Ev tipi mikro kojenerasyon sistemlerinin kullanılması ile elektrik üretiminde enerji tasarrufu sağlanmakta, üretim ile tüketimin aynı yerde olmasından dolayı şebeke kayıplarının önüne geçilmekte ve enerji kaynağı olarak yenilenebilir yakıt kullanılması durumunda enerjide dışa bağımlılık azaltılmaktadır [51]. Son yıllarda pelet yakıtı ile stirling motorlarının kombine edildiği sistemler üzerine yapılan çalışmalar giderek artmaktadır [52-60]. Ülkemizde ise bu konuda pek fazla çalışma bulunmamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, pelet yakıt ve pelet yakıtlı kazanlar hakkında genel bilgi, pelet yakıtlı kazanlarda yakma teknolojileri ve piyasada bulunan bazı pelet kazanı üreticilerin teknik verileriyle ilgili bilgiler verilmiştir. Piyasada bulunan pelet yakıtlı kazanların genellikle verimlerinin %90'ların üstünde olduğu görülmüştür. Pelet kazanları alttan ve üstten besleme, brülörlü veya brülörsüz, ızgaralı veya ızgarasız gibi birçok yakma teknolojileri ile yakılabilir. Bu teknolojilerin yanma verimlerini nasıl etkilediği de araştırılması gereken konulardan birisidir. Piyasada birçok pelet kazan üreticisi bulunmaktadır ve her geçen gün kazan verimini arttırmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bazı firmalar yoğunlaşmış kazan sistemlerini pelet kazanlarına uygulayarak kazan verimlerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmışlardır. Emisyonlar açısından bakılacak olursa, genellikle pelet yakıtlar yüksek hava fazlalık katsayıları ile yakıldığından CO emisyonlarının düşük olduğu görülmüştür [43, 48, 49].

Yapılan çalışmada, özellikle bazı Avrupa Birliği ülkelerinde mevcut pelet yakıtlı ısıtma sistem teknolojilerinin incelenmesi ile elde edilen tespitler ve çıkarımlar, ülkemiz açısından bir hayli önem arz etmektedir. Çünkü gelişen sanayisi ve artan nüfusu ile her geçen gün enerji tüketimi ve buna bağlı enerji üretim ihtiyacı artmaktadır. Buna karşın ülkemiz enerjide çok büyük oranda dışa bağımlıdır.

Mevcut enerji kaynaklarını çeşitlendirerek alternatif enerji kaynağı olarak öz kaynaklarımızdan biyokütle sınıfı pelet yakıtın özellikle ısınma amaçlı kullanımının yaygınlaşması enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmada bir hayli önem arz etmektedir. Ülkemizde pelet yakıt ve ısıtma sistemlerinin kullanımı ve teknolojilerinin geliştirilmesi henüz başlangıç aşamasındadır.

Bu çalışma mevcut pelet yakma sistem ve teknolojilerinin daha birçok noktada gelişme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Avrupa piyasasında temel yanma prensipleri olarak aynı olmakla beraber farklı tip ve tasarımlı ürünler mevcuttur. Pelet



yakıtlı sistemler, özellikle verim artırmaya ve düşük emisyonlu sistemlerin geliştirilmesine yönelik, yanmanın iyileştirilmesi, kullanılabilirliğinin artırılması ve otomasyonun iyileştirilerek optimize edilmesi noktalarında geliştirme potansiyeli yüksek sistemlerdir. İhtiyaç olan ısı kapasiteye bağlı yanma havası ve pelet yakıt ayar otomasyonu, ısıl performansı ve verimin artmasını, ayrıca emisyonların azalmasını önemli derecede etkilemektedir. Dolayısıyla bu noktalarda daha da geliştirme ve iyileştirme ihtiyacı vardır.

Dal, sap, saman, çalı çırpı, talaş vb. atıklardan elde edilen biyokütle pelet yakıtın ısıtma amaçlı kullanımı, petrol ve doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlara bir alternatif oluşturacaktır. Böylece, pelet yakıtlı ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır. Bunlara ilaveten, yerli imalat olarak üretilen sistemlerin özellikle Avrupa ülkelerindeki muadillerine kıyasla daha ucuz olacağı düşünülürse ilgili sektördeki ihracatını da artıracaktır.

KAYNAKÇA

1. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>, son erişim tarihi: 25.04.2017.
2. **Fiedler, F.** 2004. "The State of the Art of Small-Scale Pellet-Based Heating Systems and Relevant Regulations in Sweden, Austria and Germany," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, p. 201-221.
3. **Gonzalez, J. F., Gonzalez-Garcia, C. M., Ramiro, A., Gonzalez, J., Sabio, E., Ganan, J., Rodriguez, M.A.** 2004. "Combustion Optimisation of Biomass Residue Pellets for Domestic Heating with a Mural Boiler," *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, p. 145-154.
4. **Carvalho, L., Wopienka, E., Pointner, C., Lundgren, J., Verma, V. K., Haslinger, W., Schmidl, C.** 2013. "Performance of a Pellet Boiler Fired with Agricultural Fuels," *Applied Energy*, vol. 104, p. 286-296.
5. **Taşçı, T., Sungur, B., Ozbey, M., Topaloglu, B.** 2017. "Pelet Yakıtlı Silindirik Kazan Tasarımı ve Performans Testleri," 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 2-4 Kasım 2017, Tokat.
6. **Collazo, J., Poerteiro, J., Patino, D., Granada, E.** 2012. "Numerical Modeling of the Combustion of Densified Wood Under Fixed-Bed Conditions," *Fuel*, vol. 93, p. 149-159.
7. **Sui, J., Xu, X., Zhang, B., Huang, C., Lv, J.** 2013. "A Mathematical Model of Biomass Briquette Fuel Combustion," *Energy and Power Engineering*, vol. 5, p. 1-5.
8. **Sungur, B., Topaloglu, B.** 2018. "Numerical Analyses of the Effects of Fuel Load Variation on Combustion Performance of a Pellet Fuelled Boiler," *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, vol. 2 (1), p. 1-8.
9. SN 166000, Testing of Solid Fuels: Compressed Untreated Wood, Requirements and Testing. Wintherthur, Switzerland: Schweizerische Normen-Vereinigung, 2001.



10. NS 3165 NS (NBR) M Biofuel: Cylindrical Pellets of Pure Wood: Classification and Requirements. Oslo, Norway: Norwegian General Standardizing Body, 1999.
11. SS 187120, Biofuels and Peat: Fuel Pellets: Classification. Stockholm, Sweden: Swedish Standard Institution, 1998.
12. DIN 51731, Testing of Solid Fuels: Compressed Untreated Wood, Requirements and Testing. Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung.
13. O-Norm M7135, Compressed Wood or Compressed Bark in Natural State: Pellets and Briquettes, Requirements and Specifications. Wien, Austria: Österreichisches Normungsinstitut.
14. Holz T. Holzpelletheizungen. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 2003.
15. **Obernberger, I., Thek, G.** “Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels with Regard to Their Combustion Behaviour,” The First World Conference on Pellets. Stockholm: Swedish Bioenergy Association, 2002.
16. **Golser M.** Standardisierung von Holzpellets: Aktuelle Nationale und Internationale Entwicklungen. 2. Europäisches Expertenforum Holzpellets. Salzburg: UMBERA GmbH, 2001.
17. **Schütte, A.** 2006. Holzpellets Komfortabel, effizient, zukunftssicher. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow.
18. www.froeling.at, son erişim tarihi: 25.07.2016.
19. www.solarfocus.at, son erişim tarihi: 15.07.2016.
20. www.sht.at, son erişim tarihi: 10.04.2016.
21. **Pettersson, E., Nordin, A.** 1996. “Effect of temperature and residence time on emissions of CO, THC, tars and NOx during pellet combustion,” Nordic Seminar on Thermochemical Conversion, Trondheim.
22. **Míguez, J.L., Morán, J.C., Granada, E., Porteiro, J.** 2012. “Review of Technology in Small-Scale Biomass Combustion Systems in the European Market,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, p. 3867-3875.
23. www.sunandclimate.com/applications/10-biomass/122-pellets-boilers.html, son erişim tarihi: 21.08.2016.
24. www.greenheat.ie/useful-information/frequently-asked-questions/, son erişim tarihi: 27.07.2016.
25. www.ecotec.net, son erişim tarihi: 25.07.2016.
26. **Obernberger, I., Thek, G.** 2006. “Recent Developments Concerning Pellet Combustion Technologies - A Review of Austrian Developments,” (NEI-SE--636). Sweden
27. www.sapub.org/Book/7-Chapter%203.pdf, son erişim tarihi: 25.10.2017.



28. **Dağsöz, A.K.** 1993. “Bacalar,” Alp Teknik Kitaplar, İstanbul.
29. Holzpellets. Energie Die Nachwachst, Information brochure, Biomasse Info-Zentrum BIZ, 2002.
30. Türk Standardı TS EN 303-5, Kazanlar - Bölüm 5: Katı yakıtlı kazanlar, elle ve otomatik yüklemeli, anma ısı çıktısı 500 kW'ya kadar - Terim ve Tarifleri, Gerekler, Deneyler ve İşaretleme, Türk Standartları Enstitüsü, 2013.
31. www.blauer-engel.de/, son erişim tarihi: 08.06.2016.
32. www.umweltbundesamt.de, son erişim tarihi: 25.06.2016.
33. <http://europa.eu.int/comm/environment/ecolabel/>, son erişim tarihi: 25.06.2016.
34. http://europa.eu.int/comm/environment/ecolabel/background/pm_eueb.htm, son erişim tarihi: 05.10.2016.
35. Richtlinien zur Forderung von Massnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien, Bundesministerium für Wirtschaft und Technology, BMWi, 2002.
36. SPs Certifieringsregler for P-markning av Pelletskaminer, SPCR 093, Sveriges Provinings- och Forskningsinstitut, SP, 2000.
37. SPs Certifieringsregler for P-markning av Pelletsbrennare och Pelletsbrennare, SPCR 028, Sveriges Provinings- och Forskningsinstitut, SP, 1999.
38. Ecolabelling of Solid Biofuel Boilers (Dominating Source of Heat), Version 1.2, Nordic Ecolabelling, 2001.
39. Ecolabelling of Closed Fireplaces for Biofuel (Supplementary Heat Source), Version 1.1, Nordic Ecolabelling, 2003.
40. Der Blaue Engel, Grundlage für Umweltzeichenvergabe, Holzpelletkessel RAL-UZ 112. St. Augustin, RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V, 2003.
41. Der Blaue Engel, Grundlage für Umweltzeichenvergabe, Holzpelletofen RAL-UZ 111. St. Augustin, RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V, 2003.
42. www.evergreenecosystems.co.uk/, son erişim tarihi: 25.09.2017.
43. www.eta.co.at/en/, son erişim tarihi: 25.09.2017.
44. www.ifyil.com.tr/peletgt25.html#1, son erişim tarihi: 25.09.2017.
45. www.brunner.com/en, son erişim tarihi: 25.09.2017.
46. www.guntamatic.com/home/, son erişim tarihi: 26.09.2017.
47. www.arikazan.com.tr/, son erişim tarihi: 26.09.2017.
48. www.hargassner.at/, son erişim tarihi: 26.09.2017.
49. www.okofen.co.uk/en/home/, son erişim tarihi: 26.09.2017.



50. www.sunsystem.bg/en/otoplenie/details.php?id=216, son erişim tarihi: 26.09.2017.
51. **Sungur, B., Özdoğan, M., Topaloğlu, B., Namlı, L.** 2017. “Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi,”*Mühendis ve Makina*, cilt 58, sayı 686, s. 1-20.
52. **Lane, N.W., Beale, W.T.** 1999. “A Biomass Fired 1 kW_e Stirling Engine Generator and Its Applications in South Africa”, International Stirling Engine Conference, South Africa.
53. **Podesser, E.** 1999. “Electricity Production in Rural Villages with Biomass Stirling Engine,” *Renewable Energy*, vol. 16, p. 1049-1052.
54. **Nishiyama, A., Shimojima, H., Ishikawa, A., Itaya, Y., Kambara, S., Moritomi, H., Mori, S.** 2007. “Fuel and Emissions Properties of Stirling Engine Operated with Wood Powder,” *Fuel*, vol. 86, p. 2333-2342.
55. **Crema, L., Alberti, F., Bertaso, A., Bozzoli, A.** 2011. “Development of a Pellet Boiler with Stirling Engine for m-CHP Domestic Application,” *Energy, Sustainability and Society*, p. 1-5.
56. **Thiers, S., Aoun, B., Peuportier, B.** 2010. “Experimental Characterization, Modeling and Simulation of a Wood Pellet Micro-Combined Heat and Power Unit Used as a Heat Source for a Residential Building,” *Energy and Buildings*, vol. 42, p. 896-903.
57. **Biedermann, F., Carlsen, H., Obernberger, I., Schöch M.** 2004. “Small Scale CHP Plant Based on a 75 kW_el Hermetic Eight Cylinder Stirling Engine for Biomass Fuels-Development, Technology and Operating Experiences,” 2nd World Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Italy.
58. **Swaminathan, R.** 2013. “Cost Effective, Low Capacity, Biomass Fired Power Plant,” *Energy and Power*, vol. 3, no. 1, p. 1-6.
59. **Biedermann, F., Carlsen, H., Schöch, M., Obernberger, I.** 2003. “Operating Experiences with a Small Scale Chp Pilot Plant Based on a 35 kW_el Hermetic Four Cylinder Stirling Engine for Biomass Fuels,” *Proceedings of the Eleventh International Stirling Engine Conference*, Italy.
60. **Marinitsch, G., Biedermann, F., Carlsen, H., Schöch, M., Obernberger, I.** 2005. “Development of a Hot Gas Heat Exchanger and a Cleaning System for a 35 kW_el Hermetic Four Cylinder Stirling Engine for Solid Biomass Fuels,” *Proceedings of the Twelfth International Stirling Engine Conference*, Durham.