



bu bir MMO  
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## Isıtma Tesisatında Yapısal Kazan Tadilatının Emisyonlar ve Yakıt Tüketimine Etkisi

HÜSEYİN TOPAL  
ALİ DURMAZ

GAZİ ÜNİ.  
Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Böl.

# ISITMA TESİSATINDA YAPISAL KAZAN TADİLATININ EMİSYONLAR VE YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ

Hüseyin TOPAL  
Ali DURMAZ

## ÖZET\*

Isıtma Tesisatı için gerekli ısı ülkemizde, ekonomik ve teknolojik nedenlerle üç çeşitli alev duman borulu alışılmış kazanlarda genelde linyit yakılarak sağlanmaktadır. Avrupa kökenli olan, kok, briket vb. yanıcı uçucu oranı düşük olabildiğince homojen tane büyüklüklü yakıtların yakılması için geliştirilen bu kazanlar ızgara üzerinde, yalnız kok yakma boyutunu dikkate alan bir yapıya sahiptir. Nem, kül, özellikle yanıcı uçucu oranı yüksek, homojen tane özelliği taşımayan linyitler bu kazanlarda yakıldığında, hacimde yanma özelliğine sahip yanıcı uçucular tam olarak yakılamamaktadır. Bu ise yanma veriminin düşmesine, eksik yanmadan kaynaklanan gaz ve partikül biçiminde hava kirlenici yoğun emisyonların oluşmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada kömür yakılan alışılmış bir kalorifer kazanı yanma odası ve ızgara sisteminde yapılan tadilatlarla yanma verimi artırılmış ve yanmadan kaynaklanan gaz ve partikül emisyonlarının azaltılması sağlanmıştır. Yanma odası ve ızgara sistemindeki değişikliğin birlikte uygulanması durumunda yakıt maliyetinde Tunçbilek Linyiti için %26, Soma Linyiti için ise %16'lık azalma elde edilmiştir. Hava kirlenici emisyonlarda da büyük azalmalar görülmüştür.

## GİRİŞ

Çevre kirliliği ve onun kapsamında yer alan hava kirliliği son yıllarda büyük bir problem olarak kendini göstermektedir. Dünya enerji tüketiminin tamamına yakın bölümü yanma süreci ile fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Yanmadan kaynaklanan hava kirliliği, havada bulunan kirliliğin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Ülkemizde de özellikle konutlarda enerji üretim sistemlerinde, konut ısıtması ve kullanım sıcak suyu için çoğunlukla sabit ızgaralı alışılmış kömür kazanları kullanılmaktadır. Bu sistemlerde çok çeşitli özelliklere sahip kömürler kullanılmaktadır.

Kazanlar günlük yaşamımızda enerji üretimi ve konfor şartlarının sağlanmasında vazgeçilemeyen unsurlardır. Nüfus artışı, endüstrileşmedeki artış vb. ihtiyaçlara bağlı olarak toplam enerji üretimi, dolayısıyla da yakıt tüketimi hızlı biçimde artmaktadır. Bunun sonucu olarak iyi kaliteli yakıtların hızlı olarak tükenmesine, düşük kaliteli yakıtların ise enerji dengesindeki payının artmasına neden olmaktadır. Enerji kullanımındaki artışa paralel olarak düşük kaliteli yakıtların kullanımındaki artış, yakma sistemlerinin ekonomik boyutunun yanısıra çevresel etki boyutunun da dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Enerji üretim sistemlerinin, özellikle kazanların sistem yapısı, ömür, işletme ekonomisi, çevresel etki ve işletme emniyeti olarak tanımlanan dört temel kriterden oluşan dörtlü çerçeve gerekleri dikkate alınarak oluşturulmaktadır. Sistem yapısı oluşturulmasında temel amaç "Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği"(1)'nde öngörülen emisyon sınır değerlerinin altında kalmak kaydıyla birim ısı enerjisi üretim maliyetinin minimum olacağı işletme koşullarının oluşturulmasıdır.

\* Bu çalışma "NATO İstikrar İçin Bilim Programı" tarafından desteklenmiştir.

Verimli ve temiz yakma amacı doğrultusunda, yeni kurulacak yakma sistemlerinde tasarım aşamasında gösterilecek hassasiyet kadar, mevcut kurulu bulunan sistemlerin bakımlarının ve kullanılan yakıtta, işletme şartlarına bağlı olarak iyileştirilmelerinin yapılması da önemlidir. Kazanlarda yakıt, sistem ve operatör arasındaki uyumun sağlandığı oranda enerji üretiminde ekonomiklik ve temiz çevre şartları yerine getirilebilecektir.

Yakma sistemlerinden kaynaklanan partikül ve gaz biçimindeki çeşitli kirletici emisyonlar (toz, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, vb.) hava, toprak ve su kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Kirletici unsurların bir bölümü eksik yanma sonucu oluşan emisyonlardır (CO, toz, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>x</sub>, vb.) diğer bölümü ise yakıt bünyesinde bulunan kirletici bileşenlerden meydana gelmektedir (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>).

Taşkömür, kok, briket kömür gibi yakıtlar esas alınarak tasarımlanmış olan Avrupa kökenli mevcut kalorifer kazanlarının yanma odası hacmi ve ısı transferi yüzeyleri, düşük ısı değerli linyitler için gereğinden fazla büyük olmaktadır. Bu nedenle linyit yakılan kazanlarda alev aşırı biçimde soğumakta, oluşan uçucu yanıcıların yanma odasında sürekli tutuşturulması ve uygun biçimde yakılması mümkün olamamaktadır. Bu kazanlarda linyitlerin olabildiğince verimli ve temiz yakılması için yanma odası ısı transfer yüzeyi ve ızgara yapısında, yakıt özellikleri ve işletme koşullarına bağlı olarak bazı düzenlemelere gidilmesi gerekmektedir.

Yanıcı uçucu madde içeriği yüksek, taşkömürüne kıyasla düşük ısı değerli linyit kömürlerinin uçucularının yakılabilmesini sağlamak amacı ile yanma odası sıcaklığını artırmak ve yanıcı uçucuların yakılması amacı ile yakma havasını şartlandırılmış olarak sağlayabilmek için bir dizi düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelerin ilki, yanma odası sıcaklığını, kömürün yanıcı uçucularının tutuşma sıcaklığı üzerine çıkarmak üzere yanma odası ısı transfer yüzeyi azaltılmıştır. Bir sonraki adımda, kazanda meydana gelen gazlaşma ürünlerini yakabilecek yakma havasını uygun bir yerden uygun şartlar altında beslemektir. Bu amaçla yeni bir ızgara modeli tasarlanmış ve kazana uyarlanmıştır.

Bu düzenlemelerin yapılmasına esas olan tasarım verilerinin sağlanabilmesi için ısıtmada kullanılan çeşitli yakıtlarla geniş kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmış ve böylece yapılan değişikliklerin kömür türleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

## KAZANLARDA YANMANIN İNCELENMESİ

Yanma olayı gaz fazında gerçekleşmektedir. Gaz fazında olması nedeniyle en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanma ise katı yakıtlarda sağlanmaktadır. Uygun bir yanmanın gerçekleştirilebilmesi için, katı yakıtların parçalanma (kıırma, öğütme), kurutma, uçucuların gazlaştırılması (piroliz), kok gazlaştırma süreçleri ile gaz fazına geçirilmesi gerekmektedir.

Kömürün gaz fazına geçirilebilmesi; kurutma (W↑), uçucuların gazlaştırılması (V↑) ve kokun gazlaştırılması (CO↑) süreçleri için gerekli ısının yanma odasında sağlanmasını gerektirir. Yanma iç tüketim ısı olarak tanımlanan bu ısının, uygun bir ısı deposundan (alev, kor tabakası, dös tuğlası vb.) genelde türbülans (mekanik enerji) olgusu ile oluşturulan uygun bir ısı/kütle aktarım mekanizması ile (radyasyon, difüzyon, konveksiyon vb.) yakıt taneciğine aktarılması gerekir(2,3).

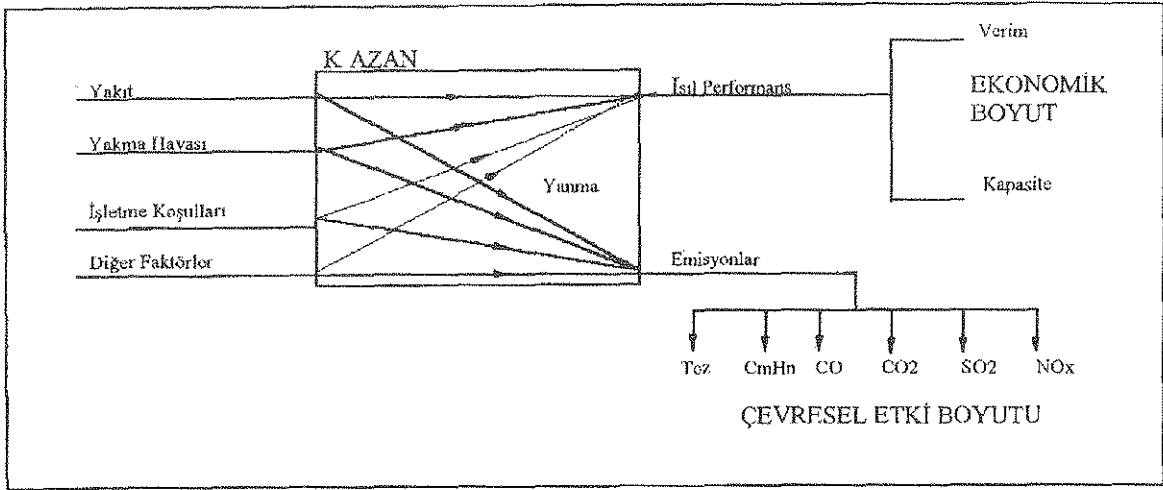
## İzgara Üzerinde Yakma Mekanizması ve Yanmayı Etkileyen Faktörler

İzgara üzerinde yakma, yapısal olarak; sabit karbon oranı yüksek, uçucu yanıcı madde oranları düşük yakıtlar için (kok, taşkömürü) uygundur. Bu tür yakma sistemlerinde verimli ve temiz bir yanmanın sağlanabilmesi için uygun tane büyüklüğüne sahip, taşınabilir, depolanabilir özellikte, nem kül, kükürt oranları bakımından yönetmelik sınırları içinde bulunan standart yakıtlara gereksinim vardır. Bu tür yakıtlar yenne, uçucu madde, nem, kül ve kükürt oranı yüksek, ucuz yakıtların (linyit, turba, şist vb.) kullanılması, yakma üçgeninde (yakıt, yanma, operatör) uyumsuzluğa, yanma veriminin düşmesine, hava kirletici emisyonların aşırı bir biçimde artmasına neden olmaktadır. Bunun başlıca nedeni sabit karbon ve uçucuların tamamen ayrı yanma özelliklerine sahip olmasıdır. Sabit ızgara üzerinde yakarken, piroliz sonucu oluşan gaz ve buhar biçimindeki yanıcı uçucuların hacimde yakılması zorunluluğu bulunmaktadır (4)

Yüksek uçucu madde ve nem içeren ülkemiz linyit kömürlerinin sabit ızgara üzerinde yakılması durumunda, yakma sistemine yapısal olarak uygun olmayan bir uçucu madde boyutu gelmektedir. Verimli ve temiz yanmanın sağlanabilmesi için yanma odasında bazı yapısal değişiklikler yapılması zorunludur. Izgara üzerinde yanmayarak yanma odası hacmine çıkan yanıcı uçucu gazların, tutuşma sıcaklığının üzerinde bir yanma odası sıcaklığı elde edilerek hacimde yakılması mümkün olabilmektedir(5).

### Kazanlarda Yanma Kayıpları, Isıl Performans ve Emisyonlar

Kazanların ekonomik ve çevresel etki boyutları, kazan ana girdilerine bağlı olarak basitleştirilmiş blok diyagramı biçiminde Şekil 1'de gösterilmiştir.



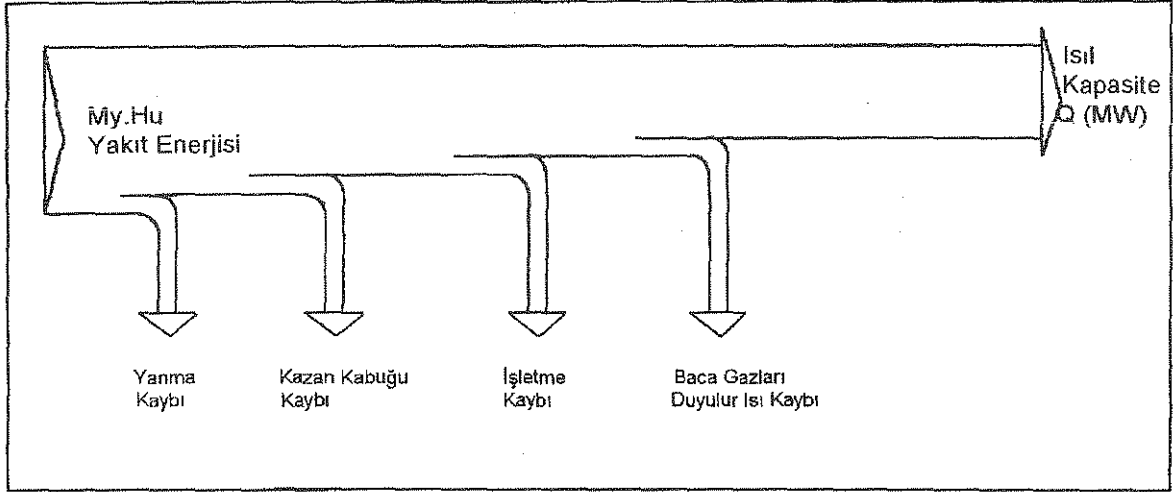
Şekil 1. Kazandaki yanmayı etkileyen faktörler ve yanma ürünleri

Kazan işletmesinde ısı verim ve kapasite ile ifade edilen, ısı performans bir kazanın ekonomik boyutunu, kazandan çevreye yayılan kirlenici emisyonlar ise kazanın çevresel etki boyutunu tanımlamaktadır.

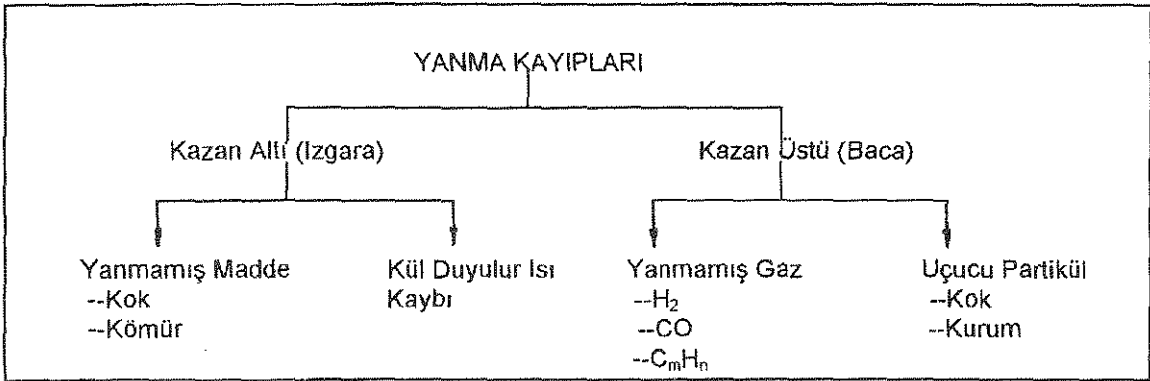
Kazanlarda yanma ve diğer kayıpların, kazan verimi ve kapasitesinin akış diyagramı biçiminde tanımlanmasında kullanılan kazan enerji dengesi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi kazan ısı kayıpları; yanma kayıpları, kazan kabuğu ısı kaybı ve baca gazı duyulur ısı kaybı olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Kazanların ekonomik ve çevresel etki boyutları yönünden iyileştirilebilmesi, en başta tasarım aşamasında alınacak önlemlerle yanma kayıplarının en aza indirilmesine bağlıdır. Katı yakıtlı kazanlarda yanma kayıpları Şekil 3'de verilmiştir.

Sabit ızgaralı kalorifer kazanlarında kül kuru biçimde ve düşük sıcaklıklarda alındığından kül gizil ve duyulur ısı kaybı dikkate alınmamaktadır. Kazanların yanma davranışında külün içerdiği yanmamış kömür ile, baca gazının içerdiği yanmamış CO,  $C_mH_n$  ve uçucu partikül bileşikleri etkili olmaktadır (Şekil 3).

Katı yakıtlı kalorifer kazanlarının yanma verimlerinin ve ısı performansının incelenmesinde ilgili standartlara (6,7) bağlı kalınmıştır. Ancak ilgili standartlarda ölçme zorlukları ve yanmamış uçucu partikül (uçucu kok, kurum vb.) ısı kayıplarının taşkömürü-kok yanması durumunda küçük boyutlarda oluşması nedeniyle dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada bu kayıplar da ölçülerek belirlenmiş ve ısı performans hesaplarında kullanılmıştır. Kazan ısı verimi hesaplanırken dolaylı yöntem kullanılmış ve kazan ısı verimi, kazan ısı kapasitesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 2. Kazan enerji dengesi ve ısı kayıpları



Şekil 3. Katı yakıtlı kazanlarda yanma kayıpları

$$\eta_k = 100 - \sum V_i = 100 - (V_y + V_{bg} + V_{kk} + V_{i\text{şl}}) \quad (\%) \quad (1)$$

$$\eta_y = (V_{ia} + V_{co} + V_{ch} + V_{up}) \quad (\%) \quad (2)$$

$$Q_k = M_y \cdot H_u \cdot \eta_k \quad (\text{kcal/h}) \quad (3)$$

Burada,

|                  |           |  |
|------------------|-----------|--|
| $\eta_k$         | (%)       | : Kazan ısı verimini,                  |
| $\eta_y$         | (%)       | : Kazan yanma verimini,                |
| $V_i$            | (%)       | : Kazan ısı kayıplarını,               |
| $V_y$            | (%)       | : Yanma kayıplarını,                   |
| $V_{bg}$         | (%)       | : Bacagazı duyulur ısı kaybını,        |
| $V_{kk}$         | (%)       | : Kazan kabuğu kaybını,                |
| $V_{i\text{şl}}$ | (%)       | : İşletme kaybını,                     |
| $V_{ia}$         | (%)       | : Izgara altı yanmamış karbon kaybını, |
| $V_{co}$         | (%)       | : Karbonmonoksit eksik yanma kaybını,  |
| $V_{ch}$         | (%)       | : Hidrokarbonlar eksik yanma kaybını,  |
| $V_{up}$         | (%)       | : Uçucu partikül eksik yanma kaybını,  |
| $Q_k$            | (kcal/h)  | : Kazan ısı kapasitesini,              |
| $M_y$            | (kg/h)    | : Kömür yükünü,                        |
| $H_u$            | (kcal/kg) | : Yakıt alt ısı değerini,              |

tanımlamaktadır.

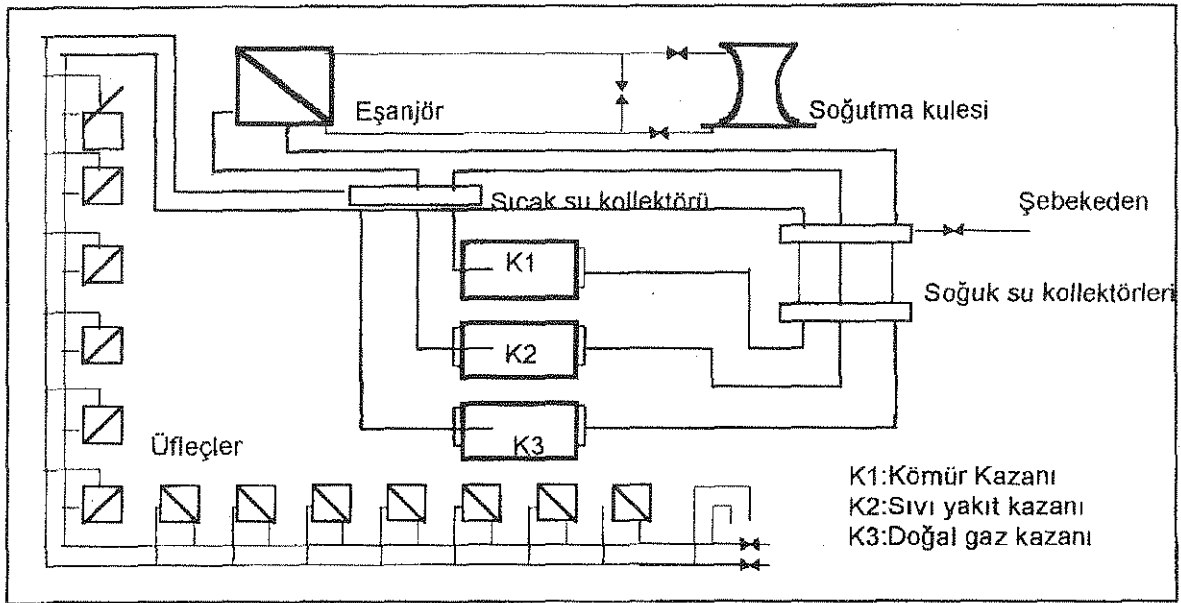
Kazan emisyon karakteristiği incelenirken, öncelikle uygun şartlarda örnekleme ve tekniğe uygun ölçme, değerlendirme yapılmasına dikkat edilmiştir. Hava kirletici emisyonların değerlendirilmesinde tüm kirletici parametreleri "Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği" nde (1) öngörülen şartlara (bu tür kazanlar için % 7 O<sub>2</sub>) dönüştürülerek hesaplanmıştır.

### KAZANLARIN ISIL PERFORMANS VE EMİSYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİNDE KULLANILAN ARAŞTIRMA ALTYAPISI

Kazan ısı performans ve emisyon özellikleri incelenirken, amaca yönelik ayrıntılı test programının hazırlanması ve bu programın gerçekleştirilebilmesi için uygun kazan test merkezi, veri toplama, ölçme ve değerlendirme sistemlerinin oluşturulması gereklidir.

#### Kazan Test Merkezi

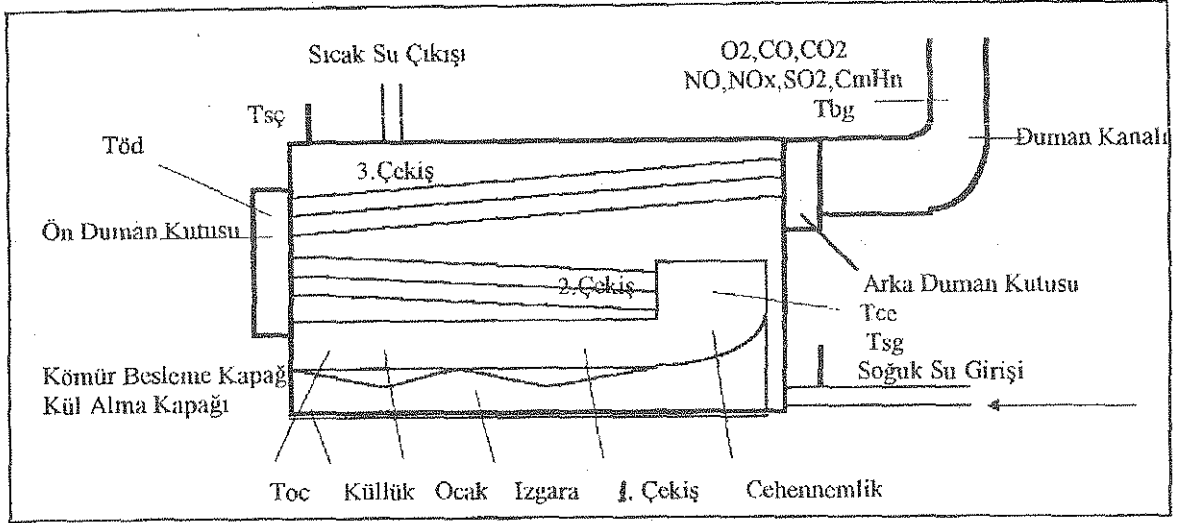
Kullanılan yakıt özelliklerine göre, enerji ekonomisi ve çevresel etki yönünden uygun yakma sistemlerinin oluşturulması ile ilgili kapsamlı araştırma geliştirme çalışmalarının yürütülebilmesi için gerekli tüm araç, gereç ve donanımları içeren bir kazan test merkezine gereksinim vardır. Bu tür bir kazan test merkezi ilgili standartlara uygun olarak tasarlanmış ve G.Ü.M.M.F. Makina Mühendisliği Bölümü Isıl Güç Laboratuvarında kurulmuştur(8). Kazan test merkezi genel bağlantı şeması Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 4. Kazan test merkezi genel bağlantı şeması

Ülkemizde konut ısıtmasında genelde küçük ve orta kapasiteli sabit ızgaralı elle yüklemeli kazanlar kullanılmaktadır. Enerji ekonomisi ve çevresel etki yönünden bu tür kazanların ısı verimlerinin ve emisyonlarının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapasitelerde ve işletme biçimlerindeki kazanların davranışlarına gösterge olabilecek, ışık tutabilecek özellikte bir araştırma kazanında araştırma programı uyarınca testler yapılmıştır(4).

Testlerde kullanılan araştırma kazanı; 10 m<sup>2</sup> ısı transfer yüzeyine sahip, üç çekişli, alev duman borulu ve sabit ızgaralı, yarım silindirik bir kalorifer kazanıdır. Test kazanı üzerinde, çeşitli bölgelerine sıcaklık, basınç, çekiş vb. ölçümleri ve gaz analizleri için örnek alma yerleri açılmıştır. Test kazanının şematik, kesitsel görünümü ve ölçümlerin alındığı noktalar Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Test kazanı şematik kesitsel görünümü ve ölçümlerin alındığı noktalar

### Test Programı

Kazan ısı verimi ve emisyon davranışı yakıt türüne, besleme biçimine, yakıt tane büyüklüğüne, yakıt yüküne, baca çekişine, besleme sıklığı vb. birçok işletme parametrelerine bağlıdır. Test sonuçlarının karşılaştırılabilmesi olabildiğince testlerin aynı şartlarda yapılmasını gerektirir. Yapılan testler sonunda belirlenen kazanla ilgili yanma yönünden en uygun işletme verileri (referans işletme koşulları) biçimi ve değerleri bulunmuş aşağıda verilmiştir.

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Kömür yükleme aralığı | : 60 dk.              |
| Kazan baca çekişi     | : 0.07-0.10 mbar      |
| Kömür yükleme biçimi  | : yastıklama, şişleme |
| Kömür tane büyüklüğü  | : 20-50 mm            |

Bu parametreler bütün testlerde olabildiğince sabit tutulmaya çalışılarak, kömür yükü değişimine bağlı olarak, kazanların ısı performans ve emisyon davranışının değerlendirilmesinde kullanılan kazan verimi ( $\eta_k$ ), kazan ısı kapasitesi ( $Q_k$ ), baca gazı içerisinde bulunan emisyon konsantrasyonlarındaki ( $CO_2, CO, C_mH_n, NO_x, SO_2, \text{toz partikül}$ ) değişimler deneysel olarak incelenmiştir(4,9).

Kazan yanma odası yapısında gerçekleştirilen değişikliklerin kazan yanma verimi ve emisyonlarına etkileri önce orijinal kazan yapısında Tunçbilek, Soma linyitleri ve ithal kömür yakılarak incelenmiştir. İlk olarak yanma odası ısı transfer yüzeyi, yanma odası sıcaklığındaki artış kontrol edilerek kademeli olarak azaltılmıştır. Daha sonra ikincil hava sağlayacak bir ızgara modeli tasarımı yapılarak imal edilmiştir. Yanma odasında yapılan bu değişikliklerin ucuz ve kolay biçimde gerçekleştirilebilir olmasına dikkat edilmiştir. Yapılan ön deneyler sonucu uygun yanma için ısı transfer yüzeyinde %35 civarında bir azalmanın gerekli olduğu görülmüştür. Düzenlemenin yapıldığı bu kazan yapısında da ilk grup testlerdeki işletme şartları olabildiğince sabit tutularak her iki linyit kömürü ve ithal kömür için kazan testleri tekrar edilmiştir. Yanma verimi ve emisyonlardaki değişimler incelenerek, uygulanan düzenlemenin yanma verimine, yakıt maliyetine ve hava kirlenici emisyonlara etkisi araştırılmıştır.

### Ölçme ve Değerlendirme Sistemleri

Kazan ısı performans ve emisyon özelliklerinin hatasız ve hassas olarak incelenmesi gaz ve toz içerikli baca gazı analizlerinin tekniğine uygun yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Baca gazı emisyon konsantrasyonlarının doğru olarak analizi, gaz örneklerinin standartlarda belirtildiği biçimde alınmasını hazırlanmasını ve koşullandırılmasını gerektirmektedir. Baca gazı içerisindeki gaz emisyonların, doğru ve hassas olarak analizi, örneklenen gaz kütlelerinin baca gazı gerçek özelliklerini göstermesine, temiz, kuru ve analiz sisteminin gerektirdiği fiziksel özelliklerde sisteme beslenmesine bağlıdır.

Atalet kuvvetleri etkisi altında bulunan toz partikül emisyon ölçümlerinin doğru biçimde yapılabilmesi gaz örneğinin, izokinetik koşullarda, yani örnek gaz hızının baca gazı hızına eşit olacak biçimde emilmesine bağlıdır.

Kazan test merkezi ve Mobil Emisyon Test Laboratuvarında (M.E.T.L.) bulunan ölçme ve veri değerlendirme sistemleri şematik olarak Şekil 6'da verilmiştir. M.E.T.L., örnek gaz alma ve hazırlama sistemi, ölçüm aygıtları, sıfır hava sistemi, kayıt sistemi, basınç ve sıcaklık hatları, veri toplama ve değerlendirme sistemi, merkezi işlem bilgisayarı ve diğer yardımcı teçhizattan oluşmaktadır.

Gaz emisyon ölçümlerinde seyreltilmiş ve seyreltilmemiş olarak iki örnekleme hattı kullanılmıştır. Gaz analizi yapılacak olan numune sürekli olarak aynı anda iki hat ile beraber alınabilmektedir. Örnekleme yapılan gaz konsantrasyonları gaz analiz sistemlerinin ölçme sınırlarının üzerinde olması durumunda seyreltilmiş hat ile gaz örneği aynı anda M.E.T.L.'da hazırlanan temiz hava ile seyreltilerek alınır. Seyreltme uygulanmayan örnek gaz alma işlemlerinde, örnekleme hattında yoğunlaşmanın önlenmesi için ısıtılmış hat kullanılmıştır. Elektrik ile ısıtılan örnek gaz alma hortumlarında, ısıtma sıcaklığı 170-200 °C aralığında ayarlanabilmektedir. Gaz örneğinin içerisindeki nem bir yoğunlaştırıcıdan alındıktan sonra, kuru olarak gaz analiz cihazlarına beslenmektedir.

### Gaz Analiz Sistemleri

Kazan ısı performans ve emisyon özelliklerinin incelenmesi için, yanma gazlarının içerdiği bazı gaz konsantrasyonlarının zamana bağlı olarak değişimlerinin analizi gerekmektedir. Bu gazlar ve analiz yöntemleri Tablo 1'de verilmektedir.

Saçınımsız kızılötesi veya morötesi ısıtma yöntemlerinde, analizi yapılan gazın bu ışınları kısmen absorbe ederek, enerji şiddetini azaltmasına neden olmaktadır. Işın enerjisindeki azalma, ölçülen gaz konsantrasyonu için bir ölçüdür. Paramanyetik yöntemde, manyetik alan içinde O<sub>2</sub> moleküllerinin azot ile dolu küreciklere uyguladığı kuvvet sonucu oluşan sapma etkisi, O<sub>2</sub> analizi için kullanılmaktadır. Bu sapma yanma gazlarının içerdiği oksijen konsantrasyonu için bir ölçüdür. Kimyasal ısıtma yönteminde NO<sub>x</sub>'lerin ozon ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan ışımaların şiddeti, Nox konsantrasyonu için bir göstergedir. Alev iyonizasyon yönteminde, Hidrokarbonların yakılması ile oluşan alev iyonlarının miktarı, yanma gazlarının içerdiği Hidrokarbon konsantrasyonu için bir ölçüdür.

Tablo 1 Baca gazında analiz edilen gazlar ve analiz yöntemleri

| ÖLÇÜLEN GAZ                            | KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMİ  |
|--|--|
| O <sub>2</sub>                         | Oksijen molekülünün paramanyetik özelliklerinin kullanılması           |
| CO - CO <sub>2</sub>                   | Saçınımsız kızılötesi ısıtma yöntemi (NDIR - Non dispersive infrared)  |
| SO <sub>2</sub>                        | Saçınımsız morötesi ısıtma yöntemi (NDIR - Non dispersive ultraviolet) |
| NO - NO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> | Kimyasal ısıtma yöntemi (Chemilumineszens)                             |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>          | Alev iyonizasyon yöntemi (FID - Flame ionization detector)             |

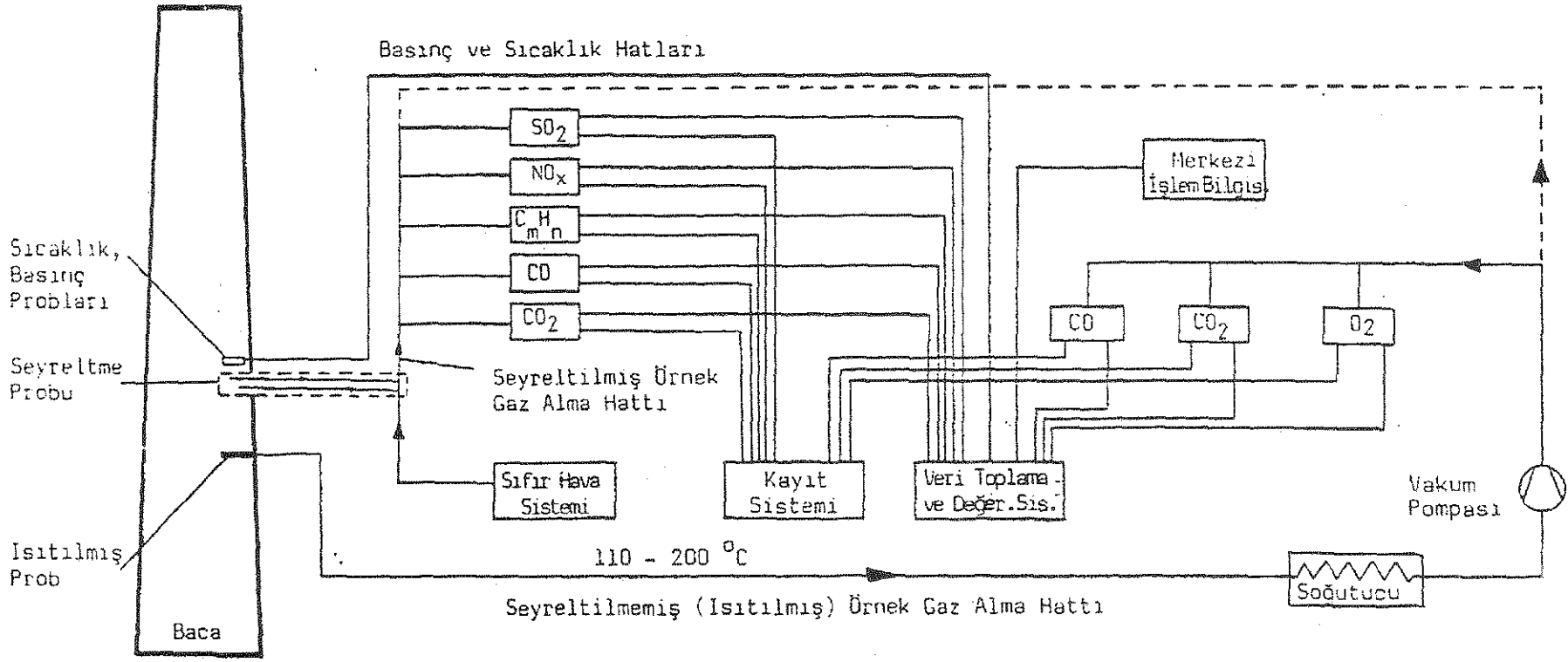
Genel olarak bütün ölçüm sistemleri, belirli zaman aralıklarında doğru ölçüm değerlerinden sapmalar gösterirler. Yapılan deneysel çalışmaların doğruluğu ve güvenilirliği yapılan ölçümlerin hassasiyetine bağlıdır. Bu çalışma süresince yapılan tüm deneylerde kullanılan ölçüm cihazları bilgisayar kontrollu bir kalibrasyon sisteminde sertifikalı kalibrasyon gazları kullanılarak kalibre edilmişlerdir.

Kazan testlerinde, sıcaklık ölçümleri için ısı çiftler, cıvalı ve bimetal termometreler, radyasyon pirometresi gibi ölçüm aletleri ve veri toplama ve değerlendirme sistemleri kullanılmıştır. Basınç ölçümlerinde manometreler, emiş ölçerler ve farklı çalışma sınırlarına sahip basınç transducerleri, akış ölçümleri için gazometre, digital anemometre vb. cihazlar kullanılmıştır.

### Yakıt Analiz Sistemi

Kullanılan yakıt ve curuf analizleri, TS 679, 1042, 1051, 2289, 2390, 2678, 362 standartlarına bağlı kalınarak elementel analiz cihazı, hassas terazi, kurutma fırını, kül yakma fırını ve bomba kalorimetresi gibi cihazlar kullanılarak yapılmıştır.





Şekil 6 Mobil Emisyon Test Laboratuvarı sistem yapısı ve bağlantı şeması.

Bu çalışmada, yurdumuzda yaygın olarak kullanılmakta olan, Tunçbilek ve Soma linyit kömürleri ile ithal taşkömürü kullanılarak kazan yanma verimi ve ısı performansları araştırılmıştır. Kullanılan yakıtlar kırılmış, yıkanmış olarak alınmış ve laboratuvarımızda 18/50 mm tane büyüklüğü aralığında elenerek tüm deneylerde aynı tane boyutunda kullanılmaya özen gösterilmiştir. Test edilen kömürler fiziksel özellikleri ve içerdikleri maddelerin oranları bakımından birbirlerinden farklı özellikler göstermektedirler. Her üç yakıtta ait yaş temelinde yapılan elementel analiz ve ısı değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Tablo incelendiğinde seçilen linyit kömürleri ile taşkömürü ısı değerleri bakımından birbirine oldukça yakındır. Bu yakıtların seçilmesindeki temel amaç ısı değerleri bakımından yakın olan linyit türü kömürler ile taşkömürlerin aynı şartlar altında yakılma durumunda kazan ısı veriminde ve emisyonlardaki değişimleri belirlemektir. Daha düşük kaliteli linyit kullanımında elde edilen sonuçlar daha da büyük farkları içerecektir.

Tablo 2 Yaş temelinde test edilen kömürlere ait elementel analiz ve ısı değerleri

| Yakıt Cinsi<br>Yakıt Bileşenleri | Tunçbilek Linyiti | Soma Linyiti | İthal Taşkömürü |
|----------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| C (%)                            | 54.85             | 51.12        | 62.51           |
| H (%)                            | 4.26              | 3.89         | 3.34            |
| O (%)                            | 10.64             | 14.65        | 10.00           |
| N (%)                            | 1.94              | 0.61         | 1.76            |
| S (%)                            | 1.67              | 1.87         | 1.09            |
| A (%)                            | 19.14             | 13.50        | 12.05           |
| W (%)                            | 7.50              | 14.36        | 9.25            |
| Ho (kcal/kg-yakıt)               | 5553              | 4946         | 5532            |
| Hu (kcal/kg-yakıt)               | 5278              | 4655         | 5312            |

## KAZAN YANMA ODASINDA YAPILAN YAPISAL KAZAN TADİLATLARI, YAKIT TÜKETİMİNE VE KİRLİTİCİ EMİSYONLARA ETKİLERİ

Izgara üzerinde yakma, yapısal olarak; sabit karbon oranı yüksek, uçucu yanıcı madde oranları düşük yakıtlar için (kok, taşkömürü) uygundur. Linyit kömürleri ızgara üzerinde yakılırken, yakma sistemine yapısal olarak uygun olmayan bir uçucu madde boyutu gelmekte, buna uygun olarak yakma sistem yapısı ve işletme biçiminde gerekli bazı değişikliklerin yapılması gereğini doğurmaktadır. Izgaralı yakma sistemlerinin bu sorunların çözümünde yetersiz kalması bazı yeni yakma teknolojilerinin geliştirilmesi sonucunu doğurmuştur(10).

Bu çalışmada ızgara üzerinde yanmayarak yanma odası hacmine çıkan uçucu yanıcı gazların, yatak üzerinde veya yanma odası çıkışına doğru bir bölgede oluşturulan yüksek sıcaklık (alev perdesi) ve ikincil hava uygulaması (oksijen perdesi) yardımı ile yakılmasına çalışılmıştır. Bunun için temel kural yanma odası sıcaklığının olabildiğince, açığa çıkan yanıcı uçucu maddelerin tutuşma sıcaklığı üzerinde tutulması ızgarayı bir ölçüde soğutarak, ızgara yüzeyi sıcaklığının kül ergime sıcaklığı altında kalmasını sağlayacak biçimde ısıtılmış ikincil havanın uygun biçimde yanma odasına verilmesidir. Yanma odasında yanıcı uçucuların, yanma koşulları (kül ergimesi vb. nedenlerle) bozulmadan, uygun bir biçimde yakılabilmesi için aşağıda özetlenen koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir(4).

1. Aşırı fazla hava ile yanma odası sıcaklığının düşmesinin önlenmesi, uygun yakıt hava karışımının sağlanması,
2. Yanma odası ısı transfer yüzeyinin uygun boyutlara indirilerek (yapısal tadilat) yanma sıcaklığının aşırı biçimde düşmesinin önlenmesi,
3. Izgarada depolu bulunan ısının uçucu yanıcı maddelerin yanma odasında hacimde yakılması için gerekli ikincil yakma havasının ön ısıtılmasında kullanılması ve ızgara yüzey sıcaklıklarının düşürülerek kül ergimesinin önlenmesi,
4. Ön ısıtılmış ikincil yakma havası uygulanarak, yanma odası sıcaklığında aşırı düşmelere neden olmadan yanıcı uçucuların yakılması için gerekli oksijenin sağlanması.

Kömürün gazlaşması sonucu açığa çıkan bazı uçucu maddelerin minimum tutuşma sıcaklıkları Tablo 3'de verilmektedir(11).

Tablo 3 Bazı uçucu maddelerin minimum tutuşma sıcaklıkları

| Uçucu Madde     | Tutuşma Sıcaklığı (°C) |                    |
|-----------------|------------------------|--------------------|
|                 | Havada                 | O <sub>2</sub> 'de |
| H <sub>2</sub>  | 510                    | 450                |
| CO              | 610                    | 590                |
| CH <sub>4</sub> | 645                    | 645                |
| Etan            | 530                    | 500                |
| Propan          | 510                    | 490                |
| Bütan           | 490                    | 460                |
| Etilen          | 540                    | 485                |

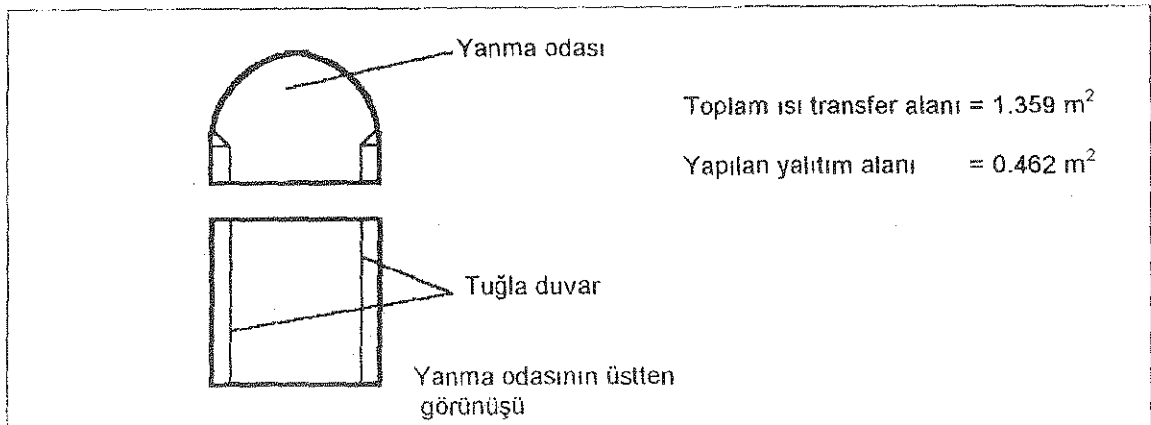
Orijinal kazanda yapılan ön çalışmalar sonucu alışılmış ızgaralı kalorifer kazanlarında düşük kaliteli linyitlerin daha verimli ve temiz yakılabilmesi için bu tür kazanlarda başlıca iki tür yapısal değişiklik yapılması planlanmıştır. Bunlar,

- Yanma odası ısı transfer yüzeyinin refrakter tuğla ile kaplanarak azaltılması,
- Yanma odası ısı transfer yüzeyi değişikliği ile birlikte uygulanmak üzere ön ısıtılmış ikincil havalı ızgara tasarımı ve uygulaması

Yukarıdaki modifikasyonlar gerçekleştirilerek her üç tür yakıt için kazan ısı performans ve emisyon testleri yapılmıştır.

#### Yanma Odası Isı Transfer Yüzeyi Modifikasyonu

Orijinal kazanın yanma odası biçimi yarım silindirik olup çevresi ızgara altı hariç tamamen su ile çevrilidir. Şekil 7'den görüldüğü gibi kazan yanma odasına, yanma odası sıcaklığını artırabilmek amacıyla refrakter tuğla örülmüştür. Kademeli olarak yapılan ısı transferi yüzeyi kısıtlamasında, toplam yanma odası yüzeyinin % 35'lik kısmı yalıtıldığından yanma odası sıcaklığında önemli artışlar elde edilmiştir. Bu tadilat gerçekleştirilirken kolay uygulanabilirlik ve maliyet artışı dikkate alınmıştır.

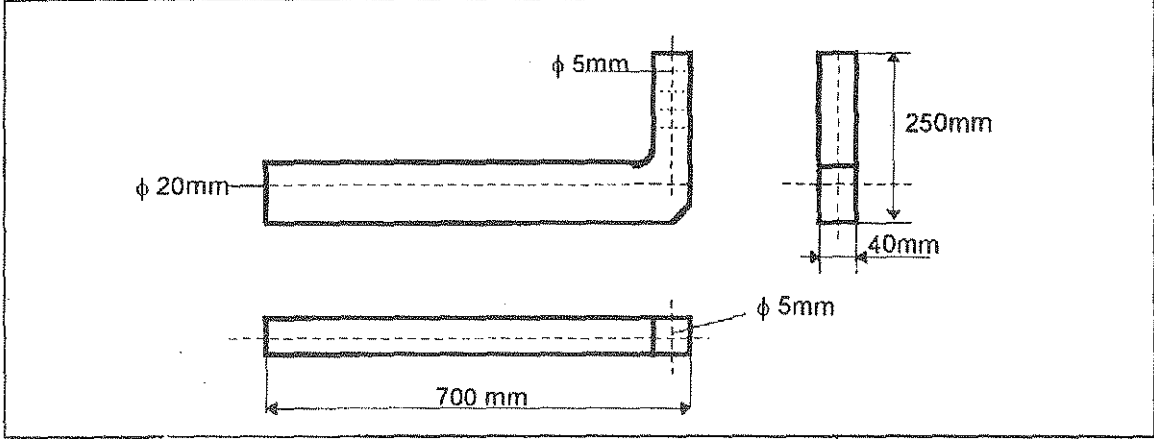


Şekil 7 Yanma odası ısı transfer yüzeyi modifikasyonu

#### Izgara Sistemi Modifikasyonu

İkincil hava sağlayacak ızgara sisteminin tasarımındaki amaçlardan biri yanıcı uçucuların kazan yanma odasında veya cehennemlik bölgesinde askıda havada yakılabilmesinin sağlanmasıdır. Diğer bir amaç, ızgara üzerinde depolu bulunan ısının bir kısmının ikincil yakma havasının ön ısıtılmasında kullanılmasını sağlayarak ızgaranın bir ölçüde soğutulması ve kül ergimesi sorununun önüne geçilebilmesidir. Kül ergimesinin önlenmesi sayesinde daha rahat bir oksijen transferi sağlanarak ızgara üzerinde daha verimli ve temiz bir yanma sağlanabilmektedir. İkincil havalı ızgara tasarımının yanmaya etkisini önceden gözleyebilmek amacıyla ızgaralar üzerine ikincil hava boruları yerleştirilerek linyit kömürlerinde 17-20 kg/h yakıt yüklerinde testler yapılmıştır. Bu çalışma

sonuçlarına bakılarak yanma odasına yanıcı uçucuların yakılabilmesi için gerekli miktarda ön ısıtılmış hava sağlanması sonucu ısı performansında ve hava kirletici emisyonlarda büyük oranlarda iyileşmeler elde edildiği görülmüştür. Bu ön çalışma sonuçlarına dayanarak içerisinden boydan boya havanın geçebileceği özel bir ızgara modeli tasarlanmış ve pik dökme demirden imal edilmiştir. Şekil 8'de ikincil havalı ızgara diliminin yapım resmi görülmektedir.



Şekil 8 İkincil havalı ızgara dilimi

Orijinal kazanda mevcut bulunan ızgara dilimleri belirli genişliklerde kesilerek, aralarına üretimi yapılan beş adet ikincil havalı ızgara dilimi yerleştirilmiştir. Bu tadilat çalışmasından sonra da her üç tür kömür ile deney programında belirtilen parametreler araştırılmıştır.

## KAZAN TEST SONUÇLARI VE İRDELEMELER

Kazan kömür besleme yükünün kazan ısı performans ve emisyon davranışına etkisinin incelenmesinde, öngörülen yük bölgesinde yakıt yükü birer kilogram aralıklarda değiştirilmiştir. İşletme yakıt yükü bölgesinde (14-21 kg/h) ısı performans ve emisyon değerleri belirlenmeye çalışılmış, bütün testlerde referans işletme koşullarının uygulamasına özen gösterilmiştir. Kazan ısı performans ve emisyon davranışının belirlenmesine yönelik parametreler uygun biçimde sınıflandırılarak aşağıda verilmiştir.

Yanma parametreleri;

|          |      |     |   |
|----------|------|-----|---|
| $O_2$    | (%)  | :   | Baca gazı oksijen konsantrasyonu,         |
| $CO_2$   | (%)  | (%) | : Baca gazı karbondioksit konsantrasyonu, |
| CO       |      | :   | Baca gazı karbonmonoksit konsantrasyonu,  |
| $T_{yo}$ | (°C) | :   | Yanma odası ortalama sıcaklığı,           |

Isıl performans parametreleri;

|          |          |   |                                    |
|----------|----------|---|------------------------------------|
| $V_{kk}$ | (%)      | : | Kazan kabuğu ısı kaybı,            |
| $V_{ia}$ | (%)      | : | Izgara altı yanmamış karbon kaybı, |
| $V_{bg}$ | (%)      | : | Baca gazı duyulur ısı kaybı,       |
| $V_{co}$ | (%)      | : | CO eksik yanma kaybı               |
| $V_{ch}$ | (%)      | : | $C_m H_n$ eksik yanma kaybı,       |
| $V_{up}$ | (%)      | : | Uçucu partikül eksik yanma kaybı,  |
| $\eta_y$ | (%)      | : | Kazan yanma verimi,                |
| $\eta_k$ | (%)      | : | Kazan ısı verimi,                  |
| $Q_k$    | (kcal/h) | : | Kazan ısı kapasitesi,              |

Emisyon parametreleri (yönetmelik şartlarında);

|                 |                       |   |   |
|-----------------|-----------------------|---|---|
| CO              | (mg/Nm <sup>3</sup> ) | : | Karbonmonoksit konsantrasyonu,                            |
| $C_m H_n$       | (mg/Nm <sup>3</sup> ) | : | Yanmamış hidrokarbonlar (eşdeğer $CH_4$ ) konsantrasyonu, |
| SO <sub>2</sub> | (mg/Nm <sup>3</sup> ) | : | Kükürtdioksit konsantrasyonu,                             |
| NO <sub>x</sub> | (mg/Nm <sup>3</sup> ) | : | Toplam azotoksit konsantrasyonu,                          |
| U.P.            | (mg/Nm <sup>3</sup> ) | : | Uçucu partikül konsantrasyonu,                            |

Kazan testlerinin değerlendirilmesinde kullanılan tüm değerler, sürekli ölçüm sisteminde üçer saniyelik ölçüm sonuçlarının kazan testleri boyunca alınan aritmetik ortalamasıdır. Orijinal kazan, yanma odası ısı transfer yüzeyi modifiyeli kazan ve ikincil hava ızgaralı kazan yapılarında Tunçbilek, Soma linyitleri ve lıthal taşkömürü kullanılarak 14-21 kg/h yük bölgesinde yapılan 8'er deneyin ortalamaları Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 4,5,6 incelendiğinde yanma odası ve ızgara sistemi modifiyeli kazan ile orijinal kazan karşılaştırıldığında Tunçbilek linyiti yakılması durumunda CO'de % 62, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>'de % 72, SO<sub>2</sub>'de % 2.7, NO<sub>x</sub>'de % 64.8, uçucu partikül emisyonunda ise % 54'lük azalmalar elde edilmiştir. Soma linyiti yakıldığında CO'de % 37.1, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>'de % 71.2, SO<sub>2</sub>'de % 52.3, NO<sub>x</sub>'de % 37.2 ve uçucu partikülde % 30.3'lük azalmalar, lıthal kömür kullanılması durumunda ise CO'de % 82.2, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>'de % 90.7, SO<sub>2</sub>'de % 58.6, NO<sub>x</sub>'de % -2.3 ve uçucu partikül emisyonlarında da % 42.4'lere varan azalmalar sağlanabilmiştir.

Çeşitli kazan yapılarında kömür türlerine göre sırasıyla Tunçbilek linyiti, Soma linyiti, lıthal taşkömürü yakılması durumunda işletme parametreleri, emisyon parametreleri, kazan ısı performans parametreleri ve kazan ısı kayıpları Şekil 9,10,11'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde genel olarak yanma odası sıcaklığının artması ile gazlaşmanın arttığı ve ikincil havalı ızgara sayesinde gerekli hava sağlanarak tam yanmanın gerçekleştiği ve buna bağlı olarak da CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> ve uçucu partikül konsantrasyonlarının azaldığı görülmektedir. Kazan ısı veriminde orijinal kazana kıyasla % 26'luk artış elde edilmiştir. Kazan kayıplarının baca gazı duyulur ısı kaybı hariçinde tümünün büyük oranlarda azaldığı görülmektedir. Kazan ısı verimindeki artış aynı zamanda ısı kapasiteyi de artırmakta ve yakıt maliyetini, orijinal kazan yapısına kıyasla, Tunçbilek linyiti yakılması durumunda % 26, Soma linyiti yakılması durumunda % 16 oranında ve lıthal taşkömürü yakılması durumunda da % 0.20 dolayında azaltmaktadır. Şekil 9'da açıkça görüleceği gibi yönetmelik şartlarında emisyon değerlerinde sırasıyla CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> ve uçucu partiküllerde % 62, %72 ve %54'lere varan azalmalar elde edilmesi hava kirliliği oluşumundaki azalmanın boyutlarını Tunçbilek linyiti yakıldığı durum için ortaya çıkarmaktadır(4,12).

Tablo 4 Orijinal kazan yapısında kömür türlerine göre ortalama test sonuçları

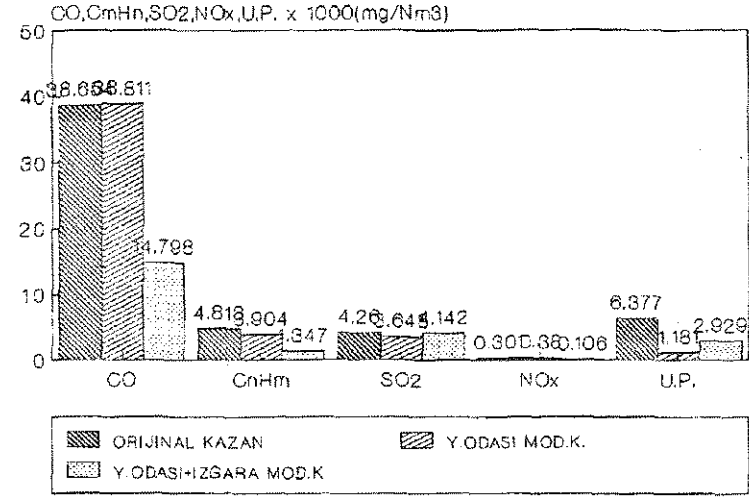
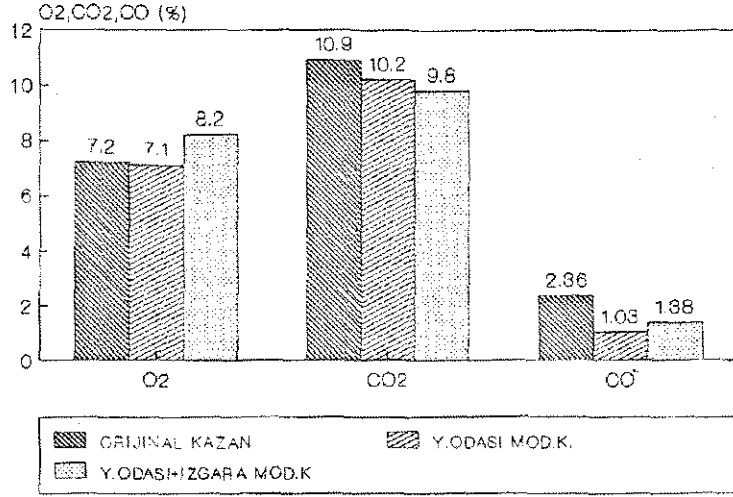
| Sistem Davranışı<br>Kömür Türü | İşletme Parametreleri |                 |      |                 |                 | Isıl Performans Parametreleri |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                | Emisyon Parametreleri |                               |                 |                 |      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------|
|                                | O <sub>2</sub>        | CO <sub>2</sub> | CO   | T <sub>yo</sub> | T <sub>bg</sub> | V <sub>kk</sub>               | V <sub>ia</sub> | V <sub>bg</sub> | V <sub>co</sub> | V <sub>ch</sub> | V <sub>up</sub> | η <sub>y</sub> | η <sub>k</sub> | Q <sub>k</sub> | CO                    | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | U.P. |
|                                | %                     | %               | %    | °C              | °C              | %                             | %               | %               | %               | %               | %               | %              | %              | kcal/h         | mg/Nm <sup>3</sup>    |                               |                 |                 |      |
| Tunçbilek linyiti              | 6.                    | 11.1            | 3.26 | 645             | 174             | 3.51                          | 2.47            | 9.98            | 12.79           | 6.15            | 7.60            | 70.99          | 57.51          | 52588          | 38654                 | 4813                          | 4260            | 301             | 6377 |
| Soma linyiti                   | 7.                    | 10.9            | 2.30 | 644             | 218             | 3.51                          | 2.77            | 15.4            | 9.11            | 4.07            | 4.65            | 79.40          | 60.48          | 50366          | 31305                 | 2761                          | 3833            | 247             | 3088 |
| İthal Taşkömürü                | 6.                    | 11.8            | 0.44 | 636             | 204             | 3.51                          | 3.35            | 12.2            | 1.92            | 0.64            | 0.55            | 93.55          | 77.81          | 72138          | 5878                  | 358                           | 1820            | 347             | 399  |

Tablo 5 Yanma odası modifiyeli kazan yapısında kömür türlerine göre ortalama test sonuçları

| Sistem Davranışı<br>Kömür Türü | İşletme Parametreleri |                 |      |                 |                 | Isıl Performans Parametreleri |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                | Emisyon Parametreleri |                               |                 |                 |          |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------|
|                                | O <sub>2</sub>        | CO <sub>2</sub> | CO   | T <sub>yo</sub> | T <sub>bg</sub> | V <sub>kk</sub>               | V <sub>ia</sub> | V <sub>bg</sub> | V <sub>co</sub> | V <sub>ch</sub> | V <sub>up</sub> | η <sub>y</sub> | η <sub>k</sub> | Q <sub>k</sub> | CO                    | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | U.P.     |
|                                | %                     | %               | %    | °C              | °C              | %                             | %               | %               | %               | %               | %               | %              | %              | kcal/h         | mg/Nm <sup>3</sup>    |                               |                 |                 |          |
| Tunçbilek linyiti              | 4.                    | 11.2            | 3.53 | 692             | 182             | 3.51                          | 2.72            | 13.4            | 6.74            | 5.49            | 1.44            | 83.61          | 66.74          | 60847          | 38811                 | 3904                          | 3645            | 380             | 118<br>1 |
| Soma linyiti                   | 7.                    | 10.2            | 1.03 | 685             | 183             | 3.51                          | 2.74            | 14.9            | 4.97            | 2.78            | 3.88            | 85.65          | 67.26          | 55098          | 14568                 | 1649                          | 2777            | 234             | 221<br>8 |
| İthal Taşkömürü                | 7.                    | 11.9            | 0.25 | 740             | 182             | 3.51                          | 5.22            | 10.9            | 1.25            | 0.58            | 0.23            | 92.72          | 78.32          | 72729          | 3395                  | 332                           | 822             | 293             | 172      |

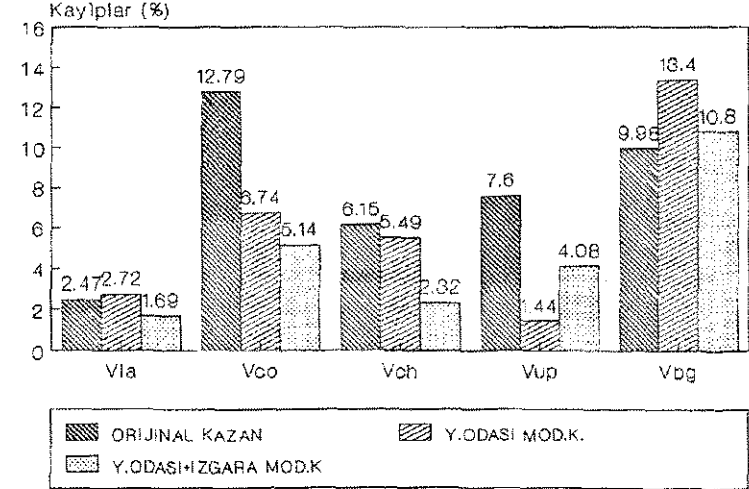
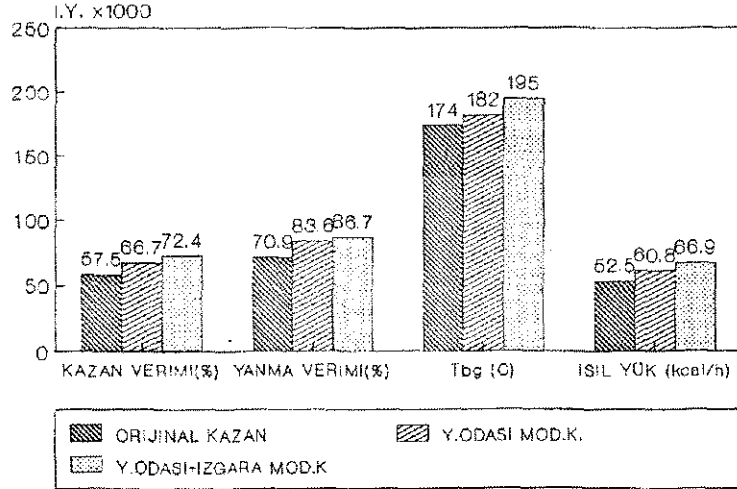
Tablo 6 Yanma odası ve ikincil havalı ızgara sistemi modifiyeli kazan yapısında kömür türlerine göre ortalama test sonuçları

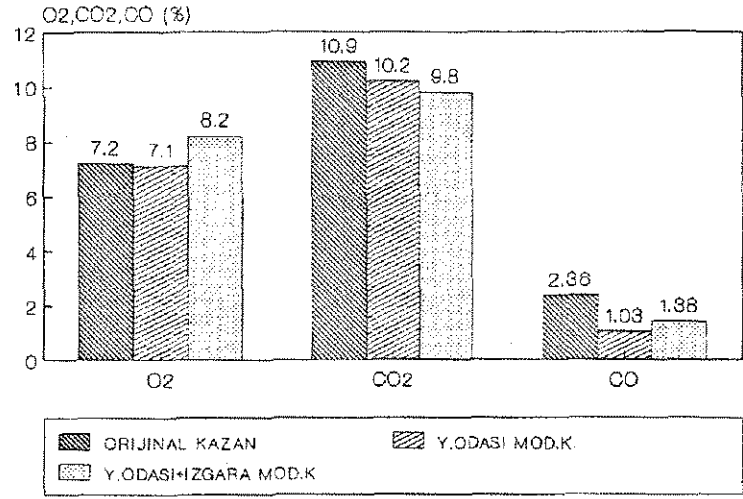
| Sistem Davranışı<br>Kömür Türü | İşletme Parametreleri |                 |      |                 |                 | Isıl Performans Parametreleri |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                | Emisyon Parametreleri |                               |                 |                 |      |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------|
|                                | O <sub>2</sub>        | CO <sub>2</sub> | CO   | T <sub>yo</sub> | T <sub>bg</sub> | V <sub>kk</sub>               | V <sub>ia</sub> | V <sub>bg</sub> | V <sub>co</sub> | V <sub>ch</sub> | V <sub>up</sub> | η <sub>y</sub> | η <sub>k</sub> | Q <sub>k</sub> | CO                    | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | U.P. |
|                                | %                     | %               | %    | °C              | °C              | %                             | %               | %               | %               | %               | %               | %              | %              | kcal/h         | mg/Nm <sup>3</sup>    |                               |                 |                 |      |
| Tunçbilek linyiti              | 6.                    | 11.1            | 1.17 | 691             | 195             | 3.51                          | 1.69            | 10.8            | 5.14            | 2.32            | 4.08            | 86.77          | 72.49          | 66972          | 14798                 | 1347                          | 4142            | 106             | 2929 |
| Soma linyiti                   | 8.                    | 9.8             | 1.38 | 706             | 204             | 3.51                          | 1.72            | 11.8            | 7.47            | 1.52            | 3.76            | 85.53          | 70.25          | 57159          | 19684                 | 794                           | 1829            | 155             | 2154 |
| İthal Taşkömürü                | 9.                    | 9.2             | 0.06 | 727             | 213             | 3.51                          | 1.40            | 15.5            | 0.46            | 0.08            | 0.42            | 97.64          | 77.99          | 72573          | 1011                  | 33                            | 803             | 355             | 230  |



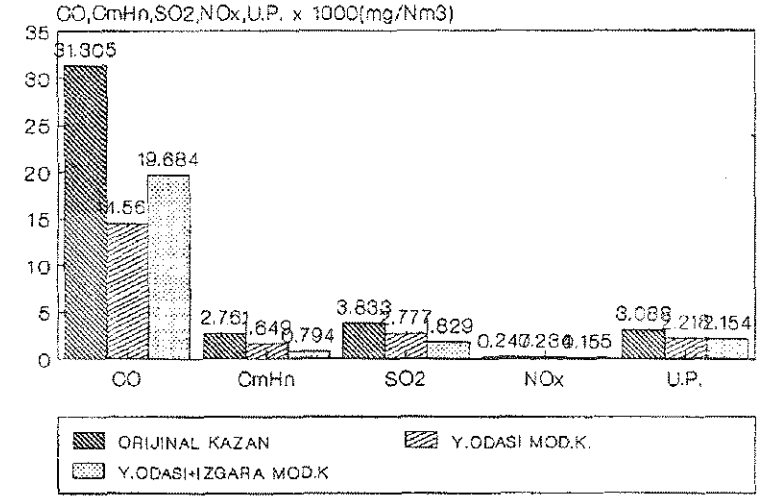
**Sekil 9 Tunçbilek Linyiti yakılması durumunda**  
 a) İşletme parametrelerinin,  
 c) Isıl performans parametrelerinin  
 kazan yapısına bağlı olarak değişimi.

**b) Emisyon parametrelerinin,  
 d) Isıl kayıpların**

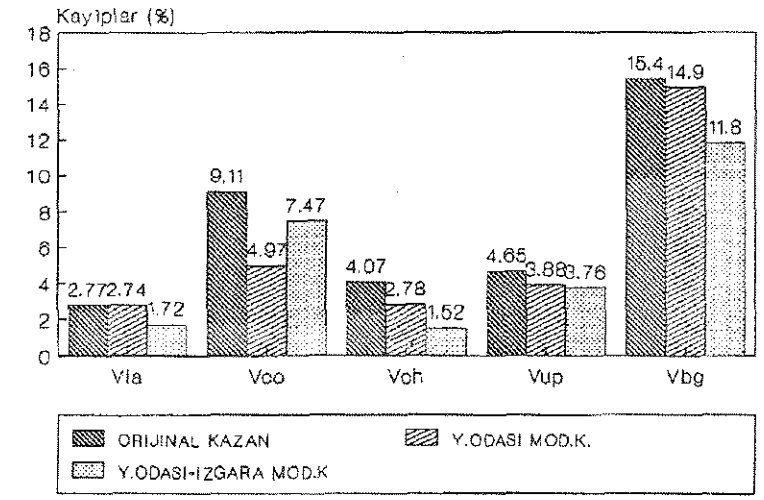
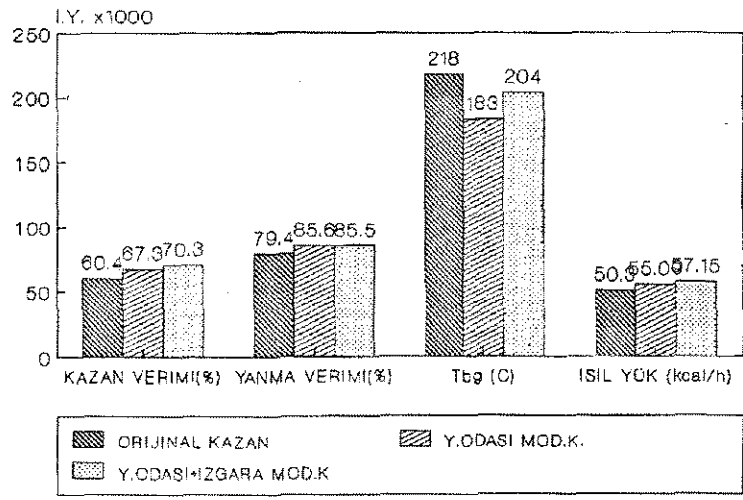




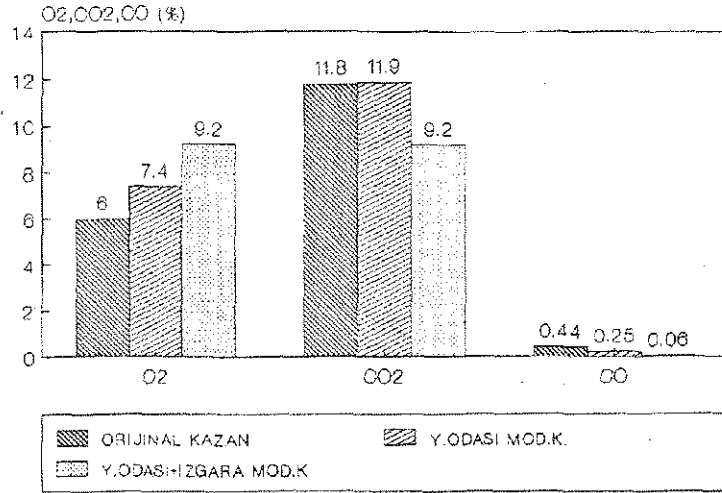
**Sekil 10 Soma Linyiti yakılması durumunda,**  
**a) İşletme parametrelerinin,**  
**c) Isıl performans parametrelerinin,**  
**kazan yapısına bağlı olarak değişimi.**



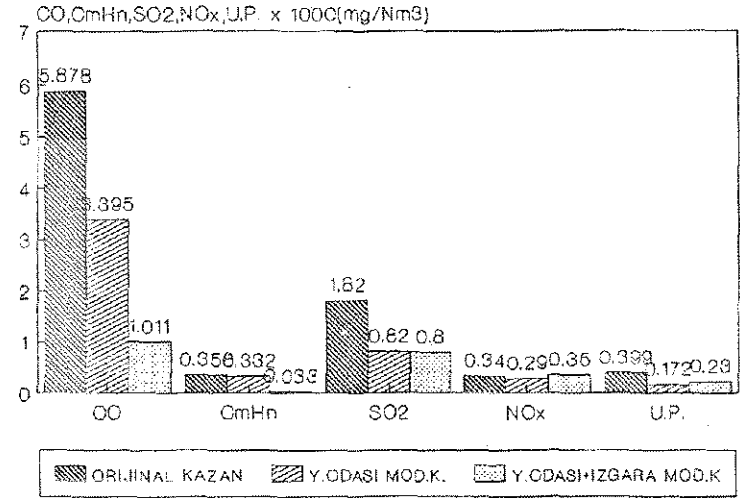
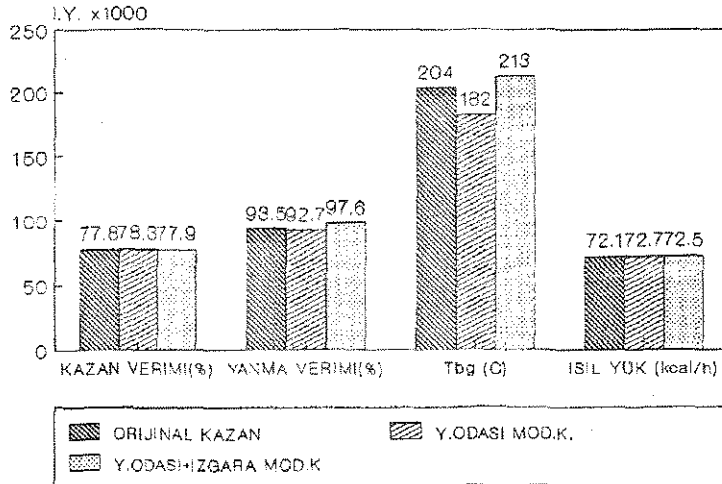
**b) Emisyon parametrelerinin,**  
**d) Isıl kayıpların,**



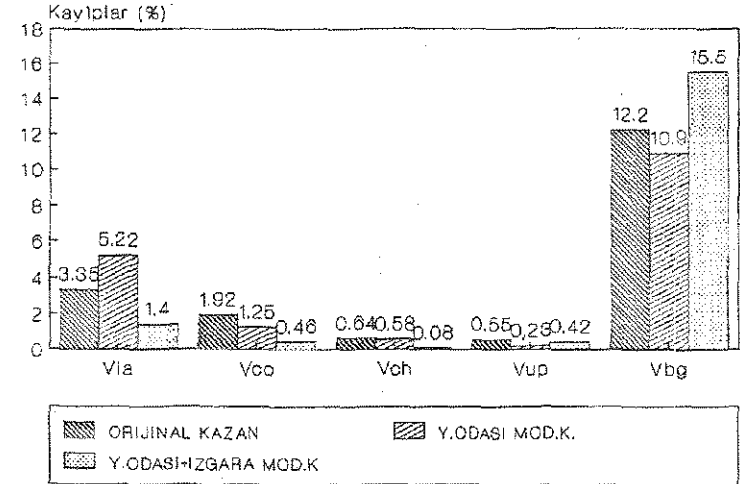




Sekil 11 İthal Taskömürü yakılması durumunda,  
a) İşletme parametrelerinin,  
c) Isıl performans parametrelerinin,  
kazan yapısına bağlı olarak değişimi.



b) Emisyon parametrelerinin,  
d) Isıl kayıpların,



## SONUÇ

Konut sektöründen kaynaklanan hava kirliliğinin azaltılması, konutların enerji ve işletme ekonomisi yönünden uygun biçimde ısıtılabilmesini, özellikle ülkemizde düşük kaliteli linyit kömürlerinin kalorifer kazanlarında olabildiğince verimli ve temiz bir biçimde yakılmasını ön plana çıkarmaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen ayrıntılı araştırma çalışmaları ile yanma odası ısı transfer yüzeyinde ve ızgara sisteminde uygulanan modifikasyonların, yanma verimini artırdığı ve hava kirlenici emisyonları büyük ölçüde azalttığı ortaya konmuştur. Ayrıca uygulanan değişiklikler, kullanılması düşünülen linyit kömürlerinin hangi işletme şartlarında ve kömür besleme yükü aralığında en verimli ve temiz yakılabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Tablo 4,5,6 incelendiğinde yanma odası sıcaklıklarının ve kazan ısı verimlerinin her basamak modifikasyonda arttığı görülmektedir. Gerçekleştirilen yanma odası yapısal değişiklikleri sonucu yanma odası sıcaklığı, yanıcı uçucuların tutuşabileceği sıcaklıkların üzerine çıkartılmıştır. Buna bağlı olarak eksik yanma ürünleri CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> ve uçucu partiküllerin oluşumlarının yanma odası sıcaklığı artışı ile büyük oranlarda azaldığı görülmüştür.

Kazan ısı verimlerinde; Tunçbilek linyiti için orijinal kazana oranla % 26, Soma linyiti için %16 ve İthal taşkömürü için ise % 0.20 artışlar elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmakta olan sabit ızgaralı kazanlarda linyit kömürleri kullanılması durumunda yanma odasında yapılabilecek olan bazı yapısal değişikliklerle işletme maliyetlerinde % 26'lara varan tasarruf yapılabileceğini ve hava kirlenici emisyonlarda da büyük oranlarda azaltmalar sağlanabileceğini göstermektedir.

Linyit kömürleri ülkemiz enerji altyapısının temel yerli yakıt girdisini ve düşük gelir düzeyli toplum kesiminin başlıca ısıtma aracını oluşturur. Ucuz enerji kullanımının gereği olan linyit kullanmak amacı ile, kesikli besleme ile yanmanın bozulmadığı, mekanik beslemeli, yanıcı uçucuların kazan çıkışında sıcaklık ve oksijen (ikincil hava) perdesi oluşumu ile linyit yakmaya yapısal yönden uygun olan ucuz, işletmesi kolay yeni kazan tasarımlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Hava Kalitesinin Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü, Ankara, (1986)
2. Durmaz, A., Alışılabilir Yakma Sistemleri ve Uygulamaları, Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü I. Ulusal Sempozyumu, Ankara, (1991)
3. Dolezal, R., Large Boiler Furnaces, Elsevier Publishing Company Amsterdam - London - New York, (1967)
4. Topal, H., Iızgaralı Kazanlarda Yanma Odasındaki Yapısal Değişikliklerin Kazan Isıl Performans ve Emisyon Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans, Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (1992)
5. Durmaz, A., Topal, H., Kömürlü Kalorifer Kazanlarında Yanma Odası Modifikasyonunun Isıl Verim ve Emisyonlara Etkisi, Yanma ve Hava Kirliliği II. Ulusal Sempozyumu, Anadolu Ü., (1993)
6. Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar - Anma Isı Gücü ve Verim Deneyleleri Esasları, TS 4041, TSE, Ankara, (1983)
7. DIN 4702, Heizkessel Prüfregeln, Beuth - Vertrieb GMBH, Berlin 30 Köln, (1967)
8. Türk Standartları Enstitüsü, Kazanlar - Isı Tekniği ve Ekonomisi Açısından Aranacak Özellikler, TS 4040, TSE, Ankara, (1983)
9. Topal, H., Durmaz, A., İthal Kömürün Yakıldığı Alışılabilir Kalorifer Kazanlarının Isıl Performans ve Emisyon Davranışının İncelenmesi, Üçüncü Yanma Sempozyumu, İ.T.Ü. - Uludağ Ü., Kirazlıyayla, Bursa, (1993)
10. Flue Gas Emission Control Experience, Stone And Webster Engineering Corporation, Vol. 3-7/89-Rev.12, Stone And Wenster, (1989)
11. Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch, Theoretische Grundlagen, Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, (1955)

12. Durmaz, A., NATO-Science for Stability Project, Investigation of the Causes of Air Pollution in Ankara and Measures for its Reduction, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Enerji, Çevre Sistemleri ve Endüstriyel Rehabilitasyon Merkezi (G.E.Ç.E.R.), Ankara, (1990)

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin TOPAL

1989 yılı Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü mezunudur. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Öğrenimine ve Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevliliğine başlamıştır. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina ve Kimya Mühendisliği Bölümleri tarafından yürütülmekte olan "NATO TU-Airpollut" projelerinde ve "Ankara'da Doğalgaza Dönüştürülmüş Yakma Sistemlerinin Isıl Verimleri ve Emisyon Özellikleri, Ekonomik ve Çevresel Etki Yönünden Değerlendirilmeleri" projesinde görev almıştır. G.Ü. Enerji-Çevre Sistemleri ve Endüstriyel Rehabilitasyon (GEÇER) Araştırma Merkezinde emisyon kontrolüne yönelik çeşitli projelerde çalışmış ve "Dolaşım Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri" konusunda Doktora çalışmasını sürdürmektedir.

### Ali DURMAZ

Prof. Dr. Ali DURMAZ 1944 yılında Denizli'de doğdu. 1402 Sayılı Yasa uyarınca Ankara E.G.O. Genel Müdürlüğü bursiyeri olarak 1970'de Stuttgart Üniversitesi Makina Fakültesinden Yüksek Mühendis (Dipl. Ing.), 1974 yılında aynı Üniversitenin Enerji Fakültesinden Doktora (Dr. Ing.) derecesini aldı. 1967-1974 yılları arasında aynı Üniversitede araştırma görevlisi, 1975-1976'da E.G.O.'da proje mühendisi, 1976-1979'da O.D.T.Ü. Makina Mühendisliği bölümünde Yrd. Doç., 1979-1985'de aynı bölümde Doçent ve ISILMAREN Araştırma Merkezi Direktörlüğü görevinde bulundu. 1985'den beri Prof. olarak Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. 1985-1992 Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 1992-1993 Rektör Yardımcılığı, 1988'den beri de G.Ü. Enerji-Çevre Sistemleri ve Endüstriyel Rehabilitasyon (GEÇER) Araştırma Merkezi Direktörlüğü görevini sürdürmektedir.

Prof. Durmaz Enerji-Çevre-Endüstriyel Rehabilitasyon konularında yurtiçinde ve dışında birçok araştırma projesinde araştırmacı ve yönetici olarak görev almış, bu konularda laboratuvarlar kurmuştur. Yurtdışında 50 yurtiçinde 100'ün üzerinde çeşitli konularda çalışmaları bulunmaktadır.