

2005-15



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN TEMİZ ENERJİ

ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI

52683

PROJE NO: MISAG-195

**Makina Kimyasal Teknolojiler, Malzeme ve İmalat Sistemleri
Araştırma Grubu**

**Mechanical Engineering, Chemical Technologies, Material
Sciences and Manufacturing Systems Research Grant
Committee**

**TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN TEMİZ ENERJİ
ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI**

52683

PROJE NO: MISAG-195

PROF. DR. AYSEL T. ATIMTAY
ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara

DR. HÜSEYİN TOPAL
Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

OCAK 2005
ANKARA

ÖNSÖZ

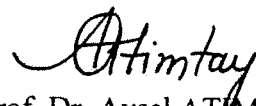
Dünyadaki enerji ihtiyacı, nüfus ve ekonomik gelişmeye bağlı olarak artmaya devam etmektedir. Gerek artan enerji ihtiyacının sağlanması, gerekse çevre kirliliği ile ilgili yasalara uyabilmek için bir *yenilenebilir enerji kaynağı* olan “**biyokütle**” kullanımı giderek daha önemli olmaktadır. Biyokütle kullanılarak üretilen enerji “**Sürdürülebilir Kalkınma**”ya ve **Kyoto Anlaşması**’nın hedeflerine ulaşmaya da yardımcı olmaktadır. AB tarafından yayınlanan “Beyaz Bildiri”de genel enerji tüketiminde halen %6 olan “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” payının 2010 yılına kadar %12’ye çıkarılması öngörülmektedir. Orta dönemde ise, AB’nin 2001/77/EC sayılı Direktifi, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik tüketimindeki payının 2010 yılına kadar %14’den %22.1’e ulaşmasını hedeflemektedir.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan raporda, Türkiye’de 2001 yılında 77 MTEP (milyon ton petrol eşdeğeri) olan enerji tüketiminin 2020 yılında 217 MTEP’e ulaşacağı tahmin edilmektedir (DPT, 2001). Ülkemizde 21 Ekim 2003 tarihinde İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) TBMM’ce kabul edilmiş ve 24 Mayıs 2004 tarihinde Türkiye bu sözleşmeye resmen taraf olmuştur. İDÇS’nin getirdiği yükümlülükleri belirleyen Kyoto Protokolünü son olarak Rusya’nın da imzalamasıyla bu protokol 16.02.2005 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiştir. Bu durumda sera gazları emisyonlarının sınırlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye’de orman endüstrisi, gıda endüstrisi ve tarım artıklarından kaynaklanan biyokütlenin bir envanteri çıkarılmış, ve bu artıkların 1990-2000 yılları arasında nasıl bir değişiklik gösterdiği ortaya koyulmuştur. Daha sonra seçilen artıkların laboratuvar ölçekli bir Kabarcıklı Akışkan Yatay (KAY) ve Dolaşımli Akışkan Yatak (DAY) sisteminde yanma karakteristikleri incelenmiş, özellikle emisyonları en aza indirecek yanma koşullarının ne olduğu tesbit edilmiştir. Yakılması denenen biyoküteller zeytinyağı endüstrisi artığı olan prina, meyve suyu endüstrisi artığı olan kayısı ve şeftali çekirdekleri, ayçiçeği ve pamuk yağı endüstrisi artıkları olan ayçiçeği posası ve pamuk çiğidi posasıdır. Artıkların linyit kömürü ile rekabet edebilecek bir enerjiye sahip olduğu tesbit edilmiştir. Bu artıkların yanma özellikleri, Türkiye’de en çok kullanılan linyit kömürlerinden biri olan ve ağırlıkça %1.8 kükürt içeren kömürün aynı sistemde yanması ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar biyokütle olarak tanımlanabilen gıda ve meyve suyu endüstrisinden çıkan artık maddelerin kömürle karıştırılarak kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatakta yakılabileceğini, ve temiz enerji eldesi için kullanılabileceğini göstermiştir. Yakılan artıkların biyokütle enerjisi olarak linyit kömürü ile rekabet edebilecek bir enerjiye sahip olduğu ve bu maddelerin yakılması için özellikle **Dolaşımli Akışkan Yatak** sisteminin çok uygun bir sistem olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmanın yapılması için maddi desteği TÜBİTAK-MAG sağlamıştır. TÜBİTAK’a sağladığı destekten dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, biyokütle envanter değerlerinin sağlanmasında DİE verilerinden yararlanılmıştır. DİE’ne de teşekkürlerimi sunarım.



Prof. Dr. Aysel ATIMTAY

Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLOLARIN LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
ÖZ.....	x
ABSTRACT.....	xii

BÖLÜM

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	1
1.3. AB Yenilenebilir Enerji Politikası.....	1
1.4. Biyokütleinin Avantajları.....	2
1.5. Türkiye'nin Durumu.....	3
1.6. Projenin Amacı.....	6
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....	14
3.1. Dolaşimli Akışkan Yatak Sistemi (DAY).....	14
3.2. Kabarcıklı Akışkan Yatak Sistemi (KAY).....	15
3.3. Deneysel Prosedürü.....	16
3.3.1. Dolaşimli Akışkan Yatak (DAY).....	16
3.3.2. Kabarcıklı Akışkan Yatak (KAY).....	17
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	18
4.1. Prina ile Yapılan Çalışmalar.....	18
4.1.1. Prinanın ve Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	18
4.1.2. Emisyonlar.....	19
4.2. Kayısı ve Şeftali Çekirdeği ile Yapılan Çalışmalar.....	26
4.2.1. Kayısı ve Şeftali Çekirdeğinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	27
4.3. Kayısı ve Şeftali Çekirdeğinin Yanması	28
4.3.1. Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Kömürün Yanması (Kabarcıklı Akışkan Yatakta-KAY).....	28
4.3.2. Sıcaklık Profilleri.....	29
4.3.3. Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Kömür Yanması Sırasında Oluşan Emisyonlar (KAY).....	33
4.3.4. Kayısı ve Şeftali Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (KAY).....	37
4.3.5. Kayısı Çekirdeği Yanması (Dolaşimli Akışkan Yatakta-DAY).....	41
4.3.6. Kayısı Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşimli Akışkan Yatakta-DAY).....	43
4.3.7. Şeftali Çekirdeği Yanması (Dolaşimli Akışkan Yatakta-DAY).....	45
4.3.8. Şeftali Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşimli Akışkan Yatakta-DAY).....	47

4.4.	Ayçiçeği Posası ile Yapılan alışmalar.....	49
4.4.1.	Ayçiçeği Posasının Fiziksel ve Kimyasal zellikleri.....	49
4.4.2.	Ayçiçeği Posasının Yanması (Dolaşımlı Akışkan Yatakta- DAY).....	50
4.4.3.	Ayçiçeği Posası-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşımlı Akışkan Yatakta-DAY).....	53
4.5.	Pamuk iđidi Posasının Yanması (Dolaşımlı Akışkan Yatakta-DAY).....	54
5.	SONUÇLAR.....	58
6.	KAYNAKLAR.....	59
	EKLER : Emisyon Envanteri.....	62

TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 3.1. Baca gazı (yanma gazları) analiz yöntemleri.....	17
Tablo 4.1. Kullanılan prina ve kömür numunelerinin elementer ve yaklaşık analizleri..... (% ağırlıkça)	18
Tablo 4.2. Yakıt karışım oranları, besleme hızları, yatak kapasitesi, yanma verimleri, katı madde dolaşım oranları ve oda sıcaklığındaki boş yatak gaz hızları.....	19
Tablo 4.3. Yanma gazlarında %7 O ₂ ve %11 O ₂ esas alınarak bulunan emisyonlar.....	20
Tablo 4.4. Deneylerde kullanılan şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeğine ait yaklaşık ve elementer analiz sonuçları.....	27
Tablo 4.5. Deneylerde kullanılan şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeğine ait ısı değerleri.....	27
Tablo 4.6. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması ile oluşan külün de kimyasal bileşimi.....	28
Tablo 4.7. Yakma deneyleri listesi.....	29
Tablo 4.8. Kayısı, şeftali çekirdeği ve kömür yakılması sırasında elde edilen ortalama sıcaklıklar.....	30
Tablo 4.9. Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının yanmasında ortalama sıcaklıklar.....	37
Tablo 4.10. Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının yanmasında oluşan emisyonlar.....	38
Table 4.11. Kayısı yanmasında işletme, ısı performans ve emisyon parametreleri.....	41
Tablo 4.12. Kayısı çekirdeği ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları.....	44
Tablo 4.13. Şeftali çekirdeği yanmasında işletme, ısı performans ve emisyon parametreleri.....	45
Tablo 4.14. Şeftali çekirdeği ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları.....	48
Tablo 4.15. Ayçiçeği Posasının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	49
Table 4.16. Ayçiçeği sapsarı ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları.....	53

Tablo 4.17. Deneyleerde kullanılan pamuk ığıti posasına ait kaba ve elementer analiz sonuçları.....	55
Tablo 4.18. Deneyleerde kullanılan pamuk ığıti posasına ait ısıı değerler.....	55
Tablo 4.19. Pamuk ığıti posası yanmasında işletme, ısıı performans ve emisyon parametreleri.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünyadaki toplam birincil enerji kaynaklarının 2000 yılı itibarı ile dağılımı.....	2
Şekil 1.2. Türkiye Elektrik Üretiminde Yenilenebilirlerin Payı (Enerji Raporu, 2004).....	3
Şekil 1.3. Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilirlerin payı.....	4
Şekil 1.4. 2002 yılında Türkiye elektrik üretiminde kurulu gücünün ve üretiminin kaynaklara göre dağılımı (DEK/TMK Enerji Raporu, 2004).....	4
Şekil 1.5. Türkiye'nin enerji üretim ve enerji ithalat yüzdelerinin yıllara göre değişimi.....	5
Şekil 3.1. DAY sisteminin şeması ve yatak yüksekliği boyunca yatak boşluğu profili.....	14
Şekil 3.2. Kabarcıklı akışkan yatak sisteminin şematik diyagramı.....	15
Şekil 4.1. Yakıt olarak % 100 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	21
Şekil 4.2. Yakıt olarak % 25 prina+% 75 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	21
Şekil 4.3. Yakıt olarak % 50 prina+% 50 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	22
Şekil 4.4. Yakıt olarak % 75 prina+% 25 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	22
Şekil 4.5. Yakıt olarak % 100 prina kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	23
Şekil 4.6. Yakıt içindeki % prina oranlarına göre CO emisyonunun değişimi.....	24
Şekil 4.7. Yakıt içindeki % prina oranlarına göre hidrokarbon emisyonunun değişimi.....	24
Şekil 4.8. Prina ve kömür için fazla hava oranlarına göre yanma verimlerinin değişimi.....	25
Şekil 4.9. Türkiye'de 2001 yılında meyve suyu üretimi ve üretimden kaynaklanan atıklar....	26
Şekil 4.10. Kabarcıklı akışkan yatakta şeftali çekirdeği yanmasında sıcaklık dağılımı.....	30
Şekil 4.11. Kabarcıklı akışkan yatakta kayısı çekirdeği yanmasında sıcaklık dağılımı.....	31

Şekil 4.12. Kabarcıklı akışkan yatakta kömür yanmasında sıcaklık dağılımı.....	31
Şekil 4.13. Kabarcıklı akışkan yatakta kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması.....	32
Şekil 4.14. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında NO _x emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı).....	33
Şekil 4.15. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında SO ₂ emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı).....	34
Şekil 4.16. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında CO emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı).....	34
Şekil 4.17. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında C _m H _n emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı).....	35
Şekil 4.18. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında yanma veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı).....	35
Şekil 4.19. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan SO ₂ emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak).....	39
Şekil 4.20. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan NO _x emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak).....	39
Şekil 4.21. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan CO emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak).....	40
Şekil 4.22. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan C _m H _n emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak).....	40
Şekil 4.23. Yakıt olarak kayısı çekirdeği kullanıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	42
Şekil 4.24. Yakıt olarak kayısı çekirdeği kullanıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	43
Şekil 4.25. Değişik oranlarda kayısı çekirdeği-kömür karışımı yakıldığında oluşan emisyonlar.....	44
Şekil 4.26. Yakıt olarak şeftali çekirdeği kullanıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	46
Şekil 4.27. Yakıt olarak şeftali çekirdeği kullanıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	47

Şekil 4.28. Değişik oranlarda şeftali çekirdeği-kömür karışımı yakıldığında oluşan emisyonlar.....	48
Şekil 4.29. Deneysel çalışmada kullanılan ayçiçeği posası.....	50
Şekil 4.30. Yanma kayıpları ve yanma veriminin zamana bağlı olarak değişimleri.....	51
Şekil 4.31. Yanma parametrelerinin zamana bağlı olarak değişimleri.....	51
Şekil 4.32. CO ve hidrokarbon emisyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri.....	52
Şekil 4.33. SO ₂ ve NO _x emisyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri.....	52
Şekil 4.34. Değişik oranlarda ayçiçeği sapları-kömür karışımı yakıldığında oluşan emisyonlar.....	54
Şekil 4.35. Pamuk çiğiti posası yakıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	56
Şekil 4.36. Pamuk çiğiti posası yakıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi.....	57

ÖZ

TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN TEMİZ ENERJİ ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, Türkiye'de orman endüstrisi, gıda endüstrisi ve tarım artıklarından kaynaklanan biyokütlenin bir envanteri çıkarılmış, ve bu artıkların 1990-2000 yılları arasında nasıl bir değişiklik gösterdiği ortaya koyulmuştur. Daha sonra seçilen artıkların kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatakta yanma karakteristikleri incelenmiş, özellikle emisyonları en aza indirecek yanma koşullarının ne olduğu tesbit edilmiştir.

Yakılması denenen biyoküteller zeytinyağı endüstrisi artığı olan prina, meyve suyu endüstrisi artığı olan kayısı ve şeftali çekirdekleri, ayçiçeği ve pamuk yağı endüstrisi artıkları olan ayçiçeği posası ve pamuk çiğidi posasıdır. Bu artıkların yanma özellikleri, Türkiye' de en çok kullanılan linyit kömürlerinden biri olan ve ağırlıkça %1.8 kükürt içeren kömürün aynı sistemde yanması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, artık olarak kullanılan biyokütlenin tek olarak yakılması yanında, kömürle değişik oranlarda karışımları hazırlanmış, yine bu karışımların değişik koşullar altında yanma özellikleri ve emisyonları incelenmiştir.

Biyokütlenin yanma özelliklerinin incelendiği Kabarcıklı Akışkan Yataklı (KAY) yakma sistemi 102 mm iç çapında ve 900 mm yükseklikindedir. Yakma deneyleri sırasında sürekli olarak CO, CO₂, SO₂, NO_x ve toplam hidrokarbon (C_mH_n) emisyonları ölçülmüştür. Deney parametreleri (fazla hava oranı, akışkanlaşma hızı ve yakıt besleme hızı) değiştirilerek farklı kirleticilerin emisyonlarındaki değişimler izlenmiştir. Emisyon değerleri standartlarla karşılaştırılmış ve yanma verimleri hesaplanmıştır. Deneylerde kullanılan Dolaşımli Akışkan Yatak (DAY) sistemi ise 125 mm çapında, 1800 mm yüksekliğindedir. Bu sistemde de KAY sisteminde kullanılan parametrelerin emisyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yakma testleri sonunda, biyokütle içindeki uçucu maddelerin çok kısa sürede uçuculaştığı ve bu uçucuların çoğunlukla yatağın üst kısmında yandıkları gözlenmiştir. Yatakta ve yatağın üst

kısımında ölçülen sıcaklık profilleri bu olayı doğrulamaktadır. Biyokütlenin kömür ile karıştırılarak beraberce yakıldığı deneylerde de, karışımdaki biyokütle oranı arttıkça yanma daha çok yatağın üst kısımlarındaki hacimde (freeboard) gerçekleşmektedir. Karışımdaki biyokütle oranı arttıkça, yanma gazlarındaki CO ve C_mH_n emisyonlarında da önemli bir artış gözlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, KAY sisteminde yanma verimleri kömür için %98.8-%99.1, şeftali çekirdekleri için %96.0-%97.5, kayısı çekirdekleri için ise %93.4-%96.3 arasında değişmektedir. Kömür yakıldığında CO emisyonu çok az olmasına rağmen biyokütle yakıldığında ikincil hava ihtiyacını ortaya çıkaran yüksek CO ve C_mH_n emisyonları oluşmuştur. Kömürün SO_2 emisyonu $2400-2800 \text{ mg/Nm}^3$ civarında iken çalışmada kullanılan biyokütle yakıtları için SO_2 emisyonu sıfırdır. Yapılan tüm yakma deneylerinde NO_x emisyonları, Türk Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği (1986) tarafından belirlenen sınır değerlerin altındadır.

Biyokütlenin linyit kömürü ile beraber yakılmasında, karışıma ağırlıkça %0'dan %100'e kadar değişen oranlarda biyokütle katılmıştır. Yakıt karışımına ağırlıkça %25, %50 ve %75 biyokütle eklenme oranları için DAY sisteminde elde edilen verimler sırası ile %96.6-98.7, %94.9-98.5, %92.6-98.7 değerleri arasında değişmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar biyokütle olarak tanımlanabilen gıda ve meyve suyu endüstrisinden çıkan artık maddelerin kömürle karıştırılarak kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yatakta yakılabileceğini, ve küçük ve orta ölçekli fabrikalarda temiz enerji eldesi için kullanılabileceğini göstermiştir. Yakılan artıkların biyokütle enerjisi olarak linyit kömürü ile rekabet edebilecek bir enerjiye sahip olduğu ve bu maddelerin yakılması için akışkan yatak sisteminin, özellikle Dolaşimli Akışkan Yatak sisteminin biyokütleden yakılarak enerji elde edilmesi için çok uygun bir sistem olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Biyokütle yakılması, Yenilenebilir enerji, Kabarcıklı akışkan yatak, Dolaşimli akışkan yatak, Kömür ve biyokütlenin beraber yakılması, Meyve çekirdekleri yakılması, Ayçiçeği posası yakılması, Pamuk çiğidi posasının yakılması

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE CLEAN ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS IN TURKEY

In this study an inventory of biomass waste originating from forestry and forest industry, food industry and agriculture in Turkey has been made and the change of the amounts of these wastes have been investigated between the years 1990-2000. Later on, a bubbling fluidized bed combustor (BFBC) and a circulating fluidized bed combustor (CFBC) were used to investigate the combustion characteristics of selected materials and the optimum conditions to minimize the emissions were determined.

Selected wastes for combustion were olive cake, peach and apricot stones, sunflower oil waste and cotton seed oil waste. These materials are all wastes produced from agro and food industries. The combustion characteristics of selected biomass were compared with that of a lignite coal (having 1.8 wt% sulfur) that is one of the most widely used coal in Turkey, Tunçbilek lignite burned under the same conditions. Also co-combustion of these wastes with coal for different mixing ratios was studied and emissions were investigated.

The bubbling fluidized-bed (BFB) used for these studies were of 102 mm inside diameter and 900 mm height. On-line concentrations of O₂, CO, CO₂, SO₂, NO_x and total hydrocarbons (C_mH_n) were monitored during combustion experiments. By changing the operating parameters (excess air ratio, fluidization velocity, and fuel feed rate) the variation of emissions of various pollutants was observed. Emission levels were compared with the standards and combustion efficiencies were calculated. The circulating fluidized-bed (CFB) used for these studies were of 125 mm inside diameter and 1800 mm height. Again on-line concentrations of the emissions were measured.

The results of combustion tests showed that the volatile matters from biomass quickly volatilize and mostly burn in the freeboard. The temperature profiles along the bed and the freeboard also confirmed this phenomenon. For the co-combustion with coal, it was found that as the biomass content in the fuel increases, the combustion takes place more in the freeboard region. Also CO and total hydrocarbon emissions (C_mH_n) in the flue gas increase as the biomass content in the fuel increases.

The results of this study have shown that the combustion efficiencies ranged between 98.8-99.1% for coal, 96.0-97.5% for peach stone and 93.4-96.3% for apricot stones. The coal has very small CO emission, but biomass fuels have very high CO and C_mH_n emissions which indicate that a secondary air addition is required for the system. SO_2 emission of the coal is around 2400-2800 mg/Nm^3 , whereas the biomass fuels have zero SO_2 emission. NO_x emissions are all below the limits set by the Turkish Air Quality Control Regulation of 1986 (TAQCR) for all tests.

For co-combustion of biomass with a lignite coal, various ratios of biomass to coal ranging from 0 to 100 wt% were tested. For the co-combustion tests in circulating fluidized bed, efficiencies ranged between 96.6-98.7%, 94.9-98.5%, 92.6-98.7% for 25 wt%, 50 wt%, and 75 wt% of biomass addition to the fuel mixture, respectively.

These results suggest that agro-wastes are potential fuels that can be utilized for clean energy production by co-combusting with coal in small-and- medium scale industries (SMEs) especially by using Circulating Fluidized Bed Combustors. The energy content of the biomass tested in this study is quite comparable with a lignite coal.

Keywords: Biomass combustion, Renewable energy, Bubbling fluidized bed combustion (BFBC), Circulating fluidized bed combustion (CFBC), Co-combustion of coal and biomass, Combustion of fruit stones, Combustion of sunflower oil waste, Combustion of cotton-seed oil waste

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Genel

Dünyadaki enerji ihtiyacı, nüfus ve ekonomik gelişmeye bağlı olarak artmaya devam etmektedir. Gerek artan enerji ihtiyacının sağlanması, gerekse çevre kirliliği ile ilgili yasalara uyabilmek için bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle kullanımı giderek daha önemli olmaktadır. Biyokütle kullanılarak üretilen enerji “Sürdürülebilir Kalkınma”ya ve Kyoto Anlaşması’nın hedeflerine ulaşmaya da yardımcı olmaktadır.

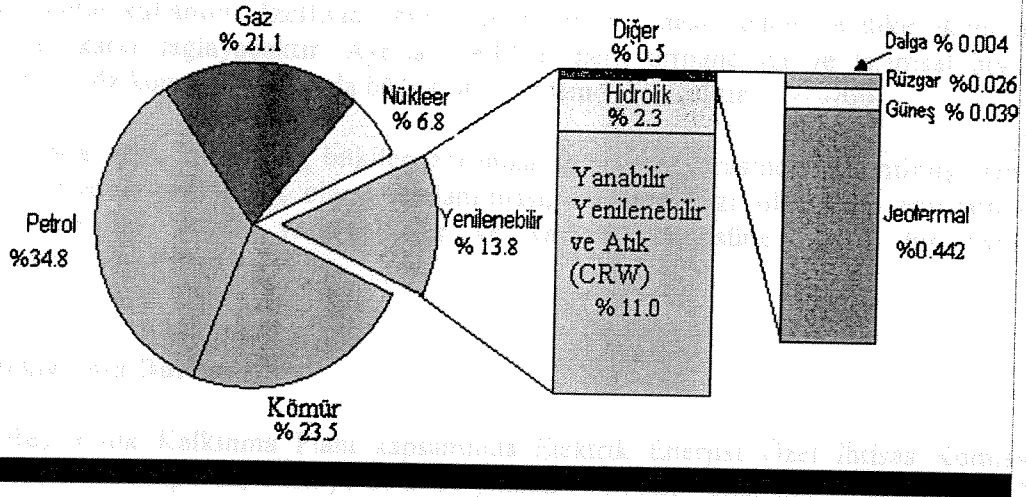
Dünyada özellikle CO₂ kaynaklı sera etkisinin azaltılabilmesi amacıyla fosil enerji kaynaklarının yerine mümkün olduğunca “yenilenebilir” enerji kaynaklarından yararlanarak enerji elde edilmesi ve ekonomiye kazandırılması son zamanlarda tüm dünyada önem kazanmıştır. Uluslararası sözleşmeler uyarınca her ülkeye getirilmesi öngörülen CO₂ emisyon kotalarının altında kalınabilmesi ve diğer ülkelerin kotalanma sorunlarının çözümünde biyokütle uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Tarımsal atıklar, orman ürünleri atıkları ve enerji ormancılığı ile tarıma dayalı sanayi kollarından oluşan atıklar biyokütle sınıfında değerlendirilmektedir. Biyoküteller tek başına yakıt olarak kullanılabilirdiği gibi yakma sistemi özelliklerine uygun olarak çeşitli sıvı ve katı fosil yakıtlar ile birlikte karışım halinde de enerji üretiminde kullanılmaktadır.

1.2. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2000 yılı itibariyle Dünyadaki toplam birincil enerji kaynakları 9 958 Milyon TEP tir. Bunun %13.8 ‘ini yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ise %11’ini biyokütle, %2.3’ünü hidrolik ve %0.5’ini de diğer yenilenebilirler (rüzgar, güneş, jeotermal, dalga vb.) meydana getirmektedir. Bu yüzdeler Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Yüzde oranlardan görüldüğü gibi biyokütle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahiptir (DEK/TMK, 2004).

1.3. AB Yenilenebilir Enerji Politikası

AB tarafından yayınlanan “Beyaz Bildiri”de genel enerji tüketiminde halen %6 olan “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” payının 2010 yılına kadar %12’ye çıkarılması öngörülmektedir. Orta dönemde ise, AB’nin 2001/77/EC sayılı Direktifi, yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik tüketimindeki payının 2010 yılına kadar %14’den %22.1’e ulaşmasını hedeflemektedir.



Şekil 1.1. Dünyadaki toplam birincil enerji kaynaklarının 2000 yılı itibarı ile dağılımı (DEK/TMK, 2004)

1.4. Biyokütlenin Avantajları

Biyokütle, hertürlü bitki ve hayvansal atıklar olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi fotosentez süreci atmosferden alınan CO₂ in selüloza dönüşümü ile bitkilerin oluşumunu sağlayan ve açığa oksijen çıkaran bir süreçtir. Sonuç olarak atmosferdeki doğal dengenin sürekliliğini sağlar. Biyokütleden enerji üretim işlemi, atmosferde yanma sonucunda oluşan sera gazlarından CO₂ in oluşumuna ek katkı yapmadığından dolayı tüm dünyada ciddi uygulama alanları bulmaktadır. Biyokütleden elde edilen enerji de **"yenilenebilir"** ve alternatif bir enerji türüdür. Biyokütleden enerji elde etmeyi iki gruba ayırabiliriz. Birincisi klasik yöntemlerle ormanlardan elde edilen odun ve yine yakacak olarak kullanılan bitki ve hayvansal atıklardır (tezek vb). İkincisi, modern biyokütle enerjisi ise; enerji ormancılığı ve orman ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır. Günümüzde enerji tarımı olarak C4 adı verilen bitkiler (şeker kamışı, mısır, tatlıdari vb.) yetiştirilmektedir. Bu bitkiler, suyu ve CO₂ i verimli kullanabilen, kuraklığa dayanıklı, verimi yüksek bitkilerdir.

Biyokütleden enerji üretiminin bazı temel avantajları aşağıda verilmektedir.

- Yakma teknolojisi açısından fosil yakıtlarla beraber veya tek başlarına kolayca yakılabilirler.
- İnsan hayatı boyunca sürekli olarak kendini yenilemesi nedeniyle sınırlı bir ömürden söz edilmez.
- Enerji üretim prosesinin CO₂ açısından nötr olması ve dolayısıyla CO₂ emisyonunun yaklaşık sıfır olması nedeniyle ekolojik dengeye herhangi bir zarar vermemektedir.
- Yerel kullanım alanının çok oluşu nedeniyle her sektöre hitap eden bir yakıttır.

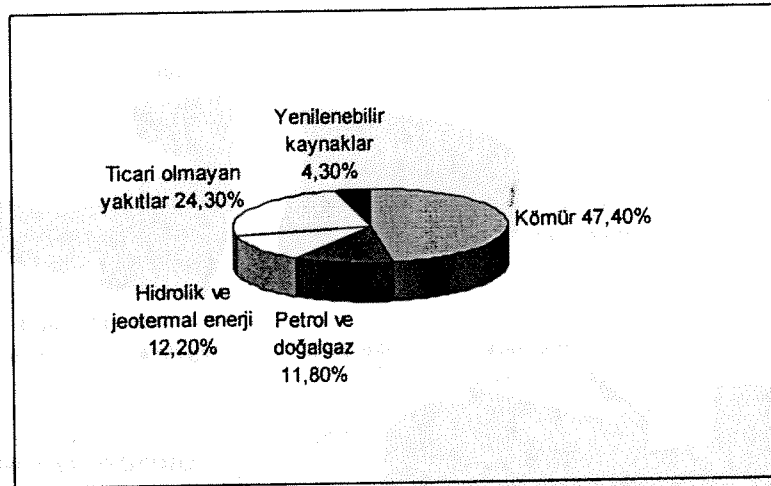
- Uygun teknolojiler seçilmesi durumunda, biyokütle kullanımı halk tarafından yüksek oranda kabul görebilecektir,
- Biyokütle kullanımı özellikle ithal yakıtın yerini alması nedeniyle ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Ayrıca özellikle enerji ormancılığı ve tarımsal biyokütle üretimi söz konusu olduğunda büyük bir istihdam yaratacaktır,

Yanma sırasında açığa çıkan CO₂ bitkiler tarafından fotosentez sırasında kullanılmış olan CO₂ olduğundan, biyokütlenin yakıt olarak kullanılması, bir sera gazı olan CO₂ emisyonlarının azaltılması için bir imkan yaratmaktadır ve karbon döngüsüne büyük bir yardımda bulunmaktadır.

1.5. Türkiye'nin Durumu

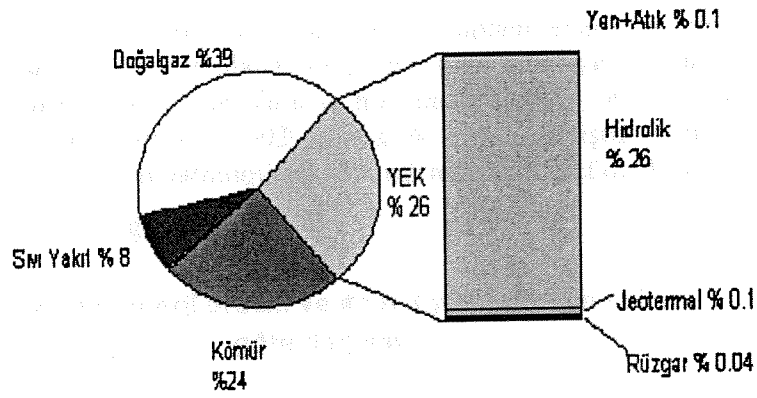
Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu tarafından hazırlanan raporda, Türkiye'de 2001 yılında 77 MTEP* olan enerji tüketiminin 2020 yılında 217 MTEP'e ulaşacağı tahmin edilmektedir (DPT, 2001).

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi tarafından hazırlanan Türkiye Enerji Raporu'na (2002) göre Türkiye'de 2002 yılında kömür, toplam birincil enerji kaynakları üretiminin %47,4'ünü, petrol ve doğal gaz %11,8'ini, hidrolik ve jeotermal enerji %12,2'sini, diğer yenilenebilir kaynaklar %4,3'ünü, ticari olmayan yakıtlar ise %24,3'ünü oluşturmaktadır. Bu değerler grafiksel olarak Şekil 1.3 de gösterilmiştir.

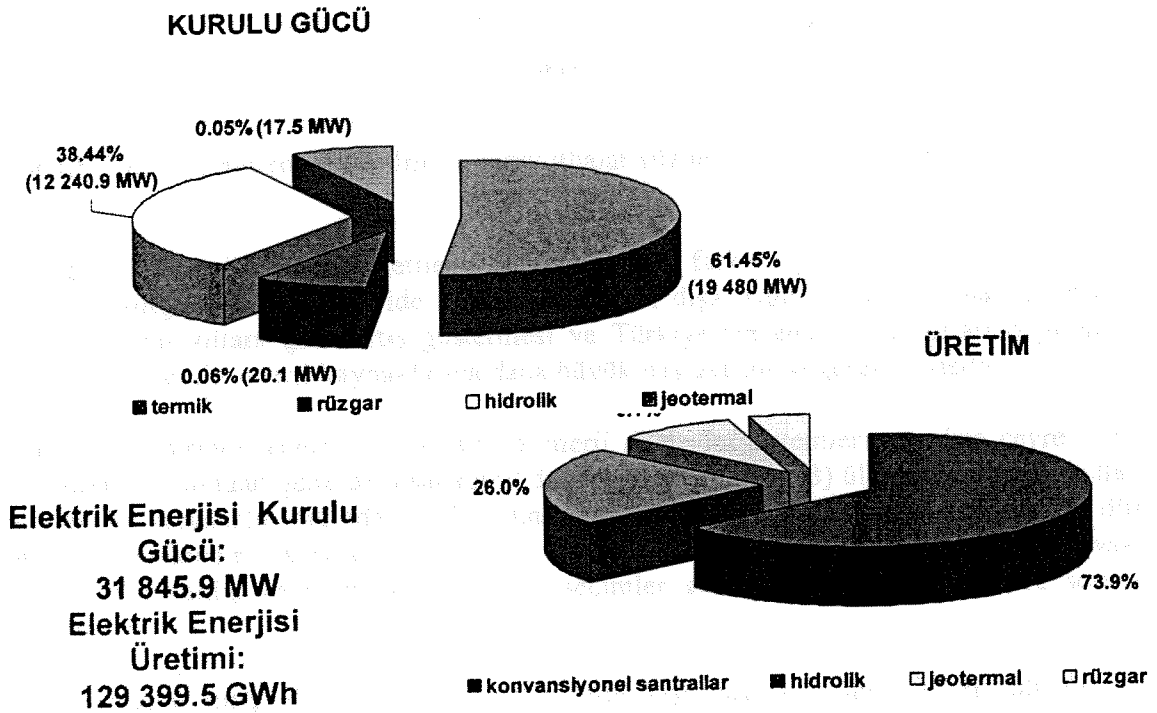


Şekil 1.2. 2002 yılı Türkiye birincil enerji kaynakları üretiminin dağılımı (DEK/TMK, 2002)

Türkiye'nin 2002 yılı elektrik enerjisi kurulu gücü 31 845.9 MW'tır. Bu kurulu güçten üretilen elektrik enerjisi miktarı ise 129 399.5 GWh'dir. Bu kurulu güç ve üretilen enerjinin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında, Şekil 1.2'den de görüldüğü gibi hidrolik dışındaki diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payı çok küçüktür.



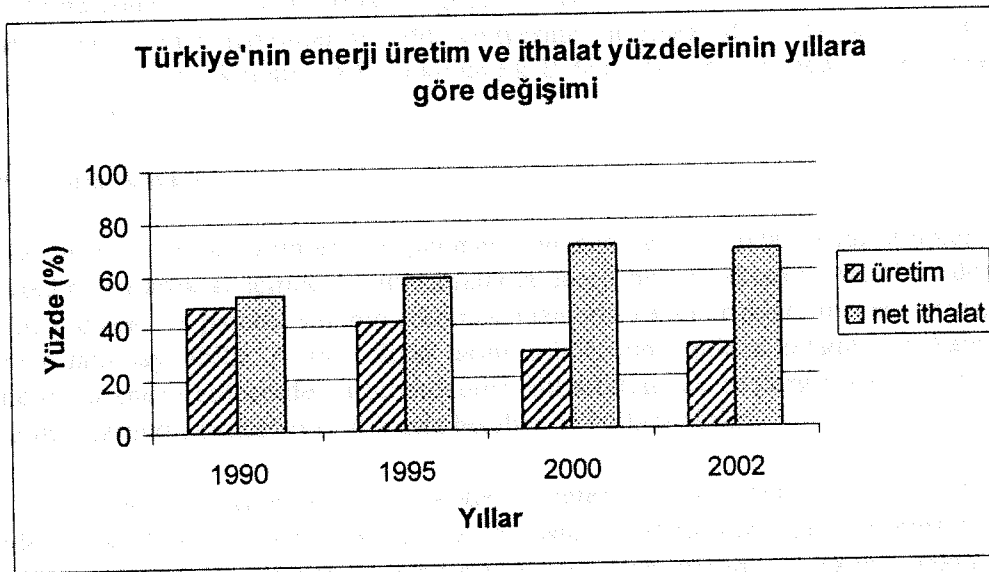
Şekil 1.3. Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilirlerin payı (DEK/TMK, Enerji Raporu, 2004)



Şekil 1.4. 2002 yılında Türkiye elektrik üretiminde kurulu gücünün ve üretiminin kaynaklara göre dağılımı (DEK/TMK Enerji Raporu, 2004)

Enerji üretiminin yavaş, talebin ise hızlı artması neticesinde, Türkiye'nin enerji ithalatı da hızla artmıştır. Net enerji ithalatı 1990 yılındaki 28,5 MTEP'den yıllık ortalama %5,4 artışla 2002 yılında 53,5 MTEP'e ulaşmıştır. Böylece Türkiye'nin toplam enerji talebinin 1990 yılında %52'si, 2002 yılında ise %68'i ithalatla karşılanmıştır. Türkiye, birincil enerji temini yönünden dışa bağımlıdır. Şekil 2'de Türkiye'nin enerji üretim ve ithalatının yıllara göre değişimi verilmektedir. Dışa bağımlılık 2003 yılında %72'ye ulaşmıştır. Türkiye birincil enerji kaynakları dışında, enerji dönüşüm teknolojileri yönünden de aşırı ölçüde dışa bağımlıdır.

(MTEP = Milyon ton petrol eşdeğeri)



Şekil 1.5. Türkiye'nin enerji üretim ve enerji ithalat yüzdelerinin yıllara göre değişimi

Görüldüğü gibi, enerji arzı ve tüketilen enerji arasındaki fark 21 yy. da daha da fazla açılacak, önlem alınmadığı takdirde, enerjide kaynak açısından dışa bağımlılığımız daha da artacaktır. Oysa bu değerlerin yıllara göre artış göstermesi ve Türkiye'nin enerji politikaları belirlenirken, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına daha büyük pay ayrılması gerekmektedir.

Ülkemiz gerek birincil enerji kaynakları ve enerji dönüşüm sistemleri, gerekse çevre koruma teknolojileri bakımından genelde dışabağımlıdır. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinin enerji kullanım etkinlikleri ile karşılaştırıldığında, Türkiyenin enerji dönüşüm ve kullanım verimliliğinin düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca fosil yakıtı dayalı olarak çalışan termik santraller yakma sistemlerindeki yanlış veya eksik teknolojik seçimler sonucu oldukça ciddi çevre sorunları yaratmaktadır.

Avrupa Birliğine giriş sürecinde olan ülkemizde kişi başına birincil enerji tüketimi üye ülkelerden Yunanistan'ın yaklaşık 1/3 ü, Almanya'nın ise 1/6' sını kadardır. AB ülkeleri Enerji Kullanım Etkinlikleri (EKE=GSMH/Toplam Enerji Kullanımı), Türkiye'deki EKE ile karşılaştırıldığında, Türkiye'nin enerji dönüşüm ve kullanım verimliliğinin çok düşük olduğu

görülmektedir. Ayrıca enerji üretimi sonunda oluşan partikül, gaz, vb. biçimindeki atıklar, emisyonlar biçiminde tesislerden çevreye atılarak çevre sorunları yaratmaktadır. Ayrıca Türkiye’de halk ve endüstri birim enerji için diğer ülkelerden daha fazla fiyat ödemektedir.

İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) ve KYOTO Protokolü (KP), insan kaynaklı sera salınımlarını sınırlandırmaya ve azaltmaya yönelik yasal düzenlemeler getirmektedir. 21 Ekim 2003 tarihinde İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İDÇS) TBMM’ce kabul edilmiş ve 24 Mayıs 2004 tarihinde Türkiye bu sözleşmeye resmen taraf olmuştur. İDÇS nin getirdiği yükümlülükleri belirleyen Kyoto Protokolünü son olarak Rusya’nın da imzalamasından sonra bu protokol **16.02.2005** tarihinden itibaren geçerli olacaktır. Kyoto protokolünün hedefi 2000 yılında sera gazlarının emisyonlarını 1990 seviyesine indirmek idi. Türkiye nihayet İDÇS nin Ek-2 ülkeleri arasından çıkmıştır ve Protokolün Ek-B deki ülkeleri arasında da yer almamaktadır.

1.6. Projenin Amacı

Türkiye’de tarım ve orman ürünlerinin işlenmesi sonunda büyük miktarda yan ürünler ve artıklar üretilmektedir. Bu artıklar içinde önemli miktarda enerji bulunmaktadır. Artıklara örnek olarak zeytinyağı, ayçiçek ve pamuk yağının sıkılmasından arta kalan artıklar, arıtma çamuru artıkları, hatta çöpler dahi sayılabilir. Ayrıca, diğer tarım ürünlerinin lignince zengin sap, kabuk vs. gibi artıklarından da enerji eldesinde yararlanılabilir. Bu artıklar tek başlarına kullanılabilirdiği gibi kömür, arıtma çamuru, endüstriyel atıklarla beraber de kullanılabilir.

Projenin amacı, önce Türkiye’de bir biyokütle envanterinin çıkarılması, sonra ülkemizde enerji üretiminde biyokütle kullanılabilmesi için çevre dostu bir teknolojinin geliştirilmesidir. Bu proje kapsamında önce Akdeniz ülkelerinin bir tarımsal atığı olan prinanın akışkan yataкта tek başına ve kömür karışımlarıyla yakılması üzerinde çalışılmıştır. Daha sonra meyve suyu üretiminden çıkan kayısı ve şeftali çekirdekleri, pamuk çiğidi posası ve ayçiçeği posasının yine akışkan yataкта tek başına ve/veya kömür ile karıştırılarak yakılması incelenmiştir. Özellikle Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (KOBİ’ler) bu yakıtların enerji üretiminde kullanılması hedef alınmıştır. Biyokütlenin yakıt olarak kullanılması durumunda en iyi yanma verimi ve en düşük hava kirlenici emisyonları için işletme koşullarının belirlenmesi projenin hedefleri arasındadır.

Projenin diğer bir amacı da, ODTÜ, GAZİ ve İngilteredeki Sheffield Üniversitesi, Kimya Müh. Bölümü ve Atık Yakma Merkezi (SUWIC) arasında, bu kurumların alt yapılarını ve bilgi birikimlerini bir araya getirerek, **bilimsel dış destek sağlayarak konuya sahip çıkacak kurumlar arası bir araştırma grubu oluşturmaktır.**

BÖLÜM II

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Biyokütleden enerji eldesi çevresel açıdan çok önemlidir. Özellikle sera etkisinin azaltılmasında biyokütlenin kullanılması bir çözüm yolu olarak görülmektedir. Çünkü biyokütlenin enerji üretiminde kullanılması ile net **sera gazı üretimi sıfırdır**. Dolayısıyla **KYOTO** protokolündeki hedeflerin sağlanmasına yardım etmektedir. Biyokütle enerjisinden yararlanmak "**Sürdürülebilir Kalkınma**" amaçları ile de doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle biyokütleden yararlanmak üzere birçok çalışmalar yapılmıştır.

Jeirjstad vd. (1995) yaptıkları çalışmada IEA ülkelerinde biyokütle yakma sistemlerini incelemiş, evlerden endüstriyel kojenerasyon sistemlerine kadar geniş uygulama bulunduğunu görmüştür. Ancak, sistemlerin verim, emisyon ve maliyet açısından optimize edilmesi gereğini vurgulamıştır. 1995 de **Schlamadinger vd.** (1995) orman ürünlerinden elde edilen biyoenerji için karbon dengesinin yapılmasını sağlayan bir model geliştirmiştir. **Levwandowski vd.**(1995) *Miscanithus* adlı bitkinin enerji eşdeğerini hesaplamış, 20 ton kuru bitkinin 12 ton kuru kömüre eşdeğer olduğunu bulmuştur.

Sera etkisinin azaltılması ve muhtemel iklim değişikliklerinin önlenmesi için alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması giderek artan bir ihtiyaçtır. Aşağıda özetlenen çalışmalarda, gelişmekte olan ülkelerde bol miktarda ve çok düşük fiyatlarda olan zeytin küspesinin (prina) bir enerji kaynağı olarak potansiyelinin incelemesi için yapılan çalışmalar ve biyokütleden enerji eldesi için yapılan yakma çalışmaları özetlenmiştir.

Abu-Qudais (1996) akışkan yatakta prina yakarak prinadan enerji üretimini incelemiştir. Zeytinyağı fabrikalarında yağ eldesinden sonra kalan zeytin küspesine "prina" veya "olive cake" denilmektedir. Toplam ürünün %13-30 unu oluşturmaktadır. Bu maddenin ısı değeri oldukça yüksektir. Üst ısı değeri 25.400 KJ/g olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmada kullanılan prinanın yaklaşık bileşimi şöyledir: %43.15 uçucu organikler, % 44.34 sabit karbon, % 6.01 nem ve % 6.5 kül. Akışkan yatak yakma sisteminde deneysel olarak yapılan yakma çalışmalarında yaklaşık 812 kg/m²-h lik bir yakma hızı elde edilmiştir. Yatak yüksekliği 0.1m ve 0.15m arasında değiştirilmiştir. %86 ile %95 arasında değişen yanma verimi elde edilmiştir.

Alkhamis ve Kablan (1999) prinanın tane büyüklüğünün (grain size) kalorifik değeri üzerine etkisini çalışmıştır. 2.3 mm den daha büyük tanelerin bile tam olarak yakılabildiği tesbit edilmiştir. Çalışılan prinanın ortalama kalorifik değeri 31.2 KJ/g olarak bulunmuştur (odunun kalori değeri 17 KJ/g, linyit kömürünün ortalama kalori değeri 23 KJ/g). Prinanın bitümlü şist ile beraber yakılabilmesi de incelenmiştir. Özellikle bitümlü şistlerin tutuşturulması sırasında gerekli enerjiyi prinanın kolaylıkla sağlayabileceği bulunmuştur. Çalışma sonunda prinanın içindeki kül miktarının çok az olması, enerji değerinin iyi olması ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak fevkalade bir potansiyele sahip olması nedeniyle enerji eldesinde muhakkak kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Abu-Qudais ve Okasha (1996) dizel yakıtı ve prinanın karıştırılması ile hazırlanan bulamacının dikey, silindirik ve su soğutmalı bir yakıcı içinde direkt olarak yakılmasını çalışmışlardır. Bu bulamacın atomizasyon ve yanma performansı incelenmiştir. Geniş bir aralıktaki hava/yakıt oranları ve dizel yakıt içindeki farklı prina yüzdelerinde aksel ve radyal alev sıcaklık profilleri, su ceket ısı transfer dağılımı, alev stabilitesi ve yanma verimi elde edilmiştir. Bulamaç içindeki prina ağırlık yüzdesinin %7'ye çıkarılmasıyla ısı transfer oranı ve yanma veriminin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, dizel yakıt içindeki prina ağırlık yüzdesi artırıldığında stabilite halkası(stability loop) daha dar hale gelmiş, prina ağırlık yüzdesinin %20'ye çıkarılmasıyla kararlı alevler gözlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak prinanın enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

“Odun Yakma ve Yaş Biyokütlenin Oksidasyonu” çalışmasının üçüncü yılında (1992-1994) **Hustad vd. (1995)** projedeki ilerlemeleri ve kazanımları özetlemişlerdir. Makalede odun yakma ve pirolizin modellenmesi, biyokütle yakıtların ve küllerin karakterizasyonu, emisyon karşılaştırmaları, emisyon azaltma teknikleri, ölçüm teknikleri, test standartlarının karşılaştırılması, kirli odun atıklarından yararlanma, yaş biyokütle oksidasyonu, yoğunlaşma sistemleri ve birlikte üretim ve birlikte yanma teknikleri anlatılmıştır.

Seçilen bazı asya ülkelerinde biyokütle enerjisi kullanımından kaynaklanan emisyonlar ise **Bhattacharya vd. (2000)** tarafından incelenmiştir. Bu makalede seçilmiş bazı Asya ülkelerinde biyokütle enerjisi kullanımından kaynaklanan belli başlı sera gazları ve diğer gazlar ile maddelerin yıllık emisyonlarını hesaplamak için bir girişim yapılmaktadır. Bu amaçla, biyokütle yakma için farklı emisyon faktör değerleri geniş bir literatür taraması yapılarak derlenmiştir. Derlenen bu değerlerden, her bir ülke ve her bir yakıt yakma sistemi kombinasyonu için farklı gaz ve kirleticilerin emisyon faktörleri seti elde edilmiştir. Karbon içeren gazların örneğin CO₂, CO ve CH₄'in emisyon faktörleri, toplam karbon hesabının dışına çıkılmasını önlemek için bir düzeltme faktörüyle çarpılarak düzeltilmiştir. Seçilen Asya ülkelerindeki toplam emisyonları bulmak için kullanılan yakma sistemi için düzeltilmiş emisyon faktörleri kullanılmaktadır.

Biyokütleden enerji eldesinde biyokütle bileşiminde bulunan inorganik elementler ve bileşikler, yanma prosesini ve yanma sonucunda oluşan külün bileşimini etkilemektedir. Dolayısı ile, çeşitli biyoyakıtların yakılması sırasında **inorganik elementlerin ve bileşiklerin** oluşturduğu madde akışı hakkında bilgi sahibi olmak büyük önem taşımaktadır. Bu konuda elde edilecek sonuçlar, biokütle yakacak fırınların ve yakma sistemlerinin dizayn edilmesinde ve slagging (erime ve yapışma)nın ve korozyonun önlenmesinde gerekli olmaktadır. Ayrıca yakma sonunda oluşan külün kullanılabilmesi için de bu bilgilere gerek vardır. **Obernberger vd. (1997)** yaptıkları çalışmada değişik yakma teknikleri ile donatılmış sistemlerde çok çeşitli biyokütle kullanarak (ağaç parçaları ve kabukları, saman, buğday kabukları, vb.) kapsamlı yakma deneyleri yapmışlardır. Kullanılan biyokütle ve yanma sonunda oluşan külün analizleri yapılmıştır.

Inorganik elementler için yapılan madde denkliği sonuçları, biyokütle külündeki çevre açısından önemli olan ağır metallerin (özellikle Zn ve Cd) konsantrasyonlarının partikül büyüklüğü ve çökeltme sıcaklığındaki azalmayla arttığını göstermiştir. Bu etkinin biyoyakıt kullanımından bağımsız olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, oluşan külden faydalanmak için ağır metal ayrımının yapılması, farklı uçucu kül fraksiyonlarının birbirinden ayırt edilmesi ve yeni gelişen

fırın teknolojilerine göre uçucu kül çökeltme sıcaklığının belirlenmesi gerektiği görüşüne varılmıştır. Bu araştırma ayrıca saman ve ağaç kabuğu ve onların küllerinin, odunsu biyoyakıtları ve onların küllerinden oldukça daha az miktarlarda ağır metal içerdiklerini göstermiştir.

Bu konuda yapılan diğer bir çalışma da **Narodoslawsky ve Obernberger (1996)** tarafından gerçekleştirilmiştir. Biyokütlenin yakılması sonunda oluşan küller kalsiyum, potasyum ve fosfor gibi nutrientleri içermektedir. Bu nedenle bunların orman veya tarım topraklarına geri döngüsü yapılmalıdır. Ancak, buradaki problem, külün nutrientler yanında ağır metalleri de içermesidir. Odun külü içinde Cd var ise bu külün tarımda kullanılması risklidir. Cd, biyokütle yakma tesisinde oluşan külü, yani siklon uçucu külünü, hatta daha yüksek bir oranda filtre külünü veya (atık gaz yoğunlaşmasının olduğu) yoğunlaşma çamurunun büyük bir kısmını kirletir. Bu durumda oluşan külleri değişik sıcaklıklarda toplayabilmek için yeni teknolojiler gereklidir. Biyokütle yakma tesisinde farklı sıcaklıklarda çalışma avantajı sağlayan yeni bir teknoloji henüz geliştirilme aşamasındadır. Bu teknoloji bir tesisdeki bütün küller içinde kadmiyum ve diğer uçucu ağır metallerin konsantrasyonunun küçük bir düzeyde olmasına ve nihai kül içerisinde çevreyle ilgili maddelerin konsantrasyonlarının düşük tutulmasına olanak sağlayacaktır.

Elektrik enerjisi üretiminde biyokütle kullanımı da gündeme gelmektedir. **Van Den Broek (1996)** 10 MW_e'dan daha büyük kapasiteye sahip biyokütle yakan güç üretim teknolojilerinin bugünkü durumunu özetlemektedir. Bu çalışmada biyokütle yakma teknolojileri kalitatif bazda karşılaştırılmıştır. Izgaralı sistem, süspansiyon ve akışkan yatak yakma teknolojileri birbiri ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. **Akışkan yatak sistemleri oldukça yüksek verimlidir ve yakıt özellikleri açısından esneklerdir.** Hem akışkan yatak sistemlerinde, hem de vibrasyonlu izgaralı yakıcılarda termal NO_x oluşumu kısıtlıdır.

Yakın zamanda inşa edilen bazı tesisler ile planlanan bazı sistemler verim, yatırım maliyeti ve emisyonlar açısından kantitatif olarak karşılaştırılmaktadır. Tüm tesisler için elektrik verimleri %30 civarında veya üzerindedir (Alt Isıl Değeri bazında). Sadece biyokütle yakılan vibrasyonlu izgara ve **akışkan yatak sistemleri en yüksek verime sahiptir.** % 4.5 oranında biyokütlenin kömür tozu ile birlikte yakılması durumunda verim %37'ye çıkmaktadır. Büyük ölçekli tesisler (10-250 MW_e) için beklenen verim değerleri %39-44 arasındadır. Yatırım maliyetleri 1992 yılı fiyatlarına göre 1200 ila 2900 US\$/KW_e arasında değişmektedir. Yüksek maliyetler genelde zor yakıtların yakılması veya kombine ısı-güç üretiminden kaynaklanmaktadır.

CO₂ emisyonları ve iklim değişikliğinin gündemde olması, İrlanda'da biyokütleden elektrik üretimine olan ilginin yenilenmesine neden olmuştur. İrlanda'da geri uyumlanan (retrofitted) turba tesislerinde yerel olarak yetişen söğüt ağacının yakılması düşük yatırım maliyetli bir seçenektir. Böyle bir biyokütleden enerji elde etme sistemi için çeşitli seçenekler değerlendirilmiştir (**Van Den Broek vd., 1997**). Mevcut turba tesislerinin geri uyumlanması ile yeni kurulacak biyokütle yakma ve gazlaştırma tesisleri karşılaştırılmıştır. Düşünülen bütün dönüşüm teknolojileri, biyokütle ile turbanın birlikte yakılmasına imkan tanımaktadır. Bu çalışma kısa vadeli olasılıklar üzerine odaklanmıştır. Belirsizlikleri yansıtmak için birim maliyetler aralıklarla ifade edilmiştir. Bunlara tarımsal kayıplar ve de CO₂ vergileri dahil edilmemiştir. En düşük maliyet hesabında söğüt yakan geri uyumlanmış turba tesisleri ile turba

yakılmasının maliyeti aşağı yukarı aynıdır(4.3\$/GJ -LHV ve 21¢/kWh). Bu nedenle biyokütle, İrlanda'da CO₂ emisyonlarını azalmak için ümit verici bir seçenektir.

Armesto vd. (2002) pirinç kabuklarının kabarcıklı akışkan yatakta yanma karakteristikleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada elde edilen yanma verimi %97 den yüksek olmuş ve açığa çıkan CO emisyonu da 1000 mg/Nm³ dan yüksek bulunmuştur. CO emisyonu ve yanma verimi üzerinde sıcaklık etkisinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Yine **Armesto vd. (2003)** kabarcıklı akışkan yatakta zeytinyağı endüstrisi artıklarının kömürle birlikte yakılmasını incelemiştir. Yaptıkları deneylerde yanma verimi değişmeden SO₂ emisyonunun azaldığını tesbit etmişlerdir.

Bakker vd. (2002) liç edilmiş pirinç sap ve kabuklarının kabarcıklı akışkan yatakta yanma karakteristiklerini incelemiştir. Çalışma sonuçları yanma karakteristiklerinde önemli bir iyileşme olduğunu, CO ve NO_x emisyonlarının liç edilmemiş malzemeye göre azaldığını, yatak malzemesi ve külün aglomerasyon göstermediğini tesbit etmiştir.

Cliffe and Patumsawad (2001, 2002) kömür, bitkisel artıklar, zeytinyağı üretim artıkları ve evsel atıkların bir enerji kaynağı olarak kullanılmasını ve evsel atıkların temiz olarak bertaraf edilebileceğini teknik olarak göstermek üzere, bu maddeleri bir kabarcıklı akışkan yatakta yakmıştır. Orijinal olarak kömür yakılması için dizayn edilmiş bir sistemde %20 zeytinyağı üretim artıkları ve %80 kömür karışımı, sadece verimde % 5 lik bir düşme ile başarılı şekilde yakılmıştır. Ayrıca, çalışmacılar ön kurutma işlemine tabi tutulmuş evsel atıkların da %63 karbon yanma verimi ile yakılabileceğini, %6 O₂ bazında ve kuru gazda CO emisyonunun 900-1200 ppm olacağını göstermişlerdir.

Scala vd. (2000) biyokütle orijinli sabit karbon (kok) yanmasını ve yataktan taşınma (elutriation) hızını bir laboratuvar tipi akışkan yatakta incelemiştir. Sabit karbonun her zaman tam olarak yandığını ve yüksek yanma verimi elde ettiklerini rapor etmişlerdir. Bunu da yatak malzemesine kok taneciklerinin yapışması ile açıklamışlardır.

Akışkan yatak koşullarında biyokütle yakılması sırasında oluşan N₂O emisyonlarını **Shen vd. (2002)** ve **Liu vd. (2002)** incelemiştir. Bir kabarcıklı akışkan yatakta çeşitli kömür tipleri, odun parçaları ve pirinç sapları ile beraber yakılmıştır. Beraber yakmanın (co-combustion) N₂O ve NO_x konsantrasyonunu azalttığını gözlemişlerdir. Karışımında biyokütle/kömür oranı arttıkça, N₂O konsantrasyonundaki azalmanın daha az olduğu ve NO_x konsantrasyonunun arttığı bulunmuştur. Çalışmacılar yüksek N içeren kömürlerin yakılmasında, N₂O emisyonunu azaltmak için kömürün biyokütle ile beraber yakılmasının bir çözüm olduğunu önermişlerdir.

Kakaras vd. (1999) fosil yakıtların (taşkömürü ve linyit), saman ve diğer biyokütlenin bir arada preslenmesi ile elde edilen odunsu malzeme ile birlikte yakılmasını incelemiştir. Elde edilen sonuçlar birlikte yakmanın teknik açıdan tamamen olumlu olduğunu ve bu tekniğin daha büyük çapta endüstriyel tesisler için de geliştirilebileceğini göstermiştir. Tek olumsuz yan, yüksek sıcaklıklarda kül erimesi problemine çözüm bulunması gereğidir.

Kouprianov ve Permchart (2003) konik bir akışkan yatak kullanarak hızar tozu ile Thai odunu karışımını yakmışlardır. Değişik işletme parametreleri (besleme hızı ve hava fazlalık katsayısı) ve sabit yatak yükseklikleri (20, 30 and 40 cm) için yanma gazları (CO, NO_x and CO₂) konsantrasyonu, sıcaklık ve O₂ konsantrasyonları yatak yüksekliği boyunca ölçülmüştür. Çalışma sonunda yakıcı yüksekliği boyunca elde edilen CO and NO_x konsantrasyonlarının aktif yanma bölgesinde en yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, CO_{max} üzerinde yatak yükünün, kullanılan fazla havanın ve aynı zamanda nemin çok etkili olduğu gösterilmiştir.

Leckner and Lyngfelt (2002) kömür, biyokütle ve atıkların akışkan yatakta yakılmasından oluşan emisyonların optimizasyonu üzerinde çalışmıştır. Çalışma sonunda uçucu madde içeriği az (kömür) veya çok olan (biyokütle ve atıklar) yakıtların tamamen farklı davrandığını ve emisyonlarının farklı olduğunu, kömür yakılmasında emisyonları azaltmak için alınan önlemlerin yüksek-üçüclü maddelerin yakılması için geçerli olmayacağını göstermişlerdir. Ayrıca, uçucu içeriği fazla olan maddelerin yatak içinde yatay dağılımının daha kritik olduğunu, çünkü uçucuların buharlaşarak gaz fazına geçme hızının yakıt taneciklerinin yatak içinde dağılım hızından çok daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sonucu olarak "dolaşimli akışkan yatak"ların kömür ve biyokütlenin beraber yakılması için çok uygun bir sistem olduğunu vurgulamışlardır.

Bazı biyokütlelerde külün erime noktasının düşük olması akışkan yatakta sinterleşme, aglomerasyon, ısı değiştirici yüzeylerinde birikme gibi problemlere neden olmaktadır. **Arvelakis vd. (2001)** bu problemin azaltılması veya önlenmesi için buğday saplarının veya zeytin atıklarının liç edilmesini denemiş, kabarcıklı akışkan yatakta kül yumuşama problemi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Biyokütlenin liç edilmesi ile kül probleminin ucuz bir çözüm bulunacağını düşünmüşlerdir. Çalışmalar sonunda liç etmenin zeytin atıklarındaki kül yumuşama problemini önemli ölçüde azalttığını görmüşlerdir. Ancak, bu yöntem buğday sapları (saman) için yeterli olmamış, yine birikme ve aglomerasyon görülmüştür.

Öhman and Nordin (2000) yine akışkan yatakta biyokütlenin yakılması sırasında aglomerasyon karakteristiklerini incelemiştir. Biyokütle karakteristiklerini ve mümkün olan en çok kül probleminin neden olabilecek bileşen kombinasyonlarını incelemek amacı ile 300 biyokütle yakıtı için bir principal-component analizi yapılmıştır. İncelenen yakıtlar 5 KW lık bir akışkan yatakta yakılmıştır ve spesifik aglomerasyon sıcaklıkları tayin edilmiştir. Yakıtların bileşimine göre erime davranışları incelenmiştir. Laboratuvar çapındaki yakıcıda incelenen tüm numuneler, endüstriyel çapta yakma yapılan numuneler ile karşılaştırılmıştır. Yataktaki tanelerin yüzeyleri K₂O-CaO-SiO₂ ile homojen olarak kaplanmış ve deneyler bu taneler ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yakıttaki S ve Klor'un aglomerasyon mekanizmasına katılmadıklarını göstermiştir. Tahmin edilen erime davranışlarının laboratuvar çapındaki akışkan yataklı yakıcıda ölçülen aglomerasyon sıcaklıkları ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, yataktaki tanecikler üzerindeki kaplamanın kısmen erimesinin aglomerasyondan direkt olarak sorumlu olduğu kanısına varılmıştır.

Laursen and Grace (2002) kömür, domuz pisliği ve çamurunun akışkan yatakta beraberce yakılmasını incelemişlerdir. Yakma deneyleri paslanmaz çelikten yapılmış bir sabit yatakta 4 ayrı sıcaklıkta yapılmıştır (675, 725, 775, and 825°C) ve değişik nem oranları denenmiştir.

Tutuşma probleminin olmayacağı nem oranları dikkate alınmıştır. Kömür tanelerinin yanmasını %88–99 tamamladığı görülmüştür. Ancak, yanma işleminin özellikle yakıt nemli olduğu zaman fazla hava oranına çok duyarlı olduğu bulunmuştur. Kömür ile domuz pisliklerinin beraber yakılması sırasında daha fazla SO₂ emisyonu çıkmıştır. Bu SO₂ emisyonunu önlemek için de deneylerde kireçtaşı tanecikleri kullanılmıştır. Deney sonuçları, kükürt oksitlerinin yakalanmasının kireçtaşı tanecik çapına ve yakma sıcaklığına bağlı olduğunu göstermiştir.

Enerji üretimi için biyokütle yakıldığında oluşan hava kirleticileri arasında oluşması hiç istenmeyen poliklorlu dioksinler ve furanlar da olabilir. Bu bileşikler her koşulda oluşmamaktadır. Ancak, oluştuğu zaman da tehlike arz etmektedir.

Fell ve Tuczek (1998) sabit yatakta alevlenmeyen adsorbanlarla dioksin ve furanların atık gazdan giderimini incelemiştir. Bu makalede sunulan adsorpsiyon işlemi (KOMBİSORBON) nin verimi yüksektir ve atık gaz arıtımı için uygulanabilmektedir. Uygun olmayan koşullarda çalıştırılan yakma tesisleri atık gazlarında (off-gas) oluşan **poliklorlu dioksinler ve furanların** gideriminde kullanılmaktadır. Bu atık gaz arıtma işlemi, dioksinlerin ve furanların konsantrasyonunu 0.1 ng TEQs (toxicity equivalents, toksisite eşdeğeri)/m³ atık gaz olarak sınırlayan Alman kanunlarıyla uyumludur. Adsorban, adsorpsiyon işlemi ve bunun tesis boyutu (sabit yatak), ekonomisi ve elde edilen çalışma sonuçları kapsamlı olarak açıklanmaktadır. Alternatif giderim teknolojilerine de kısaca değinilmiştir.

Karbon enjeksiyonu ve karbon yatağı 1980'lerden beri yakma sistemlerinde poliklorlu dibenzop-dioksin (dioksin) ve poliklorlu dibenzofuran (furan) emisyonlarının kontrolünde kullanılmaktadır. US-EPA da Nisan 1996'da kabul edilen "Tehlikeli Atık Yakma Sistemi Maksimum Ulaşılabilir Control Teknolojisi" standartları, tehlikeli atık yakma sistemlerinden kaynaklanan dioksin emisyonları için karbon enjeksiyonunu "Beyond-the-Floor" kontrol teknolojisi olarak tanımlamıştır. Dioksin ve furanlara ilaveten, tehlikeli ve evsel atık yakma tesislerinden alınan veriler karbon enjeksiyonu ve karbon yatağı kontrolününün diğer tamamlanmamış yanma ürünlerinin (PICs-products of incomplete combustion) emisyonunu azaltabileceğini göstermiştir. **Cudahy ve Helsel** (2000) tarafından hazırlanan bu makalede ppm veya daha düşük atık gaz konsantrasyonları ile torba filtre (baghouse) ve elektrostatik filtre (ESP) çalışma sıcaklıklarında PICs için karbon adsorpsiyonunun teorik çalışmaları kalitatif olarak tartışılmıştır. Tehlikeli ve evsel atık yakma tesislerinden çıkan tamamlanmamış yanma ürünlerinin (PICs) karbon ile giderimi üzerine bir veri özeti sunulmaktadır. Açıklanan karbon-PIC verilerinin çoğu dioksin olmayan tamamlanmamış yanma ürünleri (PICs) içindir.

Son yıllarda tuz yüklü (salt-laden) odun atıklarının yakıldığı kazanlardan çıkan emisyonların potansiyel **dioksin** kaynağı olabileceği anlaşılmıştır (**Luthe vd.**, 1997). Bacadaki partikül seviyesindeki azalma, dioksin emisyonlarındaki azalma anlamına gelmez. Buna karşılık partikül giderimi için ikincil etkin bir toplama cihazıyla birlikte etkili kontrol sağlamak amacıyla iyi yanma koşulları oluşturulması gerekmektedir (baca emisyonları 0.064-0.086 ng toksisite eşdeğeri TEQs/m³). Çalışmada, dioksin oluşumunun kaynakta azaltılması konusunda, düşük C/S oranının faydalı olacağı konusunda başlangıç değerlendirmesinin ümit verici olduğu görülmüştür.

Yakma tesisleri baca gazlarındaki poliklorlu dibenzo-p-dioksinler(PCDDs) ve poliklorlu dibenzofuranları (PCDFs) azaltmak amacıyla bir torbalı filtre (Fabrik Filter, FF) kullanarak gaz arıtımı yapılması mevcut uygulanabilir metodlardan biridir. **Tejima vd. (1996)** tarafından yapılan çalışmada, torbalı filtrenin partikül ve asit gazları gidermekle kalmayıp ağır metalleri de giderdiği bildirilmektedir. Bir torbalı filtrenin kullanıldığı tesiste etkili bir PCDDs/PCDFs ve civa giderimi sağlamıştır. Özellikle PCDDs/PCDFs konsantrasyonu başarılı bir şekilde 0.1 ng TEQs/Nm³ değerine düşürülmüştür.

Literatür çalışmasından görüldüğü gibi, bundan önce yapılan araştırmalarda biyokütle yakılmasında **akışkan yatak sistemlerinin oldukça yüksek verimli olduğu** ve yakıt özellikleri açısından esnekliğe sahip olduğu belirtilmektedir. Bu sistemlerin kullanılması NO_x oluşumu açısından da bir avantaj getirmektedir. Ülkemizde biyokütle yakılarak enerji elde etme çalışmaları hemen hemen yoktur. Bildiğimiz kadarı ile bu çalışma ilk çalışmalardan biridir. Türkiye için kesinlikle bir boşluğu dolduracaktır.

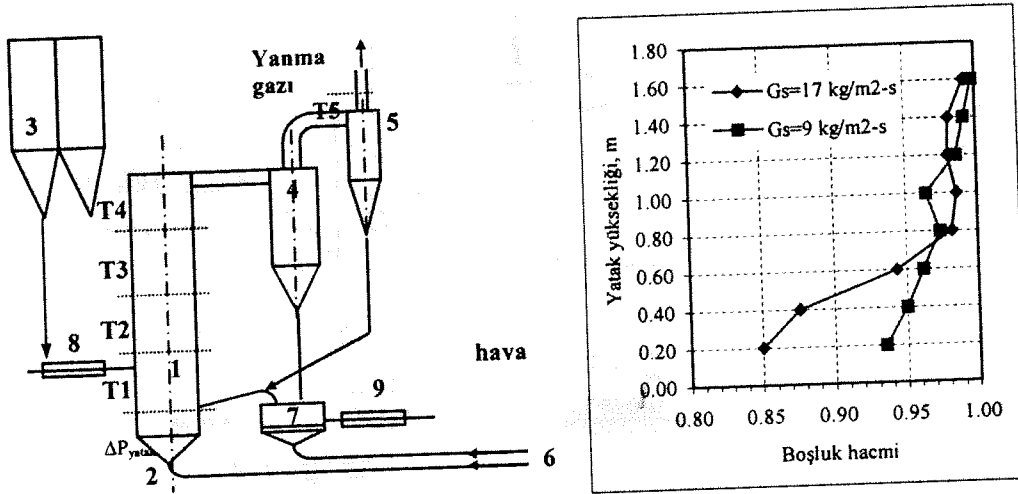
Diğer taraftan biyokütleden enerji eldesinde biyokütle bileşiminde bulunan inorganik elementler ve bileşikler, yanma prosesini ve yanma sonucunda oluşan külün bileşimini etkilemektedir. Dolayısı ile, çeşitli biyoyakıtların yakılması sırasında **inorganik elementlerin ve bileşiklerin** oluşturduğu madde akışı hakkında bilgi sahibi olmak büyük önem taşımaktadır. Literatürde kül bileşimindeki ağır metallerin ve diğer inorganik elementlerin, bileşiklerin durumları tam olarak incelenmemiştir.

BÖLÜM III

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Dolaşimli Akışkan Yatak Sistemi (DAY)

Bu çalışmada kullanılan DAY sistemi 125 mm çapında, 1800 mm uzunluğunda bir ana kolon, iki yüksek verimli seri bağlanmış siklon, bir kabarcıklı yatak, yakıt besleme ve kül boşaltma sistemlerinden oluşmuştur. Sistemin şematik diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir. Ana kolon 80 mm'lik yalıtılmış bir boru ile birinci siklona bağlanmıştır. Yanma gazları tarafından taşınan katı maddeler siklonda ayrılmakta, katı madde yine bir akışkan yatak yardımıyla ana kolona beslenmektedir. Akışkan yatağın boyutları 100 mm x 140 mm'dir. Yatak ana kolondaki dağıtım plakasından 370 mm daha yukarıya yerleştirilmiştir. Kabarcıklı yatak esas olarak siklondan gelen katı maddeleri toplamak ve havalı taşıma yöntemi ile gazları ve katıları ana kolona aktarmak için kullanılmaktadır.

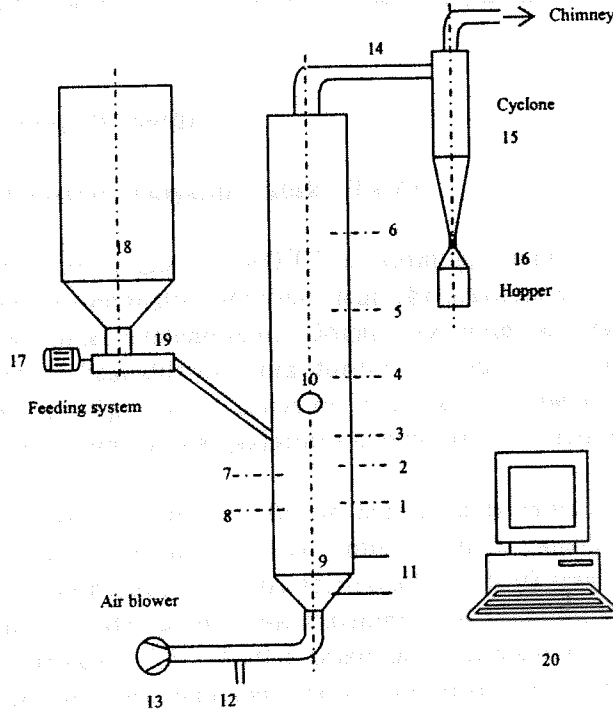


Şekil 3.1. DAY sisteminin şeması ve yatak yüksekliği boyunca yatak boşluğunun profili; 1. ana kolon; 2. hava girişi (hava kutusu); 3. yakıt deposu; 4. birinci siklon; 5. ikinci siklon; 6. hava fanı; 7. dolaşimli yatak; 8. yakıt besleme sistemi; 9. kül taşıma sistemi; T1, T2, T3, T4, T5 sıcaklık ölçümleri için kullanılan termociftler

Deneylerde gerekli hava 1000 m³/saat (7.5 hp) kapasiteli bir fan ile sağlanmıştır. Yatak materyalinin ön ısıtması doğal gaz ile yapılmaktadır. Doğal gaz sisteme dağıtım plakasının altından bir nozül ile beslenmektedir.

3.2. Kabarcıklı Akışkan Yatak Sistemi (KAY)

Deneylede kullanılan kabarcıklı akışkan yatak (KAY) sisteminin şematik diyagramı Şekil 3.2 de verilmiştir. Kabarcıklı akışkan yatak sistemindeki kolon Inconel çelikten yapılmıştır. İç çapı 102 mm, yüksekliği 900 mm dir. Yatak içindeki dağıtıcı ızgara, paslanmaz çelikten yapılmış ve 1.5 mm çapında delikleri olan bir plakadır. Yatağın alt kısmına yerleştirilmiştir. Kolon üzerinde bir adet besleme borusu, 2 adet de taşkın borusu vardır. Yatak içindeki ve kolon boyunca sıcaklıkları ölçebilmek için 6 adet termočift yerleştirilmiştir. Termočiftler kromel-alumel (Tip K) termočiftlerdir ve ızgaradan itibaren 40 mm (TC1), 110 mm (TC2), 190 mm (TC3), 330 mm (TC4), 490 mm (TC5) and 660 mm (TC6) ye yerleştirilmiştir. Izzaradaki ve yataktaki basınç düşmeleri bir manometre ile ölçülmektedir.



Şekil 3.2. Kabarcıklı akışkan yatak sisteminin şematik diyagramı

(1-6) Termočiftler; (7-8) Kül çıkışı; (9) Izzgara plakası; (10) Tutuşturma deliği; (11) Manometre; (12) Doğal gaz besleme; (13) Hava besleme; (14) Gaz örnekleme noktası; (15) Siklon; (16) Kül haznesi; (17) Vidalı besleyici motoru; (18) Yakıt silosu; (19) Vidalı besleyici; (20) Veri toplama ünitesi

Yatakta yakma ve akışkanlaştırma için kullanılacak hava, 500 m³/hr (1.1 KW) kapasiteli bir fandan sağlanmaktadır. Akışkanlaşma havası ızgaranın alt tarafından verilmekte, ve yatak içinde ızgara vasıtası ile homojen olarak dağılmaktadır. Deneylede başlamadan önce yatak malzemesinin ön ısıtılması doğal gaz yardımı ile yapılmaktadır. Sistemde doğal gazı ön ısıtma amacı ile

kullanmak üzere gerekli bağlantılar yapılmıştır. Yatak malzemesi olarak ortalama 0.85 mm çapında kum taneleri kullanılmıştır. Yatak yüksekliği ise yaklaşık olarak 100 mm dir.

Yatağa yakıt besleme için bir vidalı besleyici ve yakıt silosu mevcuttur. Yanmadan oluşan gazlar önce bir siklondan geçmekte, uçucu küller tutulduktan sonra dışarı atılmaktadır. Baca gazından alınan gaz örnekleri bir baca gazı analiz sistemi ile analiz edilmektedir. Ölçülen parametreler O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x (NO , NO_2) ve toplam hidrokarbonlardır (CH_4 olarak).

Termoçiftlerden toplanan sıcaklık ölçümleri bir Agilent Model-34970 marka Data Acquisition Switch Unit ile toplanmakta ve Agilent BenchLink Data Logger yazılımı kullanılarak proses edilmektedir. Toplanan tüm veriler bilgisayar hafızasında saklanmaktadır. Sıcaklık kontrol ünitesinin her kanalında en düşük ve en yüksek sıcaklıkları uyaracak bir alarm sistemi de mevcuttur. Alarm için sınır değerleri başlangıçta tarafımızdan belirlenmektedir.

3.3. Deney Prosedürü

3.3.1. Dolaşım Akışkan Yatak (DAY)

DAY önce doğal gaz ile $500^{\circ}C$ 'ye ısıtılmış, sonra sıcaklık $700^{\circ}C$ 'ye ulaşıncaya kadar yatak malzemesi beslenmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra önceden hazırlanmış yakıt karışımı DAY sistemine beslenmiştir. Doğal gaz giderek azaltılmış, yakıt yanması kendi kendini desteklemeye başladıktan sonra durdurulmuştur. Sistemin kararlı durumu, sabit sıcaklık profili, sabit basınç düşmesi ve dolaşım hızı elde edilmesi olarak tanımlanmıştır. Kararlı duruma ulaşıldıktan sonra yanma gazlarının kompozisyonu ölçülmüştür.

Yataktaki basınç düşmesi belli bir değeri aştığı zaman fazla kül yataktan dışarı alınmıştır. Her deney süresince toplanan kül tartılmış ve külde yanabilir madde miktarı için analiz edilmiştir. Külde yanabilir madde miktarı ağırlıkça %7 - %10 arasında bulunmuştur. Deney sonuçlandıktan sonra yatak içinde kalan yatak malzemesi de yanabilir madde miktarı için analiz edilmiştir. Bu miktar ağırlıkça %7.5 - %10.5 arasında bulunmuştur. Yanabilir madde sonuçları, o deney için karbon dengesi hesaplamalarında kullanılmıştır. Her deneyde karbon dengesinin sağlanmasına dikkat edilmiş, karbon dengesinin sağlanmadığı deneyler dikkate alınmamıştır. Yanma gazlarının analizi ikinci siklonun çıkışındaki numune alma noktasından alınan numunelerin analizi ile gerçekleştirilmiştir. Gaz örneği bir filtre sisteminden geçtikten sonra O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_x ve C_mH_n analizörlerine gelmiş ve konsantrasyonları ölçülmüştür.

Deneyler sırasında gaz analizleri siklon çıkışından önceki gaz örneği alma noktasından alına gaz numuneleri üzerinde yapılmıştır. Hidrokarbon analizleri için MADUR Electronics, Model GA 40T plus, yanabilir gaz analizörü kullanılmıştır. Analizörün örnek alma noktası ile analizlerin yapıldığı kısmı arasında bir ısıtılmış hattı vardır. Gaz örneği bu ısıtılmış hat yardımı ile hiç yoğunlaşma olmadan analiz sistemine aktarılmaktadır. Örnek, bir filtre sisteminden geçirildikten sonra analiz edilmektedir. Hangi gazların hangi yöntemle göre analiz edildiği Tablo 3.1 de verilmiştir. Analiz cihazları her deneyden önce standard kalibrasyon gazları ile kalibre edilmektedir.

Tablo 3.1. Baca gazı (yanma gazları) analiz yöntemleri

Ölçülen Gaz	Kullanılan Analiz Yöntemi
O ₂	Oksijen molekülünün paramanyetik özelliklerinin kullanılması
CO - CO ₂	Saçınımsız kızılötesi ışıma yöntemi (NDIR - Non dispersive infrared)
SO ₂	Saçınımsız morötesi ışıma yöntemi (NDUV - Non dispersive ultraviolet)
NO - NO ₂ - NO _x	Kimyasal ışıma yöntemi (Chemilumineszens)
C _m H _n	Alev iyonizasyon yöntemi (FID - Flame ionization detector)

3.3.2. Kabarcıklı Akışkan Yatak (KAY)

KAY sistemi ile deneyler yapılırken önce yatakta inert madde olarak kullanılacak kum yatağa beslenmiştir. Kum yüksekliği istenilen seviyeye geldiğinde yatak doğal gaz ile ısıtmaya başlanmış ve 700°C'ye kadar ısıtılmıştır. Daha sonra önceden hazırlanan ve yakıt silosuna konulan yakıt, vidalı besleyici tarafından yatağa beslenmeye başlamıştır. Kullanılan tanecik boyutları, kayısı ve şeftali çekirdeği ve kömür için ortalama 2.38 mm dir. Yataktaki kum taneleri boyutu ise ortalama 0.85 mm dir. Yanma işlemi kararlı duruma eriştikten ve yatak sıcaklığı beslenen yakıtla istenen değerde tutulabilir hale geldikten sonra doğal gaz kesilmiştir. Yatak yüksekliği boyunca yerleştirilmiş termoçiftler yardımı ile sıcaklıklar kontrol edilmiş, deney boyunca ölçülen sıcaklıklar bilgisayara kaydedilmiştir. Vidalı besleyicinin önceden besleyebileceği yakıt miktarı, vida dönüş hızına göre kalibre edildiğinden yakıt besleme hızı bilinmektedir.

KAY da yapılan yakma deneyleri yaklaşık 2 saat sürmektedir. Bunun 1 saati kararlı duruma erişmek için harcanmaktadır. Her deney sırasında yatağa beslenen hava miktarı da önceden kalibre edilen orifis yardımı ölçülmektedir. Deneyler sırasında yanma kararlı duruma eriştikten sonra baca gazı analizleri yapılmaktadır. Deneyler değişik hava fazlalık katsayıları kullanılarak tekrarlanmıştır.

Deneyler sırasındaki yanma gazı analizleri yine yukarıda bahsedilen yöntemle, aynı parametreler için yapılmaktadır.

Her deney tamamlandıktan sonra yakıt beslemesi durdurulmuştur. Yatak bol miktarda alt tarafından beslenen hava ile soğutulmuştur. Deneyler sırasında siklonda biriken küller, siklonun alt kısmında bulunan hazneden alınmış ve tartılmıştır. Yatak malzemesi de her deneyden sonra boşaltılmış ve tartılmıştır. Hem yatak malzemesinde, hem de siklondan toplanan küllerde yanmayan carbon miktarı tayini yapılmıştır. Toplanan örnekler 950±2°C'de sabit tartıma erişinceye kadar ısıtılmış, elde edilen ağırlık farkından yanmamış karbon miktarı hesaplanmıştır. Yatak külünde yanmamış karbon miktarı ağırlıkça %0.11 – %13.42 arasında bulunmuştur. Elde edilen değerlerden her deney için karbon dengesi yapılmış ve yanma verimi hesaplanmıştır.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Prina ile Yapılan Çalışmalar

4.1.1. Prinanın ve Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Deneylerde yakıt olarak önce sadece prina, sonra kömür ve daha sonra da prina+kömür karışımları kullanılmıştır. Yatakta yatak malzemesi olarak silis kumu ve yanma sonunda açığa çıkan kül kullanılmaktadır. Tablo 4.1'de bu yakıtların elementer ve yaklaşık analiz sonuçları verilmiştir. Prina, kömür ve kumun yoğunlukları sırasıyla 591, 1374 ve 1730 Kg/m³ tür. Prina, kömür ve kum tanecikleri için ağırlıklı ortalama boyutlar sırasıyla 2.30 mm, 0.46 mm, 0.56 mm'dir. Prinanın yanması sonunda oluşan kül kompozisyonu da Tablo 4.1'de verilmiştir. Külde Na₂O içeriği bir hayli yüksektir. Külde alkali madde oksitleri yüzdesinin yüksek olması diğer biyokütle yakıtlarında olduğu gibi, topaklaşma ve ısıtma yüzeyinde birikim problemleri gibi sorunlara neden olabilmektedir. Bu çalışmada böyle bir sorunla karşılaşmamıştır.

Tablo 4.1. Kullanılan prina ve kömür numunelerinin yaklaşık ve elementer analizleri

Yaklaşık analiz, ağırlıkça %	Sabit Karbon	Uçucu Maddeler	Kül	Nem	HHV	LHV	
	% Ağırlıkça				KJ/kg		
Prina	15.64	68.82	9.01	6.53	19,813	19,600	
Tunçbilek Linyiti (kömür)	41.30	27.50	23.70	7.50	23,212	22,062	
Elementer analiz, % ağırlıkça (kuru bazda)	C	H	N	O	S	Kül	
Prina	46.80	6.07	0.68	36.69	0.12	9.64	
Tunçbilek Linyiti (kömür)	59.29	4.61	2.10	11.54	1.81	20.65	
Prinanın kül kompozisyonu, % ağırlıkça	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
	-	32.38	5.93	5.07	1.41	49.82	5.39

HHV; üst ısı değeri, LHV; alt ısı değeri

Ana kolon (riser) boyunca sıcaklık değişimi, distribütörden 0.40 m(T1), 0.80 m(T2), 1.20 m(T3) ve 1.60 m(T4) yüksekliklere yerleştirilmiş olan termociftlerle ölçülmüştür. Önce deneylerde sadece prina yakılmıştır. T1'deki sıcaklık 775-825°C arasında değişirken kolonun üst kısımlarında T4'te 875-900°C'ye ulaşmıştır. Bu sonuç prinaadaki uçucu maddelerin daha çok

yatağın üst bölgelerinde yandığını göstermektedir. Benzer sonuç Atımtay (1980, 1987) tarafından kabarcıklı akışkan yatakta linyit kömürünün yakılması için de gösterilmiştir. Prina yakma deneyleri tamamlandıktan sonra DAY sisteminde sadece kömür (Tunçbilek linyiti) yakılmıştır. Daha sonra da prinanın Tunçbilek linyitinin yakılması üzerindeki etkilerinin araştırılması için prina+kömür karışımları yakılmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, elde edilen yanma verimleri %94.20-%98.95 arasındadır.

Tablo 4.2. Yakıt karışım oranları, besleme hızları, yatak kapasitesi, yanma verimleri, katı madde dolaşım oranları ve oda sıcaklığındaki boş yatak gaz hızları

Deney No.	Yakıt tipi		T_{yatak}^*	Besleme hızı	Kapasite	η	G_s	U_0
			°C	kg/sa	KW	%	kg/m ² -s	m/s
1	Prina#1	100 % Prina	871	10.5	57.1	98.89	8.8	1.76
2	Prina #2	100 % Prina	855	13.0	70.7	98.73	9.0	2.01
3	Prina #3	100 % Prina	807	15.5	84.3	94.21	9.5	2.11
4	Prina #4	100 % Prina	839	15.5	84.3	96.87	9.4	2.24
5	Prina #5	100 % Prina	862	15.5	84.3	98.38	9.3	2.38
6	Prina #6	100 % Prina	887	15.5	84.3	98.95	9.3	2.81
7	Prina+ Kömür	25% Prina, 75% Kömür	844	4+12	92.2	97.75	15.7	2.47
8	Prina+ Kömür	50% Prina, 50% Kömür	870	8+8	92.5	97.52	16.2	2.56
9	Prina+ Kömür	75% Prina, 25% Kömür	858	12+4	89.8	97.52	15.4	2.71
10	Kömür	100%Kömür	892	16	98.0	98.02	17.0	2.55

* T1, T2, T3, T4'ün ortalama sıcaklıkları

4.1.2. Emisyonlar

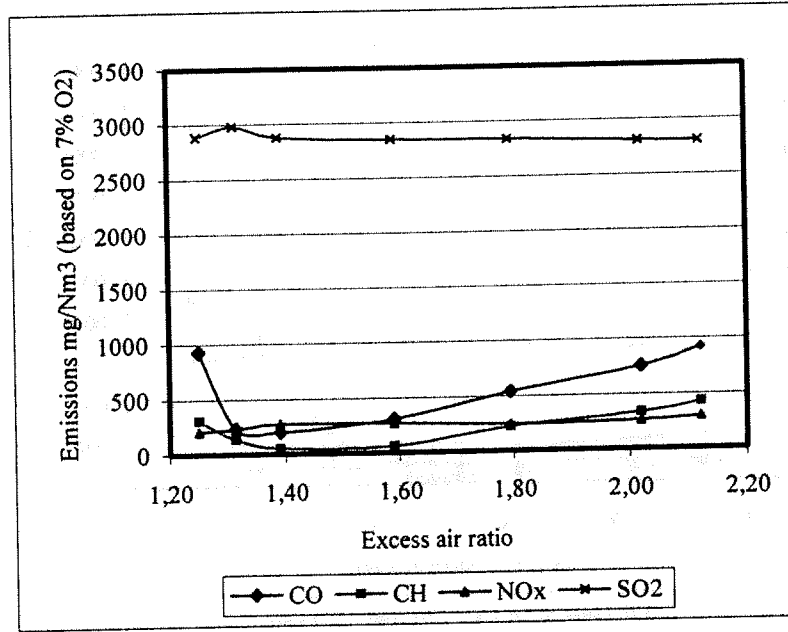
Prinanın yanmasından oluşan emisyonlar Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Prina enerji içeriği açısından atık kategorisinden daha çok katı yakıt kategorisine uygun olduğu için, HKKY'ye göre yanma gazlarında %7 O₂ esas alınarak hesaplanan emisyonlar kullanılmıştır.

Tablo 4.3. Yanma gazlarında %7 O₂ ve %11 O₂ esas alınarak bulunan emisyonlar

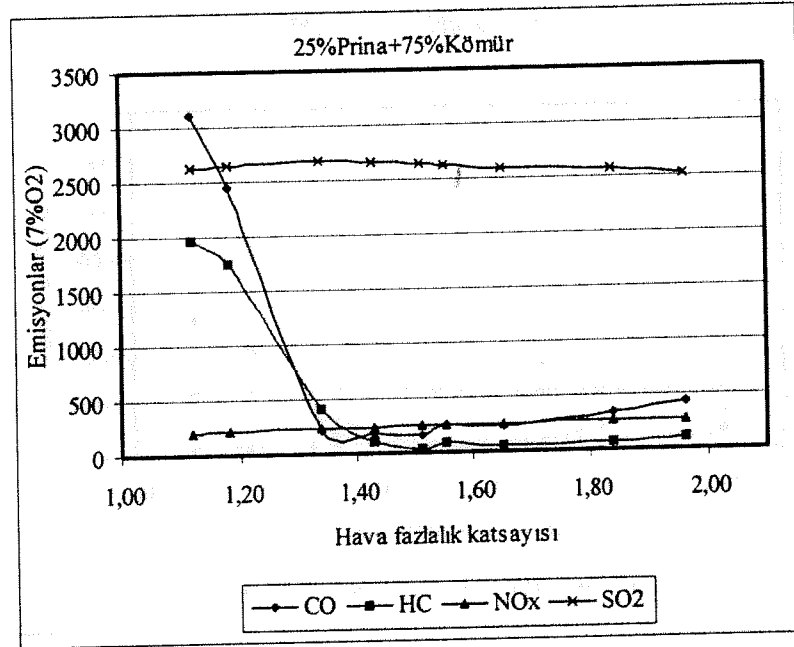
Deney No.	Yakıt tipi	CO	C _m H _n	NO _x	SO ₂	CO	C _m H _n	NO _x	SO ₂
		mg/Nm ³ (%11 O ₂ bazında)				mg/Nm ³ (%7 O ₂ bazında)			
1	Prina#1	65	-	173	-	91	-	242	-
2	Prina #2	78	-	167	-	109	-	234	-
3	Prina #3	2960	1894	145	26	4144	2652	203	36
4	Prina #4	1691	1429	165	25	2367	2001	231	35
5	Prina #5	88	60	168	10	123	84	235	14
6	Prina #6	66	44	185	16	92	62	259	22
7	Prina +Kömür	125	28	171	1894	175	39	239	2652
8	Prina + Kömür	256	52	183	1232	358	73	256	1725
9	Prina + Kömür	114	44	176	928	160	62	246	1299
10	Kömür	164	56	224	2126	230	78	314	2977
HKKY *		100	50	800	400	250	-	800	400

*HKKY : Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (1986)

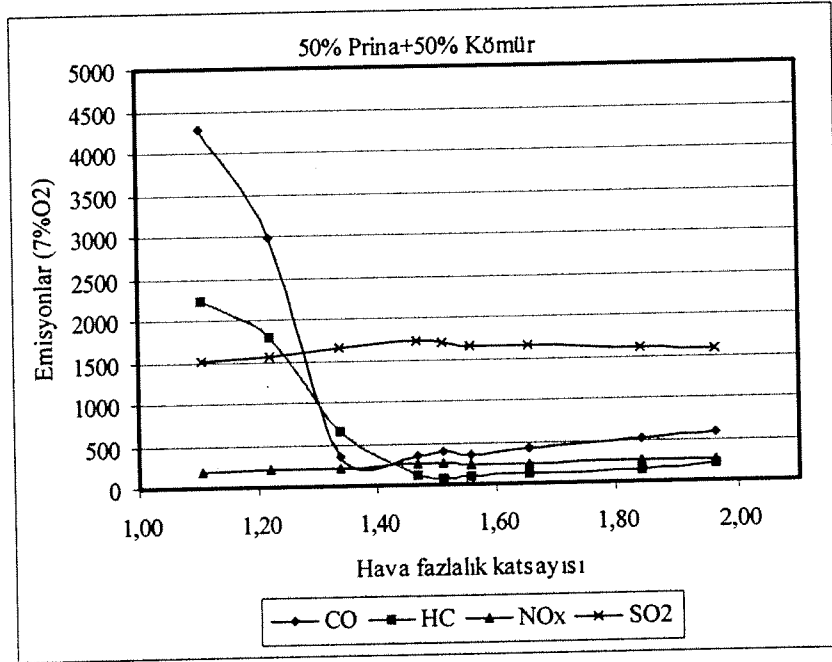
Yakıt karışımlarının farklı kombinasyonları için ortaya çıkan emisyonlar Şekil 4.1-4.5'de gösterilmiştir. Oluşan SO₂ emisyonu, kömür tek başına yakıldığında yaklaşık 3000 mg/Nm³ ve prina tek başına yakıldığında ise 14-36 mg/Nm³ dür. Yakıt karışımındaki (kömür+prina) % prina oranı arttıkça SO₂ emisyonu azalmaktadır. Tablo 4.3'teki ve aşağıdaki şekillerde verilen emisyon değerlerine bakarak, kömür değişik oranlarda prina ile karıştırılarak yakıldığı zaman oluşan CO₂, NO_x ve C_mH_n emisyonlarının sadece kömür yakıldığında ortaya çıkan emisyonlardan daha az olduğu görülmektedir. Çalışılan deney sistemi için, λ>1.36 koşulunda yakılan prina ve prina+kömür karışımlarında bütün emisyon değerleri, HKKY tarafından belirtilen değerlerden düşüktür.



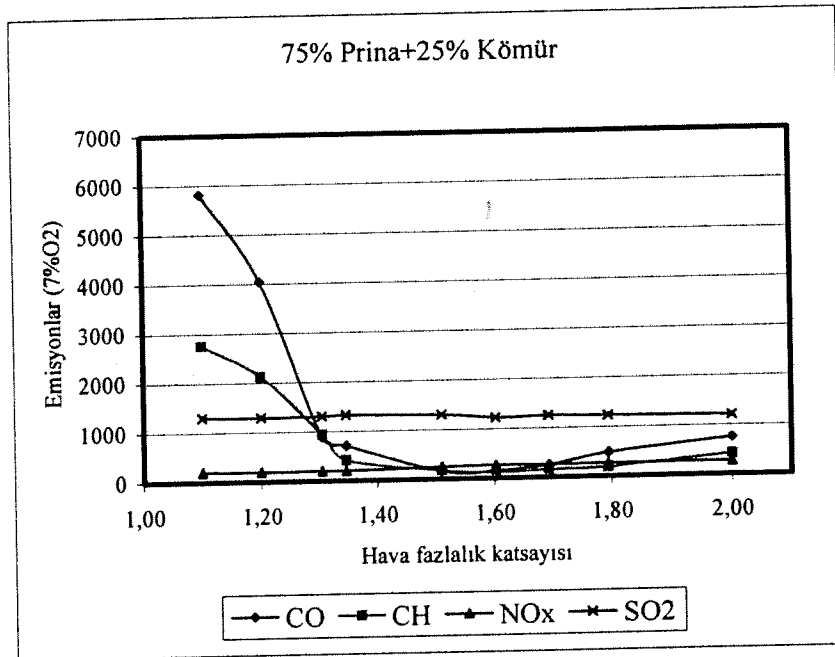
Şekil 4.1. Yakıt olarak % 100 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi



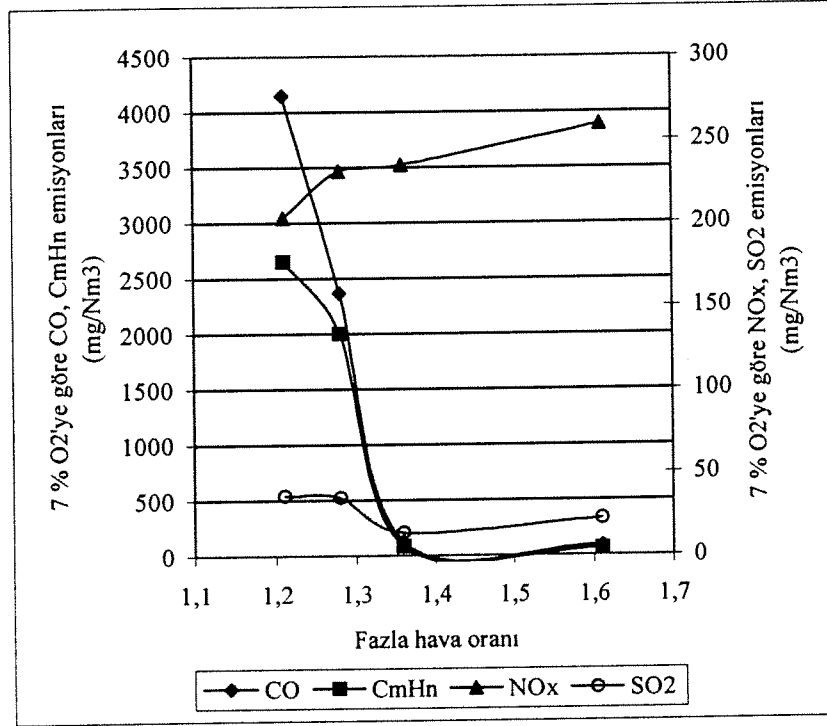
Şekil 4.2. Yakıt olarak % 25 prina+% 75 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi



Şekil 4.3. Yakıt olarak % 50 prina+% 50 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi



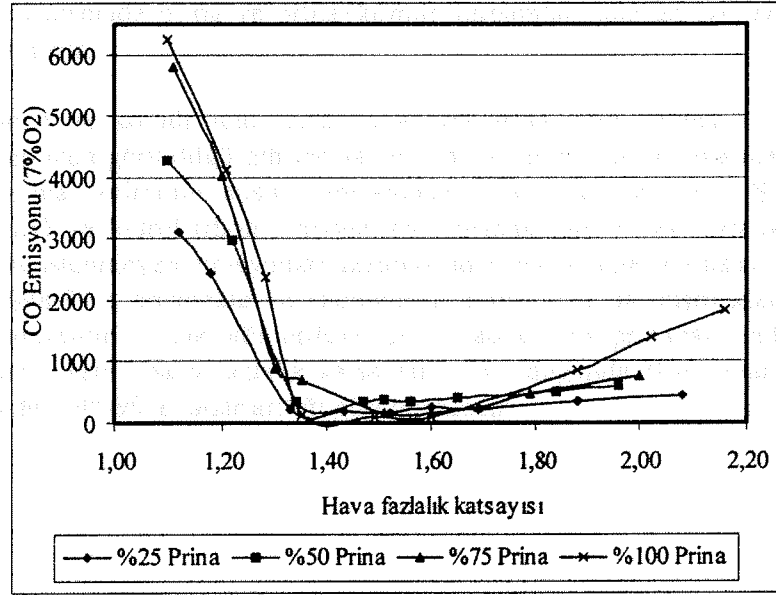
Şekil 4.4. Yakıt olarak % 75 prina+% 25 kömür kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi



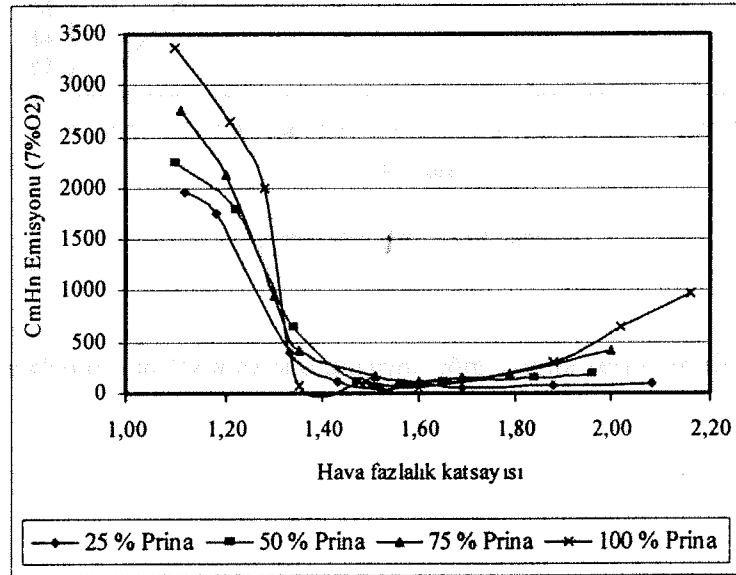
Şekil 4.5. Yakıt olarak % 100 prina kullanıldığında çeşitli emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Hava fazlalık katsayısı veya fazla hava oranı burada kullanılan önemli bir parametredir. %100 prina yakıldığında yanma gazlarında %7 O₂ esas alınarak hesaplanan emisyon değerlerinin fazla hava oranlarına göre değişimi Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, fazla hava oranı artınca, CO, C_mH_n ve SO₂ konsantrasyonlarında hızlı bir düşüş görülmektedir. Fazla havanın optimum değer yaklaşık olarak %36'dır. Fakat, fazla hava oranı artırılınca yanma gazındaki NO_x konsantrasyonunda da bir artış gözlenmiştir. Bu artışın muhtemelen yakma için kullanılan havanın kademeli olarak verilmemesinden ve yakma sisteminde gazların kalış süresinin kısa olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4.6 ve 4.7 de yakıt olarak % 100 prina, değişik oranlarda prina+kömür karışımı ve %100 kömür kullanıldığında CO ve hidrokarbon emisyonlarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden de fazla hava oranı artınca, CO ve C_mH_n konsantrasyonlarında hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir. Fazla havanın optimum değeri yaklaşık olarak %36'dır.



Şekil 4.6. Yakıt içindeki % prina oranlarına göre CO emisyonunun değişimi

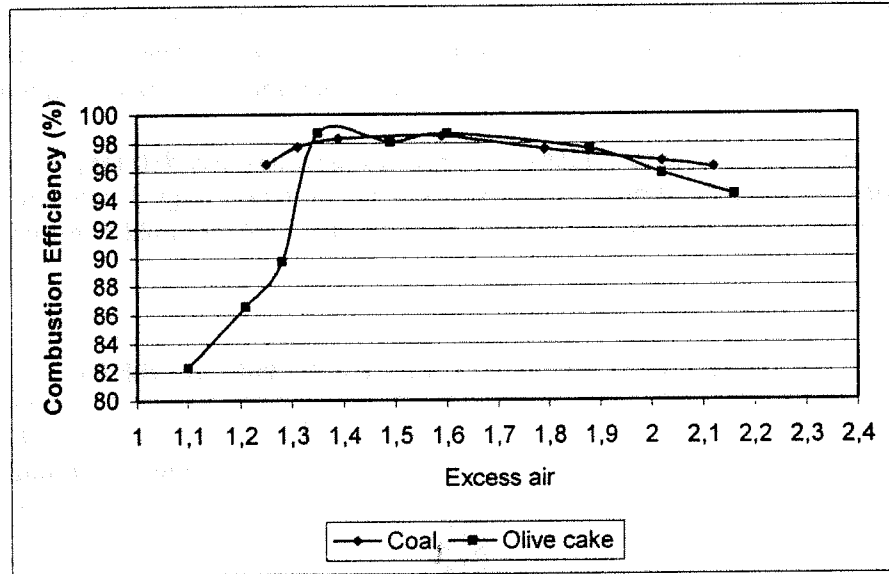


Şekil 4.7. Yakıt içindeki % prina oranlarına göre hidrokarbon emisyonunun değişimi

Prina ve kömür için yanma veriminin fazla hava oranına göre değişimi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Fazla hava oranı arttıkça yanma verimi de artmaktadır. Bu, birim kütledeki yakıt için hava miktarı arttıkça ortaya çıkan uçucu maddelerin tam yanma oranının artması anlamına

gelmektedir. Bu çalışmada prina ve prina+kömür karışımları için en iyi fazla hava oranı 1.36 olarak tespit edilmiştir.

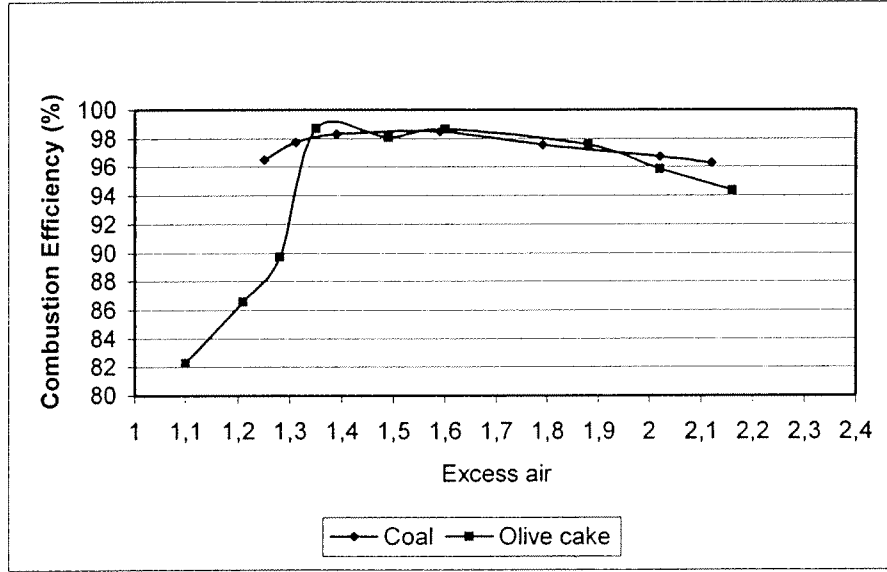
Şekil 4.8 de prina ve kömür için fazla hava oranlarına göre yanma verimlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi prinanın yanma verimi, fazla hava oranları 1.1 iken %82 civarındadır. Yanma veriminin düşük olmasından dolayı da daha önce Şekil 4.6 ve 4.7 de görüldüğü gibi CO ve hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır. Hava fazlalık katsayısı arttıkça verim artmakta ve istenmeyen emisyonlar azalmaktadır. Hava fazlalık katsayısı 1.35 e eriştiğinde yanma verimi %98-99 a erişmekte ve istenmeyen emisyonlar da düşmektedir. Kömür için de benzer şeyler olmaktadır. Ancak, kömürdeki uçucu madde oranı prinadaki kadar yüksek değildir. Bu nedenle yanma verimi hava fazlalık katsayısı 1.25 olduğunda %96 civarındadır. Bu katsayı arttıkça verimin de %98-99 a kadar arttığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Prina ve kömür için fazla hava oranlarına göre yanma verimlerinin değişimi

gelmektedir. Bu çalışmada prina ve prina+kömür karışımları için en iyi fazla hava oranı 1.36 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.8 de prina ve kömür için fazla hava oranlarına göre yanma verimlerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi prinanın yanma verimi, fazla hava oranları 1.1 iken %82 civarındadır. Yanma veriminin düşük olmasından dolayı da daha önce Şekil 4.6 ve 4.7 de görüldüğü gibi CO ve hidrokarbon emisyonları oluşmaktadır. Hava fazlalık katsayısı arttıkça verim artmakta ve istenmeyen emisyonlar azalmaktadır. Hava fazlalık katsayısı 1.35 e eriştiğinde yanma verimi %98-99 a erişmekte ve istenmeyen emisyonlar da düşmektedir. Kömür için de benzer şeyler olmaktadır. Ancak, kömürdeki uçucu madde oranı prinadaki kadar yüksek değildir. Bu nedenle yanma verimi hava fazlalık katsayısı 1.25 olduğunda %96 civarındadır. Bu katsayı arttıkça verimin de %98-99 a kadar arttığı görülmektedir.

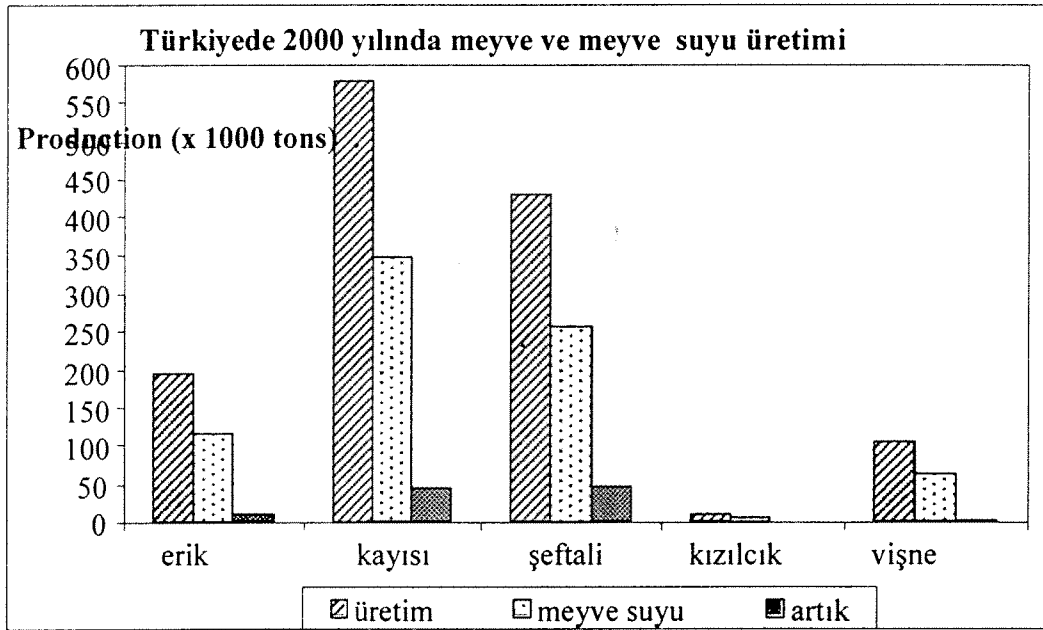


Şekil 4.8. Prina ve kömür için fazla hava oranlarına göre yanma verimlerinin değişimi

4.2. Kayısı ve Şeftali Çekirdeği ile Yapılan Çalışmalar

Kayısı ve şeftali çekirdeği, meyve suyu sanayiinde artık olarak elde edilen bir maddedir. Bu artık maddeler, genel olarak meyve çekirdeklerinden oluşmaktadır. Nem oranı oldukça düşüktür ve klorür vb. gibi zararlı bileşenler içermemektedir. Kalori değerleri odunun kalori değerine yakındır, çünkü yapısındaki lignin oranı yüksektir. Türkiye’de 2000 yılında üretilen ve çekirdeği sert olan meyvelerin yıllık üretim miktarları ve meyve suyu üretiminden oluşan artık meyve çekirdeklerinin miktarları Şekil 4.9 da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi özellikle kayısı ve şeftali Türkiyede çok olarak üretilmekte ve meyve suyu üretiminden de çok miktarda çekirdek çıkmaktadır. 2001 yılında kayısının yıllık üretimi 575 000 ton ve şeftalinin yıllık üretimi 425 000 ton’ dur. Bu üretim miktarı yıldan yıla $\pm\%10$ luk bir değişim göstermektedir. Çekirdek kısmının ağırlıkça yüzdeleri de kayısı ve şeftali için sırası ile yaklaşık $\%13$ ve $\%18$ dir. Dolayısı ile Türkiye’de yılda toplam olarak yaklaşık 1 560 000 ton ($\pm\%10$) çekirdekli meyve üretilirse, bundan yılda yaklaşık 200-250 bin ton çekirdek artık çıkacaktır. Meyve üretim bölgelerinde bu artıkların temiz enerji elde etme amacıyla yakılması büyük önem taşımaktadır. Zaten bu çekirdekler kısmen evlerde yakılmaktadır. Ancak kontrolsüz şekilde ve uygun olmayan koşullarda yakma hava kirliliği yaratmaktadır.

Bu iki meyvenin çekirdekleri, yenilenebilir enerji kaynağı olarak alternatif enerji üretiminde kullanılmaya adaydır. Uygun teknoloji ile yakıldıklarında aslında atık olarak kabul edilen bu maddelerden bir linyit kömüründedn elde edilecek miktarda enerji elde etmek mümkündür.



Şekil 4.9. Türkiye’de 2001 yılında meyve suyu üretimi ve üretimden kaynaklanan atıklar

4.2.1. Kayısı ve Şeftali Çekirdeğinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu çalışmada incelenen kayısı ve şeftali çekirdeğinin yaklaşık ve elementer analizleri Tablo 4.4 de, bu çekirdeklerin alt ve üst ısıl değerleri de Tablo 4.5 de verilmiştir. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin elementer analizi ASTM-E 777-87 ve ASTM-E 778-87 metodlarına göre yapılmıştır.

Tablo 4.4. Deneylerde kullanılan şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeğine ait yaklaşık ve elementer analiz sonuçları

	Kayısı Çekirdeği	Şeftali Çekirdeği
Yaklaşık Analiz (%)		
Nem	4,29	4,77
Uçucu Madde	76,94	75,27
Sabit Karbon	17,77	18,43
Kül	1,00	1,53
Elementer Analiz (%)		
C	52,38	51,35
H	6,57	6,01
N	1,07	0,58
O	38,78	40,32
S	0,15	0,14
Kül	1,04	1,61

Tablo 4.5. Deneylerde kullanılan şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeğine ait ısıl değerler

	Kayısı Çekirdeği	Şeftali Çekirdeği
HHV (kJ/kg)	22 082	20 656
LHV (kJ/kg)	21 796	20 390

HHV: Üst ısıl değer, LHV: Alt ısıl değer

Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yoğunlukları sırası ile 1024 kg/m^3 ve 925 kg/m^3 tür. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması ile oluşan külün de kimyasal bileşimi incelenmiştir. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması ile oluşan kül bileşimi Tablo 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.6. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması ile oluşan külün kimyasal bileşimi

Metal oksitler	Kayısı çekirdeği (% ağırlıkça)	Şeftali çekirdeği (% ağırlıkça)
SiO₂	-	-
CaO	26.67	39.32
Al₂O₃	18.47	3.23
Fe₂O₃	6.63	3.94
MgO	1.11	1.67
MnO₂	1.25	0.70
Na₂O	11.25	9.48
K₂O	34.62	41.66

Kayısı ve şeftali çekirdeği külü içindeki K₂O miktarı oldukça yüksektir. K₂O ısı değiştirici yüzeylerinde birikerek problem yaratabilir. Ancak, bu çalışmada böyle bir problemle karşılaşılmamıştır. Tablodan da görüldüğü gibi kül oranları çok düşüktür (ağırlıkça %1-1.5 kadar).

4.3. Kayısı ve Şeftali Çekirdeğinin Yanması

4.3.1. Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Kömürün Yanması (Kabarcıklı Akışkan Yatakta-KAY)

Kayısı, şeftali çekirdekleri ve Türkiye’de en çok kullanılan linyit kömürlerinden biri olan Tunçbilek linyiti akışkan yatakta önce tek başlarına yakılmış, daha sonra çekirdekler ile linyit kömürü karıştırılarak beraberce yakılmıştır. Yanma sırasında incelenen parametreler, yakıt besleme hızı, fazla hava katsayısı, çekirdek/kömür oranıdır. Bu parametrelerin yanma verimine ve emisyonlara (CO, NO_x, SO₂ ve C_mH_n) olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan yakma deneylerinin listesi Tablo 4.7 de verilmiştir.

Tablo 4.7. Yakma deneyleri listesi

Deney No.	Yakıt Türü
r-1	Şeftali çekirdeği (p)
r-2	Kayısı çekirdeği (a)
r-3	Kömür (c)
r-4	Şeftali 25 wt%+Kömür 75 wt%
r-5	Şeftali 50 wt%+Kömür 50 wt%
r-6	Şeftali 75 wt%+Kömür 25 wt%
r-7	Kayısı 25 wt%+Kömür 75 wt%
r-8	Kayısı 50 wt%+Kömür 50 wt%
r-9	Kayısı 75 wt%+Kömür 25 wt%

Deneyleer sırasında 5, 10, 15 and 20 g/dak olmak üzere 4 ayrı yakıt besleme hızı denenmiştir. Kayısı ve şeftali çekirdeği yakılırken 5 g/dak besleme hızı, ortalama yatak sıcaklığı olan 450°C da yanmanın kendi kendine (ek olarak doğal gaz kullanmadan) devam etmesi için yeterli olmuştur. Ancak, bu besleme hızı kömürün tek başına yakılabilmesi için yeterli olmamıştır. Bunun da nedeni yatak sıcaklığının düşük olmasıdır. Kayısı ve şeftali çekirdeği gibi biyokütelerde fazla miktarda olan uçucu maddeler ısınarak düşük sıcaklıklarda bile hemen buharlaşmakta ve yanmaktadır. Ancak, kömür beslendiğinde uçucuların yanması ve kömürdeki karbonlu maddeleri tutuşturarak yanmanın devam etmesini sağlayabilmesi için daha yüksek sıcaklıklara gerek vardır. Bu nedenle r-1 ve r-2 deneyleri dışında 5 g/dak lık besleme hızı göz önüne alınmamıştır.

4.3.2. Sıcaklık Profilleri

Yanma deneyleri sırasında, sıcaklıklar kabarcıklı akışkan yatakta kolon yüksekliği boyunca yerleştirilen termoçiftler yardımı ile ölçülmüştür. Kayısı, şeftali çekirdeği ve kömür yakılması sırasında elde edilen sıcaklık profilleri sırası ile Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12 de gösterilmiştir. Ortalama yanma sıcaklıkları da Tablo 4.8 de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi yataktaki ve yatak üzerindeki kısımda sıcaklıklar yakıt cinsine bağlı olarak değişmektedir.

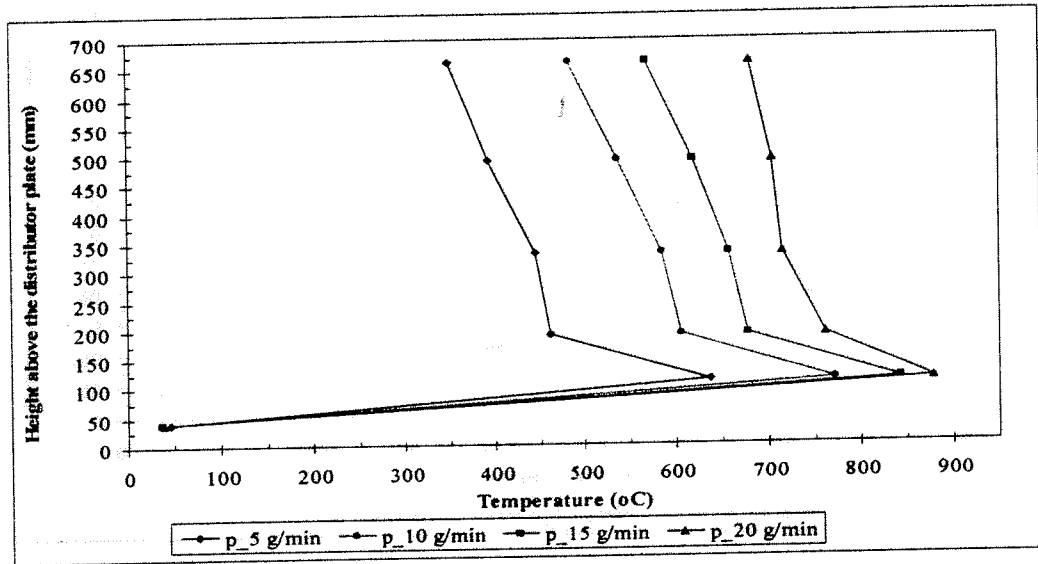
Şeftali çekirdeğinin yakılmasında görüldüğü gibi yatak ve yatak üzerindeki sıcaklıklar, besleme hızı arttıkça artmaktadır. En düşük sıcaklıklar (yaklaşık 40°C) ızgaranın 40 mm üzerinde ölçülmüştür. Yukarı doğru çıktıkça sıcaklık artmakta, ızgaranın yaklaşık 125 mm üzerinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu TC2 termoçiftinin bulunduğu yüksekliğe denk gelmektedir. Bu sıcaklık besleme oranına bağlı olarak 630-875°C olarak ölçülmüştür. TC1 in ölçtüğü sıcaklığın en düşük olması, hava girişine en yakın olmasına bağlıdır. Ayrıca, düşük yatak sıcaklığı yakıtın bu bölgede yanmadığını göstermektedir. Çünkü yakıt ve yatak malzemesi olan kumun yoğunlukları farklıdır ve bu nedenle biyokütle genel olarak yatağın üst kısmında yanmaktadır. Biyokütleden buharlaşarak ayrılan uçucu maddeler ise daha da üst kısımda, yani freeboard'da

yanmaktadır. Bu nedenle en yüksek sıcaklıklar ızgaradan 125 mm uzaklıkta ölçülmektedir. Bu da yatak yüksekliğinden fazladır. Uçucu maddeler fireboard'da yanmaya devam etmektedir. Kolonun en üst kısmında TC6 da ölçülen sıcaklıklar şeftali çekirdeği için 350-680°C arasındadır. Şeftali çekirdeğinin uçucu madde içeriği yaş bazda ağırlıkça %75.27 dir.

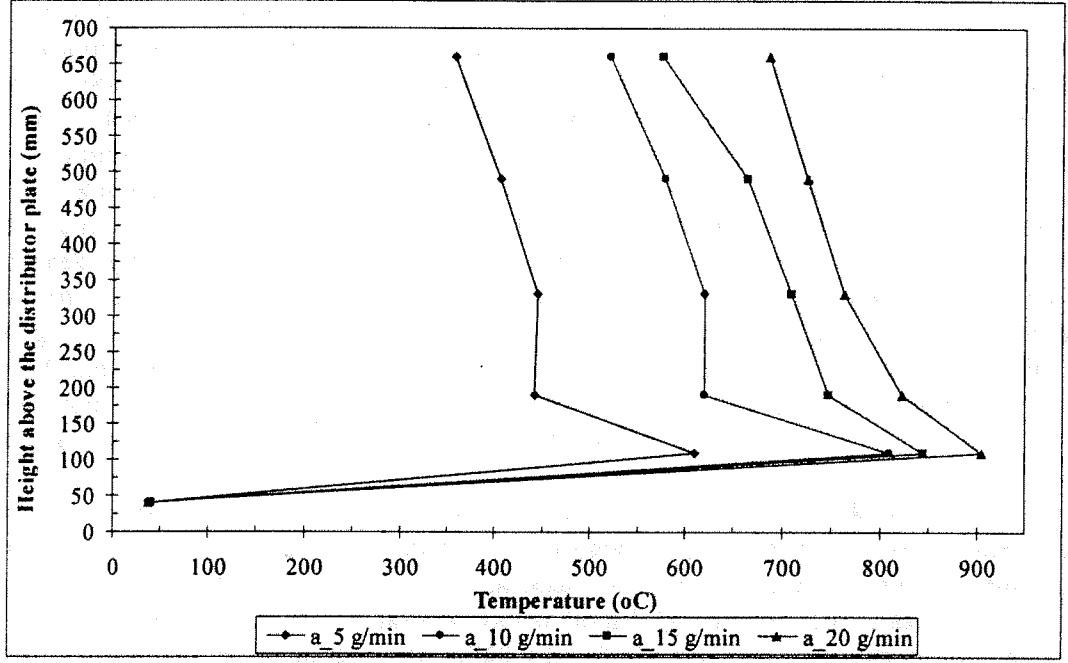
Tablo 4.8. Kayısı, şeftali çekirdeği ve kömür yakılması sırasında elde edilen ortalama sıcaklıklar

Deney No.	Besleme hızı (g/dak)	T _{avg} * (°C)
Şeftali Çekirdeği		
r-1	5	457
	10	596
	15	673
	20	748
Kayısı Çekirdeği		
r-2	5	452
	10	630
	15	708
	20	780
Kömür		
r-3	10	530
	15	590
	20	637

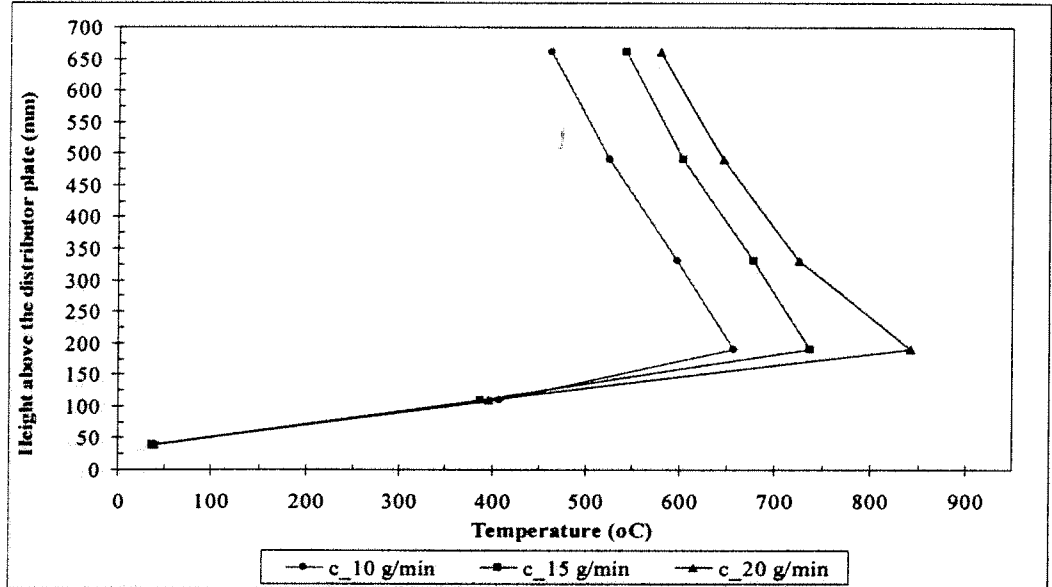
* TC2, TC3, TC4, TC5 ve TC6 nin ortalaması



Şekil 4.10. Kabarcıklı akışkan yatakta şeftali çekirdeği yanmasında sıcaklık dağılımı



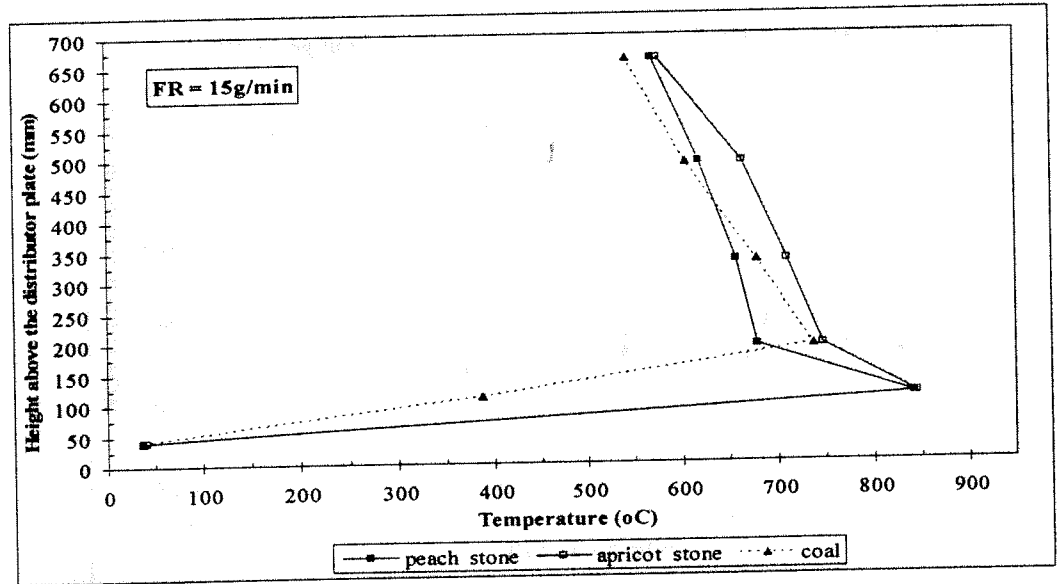
Şekil 4.11. Kabarcıklı akışkan yatakta kayısı çekirdeği yanmasında sıcaklık dağılımı



Şekil 4.12. Kabarcıklı akışkan yatakta kömür yanmasında sıcaklık dağılımı

Kayısı çekirdeğinin yakılmasında da, şeftali çekirdeğinin yakılmasında olduğu gibi yatak ve yatak üzerindeki sıcaklıklar, besleme hızı arttıkça artmaktadır. En düşük sıcaklıklar (yaklaşık 40°C) ızgaranın 40 mm üzerinde ölçülmüştür. Yukarı doğru çıktıkça sıcaklık artmakta, yine ızgaranın yaklaşık 125 mm üzerinde en yüksek değere ulaşmaktadır. Bu TC2 temoçiftinin bulunduğu yüksekliğe denk gelmektedir. Bu sıcaklık besleme oranına bağlı olarak 620-900°C olarak ölçülmüştür. Yakıt ve yatak malzemesi olan kumun yoğunluklarının farklı olmasından dolayı biyokütle genel olarak yatağın üst kısmında yanmaktadır. Bu olgu kabarcıklı akışkan yataklar için daha önce Atımtay (1980, 1987) tarafından gösterilmiş idi. Biyokütleden buharlaşarak ayrılan uçucu maddeler yatağın üst kısmında, yani freeboard'da yanmaktadır. Bu nedenle en yüksek sıcaklıklar ızgaradan 125 mm uzaklıkta ölçülmektedir. Bu da yatak yüksekliğinden fazladır. Uçucu maddeler freeboard'da yanmaya devam etmektedir. Freeboard'dan yukarı doğru çıktıkça sıcaklıklar azalmakta ve TC6 da ölçülen sıcaklıklar kayısı çekirdeği için de 350-680°C olmaktadır. Kayısı çekirdeğinin uçucu madde içeriği şeftali çekirdeğine benzer olarak yaş bazda ağırlıkça %76.94 dür.

Kömürün aynı besleme hızlarında yakılması sırasında en yüksek sıcaklıklar TC3, en düşük sıcaklık da TC1 termoçiftinde ölçülmüştür. En yüksek sıcaklık freeboard bölgesinde ızgaradan 175 mm uzaklıktadır. Ölçülen en yüksek sıcaklıklar 10, 15 and 20 g/dak kömür besleme hızı için 650°C, 740°C ve 840°C dir. Bu sıcaklıklar kayısı çekirdeği yanması için sırasıyla 810°C, 850°C ve 910°C bulunmuştu. Sonuçlardan görüldüğü gibi kömür yanması sırasında erişilen maksimum sıcaklıklar kayısı ve şeftali çekirdeği yanmasında erişilen sıcaklıklardan düşüktür, çünkü kömürdeki uçucu madde içeriği yaklaşık olarak diğerlerinin üçte biri kadardır (yaş bazda ağırlıkça %27.5). Bu beklenen bir sonuçtur. Uçucu maddelerin freeboard'da yanması burada sıcaklığı arttıracaktır ve yatak sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklık oluşacaktır.

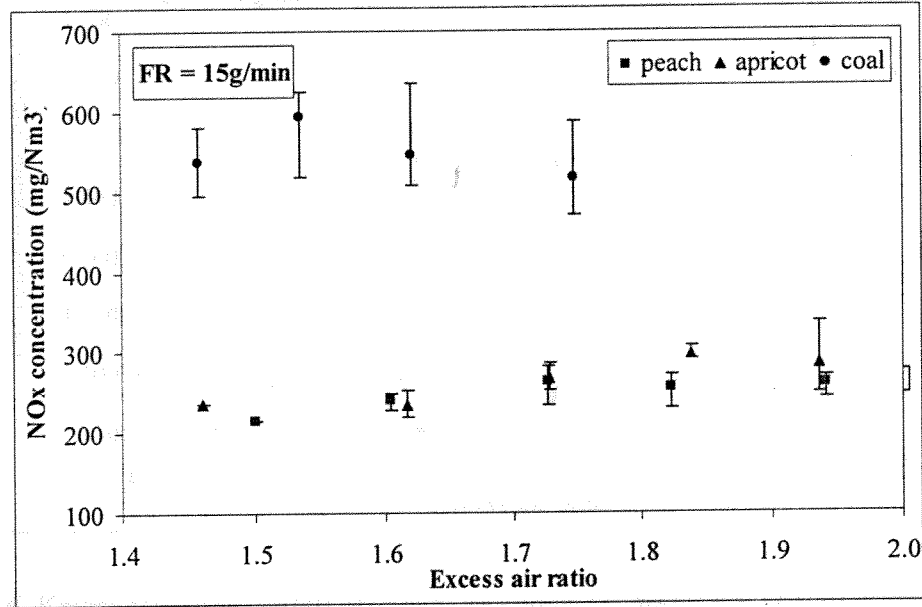


Şekil 4.13. Kabarcıklı akışkan yatakta kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında sıcaklık dağılımlarının karşılaştırılması

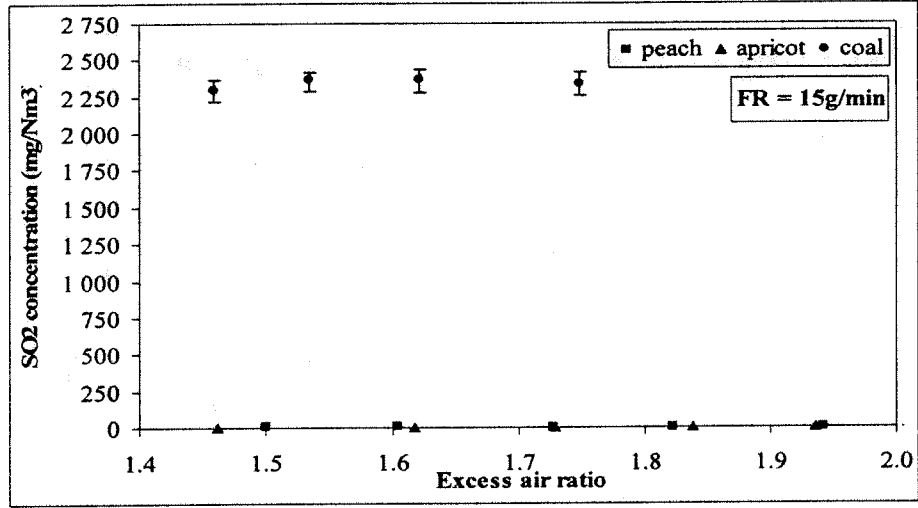
Yukarıda bahsedilen üç ayrı maddenin KAY'da yakılmasından elde edilen sonuçların 15 g/dak besleme hızı için karşılaştırılması Şekil 4.13 de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kömürün yanması ile elde edilen en yüksek sıcaklık (740°C), kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması ile elde edilen sıcaklıklardan (840°C) düşüktür. Bunun da nedeni kömürün en düşük uçucu madde içeriğine (%27.5) sahip olması diye düşünülmektedir. Bununla beraber, kömür yakıldığında en yüksek sıcaklık bölgesi diğer maddeler için olan bölgeden daha yukarıdadır. Neden olarak da şu düşünülmektedir: Kömür taneleri, kayısı ve şeftali çekirdeğinden daha sıkı ve kompakt bir yapıya sahiptir. Yoğunluğu da daha fazladır. Dolayısı ile kömür tanelerinin ısınması ve uçucu hidrokarbonların tanelerden uzaklaşması, kayısı ve şeftali çekirdeğinden daha fazla zaman alacaktır. Bu da uçucuların daha tedrici ve daha yüksek kısımda yanmasına neden olacaktır. Kayısı ve şeftali çekirdeğinin yanması sırasında en yüksek sıcaklık TC2 termočiftinde okunurken, kömür yanması sırasında en yüksek sıcaklık TC3 termočiftinde okunmaktadır.

4.3.3. Kayısı Çekirdeği, Şeftali Çekirdeği ve Kömür Yanması Sırasında Oluşan Emisyonlar (Kabarcıklı Akışkan Yatakta-KAY)

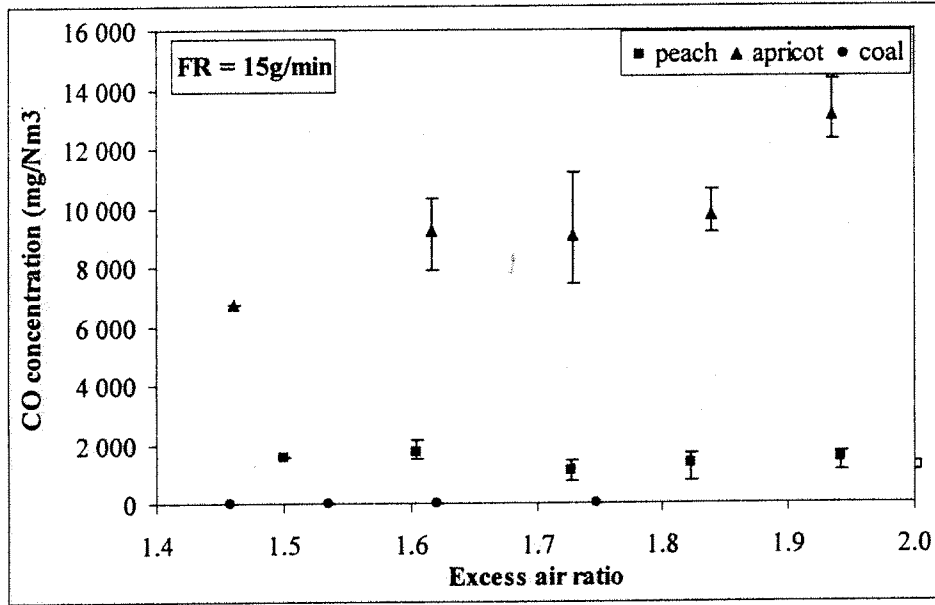
Kayısı, şeftali çekirdeği ve kömür yanması sırasında oluşan emisyonlar Şekil 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17 de gösterilmiştir. Kullanılan her bir yakıt için hesaplanan yanma verimi ve bu verimin hava fazlalık katsayısı ile değişimi de Şekil 4.18 de verilmiştir. Emisyonlar sırasıyla NO_x, SO₂, CO ve C_mH_n (hidrokarbonlar-CH₄ cinsinden) olarak verilmiştir. Bu emisyonların ölçülmesi Bölüm III de açıklanan cihazlarla yapılmıştır.



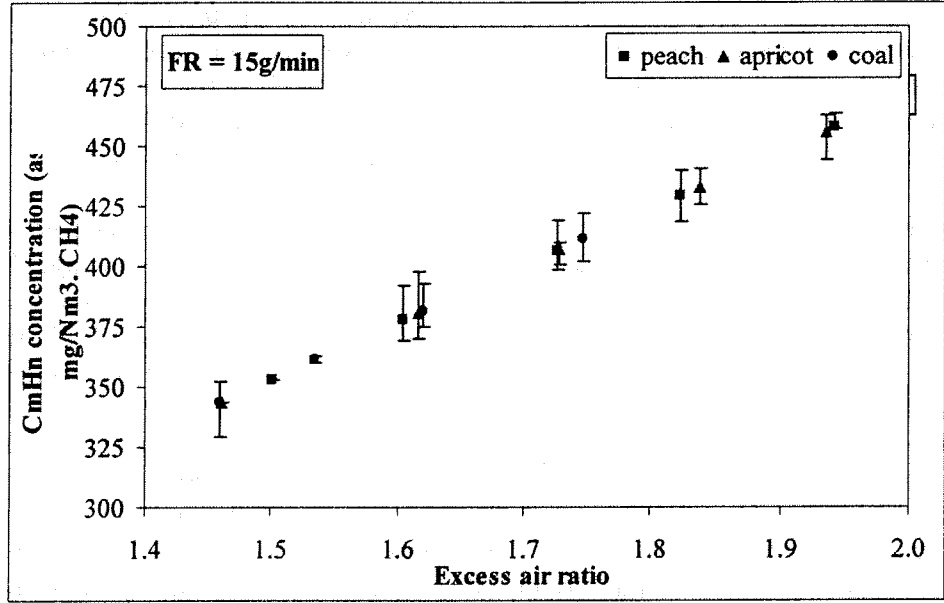
Şekil 4.14. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında NO_x emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı)



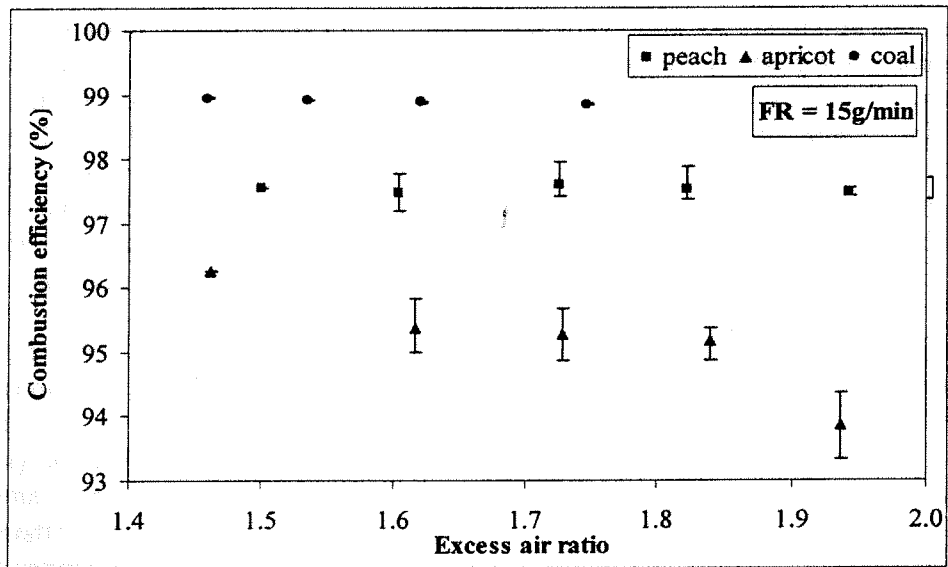
Şekil 4.15. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında SO₂ emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı)



Şekil 4.16. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında CO emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı)



Şekil 4.17. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında C_mH_n emisyonunun hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı)



Şekil 4.18. Kayısı çekirdeği, şeftali çekirdeği ve kömür yanmasında yanma veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi (15g/dak besleme miktarı)

Şekil 4.14 den görüldüğü gibi şeftali çekirdeği yanması sırasında NO_x emisyonları 237-270 mg/Nm^3 arasında, kayısı çekirdeği yanması sırasında ise 282-355 mg/Nm^3 arasında ölçülmüştür. Bu değerler birbirine yakın değerlerdir. Sadece kayısı çekirdeği içinde N oranının (ağırlıkça %1.07 kuru bazda) şeftali çekirdeğine göre (ağırlıkça %0.58 kuru bazda) daha fazla olmasından dolayı kayısı çekirdeğinde NO_x emisyonu biraz fazla çıkmıştır.

Şekil 4.15 de kayısı ve şeftali çekirdeği yanması sırasında SO_2 emisyonlarının 3-5 mg/Nm^3 arasında olduğu, yani pratik olarak sıfır kabul edilebileceği görülmektedir. Buna karşın kömürün tek başına yanması sırasında oldukça yüksek SO_2 emisyonlarının olduğu, bu emisyon değerlerinin 2276-2580 mg/Nm^3 arasında değiştiği gözlenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi kömür içindeki kükürt oranı ağırlıkça %1.81 dir.

CO ve hidrokarbon emisyonlarının genel olarak kullanılan hava fazlalık katsayısına çok bağlı olduğu görülmüştür. Şekil 4.16 ve 4.17 de bu bulgular açık olarak görünmektedir. Özellikle hidrokarbonların yanmasında her üç yakıt için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Hava fazlalık katsayısının 1.6-1.7 gibi bir değere erişmesiyle CO emisyonu yaklaşık 9000 mg/Nm^3 olmuş, ancak fazla hava oranının daha da artması ile CO konsantrasyonu tekrar artış göstermiştir. Bunun da yatak sıcaklığının düşmesine bağlı olduğu düşünülmektedir.

Hidrokarbon ve CO emisyonlarının fazla olması yanmanın tam olmadığını göstermektedir. Özellikle kullanılan yakıt biyokütle olduğunda ve aynı koşullarda yakma yapıldığında kömüre göre daha çok tam yanmama ürünü oluşmaktadır. Bu da biyokütle içindeki uçucu hidrokarbonların fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kayısı ve şeftali çekirdeği içinde kömüre göre 3 kat daha çok uçucu hidrokarbon bulunmaktadır. Daha önce de açıklandığı gibi bu maddeler yatak sıcaklığında yatağa girer girmez buharlaşmakta ve gaz fazına geçmektedir. Gaz fazında yatakta kalış süreleri de çok düşük olmakta ve tam yanma fırsatı bulamadan yatağı terk etmektedirler. Bu problem yatağın üst kısımlarına (freeboard kısmına) ikincil hava üflemeyle çözülebilir. Diğer taraftan kömürün yanması incelendiğinde, kömür taneleri içindeki uçucu hidrokarbon miktarı yakılan çekirdeklerdekine göre daha az olduğundan CO ve hidrokarbon emisyonları da düşük değerlerdedir. Ayrıca kömür tanelerinin yoğunluğu kullanılan biyokütleyle göre yüksek olduğundan kömür ve arkasından geri kalan kok tanecikleri yatak içinde yanma için daha uzun zaman harcamaktadırlar. Bu nedenle emisyonlar daha düşük olmaktadır.

Şekil 4.18 de kullanılan her üç yakıt için hesaplanan yanma verimleri gösterilmiştir. En yüksek yanma verimi ortalama %99 ile kömüre aittir. Bundan sonra ortalama % 97.5 ile şeftali çekirdeği gelmektedir. Kayısı çekirdeğinin yanma verimi CO oluşumunun fazla olmasından dolayı fazla hava katsayısı ile değişmekte ve ortalama olarak yaklaşık % 95.5 luk bir verimle yanmaktadır. Tüm yanma verimleri, yanma deneylerinin her biri için yapılan karbon dengesi sonunda hesaplanmıştır. Karbon dengesinde yatak içinde ve siklonda toplanan küller içindeki yanmamış karbon ve yanma gazlarındaki CO ve hidrokarbonlar dikkate alınmıştır.

4.3.4. Kayısı ve Şeftali Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (Kabarcıklı Akışkan Yatakta-KAY)

Bu çalışmada kullanılan yakıtların tek tek yanma performansları incelendikten sonra biyokütle olarak tanımlanan kayısı ve şeftali çekirdeklerinin kömürle belli oranlarda karıştırıldıklarında ne gibi bir yanma performansı gösterecekleri de incelenmiştir. Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının karışım oranları ve bu karışımların yanmasından elde edilen ortalama sıcaklıklar Tablo 4.9 da, emisyonlar da Tablo 4.10 da verilmiştir.

Tablo 4.9. Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının yanmasında ortalama sıcaklıklar

Deney No	Biyokütle-kömür karışım oranı	Besleme oranı (g/dak)	T _{avg} * (°C)
Şeftali çekirdeği+Kömür			
r-4	25% p+75% c	10	572
		15	590
		20	638
r-5	50% p+50% c	10	575
		15	657
		20	692
r-5	75% p+25% c	10	621
		15	700
		20	732
Kayısı çekirdeği+Kömür			
r-7	25% a+75% c	10	551
		15	609
		20	632
r-8	50% a+50% c	10	590
		15	675
		20	687
r-9	75% a+25% c	10	642
		15	701
		20	748

* TC2, TC3, TC4, TC5 ve TC6 nın ortalaması

a = kayısı çekirdeği, p = şeftali çekirdeği, c = kömür (linyit)

Tablo 4.10. Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının yanmasında oluşan emisyonlar

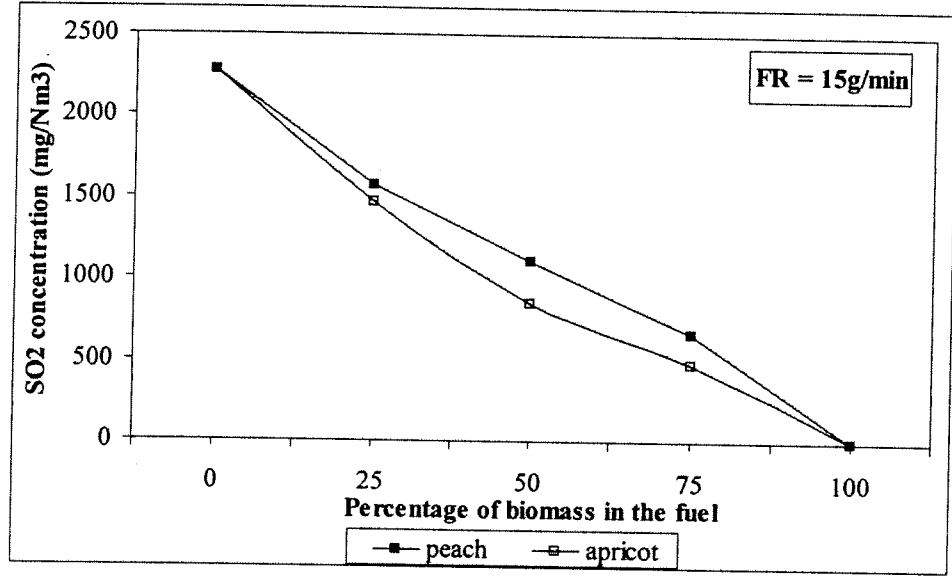
Deney No	Biyokütle-kömür oranı	Besleme oranı (g/min)	CO	C _m H _n (mg/Nm ³ , %7 O ₂)	NO _x	SO ₂
Şeftali çekirdeği+Kömür						
r-4	25% p+75% c	10	24	446	538	1705
		15	16	348	512	1566
		20	10	340	484	1621
r-5	50% p+50% c	10	1436	458	346	1123
		15	3060	339	309	1106
		20	4923	306	322	925
r-6	75% p+25% c	10	1459	463	348	636
		15	3612	354	288	660
		20	10470	299	285	618
Kayısı çekirdeği+Kömür						
r-7	25% a+75% c	10	596	371	543	1520
		15	1048	334	564	1466
		20	1270	298	557	1473
r-8	50% a+50% c	10	5625	410	409	877
		15	7204	320	423	845
		20	7790	283	406	683
r-9	75% a+25% c	10	5938	329	338	462
		15	6443	347	413	473
		20	12548	299	375	283

a = kayısı çekirdeği, p = şeftali çekirdeği, c = kömür (linyit)

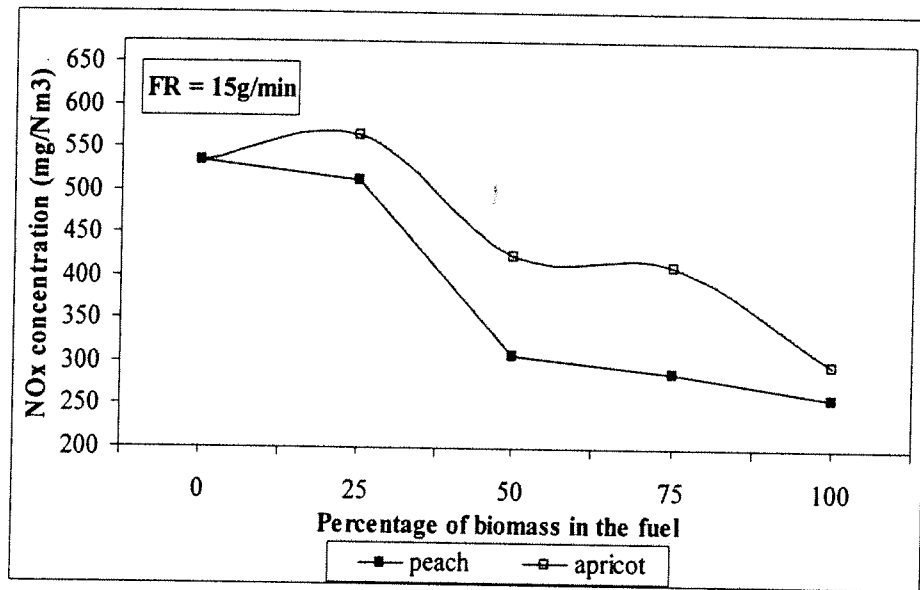
Şeftali çekirdeği ve kayısı çekirdeği-kömür karışımlarının yanmasından oluşan emisyonların (besleme oranı 15 g/dak için) grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22 de verilmiştir. Emisyon değerleri %7 O₂ esas alınarak hesaplanmıştır.

Şekillerde yatay eksendeki %0 biyokütle oranı kömürün yanmasını, %100 biyokütle oranı da kayısı veya şeftali çekirdeğinin yanmasını temsil etmektedir. Şekil 4.19 da görüldüğü gibi kömüre ağırlıkça %25, %50 ve %75 oranlarında şeftali çekirdeği ilave edilmesi SO₂ emisyonunda %33.6, %57.2 ve %74 azalma sağlamıştır. Kayısı çekirdeği ilave edildiği zaman yine SO₂ emisyonunda sağlanan indirimler benzer oranlardadır. Kayısı çekirdeğindeki indirim oranları biraz daha fazladır. SO₂ emisyonunun azaltılmasında çekirdekler içindeki Ca oranlarının da etkili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.20 de kömüre ağırlıkça %25, %50 ve %75 oranlarında şeftali çekirdeği ilave edildiği zaman NO_x emisyonunda yaklaşık olarak yarı yarıya bir azalma sağlandığı görülmektedir. Kayısı çekirdeği ilave edildiği zaman sağlanan azalma biraz daha azdır. Bunun da nedeni kayısı çekirdeği içinde şeftali çekirdeğine göre daha fazla azot (ağırlıkça %1.07) olmasıdır.

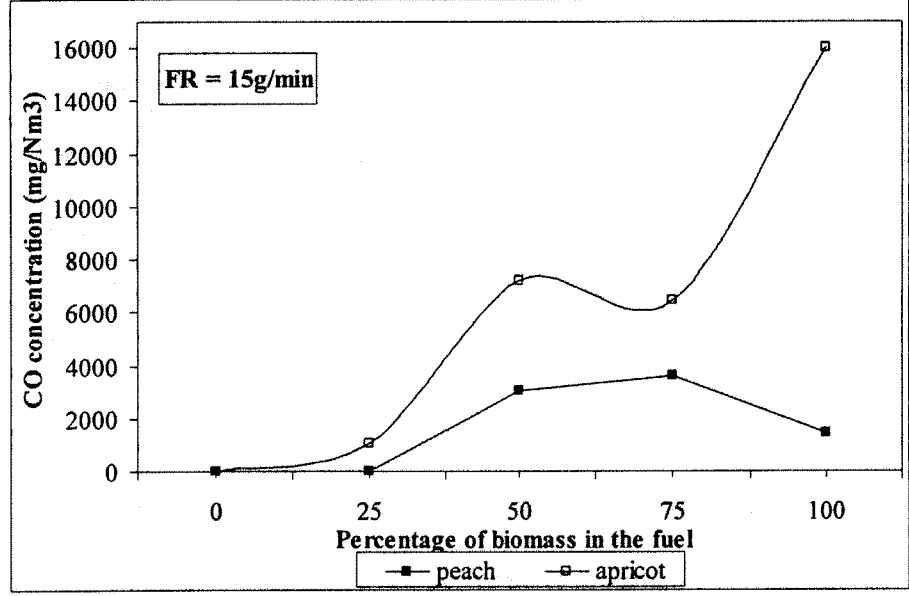


Şekil 4.19. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan SO₂ emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak)

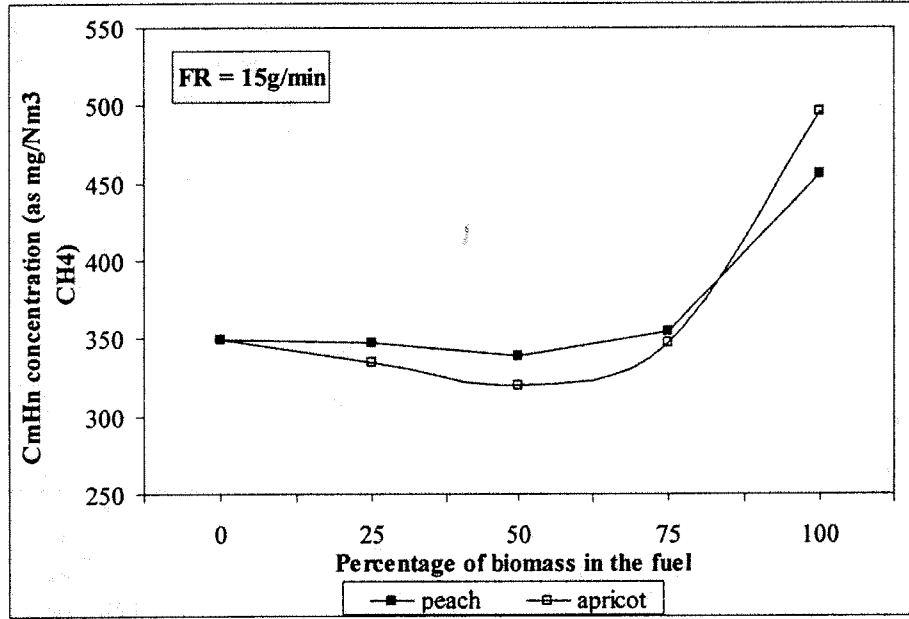


FR= Besleme oranı

Şekil 4.20. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan NO_x emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak)



Şekil 4.21. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan CO emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak)



Şekil 4.22. Şeftali çekirdeği-kömür, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yanmasında oluşan C_mH_n emisyonlarının biyokütle karışım oranı ile değişimi (besleme oranı 15 g/dak)

Kömüre biyokütle ilavesi ile SO₂ ve NO_x emisyonlarında azalma sağlanmasına rağmen, eklenen biyokütle oranı arttıkça yanmadan oluşan CO ve yanmamış hidrokarbonların miktarı artmaktadır. Özellikle kayısı çekirdeğinde aşırı miktarda CO artışı gözlenmiştir. Hidrokarbon artışı da hem kayısı, hem de şeftali çekirdeğinde özellikle biyokütle oranı %70 i aştığı zaman görülmüştür. Bunun da nedeni kullanılan biyokütle içindeki uçucu madde miktarının kömürdekinden fazla olmasıdır. Sonuç olarak, kömürün değişik oranlarda biyokütle ilavesi ile yakılması sonucunda eklenen biyokütle ile SO₂ ve NO_x emisyonları önemli ölçüde azalmaktadır. Çünkü kullanılan biyokütle içindeki kükürt oranı yok denecek kadar azdır (%0.15 kadar). Halbuki S oranı kullanılan kömürde %1.81 dir. Dolayısı ile yüksek kükürt yüzdesine sahip Türk linyitlerinin kükürt yüzdesi çok düşük olan biyokütle ile bir karışım yapılarak yakılması mümkün olabilecektir.

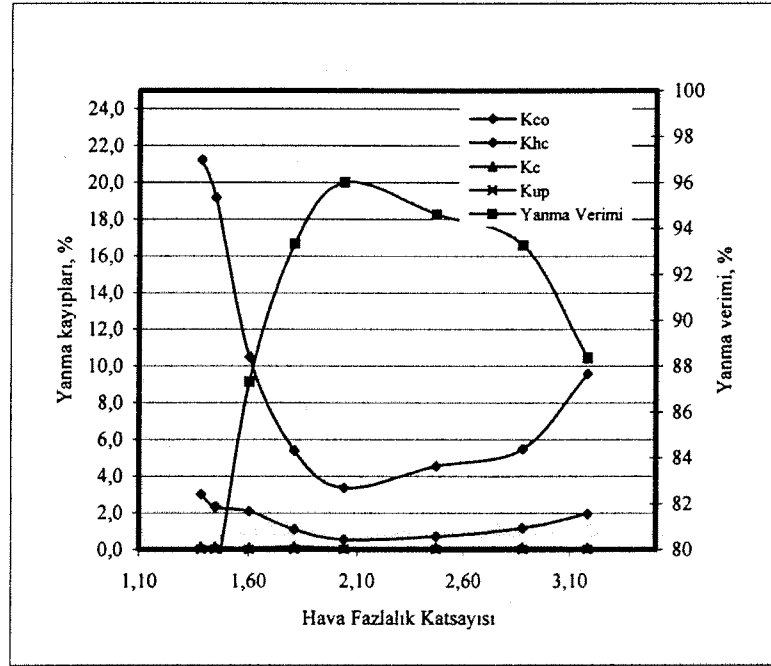
4.3.5. Kayısı Çekirdeği Yanması (Dolaşımli Akışkan Yatakta-DAY)

Kayısı çekirdeği yakılmasında işletme, ısıl performans ve emisyon parametreleri (%7 O₂ baz alınarak) Tablo 4.11 de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi yanma verimi %73.5 ve %96 arasında değişmektedir. %96 yanma verimi çok iyi bir verimdir.

Yanma kayıplarının ve yanma veriminin hava fazlalık katsayısı (λ) ile değişimi Şekil 4.23 de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısının artması ile yanma kayıplarında çok önemli bir azalma olmaktadır. Yanma kayıpları, CO ve yanmamış hidrokarbonlara bağlıdır. En yüksek (max.) yanma verimi $\lambda=2.1$ de %96.2 olarak elde edilmiştir. Bu λ değerinde yanma sıcaklığı 885°C dir. Yatak malzemesi analiz edildiğinde yanmamış karbon miktarı, toplam yanma kaybının %0.17 sinden daha az bulunmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarına bağlı olan yanma kayıplarının azalması ile yanma verimi artmaktadır. Bu da yanma için birim yakıt kütesine sağlanan havanın artırılması ile yakıtın salınan uçucu hidrokarbonların daha iyi yandığını göstermektedir. Ancak, hava fazlalık katsayısı daha da arttığında yanma verimi düşmektedir. Çünkü bu durumda gönderilen çok fazla hava yatağın soğumasına ve yatak sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da CO ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır.

Table 4.11. Kayısı yanmasında işletme, ısıl performans ve emisyon parametreleri

Deney No.	O ₂	λ	T	CO ₂	Kco	Kch	Kc	Kup	Yanma Verimi	CO	CH ₄	NO _x	SO ₂
	%	-	°C	%						mg/Nm ³			
#1	5.2	1.33	822	12.8	3.39	22.96	0.17	0	73.48	9481	5272	220	46
#2	5.8	1.38	830	12.2	3.01	21.22	0.15	0	75.61	8451	4899	217	55
#3	6.5	1.45	844	11.0	2.33	19.17	0.13	0	78.37	6578	4451	264	55
#4	7.9	1.60	859	9.5	2.09	10.49	0.10	0	87.31	5971	2465	276	67
#5	9.4	1.81	880	8.6	1.10	5.40	0.17	0	93.33	3183	1285	281	62
#6	10.7	2.04	885	7.4	0.55	3.35	0.10	0	96.00	1597	806	284	62
#7	12.5	2.47	856	5.7	0.72	4.55	0.12	0	94.61	2141	1112	269	89
#8	13.7	2.88	832	4.4	1.17	5.47	0.11	0	93.25	3500	1352	262	77
#9	14.4	3.18	813	3.2	1.96	9.57	0.11	0	88.36	5913	2380	264	73

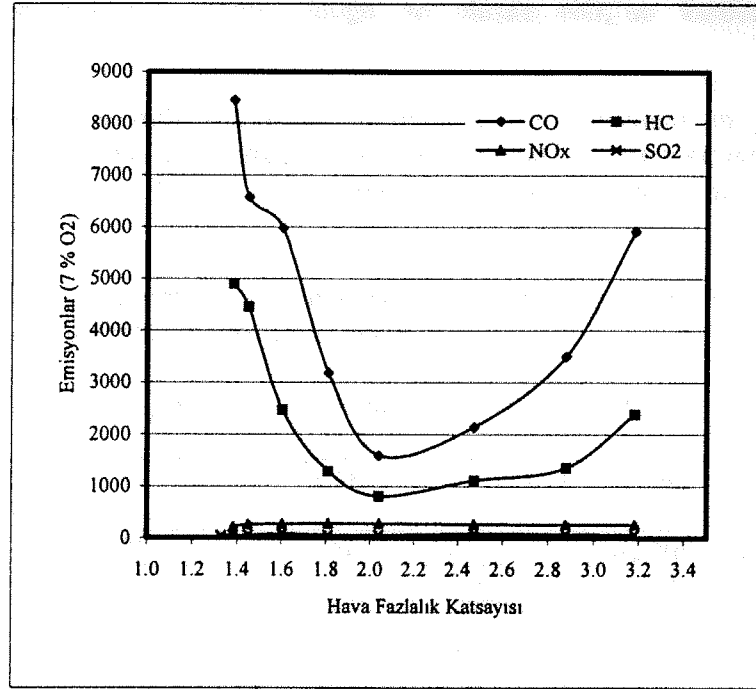


Şekil 4.23. Yakıt olarak kayısı çekirdeği kullanıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Şekil 4.24 de kayısı çekirdeği yakılması ile oluşan emisyonların (%7 O₂ bazında) hava fazlalık katsayısı ile nasıl değiştiği gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kayısı çekirdeği yakıldığında SO₂ emisyonu hemen hemen sıfırdır. Fazla hava oranı artırıldığında CO ve hidrokarbon emisyonlarında (C_mH_n) ani bir azalma görülmektedir. En az emisyon elde etmek için optimum λ değeri 2.1 olarak belirlenmiştir. Ancak, hava fazlalık katsayısı daha da arttığında, gazların yatak içinde kalış zamanlarının azalması ve yanmanın tam olmamasından dolayı CO ve hidrokarbon emisyonlarında (C_mH_n) tekrar bir artma görülmektedir.

Yanma sırasında hava fazlalık katsayısının artması ile NO_x emisyonlarında biraz artma gözlenmiştir. Bu da muhtemelen ikincil hava kullanılmamasından ve yakıcıdaki kalış süresinin kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Normal olarak konvansiyonel DAY sistemlerinde kademeli yakma havası verme söz konusu olduğundan NO_x konsantrasyonu daha düşük olmaktadır.

Yakma sırasında yatak malzemesinde bir aglomerasyon gözlenmemiştir. Yatakta oluşan külde zararlı metal oksitleri yoktur. Ancak Al₂O₃ yüzdesi fazla bulunmuştur. Fakat yakılan malzeme içinde kül oranı çok düşük olduğundan (yaklaşık ağırlıkça %1) bunun da bir problem olması beklenmemektedir. Külde bulunan diğer metal oksitleri ise normal olarak toprakta bulunan oksitlerdir. Bu nedenle kayısı çekirdeği yakılmasından elde edilecek külün gübre olarak kullanılması potansiyeli yüksektir. Ancak daha detaylı incelemelerin yapılması gereklidir.



Şekil 4.24. Yakıt olarak kayısı çekirdeği kullanıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi

4.3.6. Kayısı Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşım Akışkan Yatakta-DAY)

Kayısı çekirdeği ve kömürün ağırlıkça %25-%50-%75 oranlarında karışımı, ayrıca % 100 kayısı çekirdeğinin ve % 100 kömürün yakıldığı durumlardaki işletme parametreleri, ve % 7 O₂ bazında emisyon sonuçları aşağıda Tablo 4.12 de verilmiştir. Değişik oranlardaki kayısı çekirdeği ve kömür karışımlarının yakılması durumunda oluşan emisyonlar ise Şekil 4.25 de yer almaktadır.

Şekil 4.25 den de görüldüğü gibi karışımdaki kömür oranındaki artışla birlikte CO emisyonu da hızlı biçimde azalma göstermiştir. Baca gazındaki CO konsantrasyonu %100 kayısı çekirdeği yakıldığında yaklaşık 6000 mg/Nm³, % 100 kömür yakıldığında ise 218 mg/Nm³ değerindedir. Karışım yakma deneylerinin tümünde hava fazlalık katsayısı yaklaşık 1.5-1.6 civarında tutulmaya çalışılmıştır. Karışımdaki kömür oranı artışı ile birlikte düzelen yanma koşullarına bağlı olarak yanma gazları içindeki CO konsantrasyonu da düşmüştür. Bu azalma her iki yakıtın uçucu madde içeriği arasında büyük fark olmasından kaynaklanmaktadır (%76.9 kayısı çekirdeğinde-%27.5 kömürde). Bunun anlamı kayısı çekirdeğinin yanması sırasında yüksek uçucu madde salınımı nedeni ile birim yakıt başına daha fazla oksijen gereksinimi duyulmasıdır. Benzer bir sonuç hidrokarbon emisyonlarında da söz konusudur. Yine karışımdaki kömür oranı artışı ile hidrokarbon emisyonlarında ani bir düşme gözlenmektedir (2500 mg/Nm³ den 43 mg/Nm³ e inme). NO_x emisyonu yaklaşık olarak sabit olmasına rağmen karışımdaki kömür oranı artışına bağlı olarak NO_x emisyonunda az miktarda bir azalma görülmüştür. Bu azalmanın kömür

içerisindeki karbon miktarına bağlı olduğu ve oluşan NO_x'un karbon ile indirgendiği düşünülmektedir.

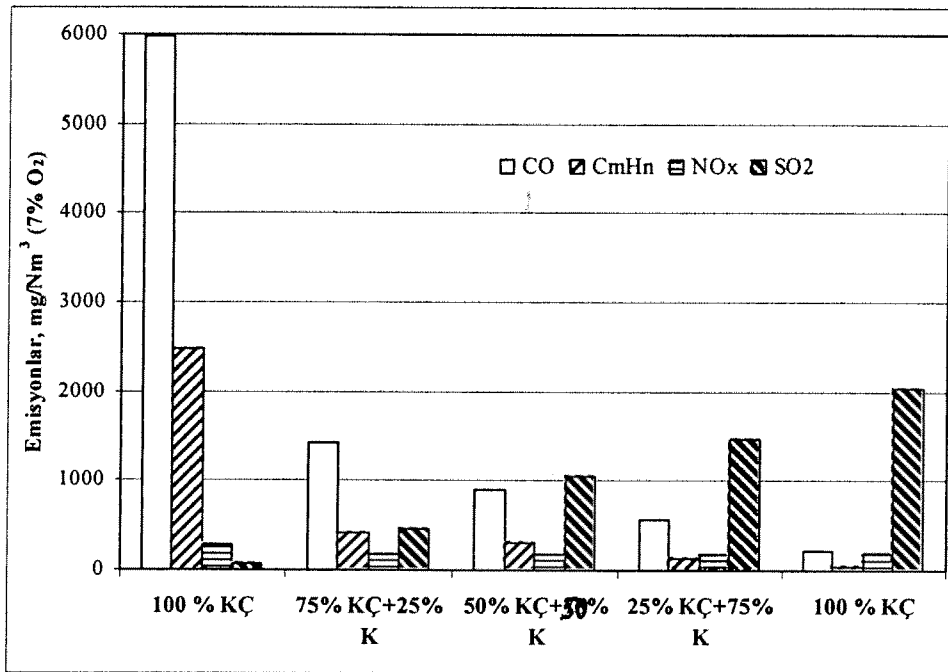
Beklendiği gibi % 100 kömür yakılması durumunda SO₂ emisyonu en yüksek değerdedir. Yaklaşık SO₂ konsantrasyonu 2000 mg/Nm³ dür. Karışımdaki kayısı çekirdeği oranının artışı ile SO₂ emisyonu düşmekte ve % 100 olduğunda SO₂ konsantrasyonu minimum değeri olan 67 mg/Nm³'e inmektedir.

Kayısı çekirdeği-kömür karışımının yakılmasında emisyonlar açısından en iyi karışım oranı % 50 kayısı çekirdeği-%50 kömür olarak görülmektedir.

Tablo 4.12. Kayısı çekirdeği ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları

Kayısı Çekirdeği- Kömür Karışımı	O ₂	λ	CO ₂	CO	CO	C _m H _n	NO _x	SO ₂
	%	-	%	%	mg/Nm ³ (%7 O ₂)			
%100 Kayısı Çekirdeği	7.9	1.60	10.1	0.4470	5971	2465	276	67
%75 KÇ+%25 K	6.7	1.47	11.3	0.1640	1434	421	171	458
%50 KÇ+%50 K	7.7	1.58	10.3	0.0960	902	301	177	1045
%25 KÇ+%75 K	7.4	1.54	10.6	0.0630	579	125	177	1457
%100 Kömür	7.8	1.59	9.3	0.0230	218	43	189	2036

K= Kömür, KÇ= Kayısı çekirdeği



Şekil 4.25. Değişik oranlarda kayısı çekirdeği-kömür karışımını yakıldığında oluşan emisyonlar

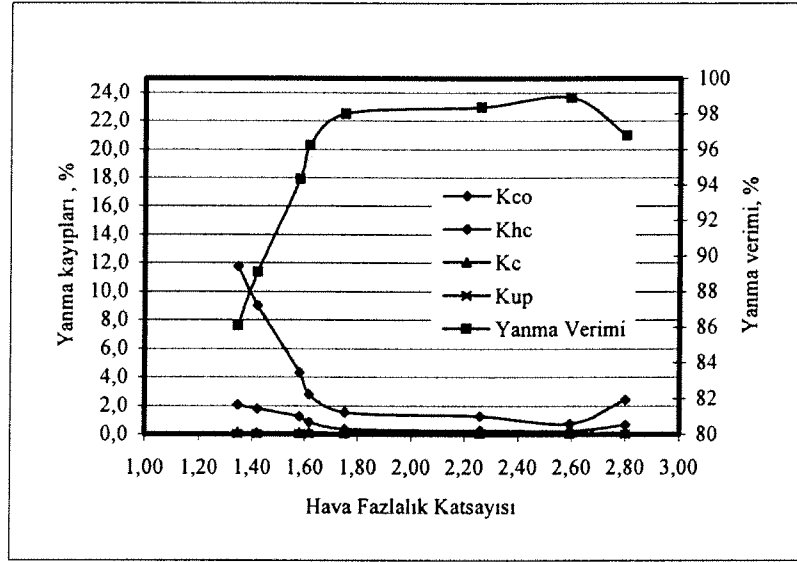
4.3.7. Şeftali Çekirdeği Yanması (Dolaşımli Akışkan Yatakta)

Şeftali çekirdeği yakılmasında işletme, ısıl performans ve emisyon parametreleri (%7 O₂ baz alınarak) Tablo 4.13 de verilmiştir. Yanma verimi %83 ve %98.9 arasında değişmektedir. %99 luk yanma verimi çok iyi bir verimdir.

Yanma kayıplarının ve yanma veriminin hava fazlalık katsayısı (λ) ile değişimi Şekil 4.26 da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısının artması ile yanma kayıplarında çok önemli ve ani bir azalma olmaktadır. Yatak malzemesi analiz edildiğinde yanmamış karbon miktarı, toplam yanma kaybının %0.14 sinden daha az bulunmuştur. Siklonda toplanan küller incelendiğinde içinde yanabilir karbon olmadığı bulunmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarına bağlı olan yanma kayıplarının azalması ile yanma verimi artmaktadır. Bu da hava fazlalık katsayısının artırılması ile yakıttan salınan uçucu hidrokarbonların daha iyi yandığını göstermektedir. Ancak, hava fazlalık katsayısı daha da arttığında yanma verimi düşmektedir. Çünkü bu durumda gönderilen çok fazla hava yatağın soğumasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak da CO ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır. En yüksek (max.) yanma verimi $\lambda=1.8-2.6$ arasında elde edilmiştir. Maksimum yanma verimi %98.9 dur.

Tablo 4.13. Şeftali çekirdeği yanmasında işletme, ısıl performans ve emisyon parametreleri

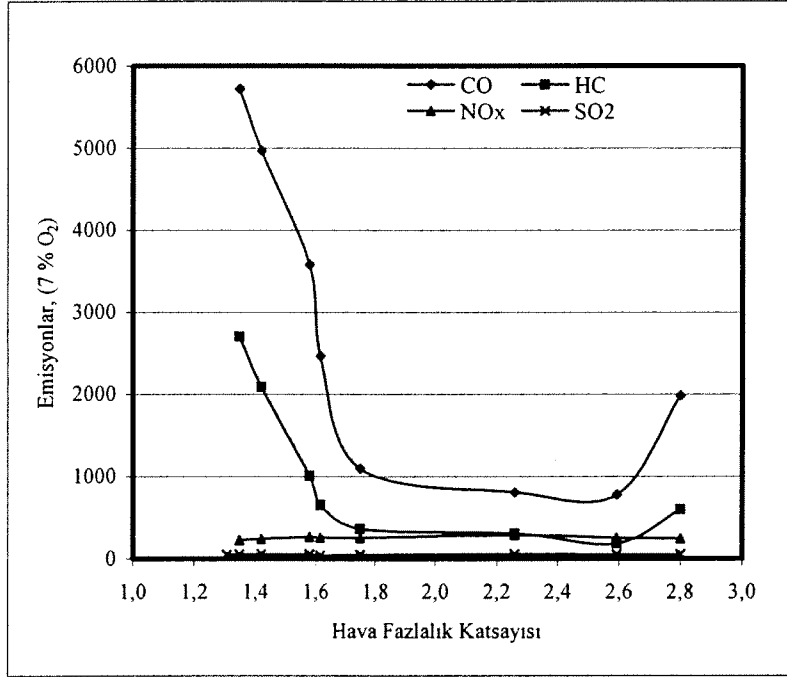
Deneş No.	O ₂	λ	T	CO ₂	Kco	Kch	Kc	Kup	Yanma Verimi	CO	CH ₄	NO _x	SO ₂
	%	-	°C	%					mg/Nm ³				
#1	4.9	1.30	807	13.1	2.47	14.43	0.14	0	82.96	6870	3306	202	50
#2	5.4	1.35	823	12.9	2.05	11.74	0.13	0	86.09	5721	2700	227	56
#3	6.2	1.42	839	11.0	1.76	9.02	0.11	0	89.10	4966	2088	242	57
#4	7.7	1.58	845	9.7	1.25	4.31	0.12	0	94.32	3579	1010	265	57
#5	8.0	1.62	873	10.5	0.86	2.77	0.14	0	96.23	2463	652	258	40
#6	9.0	1.75	880	9.1	0.38	1.53	0.09	0	98.00	1094	363	253	50
#7	11.7	2.26	862	6.5	0.27	1.27	0.09	0	98.37	809	308	286	56
#8	12.9	2.59	844	5.2	0.26	0.75	0.08	0	98.91	778	184	255	54
#9	13.5	2.80	828	4.1	0.66	2.42	0.11	0	96.80	1983	598	248	53



Şekil 4.26. Yakıt olarak şeftali çekirdeği kullanıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Şekil 4.27 de şeftali çekirdeği yakılması ile oluşan emisyonların (%7 O₂ bazında) hava fazlalık katsayısı ile nasıl değiştiği gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi şeftali çekirdeği yakıldığında SO₂ emisyonu 40-55 mg/Nm³ dür. Çünkü şeftali çekirdeği içinde ağırlıkça %0.14 kükürt vardır. Fazla hava oranı arttırıldığında CO ve hidrokarbon emisyonlarında (C_mH_n) ani bir azalma görülmektedir. CO emisyonu yaklaşık 7000 mg/Nm³ den 780-800 mg/Nm³ e, hidrokarbon emisyonu yaklaşık 3300 mg/Nm³ den 180-360 mg/Nm³ e düşmektedir. En az emisyon elde etmek için optimum λ değeri 1.8 ile 2.6 arasında belirlenmiştir. Ancak, hava fazlalık katsayısı daha da arttığında, gazların yatak içinde kalış zamanlarının azalması ve yanmanın tam olmamasından dolayı CO emisyonu yaklaşık 2000 mg/Nm³ e kadar, hidrokarbon emisyonları da (C_mH_n) 600 mg/Nm³ e kadar tekrar artmaktadır.

Diğer taraftan, yanma sırasında hava fazlalık katsayısının artması ile NO_x emisyonlarında biraz artma gözlenmiştir. Bu da muhtemelen ikincil hava kullanılmamasından ve yakıcıdaki kalış süresinin kısa olmasından kaynaklanmaktadır. NO_x seviyesi yaklaşık 202-286 mg/Nm³ dür. Burada bulunan NO_x konsantrasyonu kayısı çekirdeğinin yanmasından oluşan NO_x değerinden biraz daha düşüktür. Çünkü şeftali çekirdeğindeki azot oranı kayısı çekirdeğinden azdır.



Şekil 4.27. Yakıt olarak şeftali çekirdeği kullanıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi

4.3.8. Şeftali Çekirdeği-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşım Akışkan Yatakta)

Şeftali çekirdeği ve kömürün ağırlıkça %25-%50-%75 oranlarında karışımı, ayrıca % 100 şeftali çekirdeğinin ve % 100 kömürün yakıldığı durumlardaki işletme parametreleri, ve % 7 O₂ bazında emisyon sonuçları aşağıda Tablo 4.14 de verilmiştir. Değişik oranlardaki şeftali çekirdeği ve kömür karışımlarının yakılması durumunda oluşan emisyonlar ise Şekil 4.28 de verilmiştir.

Şekil 4.28 den görüldüğü gibi, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yakılmasına benzer olarak karışımdaki kömür oranındaki artışla birlikte CO emisyonu da hızlı biçimde azalma göstermiştir. Baca gazındaki CO konsantrasyonu %100 şeftali çekirdeği yakıldığında yaklaşık 3580 mg/Nm³, % 100 kömür yakıldığında ise 220 mg/Nm³ değerindedir. Karışım yakma deneylerinin tümünde hava fazlalık katsayısı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Karışımdaki kömür oranı artışı ile birlikte düzelen yanma koşullarına bağlı olarak yanma gazları içindeki CO konsantrasyonu da düşmüştür. Bu azalma yine her iki yakıtın uçucu madde içeriği arasında büyük fark olmasından kaynaklanmaktadır (%75.3 şeftali çekirdeğinde-%27.5 kömürde). Benzer sonuç hidrokarbon emisyonlarında da söz konusudur. Yine karışımdaki kömür oranı artışı ile hidrokarbon emisyonlarında ani bir düşme gözlenmektedir (1010 mg/Nm³ den 43 mg/Nm³ e inme). NO_x emisyonu yine kayısı-kömür karışımı yakılmasına benzerdir.

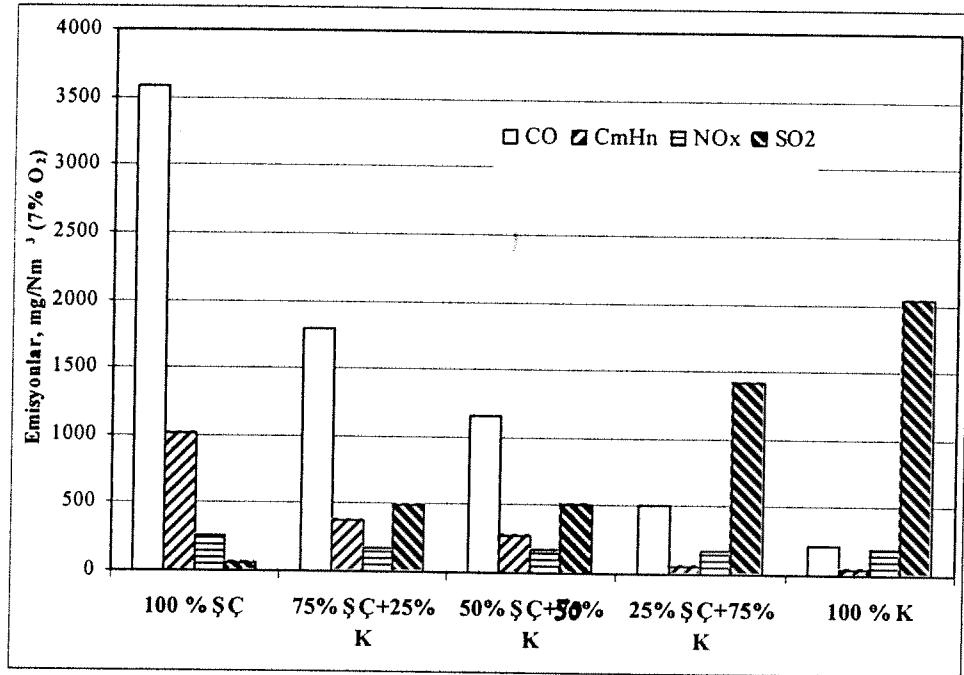
Beklendiği gibi % 100 kömür yakılması durumunda SO₂ emisyonu en yüksek değerdedir. Yaklaşık konsantrasyonu 2040 mg/Nm³ dür. Karışımdaki şeftali çekirdeği oranının artışı ile SO₂ emisyonu düşmekte ve % 100 olduğunda SO₂ konsantrasyonu minimum değeri olan 57 mg/Nm³'e inmektedir.

Şeftali çekirdeği-kömür karışımının yakılmasında emisyonlar açısından en iyi karışım oranı % 40 şeftali çekirdeği-%60 kömür olarak görülmektedir.

Tablo 4.14. Şeftali çekirdeği ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları

Şeftali Çekirdeği- Kömür Karışımı	O ₂	λ	CO ₂	CO	CO	C _m H _n	NO _x	SO ₂
	%	-	%	%	mg/Nm ³ (7% O ₂)			
%100 Şeftali Çekirdeği (ŞÇ)	7.7	1.58	9.7	0.2720	3579	1010	265	57
%25 ŞÇ+%75 K	6.6	1.46	11.4	0.0590	512	60	174	1414
%50 ŞÇ+%50 K	7.3	1.53	10.7	0.1260	1150	271	171	503
%75 ŞÇ+%25 K	6.8	1.48	11.2	0.2040	1796	382	171	495
%100 Kömür	7.8	1.59	9.3	0.0230	218	43	189	2036

ŞÇ =Şeftali çekirdeği, KÇ =Kayısı çekirdeği, K = Kömür



ŞÇ =Şeftali çekirdeği, KÇ =Kayısı çekirdeği, K = Kömür

Şekil 4.28. Değişik oranlarda şeftali çekirdeği-kömür karışımı yakıldığında oluşan emisyonlar

4.4. Ayçiçeği Posası ile Yapılan Çalışmalar

Ayçiçeği yağ sanayisinin atığı olarak çıkan “Ayçiçeği Posası” günümüzde hayvancılık sektöründe verimli bir yem olarak kullanılmaktadır. Ancak yağ sanayisinin enerji ihtiyacının giderilmesinde kullanıldığı zaman yanma ve emisyon durumunun belirlenmesi ve özellikle aynı fabrikada kullanılması yoluyla enerji ihtiyacının karşılanması konusu önemlidir. Günümüzde özellikle biyokütleden motorin üretimi ciddi olarak inceleme konusu olarak karşımıza çıkmakta ve petrolün yerini alması düşünülmektedir. Böylesine tarıma dayalı bir enerji üretimi konusunda atıkların özellikle enerji üretim tesisinde kullanılarak enerji verimliliği analizi yapılması önemli bir işletme giderinin azaltılmasına neden olacaktır.

Gerek yağ sanayi atığı olarak, gerekse biyodiesel üretiminde dikkat çekici olması açısından ayçiçeği posası gibi yağ sanayi atıklarının gazlaşma ve yanma davranışı üzerinde çalışılması yakın gelecekte daha da önemli olacaktır.

4.4.1. Ayçiçeği Posasının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Yakma deneylerinde kullanılan ayçiçeği posasının fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.15 de, posanın görünümü Şekil 4.29 da verilmiştir.

Tablo 4.15. Ayçiçeği Posasının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ayçiçeği Posası	
Yaklaşık Analiz (% ağırlıkça)	
Nem	2.44
Uçucu Madde	72.68
Sabit Karbon	21.43
Kül	3.45
Elementer Analiz (% ağırlıkça, kuru bazda)	
C	48.6
H	4.25
N	1.14
O	42.40
S	0.04
Kül	3.57



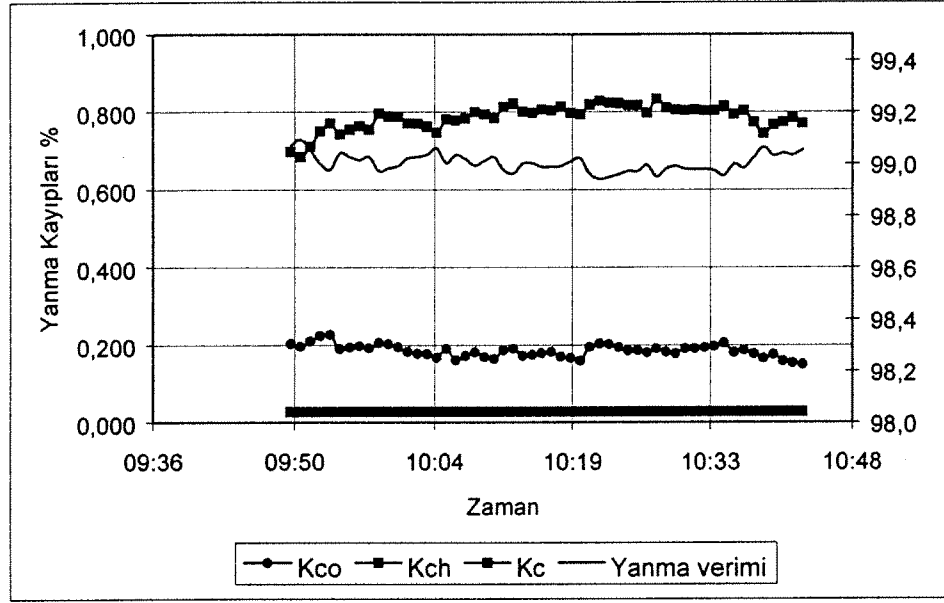
Şekil 4.29. Deneysel çalışmada kullanılan ayçiçeği posası

4.4.2. Ayçiçeği Posasının Yanması (Dolaşım Akışkan Yatakta-DAY)

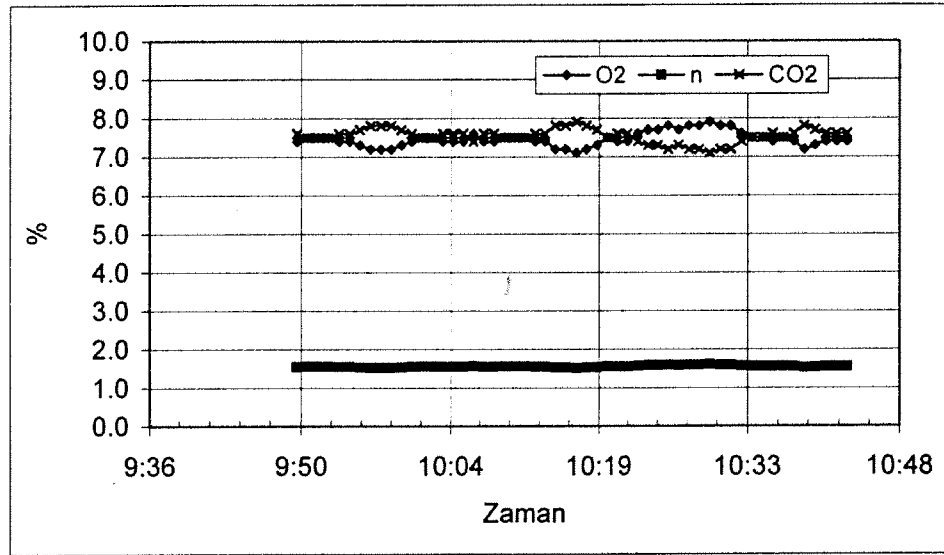
Ayçiçeği posasının yakılmasında yanma gazları içinde bulunan CO, yanmamış hidrokarbon, ve yanma kayıplarının toplam yanma kaybı içindeki yüzdeleri Şekil 4.30 da gösterilmiştir. Ayrıca aynı şekil üzerinde bu yanma kayıplarını göz önüne alarak yapılan karbon dengesi hesaplamaları sonunda bulunan yanma veriminin zamana bağlı olarak değişimi de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yanma kayıpları çok azdır ve yanma verimi ortalama olarak %99 olarak alınabilir. Bu verim bir katı yakıt için çok iyi bir verimdir.

Yanma parametrelerinin zamana bağlı olarak değişimleri de Şekil 4.31 de gösterilmiştir. Yanma gazları içindeki O₂ oranı %7 civarında tutulmaktadır. Buna karşılık gelen hava fazlalık katsayısı (λ) 1.5 olmaktadır. Burada gösterilen, parametrelerin zamana göre değişimidir. Zamanla parametrelerde bir değişim olmaması, sistemin kararlı durumda olduğunu göstermektedir.

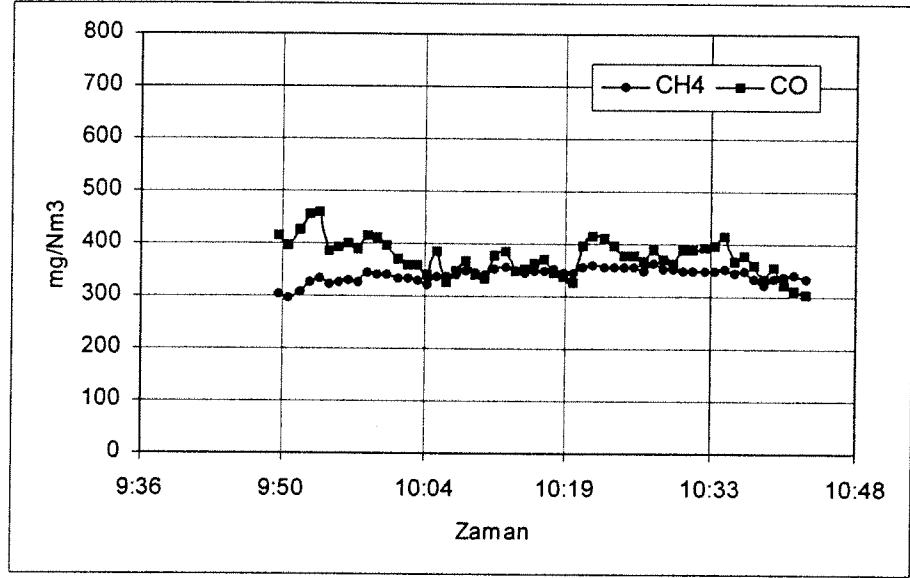
Yanma sonunda oluşan emisyonların zamana bağlı olarak değişimleri de Şekil 4.32 ve 4.33 de verilmiştir. Oluşan SO₂ emisyonu çok düşük olmasına rağmen NO_x emisyonunun 160-180 mg/Nm³ civarında olduğu görülmektedir. CO emisyonunun ortalama olarak 380-400 mg/Nm³ ve metan cinsinden ölçülen hidrokarbon emisyonlarının da 350 mg/Nm³ civarında dolaştığı Şekil 4.32 den görülmektedir. Bu emisyonlar $\lambda= 1.5$ da kayısı ve şeftali çekirdeğinin yakılması ile oluşan emisyonlara göre çok azdır. Bu da ayçiçeği posasının çok kolay ve çabuk yanabilen bir madde olduğunu göstermektedir.



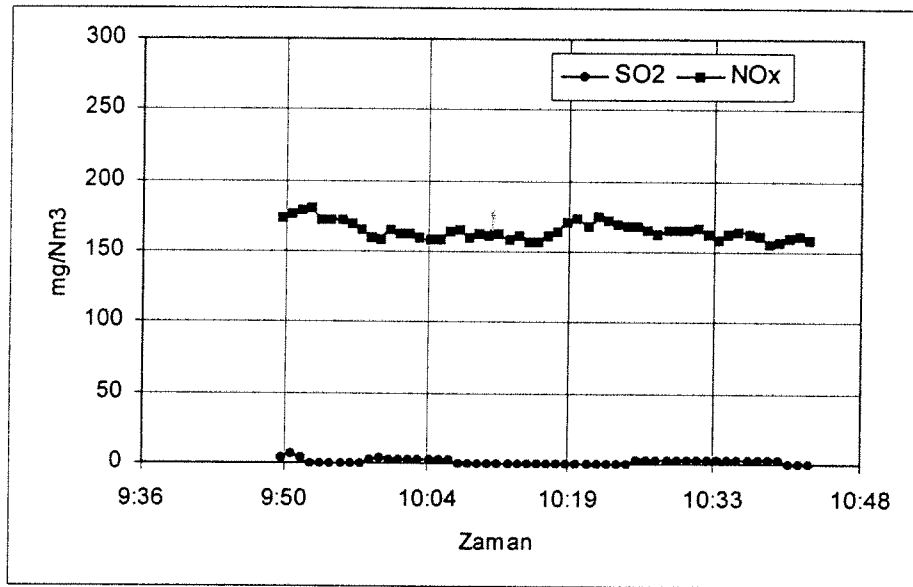
Şekil 4.30. Yanma kayıpları ve yanma veriminin zamana bağlı olarak değişimleri



Şekil 4.31. Yanma parametrelerinin zamana bağlı olarak değişimleri



Şekil 4.32. CO ve hidrokarbon emisyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri



Şekil 4.33. SO₂ ve NO_x emisyonlarının zamana bağlı olarak değişimleri

4.4.3. Ayçiçeği Posası-Kömür Karışımının Yanması (Dolaşimli Akışkan Yatakta-DAY)

Ayçiçeği posası ve kömürün ağırlıkça %25-%50-%75 oranlarında karışımı, ayrıca %100 ayçiçeği posası ve % 100 kömürün yakıldığı durumdaki (% 7 O₂ bazında) emisyon sonuçları aşağıda Tablo 4.16 da verilmiş ve Şekil 4.34 de gösterilmiştir.

Table 4.16. Ayçiçeği posası ve kömür karışımının yanma deneyleri sonuçları

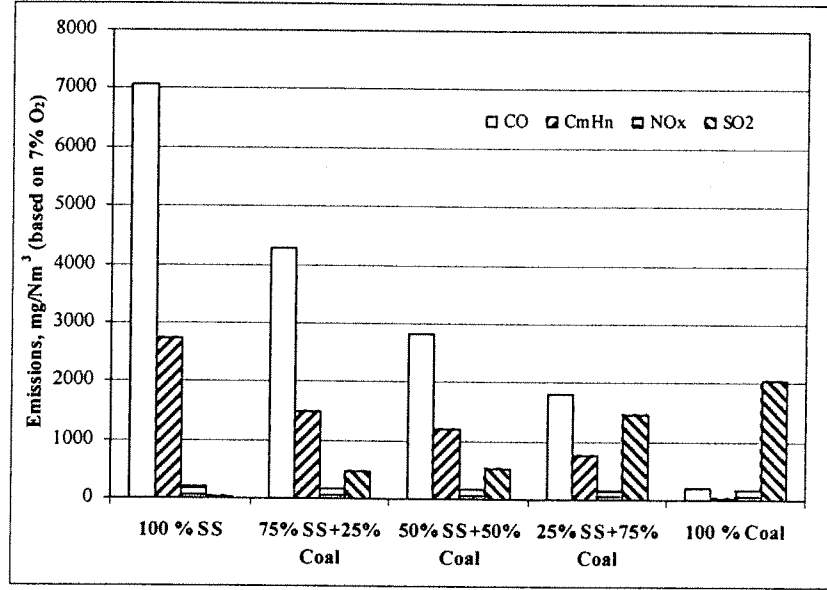
Ayçiçeği Posası- Kömür Karışımı	O ₂	λ	CO ₂	CO	CO	C _m H _n	NO _x	SO ₂
	%	-	%	%	mg/Nm ³ (%7 O ₂)			
%100 Ayçiçeği Posası (SS)	5.4	1.35	12.2	0.6310	7079	2729	196	31
%75 SS + %25 Kömür	7.2	1.52	10.8	0.4730	4284	1482	165	472
%50 SS + %50 Kömür	6.8	1.48	11.3	0.3200	2817	1198	164	527
%25 SS + %75 Kömür	6.2	1.42	11.7	0.2140	1807	761	141	1441
%100 Kömür	7.8	1.59	10.0	0.0230	218	43	189	2036

SS= Ayçiçeği posası, K= Kömür

Şekil 4.34 den görüldüğü gibi, kayısı çekirdeği-kömür karışımı yakılmasına benzer olarak, burada kullanılan karışımdaki kömür oranındaki artışla birlikte CO emisyonu da hızlı biçimde azalma göstermiştir. Baca gazındaki CO konsantrasyonu %100 ayçiçeği posası yakıldığında yaklaşık 7080 mg/Nm³, % 100 kömür yakıldığında ise 220 mg/Nm³ değerindedir. Karışım yakma deneylerinin tümünde hava fazlalık katsayısı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Karışımdaki kömür oranı artışı ile birlikte düzelen yanma koşullarına bağlı olarak yanma gazları içindeki CO konsantrasyonu da düşmüştür. Bu azalma yine her iki yakıtın uçucu madde içeriği arasında büyük fark olmasından kaynaklanmaktadır (%72.68 ayçiçeği posasında-%27.5 kömürde). Benzer bir sonuç hidrokarbon emisyonlarında da söz konusudur. Yine karışımdaki kömür oranı artışı ile hidrokarbon emisyonlarında ani bir düşme gözlenmektedir (2730 mg/Nm³ den 43 mg/Nm³ e düşme). NO_x emisyonu yine kayısı-kömür karışımı yakılmasına benzerdir.

Bu sonuçlar aynı hava fazlalık katsayısında kayısı çekirdeği için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, kayısı çekirdeğinde elde edilen CO emisyonu 6000 mg/Nm³ dür. Oysa ayçiçeği posasında elde edilen CO emisyonu 7080 mg/Nm³ dür. Bu fark iki madde arasındaki yoğunluk farkından gelmektedir. Ayçiçeği posası kayısı çekirdeğine göre daha hafif bir maddedir. Ayçiçeği posasının yoğunluğu 835 kg/m³, kayısı çekirdeğinin yoğunluğu ise 1024 kg/m³ dür. Dolayısı ile ayçiçeği posasının aynı fazla hava oranında yatağın üst kısımlarında (riser) denilen bölgede daha fazla kalacağı ve yeteri kadar hava bulamadığı zaman daha fazla CO emisyonuna neden olacağı beklenmektedir.

Ayçiçeği posasının kömürle birlikte yakılması için emisyonlar açısından en iyi karışım oranının bu çalışmada %25 ayçiçeği posası ve %75 kömür olduğu görülmektedir.



SS= Ayçiçeği posası, K= Kömür

Şekil 4.34. Değişik oranlarda ayçiçeği posası-kömür karışımı yakıldığında oluşan emisyonlar

4.5. Pamuk Çiğiti Posası Yanması (Dolaşımli Akışkan Yatakta)

Dolaşımli akışkan yatakta yakma deneylerinde kullanılan ve nötr pamuk yağı üreten bir fabrikadan alınmış olan pamuk çiğiti posasına ait yaklaşık, elementer analizler ve ısıl değerleri aşağıda Tablo 4.17 ve 4.18 de verilmiştir. Pamuk çiğiti posası içerisinde yaklaşık olarak ağırlıkça % 5 kadar nem bulunmaktadır. Ekstruder tip bir preste yağı çıkarılarak susuzlaştırılan pamuk çiğiti tam olarak yağından arındırılmamış görülmektedir. Pamuk çiğiti içindeki uçucu madde oranı çok yüksek ve kül oranı çok düşüktür. Bu nedenle bu maddenin düşük hava fazlalık katsayıları ile yanmasında oldukça fazla CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonu beklenir.

Tablo 4.17. Deneylerde kullanılan pamuk çiğiti posasına ait yaklaşık ve elementer analizi

Pamuk Çiğiti Posası	
Yaklaşık Analiz (% ağırlıkça)	
Nem	5,22
Uçucu Madde	80,40
Sabit Karbon	13,91
Kül	0,47
Elementer Analiz (% ağırlıkça)	
C	48,90
H	7,52
N	7,75
O	34,56
S	0,77
Kül	0,50

Tablo 4.18. Deneylerde kullanılan pamuk çiğiti posasına ait ısıl değerler

Pamuk Çiğiti Posası	
HHV (kJ/kg)	19 826
LHV (kJ/kg)	19 499

HHV: Üst ısıl değer, LHV: Alt ısıl değer

Tablo 4.19 da pamuk çiğiti posasının dolaşımli akışkan yatakta farklı hava fazlalık katsayılarında tekrar edilen yakma deney sonuçları verilmektedir. Hava fazlalık katsayısı minimum 1.24 ile maksimum 2.50 arasında değiştirilmiştir. Toplam dokuz adet yakma deneyi yapılmıştır.

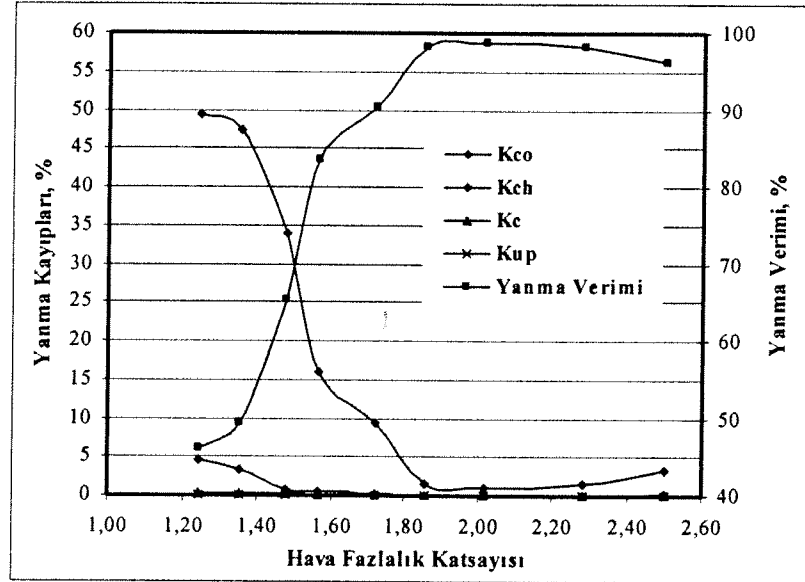
Tablo 4.19. Pamuk çiğiti posası yanmasında işletme, ısıl performans ve emisyon parametreleri

Deney No	O ₂ %	λ -	T °C	CO ₂	Kco	Kch	Kc	Kup	Yanma Verimi	mg/Nm ³			
										CO	CH ₄	NO _x	SO ₂
#1	4,1	1,24	814	13,9	4,49	49,31	0,17	0	46,03	14714	52873	210	21
#2	5,5	1,35	824	12,5	3,20	47,22	0,15	0	49,44	9518	48495	224	31
#3	6,8	1,48	826	11,2	0,68	33,98	0,13	0	65,22	2021	16391	227	28
#4	7,6	1,57	847	10,4	0,39	15,90	0,10	0	83,61	1162	7691	231	24
#5	8,8	1,72	855	9,2	0,24	9,34	0,11	0	90,31	732	6176	234	20
#6	9,7	1,86	859	8,3	0,08	1,51	0,10	0	98,31	232	735	257	18
#7	10,6	2,02	868	7,4	0,06	1,07	0,10	0	98,77	168	522	245	31
#8	11,8	2,28	863	6,2	0,11	1,52	0,10	0	98,26	342	747	228	30
#9	12,6	2,50	852	5,4	0,32	3,31	0,10	0	96,26	979	1632	235	14

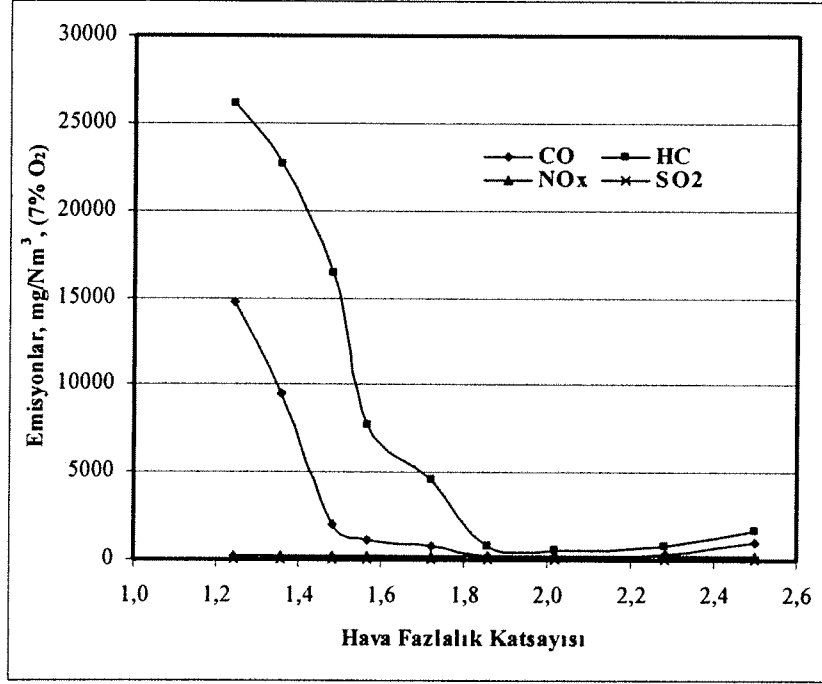
Deneyler sırasında elde edilen verilerden hesaplanan yanma kayıplarının ve yanma veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi aşağıda Şekil 4.35 de, yanmadan kaynaklanan emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi ise Şekil 4.36 da verilmektedir.

Hava fazlalık katsayısının düşük olduğu (örneğin $\lambda < 1.5$) deneylerde malzemenin yanması sonucunda oldukça yüksek yanmamış hidrokarbonlar ve CO emisyonları ile karşılaşmıştır. Bu λ değerlerinde yanma verimi %65 den düşüktür. Hava fazlalık katsayısı arttırıldıkça yanma verimi yaklaşık % 98 e kadar artmaktadır. $\lambda = 1.24$ de baca gazı içerisinde hidrokarbonlar (% 7 O₂ bazında) 52 873 mg/Nm³ ve CO 14 714 mg/Nm³ olarak ölçülmüştür. Bu değerler emisyon olarak aşırı yüksek değerlerdir. Yanma performansı ve baca gazı emisyonları bakımından optimum hava fazlalık katsayısı aralığı olarak 1.86-2.28 aralığı belirlenmiştir. Düşük hava fazlalığı şartlarında yapılan deneylerde elde edilen gaz analizleri, pamuk çiğitinin gazlaştırılarak değerlendirilmesinin daha uygun olacağını göstermektedir.

Emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi için bulunan sonuçlar, diğer biyokütlelerin yakılması sırasında elde edilen sonuçlara benzerdir. Şekil 4.35 den görüldüğü gibi CO ve hidrokarbon emisyonlarında hava fazlalık katsayısının artması ile ani bir düşüş meydana gelmektedir. Emisyonlar $\lambda = 1.85-2.0$ arasında minimum değerine erişmektedir. Bu değerlerde de yanma verimi %98 e yükselmektedir.



Şekil 4.35. Pamuk çiğiti posası yakıldığında yanma kayıplarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi



Şekil 4.36. Pamuk çiğiti posası yakıldığında emisyonların hava fazlalık katsayısı ile değişimi

BÖLÜM V

SONUÇLAR

- Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki yanmanın büyük bir kısmı ana kolonda sıcaklığın 900°C'ye eriştiği üst bölgelerde gerçekleşmektedir. Kullanılan DAY sisteminde prina tek başına %94'den %98.95'e varan bir yanma verimi ile yakılmıştır. Eğer fazla hava oranı %30'dan küçük olursa, önemli miktarlarda CO ve yanmamış hidrokarbon emisyonu oluşmakta ve yanma verimi %94-95'e düşmektedir. Yakıt karışımındaki % prina oranı arttıkça, SO₂ emisyonu azalmaktadır. $\lambda > 1.36$ koşulunda prina ve prina+kömür karışımlarının yakılması ile oluşan tüm emisyon değerleri Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği tarafından belirtilen sınır değerlerden daha düşüktür. Bu sonuçlar, yüksek oranda kükürt içerdiğinden dolayı yüksek SO₂ emisyonlarına neden olan ve tek başına kullanılamayan Türk linyitlerinin, küçük ölçekli enerji üretimi için prina ile belli oranlarda karıştırılarak yakılırsa HKKY ile uyumlu hale getirebileceğini göstermektedir. Fazla hava oranı arttırılınca, CO, C_mH_n ve SO₂ konsantrasyonlarında hızlı bir düşüş görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan prina için optimum değer yaklaşık olarak %36 fazla havadır.
- Kayısı çekirdeği için DAY sisteminde en az emisyon elde etmek için optimum λ değeri 2.1 olarak belirlenmiştir.
- Şeftali çekirdeği için DAY sisteminde en az emisyon elde etmek için optimum λ değeri 1.8 ile 2.6 arasında belirlenmiştir.
- Kayısı çekirdeği-kömür karışımının yakılmasında emisyonlar açısından en iyi karışım oranı % 50 kayısı çekirdeği-%50 kömür olarak görülmektedir.
- Şeftali çekirdeği-kömür karışımının yakılmasında emisyonlar açısından en iyi karışım oranı % 40 şeftali çekirdeği-%60 kömür olarak görülmektedir.
- Biyokütlenin yanması sırasında yüksek konsantrasyonlarda CO ve hidrokarbon oluşumu görülmektedir.
- Kömürün yanması sırasında 2250-2300 mg/Nm³ SO₂ emisyonu oluşmaktadır. Oysa çekirdeklerdeki S oranı sıfır olduğundan SO₂ emisyonu yoktur.
- NO_x ve SO₂ ve emisyonları HKKY'de verilen değerlerden ve EC/2001/80 de verilen değerden düşüktür.
- Yakılan çekirdeklerin biyokütle enerjisi olarak linyit kömürü ile rekabet edebilecek bir enerjiye sahip olduğu ve bu maddelerin yakılması için akışkan yatak sisteminin iyi bir sistem olduğu gösterilmiştir. Özellikle Dolaşım Akışkan Yatak sistemi, biyokütleden yakılarak enerji elde edilmesi için çok uygun bir sistemdir. Çünkü yanma gazlarını yatak üst kısmındaki sıcak bölgede daha uzun tutmak mümkündür.
- Bu sonuçlar genelde yüksek S içeriği ve SO₂ emisyonundan dolayı kullanılamayan Türk linyitlerinin, KOBİ'lerde belli oranlarda biyokütle ile karıştırılarak kullanıldığında HKKY de verilen limitleri sağlayacağını göstermiştir. Bu da KOBİ'ler için çok iyi bir çözümdür. Genelde enerji üretiminde kömür kullanmak KOBİ ler için daha ucuza mal olmaktadır. Ancak kömürün yakılması sırasında yarattığı hava kirliliği ve HKKY'de belirtilen sınırları tutturamamak probleme neden olmaktadır. Bu nedenle KOBİ'ler kömür kullanmaktan vazgeçmek zorunda kalmakta, doğal gaza geçme yollarını aramaktadır.

KAYNAKLAR

Abu-Qudais, M., "Fluidized-bed combustion for energy production from olive cake", *Energy*, Vol. 21, No.3, pp. 173-178, 1996.

Abu-Qudais, M., Okasha G., "Diesel fuel and olive-cake slurry: Atomization and combustion performance", *Applied Energy*, Vol. 54, No.4, pp. 315-326, 1996.

Alkhamis, T. M., Kablan, M. M., "Olive cake as an energy source and catalyst for oil shale production of energy and its impacts on the environment", *Energy Conversion and Management*, Vol. 40, pp. 1863-1870, 1999.

Armesto, L., Bahillo, A., Cabanillas, A., Veijonen, K., Otero, J., Plumed, A. and Salvador, L., "Co-combustion of coal and olive oil industry residues in fluidised bed", *Fuel*, Vol.82, Issue 8, pp. 993-1000, 2003.

Armesto L., Bahillo A., Veijonen K., Cabanillas A. , J. Otero, "Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidized bed", *Biomass and Bioenergy*, Vol.23, pp.171-179, 2002.

Arvelakis S., Vourliotis P., Kakaras E. and Koukios E. G., "Effect of leaching on the ash behavior of wheat straw and olive residue during fluidized bed combustion", *Biomass and Bioenergy*, Vol.20, Issue 6, pp. 459-470, 2001.

Atimtay A., "Combustion of volatile matter in fluidized beds" pp. 159-166 in *Fluidization*, J.R. Grace and J.M. Matsen, Eds., Plenum Press, New York, 1980.

Atimtay A., "Combustion of volatile matter in fluidized beds", *Ind Eng Chem Res*, Vol. 26, p. 452, 1987.

Bakker Robert R., Jenkins Bryan M. and Williams Robert B., "Fluidized Bed Combustion of Leached Rice Straw", *Energy & Fuels*, Vol.16(2), pp. 356-365, 2002.

Bhattacharya, S.C., Abdul Salam and P., Sharma, M., "Emissions from biomass energy use in some selected Asian contries", *Energy*, Vol. 25, pp. 169-188, 2000.

Cliffe K. R. and Patumsawad S., "Co-combustion of waste from olive oil production with coal in a fluidised bed", *Waste Management*, Vol.21, Issue1, pp. 49-53, 2001.

Cudahy, J.J., Helsel, R.W., "Removal of products of incomplete combustion with carbon", *Waste Management*, Vol. 20, pp. 339- 345, 2000.

Devlet Planlama Teşkilatı, Enerji Raporu, 2001.

Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu, 2004.

Fell, H.J., Tuczek, M., "Removal of dioxins and furans from flue gases by non-flammable adsorbents in a fixed bed", *Chemosphere*, Vol. 37, Nos.9-12, pp. 2327-2334, 1998.

Jeirjstad vd. (1995)

Hustad, J.E., Skreiberg, O., and Sonju, O.K., "Biomass combustion research and utilisation in IEA countries", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 9, Nos 1-5, pp. 235-255, 1995.

Kakaras E., Vourliotis P., Grammelis P. And Vamvuka D., "Fossil fuels combined combustion with biomass in a fluidised bed combustor", Mediterranean Combustion Symposium-99, Turkey, 1999.

Kouprianov V. I. and Permchart W., "Emissions from a conical FBC fired with a biomass fuel", *Applied Energy*, Vol.74, Issues 3-4, pp. 383-392, 2003.

Laursen K. and Grace J. R., "Some implications of co-combustion of biomass and coal in a fluidized bed boiler", *Fuel Processing Technology*, Vol. 76, Issue 2, pp. 77-89, 2002.

Leckner, B. and Lyngfelt, A., "Optimization of emissions from fluidized bed combustion of coal, biofuel and waste", *International Journal of Energy Research*, Vol.26, pp. 1191-1202, 2002.

Levwandowski, I., Kicherer, A., and Vonier, P., "CO₂-balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 8, No. 2, pp. 81-90, 1995.

Liu D. C., Mi T., Shen B. X., and Feng B., "Reducing N₂O Emission by Co-Combustion of Coal and Biomass", *Energy & Fuels*, Vol.16, pp. 525-526, 2002.

Luthe, C., Karidio, I., and Uloth, V., "Towards controlling dioxins emissions from power boilers fuelled with salt-laden wood waste", *Chemosphere*, Vol. 35, No. 3, pp. 557-574, 1997.

Narodoslawsky, M., Obernberger, I., "From waste to raw material-the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 50, pp. 157-168, 1996.

Obernberger, I., Biedermann, Widmann, W., and Riedl, R., "Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No. 3, pp. 211-224, 1997.

Öhman M. and Nordin A., "Bed agglomeration characteristics during fluidized bed combustion of biomass fuels", *Energy & Fuels*, Vol.14, pp. 169-178, 2000.

Scala F., Salatino P., Chirone R., 2000. "Fluidized Bed Combustion of a Biomass Char (*Robinia pseudoacacia*)", *Energy & Fuels*, Vol.14(4), pp. 781-790.

Schlamadinger, B., Spitzer, J., Kohlmaier, G.H., and Lüdeke, M., "Carbon balance of bioenergy from logging residues", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 8, No. 4, pp. 221-234, 1995.

Tejima, H., Nakagawa, I., Shinoda, T., and Maeda, I., "PCDDs/PCDFs reduction by good combustion technology and fabric filter with/without activated carbon injection", *Chemosphere*, Vol. 32, No. 1, pp. 169-175, 1996.

Van Den Broek, R., Faaij, A., and Van Wijk, A., "Biomass combustion for power generation", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 11, No. 4, pp. 271-281, 1996.

Van Den Broek, R., Faaij, A., Van Wijk, A., Kent, T., and Bulfin, M., "Willow firing in retrofitted Irish peat power plants", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No. 2, pp. 75-90, 1997.

EKLER

TÜRKİYE'NİN BİYOKÜTLE ENVANTERİ

Bu raporda Türkiye'deki biyokütle envanteri çıkarılırken atıklar gıda, ağaç ve tarım atıkları olarak üç ana başlık altında toplanmıştır. Bu alanlardaki üretimler ve bunlara bağlı ortaya çıkan atık miktarları aşağıda tablolar ve grafiklerle gösterilmiştir. Birinci bölümde 1998 yılındaki üretim ve atık miktarları verilirken, ikinci bölümde ise 1990-1998 yılları arasındaki sonuçlar verilmiştir. DİE İstatistik Yıllığı 2001 basıldıktan sonra veriler 2000 yılı da dahil olmak üzere yenilenecektir.

1. 1998 yılı üretim ve atık miktarları

A. GIDA ÜRÜNLERİ

Meyveler

Meyve suyu üretiminde kullanılan odunsu çekirdekli meyveler atıkların toplanması açısından bu alt başlığın altında toplanmıştır.

Meyve suyu üretim sektöründen elde edilen bilgilere göre meyveler ve çekirdek oranları (% ağırlıkça) aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

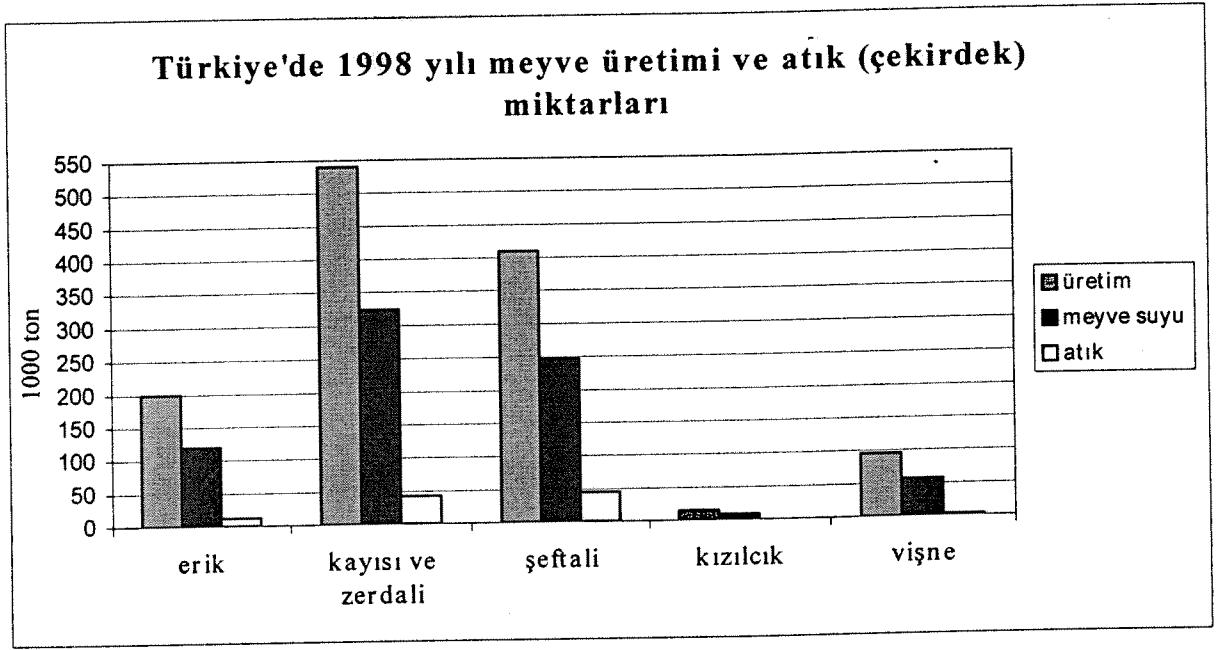
Tablo 1: Meyveler ve çekirdek oranları

Meyve	Çekirdek (% ağırlık)	
erik	10%	(8-10%)
kayısı ve zerdali	13%	(10-13%)
şeftali	18%	(15-18%)
kızılcık	5%	(3-5%)
vişne	5%	(3-5%)

Üretilen yaş meyvenin %60'ının meyve suyu üretiminde kullanıldığı düşünülürse, ortaya çıkan atık miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Türkiye'de 1998 yılı meyve üretimi ve atık miktarları (1000 ton)

	Üretim	Meyve suyu	Atık (çekirdek)
erik	200	120	12
kayısı ve zerdali	540	324	42
şeftali	410	246	44
kızılcık	14	8.4	0.4
vişne	95	57	2.9



Şekil 1: Türkiye'de 1998 yılı meyve üretimi ve atık miktarları

Sert Kabuklu Meyveler

Odunsu kabuklara sahip sert kabuklu meyveler bu başlık altında toplanmıştır. Sektörden edinilen bilgilere göre sert kabuklu meyveler ve kabuk oranları (% ağırlıkça) Tablo 3'te gösterilmiştir.

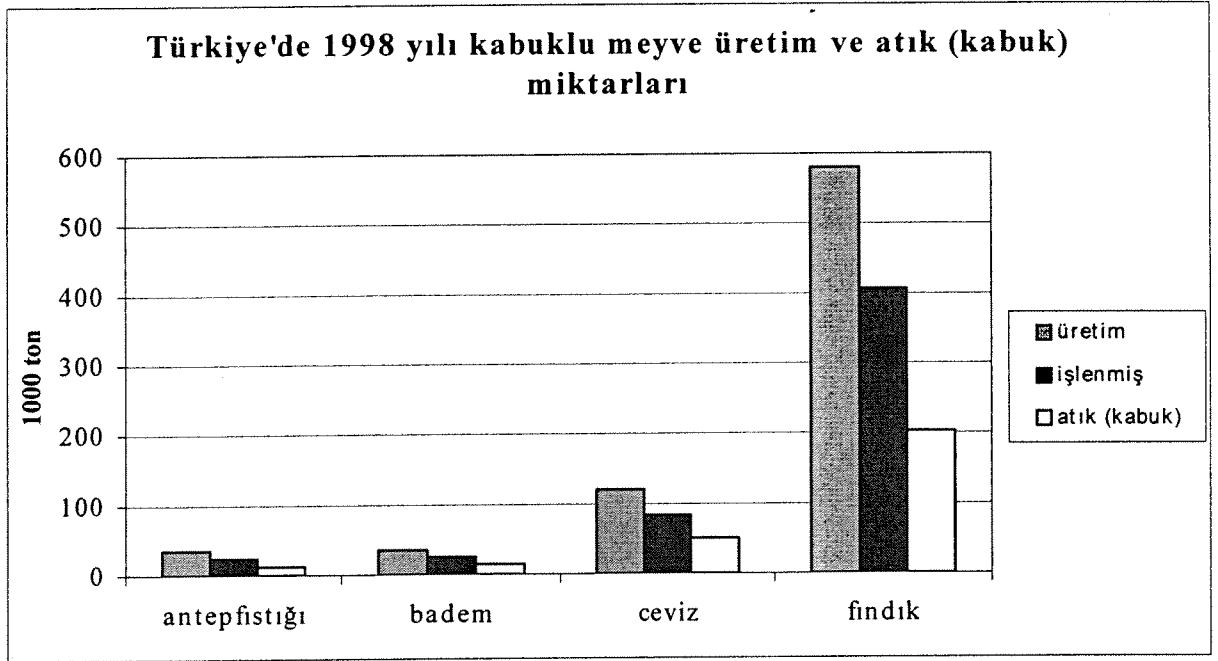
Tablo 3: Sert kabuklu meyveler ve kabuk oranları

Sert kabuklu meyve	Kabuk (% ağırlık)
antepfıstığı	50%
badem	60%
ceviz	60%
findık	50%

Üretilen sert kabuklu meyvelerin %70'inin işlendiği düşünülürse, ortaya çıkan atık miktarları Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4: Türkiye'de 1998 yılı sert kabuklu meyve üretimi ve atık miktarları (1000 ton)

	Üretim (1000 ton)	İşlenmiş (1000 ton)	Atık (kabuk) (1000 ton)
antepfıstığı	35	24.5	12.25
badem	36	25.2	15.12
ceviz	120	84	50.4
findık	580	406	203



Şekil 2: Türkiye'de 1998 yılı sert kabuklu meyve üretimi ve atık miktarları

B. AĞAÇ ÜRÜNLERİ

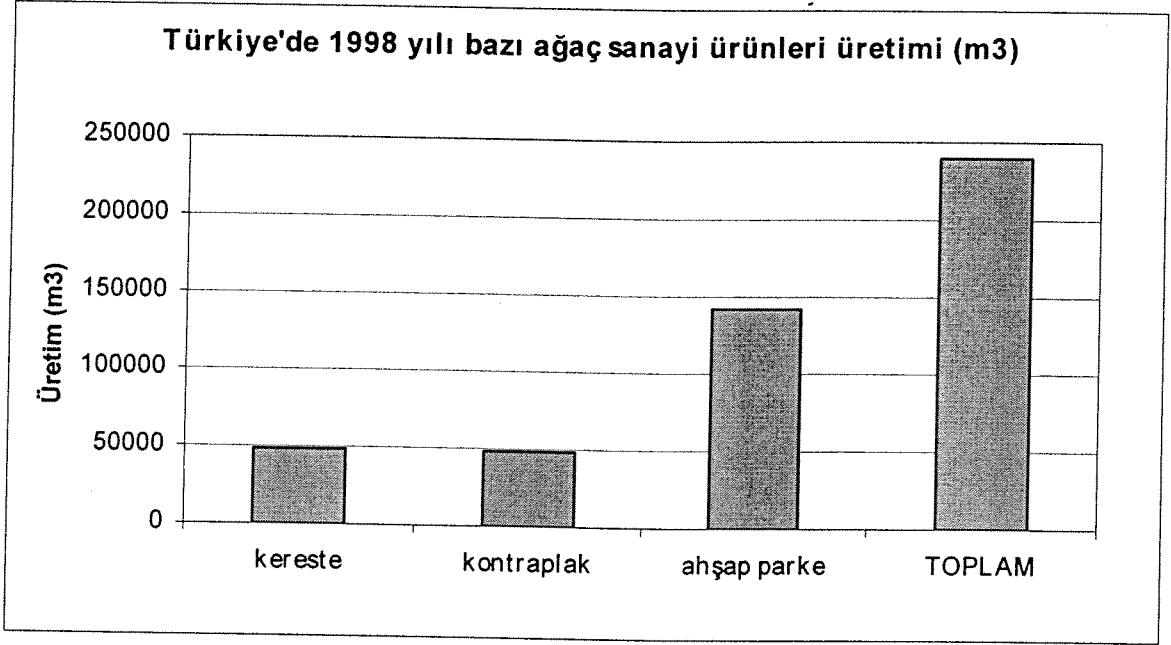
Ağaç ürünleri başlığı altında hem ağaç sanayindeki üretim miktarları hem de orman ürünleri gösterilmiştir. Fakat her başlık için ayrı ayrı atık miktarları hesaplanmamıştır. Bunun nedeni bu alanda atıklar geri kazanılarak başka bir alanda hammadde olarak kullanılabilir. Atık miktarları toplam miktara göre hesaplanacaktır.

1994 ve 1995 yılları için orman ürünleri ve mobilya esaslı atıklar başlığı altında atık miktarları ton cinsinden verilmiştir. Toplam üretim de m^3 'den tona çevrilerek yaklaşık atık oranları bulunacaktır. ($d_{odun} = 550 \text{ kg/m}^3$) Toplam alınırken ağaç sanayi ürünleri, orman ürünlerinin sanayi odunu başlığı altında sayıldığı için toplama dahil edilmemiştir.

Ağaç sanayi

Tablo 5: Türkiye'de 1998 yılı ağaç sanayi ürünleri üretimi

	Üretim
kereste (m^3)	48727
kontraplak (m^3)	48727
ağşap parke (m^2)	948327
ağşap parke (m^3)	142249
TOPLAM (m^3)	239703



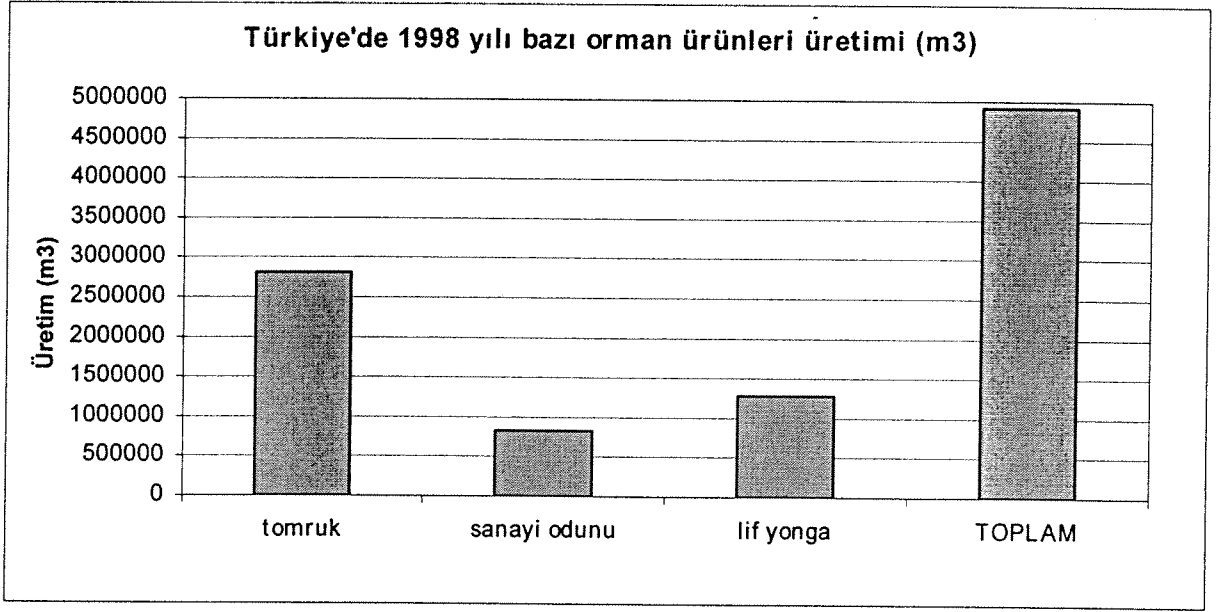
Şekil 3: Türkiye'de 1998 yılı ağaç sanayi ürünleri (kereste, kontraplak ve ahşap parke) üretimi

Orman ürünleri

Tablo 6: Türkiye'de 1998 yılı orman ürünleri üretimi ve atık miktarları

	Üretim
Tomruk (m ³)	2816535
sanayi odunu (m ³)	826202
lif yonga (m ³)	1277777
TOPLAM (m ³)	4920514
TOPLAM (ton)	2706283

$d_{odun} = 550 \text{ kg/m}^3$ olarak alınmıştır.



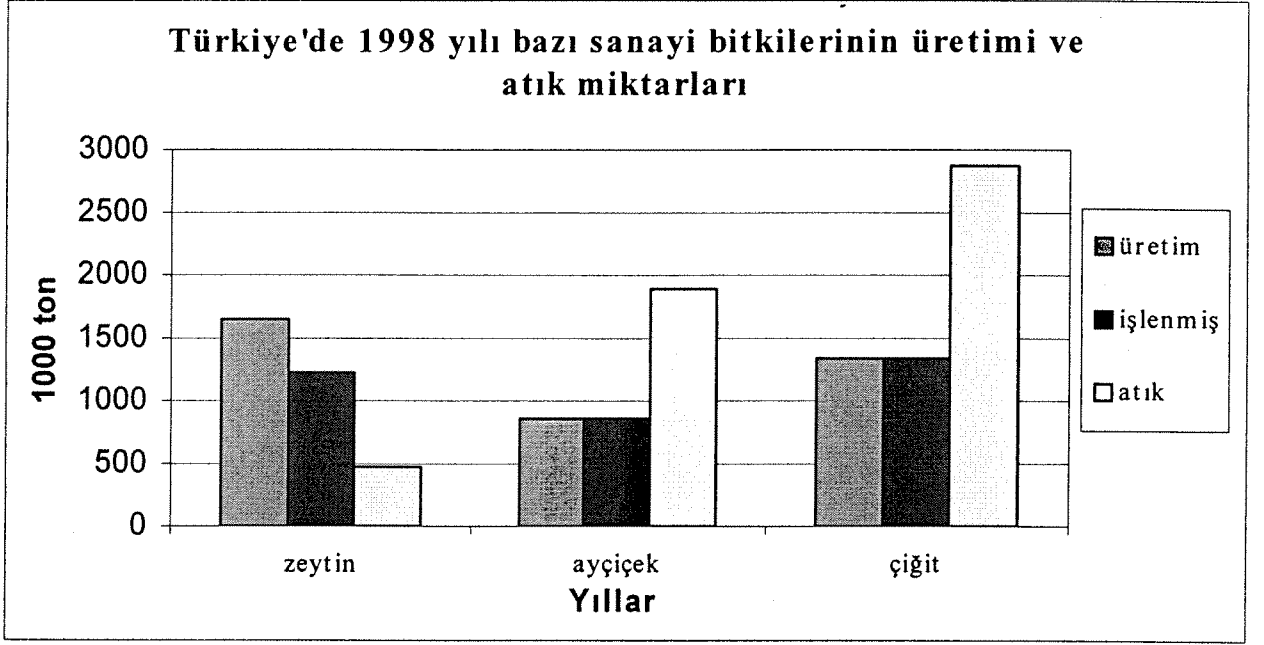
Şekil 4: Türkiye'de 1998 yılı lif yonga, sanayi odunu ve tomruk üretimi

C. TARIM ÜRÜNLERİ

Sanayi bitkileri

Tablo 7: Türkiye'de 1998 yılı bazı sanayi bitkileri üretimi ve atık miktarları

	Üretim (1000 ton)	İşlenmiş (1000 ton)	Atık (kabuk) (1000 ton)
zeytin	1650	1220	474
ayçiçek	860	860	1892
çiğit	1335	1335	2870



Şekil 5: Türkiye'de 1998 yılı sanayi bitkileri üretimi ve atık miktarları

2. 1990-1998 yılları yıllık üretim ve atık miktarları

Bu bölümde 1991 yılından itibaren 1998 yılına kadar yukarıda belirtilen ürünlerin yıllık üretim ve atık miktarları verilmiştir.

A. GIDA ÜRÜNLERİ

Meyveler

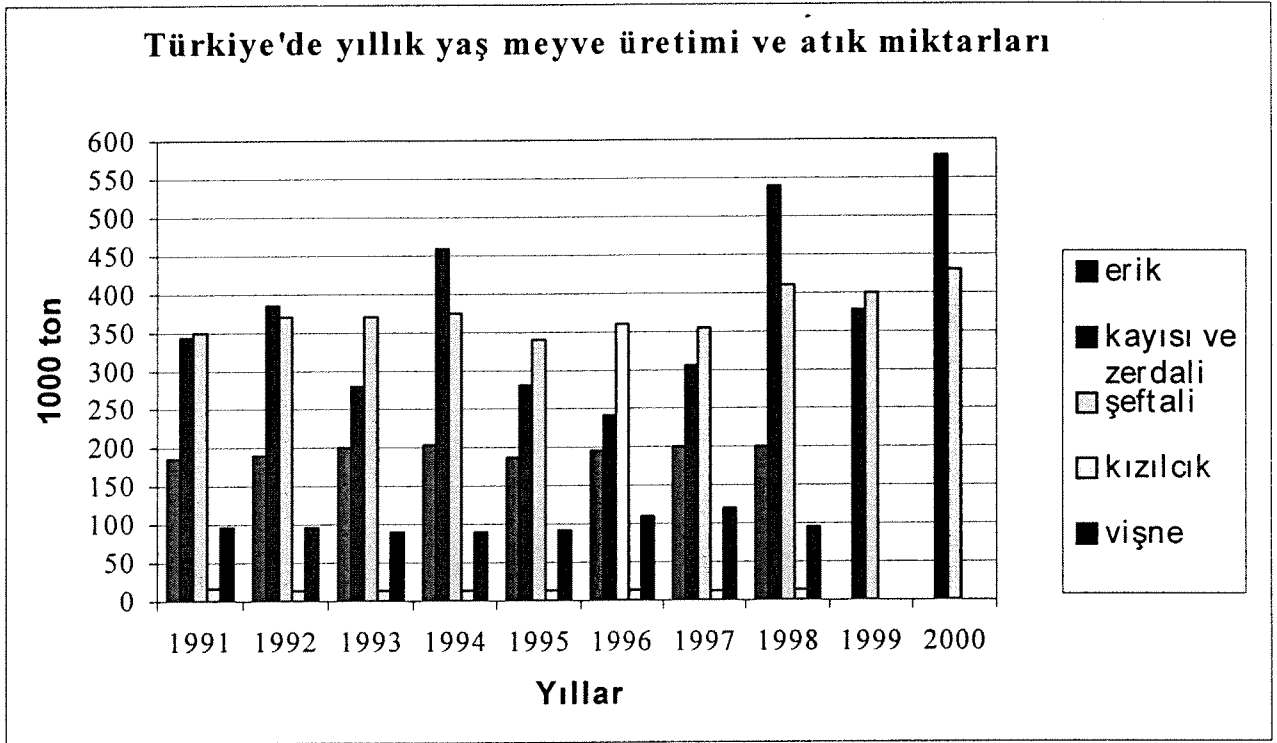
Tablo 8: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık meyve üretimi ve atık miktarları

Yıllar		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
erik	a	186	190	200	204	187	195	200	200		
	b	111.6	114	120	122	112.2	117	120	120	0	0
	c	11.16	11.4	12	12.2	11.22	11.7	12	12	0	0
10%	a	343	385	280	459	281	241	306	540	378	579
	b	205.8	231	168	275	168.6	145	183.6	324	226.8	347.4
	c	26.75	30.03	21.84	35.8	21.92	18.8	23.868	42.1	29.48	45.16
kayısı ve zerdali	a	350	370	370	375	340	360	355	410	400	430
	b	210	222	222	225	204	216	213	246	240	258
	c	37.8	39.96	39.96	40.5	36.72	38.9	38.34	44.3	43.2	46.44
18%	a	17	14	14	14	13.5	13.5	12.9	14		
	b	10.2	8.4	8.4	8.4	8.1	8.1	7.74	8.4	0	0
	c	0.51	0.42	0.42	0.42	0.405	0.41	0.387	0.42	0	0
5%	a	96	96	90	90	92	110	120	95		
	b	96	96	90	90	92	110	120	95	0	0
	c	4.8	4.8	4.5	4.5	4.6	5.5	6	4.75	0	0
vişne	a	96	96	90	90	92	110	120	95		
	b	96	96	90	90	92	110	120	95	0	0
	c	4.8	4.8	4.5	4.5	4.6	5.5	6	4.75	0	0

a üretim (1000 ton)

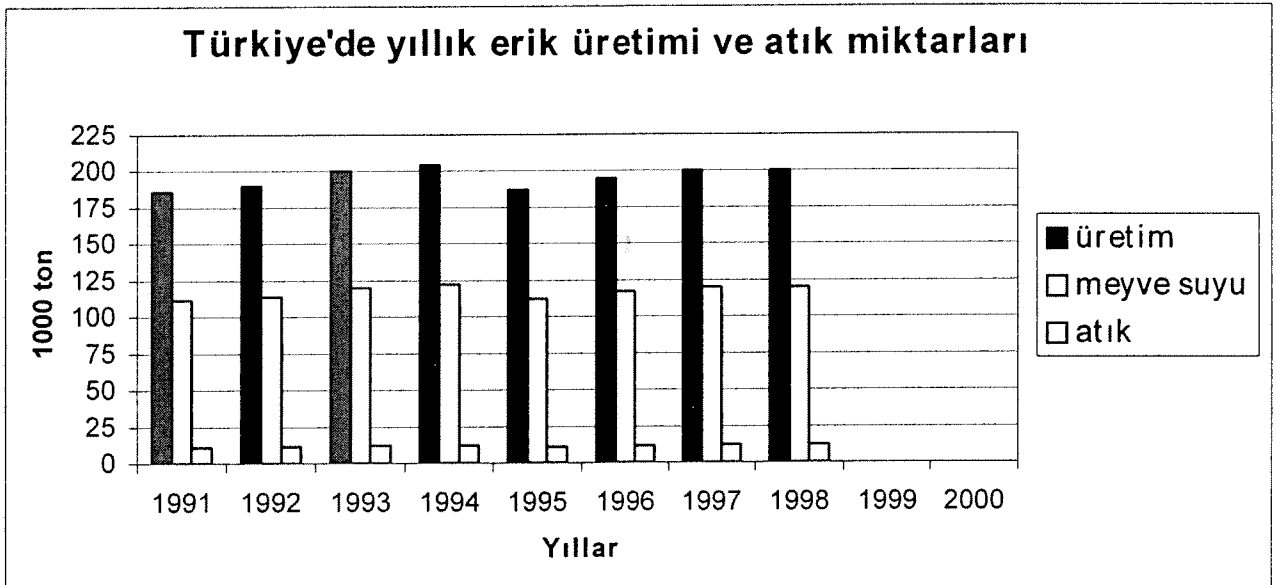
b meyve suyu yapımı (1000 ton)

c atık (1000 ton)



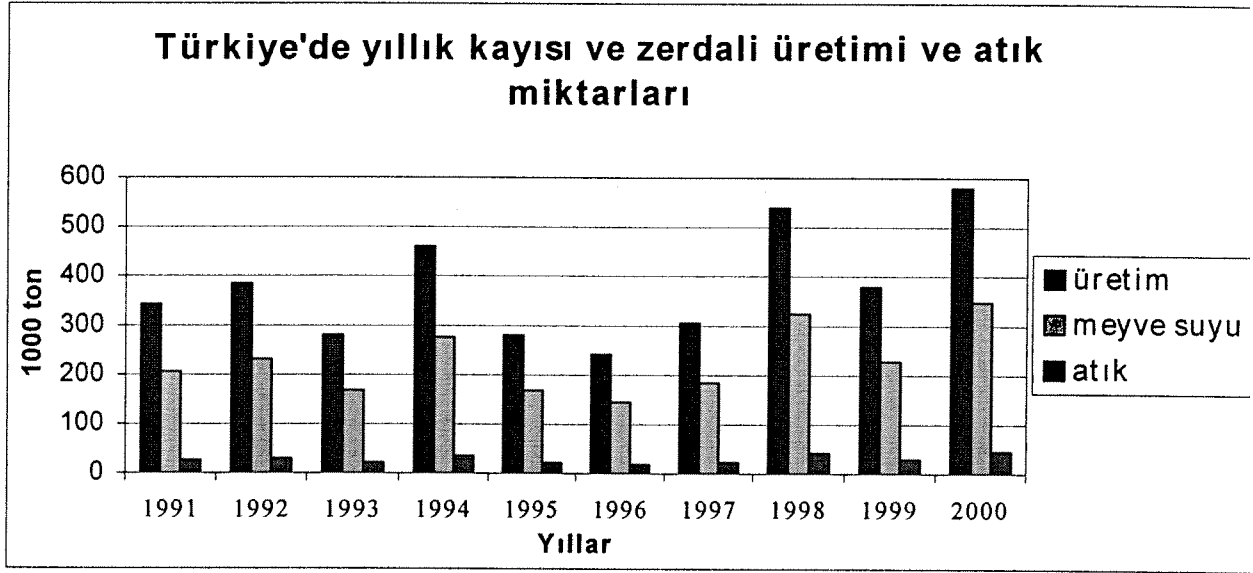
Şekil 6: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık yaş meyve üretimi

1. Erik



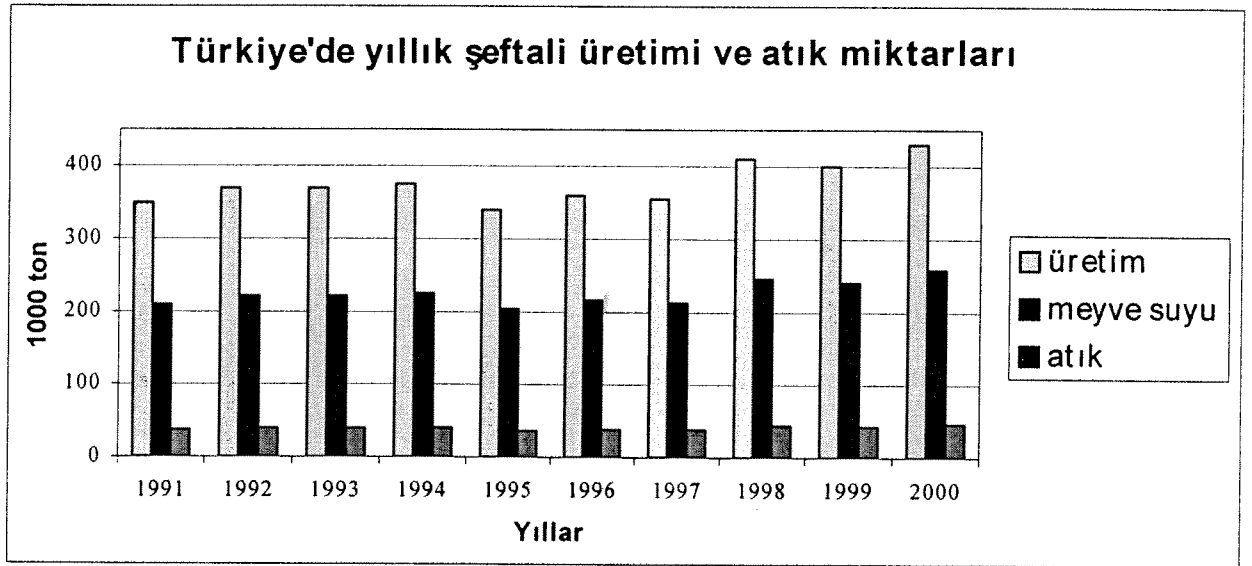
Şekil 7: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık erik üretimi ve atık miktarları

2. Kayısı ve zerdali



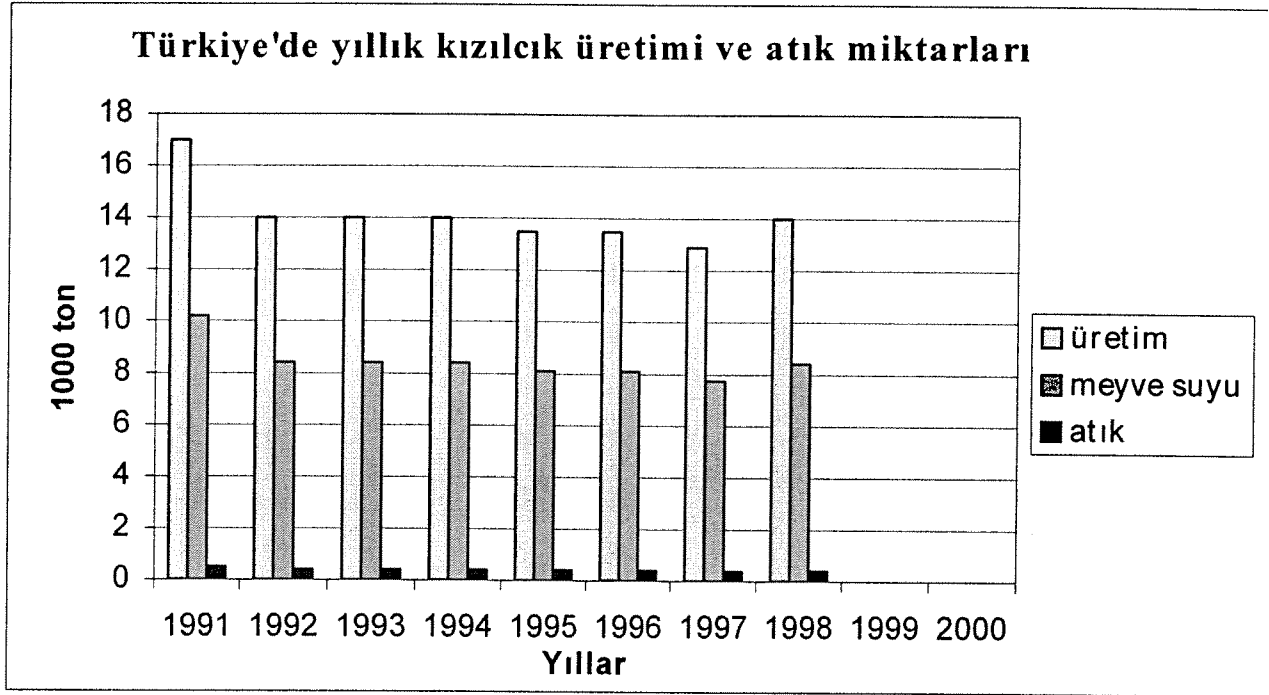
Şekil 8: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık kayısı ve zerdali üretimi ve atık miktarları

3. Şeftali



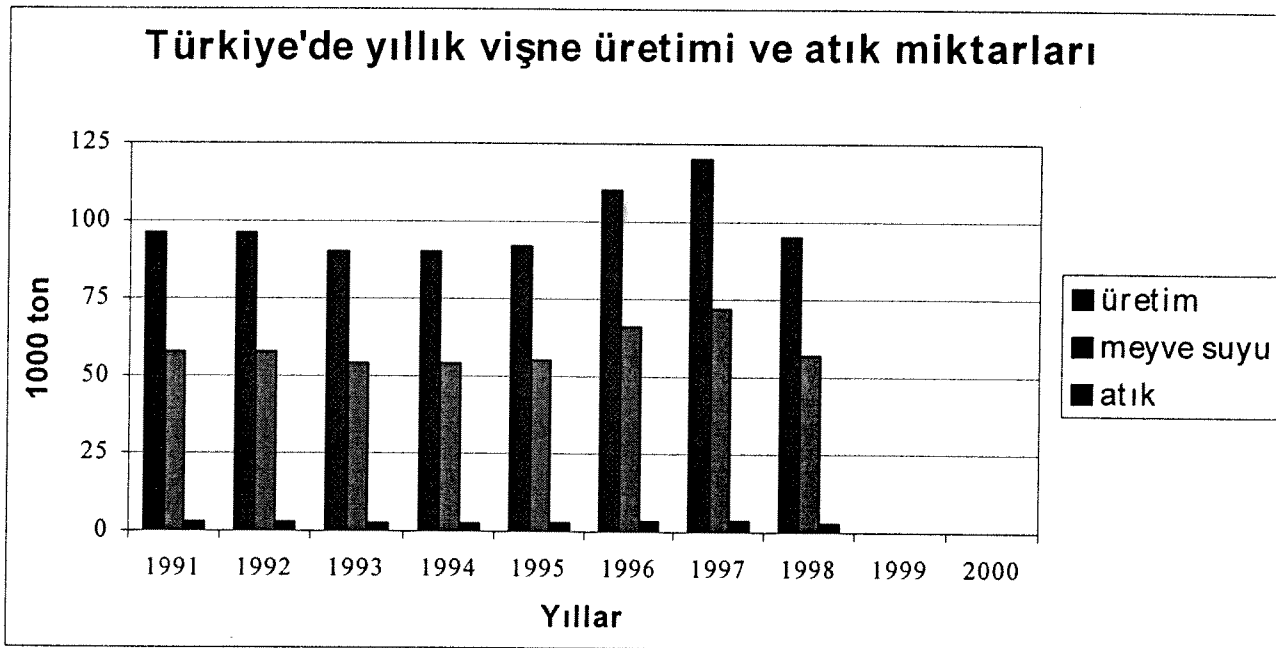
Şekil 9: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık şeftali üretimi ve atık miktarları

4. Kızılcık



Şekil 10: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık kıızılcık üretimi ve atık miktarları

5. Vişne



Şekil 11: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık vişne üretimi ve atık miktarları

Sert Kabuklu Meyveler

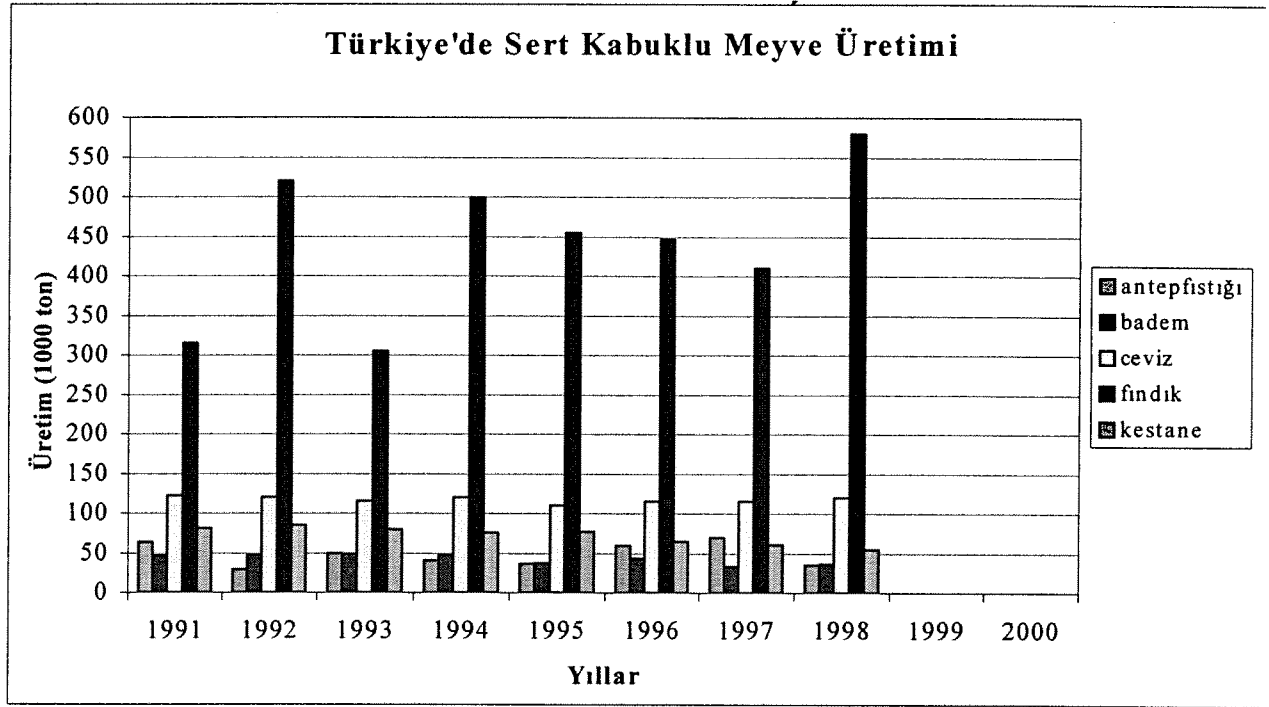
Tablo 9: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık sert kabuklu meyve üretimi ve atık miktarları

Yıllar		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
antepfıstığı	a	64	29	50	40	36	60	70	35		
	b	44.8	20.3	35	28	25.2	42	49	24.5	0	0
	c	22.4	10.15	17.5	14	12.6	21	24.5	12.3	0	0
badem	a	46	47	48	47	37	43	33	36		
	b	32.2	32.9	33.6	32.9	25.9	30.1	23.1	25.2	0	0
	c	19.32	19.74	20.16	19.74	15.5	18.1	13.9	15.1	0	0
ceviz	a	122	120	115	120	110	115	115	120		
	b	85.4	84	80.5	84	77	80.5	80.5	84	0	0
	c	51.24	50.4	48.3	50.4	46.2	48.3	48.3	50.4	0	0
fındık	a	315	520	305	499	455	446	410	580		
	b	220.5	364	213.5	349.3	319	312	287	406	0	0
	c	110.25	182	106.75	174.65	159	156	144	203	0	0

a üretim (1000 ton)

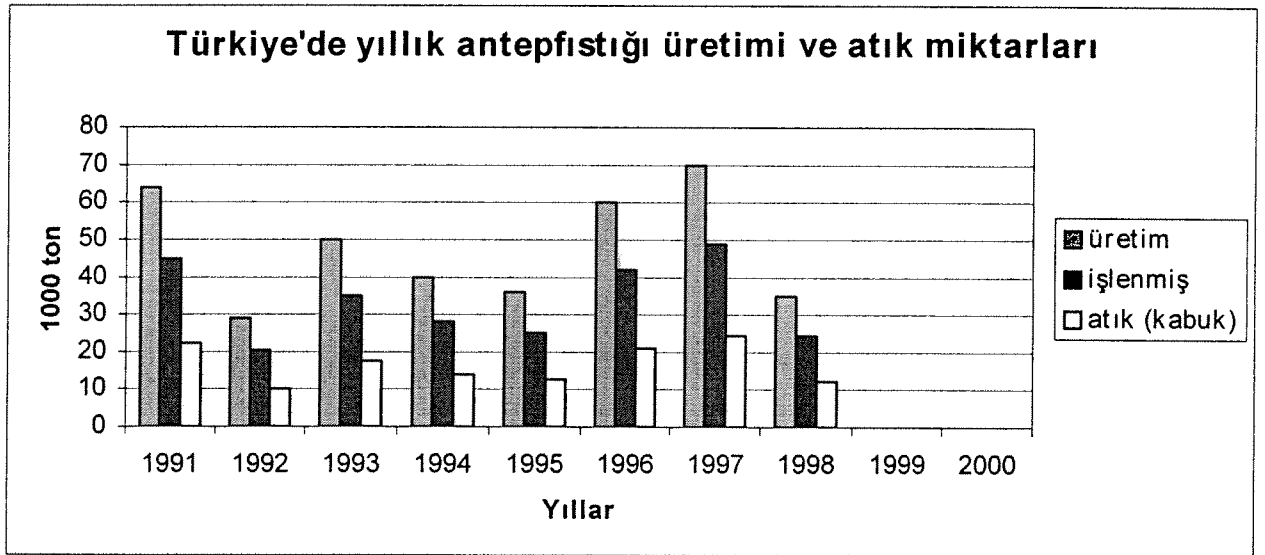
b işlenmiş (1000 ton)

c atık (kabuk) (1000 ton)



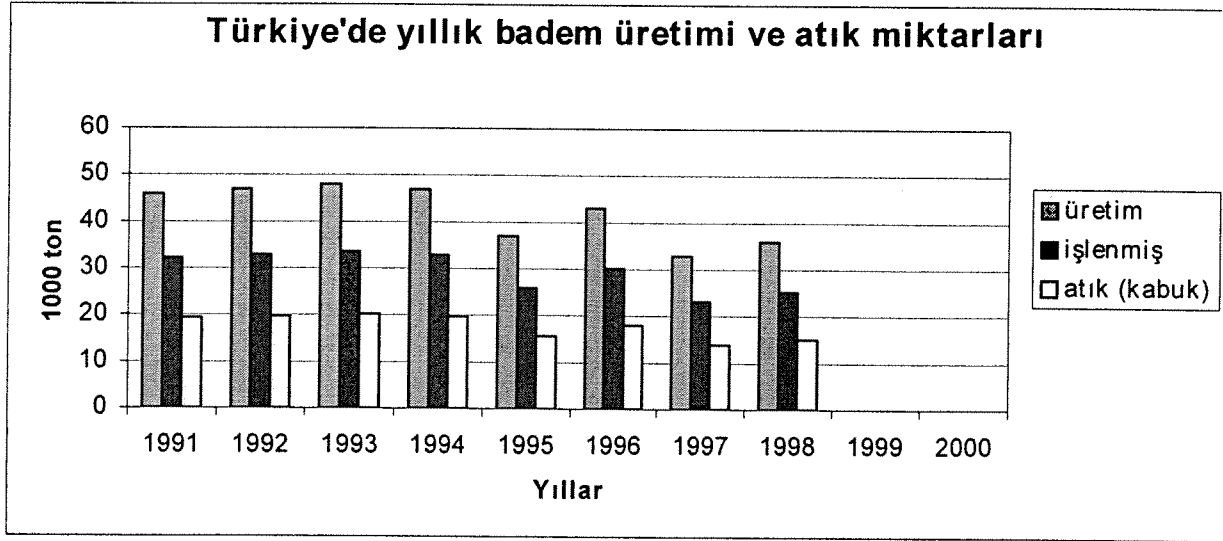
Şekil 12: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası sert kabuklu meyve üretimi

1. Antepfıstığı



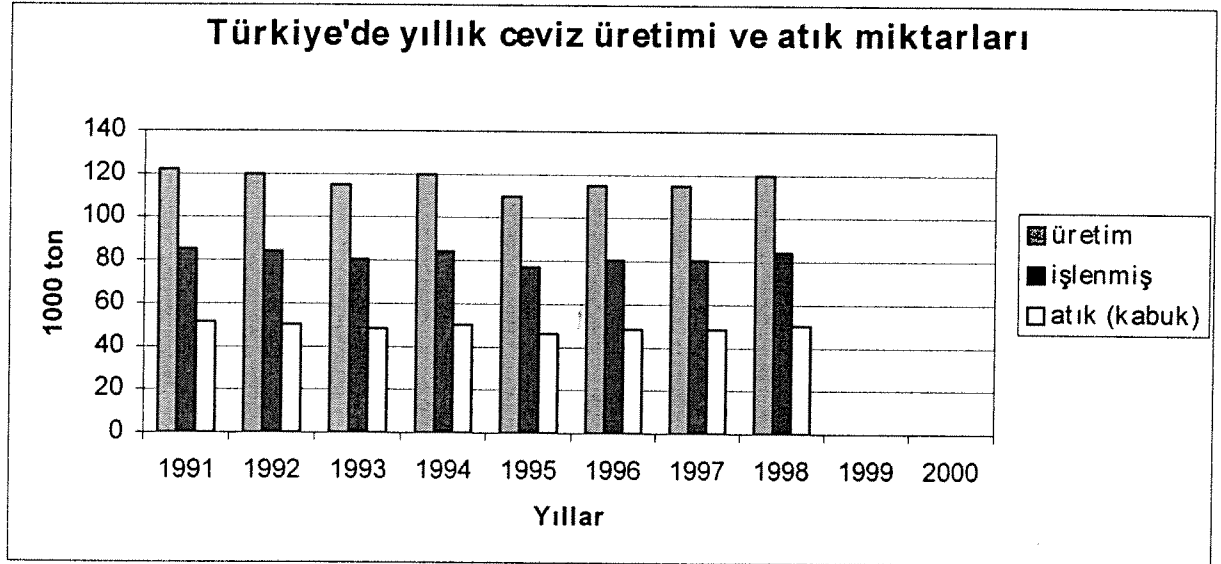
Şekil 13: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası antepfıstığı üretimi ve atık miktarları

2. Badem



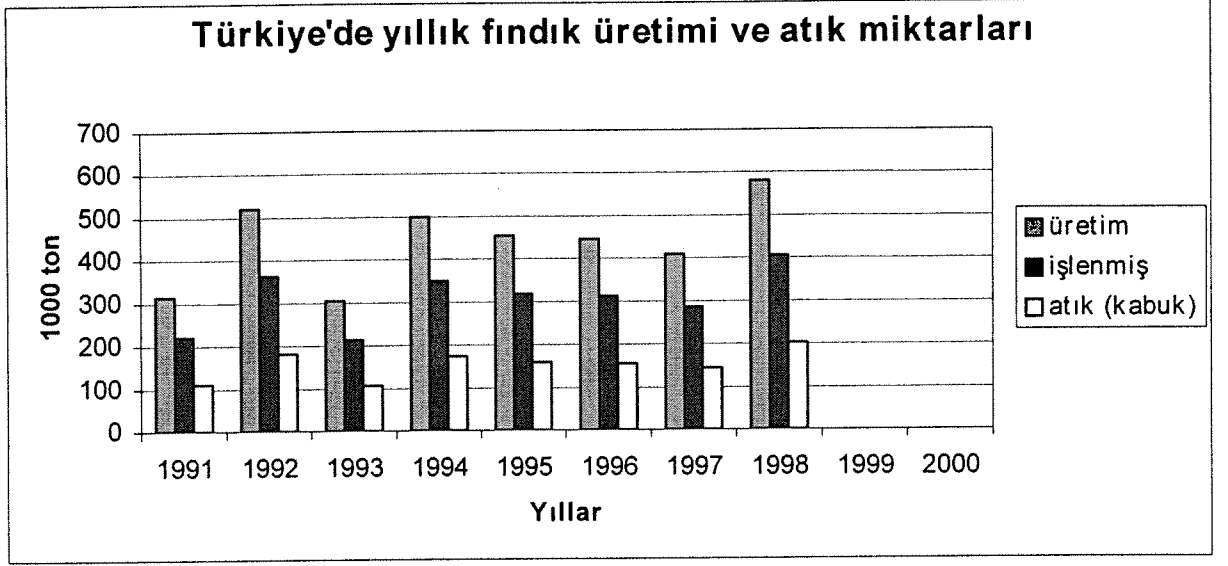
Şekil 14: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası badem üretimi ve atık miktarları

3. Ceviz



Şekil 15: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası ceviz üretimi ve atık miktarları

4. Fındık



Şekil 16: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası fındık üretimi ve atık miktarları

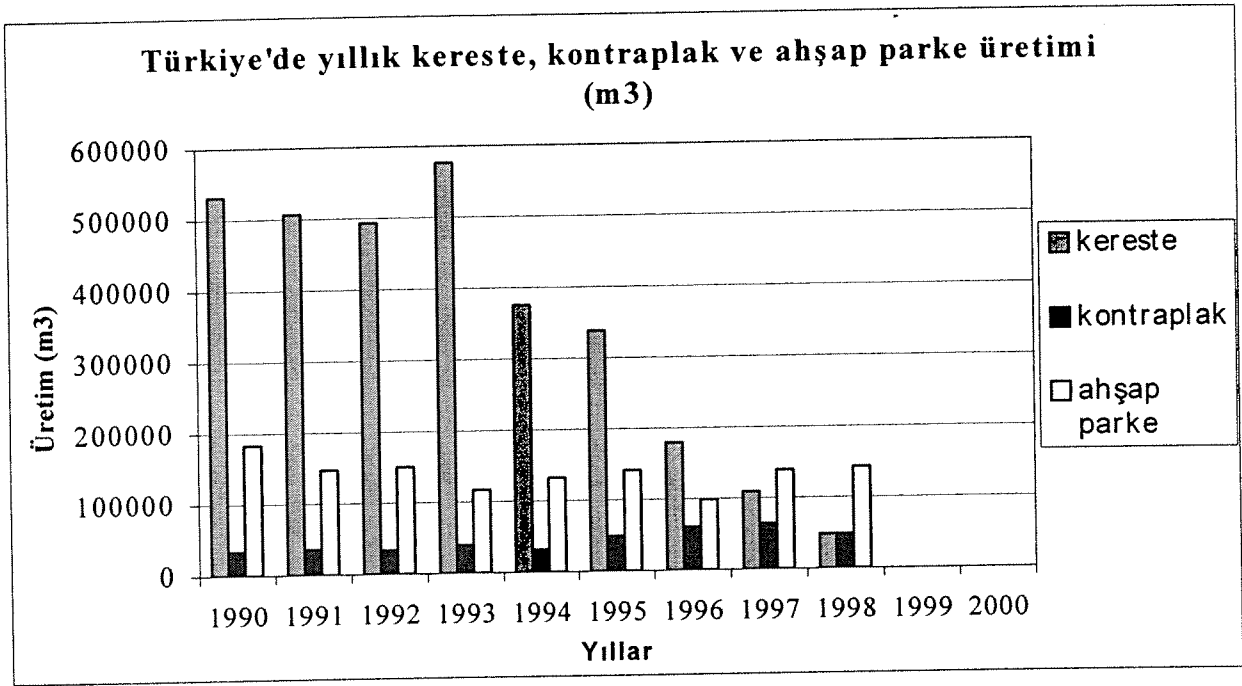
B. AĞAÇ ÜRÜNLERİ

Bu bölümde bazı ağaç sanayi ürünleri ve orman ürünlerinin 1991-1998 yılları arası yıllık üretimleri verilmiştir, atık miktarları gösterilmemiştir. Bunun sebebi bu alanda ortaya çıkan atıklar geri dönüştürülerek diğer alanlarda değerlendirilmektedir ve bu da ortaya çıkan atık miktarını azaltmaktadır. DİE'den elde edilen bilgiler doğrultusunda 1994-1995 yıllarında ortaya çıkan orman ürünleri ve mobilya esaslı atık miktarları verileri kullanılarak toplam üretimin yaklaşık %1-2'sinin atık olduğu hesaplanmıştır.

Ağaç sanayi

Tablo 10: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık ağaç sanayi ürünleri üretimi

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
kereste											
(m ³)	531231	507150	493381	576150	375130	338599	179967	108599	48727		
kontraplak											
(m ³)	33830	35478	34060	39822	31813	49407	60627	64419	48727		
ahşap											
parke (m ²)	1219488	980881	1005761	776817	886901	944334	655980	929296	948327		
(m ³)	182923	147132	150864	116523	133035	141650	98397	139394	142249	0	0
TOPLAM											
(m ³)	747984	689760	678305	732495	539978	529656	338991	312412	239703	0	0

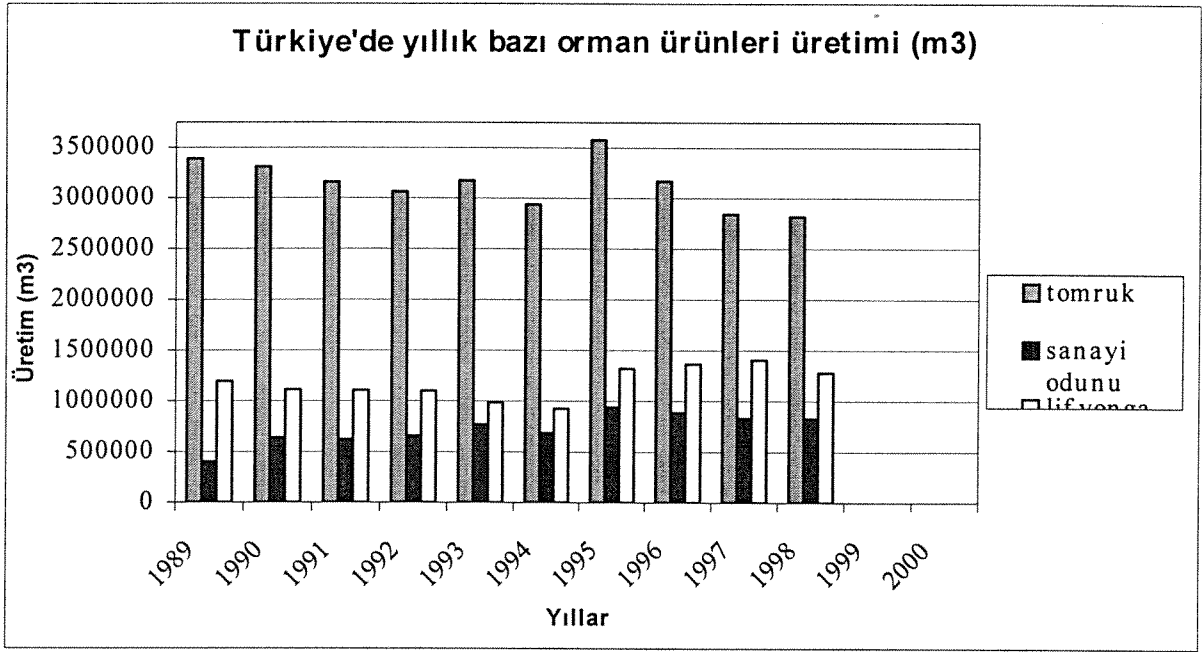


Şekil 17: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık ağaç sanayi ürünleri üretimi ve atık miktarları

Orman ürünleri

Tablo 11: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık orman ürünleri üretimi ve atık miktarları

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
tomruk											
(m ³)	3310460	3158961	3064200	3177327	2938957	3577560	3172233	2844934	2816535		
sanayi											
odunu (m ³)	638534	623622	657900	767610	683146	935719	883333	834226	826202		
lif yonga											
(m ³)	1112617	1103565	1103300	984750	924726	1320874	1362236	1405652	1277777		
TOPLAM											
(m ³)	5061611	4886148	4825400	4929687	4546829	5834153	5417802	5084812	4920514		
(ton)	2783886	2687381	2653970	2711328	2500756	3208784	2979791	2796647	2706283		



Şekil 18: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık orman ürünleri üretimi

C. TARIM ÜRÜNLERİ

Sanayi bitkileri

Tablo 12: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık sanayi bitkileri üretimi ve atık miktarları

Yıllar		1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
zeytin	a	500	1100	640	750	550	1400	515	1800	510	1650	600	1800
	b	338	763	459	519	350	1050	309	1365	310	1220	350	1310
	c	111	277	154	185	105	474	92	523	92	474	108	523
ayçiçek	a	1250	860	800	950	815	740	900	780	900	860	950	800
	b	1250	860	800	950	815	740	900	780	900	860	950	800
	(ref 3) c	2750	1892	1760	2090	1793	1628	1980	1716	1980	1892	2090	1760
çiğit	a	987	1047	895	905	900	930	1263	1220	1193	1335	1158	1265
	b	987	1047	895	905	900	930	1263	1220	1193	1335	1158	1265
	(ref 2) c	2122	2252	1924	1947	1935	1999	2715	2622	2566	2870	2489	2719

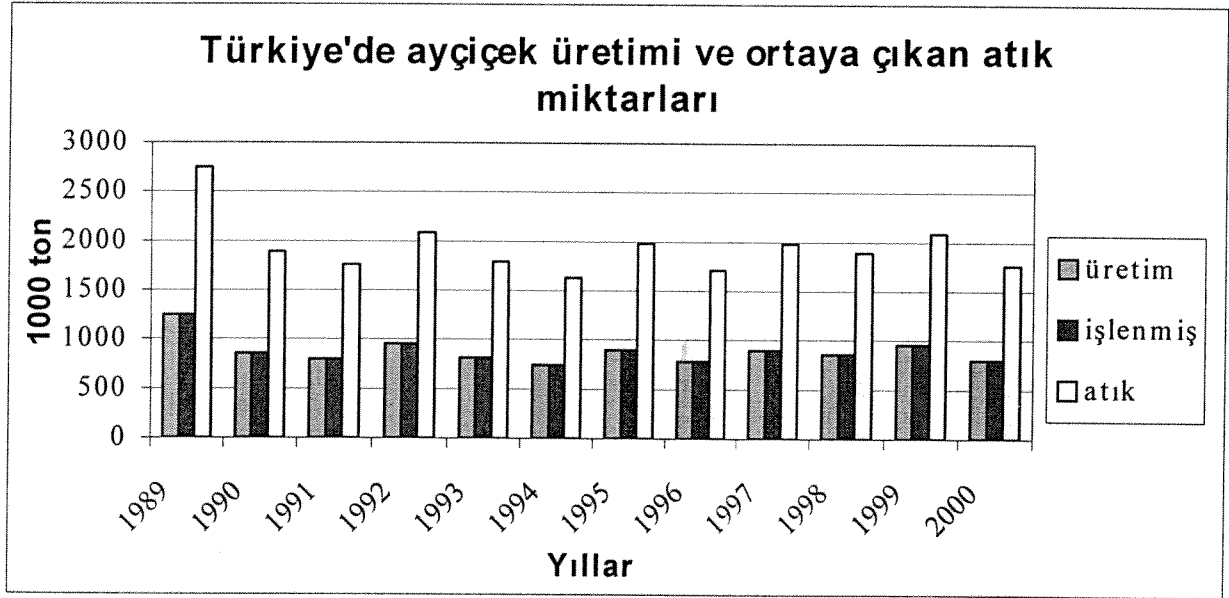
zeytin için

- a üretim (1000 ton) toplam üretim(1000 ton)
b işlenmiş (1000 ton) yağlık zeytin (1000 ton)
c atık (kabuk) (1000 ton) prina (1000 ton)



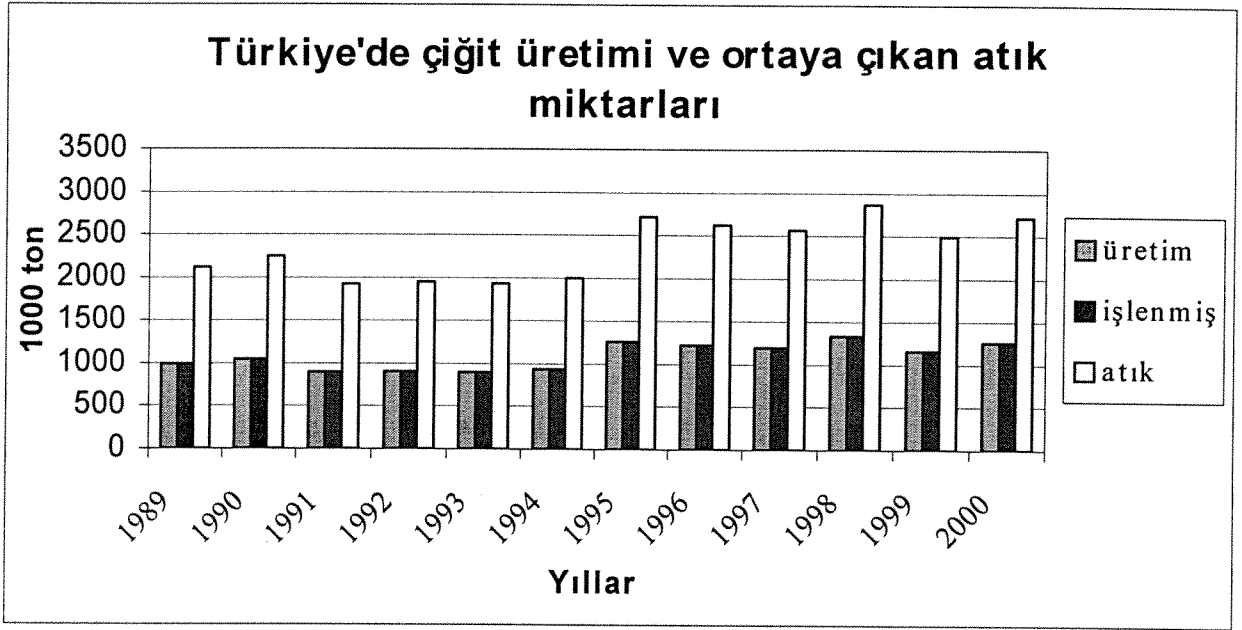
Şekil 19: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık sanayi bitkileri üretimi

1. Ayçiçek



Şekil 20: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık ayçiçek üretimi ve atık miktarları

2. Çiğit



Şekil 21: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık çiğit üretimi ve atık miktarları

3. Zeytin



Şekil 22: Türkiye'de 1991-1998 yılları arası yıllık zeytin üretimi ve atık miktarları

REFERANSLAR

1. Türkiye İstatistik Yıllığı 1999, DİE
2. İstatistiklerle Türkiye 2001, DİE (1999-2000 verileri alınmıştır)
3. Kaygusuz K., Türker M.F., 2002, "Biomass energy potential in Turkey", Renewable Energy, Vol. 26, pp. 661-678
4. Kaygusuz K., Sarı A., "Renewable energy potential and utilization in Turkey", Energy Conversion and Management, *in press*.
5. Di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., 1997, "A Study on the production of agricultural residues in Italy", Biomass and Bioenergy, Vol. 12, No.5, pp. 321-331.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU -

Proje Kodu: MISAG - 195
Proje Başlığı: TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN TEMİZ ENERJİ ELDESİNİN ARAŞTIRILMASI
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof. Dr. Aysel Atımtay (Proje Yürütücüsü) Dr. Hüseyin Topal (Yrd. Araştırmacı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: GAZİ Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06530 Ankara
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.08.2001 - 1.08.2004
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, Türkiye'de orman endüstrisi, gıda endüstrisi ve tarım artıklarından kaynaklanan biyokütlenin bir envanteri çıkarılmış, ve bu artıkların 1990-2000 yılları arasında nasıl bir değişiklik gösterdiği ortaya koyulmuştur. Daha sonra bu artıkların kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yatakta yanma karakteristikleri incelenmiş, özellikle emisyonları en aza indirecek yanma koşullarının ne olduğu tesbit edilmiştir. Yakılması denenen biyoküteller zeytinyağı endüstrisi artığı olan prina, meyve suyu endüstrisi artığı olan kayısı ve şeftali çekirdekleri, ayçiçeği ve pamuk yağı endüstrisi artıkları olan ayçiçeği posası ve pamuk çiğidi posasıdır. Bu artıkların yanma özellikleri, Türkiye' de en çok kullanılan linyit kömürlerinden biri olan ve ağırlıkça %1.8 kükürt içeren kömürün aynı sistemde yanması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, artık olarak kullanılan biyokütlenin tek olarak yakılması yanında, kömürle değişik oranlarda karışımları hazırlanmış, yine bu karışımların değişik koşullar altında yanma özellikleri ve emisyonları incelenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Biyokütle yakılması, Yenilenebilir enerji, Akışkan yatak, Kömür ve biyokütlenin beraber yakılması, Tarımsal artıkların yakılması
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: <ol style="list-style-type: none">1. Kaynak, B., Topal, H., Atımtay, A.T., "Peach and Apricot Stone Combustion in a Bubbling Fluidized Bed", <i>Fuel Processing and Technology</i>, Accepted to be published in 2005.2. Atımtay, A.T., Topal, H., "Co-Combustion of Olive Cake with Lignite Coal in a Circulating Fluidized Bed", <i>Fuel</i>, Vol. 83 (7- 8), pp. 859-867, 2004.3. Topal, H., Atımtay, A.T., Durmaz, A., "Olive Cake Combustion in a Circulating Fluidized Bed", <i>Fuel</i>, 82 (2003), pp.1049-1056.4. Topal, H., Atımtay, A.T., Durmaz, A., "Olive Cake Combustion in a Circulating Fluidized Bed", 7th International Conference on Circulating Fluidized Beds, 5-8 May, 2002, Niagara Falls, Ontario, Canada.5. Kaynak, B., Topal, H., Atımtay, A.T., "Ülkemizde Meyve Suyu Üretiminden Çıkan Artıkların Yerel Enerji Üretiminde Kullanılması", V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2004), 26-28 Mayıs 2004, İstanbul.6. Kaynak, B., Atımtay, A.T., "Türkiye'deki Biyokütle Envanteri ve Biyokütleden Temiz Enerji Eldesi", VI. Ulusal Çevre Sorunlarına Öğrenci Yaklaşımları Sempozyumu", 1-3 Mayıs, 2003, Mersin. (in Turkish)

7. Topal, H., Yüksel, S., Kaynak, B., Durmaz, A., Atımtay, A., "Enerji Üretiminde Biyokütle Yakılması Uygulamaları", 1. Ege Enerji Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 22-24 Mayıs, 2003. (in Turkish)
8. Topal, H., Atımtay, A.T., Durmaz, A., "Temiz Enerji Eldesi İçin Akışkan Yatakta Prina Yakılması ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi", IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu-UTES 2002, 16-18 Ekim, 2002, İstanbul, p. 833-840. (in Turkish)
9. Atımtay, A.T., "Biyokütlenin Temiz Enerji Eldesinde Kullanımı", Enerji Dünyası (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Bülteni), Sayı 37, Ağustos 2001, s.16-24. (in Turkish)
10. Atımtay, A.T., "The Role of Biomass in Sustainable Development", Paper presented at NATO/ARW on From Transitional Economy to Sustainable Development, 20-26 October, 2001, Dnepropetrovsk, Ukraine, pp. 99-103.

Bilim Dalı: Hava Kirliliği ve Kontrolü

Doçentlik B. Dalı Kodu: