

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

**GAZ TÜRBİNLERİNDE PERFORMANS ARTTIRMAK İÇİN UYGULANAN
BUHAR ENJEKSİYONUNUN TÜRBİN KANATLARINA ETKİSİ VE MALİYET
ANALİZİ**

RUFİ ÖZGÜR

**DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. RECEP ÖZTÜRK**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAZ TÜRBİNLERİNDE PERFORMANS ARTTIRMAK İÇİN UYGULANAN
BUHAR ENJEKSİYONUNUN TÜRBİN KANATLARINA ETKİSİ VE MALİYET
ANALİZİ**

Rufi ÖZGÜR tarafından hazırlanan tez çalışması 03.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Prof. Dr. Zehra YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA
Trakya Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince kıymetli bilgi birikimi ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK'e, değerli yardımlarını ve desteğini esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Hasan Hüseyin Erdem'e, literatür çalışmalarına sağladığı büyük katkı için Edif ERA Technology firması gaz türbinleri başdanışmanı Dr. Mike Wood'a, faydalı fikirleri ve yönlendirmeleri ile bana sürekli destek olan görevli olduğum enerji santralinde müdürüm, aynı zamanda ağabeyim Hasan Osma'ya, tüm yoğunluğuna rağmen desteğini esirgemeyen iş arkadaşım Mehmet Erenlerçayı'na, tezime olan katkılarından dolayı meslektaşım Tuğrul Başaran'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bununla birlikte en sıkıntılı anlarımda hep yanımda olan, bana karşı büyük sabır ve anlayış gösteren, verdikleri manevi desteklerinden dolayı değerli eşim ve kıymetli oğluma; bugünlere beni yetiştiren ve üzerimdeki haklarını asla ödeyemeyeceğim, dualarıyla bana manen destek olan aileme büyük minnet duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2019

Rufi ÖZGÜR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNDE YANMA ODASINA BUHAR ENJEKSİYONUNUN TÜRBİN PERFORMANSINA ETKİSİ.....	4
2.1 Tasarlanan Sistem Modeli ve Termodinamik Analizi	5
2.1.1 Kompresör	5
2.1.2 Yanma Odası	7
2.1.3 Gaz Türbini.....	8
2.1.4 Atık Isı Kazanı (HRSG).....	9
2.1.5 Buhar Türbini	10
2.1.6 Kondens suyu pompası.....	11
2.1.7 Kombine Çevrimin Verimliliği	11
2.2 Tasarlanan Modelin GateCycle Programı ile Analizi	12
2.2.1 GateCycle Programı	12
2.2.2 Alstom 13E2 Gaz Türbini	13
2.2.3 Tasarlanan Jenerik Santral Modeli	13

2.3	Buhar Enjeksiyonunun Avantajları.....	17
BÖLÜM 3		
GAZ TÜRBİNİ BİRİNCİ SIRA HAREKETLİ KANAT METAL SICAKLIĞI VE SERVİS ÖMRÜ		18
3.1	Birinci Sıra Hareketli Kanat	18
3.1.1	Inconel 738 LC	19
3.1.2	Termal Bariyer Kaplama	19
3.1.2.1	TBC Seramik Üst Kaplama	20
3.1.2.2	Bağ Katmanı	21
3.1.2.3	Termal Olarak Büyüyen Oksit Katmanı (TGO).....	22
3.1.3	Termal Bariyer Kaplamanın Çalışma Sırasındaki Evrimi	22
3.2	Birinci Sıra Hareketli Kanat Isı Transferi Modeli	22
3.2.1	Isı Transfer Modelinin Uygulaması	24
3.2.1.1	Soğutucu Akışkan Tarafı Isı Transfer Modeli.....	25
3.2.1.2	Sıcak Gaz Tarafı Isı Transferi.....	30
3.2.2	Birinci Sıra Hareketli Kanat Isı Transferi Hesaplamaları	38
3.3	Birinci Sıra Hareketli Kanat İçin Servis Ömür Modeli.....	42
3.3.1	Sıcak Gaz ile Temas Eden Bileşenlerin Servis Ömrünü Etkileyen Faktörler.....	43
3.3.1.1	Yüksek Sıcaklık Sürünmesi.....	43
3.3.1.2	Termal ve Mekanik Yorulma	46
3.3.1.3	Sıcak Korozyonu ve Oksidasyon	46
BÖLÜM 4		
BUHAR ENJEKSİYONUNUN EKONOMİK ANALİZİ.....		52
4.1	Buhar Enjeksiyonun Ekonomik Analiz Değişkenleri.....	53
4.1.1	Buhar Enjeksiyon Sistemi İlk Yatırım Maliyeti	53
4.1.2	Yakıt Maliyeti	54
4.1.2.1	Doğalgaz Debi Oranı Sm^3 Dönüşümü.....	54
4.1.3	Serbest Piyasa Elektrik Satış Fiyatı.....	54
4.1.4	Eşdeğer Çalışma Saati Maliyeti.....	55
4.1.5	USD/TL Kuru	55
4.1.6	Demineralize Su Maliyeti.....	55
4.1.6.1	Çok Etkili Damıtma (MED).....	56
4.2	Kâr/Zarar Analizi	57
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		61
KAYNAKLAR.....		64
EK-A		
13kg/s BUHAR ENJEKSİYONU İÇİN 2018 YILI AYLIK KÂR/ZARAR ANALİZLERİ		70
EK-B		

5kg/s BUHAR ENJEKSİYONU İÇİN 2018 YILI AYLIK KÂR/ZARAR ANALİZLERİ	75
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGE LİSTESİ

A_g	Gaz kesit alanı
A_{gs}	Tek bir kanadın gaz akışı için ıslatılmış yüzey alanı
C	Kanat genişliği
c	Soğutucu
C_p	Sabit basınçta özgül ısı
C_{p_d}	Kuru hava için özgül ısı
D_h	Soğutma hidrolik çapı
D_m	Ortalama kanat çapı
g	Sıcak gaz
H	Kanat yüksekliği
k	Isı iletim katsayısı
L_f	Hesaplanmış ömür
L_{fR}	Referans ömür
MW	Nemli havanın moleküler ağırlığı
MW_a	Kuru havanın moleküler ağırlığı = 28.96
MW_w	Suyun moleküler ağırlığı = 18.015
m	Giriş kütleli debi
m_{cb}	Kanat kütleli debisi
m_{cc}	Kanal kütleli debisi
m_g	Gazın kütleli debisi
N_b	Kanat sayısı
Nu	Nusselt sayısı
n_{ch}	Soğutucu kanal sayısı
n_v	Su buharı mol sayısı
Pr	Prandtl sayısı
p_d	Kuru hava kısmi basıncı, [Pa]
p_{sat}	Doymuş su buharı basıncı, [Pa]
p_v	Su buharı basıncı, [Pa]
q	Transfer edilen ısı oranı, [W/m ² K]
R_c	Nemli hava için gaz sabiti
R_d	Kuru hava gaz sabiti, 287.058 [J/(kg K)]
Re	Reynolds sayısı
R_o	Evrensel gaz sabiti, 8.31 [kJ/mol K]
R_v	Su buharı için gaz sabiti, 461.495 [J/(kg K)]

r	Geri kazanım sıcaklığı faktörü
St	Stanton sayısı
T_{REF}	Yakıcı sıcaklık artışı
T_{amb}	Ortam sıcaklığı
T_b	Kanat metal sıcaklığı
T_{cin}	Giren sıcaklığı
T_{co}	Çıkan soğutucu sıcaklığı
T_f	Film soğutucu sıcaklığı
T_{gr}	Türbin girişi geri kazanım sıcaklığı
T_{gst}	Gaz statik sıcaklığı
T_{gtot}	Gaz toplam sıcaklığı
T_{inj}	Enjeksiyon film sıcaklığı = T_{cin}
T_{max}	Maksimum gaz sıcaklığı
T_{min}	Minimum gaz sıcaklığı
t	Kalınlık
t_f	Bozulma zamanı
V	Hız [m/s]
WAR_{molar}	Suyun kuru havaya molar oranı
ϵ	Soğutma etkinliği
η_{ad}	Adyabatik film etkinliği
μ	Viskozite, [kg/m-s]
ψ_d	Kanal şekil faktörü
α_2	Akış çıkış açısı
Υ	İzantropik katsayısı
Υ_{water}	Su için özgül ısıların oranı
Υ_{dry}	Kuru hava için özgül ısıların oranı
P	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

CPR	Cycle Pressure Ratio, Çevrim Sıkıştırma Oranı
CIT	Compressor Intake Temperature, Kompresör Giriş Sıcaklığı
EOH	Equivalent Operating Hour, Eşdeğer Çalışma Saati
GOR	Gained Output Ratio, Kazanç Çıktı Oranı
GT	Gas Turbine, Gaz Türbini
HRSG	Heat Recovery Steam Generator, Atık Isı Kazanı
LHV	Lower Heating Value, Alt Isıl Değer
LMP	Larson Miller Parameter, Larson Miller Parametresi
MED	Multi Effect Distillation, Çok Etkili Damıtma
MSF	Multi Stage Flash Distillation, Çok Aşamalı Damıtma
RTDF	Radial Temperature Distribution Factor, Radyal Sıcaklık Dağılım Faktörü
SAR	Steam to Air Ratio, Buhar - Hava Oranı
SEM	Scanning Electron Microscope, Taramalı Elektron Mikroskobu
STIG	Steam Injected Gas Turbine, Buhar Enjeksiyonlu Gaz Türbini
TBC	Thermal Barrier Coating, Termal Bariyer Kaplama
TGO	Thermally Grown Oxide, Termal Olarak Büyütülen Oksit Katmanı
TIT	Turbine Inlet Temperature, Türbin Giriş Sıcaklığı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Teorik olarak tasarlanan sistem modeli..... 5
Şekil 2.2	Gaz türbini çevrimi T-s diyagramı 6
Şekil 2.3	Yanma odası kontrol hacmi..... 7
Şekil 2.4	İki basınçlı atık ısı kazanı sıcaklık – entalpi grafiği..... 10
Şekil 2.5	İki basınç kademeli buhar çevrimi T-s diyagramı 11
Şekil 2.6	Alstom 13E2 Gaz türbini genel görünümü 13
Şekil 2.7	Gate Cycle ile modellenen kombine çevrim santrali 14
Şekil 2.8	Güç çıkışlarının buhar enjeksiyon miktarına göre değişimi 15
Şekil 2.9	Optimum buhar enjeksiyon oranı 16
Şekil 2.10	Santral toplam gücünün gaz türbini iş akışkanı debisine göre değişimi 17
Şekil 3.1	Tipik bir TBC sisteminin SEM kesit görüntüsü [38]. 20
Şekil 3.2	Hareketli türbin bileşenlerinde TBC üst katmanda sıcaklığın tipik değişimi 21
Şekil 3.3	Gaz türbini kanat soğutma şeması (a) Dış soğutma (b) İç soğutma [41]. 23
Şekil 3.4	Film soğutmalı ve termal bariyer kaplamalı kanat boyunca sıcaklık profili. 24
Şekil 3.5	Buhar enjeksiyonu (13kg/s) ile yanma ürünleri sıcaklık-özellik ısı değişimi.. 33
Şekil 3.6	Buhar enjeksiyonu (13kg/s) ile yanma ürünleri gaz sabiti değişimi..... 33
Şekil 3.7	Hareketli türbin kanadı ortalama radyal sıcaklık dağılımı..... 34
Şekil 3.8	Aşındırıcıların yüksek sıcaklık rejimindeki etkisi [76] 47
Şekil 3.9	Birinci sıra hareketli kanatta kalkan TBC kaplama ve oksidasyon hasarı.... 49
Şekil 3.10	Kanat metal sıcaklığındaki değişimin EOH faktörüne etkisi..... 49
Şekil 4.1	1 Eylül 2018 için saatlik TL/MWh 55
Şekil 4.2	Desalinasyon ünitesine girenler ve çıkanlar 56
Şekil 4.3	13 kg/s Buhar enjeksiyonu aylık kâr/zarar grafiği..... 59
Şekil 4.4	5kg/s Buhar enjeksiyonu aylık kâr/zarar grafiği..... 59

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Alstom 13E2 Gaz türbini katalog değerleri 13
Çizelge 2.2	Modellenen santralin GateCycle sonuçları 14
Çizelge 3.1	IN738 LC kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) [37] 19
Çizelge 3.2	Kanat geometrisi ve soğutma sistemi bilgileri 27
Çizelge 3.3	Kuru hava ve su buharının ısı iletkenlik hesaplama katsayıları 29
Çizelge 3.4	Performans programı tasarım değerleri 30
Çizelge 3.5	Doğalgaz bileşenleri ve onların kimyasal formülleri 31
Çizelge 3.6	Doğalgaz için gaz hesaplamalarında kullanılacak katsayılar 32
Çizelge 3.7	Buhar enjeksiyonunun kanat metal sıcaklığına etkisi 42
Çizelge 3.8	Buhar enjeksiyonunun çalışma basıncına etkisi 45
Çizelge 3.9	13E2 EOH Katsayıları 50
Çizelge 3.10	13E2 EOH Faktörleri 50
Çizelge 3.11	13E2 için bakım zamanları 51
Çizelge 4.1	Ocak 2018 doğalgaz fiyatı 54
Çizelge 4.2	Doğalgaz Sm ³ dönüşümü 54

**GAZ TÜRBİNLERİNDE PERFORMANS ARTTIRMAK İÇİN UYGULANAN
BUHAR ENJEKSİYONUNUN TÜRBİN KANATLARINA ETKİSİ VE MALİYET
ANALİZİ**

Rufi ÖZGÜR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK

Gelişmekte olan ülkelerdeki güçlü ekonomik büyüme ile birlikte elektriğe olan talep her geçen gün artmaktadır; ancak serbestleşen elektrik piyasaları, yüksek değişkenlik gösteren gaz fiyatları nedeniyle enerji üreticileri, enerji verimliliğini artırmak, üretim maliyetlerini azaltmak ve piyasa koşullarındaki değişime daha hızlı cevap verebilmek için uygun maliyetli yollar bulmaya çalışmaktadırlar.

Güç üretimi için yaygın olarak kullanılan kombine çevrim santrallerinde, özellikle gaz türbinleri pik yüklerin karşılanması için sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, bilgisayar destekli analiz programı ile tasarlanan bir kombine çevrim santralinde buhar türbininden alınan bir miktar buharın, gaz türbini yanma odasına enjeksiyon yapılması sonucu hem türbinlerde hem de santral genelinde güç çıkışı ve performansta meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Performans programından alınan veriler ışığında buhar enjeksiyonunun gaz türbini birinci sıra hareketli kanatların metal sıcaklığında meydana getirdiği değişim hesaplanmış, sıcaklık değişiminin kanatların servis ömrüne olan etkisi incelenmiştir.

Son bölümünde; buhar enjeksiyonu nedeniyle oluşan ilave maliyetler ile fazladan üretilen elektrik enerjisinden elde edilen gelirler kıyaslanarak çalışmaya ekonomik bir boyut kazandırılmıştır. Bu kapsamda yapılan hesaplamalarda enjeksiyon sisteminin ilk

yatırım maliyeti, yakıt ve su gibi operasyonel maliyetler, bakım maliyetleri ile serbest piyasa elektrik satış fiyatlarının ortalamaları dikkate alınmıştır.

Bu çalışma ile; sabit yanma sıcaklığında çalışacak şekilde modellenen bir gaz türbininde ilgili kısıtlar çerçevesinde elektrik enerjisi üretimini maksimum yapacak buhar enjeksiyonu miktarı belirlenmiş; bu oranda yapılacak enjeksiyonun hem türbinde sağladığı ek enerji üretimi hem de gaz türbini birinci sıra hareketli kanatlarının servis ömrüne olan etkisi hesaplanmıştır. Böylece enjeksiyon sonucu santral genelinde oluşan gelirler ile giderler analiz edilerek tesisten elde edilebilecek net kâr/zarar gösterilmiştir. Bundaki amaç gaz türbini yanma odasına yapılacak olan bir buhar enjeksiyonu projesinin enerji üreticileri tarafında karşılık bulup bulamayacağının incelenmesidir.

Anahtar kelimeler : Buhar enjeksiyonu, performans analizi, termal bariyer kaplama, türbin kanadı servis ömrü, ekonomik analiz

**THE EFFECT OF THE STEAM INJECTION THAT IS APPLIED TO INCREASE
PERFORMANCE AT THE GAS TURBINES, TO THE TURBINE BLADES AND
COST ANALYSIS**

Rufi ÖZGÜR

Department of Mechanical Engineering

PhD Thesis

Adviser: Prof. Dr. Recep ÖZTÜRK

In developing countries, demand for electricity is increasing every day with strong economic growth; however, due to freer electric markets and highly volatile natural gas prices, energy producer are investigating new cost-effective methods to increase energy efficiency, decrease production cost and respond to market condition changes in fast way.

Combined cycle plants, especially gas turbines, in power generation are commonly used for meeting peak load demands. In this study, power output and performance changes in both turbines and power plant are analysed after injecting steam collected from steam turbine to gas turbine combustion chamber in a combined cycle plant designed with computer aided analysis program.

Based on data collected from performance program, temperature change at first stage blade metals during steam injection is calculated and effect of this temperature change on blade service life is analysed.

In the last section, additional costs due to steam injection and income generated from excess electric energy are compared to provide an economic dimension to this study. Accordingly, in those calculations initial investment cost of injection system, operational costs such as fuel and water, maintenance costs and average of free market electric sales prices are considered.

With this study, steam injection amount that will maximise electric energy generation under related boundaries are identified for a gas turbine modelled to operate at constant combustion temperature; effect of this amount of injection both on additional energy generation on turbine and on first stage blade service life of gas turbine is calculated. This way, income and costs in the power plant due to injection are analysed and net profit/loss from the plant are presented. Purpose here is to analyse whether steam injection project to gas turbine combustion chamber is considered feasible for energy producer.

Keywords: Steam injection, performance analysis, thermal barrier coating, turbine blade service life, economic analysis

1.1 Literatür Özeti

Rice buhar enjeksiyonlu bir gaz türbini çevrimi önermiştir. Bu çevrimde atık ısı kazanında üretilen buharın bir kısmı türbinin yanma odasına gönderilmiş, burada artan kütleli debi ile birlikte türbinin güç çıkışı artmıştır [1]. Mathioudakis endüstriyel bir gaz türbininin yanma odasına su enjeksiyonunun etkilerini analitik bağıntılar kullanarak incelemiştir. Ek yakıt sarfiyatı ile türbin giriş sıcaklığını sabit tutmuş ve bu durumda ana performans parametrelerindeki tahmini değişimleri veren ifadeler ortaya koymuştur [2]. Bir diğer çalışmada ise yanma odasına su/buhar enjeksiyonunu yine analitik olarak ele almış, farklı enjeksiyon miktarlarında güç, yakıt tüketimi ve termik verimdeki değişimleri incelemiştir [3].

Larson ve Williams STIG çevrimi için performans hesaplama yöntemi geliştirmiş, ayrıca bu teknolojinin kojenerasyon ve kombine çevrim uygulamaları için ekonomik önemini analiz etmiştir [4]. Borat türbine yapılan buhar enjeksiyonu ile birlikte gaz türbini termik veriminde ve net güç çıkışında %20 ile %40 aralığında bir artış olduğunu belirtmiştir [5].

Kadi vd. ise yanma odasına buhar enjeksiyonu durumunda çevre koşullarının termodinamik performansa etkilerini analitik ifadeler kullanarak incelemiştir [6]. Penning ve De Lange yaptıkları çalışmada kojenerasyon sistemlerinde yanma odasına su buharı enjekte edilmesiyle gaz türbininden elde edilen güçte bir artış meydana geldiğini; fakat yanma odasına su buharı enjekte edilmesiyle buhar türbininde iş yapacak buharın bir kısmı çekildiğinden sistemin toplam veriminde bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir [7].

De Paepe ve Dick buhar enjeksiyonu ile birlikte kanatları soğutulan türbinlerde termodinamik olasılıkları incelemişler, farklı türbin giriş sıcaklığı (TIT) değerleri için farklı basınç oranlarında verim ve güç değişimlerine bakmışlardır. Verimi maksimum yapan basınç oranlarının, gücü maksimum yapan basınç oranlarından daha yüksek değerlerde olduğunu belirtmişlerdir [8]. Akdeniz rejenerasyonlu ve rejenerasyonsuz durumda Cheng Çevrimi'nde buhar miktarının çevrimin net gücü ve verimine etkisi ile ilgili çalışmıştır [9].

Ainley girişteki gaz sıcaklığının sabit olduğunu kabul ederek kanat uçları boyunca olan ısı transferi süreçleri için temel denklemleri ortaya koymuştur [10]. Holland ve Thake konvektif olarak soğutulan kanatları kullanarak sabit türbin girişi gaz sıcaklığına ve kanat metal sıcaklığına dayalı soğutma etkinliğini tanımlamışlardır [11]. Horlock vd. soğutma havası akış debisinin (harici film soğutma ve içerden iletim ile soğutma) gaz türbini performansına (termik verime) etkisini araştırmışlardır [12].

Torbidoni, Consonni ve Ainley'in önceki çalışmalarına dayanarak yeni bir analitik model geliştirmiştir. Buna göre sıcak gaz ve soğutucu akışkanın giriş sıcaklıkları biliniyorsa birinci sıra hareketli türbin kanadı için gereken soğutma akışının debisini hesaplamıştır [13; 14].

Eshati gaz türbinine enjekte edilecek su miktarının, türbin kanatlarının ısı transferi ve sürünme ömrüne olan etkisini incelemiştir [15]. Wang gaz türbinlerinde sıcak gaz ile temas eden bileşenlerin hizmet ömrünü etkileyen faktörleri analiz etmiş, türbinin bakım periyotları arasında güvenli çalışmasının büyük oranda sıcak gaz ile temas eden bileşenlerin fiziki durumuna ve bakım seviyesine bağlı olduğunu belirtmiştir [16].

Hoeft vd. su veya buhar enjeksiyonunun, gaz türbininin bakım periyotlarının belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir [17]. Chan vd. termal bariyer kaplamasındaki hata nedenlerini incelemişlerdir [18]. Jin hesaplanan oksidasyon servis ömrünü türbinin temel tasarım durumuna referans ile eşdeğer çalışma saatine (EOH) dönüştürmüştür [19].

Çetin vd. kombine çevrim sistemi için birim enerji (elektrik ve ısı) üretim maliyetini hesaplayarak minimum elektrik üretim maliyetini (EPC) bulmayı amaçlayan termo-ekonomik bir analiz metodolojisi sunmuşlardır [20].

1.2 Tezin Amacı

Modellenen kombine çevrim santralinde bir miktar buharın, buhar türbininden alınarak gaz türbininin yanma odasına enjeksiyon yapılması ile santral genelinde güç çıkışında meydana gelen değişimin tespiti, literatür araştırmalarında belirtilen teorik kısıtlamalara göre optimum buhar enjeksiyon miktarının tayini, enjeksiyon neticesinde gaz türbininde değişen ısı transferi koşulları nedeniyle sıcak gaz ile temas eden parçaların güncel çalışma şartlarının belirlenmesi, yeni çalışma koşullarının gaz türbini parçalarının servis ömürlerine olan etkisinin bulunması, servis ömründe meydana gelen değişimin ekonomik boyutunun analizi yapılmıştır.

Kombine çevrim santralinde buhar enjeksiyonu olmadan ve enjeksiyon yapıldıktan sonra belirlenen santral performansı, gaz türbini parçalarının servis ömrü ve ekonomik analizler bir araya getirilerek, serbest piyasa koşullarındaki güncel parametreler ile yanma odasına buhar enjeksiyonu sisteminin kâr/zarar analizi yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Modellenen kombine çevrim santralinde, endüstriyel gaz türbinine yapılan optimum buhar enjeksiyonunu ile santralin performansı modellenmiştir. Performans modeline dayanarak buhar enjeksiyonunun gaz türbini ekipmanlarında meydana getirdiği hata faktörleri analiz edilerek, gaz türbini birinci sıra hareketli kanadın servis ömründeki değişimin tespiti için bir model önerilmiştir.

Tasarlanan santralin performans analiz değerlerinin, sıcak gaz ile temas eden gaz türbini parçalarının servis ömrü modelinin, güncel elektrik satış ve gaz alış fiyatları ile demineralize su maliyetlerinin değişken parametreler olarak kullanıldığı ekonomik analiz modeli oluşturularak buhar enjeksiyon sisteminin elektrik piyasasında karşılık bulup bulamayacağı incelenerek tezin özgünlüğüne orijinal katkı sağlanmıştır.

KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNDE YANMA ODASINA BUHAR ENJEKSİYONUNUN TÜRBİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Son elli yıldır gaz türbinleri ile buhar türbinlerinin performansını arttırmak için çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. En yaygın uygulama gaz türbin çevrimi (Brayton çevrimi) ile buhar çevriminin (Rankine çevrimi) bir atık ısı kazanı ile birleştirildiği kombine çevrim uygulamasıdır. Böyle bir uygulamada dış ortamdan çekilen hava kompresör yardımı ile kompresörün sıkıştırma oranına göre sıkıştırılır. Sıkıştırılan hava yanma odasına gönderilir burada yakıt ile bir araya gelerek yanmayı gerçekleştirir. Oluşan yanma sonu ürünleri türbin boyunca genişlerken türbinin dönmesini, dönen türbin ise generatörde güç üretilmesini sağlar.

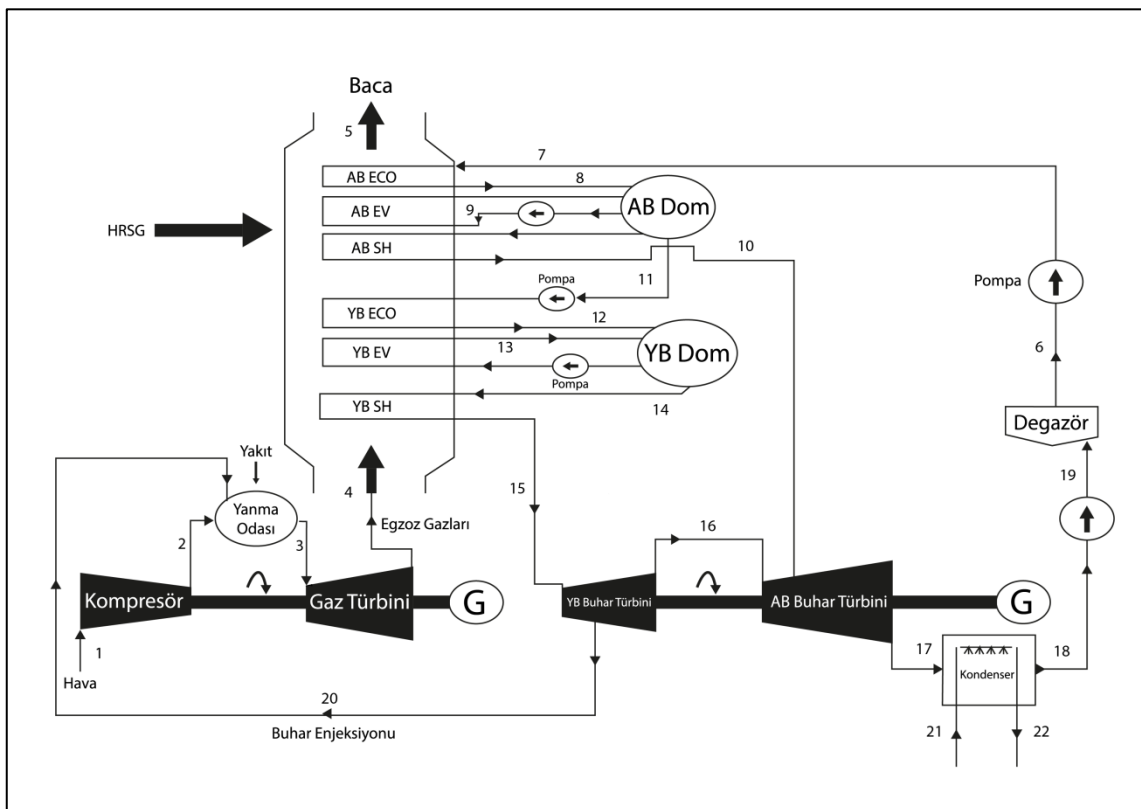
Egzoz gazları türbinden atık ısı kazanına geçer, burada egzoz gazının atık ısı ile buhar üretimi gerçekleşir. Üretilen yüksek basınçlı ve alçak basınçlı buhar, buhar türbininde genişlerken türbini, dolayısı ile generatörü döndürerek güç üretimini sağlar. Basıncı azalan buhar kondenserde yoğunlaşır, bir pompa yardımı ile iş akışkanı olarak tekrar kazana gönderilir.

Gaz türbini veya buhar türbini çevriminin performansını arttırarak kombine çevrim enerji üretim sistemlerinin performansını iyileştirmek mümkündür. Bu çalışmada buhar türbininden çekilen bir miktar buharın gaz türbini yanma odasına gönderilmesi ile hem gaz türbini hem de santralin toplam performansında meydana gelen değişim incelenmiştir.

2.1 Tasarlanan Sistem Modeli ve Termodinamik Analizi

Bu çalışma için tasarlanan sistem bir adet gaz türbini, bir adet atık ısı kazanı ve bir adet buhar türbininden oluşmaktadır. Yapılacak olan analiz ile gaz türbini yanma odasına gönderilecek olan buharın, buhar türbininin hangi kademesinden, hangi oranda çekileceği ve bunun hem türbin performanslarına hem de genel santral performansına etkisi incelenecektir.

Yapılan analizlerde sistemin kararlı halde olduğu, yanma odasında tam yanma reaksiyonunun gerçekleştiği, hava ve yanma ürünlerinin ideal gaz olduğu ve atık ısı kazanında ek yanma olmadığı kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalarda yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Teorik olarak tasarlanan sistem modeli

2.1.1 Kompresör

Termodinamiğin birinci kanununu kullanarak, kompresöre giren hava sıcaklığını, kompresörün sıkıştırma oranını ve kompresörün izantropik verimliliğini biliyorsak gerekli diğer parametreleri belirleyebiliriz.

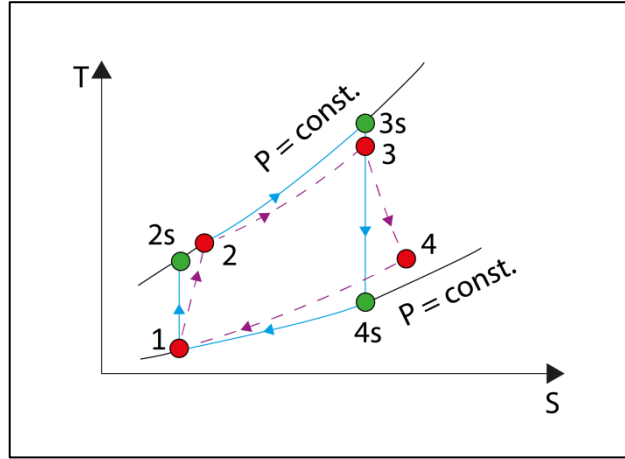
Kompresör basınç oranı (P_{rc}) aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir. [21].

$$P_{rc} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.1)$$

Burada; P_1 kompresör giriş hava basıncı, P_2 kompresör çıkış hava basıncını göstermektedir.

Kompresörler için izantropik verim 85-90% aralığındadır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [22];

$$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 Gaz türbini çevrimi T-s diyagramı

Burada; T_1 kompresör giriş sıcaklığını, T_2 kompresör çıkış sıcaklığını, T_{2s} kompresör izantropik çıkış sıcaklığını göstermektedir.

Kompresör çıkış sıcaklığı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir [23].

$$T_2 = T_1 \left(1 + \frac{\frac{(k_h - 1)}{P_{rc}^{k_h}} - 1}{\eta_{cis}} \right) [K] \quad (2.3)$$

Burada; k_h havanın özgül ısılarının oranını, η_{cis} kompresör izentropik verimini göstermektedir.

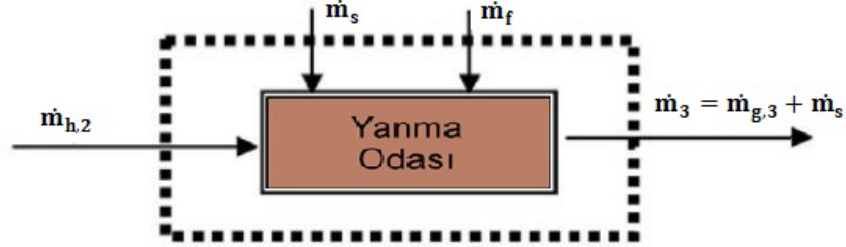
Kompresör işi (W_c) aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

$$W_c = \frac{c_{ph} \times T_1 \left(P_{rc}^{\frac{(k_h - 1)}{k_h}} - 1 \right)}{\eta_m \times \eta_c} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (2.4)$$

Burada, c_{ph} havanın sabit basınçtaki özgül ısı kapasitesi, η_m kompresörün mekanik verimini göstermektedir.

2.1.2 Yanma Odası

Termodinamik analiz hesaplanmaları, yanma odasının temel hacmine uygulanan bir enerji dengesi denklemi ile başlar,



Şekil 2.3 Yanma odası kontrol hacmi

$$\dot{m}_h \times h_{2,h} + \dot{m}_f \times \text{LHV} + \dot{m}_s \times h_{s,\text{inj}} = (\dot{m}_h + \dot{m}_f) \times h_{3,g} + \dot{m}_s \times h_{s,\text{icc}} \quad [\text{kW}] \quad (2.5)$$

Burada, $\dot{m}_h$ havanın kütleli debisini, $h_{2,h}$ havanın özgül entalpisini, $\dot{m}_f$ yakıtın kütleli debisini, LHV yakıtın alt ısı değeri, $\dot{m}_s$ buharın kütleli debisini, $h_{s,\text{inj}}$ buharın özgül entalpisini, $h_{3,g}$ yanma odasından çıkan yanma gazlarının özgül entalpisini, $h_{s,\text{icc}}$ yanma odasından çıkan buharın özgül entalpisini ifade etmektedir.

Buhar, yanma odası girişinde enjekte edildiğinden, kompresör bölümündeki hesaplama parametreleri değişmez. Buhar enjeksiyonunun olmadığı durumdaki yakıt debisi;

$$\dot{m}_f = \frac{P_{cc}}{\text{LHV} \times \eta_{cc}} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (2.6)$$

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_h} \quad \text{ve} \quad s = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_h} \quad (2.7)$$

Burada;

f : Yakıt hava oranı (buhar enjeksiyonu yok iken),

s : Enjekte edilen buhar / basınçlı hava oranı

Yapılan model, buhar enjeksiyonundan sonra yanma odasını sabit sıcaklıkta tutacak şekilde tasarlandığından buhar enjeksiyonundan sonra yanma odasına ilave yakıt eklenmelidir. İlave edilmesi gereken yakıt miktarı (2.8) eşitliği ile hesaplanır.

$$f'' = \frac{(h_{3,g} - h_{2,h}) + s \times (h_{3,s} - h_{2,s})}{\eta_{cc} \times \text{LHV} - h_{3,g}} \quad (2.8)$$

Burada;

h : Entalpi $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$

LHV : Alt ısı değeri $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$

η_{cc} : Yanma verimi

Enjekte edilen buhar ile basınçlı hava oranı (2.9) eşitliği yardımı ile hesaplanabilir [24].

$$s = \frac{(A-C) \times \alpha + (B-C) \times \sigma}{\sigma \times D - (A-C) \times \beta} \quad \left[\frac{\text{kg Buhar}}{\text{kg hava}}\right] \quad (2.9)$$

Burada;

$$\alpha = (h_{3,g} - h_{2,h}), \beta = (h_{3,s} - h_{2,s}), \sigma = (\eta_{cc} \times \text{LHV} - h_{3,g}), A = ((\eta_{th} \times \text{LHV} / \eta_m)),$$

$$B = (w_c / \eta_{mec}), C = (h_{3,g} - h_{4,g}), D = (h_{3,s} - h_{4,s}) \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

Burada ise; η_{th} çevrimin termik verimini, η_{mec} mekanik verimi, w_c kompresör özgül işini (kJ/kg) göstermektedir.

Enjekte edilen buhar oranı yanma odasına giren hava oranına göre çok küçük olduğu için, buhar enjekte edilirken yanma odasındaki basınç artışı ihmal edilmiştir. Gaz türbinine bağlı kompresör yanma odasındaki basıncı belirler.

2.1.3 Gaz Türbini

Gaz türbininden çıkan egzoz gazının sıcaklığı (2.10) eşitliği ile bulunur [25].

$$T_4 = T_3 \left(1 - \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{P_{rt}^{k_g}} \right) \right) \quad [K] \quad (2.10)$$

Burada; P_{rt} türbin basınç oranını, k_g gazların özgül ısı oranını, η_{tis} türbin izantropik verimini göstermektedir.

Türbin tarafından üretilen iş (2.11) eşitliği ile bulunur.

$$w_t = C_{pg} \times (T_3 - T_4) \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right] \quad (2.11)$$

Gaz türbini tarafından birim kütle için üretilen net iş ($W_{g,net}$) aşağıdaki (2.12) eşitliği ile bulunur [26].

$$w_{g,net} = c_{pg} \times T_3 \times \eta_{tis} \times \left(1 - \frac{1}{\frac{k_g-1}{P_{rt}}} \right) - \frac{c_{ph} \times T_1 \left(P_{rc}^{\frac{(k_h-1)}{k_h}} - 1 \right)}{\eta_m \times \eta_c} \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (2.12)$$

Gaz türbini tarafından üretilen güç (buhar enjeksiyonu yok iken),

$$P_{gt} = (\dot{m}_h + \dot{m}_f) \times (h_{3,g} - h_{4,g}) \quad [kW] \quad (2.13)$$

Gaz türbini tarafından üretilen güç (buhar enjeksiyonu var iken),

$$P_{gt} = (\dot{m}_h + \dot{m}_f) \times (h_{3,g} - h_{4,g}) + \dot{m}_s \times (h_{s,t_3} - h_{s,t_4}) \quad [kW] \quad (2.14)$$

Gaz türbin çevriminin faydalı gücü;

$$P_{g,net} = \left((\eta_{mec,t} \cdot P_t) - (P_c / \eta_{mec,c}) \right) [kW] \quad (2.15)$$

Sisteme birim zamanda giren ısı miktarı;

$$\dot{Q}_{g,g} = \dot{m}_f \times LHV \quad [kW] \quad (2.16)$$

Gaz türbini çevrimi termik verimi aşağıdaki (2.17) denklemi ile bulunur [27].

$$\eta_{g,th} = \frac{P_{g,net}}{\dot{Q}_{g,g}} \quad (2.17)$$

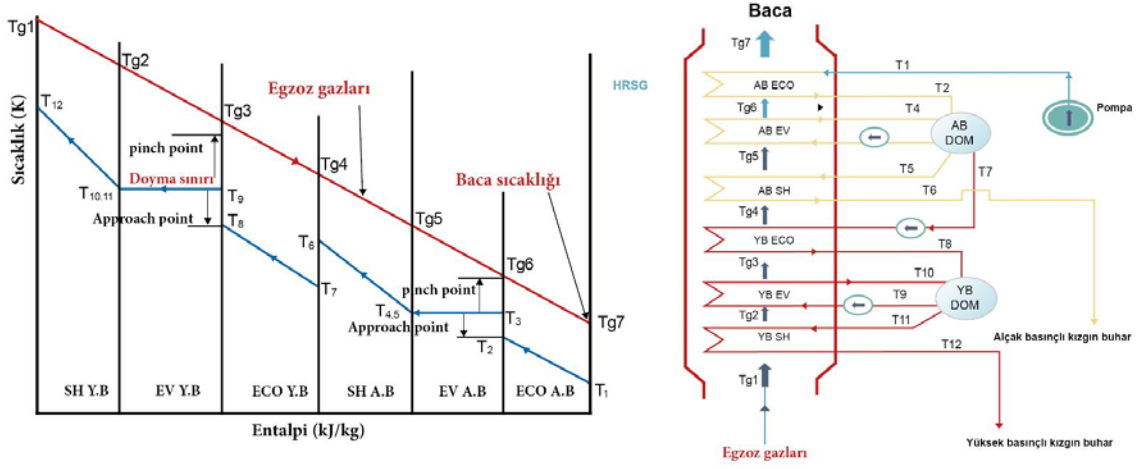
2.1.4 Atık Isı Kazanı (HRSG)

Bu çalışmada tek basınçlı kazana göre daha yüksek verim elde edilebilmesi, üç basınçlı kazana göre yatırım maliyetinin daha düşük olması nedeniyle çift basınçlı atık ısı kazanı tercih edilmiştir.

Çift basınçlı atık ısı kazanı (HRSG), geri kazanılan ısı miktarını maksimuma çıkarmak üzere düzenlenmiş hem yüksek basınç hem de alçak basınç için kademesi ayrı ayrı tasarlanmış ekonomizör, buharlaştırıcı ve kızdırıcıdan oluşan bir ısı eşanjörü dizisidir. Ekonomizörler suyu doyma seviyesinin yakınına kadar ısıtmak için, buharlaştırıcı doymuş buhar üretmek için, kızdırıcı ise kızgın buhar üretmek için kullanılır. Kazanda bulunan buhar domları buharlaştırıcı çıkışındaki buhardan suyu ayıran ekipmanlardır.

Atık ısı kazanlarında ısı transferinin etkinliğini etkileyen en önemli parametreler; sıkışma noktası (pinch point – TPP), yaklaşma noktası (approach point – TAP) ve atık ısı kazanı boyunca basınç düşüştür. Sıkışma noktası, sistemin buharlaştırıcı kısmını terk eden gaz sıcaklığı ile o kısımdaki buhar basıncına karşılık gelen doyma sıcaklığı

arasındaki farktır. Yaklaşım noktası, sıvının doyma sıcaklığı ile buharlaştırıcıya giriş sıcaklığı arasındaki farktır.



Şekil 2.4 İki basıncılı atık ısı kazanı sıcaklık – entalpi grafiği

HRSG'nin tasarımını simüle etmenin ilk adımı farklı ısı eşanjörleri üzerindeki sıcak ve soğuk akışlar (gaz tarafı ile su/buhar tarafı) arasındaki kütle ve enerjiyi dengelemektir [28].

Enerji dengesi aşağıdaki denklemler ile ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_g = [\dot{Q}_{SH} + \dot{Q}_{EV} + \dot{Q}_{ECO}]_{HP} + [\dot{Q}_{SH} + \dot{Q}_{EV} + \dot{Q}_{ECO}]_{LP} \quad [kW] \quad (2.18)$$

$$(\dot{Q}_{SH})_{HP} = \dot{m}_{ss}(h_{12} - h_{11})_{HP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g1} - T_{g2}) \quad [kW] \quad (2.19)$$

$$(\dot{Q}_{EV})_{HP} = \dot{m}_s(h_{10} - h_9)_{HP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g2} - T_{g3}) \quad [kW] \quad (2.20)$$

$$(\dot{Q}_{ECO})_{HP} = \dot{m}_w(h_8 - h_7)_{HP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g3} - T_{g4}) \quad [kW] \quad (2.21)$$

$$(\dot{Q}_{SH})_{LP} = \dot{m}_{ss}(h_6 - h_5)_{LP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g4} - T_{g5}) \quad [kW] \quad (2.22)$$

$$(\dot{Q}_{EV})_{LP} = \dot{m}_s(h_4 - h_3)_{LP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g5} - T_{g6}) \quad [kW] \quad (2.23)$$

$$(\dot{Q}_{ECO})_{LP} = \dot{m}_w(h_2 - h_1)_{LP} = \dot{m}_g \cdot c_{p_g}(T_{g6} - T_{g7}) \quad [kW] \quad (2.24)$$

2.1.5 Buhar Türbini

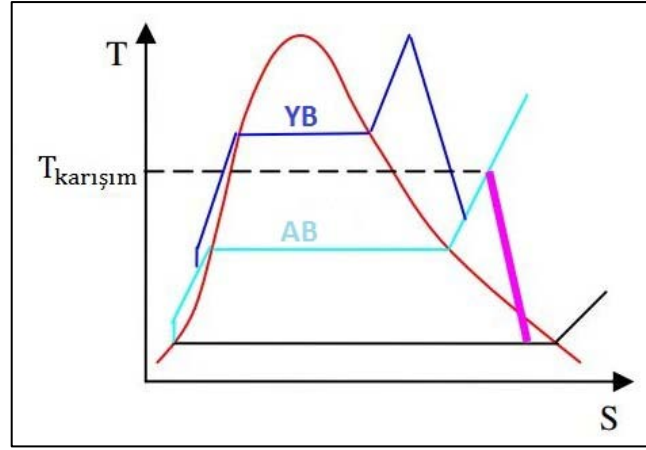
Gaz türbinine gönderilen buhar, buhar türbininden çekileceği için buhar türbinine her iki duruma göre enerji dengesi uygulanarak, aşağıdaki ilişki elde edilir,

Buhar enjeksiyonu yok ise;

$$\dot{W}_{st} = \dot{m}_{s,hp}(h_{15} - h_{17}) + \dot{m}_{s,lp}(h_{10} - h_{17}) \quad [\text{kW}] \quad (2.25)$$

Buhar enjeksiyonu var ise;

$$\dot{W}_{st} = \dot{m}_{s,hp}(h_{15} - h_{20}) + (\dot{m}_{s,hp} - \dot{m}_{s,i})(h_{20} - h_{17}) + \dot{m}_{s,lp}(h_{10} - h_{17}) \quad (2.26)$$



Şekil 2.5 İki basınç kademeli buhar çevrimi T-s diyagramı

Buhar türbini termik verimi için aşağıdaki ilişki ile elde edilir,

$$\dot{Q}_{g,st} = \dot{m}_g(h_4 - h_5) \quad [\text{kW}] \quad (2.27)$$

$$\eta_{st,th} = \frac{\dot{W}_{st} - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{g,st}} \quad (2.28)$$

2.1.6 Kondens suyu pompası

Pompa tarafından tüketilen iş,

Buhar enjeksiyonu yok ise;

$$\dot{W}_p = (\dot{m}_{s,hp} + \dot{m}_{s,lp})(h_{18} - h_{19}) \quad (2.29)$$

Buhar enjeksiyonu var ise;

$$\dot{W}_p = (\dot{m}_{s,hp} + \dot{m}_{s,lp} - \dot{m}_{s,i})(h_{18} - h_{19}) \quad (2.30)$$

2.1.7 Kombine Çevrimin Verimliliği

Gaz türbini çevrimi ile buhar türbini çevrimi bir arada düşünülüp, tüm sistemin termik verimi için aşağıdaki denklem yazılabilir [29].

$$\eta_{kc} = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_c + \dot{W}_{st} - \dot{W}_p}{\dot{Q}_{g,g}} \quad (2.31)$$

Isı oranı (heat rate), santrallerde verimliliği göstermek için yaygın olarak kullanılan bir terimdir. Isı oranı, verimin tersidir; daha düşük bir ısı oranı daha iyidir. Enerji santralleri bağlamındaki ısı oranı, bir birim çıktı üretmek için gereken girdi olarak düşünülebilir. Genellikle bir birim elektrik üretmek için gereken yakıt miktarını gösterir.

$$HR = \frac{\text{Giren Isı}}{\text{Üretilen Elektrik}} \left[\frac{\text{kJ/h}}{\text{kW}} \right] \quad (2.32)$$

$$\eta_{kc} = \frac{3600}{HR} \times 100\% \left[\frac{\text{kW}}{\text{kJ/s}} \right] \quad (2.33)$$

2.2 Tasarlanan Modelin GateCycle Programı ile Analizi

Yapılan çalışmada Alstom 13E2 modeli gaz türbini, buna bağlı iki basıncılı bir atık ısı kazanı ile buhar türbininden oluşan bir kombine çevrim santrali, GateCycle programı ile modellenerek, buhar türbininin farklı basınç kademelerinden çeşitli miktarlarda buhar çekilerek, gaz türbini güç çıkışındaki ve verimlilikteki değişimler gözlemlenmiş, teorik kısıtlamalar dikkate alınarak, çekilecek buharın optimum miktarı ve çekileceği basınç kademesi için optimum nokta tespit edilmeye çalışılmıştır. Kombine çevrim sistemindeki her bileşen için sıcaklık ve basınç gibi gerçekçi koşullar göz önünde bulundurularak, buhar enjeksiyonu entegre edilen kombine çevrimin performans analizi incelenmiştir.

2.2.1 GateCycle Programı

GateCycle güç santrallerinin tasarımı ve analizi için geliştirilen bir mühendislik uygulamasıdır. GateCycle yazılımı, tasarımcılara bir tesisin tasarım değerleri ile işletilmesini modelleme ve değişen yükler, ortam koşulları ve ekipman bozulmaları ile tesisin performansındaki değişiklikleri anlama ve tahmin etme kolaylığı sağlar. Bu program ile kombine çevrim, kojenerasyon, geleneksel kömür ve akışkan yataklı elektrik santralleri dahil olmak üzere neredeyse tüm santral sistemlerini tasarlamak ve analiz etmek mümkündür [30]. Program dahili bir veritabanına sahip, sağlam mühendislik modellerini içeren aynı zamanda da kullanıcı tarafından özelleştirilebilen hesaplamalara entegre edilmiş, esnek bir paket yazılımdır.

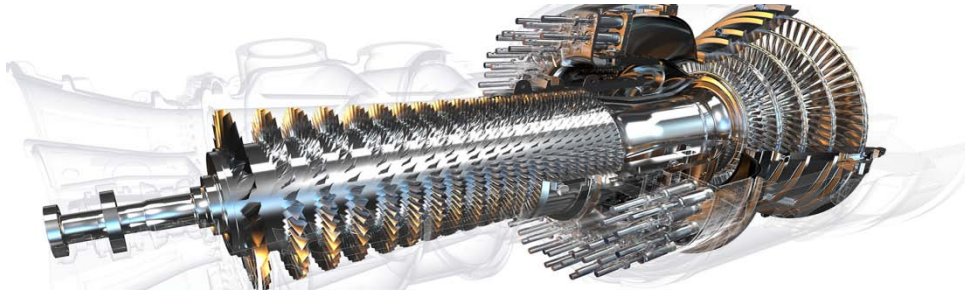
2.2.2 Alstom 13E2 Gaz Türbini

Modellemede kullanılacak türbin için Alstom firmasının 13E2 modeli gaz türbini seçildi. Bu türbine bağlı 2 basınç kademesi (alçak basınç : 6 bar ve yüksek basınç : 60 bar) olan atık ısı kazanı ile bir buhar türbini seçildi.

Alstom 13E2 modeli türbinin katalog özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Alstom 13E2 Gaz türbini katalog değerleri

Türbin Modeli	Üretici	Güç (MW)	Verim	Komp. Sıkıştır. Oranı	Isı Oranı (kJ/kWh)
13E2	Alstom	165	35.7	15.4 : 1	9892



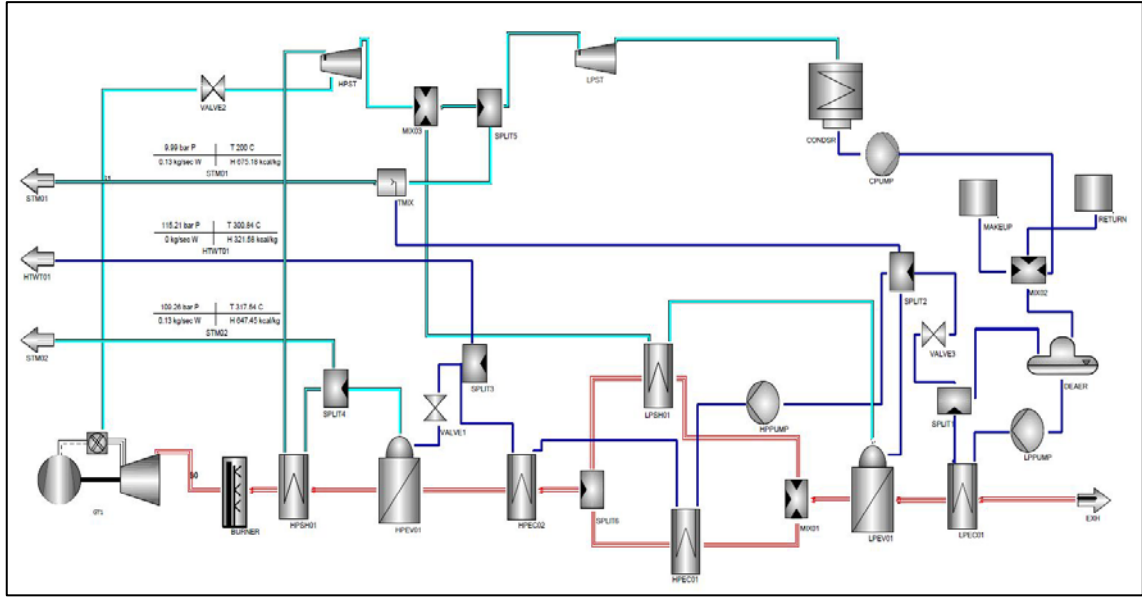
Şekil 2.6 Alstom 13E2 Gaz türbini genel görünümü

2.2.3 Tasarlanan Jenerik Santral Modeli

Alstom 13E2 modeli bir gaz türbini, bir atık ısı kazanı ve bir buhar türbininden oluşan bir kombine çevrim santrali modellendi. Buhar türbini alçak ve yüksek basınç olmak üzere iki kademeli planlandı. Atık ısı kazanında alçak basınç 6 bar, yüksek basınç 60 bar olacak şekilde tasarım yapıldı.

Model tasarlanırken performansların eşit olarak kıyaslanabilmesi için çevre şartları ISO standards 3977-2 (Gas Turbines - Procurement - Part 2: Standard Reference Conditions and Ratings) göre sabit kabul edildi. Ortam sıcaklığı 15 °C, ortam basıncı 101,35 kPa deniz seviyesi, bağıl nem %60 olarak kabul edildi. Tasarlanan modelin kontrol sistemi gaz türbini çıkış sıcaklığını sabit tutmaya yönelik çalışacak şekilde ayarlandı.

Yanma odasına püskürtülecek buharın, buhar türbininin hangi kademesinden çekileceği konusunda Heppenstall (1998) [31] çalışmasında belirttiği, yanma odasına gönderilen buhar basıncının kompresör çıkış basıncından az olamayacağından hareketle yüksek basınç kademesinden buhar çekilmesine karar verildi.



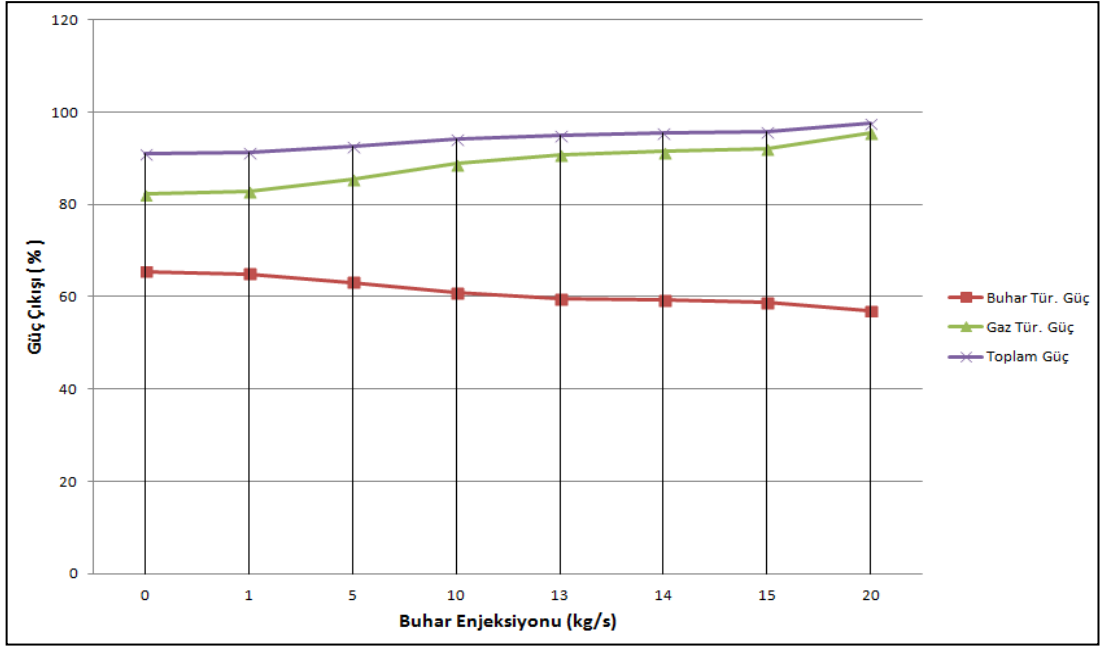
Şekil 2.7 GateCycle ile modellenen kombine çevrim santrali

Buhar türbininden çekilecek optimum buhar miktarını belirlemek için öncelikle buhar enjeksiyonu yapılmadan gerçekleşen değerler tespit edilerek, ardından 1, 5, 10, 13, 14, 15, 20 kg/s buhar enjeksiyonu yapılacak şekilde denemeler yapıldı, oluşan değerler belirlendi. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 2.2 Modellenen santralin GateCycle sonuçları

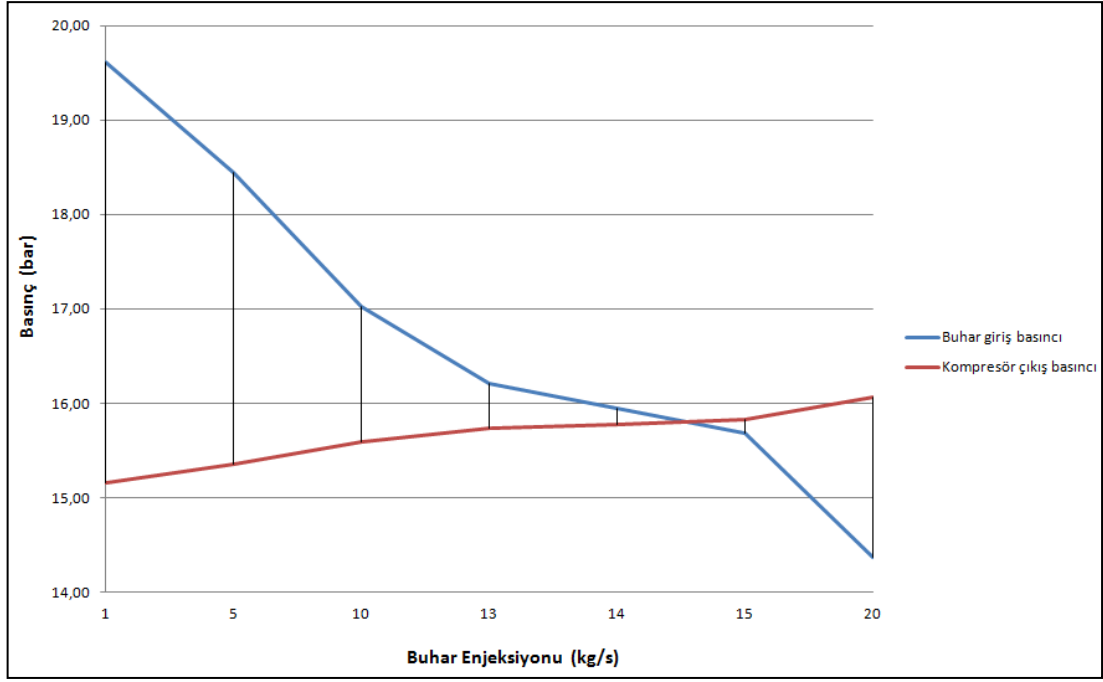
Buhar Enjek.	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Toplam Santral Gücü	Egzoz Gaz Debisi	Giren Yakıt Debisi	Egzoz Gaz Çıkış Sıcaklığı	Egzoz Gaz Entalpi	Çevrim Verimi	Çevrim Isı Oranı	Buhar Giriş Basıncı	Kompr Çıkış Basıncı
kg/s	MW	MW	MW	kg/s	kg/s	°C	kcal/kg		kJ/kWh	bar	bar
0	72,02	164,47	236,49	520,48	9,71	530,01	133,81	51,28	7020,25	0,00	15,10
1	71,48	165,89	237,37	521,52	9,75	530,00	134,04	51,25	7023,57	19,62	15,16
5	69,41	171,05	240,46	525,68	9,91	529,98	134,95	51,08	7046,84	18,44	15,35
10	66,99	177,65	244,64	530,89	10,12	530,04	136,10	50,91	7070,96	17,03	15,59
13	65,59	181,64	247,23	534,01	10,25	529,96	136,75	50,82	7083,72	16,20	15,73
14	65,15	182,91	248,06	535,05	10,29	530,01	136,98	50,78	7088,64	15,94	15,78
15	64,72	184,30	249,02	536,10	10,33	530,04	137,21	50,76	7092,07	15,68	15,83
20	62,61	190,93	253,54	541,31	10,55	529,96	138,28	50,63	7110,17	14,37	16,06

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde artan buhar enjeksiyonu yüzdesiyle birlikte gaz türbini içerisinden geçen iş akışkanının kütledebisi de arttığından gaz türbini güç çıkışı artmaktadır. Ancak gaz türbinine gönderilen buhar, buhar türbininden çekildiğinden dolayı buhar türbininin güç çıkışı azalmaktadır. Santralin toplam güç çıkışına bakıldığında ise gaz türbinine doğru artan buhar enjeksiyonu ile birlikte toplam güçte artış meydana gelmektedir.



Şekil 2.8 Güç çıkışlarının buhar enjeksiyon miktarına göre değişimi

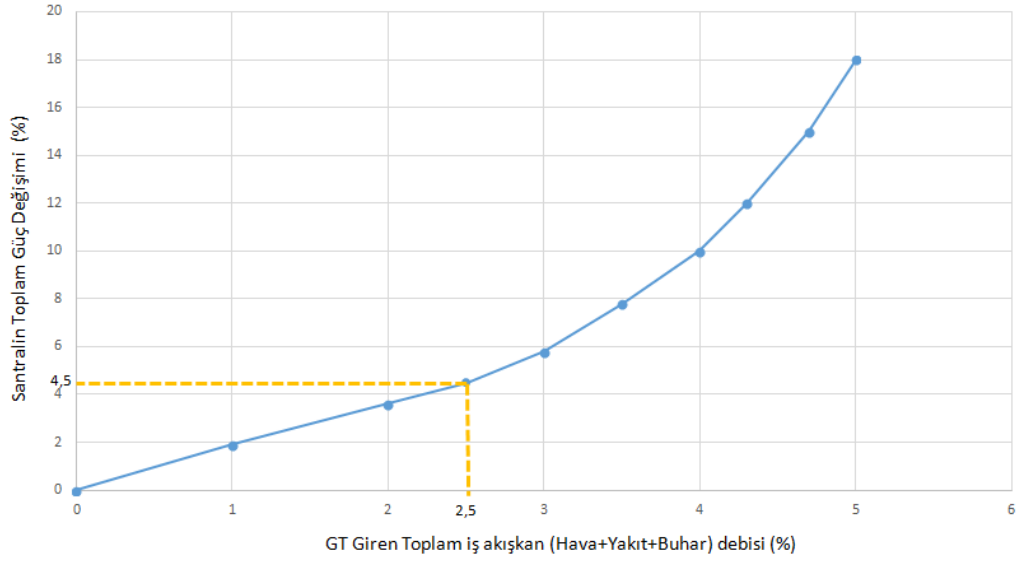
Yapılan modellemede kontrol sistemi yanma odasını sabit sıcaklıkta tutacak şekilde tasarlandığından buhar enjeksiyonu ile birlikte yanma odasındaki sıcaklık düşmekte, kontrol sistemi buraya ilave yakıt göndererek yanma sıcaklığını sabit tutmaya çalışmaktadır. Yanma odasına fazla yakıt gönderilmesi ile birlikte kompresöründe içeriye daha fazla hava göndermesi gerekmekte buda kompresör çıkış basıncının artmasına neden olmaktadır. Buhar enjeksiyonu arttıkça kompresör çıkış basıncı artmakta buharın enjeksiyon basıncı düşmektedir. Bu nedenle yapılabilecek buhar enjeksiyonu basıncı hem kompresör çıkış basıncının üzerinde olmalı hem de gaz türbini çıkış gücünü arttırması için yapılabilecek maksimum düzeyde olmalıdır. Bu tabloya göre tasarlanan modelin sonuçları incelendiğinde buhar enjeksiyon miktarı 15 kg/s'yi geçtiğinde yanma odasına giren buharın basıncı kompresör çıkış basıncının altında kalmaktadır. Bu nedenle enjekte edilecek buhar miktarı optimum olarak 13 kg/s seçilmiştir.



Şekil 2.9 Optimum buhar enjeksiyon oranı

Penning ve De Lange (1996) [7]'nin çalışmasında belirtildiği gibi birleşik ısı güç üretim sistemlerinde buhar türbininde iş yapacak buharın bir kısmının çekilerek, gaz türbini yanma odasına enjekte edilmesiyle gaz türbininden elde edilen güçte bir artış meydana gelmekte, fakat sistemin toplam veriminde bir azalma olmaktadır.

Andreas Poullikkas (2005) [32]'in gaz türbini teknolojilerini incelediği çalışmasında genel olarak ticari amaçlı kullanılan gaz türbinlerinde kompresör çıkış havası, kompresör gövdesinde veya boru hatlarında herhangi bir tadilata gerek kalmadan %5'lere kadar arttırılabilmektedir. Basınç ve hava sıcaklığına bağlı olarak saha şartları ile türbinin tipine göre türbin gövdesinde, boru hatlarında ve kontrol sisteminde yapılacak modifikasyonlar ile bu oran %6 ile %20'lere kadar da çıkabilmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre optimum değer olarak seçilen 13 kg/s buhar enjeksiyonu yapıldığında türbinden geçen akışkan debisi yaklaşık olarak %2,5 artmaktadır. Buna göre bu miktarda buhar enjeksiyonu yapıldığında kompresör tarafında herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmayacaktır.



Şekil 2.10 Santral toplam gücünün gaz türbini iş akışkanı debisine göre değişimi

2.3 Buhar Enjeksiyonunun Avantajları

- Sabit yanma sıcaklığında çalışacak şekilde tasarlanan gaz türbininin güç çıkışında ilk kurulum gücüne kıyasla %10'a kadar artış sağlar.
- İlk yatırım maliyeti düşüktür.
- NO_x emisyonlarında azalma sağlar.
- Mevcut çalışan bir sisteme adapte edilebilir.
- Sistem kolaylıkla devreye alınıp devreden çıkarılabilir, enjeksiyon miktarı değiştirilebilir; böylece puant saatler gibi elektrik fiyatlarının pahalı olduğu dönemlerde sistem çalıştırılarak santralin elektrik enerjisi üretimi arttırılabilir.
- İşletme ekibine operasyonel kolaylık sağlar.

GAZ TÜRBİNİ BİRİNCİ SIRA HAREKETLİ KANAT METAL SICAKLIĞI VE SERVİS ÖMRÜ

Modern gaz türbinlerinin genel işletme ve bakım maliyetleri, yüksek sıcaklıklarda çalışan ve sıcak gaz ile temas eden türbin parçalarının dayanıklılığı ve servis süresinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Türbin işletme koşulları, sıcak gaz ile temas eden parçaların ömrünü azaltan bazı hataların oluşmasına neden olabilir. Bu bölümde yanma odasına yapılan buhar enjeksiyonunun en zorlu çalışma koşulları altında bulunan birinci sıra hareketli kanatların metal sıcaklığındaki değişim ve bu değişimin kanadın servis ömrüne olan etkisi incelenmiştir.

3.1 Birinci Sıra Hareketli Kanat

Türbindeki hareketli kanatlar, yanma odasında üretilen yüksek sıcaklık ve yüksek basınçtaki gazın enerjisini alıp bunu rotoru döndürmek için gerekli olan enerjiye çeviren ekipmanlardır. Türbin kanatları yüksek mekanik streslere, yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar ve agresif ortamlarda çalıştırılırlar. Bu nedenle türbin kanatlarının servis ömrü sınırlıdır ve türbinde arızaların meydana gelebileceği kritik ekipmanlar olarak kabul edilirler.

Bu çalışmada performans analizi yapılırken kullanılan Alstom GT13E2 modeli gaz türbinine ait birinci sıra kanat incelenecektir. Türbin üzerinde 63 adet birinci sıra kanat bulunmaktadır. Kanat malzemesi olarak IN738 LC kullanılmış olup, kanatların üzeri termal bariyer kaplama (TBC) ile kaplanmıştır.

3.1.1 Inconel 738 LC

Gaz türbini hareketli kanatları, türbin performansını doğrudan etkileyen en önemli parçalardandır. Yüksek sıcaklıkta ve çeşitli mekanik yüklerde çalışan gaz türbini parçalarının deformasyonu ve kırılması temel olarak zamana bağlıdır. Bu nedenle bunların imalatı için, uzun süreler boyunca yüksek gerilmeleri ve sıcaklıkları tolere etme kapasitesine sahip malzemeler gereklidir. Nikel bazlı süper alaşımlar uzun süre yüksek sıcaklıklara ve yoğun gerilmelere dayanabilir; bu yüzden gaz türbini kanatları esas olarak Ni bazlı süper alaşımlardan yapılır.

IN738 LC en önemli Ni temelli süper alaşımlardan biridir. IN738 LC, yüksek sıcaklıklarda olağanüstü sıcak korozyon dayanıma, oksidasyon ve sürünme direncine sahiptir. Sürünme, gaz türbini kanatlarının ömrünü önemli oranda kısıtlayıcı noktalardan biri olarak bilinir. Kanadın servis süresini belirlemede önemli bir faktördür.

Çizelge 3.1 IN738 LC kimyasal bileşimi (ağırlıkça %) [37]

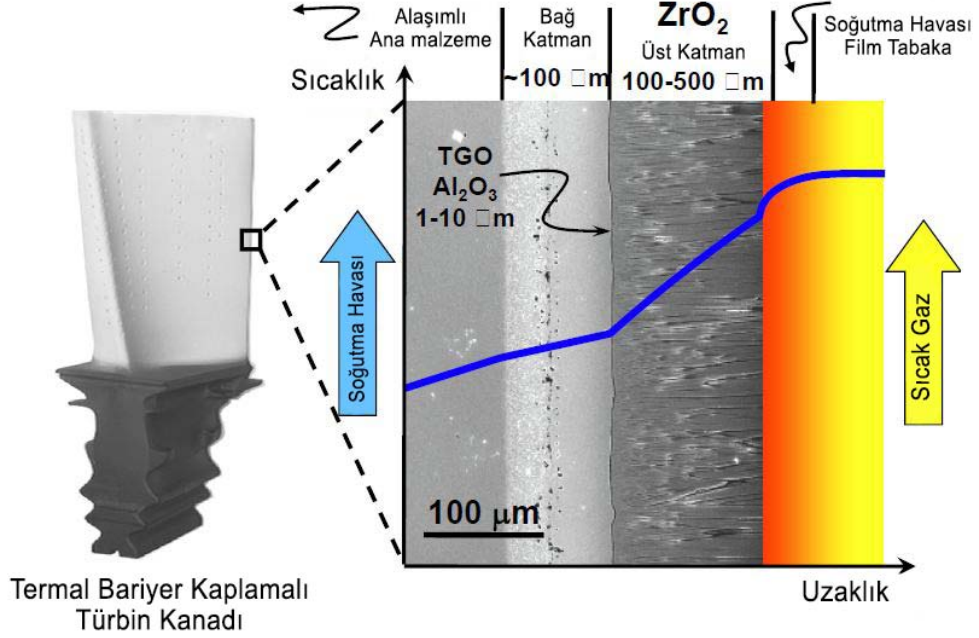
Alaşım	C	Cr	Ti	Al	Fe (maks)	Nb	Ta	Co (maks)	Zr	Ni
IN738L	0.09	15.7	3.2	3.2	0.35	0.6	1.5	8.0	0.03	res
	-	-	-	-		-	-	-	-	
	0.13	16.3	3.7	3.7		1.1	2.0	9.0	0.08	

Yüksek sıcaklıklarda mikroyapının stabilitesi alaşımın yüksek sıcaklık performansı açısından oldukça önem taşımaktadır. Kimyasal reaksiyonlar, faz dönüşümleri, ve difüzyon nedeniyle bileşimsel değişimler, tane sınır hareketleri yüksek sıcaklıklarda öne çıkan faktörlerdir. Temel olarak bu süper alaşımda iki önemli karbür (MC ve $M_{23}C_6$) vardır. Yüksek sıcaklıklarda uzun süre kalmak, $M_{23}C_6$ karbürünün tanecik sınırlarını sürekli olarak karpit kaplama tabakasına götürür. Bu olay kanadın sürünme direncinde yüksek miktarda düşüşe neden olur.

3.1.2 Termal Bariyer Kaplama

Son teknoloji ürünü termal bariyer kaplama sistemi, yüksek sıcaklık oksidasyonuna direnç göstermek, korozyif ortamlara karşı korumak ve altındaki katmanda bulunan metal sıcaklıklarını düşürmek üzere tasarlanmış çok katmanlı bir sistemdir [33-36]. TBC normal olarak üç katmandan oluşur: üst kaplama katmanı, bağlayıcı astar katmanı ve üst katman ile astar katmanı arasında termal olarak büyütülen oksit katmanı (TGO).

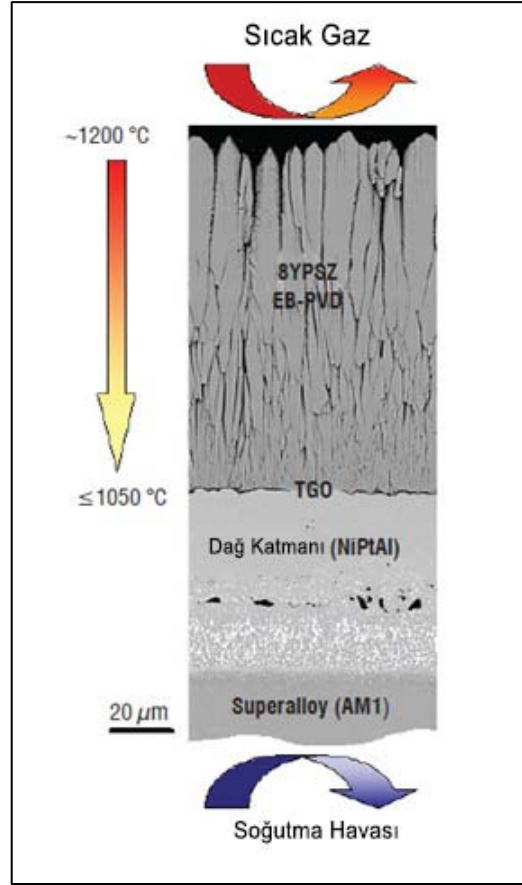
Şekil 3.1’de TBC kaplamanın taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alınan görüntüsü üzerinde gösterilen mavi çizgi TBC boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişimi göstermektedir.



Şekil 3.1 Tipik bir TBC sisteminin SEM kesit görüntüsü [38].

3.1.2.1 TBC Seramik Üst Kaplama

Seramik üst kaplama, her ikisi de servis sırasında bir kalınlık termal gradyanı oluşturan elektron ışını fiziksel buhar biriktirme (EB-PVD) ve plazma sprej (PS) yöntemleri ile üretilir. Üst katman ısı yalıtımı sağlar ve düşük ısıl iletkenliğe sahip gözenekli bir seramik kaplamadan oluşur. Üst katman yüksek bir erime noktasına, iyi oksidasyon ve korozyon direncine, termal uyumsuzluk gerilmelerini azaltmak için altta yatan metale daha yakın bir termal genleşme katsayısına, yüksek tokluğa ve gerilme toleransına sahip olmalıdır. Üst tabaka boyunca 150 °C'ye kadar bir sıcaklık düşüşü sağlanabilir, böylece alttaki metal sıcaklığı buna göre azalır [39].



Şekil 3.2 Hareketli türbin bileşenlerinde TBC üst katmanda sıcaklığın tipik değişimi

3.1.2.2 Bağ Katmanı

Alt malzemeyi oksitlenmeye karşı koruyan ve üst kaplama ile alt malzeme arasındaki termal uyumsuzluğu önleyen metalik bir bağ kaplamadır. Baz metalin sıcak korozyonuna karşı da korunmasını sağlar.

Daha yüksek gaz türbini verimliliği talebi, modern süperalaşımların çalışma sıcaklıklarının sınırlarını zorlamaktadır. Alüminyum ve krom gibi alaşım elementleri, alaşımların yüksek erime sıcaklığını korumak için mümkün olan en düşük seviyelerde tutulur. Bununla birlikte, yetersiz miktarda alüminyum ve krom içeren alaşımlar, alüminyum ve kromun kararlı oksit fazları oluşturarak oksidasyona karşı koyacağından yüksek sıcaklıkta oksidasyon ve korozyon saldırısına eğilimlidir. Başka bir deyişle, alüminyum ve krom içeriği, bağ kat sistemindeki kurban edilen unsurlardır. Bağ kaplama, örneğin bir difüzyon platin modifiye nikel alüminidir. İnce bir elektroliz platin tabakasının biriktirilmesi, ardından bir buhar fazı alüminleştirme işlemi ile elde edilir.

3.1.2.3 Termal Olarak Büyüyen Oksit Katmanı (TGO)

Termal büyüyen oksit katmanı kaplama prosesiyle başlayıp servis koşullarında büyümeye devam eden bir oksit tabakasından oluşmaktadır. Bu termal olarak büyütülmüş oksit katmanı (TGO), tüm sistemin kimyasal ve mekanik uyumluluğunu sağlamak için hem üst tabakaya hem de bağ katmanına mükemmel şekilde yapışmalıdır. TGO, bir oksidasyon ürünüdür ve TGO tabakasının büyümesi, sıcaklığa ve zamana bağlıdır. Çalışma sıcaklıkları ne kadar yüksek olursa, TGO büyümesi o kadar hızlı olur. Ayrıca, her bir TBC sistemi, parçalanmaya neden olan kritik bir TGO kalınlığına sahiptir. Kritik kalınlık, her bir ayrı TBC'nin yüzey topografisine ve bağ kaplama bileşimlerine bağlıdır [40].

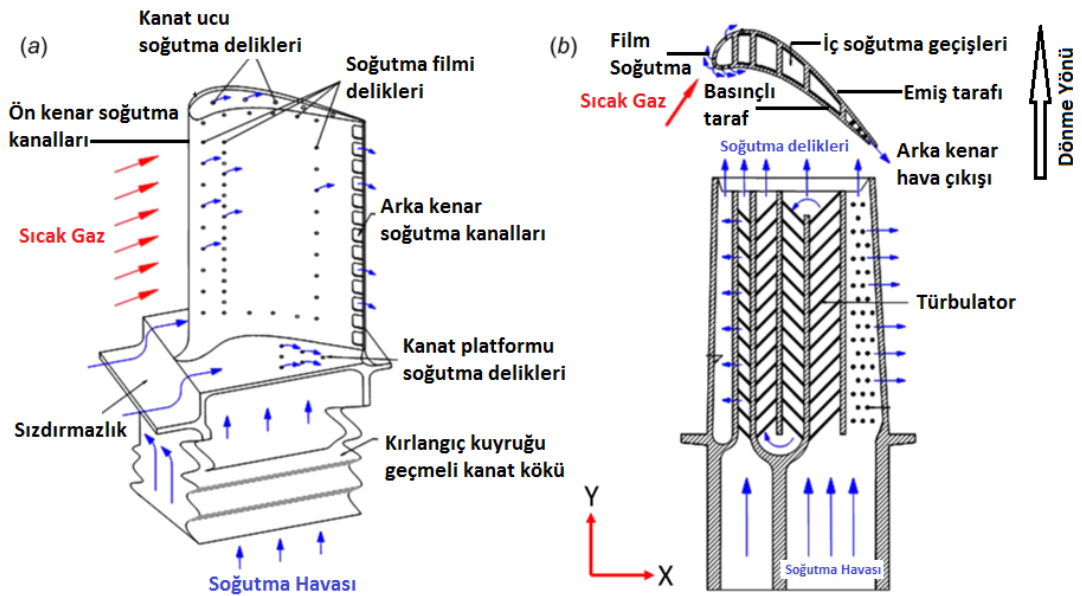
3.1.3 Termal Bariyer Kaplamanın Çalışma Sırasındaki Evrimi

Çalışan bir sistemde, TBC'ler oksitleyici yanma gazlarına maruz kalır ve dış yüzey sıcaklıkları yaklaşık 1200 °C'ye ulaşabilir. Bu şartlarda, gözenekli seramik tabakanın sinterlenmesi, bağ katının oksidasyonu ile interdifüzyon gibi sıcaklıkla çalışan olaylar meydana gelir. Sonuç olarak, çeşitli tabakaların yapısı ve bileşimi gelişir ve ara yüzey sertliği gibi özellikleri de etkilenir. Uygulanan termal ve mekanik stresler ile birleştirilen bu evrimler, belirli bir zaman sonunda seramik tabakanın çatlamasına, kırılmasına neden olabilmektedir. Bu tür sıcaklıklarda, termal bariyer kaplamalar türbine gelen sıcak gazlarda bulunan silisli mineral artıkların (toz, kum, kül) yutulmasından kaynaklanan erimiş kalsiyum-magnezyum-alumino-silikatlar (CMAS) tarafından korozyona karşı hassastır. Başlangıçta beyaz TBC yüzeyi, servis süresi sonunda kanat yüzeyine kuvvetle yapışan kahverengimsi bir çökeltme ile kaplanır. Bu tortu esas olarak kanadın basınç tarafına yapışır, emme tarafı yüzeyinin büyük bir kısmı tortu içermez. Bu tür mineral tozunun kanat üzerinde birikmesi, TBC yüzey sıcaklığının bu tür tortuların erimesine neden olacak kadar yüksek olduğu anda zararlı görünmektedir. Sonuç olarak, basınç tarafındaki en sıcak bölgelerde önemli TBC hasarı görülmektedir.

3.2 Birinci Sıra Hareketli Kanat Isı Transferi Modeli

Endüstriyel gaz türbinlerinin birinci sıra kanat dizaynında bilinen 3 yöntem vardır; soğutmasız, konveksiyon soğutmalı ve film soğutmalı. 80'lerin başında gaz türbini

endüstrisi 1. sıra kanat dizaynında hem konveksiyonel hem de film soğutmaya kanat metal sıcaklığını azaltan TBC kaplama ile birlikte kullanmaya başladı. Soğutulan kanatların sıcaklık analizi kanat boyunca olan ısı akışının kanadın içinde ve dışında sıcaklık dağılımını ve ısı transfer katsayısını bilmeyi gerektirir. Analitik çözümler günümüzde detaylı kanat tasarımı için kullanılsa da geçmiş yıllarda üretici firmalar öngörülen metalürjik sınırlar dahilinde kanat sıcaklığını korumak için gerekli soğutma akış miktarını belirlemek için pratik yöntemlere başvuruyorlardı.



Şekil 3.3 Gaz türbini kanat soğutma şeması (a) Dış soğutma (b) İç soğutma [41].

Gaz türbinlerindeki akış sırasında kanatlara olan ısı transfer oranının belirlenmesi, sıcak gaz ile temas eden parçaların çalışma ömrünün belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Tasarım amaçlı, ısı transfer oranı Reynolds ve Prandtl sayıları açısından Nusselt sayısını ifade eden yarı deneysel korelasyonlar tarafından sabitlenmiştir. Bu tür korelasyonların uygulanması, tamamı sıcaklığa bağlı olan yoğunluk, viskozite, termal iletkenlik ve özgül ısı gibi akışkan özelliklerinin bilinmesini gerektirir. Gazlar için bu özellikler normalde sadece kuru hal şartları için mevcuttur, bu nedenle gazın su buharı içeriğinin muhtemel etkisi göz ardı edilir.

Bu çalışmanın amacı, türbin kanatlarında ısı transferi ile soğutma işlemlerini ayrıca türbine yapılacak bir buhar enjeksiyonunun etkisini incelemek için analitik bir model sunmak ve bunun sonucunda da kanat ömrüne olan etkisini değerlendirmektir. Model esnek ve kanadın soğutma performansını etkileyen ana parametreleri

değerlendirebilir; soğutma yöntemleri, alternatif soğutma sıvıları, kanat geometrisi, ısı transfer katsayısı, gaz özellikleri, malzeme ve termal bariyer kaplama. Soğutulan kanat sırasının tamamı, yanma odasından bir ana sıcak gaz akışına maruz bırakılan bir ısı değiştirici olarak kabul edilir. Yanma odasından gelen sıcak gaz ile temas eden soğutulmuş kanatlar bir ısı değiştirici olarak görülür.

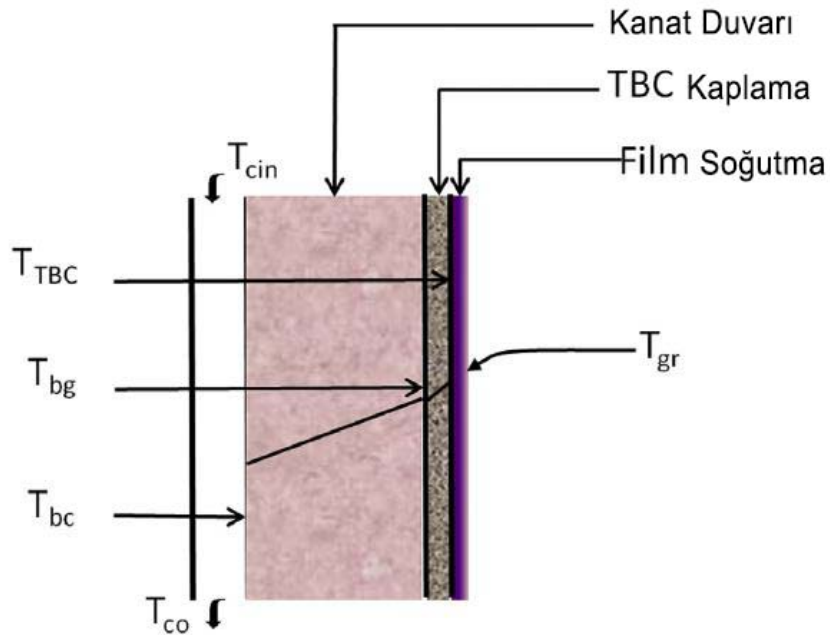
3.2.1 Isı Transfer Modelinin Uygulaması

Türbin kanadı metal yüzeyini düşük bir sıcaklıkta tutmak için, sıcak gaz akışından kanada aktarılan ısı, kanadın içindeki kanallardan zorlanmış konveksiyon yoluyla uzaklaştırılır ve soğutucu hava tarafından taşınır. Böylece kanat metalini düşük bir sıcaklıkta tutulur.

Chiesa and Macchi [42], soğutmalı türbin kanadını, ısı akısına maruz kalan bir ısı eşanjörü olarak kabul etmişlerdir.

$$q_g'' = h_g \cdot (T_{gr} - T_{bg}) \quad [W/m^2] \quad (3.1)$$

Burada, q_g'' taşınım ile ısı akısı, h_g ısı taşınım katsayısı, $(T_{gr} - T_{bg})$ yüzey ile akışkan sıcaklıklarının arasındaki farktır.



Şekil 3.4 Film soğutmalı ve termal bariyer kaplamalı kanat boyunca sıcaklık profili

Ainley [10] ısı akışları toplamını sıfıra eşitleyerek, ısı transferi işlemlerinin temel denklemlerini ortaya koymuştur. Dolayısıyla, bu çalışmada TBC kaplamalı türbin kanadının soğutma süreci bir ısı eşanjörü gibi kabul edildi ve buna göre bir ısı transferi modeli oluşturuldu. Isı transfer modelinin temeli aşağıdaki enerji denklemlerinden meydana getirildi.

$$dq = h_g A_{gs} (T_{gr} - T_{TBCg}) \quad [W] \quad (3.2)$$

$$dq = k_{TBC} / t_{TBC} A_{gs} (T_{TBCg} - T_{bg}) \quad [W] \quad (3.3)$$

$$dq = k_{bw} / t_{bw} A_{gs} (T_{bg} - T_{bc}) \quad [W] \quad (3.4)$$

$$dq = h_c A_{cs} (T_{bc} - T_{co}) \quad [W] \quad (3.5)$$

Burada, dq yüzey alanı A olan düz bir duvardan birim zamanda geçen ısıyı, t_{TBC} TBC kaplamanın kalınlığını, t_{bw} kanat duvarının kalınlığını, h_g sıcak gaz tarafı ısı taşınım katsayısını, h_c soğutucu akışkan tarafı ısı taşınım katsayısını, k_{TBC} TBC kaplama tarafı ısı iletim katsayısını, k_{bw} kanat duvarı ısı iletim katsayısını ifade etmektedir.

Bu dört enerji denkleminin toplamı, genel enerji denklemini verir.

$$dq = U_h A_{cs} (T_{gr} - T_{co}) \quad (3.6)$$

U_h toplam ısı geçiş katsayısıdır.

$$U_h = A_{gs} (h_g + k_{TBC} / t_{TBC} + k_{bw} / t_{bw}) + h_c \quad [W/m^2K] \quad (3.7)$$

Model iki temel alt modelden oluşmaktadır:

- Soğutucu akışkan tarafı ısı transfer modeli
- Sıcak gaz tarafı ısı transfer modeli

3.2.1.1 Soğutucu Akışkan Tarafı Isı Transfer Modeli

Ekstra soğutmanın gerekli olduğu yerlerde, ısı kanadın iç duvarlarının arasından zorlanmış konveksiyon ile dışarı atılır [11]. Kanadın soğutma sistemi iç geometrisi ile belirlenir, soğutma havası kompresörün ilgili kademesinden gelir.

Kanat Geometrisi ve Soğutma Konfigürasyonu

Kanat soğutma sistemi kanadın iç geometrisi ve soğutma akışı ile tanımlanır. Endüstriyel türbin kanatları, iç soğutma kanalları, akış yolları, destek kirişleri vb. kısımlardan oluşur.

Tek bir kanadın belli sayıda, sabit kesit alanına sahip, iç şekilleri aynı olan dairesel soğutma kanalları bulunur. Kanal hidrolik çapı (D_h) kullanılarak, tek bir kanalın kesit alanı (A_c) hesaplanır.

$$D_h=0.003 \text{ m ise } A_c = \psi_d \cdot \pi \cdot D_h^2/4 \quad (3.8)$$

Bununla birlikte, soğutma geçişlerinin toplam kesit alanı, kanat kesit alanı sınırları içinde olmalı ve soğutucu kanalların sayısı kullanılarak hesaplanmalıdır [43;44]. Bu tip kanallarda şekil faktörü $\psi_d = 1$ olur, fakat şekil dairesel değil ise 1'den büyük olabilir [45].

Bu çalışmada soğutma akışı kompresörden çekilen soğutma havasının yüzdesi olarak performans modelinde belirtilmiş buradan da kanadın metal yüzey sıcaklığını bulmak için soğutma etkinliği hesaplanmıştır.

Tek bir sıradaki kanatların kütleli debisi (m_{cb}), soğutma kanalındaki kütleli debi (m_{cc}), soğutma tarafındaki toplam etkin soğutucu ısı transfer yüzey alanı (A_{cs}) aşağıdaki denklemler ile tanımlanır.

$$m_{cb} = \frac{M_c}{100} \frac{m_g}{N_b} \quad (3.9)$$

Burada, M_c kanadın bulunduğu sırayı soğutmak için kullanılan soğutucu akışkanın kütleli debisine bağlı olarak akan soğutucu yüzdesi (%)'dir. Soğutma geçitlerinin uzunluğunun, kanat yüksekliği ile aynı olduğu varsayılmaktadır. m_g gaz kütleli debisi, N_b kanat sayısını ifade eder.

$$m_{cc} = \frac{m_{cb}}{n_{ch}} \quad (3.10)$$

$$A_{cs} = \pi D_h H n_{ch} \quad (3.11)$$

Burada, n_{ch} soğutucu kanal sayısını, H kanat yüksekliğini, D_h soğutucu kanal hidrolik çapını ifade eder.

Aşağıda Çizelge 3.2'de bu çalışmada kullanılan kanadın geometrik bilgileri ve soğutma sisteminin konfigürasyonu gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kanat geometrisi ve soğutma sistemi bilgileri

	Değer	Birim
Yükseklik	0.042	m
Ortalama kanat genişliği	0.027	m
Ortalama kanat çapı	0.78	m
Hidrolik çap	0.0030	m
Soğutucu kanal sayısı	7	
Kademe açısı	35	Derece
Hava çıkış açısı α_2	60.3	Derece
Toplam soğutucu akışkan çıkışı	10%	
Prandtl sayısı	0.7	
RTDF	0.07 – 0.1	
Adyabatik film etkinliği (η_{ad})	0.2 – 0.5	

Su Buharı Varlığında Soğutucu Gaz Özellikleri

Isı transfer hesaplamalarında, nemli havanın verileri olmadığında kuru havanın verilerini kullanmak yaygın bir uygulamadır; ancak kuru hava varsayımı su buharının düşük molar kütlesi nedeniyle ısı akışı tahminlerinde hatalara sebep olabilir [46]. Bu nedenle nemli hava (kuru hava ve su buharı) özelliklerini dikkate almak daha doğru bir yöntemdir [47;48]. Bu çalışmada sıcaklık ve neme bağlı olarak özgül ısı kapasitesi (C_p), özgül ısı oranı (γ) ve gaz sabiti (R); ayrıca bunların yanında karışımın yoğunluğu, ısı iletim katsayısı, viskozite, Reynolds sayısı, Nusselt sayısı ve diğer ilgili parametrelerden elde edilen giriş değişkenleri gaz karışımının bileşenlerinin özellikleri olarak pek çok analitik yöntem ve korelasyon ile gözden geçirilmiş ve kullanılmıştır. Karışımın su buharı içeriği WAR değeriyle tanımlanır. WAR değeri su buharının kuru hava kütleline oranıdır.

$$\text{Nemli hava için özgül ısı faktörü, } C_{p_{fac}} = \frac{[WAR_{molar} \times C_{p_w} + (1 - WAR_{molar}) C_{p_d}]}{C_{p_d}} \quad (3.12)$$

$$WAR_{molar} = WAR \times \frac{M_{w_a}}{M_{w_w}} \quad (3.13)$$

Burada, $C_{p_{fac}}$ nemli havanın özgül ısısının kuru havanın özgül ısısına oranı, WAR_{molar} suyun mol sayısının kuru havanın mol sayısına oranı, C_{p_w} ve C_{p_d} sabit basınçta su ile hava için özgül ısıları ifade etmektedir.

$$\text{Nemli hava için gaz sabiti faktörü, } R_{fac} = \frac{R_o}{(MW \times R_d)} \quad (3.14)$$

$$\text{Nemli havanın moleküler ağırlığı, } MW = \frac{1}{\left\{ \left(\frac{WAR}{MW_w} \right) + \left[\frac{(1 - WAR)}{MW_d} \right] \right\}} \quad (3.15)$$

Burada, R_{fac} nemli havanın gaz sabitinin kuru havanın gaz sabitine oranıdır, R_0 evrensel gaz sabitidir (8,31 kJ/mol K), R_A kuru havanın gaz sabitidir (0,28705 kJ/kg K).

$$\text{Nemli hava için gama faktörü, } \gamma_{fac} = \frac{[(WAR_{molar} \cdot \gamma_w) + (1 - WAR_{molar}) \cdot \gamma_d]}{\gamma_d} \quad (3.16)$$

Burada, γ_w ile γ_d sırasıyla su ve kuru hava için özgül ısı oranlarını ifade etmektedir.

Nemli Havanın Viskozitesi ve Termal İletkenliği

Gaz karışımlarının viskozite ve termal iletkenlik özelliklerini belirlemek için mevcut olan tanımlamalar, tamamen teorik türevlerden deneysel verilere uygulanan eğrilere kadar değişmektedir [49]. Richards and Florschuetz [49], nemli havanın dinamik viskozitesi ve ısı iletkenliğinin elde edilmesi ile ilgili literatür taramasında farklı yöntem ve sonuçların olduğunu belirtmişlerdir. Akışkanın viskozitesi iki yöntem ile belirlenebilir; nem oranını içeren yöntem [50] ve ikincisi sadece gaz sıcaklığına dayalı olan yöntemdir. Birçok akışkanın viskozitesi basınçla değişmez fakat sıcaklık değişimine çok hassastır. Bu çalışmada türbin kanadına gelen gazın her kademedeki viskozitesi (3.17)'de verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir.

Soğutma kanalındaki akış, türbülanslı ise viskozitenin ısı transferi üzerindeki etkisi, azalır. Kestin ve Whitelaw [50] korelasyonu kullanılarak elde edilen sonuçlar, kuru hava ve su buharı karışımının viskozitesi için ($WAR = 0-0.1$ 'de), alternatif Sutherland denklemi kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve birbirine uygun sonuçlar elde edilmiştir [51].

$$\mu_{mix} = \frac{\mu_w}{1 + \frac{x_d}{x_w} \left[\frac{1 + \left(\frac{\mu_w}{\mu_d} \right)^{1/2} \left(\frac{Mw_w}{Mw_d} \right)^{1/4}}{2.83 \left[1 + \frac{Mw_w}{Mw_d} \right]^{1/2}} \right]^2} + \frac{\mu_d}{1 + \frac{x_d}{x_w} \left[\frac{1 + \left(\frac{\mu_w}{\mu_d} \right)^{1/2} \left(\frac{Mw_d}{Mw_w} \right)^{1/4}}{2.83 \left[1 + \frac{Mw_d}{Mw_w} \right]^{1/2}} \right]^2} \quad (3.17)$$

Mw_d ve Mw_w , sırasıyla kuru hava ve su buharının moleküler kütleleridir. Su buharının mol oranı n_v ile nemli hava karışımının toplam mol oranı n_{Ha} arasındaki oran x ($x = n_v / n_{Ha}$) olarak tanımlanır.

Su buharının ve kuru havanın viskozitesi aşağıdaki denklemler (3.18 ve 3.19) kullanılarak sıcaklığa bağlı olarak elde edilir.

$$\mu_w = (-1.46494887 + 0.037079658 T) 10^{-6} \left(\frac{kg}{ms} \right) \quad (3.18)$$

$$\mu_d = (6.0453459 + 0.042489943 T) 10^{-6} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ms}} \right) \quad (3.19)$$

Nemli havanın termal iletkenliği için yaygın olarak kullanılan bir yöntem vardır [49;51]. Soğutulan kanattaki nemli havanın ısı iletim katsayısı (k_{cw}), Mason ve arkadaşları tarafından önerilen Wassiljewa Denklemi (3.20) yardımıyla hesaplanmıştır [52]. Bu yöntemle elde edilen değerler, NASA CEA (Chemical Equilibrium with Applications) kullanılarak elde edilenler ile aynıdır.

$$k_{\text{mix}} = \frac{k_d}{1 + A_{Aw} \frac{x}{1-x}} + \frac{k_w}{1 + A_{Ad} \frac{1-x}{x}} \quad (3.20)$$

Buradaki A_{Aw} değeri (3.21)'deki denklem ile elde edilebilir; ayrıca aynı denklemin alt simgeleri değiştirilerek A_{Ad} değeri de belirlenir.

$$A_w = 0,28 \left(1 + \frac{M_{wa}}{M_{ww}} \right)^{-0.5} \left[1 + \left(\frac{\mu_d M_{ww}}{\mu_w M_{wa}} \right)^{0.5} \left(\frac{M_{wa}}{M_{ww}} \right)^{0.25} \right]^2 \quad (3.21)$$

Su buharı ve kuru havanın ısı iletim katsayısı için gerekli olan saf bileşen değerleri, (3.22 ve 3.23) denklemleri kullanılarak standart değerlere göre hesaplanmıştır.

$$K_w = A_w + B_w T + C_w T^2 + D_w T^3 \quad (3.22)$$

$$K_d = A_d + B_d T + C_d T^2 + D_d T^3 \quad (3.23)$$

Kuru hava ve su buharının ısı iletim katsayılarını hesaplamak için gerekli katsayılar Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Kuru hava ve su buharının ısı iletkenlik hesaplama katsayıları

	Su Buharı		Kuru Hava	Birim
A_w	$31.997566 \cdot 10^{-3}$	A_d	$-0.56827429 \cdot 10^{-3}$	W/mk
B_w	$-0.13308958 \cdot 10^{-3}$	B_d	$0.10805198 \cdot 10^{-3}$	W/mk ²
C_w	$3.8160429 \cdot 10^{-7}$	C_d	$-7.3956858 \cdot 10^{-8}$	W/mk ³
D_w	$-2.0 \cdot 10^{-10}$	D_d	$3.7302922 \cdot 10^{-11}$	W/mk ⁴

Soğutucunun Reynolds Sayısı, Nusselt Sayısı ve Isı Transferi Katsayısı

Soğutma akışının Reynolds sayısı, soğutucu havanın yoğunluğu, hızı, viskozitesi ve akışın olduğu kanal çapından hesaplanmıştır. Kanat içindeki soğutucu kanalların akış hızı, boyutsal olmayan kütle akışı (1000Q) ve Mach numarası [53] kullanılarak iterasyon ile elde edilmiştir.

Reynolds sayısı, atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır. Soğutma tarafı için, soğutucu kanalın Reynolds sayısı (3.24) eşitliği kullanılarak hesaplanır. Buna istinaden, (3.25) eşitliği [54] kullanılarak soğutucunun Nusselt sayısı elde edilebilir (türbülanslı akış için). Nusselt sayısı, akışkan ve metal yüzeyler arasındaki sıcaklık gradyanının boyutsuz bir versiyonudur. Böylece kanat yüzeyinden konveksiyonla meydana gelen transfer için bir ölçü sağlar.

Türbin kanatları için soğutucu akışkanın Nusselt sayısı, soğutucunun ısı iletkenlik katsayısı ve soğutucu kanal çapı kullanılarak soğutucu ısı transfer katsayısı (3.26) denklemi kullanılarak elde edilebilir [55];

$$Re_{cwSec} = \frac{\rho_{cwSec} \times V_{AbsSec} \times D_h}{\mu_{cwSec}} \quad (3.24)$$

$$Nu_{cwSec} = 0.15(Re_{cwSec})^{0.7} \quad (3.25)$$

$$h_{cwSec} = Nu_{cwSec} \frac{k_{cw}}{D_h} \quad (3.26)$$

Soğutucu hava için ısı iletkenlik katsayısı (k_{cw}), Mason ve ark. tarafından önerilen Wassiljewa Denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [52].

3.2.1.2 Sıcak Gaz Tarafı Isı Transferi

Kanadın dış geometrik parametreleri ve kanat açıklığı boyunca gelen gazın açıları türbin performans verilerinden elde edilmiştir. Birinci sıradaki kanatlara göre sabit nozul yöntemi kullanılarak boyutlandırma işlemi yapılmıştır [56]. Birinci sıra kanadın boyutlandırma parametreleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Sıcak taraftaki gazın tüm özellikleri gazın kuru sıcak gaz olduğu düşünülerek hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 Performans programı tasarım değerleri

	Değer	Birim
Boyutsuz Hız (PCN)	1	-
Kompresör verimliliği	88.2	%
Türbin verimliliği	88.5	%
Kompresör girişi kütleli debi	82.5	kg/s
Kompresör girişi (stagnation) sıcaklığı (Hava sürtünmesinden kaynaklı)	288.15	K
Kompresör girişi stagnation basıncı	1.0083E+05	Pa
Kompresör çıkışı stagnation sıcaklığı	745	K
Kompresör çıkışı stagnation basıncı	2.33E+06	Pa

Çizelge 3.4 Performans programı tasarım değerleri (devamı)

NGV girişi stagnation sıcaklığı	1505	K
NGV girişi stagnation basıncı	2.15E+06	Pa
Rotor çıkışı stagnation sıcaklığı	1065	K
Rotor çıkışı stagnation basıncı	408.7	Pa
Soğutucunun kütleli debisi	6.033	kg/s
Soğutucunun çıkış stagnation sıcaklığı	745	K

Su Buharı Varlığında Sıcak Gaz Özellikleri

Buhar enjeksiyonunun artması gaz akışındaki su miktarını arttırır buda gaz taşınım özelliklerini etkilediğinden dolayı yanmayı etkiler. Gaz türbini performans modellerinde akışkan özelliklerinin etkisini incelemek için kullanılan iki yaygın yaklaşım vardır; bunlar polinom fonksiyonlarından yararlanmak veya akışkan tablolarından enterpolasyon yapmaktır. Enterpolasyon yöntemi daha karmaşık olduğundan polinom fonksiyonları yöntemi yaygın olarak kullanılır. Genellikle türbin iş akışkanı değişen miktarlarda hava, yakıt ve yanma ürünlerinden oluşur. Bu çalışmada yakıt olarak doğalgaz kullanıldığından doğalgazın bileşenleri için Çizelge 3.5 oluşturuldu. Sıvıların kimyasal bileşimi, CAE yazılımında kullanılan veri alt kümelerini sağlayan NASA thermoBuild paketi kullanılarak üretildi. [57;58]. Yakıt bileşenlerinin kimyasal formülleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.5 Doğalgaz bileşenleri ve onların kimyasal formülleri

Yakıt	Bileşen	Formül
Doğal Gaz	Metan	CH ₄
	Etan	C ₂ H ₆
	Propan	C ₃ H ₈
	Bütan	C ₄ H ₁₀
	Pentan	C ₅ H ₁₂
	Nitrojen	N ₂

Yakıt tablosu yanma ürünlerinin sabit gaz karışımı olduğu kabul edilerek modellenmiştir. Ayrışma olmadığından sıcaklık değişse bile yanma ürünleri aynı kalır. Yakıt özellikleri dört değişkenin fonksiyonu olarak tablolaşmıştır; sıcaklık, basınç, WAR (su-kuru hava oranı) ve FAR (yakıt-hava oranı). Bu değişkenler yanma odasının çalışma şartlarını karşılayacak aralıkta seçilmiş ve düzenlenmiştir.

FAR : Tüm yakıtı tamamen yakmak için yeterli hava sağlanmışsa, stokiyometrik karışım oranı olarak bilinir. Yakıt hava oranıdır.

WAR : Suyun kuru havaya oranıdır.

Ayrışma olmayan akış modelinde, iş akışkanlarının ideal gaz olduğu, sıvı özelliklerinin sıcaklık, basınç, FAR ve WAR değerlerinin fonksiyonu olduğu varsayılmıştır. Gaz sabiti R sadece WAR ve FAR değerlerinin fonksiyonudur.

C_p , γ ve R değerleri için FAR, WAR, sıcaklık ve basınç değerlerinin fonksiyonu olarak polinom korelasyonu oluşturuldu. Doğalgazın, gaz özellikleri için (3.27) denklemi oluşturulmuş ve sonuçlar aşağıda Çizelge 3.6’da listelenmiştir.

$$\text{Akışkan özellikleri } (C_p ; \gamma; R) = A + B.X_1 + C.X_2 + D.X_3 + E.X_4 \quad (3.27)$$

Burada;

X_1 : FAR (Yakıt hava oranı);

X_2 : WAR (Su hava oranı) ;

X_3 : P (Gaz basıncı);

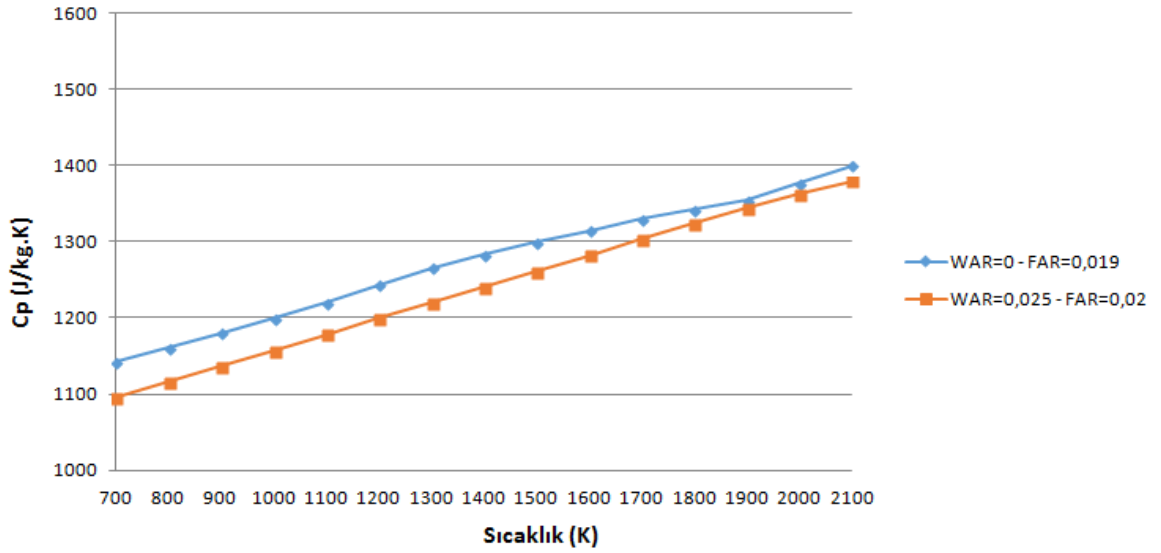
X_4 : T (Gaz sıcaklığı);

Çizelge 3.6 Doğalgaz için gaz hesaplamalarında kullanılacak katsayılar

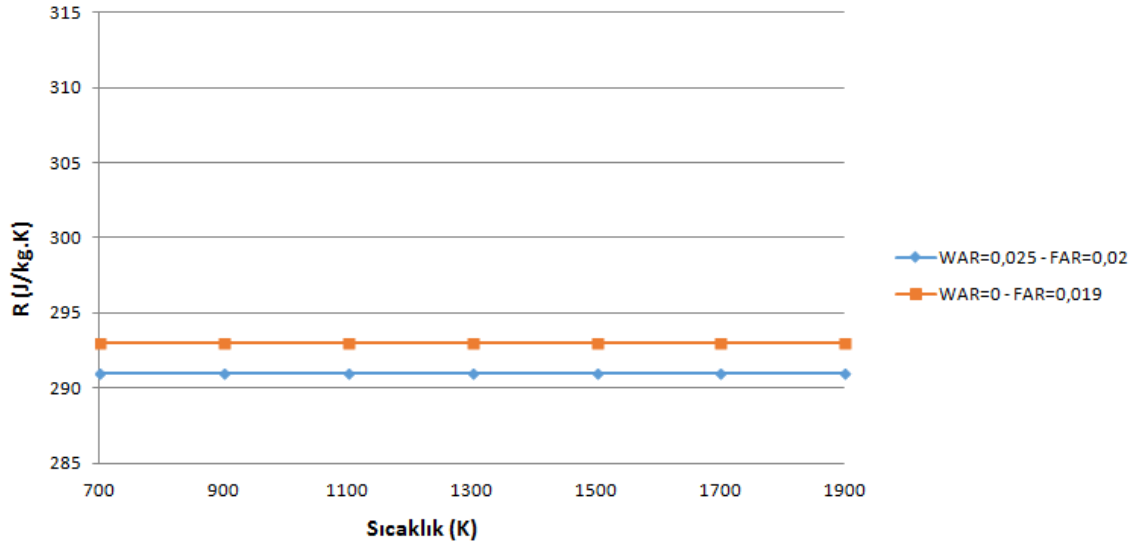
	C_p	γ	R
A	916	1.4	287
B	2741	-0.589	168
C	768	-0.091	102
D	-0,082	1.39E-05	-2.41E-04
E	0.2213	-6.5E-05	3.80E-05

Farklı WAR değerleri için doğalgaz özellikleri,

Giriş sıcaklığında değişiklik olsa bile yanma ürünleri değişmez. Bu nedenle sıcaklık ve basınca bakılmaksızın yanma ürünlerindeki gazların ortalama moleküler ağırlığı sabit kalır.



Şekil 3.5 Buhar enjeksiyonu (13kg/s) ile yanma ürünleri sıcaklık-özgül ısı değişimi



Şekil 3.6 Buhar enjeksiyonu (13kg/s) ile yanma ürünleri gaz sabiti değişimi

Gaz geri kazanım sıcaklığı

Mach sayısının $<0,3$ ten düşük olduğu durumlarda gaz statik sıcaklığı (T_{gst}), gaz toplam sıcaklığı (T_{gtot}) ve rotor girişi gaz geri kazanım sıcaklığı (T_{gr}) arasındaki fark göz ardı edilebilir. Bununla birlikte, daha yüksek hızlarda kinetik enerjinin termal enerjiye dönüşümü, sınır tabakasında önemli sıcaklık değişimlerine neden olur. Prandtl'ın sınır tabaka teorisine uygun olarak, sınır katmanında meydana gelen bu tersinmezliğin etkisi gaz geri kazanım sıcaklığı faktörü (r) ile ifade edilir. Sıcak gazın Prandtl sayısının düz bir levhanın Prandtl sayısı ile aynı olduğu ve $0,7$ 'ye eşit kabul edilmiştir. [43; 59; 60]. Türbin

kanadı gaz giriş sıcaklığı, ana akış ile soğutucu akışkan arasındaki karışma etkisi göz önüne alınarak belirlenmiştir.

$$r = \frac{T_{gr} - T_{gst}}{T_{gtot} - T_{gst}} \quad (3.28)$$

Prandtl sayısının bire yakın olduğu bir gaz için, türbülanslı bir akışın enerji denkleminin çözümü, gaz geri kazanım sıcaklık faktörünü verir.

$$r = Pr_g^{1/3} \quad (3.29)$$

Gaz geri kazanım sıcaklığı faktörü (r) bilinince, gaz geri kazanım sıcaklığı (3.28) eşitliği kullanılarak kolayca elde edilebilir.

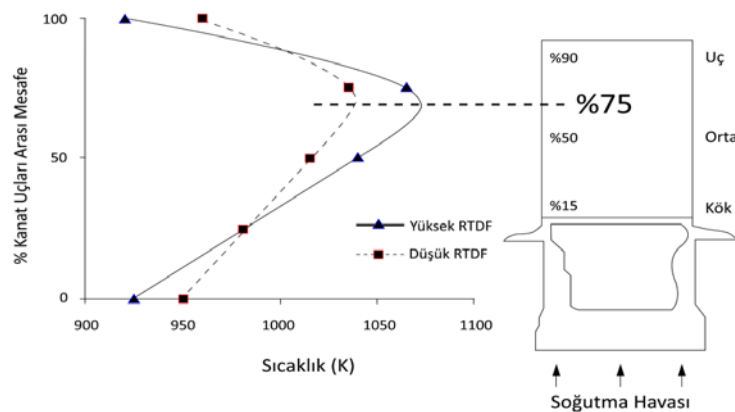
Gaz Sıcaklığının Radyal Dağılımı

Yanmadan çıkan sıcak gazın sıcaklığı, eksik karışma nedeniyle üniform değildir. Maksimum ile ortalama gaz sıcaklığı arasındaki fark, radyal sıcaklık dağılımı faktörü (RTDF) kullanılarak hesaplanabilir. Bu modelde, birinci sıra kanat bölümünde ki sıcaklık değişimini hesaplamak için yakıcıyı terk eden radyal bir gazın sıcaklık dağılımı kullanmıştır. Birinci sıra kanat için RTDF 0.08 alınabilir [61; 62; 63; 64].

$$T_{max} = T_{gr} + (T_{REF} * RTDF) \quad (3.30)$$

$$T_{min} = \frac{(5T_{gr} - 2T_{max})}{3} \quad (3.31)$$

Burada, T_{gr} birinci sıra kanat girişinde gaz geri kazanım sıcaklığını, T_{REF} yakıcıdaki sıcaklık artışını ifade eder. Maksimum sıcaklığın Şekil 3.7’de gösterildiği gibi kanadın kök seviyesinden, kanat boyunun yaklaşık %75’i kadar uzağında gerçekleşeceği varsayılarak, $T_{75\%}$ ’e göre ilgili kanat bölümünün gaz sıcaklığı tahmin edilebilir [41].



Şekil 3.7 Hareketli türbin kanadı ortalama radyal sıcaklık dağılımı

Sıcak Gaz Reynolds Sayısı

Kanadın her bölümü için gaz akışının Reynolds sayısı, gaz akış yoğunluğu (ρ_{gSec}), gaz mutlak hızı (V_{Abs}), kanat genişliği (C_{Sec}) ve gaz akış viskozitesi (μ_{gsec}) açısından ifade edilebilir ve (3.32) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir [44].

$$Re_{gSec} = \frac{\rho_{gSec} \times V_{Abs} \times C_{Sec}}{\mu_{gsec}} \quad (3.32)$$

Sıcak akışkanların viskozitesi, Sutherland denklemi kullanılarak sıcak gaz sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır [51]. Tipik bir türbinde Reynolds sayısı'nın (Re_g) 0.2-1.5E6 aralığında olduğu yerde Stanton sayısı (St_g) 0.0026-0.0062 aralığındadır. El-Masri [45] sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısını hesaplarken $St_g = 0.005$ (sabit) olduğunu kabul eder.

Stanton Sayısı ve Sıcak Taraf Isı Transfer Katsayısı

Sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısı (h_g) sıcak gazın akış yolu boyunca değişken olduğundan, her bir kanat bölümünde ortalama bir ısı transfer katsayısı sağlamak için uygun korelasyon kullanılmalıdır. Bu nedenle, dış tarafın Stanton sayısı hesaplanarak her bir kanat bölümü için gaz tarafı ısı transfer katsayısı (h_g) için ortalama bir değer elde edilebilir. Dış Stanton sayısı, türbülanslı akış için (3.33) eşitliği kullanılarak ampirik bir ilişkiden elde edilir [42]. Ayrıca, profil kalınlığını ihmal ederek, kanadın bulunduğu sıradaki geçiş alanı (3.34) eşitliği kullanılarak elde edilebilir [13].

$$St_{gSec} = 0.285 Re_{gSec}^{-0.37} Pr_g^{-2/3} \quad (3.33)$$

$$A_g = \pi D_m H \cos \alpha_2 \quad (3.34)$$

Prandtl sayısı (Pr_g), sıcak gaz akışı için (3.35) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Prandtl sayısı momentum ve ısı yayılım katsayılarının oranıdır.

$$Pr_g = \frac{\mu_g \times Cp_g}{k_g} \quad (3.35)$$

Stanton sayısı, gazın özgül ısı, kanadın bulunduğu sıra boyunca geçen gazın kütledebisi ve geçiş olan bölgenin alanı biliniyorsa (3.36) eşitliği ile sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısı hesaplanabilir.

$$h_{gSec} = St_{gSec} \times Cp_g \left(\frac{m_g}{A_g} \right) \quad (3.36)$$

Adyabatik Duvar Filmi Etkinliği

Film soğutmalı kanat için termal analiz, gaz sıcaklığı (T_g)'nin soğutucu film sıcaklığı (T_f) ile sıcak taraf ısı transfer katsayısı (h_g)'nin de film soğutma varlığında geğerli olan soğutucu film ısı transfer katsayısı (h_f) ile yer değiştirilmesi durumunda, konveksiyon soğutmalı kanat için yapılan analiz ile aynı olacaktır. Rohsenow vd. [65], h_g 'nin konveksiyon soğutmalı kanat için olan transfer katsayısı ile aynı olduğunu varsaymışlardır.

Adyabatik duvar filmi sıcaklığı (T_f), adyabatik duvar filmi etkinliğinden (η_{ad}) elde edilir. Etkinlik katsayısı (3.37) eşitliği kullanılarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, film enjeksiyon sıcaklığı (T_{injSec}), soğutucu akışkan giriş sıcaklığına (T_{cinSec}) eřit olarak varsayılmıştır; çünkü konveksiyon ile kanadı içten soğutmak için kullanılan hava, dış filmi sağlamak için de kullanılmaktadır. Etkinlik katsayısı, döz plaka üzerinde bir yuva boyunca sűrekli film soğutma havası enjeksiyonu uygulaması ile yarı deneysel olarak hesaplanabilir. Buna karşın film soğutma sıcaklığının belirlenmesinde etkinlik katsayısını sabit bir değer alma (0.2-0.5) yaygın bir uygulamadır, Horlock and Torbidoni [66].

$$\eta_{ad} = \frac{T_{grSec} - T_{fSec}}{T_{grSec} - T_{injSec}} \quad (3.37)$$

Termal Bariyer Kaplama ve Duvar Biot Sayısı

Bir termal bariyer kaplamanın varlığı, kanat boyunca ısı transferinde bir azalma sağlar. Kaplamanın dűřűk ısı iletkenliği nedeniyle, gaz akışından kanat metalinin içine doğru olan ısı transferinde bir engel oluşur; bűylece ısı akısı ve soğutma gereksinimi azalır. Ayrıca, dış yűzeyin TBC ile kaplanması sayesinde taşınım ile ısı transferi azalır, kanat metali daha yűksek çalışma sıcaklıklarında kullanılabilir.

Biot sayısı, fiziksel olarak yűzeyde taşınım ile ısı transferi olan sistemlerde, iletim ile taşınım ısı dirençleri arasındaki oranı gűsteren boyutsuz bir parametredir. Katı malzeme içerisindeki sıcaklığ değişiminin, yűzeyle akışkan sıcaklığı arasındaki sıcaklığ farkına gűre değerini belirler. Biot sayısı çok kűűűk ise katı madde içerisindeki sıcaklığ değişimi de çok kűűűktűr. Biot sayısı, Nusselt sayısına çok benzemesine karşın ikisi birbirinden farklıdır. Nusselt sayısında k akışkanların ısı iletim katsayısı iken Biot sayısında k sıvı ortama daldırılmış katıların ısı iletim katsayısıdır. Biot sayısı, kanat

malzemesindeki sıcaklık düşüşünün ve malzeme ile akışkan arasındaki sıcaklık düşüşünün bir ölçüsüdür. Kanadın ve TBC kaplamanın Biot sayıları sırasıyla (3.38 ve 3.39) eşitlikleri ile tanımlanmıştır. Kanat duvarının Biot sayısı 0.3-0.8 aralığındadır, bunu Torbidoni ve Horlock [66] $Bi_{bw} = 0,25$ olarak kabul etmiştir. TBC'nin soğutma modeline dahil edilmesi için soğutucu gaz termal modeline daha fazla ısı direnci eklenir ve TBC dış yüzey sıcaklığı, ısı akısı eşitliğinden elde edilebilir. Bu durum denklem (3.40) ile gösterilebilir [67].

$$Bi_{bwSec} = \bar{h}_{gSec} \frac{t_{bw}}{k_{bw}} \quad (3.38)$$

$$Bi_{TBCSec} = \bar{h}_{gSec} \frac{t_{TBC}}{k_{TBC}} \quad (3.39)$$

$$T_{TBCSec(Ext)} = \frac{T_{cinSec} + \left(Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} \cdot h_{cSec}} \right) T_{fSec}}{1 + Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{(a_{cSec} \cdot h_{cSec})}} \quad (3.40)$$

$$a_{cSec} = \frac{A_{cs}}{A_{gs}} \quad (3.41)$$

Burada, Bi_{TBCSec} TBC kaplamanın Biot sayısını, T_{fSec} film soğutucu sıcaklığını, A_{cs} soğutucu akışında tek kanadın ıslak ısı transfer alanı, A_{gs} sıcak gaz akışında tek kanadın ısı transfer alanı, h_{gSec} sıcak gaz ısı transfer katsayısını, h_{cSec} soğutucu akışkan ısı transfer katsayısını ifade etmektedir.

Kanat Metal Sıcaklığı

Gaz tarafı kanat sıcaklığı, geometri ve akış koşullarının çok karmaşık bir fonksiyonudur. Termal gerilmeleri azaltmak için tüm kanat yüzeyi üzerinde sabit kanat metal sıcaklığının (T_b) muhafaza edilmesi arzu edilir. Ancak bu elde edilemez; çünkü hem h_g kanat uzunluğu boyunca güçlü değişimlere uğradığından kanat metalinin sıcak gaz tarafı ile soğuma akışı tarafı sıcaklıkları kanat boyunca değişkenlik gösterir, hem de soğutma akışı sıcaklığı, soğutma kanalının çıkışında maksimum değerlerine ulaşır. Kanat duvarındaki sıcaklık dağılımı, her bir kanadın enine kesiti için metal sıcaklığı, sıcak gaz tarafında, soğutucu akış tarafına göre daha yüksektir. Bu nedenle, sıcak gaz tarafı kanat metal sıcaklığı (T_b) ile soğutucu akışkan çıkış sıcaklığı (T_{co})'nun sıcaklık dağılımı arasındaki ilişkiyi tanımlamak gerekir. Kanat metal sıcaklıkları, sıcak ve soğuk taraflar için, (3.42 ve 3.43) eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilir [59] .

$$T_{bgSec} = \frac{(1+Bi_{TBCSec})T_{cinSec} + \left(Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} \cdot h_{cSec}}\right)T_{fSec}}{1+Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} \cdot h_{cSec}}} \quad (3.42)$$

$$T_{bcSec} = \frac{(1+Bi_{TBCSec})Bi_{bwSec} + \left(T_{cinSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} \cdot h_{cSec}}\right)T_{fSec}}{1+Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} \cdot h_{cSec}}} \quad (3.43)$$

Çıkıştaki soğutucu gaz sıcaklığı, enerji dengesi denkleminde türetilerek bu çalışmada (3.45) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. T_{co} sıcaklığındaki soğutma havası, bir soğutma filmi oluşturmak için kanat yüzeyindeki deliklerden ana akışa boşaltılır.

$$h_g S_g H (T_f - T_{bc}) = m_{bc} C_{p_c} (T_{co} - T_{ci}) \quad (3.44)$$

$$T_{coSec} = \frac{h_g S_g H}{m_{bc} C_{p_{cwSec}}} (T_f - T_{bc}) + T_{ci} \quad (3.45)$$

Kanat metal sıcaklığı, sıcak gaz tarafındaki metal sıcaklığı (T_{bg}) ve soğutma akışı tarafındaki metal sıcaklığı (T_{bc})'nin ortalaması olarak düşünülebilir. Ayrıca, kanat metal sıcaklığı (3.46) eşitliği kullanılarak elde edilebilir. Kanat metal sıcaklığı (T_b)'yi elde etmek için gereken kanat soğutma etkinliği (3.47) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir [68]. Soğutma etkinliği (ϵ), kanat girişi gaz geri kazanım sıcaklığı (T_{gr}), sıcak gaz tarafı kanat metal sıcaklığı (T_{bg}) ve girişteki soğutucu akışkan sıcaklığı (T_{cin}) bilinirse hesaplanabilir.

$$T_b = T_{grSec} - \epsilon_{Sec} (T_{grSec} - T_{cinSec}) \quad (3.46)$$

$$\epsilon_{Sec} = \frac{T_{grSec} - T_{bgSec}}{T_{grSec} - T_{cinSec}} \quad (3.47)$$

3.2.2 Birinci Sıra Hareketli Kanat Isı Transferi Hesaplamaları

Yapılan hesaplamalar GateCycle programı ile oluşturulan modellemeye göre 13 kg/s buhar enjeksiyonu gerçekleştiği durumdaki değerler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu sonuçlar ile oluşturulan termal modelin değerleri, ısı transferi analizi için sınır koşulları olarak kullanılmıştır. Yanma odasına enjekte edilen buhar kızgın halde kaldığından, ideal bir gaz olarak modellenmiştir [69].

Sıcak gaz tarafında buhar karışımlyanma gazlarının ısı iletkenliğı ve viskozitesinin hesaplanması için bileşime bağılı bir gaz özellik modeli geliştirilmiştir. Bu özellikler kanadın sıcak gaz tarafı ısı transfer sayısını belirlemek için kullanılmıştır. Kanadın iç soğutma akışı ısı transfer katsayısı, iç akış modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Kanadın iç ve dış ısı transferi katsayıları belirlenince kanat metal sıcaklığı bulunmuştur.

Su Buharı Varlığında Soğutucu Gaz Özellikleri

$$WAR = \frac{13 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (\text{buhar})}{510,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (\text{kuru hava})} = 0,025$$

$$WAR_{\text{molar}} = WAR \times \frac{M_{w_a}}{M_{w_w}} = 0,025 \times \frac{28,96}{18,015} = 0,040$$

$$\text{Nemli hava için özgül ısı faktörü, } Cp_{\text{fac}} = \frac{[WAR_{\text{molar}} \times Cp_{\text{water}} + (1 - WAR_{\text{molar}}) Cp_d]}{Cp_d}$$

$$Cp_{\text{fac}} = \frac{[0,040 \times 1,984 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} + 1,009 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}]}{1,0511 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}} = 1,035$$

$$MW = \frac{1}{\left(\frac{WAR}{M_{ww}}\right) + \left[\frac{(1 - WAR)}{M_{wa}}\right]} = \frac{1}{\left(\frac{0,025}{18,015}\right) + \left[\frac{(1 - 0,025)}{28,96}\right]} = 28,57 \text{ gr/mol}$$

$$R_{\text{fac}} = \frac{R_o}{(MW \times R_d)} = \frac{8,31 \text{ kJ/molK}}{(28,57 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 0,287 \text{ kJ/kgK})} = 1013,53$$

Soğutucu Tarafı Isı Transfer Modeli

$$m_{cb} = \frac{M_c}{100} \frac{m_g}{N_b} = \frac{10}{100} \frac{520,47}{63} = 0,826 \text{ kg/s}$$

$$m_{cc} = \frac{m_{cb}}{n_{ch}} = \frac{0,826}{7} = 0,118 \text{ kg/s}$$

$$A_{cs} = \pi D_h H n_{ch} = \pi \times 0,003 \text{ m} \times 0,042 \text{ m} \times 7 = 0,0027 \text{ m}^2$$

Soğutucunun Reynolds Sayısı, Nusselt Sayısı ve Isı Transferi Katsayısı

$$Re_{cwSec} = \frac{\rho_{cwSec} \times V_{AbsSec} \times D_h}{\mu_{cwSec}} = \frac{1,226 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 462,21 \text{ m/s} \times 0,003 \text{ m}}{0,00001798 \text{ kg/ms}} = 94549,96$$

$$Nu_{cwSec} = 0,15 (Re_{cwSec})^{0,7} = 0,15 (94549,96)^{0,7} = 456,09$$

$$h_{cwSec} = Nu_{cwSec} \frac{k_{cw}}{D_h} = 456,09 \frac{0,0253}{0,003} = 3846,38 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (Buhar Enjeksiyonu Yok)}$$

Buhar enjeksiyonu olursa;

Kompresör çıkış basıncı % 4 artar.

$$Re_{cwSec} = \frac{\rho_{cwSec} \times V_{AbsSec} \times D_h}{\mu_{cwSec}} = \frac{1,275 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 480 \text{ m/s} \times 0,003 \text{ m}}{0,00001798 \text{ kg/ms}} = 102113,45$$

$$Nu_{cwSec} = 0,15 (Re_{cwSec})^{0,7} = 0,15 (102113,45)^{0,7} = 481,33$$

$$h_{cwSec} = Nu_{cwSec} \frac{k_{cw}}{D_h} = 481,33 \frac{0,0253}{0,003} = 4059,2 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (Buhar enjeksiyonu var)}$$

Sıcak Gaz Tarafı Isı Transferi

Sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısı hesaplanırken $St_g=0.005$ (sabit) olduğu kabul edilmiştir [45].

$$A_g = \pi D_m H \cos \alpha_2 = \pi \cdot 0,778 \text{ m} \cdot 0,042 \cdot 63 \cdot \cos 60 = 3,23 \text{ m}^2$$

Buhar enjeksiyonu yok iken;

$$h_{gSec} = St_{gSec} \times C_{p_g} \left(\frac{m_g}{A_g} \right) = 0,005 \times 1,35 \text{ kJ/kgK} \left(\frac{520,47 \text{ kg/sn}}{3,23 \text{ m}^2} \right) = 1,086 \text{ kW/m}^2\text{K} = 1086 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Buhar enjeksiyonu var iken;

$$h_{gSec} = St_{gSec} \times C_{p_g} \left(\frac{m_g}{A_g} \right) = 0,005 \times 1,42 \text{ kJ/kgK} \left(\frac{534 \text{ kg/sn}}{3,23 \text{ m}^2} \right) = 1,173 \text{ kW/m}^2\text{K} = 1173 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Gaz geri kazanım sıcaklığı

Sıcak gaz Prandtl sayısının düz bir levha ile aynı olduğu ve 0,7'ye eşit olduğu kabul edilmiştir.

$$r = Pr_g^{1/3} = (0,715)^{1/3} = 0,894$$

$$r = \frac{T_{gr} - T_{gst}}{T_{gtot} - T_{gst}}$$

Statik Sıcaklık

$$T_{gst} = T_{gi} - C_v^2 / 2C_p = 1515 - 462,21^2 / 2 \times 1160 = 1423 \text{ K}$$

$$0,894 = \frac{T_{gr} - 1423}{1515 - 1423} \text{ olduğundan } T_{gr} = 1505 \text{ K bulunur.}$$

Termal Bariyer Kaplama ve Duvar Biot Numaraları

$$Bi_{bwSec} = \bar{h}_{gSec} \frac{t_{bw}}{k_{bw}} = 1086 \text{ W/m}^2\text{K} \frac{0,002 \text{ m}}{25,8 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,0841$$

$$Bi_{TBCSec} = \bar{h}_{gSec} \frac{t_{TBC}}{k_{TBC}} = 1086 \frac{0,000125}{2} = 0,0678$$

$$a_c = \frac{A_c}{A_{gs}} = \frac{0,0027 \text{ m}^2}{0,0513 \text{ m}^2} = 0,526$$

Buhar enjeksiyonu yok iken;

Soğutma havası 649 K'dir.

Not : Bu çalışmada T_{injSec} T_{cinSec} 'e eşit olduğu varsayılmıştır, çünkü konveksiyon ile kanadı içten soğutmak için kullanılan hava dış filmi sağlamak için kullanılmaktadır. Adyabatik Etkinlik Katsayısı 0.4 olarak kabul edilmiştir [66].

$$\eta_{ad} = \frac{T_{grSec} - T_{fSec}}{T_{grSec} - T_{injSec}}$$

$$0,4 = \frac{1505 - T_{fSec}}{1505 - 649} = 1162 \text{ K}$$

$$T_{TBCSec(Ext)} = \frac{T_{cinSec} + \left(Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} * h_{cSec}} \right) T_{fSec}}{1 + Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{(a_{cSec} * h_{cSec})}}$$

$$T_{TBCSec(Ext)} = \frac{649 + \left(0,0678 + 0,0841 + \frac{1086}{0,526 * 3846,38} \right) 1162}{1 + 0,0678 + 0,0841 + \frac{1086}{(0,526 * 3846,38)}} = 858,5 \text{ K}$$

Buhar enjeksiyonu var iken;

Soğutma havası 656 K'dir.

$$0,4 = \frac{1505 - T_{fSec}}{1505 - 656} = 1165 \text{ K}$$

$$T_{TBCSec(Ext)} = \frac{656 + \left(0,0678 + 0,0841 + \frac{1173}{0,526 * 4059} \right) 1165}{1 + 0,0678 + 0,0841 + \frac{1173}{(0,526 * 4059)}} = 866 \text{ K}$$

Kanat Metal Sıcaklığı

Buhar enjeksiyonu yok iken;

$$T_{bgSec} = \frac{(1 + Bi_{TBCSec})T_{cinSec} + \left(Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} * h_{cSec}} \right) T_{fSec}}{1 + Bi_{TBCSec} + Bi_{bwSec} + \frac{h_{gSec}}{a_{cSec} * h_{cSec}}}$$

$$T_{bgSec} = \frac{(1 + 0,0678)649 + \left(0,0841 + \frac{1086}{0,526 * 3846,38} \right) 1162}{1 + 0,0678 + 0,0841 + \frac{1086}{(0,526 * 3846,38)}} = 837,8 \text{ K}$$

$$\varepsilon_{Sec} = \frac{T_{grSec} - T_{bgSec}}{T_{grSec} - T_{cinSec}} = \frac{1505 - 837,8}{1505 - 649} = 0,77$$

$$T_b = T_{grSec} - \varepsilon_{Sec}(T_{grSec} - T_{cinSec}) = 1505 - 0,77(1505 - 649) = 845,45 \text{ K}$$

Buhar enjeksiyonu var iken;

$$T_{bgSec} = \frac{(1 + 0,0678)656 + \left(0,0841 + \frac{1173}{0,526 * 4059}\right) 1165}{1 + 0,0678 + 0,0841 + \frac{1173}{(0,526 * 4059)}} = 845,8 \text{ K}$$

$$\varepsilon_{Sec} = \frac{T_{grSec} - T_{bgSec}}{T_{grSec} - T_{cinSec}} = \frac{1505 - 845,8}{1505 - 656} = 0,77$$

$$T_b = T_{grSec} - \varepsilon_{Sec}(T_{grSec} - T_{cinSec}) = 1505 - 0,77(1505 - 656) = 851,32 \text{ K}$$

Buhar enjeksiyonu ile birlikte ortalama kanat metal sıcaklığında 5,5 K artış olmuştur. Buda yaklaşık %1'lik bir artış olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.7 Buhar enjeksiyonunun kanat metal sıcaklığına etkisi

	Soğutma Tarafı		Sıcak Gaz Taraf		Soğutma Hava		Kanat Sıcaklığı	
Buhar Enj. Yok	3846,3	W/m ² K	1086	W/m ² K	649	K	845,45	K
Buhar Enj. Var	4059,2	W/m ² K	1173	W/m ² K	656	K	851,32	K
	+ %5.5		+ %8		+ %1		+ %1	

Enjekte edilen buhar, yanma işleminde aktif olarak yer almamaktadır, ancak yanma gazları ile aynı sıcaklığa, yani türbin giriş sıcaklığına kadar ısıtmak gerektiğinden artan kütleyi ısıtacak kadar yanma odasına ilave yakıt gönderilir. Yanma odasına gönderilen kızgın haldeki buharın özgül ısısı diğer yanma gazlarının özgül ısısından yaklaşık iki kat daha büyüktür; bu nedenle buhar enjeksiyonu yapıldığında türbinden geçen gaz karışımının ortalama özgül ısısı (C_p) daha yüksek olur. Artan buhar enjeksiyonu ile birlikte sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısı artar. Artan buhar enjeksiyonu ile kompresör çıkış bacinı yükselir, daha fazla soğutucu akışkan geçişi olur ve kanat iç bölgesi ısı transfer katsayısı artar [70]. Sıcak gaz tarafı ısı transfer sayısındaki artış, soğutucu akışkan tarafı ısı transfer katsayısından fazla olduğundan kanat metal sıcaklığında artış meydana gelmiştir.

3.3 Birinci Sıra Hareketli Kanat İçin Servis Ömür Modeli

Gaz türbinlerinin temel parçaları olan hareketli ve sabit kanatların tasarımı oldukça zor, kullanılan malzemeleri pahalı, işlenme süreci oldukça komplekstir. Gaz türbinlerinin güvenli çalışması büyük oranda sıcak gazla temas eden bu parçaların teknik durumuna ve bakım seviyesine bağlıdır. Sıcak gaz ile temas eden bu parçaların servis ömürlerini belirleme yöntemleri, bileşenlerin servis ömrünü uzatmak, beklenmeyen arızaların önüne geçmek, bakım zamanlarını belirlemek ve sistemin emre amadeliğini korumak için oldukça önemlidir.

3.3.1 Sıcak Gaz ile Temas Eden Bileşenlerin Servis Ömrünü Etkileyen Faktörler

Uzun süre yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve korozyon ortamlarda çalışan yüksek sıcaklık bileşenleri için çalışma sıcaklığı ve yatak yükü, metal malzeme hasarı üzerinde oldukça büyük ve karmaşık etkiler meydana getirir. Hasarlanmanın temel nedeni olan yüksek sıcaklıktaki metal malzeme hasarına yol açan etkenler; yüksek sıcaklıkta sürünme hasarı, termal ve mekanik yorulma ile korozyon hasarı olmak üzere 3 ana başlık altında toplanır [16].

3.3.1.1 Yüksek Sıcaklık Sürünmesi

Malzemelerde sabit yük veya gerilme altında zamanla meydana gelen yavaş plastik deformasyona (şekil değişimi) sürünme denir. Sıcaklık arttıkça sürünme olayı hızlanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda plastik şekil değişimi, sadece malzemeye uygulanan gerilmeye bağlıdır. Sürünmenin neden olduğu plastik deformasyon ise gerilme yanında sıcaklık ve zamana bağlıdır. Oluşan deformasyon, elastik veya elastik olmayan (kalıcı) bir deformasyon şeklindedir. Tipik olarak sürünme, malzemeye göre mutlak erime sıcaklığının yaklaşık %40 ile % 60'ının üzerindeki sıcaklıkta meydana gelir [71; 72]. Sürünme davranışı, yüksek sıcaklık bileşenlerinin bütünlüğünü belirleyen en kritik faktörlerden biridir, çünkü bu bileşenler, belirli bir süre boyunca sürekli stres altında yavaş ve sürekli olarak deforme olabilir. Bu deformasyon, kristal yapısında, tane sınır tabakasının akışı ile birlikte oluşan kaymanın sonucudur. Böylesi bir deformasyon nedeniyle, parçada kabul edilemeyecek düzeyde boyutsal değişiklikler meydana gelir ve parça kırılması ile sonuçlanabilir. Sürünme, yüksek sıcaklıklar ve yüksek gerilmeler içeren uygulamalarda en büyük potansiyel sorundur.

Yakıcılar, yanma odası bileşenleri, türbin hareketli ve sabit kanatları uzun süre yüksek sıcaklık altında çalışan ekipmanlardır. Yüksek sıcaklık altında sürünme gerilmeleri türbin parçalarının kırılmasındaki önemli sebeplerden biridir. Bu nedenle, gaz türbini malzemelerinin yüksek sıcaklıkta ki sürünme özelliklerinin araştırılması, gaz türbininin sıcak gaz ile temas eden bileşenlerinin beklenen servis ömrünü değerlendirmek için önemli yöntemlerden biridir [73].

Kanatın sürünme ömrü kanattaki gerilmelerin ve kanat metal sıcaklığının fonksiyonu olarak Larson-Miller Parametresi (LMP) yöntemini kullanarak elde edilebilir [56].

Larson Miller Parametresi

Sürünme nedeniyle meydana gelen hata tahminleri zor olabilir. Sonlu eleman analizleri, bir malzemenin sürünme gerilim oranını; zaman, sıcaklık ve gerilme fonksiyonu olarak tanımlayan sürünme malzeme yasaları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Sürünme hem zamana bağımlı hem de doğrusal değildir ve bu nedenle sürünme analizleri uzun zaman alır ve yakınsamaları zor olabilir.

Larson-Miller yaklaşımı, belirli bir malzemenin herhangi bir stres-sıcaklık kombinasyonu için sürünme kopma zamanını belirlemekte kullanılabilir. Larson-Miller denklemi, 1950'li yıllarda, Miller ve Larson, GE için türbin kanatlarının ömrü hakkında araştırma yaparken geliştirilmiştir. Geliştirdikleri parametrik ilişki, laboratuvar testlerinin tekrarlanması pratik olmadığı durumlarda tüm sıcaklık-stres kombinasyonları ve zaman aralıklarına sürünme ve kopma ömrü ile ilgili deneysel veri sağlamak için kullanılır.

Larson-Miller ifadesi, sürünme verisindeki değişkenlerin birçoğunu birleştirir. Stresin sürünme üzerindeki etkisini çeşitli sıcaklıklarda değerlendirmek ve ölçmek için yararlı bir analitik yaklaşımdır. Larson-Miller parametresi, kolaylık sağlamak için 1000 faktöre bölünür.

$$LMP = T[\log_{10} t_f + C]10^{-3} \quad (3.48)$$

Burada, LMP Larson-Miller Parametresi, T malzeme sıcaklığı (K), t_f saat olarak hata (sürünme kopma) zamanı, C malzeme sabitidir. C sabiti endüstriyel uygulamalarda genellikle 20 olarak alınır; ancak seçilen malzemeye ve yapılan uygulamaya göre 17 ile 23 arasında değişebilir.

$$S = (P_0 / 2) \cdot ((D_0 / t_e) - 1) \quad (3.49)$$

Burada, S kopma ömrü için müsaade edilebilecek maksimum gerilme, P_0 çalışma basıncı, D_0 dış çapı, t_e kullanım süresi sonu malzeme kalınlığını ifade etmektedir.

Sürünme Ömrü Hesaplamaları

$$LMP = T(\log t_f + C)10^{-3}$$

$$26,5 = 845 \times 10^{-3} (\log_{10} t_f + 20)$$

Birinci sıra hareketli kanat için,

Malzeme : IN738 LC
Dış çap : 778mm
Kalınlık : 2mm

Çizelge 3.8 Buhar enjeksiyonunun çalışma basıncına etkisi

	Buhar enjeksiyonu yok	Buhar enjeksiyonu var
Çalışma Basıncı	1,46 MPa	1,52 Mpa
Metal Sıcaklığı	845,45 K	851,32 K

Türbin üreticisi sıcak gaz ile temas eden birinci sıra hareketli kanatların güvenli çalışması için her 24.000 saat sonunda değiştirilmesini önermektedir.

Yıl olarak maksimum çalışma süresi : $24.000/(365*24)= 2.75$ yıl

Kalınlık, ömür sonu (t_e) : $2\text{mm} - (2,75*0,04) = 1,89\text{mm}$

Buhar enjeksiyonu yok;

$$S = (1,46/2).((778/1,89)-1) = 300 \text{ MPa}$$

Buhar enjeksiyonu var;

$$S = (1,52/2).((778/1,89)-1) = 312 \text{ MPa}$$

Buhar enjeksiyonu yok;

$$LMP_{\min} = 24,8$$

$$(273+845) (16,59 + \log_t) = 24,8 \times 10^{-3}$$

$$t = 389.045 \text{ saat}$$

Buhar enjeksiyonu var;

$$LMP_{\min} = 24,6$$

$$(273+851) (16,59 + \log_t) = 24,6 \times 10^{-3}$$

$$t = 197.742 \text{ saat}$$

Buhar enjeksiyonu ile birlikte sürünme kopma ömrü önemli oranda azalmıştır. Ancak azaldığı durumdaki servis ömrü türbin üreticisinin birinci sıra hareketli kanatların değiştirilmesi için önerdiği sürenin oldukça üzerinde olduğundan, kanat sürünme kopma ömrüne göre güvenli çalışma periyodu içinde kalmaktadır.

3.3.1.2 Termal ve Mekanik Yorulma

Tekrarlayan veya dalgalanan bir yüke maruz kalan bir metal, tek bir yük uygulamasında hata için gerekli olandan çok daha düşük bir gerilim altında hataya maruz kalacaktır. Mekanik ve termal yorgunluk olarak bilinen döngüsel yük dalgalanmasına bağlı yorulma, kırılmaya neden olan çatlak başlangıcına ve yayılmasına yol açacaktır.

Gaz türbini sıcak gaz ile temas eden bileşenler türbinin dur-kalk operasyonlarından ve yük altında çalışırken basınç ve sıcaklık dalgalanmalarından etkilenirler. Sıcaklığın sık sık değiştiği çalışma rejimi nedeniyle türbin bileşenleri üzerinde değişken gerilmeler oluşur, uzun vadeli biriken etkiler son olarak, bileşenlerin etkinliğinin bozulmasına yol açar.

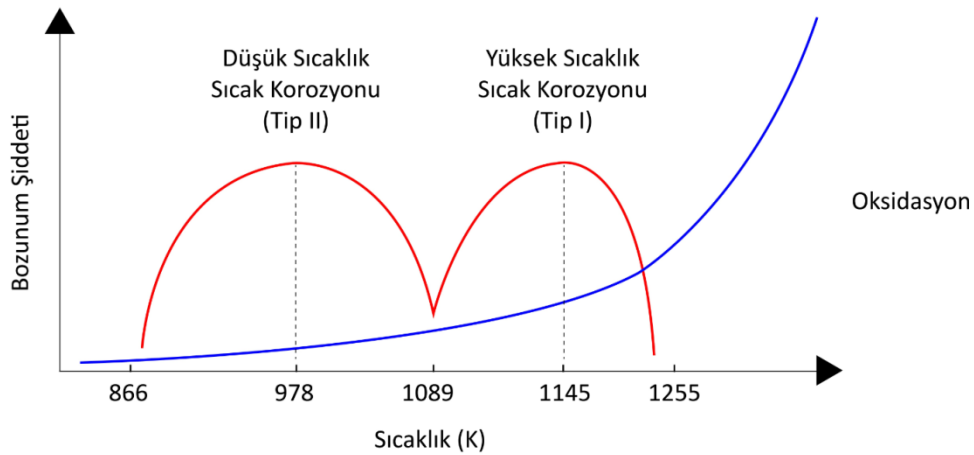
Mekanik yorulma çevrim sayısına göre ikiye ayrılır. Genellikle yorulma çevrim sayısı $10^4 \sim 10^5$ 'ten büyük ise yüksek çevrimli yorulma, bu değerlerden daha düşük ise düşük çevrimli yorulma diye adlandırılır. Bileşen çatlaması sadece mekanik olarak değil, aynı zamanda termal olarak da indüklenebilir ve birleştirildiğinde çatlama hızlanacaktır.

Dur-kalk operasyonu ile çalışan gaz türbinlerinde oluşan yorgunluk yüksek çevrim yorgunluğudur. Termal yorgunluk sıcak gaz ile temas eden bileşenlerin servis ömrünü önemli ölçüde etkileyen bir faktördür; ancak bazı harici faktörler hatayı başlatmazsa, yüksek çevrim yorulması (HCF) hataları endüstriyel gaz türbinlerinde nadiren görülür, örn. hareketli kanadın bir tanesinde üretim hatası olması [74]. Bunun nedeni, modern gaz türbinlerinde kullanılan yeni malzemeler ve teknolojiler sayesinde, tasarım aşamasında yorulma neredeyse ortadan kalkmaktadır.

3.3.1.3 Sıcak Korozyonu ve Oksidasyon

Yanma odası bileşenleri ile hareketli ve sabit kanatların dış yüzeylerinde termal bariyer kaplaması bulunur. Yüksek sıcaklık ve hava akımı ile oluşan erozyon, kaplama oksidasyonu ve sinter termal iletkenliği artırır, gözenekliliği azaltır, kaplamada çatlaklar oluşur, aşınma ve erozyon kaplamayı inceltir, termal yorgunluk ve temel malzemede deformasyon oluşur. Bunların tamamı kaplamanın koruması altında bulunan sıcak gaz ile temas eden bileşenlerin ömrünü etkiler. Özellikle tam yük operasyonu modunda çalışan kombine çevrim uygulamalarında kanat ömrü oksidasyon ve korozyon hasarı tarafından kontrol edilir.

Oksidasyon bir termo-kimyasal işlemdir ve genellikle alaşım yüzeylerinde ince bir oksit tabakası oluşturarak yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkar. Oksidasyon sıcaklık, zaman ve gerilime bağlı bir olgudur. Oksidasyonun büyüme hızı, o yüzeydeki oksit tabakasından difüzyona bağlıdır. Oksidasyon hataları, oksidasyon büyüme hızına bağlı olarak tahmin edilebilir. Oksidasyon hatalarının en yaygın sonuçlarından biri, sıcak gaz ile temas eden bileşenlerin aşınmasıdır [75]. Oksidasyon çatlak büyümesi üzerinde de önemli etkiye sahiptir.



Şekil 3.8 Aşındırıcıların yüksek sıcaklık rejimindeki etkisi [76]

Kaplama teknikleri sıcak gaz ile temas eden parçaları korumak için çok önemlidir ve günümüzde geniş bir sıcaklık aralığı ile farklı çalışma ortamlarındaki saldırılardan korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıkta zararlı etmenler (örn. uygun olmayan yakıt vb.) ile kontamine olan çevre şartlarında korozyon ve oksidasyon kaçınılmazdır.

Yanma Odasına Buhar Enjeksiyonunun Oksidasyona Etkisi

Yanma odasına buhar enjeksiyonu yapılırsa sıcak gazın kütleli debisinde artış meydana gelir; bu nedenle de sıkıştırma oranı ve güç çıkışı artar. Böylece kanatların mekanik yükü de artar. Diğer yandan sıcak gaz içerisindeki artan nem oranı ısı transfer özelliklerini etkiler ve sonuç olarak kanadın metal sıcaklığı artar. Daha yüksek nem içeriğine sahip gazlara maruz kalmak, türbin kanat kaplamalarının aşınma direncini azaltır.

TBC kaplamalarda termal olarak büyütülen oksidasyon katmanı ile üst yüzey kaplamasının ayrılmasından dolayı çatlama ve kırılma olur. Hata süreci, bağ katının

oksidasyonu, termal mekanik yorgunluk, sinterleme ve TBC'nin kırılması dahil olmak üzere birçok mekanizmayı içerir. TGO'nun oluşumu ile bağ yüzey kaplamasına karşılık gelen basma gerilmelerindeki büyüme, TBC'lerde hataların ana nedenlerinden biridir [18].

Bağlanma katmanındaki oksitler ile ilişkili aktivasyon enerjileri, sıcaklık ve rölatif oksidasyon ömrünün bir fonksiyonu olarak oksit büyüme oranını belirlemek için kullanılmıştır [77]. Hesaplanan oksidasyon ömür değişimi daha sonra gaz türbini referans çalışma şartlarına göre eşdeğer çalışma saatine (EOH)'e dönüştürüldü [78]. Bu analizde fiziksel etki, sürünme yorulması ve termal mekanik yorgunluğun dikkate alınmadığını fark etmek önemlidir. Bununla birlikte, tahmini servis ömrü sonuçlarını uygularken TBC bozunmasını hızlandırma üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır.

Buhar veya su enjeksiyonundan kaynaklanan parça servis ömrü etkisi, türbinin kontrol edildiği yolla da ilgilidir. Endüstriyel türbinler, genellikle, egzoz sıcaklığı ve kompresör basıncı veya basınç oranı arasındaki doğrusal bir ilişki aracılığıyla sabit bir yanma sıcaklığı ile çalıştırılır. Bu çalışmada türbin kontrol sistemi, buhar enjeksiyonu yapıldığında yanma sıcaklığı sabit tutmak için tasarlanmıştır. Böylece gaz türbininde fazla güç üretilmiş, ancak parça ömrünün tüketim hızı artmıştır. Yanma odasına buhar enjeksiyonu yapıldığında yanma sıcaklığı düşer ancak kontrol sistemi yanma sıcaklığını arttırmak için içeriye daha fazla yakıt göndermeye başlar.

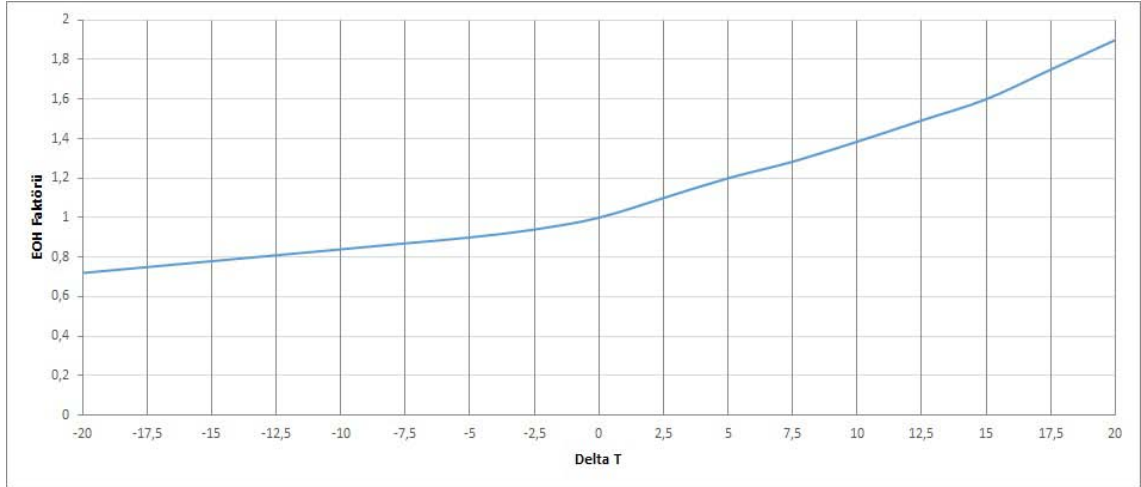
Gaz türbinlerinin imalatçının belirlediği temel dizayn şartlarında çalıştırıldığında belirli bir parça değişim saati vardır. Örneğin, Alstom 13E2 modeli türbin için yakıt olarak doğalgaz kullanıldığında, türbin tam yük çalıştırılıp yanma sıcaklığı sabit olarak ayarlandığında, sıcak gaz ile temas eden parçaların değişim saati yaklaşık olarak 24.000 EOH'tir. Bu analizde, dizayn temel yük koşulundaki türbin için hesaplanan kanat metal sıcaklığı, temel referans olarak kullanılmıştır. Türbin giriş sıcaklığı sabit tutulduğunda, kanatların metal sıcaklıklarının artan buhar enjeksiyonu ile arttığı görülmüştür.

TBC kaplamanın kalkması sonucu, oksidasyon kanadın ana malzemesine işlemeye başlar. Bu oksidasyon malzemelerin bakım periyodunu etkiler. Buhar enjeksiyonu yapılan türbinlerin kanatları incelendiğinde buharın bu kanatların eşdeğer çalışma süresine (EOH) olumsuz yönde etki ettiği görülür.



Şekil 3.9 Birinci sıra hareketli kanatta kalkan TBC kaplama ve oksidasyon hasarı [19]

Normal çalışma saatlerinin sayısı üzerindeki eşdeğer çalışma saati faktörü, enjekte edilen su miktarının bir fonksiyonu olarak uygulanmalıdır. Aşağıdaki şekil, buhar enjeksiyonu ile tahmin edilen birinci sıra hareketli kanatların oksidasyon ömür değişimini göstermektedir.



Şekil 3.10 Kanat metal sıcaklığındaki değişimin EOH faktörüne etkisi

Sabit türbin giriş sıcaklığı ile kontrol edilen bir üniteye %2.5'luk bir buhar enjeksiyon oranı, sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayılarında %8'lik bir artışa neden olur. Yapılan çalışma ile kanadın iç bölgesinde ki soğutma tarafında ısı transfer katsayısının da %5 oranında arttığı tespit edildi. Artan ısı transferi, kanadın bölgesel metal sıcaklığında ortalama 5.5 K artışa neden olur, buda parça ömründe yaklaşık %20'lik bir azalmaya sebep olur.

Eşdeğer Çalışma Saati Hesaplama Teorisi (EOH)

Gaz türbinlerinde gerçekleşen çalışma saatleri, dur-kalk sıklığı, yük durumu, yakıt karakteristiği, su ve buhar enjeksiyon oranı, yük oranı, beklenmeyen duruşların niteliği, normal olmayan operasyon şartları gibi faktörler doğrudan türbinin güvenilirliğini ve sıcak gaz ile temas eden ekipmanların ömrünü etkiler. Türbin üreticilerinin çoğu, sistemlerin zamanında bakım ile ne kadar süre güvenilir performans göstereceğini ve bakımsız ne kadar hızlı arızalanacağını tahmin etmek için eşdeğer çalışma saati (EOH) değerini kullanmaya başlamışlardır.

Eşdeğer çalışma saati, sistemde kullanılan yakıt veya buhar enjeksiyonuna göre gerçekleşen çalışma saatini üretici tarafından verilen veya deneysel olarak bulunan eşdeğer çalışma saati faktörü ile çarpılması; ayrıca bu değerın dur-kalk operasyonlarında veya beklenmeyen durmalarda üretici tarafından verilen ceza puanları ile toplanması ile hesaplanır. Alstom tarafından 13E2 modeli gaz türbini için verilen EOH katsayıları aşağıdaki Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 13E2 EOH Katsayıları

Yüksek sıcaklıkta durma	TIT>1050 °C	300 EOH
Düşük sıcaklıkta durma	TIT<1050 °C	50 EOH
PLST High	TIT>1050 °C	70 EOH
Yüksek sıcaklıkta yük atma	TIT>1050 °C	300 EOH
Düşük sıcaklıkta yük atma	TIT<1050 °C	0 EOH
Doğalgaz ile devreye girme		20 EOH
Fuel oil ile devreye girme		30 EOH

Yakıt olarak mazot ile çalışılan durumlarda NO_x emisyonlarını yasal limitlere düşürmek için yakılan mazotun yarı miktarı kadar yanma odasına arındırılmış su enjekte edilmektedir. Kütlesel debi arttığı için üretici firma 1 saat gerçek zamanlı çalışmaya karşı, türbin parçalarının 1,5 saat eşdeğer çalışma saatine geldiğini kabul etmektedir.

Çizelge 3.10 13E2 EOH Faktörleri

Yakıt Tipi	Çalışma Saati	EOH Faktörü
Doğalgaz	1 Saat	1 EOH
Fuel Oil	1 Saat	1,5 EOH

Alstom tarafından 13E2 modeli türbin için önerilen bakım periyotları ve bu bakımlarda yapılacaklar aşağıdaki Çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 13E2 için bakım zamanları

EOH Miktarı	Bakım Tipi	Yapılan Bakımlar
6.000	A Bakımı	İnceleme
12.000	B Bakımı	İnceleme
18.000	A Bakımı	İnceleme
24.000	C Bakımı	Parça Değişimi

BUHAR ENJEKSİYONUNUN EKONOMİK ANALİZİ

Sanayileşmenin küresel ölçekte yaygınlaşması, teknolojik gelişmelerle beraber insanlık refah seviyesinin artması ve dünya nüfusunun büyüme yönünde seyretmesi gibi nedenlerle küresel enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Gelişmiş ülkeler önderliğinde 1990'lı yılların başından başlayarak günümüzde de devam eden süreçte enerji piyasalarında şeffaflığı sağlamak, piyasa liberalizasyonunu gerçekleştirmek ve küresel piyasalarla bütünleşme sağlamak amacıyla bir serbestleşme süreci başlamıştır.

Türkiye dünya genelinde bakıldığında Çin'den sonra elektrik ve doğalgaz talebinde ikinci ülke konumundadır. Bilindiği üzere ithal edilen doğalgazın büyük bir kısmı elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır [79]. Türkiye bir taraftan oluşan talebi karşılamaya çalışırken, bir yandan da elektrik enerjisi üretim yatırımlarını çeşitlendirmeye ve hızlandırmaya çalışmaktadır. Türkiye hızlı talep artışına sahip olan elektrik enerjisinin özel sektör yatırımlarıyla karşılanması için uzun süreli ve aşamalı bir planlamayı yürürlüğe koymuştur. Bu süreç sonunda tamamen açık piyasa ekonomisine geçilmesi amaçlanmıştır.

Serbestleşen elektrik enerji piyasasında aktörlerin uygun pozisyon almasında ve gelecek stratejilerini doğru oluşturmasında geleceğe ilişkin doğru öngörüler son derece önemli hale gelmiştir. Yukarıda da bahsedildiği üzere elektrik enerji sektörü çok oyunculu dinamik bir piyasa haline dönüşmüştür. Bu anlamda üreticiler/tedarikçiler piyasa koşullarındaki değişime hızlı cevap verebilmeli, elinde tuttuğu varlığı verimli kullanmalı ve tüketici lehine optimum teklifleri sunabilmelidir.

Serbestleşen piyasada elektrik ve gaz fiyatlarının günlük, mevsimsel veya öngörülemeyen şekilde değiştiği bir ortam santrallerin düşük kapasite ile çalışmasına sebep olabilmektedir. Santralin güç çıkışını arttıran yanma odasına buhar enjeksiyonu yöntemi ile elektrik satış ve gaz alım fiyatlarının uygun olduğu dönemlerde santralin elektrik güç çıkışını arttırabilme olanağı işletme açısından büyük esneklik sağlamaktadır.

4.1 Buhar Enjeksiyonun Ekonomik Analiz Değişkenleri

Mühendislik uygulamalarında ekonomik analizler teknik analizler kadar önemlidir. Bir projenin hayata geçirilmesi durumunda işletme açısından oluşturacağı kâr/zarar durumunun öngörülebilmesi için teknik analizinin yanı sıra ekonomik analizinin de titizlik ile yapılması gerekir.

Bu çalışma sonucu oluşacak ekonomik durum incelenirken, aşağıdaki parametreler dikkate alınarak, ilgili değerler Microsoft Excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

İlgili parametreler;

- Buhar enjeksiyon sistemi ilk yatırım maliyeti
- Yakıt maliyeti
- Serbest piyasa elektrik satış fiyatı
- Uzun vadeli gaz türbini ağır bakım maliyetleri (EOH Maliyeti)
- USD/TL kuru
- Demineralize su maliyeti

4.1.1 Buhar Enjeksiyon Sistemi İlk Yatırım Maliyeti

Bu çalışmasının uygulanabilmesi için buhar türbini yüksek basınç kademesinden alınan buharın, gaz türbini yanma odasına taşınması gerekir. Çalışmada belirlenen kısıtlara göre seçilen 13 kg/s 'lik buharın transferi için 70m uzunluğunda, 6" çapında, Sch80 et kalınlığında, 10CrMo9-10 (P22) malzemeden yapılan bir boru, yüksek basınçlı buhara uygun bir vana ve montaj işçiliği maliyetleri oluşacaktır. Ancak bu maliyetlerin toplamı

diğer gelir gider parametreleri yanında oldukça küçük olduğundan bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

4.1.2 Yakıt Maliyeti

Bu çalışmada yakıt olarak doğalgaz kullanılmıştır. Türkiye enerji piyasasında doğalgaz fiyatları kullanıcı ile dağıtıcı arasındaki anlaşmalara göre değişkenlik göstermekle birlikte örnek analiz yapılabilmesi için özel sektör gaz dağıtım firması olan Engie İzgaz'ın Ocak 2018 tarihindeki büyük tüketiciler için olan satış fiyatı baz alınmıştır.

Çizelge 4.1 Ocak 2018 doğalgaz fiyatı

Doğalgaz	1sm ³ NG	0,766503 TL
----------	---------------------	-------------

4.1.2.1 Doğalgaz Debi Oranı Sm³ Dönüşümü

GateCycle programı ile yapılan santral performans modellemesine göre kg/s olarak verilen gaz tüketim debisi önce kg/saat'e dönüştürülmüş, doğalgazın özgül ağırlığı 0,74 katsayısı ile bölümünden Sm³ karşılığı elde edilmiştir.

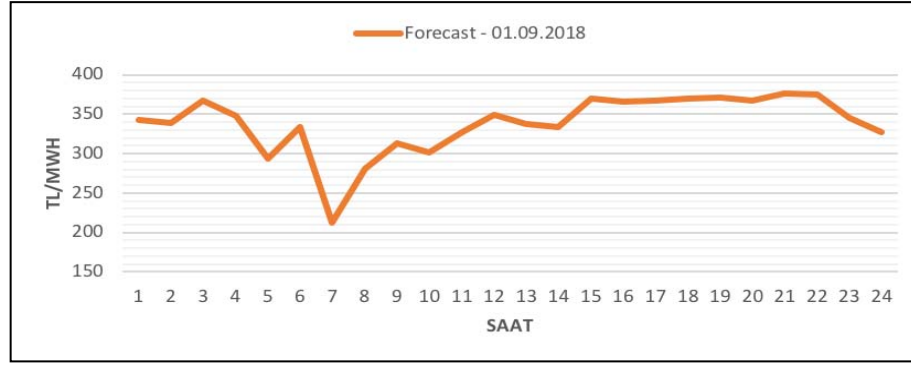
Çizelge 4.2 Doğalgaz Sm³ dönüşümü

Buhar Enjeksiyonu	Buhar Türbin Gücü	Gaz Türbin Gücü	Toplam Santral Gücü	Giren Yakıt Debisi	Giren Yakıt Debisi		
kg/s	MW	MW	MW	kg/s	kg/h	NG SG	Sm ³
0	72,02	164,47	236,49	9,71	34956	0,74	47237,84
13	65,59	181,64	247,23	10,24	36864	0,74	49816,22

4.1.3 Serbest Piyasa Elektrik Satış Fiyatı

Türkiye enerji piyasasında elektrik satış fiyatları mevsimsel, günlük ve saatlik olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenliğin temel nedeni elektrik tüketimi tarafındaki talebin artması veya azalmasıdır.

Bu çalışmada 2018 yılı serbest piyasa elektrik satış fiyatlarının her ay için saatlik ortalama TL/MWh değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.1 1 Eylül 2018 için saatlik TL/MWh

4.1.4 Eşdeğer Çalışma Saati Maliyeti

Eşdeğer çalışma saati (EOH) maliyeti hesaplanırken, üretici firmanın tavsiyesi doğrultusunda gaz türbini 24.000 EOH değerine ulaştığında özellikle birinci sıra hareketli kanatların değiştirildiği ağır bakım (C bakımı) yapıldığı kabul edilmiştir. Bu doğrultuda sıcak gaz ile temas eden parçaların servis ömürlerine göre satın alma veya tamir maliyetleri, bakım için kullanılacak olan adam/saat maliyetleri ve bakım süresince gerçekleşen üretim kaybı dikkate alınarak yaklaşık bir maliyet hesaplanmıştır.

$$C_{s,eoh} = \frac{C_{par\text{ça}} + C_{i\text{şçilik}} + C_{\text{ük}}}{EOH_T} \left[\frac{\$}{EOH} \right] \quad (4.1)$$

Burada, $C_{s,eoh}$ USD cinsinden eşdeğer çalışma saatinin birim maliyetini, $C_{par\text{ça}}$ sıcak gaz ile temas eden parçaların (kanatlar ve montaj aksesuarları) maliyetini, $C_{i\text{şçilik}}$ bakım nedeniyle gerçekleşen işçilik maliyetlerini, $C_{\text{ük}}$ üretim kaybının maliyetini, EOH_T türbinin iki ağır bakım arası gerçekleşen eşdeğer çalışma saati toplamını ifade etmektedir.

4.1.5 USD/TL Kuru

Bu çalışmada Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası tarafından 2018 yılı boyunca ilgili tarihlerde açıklanan USD/TL kuru baz alınmıştır.

4.1.6 Demineralize Su Maliyeti

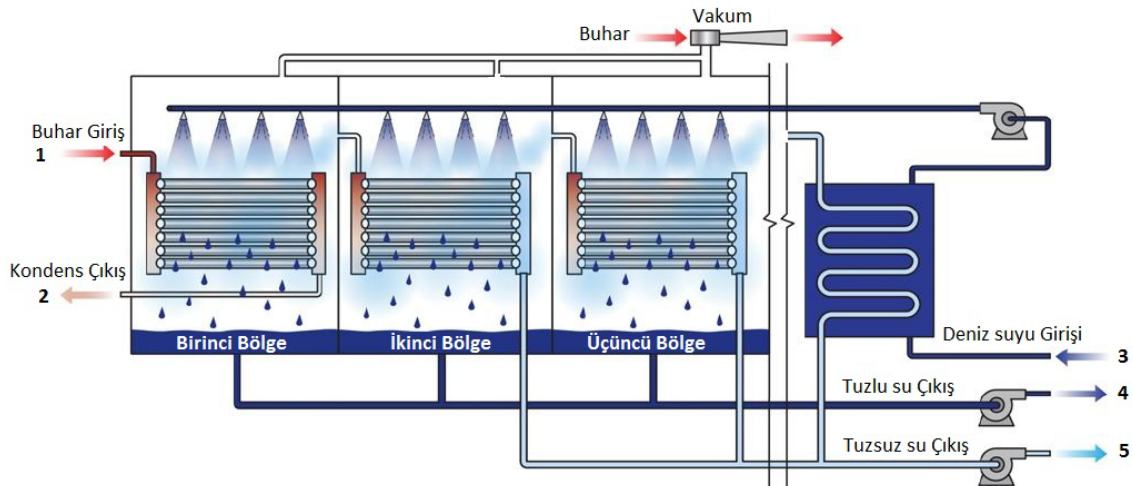
Modellemede kullanılan proses suyunun desalinasyon (tuzsuzlaştırma) yöntemi kullanılarak deniz suyundan elde edileceği şekilde tasarım yapılmıştır. Desalinasyon tuz gidermek anlamına gelir. Suda ki mevcut tuzu, mineralleri ve diğer safsızlıkları

gidererek; içme, sulama, kullanma amaçlı su elde edilmesini hedefleyen proseslere genel olarak desalinasyon prosesleri adı verilir [80].

Desalinasyon sistemlerinde tuzlu suyun arıtımı için uygulanan başlıca teknolojiler termal prosesler ve membran prosesler olarak ikiye ayrılır, bunlar da kendi içlerinde alt gruplara bölünür. Termal prosesler, deniz suyundan saf suyu buharlaştırarak arıtmak için evaporatör ve kondenser sistemi içermektedir. Membran prosesler ise mekanik veya kimyasal/elektriksel yöntemler aracılığıyla çözünmüş tuzların deniz suyundan ayrılması ve saf su eldesini içermektedir. Termal desalinasyon teknolojileri çok aşamalı damıtma (MSF), çok etkili damıtma (MED) ve buhar sıkıştırmalı damıtma (VC) proseslerini içermektedir. Membran desalinasyon teknolojileri ise elektrodializ ve ters osmozu kapsamaktadır. Bu çalışmada çok etkili damıtma yöntemi ile demineralize su elde edileceği kabul edilmiştir.

4.1.6.1 Çok Etkili Damıtma (MED)

Fosil yakıtlı bir kazandan, elektrik santrali atık ısısından, güneş enerjisinden veya diğer kaynaklardan gelen dış ısı, birinci aşamadaki tuzlu su sıcaklığını yaklaşık 70°C ile 90°C aralığında yükseltir, buda vakum altında tutulan bölgede tuzlu suyun bir kısmını buharlaştırmak için kullanılır. Bu aşamada üretilen buhar diğer aşamaya transfer edilerek ilave deniz suyunun kaynatılmasında kullanılır.



Şekil 4.2 Desalinasyon ünitesine girenler ve çıkanlar

Genel olarak, termal tuz giderme sistemleri buhar tüketicileridir. Tuzsuzlaştırma tesisinin performansı kazanç-çıktı oranı (GOR) olarak ifade edilir. Bu tip tesislerde üretici firmaların verdiği GOR değeri genellikle 10-16 arasındadır [81].

$$GOR = \frac{\text{Üretilen saf su}}{\text{Kullanılan buhar}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right] \quad (4.2)$$

Sisteme giren deniz suyunun debisi ve her aşamadaki sıcaklıklar bellidir. Burada enerji kütle dengesi kurularak verilen ısıya göre üretilen saf su miktarını bulabiliriz.

$$\dot{m}_{d,1} \times h_{d,1} + \dot{m}_{d,3} \times h_{d,3} = \dot{m}_{d,2} \times h_{d,2} + \dot{m}_{d,4} \times h_{d,4} + \dot{m}_{d,5} \times h_{d,5} \quad [\text{kW}] \quad (4.3)$$

Burada; $\dot{m}_{d,1}$ sisteme giren buharın kütleli debisi, $h_{d,1}$ giren buharın entalpisi, $\dot{m}_{d,3}$ giren deniz suyu kütleli debisi, $h_{d,3}$ giren deniz suyunun entalpisi, $\dot{m}_{d,2}$ yoğunlaşan suyun kütleli debisi, $h_{d,2}$ yoğunlaşan suyun entalpisi, $\dot{m}_{d,4}$ çıkan tuzlu suyun kütleli debisi, $h_{d,4}$ çıkan tuzlu suyun entalpisi, $\dot{m}_{d,5}$ sistemde üretilip çıkan saf suyun kütleli debisi, $h_{d,5}$ çıkan saf suyun entalpisini göstermektedir.

Proses suyunun maliyetini hesaplarken tuzsuzlaştırma için gereken ısının elde edileceği yakıt miktarı bulunur, bu yakıt miktarına göre maliyet hesabı yapılır.

$$B_y = \frac{Q_k}{H_u \cdot \eta_k} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (4.4)$$

Burada; B_y harcanan yakıt miktarı, Q_k kazanın ısı kapasitesi, H_u yakıt alt ısı değeri, η_k kazanın ısı verimini göstermektedir.

Bu çalışmada desalinasyon sistemi için gereken buharın, doğalgaz ile çalışan yardımcı kazanda üretileceği düşünülmüştür. Buna göre performans analizinde belirlenen yanma odasına yapılacak olan enjeksiyon miktarına göre gerekli suyun maliyeti hesaplanır.

4.2 Kâr/Zarar Analizi

Bu çalışma ile elde edilen değerler 2018 yılı Türkiye Cumhuriyeti serbest elektrik piyasası koşullarına göre değerlendirilerek, mevcut piyasa koşullarına göre bu çalışmanın serbest piyasaya satış yapan bir kombine çevrim santralinde uygulanması durumunda işletmede oluşturacağı kar/zarar durumu incelenmiştir.

Serbestleşen elektrik piyasasında, elektrik fiyatları saatlik olarak değişmektedir. Bu nedenle analiz yapılırken 2018 yılının her ayı için elektrik satış fiyatlarının saatlik ortalamaları hesaplanmıştır.

Buhar enjeksiyonu yok iken santralin geliri üretilip piyasaya satılan elektrik, giderleri ise yakıt ve eşdeğer saat (EOH) maliyetidir. Buhar enjeksiyonu yapıldığında ise santralin güç çıkışı arttığından gelir kaleminde bir artış olacak; ancak gider kalemlerinde de sistem yanma odasını sabit sıcaklıkta tutmaya çalıştığından yakıt maliyetleri artacak, eşdeğer çalışma saati faktöründeki artış nedeniyle bu maliyet kaleminde de artış olacak, ayrıca su maliyeti eklenecektir.

Buhar enjeksiyonu yok iken;

$$C_{s,k/z} = (P_{s,mw} \times C_{s,e}) - (b_{y,sm^3} \times C_{s,y}) - (C_{s,eoh} \times KUR_{TL/USD}) \quad [TL/h] \quad (4.5)$$

Burada; $C_{s,k/z}$ TL cinsinden saatlik kâr/zarar, $P_{s,mw}$ MW cinsinden üretilen güç, $C_{s,e}$ saatlik elektrik satış fiyatı, b_{y,sm^3} Sm^3 cinsinden tüketilen saatlik yakıt miktarı, $C_{s,y}$ serbest piyasa yüksek gaz tüketicileri için birim doğalgaz fiyatı, $C_{s,eoh}$ \$ cinsinden eşdeğer çalışma saati maliyetini, $KUR_{TL/USD}$ kur paritesini belirtmektedir.

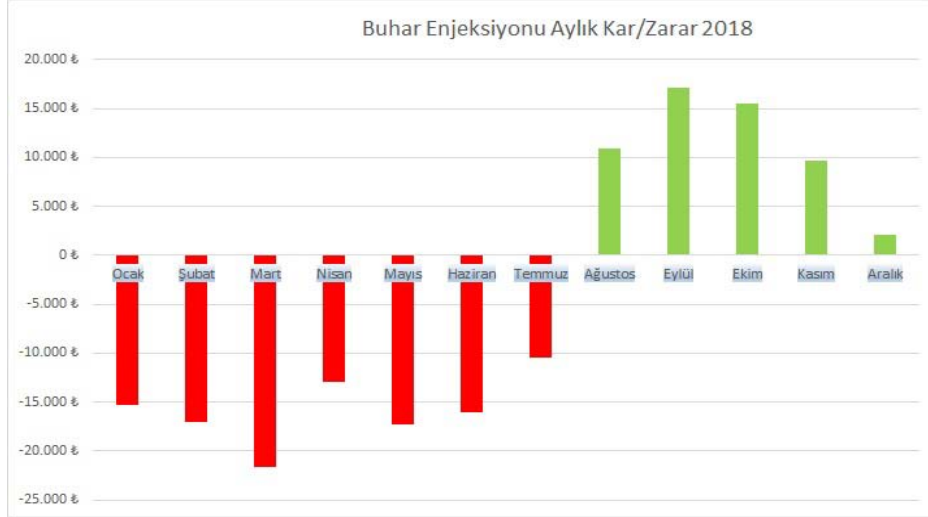
Buhar enjeksiyonu var iken;

$$C_{se,k/z} = (P_{s,mw} \times C_{s,e}) - (b_{y,sm^3} \times C_{s,y}) - (C_{s,eoh} \times KR_{\frac{TL}{USD}}) - (m_{s,se} \times C_{s,st}) \quad [TL/h] \quad (4.6)$$

Burada; $C_{se,k/z}$ TL cinsinden saatlik kâr/zarar, $m_{s,se}$ m^3 cinsinden saatlik tüketilen su miktarı, $C_{s,st}$ su maliyetini belirtmektedir.

İlgili formüller ile GateCycle programından çıkan sonuçlar Microsoft Excel programına aktarılıp 2018 yılının her ayı için ayrı ayrı yapılan hesaplamalar ile oluşturulan tablolar EK-A 'da listelenmiştir.

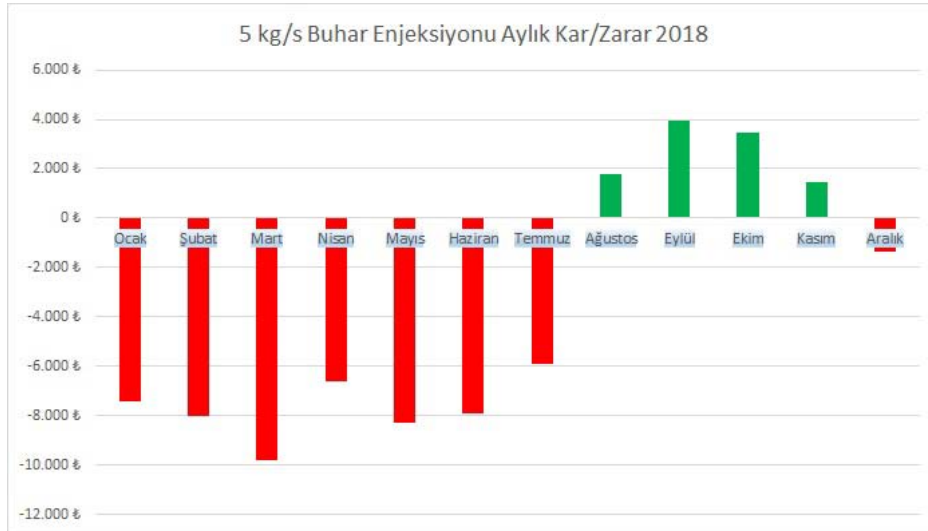
2018 yılı için aylık olarak oluşturulan tabloların sonuçları incelendiğinde belirlenen kısıtlar çerçevesinde yapılabilecek maksimum enjeksiyon miktarı (13 kg/s) ile buhar enjeksiyon sistemi yıl boyunca tam gün devrede tutularak çalışan rejimdeki santral, enjeksiyon yapılmadan çalışan rejimdeki santral ile kıyaslanır ise enerji üretim santrali 2018 yılının ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, haziran temmuz aylarında zarar ederken, ağustos, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında kâr edecektir.



Şekil 4.3 13 kg/s Buhar enjeksiyonu aylık kâr/zarar grafiği

Buhar enjeksiyonu ile çalışan bir sistemde enjeksiyon miktarı azaltılır ise yakıt tüketimi, su maliyeti ve EOH maliyetini ile üretilen elektrik miktarında bir düşme olmaktadır. Bu düşmelerin santralin kârlılığına etkisini incelemek için 5 kg/s olarak enjeksiyon yapıldığında oluşan değerler EK-B’de bulunan tablolarda gösterilmiştir.

Enjeksiyon sisteminin yıl boyunca tam gün devrede tutulduğunu varsayarak yapılan kıyaslamada, 5 kg/s enjeksiyon yapıldığında; 13 kg/s enjeksiyon yapılırken enjeksiyon yapılmayan çalışma rejimine göre yılın 5 ayı kâr gösteren sistem, 4 ay (ağustos, eylül, ekim, kasım) kârlılık göstermiştir.



Şekil 4.4 5kg/s Buhar enjeksiyonu aylık kâr/zarar grafiği

Diğer yandan 13 kg/s enjeksiyon yapılan çalışma rejiminde sistemin kâr ettiği dönemdeki sistem kârlılığı, 5 kg/s enjeksiyon yapıldığında ise yaklaşık 80% oranında azalmaktadır.

Özellikle elektrik enerjisi tüketiminin en yüksek olduğu puant zaman aralıklarında enjeksiyon miktarı, ilgili kısıtlar çerçevesinde hangi oranda arttırılabilirse enjeksiyon sisteminin santral kârlılığına katkısı o oranda artmaktadır. Enjeksiyon sisteminin kolay devreye alınıp devreden çıkarılabilmesi santral işletmesine esneklik kazandırmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Modellenen kombine çevrim santralinde ilgili kısıtlar dikkate alınarak gaz türbini güç çıkışını optimum oranda arttıracak olan buhar enjeksiyon miktarının tespiti için bilgisayar destekli analiz program ile gaz türbini yanma odasına 0, 1, 5, 10, 13, 14, 15, 20 kg/s miktarlarında enjeksiyon denemeleri yapıldı. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde artan buhar enjeksiyonu miktarıyla birlikte gaz türbinindeki iş akışkanının kütleli debisi arttığından türbinin güç çıkışı artmaktadır. Ancak gaz türbinine gönderilen buhar, buhar türbininden çekildiğinden buhar türbininin güç çıkışı azalmaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre santralin toplam güç çıkışı ise artan buhar enjeksiyonu ile birlikte artmaktadır.

Yapılan modellemede, gaz türbini kontrol sistemi yanma odasını sabit sıcaklıkta tutacak şekilde tasarlandığından buhar enjeksiyonu ile birlikte yanma odasındaki sıcaklık düşmekte, kontrol sistemi buraya ilave yakıt göndererek yanma sıcaklığını sabit tutmaya çalışmaktadır. Türbin içerisindeki akış artarsa, türbin üzerindeki basınç düşüşü de artar. Bu, kompresörün artan bir basınç oranı ile çalışmaya zorlandığı anlamına gelir. Oluşan karşı basınç, kompresör çıkış basıncının artmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, buhar enjeksiyonu arttıkça kompresör çıkış basıncı artmakta buharın enjeksiyon basıncı ise düşmektedir. Yanma odasına yapılan buhar enjeksiyonunun basıncı her zaman kompresör çıkış basıncının üzerinde olmalıdır. Buhar enjeksiyonu arttığında gaz türbini güç çıkışı da buna paralel olarak arttığından ilgili kısıtlar dikkate alınarak buhar enjeksiyon miktarı maksimum düzeyde tutulmalıdır. Bu nedenle analiz sonuçlarına

bakıldığında Alstom 13E2 türbini için 13 kg/s buhar enjeksiyon miktarı optimum değer olarak seçilmiştir.

Buhar enjeksiyonu olmadan ve buhar enjeksiyonu yapılarak gaz türbininin en yüksek mekanik streslere, yüksek sıcaklıklara ve agresif ortamlara maruz kalan bölümü olan birinci sıra hareketli kanatlar için ısı transferi analizi yapılmıştır. Yapılan analize göre 13 kg/s buhar enjeksiyonu ile birlikte sıcak gaz tarafı ısı transfer katsayısı %8 artmaktadır. Artan kompresör basıncı nedeniyle kanat içerisinden geçen soğutma havası ısı transfer katsayısı %5 artmaktadır. Sıcak gaz tarafındaki artış fazla olduğundan buhar enjeksiyonu, gaz türbini kanadının metal sıcaklığında 5.5 K artışa neden olmaktadır.

Artan metal sıcaklığının kanadın servis ömrüne olan etkisi, yüksek sıcaklıkta sürünme hasarı, termal ve mekanik yorulma ile korozyon hasarı olmak üzere 3 ana başlık altında incelenmiştir.

Kanadın sürünme ömrü kanattaki gerilmelerin ve kanat metal sıcaklığının fonksiyonu olarak Larson-Miller Parametresi (LMP) yöntemi ile incelenmiştir. Artan metal sıcaklığı ile birlikte kanadın sürünme ömrü saatlerinde ciddi bir azalma olmuş; ancak geriye kalan ömür mevcut servis ömrü saatleri içerisinde yer aldığından servis ömrünü etkilememiştir.

Modern gaz türbinlerinde kullanılan yeni malzemeler ve teknolojiler sayesinde kanatta bir üretim hatası olması gibi harici faktörler olmadığı sürece termal ve mekanik yorulma hasarları nadir görülmektedir ve bu çalışma açısından servis ömrünü etkilememektedir.

Kanadın artan metal sıcaklığı ve daha yüksek nem içeriğine sahip gazlara maruz kalmak, türbin kanat kaplamalarının aşınma direncini azaltır. TBC kaplamalarda termal olarak büyütülen oksidasyon katmanı ile üst yüzey kaplamasının ayrılmasından dolayı çatlama ve kırılma olur. Yapılan deneysel çalışmalarla desteklenen grafiklere bakılırsa buhar enjeksiyonu yapılan bir türbinde kanat metal sıcaklığının 5.5 K artması kanadın servis ömrünü yaklaşık %20 azaltmaktadır.

Buhar enjeksiyonu ile birlikte oluşan ilave yakıt, arındırılmış su gibi operasyonel maliyetler ve sıcak gaz ile temas eden türbin parçalarının servis ömründe meydana gelen azalmanın bakım maliyetlerine olan etkisi dikkate alınarak hesaplanan toplam

maliyetler, türbinden elde edilen ilave güç ile birlikte gelirler, güncel elektrik satış fiyatlarına göre hesaplanmış ve tesisten elde edilecek net kâr/zarar durumu gösterilmiştir.

Ekonomik analiz tabloları incelendiğinde buhar enjeksiyon sistemi gerçek serbest piyasa koşullarında oluşan elektrik ve gaz fiyatlarına göre dönemsel veya mevsimsel olarak çalıştırıldığında tesise ilave kâr getirebilecek bir yatırımdır. Özellikle puant saatlerde kârlılık artmaktadır.

Buhar enjeksiyon miktarı azaltılarak yapılan ekonomik analizde yakıt, su vb. maliyet kalemlerinde azalma olmasına karşın üretilen elektrik miktarı da azaldığından sistemin tesise kazandırdığı ilave gelirlerde de önemli miktarda düşüş olmuştur. Bu nedenle ilgili kısıtlar dikkate alınarak yapılabilecek maksimum buhar enjeksiyonu daha kârlı bir yatırım olacaktır.

Mevcut serbest piyasa koşullarında, buhar enjeksiyon sistemi kolay devreye alınıp çıkarılabilmesi sayesinde elektrik ve gaz fiyatlarına göre kâr/zarar analizi yapılarak koşulların uygun olduğu zamanlarda çalıştırılabilir. Böylece sistem santral işletmesine operasyonel esneklik kazandırabilir.

KAYNAKLAR

- [01] Rice, I.G., (1995). "Steam injected Gas Turbine Analysis: Steam Rates", ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 117: 347-353.
- [02] Mathioudakis, K., (2002). "Analysis of the effects of the water injection on the performance of a gas turbine", J. Eng. Gas Turbines Power, 124(3): 489-495.
- [03] Mathioudakis, K., (2002). "Evaluation of steam and water injection effects on gas turbine operation using explicit analytical relations". J. Power and Energy, 216(A6): 419-431.
- [04] Larson, E.D. ve Williams, R.H., (1987). "Steam-injected gas-turbines", J. Eng. Gas Turbines Power, 109(1): 55-63.
- [05] Borat, O., (1982). "Efficiency improvement and superiority of steam injection in gas turbines", Energy Conversion and Management, 22(1): 13–18.
- [06] Kadi, R., Bouam, A. ve Aissani, S., (2007). "Analyze of gas turbine performances with the presence of the steam water in the combustion chamber", Revue des Energies Renouvelables ICRES-07, 327 - 335.
- [07] Penning, F.M. ve De Lange, H.C., (1996). "Steam injection: Analysis of a typical application", Applied Thermal Engineering, 16(2): 115-125.
- [08] De Paepe, M. ve Dick, E., (2000). "Cycle improvements to steam injected gas turbines", International Journal of Energy Research, 24(12): 1081–1107.
- [09] Akdeniz, S., (2010). Cheng Çevriminde Yanma Odasına Püskürtülen Su Buharı Miktarının Çevrim Net Gücüne ve Verimine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Ainley, D.G., (1957). Internal Air-cooling for Turbine Blades a General Design Survey, 3013, Aeronautical Research Council Reports and Memo, London.
- [11] Holland, M.J. ve Thake, T.F., (1980). "Rotor blade cooling in high pressure turbines", Journal of Aircraft, 17(6): 412-418.
- [12] Horlock, J.H., Watson, T.D. ve Jones, V.T., (2001). "Limitations on Gas Turbine Performance Imposed by Large Turbine Cooling Flows", Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 123(3): 487-494.

- [13] Torbidoni, L. ve Horlock, J.H., (2005). "A New Method to Calculate the Coolant Requirements of a High-Temperature Gas Turbine Blade", *Journal of Turbomachinery*, 127(1): 191-199.
- [14] Torbidoni, L. ve Massardo, F.A., (2004). "Analytical Blade Row Cooling Model for Innovative Gas Turbine Cycle Evaluations Supported by Semi-Empirical Air-Cooled Blade Data", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 3(126): 498-506.
- [15] Eshati, S., Abu, A.O., Laskaridis, P. ve Khan, F., (2013). "Influence of Water Air Ratio on the Heat Transfer and Creep Life of High Pressure GAS Turbine Blade", *Applied Thermal Engineering*, 60(1) : 335-347.
- [16] Wang, T. ve Lv, X., (2013). "Analysis on Service Life of Hot-end Components of Gas Turbine Using Equivalent Operation", *Telkomnika*, 11(3) : 1473-1477.
- [17] Hoeft, R., Janawitz, J. ve Keck, R., (2004). *Heavy-Duty Gas Turbine Operating and Maintenance Considerations*, GER-3620K, General Electric Company, Atlanta.
- [18] Chan, K., Cheruvu, S., ve Viswanathan, R., (2003). "Development of a thermal barrier coating life model", *ASME Turbo Expo 2003*, collocated with the 2003 International Joint Power Generation Conference, 16–19 June 2003, Atlanta, 591-595.
- [19] Jin, H., Dempsey, L., (2007). "A Study On The Life Cycle Impact Of Steam Injection", *ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea and Air*, 14-17 May 2007, Montreal, 4: 1393-1397.
- [20] Çetin B., Erdem H.H., Sevilgen S.H., (2014). "Energy Based Thermoeconomic Analysis of a Combined Cycle System with Steam Extraction (Cogeneration System)", *Advances In Mechanical Engineering*, 794561.
- [21] Ibrahim, T.K., Rahman, M.M., ve Abd Alla, A.N., (2010). "Study on the effective parameter of gas turbine model with intercooled compression process", *Scientific Research and Essays*, 5(23): 3760-3770.
- [22] Rahman, M.M., Ibrahim, T.K., Kadirgama, K., Mamat, R. ve Bakar, R.A., (2011). "Influence of operation conditions and ambient temperature on performance of gas turbine power plant", *Advanced Materials Research*, 189-193: 3007-3013.
- [23] Rahman, M.M., Ibrahim, T.K., Taib, M.Y., Noor, M.M., Kadirgama, K., ve Bakar, R.A., (2010). "Thermal analysis of open-cycle regenerator gas-turbine power-plant", *WASET*, 68: 94-99.
- [24] Bouam, A., Aissani, S. ve Kadi, R., (2008). "Combustion Chamber Steam Injection For Gas Turbine Performance Improvement During High Ambient Temperature Operations", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 130(4): 1-10.
- [25] Kumar, N.R., Krishna, K.R., ve Raju, A.V.S.R., (2007). "Thermodynamic Analysis Of Heat Recovery Steam Generator In Combined Cycle Power Plant", *Thermal Science*, 11(4): 143-156.

- [26] Saravanamuttoo, H.I.H., Rogers, G.F.C., Cohen, H. ve Straznicky, P., (2009). Gas Turbine Theory, Sixth Edition, Pearson Prentice Hall, London, 590.
- [27] Rahman, M.M., Ibrahim, T.K. ve Abdalla, A.N., (2011). "Thermodynamic Performance Analysis Of Gas-Turbine Power Plant", International Journal of the Physical Sciences, 6(14): 3539-3550.
- [28] Ahmadi, P. ve Dincer, I., (2011). "Thermodynamic Analysis And Thermoeconomic Optimization Of A Dual Pressure Combined Cycle Power Plant With A Supplementary Firing Unit", Energy Conversion and Management, 52: 2296-2308.
- [29] Ameri, M., Ahmadi, P. ve Khanmohammadi, S., (2008). "Exergy analysis of a 420MW combined cycle power plant". International Journal of Energy Research. 32: 175–183.
- [30] GE Enter Software, GE Power Systems selects GateCycle, <https://www.poweronline.com/doc/ge-power-systems-selects-gatecycle-0001>, 5 Mart 2001.
- [31] Heppenstall, T., (1998). "Advanced gas turbine cycles for power generation: a critical review", Applied Thermal Engineering, 18(9): 837-846.
- [32] Poullikkas, A., (2005). "An overview of current and future sustainable gas turbine technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9(5): 409-443.
- [33] Mazur, Z., Luna-Ramirez, A., Juarez-Islas, J.A. ve Campos-Amezcuca, A., (2005). "Failure analysis of gas turbine blade made of Inconel 738LC alloy", Engineering Failure Analysis, 12(3) : 474-486.
- [34] Bose, S., (2007). High Temperature Coatings, First Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [35] Kramer, S., Yang, J., Levi, C.G. ve Johnson, C.A., (2006). "Thermochemical Interaction of Thermal Barrier Coatings with Molten CaO–MgO–Al₂O₃–SiO₂ (CMAS) Deposits", Journal of the American Ceramic Society, 89(10) : 3167-3175.
- [36] Borom, M.P., Johnson, C.A., ve Peluso, L.A., (1996). "Role of environmental deposits and operating surface temperature in spallation of air plasma sprayed thermal barrier coatings", Surface and Coating Technology, 86-87 (1): 116-126.
- [37] JONŠTA, P., KONEČNÁ, K., HEIDE, R., GABČOVÁ, M. ve JONŠTA, Z., (2011). "Microstructural Analysis Of A Cast Variant Of Nickel Superalloy Inconel 738lc After High Temperature Exposition", 20th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, 18-20 May 2011, Brno.
- [38] Padture, N.P., Gell, M. ve Jordan, E.H., (2002). "Thermal barrier coatings for gas-turbine engine applications", Science, 296: 280-284.
- [39] Bacos, M.P., Dorvaux, J.M., Lavigne, O., Mévrel, R., Poulain, M., Rio, C., ve Vidal-Sétif, M.H., (2011). "Performance and Degradation Mechanisms of

- Thermal Barrier Coatings for Turbine Blades: a Review of Onera Activities", AerospaceLab, 3:1-11.
- [40] Stiger, M.J., Yanar, N.M., Topping, M.G., Pettit, F.S., ve Meier, G.H., (1999). "Thermal barrier coatings for the 21st century", Zeitschrift fur Metallkunde, 90 (12): 1069-1078.
 - [41] Han, J.C., Dutta, S., ve Ekkad, S., (2012). Gas Turbine Heat Transfer and Cooling Technology, Second Edition, CRC Press, Boca Raton.
 - [42] Chiesa, P. ve Macchi, E., (2002). "A thermodynamic analysis of different options to break 60% electric efficiency in combined cycle power plants", ASME Turbo Expo 2002: Power for Land, Sea, and Air, 3-6 June 2002, Amsterdam, (1): 987-1002.
 - [43] Cengel, Y.A. ve Ghajar, A.J., (2010). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, Fourth Edition, McGraw-Hill Education, New York.
 - [44] Rubini, P., (2008). Turbine blade cooling (unpublished MSc Lecture Notes), Cranfield University, Bedford.
 - [45] El-Masri, M. A., (1986). "On Thermodynamics of Gas-Turbine Cycles: Part 2-A Model for Expansion in Cooled Turbines", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 108(1): 151-159.
 - [46] Tsilingiris, P. T. (2008). "Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100 °C", Energy Conversion and Management, 49(5): 1098-1110.
 - [47] Soares, C., (2007). Gas Turbines: A Handbook of Air, Land and Sea Applications, First Edition, Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
 - [48] Walsh, P.P. ve Fletcher, P., (2004). Gas Turbine Performance, Second Edition, Blackwell Science, Oxford.
 - [49] Richards, D. R. ve Florschuetz, L. W. (1984). Forced Convection Heat Transfer to Air/Water Vapor Mixtures, NASA Contractor Report, 3769, Arizona.
 - [50] Kestin, J. ve Whitelaw, J. H. (1964). "The viscosity of dry and humid air", International Journal of Heat and Mass Transfer, 7(11) : 1245-1255.
 - [51] Genick, B., (2008). Basics of Fluid Mechanics, V.0.3.1.1, Potto Project, Chicago.
 - [52] Mason, E. A. ve Saxena, S. C. (1958). "Approximate Formula for the Thermal Conductivity of Gas Mixtures", Physics of Fluids, (1)5: 361-369.
 - [53] Ramsden, K., (2008). Gas Turbine Fundamentals and Turbomachinery, unpublished MSc Lecture Notes, Cranfield University, Bedford.
 - [54] Cheesewright, R., Heggs, P. J., Martin, B. W., Parry, W. J. ve Ralston, T. (1992). Forced Convection Heat Transfer in Straight Tubes, Part 1:Turbulent flow, ESDU, 92003, London.
 - [55] Lakshminarayana, B., (1996). Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery, First Edition, John Wiley & Sons, New York.

- [56] Eshati, S., Abdul Ghafir, F. M., Laskaridis, P. ve Li, Y. G., (2010). "Impact of Operating Conditions and Design Parameters on Gas Turbine Hot Section Creep Life", ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air, 14-18 June 2010, Glasgow, GT2010-22334: 547-558.
- [57] Gordon, S. ve McBride, B. J., (1994). Computer program for calculation of complex chemical equilibrium and applications: Part I Analysis, NASA, RP 1311, Ohio.
- [58] McBride, B. J. and Gordon, S. (1996), Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium and Applications: Part II Analysis, NASA, RP 1311, Ohio.
- [59] Consonni, S., (1992). Performance prediction of gas/steam cycles for power generation, A dissertation Presented to the Faculty of Princeton University in Candidacy for the Degree of Doctor of Philosophy, PU/CEES Report No.269, Princeton University, New Jersey.
- [60] Holman, J. P., (1997). Heat Transfer, Eighth Edition, McGraw-Hill, New York.
- [61] Young, J. B. and Wilcock, R. C., (2002). "Modeling the Air-Cooled Gas Turbine: Part 2-Coolant Flows and Losses", Journal of Turbomachinery, 124(2):214-222.
- [62] Torbidoni, L. and Massardo, F. A., (2004). "Analytical Blade Row Cooling Model for Innovative Gas Turbine Cycle Evaluations Supported by Semi-Empirical Air-Cooled Blade Data", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 3(126): 498-506.
- [63] Colantuoni, A., Colella, L., Di Nola, D. C. and Marotta, D., (1992). "Aero-Thermal Design of A Cooled Transonic NGV and Comparison with Experimental Result", The Propulsion and Energetics Panel 80th Symposium, AGARD-CP-527, 12-16 October 1992, Antalya.
- [64] Guenette, G. R., Pappas, G. and Epstein, A. H., (1993). "The Influence of Non-Uniform Spanwise Inlet Temperature on Turbine Rotor Heat Transfer", AGARD Heat Transfer and Cooling in Gas Turbine, 12-16 October 1992, Antalya.
- [65] Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P. ve Ganic, E. N., (1985). Handbook of Heat Transfer Fundamentals, Second Edition, McGraw-Hill Book Co, New York.
- [66] Horlock, J. H. ve Torbidoni, L., (2006). "Turbine Blade Cooling: The Blade Temperature Distribution", Journal of Power and Energy, 220: 343-353.
- [67] Torbidoni, L. ve Horlock, J. H., (2005). "A New Method to Calculate the Coolant Requirements of a High-Temperature Gas Turbine Blade", Journal of Turbomachinery, 127(1): 191-199.
- [68] Young, J. B. ve Wilcock, R. C., (2002). "Modeling the Air-Cooled Gas Turbine: Part 2-Coolant Flows and Losses", Journal of Turbomachinery, 124(2):214-222.
- [69] Erlich, C., (2007). Steam Injection Gas Turbine Cycle, unpublished Lecture Notes, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.

- [70] Dempsey, L. ve Jin, H., (2007). "Life Cycle Impact of Steam Injection on the LM6000PC Turbine Blades", 17th Symposium on Industrial Application of Gas Turbines (IAGT), October 2007, Alberta, 07-IAGT-2.3.
- [71] Penny, R. K. ve Marriott, D. L., (1995). Design for Creep, Second Edition, Chapman and Hall, London.
- [72] Webster, G. A. ve Ainsworth, R. A., (1994). High Temperature Component Life Assessment, First Edition, Springer, Heidelberg.
- [73] Ce, Y., Chaochen, M. Ve Baojie, A., (2002). "The Development of a Small and Preliminary Scheme Two-Shaft Gas Turbine", Journal of Engineering Thermophysics, 23(4): 445-448.
- [74] Carter, T. J., (2005). "Common failures in gas turbine blades", Engineering Failure Analysis, 12(2) : 237-247.
- [75] Weber, B., Jin, H., Pistor, R. ve Lowden, P., (2005). "Application of an Integrated Engineering Approach for LM1600 Blade Life On-Line Assessment", 16th Symposium on industrial application of gas turbines (IAGT), 12-14 October 2005, Alberta.
- [76] Bernstein, H. (2006), "Materials Issues for Users of Gas Turbines", 35th Turbomachinery Symposium, 25-28 September 2006, Texas.
- [77] Swaminathan, V.P., Allen, J.M., and Touchton, G.L., (1997). "Temperature estimation and life prediction of turbine blades using post-service oxidation measurements", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 119(4): 922-929.
- [78] Jin, H., Pistor, R., Lowden, P., Weber, B., ve Grant, R., (2006). "Prediction of gas turbine blade life : An interdisciplinary engineering approach for condition - based maintenance", ASME Turbo Expo 2006: Power for Land, Sea, and Air, 8-11 May 2006, Barcelona, GT2006-90037: 519-524.
- [79] Biçen, Y., Gürel, AE., (2016). "Sürdürülebilir Enerji Bağlamında Dünya ve Türkiye'deki Genel Durum: Fırsatlar ve Gelecek Perspektifleri", International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, 21-22 April 2016, Afyon.
- [80] Eren, H. ve Batur, B., (2007). "Tuzdan Arındırma (Desalination) Sistemleri ve Bir Güç Santralinin Tuzdan Arındırma Tesisinin İncelenmesi", Tesisat Mühendisliği dergisi, 100: 42-47.
- [81] Abdel-Jawad, M., (2001). "Energy sources for coupling with desalination plants in GCC countries" , Report for ESCWA, September 2001.

13kg/s BUHAR ENJEKSİYONU İÇİN 2018 YILI AYLIK KÂR/ZARAR ANALİZLERİ

Çizelge A.1 Ocak 2018 kâr/zarar analizi

Ocak		2018							Buhar Enjeksiyonlu					Buharlı - Buharsız Farkı	
Buharsız															
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektirik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektirik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL		
00:00	01:00	36 208 ₺	44 567 ₺	1.500 ₺	6 859 ₺	00:00	01:00	38 184 ₺	46 590 ₺	318 ₺	1 800 ₺	6 288 ₺	571 ₺		
01:00	02:00	36 208 ₺	41 757 ₺	1.500 ₺	4 050 ₺	01:00	02:00	38 184 ₺	43 653 ₺	318 ₺	1 800 ₺	3 351 ₺	699 ₺		
02:00	03:00	36 208 ₺	35 833 ₺	1.500 ₺	-1 874 ₺	02:00	03:00	38 184 ₺	37 460 ₺	318 ₺	1 800 ₺	-2 842 ₺	-968 ₺		
03:00	04:00	36 208 ₺	34 253 ₺	1.500 ₺	-3 454 ₺	03:00	04:00	38 184 ₺	35 809 ₺	318 ₺	1 800 ₺	-4 493 ₺	-1 039 ₺		
04:00	05:00	36 208 ₺	34 253 ₺	1.500 ₺	-3 454 ₺	04:00	05:00	38 184 ₺	35 809 ₺	318 ₺	1 800 ₺	-4 493 ₺	-1 039 ₺		
05:00	06:00	36 208 ₺	36 489 ₺	1.500 ₺	-1 218 ₺	05:00	06:00	38 184 ₺	38 146 ₺	318 ₺	1 800 ₺	-2 156 ₺	-936 ₺		
06:00	07:00	36 208 ₺	39 131 ₺	1.500 ₺	1 423 ₺	06:00	07:00	38 184 ₺	40 908 ₺	318 ₺	1 800 ₺	606 ₺	-816 ₺		
07:00	08:00	36 208 ₺	42 335 ₺	1.500 ₺	4 627 ₺	07:00	08:00	38 184 ₺	44 257 ₺	318 ₺	1 800 ₺	3 955 ₺	-672 ₺		
08:00	09:00	36 208 ₺	44 580 ₺	1.500 ₺	6 872 ₺	08:00	09:00	38 184 ₺	46 604 ₺	318 ₺	1 800 ₺	6 301 ₺	-570 ₺		
09:00	10:00	36 208 ₺	47 666 ₺	1.500 ₺	9 959 ₺	09:00	10:00	38 184 ₺	49 831 ₺	318 ₺	1 800 ₺	9 528 ₺	-430 ₺		
10:00	11:00	36 208 ₺	48 426 ₺	1.500 ₺	10 718 ₺	10:00	11:00	38 184 ₺	50 625 ₺	318 ₺	1 800 ₺	10 322 ₺	-396 ₺		
11:00	12:00	36 208 ₺	48 336 ₺	1.500 ₺	10 629 ₺	11:00	12:00	38 184 ₺	50 531 ₺	318 ₺	1 800 ₺	10 229 ₺	-400 ₺		
12:00	13:00	36 208 ₺	44 805 ₺	1.500 ₺	7 097 ₺	12:00	13:00	38 184 ₺	46 839 ₺	318 ₺	1 800 ₺	6 537 ₺	-560 ₺		
13:00	14:00	36 208 ₺	45 661 ₺	1.500 ₺	7 954 ₺	13:00	14:00	38 184 ₺	47 735 ₺	318 ₺	1 800 ₺	7 432 ₺	-521 ₺		
14:00	15:00	36 208 ₺	46 705 ₺	1.500 ₺	8 997 ₺	14:00	15:00	38 184 ₺	48 825 ₺	318 ₺	1 800 ₺	8 523 ₺	-474 ₺		
15:00	16:00	36 208 ₺	46 004 ₺	1.500 ₺	8 296 ₺	15:00	16:00	38 184 ₺	48 093 ₺	318 ₺	1 800 ₺	7 790 ₺	-506 ₺		
16:00	17:00	36 208 ₺	46 741 ₺	1.500 ₺	9 033 ₺	16:00	17:00	38 184 ₺	48 063 ₺	318 ₺	1 800 ₺	8 561 ₺	-472 ₺		
17:00	18:00	36 208 ₺	43 649 ₺	1.500 ₺	5 941 ₺	17:00	18:00	38 184 ₺	45 630 ₺	318 ₺	1 800 ₺	5 378 ₺	-613 ₺		
18:00	19:00	36 208 ₺	46 558 ₺	1.500 ₺	8 850 ₺	18:00	19:00	38 184 ₺	48 672 ₺	318 ₺	1 800 ₺	8 369 ₺	-481 ₺		
19:00	20:00	36 208 ₺	45 554 ₺	1.500 ₺	7 846 ₺	19:00	20:00	38 184 ₺	47 622 ₺	318 ₺	1 800 ₺	7 320 ₺	-526 ₺		
20:00	21:00	36 208 ₺	44 928 ₺	1.500 ₺	7 221 ₺	20:00	21:00	38 184 ₺	46 969 ₺	318 ₺	1 800 ₺	6 666 ₺	-555 ₺		
21:00	22:00	36 208 ₺	43 636 ₺	1.500 ₺	5 928 ₺	21:00	22:00	38 184 ₺	45 617 ₺	318 ₺	1 800 ₺	5 315 ₺	-613 ₺		
22:00	23:00	36 208 ₺	43 128 ₺	1.500 ₺	5 421 ₺	22:00	23:00	38 184 ₺	45 087 ₺	318 ₺	1 800 ₺	4 785 ₺	-636 ₺		
23:00	00:00	36 208 ₺	40 046 ₺	1.500 ₺	2 339 ₺	23:00	00:00	38 184 ₺	41 865 ₺	318 ₺	1 800 ₺	1 563 ₺	-776 ₺		
Toplam		1 035 041 ₺	1 035 041 ₺	35 992 ₺	130 059 ₺	Toplam		916 423 ₺	1 082 039 ₺	7 641 ₺	43 190 ₺	114 785 ₺	-15.274 ₺		

Çizelge A.2 Şubat 2018 kâr/zarar analizi

Şubat		2018		Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu						Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektirik Satış	LOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektirik Satış	Su Maliyeti	LOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL				
00:00	01:00	36 208 ₺	46 216 ₺	1 503 ₺	8 505 ₺	00:00	01:00	38 184 ₺	48 314 ₺	318 ₺	1 804 ₺	8 008 ₺	-497 ₺				
01:00	02:00	36 208 ₺	40 756 ₺	1 503 ₺	3 045 ₺	01:00	02:00	42 606 ₺	318 ₺	1 804 ₺	2 300 ₺	-745 ₺					
02:00	03:00	36 208 ₺	35 030 ₺	1 503 ₺	-2 681 ₺	02:00	03:00	38 184 ₺	36 621 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-3 685 ₺	-1 005 ₺				
03:00	04:00	36 208 ₺	35 285 ₺	1 503 ₺	-2 426 ₺	03:00	04:00	38 184 ₺	36 887 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-3 419 ₺	-993 ₺				
04:00	05:00	36 208 ₺	33 883 ₺	1 503 ₺	-3 828 ₺	04:00	05:00	38 184 ₺	35 422 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-4 885 ₺	-1 057 ₺				
05:00	06:00	36 208 ₺	35 384 ₺	1 503 ₺	-2 327 ₺	05:00	06:00	38 184 ₺	36 991 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-3 316 ₺	-989 ₺				
06:00	07:00	36 208 ₺	38 452 ₺	1 503 ₺	741 ₺	06:00	07:00	38 184 ₺	40 190 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-1 008 ₺	-849 ₺				
07:00	08:00	36 208 ₺	40 518 ₺	1 503 ₺	2 807 ₺	07:00	08:00	38 184 ₺	42 357 ₺	318 ₺	1 804 ₺	2 051 ₺	-756 ₺				
08:00	09:00	36 208 ₺	40 332 ₺	1 503 ₺	2 621 ₺	08:00	09:00	38 184 ₺	42 163 ₺	318 ₺	1 804 ₺	1 857 ₺	-764 ₺				
09:00	10:00	36 208 ₺	46 507 ₺	1 503 ₺	8 796 ₺	09:00	10:00	38 184 ₺	48 619 ₺	318 ₺	1 804 ₺	8 313 ₺	-484 ₺				
10:00	11:00	36 208 ₺	46 787 ₺	1 503 ₺	9 076 ₺	10:00	11:00	38 184 ₺	48 911 ₺	318 ₺	1 804 ₺	8 605 ₺	-471 ₺				
11:00	12:00	36 208 ₺	47 057 ₺	1 503 ₺	9 346 ₺	11:00	12:00	38 184 ₺	49 194 ₺	318 ₺	1 804 ₺	8 888 ₺	-459 ₺				
12:00	13:00	36 208 ₺	40 208 ₺	1 503 ₺	2 497 ₺	12:00	13:00	38 184 ₺	42 034 ₺	318 ₺	1 804 ₺	1 728 ₺	-770 ₺				
13:00	14:00	36 208 ₺	40 802 ₺	1 503 ₺	3 091 ₺	13:00	14:00	38 184 ₺	42 665 ₺	318 ₺	1 804 ₺	2 349 ₺	-743 ₺				
14:00	15:00	36 208 ₺	42 530 ₺	1 503 ₺	4 819 ₺	14:00	15:00	38 184 ₺	44 461 ₺	318 ₺	1 804 ₺	4 155 ₺	-664 ₺				
15:00	16:00	36 208 ₺	42 035 ₺	1 503 ₺	4 324 ₺	15:00	16:00	38 184 ₺	43 944 ₺	318 ₺	1 804 ₺	3 637 ₺	-697 ₺				
16:00	17:00	36 208 ₺	43 777 ₺	1 503 ₺	6 066 ₺	16:00	17:00	38 184 ₺	45 764 ₺	318 ₺	1 804 ₺	5 458 ₺	-608 ₺				
17:00	18:00	36 208 ₺	42 322 ₺	1 503 ₺	4 611 ₺	17:00	18:00	38 184 ₺	44 243 ₺	318 ₺	1 804 ₺	3 937 ₺	-674 ₺				
18:00	19:00	36 208 ₺	45 651 ₺	1 503 ₺	7 940 ₺	18:00	19:00	38 184 ₺	47 723 ₺	318 ₺	1 804 ₺	7 417 ₺	-522 ₺				
19:00	20:00	36 208 ₺	44 542 ₺	1 503 ₺	6 831 ₺	19:00	20:00	38 184 ₺	46 564 ₺	318 ₺	1 804 ₺	6 258 ₺	-573 ₺				
20:00	21:00	36 208 ₺	46 432 ₺	1 503 ₺	8 721 ₺	20:00	21:00	38 184 ₺	48 541 ₺	318 ₺	1 804 ₺	8 225 ₺	-487 ₺				
21:00	22:00	36 208 ₺	43 125 ₺	1 503 ₺	5 414 ₺	21:00	22:00	38 184 ₺	45 083 ₺	318 ₺	1 804 ₺	4 776 ₺	-637 ₺				
22:00	23:00	36 208 ₺	42 137 ₺	1 503 ₺	4 426 ₺	22:00	23:00	38 184 ₺	44 051 ₺	318 ₺	1 804 ₺	3 744 ₺	-682 ₺				
23:00	00:00	36 208 ₺	37 857 ₺	1 503 ₺	146 ₺	23:00	00:00	38 184 ₺	39 576 ₺	318 ₺	1 804 ₺	-730 ₺	-876 ₺				
Toplam		997 624 ₺	997 624 ₺	36 073 ₺	92 560 ₺	Toplam		916 423 ₺	1 042 923 ₺	7 641 ₺	43 288 ₺	75 572 ₺	-16.989 ₺				

Çizelge A.3 Mart 2018 kâr/zarar analizi

Mart 2018											
Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu					
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	FOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	FOH Maliyet
Kar/Zarar TL						Kar/Zarar TL					
00.00	01.00	36 208 ₺	41 993 ₺	1 544 ₺	4 240 ₺	00.00	01.00	38 184 ₺	43 899 ₺	318 ₺	1 853 ₺
01.00	02.00	36 208 ₺	37 363 ₺	1 544 ₺	-400 ₺	01.00	02.00	38 184 ₺	39 049 ₺	318 ₺	1 853 ₺
02.00	03.00	36 208 ₺	32 316 ₺	1 544 ₺	-5 436 ₺	02.00	03.00	38 184 ₺	33 763 ₺	318 ₺	1 853 ₺
03.00	04.00	36 208 ₺	30 150 ₺	1 544 ₺	-7 596 ₺	03.00	04.00	38 184 ₺	31 527 ₺	318 ₺	1 853 ₺
04.00	05.00	36 208 ₺	28 463 ₺	1 544 ₺	-9 289 ₺	04.00	05.00	38 184 ₺	29 756 ₺	318 ₺	1 853 ₺
05.00	06.00	36 208 ₺	30 413 ₺	1 544 ₺	-7 340 ₺	05.00	06.00	38 184 ₺	31 794 ₺	318 ₺	1 853 ₺
06.00	07.00	36 208 ₺	39 305 ₺	1 544 ₺	1 552 ₺	06.00	07.00	38 184 ₺	41 089 ₺	318 ₺	1 853 ₺
07.00	08.00	36 208 ₺	34 305 ₺	1 544 ₺	3 468 ₺	07.00	08.00	38 184 ₺	35 862 ₺	318 ₺	1 853 ₺
08.00	09.00	36 208 ₺	40 891 ₺	1 544 ₺	3 139 ₺	08.00	09.00	38 184 ₺	42 748 ₺	318 ₺	1 853 ₺
09.00	10.00	36 208 ₺	43 405 ₺	1 544 ₺	5 653 ₺	09.00	10.00	38 184 ₺	45 376 ₺	318 ₺	1 853 ₺
10.00	11.00	36 208 ₺	40 873 ₺	1 544 ₺	3 120 ₺	10.00	11.00	38 184 ₺	42 729 ₺	318 ₺	1 853 ₺
11.00	12.00	36 208 ₺	40 132 ₺	1 544 ₺	2 379 ₺	11.00	12.00	38 184 ₺	41 954 ₺	318 ₺	1 853 ₺
12.00	13.00	36 208 ₺	35 323 ₺	1 544 ₺	-2 429 ₺	12.00	13.00	38 184 ₺	36 927 ₺	318 ₺	1 853 ₺
13.00	14.00	36 208 ₺	36 439 ₺	1 544 ₺	-1 313 ₺	13.00	14.00	38 184 ₺	38 094 ₺	318 ₺	1 853 ₺
14.00	15.00	36 208 ₺	39 149 ₺	1 544 ₺	1 396 ₺	14.00	15.00	38 184 ₺	40 926 ₺	318 ₺	1 853 ₺
15.00	16.00	36 208 ₺	37 645 ₺	1 544 ₺	-107 ₺	15.00	16.00	38 184 ₺	39 354 ₺	318 ₺	1 853 ₺
16.00	17.00	36 208 ₺	39 784 ₺	1 544 ₺	2 032 ₺	16.00	17.00	38 184 ₺	41 591 ₺	318 ₺	1 853 ₺
17.00	18.00	36 208 ₺	37 520 ₺	1 544 ₺	-224 ₺	17.00	18.00	38 184 ₺	39 232 ₺	318 ₺	1 853 ₺
18.00	19.00	36 208 ₺	36 137 ₺	1 544 ₺	-1 615 ₺	18.00	19.00	38 184 ₺	37 778 ₺	318 ₺	1 853 ₺
19.00	20.00	36 208 ₺	41 723 ₺	1 544 ₺	3 971 ₺	19.00	20.00	38 184 ₺	43 618 ₺	318 ₺	1 853 ₺
20.00	21.00	36 208 ₺	44 490 ₺	1 544 ₺	6 738 ₺	20.00	21.00	38 184 ₺	46 510 ₺	318 ₺	1 853 ₺
21.00	22.00	36 208 ₺	42 424 ₺	1 544 ₺	4 672 ₺	21.00	22.00	38 184 ₺	44 351 ₺	318 ₺	1 853 ₺
22.00	23.00	36 208 ₺	37 403 ₺	1 544 ₺	-349 ₺	22.00	23.00	38 184 ₺	39 101 ₺	318 ₺	1 853 ₺
23.00	00.00	36 208 ₺	32 321 ₺	1 544 ₺	-5 431 ₺	23.00	00.00	38 184 ₺	33 789 ₺	318 ₺	1 853 ₺
Toplam		899 974 ₺	899 974 ₺	37 067 ₺	-6 084 ₺	Toplam		916 423 ₺	940 839 ₺	7 641 ₺	44 481 ₺
						</					

Çizelge A.6 Haziran 2018 kâr/zarar analizi

Haziran 2018						Buhar Enjeksiyonlu										Buharlı - Buharsız Farkı					
Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu										Buharlı - Buharsız Farkı					
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL		
00:00	01:00	36.200 ₺	47.572 ₺	1.840 ₺	9.524 ₺	00:00	01:00	38.184 ₺	49.732 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.022 ₺	00:00	01:00	38.184 ₺	49.732 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.022 ₺	-503 ₺	
01:00	02:00	36.200 ₺	46.417 ₺	1.840 ₺	8.369 ₺	01:00	02:00	38.184 ₺	48.525 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.814 ₺	01:00	02:00	38.184 ₺	48.525 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.814 ₺	-555 ₺	
02:00	03:00	36.200 ₺	40.588 ₺	1.840 ₺	2.541 ₺	02:00	03:00	38.184 ₺	42.431 ₺	318 ₺	2.208 ₺	1.721 ₺	02:00	03:00	38.184 ₺	42.431 ₺	318 ₺	2.208 ₺	1.721 ₺	-820 ₺	
03:00	04:00	36.200 ₺	38.284 ₺	1.840 ₺	237 ₺	03:00	04:00	38.184 ₺	40.023 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-688 ₺	03:00	04:00	38.184 ₺	40.023 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-688 ₺	-924 ₺	
04:00	05:00	36.200 ₺	41.191 ₺	1.840 ₺	3.143 ₺	04:00	05:00	38.184 ₺	43.061 ₺	318 ₺	2.208 ₺	2.351 ₺	04:00	05:00	38.184 ₺	43.061 ₺	318 ₺	2.208 ₺	2.351 ₺	-792 ₺	
05:00	06:00	36.200 ₺	39.047 ₺	1.840 ₺	1.000 ₺	05:00	06:00	38.184 ₺	40.820 ₺	318 ₺	2.208 ₺	110 ₺	05:00	06:00	38.184 ₺	40.820 ₺	318 ₺	2.208 ₺	110 ₺	-890 ₺	
06:00	07:00	36.200 ₺	32.426 ₺	1.840 ₺	-5.622 ₺	06:00	07:00	38.184 ₺	33.898 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-6.812 ₺	06:00	07:00	38.184 ₺	33.898 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-6.812 ₺	-1.190 ₺	
07:00	08:00	36.200 ₺	36.505 ₺	1.840 ₺	-1.543 ₺	07:00	08:00	38.184 ₺	38.162 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-2.548 ₺	07:00	08:00	38.184 ₺	38.162 ₺	318 ₺	2.208 ₺	-2.548 ₺	-1.005 ₺	
08:00	09:00	36.200 ₺	44.382 ₺	1.840 ₺	6.334 ₺	08:00	09:00	38.184 ₺	46.397 ₺	318 ₺	2.208 ₺	5.687 ₺	08:00	09:00	38.184 ₺	46.397 ₺	318 ₺	2.208 ₺	5.687 ₺	-647 ₺	
09:00	10:00	36.200 ₺	48.410 ₺	1.840 ₺	10.363 ₺	09:00	10:00	38.184 ₺	50.608 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.898 ₺	09:00	10:00	38.184 ₺	50.608 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.898 ₺	-465 ₺	
10:00	11:00	36.200 ₺	46.104 ₺	1.840 ₺	8.056 ₺	10:00	11:00	38.184 ₺	48.197 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.487 ₺	10:00	11:00	38.184 ₺	48.197 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.487 ₺	-569 ₺	
11:00	12:00	36.200 ₺	47.018 ₺	1.840 ₺	8.970 ₺	11:00	12:00	38.184 ₺	49.153 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.443 ₺	11:00	12:00	38.184 ₺	49.153 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.443 ₺	-528 ₺	
12:00	13:00	36.200 ₺	39.119 ₺	1.840 ₺	1.071 ₺	12:00	13:00	38.184 ₺	40.895 ₺	318 ₺	2.208 ₺	185 ₺	12:00	13:00	38.184 ₺	40.895 ₺	318 ₺	2.208 ₺	185 ₺	-806 ₺	
13:00	14:00	36.200 ₺	43.272 ₺	1.840 ₺	5.224 ₺	13:00	14:00	38.184 ₺	45.237 ₺	318 ₺	2.208 ₺	4.526 ₺	13:00	14:00	38.184 ₺	45.237 ₺	318 ₺	2.208 ₺	4.526 ₺	-698 ₺	
14:00	15:00	36.200 ₺	47.437 ₺	1.840 ₺	9.389 ₺	14:00	15:00	38.184 ₺	49.591 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.081 ₺	14:00	15:00	38.184 ₺	49.591 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.081 ₺	-509 ₺	
15:00	16:00	36.200 ₺	45.460 ₺	1.840 ₺	7.412 ₺	15:00	16:00	38.184 ₺	47.524 ₺	318 ₺	2.208 ₺	6.814 ₺	15:00	16:00	38.184 ₺	47.524 ₺	318 ₺	2.208 ₺	6.814 ₺	-598 ₺	
16:00	17:00	36.200 ₺	47.838 ₺	1.840 ₺	9.790 ₺	16:00	17:00	38.184 ₺	50.010 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.299 ₺	16:00	17:00	38.184 ₺	50.010 ₺	318 ₺	2.208 ₺	9.299 ₺	-491 ₺	
17:00	18:00	36.200 ₺	47.215 ₺	1.840 ₺	9.168 ₺	17:00	18:00	38.184 ₺	49.359 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.649 ₺	17:00	18:00	38.184 ₺	49.359 ₺	318 ₺	2.208 ₺	8.649 ₺	-519 ₺	
18:00	19:00	36.200 ₺	46.162 ₺	1.840 ₺	8.114 ₺	18:00	19:00	38.184 ₺	48.258 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.547 ₺	18:00	19:00	38.184 ₺	48.258 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.547 ₺	-567 ₺	
19:00	20:00	36.200 ₺	45.846 ₺	1.840 ₺	7.798 ₺	19:00	20:00	38.184 ₺	47.928 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.217 ₺	19:00	20:00	38.184 ₺	47.928 ₺	318 ₺	2.208 ₺	7.217 ₺	-581 ₺	
20:00	21:00	36.200 ₺	49.015 ₺	1.840 ₺	10.968 ₺	20:00	21:00	38.184 ₺	51.241 ₺	318 ₺	2.208 ₺	10.531 ₺	20:00	21:00	38.184 ₺	51.241 ₺	318 ₺	2.208 ₺	10.531 ₺	-437 ₺	
21:00	22:00	36.200 ₺	49.672 ₺	1.840 ₺	11.625 ₺	21:00	22:00	38.184 ₺	51.928 ₺	318 ₺	2.208 ₺	11.217 ₺	21:00	22:00	38.184 ₺	51.928 ₺	318 ₺	2.208 ₺	11.217 ₺	-407 ₺	
22:00	23:00	36.200 ₺	44.866 ₺	1.840 ₺	6.818 ₺	22:00	23:00	38.184 ₺	46.903 ₺	318 ₺	2.208 ₺	6.192 ₺	22:00	23:00	38.184 ₺	46.903 ₺	318 ₺	2.208 ₺	6.192 ₺	-625 ₺	
23:00	00:00	36.200 ₺	39.676 ₺	1.840 ₺	1.628 ₺	23:00	00:00	38.184 ₺	41.477 ₺	318 ₺	2.208 ₺	767 ₺	23:00	00:00	38.184 ₺	41.477 ₺	318 ₺	2.208 ₺	767 ₺	-861 ₺	
Toplam		1.053.523 ₺	1.053.523 ₺	44.154 ₺	140.378 ₺	Toplam		916.423 ₺	1.101.359 ₺	7.641 ₺	52.985 ₺	124.311 ₺									-16.067 ₺

Çizelge A.7 Temmuz 2018 kâr/zarar analizi

Temmuz 2018						Buhar Enjeksiyonlu														Buharlı - Buharsız Farkı	
Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu														Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL	
00:00	01:00	36.200 ₺	49.283 ₺	1.890 ₺	11.195 ₺	00:00	01:00	38.184 ₺	51.520 ₺	318 ₺	2.268 ₺	10.750 ₺	00:00	01:00	38.184 ₺	51.520 ₺	318 ₺	2.268 ₺	10.750 ₺	-435 ₺	
01:00	02:00	36.200 ₺	47.987 ₺	1.890 ₺	9.989 ₺	01:00	02:00	38.184 ₺	50.166 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.395 ₺	01:00	02:00	38.184 ₺	50.166 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.395 ₺	-494 ₺	
02:00	03:00	36.200 ₺	46.281 ₺	1.890 ₺	8.183 ₺	02:00	03:00	38.184 ₺	48.382 ₺	318 ₺	2.268 ₺	7.612 ₺	02:00	03:00	38.184 ₺	48.382 ₺	318 ₺	2.268 ₺	7.612 ₺	-571 ₺	
03:00	04:00	36.200 ₺	44.131 ₺	1.890 ₺	6.033 ₺	03:00	04:00	38.184 ₺	46.135 ₺	318 ₺	2.268 ₺	5.364 ₺	03:00	04:00	38.184 ₺	46.135 ₺	318 ₺	2.268 ₺	5.364 ₺	-659 ₺	
04:00	05:00	36.200 ₺	47.984 ₺	1.890 ₺	9.989 ₺	04:00	05:00	38.184 ₺	50.163 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.392 ₺	04:00	05:00	38.184 ₺	50.163 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.392 ₺	-494 ₺	
05:00	06:00	36.200 ₺	45.001 ₺	1.890 ₺	8.903 ₺	05:00	06:00	38.184 ₺	47.044 ₺	318 ₺	2.268 ₺	6.274 ₺	05:00	06:00	38.184 ₺	47.044 ₺	318 ₺	2.268 ₺	6.274 ₺	-629 ₺	
06:00	07:00	36.200 ₺	38.154 ₺	1.890 ₺	56 ₺	06:00	07:00	38.184 ₺	39.886 ₺	318 ₺	2.268 ₺	-884 ₺	06:00	07:00	38.184 ₺	39.886 ₺	318 ₺	2.268 ₺	-884 ₺	-940 ₺	
07:00	08:00	36.200 ₺	45.198 ₺	1.890 ₺	7.100 ₺	07:00	08:00	38.184 ₺	47.250 ₺	318 ₺	2.268 ₺	6.480 ₺	07:00	08:00	38.184 ₺	47.250 ₺	318 ₺	2.268 ₺	6.480 ₺	-620 ₺	
08:00	09:00	36.200 ₺	49.230 ₺	1.890 ₺	11.132 ₺	08:00	09:00	38.184 ₺	51.465 ₺	318 ₺	2.268 ₺	10.694 ₺	08:00	09:00	38.184 ₺	51.465 ₺	318 ₺	2.268 ₺	10.694 ₺	-437 ₺	
09:00	10:00	36.200 ₺	51.712 ₺	1.890 ₺	13.614 ₺	09:00	10:00	38.184 ₺	54.060 ₺	318 ₺	2.268 ₺	13.289 ₺	09:00	10:00	38.184 ₺	54.060 ₺	318 ₺	2.268 ₺	13.289 ₺	-325 ₺	
10:00	11:00	36.200 ₺	51.552 ₺	1.890 ₺	13.454 ₺	10:00	11:00	38.184 ₺	53.893 ₺	318 ₺	2.268 ₺	13.122 ₺	10:00	11:00	38.184 ₺	53.893 ₺	318 ₺	2.268 ₺	13.122 ₺	-332 ₺	
11:00	12:00	36.200 ₺	53.504 ₺	1.890 ₺	15.406 ₺	11:00	12:00	38.184 ₺	55.933 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.163 ₺	11:00	12:00	38.184 ₺	55.933 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.163 ₺	-243 ₺	
12:00	13:00	36.200 ₺	47.847 ₺	1.890 ₺	9.849 ₺	12:00	13:00	38.184 ₺	50.125 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.384 ₺	12:00	13:00	38.184 ₺	50.125 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.384 ₺	-496 ₺	
13:00	14:00	36.200 ₺	50.967 ₺	1.890 ₺	12.969 ₺	13:00	14:00	38.184 ₺	53.281 ₺	318 ₺	2.268 ₺	12.111 ₺	13:00	14:00	38.184 ₺	53.281 ₺	318 ₺	2.268 ₺	12.111 ₺	-580 ₺	
14:00	15:00	36.200 ₺	53.993 ₺	1.890 ₺	15.895 ₺	14:00	15:00	38.184 ₺	56.445 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.674 ₺	14:00	15:00	38.184 ₺	56.445 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.674 ₺	-221 ₺	
15:00	16:00	36.200 ₺	52.424 ₺	1.890 ₺	14.326 ₺	15:00	16:00	38.184 ₺	54.805 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.034 ₺	15:00	16:00	38.184 ₺	54.805 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.034 ₺	-292 ₺	
16:00	17:00	36.200 ₺	53.563 ₺	1.890 ₺	15.465 ₺	16:00	17:00	38.184 ₺	55.995 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.224 ₺	16:00	17:00	38.184 ₺	55.995 ₺	318 ₺	2.268 ₺	15.224 ₺	-241 ₺	
17:00	18:00	36.200 ₺	52.810 ₺	1.890 ₺	14.712 ₺	17:00	18:00	38.184 ₺	55.207 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.437 ₺	17:00	18:00	38.184 ₺	55.207 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.437 ₺	-275 ₺	
18:00	19:00	36.200 ₺	50.004 ₺	1.890 ₺	11.906 ₺	18:00	19:00	38.184 ₺	52.275 ₺	318 ₺	2.268 ₺	11.504 ₺	18:00	19:00	38.184 ₺	52.275 ₺	318 ₺	2.268 ₺	11.504 ₺	-402 ₺	
19:00	20:00	36.200 ₺	49.982 ₺	1.890 ₺	11.884 ₺	19:00	20:00	38.184 ₺	52.184 ₺	318 ₺	2.268 ₺	11.480 ₺	19:00	20:00	38.184 ₺	52.184 ₺	318 ₺	2.268 ₺	11.480 ₺	-403 ₺	
20:00	21:00	36.200 ₺	52.789 ₺	1.890 ₺	14.671 ₺	20:00	21:00	38.184 ₺	55.165 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.374 ₺	20:00	21:00	38.184 ₺	55.165 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.374 ₺	-277 ₺	
21:00	22:00	36.200 ₺	52.838 ₺	1.890 ₺	14.840 ₺	21:00	22:00	38.184 ₺	55.341 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.571 ₺	21:00	22:00	38.184 ₺	55.341 ₺	318 ₺	2.268 ₺	14.571 ₺	-269 ₺	
22:00	23:00	36.200 ₺	47.850 ₺	1.890 ₺	9.752 ₺	22:00	23:00	38.184 ₺	50.022 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.252 ₺	22:00	23:00	38.184 ₺	50.022 ₺	318 ₺	2.268 ₺	9.252 ₺	-500 ₺	
23:00	00:00	36.200 ₺	48.037 ₺	1.890 ₺	7.939 ₺	23:00	00:00	38.184 ₺	48.127 ₺	318 ₺	2.268 ₺	7.356 ₺	23:00	00:00	38.184 ₺	48.127 ₺	318 ₺	2.268 ₺	7.356 ₺	-582 ₺	
Toplam		1 181 301 ₺	1 181 301 ₺	45 361 ₺	266 949 ₺	Toplam		916 423 ₺	1 234 938 ₺	7 641 ₺	54 434 ₺	266 442 ₺	Toplam		916 423 ₺	1 234 938 ₺	7 641 ₺	54 434 ₺	266 442 ₺	-10.506 ₺	

Çizelge A.9 Eylül 2018 kâr/zarar analizi

Eylül 2018						Buhar Enjeksiyonlu																		Buharlı - Buharsız Farkı	
Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu																			
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL											
00.00	01.00	36.208 ₺	80.014 ₺	2.521 ₺	41.285 ₺	00.00	01.00	38.184 ₺	83.647 ₺	318 ₺	3.025 ₺	42.119 ₺	834 ₺												
01.00	02.00	36.208 ₺	75.425 ₺	2.521 ₺	36.697 ₺	01.00	02.00	38.184 ₺	78.850 ₺	318 ₺	3.025 ₺	37.323 ₺	626 ₺												
02.00	03.00	36.208 ₺	71.122 ₺	2.521 ₺	32.393 ₺	02.00	03.00	38.184 ₺	74.351 ₺	318 ₺	3.025 ₺	32.823 ₺	431 ₺												
03.00	04.00	36.208 ₺	67.872 ₺	2.521 ₺	29.143 ₺	03.00	04.00	38.184 ₺	70.954 ₺	318 ₺	3.025 ₺	29.426 ₺	283 ₺												
04.00	05.00	36.208 ₺	70.798 ₺	2.521 ₺	32.069 ₺	04.00	05.00	38.184 ₺	74.013 ₺	318 ₺	3.025 ₺	32.485 ₺	416 ₺												
05.00	06.00	36.208 ₺	72.648 ₺	2.521 ₺	33.919 ₺	05.00	06.00	38.184 ₺	75.947 ₺	318 ₺	3.025 ₺	34.419 ₺	500 ₺												
06.00	07.00	36.208 ₺	52.143 ₺	2.521 ₺	13.415 ₺	06.00	07.00	38.184 ₺	54.511 ₺	318 ₺	3.025 ₺	12.983 ₺	431 ₺												
07.00	08.00	36.208 ₺	63.809 ₺	2.521 ₺	25.080 ₺	07.00	08.00	38.184 ₺	66.706 ₺	318 ₺	3.025 ₺	25.178 ₺	98 ₺												
08.00	09.00	36.208 ₺	78.516 ₺	2.521 ₺	39.787 ₺	08.00	09.00	38.184 ₺	82.081 ₺	318 ₺	3.025 ₺	40.553 ₺	766 ₺												
09.00	10.00	36.208 ₺	82.042 ₺	2.521 ₺	43.314 ₺	09.00	10.00	38.184 ₺	85.768 ₺	318 ₺	3.025 ₺	44.240 ₺	926 ₺												
10.00	11.00	36.208 ₺	82.327 ₺	2.521 ₺	43.598 ₺	10.00	11.00	38.184 ₺	86.065 ₺	318 ₺	3.025 ₺	44.537 ₺	939 ₺												
11.00	12.00	36.208 ₺	81.981 ₺	2.521 ₺	43.252 ₺	11.00	12.00	38.184 ₺	85.704 ₺	318 ₺	3.025 ₺	44.176 ₺	924 ₺												
12.00	13.00	36.208 ₺	74.607 ₺	2.521 ₺	35.878 ₺	12.00	13.00	38.184 ₺	77.995 ₺	318 ₺	3.025 ₺	36.467 ₺	589 ₺												
13.00	14.00	36.208 ₺	80.822 ₺	2.521 ₺	42.093 ₺	13.00	14.00	38.184 ₺	84.491 ₺	318 ₺	3.025 ₺	42.964 ₺	871 ₺												
14.00	15.00	36.208 ₺	83.495 ₺	2.521 ₺	44.766 ₺	14.00	15.00	38.184 ₺	87.287 ₺	318 ₺	3.025 ₺	45.759 ₺	992 ₺												
15.00	16.00	36.208 ₺	84.316 ₺	2.521 ₺	45.587 ₺	15.00	16.00	38.184 ₺	88.144 ₺	318 ₺	3.025 ₺	46.617 ₺	1.030 ₺												
16.00	17.00	36.208 ₺	85.226 ₺	2.521 ₺	46.497 ₺	16.00	17.00	38.184 ₺	89.096 ₺	318 ₺	3.025 ₺	47.568 ₺	1.071 ₺												
17.00	18.00	36.208 ₺	85.136 ₺	2.521 ₺	46.407 ₺	17.00	18.00	38.184 ₺	89.002 ₺	318 ₺	3.025 ₺	47.474 ₺	1.067 ₺												
18.00	19.00	36.208 ₺	84.123 ₺	2.521 ₺	45.394 ₺	18.00	19.00	38.184 ₺	87.943 ₺	318 ₺	3.025 ₺	46.415 ₺	1.021 ₺												
19.00	20.00	36.208 ₺	83.044 ₺	2.521 ₺	44.315 ₺	19.00	20.00	38.184 ₺	86.814 ₺	318 ₺	3.025 ₺	45.287 ₺	972 ₺												
20.00	21.00	36.208 ₺	84.001 ₺	2.521 ₺	45.273 ₺	20.00	21.00	38.184 ₺	87.816 ₺	318 ₺	3.025 ₺	46.288 ₺	1.015 ₺												
21.00	22.00	36.208 ₺	83.572 ₺	2.521 ₺	44.843 ₺	21.00	22.00	38.184 ₺	87.367 ₺	318 ₺	3.025 ₺	45.839 ₺	996 ₺												
22.00	23.00	36.208 ₺	77.619 ₺	2.521 ₺	38.890 ₺	22.00	23.00	38.184 ₺	81.144 ₺	318 ₺	3.025 ₺	39.616 ₺	726 ₺												
23.00	00.00	36.208 ₺	72.865 ₺	2.521 ₺	34.138 ₺	23.00	00.00	38.184 ₺	76.173 ₺	318 ₺	3.025 ₺	34.645 ₺	510 ₺												
Toplam		1.857.525 ₺		1.857.525 ₺		60.502 ₺		928.032 ₺		Toplam		916.423 ₺		1.941.868 ₺		7.641 ₺		72.603 ₺		945.202 ₺		17.170 ₺			

Çizelge A.10 Ekim 2018 kâr/zarar analizi

Ekim		2018		Buharsız					Buhar Enjeksiyonlu										Buharlı		Buharsız Farkı			
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Kar/Zarar TL
00.00	01.00	36.208 ₺	75.906 ₺	2.325 ₺	37.372 ₺	00.00	01.00	38.184 ₺	79.352 ₺	318 ₺	2.790 ₺	38.059 ₺												687 ₺
01.00	02.00	36.208 ₺	73.257 ₺	2.325 ₺	34.724 ₺	01.00	02.00	38.184 ₺	76.583 ₺	318 ₺	2.790 ₺	35.290 ₺												567 ₺
02.00	03.00	36.208 ₺	63.256 ₺	2.325 ₺	24.723 ₺	02.00	03.00	38.184 ₺	66.129 ₺	318 ₺	2.790 ₺	24.836 ₺												113 ₺
03.00	04.00	36.208 ₺	58.097 ₺	2.325 ₺	19.564 ₺	03.00	04.00	38.184 ₺	60.735 ₺	318 ₺	2.790 ₺	19.442 ₺												-122 ₺
04.00	05.00	36.208 ₺	63.400 ₺	2.325 ₺	14.967 ₺	04.00	05.00	38.184 ₺	65.929 ₺	318 ₺	2.790 ₺	14.637 ₺												330 ₺
05.00	06.00	36.208 ₺	65.264 ₺	2.325 ₺	26.731 ₺	05.00	06.00	38.184 ₺	68.227 ₺	318 ₺	2.790 ₺	26.934 ₺												204 ₺
06.00	07.00	36.208 ₺	68.937 ₺	2.325 ₺	30.404 ₺	06.00	07.00	38.184 ₺	72.067 ₺	318 ₺	2.790 ₺	30.775 ₺												370 ₺
07.00	08.00	36.208 ₺	61.607 ₺	2.325 ₺	23.074 ₺	07.00	08.00	38.184 ₺	64.404 ₺	318 ₺	2.790 ₺	23.112 ₺												38 ₺
08.00	09.00	36.208 ₺	77.032 ₺	2.325 ₺	38.499 ₺	08.00	09.00	38.184 ₺	80.530 ₺	318 ₺	2.790 ₺	39.237 ₺												738 ₺
09.00	10.00	36.208 ₺	83.104 ₺	2.325 ₺	44.571 ₺	09.00	10.00	38.184 ₺	86.877 ₺	318 ₺	2.790 ₺	45.585 ₺												1.014 ₺
10.00	11.00	36.208 ₺	80.231 ₺	2.325 ₺	41.697 ₺	10.00	11.00	38.184 ₺	83.074 ₺	318 ₺	2.790 ₺	42.581 ₺												883 ₺
11.00	12.00	36.208 ₺	82.349 ₺	2.325 ₺	43.816 ₺	11.00	12.00	38.184 ₺	86.080 ₺	318 ₺	2.790 ₺	44.795 ₺												979 ₺
12.00	13.00	36.208 ₺	71.527 ₺	2.325 ₺	32.994 ₺	12.00	13.00	38.184 ₺	74.774 ₺	318 ₺	2.790 ₺	33.482 ₺												488 ₺
13.00	14.00	36.208 ₺	81.167 ₺	2.325 ₺	42.834 ₺	13.00	14.00	38.184 ₺	84.853 ₺	318 ₺	2.790 ₺	43.860 ₺												926 ₺
14.00	15.00	36.208 ₺	82.389 ₺	2.325 ₺	43.866 ₺	14.00	15.00	38.184 ₺	86.130 ₺	318 ₺	2.790 ₺	44.837 ₺												981 ₺
15.00	16.00	36.208 ₺	83.268 ₺	2.325 ₺	44.735 ₺	15.00	16.00	38.184 ₺	87.049 ₺	318 ₺	2.790 ₺	45.755 ₺												1.021 ₺
16.00	17.00	36.208 ₺	84.472 ₺	2.325 ₺	45.938 ₺	16.00	17.00	38.184 ₺	88.307 ₺	318 ₺	2.790 ₺	47.014 ₺												1.076 ₺
17.00	18.00	36.208 ₺	83.071 ₺	2.325 ₺	44.538 ₺	17.00	18.00	38.184 ₺	86.843 ₺	318 ₺	2.790 ₺	45.550 ₺												1.012 ₺
18.00	19.00	36.208 ₺	80.597 ₺	2.325 ₺	42.064 ₺	18.00	19.00	38.184 ₺	84.266 ₺	318 ₺	2.790 ₺	42.964 ₺												900 ₺
19.00	20.00	36.208 ₺	80.894 ₺	2.325 ₺	42.361 ₺	19.00	20.00	38.184 ₺	84.567 ₺	318 ₺	2.790 ₺	43.274 ₺												913 ₺
20.00	21.00	36.208 ₺	82.339 ₺	2.325 ₺	43.806 ₺	20.00	21.00	38.184 ₺	86.078 ₺	318 ₺	2.790 ₺	44.785 ₺												979 ₺
21.00	22.00	36.208 ₺	81.776 ₺	2.325 ₺	43.243 ₺	21.00	22.00	38.184 ₺	85.489 ₺	318 ₺	2.790 ₺	44.196 ₺												953 ₺
22.00	23.00	36.208 ₺	74.825 ₺	2.325 ₺	36.292 ₺	22.00	23.00	38.184 ₺	78.223 ₺	318 ₺	2.790 ₺	36.930 ₺												638 ₺
23.00	00.00	36.208 ₺	71.848 ₺	2.325 ₺	33.415 ₺	23.00	00.00	38.184 ₺	75.215 ₺	318 ₺	2.790 ₺	33.922 ₺												507 ₺
Toplam		1.800.812 ₺	1.800.812 ₺	55.804 ₺	876.017 ₺	Toplam		916.423 ₺	1.882.580 ₺	7.641 ₺	66.964 ₺	891.552 ₺											15.535 ₺	

Çizelge A.12 Aralık 2018 kâr/zarar analizi

Aralık		2018		Buharsız										Buhar Enjeksiyonlu										Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyet	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL												
00:00	01:00	36.208 ₺	65.633 ₺	2.110 ₺	27.315 ₺	00:00	01:00	38.184 ₺	68.613 ₺	318 ₺	2.532 ₺	27.578 ₺	264 ₺												
01:00	02:00	36.208 ₺	58.254 ₺	2.110 ₺	19.937 ₺	01:00	02:00	38.184 ₺	60.899 ₺	318 ₺	2.532 ₺	19.865 ₺	-72 ₺												
02:00	03:00	36.208 ₺	45.179 ₺	2.110 ₺	6.861 ₺	02:00	03:00	38.184 ₺	47.230 ₺	318 ₺	2.532 ₺	6.196 ₺	-665 ₺												
03:00	04:00	36.208 ₺	43.928 ₺	2.110 ₺	5.611 ₺	03:00	04:00	38.184 ₺	45.923 ₺	318 ₺	2.532 ₺	4.889 ₺	-722 ₺												
04:00	05:00	36.208 ₺	34.363 ₺	2.110 ₺	-3.964 ₺	04:00	05:00	38.184 ₺	35.913 ₺	318 ₺	2.532 ₺	-5.121 ₺	-1.157 ₺												
05:00	06:00	36.208 ₺	41.105 ₺	2.110 ₺	2.788 ₺	05:00	06:00	38.184 ₺	42.972 ₺	318 ₺	2.532 ₺	1.938 ₺	-850 ₺												
06:00	07:00	36.208 ₺	53.952 ₺	2.110 ₺	15.635 ₺	06:00	07:00	38.184 ₺	55.402 ₺	318 ₺	2.532 ₺	15.368 ₺	-267 ₺												
07:00	08:00	36.208 ₺	60.543 ₺	2.110 ₺	22.226 ₺	07:00	08:00	38.184 ₺	63.292 ₺	318 ₺	2.532 ₺	22.258 ₺	32 ₺												
08:00	09:00	36.208 ₺	63.293 ₺	2.110 ₺	24.975 ₺	08:00	09:00	38.184 ₺	66.167 ₺	318 ₺	2.532 ₺	25.133 ₺	157 ₺												
09:00	10:00	36.208 ₺	66.801 ₺	2.110 ₺	30.284 ₺	09:00	10:00	38.184 ₺	71.716 ₺	318 ₺	2.532 ₺	30.682 ₺	398 ₺												
10:00	11:00	36.208 ₺	67.458 ₺	2.110 ₺	29.140 ₺	10:00	11:00	38.184 ₺	70.521 ₺	318 ₺	2.532 ₺	29.487 ₺	348 ₺												
11:00	12:00	36.208 ₺	69.611 ₺	2.110 ₺	31.293 ₺	11:00	12:00	38.184 ₺	72.771 ₺	318 ₺	2.532 ₺	31.737 ₺	444 ₺												
12:00	13:00	36.208 ₺	68.354 ₺	2.110 ₺	30.036 ₺	12:00	13:00	38.184 ₺	71.457 ₺	318 ₺	2.532 ₺	30.423 ₺	387 ₺												
13:00	14:00	36.208 ₺	68.278 ₺	2.110 ₺	29.960 ₺	13:00	14:00	38.184 ₺	71.378 ₺	318 ₺	2.532 ₺	30.344 ₺	384 ₺												
14:00	15:00	36.208 ₺	68.917 ₺	2.110 ₺	30.599 ₺	14:00	15:00	38.184 ₺	72.046 ₺	318 ₺	2.532 ₺	31.012 ₺	413 ₺												
15:00	16:00	36.208 ₺	69.723 ₺	2.110 ₺	31.405 ₺	15:00	16:00	38.184 ₺	72.889 ₺	318 ₺	2.532 ₺	31.854 ₺	449 ₺												
16:00	17:00	36.208 ₺	69.934 ₺	2.110 ₺	31.616 ₺	16:00	17:00	38.184 ₺	73.110 ₺	318 ₺	2.532 ₺	32.075 ₺	459 ₺												
17:00	18:00	36.208 ₺	70.195 ₺	2.110 ₺	31.877 ₺	17:00	18:00	38.184 ₺	73.382 ₺	318 ₺	2.532 ₺	32.348 ₺	471 ₺												
18:00	19:00	36.208 ₺	69.895 ₺	2.110 ₺	31.578 ₺	18:00	19:00	38.184 ₺	73.069 ₺	318 ₺	2.532 ₺	32.035 ₺	457 ₺												
19:00	20:00	36.208 ₺	67.398 ₺	2.110 ₺	29.081 ₺	19:00	20:00	38.184 ₺	70.459 ₺	318 ₺	2.532 ₺	29.429 ₺	344 ₺												
20:00	21:00	36.208 ₺	68.501 ₺	2.110 ₺	30.183 ₺	20:00	21:00	38.184 ₺	71.611 ₺	318 ₺	2.532 ₺	30.577 ₺	394 ₺												
21:00	22:00	36.208 ₺	68.123 ₺	2.110 ₺	29.805 ₺	21:00	22:00	38.184 ₺	71.217 ₺	318 ₺	2.532 ₺	30.182 ₺	377 ₺												
22:00	23:00	36.208 ₺	62.487 ₺	2.110 ₺	24.170 ₺	22:00	23:00	38.184 ₺	65.325 ₺	318 ₺	2.532 ₺	24.290 ₺	121 ₺												
23:00	00:00	36.208 ₺	58.610 ₺	2.110 ₺	20.492 ₺	23:00	00:00	38.184 ₺	61.480 ₺	318 ₺	2.532 ₺	20.446 ₺	-46 ₺												
Toplam		1.482.526 ₺	1.482.526 ₺	50.633 ₺	562.902 ₺	Toplam		916.423 ₺	1.549.842 ₺	7.641 ₺	60.760 ₺	565.019 ₺	2.117 ₺												

Ocak		2018						Buharsız						Buhar Enjeksiyonlu						Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	KarizZarar TL		Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	KarizZarar TL			KarizZarar TL					
00:00	01:00	36.208 ₺	44 567 ₺	1.500 ₺	6.859 ₺		00:00	01:00	36.968 ₺	45 315 ₺	122 ₺	1.650 ₺	6.575 ₺			-284 ₺					
01:00	02:00	36.208 ₺	41 757 ₺	1.500 ₺	4.050 ₺		01:00	02:00	36.968 ₺	42 458 ₺	122 ₺	1.650 ₺	3.718 ₺			-331 ₺					
02:00	03:00	36.208 ₺	35 833 ₺	1.500 ₺	-1.874 ₺		02:00	03:00	36.968 ₺	36 435 ₺	122 ₺	1.650 ₺	-2.305 ₺			-431 ₺					
03:00	04:00	36.208 ₺	34 253 ₺	1.500 ₺	-3.454 ₺		03:00	04:00	36.968 ₺	34 829 ₺	122 ₺	1.650 ₺	-3.911 ₺			-457 ₺					
04:00	05:00	36.208 ₺	34 253 ₺	1.500 ₺	-3.454 ₺		04:00	05:00	36.968 ₺	34 829 ₺	122 ₺	1.650 ₺	-3.911 ₺			-457 ₺					
05:00	06:00	36.208 ₺	36 489 ₺	1.500 ₺	-1.218 ₺		05:00	06:00	36.968 ₺	37 102 ₺	122 ₺	1.650 ₺	-1.638 ₺			-420 ₺					
06:00	07:00	36.208 ₺	39 131 ₺	1.500 ₺	1.423 ₺		06:00	07:00	36.968 ₺	39 788 ₺	122 ₺	1.650 ₺	1.048 ₺			-375 ₺					
07:00	08:00	36.208 ₺	42 335 ₺	1.500 ₺	4 627 ₺		07:00	08:00	36.968 ₺	43 046 ₺	122 ₺	1.650 ₺	4 306 ₺			-322 ₺					
08:00	09:00	36.208 ₺	44 580 ₺	1.500 ₺	6 872 ₺		08:00	09:00	36.968 ₺	45 328 ₺	122 ₺	1.650 ₺	6 588 ₺			-268 ₺					
09:00	10:00	36.208 ₺	47 666 ₺	1.500 ₺	9 959 ₺		09:00	10:00	36.968 ₺	48 467 ₺	122 ₺	1.650 ₺	9 727 ₺			-232 ₺					
10:00	11:00	36.208 ₺	48 426 ₺	1.500 ₺	10 718 ₺		10:00	11:00	36.968 ₺	49 239 ₺	122 ₺	1.650 ₺	10 499 ₺			-219 ₺					
11:00	12:00	36.208 ₺	48 336 ₺	1.500 ₺	10 629 ₺		11:00	12:00	36.968 ₺	49 148 ₺	122 ₺	1.650 ₺	10 408 ₺			-221 ₺					
12:00	13:00	36.208 ₺	44 805 ₺	1.500 ₺	7 097 ₺		12:00	13:00	36.968 ₺	45 557 ₺	122 ₺	1.650 ₺	6 817 ₺			-280 ₺					
13:00	14:00	36.208 ₺	45 061 ₺	1.500 ₺	7 954 ₺		13:00	14:00	36.968 ₺	46 428 ₺	122 ₺	1.650 ₺	7 688 ₺			-266 ₺					
14:00	15:00	36.208 ₺	45 705 ₺	1.500 ₺	8 598 ₺		14:00	15:00	36.968 ₺	47 489 ₺	122 ₺	1.650 ₺	8 749 ₺			-245 ₺					
15:00	16:00	36.208 ₺	46 004 ₺	1.500 ₺	8 296 ₺		15:00	16:00	36.968 ₺	46 776 ₺	122 ₺	1.650 ₺	8 036 ₺			-260 ₺					
16:00	17:00	36.208 ₺	46 741 ₺	1.500 ₺	9 033 ₺		16:00	17:00	36.968 ₺	47 525 ₺	122 ₺	1.650 ₺	8 785 ₺			-248 ₺					
17:00	18:00	36.208 ₺	43 649 ₺	1.500 ₺	5 941 ₺		17:00	18:00	36.968 ₺	44 381 ₺	122 ₺	1.650 ₺	5 641 ₺			-300 ₺					
18:00	19:00	36.208 ₺	46 558 ₺	1.500 ₺	8 850 ₺		18:00	19:00	36.968 ₺	47 339 ₺	122 ₺	1.650 ₺	8 599 ₺			-251 ₺					
19:00	20:00	36.208 ₺	45 554 ₺	1.500 ₺	7 846 ₺		19:00	20:00	36.												

Şubat		2018		Buharsız					Buhar Enjeksiyonlu					Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL		
00:00	01:00	36 208 ₺	46 216 ₺	1 503 ₺	8 505 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	46 992 ₺	122 ₺	1 653 ₺	8 248 ₺	-257 ₺		
01:00	02:00	36 208 ₺	40 756 ₺	1 503 ₺	3 045 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	41 440 ₺	122 ₺	1 653 ₺	2 696 ₺	-349 ₺		
02:00	03:00	36 208 ₺	35 030 ₺	1 503 ₺	-2 681 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	35 619 ₺	122 ₺	1 653 ₺	-3 125 ₺	-445 ₺		
03:00	04:00	36 208 ₺	35 285 ₺	1 503 ₺	-2 426 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	35 878 ₺	122 ₺	1 653 ₺	-2 866 ₺	-440 ₺		
04:00	05:00	36 208 ₺	33 883 ₺	1 503 ₺	-3 828 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	34 452 ₺	122 ₺	1 653 ₺	-4 292 ₺	-464 ₺		
05:00	06:00	36 208 ₺	35 384 ₺	1 503 ₺	-2 327 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	35 978 ₺	122 ₺	1 653 ₺	-2 766 ₺	-439 ₺		
06:00	07:00	36 208 ₺	38 452 ₺	1 503 ₺	741 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	39 098 ₺	122 ₺	1 653 ₺	354 ₺	-387 ₺		
07:00	08:00	36 208 ₺	40 518 ₺	1 503 ₺	2 807 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	41 198 ₺	122 ₺	1 653 ₺	2 454 ₺	-353 ₺		
08:00	09:00	36 208 ₺	40 332 ₺	1 503 ₺	2 621 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	41 009 ₺	122 ₺	1 653 ₺	2 265 ₺	-356 ₺		
09:00	10:00	36 208 ₺	46 507 ₺	1 503 ₺	8 796 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	47 288 ₺	122 ₺	1 653 ₺	8 545 ₺	-252 ₺		
10:00	11:00	36 208 ₺	46 787 ₺	1 503 ₺	9 076 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	47 572 ₺	122 ₺	1 653 ₺	8 828 ₺	-247 ₺		
11:00	12:00	36 208 ₺	47 057 ₺	1 503 ₺	9 346 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	47 847 ₺	122 ₺	1 653 ₺	9 103 ₺	-243 ₺		
12:00	13:00	36 208 ₺	40 208 ₺	1 503 ₺	2 497 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	40 883 ₺	122 ₺	1 653 ₺	2 140 ₺	-358 ₺		
13:00	14:00	36 208 ₺	40 802 ₺	1 503 ₺	3 091 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	41 487 ₺	122 ₺	1 653 ₺	2 744 ₺	-348 ₺		
14:00	15:00	36 208 ₺	42 530 ₺	1 503 ₺	4 819 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	43 244 ₺	122 ₺	1 653 ₺	4 500 ₺	-319 ₺		
15:00	16:00	36 208 ₺	42 035 ₺	1 503 ₺	4 324 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	42 741 ₺	122 ₺	1 653 ₺	3 997 ₺	-327 ₺		
16:00	17:00	36 208 ₺	43 777 ₺	1 503 ₺	6 066 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	44 512 ₺	122 ₺	1 653 ₺	5 758 ₺	-298 ₺		
17:00	18:00	36 208 ₺	42 322 ₺	1 503 ₺	4 611 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	43 032 ₺	122 ₺	1 653 ₺	4 298 ₺	-322 ₺		
18:00	19:00	36 208 ₺	45 651 ₺	1 503 ₺	7 940 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	46 417 ₺	122 ₺	1 653 ₺	7 673 ₺	-266 ₺		
19:00	20:00	36 208 ₺	44 542 ₺	1 503 ₺	6 831 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	45 290 ₺	122 ₺	1 653 ₺	6 546 ₺	-285 ₺		
20:00	21:00	36 208 ₺	46 432 ₺	1 503 ₺	8 721 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	47 212 ₺	122 ₺	1 653 ₺	8 468 ₺	-253 ₺		
21:00	22:00	36 208 ₺	43 125 ₺	1 503											

Çizelge B.3 Mart 2018 kâr/zarar analizi

Mart		2018		Buharsız			Buhar Enjeksiyonlu							Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	41 993 ₺	1 544 ₺	4 240 ₺		00:00	01:00	36 968 ₺	42 698 ₺	122 ₺	1 699 ₺	3 908 ₺		-332 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	37 353 ₺	1 544 ₺	-400 ₺		01:00	02:00	36 968 ₺	37 980 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-809 ₺		-410 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	32 316 ₺	1 544 ₺	-5 436 ₺		02:00	03:00	36 968 ₺	32 859 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-5 931 ₺		-494 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	30 158 ₺	1 544 ₺	-7 595 ₺		03:00	04:00	36 968 ₺	30 664 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-8 125 ₺		-531 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	28 463 ₺	1 544 ₺	-9 289 ₺		04:00	05:00	36 968 ₺	28 941 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-9 848 ₺		-559 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	30 413 ₺	1 544 ₺	-7 340 ₺		05:00	06:00	36 968 ₺	30 924 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-7 866 ₺		-526 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	39 305 ₺	1 544 ₺	1 552 ₺		06:00	07:00	36 968 ₺	39 965 ₺	122 ₺	1 699 ₺	1 175 ₺		-377 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	34 305 ₺	1 544 ₺	-3 448 ₺		07:00	08:00	36 968 ₺	34 881 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-3 909 ₺		-461 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	40 891 ₺	1 544 ₺	3 139 ₺		08:00	09:00	36 968 ₺	41 578 ₺	122 ₺	1 699 ₺	2 788 ₺		-350 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	43 405 ₺	1 544 ₺	5 653 ₺		09:00	10:00	36 968 ₺	44 134 ₺	122 ₺	1 699 ₺	5 345 ₺		-308 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	40 873 ₺	1 544 ₺	3 120 ₺		10:00	11:00	36 968 ₺	41 559 ₺	122 ₺	1 699 ₺	2 770 ₺		-351 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	40 132 ₺	1 544 ₺	2 379 ₺		11:00	12:00	36 968 ₺	40 806 ₺	122 ₺	1 699 ₺	2 016 ₺		-363 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	35 323 ₺	1 544 ₺	-2 429 ₺		12:00	13:00	36 968 ₺	35 917 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-2 873 ₺		-444 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	36 439 ₺	1 544 ₺	-1 313 ₺		13:00	14:00	36 968 ₺	37 051 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-1 738 ₺		-425 ₺
14:00	15:00	36 208 ₺	39 149 ₺	1 544 ₺	1 396 ₺		14:00	15:00	36 968 ₺	39 806 ₺	122 ₺	1 699 ₺	1 017 ₺		-380 ₺
15:00	16:00	36 208 ₺	37 645 ₺	1 544 ₺	-107 ₺		15:00	16:00	36 968 ₺	38 277 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-512 ₺		-405 ₺
16:00	17:00	36 208 ₺	39 784 ₺	1 544 ₺	2 032 ₺		16:00	17:00	36 968 ₺	40 453 ₺	122 ₺	1 699 ₺	1 665 ₺		-389 ₺
17:00	18:00	36 208 ₺	37 528 ₺	1 544 ₺	-224 ₺		17:00	18:00	36 968 ₺	38 158 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-531 ₺		-407 ₺
18:00	19:00	36 208 ₺	36 137 ₺	1 544 ₺	-1 615 ₺		18:00	19:00	36 968 ₺	36 744 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-2 045 ₺		-430 ₺
19:00	20:00	36 208 ₺	41 723 ₺	1 544 ₺	3 971 ₺		19:00	20:00	36 968 ₺	42 424 ₺	122 ₺	1 699 ₺	3 635 ₺		-336 ₺
20:00	21:00	36 208 ₺	44 490 ₺	1 544 ₺	6 738 ₺		20:00	21:00	36 968 ₺	45 237 ₺	122 ₺	1 699 ₺	6 448 ₺		-290 ₺
21:00	22:00	36 208 ₺	42 424 ₺	1 544 ₺	4 672 ₺		21:00	22:00	36 968 ₺	43 137 ₺	122 ₺	1 699 ₺	4 347 ₺		-325 ₺
22:00	23:00	36 208 ₺	37 403 ₺	1 544 ₺	-349 ₺		22:00	23:00	36 968 ₺	38 031 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-758 ₺		-409 ₺
23:00	00:00	36 208 ₺	32 321 ₺	1 544 ₺	-5 431 ₺		23:00	00:00	36 968 ₺	32 864 ₺	122 ₺	1 699 ₺	-5 926 ₺		-494 ₺
Toplam		899 974 ₺	899 974 ₺	37 067 ₺	-6 084 ₺		Toplam		887 234 ₺	915 086 ₺	2 939 ₺	40 774 ₺	-15 860 ₺		-9.776 ₺

Çizelge B.4 Nisan 2018 kâr/zarar analizi

Nisan		2018		Buharsız			Buhar Enjeksiyonlu							Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	47 412 ₺	1 612 ₺	9 592 ₺		00:00	01:00	36 968 ₺	48 208 ₺	122 ₺	1 773 ₺	9 345 ₺		-248 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	45 189 ₺	1 612 ₺	7 369 ₺		01:00	02:00	36 968 ₺	45 948 ₺	122 ₺	1 773 ₺	7 084 ₺		-285 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	42 924 ₺	1 612 ₺	5 104 ₺		02:00	03:00	36 968 ₺	43 644 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 781 ₺		-323 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	41 162 ₺	1 612 ₺	3 342 ₺		03:00	04:00	36 968 ₺	41 853 ₺	122 ₺	1 773 ₺	2 990 ₺		-353 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	40 874 ₺	1 612 ₺	3 054 ₺		04:00	05:00	36 968 ₺	41 560 ₺	122 ₺	1 773 ₺	2 697 ₺		-357 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	42 614 ₺	1 612 ₺	4 794 ₺		05:00	06:00	36 968 ₺	43 329 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 466 ₺		-328 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	42 853 ₺	1 612 ₺	5 033 ₺		06:00	07:00	36 968 ₺	43 573 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 709 ₺		-324 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	43 100 ₺	1 612 ₺	5 280 ₺		07:00	08:00	36 968 ₺	43 824 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 960 ₺		-320 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	47 747 ₺	1 612 ₺	9 927 ₺		08:00	09:00	36 968 ₺	48 549 ₺	122 ₺	1 773 ₺	9 685 ₺		-242 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	48 005 ₺	1 612 ₺	10 185 ₺		09:00	10:00	36 968 ₺	48 811 ₺	122 ₺	1 773 ₺	9 948 ₺		-238 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	47 178 ₺	1 612 ₺	9 358 ₺		10:00	11:00	36 968 ₺	47 970 ₺	122 ₺	1 773 ₺	9 106 ₺		-352 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	48 209 ₺	1 612 ₺	10 390 ₺		11:00	12:00	36 968 ₺	49 019 ₺	122 ₺	1 773 ₺	10 155 ₺		-234 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	43 105 ₺	1 612 ₺	5 285 ₺		12:00	13:00	36 968 ₺	43 828 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 965 ₺		-320 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	44 588 ₺	1 612 ₺	6 768 ₺		13:00	14:00	36 968 ₺	45 336 ₺	122 ₺	1 773 ₺	6 473 ₺		-295 ₺
14:00	15:00	36 208 ₺	46 000 ₺	1 612 ₺	8 181 ₺		14:00	15:00	36 968 ₺	46 773 ₺	122 ₺	1 773 ₺	7 909 ₺		-271 ₺
15:00	16:00	36 208 ₺	45 301 ₺	1 612 ₺	7 481 ₺		15:00	16:00	36 968 ₺	46 062 ₺	122 ₺	1 773 ₺	7 198 ₺		-283 ₺
16:00	17:00	36 208 ₺	46 199 ₺	1 612 ₺	8 379 ₺		16:00	17:00	36 968 ₺	46 975 ₺	122 ₺	1 773 ₺	8 111 ₺		-268 ₺
17:00	18:00	36 208 ₺	46 198 ₺	1 612 ₺	8 378 ₺		17:00	18:00	36 968 ₺	46 974 ₺	122 ₺	1 773 ₺	8 110 ₺		-268 ₺
18:00	19:00	36 208 ₺	47 333 ₺	1 612 ₺	9 513 ₺		18:00	19:00	36 968 ₺	48 128 ₺	122 ₺	1 773 ₺	9 264 ₺		-249 ₺
19:00	20:00	36 208 ₺	50 910 ₺	1 612 ₺	13 090 ₺		19:00	20:00	36 968 ₺	51 765 ₺	122 ₺	1 773 ₺	12 901 ₺		-189 ₺
20:00	21:00	36 208 ₺	51 509 ₺	1 612 ₺	13 689 ₺		20:00	21:00	36 968 ₺	52 374 ₺	122 ₺	1 773 ₺	13 510 ₺		-179 ₺
21:00	22:00	36 208 ₺	50 730 ₺	1 612 ₺	12 910 ₺		21:00	22:00	36 968 ₺	51 582 ₺	122 ₺	1 773 ₺	12 718 ₺		-192 ₺
22:00	23:00	36 208 ₺	46 895 ₺	1 612 ₺	9 075 ₺		22:00	23:00	36 968 ₺	47 682 ₺	122 ₺	1 773 ₺	8 818 ₺		-256 ₺
23:00	00:00	36 208 ₺	42 601 ₺	1 612 ₺	4 781 ₺		23:00	00:00	36 968 ₺	43 316 ₺	122 ₺	1 773 ₺	4 453 ₺		-328 ₺
Toplam		1 098 636 ₺	1 098 636 ₺	38 686 ₺	190 960 ₺		Toplam		887 234 ₺	1 117 084 ₺	2 939 ₺	42 554 ₺	184 358 ₺		-6.602 ₺

Çizelge B.5 Mayıs 2018 kâr/zarar analizi

Mayıs		2018		Buharsız			Buhar Enjeksiyonlu							Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL		Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	43 546 ₺	1 753 ₺	5 585 ₺		00:00	01:00	36 968 ₺	44 278 ₺	122 ₺	1 928 ₺	5 259 ₺		-327 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	42 789 ₺	1 753 ₺	4 828 ₺		01:00	02:00	36 968 ₺	43 508 ₺	122 ₺	1 928 ₺	4 489 ₺		-339 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	40 794 ₺	1 753 ₺	2 833 ₺		02:00	03:00	36 968 ₺	41 479 ₺	122 ₺	1 928 ₺	2 460 ₺		-373 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	40 436 ₺	1 753 ₺	2 475 ₺		03:00	04:00	36 968 ₺	41 115 ₺	122 ₺	1 928 ₺	2 096 ₺		-379 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	37 935 ₺	1 753 ₺	-26 ₺		04:00	05:00	36 968 ₺	38 572 ₺	122 ₺	1 928 ₺	-447 ₺		-421 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	37 259 ₺	1 753 ₺	-702 ₺		05:00	06:00	36 968 ₺	37 884 ₺	122 ₺	1 928 ₺	-1 134 ₺		-432 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	28 310 ₺	1 753 ₺	-9 651 ₺		06:00	07:00	36 968 ₺	28 786 ₺	122 ₺	1 928 ₺	-10 233 ₺		-582 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	37 774 ₺	1 753 ₺	-187 ₺		07:00	08:00	36 968 ₺	38 409 ₺	122 ₺	1 928 ₺	-610 ₺		-424 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	42 740 ₺	1 753 ₺	4 779 ₺		08:00	09:00	36 968 ₺	43 457 ₺	122 ₺	1 928 ₺	4 438 ₺		-340 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	43 245 ₺	1 753 ₺	5 284 ₺		09:00	10:00	36 968 ₺	43 971 ₺	122 ₺	1 928 ₺	4 952 ₺		-332 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	43 561 ₺	1 753 ₺	5 600 ₺		10:00	11:00	36 968 ₺	44 292 ₺	122 ₺	1 928 ₺	5 273 ₺		-326 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	43 100 ₺	1 753 ₺	5 139 ₺		11:00	12:00	36 968 ₺	43 824 ₺	122 ₺	1 928 ₺	4 805 ₺		-334 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	40 332 ₺	1 753 ₺	2 371 ₺		12:00	13:00	36 968 ₺	41 010 ₺	122 ₺	1 928 ₺	1 991 ₺		-381 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	43 977 ₺	1 753 ₺	6 016 ₺		13:00	14:00	36 968 ₺	44 715 ₺	122 ₺	1 928 ₺	5 696 ₺		-

Çizelge B.6 Haziran 2018 kâr/zarar analizi

Haziran		2018		Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu								Buharlı - Buharsız Farkı
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL			
00:00	01:00	36 208 ₺	47 572 ₺	1 840 ₺	9 524 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	48 371 ₺	122 ₺	2 024 ₺	9 257 ₺	-289 ₺			
01:00	02:00	36 208 ₺	46 417 ₺	1 840 ₺	8 369 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	47 196 ₺	122 ₺	2 024 ₺	8 082 ₺	-387 ₺			
02:00	03:00	36 208 ₺	40 588 ₺	1 840 ₺	2 541 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	41 270 ₺	122 ₺	2 024 ₺	2 156 ₺	-385 ₺			
03:00	04:00	36 208 ₺	38 284 ₺	1 840 ₺	237 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	38 927 ₺	122 ₺	2 024 ₺	-187 ₺	-424 ₺			
04:00	05:00	36 208 ₺	41 191 ₺	1 840 ₺	3 143 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	41 883 ₺	122 ₺	2 024 ₺	2 768 ₺	-375 ₺			
05:00	06:00	36 208 ₺	39 047 ₺	1 840 ₺	1 000 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	39 703 ₺	122 ₺	2 024 ₺	589 ₺	-411 ₺			
06:00	07:00	36 208 ₺	32 426 ₺	1 840 ₺	-5 622 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	32 971 ₺	122 ₺	2 024 ₺	-6 144 ₺	-522 ₺			
07:00	08:00	36 208 ₺	36 505 ₺	1 840 ₺	-1 543 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	37 118 ₺	122 ₺	2 024 ₺	-1 997 ₺	-454 ₺			
08:00	09:00	36 208 ₺	44 382 ₺	1 840 ₺	6 334 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	45 127 ₺	122 ₺	2 024 ₺	6 013 ₺	-321 ₺			
09:00	10:00	36 208 ₺	48 410 ₺	1 840 ₺	10 363 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	49 223 ₺	122 ₺	2 024 ₺	10 109 ₺	-254 ₺			
10:00	11:00	36 208 ₺	46 104 ₺	1 840 ₺	8 056 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	46 878 ₺	122 ₺	2 024 ₺	7 764 ₺	-292 ₺			
11:00	12:00	36 208 ₺	47 018 ₺	1 840 ₺	8 970 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	47 808 ₺	122 ₺	2 024 ₺	8 693 ₺	-277 ₺			
12:00	13:00	36 208 ₺	39 119 ₺	1 840 ₺	1 071 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	39 776 ₺	122 ₺	2 024 ₺	662 ₺	-410 ₺			
13:00	14:00	36 208 ₺	43 272 ₺	1 840 ₺	5 224 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	43 988 ₺	122 ₺	2 024 ₺	4 884 ₺	-340 ₺			
14:00	15:00	36 208 ₺	47 437 ₺	1 840 ₺	9 389 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	48 234 ₺	122 ₺	2 024 ₺	9 119 ₺	-270 ₺			
15:00	16:00	36 208 ₺	45 460 ₺	1 840 ₺	7 412 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	46 224 ₺	122 ₺	2 024 ₺	7 109 ₺	-303 ₺			
16:00	17:00	36 208 ₺	47 838 ₺	1 840 ₺	9 790 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	48 641 ₺	122 ₺	2 024 ₺	9 527 ₺	-263 ₺			
17:00	18:00	36 208 ₺	47 215 ₺	1 840 ₺	9 168 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	48 008 ₺	122 ₺	2 024 ₺	8 894 ₺	-274 ₺			
18:00	19:00	36 208 ₺	46 162 ₺	1 840 ₺	8 114 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	46 937 ₺	122 ₺	2 024 ₺	7 823 ₺	-291 ₺			
19:00	20:00	36 208 ₺	45 846 ₺	1 840 ₺	7 798 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	46 616 ₺	122 ₺	2 024 ₺	7 502 ₺	-297 ₺			
20:00	21:00	36 208 ₺	49 015 ₺	1 840 ₺	10 968 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	49 839 ₺	122 ₺	2 024 ₺	10 724 ₺	-243 ₺			
21:00	22:00	36 208 ₺	49 672 ₺	1 840 ₺	11 625 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	50 506 ₺	122 ₺	2 024 ₺	11 392 ₺	-232 ₺			
22:00	23:00	36 208 ₺	44 866 ₺	1 840 ₺	6 818 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	45 619 ₺	122 ₺	2 024 ₺	6 505 ₺	-313 ₺			
23:00	00:00	36 208 ₺	39 676 ₺	1 840 ₺	1 628 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	40 342 ₺	122 ₺	2 024 ₺	1 228 ₺	-400 ₺			
Toplam		1.053.523 ₺	1.053.523 ₺	44.154 ₺	140.378 ₺	Toplam		887.234 ₺	1.071.214 ₺	2.939 ₺	48.570 ₺	132.471 ₺	-7.906 ₺			

Çizelge B.7 Temmuz 2018 kâr/zarar analizi

Temmuz		2018		Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu								Buharlı - Buharsız Farkı
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL			
00:00	01:00	36 208 ₺	49 283 ₺	1 890 ₺	11 185 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	50 110 ₺	122 ₺	2 079 ₺	10 941 ₺	-244 ₺			
01:00	02:00	36 208 ₺	47 987 ₺	1 890 ₺	9 889 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	48 793 ₺	122 ₺	2 079 ₺	9 623 ₺	-266 ₺			
02:00	03:00	36 208 ₺	46 281 ₺	1 890 ₺	8 183 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	47 058 ₺	122 ₺	2 079 ₺	7 886 ₺	-294 ₺			
03:00	04:00	36 208 ₺	44 131 ₺	1 890 ₺	6 033 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	44 872 ₺	122 ₺	2 079 ₺	5 703 ₺	-331 ₺			
04:00	05:00	36 208 ₺	47 984 ₺	1 890 ₺	9 886 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	48 790 ₺	122 ₺	2 079 ₺	9 620 ₺	-266 ₺			
05:00	06:00	36 208 ₺	45 001 ₺	1 890 ₺	6 903 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	45 757 ₺	122 ₺	2 079 ₺	6 587 ₺	-316 ₺			
06:00	07:00	36 208 ₺	38 154 ₺	1 890 ₺	56 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	38 795 ₺	122 ₺	2 079 ₺	-375 ₺	-431 ₺			
07:00	08:00	36 208 ₺	45 198 ₺	1 890 ₺	7 100 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	45 957 ₺	122 ₺	2 079 ₺	6 787 ₺	-313 ₺			
08:00	09:00	36 208 ₺	49 230 ₺	1 890 ₺	11 132 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	50 056 ₺	122 ₺	2 079 ₺	10 887 ₺	-245 ₺			
09:00	10:00	36 208 ₺	51 712 ₺	1 890 ₺	13 614 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	52 580 ₺	122 ₺	2 079 ₺	13 411 ₺	-203 ₺			
10:00	11:00	36 208 ₺	51 552 ₺	1 890 ₺	13 454 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	52 418 ₺	122 ₺	2 079 ₺	13 248 ₺	-206 ₺			
11:00	12:00	36 208 ₺	53 504 ₺	1 890 ₺	15 406 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	54 402 ₺	122 ₺	2 079 ₺	15 233 ₺	-173 ₺			
12:00	13:00	36 208 ₺	47 947 ₺	1 890 ₺	9 849 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	48 753 ₺	122 ₺	2 079 ₺	9 583 ₺	-266 ₺			
13:00	14:00	36 208 ₺	50 967 ₺	1 890 ₺	12 869 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	51 823 ₺	122 ₺	2 079 ₺	12 653 ₺	-216 ₺			
14:00	15:00	36 208 ₺	53 993 ₺	1 890 ₺	15 895 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	54 900 ₺	122 ₺	2 079 ₺	15 731 ₺	-165 ₺			
15:00	16:00	36 208 ₺	52 424 ₺	1 890 ₺	14 326 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	53 305 ₺	122 ₺	2 079 ₺	14 135 ₺	-191 ₺			
16:00	17:00	36 208 ₺	53 563 ₺	1 890 ₺	15 465 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	54 462 ₺	122 ₺	2 079 ₺	15 293 ₺	-172 ₺			
17:00	18:00	36 208 ₺	52 810 ₺	1 890 ₺	14 712 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	53 696 ₺	122 ₺	2 079 ₺	14 527 ₺	-185 ₺			
18:00	19:00	36 208 ₺	50 004 ₺	1 890 ₺	11 906 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	50 844 ₺	122 ₺	2 079 ₺	11 674 ₺	-232 ₺			
19:00	20:00	36 208 ₺	49 982 ₺	1 890 ₺	11 884 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	50 821 ₺	122 ₺	2 079 ₺	11 651 ₺	-232 ₺			
20:00	21:00	36 208 ₺	52 769 ₺	1 890 ₺	14 671 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	53 665 ₺	122 ₺	2 079 ₺	14 485 ₺	-185 ₺			
21:00	22:00	36 208 ₺	52 938 ₺	1 890 ₺	14 840 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	53 827 ₺	122 ₺	2 079 ₺	14 657 ₺	-183 ₺			
22:00	23:00	36 208 ₺	47 850 ₺	1 890 ₺	9 752 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	48 653 ₺	122 ₺	2 079 ₺	9 483 ₺	-268 ₺			
23:00	00:00	36 208 ₺	46 037 ₺	1 890 ₺	7 939 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	46 810 ₺	122 ₺	2 079 ₺	7 640 ₺	-299 ₺			
Toplam		1.181.301 ₺	1.181.301 ₺	45.361 ₺	266.949 ₺	Toplam		887.234 ₺	1.201.137 ₺	2.939 ₺	49.898 ₺	261.067 ₺	-5.881 ₺			

Çizelge B.8 Ağustos 2018 kâr/zarar analizi

Ağustos		2018		Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu								Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL				
00:00	01:00	36 208 ₺	73 713 ₺	2 305 ₺	35 200 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	74 951 ₺	122 ₺	2 536 ₺	35 325 ₺	125 ₺				
01:00	02:00	36 208 ₺	72 344 ₺	2 305 ₺	33 831 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	73 558 ₺	122 ₺	2 536 ₺	33 932 ₺	102 ₺				
02:00	03:00	36 208 ₺	63 602 ₺	2 305 ₺	25 089 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	64 670 ₺	122 ₺	2 536 ₺	25 044 ₺	-45 ₺				
03:00	04:00	36 208 ₺	61 613 ₺	2 305 ₺	23 100 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	62 648 ₺	122 ₺	2 536 ₺	23 022 ₺	-78 ₺				
04:00	05:00	36 208 ₺	64 248 ₺	2 305 ₺	25 735 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	65 327 ₺	122 ₺	2 536 ₺	25 701 ₺	-34 ₺				
05:00	06:00	36 208 ₺	62 782 ₺	2 305 ₺	24 269 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	63 836 ₺	122 ₺	2 536 ₺	24 210 ₺	-59 ₺				
06:00	07:00	36 208 ₺	51 849 ₺	2 305 ₺	13 336 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	52 719 ₺	122 ₺	2 536 ₺	13 093 ₺	-242 ₺				
07:00	08:00	36 208 ₺	60 966 ₺	2 305 ₺	22 453 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	61 990 ₺	122 ₺	2 536 ₺	22 364 ₺	-89 ₺				
08:00	09:00	36 208 ₺	69 471 ₺	2 305 ₺	30 958 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	70 637 ₺	122 ₺	2 536 ₺	31 011 ₺	53 ₺				
09:00	10:00	36 208 ₺	72 965 ₺	2 305 ₺	34 452 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	74 191 ₺	122 ₺	2 536 ₺	34 565 ₺	112 ₺				
10:00	11:00	36 208 ₺	71 120 ₺	2 305 ₺	32 607 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	72 314 ₺	122 ₺	2 536 ₺	32 688 ₺	81 ₺				
11:00	12:00	36 208 ₺	73 468 ₺	2 305 ₺	34 955 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	74 702 ₺	122 ₺	2 536 ₺	35 076 ₺	121 ₺				
12:00	13:00	36 208 ₺	71 895 ₺	2 305 ₺	33 382 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	73 102 ₺	122 ₺	2 536 ₺	33 476 ₺	94 ₺				
13:00	14:00	36 208 ₺	73 921 ₺	2 305 ₺	35 408 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	75 162 ₺	122 ₺	2 536 ₺	35 536 ₺	150 ₺				
14:00	15:00	36 208 ₺	74 332 ₺	2 305 ₺	35 819 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	75 580 ₺	122 ₺	2 536 ₺	35 954 ₺	164 ₺				
15:00	16:00	36 208 ₺	76 077 ₺	2 305 ₺	37 564 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	77 355 ₺	122 ₺	2 536 ₺	37 728 ₺	158 ₺				
16:00	17:00	36 208 ₺	77 270 ₺	2 305 ₺	38 757 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	78 567 ₺	122 ₺	2 536 ₺	38 941 ₺	184 ₺				
17:00	18:00	36 208 ₺	76 830 ₺	2 305 ₺	38 317 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	78 120 ₺	122 ₺	2 536 ₺	38 494 ₺	177 ₺				
18:00	19:00	36 208 ₺	76 139 ₺	2 305 ₺	37 626 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	77 418 ₺	122 ₺	2 536 ₺	37 792 ₺	165 ₺				
19:00	20:00	36 208 ₺	76 242 ₺	2 305 ₺	37 729 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	77 522 ₺	122 ₺	2 536 ₺	37 896 ₺	167 ₺				
20:00	21:00	36 208 ₺	76 885 ₺	2 305 ₺	38 372 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	78 176 ₺	122 ₺	2 536 ₺	38 550 ₺	178 ₺				
21:00	22:00	36 208 ₺	77 041 ₺	2 305 ₺	38 528 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	78 335 ₺	122 ₺	2 536 ₺	38 709 ₺	181 ₺				
22:00	23:00	36 208 ₺	72 034 ₺	2 305 ₺	33 521 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	73 243 ₺	122 ₺	2 536 ₺	33 617 ₺	97 ₺				
23:00	00:00	36 208 ₺	69 731 ₺	2 305 ₺	31 218 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	70 902 ₺	122 ₺	2 536 ₺	31 276 ₺	58 ₺				
Toplam						Toplam						1.775 ₺					

Çizelge B.9 Eylül 2018 kâr/zarar analizi

		Eylül	2018	Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu				Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	80 014 ₺	2 521 ₺	41 285 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	81 358 ₺	122 ₺	2 773 ₺	41 494 ₺	209 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	75 425 ₺	2 521 ₺	36 697 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	76 682 ₺	122 ₺	2 773 ₺	36 828 ₺	132 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	71 122 ₺	2 521 ₺	32 393 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	72 316 ₺	122 ₺	2 773 ₺	32 453 ₺	60 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	67 872 ₺	2 521 ₺	29 143 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	69 011 ₺	122 ₺	2 773 ₺	29 148 ₺	5 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	70 798 ₺	2 521 ₺	32 069 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	71 987 ₺	122 ₺	2 773 ₺	32 124 ₺	54 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	72 648 ₺	2 521 ₺	33 919 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	73 868 ₺	122 ₺	2 773 ₺	34 004 ₺	85 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	52 143 ₺	2 521 ₺	13 415 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	53 019 ₺	122 ₺	2 773 ₺	13 156 ₺	-259 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	63 809 ₺	2 521 ₺	25 080 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	64 880 ₺	122 ₺	2 773 ₺	25 017 ₺	-63 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	78 516 ₺	2 521 ₺	39 787 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	79 834 ₺	122 ₺	2 773 ₺	39 971 ₺	184 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	82 042 ₺	2 521 ₺	43 314 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	83 420 ₺	122 ₺	2 773 ₺	43 557 ₺	243 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	82 327 ₺	2 521 ₺	43 598 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	83 709 ₺	122 ₺	2 773 ₺	43 846 ₺	248 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	81 981 ₺	2 521 ₺	43 252 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	83 358 ₺	122 ₺	2 773 ₺	43 494 ₺	242 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	74 607 ₺	2 521 ₺	35 878 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	75 860 ₺	122 ₺	2 773 ₺	35 996 ₺	118 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	80 822 ₺	2 521 ₺	42 093 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	82 179 ₺	122 ₺	2 773 ₺	42 315 ₺	222 ₺
14:00	15:00	36 208 ₺	83 495 ₺	2 521 ₺	44 766 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	84 897 ₺	122 ₺	2 773 ₺	45 034 ₺	267 ₺
15:00	16:00	36 208 ₺	84 316 ₺	2 521 ₺	45 587 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	85 732 ₺	122 ₺	2 773 ₺	45 868 ₺	281 ₺
16:00	17:00	36 208 ₺	85 226 ₺	2 521 ₺	46 497 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	86 657 ₺	122 ₺	2 773 ₺	46 794 ₺	296 ₺
17:00	18:00	36 208 ₺	85 136 ₺	2 521 ₺	46 407 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	86 566 ₺	122 ₺	2 773 ₺	46 702 ₺	295 ₺
18:00	19:00	36 208 ₺	84 123 ₺	2 521 ₺	45 394 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	85 536 ₺	122 ₺	2 773 ₺	45 672 ₺	278 ₺
19:00	20:00	36 208 ₺	83 044 ₺	2 521 ₺	44 315 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	84 438 ₺	122 ₺	2 773 ₺	44 575 ₺	260 ₺
20:00	21:00	36 208 ₺	84 001 ₺	2 521 ₺	45 273 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	85 412 ₺	122 ₺	2 773 ₺	45 548 ₺	276 ₺
21:00	22:00	36 208 ₺	83 572 ₺	2 521 ₺	44 843 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	84 976 ₺	122 ₺	2 773 ₺	45 112 ₺	269 ₺
22:00	23:00	36 208 ₺	77 619 ₺	2 521 ₺	38 890 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	78 923 ₺	122 ₺	2 773 ₺	39 059 ₺	169 ₺
23:00	00:00	36 208 ₺	72 865 ₺	2 521 ₺	34 136 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	74 088 ₺	122 ₺	2 773 ₺	34 225 ₺	89 ₺
Toplam		1.857.525 ₺	1.857.525 ₺	60.502 ₺	928.032 ₺	Toplam		887.234 ₺	1.888.716 ₺	2.939 ₺	66.553 ₺	931.991 ₺	3.960 ₺

Çizelge B.10 Ekim 2018 kâr/zarar analizi

		Ekim	2018	Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu				Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	75 906 ₺	2 325 ₺	37 372 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	77 180 ₺	122 ₺	2 558 ₺	37 532 ₺	160 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	73 257 ₺	2 325 ₺	34 724 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	74 487 ₺	122 ₺	2 558 ₺	34 839 ₺	115 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	63 256 ₺	2 325 ₺	24 723 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	64 319 ₺	122 ₺	2 558 ₺	24 671 ₺	-53 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	58 097 ₺	2 325 ₺	19 564 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	59 072 ₺	122 ₺	2 558 ₺	19 424 ₺	-140 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	53 500 ₺	2 325 ₺	14 967 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	54 399 ₺	122 ₺	2 558 ₺	14 750 ₺	-217 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	65 264 ₺	2 325 ₺	26 731 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	66 360 ₺	122 ₺	2 558 ₺	26 711 ₺	-19 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	68 937 ₺	2 325 ₺	30 404 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	70 095 ₺	122 ₺	2 558 ₺	30 447 ₺	43 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	61 607 ₺	2 325 ₺	23 074 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	62 642 ₺	122 ₺	2 558 ₺	22 993 ₺	-81 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	77 032 ₺	2 325 ₺	38 499 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	78 325 ₺	122 ₺	2 558 ₺	38 677 ₺	178 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	83 104 ₺	2 325 ₺	44 571 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	84 500 ₺	122 ₺	2 558 ₺	44 851 ₺	280 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	80 231 ₺	2 325 ₺	41 697 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	81 578 ₺	122 ₺	2 558 ₺	41 930 ₺	232 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	82 349 ₺	2 325 ₺	43 816 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	83 732 ₺	122 ₺	2 558 ₺	44 084 ₺	268 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	71 527 ₺	2 325 ₺	32 994 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	72 728 ₺	122 ₺	2 558 ₺	33 080 ₺	86 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	81 167 ₺	2 325 ₺	42 634 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	82 530 ₺	122 ₺	2 558 ₺	42 882 ₺	248 ₺
14:00	15:00	36 208 ₺	82 389 ₺	2 325 ₺	43 856 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	83 772 ₺	122 ₺	2 558 ₺	44 124 ₺	268 ₺
15:00	16:00	36 208 ₺	83 268 ₺	2 325 ₺	44 735 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	84 667 ₺	122 ₺	2 558 ₺	45 018 ₺	283 ₺
16:00	17:00	36 208 ₺	84 472 ₺	2 325 ₺	45 938 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	85 890 ₺	122 ₺	2 558 ₺	46 242 ₺	303 ₺
17:00	18:00	36 208 ₺	83 071 ₺	2 325 ₺	44 538 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	84 466 ₺	122 ₺	2 558 ₺	44 818 ₺	280 ₺
18:00	19:00	36 208 ₺	80 597 ₺	2 325 ₺	42 064 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	81 950 ₺	122 ₺	2 558 ₺	42 302 ₺	238 ₺
19:00	20:00	36 208 ₺	80 894 ₺	2 325 ₺	42 361 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	82 252 ₺	122 ₺	2 558 ₺	42 604 ₺	243 ₺
20:00	21:00	36 208 ₺	82 339 ₺	2 325 ₺	43 806 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	83 722 ₺	122 ₺	2 558 ₺	44 073 ₺	268 ₺
21:00	22:00	36 208 ₺	81 776 ₺	2 325 ₺	43 243 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	83 149 ₺	122 ₺	2 558 ₺	43 501 ₺	258 ₺
22:00	23:00	36 208 ₺	74 825 ₺	2 325 ₺	36 292 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	76 082 ₺	122 ₺	2 558 ₺	36 434 ₺	141 ₺
23:00	00:00	36 208 ₺	71 948 ₺	2 325 ₺	33 415 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	73 156 ₺	122 ₺	2 558 ₺	33 508 ₺	93 ₺
Toplam		1.800.812 ₺	1.800.812 ₺	55.804 ₺	876.017 ₺	Toplam		887.234 ₺	1.831.051 ₺	2.939 ₺	61.384 ₺	879.494 ₺	3.477 ₺

Çizelge B.11 Kasım 2018 kâr/zarar analizi

	Kasım	2018	Buharsız				Buhar Enjeksiyonlu						Buharlı - Buharsız Farkı
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL
00:00	01:00	36 208 ₺	70 460 ₺	2 140 ₺	32 111 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	71 643 ₺	122 ₺	2 354 ₺	32 198 ₺	87 ₺
01:00	02:00	36 208 ₺	69 117 ₺	2 140 ₺	30 769 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	70 278 ₺	122 ₺	2 354 ₺	30 833 ₺	64 ₺
02:00	03:00	36 208 ₺	67 452 ₺	2 140 ₺	29 104 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	68 585 ₺	122 ₺	2 354 ₺	29 140 ₺	36 ₺
03:00	04:00	36 208 ₺	59 880 ₺	2 140 ₺	21 532 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	60 886 ₺	122 ₺	2 354 ₺	21 441 ₺	-91 ₺
04:00	05:00	36 208 ₺	45 153 ₺	2 140 ₺	6 805 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	45 912 ₺	122 ₺	2 354 ₺	6 467 ₺	-338 ₺
05:00	06:00	36 208 ₺	62 399 ₺	2 140 ₺	24 050 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	63 447 ₺	122 ₺	2 354 ₺	24 002 ₺	-49 ₺
06:00	07:00	36 208 ₺	68 088 ₺	2 140 ₺	29 740 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	69 231 ₺	122 ₺	2 354 ₺	29 786 ₺	47 ₺
07:00	08:00	36 208 ₺	67 108 ₺	2 140 ₺	28 760 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	68 235 ₺	122 ₺	2 354 ₺	28 790 ₺	30 ₺
08:00	09:00	36 208 ₺	69 389 ₺	2 140 ₺	31 040 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	70 554 ₺	122 ₺	2 354 ₺	31 109 ₺	69 ₺
09:00	10:00	36 208 ₺	72 668 ₺	2 140 ₺	34 319 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	73 888 ₺	122 ₺	2 354 ₺	34 443 ₺	124 ₺
10:00	11:00	36 208 ₺	70 827 ₺	2 140 ₺	32 478 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	72 016 ₺	122 ₺	2 354 ₺	32 571 ₺	93 ₺
11:00	12:00	36 208 ₺	71 910 ₺	2 140 ₺	33 562 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	73 118 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 673 ₺	111 ₺
12:00	13:00	36 208 ₺	70 709 ₺	2 140 ₺	32 361 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	71 896 ₺	122 ₺	2 354 ₺	32 451 ₺	91 ₺
13:00	14:00	36 208 ₺	72 063 ₺	2 140 ₺	33 715 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	73 274 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 829 ₺	113 ₺
14:00	15:00	36 208 ₺	72 495 ₺	2 140 ₺	34 146 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	73 712 ₺	122 ₺	2 354 ₺	34 267 ₺	121 ₺
15:00	16:00	36 208 ₺	72 913 ₺	2 140 ₺	34 565 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	74 137 ₺	122 ₺	2 354 ₺	34 692 ₺	128 ₺
16:00	17:00	36 208 ₺	72 874 ₺	2 140 ₺	34 525 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	74 097 ₺	122 ₺	2 354 ₺	34 652 ₺	127 ₺
17:00	18:00	36 208 ₺	72 209 ₺	2 140 ₺	33 860 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	73 421 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 975 ₺	116 ₺
18:00	19:00	36 208 ₺	73 142 ₺	2 140 ₺	34 794 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	74 370 ₺	122 ₺	2 354 ₺	34 925 ₺	132 ₺
19:00	20:00	36 208 ₺	72 049 ₺	2 140 ₺	33 701 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	73 259 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 814 ₺	113 ₺
20:00	21:00	36 208 ₺	72 039 ₺	2 140 ₺	33 691 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	73 249 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 804 ₺	113 ₺
21:00	22:00	36 208 ₺	71 807 ₺	2 140 ₺	33 458 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	73 012 ₺	122 ₺	2 354 ₺	33 567 ₺	109 ₺
22:00	23:00	36 208 ₺	69 442 ₺	2 140 ₺	31 093 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	70 608 ₺	122 ₺	2 354 ₺	31 163 ₺	69 ₺
23:00	00:00	36 208 ₺	66 720 ₺	2 140 ₺	28 371 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	67 840 ₺	122 ₺	2 354 ₺	28 395 ₺	24 ₺
Toplam		1.652 913 ₺	1.652 913 ₺	51 371 ₺	732 551 ₺	Toplam		887 234 ₺	1 680 669 ₺	2 939 ₺	56 508 ₺	733 988 ₺	1.437 ₺

Çizelge B.12 Aralık 2018 kâr/zarar analizi

Aralık		2018		Buharsız			Buhar Enjeksiyonlu							Buharlı - Buharsız Farkı	
Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Saat	Saat	Yakıt Maliyeti	Elektrik Satış	Su Maliyeti	EOH Maliyeti	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar TL	Kar/Zarar Farkı	
00:00	01:00	36 208 ₺	65 633 ₺	2 110 ₺	27 315 ₺	00:00	01:00	36 968 ₺	66 735 ₺	122 ₺	2 321 ₺	27 324 ₺	9 ₺		
01:00	02:00	36 208 ₺	58 254 ₺	2 110 ₺	19 937 ₺	01:00	02:00	36 968 ₺	59 232 ₺	122 ₺	2 321 ₺	19 821 ₺	-115 ₺		
02:00	03:00	36 208 ₺	45 179 ₺	2 110 ₺	6 861 ₺	02:00	03:00	36 968 ₺	45 938 ₺	122 ₺	2 321 ₺	6 526 ₺	-335 ₺		
03:00	04:00	36 208 ₺	43 928 ₺	2 110 ₺	5 611 ₺	03:00	04:00	36 968 ₺	44 666 ₺	122 ₺	2 321 ₺	5 255 ₺	-356 ₺		
04:00	05:00	36 208 ₺	34 353 ₺	2 110 ₺	-3 954 ₺	04:00	05:00	36 968 ₺	34 930 ₺	122 ₺	2 321 ₺	-4 481 ₺	-517 ₺		
05:00	06:00	36 208 ₺	41 105 ₺	2 110 ₺	2 788 ₺	05:00	06:00	36 968 ₺	41 796 ₺	122 ₺	2 321 ₺	2 384 ₺	-403 ₺		
06:00	07:00	36 208 ₺	53 952 ₺	2 110 ₺	15 635 ₺	06:00	07:00	36 968 ₺	54 858 ₺	122 ₺	2 321 ₺	15 447 ₺	-188 ₺		
07:00	08:00	36 208 ₺	60 543 ₺	2 110 ₺	22 226 ₺	07:00	08:00	36 968 ₺	61 560 ₺	122 ₺	2 321 ₺	22 149 ₺	-77 ₺		
08:00	09:00	36 208 ₺	63 293 ₺	2 110 ₺	24 975 ₺	08:00	09:00	36 968 ₺	64 356 ₺	122 ₺	2 321 ₺	24 945 ₺	-31 ₺		
09:00	10:00	36 208 ₺	68 601 ₺	2 110 ₺	30 284 ₺	09:00	10:00	36 968 ₺	69 753 ₺	122 ₺	2 321 ₺	30 342 ₺	58 ₺		
10:00	11:00	36 208 ₺	67 458 ₺	2 110 ₺	29 140 ₺	10:00	11:00	36 968 ₺	68 591 ₺	122 ₺	2 321 ₺	29 179 ₺	39 ₺		
11:00	12:00	36 208 ₺	69 611 ₺	2 110 ₺	31 293 ₺	11:00	12:00	36 968 ₺	70 779 ₺	122 ₺	2 321 ₺	31 368 ₺	75 ₺		
12:00	13:00	36 208 ₺	68 354 ₺	2 110 ₺	30 036 ₺	12:00	13:00	36 968 ₺	69 501 ₺	122 ₺	2 321 ₺	30 090 ₺	54 ₺		
13:00	14:00	36 208 ₺	68 278 ₺	2 110 ₺	29 960 ₺	13:00	14:00	36 968 ₺	69 424 ₺	122 ₺	2 321 ₺	30 013 ₺	53 ₺		
14:00	15:00	36 208 ₺	68 917 ₺	2 110 ₺	30 599 ₺	14:00	15:00	36 968 ₺	70 074 ₺	122 ₺	2 321 ₺	30 663 ₺	64 ₺		
15:00	16:00	36 208 ₺	69 723 ₺	2 110 ₺	31 405 ₺	15:00	16:00	36 968 ₺	70 894 ₺	122 ₺	2 321 ₺	31 482 ₺	77 ₺		
16:00	17:00	36 208 ₺	69 934 ₺	2 110 ₺	31 616 ₺	16:00	17:00	36 968 ₺	71 108 ₺	122 ₺	2 321 ₺	31 697 ₺	81 ₺		
17:00	18:00	36 208 ₺	70 195 ₺	2 110 ₺	31 877 ₺	17:00	18:00	36 968 ₺	71 374 ₺	122 ₺	2 321 ₺	31 963 ₺	85 ₺		
18:00	19:00	36 208 ₺	69 895 ₺	2 110 ₺	31 578 ₺	18:00	19:00	36 968 ₺	71 069 ₺	122 ₺	2 321 ₺	31 658 ₺	80 ₺		
19:00	20:00	36 208 ₺	67 399 ₺	2 110 ₺	29 081 ₺	19:00	20:00	36 968 ₺	68 530 ₺	122 ₺	2 321 ₺	29 119 ₺	38 ₺		
20:00	21:00	36 208 ₺	68 501 ₺	2 110 ₺	30 183 ₺	20:00	21:00	36 968 ₺	69 651 ₺	122 ₺	2 321 ₺	30 240 ₺	57 ₺		
21:00	22:00	36 208 ₺	68 123 ₺	2 110 ₺	29 805 ₺	21:00	22:00	36 968 ₺	69 267 ₺	122 ₺	2 321 ₺	29 856 ₺	50 ₺		
22:00	23:00	36 208 ₺	62 487 ₺	2 110 ₺	24 170 ₺	22:00	23:00	36 968 ₺	63 537 ₺	122 ₺	2 321 ₺	24 125 ₺	-44 ₺		
23:00	00:00	36 208 ₺	58 810 ₺	2 110 ₺	20 492 ₺	23:00	00:00	36 968 ₺	59 797 ₺	122 ₺	2 321 ₺	20 386 ₺	-106 ₺		
Toplam		1.482.526 ₺	1.482.526 ₺	50.633 ₺	562.902 ₺	Toplam		887.234 ₺	1.507.421 ₺	2.939 ₺	55.697 ₺	561.552 ₺	-1.350 ₺		

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rufi ÖZGÜR
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.07.1984, Razgrad
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ozgur.rufi@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen - Matematik	Dede Korkut Anadolu Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008 - Halen	Uni-Mar Marmara Enerji Santrali	Mekanik Bakım Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Özgür, R ve Öztürk, R., (2018). “The Effect of Steam Injection that is Applied to Increase Performance of the Gas Turbines”, 4th International Congress on Natural and Engineering Sciences, 9-12 October 2018, Bodrum.