

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MEVCUT BİR TERMİK SANTRALDE PÜLVERİZE KAZANIN AKIŞKAN YATAKLI
KAZANA DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ**

MERVE ABACIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YARD. DOÇ. DR. BURHANETTİN ÇETİN**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR TERMİK SANTRALDE PÜLVERİZE KAZANIN AKIŞKAN YATAKLI
KAZANA DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ**

Merve ABACIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 27.01.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yard. Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yard. Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Aykut SAFA
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Artan elektrik enerji (güç) talebi gelişen teknolojiler doğrultusunda bu alandaki ihtiyaçlara cevap verebilmek için yapılan çalışmalarda araştırma konusu olarak önemli bir yer edinmiştir. Mevcut santrallerle ihtiyaçlarımızın bir kısmını karşılar, gerekli aksamaların değişimiyle ihtiyaçlarımızın daha büyük bir kısmını daha uygun bütçelendirmeye karşılamak mümkün olabilmektedir. Elektrik enerji talebi bugünümüz ve geleceğimizde hep var olacaktır, dolayısıyla sistemlerimiz yenilenmeye açık sistemler olmalıdır.

Lisans döneminde kendisinden aldığım derslerle bana Hidromekanik dalında enerji ekonomisi konularını sevdiren, yüksek lisans tezimde değerli fikir ve görüşlerine başvurduğum, çalışma azmine saygı duyduğum, tez hazırlama döneminde gerek kaynak elde etmede gerekse manevi desteğini benden esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN'e saygı, sevgi ve teşekkürlerimi en içten dileklerle sunarım.

Benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan Anneme ve Babama, çalışmalarımı ilgiyle takip eden sevgili ablama ve eşine ve de sevgili abime ve eşine çok teşekkür ederim.

Ocak, 2012

Merve ABACIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	4
PÜLVERİZE KAZANIN AKIŞKAN YATAKLI KAZANA DÖNÜŞÜMÜ	4
2.1 Akışkan Yataklı Kazanlar	7
2.1.1 Akışkan Yatak Teknolojisi.....	7
2.1.2 Akışkan Yatakta Yakmanın Genel Özellikleri	9
BÖLÜM 3	11
CFB'YE KARŞI PC TEKNOLOJİSİNİN KIYASLANMASI	11
3.1 Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi.....	13
3.2 Teknoloji Değerlendirmesi (1997)	14
3.3 Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları	15
3.3.1 Yüksek Yanma Verimi ve Yüksek Isı Transfer Katsayısı.....	16
3.3.2 Yakıt Hazırlama Kolaylığı.....	16
3.3.3 Yüksek Emre Amadelik	16

3.3.4	Yakıt Esnekliği	16
3.3.5	Düşük NO _x ve SO ₂ Emisyonları.....	17
3.3.6	Kullanılabilir Kül	18
3.4	Problemlerin Çözülmesi ve Gelecekteki Gelişme için Görevler	20
BÖLÜM 4		23
AKIŞKAN YATAKLI KAZANLARIN SINIFLANDIRILMASI.....		23
4.1	Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kazanlar	23
4.2	Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazanlar	24
4.3	Basınçlı Akışkan Yataklı Kazanlar	25
BÖLÜM 5		27
AKIŞKAN YATAK KULLANIMINA GEÇİŞTE ENERJİ MALİYETİ		27
BÖLÜM 6		35
PÜLVERİZE KAZANIN PÜLVERİZE KAZANLA YENİLENMESİNDE ENERJİ MALİYETİ		35
BÖLÜM 7		42
AKIŞKAN YATAK KULLANIMININ ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ		42
BÖLÜM 8		47
EMİSYON MALİYETİ.....		47
8.1	ExternE Çalışması.....	47
8.2	CO ₂ , NO _x ve SO ₂ Emisyonlarının Dışsal Maliyetleri.....	48
BÖLÜM 9		57
SEYİTÖMER TERMİK SANTRALİ'NDE KAZAN YENİLEME ÇALIŞMASI		57
BÖLÜM 10		62
SONUÇ VE ÖNERİLER		62
KAYNAKLAR		63
ÖZGEÇMİŞ		66

SİMGE LİSTESİ

η_{tho}	Yenileme öncesi termik verim
η_{th}	Yenileme sonrası termik verim

KISALTMA LİSTESİ

PC	Pülverize kömür
CFB	Dolaşimli akışkan yatak
FGD	Baca gazı desülfürizasyonu
SCR	Seçili katalizör azaltması
C_i	CFB ve yardımcı ekipman için özgül yatırım maliyeti
C_d	Söküm, montaj, işletmeye alma için özgül yatırım maliyeti
C_{om}	Özgül sabit işletme ve bakım maliyeti
N	Santralin kurulu kapasitesi
N_l	Güç kaybı
L_f	Yük faktörü
DP	Duruş süresi
P_{el}	Yakıt tüketiminden bağımsız birim elektrik fiyatı
P_f	Birim yakıt fiyatı
LHV	Yakıt alt ısı değeri
PBP	Geri ödeme süresi
NPV	Net bugünkü değer

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Akışkan yataklı kazan teknolojisi [18]	8
Şekil 3. 1 CFB'nin dizayn parametreleri [13]	15
Şekil 4. 1 Sabit yatak, minimum akışkanlaşma konumu, kabarcıklı ve dolaşımli akışkan yatak [10]	23
Şekil 5. 1 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer.....	30
Şekil 5. 2 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresi	30
Şekil 5. 3 Birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer.....	31
Şekil 5. 4 Birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi	31
Şekil 5. 5 Duruş süresine bağlı net bugünkü değer	31
Şekil 5. 6 Duruş süresine bağlı geri ödeme süresi	32
Şekil 5. 7 Faiz oranına bağlı net bugünkü değer.....	32
Şekil 5. 8 Yük faktörüne bağlı net bugünkü değer.....	33
Şekil 5. 9 Yük faktörüne bağlı geri ödeme süresi	33
Şekil 8. 1 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil).....	51
Şekil 8. 2 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)	51
Şekil 8. 3 Birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)...	52
Şekil 8. 4 Birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil).....	52
Şekil 8. 5 Duruş süresine bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)	53
Şekil 8. 6 Duruş süresine bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)	53
Şekil 8. 7 Faiz oranına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil).....	54
Şekil 8. 8 Yük faktörüne bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil).....	54
Şekil 8. 9 Yük faktörüne bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil).....	55
Şekil 8. 10 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil) ve emisyon maliyetsiz değişiminin kıyaslanması	55
Şekil 8. 11 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresinin emisyon maliyeti dahil ve emisyon maliyetsiz değişiminin kıyaslanması	56
Şekil 9. 1 Seyitömer Termik Santrali için güç kaybına bağlı net bugünkü değer	58
Şekil 9. 2 Seyitömer Termik Santrali için güç kaybına bağlı geri ödeme süresi	59
Şekil 9. 3 Seyitömer Termik Santrali birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer	59
Şekil 9. 4 Seyitömer Termik Santrali birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi ..	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	Bir PC yakma kazanına kıyasla bir CFB kazanının faydaları [7]..... 12
Çizelge 5. 1	Modelleme için teknik ve ekonomik veriler [17] 29
Çizelge 7. 1	Kömürün elemental analizi [30]..... 42
Çizelge 7. 2	Yanma reaksiyonları ve ürünler [30] 43
Çizelge 7. 3	Çeşitli ocak tipleri için hava oranı [1] 43
Çizelge 7. 4	Oluşan baca gazları ve kaynakları [30] 44
Çizelge 8. 1	National tax board of Sweden, 2001 [26] 48
Çizelge 9. 1	Seyitömer termik santrali için teorik veriler [31, 32]..... 58

**MEVCUT BİR TERMİK SANTRALDE PÜLVERİZE KAZANIN AKIŞKAN YATAKLI
KAZANA DÖNÜŞÜMÜNÜN İNCELENMESİ**

Merve ABACIOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN

Günümüzün ve geleceğimizin büyük problemlerinden olan çevre kirliliğini azaltmak için alternatif yollar aranmaktadır. Bu kirliliğe sebep olan etmenlerden birisi de önemli bir ihtiyacımızı yani elektrik ihtiyacımızı karşılamak üzere kurulmuş olan termik santrallerdir. Termik santrallerde kazan yakıtı olarak kullanılan yakıtların yanma sonucunda çevreye yaydıkları zararlı gazlardan mümkün olduğunca arınabilmek için yanma öncesi çözümlere de göz atmak gerekir. Yakıtın doğru seçiminin yanı sıra yakıtın uygun yakma kazanı seçimi de çok önemlidir. Bunun yanı sıra kurulan bir santralin ekonomik ömrü de kurulmasına karar vermekte önemli bir etkiye sahiptir. Bunun için ise, yatırım maliyetleri ve işletme maliyetlerine bakılır.

Yapılan çalışmada mevcut bir termik santraldeki pülverize kazanın akışkan yataklı kazana dönüşümünün ekonomik analizleri ile çevresel etkileri incelenmiştir. Bunun için öncelikli olarak konuyla ilgili literatür araştırmasına yer verilmiş ve gerekli kazan tiplerinin tanımı yapılmış, sonrasında yapılacak olan dönüşümün ekonomik modeli ortaya konmuş, maliyet analizi yapılmış, emisyon vergilendirmeleri maliyet analizine dahil edilmiş ve sonuçların avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Dolayısıyla dönüşüm çalışmasının gerekliliği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Pülverize kazan, akışkan yataklı kazan, maliyet, emisyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF A PULVERIZED COAL BOILER WITH CIRCULATING FLUIDIZED BED BOILER IN AN EXISTING THERMAL POWER PLANT

Merve ABACIOĞLU

Department of Mechanical Engineering

Ms. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Burhanettin ÇETİN

Alternative ways are researched for reducing the environmental pollutants which are the numerous problems in our day and future. One of these problems is thermal power plants providing our significant needs such as electricity. For escaping from dangerous gases coming from fuels of thermal power plants' boilers we need to look through the solutions before the combustion. Besides choosing the appropriate fuel, choosing the suitable firing boiler is also so important. In addition to this, economic life of power plant also has a significant impact for deciding to build it up. For this situation, investment cost and operation cost are investigated.

On this paper, economic analysis and environmental effects of revamping a pulverized coal boiler with circulating fluidized bed boiler in an existing thermal power plant are investigated. Firstly, literature search about this issue is concerned and the boilers are introduced, then the economic model of the revamping and cost analysis are made, emission taxes are added to cost analysis and advantages and disadvantages of the results are discussed. So, necessity of the revamping experience is understood.

Key words: Pulverized boiler, fluidized bed boiler, cost, emission.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

GİRİŞ

Bu bölümde pülverize kömürlü kazanların akışkan yataklı kazanlara dönüşümüyle ilgili literatür taraması yapılmıştır. Pülverize kazanlar ve akışkan yataklı kazanlar ile genel bilgi veren makalelerin yanı sıra yapılacak olan dönüşümün maliyet açısından irdelenmesine yardımcı olabilecek makaleler de incelenmiştir. Bu konularda önde gelen yayınlardan yararlanılmıştır. Sonrasında tezin amacı anlatılmış ve elde edilen bilgiler neticesinde bulgulara yer verilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Öncelikle pülverize kömürlü kazan ve akışkan yataklı kazanlarla ilgili genel bilgileri içeren çalışmalardan bahsedilmektedir. Bu kapsamda kazanların çalışma prensipleri, avantaj ve dezavantajlarına yer verilmiştir. Sonrasında yapılacak yenileme işleminin maliyet açısından incelenmesi için bir model geliştirilmiş ve buna makalelerde yer alan emisyon maliyeti değerleri de eklendiğinde yatırımın avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Son olarak bu yenilemenin sonuçları ile literatürde yer alan yayınlar detaylı olarak anlatılmaktadır.

İlk olarak Talukdar [2], Haldeer [3], Sen, Miller, Dutta [4] ve Basu [5]'nin mevcut kazanı yenileme ile ilgili makalelerinde genel olarak kazan bilgilerine yer verilmiştir. Kazanların çalışma prensipleri, yenileme durumunda hangi parçalarında değişimler olacağı, kendi içlerinde avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır.

Kavidass ve Walker [7] çalışmalarıyla yenilemeye maliyet açısından bakış için bir giriş yapılmıştır. Pülverize kazanlar için akışkan yataklı kazanlar mali açıdan efektif bir

seçenek olarak sunulmuştur. Daha sonra Kavidass [9] ve Nowak [12] sırasıyla Hindistan ve Polonya’da CFB’nin avantajlarını anlatmışlardır.

Maryamchik, Wietzke ve Bobcock&Wilcox [15] CFB’de karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların giderilmesiyle ilgili çalışma yaparken; Jacobs [13]’un çalışması ve VGB Teknik Bilimsel Raporunda [14] CFB’nin geleceğine dair çalışmalar ortaya konmuştur.

etin [17] makalesinde yenileme için ekonomik model sunmuştur. Makalede pülverize kazandan akışkan yataklı kazana geçişte maliyet analizi yapılmış ve sonuçları yenilemenin faydalı olabileceğini göstermiştir.

Erkal [18] makalesinde evre açısından bir değerlendirme yapmıştır. ExternE çalışmasıyla [21-23] emisyon maliyetleri hesaplanmış ve maliyet analizine dahil edilmiştir. Böylece dışsal maliyetler de modellemeye dahil edildiğinde yenilemenin geri ödeme süresi ilk duruma göre çok daha kısalmış ve net bugünkü değer artmıştır. alışmalar yenilemenin gerekli olduğunu göstermiştir.

Güven, Kalkan, Afyonoğlu, Kuş ve Vural [32] alışmalarında Seyitömer Termik Santrali’nde SO₂ salınımlarını azaltabilmek için uygulanabilir beş seçenekten bahsetmişler ve her bir seçenek için maliyet analizi yapmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin gelişimiyle artan enerji talebi yine teknolojinin gelişimiyle karşılanmaya çalışılmaktadır. Enerjiyi daha ucuza temin edebilmek ve enerjinin temiz formundan yararlanabilmek için enerji santrallerini daha verimli çalıştırmak gerekmektedir.

Bu konulardan yola çıkarak bu tezde, bir termik santralin eski bir pülverize kazanının daha yeni bir teknoloji olan akışkan yataklı kazanla değişimiyle maliyet ve çevresel açıdan daha fizibil bir enerji elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Enerji (güç) retimi için kullanılan santraller yaydıkları emisyonlar bakımından hem doğayı hem de insan sağlığını önemli derecede tehdit etmektedir. Bu bağlamda alınan önlemler, örneğin filtreleme gibi, çoğu zaman yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca santraller yarattıkları evre kirliliğinden dolayı ekstra vergilendirmeye de tabi

tutulabilmektedir. Gerek emisyonların zararını gerekse vergileri azaltmak için santrallerde yanma öncesi çözümler aranmalıdır. Bu kapsamda mevcut santralin yanma öncesi ekipmanlarında yapılması gereken düzenlemeler belirlenmelidir.

BÖLÜM 2

PÜLVERİZE KAZANIN AKIŞKAN YATAKLI KAZANA DÖNÜŞÜMÜ

Dünya elektrik enerji talebi üç ana nedenden dolayı adım adım artmaya devam etmektedir: nüfus büyümesi, ekonomik gelişme ve enerjinin temiz formuyla birlikte olan alternatif yakıtların aşamalı değişimi. Enerji santrali kurulumu yapan firmalar, yüksek santral verimliliği ve düşük yakıt tüketimine büyük bir önem vermektedirler. Bugün uygulamada olan bütün kömür yakıtlı enerji santrallerinin ortalama santral verimliliği %33 civarındadır. Enerji endüstrisinde ortaya çıkan önemli görevlerden birisi mevcut enerji santrallerinin bir adım yukarı taşınmasıdır [7].

Enerji (güç) eksikliği ve ana sermayenin kıtlığı, şebekeye daha fazla enerji katkısı için birçok ülkede en çok tercih edilen, var olan eski santrallerin yenilenmesidir. Yeni bir yerleşim yerinde bir enerji projesi uzunca bir çevresel değerlendirme gerektirir ve onaylanması gereken birçok sürece doğru yol alır. Ayrıca, alt yapının gelişmesi ve diğer tesisler de hayli zaman alır. Bir yeşil alan projesine kapasite artırımı için gerekli zaman oldukça uzundur. Buna ilaveten, ilave güç oluşumunun ana sermayesi özellikle kömür ağırlıklı yeni santraller için oldukça yüksektir. Çoğu termik santrallerde ilave kapasite var olan ekipmanın bir üst modele geçmesinde kullanılabilir. Bu, diğerlerine nazaran kısa bir zamanda ve daha düşük yüklü harcamalarda yapılabilir [2, 3, 5].

Birçok ülke, sermayenin az bulunması nedeniyle sürekli enerji (güç) eksikliğini karşılamak için, yeni santrallerin yapılması yerine eski santrallerin yenilenmesine başvurmayı öncelikli olarak değerlendirmektedir. Yeni enerji projeleri uzun çevresel değerlendirmeler ve resmi izinli proselere doğru gitmektedir. Resmi izni takip eden bu projeler için altyapı gelişimi de hayli zaman alır ve yüksek sermaye gerektirir. Çoğu

termik enerji santralleri mevcut ekipmanın bir üst modele geçmesindeki ilave kapasiteden yararlanabilir. Bu iyileştirmeler, çok düşük bir maliyette oldukça kısa bir zamanda yapılabilir [4-6].

Eski kömür yakıtlı santraller %25-35 kül içerikli kömürün oldukça iyi kaliteli olanları için tasarlanmışlardır. Son birkaç on yıl içinde, elde edilen kömürlerin kalitesinde önemli bir düşüş olmuştur. Neredeyse bütün eski kazanlar, ne yakıtın azalan kalitesiyle ne kısıtlanan çevre standartları ile başa çıkabilen pülverize kömürlü (PC) yanma teknolojisini kullanırlar. Bu kazanların çoğunun bir sonucu olarak çevresel performansta çok fazla düşüş görülmektedir. Kapasite artırımı için, bu santrallerin çoğu kullanılan eski pülverize kömür yakma teknolojisini yenilemektedir. Bazı projeler, var olan ekipmanın ana tamirinde yenilemeyi sınırlarken; diğerleri eski yanma kontrol sistemlerinin yer değiştirmesi, yakma elemanlarının değişmesi, atölyelerin yer değiştirmesi vs. içeren büyük modifikasyonlar gerektirmektedir. Bununla birlikte, santraller 1930'ların teknolojisi olan PC kullanımına devam ederlerse, yakıt esnekliğinden, çevre dostluğundan ve modern sirkülasyonlu akışkan yatak teknolojisinden diğer faydalarından yararlanamazlar [2, 3].

Mevcut eski PC yakma kazanlarının bir üst modele geçmesi, ekonomik ve çevresel baskılar nedeniyle birçok ülkedeki acil ihtiyaçlardan birisidir. Bu sistemler ayrıca yüksek emisyon seviyelerini meydana getirirler [7-9].

Yaşlanan bir PC yakıtlı santralin görünümünde ana problemler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Santraller, düşük değerli bir ısınma için dizayn edilmiş kömür ile gerekli ısı çıkışı üretemezler.
2. Santraller, pahalı kazan bileşenlerinin aşınması nedeniyle santralin hızlı kapanmasına neden olurlar. Çoğunlukla kazanların çok eski tiplerinin yedeklerinin tedarik edilmesi zordur.
3. Daha küçük santrallere, yük dalgalanmasının yükünü taşıması için gerek duyulmuştur. Santraller, düşük yükte alevlenmeyi devam ettirmek için pahalı yakıtın büyük bir kısmını kullanır ve etkisiz çalışırlar.

4. Kömürün temini düzensizdir. Zamanında fakir kömür için dizayn edilen bir santral, kızdırıcıya zarar veren ve kazanların performansını etkileyen kömürün iyi derecede yanması için zorlanırlar.
5. Elektrostatik filtre performansı, öngörülen limiti aşan partikül emisyonları sonucunda baca gazında aşırı kül veya kötü bakım nedeniyle önemli miktarda düşer.
6. Santrallerin çoğu, yeni çevre standartlarını karşılamakta zorlanacaklardır [2].

CFB (Dolaşımli Akışkan Yatak) teknolojisi, enerji santrallerinin yenilenmesi ve düşük kaliteli yakıtların yanması için uygulanabilir uzun soluklu bir çözüm iken, PC yakma kazanları yıllar geçtikçe çoğu kömür ağırlıklı elektrik üretimini gerçekleştirmeye devam edecektir. CFB yenilemesi, santral ömrünü 20-25 yıl uzatmak ve yakıt esnekliği sağlamak için mevcut PC yakma kazanlarının ekonomik olarak değiştirilmesini amaçlar [4-6].

CFB yenilemenin amaçları:

- Kapasiteye oranla MW çıkışını artırmak
- Düşük kaliteli yakıtları yakmak (yakıt esnekliği sağlamak)
- Kazan ve santral verimliliğini artırmak ve böylece özgül ısı tüketimini yükseltmek
- Uygulama ve bakım maliyetini azaltmak
- Güncel emisyon gereksinimlerini karşılamak (SO_2 ve NO_x)
- Ekonomik olarak minimum duruş süresi ile mevcut kazanları yer değiştirmek
- Mevcut santral ömrünü uzatmak (20-25 yıl kadar mümkün)
- Sermaye tüketimini en alt seviyede tutmak için mevcut santrali faydalı kılmak
- Bazı resmi ve izin gerektiren işlemleri azaltmak [7-9].

2.1 Akışkan Yataklı Kazanlar

CFB kazanı, yüksek performanslı, çevre kirliliği düşük ve ekonomik olarak verimli, kömür yakma teknolojisi gelişmiş kazandır.

Küçük kapasiteli kazanlardan büyük kapasiteli kazanlara kadar çok çeşitli kapasitelerde, farklı büyüklüklerde CFB kazan yapıları geliştirilmiştir. 21. yüzyılın başlarından itibaren CFB kazan teknolojisi büyük yol kat etmiş ve enerji sektöründe kendi payını büyük oranda arttırmıştır.

2.1.1 Akışkan Yatak Teknolojisi

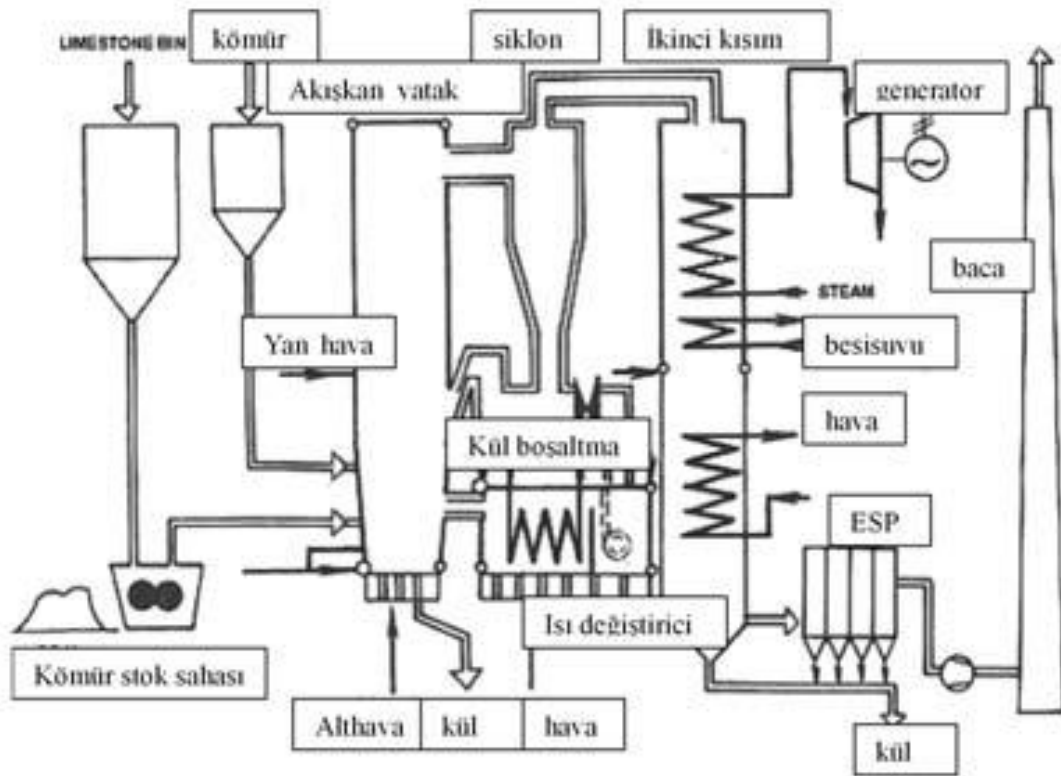
CFB teknolojisi akışkan yatak prensibine dayanır, kazan dikey yapılıdır ve su borularından oluşan duvar ana yapısını teşkil eder. Yeterli büyüklükteki yakıt kazana gönderilir ve düşük sıcaklıkta yakılır. Yanma sıcaklığı CFB kazanlarda 850-900°C arasındadır. Pülverize kazanlarda ise bu değer 1350-1500°C'dir. Bu sebeple CFB kazanlarda NO_x oranı düşüktür. Kazana kireç verilerek SO₂ yakalanır. Sonuç olarak SO₂ ve NO_x oranları pülverize kazanlara göre çok daha düşüktür. Dışarıdan gelen ham kömür ve kireç, kırıcılardan geçerek tanecik boyu düşürülür ve bant taşıma sistemi ile kazanın yan tarafındaki haznelere doldurulur. Öğütülmüş kömür ve kireçtaşı bu haznelerden taşıma kanalları ile kazana atılır. İlk yanmayı sağlayan doğalgaz yakıcılarıdır. Doğalgaz ile kazan sıcaklığı belirli dereceye çıkartılır ve kömür beslemesi başlar. Belirli bir sıcaklıkta doğalgaz yakıcıları kapatılabilir.

Akışkanlığı sağlayan yatak malzemeleri; kül, yakıt, kireç ve kumdan oluşur. Kazandaki yatak malzemeleri alttan ve yanlardan verilen hava ile akışkanlaştırılır. Alttan verilen hava esas olarak akışkanlığı, yanlardan verilen hava ise yanmayı sağlar. Kazanın tabanında akışkanlığı sağlayan basınçlı hava nozulları vardır. Bu amaçla büyük güçlü fanlar kullanılır. Yanmanın verimini, kazana yanlardan verilen hava belirler. Yanlardan verilen havaya yanma havası da denir.

Akışkan hava içindeki yanmayan büyük tanecikli parçalar toplama sistemi (siklon) ile kazana geri döndürülür. Böylece sirkülasyon sağlanır ve yanmanın verimi artırılır. Hava + yakıt + kül + oluşan gazlar, ısısının bir kısmını su borularında ve ısıtıcılarda

kaybederek, siklondan ikinci tarafa geçer. Buradaki ısıtıcılarda enerjisini büyük oranda verir ve filtreden geçerek bacadan atılır [18].

Akışkan yataklı kazan teknolojisinin, katı yakıtların yakılmasıyla buhar üretilmesinde belirgin avantajları bulunmaktadır. Bu sistemlerin anahtar noktası, yakıt esnekliği ve düşük emisyonlardır. Bu özelliklerin getirdiği avantajlar, yıllar içinde bu teknolojinin geliştirilmesi ve uygulamaya geçişine büyük bir hız kazandırmıştır [10].



Şekil 2. 1 Akışkan yataklı kazan teknolojisi [18]

Akışkan yataklı kazanların tercih edilmesine bir sebep de düşük maliyetli çok çeşitli yakıtların kullanılabilmesidir. Örnek olarak kömür, linyit, petrol atıkları kullanılabilir. Düşük kalorili (<1500 kcal/kg) , yüksek nemli (>55%) ve yüksek kül oranına sahip (>60%) yakıtlar yakılabilir. Bu esneklik, ekonomik olarak en ucuz maliyetli yakıtları kullanabilme şansı sağlar. Bu durum, üretilen elektriğin birim maliyetini büyük oranda düşüren

önemli bir etkidir. Pülverize kazanlara göre %8-%15 arasında düşük maliyetli elektrik üretilir.

Kömür için dizayn edilen bir santralde linyit ya da petrol ürünler kullanabilir. Bu durum pülverize santrallere göre büyük üstünlük sağlar. Edinilen deneyimler göstermiştir ki, akışkan yataklı kazanların işletme ve bakım maliyeti pülverize kazanlara göre daha düşüktür [18].

2.1.2 Akışkan Yatakta Yakmanın Genel Özellikleri

Bütün yakma teknolojileri, bir şekilde yakıt ve havanın karışmasını sağlayarak, yakıtın yapısındaki kimyasal enerjinin kullanılabilir enerjiye çevrilmesini sağlamaktadır. Akışkan yataklı kazanların, katı yakıt, özellikle de kömür yakma işleminde kullanılması sebebiyle, öncelikle, yaygın olan diğer kömür yakma teknolojilerinin genel özelliklerinin verilmesi, daha sonrada CFB teknolojisinin farklılıklarının ortaya konması uygun olacaktır.

Pülverize kömür teknolojisi, mikron boyutunda kömürün yüksek sıcaklıkta yakılmasını gerektirir. Kömür parçacıklarının yanma odasına geniş ölçüde yayıldığı bu sistemlerde, brülörlerin bulunduğu bölgede sıcaklık 1600°C'ye kadar ulaşır. Parçacıkların boyutu çok küçük olduğundan, kazan içinde kalma süreleri yanma gazlarınıninkine çok yakındır.

Izgaralı kazanlarda ise parçacık boyutu pülverize kazanlara göre epeyce yüksektir (25-30 mm). Kömür parçacıkları hareketli ızgaranın üstünde havanın ve yanma gazlarının içinden aktığı sabit bir yatak oluşturur. Sıcaklıkların 1600°C'yi aştığı bu sistemlerde yakıtın ocak içinde kaldığı süre ızgaranın hızına bağlıdır.

Akışkan yatakta yakma teknolojisinde parçacık boyutu bu iki sistemdeki parçacık boyutunun ortasına düşmektedir. Genel olarak 12 mm'den küçük boyuta kırılan kömür, yatak malzemesi içindeki oranı yaklaşık %2 olacak şekilde beslenerek, yukarı doğru akan hava sayesinde akışkanlaşan yatak malzemesi içinde tutuşarak yanmaya başlar. Yatak malzemesi, yakıtın külü, SO₂ gazının tutulması için yatak bölgesine beslenen kireçtaşı, kalsiyum sülfat ve bazen de kumdan oluşmaktadır. Yataktaki katıların sıcaklığı 750-900°C aralığında olurken, hava ve kömür besleme hızı ayarlanarak gereksinim duyulan ısı miktarının elde edilmesinde süreklilik sağlanır.

Kömürün sistemde kalma süresinin uzun olması ve yüksek hızlı kütle transferi sayesinde akışkan yataklı yakıcılarda kömür ya da diğer katı yakıtlar, konvansiyonel yakma proseslerinden çok daha düşük sıcaklıklarda verimli olarak yakılabilirler.

Yakıt parçacıkları yandıkça boyutları küçülür ve havanın kaldırma kuvvetinin ağırlıklarını yeneceği boyuta ulaştıklarında, hava tarafından taşınarak yanma odasının dışına çıkarlar. Uçucu kül diye adlandırılan bu parçacıklar çıkışta tutularak yatağa geri gönderilebilir ve bu durumda yanmasını tamamlamamış parçacıklar için yeni yanma süresi sağlanmış olur. Bu sebeplerden dolayı, akışkan yatakta kömürün karbon yanma verimi %98'in üstünde gerçekleşir [11].

CFB'YE KARŞI PC TEKNOLOJİSİNİN KIYASLANMASI

Dizayn yapanlar ve enerji santrali operatörleri PC yakma kazanı dizaynı ve uygulamasında daha fazla deneyime sahiptirler. PC çevresinde CFB teknolojisini anlama ve ona uyum sağlama zaman gerektirir. CFB teknolojisi, yakıtın geniş aralıkta dizaynının yararlılığını (düşük kaliteden yüksek kaliteli yakıtlara), daha düşük emisyonları, yüksek bakım öğütücülerinin bertaraf edilmesini, düşük yardımcı yakıt desteğini ve düşük ömürlü çevrim maliyetini getirir. CFB'ye karşı PC kıyaslaması Çizelge 3. 1'de verilmiştir.

Bir CFB'nin yanma sıcaklığı [840-990°C (1550-1650F)], PC'den çok daha düşüktür [1350-1500°C (2450-2750F)]; ocakta kireçtaşı püskürtmesiyle SO₂'yi tutma yetisine sahiptir ve daha düşük NO_x oluşumuna neden olur. CFB yanma sıcaklığı düşük olsa bile, PC'yle kıyaslandığında, CFB'deki yanma verimliliğini etkileyen yakıt ikamet zamanı PC'den daha yüksektir. 75 mikrondan daha düşük %70 kömür ufalayan PC öğütücüleri önemli bakım giderleri gerektirirler. Bu maliyetler CFB'de hemen hemen en aza indirilmişlerdir, çünkü kömür 12 x 6 mm (0.5 x 0.25 in)'ye öğütülmüştür. CFB kazan ekipmanı düşük akışlı gaz hızı oranı için dizayn edilmiş olsa bile, CFB ocağının ısı transfer verimliliği neredeyse PC'deki ocak düzeneğinin iki katıdır. Bir CFB'de, yardımcı yakıt desteğine soğuk başlangıçlar için ihtiyaç duyulur ve PC'de %40-60 iken CFB'de %25'ten az uygulanır. Önemli açılardan birisi, PC'ye kıyasla SO₂ ve NO_x kirleticilerinin çok düşük seviyelerini CFB kazanlarının serbest bırakmasıdır [7, 15].

Çizelge 3. 1 Bir PC yakma kazanına kıyasla bir CFB kazanının faydaları [7]

Tanım	CFB Kazanı	PC Yakma Kazanı	CFB'nin Yararları
Yakıt boyutu	12-6 mm (0.5-0.25 in.)x0	>70%<75 microns	Öğütme maliyeti azaltılmıştır
Yakıt çeşitliliği	%75'e kadar	%60'a kadar	Geniş çeşitlilikte kullanılabilir
Yüksek sülfür yakıtları	Kireçtaşı püskürtmesi	FGD santral içeriği	Daha ucuz SO ₂ taşıma sistemi
Yardımcı yakıt desteği (petrol ya da gaz)	%20-30'a kadar	%60'a kadar	Daha az petrol/gaz tüketimi
Yardımcı güç tüketimi	Kısmen yüksek	Düşük	Eğer PC'de FGD kullanılırsa, CFB'nin ki daha düşük olur
Emisyonlar			
SO ₂ , ppm	<200	<200 FGD ile	Uygulamada düşük emisyonlar, Daha ucuz
NO _x , ppm	<100	<100 SCR ile	Sistem SCR gerektirmez
Kazan verimliliği, %	Aynı	Aynı	Fark yok
B&O maliyeti	Düşük	Yüksek	Daha az hareketli ekipman nedeniyle daha düşük
Sermaye maliyeti	%5-10 daha yüksek	%5-10 daha düşük FGD&SCR'siz	---
	%8-15 daha düşük	%8-15 daha yüksek FGD&SCR'li	---

3.1 Akışkan Yatak Teknolojisinin Gelişimi

'Akışkan yatak' temeli, en uygun, bütünleşmiş çevresel korumayı kapsar. Hareketsiz akışkan yataklar ('gaz verilen yataklar') yaklaşık olarak limitsiz bir reaksiyon zamanı özelliğini taşır. Sirkülasyonlu akışkan yatak sistemleri, tek partikül yanmasının sıcaklık konsantrasyon geçmişinin iyi bir kontrolünün yapılmasına ve yanma ve ısı transferinin ayırımına izin verir.

1922'de, akışkan yatak tekniğinin gelişimi linyitin gazlaşmasıyla alakalı ünlü Winkler patenti ile başlamıştır. Ama bu teknik enerji santrali birimlerinde ticarileştirilene kadar uzun bir faz olmuştur [13, 14].

1930'lu yıllar ve 1940'ların başında geniş çaplı araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda akışkan yatakların katı-gaz teması gerektiren uygulamalardaki avantajlarının saptanması, ilk olarak benzin ve diğer petrol bazlı ürünlerin üretimi için kullanılmasını sağlamıştır. Bugün akışkan yataklar dünya çapında birçok endüstride çeşitli prosesler için kullanılmaktadır.

1960'ların başlarında, termik santrallerden kaynaklanan kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksit (NO_x) emisyonlarının azaltılması gerektiği ve akışkan yatakta yakma prosesinin bu emisyonları azaltacağı düşüncesi, akışkan yatak teknolojisini baz alarak kömür yakacak kazanların geliştirilmesi çalışmalarını başlatmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1970'li yıllarda kabarcıklı akışkan yataklı kazan teknolojisi geliştirildikten sonra 1980'lerde uygulamalar dolaşımli akışkan yataklı kazanlara yönelmiş ve o tarihlerden bugüne sayıları hızla artan başarılı santral uygulamaları gerçekleştirilmiştir. 1970'ten bu yana, CFB tekniği alüminyum ve kağıt endüstrisinde kullanılmıştır [10, 11].

Almanya'da ilk enerji santrali uygulaması Stadtwerke Düsseldorf Flingern Enerji Santrali'nde bir 30 MW, gaz verilen akışkan yatakta yakma sisteminin yenilenmesidir (1980).

Gaz verilen yataklarla paralel, yatak malzemesinin bir harici sirkülasyon ile sirkülasyonlu akışkan yatak teknolojisi ABD, Finlandiya ve Almanya'da geliştirilmiştir.

Bir sirkülasyonlu akışkan yatak yakma sistemi ile ticari santraller ilk olarak ABD’de (66 MW ısı bir kapasiteyle Minnesota Santral Üniversitesi, 1979), Finlandiya’da (65 MW bir kapasiteyle Kauttua Santrali, 1981), Almanya’da (87 MW ile Lünen Santrali, 1982) ve Avusturya’da (55 MW ile Frantschach Santrali, 1984) yapılmıştır [13].

Akışkan yataklı yakma teknolojileri, sanayide sıcak su, buhar, kurutma amaçlı sıcak gaz (örnek olarak; çimento sektöründe hammadde kurutma) elde etmede kullanıldığı gibi termik santrallerde de elektrik enerjisi üretmekte kullanılmaktadır [10, 11].

CFB’nin yeni tekniği 1985-1995 yılları arasında hızlı bir ilerleme göstermiştir. Teknoloji şimdi yaygın pülverize yakıt yakma sistemleri için olgun ve rekabetçi olarak tanımlanabilir.

Günümüzde, atmosferik sirkülasyonlu akışkan yatak santralleri dünya çapında toplam kurulu kapasitenin yaklaşık üçte ikisini temsil etmektedir.

3.2 Teknoloji Değerlendirmesi (1997)

Akışkan yatak yakmanın yanında ya da karşıtı bir düşünce detaylı konum planlaması için asıl sistem seçeneklerini değerlendirmek zorundadır (Şekil 3. 1). Bu seçenekler diğer durumları değiştiren belirli bir durumda avantajlar ya da dezavantajlar olarak yargılanabilirler [13].

Küçültülmüş ısınma yüzeyleri ve konstrüksiyon, düşük kısmi yük

Yüksek ısı depolama kapasitesi

Uzun bekleme sonrası hızlı 'ılık' başlangıç

Problem yakıtların yakılması için yüksek eylemsiz malzeme/yakıt oranı olasılığı

Güvenli ateşleme koruması

Emisyonların iyi kontrolü

Yanma kalıntılarıyla tehlikeli elementlerin emilimi

Yanma ve ısı transfer olasılığının ayırımı

CFB

Birim boyutu hala sınırlı

Uzun başlangıç fazı

Sıvılaştırma için ilave elektrik tüketimi

Aşınma tehlikesi

Partikül boyut dağılımı kontrolü ihtiyacı

Yanma kalıntılarının yüksek kütle akışı

Tepkisiz karbon/emici madde içeriği kontrol ihtiyacı

Şekil 3. 1 CFB'nin dizayn parametreleri [13]

3.3 Akışkan Yatak Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Akışkan yatakta yakma teknolojisinin ilk geliştirilme sebebi olan kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarının düşürülmesi, yatak içine kireçtaşı ilavesi ile kükürt dioksitin tutulması ve düşük yanma sıcaklıklarında azot oksit oluşumunun düşük olması sebebiyle, ilave gaz arıtma tesisi gerektirmeden sağlanabilmiştir. Daha sonra yapılan

alışmalar, bu teknolojinin pratikte diğerk teknolojilerle değerlendirilmesi mümkün olmayan düşük kaliteli yakıtları yakabileceğini göstermiştir. Ayrıca, akışkan yataklı kazanlar, kaynağa göre büyük farklılıklar gösteren kömür bileşimindeki değişikliklere karşı da daha esnektir. Özellikle düşük yanma sıcaklığı ve yatak içinde gerçekleşen mkemmek katı-gaz karışımı, akışkan yataklı kazanlara birçok avantaj sağlamaktadır.

3.3.1 Yüksek Yanma Verimi ve Yüksek Isı Transfer Katsayısı

Akışkan yataklı kazanlarda mkemmek katı-gaz karışımının sağlanması ve parçacıkların yatakta kalış süresinin uzunluğu nedeniyle yüksek yanma verimi elde edilmektedir. Yanma verimi kazanı terk eden parçacıkların tutularak sisteme geri gönderilmesi ile daha da artırılır. Bunlara ilaveten yatak içerisinde ısı transfer katsayısı çok yüksek olduğu için, ısı transfer yüzey alanları ve dolayısıyla kazan boyutları konvansiyonel kazanlara göre daha küçüktür ve daha az yatırım maliyeti gerektirir.

3.3.2 Yakıt Hazırlama Kolaylığı

İri tane boyutu nedeniyle pülverize kömür tesislerine nazaran daha düşük yatırım maliyetine sahip yakıt hazırlama tesisleri kurulmaktadır. Özellikle yüksek kll kömürlerde, pülverize yakıt hazırlama sistemleri sıklıkla bakım gerektirmektedir. Akışkan yataklı kazanlar için 12 mm'nin altına kırılan yakıtı hazırlamak daha kolay ve daha ucuzdur.

3.3.3 Yüksek Emre Amadelik

Özellikle erime ve yapışma ihtimali olan kl erime noktası düşük yakıtların akışkan yataklı kazanlarda yakılması durumunda, erime noktasının altında sıcaklıklarda çalışıldığı için ısı transfer yüzeyine kl yapışması sonucu oluşacak birçok kazan işletme problemine rastlanmaz. Dolayısıyla, akışkan yataklı kazanlarda %90-95 düzeyinde emre amadelik söz konusudur.

3.3.4 Yakıt Esnekliği

Yatak malzemesinin yüksek ısı kapasitesi sayesinde, yakıtın yatağa girdiğinde anında ısınması ve parçacıklara yanma için uzun süre sağlanması, akışkan yataklı kazanlarda

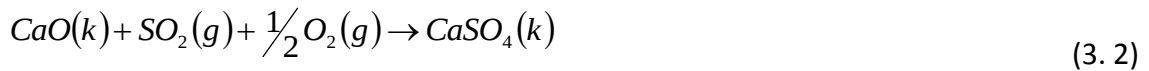
düşük ısı değeri yakıtların bile rahatlıkla yakılabilmesini sağlamaktadır. Aynı sebeplerden akışkan yataklı kazanlar, kül ve kükürtçe zengin yakıtların değerlendirilmesine ve düşük kaliteli ikinci yakıtlarla beraber yakma işlemine uygundur. Ayrıca akışkan yataklı kazanlar, geniş bir yelpazedeki yakıt bileşimini yakabilecek şekilde tasarlanabilir. Ancak, bu sistemlerde tasarım değerlerini zorlayan bir yakıtın kullanılmasının önünde sınırlar olduğu unutulmamalıdır.

3.3.5 Düşük NO_x ve SO₂ Emisyonları

Kükürt dioksit, özellikle asit yağmurlarına yol açması, dolayısıyla havada ve suda asit birikimi oluşturması sebebiyle önemle üzerinde durulan emisyonlardan biridir. Yanma sırasında, yakıtın bünyesinde bulunan kükürdün oksitlenmesiyle kükürt dioksit oluşurken, akışkan yataklı kazanlarda yatak bölgesine kireçtaşı beslenerek bu kükürt dioksit tutulur. Kireçtaşı yatağa beslendiği anda sıcaklığın etkisiyle endotermik kalsinasyon reaksiyonu gerçekleşir:



Kalsiyum oksit oluştuğunda ise kükürt dioksit ve oksijen gazları ile reaksiyona girerek katı fazda kalsiyum sülfat oluşturur:



Dolayısıyla, oluşan kükürt dioksit katı faza geçerek, yatak külü ve uçucu kül olarak sistem dışına taşınacak katı atık haline gelir. Kalsiyum oksitten, kalsiyum sülfat oluşumunun gerçekleştiği yukarıdaki reaksiyonla ilgili olarak; kalsiyum sülfatın, akışkan yataklı kazanlara özgü düşük çalışma sıcaklıklarında (750-900°C) kimyasal olarak kararlı olması sebebiyle, katı fazda ve bozunmadan (kükürt dioksiti geri salmadan) kazandan dışarı alınabildiği unutulmamalıdır.

Azot oksitler, çevreyle etkileşimleri açısından kükürt oksitlerden çok daha geniş kapsamda etkileri olan gazlardır. Tüm çeşitlerinin tanımlanması için NO_x formülü ile ifade edilen azot oksitlerin, asit yağmuru, yer seviyesinde ozon oluşumu, atmosferin üst seviyelerinde ozon tabakasının incilmesi, sera gazı etkisi ve fotokimyasal sis

oluşumunda rol almaları sebebiyle çevre üzerinde belirgin etkileri vardır. Bu gazların yanma sonucunda oluşması için iki kaynak vardır: yakıttaki azot ve yanma için beslenen havadaki atmosferik azot. Atmosferik azotun özellikle 1200°C ve üstündeki sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesinin sonucunda oluşan ısı-azot oksit, çok daha düşük işletme sıcaklığına sahip akışkan yataklı kazanlarda önemli bir azot oksit kaynağı sayılamaz. Yakıt kaynaklı azot oksitlerin oluşumu ise, değişik mekanizmaların beraber ilerlediği reaksiyonlarla gerçekleşir. Akışkan yataklı yakıcılarda azot oksit emisyonlarının azaltılması için kademeli hava beslemesi yapılarak, sisteme verilen havanın bir kısmı alttan, geri kalanı da yatak üstünde çeşitli noktalardan beslenir. Bu uygulama ile indirgeyici atmosfer oluşturulması, azotun oksitlenerek azot okside dönüşmesini engeller.

Sonuç olarak düşük yanma sıcaklığı (750-900°C) ve kademeli hava beslemesi sayesinde düşük miktarda ısı ve yakıt kaynaklı NO_x oluşumu, ve yakıcının içinde kireçtaşı ile SO₂'nin tutulması sayesinde, ilave baca gazı arıtma tesisleri olmaksızın akışkan yataklı kazanlarda çevre sınırların altında NO_x ve SO₂ emisyonları gerçekleşir.

3.3.6 Kullanılabilir Kül

Akışkan yataklı kazanlarda yakma işlemi sonucunda elde edilen kuru ve depolanabilir külün değişik kullanım alanları bulunmakta, yeni kullanım sahaları için de araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Tarıma elverişli toprak eldesi, atık/çamur stabilizasyonu, yol yapımında taban malzemesi, atık alanlarının kapatılması gibi işlemlerde akışkan yataklı kazanların külleri kullanılabilir. Kazanlara yakıt sağlayan açık maden ocaklarının geri kazanımında dolgu malzemesi olarak kullanılan bu külün, çimento tesislerinde üretime hammadde olarak aktarılmasıyla da maliyetlerde tasarruf sağlanır [10, 11].

Enerji temini için akışkan yatak yakma sistemlerinin aşağıda verilen seçenekleri genel olarak avantajlar olarak onaylanmıştır:

- CFB sistemleri azımsanmayacak bir ısı depolama kapasitesini bünyesinde bulundurur. Bu ısıtmayı sigortalar ve hızlı bir yük artışına izin verir. Isıtma olmadan sıcak bir başlangıç, beklemeden saatler sonra bile mümkündür.

- Yakıt partiküllerinin azımsanmayacak kadar uzun kalma süresine sahip olmakla, yanma reaksiyonu, katılmış akış yanma sistemleri için kıyaslamada düzenli ve daha iyi kontrollü olabilir ('reaksiyon mühendisliği').
- Yanma odasında bir yakıt/ısı taşıma oranının 1:20 olması yakıt karakteristiğinin etkisini azaltır. Özellikle, tölere edilebilir kül içeriğinin limitsiz olmasının yanma kadar uzun var olması kendi kendini devam ettirir.
- Ağır malzeme, yanma odasında bütün bir reaksiyonda katı faza geçmeye neden olan toksik malzemelerin emme potansiyeli için seçilebilir.
- Yanma ve ısı aktarımı hem zaman hem uzayda ayrıştırılabilir ve böylece ayrı olarak optimize edilebilir.
- % 20'ye düşen düşük bölgesel yük etkilenebilir.
- Sistematik olarak yüksek ısı geçiş parametreleri gerçekte daha küçük ısı transfer yüzeylerine izin verir. Bu, santralin daha düzenli ve mümkün olduğunca ucuz olmasını betimler.

Akışkan yatak teknolojisinin aşağıdaki seçenekleri genel olarak dezavantajlar olarak değerlendirilmiştir:

- Ağır malzemenin akışkanlaştırma, sirkülasyon ve ayrımı daha yüksek bir elektrik tüketimine neden olur.
- Isı depolaması olarak ağır malzeme ve seramik kaplama yığınları uzun başlangıç sürelerine ihtiyaç duyar.
- Buhar üretim tüplerinin yanma yüzünün ortasında çalışan ağır malzemenin kalite ve partikül boyut dağılımı ayrı ayrı kontrol edilmek zorundadır. Yetersiz ağır malzeme emici maddenin yüksek tüketimine (Ca/S oranı) ve filtre tortusunda yanmamış karbonun yüksek yüzdesine neden olabilir.
- Düşünülebilir katı kütle akışı, ortalama partikül boyutunun yeterince azalmasıyla ya da yapıcı karşı tedbirlerle verimli olarak azalmadıkça, gaz verilen akışkan yatak sistemlerinde ya da seramik kaplama ve metalik

tüp duvarları arasındaki geçiş bölgesinde daldırılan tüp ısıtıcıları üzerinde aşınmalara neden olabilir.

- Yanma tortularının faydası ağır malzemelerin, emici maddelerin ve yakıt külünün karışımıyla komplike edilir. Karbon içeriği, serbest kireç ve kalsiyum sülfat gibi bileşenler kontrol edilmelidir.
- Pülverize yakıt yanma kıyaslamasına göre, CFB yanma birimleri şimdiye kadar orta boyuta kadar küçük boyutlarda fark edilmiştir (geniş birim boyutlarının gelişme eğilimi teknik olmayan durumlara bağlıdır).

CFB ve pülverize yakıt yakma sistemleri arasında ekonomik kıyaslama çoğu durumda öncekiler için avantajları gösterir [13].

3.4 Problemlerin Çözülmesi ve Gelecekteki Gelişme için Görevler

İlk ticari santrallerin operatörleri kurucular tarafından öngörülemeyen problemlerin büyük bir çoğunluğuyla genellikle yüz yüze gelmişlerdir. Çoğunlukla, bununla birlikte, bu problemler yeni akışkan yatak yakma sistemlerine bütünleştirilmiş standart enerji santralinin kurulmasından doğmuştur. Çalışma beklenenden daha az arızaya neden olmuştur.

Aşağıdaki sonuçlar uygulama dayanıklılığının randımanını artırmak için girişimleri verir:

- Bölgesel yeni konstrüksiyon ve çok yüksek katı içerik ile alışılmamış yanma odası atmosferine seramik kaplama adaptasyonu. 1995 VGB prensibinde; yenileme, bakım ve tamir için makul aralıklarla ve garanti zamanlarındaki tartışmalardan, optimal kaplama malzemeleri ve konstrüksiyonlar üzerine tartışmalardan (tuğla işi, döküm, fayanslar) özenle hazırlanmıştır (VGB Açıklama Cetveli, 1996).
- Seramik kaplamadan metalik tüp duvarlarına geçişin daha iyi konstrüksiyonu ve aşınmayı engellemek için kaplanması.
- Büyük yatak küllerinin aşındırmasıyla ağır malzeme sayımının durağanlığı ve tekrar besleme.
- Başlangıç yakıcıları olsun olmasın açık ve kapalı rüzgar kutuları için hava dağıtım kaynaklarının ve nozüllerin konstrüksiyonu. Bu bileşenlerin

kaplanması, diğ er bir 1995 VGB prensibinde rüzgar kutusuna (geri eleme) yatak malzemesinin geçişi ve nozüllerin aşınmasını önlemek için özenle hazırlanmıştır (VGB Açıklama Cetveli, 1995).

- Başlangıçta idare etmeye uygun olmayan ve tamamen büyük k l yatıştıran k l alma araçlarının gelişimi.
- N₂O oluşumunun kontrolü ve denetlenmesi. Eskiden ameliyatta kullanılan ve düşük konsantrasyonlarda zararsız olan bu gaz bileşeni küresel ozon tabakasına zarar verici olarak hesaba katılır. Bu emisyon problemini kapsayan, 1994 Teknik Bilimsel Raporda VGB tarafından yayınlanmıştır (VGB Teknik Bilimsel Raporu, 1994).

VGB dahilindeki deneyim ve katılım çalışmalarının değişimindeki bu başarılardan ayrı olarak, akışkan yatak yakma sistemlerinin kısa ve orta vadeli gelişimi için aşağıdaki R+D görevlendirmeleri düşünülmüştür ve araştırma projelerine sponsor olan VGB tarafından (kısmen) açıklanmıştır:

- Resirkülasyon siklonlarının çökelme verimliliği.
- Kızdırıcı sıcaklık seviyesinde klorid korozyon mekanizmasının anlaşılması ve  nlenmesi.
- Geniş enine kesitte yüksek bir katı y k ile gaz akışının sıvı dinamikleri.
- Basınçlı sirkülasyonlu akışkan yatak yakma sistemleri üzerinde yoğunlaşan kombine çevrimli enerji santralleri için 1000 C'ye kadar güvenli bir yüksek sıcaklık gaz temizleme tesisatı.
- İlerideki çeşitli yakıtlar için zor yakıt gereksinimi için ( rneğin hasat ve üretim tortuları, atıklar) akışkan yatak yakma adaptasyonu.

Sonuc olarak, akışkan yatak yakma sistemlerinin geleceği yalnızca basınçlı akışkan yatak yakmanın tanıtımına bağlı değildir.

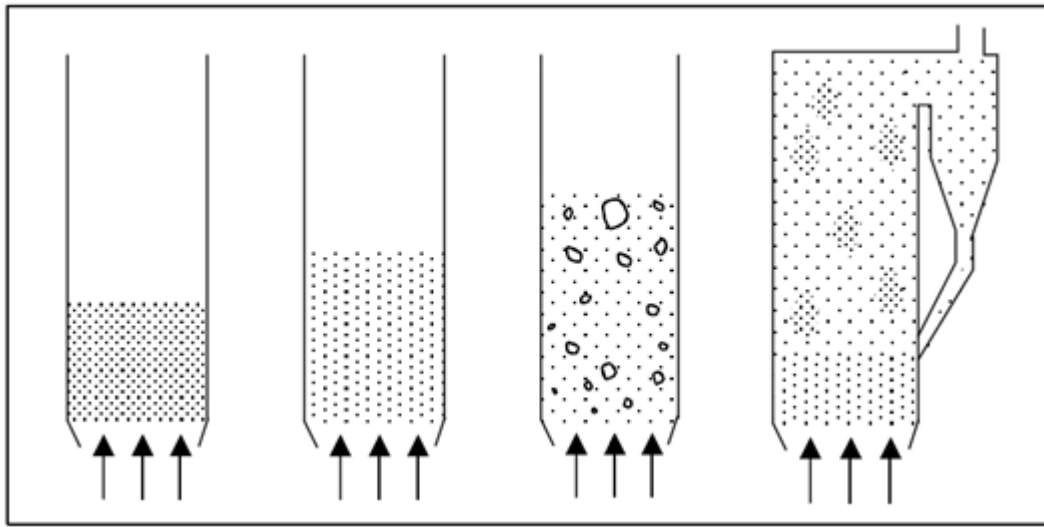
Atıkların geniş bir görüntüsünden faydalanmak için CFB'nin yeterliliği gaz yanma sistemleri için dahi teknolojiyi ekonomik bir rakip yapar.

Santralin bir ekonomik uygulamasıyla kömür faydalanması boyunca daha yüksek bütün verimler için rekabetinin uzun çalışmalarda kombine çevrim santrallerinin ayrıcalıklı olarak karar verileceği umulur. Gaz verilen yatak basınçlı sistemleri, fakat henüz sirkülasyonlu akışkan yatak sistemleri değil, ticari seviyeye ulaşmıştır. İleriki gelişme, çevre koruma gereksinimi ve ekonomik elektrik üretim gereksinimi arasındaki etkileşimin daha fazla sorun olacağını ve yeni teknolojinin teknik dayanıklılığının daha az sorun olacağını gösteriyor.

Akışkan yatak yakma geleceğinin aslen teknik standart erişimin tehlikesiz olarak yatırım maliyetini düşüren nedene bağlı olduğunu fark edebiliriz [13].

AKIŞKAN YATAKLI KAZANLARIN SINIFLANDIRILMASI

Akışkan yataklı kazanlar, akışkanlaştırma koşullarına bağlı olarak kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yataklı kazanlar olarak ikiye ayrılırlar. Şekil 4. 1’de dolaşimli ve kabarcıklı akışkan yatakların şematik şekilleri verilmiştir.



Şekil 4. 1 Sabit yatak, minimum akışkanlaşma konumu, kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yatak [10]

4.1 Kabarcıklı Akışkan Yataklı Kazanlar

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, yakıcıya beslenen, kırıcılardan geçirilmiş yakıt ve kireçtaşı parçacıkları, alttaki dağıtıcı plakadan geçerek yanma odasına giren ve yukarı doğru akmakta olan hava akımında asılı kalırlar. Minimum akışkanlaşma koşullarını sağlayan gaz debisinin üstüne çıktıkça, yatak içerisinde kabarcıklar ortaya çıkmaya

başlar. Kabarcıkların, taneciklerin yatak içerisinde dolaşımını sağlaması ile katı taneciklerin kazan içerisinde mükemmel yakın bir şekilde karışması mümkün olur. Bu kazanlarda katı-gaz karışımının gerçekleştiği yatak bölgesi ile yukarıda bulunan serbest bölge arasında kalan yatak yüzeyi oldukça belirgindir. Yanma sonucu oluşan uçucu kül, gazla beraber sürüklenir ve nispeten daha iri parçalar siklonda, ince taneler de daha ileride bir elektrostatik ya da torba filtrede tutulur. Siklonda tutulan uçucu külün bir kısmının, gerekli görüldüğünde yatak bölgesine tekrar beslenmesiyle, yanma ve kükürt tutma verimlerinin artması sağlanır.

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, kazan borularının bir bölümünün yanmanın gerçekleştiği yatak bölgesinin içine yerleştirilmesiyle 800-900°C civarında sabit sıcaklık sağlanır. Kazanın diğer bölümlerinde uygun yerlere de baca gazlarının ısısından maksimum seviyede istifade edilecek şekilde kazan boruları yerleştirilir. Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlar özellikle yüksek kapasitelerde uygulanmazken, bu kapasitelerde dolaşımli sistemler tercih edilmektedir.

4.2 Dolaşımli Akışkan Yataklı Kazanlar

Dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda, küçük tanecik boyutu ve yüksek gaz hızları sebebiyle yatak ve serbest bölge ayrımı belirgin bir şekilde yapılamaz. Bir başka deyişle, gaz hızları kabarcıklı sistemlerdekinin (1-2 m/s) 2-3 katı daha fazla olduğu için, parçacıklar rahatlıkla sürüklenerek, tanecik yoğun ve seyrek bölgeleri ayıran belirli bir yüzeyin oluşmasını engeller. Bu sistemlerde, yanma havasının kademeli olarak beslenmesiyle yanmanın tüm kazan boyunca sürmesi sağlanır. En alttan giren hava miktarı toplam havanın %60-75'ini oluştururken, geri kalan hava daha yukarı seviyelerden ikincil hava olarak sisteme verilir. Yanma 800-900°C'de gerçekleşirken, ince tanecikler (<450 mikron) 4-6 m/s yanma gazı hızıyla yakıcının dışına taşınırlar. Bu parçacıkların büyük çoğunluğu yanma odası çıkışına yerleştirilen siklon tarafından tutularak yanma odasına geri gönderilir. Böylece dolaşım gerçekleşmiş olur. Parçacık dolaşımı, parçacıkların ısısından maksimum yararlanarak yakıcı duvarlarına verimli ısı transferini ve kazanı terk eden parçacıkların geri dönmesi sonucunda kömüre yanma, kireçtaşına da kükürt tutması için yakıcı içinde daha uzun kalma süresini sağlamış olur. Ayrıca, geri döndürülen parçacık debisinin yanma gazı debisinden çok daha yüksek

olması, yanma odası sıcaklığının sabit kalmasını sağlar. Yatağın içine yerleştirilmiş kazan boruları bulunmayan bu sistemlerde, borular yanma odasının duvarlarına ve gaz yolu üzerine yerleştirilir. Kazan duvarlarındaki borular gereken ısıyı sistemden alırken, sıcaklığın belirtilen düzeyde kalması için dengeyi sağlarlar. Dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda kullanılan kireçtaşı boyutu daha küçük olduğu için, birim ağırlık başına kireçtaşı yüzey alanının artması, kükürt dioksit-kireçtaşı reaksiyonunun da hızını artırır. Bu durum, kömürün yapısında bulunan birim kükürt karşılığında sisteme beslenmesi gereken kireçtaşı miktarını düşürmektedir. Bir başka deyişle, Ca/S molar oranı, teorik limit olan 1'e daha yakındır ki, bu değere en çok yaklaşan akışkan yatak tipi, dolaşımli sistemlerdir.

Akışkan yataklı kazanların teknolojisi gereği, hem kabarcıklı hem de dolaşımli sistemlerde yakıt bünyesindeki kükürdün çok büyük bir bölümü yatakta kireçtaşı ile reaksiyona girerek tutulmuş olduğundan, baca gazlarının kükürt içeriği düşüktür. Yatakta oluşan gazların kükürttten arındırılmış olması, düşük sıcaklıkta korozyon tehlikesini ortadan kaldırarak, kazan çıkışında baca gazı sıcaklığının diğer tip kazanlara göre daha düşük seçilebilmesini, bu da baca gazı ısısından en yüksek oranda yararlanılabilmesini sağlar. Bu durum akışkan yataklı kazanların verimini artırır.

Dolaşımli sistemlerin bir başka avantajı da, daha yüksek miktarda kademeli hava beslemesi sayesinde yakıt kaynaklı azot oksit oluşumunun kabarcıklı sistemlere göre daha az oluşudur. Yanma için gerekli havanın tamamının alttan beslenmeyişi, yatak bölgesinde indirgeyici atmosfer oluşmasını ve yakıt bazlı azotun atmosferik azota indirgenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, yüksek ısıdan kaynaklanan azot oksit oluşumunun da çok düşük olduğu dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda, konvansiyonel sistemlerde bulunan herhangi ek bir tesise gereksinim olmaksızın 200 mg/Nm³'ten daha az azot oksit emisyonları elde edilebilmektedir [10].

4.3 Basınçlı Akışkan Yataklı Kazanlar

Basınçlı akışkan yataklı kazanlarda kömür, 5 atm ile 20 atm aralığında bir basınç altında yandığı için buhar üretiminin yanı sıra, gaz türbinlerine beslenebilecek basınca sahip yanma gazı elde edilir. Proses buharı ve buhar türbinlerinden, elektrik eldesine ek olarak, gaz türbininden de elektrik elde ediliyor olması basınçlı sistemleri atmosferik

alışan akışkan yatalara göre daha verimli kılar. Ancak basınçlı sistemlerde sıcak gazın temizlenmesi çok önemli bir noktadır ki, eğer kazanı terk eden sıcak gaz, siklonlar ve filtreler aracılığıyla parçacıklardan iyice arındırılmazsa ve korozyona yol açan gazlar bulunduruyorsa, gaz türbininin kanatlarının zarar görmesi kaçınılmazdır. Bu sebeple, sıcak gazların temizlenmesi üzerine yapılan araştırmalar, verimi yüksek bu tesisleri sorunsuzca uygulanabilir kılmak adına büyük önem teşkil etmektedir. Basınç altında reaksiyonların gerçekleşiyor olması yanmaya olumlu etki ederken kükürt tutma verimini de arttırır. Hem kabarcıklı hem de dolaşımlı sistemler basınçlı olarak tasarlanabilse de daha yaygın olan kabarcıklı akışkan yatakların 100 MW_e kapasiteli basınçlı uygulamaları mevcuttur. Basınçlı dolaşımlı akışkan yataklar ise geliştirme amacıyla kurulmuş 130 MW_e gücünü bulan üniteler üzerinde yapılan çalışmalarla uygulamaya geçirilmeye çalışılmaktadır [11].

AKIŞKAN YATAK KULLANIMINA GEÇİŞTE ENERJİ MALİYETİ

Bir ülkenin enerji tüketimi; gelişim, hayat standardı, bilim ve teknikteki uygulamalarla yakından ilişkilidir. Ekonomik büyüme nedeniyle, yani endüstrileşme, teknolojik gelişme, nüfus ve kentleşmeden dolayı, enerji tüketimi son yıllarda hızla artmaktadır. Tüketim gelecekte de artmaya devam edecektir. Günümüzde, dünya elektriğinin yaklaşık %80'i kömür, doğalgaz gibi fosil yakıt yakan termik santrallerden elde edilmektedir.

Kömür dünya çapında en çok kullanılan fosil enerji kaynağıdır. Ancak, kömürün kalitesi bulunduğu bölgeye göre farklılık gösterir. Dünyada tüketilen kömürün yaklaşık %65'i elektrik üretimi için kullanılır. Kömür yakıtlı termik santraller dünya elektrik temininin %41'i için kullanılır ve çoğu ülke elektrik üretiminde eski pülverize kömür yakıtlı kazanları (25-40 yıllık) kullanır. Düşük kaliteli kömür bu kazanlarda tam ve verimli olarak yanamazlar ve fakir kömür kalitesi nedeniyle zamanla performansları kötüleşir. Bu yüzden, ısı verim oldukça düşüktür. Dahası, elektrik arz-talep dengesi çoğu ülkede birbirine çok yakındır. Termik santrallerdeki eski pülverize yakıt yakmalı sisteme bağlı olarak enerji kaybı ve ısı verimsizlik önemli miktarda bu dengeyi etkilemektedir. Bununla birlikte, elektrik üretimi için bu termik santrallerde fosil kömür kullanımı, ekosistemi ve insan sağlığını ciddi olarak tehdit eden asit yağmuru ve küresel ısınma gibi kritik çevresel problemlere neden olmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, her ülke için mevcut kömür yakıtlı termik santrallerin performans gelişimi önemli bir önceliktir. Böylece, eski pülverize kömür kazanlarının akışkan yatakta yakma ve gazlaştırma gibi daha yeni teknolojilerle

yenilenmesi; ekonomi, enerji politikası, yakıt rezervleri ve çevre ile ilgili kaygılardan dolayı çoğu ülkede önemli bir ihtiyaçtır. Örneğin; akışkan yatağın pülverizeye kıyasla yakıt esnekliği, düşük NO_x emisyonları, SO₂ emisyonlarının yerinde kontrolü, mükemmel ısı transferi, yüksek yanma verimliliği ve iyi sistem kullanılabilirliği gibi birçok avantajı vardır. CFB sistemleri PC'ye kıyasla daha yeni teknoloji olmasına rağmen, özellikle enerji üretimi için bu sistemlerin kullanımı dünya çapında hızla büyümektedir. Günümüzde, binden fazla sirkülasyonlu CFB sistemi 500 MW'a kadar kapasiteyle bütün dünyada uygulamadadır.

Aşağıda 200 MW kapasiteli bir termik santral için pülverize kazanın akışkan yataklı kazanla yenilenmesinin ekonomik modeli verilmiştir. Birçok parametre değişken alınarak geri ödeme süresi ve net bugünkü değerin değişimi incelenmiştir [16, 17].

$$C = (C_i + C_d + C_{om}) \times N + C_L \quad (5.1)$$

$$C_L = N_o \times L_f \times DP \times P_{el} \quad (5.2)$$

$$B = B_{el} + B_{fs} \quad (5.3)$$

$$B_{el} = 8760 \times N_L \times L_f \times P_{el} \quad (5.4)$$

$$N_L = N - N_o \quad (5.5)$$

$$B_{fs} = \frac{8760 \times N_o \times L_f \times P_f}{LHV} \times \left(\frac{1}{\eta_{tho}} - \frac{1}{\eta_{th}} \right) \quad (5.6)$$

$$PBP = \frac{C \text{ (maliyet)}}{B \text{ (gelir)}} \quad (5.7)$$

$$NPV = \sum_{t=0}^n [B_{(t)} - C_{(t)}] \times (1 + r)^{-t} \quad (5.8)$$

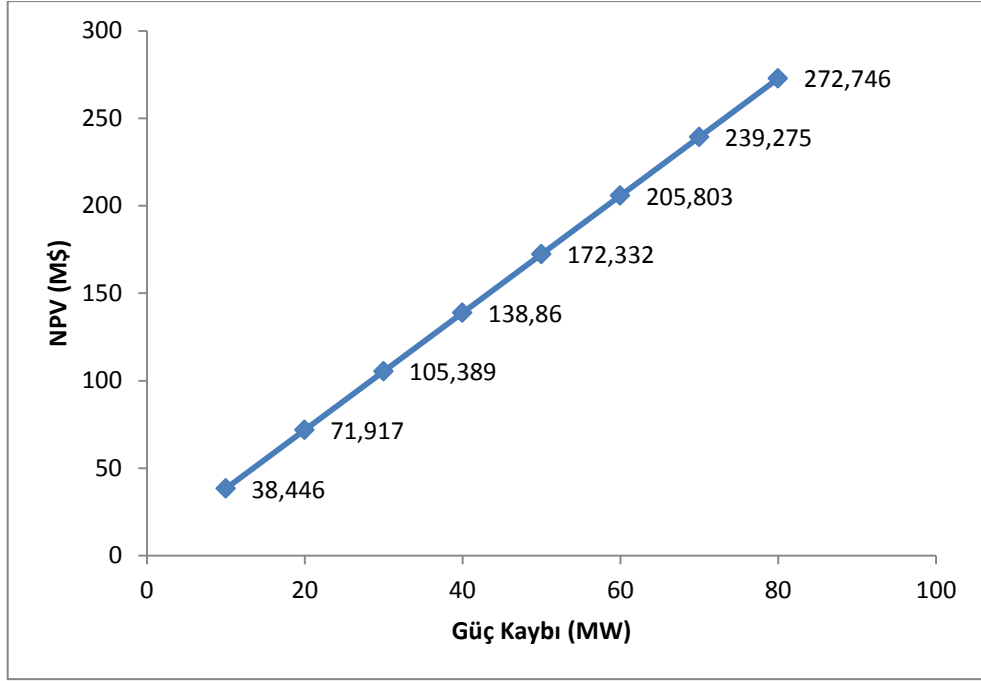
Burada C toplam maliyeti (\$), C_L duruş süresi boyunca gelir kaybını (\$), N_o kullanılabilir gücü (kW) ve B toplam geliri (\$) ifade etmektedir.

Modellemede kullanılan değerler aşağıdaki çizelgedeki gibidir:

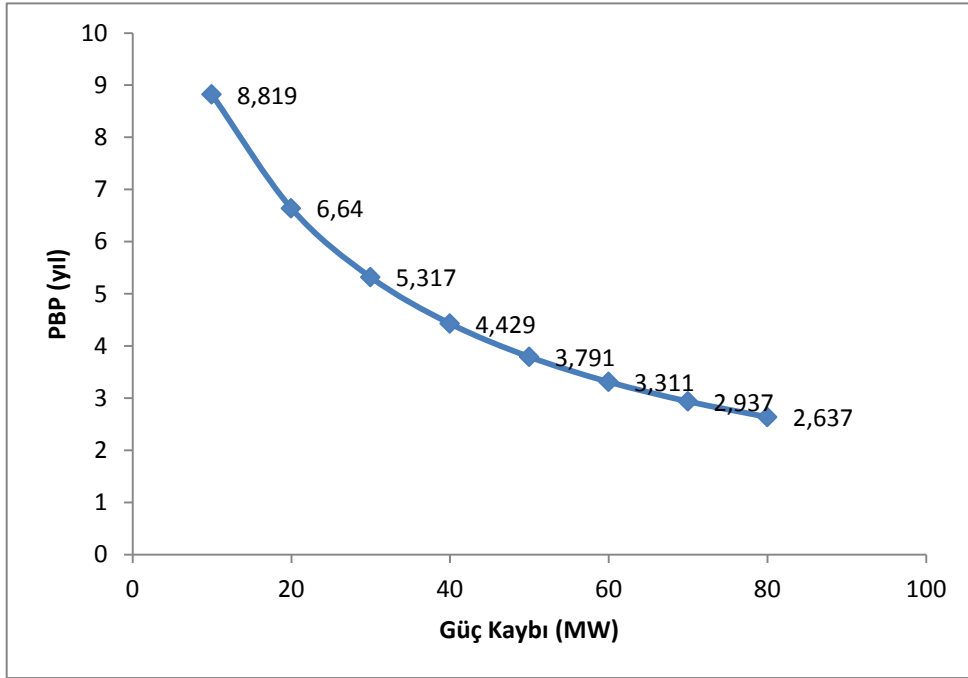
Çizelge 5. 1 Modelleme için teknik ve ekonomik veriler [17]

CFB ve yardımcı ekipman için özgül yatırım maliyeti	C_i	231	\$/kWh
Söküm, montaj, işletmeye alma için özgül yatırım maliyeti	C_d	50	\$/kWh
Özgül sabit işletme ve bakım maliyeti	C_{om}	20	\$/kWh
Santralin kurulu kapasitesi	N	200	MW
G kaybı	N_l	40	MW
Yük faktörü	L_f	85	%
Duruş süresi (6 ay)	DP	720	h
Yakıt tkretiminden bağımsız birim elektrik fiyatı	P_{el}	0,035	\$/kWh
Birim yakıt fiyatı	P_f	0,04	\$/kg
Yakıt alt ısııl değeri	LHV	2,093	kWh/kg
Yenileme ncesi termik santral termik verimi	η_{tho}	33	%
Yenileme sonrası termik santral termik verimi	η_{th}	35	%
Faiz oranı	r	5	%
CFB sisteminin ekonomik ömrü	n	25	yıl

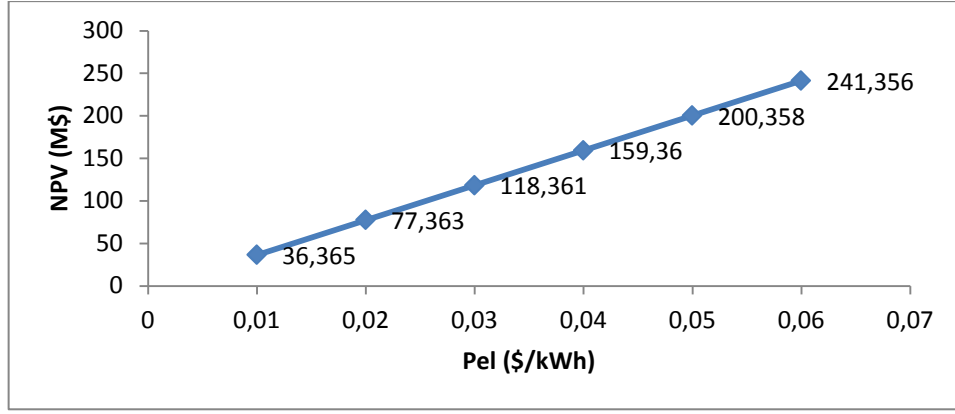
Denklemlerde değerler yerlerine konulduğunda modelleme sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmektedir:



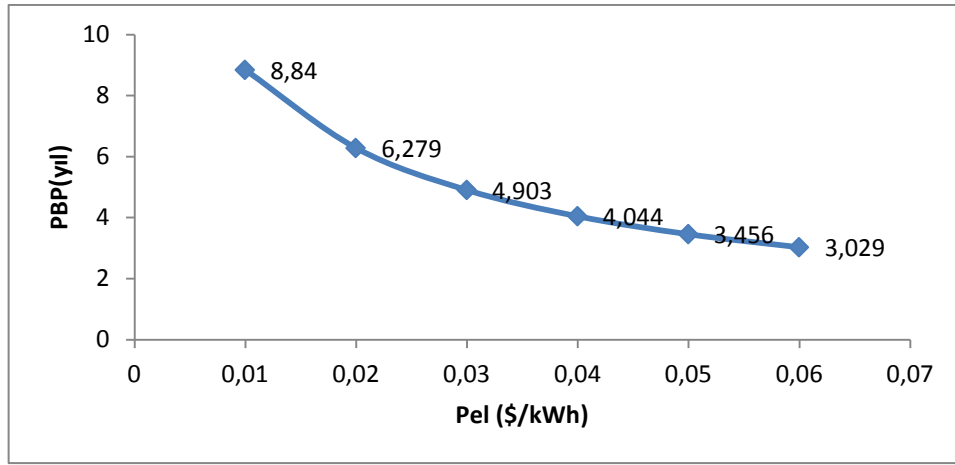
Şekil 5. 1 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer



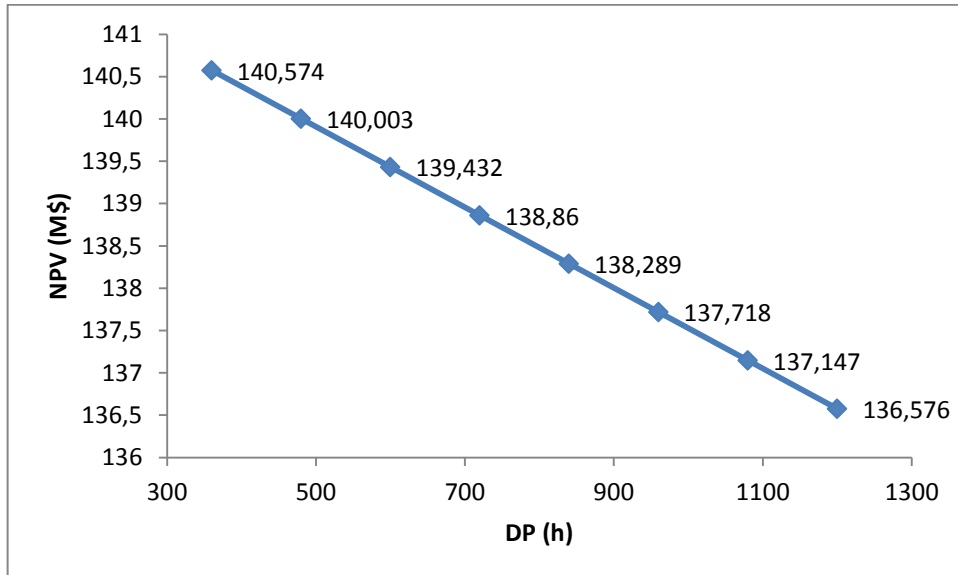
Şekil 5. 2 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresi



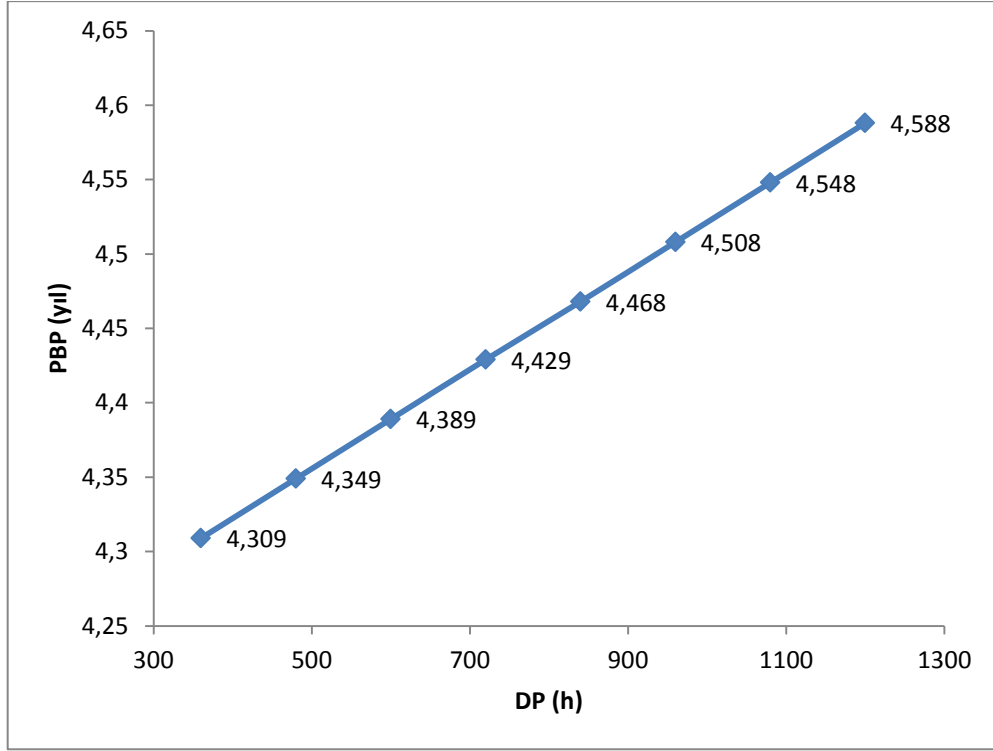
Şekil 5. 3 Birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer



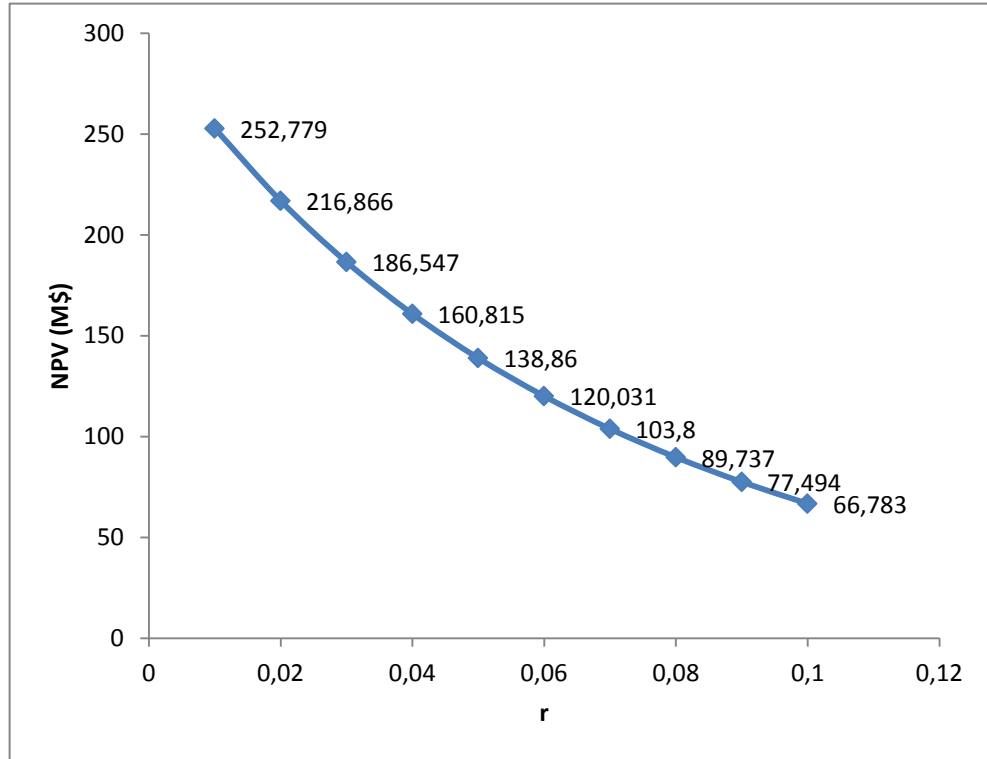
Şekil 5. 4 Birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi



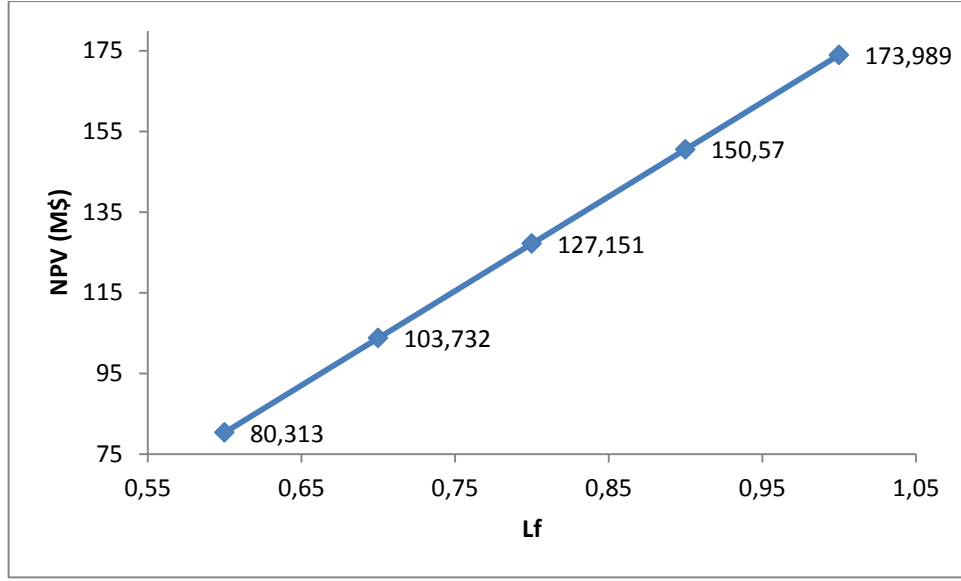
Şekil 5. 5 Duruş süresine bağlı net bugünkü değer



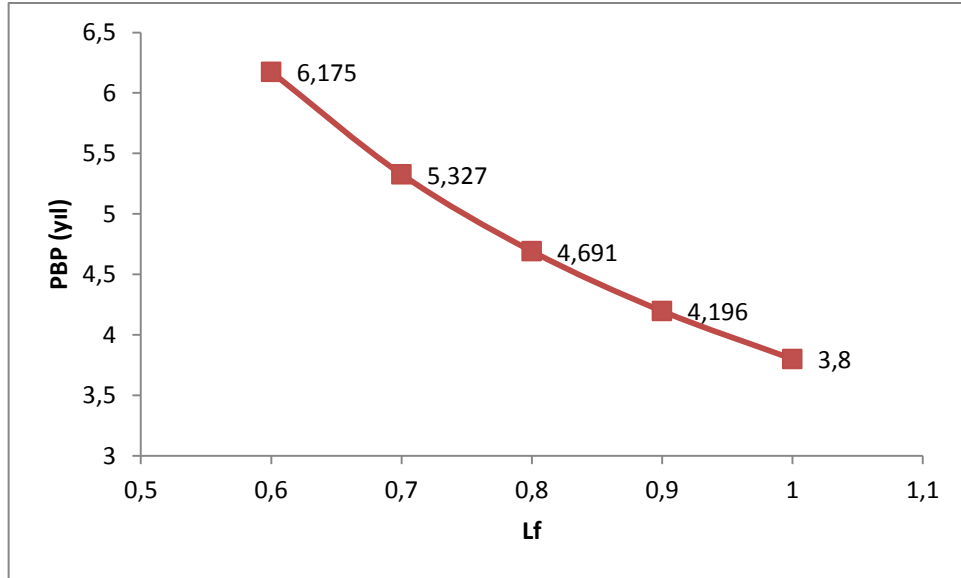
Şekil 5. 6 Duruş süresine bağlı geri ödeme süresi



Şekil 5. 7 Faiz oranına bağlı net bugünkü değer



Şekil 5. 8 Yük faktörüne bağlı net bugünkü değer



Şekil 5. 9 Yük faktörüne bağlı geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi (PBP) ve net bugünkü değer (NPV) farklı ekonomik ve politik koşullardan dolayı ülkeden ülkeye değişiklik gösterir. Yukarıda emisyon maliyeti hesaba katılmaksızın; enerji kaybı, duruş süresi, birim elektrik fiyatı ve faiz oranı gibi hemen hemen bütün teknik ve ekonomik parametrelerin PBP ve NPV üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunların sonucunda da, özellikle enerji (güç) kaybının önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Eski sistemde enerji kaybının artması NPV'yi artırmakta ve PBP'yi düşürmektedir (Şekil 5. 1 ve 5. 2). Bu nedenle eski pülverize kömür yakmalı termik santralde güç kaybı yüksekse yenileme kesinlikle gereklidir. Bununla birlikte birim elektrik fiyatının artmasıyla PBP kısalmaktadır (Şekil 5. 4). Diğer teknik ve ekonomik parametreler ise bunlara kıyasla PBP ve NPV'yi çok az etkilemektedir. Örneğin; yük faktörü arttığında, PBP azalmakta (Şekil 5. 9) ve duruş süresi arttığında PBP de artmaktadır (Şekil 5. 6). Bunlara bağlı olarak da net bugünkü değerler tam tersi yönde seyretmektedir (Şekil 5. 3, 5. 5, 5. 7 ve 5. 8).

Sonuçlar PCB'nin CFB sistemi ile yenilenmesinin maliyet verimliliği açısından gerekli olduğunu göstermektedir. Çünkü yeni sistem kendini kısa zamanda amorti edebilmektedir.

BÖLÜM 6

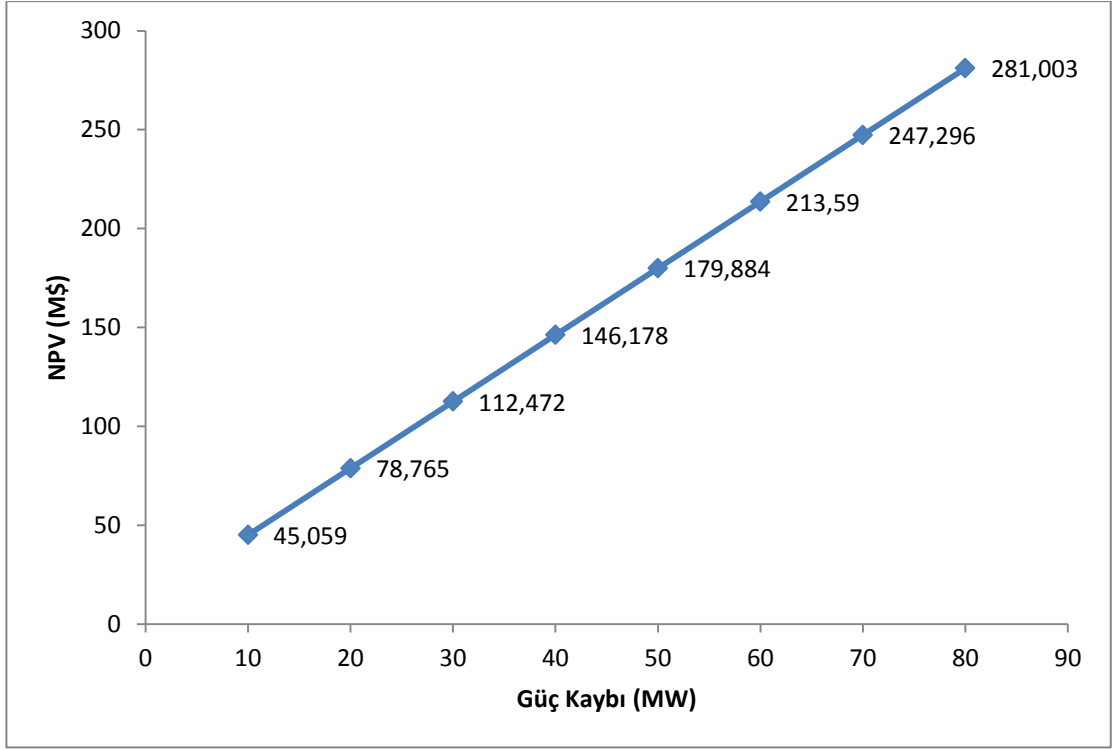
PÜLVERİZE KAZANIN PÜLVERİZE KAZANLA YENİLENMESİNDE ENERJİ MALİYETİ

Bu bölümde eski bir pülverize kazanlı santralin yenilenmesi için yapılacak olan çalışmalarda bir de pülverize kazanın yine pülverize kazanla yenilenmesi ve güncel emisyonları karşılamak amacıyla BGD ünitesinin ilave edilmesi ele alınmıştır. Aşağıda akışkan yataklı kazan verilerinden farklı olan veriler verilmiştir (Çizelge 6. 1).

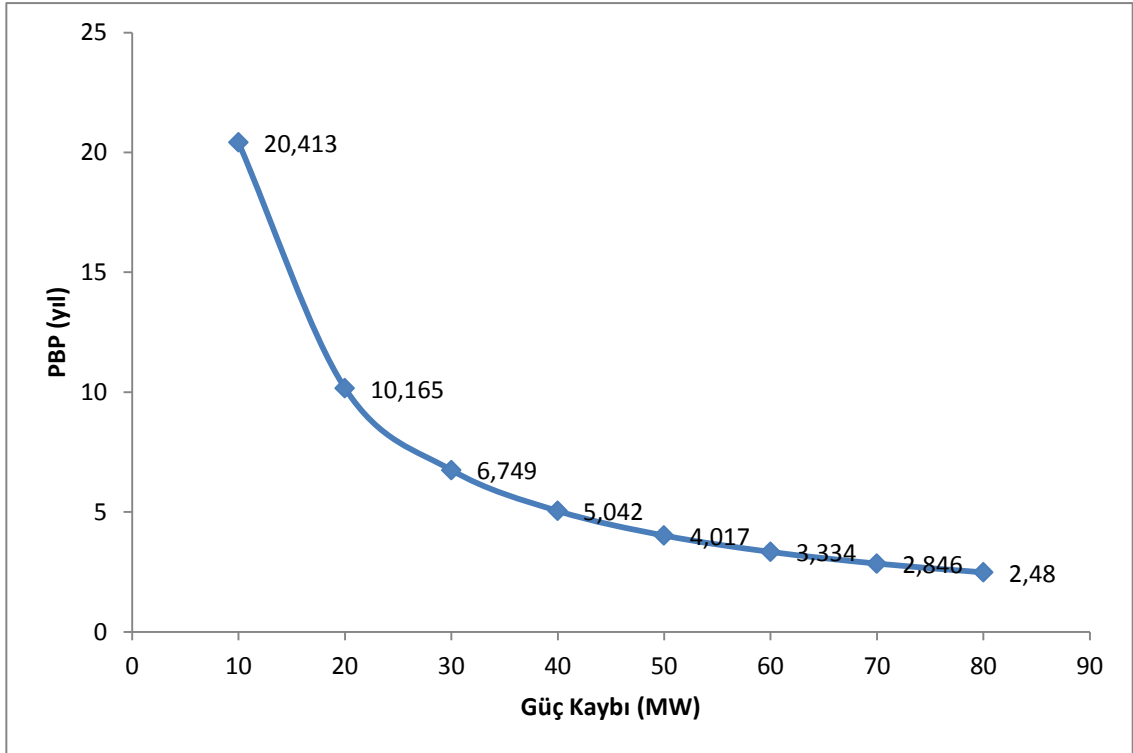
Çizelge 6. 1 Pülverize kazan yenilemesindeki ekonomik ve teorik veriler

PC ve yardımcı ekipman için özgül yatırım maliyeti	C_i	229,772	\$/kWh
Söküm, montaj, işletmeye alma için özgül yatırım maliyeti	C_d	10,0796	\$/kWh
Özgül sabit işletme ve bakım maliyeti	C_{om}	5,787	\$/kWh
Yenileme sonrası termik santral termik verimi	η_{th}	35	%

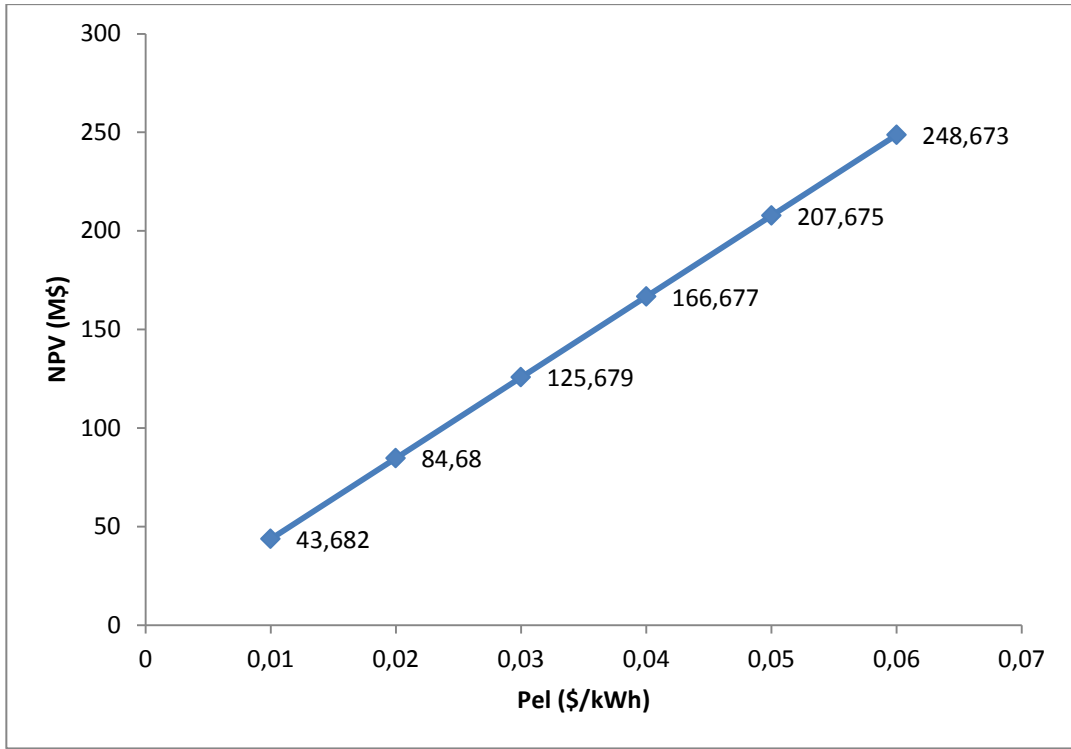
Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra sonuçların grafiklere yansımaları şekil 6. 1-6. 9’de verilmiştir.



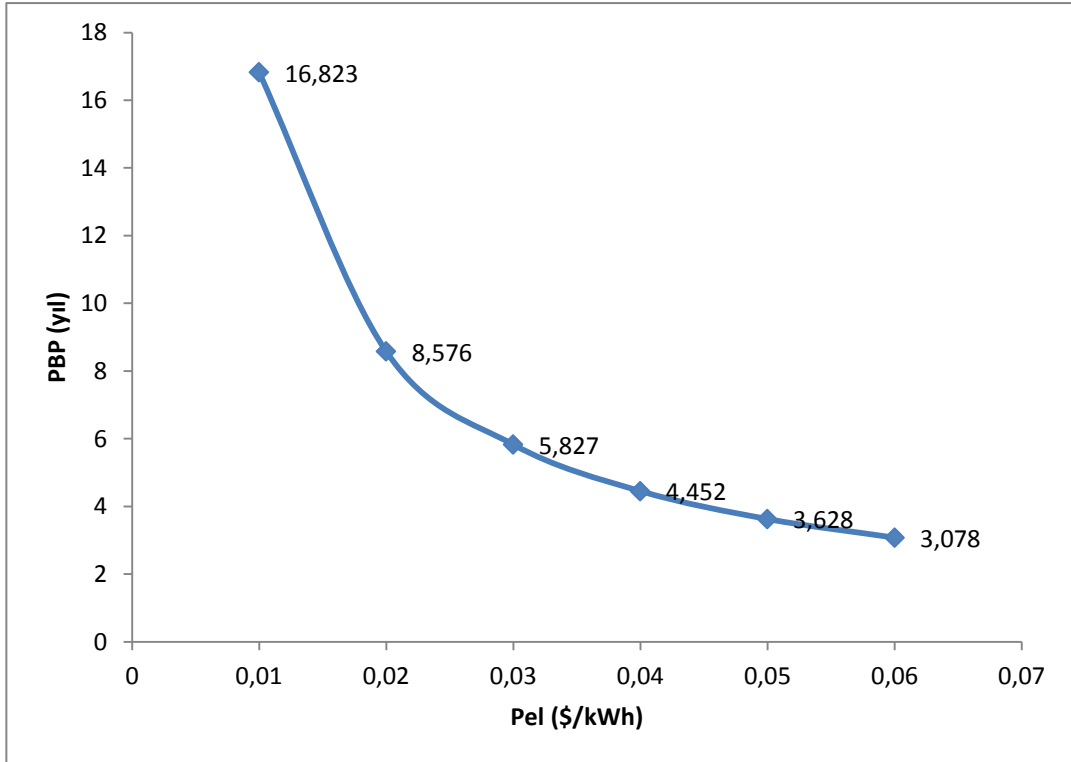
Şekil 6. 1 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer



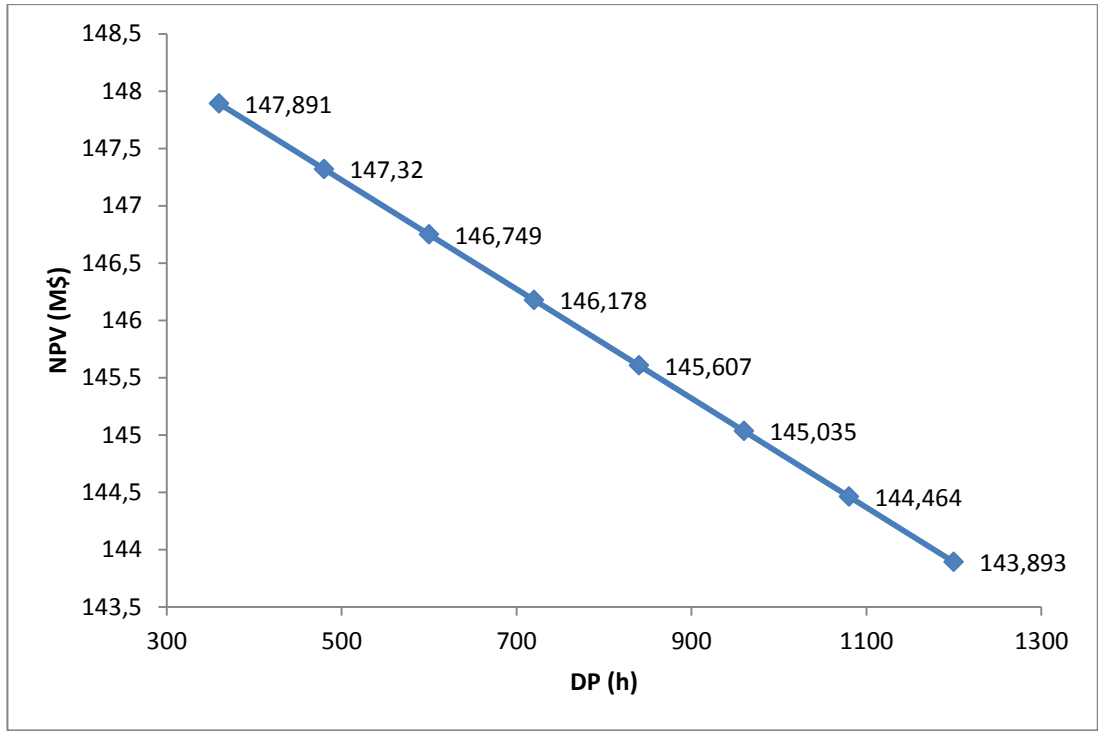
Şekil 6. 2 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresi



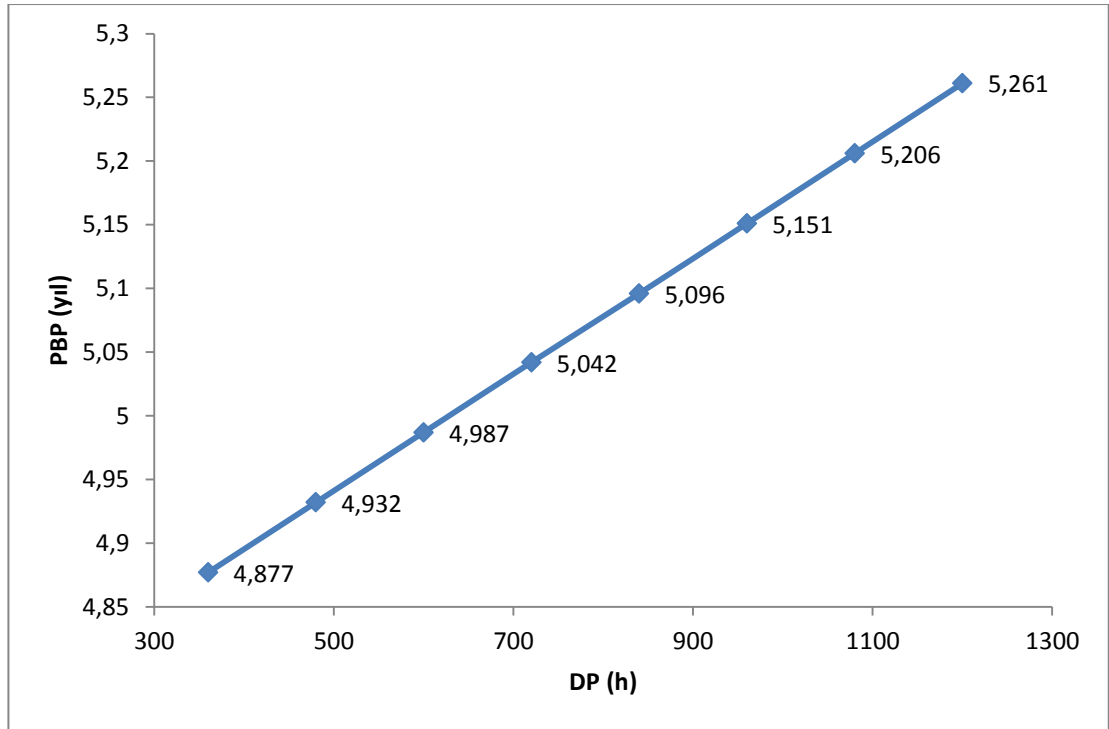
Şekil 6. 3 Birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer



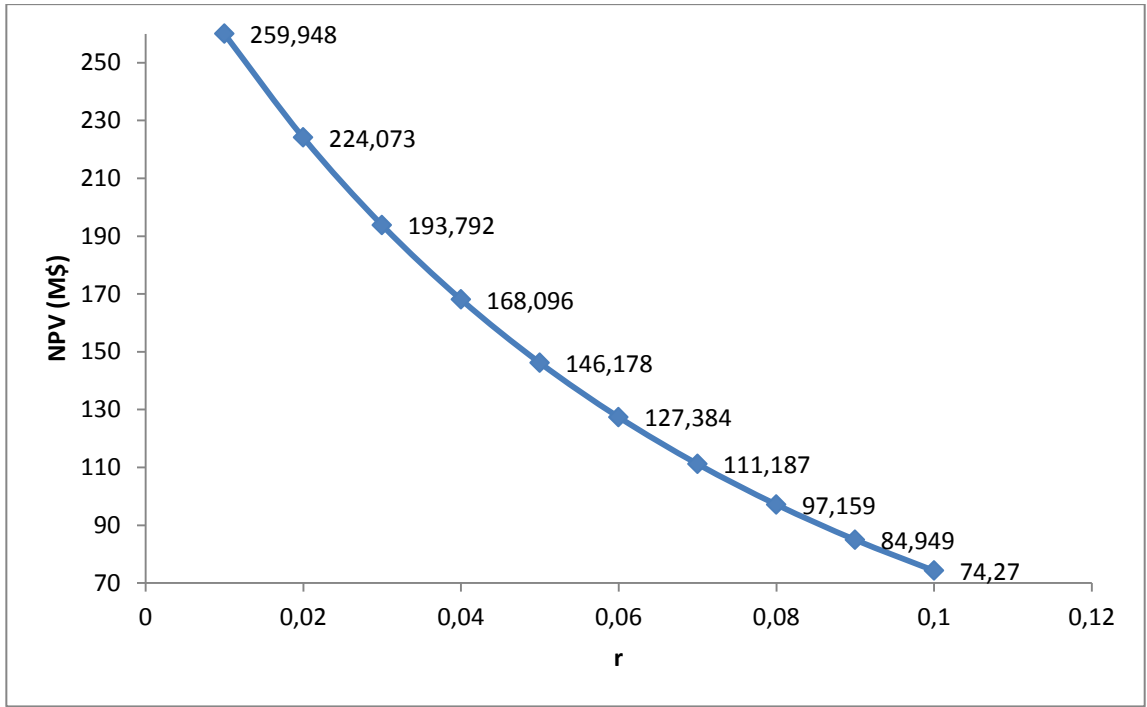
Şekil 6. 4 Birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi



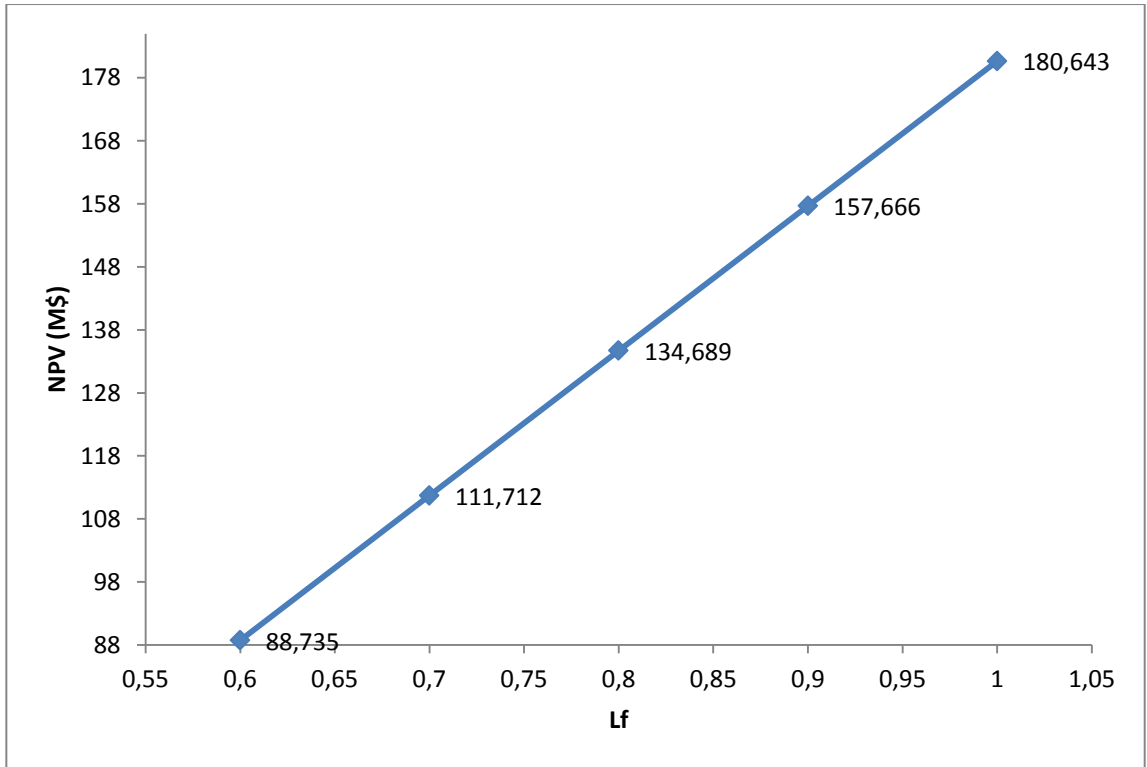
Şekil 6. 5 Duruş süresine bağlı net bugünkü değer



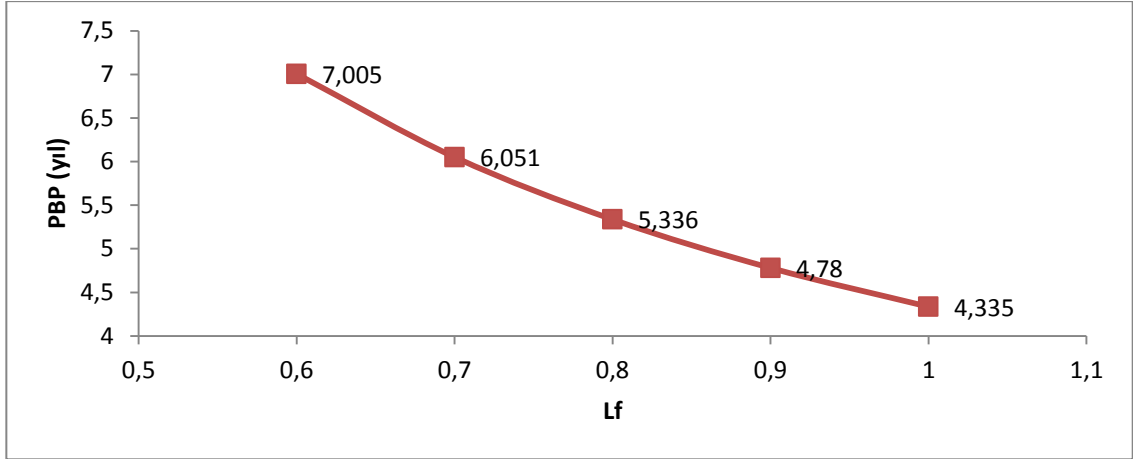
Şekil 6. 6 Duruş süresine bağlı geri ödeme süresi



Şekil 6. 7 Faiz oranına bağlı net bugünkü değer

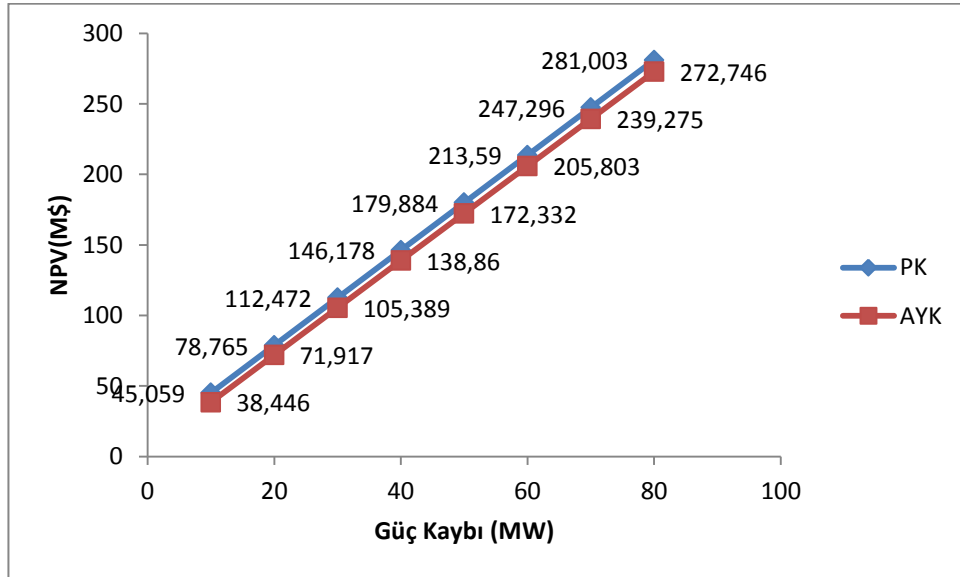


Şekil 6. 8 Yük faktörüne bağlı net bugünkü değer

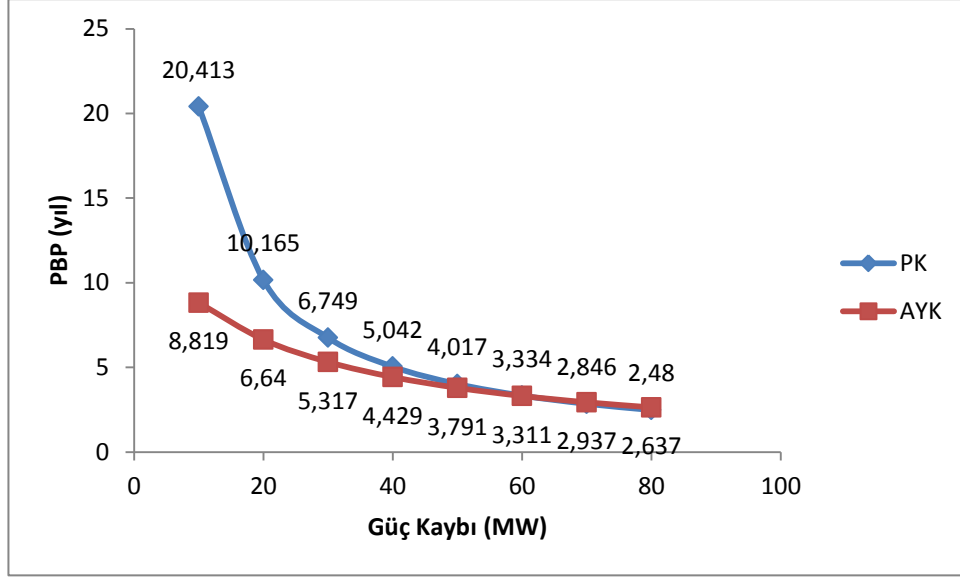


Şekil 6. 9 Yük faktörüne bağlı geri ödeme süresi

Şekillerden de görüldüğü üzere aynı akışkan yataklı kazanlarda olduğu gibi 40 MW kayıp sonrasında yenileme yapmak oldukça cazip görülmektedir. İncelediğimiz parametreler doğrultusunda pülverize kazanı akışkan yataklı kazanla yenilemekle ya da pülverize kazan+BGD ile yenilemek arasında çok büyük farklılık görülmemektedir. Güç kaybı parametresine bağlı olarak bu iki yenileme için net bugünkü değer ve geri ödeme sürelerinin kıyaslanması Şekil 6. 10-6. 11’de verilmiştir.



Şekil 6. 10 Yenileme sonrası güç kaybına bağlı net bugünkü değerın pülverize kazanda ve akışkan yataklı kazanda değişiminin kıyaslanması



Şekil 6. 10 Yenileme sonrası güç kaybına bağlı geri ödeme süresinin pülverize kazanda ve akışkan yataklı kazanda değişiminin kıyaslanması

Sonuçların benzer olmasına rağmen akışkan yataklı kazanın yeni bir teknoloji olması ve güncel emisyonları çok daha iyi karşılayabilmesi nedeniyle tercih sebebi olması gerekmektedir.

BÖLÜM 7

AKIŞKAN YATAK KULLANIMININ ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Akışkan yatak yenilemesi yapılmadan evvel tekrar 200 MW kapasiteli bir pülverize kömür yakma kazanında linyit kömürü kullanan termik santralin kirletici emisyonlarının hesaplanmasıyla ilgili yapılacak analizde aşağıda verilen Çizelge değerleri kullanılabilir (Çizelge 7. 1-7. 4).

Çizelge 7. 1 Kömürün elemental analizi [30]

Eleman	Ağırlık yüzdesi (%)	Mol ağırlığı (kg/kmol)	Mol miktarları (kmol)
Karbon	42	12	3,53 C
Hidrojen	2,8	2	1,40 H ₂
Kükürt	0,7	32	0,022 S
Oksijen	12,4	32	0,39 O ₂
Azot	0,7	28	0,025 N ₂
Kül	6,9	-	-
Nem	34,8	18	1,93 H ₂ O

Çizelge 7. 2 Yanma reaksiyonları ve ürünler [30]

Yanma reaksiyonları	Reaktantlar	Ürünler
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	3,53 kmol C 3,53 kmol O ₂	3,53 kmol CO ₂
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O(g)$	1,4 kmol H ₂ 0,7 kmol O ₂	1,4 kmol H ₂ O
$H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$	1,93 kmol H ₂ O	1,93 kmol H ₂ O
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	0,022 kmol S 0,022 kmol O ₂	0,022 kmol SO ₂
$N_2 \rightarrow N_2$	0,025 kmol N ₂	0,025 kmol N ₂

Çizelge 7. 3 Çeşitli ocak tipleri için hava oranı [1]

Ocak tipi	Hava oranı
Pülverize tip ocak	1,25 - 1,35
Ergitme ocağı	1,1 - 1,2
Sıvı yakıt ocağı	1,05 - 1,1
Gaz yakıt ocağı	1,1 - 1,2
Yürür ızgaralı ocak	1,35 - 1,6

%30 hava fazlası ve yukarıdaki çizelgeye göre pülverize tip ocak için %1,3 nem olduğunu varsayarsak kullanılandan artı kalan oksijen, havadan gelen azotun tamamı ve nemden kaynaklı su buharı bacadan atılacaktır.

Çizelge 7. 4 Oluşan baca gazları ve kaynakları [30]

Baca gazı bileşeni	Miktarı (kmol)	Kaynağı
CO ₂	3,53	Yanma reaksiyonundan
SO ₂	0,022	Yanma reaksiyonundan
N ₂	0,025	Yakıttan
N ₂	18,88	Havadan
H ₂ O	1,4	Yanma reaksiyonundan
H ₂ O	1,93	Yakıttan
H ₂ O	0,31	Havadan
O ₂	1,16	Havadan (fazla O ₂)

Kuru bazda toplam 23,62 $\frac{\text{kmol bacagazı}}{100 \text{ kg yakıt}}$ bulunmaktadır.

- % SO₂; $\frac{0,022}{23,62} \times 100 = 0,0931\%$

Buradan;

$$\%SO_2 \times 10^4 = 931 \text{ ppm} \Rightarrow 931 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ atm} \times 64 \text{ kg / kmol}}{0,082 \text{ m}^3 \text{ atm / kmol}^\circ \text{ K} \times 273^\circ \text{ K}} = 2660 \text{ mg / Nm}^3$$

- % NO₂; $\frac{18,9 \times 2}{23,62} \times 100 = 160\%$

Buradan;

$$\%NO_2 \times 10^4 = 1600338,7 \text{ ppm} \Rightarrow 1600338,7 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ atm} \times 60 \text{ kg / kmol}}{0,082 \text{ m}^3 \text{ atm / kmol}^\circ \text{ K} \times 273^\circ \text{ K}} = 4289302,3 \text{ mg / Nm}^3$$

- % CO₂; $\frac{3,53}{23,62} \times 100 = 14,945\%$

Buradan;

$$\%CO_2 \times 10^4 = 149450 \text{ ppm} \Rightarrow 149450 \text{ ppm} \times \frac{1 \text{ atm} \times 44 \text{ kg} / \text{ kmol}}{0,082 \text{ m}^3 \text{ atm} / \text{ kmol}^\circ \text{ K} \times 273^\circ \text{ K}} = 293746,1 \text{ mg} / \text{ Nm}^3$$

Bulunan bu emisyon değerleri pülverize kömür yakıt yakan bir kazan içindir. Aşağıda ise akışkan yatak için elde edilebilecek emisyon değerleri verilmiştir.

Enerji santrallerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de yarattığı çevre kirliliğidir. Akışkan yataklı kazan teknolojisinin çevreye verdiği kirlilik dünya standartlarının çok altında seyretmektedir. Akışkan yataklı kazan emisyon değerleri santralin gücüne göre değişmektedir. 150-500 MW kapasiteli santraller için ortalama emisyon değerleri aşağıdadır.

CFB kazan emisyonu:

Kükürt dioksit SO_2 mg/Nm³ < 400

Azot oksit NO_x mg/Nm³ < 100

Parçacıklı malzeme mg/Nm³ < 50

Not: Kazan %30 ila %100 kapasite arasında çalışırken ölçülen değerlerdir. Üretici firmalara göre değerler değişebilir [18].

Görüldüğü gibi pülverize kazandaki kirlitici emisyon değeri akışkan yataklı sistemdekinden oldukça yukarıdadır.

Akışkan yataklı kazan teknolojisinin en büyük çevresel faydası yanma prosesinde FGD (flue gas desulphurization) veya SCR (selective catalytic reduction) kullanmadan SO_2 tutma (90-95%) ve NO_x (emisyonu 100 ppm den az) oranlarıdır. Kireçtaşı SO_2 tutulmasında etkilidir.

Kireçtaşı kazana atıldığında aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir.

* Sülfür oksidasyonu: $S + O_2 \rightarrow SO_2$

* Kireçtaşı kalsiyum okside dönüşür: $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 - 425 \text{ kcal/kg (CaCO}_3\text{'ün)}$

* Sülfür dioxide katı CaO ile tepkimeye girer: $SO_2 + 1/2 O_2 + CaO \rightarrow CaSO_4 \text{ (katı)} + 3740 \text{ kcal/kg (S'in)}$

Sonuç olarak kalsiyum sülfat esaslı kül meydana gelir ve atılır. Açığa çıkan kül, çimento, sanayi gibi değişik sektörlerde kullanılabilir. Yanma havasındaki nitrojen ve oksijen reaksiyona girer ve NO_x oluşur. Akışkan yataklı kazanlardaki kazan sıcaklığı diğer kazanlara göre daha düşük olduğu için NO_x oranı da düşüktür.

Artan çevre kirliliği, elektriğin üretim maliyetlerinin artışı ve doğalgaz ile üretimin artık cazip olmaması gibi konular düşünüldüğünde akışkan yataklı kazan teknolojisi Türkiye için çok önemli bir temiz kömür yakma teknolojisidir.

Son yıllarda devletin ve özel sektörün kurduğu akışkan yataklı santraller faaliyete geçmeye başlamış olup, proje aşamasında olan ve kurulması düşünülen akışkan yataklı santral sayısı her geçen gün artmaktadır. Doğalgaza alternatif elektrik üretim kaynaklarının bulunmasının gerekliliği, yakın zamanda ülkemizde enerji açığı yaşanacağı ve bir an önce yeni santrallere ihtiyacımız olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. Bu itibarla, yeraltında atıl duran kömür yataklarının ülke ekonomisine kazandırılması büyük önem arz etmektedir.

Avrupa Birliğinin çokça konuşulduğu günümüzde özellikle çevreye zararlı gaz emisyonlarının düşüklüğü sebebi ile CFB kazan teknolojisi, bundan sonra kurulacak enerji santrallerinde önemli bir tercih nedeni olacaktır [18].

EMİSYON MALİYETİ

Isı ve elektrik enerjisi üretimi toplum ve çevre üzerinde birçok etkiye sahiptir. Bu etkiler enerji dönüşümünden gelen emisyonlardan kaynaklı insan sağlığını direkt etkileyen asitlendirme, azot ve fosfatın artması ve küresel ısınmadır. Bu etkiler her zaman enerji fiyatına dahil edilmezler. Ancak, genellikle dışsal maliyetler olarak adlandırılan bu etkilerin maliyetleri şimdi ya da gelecekte toplum tarafından dikkate alınmalıdır.

CO₂, NO_x ve SO_x emisyonlarının dışsal maliyetleri Avrupa Komisyonunun ExternE (The Externalities of Energy) çalışmasına dayandırılarak enerji sistemlerinin direkt maliyetine eklenmiştir [19, 30].

8.1 ExternE Çalışması

ExternE metodunun gelişimi 1991’de başlamış ve ilk olarak Avrupa Komisyonu ve Enerji Avrupa Birliği Bölümünün ortak üstlenmesi olarak planlanmıştır. ExternE metodu özel bir santralin bütün ömrü ve yakıt çevrimini değerlendiren bir metoddur. Kaynaktan baca çıkışına emisyonları izleme olarak etkili bir yaklaşım yolu kullanmaktadır.

Metot aynı santral tipi için farklı dışsal maliyetleri üreten farklı alanlardaki farklı ülkelerde çeşitli enerji dönüşüm tekniklerine uygulanır. Uzaktaki bir santral, büyük bir şehre yakın bir santralden çok daha az sağlık problemine yol açacaktır [26, 27].

8.2 CO₂, NO_x ve SO₂ Emisyonlarının Dışsal Maliyetleri

Enerji temini için dışsal maliyetler ExterneE çalışmasıyla hesaplanabilir (Avrupa Komisyonu, 1995; 1998a, b). Ecosense olarak adlandırılan bir model Avrupa Birliğinin her bir üyesi için hava kirleticilerinin neden olduğu zararların maliyetini hesaplamak için kullanılmıştır. Böylece ExterneE çalışması bölgeye özeldir ve CO₂, NO_x ve SO_x'in çevresel ve toplumsal etkilerinin mali niceliğini kullanır. Dışsal maliyetler çevre ve sağlığa bağlı düşünülür, ancak hepsi bağlı değildir, örneğin istihdam ya da enerji güvenliği gibi. Metot; emisyon, dağılım ve maliyetin bir alt üst uygulamayı kullanarak analiz edildiği zarar fonksiyonunu kullanır. Analizler bir alt taban üzerinde yapılır, mesela dışsal maliyetler her bir yakıt çevriminde artan bir yatırım için hesaplanır [26, 27].

Çizelge 8. 1 National tax board of Sweden, 2001 [26]

CO ₂ (€/kg C)	0,22
NO _x (€/kg NO ₂)	4,3
SO _x (€/kg SO ₂)	1,6

Yukarıda 200 MW kapasiteli bir termik santral için baca gazı emisyonlarının hesabını yapmıştık. Şimdide bu emisyonları maliyet açısından hesaplayıp daha önce yaptığımız direkt maliyet hesabına ekleyelim.

$$\text{Isıl güç: } 200\text{MW}_x \frac{238,8\text{kcal} / \text{s}}{1\text{MW}} = 47760\text{kcal} / \text{s}$$

$$\text{Yakıtın kalorifik değeri: } 2,093\text{kWh} / \text{kg} = 7535\text{kJ} / \text{kg} \cong 1800\text{kcal} / \text{kg}$$

$$\text{Teorik yakıt tüketim miktarı: } \frac{47760\text{kcal} / \text{s}}{1800\text{kcal} / \text{kg}} = 26,53\text{kg kömür} / \text{s}$$

Pülverize kazanın verimi %87,5 olsun. Gerçek yakıt tüketim miktarı:

$$\frac{26,53kg\ kömür / s}{0,875} = 30,32kg\ kömür / s = 109,152ton\ kömür / h \text{ olmaktadır.}$$

Normal şartlarda (0°C ve 1 atm) 1mol gaz 22,4 litre (veya 1 kmol gaz 22,4 m³) olduğuna göre toplam baca gazı hacimsel miktarı kuru bazda:

$$23,62kmol \times 22,4Nm^3 / kmol = 529,1Nm^3 / 100kg\ yakıt \text{ olur. O halde;}$$

$$109,152ton / h \times 5291Nm^3 / ton = 577523Nm^3 / h \text{ kuru baca gazı oluşur.}$$

➤ SO₂ kütleli emisyonu;

$$2660mg / Nm^3 \times 577523Nm^3 / h \times 10^{-6} kg / mg = 1536kg\ SO_2 / h$$

➤ NO_x kütleli emisyonu;

$$4289302,3mg / Nm^3 \times 577523Nm^3 / h \times 10^{-6} kg / mg = 2477170,732kg\ NO_2 / h$$

➤ CO₂ kütleli emisyonu;

$$293746,1mg / Nm^3 \times 577523Nm^3 / h \times 10^{-6} kg / mg = 169645,13kg\ CO_2 / h$$

Çizelge 8. 1’de verilen değerlerden en düşük değerler ele alındığında emisyon maliyetleri şu şekilde olacaktır (16 Aralık 2011 tarihli Merkez Bankası döviz kuruna göre 1€=1,3038\$ olarak alınmıştır):

✓ SO₂ için;

$$1536kg\ SO_2 / h \times 1,6€ / kg\ SO_2 = 2457,6€ / h = 3204,22\$ / h$$

✓ NO_x için;

$$2477170,732kg\ NO_x / h \times 4,3€ / kg\ NO_x = 10651834,15€ / h = 13887861,36\$ / h$$

✓ CO₂ için;

$$169645,13kg\ CO_2 / h \times 0,22€ / kg\ CO_2 = 37321,93€ / h = 48660,33\$ / h$$

Toplamda; 13939725,91 \$/h emisyon maliyeti vardır.

Akışkan yataklı kazanda ise SO₂ emisyonunun %90'ının tutulduğunu ve NO_x emisyonunun da en fazla 100 ppm olabileceğini belirtmiştik. Dolayısıyla kuru bazda yaklaşık 4,7 kmol baca gazı/100 kg yakıt elde edilecektir. Ayrıca kazan verimi %92 olarak alınmıştır.

$$\frac{26,53 \text{ kg kömür} / \text{s}}{0,92} = 28,837 \text{ kg kömür} / \text{s} = 103,81 \text{ ton kömür} / \text{h} \text{ olmaktadır.}$$

$$4,7 \text{ kmol} \times 22,4 \text{ Nm}^3 / \text{kmol} = 105,28 \text{ Nm}^3 / 100 \text{ kg yakıt Buradan;}$$

$$103,81 \text{ ton} / \text{h} \times 105,28 \text{ Nm}^3 / \text{ton} = 109291,17 \text{ Nm}^3 / \text{h} \text{ kuru bacagazı oluşur. Ayrıca;}$$

$$100 \text{ ppm NO}_2 \times \frac{1 \text{ atm} \times 60 \text{ kg} / \text{kmol}}{0,082 \text{ m}^3 \text{ atm} / \text{kmol}^\circ \text{K} \times 273^\circ \text{K}} = 268 \text{ mg} / \text{Nm}^3 \text{ NO}_2 \text{ olacaktır.}$$

Buradaki hesaplamalarda akışkan yataklı kazan emisyonları için verilen en üst sınır değerler göz önünde bulundurulmuştur.

➤ SO₂ kütleli emisyonu;

$$400 \text{ mg} / \text{Nm}^3 \times 109291,17 \text{ Nm}^3 / \text{h} \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{mg} = 43,716 \text{ kg SO}_2 / \text{h}$$

➤ NO_x kütleli emisyonu;

$$268 \text{ mg} / \text{Nm}^3 \times 109291,17 \text{ Nm}^3 / \text{h} \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{mg} = 29,29 \text{ kg NO}_x / \text{h}$$

➤ CO₂ kütleli emisyonu;

$$293746,1 \text{ mg} / \text{Nm}^3 \times 109291,17 \text{ Nm}^3 / \text{h} \times 10^{-6} \text{ kg} / \text{mg} = 32103,855 \text{ kg CO}_2 / \text{h}$$

Emisyon maliyetleri tekrar Çizelge 8. 1'den alınan değerlerle şu şekilde olacaktır:

✓ SO₂ için;

$$43,716 \text{ kg SO}_2 / \text{h} \times 1,6 \text{ €} / \text{kg SO}_2 = 69,96 \text{ €} / \text{h} = 91,214 \$ / \text{h}$$

✓ NO_x için;

$$29,29 \text{ kg NO}_x / \text{h} \times 4,3 \text{ €} / \text{kg NO}_x = 125,95 \text{ €} / \text{h} = 164,214 \$ / \text{h}$$

✓ CO₂ için;

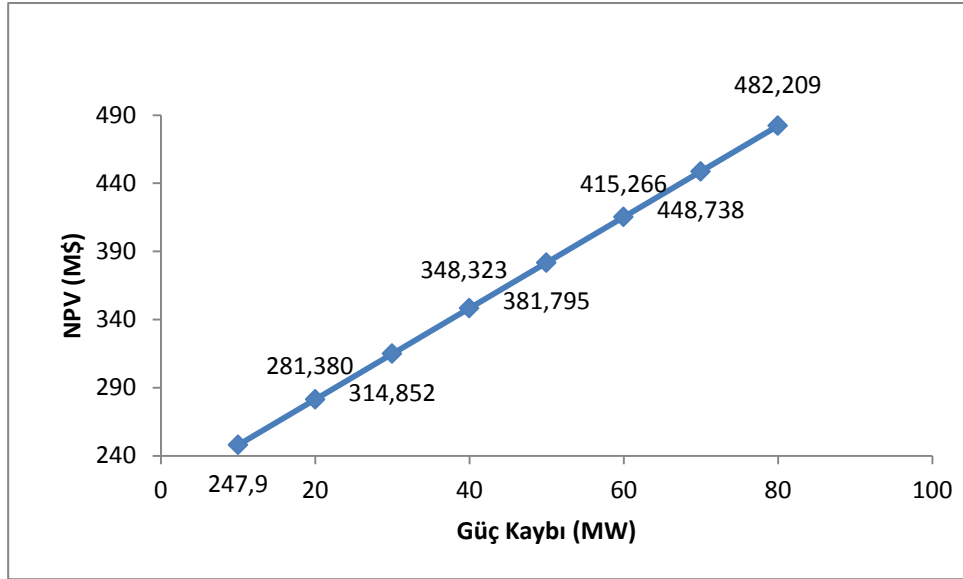
$$32103,855 \text{ kg CO}_2 / \text{h} \times 0,22 \text{ €} / \text{kg CO}_2 = 7062,85 \text{ €} / \text{h} = 9208,544 \$ / \text{h}$$

Toplamda; 9463,972 \$/h emisyon maliyeti vardır.

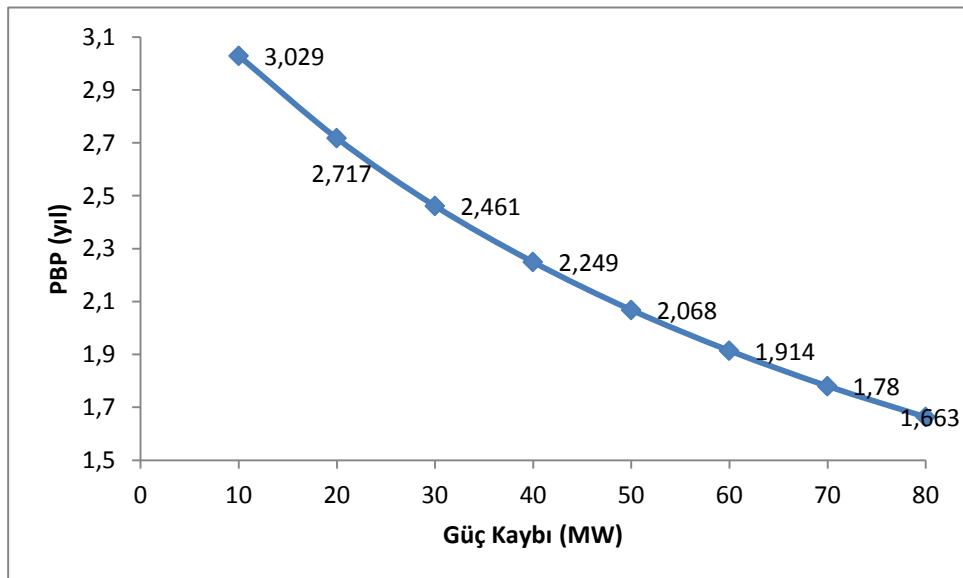
Dolayısıyla emisyon maliyeti açısından da pülverize kazandan akışkan yataklı kazana geçildiğinde yıllık gelirimizde artış olacaktır ve bu gelir;

$$19939725,91\$/h - 9463,972\$/h = 13930261,94\$/h \text{ 'tır.}$$

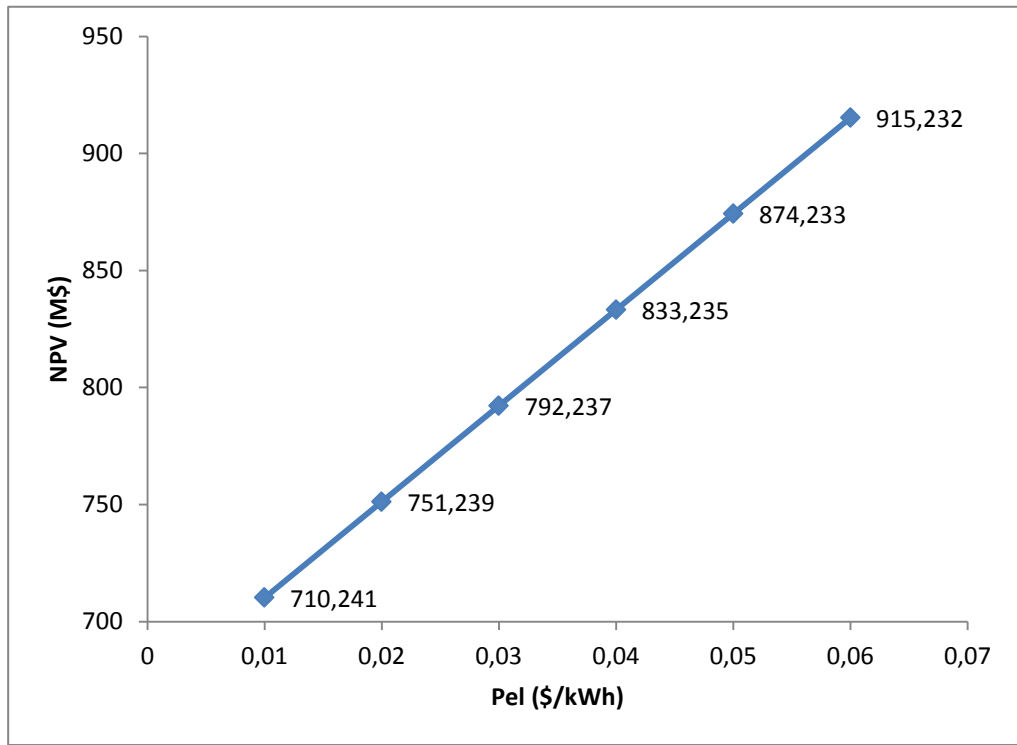
Bu gelirin grafiklere yansımalarına bakalım:



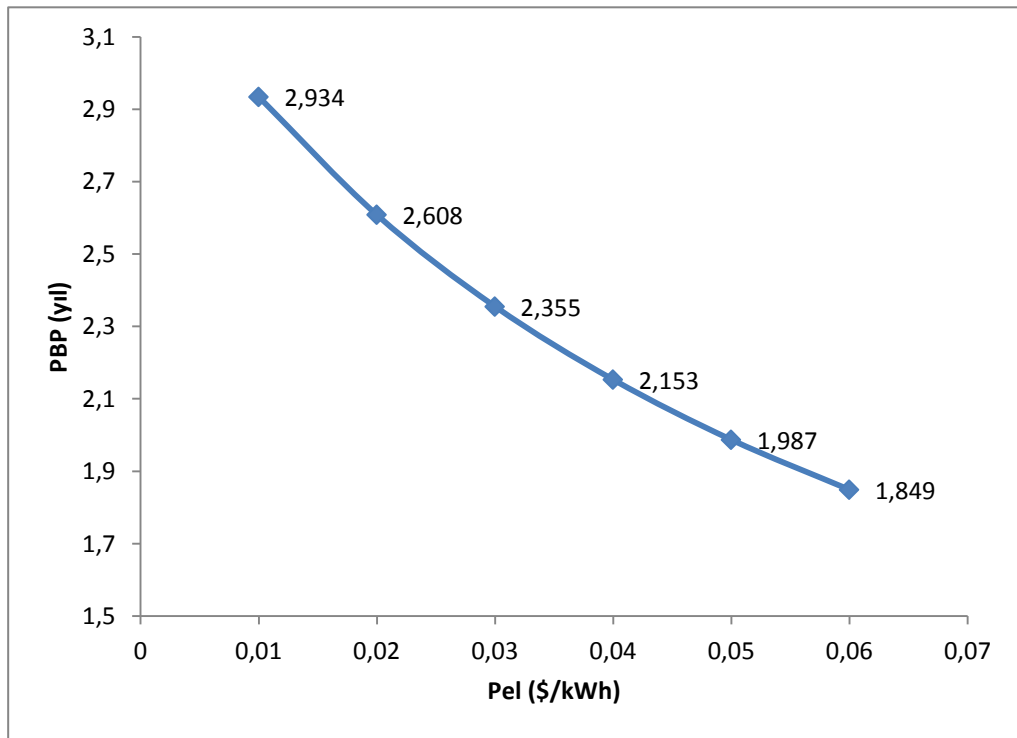
Şekil 8. 1 Güç kaybına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)



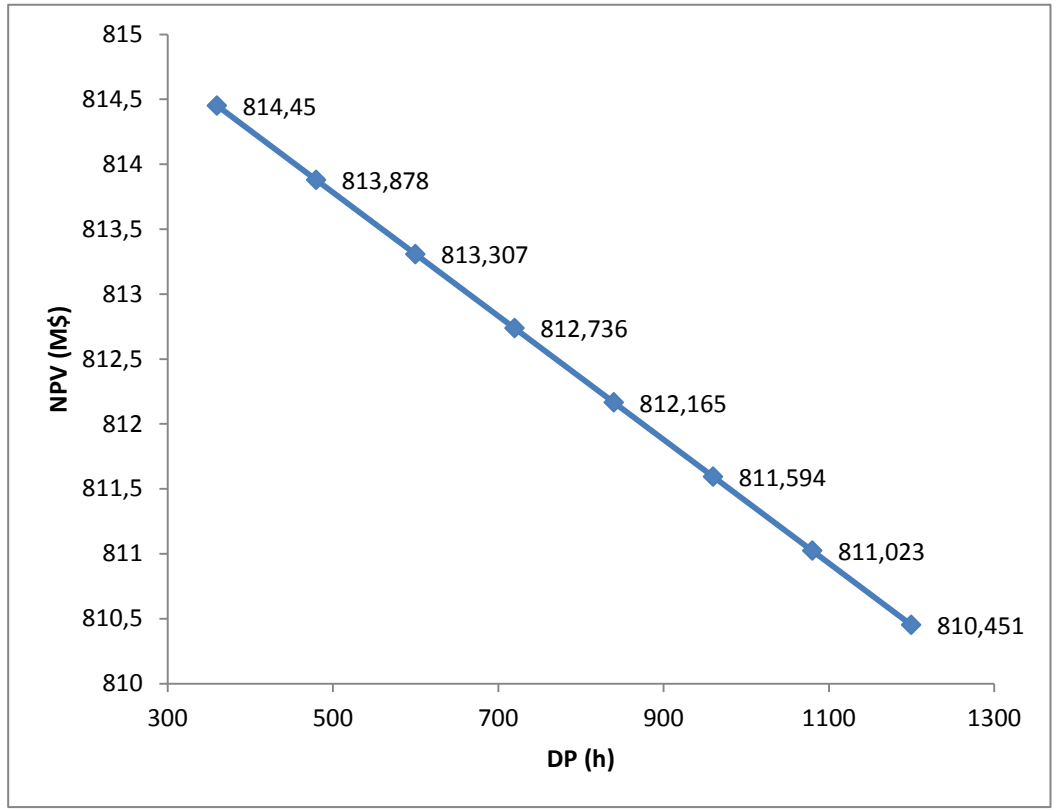
Şekil 8. 2 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)



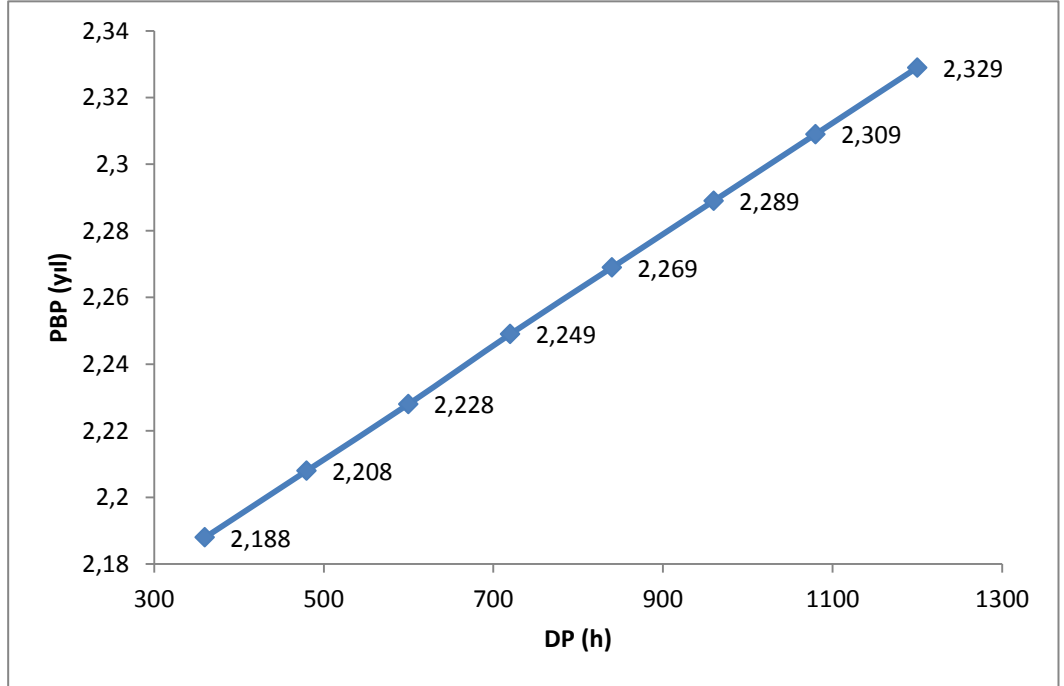
Şekil 8. 3 Birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)



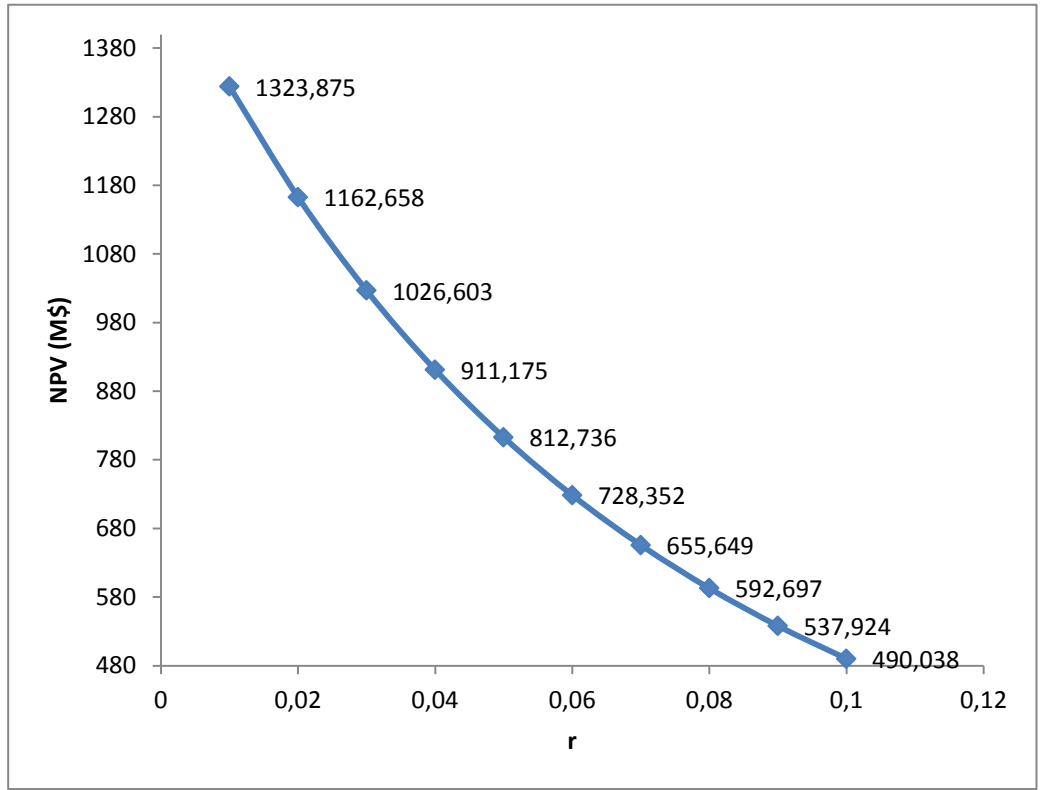
Şekil 8. 4 Birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)



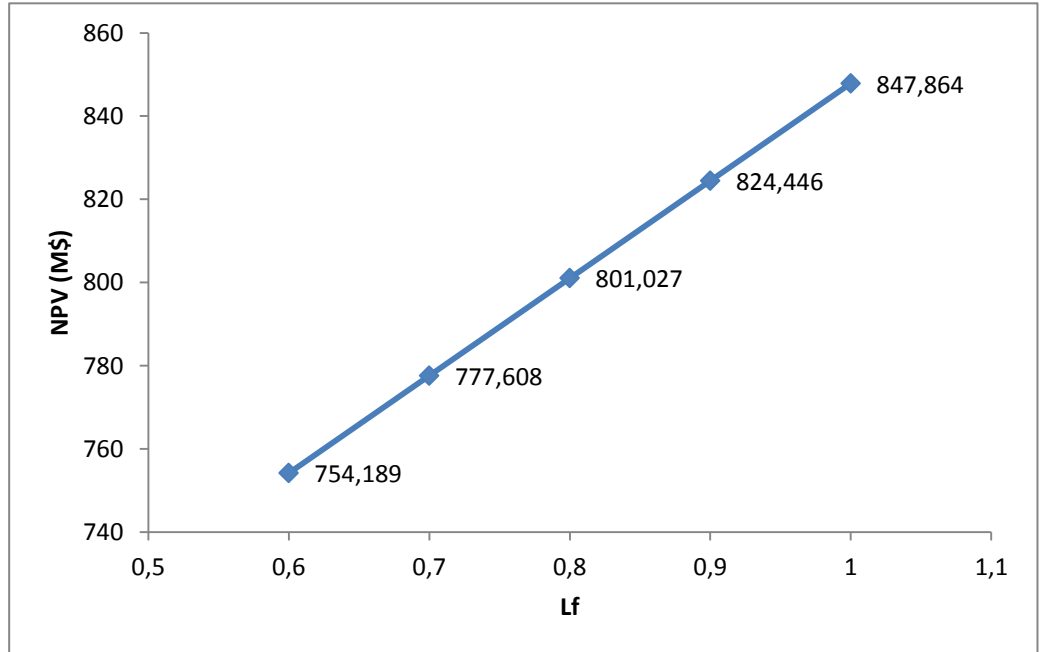
Şekil 8. 5 Duruş süresine bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)



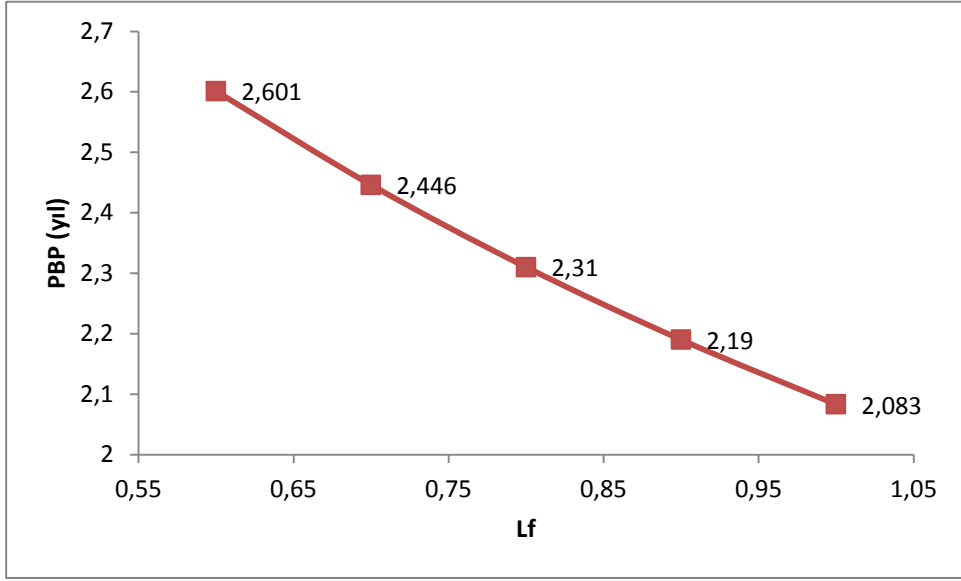
Şekil 8. 6 Duruş süresine bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)



Şekil 8. 7 Faiz oranına bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)

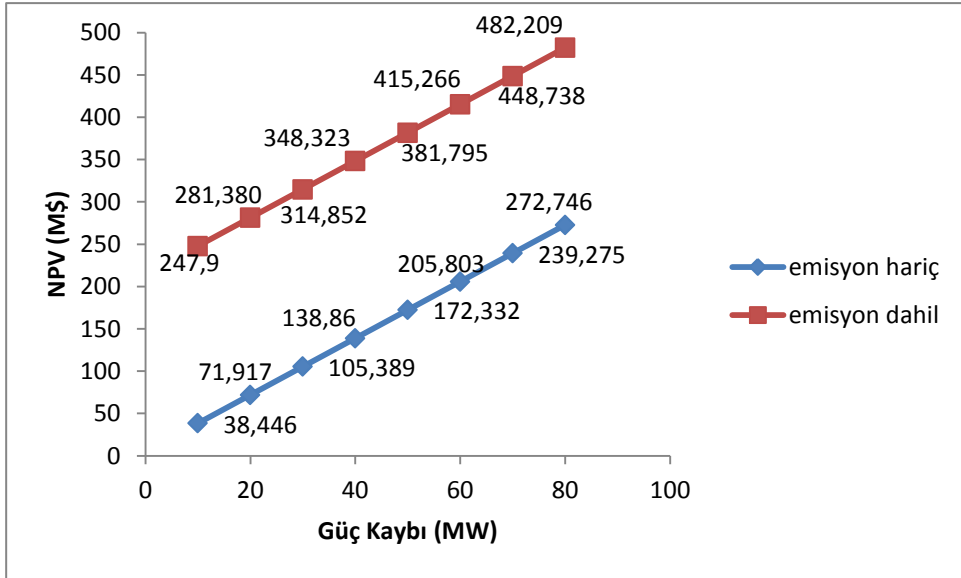


Şekil 8. 8 Yük faktörüne bağlı net bugünkü değer (emisyon maliyeti dahil)

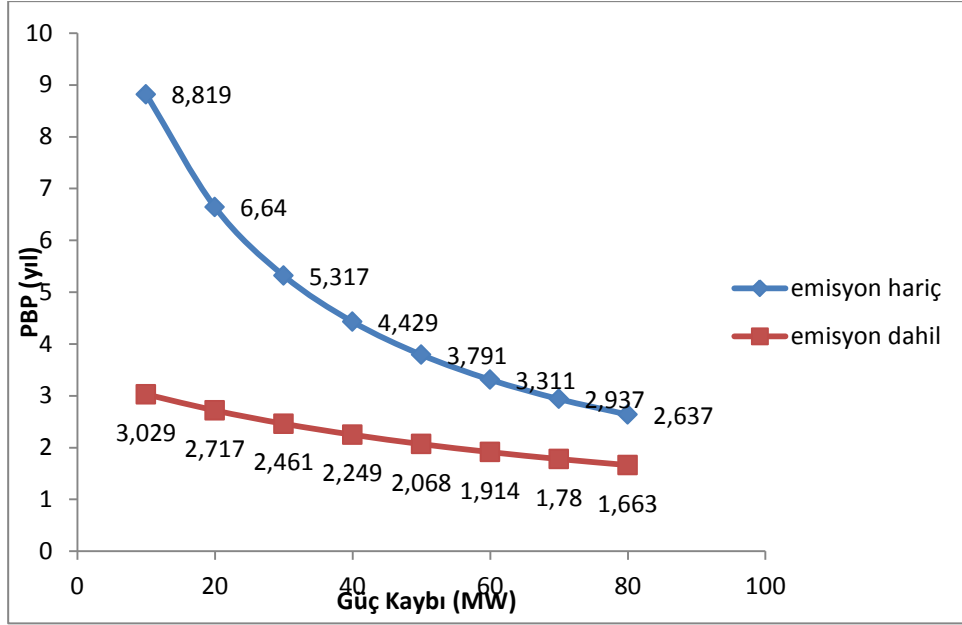


Şekil 8. 9 Yük faktörüne bağlı geri ödeme süresi (emisyon maliyeti dahil)

Şekil 8. 1-8. 9'dan da görüldüğü gibi emisyon maliyetinin kazan yenilemesinde oldukça önemli bir etkisi vardır ve kazan yenilemesini gerekli kılacak getiriye sahiptir. Şekil 8. 10 ve 8. 11 güç kaybına bağlı olarak, emisyon maliyetinin dahil edildiği ve edilmediği durum için, NPV ve PBP değişimini karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 8. 10 Güç kaybına bağlı net bugünkü değerin emisyon maliyetli ve emisyon maliyetsiz değişiminin kıyaslanması



Şekil 8. 11 Güç kaybına bağlı geri ödeme süresinin emisyon maliyetli ve emisyon maliyetsiz değişiminin kıyaslanması

Şekil 8. 10 ve 8. 11’den de açıkça görüldüğü gibi maliyet hesaplamalarına emisyon maliyetleri de eklendiği zaman yapılan yatırım oldukça avantajlı hale gelmektedir. Net bugünkü değerlerde önemli miktarda artış olurken geri ödeme süreleri de yani yapılan yatırımın kendini amorti edebilme süresi de oldukça düşmektedir. Bu da yapılacak olan yatırımı cazip hale getirmektedir.

Çizelge 8. 1’den görüldüğü üzere SO₂ ve NO_x emisyonları için o kadar çok olmasa da CO₂ emisyonu için düşük ve yüksek maliyet değerleri arasında oldukça büyük bir farklılık vardır. Bu farkın yapılan yatırım üzerinde etkisinin büyük olup olmadığını araştırdığımızda ise en belirgin farklılık yaratan güç kaybı üzerinden incelediğimizde sonuçlar arasında çok büyük farklılıklar olmadığı gözlemlenmiştir.

SEYİTÖMER TERMİK SANTRALİ'NDE KAZAN YENİLEME ÇALIŞMASI

1970'lerin başında projelendirilen ve sözleşmesi imzalanan Seyitömer Termik Santrali'nin 1. ve 2. üniteleri 1973 ve 1974 yıllarında, 3. ünitesi 1977 yılında ve 4. ünitesi 1989 yılında hizmete girmiştir.

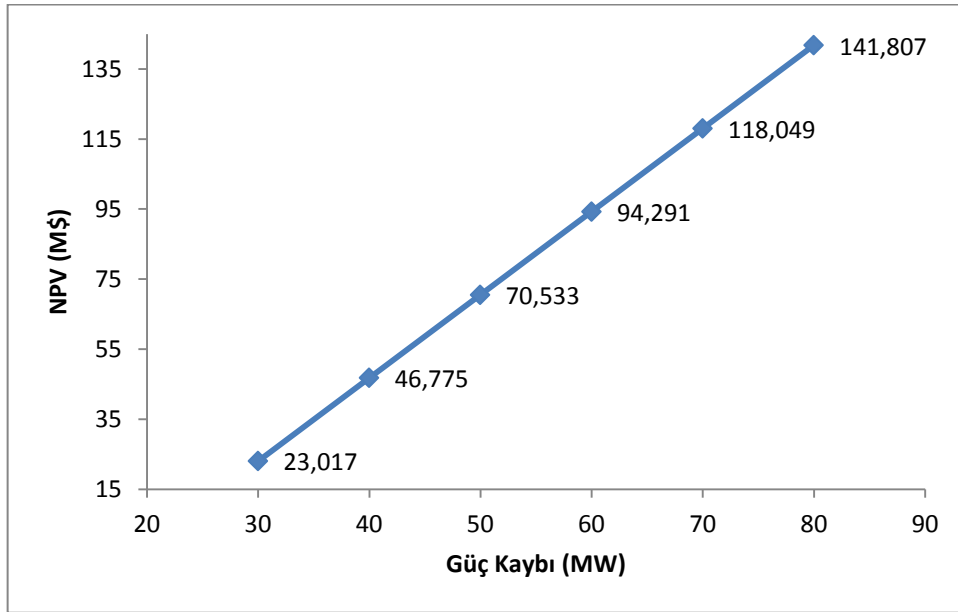
Her biri 150 MW gücünde 4 üniteden oluşan tesis 30 yılı aşkın süredir faaliyet göstermektedir. Santralde 2004 yılında elektrofiltre rehabilitasyonu yapılmış, 2006 ve 2007 yıllarında da ünitelerin bakım-onarım çalışmaları tamamlanmıştır.

Bu bölümde, Türkiye'nin Kütahya ilinde bulunan 600 MW kapasiteli linyit kömür yakıtı kullanan Seyitömer Termik Santrali'ndeki mevcut pülverize yakıtlı kazanın akışkan yataklı kazana dönüşümünün gerçekleştirilmesi durumundaki maliyet hesapları ele alınmıştır. Türkiye'de henüz baca gazı emisyonlarının belli bir protokol gereğince vergilendirmeye tabi tutulmamasından dolayı emisyon maliyetleri analize dahil edilmemiştir. Çizelge 9. 1'de Seyitömer Termik Santrali'ne ait bazı teorik bilgiler mevcuttur.

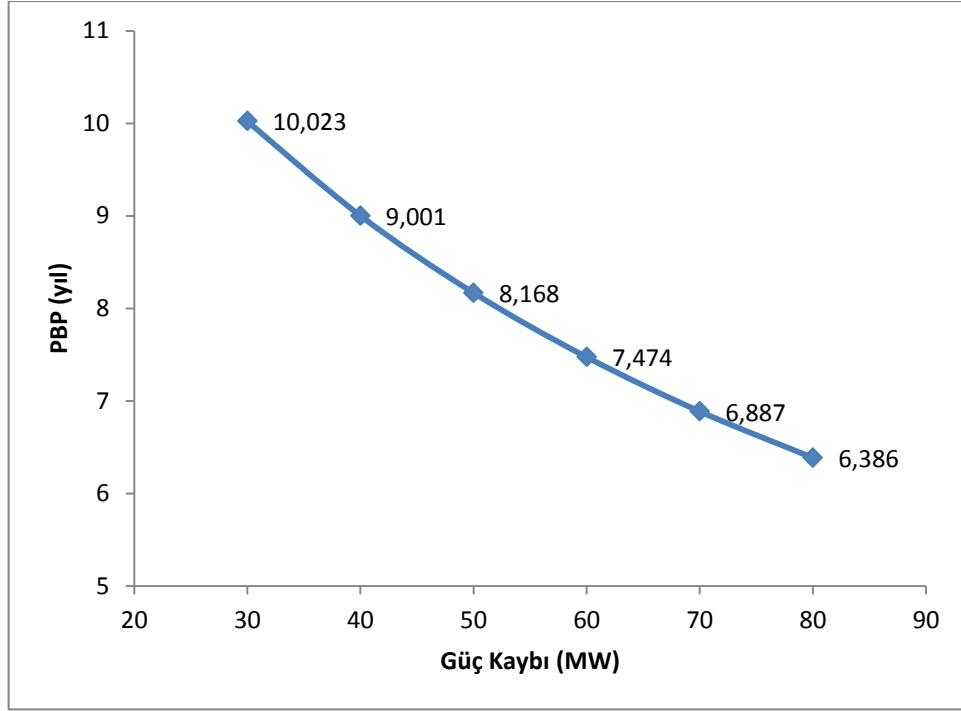
Çizelge 9. 1 Seyitömer termik santrali için teorik veriler [31, 32]

CFB ve yardımcı ekipman için özel yatırım maliyeti	C_i	176013000	\$
Söküm, montaj, işletmeye alma için özel yatırım maliyeti	C_d	0,0100784	\$/kWh
Özel sabit işletme ve bakım maliyeti	C_{om}	0,00417	\$/kWh
Santralin kurulu kapasitesi	N	600	MW
Yük faktörü	L_f	75	%
Yakıt alt ısı değeri	LHV	2,2097	kWh/kg
Faiz oranı	r	8	%
CFB sisteminin ekonomik ömrü	n	30	yıl

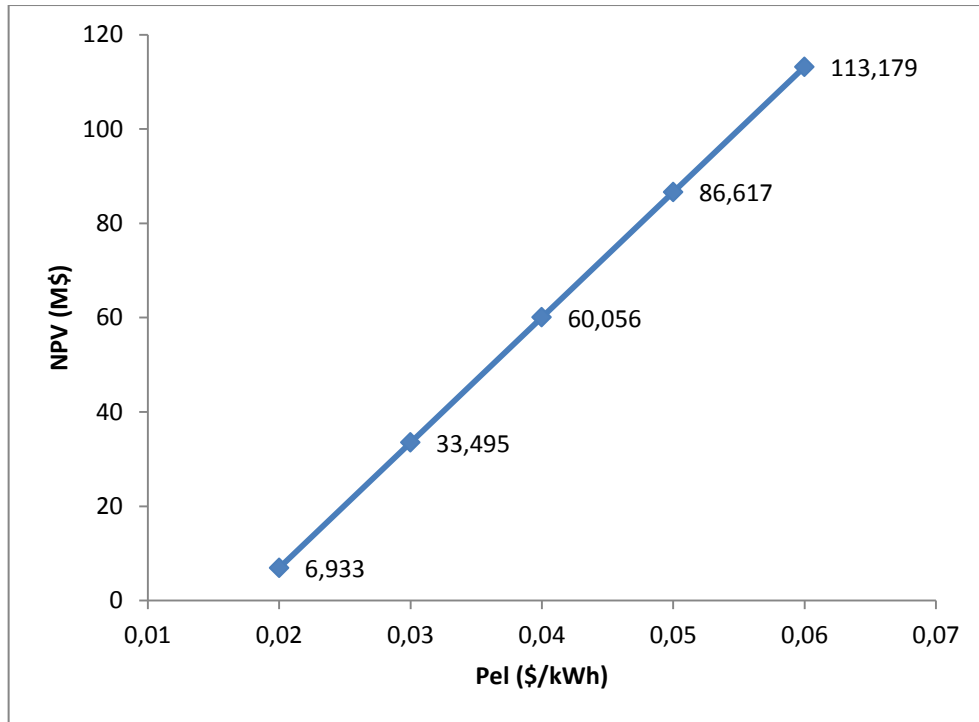
Bu veriler ve Bölüm 5'te vermiş olduğumuz hesaplama yöntemleri kullanılarak Seyitömer Termik Santrali için maliyet analizi yapılmış ve en belirgin etkileyici faktörlerden güç kaybı ve birim elektrik fiyatının net bugünkü değeri ve geri ödeme süresini nasıl etkilediğine aşağıda yer verilmiştir.



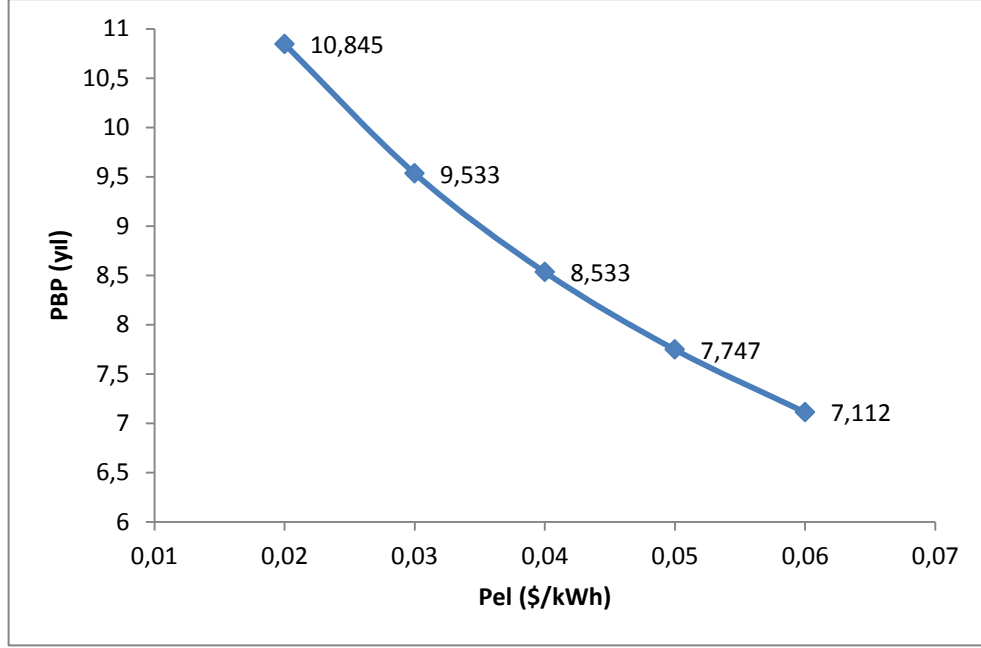
Şekil 9. 1 Seyitömer Termik Santrali için güç kaybına bağlı net bugünkü değer



Şekil 9. 2 Seyitömer Termik Santrali için güç kaybına bağlı geri ödeme süresi



Şekil 9. 3 Seyitömer Termik Santrali birim elektrik fiyatına bağlı net bugünkü değer



Şekil 9. 4 Seyitömer Termik Santrali birim elektrik fiyatına bağlı geri ödeme süresi

Şekil 9. 1-9. 4'ten görülen değerlerin Bölüm 5'te yapmış olduğumuz modele kıyasla geri ödeme süresinde daha fazla farklılık olması ve net bugünkü değerlerin daha düşük olması ele aldığımız santralin kapasitesinin çok daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü kapasite arttıkça yatırım maliyetleri büyüyecektir.

Güven, Kalkan, Afyonoğlu, Kuş ve Vural [32] çalışmalarında Seyitömer Termik Santrali'de SO_2 salınımlarını azaltabilmek için uygulanabilir beş seçenekten bahsetmişler ve her bir seçenek için maliyet analizi yapmışlardır. Bu beş seçenek şu şekildedir:

- Hiçbir şey yapmamak, santrali bugünkü haliyle çalıştırmaya devam etmek
- Mevcut tesise BGD retrofit (var olan tesisin yanına BGD kurmak) yatırımı yapmak
- Mevcut tesisin kazanını dolaşimli akışkan yataklı kazan ile yenilemek; böylece SO_2 salınımını kontrol altına alırken yer darlığı nedeniyle BGD ünitelerinin nasıl sığdırılacağı problemini bertaraf etmek
- Mevcut tesisi kapatıp komple yeni PC+BGD yatırımı yaparak tesisi yenilemek ve SO_2 salınımını istenen düzeye indirmek

- Mevcut tesisi kapatıp yerine aynı kapasitede komple yeni bir dolaşımli akışkan yatak santrali yaparak tesisi temiz teknolojili tesisle yenilemek

Bütün bu seçenekler için maliyet etkinlik analizi yapıp birbirleriyle kıyaslandığında, gerek ekonomik ömründen dolayı gerekse yüksek emre amadelik gibi ileriye dönük maliyetlerinin düşük olmasıyla konumuz olan kazan yenilemesi en ekonomik seçenek olmuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mevcut kazan yapısı ve performansı incelenmiş ve olumsuzluklarını gidermek amacıyla yeni teknolojilere dönüşümünün fizibilite çalışması yapılmıştır. Bir termik santralin yüksek kapasitede çalışmasını sağlayacak, yani verimini artıracak yenilemelere dikkat çekilmiştir. Dolayısıyla mevcut pülverize kazanın akışkan yataklı kazanla değişiminin 40 MW üstü kayıplarda, emisyon maliyetleri de dahil edildiğinde ise 10 MW'lık bir kayıp için bile yapılması uygun bulunmuştur. Akışkan yataklı kazanlar pülverize kazanlara kıyasla daha ekonomik olmakla birlikte, doğaya ve insan sağlığına zararlı emisyonların salınımını da çok daha az gerçekleştirir. Ayrıca, ExternE Çalışması'ndan alınan verilerle, azaltılan emisyonların santral maliyetine olumlu etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Emisyon vergilendirmeleri, azalan emisyonlarla dışsal maliyetleri bir hayli düşürmüş, bu da yenilenen santralin yıllık gelirine kâr olarak yansımıştır.

Kısacası mevcut eski pülverize kazanın akışkan yataklı kazanla yenilenmesi, santral ömrünü uzatırken, maliyet ve emisyon açısından da olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Doğaya ve insan sağlığına zararlı emisyonlar azalmış, santral maliyetleri düşmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Heper, Y., (1979). Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması, Ankara.
- [2] Basu, P. ve Talukdar, J.. "Revamping of a 120 MW_e Pulverized Coal Fired Boiler with Circulating Fluidized Bed Firing".
- [3] Basu, P. ve Haldeer, P.K., (1987). "A New Concept for Operation of Pulverized-Coal Fired Boiler using Circulating Fluidized Bed-Firing", Trans. of the ASME, 111:626-630.
- [4] Sen, A.N., Miller, L., Basu, P. ve Dutta, A.. "Revamping of 4x58 MWTH Pulverized Coal-Fired Boilers with Circulating Fluidized Bed Firing".
- [5] Basu, P., (1987). "Operation of an Existing Pulverized-Coal FiredBoiler as a Circulating Fluidized Bed Boiler – A Conceptual Study", Journal of the Institute of Energy, 77-83.
- [6] Ryabov, G.A., Tolchinskii, E.N., Nadyrov, I.I., Folomeev, O.M., Truckhachev, S.N. ve Shaposhnik, D.A., (2000). "Using Boilers with Circulating Fluidized Bed to Replace Old Pulverized-Coal Boilers", Thermal Engineering, 47: 679-685.
- [7] Kavidass, S., Walker, D.J., Norton, G.S., Jr. ve Bobcock&Wilcox. "IR-CFB Repowering: A Cost-Effective Option for Older PC-Fired Boilers", Barberton, Ohio, U.S.A..
- [8] Kavidass, S. ve Alexander, K.C., (1995). "Design Consideration of B&W IR-CFB Boilers", Power-Gen Americas'95, Anaheim, California, U.S.A., 5-7 Aralık 1995.
- [9] Kavidass, S., (1999). "Why CFB is Perfect for India", Powerline Magazine, India, Şubat 1999.
- [10] Oymak, O. ve Batu, A.. "Akışkan Yataklı Kazanlar", MİMAG-SAMKO Enerji Teknolojileri A.Ş.
- [11] Oymak O. ve Batu, A.. "Kojenerasyon ve Akışkan Yataklı Kazanlar", MİMAG-SAMKO Enerji Teknolojileri A.Ş.
- [12] Nowak, W.. "Clean Coal Fluidized-Bed Technology in Poland", 69: 42-200, Czestochowa, Poland.

- [13] Jacobs, J.P.. "The Future of Fluidized Bed Combustion", Essen, Germany.
- [14] VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, (1997). VGB Technical Scientific Report, Future of Fluidized Bed Combustion, (TW 212e), Essen.
- [15] Maryamchik, M., Wietzke, D.L. ve Bobcock&Wilcox. "B&W IR-CFB Boiler Operating Experience Update and Design", Baberton, Ohio, U.S.A..
- [16] Fan, Z., Goidich, S., Robertson, A. ve Roche, R.. "Performance and Economics of Ultra Supercritical Pressure CFB Boiler Power Plants", Foster Wheeler North America Corp., Livingston.
- [17] Çetin, B., (2010). "Economic Model for the Revamping of a Pulverized Coal-Fired Boiler", Energy Sources Part B: Economics, Planning and Policy, Aralık 2010, DOI Numarası: 10.1080/15567249.2010.551826. (Accepted).
- [18] Erkal, O., (2006). "Akışkan Yataklı Kazanlar", Teknik Yazı, Haziran 2006, 80: 12-13.
- [19] Karlsson, A. ve Gustavsson, L., (2003). "External Costs and Taxes in Heat Supply Systems", Energy Policy, 31: 1541-1560.
- [20] Berntsson, T., (1999). "Heat Sources-Technology, Economy and Environment", department of Heat&Power Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [21] European Commission, (1995). ExternE External Costs of Energy, v.1-6, Luxembourg.
- [22] European Commission, (1998a). ExternE Externalities of Energy- Methodology Annexes, Luxembourg.
- [23] European Commission, (1998b). ExternE Externalities of Energy- Summary of Results for Air Pollutants. Web Site, 19 Haziran 2001, <http://externe.jrc.es/All-EU+Summary.htm>.
- [24] Herzog, H., Eliasson, B. ve Kaarstad, O., (2000). "Capturing Greenhouse Gases", Scientific American 282(2), 54-61.
- [25] Sjödin, J., (2002). "Modelling the Impact of Energy Taxation", International Journal of Energy Research 26(6), 475-494.
- [26] Hamacher, T., Saez, R.M., Aquilinius, K., Cabal, H., Hallberg, B., Korhonen, R., Lechon, Y., Lepicard, S., Schleisner, L., Schneider, T. ve Ward, D., (2001). "A Comprehensive Evaluation of the Environmental External Costs of a Fusion Power Plant", Fusion Engineering and Design, 56-57, 95-103.
- [27] Rabl, A., (1997). "Environmental Damages and Costs: An Analysis of Uncertainties", ExternE Core Project: Maintenance.
- [28] Fahlen, E. ve Ahlgren, E.O., (2010). "Accounting for External Costs in a Study of a Swedish District-Heating System- An Assessment of environmental Policies", Energy Policy, 38: 4909-4920.

- [29] Kosigu, T., Tokimatsu, K., Kurosawa, A., Itsubo, N., Yagita, H. ve Sakagami, M., (2009). "Internalization of the External Costs of Global Environmental Damage in an Integrated Assessment Model", Energy Policy 37, 2664-2678.
- [30] Saral, A., Nokta Kaynakları, www.cem.yildiz.edu.tr, 13 Ocak 2012.
- [31] Avcı, S., (2005). "Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri", Coğrafya Dergisi, 13: 1-26, İstanbul.
- [32] Güven, S., Kalkan, S., Afyonoğlu, B., Kuş, S. ve Vural, B., (2008). "Termik Santrallerde AB Büyük Yakma Tesisleri Direktifi’ne Uyum", Pilot Etki Analizi Çalışması Raporu.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Merve ABACIOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.06.1987 DÖRTYOL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : merveabacioglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	İskenderun Demir Çelik Anadolu Lisesi	2005