



ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALİ İLE BÖLGESEL ISITMA YAPILABİLİRLİĞİN ENERJİ ANALİZİ

Halil İbrahim TOPAL*, Mehmet KOPAC** ve Mustafa EYRİBOYUN***

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 67100 Zonguldak,

h.ibrahimtopal@beun.edu.tr, **kopacm@karaelmas.edu.tr, *eyriboyun@beun.edu.tr

(Geliş Tarihi: 24.02.2015, Kabul Tarihi: 15.11.2016)

Özet: Elektrik üretimi için tasarlanmış geleneksel kömür yanmalı güç üretim santrallerinde yakıt enerjisinin yaklaşık 1/3'ü faydalı enerjiye dönüştürülebilirken; diğer kısmı baca gazı ve kondanserde soğutma suyu ile çevreye atılmaktadır. Çevreye atılan bu enerjiyi, santrali kojenerasyon sisteme dönüştürerek azaltmak mümkündür. Bu çalışmada Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nde kondanserden çevreye atılan ısı miktarını azaltmak amacıyla; santralin kojenerasyon santrale dönüştürülme ihtimalleri incelenmiştir. Dönüşüm için buhar türbininin dört farklı yerinden ara buhar çekerek dört farklı model geliştirilmiş, en verimli buhar alma basıncı tespit edilmiş ve üretilecek olan ısı ile bölgesel ısıtmanın yapılabilirliği tartışılmıştır. Ara buhar oranı 0 ile 0,5 arasında 0,05 miktarında artırılarak her durum için enerji analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda türbin çıkışına yaklaşıldıkça elektrik üretiminde daha az kayıplar meydana geldiği, kondanserden daha az miktarda enerji atıldığı tespit edilmiştir. Bölgesel ısıtma yapmak için en uygun yerin, santralin enerjiden yararlanma oranını en yüksek yapan ara buhar alma yeri olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kojenerasyon, Bölgesel ısıtma, Enerji verimliliği.

THE FEASIBILITY ENERGY ANALYSIS OF CATALAGZI THERMAL ELECTRICITY POWER PLANT FOR DISTRICT HEATING APPLICATION

Abstract: In a conventional coal-fired power plant, which is only designed for electricity generation, while nearly 1/3 of fuel energy can be converted to useful energy, the other part of the energy is wasted as stack gases and cooling water of condensers. This waste energy could be recovered by modifying the plant as cogeneration system. It is possible to employ district heating by cogeneration system which generates both electricity and useful heat at the same time. In this study, Catalagzi Thermal Electricity Power Plant has been converted a cogeneration system in order to reduce waste energy amount that is transferred to the cooling water of condensers. To simply the steam extraction point, four different cycle model have been developed and the most appropriate steam extraction point has been identified. Steam extraction ratio has been increased from 0 to 0.5 in the amount of 0.05 and energetic analysis has been made for each case. The results have been showed that the most appropriate steam extraction point is the point that has made energy efficiency ratio maximum in power plant.

Keywords: Cogeneration, District heating, Energy efficiency.

SEMBOLLER

COP	Etkinlik katsayısı
\bar{c}_p	Molar özgül ısı [kJ/kmol.K]
f	Ara buhar oranı
h	Entalpi [kJ/kg]
\bar{h}	Molar entalpi [kJ/kmol]
H_u	Yakıtın alt ısıl değeri [kJ/kg]
\dot{Q}	Isı enerjisi [kW]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/s]
\dot{n}	Molar debi [kmol/s]
P	Basınç [kPa]
R_u	Evrensel gaz sabiti [kJ/kmol.K]
T	Sıcaklık [°C]
\dot{V}	Hacimsel debi [m ³ /s]
\dot{W}	Güç [kW]

\dot{W}_{azalma}	Güç üretimindeki azalma [kW]
y_i	Molar oran
η	Verim

KISALTMALAR

ABT	Alçak Basınç Türbini
ÇATES	Çatalağzı Termik Elektrik Santrali
EYO	Enerjiden Yararlanma Oranı
OBT	Orta Basınç Türbini
YBT	Yüksek Basınç Türbini

İNDİSLER

t	Türbin
p	Pompa
g	Giriş
ç	Çıkış

GİRİŞ

Her ülke fosil yakıt miktarının azalması ve fiyatlarının artmasına bağlı olarak kendi enerji politikasını geliştirmelidir. Diğer taraftan fosil yakıt yanma ürünlerinin ekosisteme ve insan sağlığına verdiği zarar yüzünden bilim insanları daha uygun çözümler bulmalı ve devletler de enerji politikalarını daha temiz enerji kullanımını teşvik edici şekilde sürdürmelidir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin hala istenen seviyede olmaması nedeniyle fosil yakıt kaynaklı enerji üretiminde verimleri yüksek sistemler tasarlanmalıdır. Gelecek kuşakların enerji ihtiyaçlarının karşılanabilirliğini tehlikeye atmamak için enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Termik santraller, ısı enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu dönüşüm sırasında yakıttan elde edilen ısı enerjisinin büyük bir çoğunluğu, termodinamik çevrim gereği kondanser ve bacadan çevreye atılmaktadır. Kondanserden atılmak zorunda kalınan ısı enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülerek ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinde kullanılabilir.

Avrupa'daki birçok yerleşim birimi yakınlarına kurulan termik güç santralleri incelendiğinde, bu santrallerin hem elektrik enerjisini hem de ısı enerjisini birlikte üreten kojenerasyon ya da diğer ismiyle birleşik ısı ve güç santralleri oldukları görülmektedir (Güngör vd. 2007). Bu santrallerde, elektrik üretiminde kullanılmayan ısı enerjisinin bir kısmı çevreye atılmak yerine, bölge ısıtma/soğutma sistemleri, seracılık gibi alanlarda değerlendirilerek santraller çevreye ve ekonomiye daha yararlı hale gelmekte, bunun yanında santralde kullanılan yakıt enerjisinden daha yüksek oranda yararlanılmaktadır.

Almanya'da bulunan Mannheim Termik Santrali yakıt olarak kömür kullanan bir santral olup, 1000 MW_t ısı enerjisi üreterek 516 km uzunluğundaki boru şebekesi ile Mannheim şehrini bölgesel ısıtma sistemiyle ısıtmaktadır. İstanbul'da bulunan Esenkent Termik Santrali, doğal gaz ile çalışan bir termik santraldir ve bölgesel ısıtma sistemiyle 7400 konutun ısıtılmasını sağlamaktadır. Santralde üretilen ısı enerjisi 45 MW_t olarak gerçekleştirilmektedir.

Eyriboyun ve Çalık (2003), Çatalağzı Termik Elektrik Santrali yoğunlaştırıcı soğutma suyunun atık ısısından, ısı pompası yardımıyla 30 dairenin ısıtılmasını sağlayacak bir sistem geliştirmişlerdir. Sistemin ısı performansını; Etkinlik Katsayısı (COP) ve Enerjiden Yararlanma Oranı (EYO) anlamında NH₃, R-22 ve HFC-134a soğutkanları için ayrı ayrı hesaplamışlardır.

Foncsa and Schneider (2004), Danimarka Kopenhag'da bulunan ve bölge ısıtması yapan AVV1 Termik Santrali için beş farklı duruma göre simülasyon yapmıştır. Santralin tüm elemanlarının enerji denge eşitlikleri yazılarak termodinamik analizi yapılmıştır.

Santral sadece elektrik üretimi ile hem elektrik üretimi hem de ısıtma durumuna göre iki farklı biçimde simüle edilmiştir. Sadece elektrik üretme durumunda %40'dan %100'e varan yüklerle göre simülasyon gerçekleştirilmiştir. Hem elektrik hem de ısı üretme durumunda santralin %100 yükte çalıştığı varsayılarak simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Kopac ve Hilalci (2006) yapmış oldukları çalışmada, Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali için enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Santralde kullanılan yakıtın türü tanecik büyüklüğü 0.5 mm olan düşük ısı değere sahip kömürdür. Her bir bileşenin ısı kaybını enerji analizi ile belirlemişler, tersinmezlik oranlarını (veya ekserji yıkım oranı) tüm santralde farklı çevre sıcaklıkları için uygulayıp ekserji analizini yapmışlardır. Çevre sıcaklığını 5-35°C arasında seçmişlerdir. Kazan, türbin, pompa, ısı değiştiriciler ve kondenser için farklı çevre sıcaklıklarında ekserji verimlerini ortaya koymuşlardır.

Erdem vd. (2009), "Sadece elektrik üretimi için dizayn edilmiş kömür yanmalı konvansiyonel termik santrallerde yakıt enerjisinin 2/3'ü baca gazları ve kondanserler ile atılmaktadır. Bu atık enerji bir yerleşim yerinin bölgesel ısıtma/soğutma talebini karşılamak amacıyla santrale trijenerasyon sistemi kurularak geri kazanılabilir." ifadelerine yer verirken yapmış oldukları çalışmada sadece elektrik üretimi için dizayn edilmiş olan kömür yanmalı termik santraldeki atık ısı ve diğer ısı kaynaklarını (ısı değiştiriciler) bölgesel ısıtma yapılabilirliği için araştırmışlardır. Enerji ve ekserji analizleri yapılarak bölgesel ısıtma için sistem verimini en iyi yapacak ara buhar çekim noktasını tayin etmişlerdir. Analiz sonuçları santralde en uygun buhar çekim noktasının düşük basınç türbin girişi olduğunu göstermiştir.

Şahin vd. (2011), Demir-Çelik Fabrikasındaki güç santraline enerji ve ekserji analizi uygulamıştır. Santral, eski ve yeni olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar birbirleriyle entegre olarak çalışmaktadır. Her bir ünitenin enerji kayıpları ve tersinmezlikleri enerji ve ekserji analizi uygulanarak belirlenmiştir. Ayrıca, üniteler tersinmezliklerine göre karşılaştırılmış ve verim artırıcı bazı önemli öneriler yapılmıştır.

Mevcut santraldeki toplam tersinmezliği 6054 kW olan üç basınç düşürücünün kaldırılması ve yerine bir turbojeneratör konulması önerilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, önerilen bu santralin mevcut santrale göre genel (1. Kanun) verim ve genel ekserji verim artışları sırasıyla % 2,27 ve 2,21 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kaynak enerjisinin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla Zonguldak İli Çatalağzı Beldesi'nde bulunan Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin (ÇATES) kondanseri soğutma suyu verilen ısı miktarının azaltılması amacıyla santral kojenerasyon santrale dönüştürülüp üretilen ısı ile bölgesel ısıtma yapılması halî (durumu) incelenmiştir.

Kojenerasyon dönüşüm, santralin buhar türbininden çekilen ara buhar ile yapılmıştır. Bunun için santrale dört farklı model uygulanmış, tüm modellerin ayrı ayrı enerji analizleri yapılmış ve en iyi ara buhar alma yeri tespit edilmiştir.

ÇATALAĞZI TERMİK ELEKTRİK SANTRALI

Zonguldak ili Kilimli ilçesine bağlı ve il merkezinin 17 km doğusunda Çatalağzı beldesinde bulunan Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES), her biri 150 MW_e gücündeki iki adet üniteyle toplam 300 MW_e elektrik enerjisi üretmektedir.

Santralin ana yakıtı taş kömürü filtrasyon ürünü, yardımcı yakıt fuel-oil ve motorindir. Günlük ortalama kömür ihtiyacı iki ünite için toplam 5000-5500 ton/gün olup; tek bir üniteye ait diğer teknik veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çatalağzı Termik Elektrik Santrali teknik verileri.

Özellik	Değer
Toplam güç	300 MW
Toplam ünite sayısı	2
Ünite gücü	150 MW
Besleme suyu sıcaklığı/basıncı/debisi	220°C/15 MPa/480 ton/h
Kızgın buhar sıcaklığı	535°C
Yeniden kızdırma sıcaklığı/basıncı/debisi	359°C/3.66MPa/438ton/h
Kondanser sıcaklığı/basıncı	35.5°C/6 kPa
Yakıt tipi	Kömür
Yakıt debisi	2×2700 ton/gün
Kömür alt ısı değeri	13794 kJ/kg
Yanma ürünleri debisi	600000 m ³ /h
Yanma bölgesine giren hava debisi	400000 m ³ /h
Baca gazı çıkış sıcaklığı	150 °C
Türbin mekanik verimi	0,95
Pompa mekanik verimi	0,98
Elektrik motor verimi	0,98

Çatalağzı Termik Elektrik Santrali Enerji Analizi

ÇATES Rankine çevrimine göre çalışan bir termik santraldir. Santralde bulunan elemanların tümü (türbin, kazan, pompa, yoğuşturucu ve besleme suyu ısıtıcıları) sürekli akışlı makinelerdir. Dolayısıyla çevrim elemanları sürekli akışlı açık bir sistem olarak incelenir.

Santralde iş akışkanı olarak kullanılan suyun kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim genellikle iş ve ısı geçişine göre oldukça küçüktür ve bu nedenle göz ardı edilebilir. ÇATES'e ait kütle akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Santral buhar türbin gruplarında üretilen güç:

$$\dot{W}_{YBT} = (\dot{m}_{13}h_{13} - \dot{m}_{14}h_{14}) \quad (1)$$

$$\dot{W}_{OBT} = (\dot{m}_{16}h_{16} - \dot{m}_{22}h_{22} - \dot{m}_{26}h_{26} - \dot{m}_{17}h_{17}) \quad (2)$$

$$\dot{W}_{ABT} = (\dot{m}_{17}h_{17} - \dot{m}_{28}h_{28} - \dot{m}_{32}h_{32} - \dot{m}_{36}h_{36} - \dot{m}_{18}h_{18}) \quad (3)$$

Toplam türbin gücü:

$$\dot{W}_t = \dot{W}_{YBT} + \dot{W}_{OBT} + \dot{W}_{ABT} \quad (4)$$

Santralde pompaların tükettiği güç:

$$\dot{W}_p = \frac{\dot{m}(h_g - h_c)}{\eta_p} \quad (5)$$

Termik santralde üretilen net güç:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_t \eta_t \eta_{EM} - \sum_{i=1}^n \dot{W}_{p,i} \quad (6)$$

Kazanda kömürün yakılmasıyla üretilen ısı enerjisi:

$$\dot{Q}_{yakut} = \dot{m}_{yakut} H_u \quad (7)$$

Santralin termik verimi:

$$\eta_{ter} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakut}} \quad (8)$$

Soğutma suyuna verilen enerji:

$$\dot{Q}_{soğ} = (\dot{m}_{18}h_{18} + \dot{m}_{42}h_{42} - \dot{m}_1h_1) \quad (9)$$

Baca gazı enerji kaybı:

Santral bacasından çevreye atılan gazlar farklı gazların y_i molar oranında birleşiminden oluşur ve mükemmel gaz olarak kabul edilebilir.

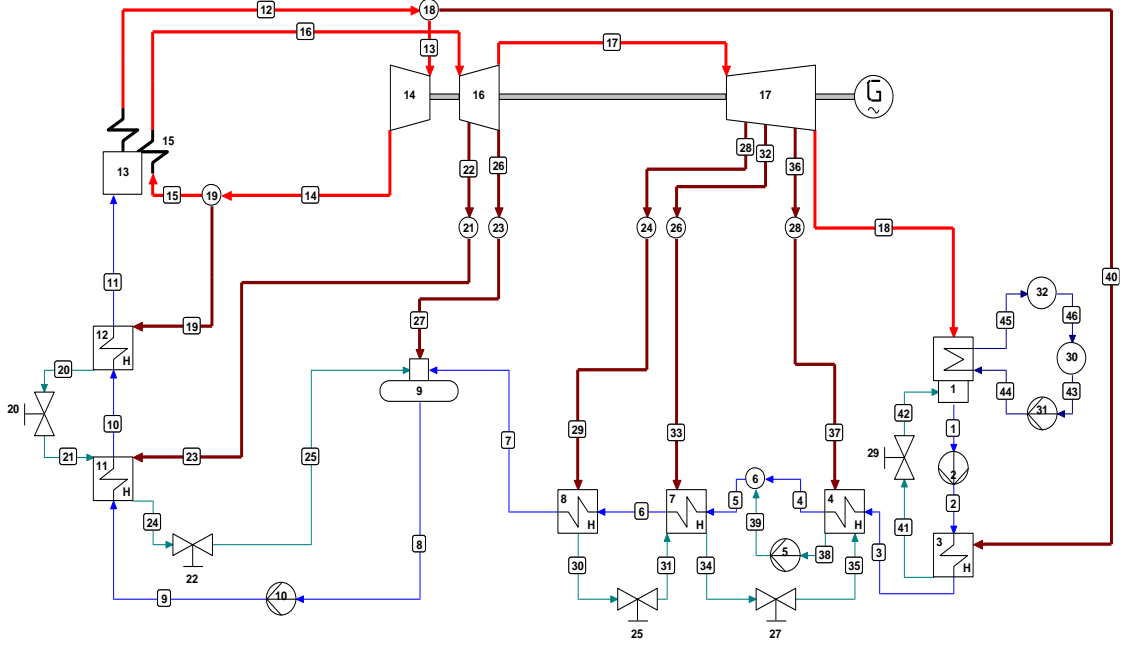
Baca gazlarının her birinin molar entalpisi ise $\bar{h}_{gaz} = y_i \bar{c}_p T$ şeklindedir. Bacadan atılan gazların toplam enerjisi:

$$\dot{Q}_{baca} = \dot{n}(\bar{h}_{@423K} - \bar{h}_{@298K}) \quad (10)$$

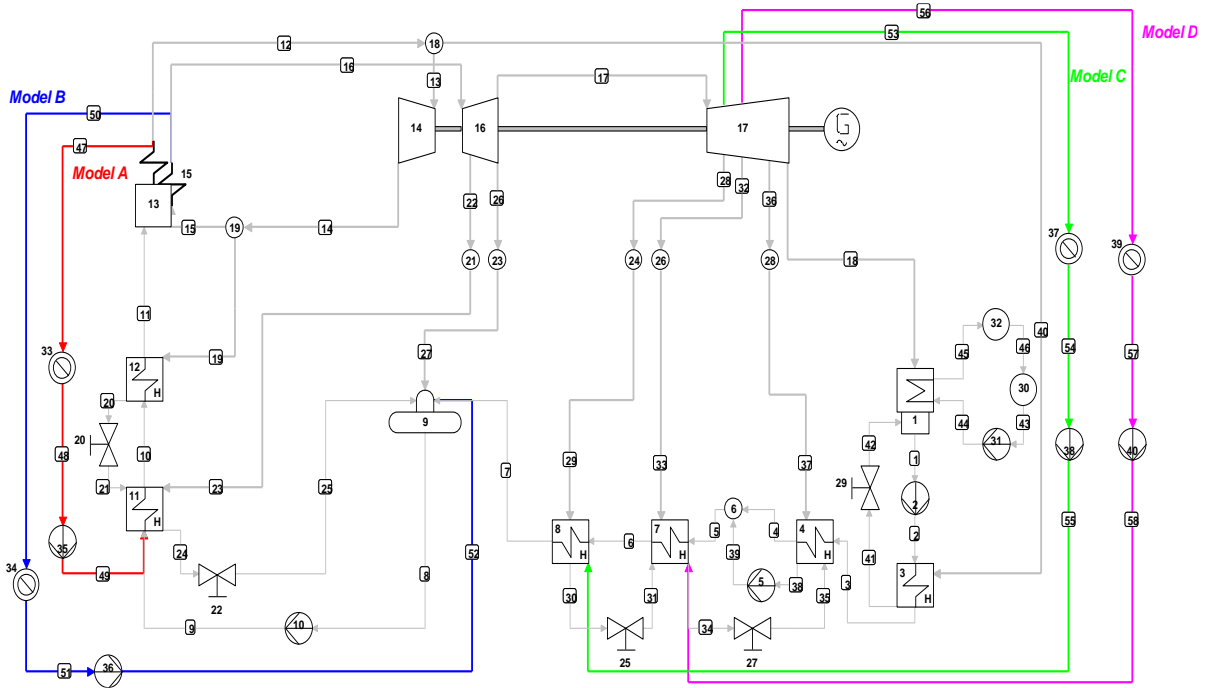
Baca gazlarının molar debisi:

$$\dot{n} = \frac{P\dot{V}}{R_u T} \quad (11)$$

Şeklinde olup R_u 'nun değeri 8,31447 kJ/kmol.K şeklindedir. Baca gazlarına ait veriler ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çatalağzı Termik Elektrik Santraline ait kütle akış şeması.



Şekil 2. ÇATES ile bölgesel ısıtma için 4 farklı Model olacak şekilde kütle akış şeması.

Tablo 2. Baca gazına ait veriler.

Ürün	y_i	a	$b \cdot 10^2$	$c \cdot 10^5$	$d \cdot 10^9$	$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$ (kJ/kmol.K)		$\bar{h}_{gaz} = y_i \bar{c}_p T$ (kJ/kmol)	
						$\bar{c}_p @ 298K$	$\bar{c}_p @ 423K$	$\bar{h} @ 298K$	$\bar{h} @ 423K$
CO ₂	0,17	22,26	-3,501	5,981	7,469	37,172	41,860	1883,13	3010,19
H ₂ O	0,2318	33,24	1,055	0,1923	-3,595	34,654	35,669	2393,82	3497,39
N ₂	0,538	28,90	0,8081	-0,157	-2,873	29,073	29,464	4661,21	6705,32
O ₂	0,06	25,48	-0,7155	1,52	1,312	29,408	30,728	525,83	779,89
SO ₂	0,0002	25,78	-3,812	5,797	8,612	39,897	44,132	2,37	3,73
Toplam	1,00	-	-	-	-	-	-	9466,38	13996,54

Tablo 3. ÇATES kütle akış şemasındaki noktalara ait termodinamik özellikler.

No	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Entalpi (kJ/kg)	Debi (kg/h)	Enerji Akışı (kW)
1	35,5	5,866	148,7	332520	13734,92
2	36,4	674,6	153,1	332520	14141,34
3	38	674,6	159,8	332520	14760,19
4	72,9	674,6	305,7	332520	28236,49
5	73,4	674,6	307,8	394580	33736,59
6	106,5	674,6	447	394580	48993,68
7	133,2	674,6	560,3	394580	61411,99
8	163,4	674,6	690,3	487150	93411,01
9	166,9	14934	713,6	487150	96563,96
10	203,6	14934	873,9	487150	118255,66
11	248,6	14934	1079	487150	146009,68
12	535	13337	3428	487150	463875,06
13	535	13337	3428	485860	462646,69
14	367,4	3952	3137	485860	423373,01
15	365,4	3952	3132	441690	384270,30
16	535	3638	3530	441690	433101,58
17	306,1	710	3072	393290	335607,47
18	35,75	5,866	2361	331230	217231,68
19	369,4	3903	3143	44170	38562,86
20	204,6	3903	873,9	44170	10722,27
21	201,6	1608	873,9	44170	10722,27
22	423,2	1657	3304	27520	25257,24
23	421,5	1608	3301	27520	25234,31
24	168	1608	710,8	71690	14154,79
25	163,5	674,6	710,8	71690	14154,79
26	308,1	710	3076	20880	17840,80
27	309,1	674,6	3079	20880	17858,20
28	233,2	342,2	2932	18680	15213,82
29	231,2	324,6	2929	18680	15198,26
30	111,5	324,6	467,9	20880	2713,82
31	109,5	141,2	467,9	20880	2713,82
32	150	145,1	2773	22010	16953,81
33	148	141,2	2770	22010	16935,47
34	78,4	141,2	328,4	40690	3711,83
35	78,4	141,2	328,4	40690	3711,83
36	79,6	41,2	2643	21370	15689,14
37	78,6	40	2642	21370	15683,21
38	75,8	40	317,4	62060	5471,62
39	76,8	674,7	322,1	62060	5552,65
40	535	13337	3428	1290	1228,37
41	99,9	13337	428,7	1290	153,62
42	35,75	5,866	428,7	1290	153,62
44	24	315	100,9	9100000	255052,78
45	43,2	315	181,2	9100000	458033,33

Tablo 3'te santrale ait verilen değerler ile 1-11 numaralı eşitlikler kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Sonuçlara santral elemanlarında meydana gelen ısı kayıpları da dahil edilmiştir. Santralin tamamı göz önüne alındığında kazanda kömürün yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisinin yaklaşık %35'i ile net güç üretiliyorken, %7'si baca gazı enerjisi olarak atmosfere atılmakta, %47'si kondanserde soğutma suyuna aktarılmakta, %11'i pompaların tükettikleri güç ile santralin diğer elemanlarında meydana gelen ısı kayıpları olarak gerçekleşmektedir.

ÇATES İLE BÖLGESEL ISITMA YAPILMASI

Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin kondanserinden çevreye atılan ısının azaltılması amacıyla kojenerasyon tesise dönüştürülerek bölgesel ısıtma yapılabilir.

- Santral bacasından çevreye 150°C sıcaklığında 30 MW'lık ısı enerjisine sahip yanma ürünleri gazları atılmaktadır. Ancak bu enerjinin kullanılması baca gazı sıcaklığının SO₂'nin yoğunlaşma sıcaklığının altına düşmesine ve korozif H₂SO₄ oluşmasına sebep olur.

- Kondanserde soğutma suyuna 200 MW civarında ısı enerjisi transfer edilmektedir. Fakat kondanserdeki iş akışkanının yoğunlaşma sıcaklığının 35°C olması 90°C-70°C sıcak sulu ısıtma yöntemi ile çalışan sistemler için uygun bir sıcaklık değildir.

- ÇATES buhar türbininden ara buhar çekerek bölgesel ısıtma yapmak mümkündür. Bu işlemi yaparken santralin elektrik üretiminde minimum kayıp meydana getirecek aynı zamanda soğutma suyuna verilen ısı miktarını da en az düzeyde tutacak bir dönüşüm yapmak en uygun çözüm olacaktır. Bu çalışmada; ÇATES için dört farklı model geliştirilmiş (Model A, Model B, Model C ve Model D) ve geliştirilen her bir modelin ayrı ayrı enerji analizi yapılmıştır.

Tablo 4. ÇATES simülasyon sonuçları.

Kazanda üretilen ısı enerjisi [kW]	431062
Türbin grubu gücü [kW]	164188
YBT [kW]	39273
OBT [kW]	54396
ABT [kW]	70519
Jeneratörde üretilen net güç [kW]	152860
Pompaların tükettiği toplam güç [kW]	3831
Santralde üretilen net güç [kW]	149578
Soğutma suyuna verilen ısı enerjisi [kW]	203650
Baca gazı kayıp enerjisi [kW]	30873
Isı kayıpları [kW]	28318
Termik verim (%)	34,7

Şekil 2'de Model A; direkt kazan çıkışından alınan kızgın buharı, Model B; yüksek basınç türbininden çıkmış ve tekrar kızdırılmış olan kızgın buharı, Model C; alçak basınç türbininin birinci ara buhar alma noktasından bölgesel ısıtma için çekilen ara buharı, Model D ise alçak basınç buhar türbininin ikinci ara buhar alma noktasından çekilen buharı ifade etmektedir. Bölgesel ısıtma için santralden çekilen buhar bir ısı değiştiricisinden geçirilerek tekrar santrale beslenir. Alçak basınç buhar türbininin üçüncü ve dördüncü ara buhar alma noktalarından bölgesel ısıtma için buhar çekmek doğru olmaz. Çünkü bu noktalarda buhar sıcaklıkları sırasıyla 79,6°C ve 35,75°C'dir. Bu sıcaklıklar da 90 - 70°C sıcak sulu ısıtma sistemleri için uygun değildir. Tablo 5'te modellemeler sonucu ortaya çıkan yeni noktaların termodinamik özellikleri verilmiştir.

Modellemelerde bölgesel ısıtma için çekilen ara buharın (\dot{m}_{BIS}) kazana giren sıkıştırılmış sıvı suya (\dot{m}_{11}) oranı:

$$f = \frac{\dot{m}_{BIS}}{\dot{m}_{11}} \quad (12)$$

Tablo 5. Modellemeler sonunda ortaya çıkan yeni noktaların termodinamik özellikleri.

	MODEL A	MODEL B	MODEL C	MODEL D			
h ₄₇	3428,0	h ₅₀	3530,0	h ₅₃	2932,0	h ₅₆	2773,0
h ₄₈	709,9	h ₅₁	560,1	h ₅₄	444,6	h ₅₇	307,4
h ₄₉	713,6	h ₅₂	560,3	h ₅₅	447,0	h ₅₈	307,8

Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhardan üretilen ısı:
 $\dot{Q}_{BIS} = \dot{m}_{BIS}(h_{BIS} - h_o)$ (13)

olup buradaki h_{BIS} ifadesi bölgesel ısıtma için santralden çekilen buharın entalpi değeri, h_o ifadesi ise ısı değiştiricisi çıkışındaki entalpi değerini göstermektedir.

Bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar, ısı değiştiricisinden geçtikten sonra sıvı hale geçer. Sıvı haldeki su, pompa ile basınçlandırılarak uygun bir noktadan ön ısıtıcılara verilir. Bu işlem için pompada harcanan güç:

$$W_{p,BIS} = \frac{\dot{m}_{BIS}(h_c - h_g)}{\eta_p}$$
 (14)

Dönüşüm yapıldıktan sonra santralde üretilen net güç:

$$W_{net,BIS} = W_t \eta_t \eta_{EM} - \sum_{i=1}^n W_{p,i} - W_{p,BIS}$$
 (15)

Enerjiden yararlanma oranı:

$$EYO = \frac{\dot{Q}_{BIS} + \dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}}$$
 (16)

Isı pompaları elektrik enerjisi tüketerek bir ortamın ısıtılmasını sağlamaktadır. Isı pompalarının etkinlikleri *COP* adı verilen performans katsayısı ile ölçülür. Santralde yapılan dönüşüm sonrasında ısı enerjisi üretilecek buna karşılık güç üretiminde azalma meydana gelecektir. Güç üretimindeki azalma $\dot{W}_{azalma} = \dot{W}_{net} - \dot{W}_{net,BIS}$ eşitliğiyle bulunabilir. Bu miktarın ne ölçüde olduğunu belirlemek için bölgesel ısıtma sisteminin performans katsayısı *COP*_{BIS} [Erdem, 2009] değerini ifade etmek gerekir.

$$COP_{BIS} = \frac{\dot{Q}_{BIS}}{\dot{W}_{azalma}}$$
 (17)

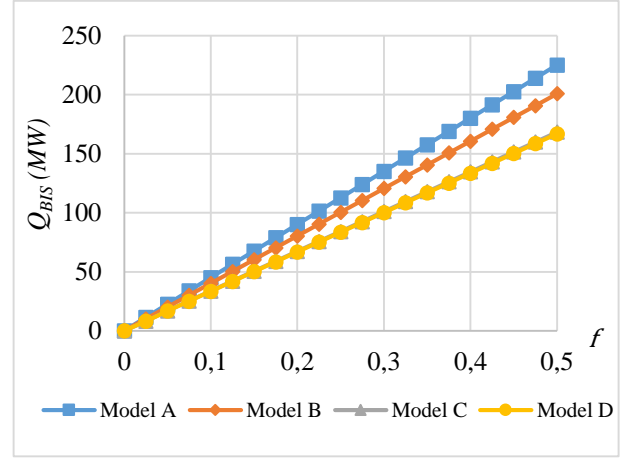
SONUÇLAR

ÇATES için geliştirilen ve Şekil 2'de gösterilen dört farklı model için enerji odaklı sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Enerji verimliliğini gözeterek hangi modelin santral için uygun olduğuna bu sonuçlar vasıtasıyla karar verilebilir.

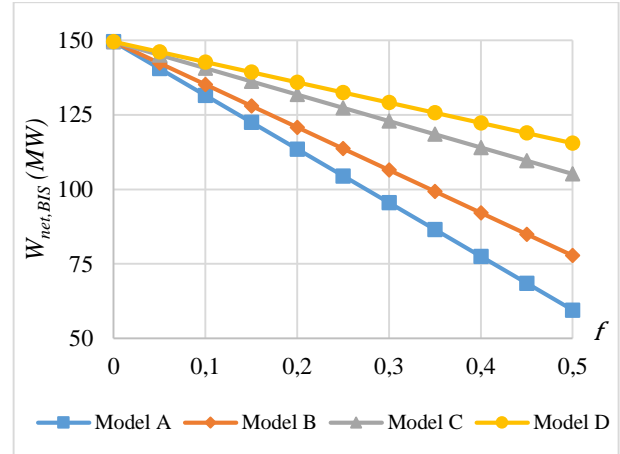
Bu çalışmada santralden çekilen ara buhar oranının f ; 0 (santralde sadece elektrik üretildiği durum) ile 0,5 arasında 0,05 miktarında artırılmasına bağlı olarak santralde meydana gelen değişim incelenmiştir.

Bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı enerjisinin, türbinden çekilen ara buhar oranına bağlı değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Tüm modellerde ara buhar oranının artmasına bağlı olarak bölgesel ısıtma için santralde üretilen ısı enerjisi miktarı da artmaktadır. Ara buhar oranının 0,5 olduğu durumda Model A, B, C ve D'de sırasıyla 225,1 MW, 200,8 MW, 168,3 MW ve 166,8

MW ısı enerjisi üretilmektedir. Bu şekle bakıldığında Model A'nın, diğer modellerden daha fazla ısı enerjisi üreten bir model olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Farklı modellerde BIS için santralde üretilen ısı miktarının ara buhar oranına bağlı değişimi.



Şekil 4. Santralde üretilen net gücün BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.

Bölgesel ısıtma için türbinden çekilen ara buhar, buharın çekildiği yerden itibaren türbin içinden daha düşük kütleli debide buharın geçmesi demektir. Türbinde üretilen güç de kütleli debiyle doğru orantılı olduğu için elektrik üretiminde azalma meydana gelecektir. Türbin gücünü etkileyen bir diğer faktör de kızgın buharın sahip olduğu entalpidir.

Modellemeler sonucunda bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranının, santralde üretilen net güce bağlı değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bölgesel ısıtma için çekilen ara buharın artmasıyla santralde üretilen net güçte azalma meydana gelmektedir.

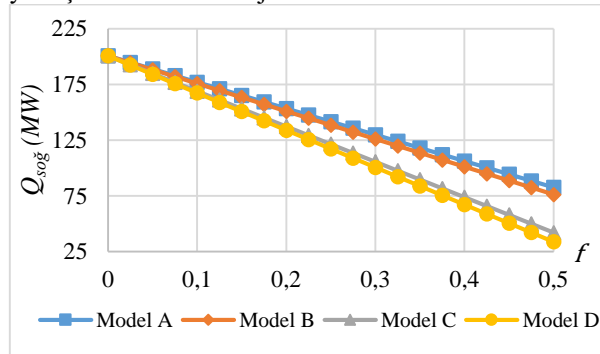
Santralden çekilen ara buhar oranı 0,5 olduğunda santralde üretilen net güç Model A, B, C ve D'de sırasıyla 59,5 MW, 77,8 MW, 105,2 MW ve 115,5 MW olarak gerçekleşirken; yine modellerde sırasıyla %60,2, %48, %29,63 ve %22,74 oranında güç üretiminde azalma gerçekleşmektedir.

Şekil 3 ve 4 incelendiğinde, Model A; bütün ara buhar oranları için en yüksek BIS ısıyı üreten buna karşılık toplam net güçte en çok düşüşe neden olan modeldir. Şekil 4'den çıkarılabilecek en önemli sonuç; ara buhar çekilen basınç, türbin çıkış basıncına yaklaştıkça, türbinde üretilen güçteki değişim daha az olmaktadır. Bu sonuç da bölgesel ısıtma için ara buharın, türbin çıkışına mümkün olduğunca en yakın yerden çekilmesi gerektiğini göstermektedir.

Şekil 5; kondanserde soğutma suyuna transfer olan ısının, bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere; f değeri arttıkça santralden atılan ısı miktarı azalmaktadır.

f değeri 0,5 olduğunda soğutma suyuna Model A, B, C ve D'de sırasıyla 82,64 MW, 76,2 MW, 42,09 MW ve 33,92 MW'lık ısı transferi gerçekleşmektedir. Buradan Model D'nin soğutma suyuna en az enerji transfer edildiği sistem olduğu anlaşılmaktadır.

Santralde sadece güç üretimi gerçekleşirken soğutma suyuna 203 MW ısı enerjisi aktarılırken Model D'nin santrale uygulanması durumunda f değeri 0,5 olduğunda yaklaşık 34 MW ısı enerjisi aktarılacaktır.

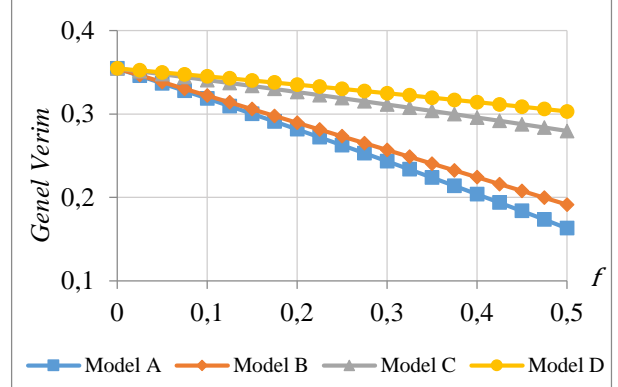


Şekil 5. Kondanserde soğutma suyuna transfer olan ısının BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.

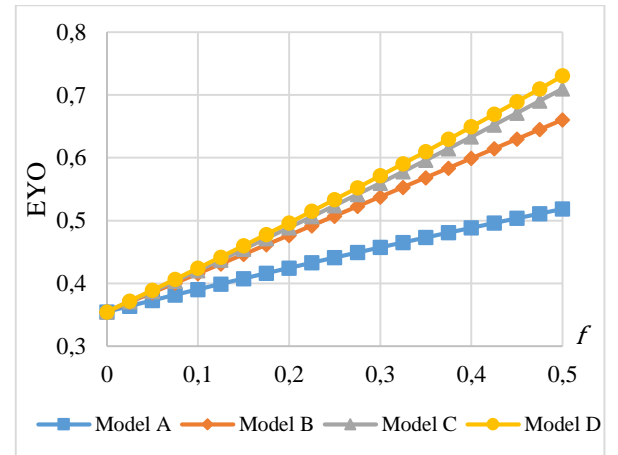
Şekil 6; santral genel veriminin (santralde üretilen net elektrik enerjisinin toplam yakıt enerjisine oranı) ifade etmektedir. f değeri 0,5 olduğunda santral genel verimi Model A, B, C ve D için sırasıyla %15,11, %19,15, %27,97 ve %30,32 olarak gerçekleşmektedir.

Şekil 7'de ise bölgesel ısıtma için çekilen ara buhar oranının artmasıyla enerjiden yararlanma oranı (net elektrik üretimi ile bölgesel ısıtma sisteminde harcanan ısı enerjisi toplamının toplam yakıt enerjisine oranı) artmaktadır. BIS ara buhar oranı 0,5 değerine ulaştığında EYO; Model A, B C ve D için sırasıyla %51,85, %66,03, %70,99 ve %73,05 olmaktadır.

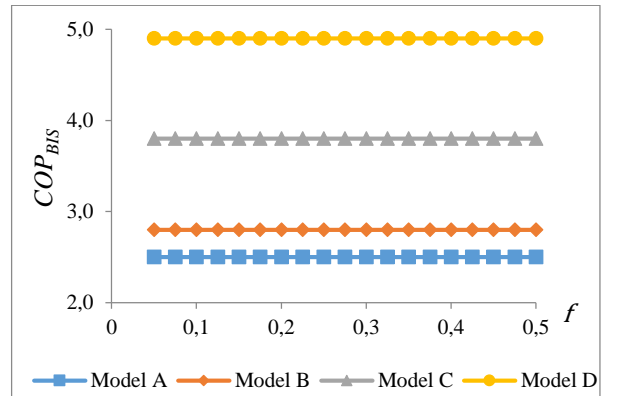
Şekil 8'de ÇATES için tasarlanan dört farklı modelin, çekilen ara buhar oranına bağlı performans katsayısı (COP_{BIS}) değişimi verilmiştir. Bölgesel ısıtma sisteminde COP_{BIS} değeri Model A, B, C ve D için sırasıyla 2,5, 2,8, 3,8 ve 4,9 olmuştur ve COP_{BIS} değeri ara buhar oranının artmasıyla değişmemektedir. Bunun nedeni ara buhar oranının artmasıyla birlikte \dot{Q}_{BIS} değerindeki artışa karşılık \dot{W}_{azalma} değerindeki artışın aynı oranda olmasıdır.



Şekil 6. Santral genel veriminin BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.



Şekil 7. Modellerin Enerjiden Yararlanma Oranına (EYO) etkisi.



Şekil 8. BIS performans katsayısının BIS ara buhar oranına bağlı değişimi.

Bu performans katsayısı değeri klasik klima sistemlerinde 2,6-3,2 arasında değişmektedir. Dolayısıyla oluşturulan sistemin klasik klima sistemlerinden daha etkin ısıtma gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır. Bu değer bile tek başına santralde yapılan dönüşümün ısıtma için harcanan enerji miktarının önemli miktarda azaltılabileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Çatalağzı Termik Elektrik Santrali kojenerasyon tesise dönüştürülüp Zonguldak il

merkezinde bölgesel ısıtma yapılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için Çatalağzı Termik Elektrik Santrali, dört farklı model geliştirilerek kojenerasyon bir sisteme dönüştürülmüş ve enerji analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ara buhar oranının 0,5 olması durumunda:

- Model A; 225,1 MW ile en fazla ısı üretiminin, 59,5 MW ile en az güç üretiminin gerçekleştiği modeldir.
- Model D; 166,8 MW ile en az ısı üretiminin, 115,5 MW ile en fazla güç üretiminin gerçekleştiği modeldir.
- Model D; soğutma suyuna yaklaşık 34 MW ile en az ısı transferinin gerçekleştiği modeldir.
- Enerjiden yararlanma oranı %73 ile en yüksek Model D'nin uygulanması ile gerçekleşmiştir.
- Bölgesel ısıtma sisteminin performans katsayısını gösteren COP_{BIS} değeri 4,9 ile yine en fazla Model D'de gerçekleşmiştir. Dolayısıyla Model D'nin santrale uygulanması en uygun çözüm olacaktır.

KAYNAKLAR

Erdem H. H., Dağdaş A., Sevilgen S. K., Çetin B., Akkaya A. V., Şahin B., Teke İ., Güngör C. and Ataş A., 2010, Thermodynamic Analysis of an Existing Coal-Fired Power Plant for District Heating/Cooling Application, *Applied Thermal Engineering*, 30, 181-187.

Erdem H. H., 2009, TSAD Projesi Kapsamında Termik Santrallerin Bölge Isıtma Amaçlı Dönüşümünün Teknik Analizi ve Yatağan Örneği, *Türkiye Birinci Bölge Isıtma ve Soğutma Konferansı*.

Eyriboyun M., ve Çalık K., 2004, ÇATES Kondens Atık Isısından Konut Isıtılmasında Yararlanılması, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 84, 35-49.

Eyriboyun M., 2011, Zonguldak'ta Termik Elektrik Santrallerinin Atık Isısından Yararlanma ile Bölgesel Isıtma ve Bunun Sera Gazı Salınımı Üzerine Etkisi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 123, 21-31.



Halil İbrahim TOPAL 1987 yılında Çatalzeytin'de doğdu. 2009 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği'nde lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl doktora eğitimine başladı. 2011 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görevine başlayan Halil İbrahim TOPAL görevine ve doktora çalışmalarına devam etmektedir.



Mehmet KOPAÇ Makine Mühendisliği Lisans derecesini 1979 yılında Zonguldak Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisinden, Makine Mühendisliği Yüksek Lisans derecesini 1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden, Makine Mühendisliği doktora derecesini ise 1992 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nden almıştır. Halen Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev yapmaktadır. İlgi alanları termal sistemlerin ekserji analizi ve akışkanlar mekaniği ve uygulamaları şeklindedir



Mustafa EYRİBOYUN 1982 yılında makine mühendisliği diploması aldı. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isı P roses dalında; 1985'te yüksek lisans, 1997'de doktorasını tamamladı. Başlıca çalışma konuları; yanma, ısı ve kütle transferi ile ısı tekniği uygulamaları olup, son yıllarda görüntü işleme konusunda da çalışmaları bulunmaktadır. Halen, Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. olarak çalışmaktadır.

Foncesa Jr. J. G. S., and Schneider P. S., 2006, Simulation of a Thermal Power Plant with District Heating: Comparative Results Of 5 Different Codes, *Energy*, 31, 1955-1968.

Güngör C., Kaya D. ve Üresin E., 2007, Termik Santrallerin Atık Isılarının Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 575, 19-26.

Işık E. ve İnallı M., 2005, Kojenerasyon ve Bölgesel Isıtma Sistemlerindeki Gelişmeler, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 550, 22-29.

İnternet, 2012, ÇATES <http://www.catestermik.com>.

Karaali R. ve Öztürk İ. T., 2007, Güç Üreten Bir Tesisin Kojenerasyon Sistemine Dönüştürülmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 575, 9-13.

Kopac M. and Hilalci A., 2007, Effect of Ambient Temperature on The Efficiency of the Regenerative and Reheat Çatalağzı Power Plant in Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1377-1385.

Şahin Z., Kopaç M., and Aydın N. Ö., 2011, The Investigation of Increasing of the Efficiency in the Power Plant with Gas-Solid Fuels by Exergy Analysis. *Journal of Thermal Science and Technology*, 31, 86-107.

Topal H. İ., Kopaç M., Eyriboyun M., ve Tekin E., 2013 Çatalağzı Termik Elektrik Santralinin Birleşik Isı Güç Sistemine Dönüştürülmesi - Termodinamik Analiz ULİBTK'13 - 19. *Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı*, Samsun, 898-903.

Topal H. İ., 2013, Çatalağzı Termik Santrali Ara Buharı ile Bölgesel Isıtmanın İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 97 s.