



Zonguldak'ta Termik Elektrik Santrallerinin Atık Isıdan Yararlanma ile Bölgesel Isıtma ve Bunun Sera Gazı Salınımı Üzerine Etkisi

Yrd. Doç. Dr.
Mustafa EYRİ BOYUN

ÖZET

Zonguldak'ta yerleşimin kısıtlı bir alanda olması ve ısınmanın kömür ile yapılması sonucunda, kışın önemli ölçüde hava kirliliği yaşanmaktadır. İlki 1948'de devreye giren termik elektrik santrali ile 1989 ve 1991'de devreye giren iki üniteli santraldayoğuşurma amacıyla deniz suyu kullanılmaktadır. Deniz suyu, kışın en soğuk dönemlerinde bile 25 °C'nin üstünde denize atılmaktadır. Özel sektörçe yeni kurulan 136+2x600=1360 MVVlık termik elektrik santralleri da deniz suyu soğutmalı olacak olup, yalnız elektrik üretmek üzere tasarlanmıştır. Yeni santrallerin devreye girmesiyle kentte hava kirliliğinin daha da artacağı açıktır.

Bu çalışmada, termik santral atık ısı ile bölgesel ısıtma yapılması halinde Zonguldak'ta hava kirliliğinin ve sera gazı salınımının azalacağı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı, Bölgesel ısıtma, Sera gazı salınımı, Termik elektrik santrali, Zonguldak

1. GİRİŞ

Zonguldak, Batı Karadeniz kıyısına yeralan, Bartın, Karabük, Bolu ve Düzce illeri ile sınırlı olan bir ildir. Merkez, Alaplı, Çaycuma, Devrek, Gökçebey ve Ereğli ilçeleri ile toplam yüzölçümü 3481 km²'dir. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Veritabanı'na göre 27 Mayıs 2010 tarihi itibarıyla, ilin toplam nüfusu 619,812 kişidir.

Bu çalışmada yalnız, merkez ilçeye bağlı Çatalağzı beldesindeki termik elektrik santrallerinin atık ısı ile bölgesel ısıtma yapılabilecek yerler (bundan sonra Bölge olarak adlandırılacaktır) dikkate alınacaktır. Bölge içindeki belediye adları ve nüfusları Tablo 1'de sunulmuştur. Bölge içindeki nüfusun yaklaşık yarısı 5-10 arasında katı bulunan kaloriferli binalarda ikamet etmektedir. Diğerleri, tek katlı veya iki katlı, müstakil evler şeklindedir. Son yıllarda bu tür konutlarda da kat kaloriferi uygulaması yaygınlaşmıştır. İstisnasız bütün konutlarda, ısınma amaçlı yakıt olarak bölgede üretilen kömür kullanılmaktadır. Bunun sonucu; ısınma sezonunda ciddi bir hava kirliliği söz konusudur.

Abstract:

As Zonguldak have a restricted area of the settlement and usage of coal for heating, causes significantly air pollution in winter. The first thermal power plant (started up in 1948) and other has two units (started up in 1989 and 1991) uses sea water for condensing. Even during the coldest winter days, cooling water at 25 °C, dissipates waste heat to the sea. Newly established private sector's thermal power plants, 136+2x600=1360 MW will be use sea water for condensing too and they have designed only to generate electricity. It is obvious that, after start-up the new thermal power plants, urban air pollution will increase even further.

In this study, in case of thermal power plant's waste heat's used for district heating, it is shown that air pollution and greenhouse gas emissions will be reduced in Zonguldak.

Key Words:

Waste heat, District heating, Greenhouse gases emission, Thermal power plant, Zonguldak



Gelik, Kilimli, Kozlu ve Muslu beldelerindeki toplam konut sayısı 65,912 olarak bulunmuştur.

1829'da, bölgede taşkömürünün bulunmasından sonra yerleşim başlayan Zonguldak, özellikle 1900'lerin başlarında nüfusun yoğunlaşmaya başladığı bir yerleşim merkezidir. 1924 Yılında Cumhuriyet döneminde il yapılan ilk şehirdir. Şehir merkezi ve Kozlu, Kilimli, Çatalağzı gibi merkeze yakın beldeler kömür üretimi yapılan ocakların bulunduğu bölgeye yakın ve hatta ocakların üzerinde, oldukça engebeli bir arazide kurulmuştur. Şehir merkezi ile Kilimli ve Kozlu beldeleri deniz kenarında olup diğer tarafları yüksek tepelere çevrilidir. Çatalağzı ise üç tarafı yüksek tepelerle çevrili, denize açılan tarafında ÇATES ve aynı özel firma tarafından yeni kurulan iki ayrı termik elektrik santralibulunan derin bir vadi yatağında yer almaktadır. Bölgedeki tüm binalarda kışın ısıtmanın kömür yakıtlı kalorifer kazanları ve sobalarla yapılmasına ilave olarak yeryüzü şeklinin de olumsuz etkisiyle şehir merkezinde yoğun bir hava kirliliği söz konusudur.

Türkiye İstatistik Kurumu Hava Kalitesi İstatistikleri

Veri Tabanında kayıtlı olan SO₂ ve PM derişiklik bilgileri sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Hava kirliliği, son yıllarda, şehir halkı, il yöneticileri, yerel yönetimler ve yerel basın sürekli gündeminde olan bir konudur. Çözüm yollarından biri olarak şehre doğalgaz getirilmesi tartışılmaktadır. Bunun yanında kömür yataklarındaki metan gazının doğrudan çıkartılması gibi projeler de mevcut olup, yapılan ön çalışmalardan kamuoyuna açıklanmış sonuçlar yoktur. Zonguldak'ta, termik santral atık ısıları ile şehir ısıtılmasına dair çalışmaları yeni olup bu yöndeki öneriler şehrin engebeli coğrafi yapısı nedeniyle kuşkuyla karşılanmaktadır.

Çalık tarafından 2003 yılında bitirilen yüksek lisans tez çalışmasında, Çatalağzı Termik Elektrik Santrali (ÇATES)çürük buhar soğutma suyu atık ısısından konut ısıtılması imkânları incelenmiştir [4]. Söz konusu çalışmada, mevcut santral üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan, denize atılan soğutma suyunu ısı kaynağı olarak kullanan bir ısı pompası yardımıyla konut ısıtılması düşünülmüştür. Çalışmada atık ısının tamamının geri kazanılması

Tablo 3. Zonguldak İl Merkezinde Ölçülen Kükürt Dioksit (SO₂) Derişiklikleri [3].

Dönemi	Ölçüm yapılan gün sayısı	SO ₂ ortalaması (µg/m ³)	Min.	Max.	Hedef sınır değerinin aşıldığı gün sayısı (≥150)	Ölçümü yapan birim
2000–2001	182	72	17	187	7	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2000–2001	182	114	28	240	53	İl Çevre Müdürlüğü
2001–2002	100	68	30	170	2	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2001–2002	100	105	48	184	10	İl Çevre Müdürlüğü
2002–2003	147	104	13	249	26	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2002–2003	119	142	16	269	60	İl Çevre Müdürlüğü
2003–2004	62	106	25	222	9	3 No.lu Sağlık Ocağı
2003–2004	121	59	14	141	0	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2003–2004	52	90	14	173	8	İl Çevre Müdürlüğü
2004–2005	172	84	37	173	6	3 No.lu Sağlık Ocağı
2004–2005	182	77	24	149	0	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2005–2006	182	52	25	146	0	3 No.lu Sağlık Ocağı
2005–2006	182	72	11	228	1	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2006–2007	154	46	14	120	0	Halk Sağlığı Laboratuvarı
2006–2007	158	69	18	143	0	İl Sağlık Müdürlüğü



Makale

Tablo 4. Zonguldak İl Merkezinde Ölçülen Partikül Madde (PM) Değişiklikleri [3].

Dönemi	Ölçüm yapılan gün sayısı	PM ortalaması ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Min.	Max.	Hedef sınır değerinin aşıldığı gün sayısı (≥ 150)	Ölçümü yapan birim
2000–2001	182	97	10	221	30	Halk Sağlığı Lab
2000–2001	182	156	19	384	105	İl Çevre Müdürlüğü
2001–2002	100	77	13	363	8	Halk Sağlığı Lab
2001–2002	100	110	22	385	24	İl Çevre Müdürlüğü
2002–2003	147	102	11	206	24	Halk Sağlığı Lab
2002–2003	118	129	5	357	44	İl Çevre Müdürlüğü
2003–2004	62	132	20	284	22	3 No.lu Sağlık Ocağı
2003–2004	121	90	5	209	17	Halk Sağlığı Lab
2003–2004	52	121	11	336	19	İl Çevre Müdürlüğü
2004–2005	172	107	15	495	41	3 No.lu Sağlık Ocağı
2004–2005	182	24	11	274	53	Halk Sağlığı Lab
2005–2006	182	60	4	151	4	Halk Sağlığı Lab
2006–2007	182	58	5	283	18	3 No.lu Sağlık Ocağı
2006–2007	154	60	10	130	0	Halk Sağlığı Lab
2006–2007	157	93	5	294	23	İl Sağlık Müdürlüğü

hali değil, ÇATES lojmanlarının bir bölümünü ısıtacak kadar ısının geri kazanılmasını sağlayacak ısı pompası sisteminin termodinamik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Çalık'ın ekonomik analizi 2002 yılı ve 10 yıl öncesi döneme ait ekonomik verilerin eğilimine dayanmakta olup; o dönem için ısı pompası sistemi mevcut kömür yakıtlı kalorifer sistemine göre 15 yıllık projeksiyonda dahi başabaş noktasına gelememiştir.

Aynı çalışmanın ekonomik analizi, 2008 yılı ve önce-
sindeki 10 yıl fiyatları ile Öztürk tarafından tekrarlan-
dığında; ısı pompası sistemi, klasik sistem ile 4 yıldan
kısa sürede başabaş noktasmaulaşmıştır [5]. Bu sonuç-
ta, Çalık'ın çalışmasına esas olan yıllardaki istikrarsız
ekonomik yapı, ekonomik kriz, yüksek elektrik ve
düşük kömür fiyatı gibi faktörlerin etkisi olmuştur.
Sonraki yıllarda kömür fiyatının, elektrik fiyatına göre
daha hızlı artmasının sonucu olarak, ısı pompası siste-
mi kabul edilebilir amorti sürelerini yakalamıştır.

Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) ve Elektrik İşleri Etüd
İdaresi'nin (EİE) siparişi üzerine, TÜBİTAK MAM
ve Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) tarafından
EÜAŞ'a ait ve aralarında ÇATES'in de bulunduğu
Türkiye'deki 14 termik santralin atık ısısının ekono-

mik faydaya dönüştürülme yöntemleri üzerine yapı-
lan bir proje çalışmasında; santral atık ısılarının böl-
gesel ısıtmada kullanımıyla santral verimlerinin
%38'ler seviyesinde %80'ler seviyesine çıkacağı
belirtilmiştir[6].

2. ÇATALAĞZI'NDA TERMİK ELEKTRİK SANTRALLARI

2.1 ÇATES

ÇATES, Çatalağzı Beldesinde devlet tarafından
kurulup işletilen termik elektrik santralının kısaltıl-
mış adıdır. ÇATES (Çatalağzı Termik Elektrik
Santrali), Zonguldak Vilayeti'nin merkez ilçesine
bağlı ve Zonguldak'ın 18 km doğusunda, Zonguldak-
Ankara demiryolu ile Karadeniz sahili arasında
kurulmuştur. İlk olarak, 1938 yılında yapılmasına
karar verilmiş olup, 2.BüyükSavaşın araya girmesiyle
yapımı gecikmiştir. İlk ünite, 27 Kasım 1948 tari-
hinde 3 grup ve toplam 64.5 MW kapasite ile işle-
meye açılmıştır. 1956 yılında, 3 grubun daha devre-
ye girmesiyle toplam kurulu gücü 129 MW'a yüksel-
miştir. İlk kurulan ÇATES, 1991 yılında ekonomik
ömrünü tamamladığı gerekçesiyle servis dışı bırakıl-
mış buna yakın bir alanayenisi yapılmıştır. Yenisi
yapıldıktan sonra eskisine ÇATES-A, yeni yapılan
ÇATES-B denilmeye başlanmıştır.





ÇATES-B, 2x150=300 MW kapasiteli olup, ilk ünitesi 1989, ikinci ünitesi 1991 yılında devreye alınmıştır. ÇATES-B buhar kazanları, Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun (TTK) ürettiği kömürün lavuar atığı olan, 3300 kcal/kg ısıl değere sahip mikst ve şlam kömürünü yakmak üzere dizayn edilmiştir. Bu kömürün sanayide başka türlü kullanılması mümkün değildir, yüksek oranda nem ve kül içermektedir. Yardımcı yakıt olarak fuel-oil ve motorin kullanılmaktadır. Yakılan kömürün kaba ve elementer analiz sonuçları Durgun'dan[7] alınarak Tablo 5'de verilmiştir.

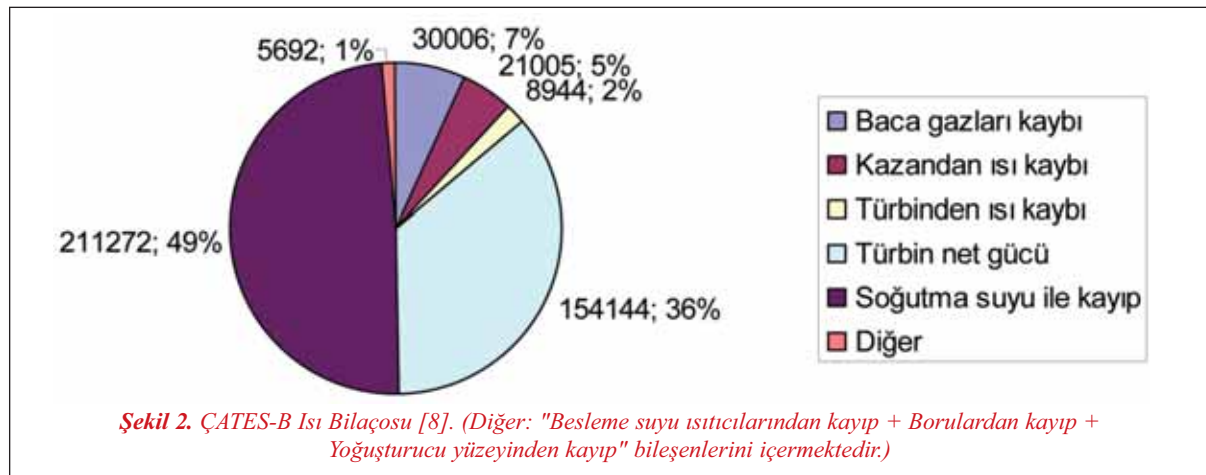
2.2 Eren Enerji Termik Elektrik Santralleri

"Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Zonguldak" adı altında faaliyete geçen Çatalağzı Termik Santrali toplam 1.6 milyar dolarlık yatırım değerine sahip 3 üniteden oluşmaktadır. Temmuz 2010'da 160 MW'lık dolaşimli akışkan yataklı ilk ünite faaliyete

başlamıştır. Ardından Aralık 2010'da 600 MW'lık ikinci ünite ve Ocak 2011'de 600 MW'lık üçüncü ünite de faaliyete geçerek enerji üretimine başlamıştır. 2x600 MW'lık üniteler, Türkiye'de kurulan ilk süperkritik santrallerdir. İthal kömüre dayalı olarak kurulmuşlardır.

2.3. Santral Toplam Verimleri ve Atık Isı

Klasik (kritik altı) termik elektrik santrallerinde, kullanılan kömürün sahip olduğu ısı enerjisinin yaklaşık %35-38 kadarı elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Kömür enerjisinin diğer kısmı, sıcak yüzeylerden olan önlenemez ısı kayıpları, baca gazı ile ısı kaybı ve yoğunlaştırma amaçlı soğutma suyu ile kaybolan ısı şeklinde, işe çevrilemeden kaybolmuş olur. ÇATES-B'nin bir ünitesi için ısı bilançosu Şekil 2'de verilmiştir. Kopaç ve Hilalci [8], santralin toplam verimini %36 olarak hesaplamıştır.



Tablo 5. ÇATES-B'de Kullanılan Kömürlerin Üretim Yeriine Göre Analiz Sonuçları[7].

ANALİZLER	Çatalağzı		Kozlu		Üzülmöz		Armutçuk		Rödevans		Ortalama*
	ÇATES	Merkez	ÇATES	Merkez	ÇATES	Merkez	ÇATES	Merkez	ÇATES	Merkez	
Kaba Analizler (%) (Kül kuru bazda)											
Topl. Nem	15.2	15.2	15.3	14.4	14.8	15.4	13.7	12.6	7.5	9.0	Ortalama*
Kül	46.4	36.9	46.4	38.2	46.8	42.5	47.0	46.0	38.6	30.1	
Uçucu Mad.		16.8		17.5		16.9		16.8		20.9	
Sabit karbon		36.7		35.4		33.3		31.3		42.9	
Elementer Analiz (%)											
C (Karbon)		46.5		45.3		42.8		42.2		55.3	46.42
H (Hidrojen)		2.7		2.9		2.7		2.7		3.4	2.88
O (Oksijen)		4.3		4.9		4.8		5.7		5.5	5.04
N (Azot)		0.6		0.5		0.4		0.4		0.7	0.52
S (Kükürt)		0.5		0.4		0.4		0.4		0.6	0.47
Isıl Değer (kJ/kg)											
Üst Isıl Değer	15157	18488	15019	18288	15019	17113	14045	15796	18910	21510	16934
Alt Isıl Değer	14279	17548	14371	17314	14371	16632	13205	14935	18087	20528	16127

*: Ortalama değerler, asıl kaynaktan yoktur.





Makale

Şekil 2'den görüldüğü üzere, soğutma suyuna olan ısı kaybı %49 oranındadır. Yakılan kömürden açığa çıkan ısının yaklaşık yarısı (~211.27 MW), yoğunlaştırucu vasıtasıyla deniz suyuna aktarılmaktadır. Bu ısınmış su tekrar denize dökülmektedir. Buradaki değer yalnız 1. üniteye aittir. İki üniteden olan toplam ısı kaybı $2 \times 211.27 = 422.54 \text{ MW}$ 'dır. Zonguldak iklim koşullarında bir dairenin ısı ihtiyacı yaklaşık 10-15 kW olduğu varsayımı ile bu atık ısı ile teorik olarak 25-30 bin konut ısıtılabilir.

ÇATES-B soğutma suyunun, ölçülen giriş ve çıkış sıcaklıklarının aylara göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi en düşük çıkış sıcaklığı 25°C 'nin üzerindedir. Bu sıcaklık değerleri, su kaynaklı bir ısı pompası sistemi için son derece uygundur.

Eren Enerji'nin santralleri henüz çok yeni faaliyete başlamışlardır. Deniz suyu ile soğutmalı süperkritik kazanlarda verim %45 kadardır [9]. Değerler, gelecek yıllarda değişiklik arzedebilir ancak şimdilik 600 MW'lık bir ünitesi için yoğunlaştırma suyu debisi 22-25 m^3/s , giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla $7-8^\circ\text{C}$ ve $20-22^\circ\text{C}$ aralıklarındadır [Kişisel Görüşme]. En düşük debi ve en düşük sıcaklık farkı alınarak denize atılan ısıyaşığıdaki şekilde yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$Q = \dot{m}C_p(T_c - T_g) \quad (1)$$

$$Q = 20 \times 1000 \times 4.18(20 - 13)$$

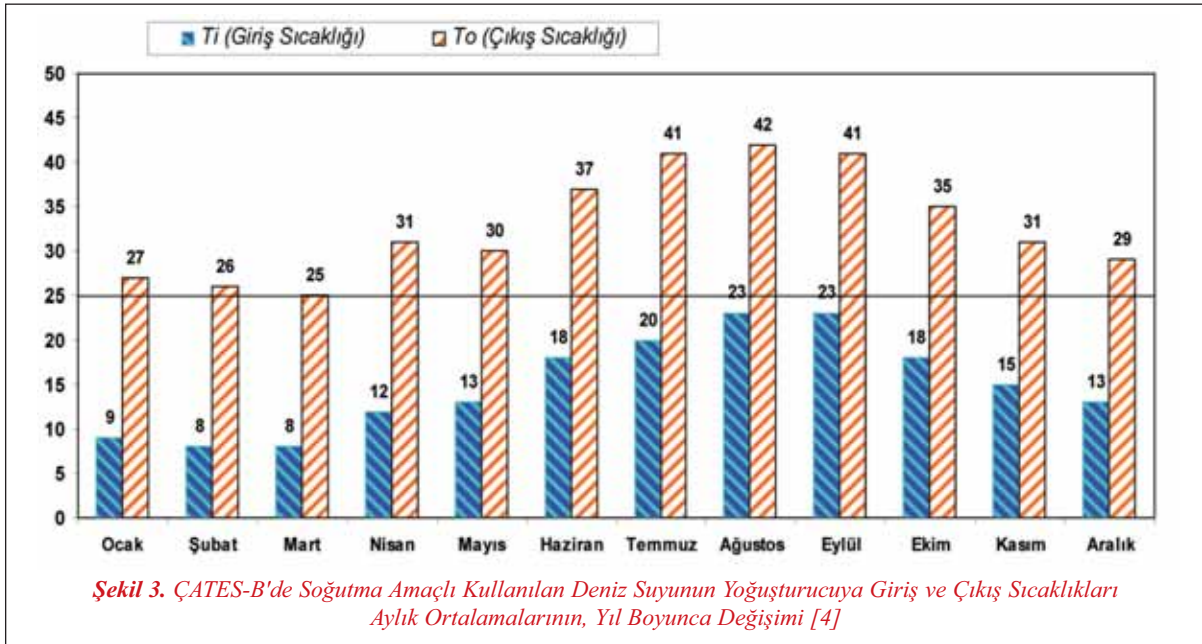
$$Q = 585200 \text{ kW}$$

İki üniteden atılan toplam ısı: $2 \times 585200 = 1170400 \text{ kW} = 1170 \text{ MW}$ olmaktadır.

2.4. Atık Isı ile Bölgesel Isıtma

Bölgesel ısıtma, bir yerleşim biriminin bir veya birkaç merkezde kurulan santraller ile ısıtılmasıdır. Yerleşim birimi, bir site olabileceği gibi, bir mahalle veya bir kent de olabilir. Bazı santrallerde sadece ısı, bazı santrallerde ise ısı ve elektrik birlikte üretilir. Isı ve elektriğin birlikte üretildiği uygulamalara bileşik ısı-güç üretimi veya kojenerasyondenilir[10]. Kojenerasyon sistemlerinin, ısı ve elektrik enerjisinin üretiminin yanı sıra; soğutmada da kullanılması ile elektrik üretimi, ısıtma ve soğutmanın aynı anda yapıldığı sistemlere ise trijenerasyon sistemleri denilmektedir.

Bölge ısıtmasının, her apartmanın veya konutun ayrı ayrı ısıtılmasına göre bazı avantajları vardır. Bunlar arasında; atıkların denetlenerek çevre kirliliğinin önlenmesi, yakıtın ekonomik yakılması, yakıt seçe-





neklerinin fazlalığı sayılabilir. Bölge ısıtmasının en büyük dezavantajı ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri ile maliyeti azaltmak mümkündür.

Termik elektrik santrallerinin atık ısının geri kazanılmasıyla bölge ısıtması, hem santralin toplam verimini artırması, hem de aynı enerji talebi için daha az yakıt gereksinim duyulması bakımından, fosil yakıt kullanımını ve dolayısıyla sera gazı salınımını azaltacaktır. Bu tür uygulamalar, ABD ve Batı Avrupa'da (özellikle Kuzey bölgelerde) 100 yılı aşkın süredir mevcuttur[11, 12]. Bölgesel ısıtma;

- Yoğuşma sıcaklığını yükselterek ısıtma (karşı basınç türbini kullanma),
- Ara buhar ile ısıtma (Şekil 4),
- Düşük sıcaklık ısıtma sistemleri,
- Isı pompası kullanarak ısıtma (Şekil 5),

gibi yöntemlerden birinin uygulanması ile yapılabilir.

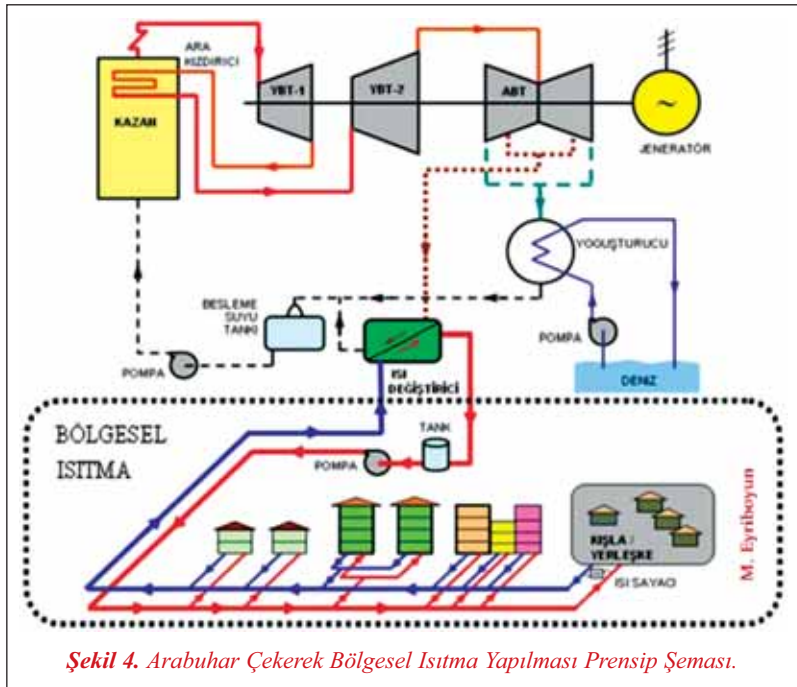
Karşı basınç türbini kullanan, yüksek yoğuşma sıcaklığına sahip sistemler; ısıtma, kurutma, pişirme, vs. amaçlarla endüstride sıkça kullanılmaktadır. Aynı sistem bölgesel ısıtma sisteminde de kullanılabilir. Ancak ısınma sezonu dışındaki aylarda, yoğuşmanın tekrar düşük sıcaklıkta yapılması zorunluluğu doğacağından, sistemin ona göre tasarlanması gerekir. Şekil 4'de, türbinlerden çekilen ara buhar ile ısıtılan suyun bölgesel ısıtmada kullanılması şematik olarak görülmektedir. Karşı basınçlı durum ise Şekil 4'te Alçak Basınç Türbini (ABT) çıkışındaki yoğuşturucunun iptal edilip, yoğuşurma işleminin, Bölgesel Isıtma Sisteminde dönen su ile yapılması durumudur.

Düşük sıcaklık ısıtma sistemleri ve ısı pompası kullanımı daha çok jeotermal kaynakların olduğu yerlerde uygundur. Çatalağzı'ndaki

santrallerin atık ısını taşıyan, 20-25 °C'dekideniz suyu, ısı pompası için iyi bir ısı kaynağıdır (Şekil 5).

ÇATES B'dentoplam 422.54 MW (yaklaşık 420 MW), Eren Enerji'ye ait (2x600=1200 MW'lık santraldan) 1170 MW'lık enerji denize atılmaktadır. Eren Enerji'nin 160 MW'lıksantrali dikkate alınmadığı durumda dahi Çatalağzı beldesinde, santrallardan denize atılan toplam ısı yaklaşık 420+1170=1590 MW'lık gücün, yıllık kullanma süresi ile çarpımı kadar olacaktır. Zonguldak'ta ısınma sezonu 180 gündür.

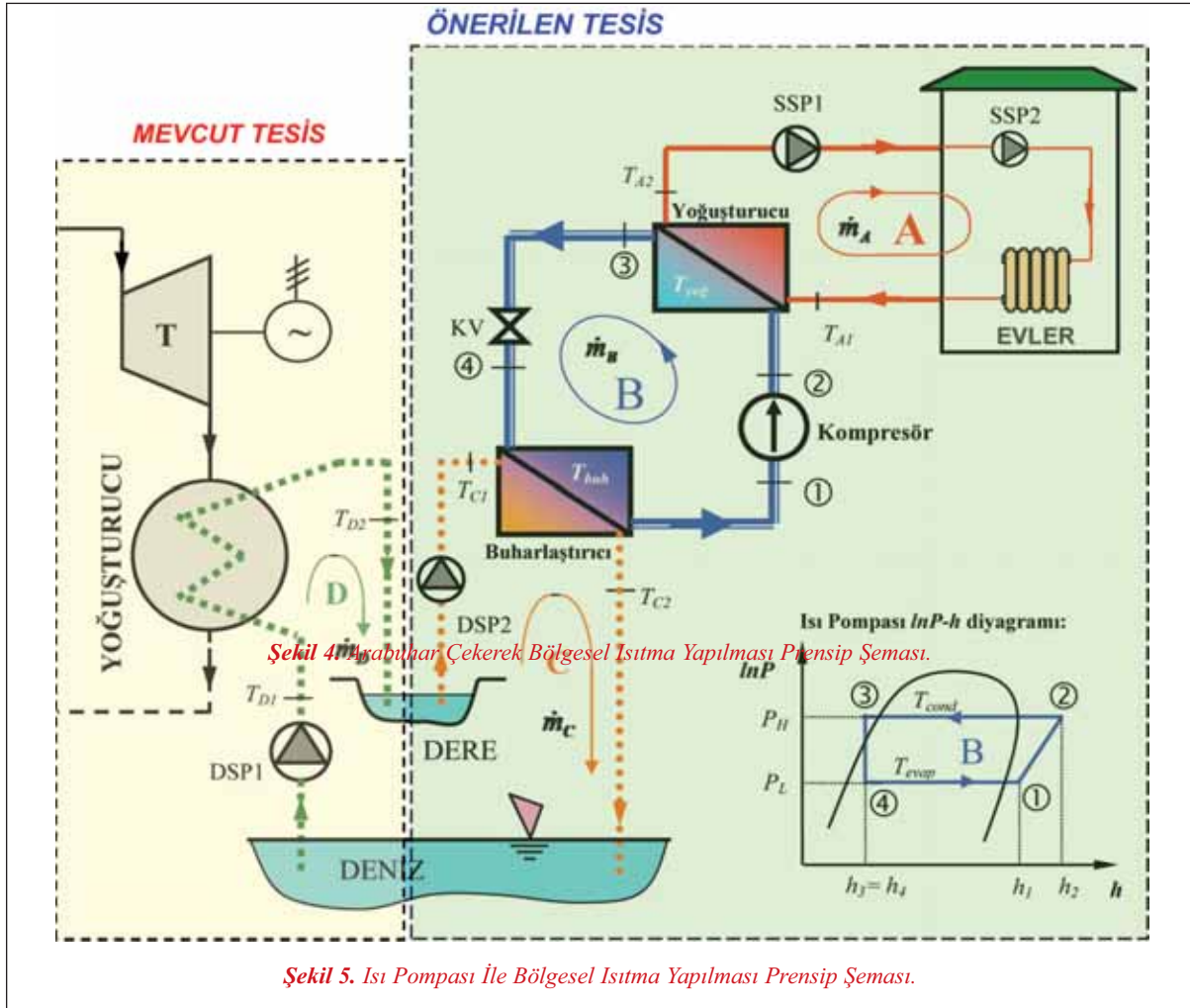
Zeydan'ın, Zonguldak şehir merkezinde çeşitli mahallelerden toplam 220 kişi ile yüz yüze görüşerek yapmış olduğu ankete göre ankete katılanların %50.5'i sobalı, %49.5'i kaloriferli konutlarda ikamet etmektedir. Aynı ankete göre ısınma sezonu boyunca; sobalı binalarda daire başına 3.37 ton, kaloriferlilerde ise 4.3 ton kömür harcanmaktadır [2]. Bölgedeki konut sayısı toplamı 65,912 bulunmuştu. Zonguldak'ın engebeli yüzey şekli ve dağınık yerleşim dikkate alınarak, binaların tamamının değil de öncelikle yalnız kaloriferli binaların çoğunlukta olduğu mahalle ve semtlerin bölgesel ısıtma sistemi ile ısıtılması düşünülebilir. Buralardaki konut sayısının 35-40 bin arasında olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 4. Arabuhar Çekerek Bölgesel Isıtma Yapılması Prensi Şeması.



Makale



TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nin (YTÜ) oluşturduğu bir konsorsiyum tarafından yürütülmüş olan ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) ile Elektrik Üretim A.Ş.'nin müşteri kurum olarak yer aldığı, "Enerji Verimliliğini Arttırmak Üzere Termik Santral Atık Isılarını Faydaya Dönüştürme Yöntemlerinin Araştırılması, Geliştirilmesi ve Binalarda Isıtma Uygulaması" adlı projede ÇATES atık ısı ile ısıtılacak konut sayısı 37000 kadar tespit edilmiştir [6]. Bu çalışmada önerilen sayı ile örtüşmektedir. Yeni kurulan özel sektör santralının atık ısı potansiyel olarak, bütün konutları ısıtacak enerjiden daha fazlası mevcuttur.

Kaloriferli binalarda konut başına ortalama 4.0 ton kömür yakıldığını varsayarak (ankette 4.3 ton çık-

mıştır), 35000 konutun bir ısıtma sezonunda kömür ihtiyacı, $4 \times 35000 = 140000$ ton olur. Ancak atık ısı doğrudan konut ısıtmada kullanılamayacağından, gerçekte bu kadar kömür tasarruf edilmiş demek değildir. Karşı basınç oluşturmaktan kaynaklanan, ya da ısı pompası kompresörünü çalıştırmak için gereken enerjiden dolayı, gerçek tasarruf edilen yakıt miktarı 140000 ton kömür eşdeğerinden daha düşük miktarda olacaktır. Bölgesel ısıtma ile sera gazı salınımlarında sağlanacak azalma, seçilecek bölgesel ısıtma yöntemine bağlı olacaktır; tasarruf edilebilecek gerçek yakıt miktarının hesaplanabilmesi için hangi yöntemle bölgesel ısıtma yapılacağına karar verilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, daha önce ÇALIK [4] ve ÖZTÜRK [5] ile ortak yapılan çalışmalarda, klasik sistem yerine önerilen ısı pompası sistemi ile küçük bir bölge üze-

rinde bölgesel ısıtma yapılması halinde, karbondioksit (CO₂) ve kükürtdioksit (SO₂) gazları salınımının azaltıldığı gösterilecektir.

3. ÖRNEK ÇALIŞMA

ÇATES Lojmanlarından bir bölümünü oluşturan konutların, 580 kW (500 000 kcal/h) ısı güce sahip, kömür yakıtlı bir kalorifer kazanı (klasik sistem) ile ısıtılması yerine ısı pompası ile ısıtılması halinde, sistemin termodinamik ve ekonomik incelemesi daha önce yapılmıştır [4, 5]. Burada klasik sistem yerine ısı pompası kullanılması halinde tasarruf edilebilecek kömür miktarı ve bundan dolayı sera gazı salınımındaki azalma hesaplanacaktır.

3.1 Termodinamik Analiz

Isı pompası kompresöründen soğutkanın çıkış sıcaklıklarının aşırı yükselmemesi için öncelikle kalorifer sisteminin 50 °C/40 °C olması önerilmiştir. Buna göre ısı pompası sisteminde yoğuşma sıcaklığı 55°C, buharlaşma sıcaklığı 10°C, aşırı kızdırma ve aşırı soğutma 5 K, kompresör verimi $\eta_{\text{Komp.}} = \%85$ alınmıştır. Hesaplar amonyak (NH₃), HFC-134a ve R-22 için yapılmış olup en uygun akışkanın amonyak olduğu görüldüğünden hesaplar yalnız ona göre verilecektir. Amonyak buharlaşma sıcaklığı 10 °C, yoğuşma sıcaklığı 55 °C olması halinde tek kademe li sıkıştırma için kompresör çıkış sıcaklığı 128 °C olmaktadır.

Isı pompası sisteminde kullanılan kompresör ile deniz suyu pompası-2 (DSP2) ve sıcak su pompası-1 (SSP1) pompaları, 580 kW'lık (500000 kcal/h) bir ısı ihtiyacını karşılamak üzere çalışmaktadır. Dolayısıyla sistemin COP_{IP} değeri:

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_h}{W_{\text{Komp.}} + W_{\text{Pompalar}}} = \frac{Q_h}{W_{\text{Komp.}} + W_{\text{DSP2}} + W_{\text{SSP1}} + (W_{\text{SSP2}})} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmalıdır.

Eşitliğin sağ tarafında, paydada parantez içindeki terim kalorifer sistemi mevcut binalar için dikkate alınmamalıdır. Bu çalışmaya konu olan lojmanlarda kalorifer sistemi bulunmakta ve dolayısıyla SSP2, ısı

pompası olmasa da çalışmaktadır. Dolayısıyla $W_{\text{SSP2}}=0.8$ kW, COP hesabına dahil edilmemiştir. Buna göre sistem için COP_{IP},

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{Q_h}{W_{\text{Komp.}} + W_{\text{DSP2}} + W_{\text{SSP1}} + (W_{\text{SSP2}})} = \frac{580}{123.9 + 3 + 7} = 4.33$$

olarak hesaplanmıştır.

Isı pompalarında kompresörün elektrikle tahrik edilmeleri halinde birincil enerji oranı (BEO), COP_{IP} değerinin elektrik üretim verimi ile çarpılması şeklinde tanımlanabilir [13, 14, 15].

Birincil Enerji Oranı (BEO):

$$\text{BEO} = \frac{\text{Isı pompası tarafından karşılanan ısı enerjisi}}{\text{Bu amaçla harcanan birincil enerji toplamı}} = \eta_{\text{Isi-elekt.}} \times \text{COP}_{\text{IP}} \quad (3)$$

Burada ısı-elekt.santrallarda, ısının, elektrik enerjisine dönüşümü ve elektrik dağıtım hatlarındaki kayıpları da içeren verim ifadesidir. Santral çıkışında %35'ler mertebesinde olan bu değer, santraldan uzaklaştıkça azalacaktır. Ortalama bir değer olarak %27 önerilmiştir [14]. Bu çalışmada, kurulan ısı pompası santralin hemenyanında olduğundan, iletim hatlarındaki kayıp ihmal edilerek dönüşüm toplam verimi %35 alınmıştır.

$$\text{BEO} = \eta_{\text{Isi-elekt.}} \times \text{COP}_{\text{IP}} = 0.35 \times 4.33 = 1.516$$

Hesaplanan değerler Tablo 6'da topluca verilmiştir.

4. SERA GAZI SALINIMI

500000 kcal/h (580 kW) ısı güce sahip kazanın 0.85 yanma verimi dikkate alınırsa yakıt miktarına esas kapasite, $580/0.85 = 682.35$ kW olur. Isınma sezonu boyunca 180 gün ve günde 10 saat çalıştığı varsayımı ile sezonluk yakıt ihtiyacı: $682.35 \times 180 \times 10 \times 3600 = 4421647059$ kJ'dür. Alt ısı ortalama değeri 16500 kJ/kg olan kömür esas alınırsa, mevcut ısıtma sisteminin sezon boyunca yakacağı kömür miktarı $(4,421,647,059 \text{ kJ/sezona}) / (16500 \text{ kJ/kg}) = 267,979$ kg/sezondur.



Makale

Tablo 6. Yoğuşturucu Kapasitesi 680 kW Olan Isı Pompası Sisteminin Değişik Soğutucu Akışkan Kullanımı Halinde Hesaplanan Değerler.

Adı	Q _{Cond.}	Q _h	W _{Comp.}	DSP2	SSP1	SSP2
Gücü (kW)	680	580	123.9	3	7	0.8
Soğutucu Akışkan	Isıtma Sistemi	Kütleli Debi (kg/s)	COP _{IP}	BEO	Birincil Enerji Tasarrufu (%)	
NH ₃	(50/40)°C	0.5298	4.332	1.516	43.9	

Tablo 7. Hesaplarda Kullanılan Sistem Bilgileri.

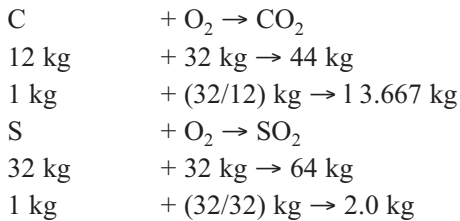
Ünite/İşlem	Verim (%)
Kazanda yanma	85
Isı değiştiricileri	90
Kompresör (izentropik sıkıştırma)	85
Kömür ısısından elektrik üretimi (TES Toplam verimi, iletim hatları ihmal edilmiş)	35

Aynı şekilde toplam güç talebi, $123.9+3+7=133.9$ s 134 kW olan ısı pompası sisteminin değinde 10 saat ve sezonda 180 gün çalışması halinde harcayacağı elektrik enerjisinin kömür eşdeğeri 150,358 kg/sezon'dur (Tablo 8).

Bir ısıtma sezonu için tasarruf edilen enerjinin kömür eşdeğeri = $267,979 - 150,358 = 117,620$ kg (=117.62 ton) olur. Kömür tasarrufu %43.9'dur. Isı geri kazanılması halinde bu miktarda kömür daha az yakılmış olacaktır.

Tasarruf edilen 117620 kg kömürün %46.42'si, $117620 \times 0.4642 = 54600$ kg karbon ve %0.47'si, $117620 \times 0.0047 = 552.8$ kg kükürttür.

Karbon ve kükürt için temel yanma denklemleri:



Yukarıdaki (4) ve (5) denklemlerinden hareketle, tasarruf edilen kömür için salınan gaz miktarları: 1 kg karbon yanmasından 3.667 kg CO₂, 54600 kg karbon yanmasından 200218 kg CO₂ ve 1 kg kükürt yanmasından 2.00 kg SO₂, 552.8 kg kükürt yanmasından 1106 kg SO₂ olur.

Kömürün elementer analizi dikkate alınarak yapılan bu hesaba göre mevcut sistem yerine ısı pompası kullanılması halinde 117620 kg kömür tasarruf edilecek ve atmosfere 200218 kg CO₂ ve 1106 kg SO₂ daha az salınmış olacaktır.

SONUÇ

Zonguldak şehir merkezi ve komşu beldelerinde ısınma amaçlı yakıt olarak kömür kullanılmaktadır. Şehir merkezinin 18 km doğusunda bulunan Çatalağzı beldesinde EÜAŞ'a ait, toplam gücü 300 MW, bir özel sektöre firmasına ait, toplam gücü 1360 MW'lık termik elektrik santralleri bulunmaktadır. Bölgede, hem santral bacalarından hem de bireysel ve merkezi ısınma sistemlerinden kaynaklanan ciddi bir hava kirliliği söz konusudur. Özellikle katı partikül madde derişikliğinin, izin verilen sınır

Tablo 8. Mevcut Sistem ve Isı Pompası Sistemi İçin Yakıt Miktarları.

	Gerekli Güç (kW)	İhtiyaç için Harcanan (kW)	(Gün/Sezon)	(Saat/Gün)	(Saniye/Saat)	(Isı İhtiyacı/Sezon) (kJ)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)	Kömür Karşılığı (kg)
Mevcut Sistem	580	682.35	180	10	3600	4421647059	16500	267979
Isı Pompası	134	382.86	180	10	3600	2480914286	16500	150358
Kömür tasarrufu:								117620



değerleri geçtiği sıklıkla görülmektedir (Tablo 4). Bunun yanında Türkiye, sera gazları salınımına sınırlama getiren Kyoto protokolünü imzalamıştır.

Model alınan 40 dairelik lojman binalarının ısıtılması için kullanılan 580 kW'lık mevcut kömürlü kalorifer kazanı ile ısıtma yerine ısı pompası ile ısıtma uygulanması halinde kullanılması gereken kompresör ve ilave dolaşım pompalarının elektriksel gücü 134 kW olacaktır. Her iki sistem, yanma verimi ve birincil enerji oranı dikkate alınarak karşılaştırıldığında; ısı pompalı sistem ile bir ısınma sezonunda 117620 kg kömür tasarruf edileceği görülmüştür. Bu da atmosfere, 200218 kg CO₂ ve 1106 kg SO₂'in daha az salınması demektir.

Bu çalışmada, farklı hesap yöntemleri gerektiren azotoksitlerin (NO_x) ve katı partikül madde (PM) miktarının hesabı yapılmamıştır.

Termik santral atık ısıları ile bölgesel ısıtma yapılması halinde hem santral toplam veriminin artacağı hem de dışa bağımlı olmayan, daha ucuz ısıtma sağlanabileceği gösterilmiştir [5, 6, 12]. Zonguldak'ta kurulu termik elektrik santrallerinin atık ısı, bölgedeki tüm binalardan daha fazlasını ısıtacak miktardadır. Bölgesel ısıtma uygulanması halinde daha temiz hava, daha az CO₂ ve diğer sera gazları salınımı ile zehirli SO₂ gazının daha az salınımı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>
 [2] ZEYDAN, Ö., "Zonguldak Bölgesi Sera Gazı Emisyon Miktarlarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2008. [3]
[\[http://www.tuik.gov.tr/cevredagitimapp/hava.zul\]](http://www.tuik.gov.tr/cevredagitimapp/hava.zul)
 [4] ÇALIK, K., "Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin

Kondens Soğutma Suyu Atık Isısından Konut Isıtılmasında Yararlanılması", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 2003.

- [5] ÖZTÜRK, S., EYRİBOYUN, M., ve ÇALIK, K., "ÇATES Lojmanları için Su Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Ekonomik Analizi", TTMD Dergisi, Sayfa 34-37, Sayı 62, Temmuz-Ağustos 2009.
 [6] TSAD, <http://www.tsad.org.tr/default.aspx>
 [7] DURGUN, D., "Kömür Kalitesine Bağlı Olarak Çatalağzı Termik Santralinde Katı Atık Miktarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, 2008.
 [8] KOPAÇ, M., HİLALCI, A., "Effect of Ambient Temperature on The Efficiency of The Regenerative and Reheat Çatalağzı Power Plant in Turkey, Applied Thermal Engineering", 27 (2007) 1377-1385.
 [9] SELÇUK, N., "Temiz Kömür Yakma Teknolojileri ve Süperkritik Buhar Santralleri", ODTÜ, Ankara, 2010
 [10] DERBENTLİ, T., "Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyonun Ekonomik Olurluluğu", MMO Bölgesel Isıtma ve Kojenerasyon Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 1998. [11] ÇOMAKLI, K., YÜKSEL, B., ÇOMAKLI, Ö., "Evaluation of Energy And Exergy Losses in District Heating Network", Applied Thermal Engineering 24 (2004) 1009-1017 [12] ATAŞ, S., "Termik Santral Dönüşümü ve Bölge Isıtma Sistemlerinin Fizibilitesi", Türkiye 1. Bölge Isıtma ve Soğutma Konferansı, Muğla, 01 Mayıs 2009. [13] <http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheat-pumps/heatpumpperformance/Sidor/default.aspx>
 [14] KILKIŞ, B., "Doğal Gaz, Isı Pompaları ve Yapıların Isıtılması", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt: 11, Sayı: 1, syf: 54-56, 1988
 [15] KILKIŞ, B., "Birlikte Üretim Sistemlerinin (Kojenerasyon) Analiz ve Çevresel Yararları", TTMD Dergisi 48. Sayısı Eki, Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, Sayı: 26, 2007.