

Ülke Düzeyinde Atık Isı Değerlendirme Raporu

Dünya Bankası Türkiye'nin Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Haziran 2022

Bu rapor, Stantec Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti. (Stantec) liderliğindeki Konsorsiyum tarafından, Dünya Bankası (DB) için hazırlanmıştır ve mutlak suretle Stantec ile DB arasında mutabık kalınan kapsamda temellenmektedir. Bu nedenle, bu raporda belgenin kendisinde kategorik olarak belirtilmemiş olabilen kısıtlılıklar, varsayımlar veya veriye bağlılık durumları ya da talepler söz konusu olabilir. Stantec ile istişare edilmeden bu raporun dayanak noktası tayin edilmemesi gerekmektedir. Raporda sunulan yorumların ve tavsiyelerin her biri Stantec'in spesifik bir hususla ilişkili görüşlerini yansıtmaktadır ve bu itibarla, söz konusu alanın kapsayabileceği bütün unsurlara muhakkak tekabül etmek zorunda değildir. Stantec'in bu rapora ilişkin yükümlülükleri Stantec'le olan mutabakatıyla sınırlıdır. Başka kişilerin bu raporu kullanmaları durumunda risk tamamen kendilerine aittir. Stantec işbu raporun başka herhangi bir kişi tarafından kullanılmasıyla ilgili herhangi bir sorumluluk kabul etmemektedir. Burada ifade edilen görüşler Stantec'in görüşleridir ve bu nedenle hiçbir şekilde DB'nin resmî kanaatini yansıttıkları şeklinde yorumlanamazlar.

		Proje Adı: Türkiye'nin Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi		Kontrollü Nüsha	
Rev. N.	Tarih	Açıklama	Düzenleyen	Gözden Geçiren	Onaylayan
00	13 Mart 2022	Taslak Nihai Rapor	M. Bulak, S. İnal, A. E. Öztürk, K. Argyroudis, G. Georgocostas, K. Georgakopoulos, C. Alasis, M. Avcı	M. Bulak, M. Avcı	M. Avcı
01	9 Mayıs 2022	Taslak Nihai Rapor	M. Bulak, S. İnal, A. E. Öztürk, K. Argyroudis, G. Georgocostas, K. Georgakopoulos, C. Alasis, M. Avcı	M. Bulak, M. Avcı	M. Avcı
02	31 Mayıs 2022	Taslak Nihai Rapor	M. Bulak, S. İnal, A. E. Öztürk, K. Argyroudis, G. Georgocostas, K. Georgakopoulos, C. Alasis, M. Avcı	M. Bulak, M. Avcı	M. Avcı
03	13 Haziran 2022	Taslak Nihai Rapor	M. Bulak, S. İnal, A. E. Öztürk, K. Argyroudis, G. Georgocostas, K. Georgakopoulos, C. Alasis, M. Avcı	M. Bulak, M. Avcı	M. Avcı
04	15 Haziran 2022	Nihai Rapor	M. Bulak, S. İnal, A. E. Öztürk, K. Argyroudis, G. Georgocostas, K. Georgakopoulos, C. Alasis, M. Avcı	M. Bulak, M. Avcı	M. Avcı

PROJE ÖZETİ

Proje Adı	Türkiye'nin Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi
Sözleşme İmza Tarihi	30.07.2021
Başlangıç Tarihi	28.07.2021
Süre	32 hafta
Ülke	Türkiye
Sözleşme Makamı	Dünya Bankası
Son Faydalanıcı	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) – Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED)
Konsorsiyum Üyeleri ("Danışman")	Stantec, Exergia, Enve
Baş Yüklenici ("Baş Danışman")	Stantec
Adres	Salih Omurtak Sok. No:61 Koşuyolu 34718 Kadıköy, İstanbul
Telefon	+90 216 545 3228
İrtibat	Sözleşmeyle İlgili Konular: Fatih Dolan, fatih.dolan@stantec.com Teknik Konular: Mesut Avcı, mesut.avci@stantec.com Meriç Bulak, meric.bulak@stantec.com

İçindekiler

Kısaltmalar.....	5
Terimler ve Tanımlar.....	7
Yönetici Özeti.....	9
1. Giriş.....	24
2. Metodoloji, Veriler ve Varsayımlar	28
2.1 Literatür İncelemesi ve Paydaş Katılımı	28
2.2 Metodolojiye Genel Bakış, Veri Akışı ve Hesaplamalar	28
2.3 Sanayide Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	30
2.4 Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	38
2.5 Termik Santrallerde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	40
2.6 Yenilenebilir Enerjiye Dayalı (Biyoenjerji ve Atıktan Enerjiye) Enerji Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	41
2.7 Kojenerasyon Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	45
2.8 Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli Değerlendirmesi	46
2.9 Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretim Potansiyeli	49
2.10 Bölgesel Isıtma Potansiyeli Değerlendirmesi	49
2.11 Tahmini Atık Isı Geri Kazanımı Yoluyla SG Emisyonu Azaltım Potansiyeli Değerlendirmesi.....	50
3. Sonuçlar	52
3.1 Atık Isı Potansiyellerine Genel Bakış	52
3.2 Sanayide Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	55
3.3 Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	63
3.4 Termik Santrallerde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	64
3.5 Yenilenebilir Enerjiye Dayalı (Biyoenjerji ve Atıktan Enerjiye) Enerji Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	71
3.6 Kojenerasyon Santralleri Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi	73
3.7 Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli Değerlendirmesi	74
3.8 Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretim Potansiyeli	75
3.9 Bölgesel Isıtma Potansiyeli Değerlendirmesi	76
3.10 Tahmini Atık Isı Geri Kazanımı Yoluyla SG Emisyonu Azaltım Potansiyeli Değerlendirmesi.....	78
3.11 Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma Değerlendirmesi	81
4. Enerji Etüdü Sonuçlarının (Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım) Ülke Düzeyinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi (Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım) ile Değerlendirmesi	92
4.1 Sanayi	93
4.2 Ticari Binalar ve Hizmet Binaları	95
4.3 Termik Santraller	97
5. Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi	100
5.1 Genel Bakış.....	100
5.2 Yaygın Kullanılan AIGK Ekipman ve Sistemleri	107
5.3 Sonuçlar	124
5.4 Cam Sanayii	128
5.5 Çimento Sanayii	130
5.6 Demir-Çelik Sanayii.....	132
5.7 Seramik Sanayii	135
5.8 Süt Ürünleri ve Fırıncılık Sanayii	137

5.9	Kağıt ve Kağıt Hamuru Sanayii	140
5.10	Tekstil Sanayii	142
5.11	Demir Dışı Metal Sanayii.....	144
5.12	Termik Santraller	147
5.13	Ticari Binalar ve Hizmet Binaları	148
6.	Temel Sorun ve Öneriler.....	151
	Kaynakça.....	155

Tablo Listesi

Tablo 0-1: Sıcaklık Aralığına Göre Yaygın Kullanılan AIGK Sistemleri.....	14
Tablo 0-2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Atık Isı Potansiyeli Genel Sonuçları	17
Tablo 2-1: Özgül Isı Hesaplamaları için Sabit Değerler	31
Tablo 2-2: Yanma Hesaplamaları için Varsayılan Yakıt Bileşimleri.....	31
Tablo 2-3: Türetilmiş Egzoz Gazı Bileşimleri	32
Tablo 2-4: Sıcaklık Aralıkları Sınıflandırması.....	32
Tablo 2-5: Doğalgaz Tüketimi Dağılımı, Varsayılan Egzoz Sıcaklıkları ve Seçilen Sıcaklıklar İçin Referanslar	33
Tablo 2-6: Cam Sektörü için Enerji Tüketimi ve Egzoz Sıcaklıkları Dağılımı	35
Tablo 2-7: Demir-Çelik Sanayiinde Egzoz Gazlarının Kimyasal Bileşimleri	36
Tablo 2-8: Hesaplamalar için Girdi Parametreleri,,	37
Tablo 2-9: Enerji Tüketimi ve Egzoz Sıcaklıkları Dağılımı	38
Tablo 2-10: Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Çevrim Ekipmanları ve Yakıtların Egzoz Sıcaklıkları	40
Tablo 2-11: Sanayi için Yakıt Türüne Göre Temel Hava Kirleticiler ve SG Emisyonu Faktörleri.....	50
Tablo 2-12: Sanayi için Yakıtların CO _{2eş} Cinsinden Genel Emisyon Faktörleri	51
Tablo 2-13: ES'ler için Yakıt Türüne Göre SG Emisyonu Faktörleri.....	51
Tablo 3-1: 2019 Yılında Sektörler için Toplam Enerji Girdisi, Tahmini Atık Isı Potansiyeli ve AI Potansiyeli/Enerji Girdisi Oranı	52
Tablo 3-2: 2019 Yılında Sanayinin Atık Isı Kayıpları ve İş Potansiyeli	56
Tablo 3-3: Endüstriyel Prosesler için Atık Isı Akışlarının Termodinamik Niteliği (Carnot Faktörü)	59
Tablo 3-4: Demir-Çelik Sanayiinde Tahmini Egzoz Gazı Atık Isı Kayıpları	60
Tablo 3-5: Demir Dışı Metal Üretiminden Kaynaklanan Tahmini Egzoz Gazı Atık Isı Kayıpları	61
Tablo 3-6: Cam İmalatından Kaynaklanan Tahmini Egzoz Gazı Atık Isısı	61
Tablo 3-7: Çimento Fabrikalarında Kurulu AIGK Sistemleri	62
Tablo 3-8: Tedarik Edilen Toplam Enerji ve Tahmini Atık Isı	63
Tablo 3-9: 2019, 2020 ve 2021 Yılları için Türkiye'nin Brüt Elektrik Üretimine Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (GwH) ve Aralık 2021 İtibarıyla Kurulu Güç – Kaynak: TEİAŞ	64
Tablo 3-10: Nihai Sıcaklıklar= 25°C, 70°C ve 120°C için Toplam Kurulu Güç için Dış değerlendirilmiş Konsolide Termal ES Sonuçları	69
Tablo 3-11: Doğalgaz Yakıtlı ES'ler, Linyit Kömürü Yakıtlı ES'ler ve Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'ler için Ara Buhar Potansiyeli Sonuçları (Toplam Kurulu Kapasite için Dışdeğerlenmiştir).....	71
Tablo 3-12: Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Atık Isı Potansiyeli Genel Sonuçları	73
Tablo 3-13: Kojenerasyon Santrallerinin Yakıt Türüne Göre Toplam Verimlilikleri ve Atık Isı	74
Tablo 3-14: Tahmini Emisyon Faktörleri ve Sera Gazı Emisyonu Azaltımları	78
Tablo 3-15: Ticari Binalar için Tahmini Emisyon Faktörleri ve Sera Gazı Emisyonu Azaltımları	79
Tablo 3-16: Termik Santrallerin Egzozundan Kaynaklanan Tahmini Emisyon Azaltımları	80
Tablo 4-1: Etüt Çalışması Yapılan Tesisler için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli	92
Tablo 5-1: Belirli Sanayi Sektörleri için Atık Isı Sıcaklık Seviyeleri.....	100
Tablo 5-2: Endüstriyel Isıtma Yüklerinin Sıcaklıkları	100
Tablo 5-3: Her Sanayi Sektöründe Atık Isı Potansiyeli Bulunan Proseslerinin Tespiti	103
Tablo 5-4: Sıcaklık Aralıklarına Göre Atık Isı ve Carnot Potansiyeli Yüzdeleri.....	104
Tablo 5-5: Avrupa ve Türkiye'deki Başlıca Sanayi Sektörleri için Atık Isı ve Carnot Potansiyeli Dağılımı	105
Tablo 5-6: Birleşik Krallık dahil her AB Üye Devleti için Toplam Potansiyel,.....	106
Tablo 5-7: Sıcaklık Aralığına Göre Yaygın Kullanılan AIGK Sistemleri.....	125
Tablo 5-8: AIGK Teknolojilerinin Özet Tablosu	126

Tablo 5-9: Cam Sanayiinde Enerji Tüketen Alanlar	129
Tablo 5-10: Ana Proses Adımlarının Ortalama Spesifik Enerji Kullanımı.....	129
Tablo 5-11: Farklı Proses Yolları için Enerji Yoğunluğu.....	133
Tablo 5-12: Proses Adımı Başına Isıl Enerji ve Elektrik Enerjisi Tüketimi.....	136
Tablo 5-13: Süt Ürünleri Üretiminde Kullanılan Elektrik ve Yakıt	138
Tablo 5-14: Alüminyum Üretimi için Dünyana İyi Uygulama Nihai Enerji Yoğunluğu	146

Şekil Listesi

Şekil 0-1: Sektörler İçin Tahmini Atık Isı Potansiyelleri/Enerji Girdisi Oranı	10
Şekil 0-2: Termal ES'ler, Sanayi Sektörleri ve Ticari Binalar için Tahmini Teorik Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Referans Sıcaklıkta)	11
Şekil 0-3: Sıcaklık Aralığına Bölünmüş Tahmini Atık Isı Potansiyeli	11
Şekil 0-4: Termal ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyellerinin Dağılımı	12
Şekil 0-5: Farklı Referans Sıcaklıklarda Termal ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri ve Ara Buhar Çekme Potansiyelleri	12
Şekil 0-6: Sanayi Sektörleri için Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Ref.)	13
Şekil 0-7: Sanayi Sektörlerinin Atık Isı & İş Potansiyeli	13
Şekil 0-8: Ticari Binalar için Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Ref.)	15
Şekil 0-9: Ticari Binaların Atık Isı Potansiyeli	15
Şekil 0-10: Ana Sektörler İçin Teknik AI Potansiyelini Gerçekleştirecek Toplam Yatırım Maliyeti	16
Şekil 0-11: Teorik ve Teknik Potansiyel için Tahmini Maliyet Tasarrufları	16
Şekil 0-12: Sanayi Sektörlerinde Toplam Kojenerasyon Potansiyeli	18
Şekil 0-13: Binalarda Toplam Kojenerasyon Potansiyeli	18
Şekil 0-14: AIG Kurulu Kapasite Potansiyeli	19
Şekil 0-15: Tahmini Potansiyel ile Isıtılabilecek Hane Sayısı	19
Şekil 0-16: Sanayi Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Endüstriyel Tesisler İçin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı	21
Şekil 0-17: Ticari & Hizmet Binaları Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Ticari & Hizmet Binaları (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) İçin Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı ...	22
Şekil 0-18: Kömür & Doğalgaz Yakıtlı Termik Santraller (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Termik Santraller (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) İçin Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı	23
Şekil 2-1: Bina Tiplerine Göre Yakıt Türleri ve Tüketim Miktarlarının Dağılımı (2016)	39
Şekil 2-2: Nihai Enerji Tüketimi Dağılımı (2019)	39
Şekil 2-3: 2020 Yılında Sanayi Sektörlerinde Elektrik ve Isı Talebi	47
Şekil 2-4: 2020 Yılında Binaların Elektrik ve Isı Talebi	47
Şekil 2-5: Sanayi Sektörlerinde Mevcut Kojenerasyon Santrallerinin Toplam Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri	48
Şekil 2-6: Binalardaki Mevcut Kojenerasyon Tesislerinin Toplam Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri	48
Şekil 3-1: Termal ES'ler, Sanayi Sektörleri ve Ticari Binalar için Tahmini Teorik Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Referans Sıcaklıkta)	52
Şekil 3-2: Sektörler için Tahmini Atık Isı Potansiyeli/Enerji Girdisi Oranı	53
Şekil 3-3: Sıcaklık Aralığına Bölünmüş Tahmini Atık Isı Potansiyeli	53
Şekil 3-4: Ana Sektörler için Teknik AI Potansiyelini Gerçekleştirecek Toplam Yatırım Maliyeti	54
Şekil 3-5: Teorik ve Teknik Potansiyel için Tahmini Tasarruflar	55
Şekil 3-6: 2019 Yılında Sanayinin Atık Isı Kayıpları ve İş Potansiyeli	55
Şekil 3-7: Sanayi Sektörlerinin Atık Isı & İş Potansiyeli	57
Şekil 3-8: Tahmini Atık Isı Sıcaklık Aralıkları	58
Şekil 3-9: Farklı Sektör ve Proseslerin Sıcaklığa (Yüksek, Orta, Düşük) Göre Atık Isı Potansiyeli	58
Şekil 3-10: 2018, 2019 ve 2020 Yılları için Tahmini Egzoz Gazı Atık Isısı	63
Şekil 3-11: Tahmini Egzoz Gazı Atık Isısı	64
Şekil 3-12: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrallerinde Hesaplanan Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar	66
Şekil 3-13: Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020, 2021 yıllarındaki maksimum değerler)	66

Şekil 3-14: Linyit Kömürü Yakıtlı ES'lerde Tahmini Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar	67
Şekil 3-15: Linyit Kömürü Yakıtlı ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020 ve 2021 yılları için maksimum değerler)	68
Şekil 3-16: Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'lerde Tahmini Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar	68
Şekil 3-17: Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020 ve 2021 yılları için maksimum değerler)	69
Şekil 3-18: Toplam Kurulu Kapasite için Dışdeğerlenmiş Konsolide Termal ES Sonuçları	70
Şekil 3-19: Potansiyel Isı (TJ/y) – %20 Kütle Akışı Çekme – Dış değerli	71
Şekil 3-20: Yıllara Göre Toplam Verimlilik Yüzdeleri.....	73
Şekil 3-21: Sanayi Sektörlerinde Toplam Kojenerasyon Potansiyeli.....	74
Şekil 3-22: Binalarda Toplam Kojenerasyon Potansiyeli.....	75
Şekil 3-23: AIG Kurulu Kapasite Potansiyeli	76
Şekil 3-24: Tahmini Atık Isı Potansiyelinin Coğrafi Dağılımı	77
Şekil 3-25: Tahmini Potansiyel ile Isıtılabilecek Hane Sayısı.....	77
Şekil 3-26: Endüstriler ve Prosesler için Potansiyel Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (25°C Ref. Sıcaklık)	79
Şekil 3-27: Ticari Binalar ve Hizmet Binaları için Potansiyel Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (25°C Ref. Sıcaklık)	80
Şekil 3-28: Termik Santraller için Tahmini Emisyon Azaltımları	81
Şekil 3-29: Türkiye'nin Teorik Jeotermal Potansiyelinin Elektrik Üretimi ve Doğrudan Kullanım Teknolojilerine Göre Dağılımı.....	83
Şekil 3-30: Yıllara Göre Güneş ve Rüzgar Projeleri ABD doları/kWh değerleri.....	85
Şekil 3-31: Güneş Kaynaklı Isıl Enerjinin Endüstriyel Proses Isısı Potansiyeli (EJ/yıl)	88
Şekil 3-32: Güneş Enerjili Su Isıtma Kollektörü İlaveleri, Kapasite Eklmesine Göre İlk 20 Ülke, 2020	89
Şekil 4-1: Sanayi Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Endüstriyel Tesisler İçin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı	94
Şekil 4-2: Etüt Çalışması Yapılan Ticari Binalar ve Hizmet Binaları için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli Dağılımı	96
Şekil 4-3: Ticari ve Hizmet Binalar Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Ticari ve Hizmet Binalarının (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı.....	97
Şekil 4-4: Etüt Çalışması Yapılan Termik Santraller için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli Dağılımı	98
Şekil 4-5: Kömür & Doğalgaz Yakıtlı Termik Santraller (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Termik Santrallerin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı.....	99
Şekil 5-1: Çok Geçişli Ekonomizer Şeması.....	107
Şekil 5-2: Atık Isı Kazanı Şeması	108
Şekil 5-3: Döner Tip (Isı Tekerleği) Rejeneratör.....	109
Şekil 5-4: ÇBİD Şeması	109
Şekil 5-5: Isı Borusu Eşanjör	110
Şekil 5-6: Rejeneratif Brülörün 1. Döngüsü.....	111
Şekil 5-7: Rejeneratif Brülörün 2. Döngüsü.....	111
Şekil 5-8: Reküperatif Brülör Şeması.....	112
Şekil 5-9: Reküperatöre Genel Bakış.....	112
Şekil 5-10: Metalik Radyasyon Reküperatörü	113
Şekil 5-11: Konvektif Reküperatör	114
Şekil 5-12: Hibrit Reküperatör	114
Şekil 5-13: Levhalı Isı Değiştirici.....	115

Şekil 5-14: Isı Pompasının Isı Geri Kazanımı Uygulaması için Çalışma Prensipleri	116
Şekil 5-15: Tipik Isı Geri Kazanım Buhar Kazanı Bileşenleri	117
Şekil 5-16: Termo-Kompresörün Şematik Görünümü	117
Şekil 5-17: Buhar Rankin Çevrimi	118
Şekil 5-18: Tipik ORC Şeması - Turboden	119
Şekil 5-19: Reküperatör ve Ayırıcıdan Oluşan Kalina Çevrimi	119
Şekil 5-20: Termoelektrik Üretimi Şeması	120
Şekil 5-21: Termiyonik Enerji Dönüşüm Prosesi Şeması	121
Şekil 5-22: TFV Jeneratör Şeması	122
Şekil 5-23: Doğrudan Temaslı Yoğuşma Geri Kazanım Ünitesinin Şematik Görünümü	123
Şekil 5-24: TMK Şeması	124
Şekil 5-25: Cam İmalatı Akış Şeması	129
Şekil 5-26: Çimento Üretim Prosesi	131
Şekil 5-27: Çelik Üretimi Akış Şeması	133
Şekil 5-28: Seramik İşleme	135
Şekil 5-29: Farklı Seramik Ürünler için Pişirme Sıcaklığı Aralıkları	136
Şekil 5-30: AB-27'de Tam Yağlı Süt Kullanımı	138
Şekil 5-31: Ekmek İmalatı Prosesi Akış Şeması	139
Şekil 5-32: Kağıt Hamuru ve Kağıt Yapımında Proses Akış Şeması	140
Şekil 5-33: Kağıt Makinesi	141
Şekil 5-34: Çeşitli Tekstil Proseslerinin Akış Şeması	142
Şekil 5-35: Entegre Bir Tekstil Fabrikasında Tipik Elektrik ve Termal Enerji Kullanımının Dağılımı	143
Şekil 5-36: Alüminyum Üretimi Akış Şeması	145
Şekil 5-37: Birincil ve İkincil Bakır Üretimi	145

Ek Listesi

Ek I: İncelenen Literatür ve Paydaş Katılımı Faaliyetleri

Ek II: Sanayi Hesaplamaları

Ek II-A: Sanayi Hesaplamaları 2018

Ek II-B: Sanayi Hesaplamaları 2019

Ek II-C: Sanayi Hesaplamaları 2020

Ek III: Termik Santral Hesaplamaları

Ek IV: Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Atık Isı Potansiyeli Hesaplamaları

Ek V: Ticari Binalar ve Hizmet Binaları Hesaplamaları

Ek VI: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi

Ek VI-A: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Çimento Sektörü

Ek VI-B: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Seramik Sektörü

Ek VI-C: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Süt Ürünleri ve Fırıncılık Sektörü

Ek VI-D: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Cam İmalatı

Ek VI-E: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Demir-Çelik

Ek VI-F: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Kağıt Hamuru ve Kağıt

Ek VI-G: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Tekstil Sektörü

Ek VI-H: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Demir Dışı Metaller Sektörü

Ek VI-I: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Ticari Binalar

Ek VI-J: Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi_Termik Santraller

Ek VII: Yoğunlaştırılmış Güneş Kaynaklı Isıl Enerji Değerlendirme Raporu

Ek VIII: Kojenerasyon Sistemlerinden Kaynaklanan Atık Isı Hesaplamaları

Ek IX: Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli Tahmini Hesaplamaları

Ek X: Bölgesel Isıtma Değerlendirmesi

Ek XI: Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretimi Hesaplaması

Ek XII: Enerji Etüdü Sonuçlarının (Aşağıdan Yukarıya Değerlendirme) Ülke Düzeyinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi (Yukarıdan Aşağıya Değerlendirme) ile Değerlendirmesine İlişkin Veriler

Kısaltmalar

AI	Atık Isı
AIG	Atık Isıdan Güce
AIGK	Atık Isı Geri Kazanımı
AİKB	Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası
AYB	Avrupa Yatırım Bankası
BAT	Mevcut En İyi Teknoloji
BÇGT	Basit Çevrim Gaz Türbini
BIO	Bölgesel Isıtma Operatörü
BOF	Bazik Oksijen Fırını
BREF	BAT Referans Belgesi
CHP	Bileşik Isı ve Güç
ÇBID	Çevrimsel (Run-Around) Serpantin
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
ÇG	Çöp Gazı
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DB	Dünya Bankası
DG	Doğalgaz
DS	Düşük Sıcaklık
EAF	Elektrik Ark Fırını
EL	Ekip Lideri
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ES	Enerji Santrali
ESGI	Endüstriyel Süreçler için Güneş Isısı
ESS	Evaporatif Soğutma Sistemi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUBIA	Avrupa Biyokütle Sanayii Birliği
EÜAŞ	Enerji Üretim A.Ş.
EV	Enerji Verimliliği
EVÇED	Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı
EY	Enerji Yoğunluğu
FH	Fotovoltaik Hücreler
GSYİH	Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IGKBK	Isı Geri Kazanım Buhar Kazanı
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISH	Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
İ&B	İşletim ve Bakım
İGO	İçsel Getiri Oranı
KÇGT	Kombine Çevrim Gaz Türbini
KFG	Kok Fırını Gazı
KOBİ	Küçük ve Orta Ölçekli İşletme
NACE	Nomenclature des Activités Economiques dans la Communauté Européenne - Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflandırması
ORC	Organik Rankin Çevrimi
OS	Orta Sıcaklık
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PK	Performans Katsayısı
RTO	Rejeneratif Termal Oksitleyici
SEÖS	Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemi
SET	Spesifik Enerji Tüketimi
SG	Sera Gazları
SRC	Buhar Rankin Çevrimi
STH	Sürekli Tavlama Hattı
TED	Termal Enerji Depolama

TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TFV	Termo Fotovoltaik
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TMK	Taşımalı Membran Kondenser
TurSEFF	Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı
TÜ	Termoelektrik Üretimi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UFK	Uluslararası Finans Kuruluşu
UİDEP	Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı
UİDSB	Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UYEEP	Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı
ÜD	Üye Devletler
VAP	Verimlilik Artırıcı Proje
YE	Yenilenebilir Enerji
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEY	Yenilenebilir Enerji Yönergesi
YF	Yüksek Fırın
YGKIE	Yoğunlaştırılmış Güneş Kaynaklı Isıl Enerji
YS	Yüksek Sıcaklık

Terimler ve Tanımlar

Atık Isı (Geri Kazanılmamış Isı)	Verimli bir son kullanımda AIGK teknolojileri aracılığıyla yakalanmayan veya yeniden kullanılmayan ısı.
Teorik Potansiyel	Yalnızca ortam sıcaklığının üstünde olması gereken sıcaklık, ortama bağlılık gibi fiziksel kısıtlamaları dikkate alan potansiyel. Isıyı çekip kullanmanın mümkün olduğu durumlarda dikkate alınmaz.
Teknik Potansiyel	Bir akışkandan ısı çekmenin mümkün olup olmadığını dikkate alan potansiyel.
Ekonomik Potansiyel/Fizibilite Potansiyeli	Ekonomik potansiyel saha verilerini, sahaya özgü parametrelerle, örneğin AIGK teknolojilerinin ekonomik kriterlere göre analiz edilip edilmediğine göre değerlendirir. Enerji etütlerinde ekonomik potansiyeli olan projeler geri ödeme süresi 7 yıl ve altı olan projeler kabul edilir.
Carnot Verimliliği	Carnot verimliliği olarak bilinen İkinci Termodinamik Yasasının mümkün kıldığı şekilde, bir ısı motorunun ulaşabileceği maksimum termal verimlilik.
Entalpi	Sistemin iç enerjisinin ve sistem basınç ve hacminin sonucunun toplamı.
Kütlele Debi	Fizik ve mühendislikte kütlele debi, bir maddenin birim zaman başına akan kütlele dir.
Özgül Isı Kapasitesi	Termodinamikte bir maddenin özgül ısı kapasitesi, maddenin bir numunesinin ısı kapasitesinin, numunenin kütlele sine bölümüdür.
İdeal Gaz	İdeal gaz, parçacıklar arası etkileşimlere tabi olmayan, rastgele hareket eden birçok nokta parçacıktan oluşan teorik bir gazdır.
Carnot Potansiyeli (Teknik İş Potansiyeli, Termodinamik Nitelik)	Fiziksel iş (ekserji) sağlama potansiyeli.
Hidrolik Çap	Açık ön cephe alanının dört katının geometrik yüzey alanına bölümü.
Piro-Proses	Kimyasal veya fiziksel bir değişiklik meydana getirmek için malzemelerin yüksek sıcaklıklara (genellikle 800°C'nin üstünde) maruz bırakıldığı işlem.
Elektrostatik Süzgeç	Gazların üniteden akışını minimum düzeyde engelleyen indüklenmiş elektrostatik yük kuvvetini kullanarak, akan bir gazdan ince parçacıkları uzaklaştıran filtresiz cihaz.

Brayton Çevrimi	Aracı akışkan olarak hava veya başka bir gaz kullanan belirli ısı motorlarının çalışmasını tanımlayan termodinamik çevrim.
Rankin Çevrimi	Belirli ısı motorlarının, bir ısı kaynağı ile ısı emici arasında hareket eden bir akışkandan mekanik iş çekilmesini sağladığı prosesi tanımlayan idealize edilmiş termodinamik çevrim.
Faraday'in Elektromanyetik İndüksiyon Yasası	Bir manyetik alanın bir elektrik devresi ile nasıl etkileşeceğini öngören temel elektromanyetizma yasası.
Termal Verimlilik	Ağ çıktısının ısı girdisine oranı.
Gerçek/Pratik Verimlilik	Ticari olarak temin edilebilen AIG teknolojileri için verimlilik.
Kalina Çevrimi	Aracı akışkan olarak kaynama noktaları farklı olan iki akışkandan oluşan bir zeotropik karışım kullanan yenilikçi bir alt çevrim.
CHP Çevrimi	Tek bir enerji kaynağından elektrik veya mekanik güç ile faydalı termal enerjinin (ısıtma ve/veya soğutma) eşzamanlı üretimi. Tek bir enerji kaynağından elektrik veya mekanik güç ile faydalı termal enerjinin (ısıtma ve/veya soğutma) eşzamanlı üretimi.
Mezofilik Çürütücü	20°C ile yaklaşık 40°C arasındaki sıcaklıklarda çalışan bir tür biyo-çürütücü.
Termofilik Çürütücü	50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışan bir tür biyo-çürütücü.
Hacimsel Debi	Birim zamanda akan akışkanın hacmi.

Yönetici Özeti

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) enerji tasarrufu hedeflerine ulaşmasında Türkiye'yi, faydalanılmayan atık ısı fırsatlarını hayata geçirerek desteklemeyi hedefleyen, ülke düzeyinde atık ısı potansiyeline ilişkin bir piyasa değerlendirmesi (yukarıdan aşağıya değerlendirme) yapılmıştır. Bu bağlamda, Danışman, atık ısı akışlarının miktarını ve niteliğini belirlemek için üç ana ısı kullanım sektöründe –sanayi, ticari binalar ve hizmet binaları ve termik santraller– ülke düzeyinde atık ısı potansiyeline ilişkin bir değerlendirme yürütmüştür. Bu sektörlere ek olarak, yenilenebilir enerjiye dayalı (biyoenerji ve atıktan enerjiye) enerji santralleri ve kojenerasyon santrallerinde atık ısı potansiyeli değerlendirilmiştir.

Yukarıda belirtilen üç sektördeki toplam atık ısı potansiyeli değerlendirmesinin bir unsuru olarak, toplam tahmini atık ısıdan toplam elektrik üretim potansiyeli ve seçilen tesislerin tahmini atık ısısından bölgesel ısıtma potansiyeli değerlendirilmiştir.

Ayrıca, sanayi ve ticari binalar ve hizmet binaları için toplam kojenerasyon kurulum potansiyeline ilişkin ülke düzeyinde bir değerlendirme yapılmıştır.

Toplam tahmini atık ısının geri kazanılması yoluyla sera gazı (SG) emisyonu azaltım potansiyeli de değerlendirilmiştir.

İlaveten, yenilenebilir enerjiye dayalı ısıtma seçenekleri de (jeotermal ve yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısıl enerji) değerlendirilmiştir.

Değerlendirme metodolojisi, literatür taraması ve mevcut veri temel alınarak oluşturulmuştur.

En güncel yakıt tüketimi ve baca gazı verileri bu senelere ait olduğundan, değerlendirmede 2018, 2019 ve 2020 yılları dikkate alınmıştır. Ancak sonuçların sunumunu basitleştirmek ve COVID-19'un etkilerini saf dışı bırakmak için bu rapordaki tablo ve grafiklerin çoğunda 2019 sonuçlarından yararlanılmıştır. 2018 ve 2020 sonuçları eklerde yer almaktadır.

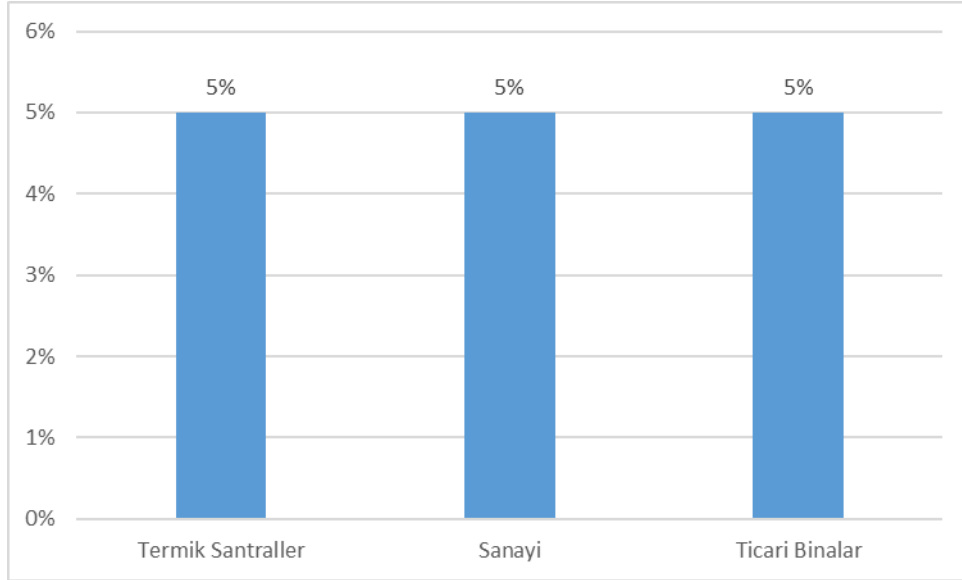
Bu rapordaki atık ısı potansiyeli değerlendirmesi, egzoz akışlarındaki atık ısı kaybı tahminlerinin dikkate alındığı termodinamik yasalarına dayanmaktadır. Hesaplamalar, tahmini yakıt tüketimine ve egzoz akışlarının sıcaklığına ve kimyasal bileşimlerine bağlı olan egzoz gazlarının beklenen özgül entalpisine dayanmaktadır. Bölüm 2.2.1'de ifade edildiği gibi, sanayi sektörleri ve termik santraller için 25°C, 70°C, 120°C ve 150°C; ticari binalar için 25°C ve 150°C referans sıcaklıkları temel alınmıştır. Bahsedilen sıcaklık aralıkları, tahmini atık ısının kullanım potansiyelini ve potansiyel geri kazanım teknolojilerini açıklamak için kullanılmıştır. Öncelikle, atık ısı yalnızca ortam sıcaklığının üzerinde olunması, belirli bir ortama bağlı olunması gibi yalnızca fiziksel kısıtlılıklar dikkate alınarak açıklanmıştır. Bu potansiyel, teorik potansiyel olarak ifade edilir. Ayrıca, sera (70°C) ve bölgesel ısıtma uygulamaları (120°C) için kullanılacak mevcut atık ısı tahmin edilmiştir. Dahası, bu raporda, bir akışkandan ısının çekilmesinin veya ısının kullanılmasının mümkün olup olmadığını dikkate alan atık ısı için teknik potansiyel de açıklanmaktadır. Sanayi ve ticari binalar için teknik potansiyeli tahmin etmek için 150°C kullanılmıştır. Farklı potansiyel tanımlarına ek olarak, raporda fiziksel iş (ekserji) sağlama potansiyeli de Carnot potansiyeli olarak tanımlanmış ve tahmini potansiyelin elektrik/mekanik iş kabiliyetini irdelemek üzere değerlendirilmiştir.

Değerlendirmenin ana bulguları aşağıda sunulmuştur:

Ana Bulgular

Sanayi, Ticari Binalar, Hizmet Binaları ve Termik Santrallerde Atık Isı Potansiyeli

2019 yılında sanayi sektörleri, ticari binalar ve termik enerji santrallerinin (ES) toplam enerji girdisi 3.283.472 TJ¹, toplam tahmini teorik atık ısı potansiyeli ise 159.957 TJ olmuştur. Dolayısıyla, 2019 yılında her üç sektörün toplam teorik atık ısı potansiyelinin, toplam enerji girdisinin %5'i olduğu tahmin edilmektedir.

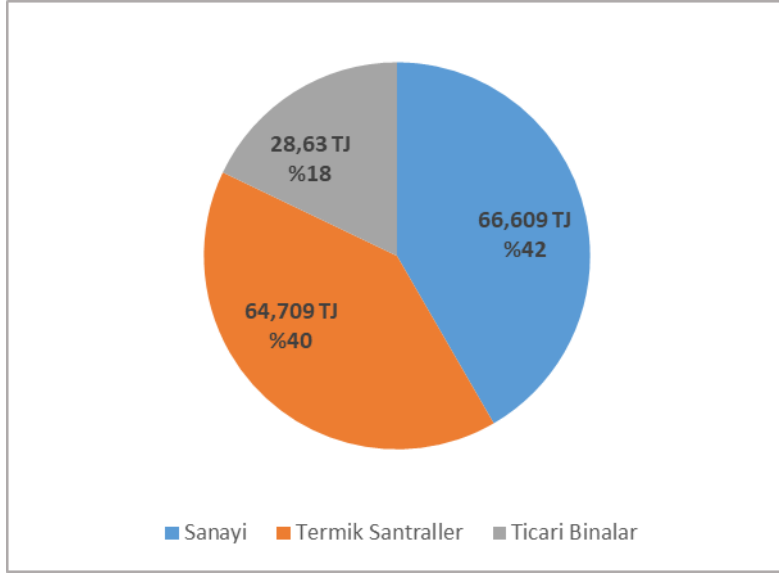


Şekil 0-1: Sektörler İçin Tahmini Atık Isı Potansiyelleri/Enerji Girdisi Oranı

Yukarıdaki grafik, sanayi sektörleri, termik santraller ve ticari binalar için tahmini atık ısı potansiyelinin, enerji girdisine oranının neredeyse eşit olduğunu göstermektedir.

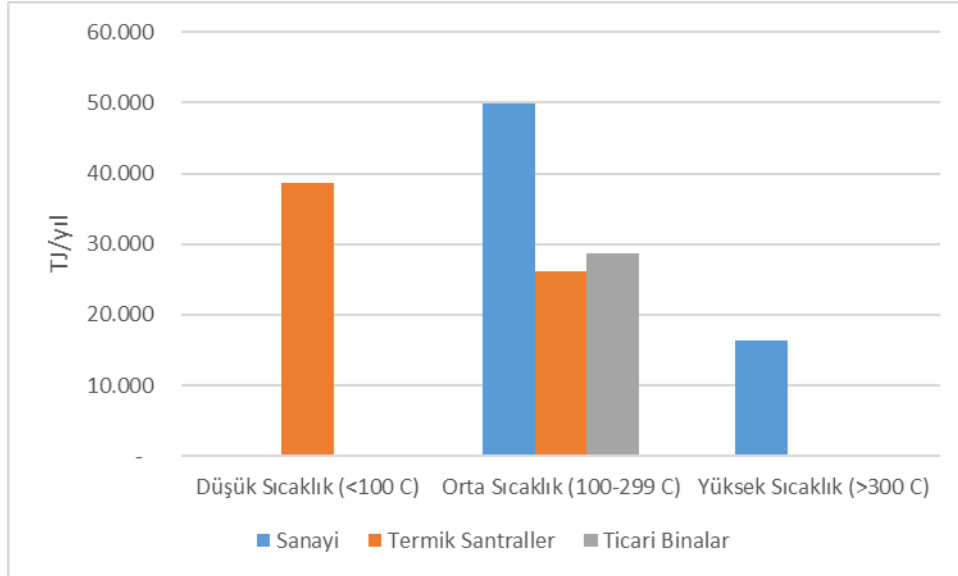
Sanayi sektörleri 66.609 TJ/yıla karşılık gelen %42'lik payla en yüksek atık ısı potansiyeline sahiptir. İkinci en yüksek atık ısı potansiyeli 64.709 TJ/yıl ile termik santrallere aittir. Toplam atık ısı potansiyelinin %18'i ticari binalardan gelmekte, bu oran 28.639 TJ/yıla karşılık gelmektedir.

¹ ETKB Enerji Denge Tabloları, 2019



Şekil 0-2: Termik ES'ler, Sanayi Sektörleri ve Ticari Binalar için Tahmini Teorik Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Referans Sıcaklıkta)

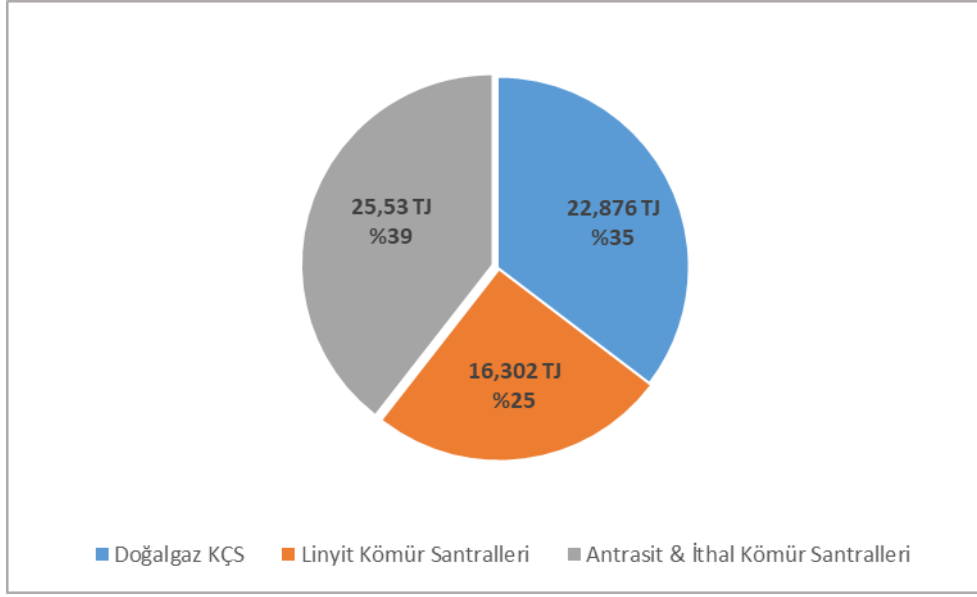
Tahmini potansiyellerin fiziksel iş (termodinamik nitelik) sağlama potansiyelinin belirlenmesi için sektörler, tahmini atık ısının sıcaklıklarına göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 0-3: Sıcaklık Aralığına Bölünmüş Tahmini Atık Isı Potansiyeli

Düşük sıcaklıkta atık ısı, ağırlıklı olarak termik santrallerin atık ısısından oluşmaktadır (enerji santrallerinde 38.618 TJ, sanayi tesislerinde 263 TJ). Orta sıcaklıkta atık ısı miktarı, en yüksek miktardır (104.644 TJ). Yüksek sıcaklıkta atık ısı ise sanayi kaynaklıdır (16.430 TJ).

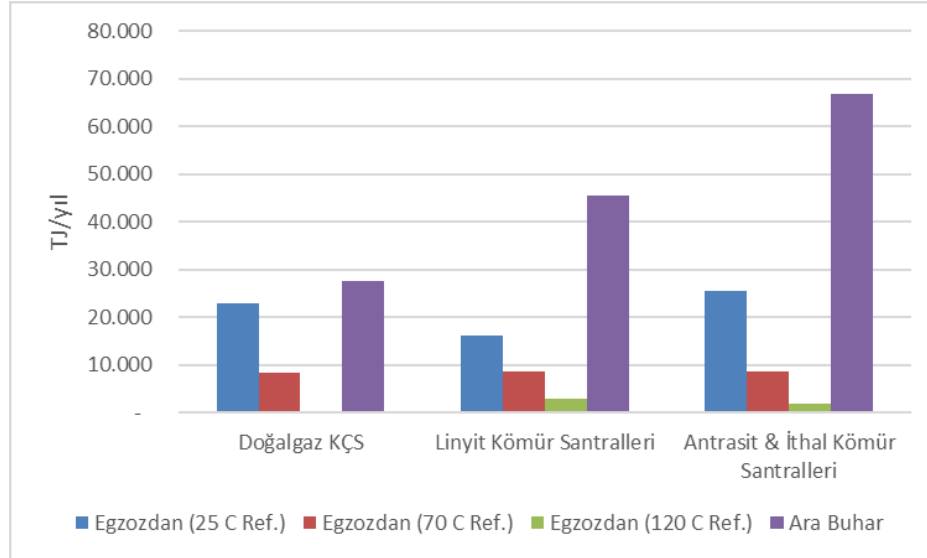
Termik santraller için tahmini atık ısı potansiyelinin dağılımı, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler için %39 (25.530 TJ/yıl), DG yakıtlı ES'ler için %35 (22.876 TJ/yıl) ve linyit yakıtlı ES'ler için %25'tir (16.302 TJ/yıl).



Şekil 0-4: Termik ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyellerinin Dağılımı

Termal ES'ler söz konusu olduğunda, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler yıllık 2.454.499 tCO_{2eş} ile en yüksek emisyon azaltım potansiyeline sahiptir. DG yakıtlı ES'ler söz konusu olduğunda, egzozdan kaynaklanan SG emisyon azaltımı 1.289.185 tCO_{2eş}/yıldır. Bu rakam linyit yakıtlı ES'ler için 1.695.285tCO_{2eş}/yıldır.

Egzoz gazlarından kaynaklanan tahmini atık ısı potansiyeline ek olarak, termik ES'ler için ara buhar çekme de değerlendirilmiştir. Ara buhar atık ısı olarak kabul edilmese de bu kaynağın kullanılması, tesisin toplam verimliliğini artıracaktır. Ara buhar çekme açısından, en yüksek potansiyeli antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler taşımaktadır. Aşağıdaki tablo, DG yakıtlı ES'ler, linyit yakıtlı ES'ler ve antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler için potansiyel dağılımını göstermektedir.

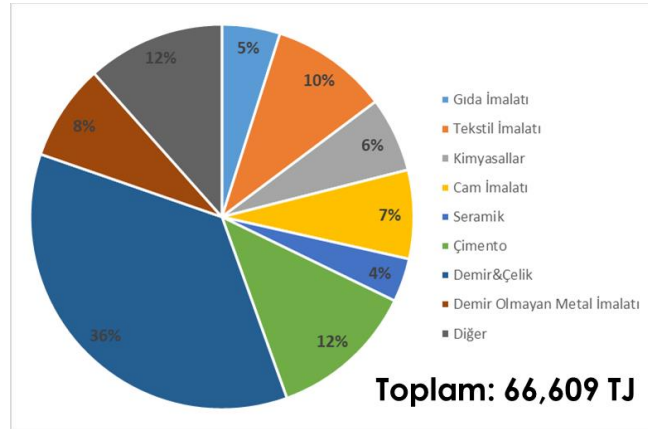


Şekil 0-5: Farklı Referans Sıcaklıklarda Termik ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri ve Ara Buhar Çekme Potansiyelleri

Antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler için ara buhardan kaynaklanan sera gazı emisyonu azaltım potansiyeli 4.343.368 tCO_{2eş} olarak hesaplanmıştır. Bu rakam, DG yakıtlı ES'ler için 1.797.316 tCO_{2eş}/yıl ve linyit yakıtlı ES'ler için 2.959.517 tCO_{2eş}/yıldır.

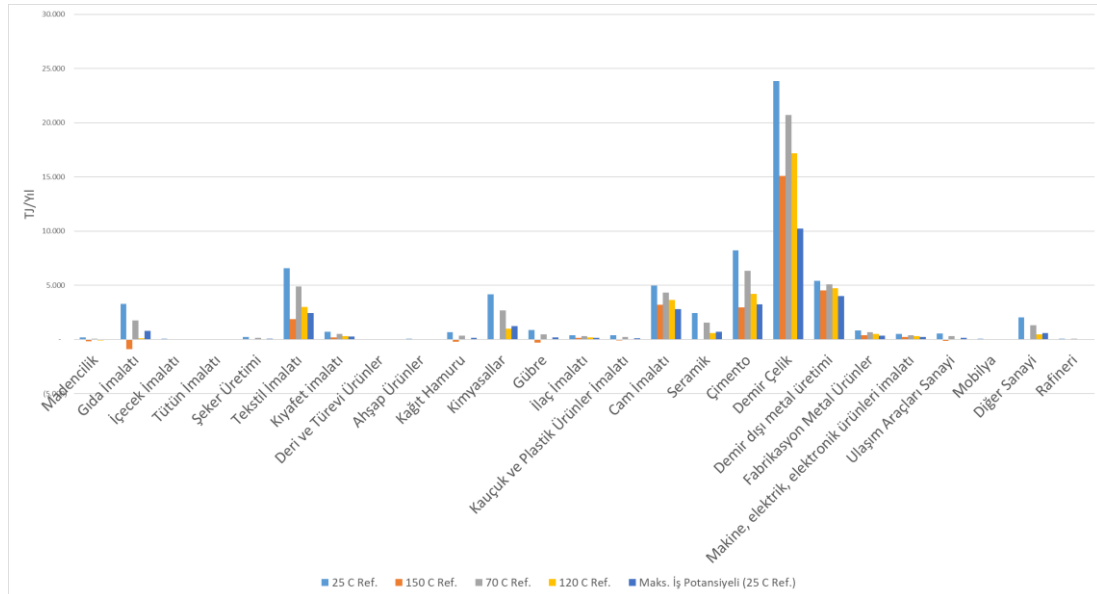
Doğalgaz (DG) yakıtlı ve kömür yakıtlı ES'lerin detaylı etüt sonuçları, bölgesel ısıtma projelerinin fizibilitesi ve uygulanabilirliğinin talep tarafınca belirlenmesi nedeniyle, yakınlardaki bir yerleşim alanının ve santrallere yakın mesafede ikamet eden nüfusun varlığının, atık ısının mevcudiyetinden daha önemli bir kriter olduğunu göstermiştir.

Sanayi sektörleri için 25°C referans sıcaklıkta 2019 yılında toplam atık ısı potansiyelinin 66.609 TJ, yani toplam enerji girdisinin %5'i olduğu tahmin edilmektedir. Tahmini atık ısının sera gazı emisyonu azaltım potansiyeli 3.590.099 tCO_{2eş}/yıl olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 0-6: Sanayi Sektörleri için Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Ref.)

Demir-çelik sektörü, tüm sanayi sektörleri arasında %36 (23.831 TJ/yıl) ile en yüksek atık ısı potansiyeline sahiptir. 25°C referans sıcaklıkta demir-çeliği sırasıyla 8.212 TJ/y, 6.581 TJ/y 5.404 TJ/y ve 4.961 TJ/y ile çimento, tekstil, demir dışı metal üretimi ve cam takip etmektedir.



Şekil 0-7: Sanayi Sektörlerinin Atık Isı & İş Potansiyeli

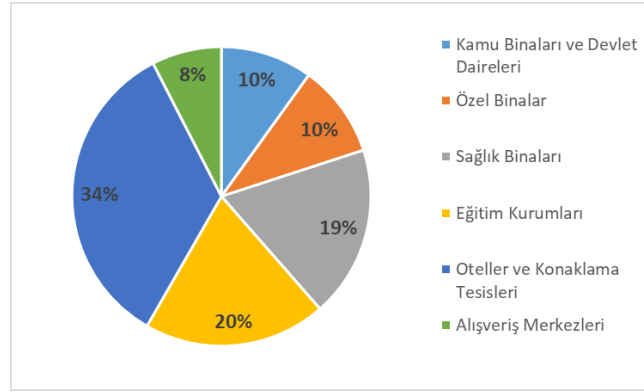
Düşük sıcaklıkta atık ısı nedeniyle birçok sektörün elektrik/mekanik iş potansiyeli, tekstil ve gıda üretimi gibi diğer sektörler göre nispeten düşüktür. Tahmini potansiyellerin maksimum iş potansiyelinin belirlenmesi için sektörler ve alt sektörler atık ısı akışlarının Carnot verimliliklerine göre sınıflandırılmıştır. Demir-çelik sanayii, demir dışı metal üretimi, çimento ve cam sektörleri için egzoz akışlarının kayda değer iş potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, teknoloji seçenekleri, belirlenen sıcaklık grupları için kategorilere ayrılmıştır.

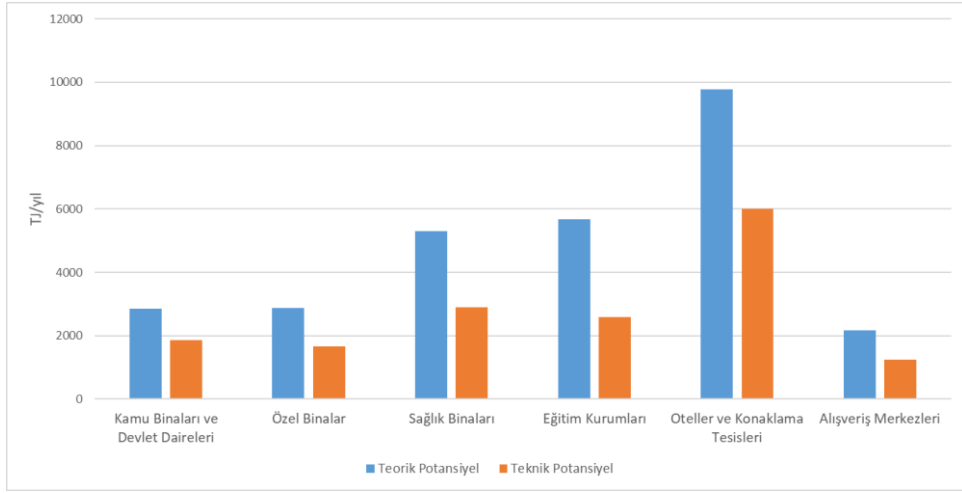
Tablo 0-1: Sıcaklık Aralığına Göre Yaygın Kullanılan AIGK Sistemleri

Düşük Sıcaklık	Orta Sıcaklık	Yüksek Sıcaklık
Birçok farklı tasarımlı konvektif reküperatör (metalik) Kanatlı borulu ısı değiştirici (ekonomizer) Su ve sıvı ısıtma için gövde borulu ısı değiştirici Isı pompası Temaslı su ısıtıcı Yoğurturucu su ısıtıcı veya ısı değiştirici Metalik ısı tekerleği Isı borusu değiştirici	Birçok farklı tasarımlı konvektif reküperatör (metalik) Kanatlı borulu ısı değiştirici (ekonomizer) Su ve sıvı ısıtma için gövde borulu ısı değiştirici Self-rekuperatif brülör Buhar ya da sıcak yoğuşma suyu için atık ısı kazanı Yük-hammadde (konveksiyon bölümü) ön ısıtma Metalik ısı tekerleği Isı borusu değiştirici	Konvektif reküperatör (metalik) – çoğunlukla boru şekilli Radyasyon reküperatörü Rejeneratif brülör Isı geri kazanım kazanı Buhar türbini-jeneratör kaynaklı güç üretimi dahil atık ısı kazanı Yük ya da hammadde ön ısıtma Metalik ısı tekerleği (rejeneratif sistem)

Sonuçlar, 2019 yılında ticari binalar ve hizmet sektörlerindeki binalara yıllık toplam 523.373 TJ enerji tedarik edildiğini göstermektedir. Egzoz gazlarından kaynaklanan toplam tahmini atık ısı 28.639 TJ/y olup atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranı %5'tir. Tahmini atık ısınının SG emisyonu azaltım potansiyeli 924.821 tCO_{2eş}/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 0-8: Ticari Binalar için Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Ref.)

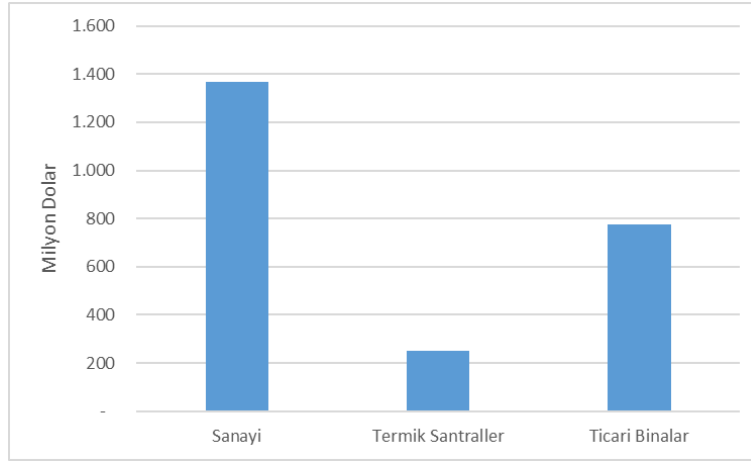


Şekil 0-9: Ticari Binaların Atık Isı Potansiyeli

Ana Sektörler için Tahmini Atık Isı Potansiyelinden Yararlanmak için Gereken Yatırım Miktarı ve Tahmini Maliyet Tasarrufu

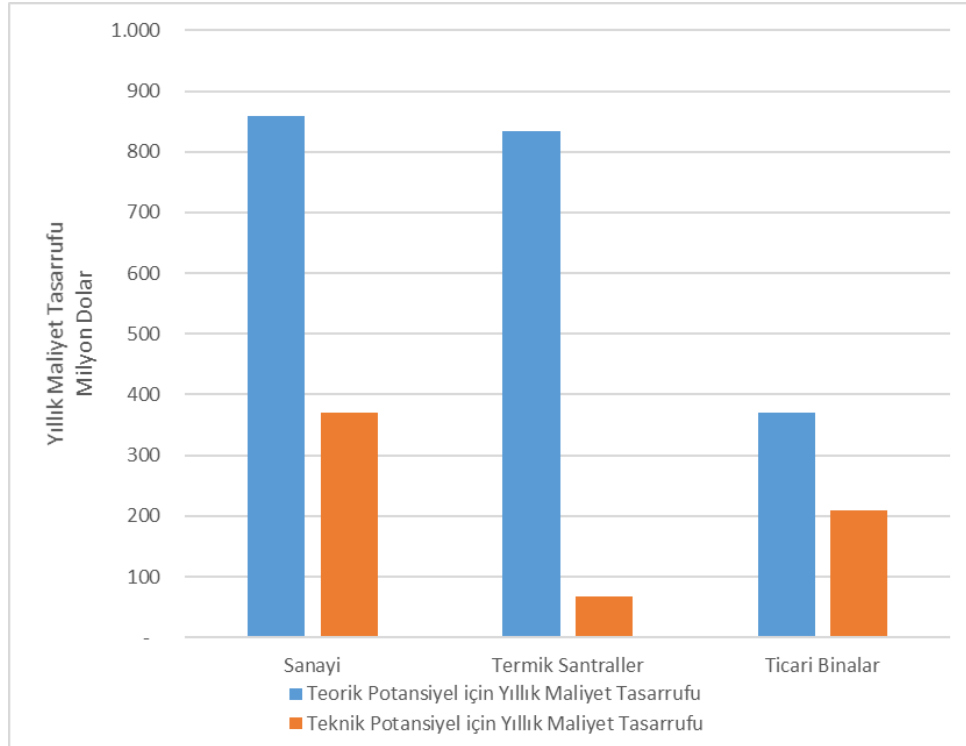
Teorik atık ısı potansiyelinden yararlanmak için gereken toplam yatırım tutarının 7.640.832.055 ABD doları² olduğu tahmin edilmektedir. Teorik potansiyel yerine her sektör için teknik potansiyel daha gerçekçi bir toplam yatırım maliyeti ortaya koyabilir. Sanayi tesisleri için atık ısı geri kazanım teknolojilerine ilişkin genel uygulama, 150°C referans sıcaklıktadır ve bu sıcaklıkta tahmini atık ısı yatırım tutarı 1.368.029.133 ABD doları olacaktır. Termik santraller için en uygun referans sıcaklık, bölgesel ısıtma uygulamalarının potansiyelini tahmin etmek için kullanılan 120°C'dir. Dolayısıyla, ES'ler için tahmini yatırım tutarı 248.880.537 ABD dolarıdır. Ticari binalar söz konusu olduğunda, teknik potansiyel için 150°C referans sıcaklık varsayılmıştır ve bu sıcaklıkta tahmini atık ısı için gerekli yatırım tutarı 776.823.774 ABD doları olacaktır. Teknik potansiyel için toplam kümülatif yatırım tutarı 2.393.733.445 ABD dolarıdır.

² Birim yatırım maliyeti EVÇED tarafından 2000 ABD doları/TEP olarak alınmıştır.



Şekil 0-10: Ana Sektörler İçin Teknik AI Potansiyelini Gerçekleştirecek Toplam Yatırım Maliyeti

Teorik atık ısı potansiyelinin geri kazanılmasıyla sağlanabilecek maliyet tasarrufu, sanayi için 859.000.000 ABD doları/yıl, termik santraller için 834.000.000 ABD doları/yıl ve ticari binalar için 369.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir. Teknik potansiyel için maliyet tasarrufu sanayi için 369.000.000 ABD doları/yıl, termik santraller için 67.000.000 ABD doları/yıl ve ticari binalar için 210.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir. Teknik atık ısı potansiyelinin geri kazanılmasıyla sağlanabilecek toplam maliyet tasarrufu 646.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 0-11: Teorik ve Teknik Potansiyel için Tahmini Maliyet Tasarrufları

Yenilenebilir Enerjiye Dayalı (Biyoeenerji ve Atıktan Enerjiye) Santrallerde Atık Isı Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynaklı atık ısı potansiyelinin hesaplanması için biyokütle, biyogaz ve çöp gazı (ÇG) santralleri analiz edilmiştir. Genel sonuçlar aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.

Tablo 0-2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Atık Isı Potansiyeli Genel Sonuçları³

Biyokütle Yakma Kaynaklı Al Egzoz Gazı (25°C Ref.) (TJ/yıl)	Biyokütle Yakma Kaynaklı Al Egzoz Gazı (70°C Ref.) (TJ/yıl)	Biyokütle Yakma Kaynaklı Al Egzoz Gazı (120°C Ref.) (TJ/yıl)	Harici Kullanımlar için Biyogaz Isı Üretimi (TJ/yıl)	Harici Kullanımlar için ÇG Isı Üretimi (TJ/yıl)
6.603	3.658	1.200	2.616	4.344

Kojenerasyon Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli

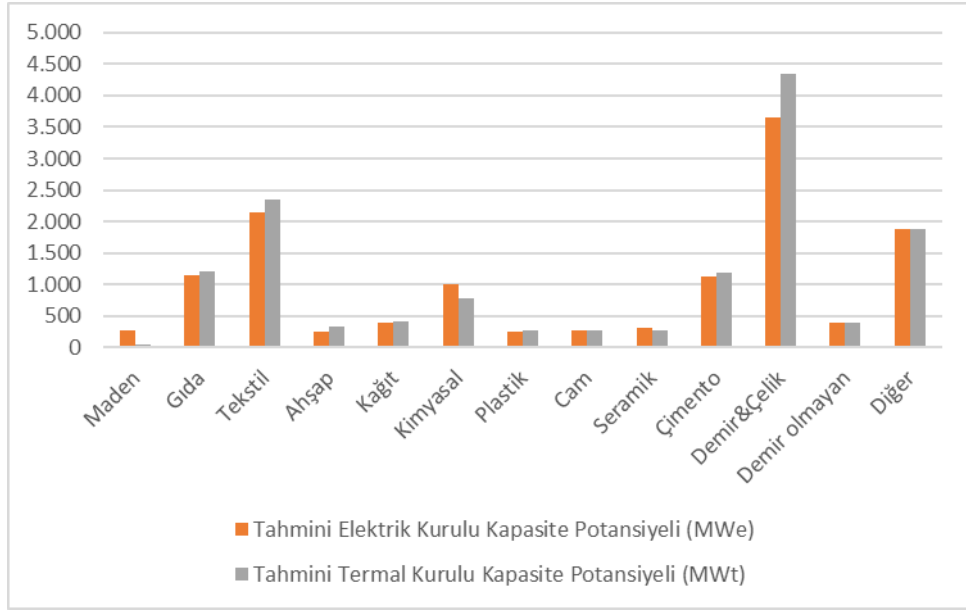
Proje kapsamında ana sektörlerin yanı sıra mevcut kojenerasyon santrallerinin de atık ısı potansiyeli analiz edilmiştir. Mevcut kojenerasyon santrallerinin 2020'deki ortalama toplam verimlilikleri, yenilenebilir ve atık yakıtlı sistemler için %79,70, doğalgazla çalışan sistemler için %75,75 olarak tahmin edilmiştir, bu da gelişim ve atık ısı potansiyeli alanının çok büyük olmadığını göstermektedir. Başlıca iyileşme alanı, toplam verimlilikleri %55,76 olan kömüre dayalı kojenerasyon santralleridir ancak kömür ve sıvı yakıtlı kojenerasyon santralleri için dikkate alınması gereken husus, yeşil dönüşüm veya yeşil kojenerasyon santralleriyle ikamedir.

Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli

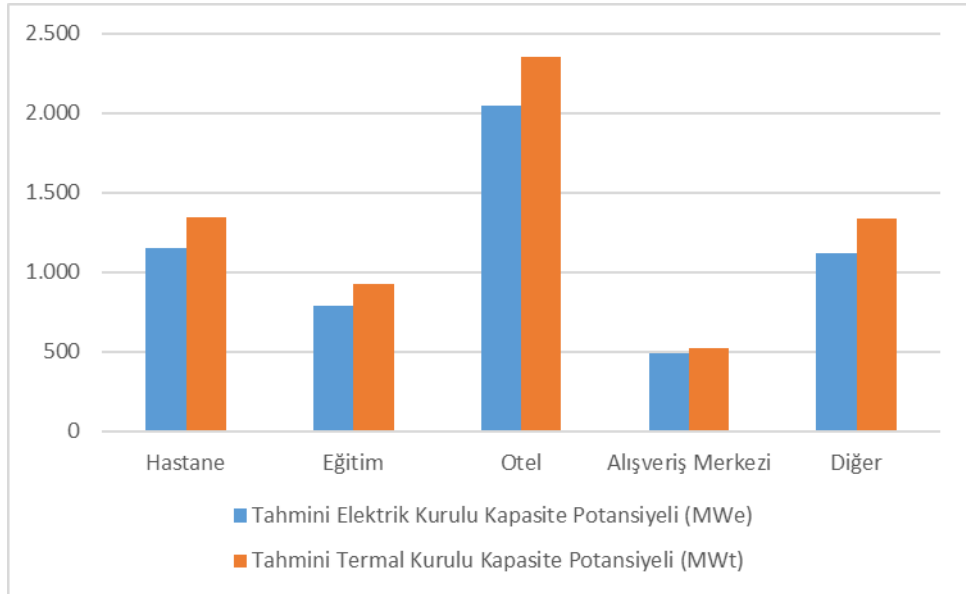
İmalat sanayi ve ticari binalar için ülke düzeyinde kojenerasyon kurulum potansiyeli hesaplanmıştır. Sonuçlar, Türkiye'de sanayideki toplam kojenerasyon potansiyelinin 13.164 MWe ve 13.795 MWt kurulu güç olduğunu, Türkiye'deki binalardaki toplam kojenerasyon potansiyelinin ise 5.591 MWe ve 6.473 MWt kurulu güç olduğunu göstermektedir.

Tahmin sonuçları, tüm imalat sektörleri ve binalar arasında sırasıyla demir-çelik sektörünün ve otellerin en yüksek potansiyele sahip olduğunu işaret etmektedir. Ancak sektörde buhar talebi olmadığı için demir-çelik sektörünün kojenerasyon kurulumu için pek uygun bir aday olmadığını belirtilmesi gerekir. 19.386 MWe'lik (sanayi için 13.164 MWe, binalar için 5.591 Mwe) kojenerasyon uygulamasına karşılık gelen yatırım maliyetinin 29 milyar ABD doları civarında olduğu tahmin edilmektedir.

³ Mevcut %50 kapasite faktörü ile hesaplanmıştır.



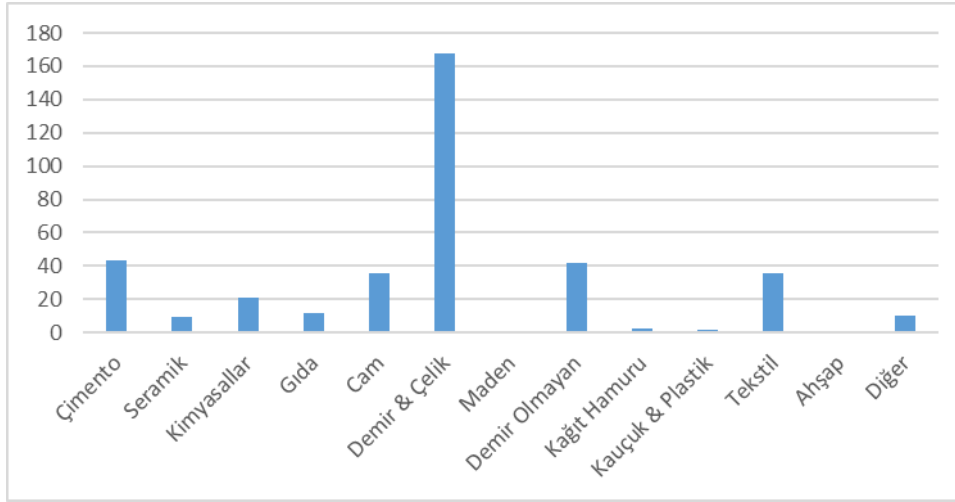
Şekil 0-12: Sanayi Sektörlerinde Toplam Kojenerasyon Potansiyeli



Şekil 0-13: Binalarda Toplam Kojenerasyon Potansiyeli

Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretim Potansiyeli

İmalat sanayi için tahmini atık ısının elektrik üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Türkiye’de sanayide atık ısıdan güce (AIG) elektrik kurulu kapasitelerin genel teorik potansiyelinin 380 MWe olduğu tahmin edilmektedir. 380 MWe’lik uygulama için yatırım maliyeti 760.000.000-950.000.000 ABD doları civarındadır.



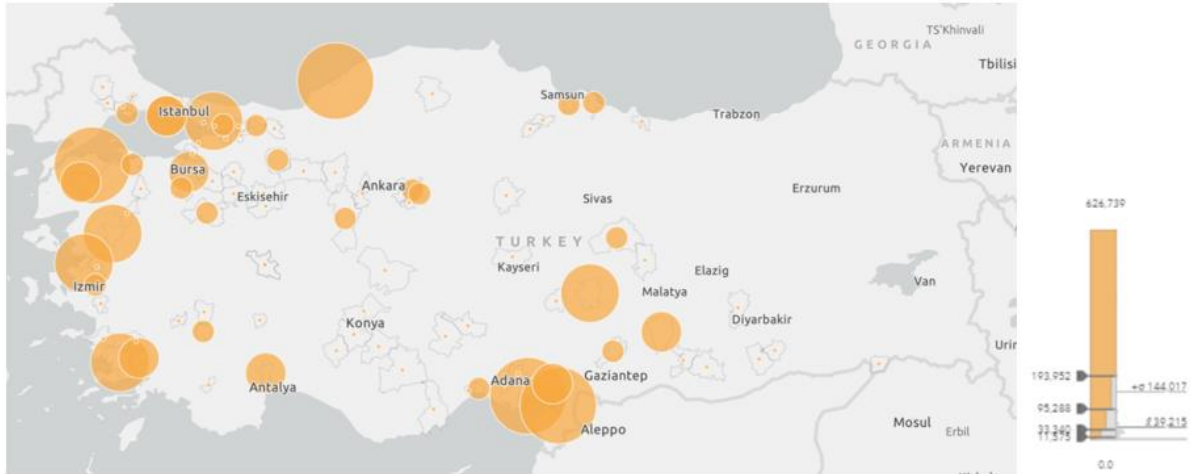
Şekil 0-14: AIG Kurulu Kapasite Potansiyeli

Tahmini atık ısının tamamının elektrik üretimi için kullanılması durumunda toplam maliyet tasarrufu yıllık 422.000.000 ABD doları olacaktır.

Bölgesel Isıtma Potansiyeli

Gelecekteki potansiyel bölgesel ısıtma sistemlerine ilişkin fikir vermek amacıyla belirli sanayi bölgelerinden ve enerji santrallerinden kaynaklanan tahmini potansiyel atık ısı, coğrafi olarak taleple eşleştirilmiştir. Bu bağlamda, 102 bölgede 295 adet sanayi bölgesinin ve santralin bacası değerlendirilmiştir.

Aşağıdaki şekil, mevcut potansiyel atık ısı ile ısıtılacak eşleşen hane sayısını göstermektedir.



Şekil 0-15: Tahmini Potansiyel ile Isıtılabilir Hane Sayısı

Termik santrallerin ara buhar kaynaklı potansiyelleri, sanayi bölgelerinin potansiyelinden çok daha yüksek olduğundan, arz ve talep eşleşmesinin olduğu alanlar çoğunlukla termik santrallere aittir.

Tahmini mevcut atık ısı ve ara buhar ile çeşitli bölgelerde 3.803.846 hane ısıtılabilir. Afşin, Aliağa, Tekkeköy, İskenderun, Kilimli, Bahşılı, Soma, Honaz, Biga, Milas, Kangal, Çan, Orhaneli, Yatağan, Göynük, Yumurtalık, Döşemealtı, Erzin, Terme, Marmaraereğlisi ve Yahşihan ilçelerinde tahmini potansiyel, ısıtılacak mevcut hanelerin %100'ünü kapsamaktadır.

Bölgesel ısıtma projelerinin yatırım maliyeti, esas olarak kaynağın talep alanına olan uzaklığına ve konut girişlerinde trafo merkezi birimlerinin varlığına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, türbin revizyonu ihtiyacı, ısı değiştirici istasyonları, buhar sistemi ve boru hattı da maliyete etki etmektedir. Uygulayıcılarla yapılan görüşmelere istinaden, 3.803.846 hane için 16.185.364.730 ABD dolarına tekabül eden yatırım maliyeti tahmini için 4.255 ABD doları/hane rakamı kullanılmıştır.

Tahmini potansiyelin tamamının bölgesel ısıtma sistemleri için kullanılması durumunda yıllık mali tasarruf 735.000.000 ABD doları olacaktır.

Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Isıtma Seçeneklerinin Değerlendirilmesi

Yenilenebilir enerjiye dayalı ısıtma seçenekleri kapsamında jeotermal enerji ve yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısı enerjisi (YGKIE) değerlendirilmiştir.

- Türkiye tektonik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır ve 63 farklı ilde sıcaklıkları 20°C'nin üzerinde olan yaklaşık 346 bilinen jeotermal sahaya sahiptir.⁴ Türkiye'nin tahmini toplam teorik jeotermal potansiyeli 60.000 MWt'tan (1.892.160 TJ/yıl) fazladır. Bu potansiyelin 40.000 MWt'ının (1.261.440 TJ/yıl) elektrik üretimine uygun olduğu tahmin edilmektedir, bu da 4.000 MWe'lik potansiyel elektrik çıktısını mümkün kılacaktır. Kalan potansiyel, 20.000 MWt (630,720 TJ/yıl), orta ila düşük sıcaklıktadır ve doğrudan kullanıma uygundur. Buna elektrik üretiminin kalıntı akışkanları dahil değildir.

Türkiye'deki mevcut kurulu doğrudan kullanım kapasitesi yaklaşık 3.500 MWt olup bunun %41'i konut ve ticari mekan ısıtma, %35'i termal kaplıcalar ve tatil köyleri ve %24'ü sera ısıtma için kullanılmaktadır. Halihazırda bu kapasitenin yalnızca %0,1'i gıda kurutma için kullanılmaktadır. Türkiye doğrudan kullanım potansiyelinden tam olarak yararlanırken, bu sektörlerin aşağı yukarı aynı oranda katkı sağlamaya devam etmesi beklenmektedir: mekan ısıtma: 9.000 MWt (283.824 TJ/yıl) (%45), termal turizm: 6.250 MWt (197.100 TJ/yıl) (%31), sera ısıtma: 4.500 MWt (141.912 TJ/yıl) (%22,5) ve gıda kurutma: 250 MWt (7,884 TJ/yıl) (%1,5).⁵

- Sektörde güneş kaynaklı ısı enerjisi kullanımına ilişkin değerlendirilmeyen kayda değer potansiyel mevcuttur: Toplam sanayi ısı talebinin yaklaşık %30'u, ticari olarak mevcut güneş kolektörleriyle sağlanabilen 100°C'nin altındaki sıcaklık seviyelerindedir. Ancak dünya genelinde ve Türkiye'de pazar henüz emekleme aşamasındadır ve daha çok yol kat etmesi gerekmektedir. Endüstriyel süreçler için güneş ısı (ESGI) teknolojileri geliştikçe geri ödeme süreleri de düşmektedir. Ayrıca, kömür ve doğalgaz fiyatları artmaktadır ve muhtemel karbonsuzlaştırma vergileri de yoldadır. Bu nedenle, Türkiye'de YGKIE pazarının gelişiminin desteklenmesi önem kazanmaktadır.

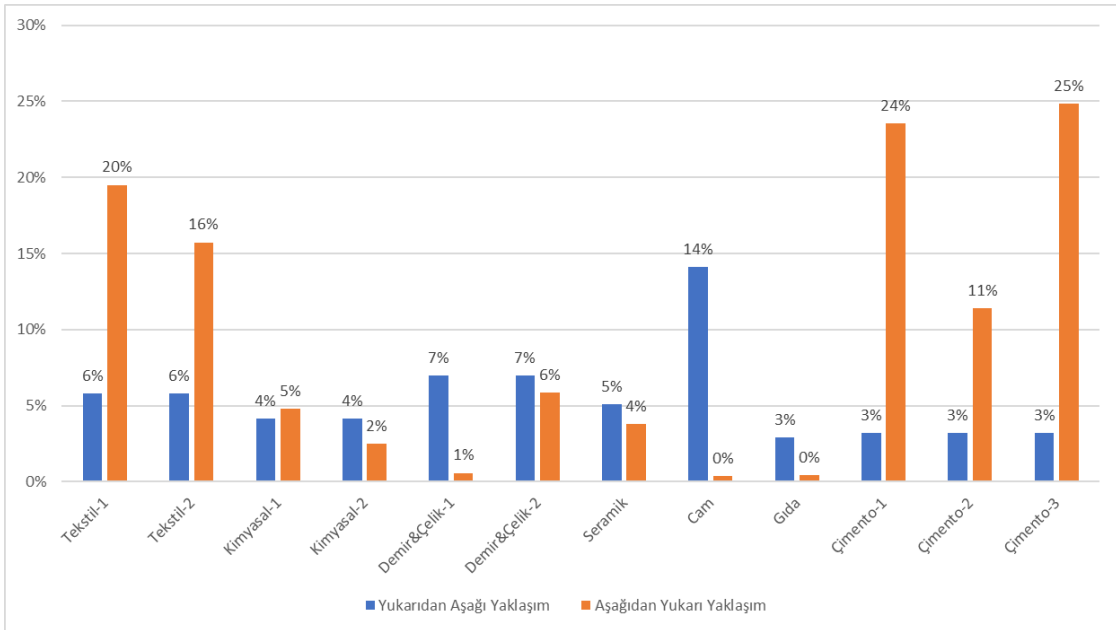
⁴ Akkuş, I., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.

⁵ "Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlginin Değerlendirilmesi" Projesi Nihai Raporu.

Enerji Etüdü Sonuçlarının (Aşağıdan Yukarıya Değerlendirme) Ülke Düzeyinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi (Yukarıdan Aşağıya Değerlendirme) ile Karşılaştırılması

Proje kapsamında 12 üretim tesisi, 3 ticari bina ve 1 kömür yakıtlı enerji santralinde ön inceleme etütleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, doğalgaz yakıtlı enerji santrallerinde 2 detaylı etüt yapılmıştır. Atık ısı potansiyeli için ülke düzeyindeki değerlendirmenin sonuçları, atık ısı odaklı ön inceleme etüdü ve ayrıntılı enerji etütlerinin sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir.

- Sanayi tesisleri söz konusu olduğunda, çoğu etüdün sonucu yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçlarıyla uyumluyken, bazı tesislerin etüt sonuçları önemli farklılıklar göstermektedir. Bunun temel nedeni, yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçları sektörel ortalamaları verirken, her bir alt sektörün atık ısı potansiyelinin büyük değişim gösterebilmesidir. Ayrıca, yukarıdan aşağıya değerlendirmenin sonuçları, geri kazanılması zor olabilecek teorik potansiyeli kapsamaktadır ve bu nedenle etütler kapsamında değerlendirilmeyebilir.



Şekil 0-16: Sanayi Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Endüstriyel Tesisler İçin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

Etüt çalışması yapılan çimento fabrikaları, etüt çalışmasının yapıldığı tüm fabrikalar arasında en yüksek potansiyelleri gösterirken, yukarıdan aşağıya değerlendirme, çimento sektörünün tüketilen birim enerji başına en düşük atık ısı potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, Türkiye'deki 54 çimento tesisinden 17'sinin, sektörün genel atık ısı potansiyelini azaltan AIGK yoluyla elektrik üretimine sahip olması ve etüt çalışmasının gerçekleştirildiği fabrikaların hiçbirinde bu AIGK teknolojisinin uygulanmamış olmasıyla açıklanabilir.

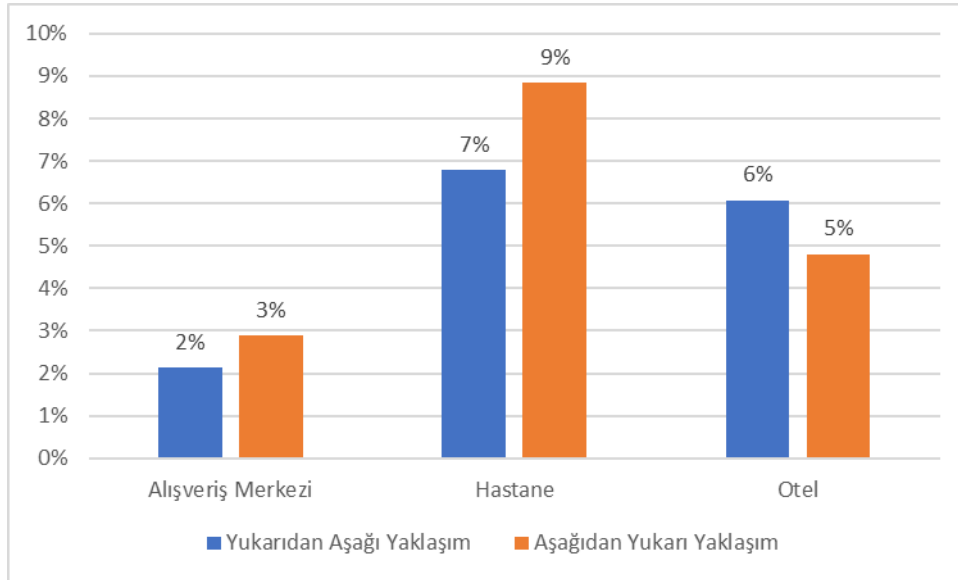
Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği tekstil fabrikaları, tekstil sektörünün yukarıdan aşağıya değerlendirmesinden daha yüksek atık ısı potansiyeli göstermektedir. Tekstil sektörünün alt sektörlerinin proseslerinde ve enerji tüketimi dağılımında büyük farklılıklar söz konusudur. Yukarıdan aşağıya değerlendirmenin sonuçları, mevcut tüm tekstil tesislerinin ortalama atık ısı potansiyelini gösterecektir. Bu nedenle, bu sonuçlar tek tek tekstil tesisleriyle karşılaştırılamayabilir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği iki fabrika, tekstil sektörünün diğer alt sektörlerine kıyasla enerji tüketiminin ve atık ısı potansiyelinin nispeten daha yüksek olduğu bir

entegre tesis ve bir dokuma ve boyama tesisidir; bu durum, fabrikaların atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranının daha yüksek olmasını açıklayabilir.

Cam sektörü tüketilen birim enerji başına en yüksek atık ısı potansiyeline sahip olmasına rağmen etüt çalışmasının gerçekleştirildiği cam fabrikası önemli bir potansiyel göstermemiştir. Bu durum, şu gerçeklerle açıklanabilir: i) cam sektöründeki egzoz gazlarının kirletici özelliği, AIGK teknolojilerinin uygulanmasını zorlaştırır ve bu durum etütte dikkate alınmıştır ve ii) etüt çalışmasının gerçekleştirildiği fabrikada halihazırda bir atık ısı geri kazanım kazanı bulunmaktadır ve bu teknoloji diğer fabrikalarda kurulu olmayabilir.

Diğer sanayi tesislerinin tamamı söz konusu olduğunda, etüt sonuçları genel olarak yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçlarıyla uyumludur. Farklılıklar ya etütlerde tespit edilen ve i) mevcut yüksek seviye AIGK uygulamaları veya ii) fırsatların tespiti için yeterli bilgi/veri olmamasından kaynaklanan kısıtlı AIGK fırsatlarından ya da AIGK yatırımlarının teorik (yukarıdan aşağıya) ve ekonomik (aşağıdan yukarıya) potansiyeli arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

- Ticari bina ve hizmet binaları sektörleri söz konusu olduğunda, etüt sonuçlarının yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçlarıyla belirgin şekilde uyumlu olduğu görülmüştür.

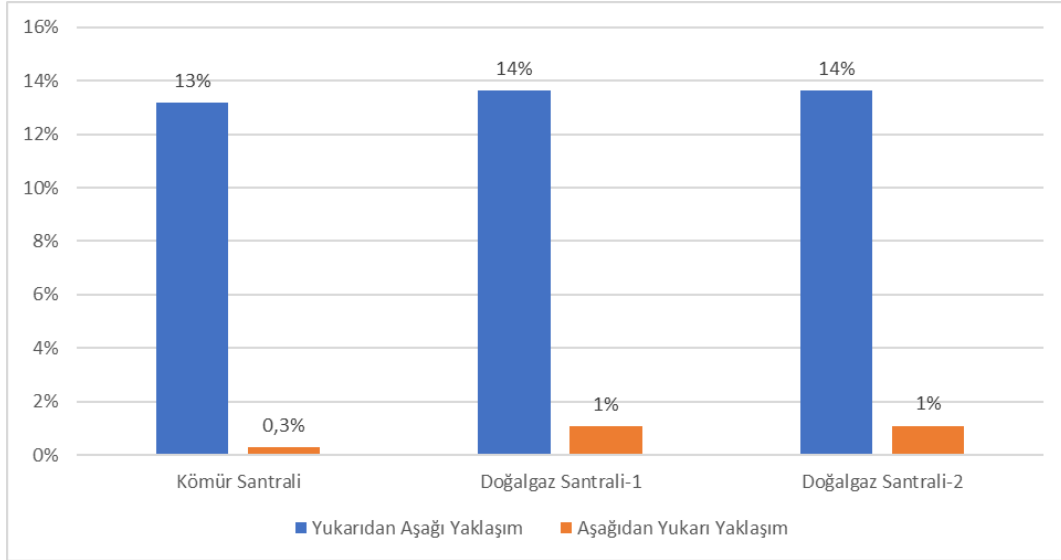


Şekil 0-17: Ticari & Hizmet Binaları Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Ticari & Hizmet Binaları (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) İçin Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

Hastane sektörü, tüketilen birim enerji başına en yüksek atık ısı potansiyeline sahiptir. Bu durum, hastane sektörünün spesifik gereksinim ve öncelikleriyle açıklanabilir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği hastane, hastane sektörünün geneline kıyasla biraz daha yüksek atık ısı

potansiyeli göstermektedir ki bu, etüt çalışmasının gerçekleştirildiği hastanede AIGK uygulamalarının olmamasıyla açıklanabilir.

- Termik santraller söz konusu olduğunda, yukarıdan aşağıya değerlendirme, etüt çalışmasının gerçekleştirildiği termik santrallerin hiçbirinde AIGK olmamasına rağmen hem kömürle çalışan hem de DG ile çalışan termik santraller için çok daha yüksek potansiyeli işaret etmektedir. Bunun temel nedeni, tanımlanan potansiyelin çoğunun enerji santrallerinde egzoz gazları yerine ara buhardan kaynaklanması ve bölgesel ısıtma sistemlerinde genellikle ara buharın kullanılmasıdır. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği fabrikalar için bölgesel ısıtma projeleri değerlendirilmiş olmasına rağmen mevcut atık ısının kullanım oranı, talep tarafıyla sınırlıdır. Projenin uygulanabilirliğini ve bölgesel ısıtma sistemiyle ne kadar atık ısının geri kazanılabileceğini, yakınlardaki yerleşim bölgesinin nüfusu belirlemektedir. Öte yandan, yukarıdan aşağıya değerlendirme her bir termik santral için arz-talep ilişkisini değerlendiremediğinden, tüm atık ısının kullanılıp kullanılmayacağına bakılmaksızın, mevcut tüm atık ısıyı dikkate alır.



Şekil 0-18: Kömür & Doğalgaz Yakıtlı Termik Santraller (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Termik Santraller (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) İçin Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

1. Giriş

Son yirmi yıldaki ekonomik büyümeye bağlı olarak, Türkiye’de enerji talebi önemli ölçüde artmıştır ve bu talebin 2050 yılına kadar iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, Türkiye’deki talebin %75’i ithalatla karşılanmaktadır ki bu oran 2018 yılında Türkiye’nin toplam ithalatının yaklaşık %20’sini oluşturmuştur. Bu nedenle, Türkiye 2000’li yılların başından beri enerji talebini azaltmak ve/veya sürdürmek için çaba sarf etmektedir ve aşağıdakileri içeren çeşitli strateji belgeleri geliştirmiştir:

- 2009 - Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi
- 2010-2020 - Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (UİDSB)
- 2011-2023 - Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (UİDEP)
- 2012 - Enerji Verimliliği Stratejisi
- 2014 – Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (UYEEP)
- 2017 - Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP)

Türkiye’nin iklim değişikliği yükümlülüklerini sürdürürken ekonomik olarak büyümeye devam etmesiyle ilişkili en kritik unsurlardan biri, enerji verimliliğidir (EV). Türkiye, 10. ve önerilen 11. Kalkınma Planlarında enerji güvenliği politikasının temel bir faktörü olarak EV’ye öncelik vermektedir. Ulusal Enerji Verimliliği Stratejisi (2012) tüm sektörlerde enerji kullanımını %10 oranında azaltmayı amaçlamaktadır. UEVEP, tüketimi 2023 yılına kadar 23,9 milyon ton eşdeğer petrol oranında (%14) azaltmak için 11 milyar ABD doları tutarında enerji tasarrufu önlemlerini kapsayan EV artışı talep etmektedir.

UEVEP’e göre, brüt elektrik tüketimi 2016 yılında bir önceki yıla göre yüzde 3,3 artarak 278,8 milyar kWh’ye yükselmiştir ve düşük talep senaryosunda 2023’te 367,9 milyar kWh, yüksek talep senaryosunda ise 407,9 milyar kWh’ye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bugüne kadar kabul edilen politika ve strateji belgeleri ile Türkiye enerji sektöründe verimliliği artırmak için çeşitli hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere ulaşmak için çeşitli eylemler gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, UİDEP, Türkiye’deki üretim ve dağıtım şebekelerindeki toplam kaybın %8’e düşürülmesi, tüm sektörlerde enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir elektrik üretim oranının artırılması için hedefler belirlemiştir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, “Elektrik üretim, iletim ve dağıtımında verimliliği artırmak, enerji kayıplarını ve zararlı çevre emisyonlarını azaltmak” başlığı altında sektörün stratejik hedeflerini tesis etmiştir. Onuncu Kalkınma Planında elektrik üretiminde yerinde üretim, kojenerasyon ve mikro kojenerasyonun yaygınlaştırılması için mevcut kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atık ısının bölgesel ısıtma ve tarımsal faaliyetlerde kullanılması; sanayide atık ısıdan enerji üretiminin artırılması; atık ısı enerjisi ticareti için bir pazar kurulması ve kojenerasyonu ve mikrokojenerasyonu teşvik edecek girişimlerin özendirilmesine yönelik projelerin geliştirilmesini sağlayacak eylemler belirlenmiştir.

UİDEP’e göre, sanayi sektöründe sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik pek çok hedef bulunmaktadır. UİDEP, en uygun mevzuatı geliştirerek ve ilgili projeler için finansman yaratarak sanayi sektöründeki sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Plan ayrıca sanayi binalarında verimli enerji tüketimi açısından uluslararası iyi uygulamaların örnek alınmasına yönelik eylemleri de içermektedir. Bu nedenle, sanayi tesislerinde enerji tasarrufu potansiyelinin analiz edilmesi, planın hedeflerine ulaşmasına önemli ölçüde hizmet edecektir.

Türkiye'nin enerji verimliliği eylem planları ve politikalarına ek olarak, enerji verimliliği iyileştirmelerini finanse etmek ve teknik destek sağlamak için tamamlanmış ve devam etmekte olan çok sayıda proje bulunmaktadır:

- Dünya Bankası:
 - Özel Sektör Yenilenebilir Enerji (YE) ve EV Projesi - (2009-2016)
 - AB-IPA - Enerji Sektörü Teknik Yardım Projesi - (2014-2017)
 - Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler (KOBİ) EV Projesi - (2013-19)
 - Türkiye'de Kamu Binalarında Enerji Verimliliği (2020-2025)
- Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (AİKB):
 - Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı (TurSEFF)
- Avrupa Yatırım Bankası (AYB):
 - Enerji ve Çevre Kredisi
- KfW:
 - İklim Koruma Programı Kredisi

Türkiye'de enerji verimliliği hedeflerine ulaşılması için birçok planlı ve plan aşamasında eylem olmasına rağmen Atık Isı Geri Kazanımı (AIGK) gibi hala temas edilmemiş alanlar bulunmaktadır. Gelişmiş enerji verimliliği sunan AIGK, Türkiye'de enerji sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik önemli potansiyel taşımaktadır. Kanıtlanmış teknolojilere rağmen AIGK, piyasa kusurları, düzenlemede belirsizlikler ve politikayla ilgili sorunlar gibi çeşitli engeller nedeniyle birçok sektörde yeterince temsil edilmemektedir. Sektörde iyi bilinmesine rağmen AIGK'nın büyümesinin önündeki hem ekonomik hem de ekonomik olmayan engeller devam etmektedir. Yüksek enerji kullanımlı sektörlerde atık ısı potansiyelinin kullanılmasına yönelik projelerin geliştirilmesi, UEVEP'te tanımlanan başlıca enerji verimliliği fırsatlarından biridir.

Artan enerji kullanımı, sanayi için süregelen bir sorundur ve artan küresel enerji maliyetleriyle birlikte, etkili şekilde rekabet edebilmek için kısa vadede yakıt giderlerini azaltmaya ihtiyaç duyulmaktadır. AIGK bu nedenle de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, ele alınması gereken önemli bir çevre sorunu söz konusudur. AIGK, mevcut sistemlerde potansiyel enerji tasarrufu için önemli bir alandır. AIGK, bir sistemde ısı oluşturmak için tüketilen enerji miktarını düşürüp böylece enerji tüketimini azaltarak ısıtma verimliliğini artırdığı için kritik önem taşımaktadır. Bu sayede hem verimliliği artırma ihtiyacı karşılanmakta hem de karbon emisyonları azaltılmaktadır.

Atık ısı, proseslerde üretilen ve faydalı enerji olarak enerji hizmetlerinde kullanılmayan enerjiyi ifade eder. Endüstriyel işlemlerde oluşturulan ve pratik kullanımı bulunmayan enerjiye endüstriyel atık ısı denir. Atmosfere salınan sıcak yanma gazları, sanayi proseslerinden çıkan ısıtılmış ürünler ve sıcak ekipman yüzeylerinden ısı iletimi, atık ısı kaynaklarıdır. Yanma egzozları, proses gazları, soğutma suyu, iletken radyasyon kayıpları vb. gibi çeşitli atık ısı kaynakları bulunmasına rağmen bu değerlendirme çoğunlukla egzoz akışlarına ve proses çıkış gazlarına odaklanmaktadır. Bazı sanayilerin atık ısı geri kazanımı potansiyeli diğerlerinden fazla olmasına rağmen çoğu sanayinin, atık ısıyı yanma havasını, kazan besi suyunu ve proses yükünü ön ısıtmak için kullanması mümkündür. Proseslerden kaynaklanan bazı atık ısı kayıpları kaçınılmazdır ve tesisler, ekipman verimliliğini artırarak ve AIGK teknolojilerini kurarak işletme maliyetlerini azaltabilirler. Bu rapor, AIGK uygulamalarına ilişkin potansiyel fırsatların değerlendirilmesine temel teşkil etmektedir. AIGK projelerinin tespit edilmesi ve enerji verimliliğinin

teşvik edilmesinde karar alıcıları ve yatırımcıları destekleyebilecek kapsamlı bir atık ısı kaybı ve geri kazanım uygulamaları araştırması temin edilmiştir.

Türkiye’de atık ısı potansiyelinin analiz edilmesi ihtiyacı, sanayide artan enerji talebi nedeniyle son yıllarda daha kritik bir konu haline gelmiştir. AIGK, tüketilen enerji miktarını azalttığı ve endüstriyel süreçleri daha enerji verimli hale getirdiği için bu tür analizler kritik bir rol üstlenmektedir. Dolayısıyla, bu proje söz konusu enerji tasarrufu potansiyelinden faydalanılması için Türkiye’deki atık ısı potansiyelinin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Türkiye’de Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi Projesinin amacı;

- Türkiye’deki atık ısı piyasasının değerlendirilmesi,
- teknik ve mali açıdan uygulanabilir atık ısı geri kazanım yatırımlarının belirlenmesi,
- bu yatırımlara karşılık gelen daha yüksek enerji verimliliğinin elde edilmesindeki mevcut zorlukların belirlenmesi,
- Türkiye’deki atık ısı piyasasına özel enerji etüdü örnekleri/şablonları oluşturulması.

Ülke Düzeyinde Piyasa Değerlendirme Raporunun temel amacı, hükümetin atık ısıda kullanılmayan fırsatlardan yararlanma çalışmalarını desteklemek üzere atık ısı akışlarının özelliklerini değerlendirerek Türkiye’deki başlıca ısı kullanım sektörlerindeki atık ısı potansiyelini tahmin etmektir. Rapor sanayi, ticari binalar ve hizmet binaları ve termik santraller olmak üzere üç ana sektördeki atık kayıplarının nitelik ve niceliğini sunarak geri kazanılamayan potansiyelin gerçekleştirilmesi için ileri tasarım stratejilerine temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

Ülke Düzeyinde Piyasa Değerlendirme Raporu, konuyu aşağıdaki temel hedeflerle değerlendirmektedir:

- Sanayi sektöründeki, termik santrallerdeki ve ticari binalar ve hizmet binalarındaki atık ısı kaynaklarının niceliğinin ve niteliğinin değerlendirilmesi
- Biyogaz, biyokütle ve ÇG tesislerinin yenilenebilir enerji kaynaklı atık ısı potansiyellerinin değerlendirilmesi
- Kojenerasyon kaynaklı atık ısı potansiyellerinin değerlendirilmesi
- Sanayi sektörleri ve ticari binalar için kojenerasyon potansiyelinin kurulumunun değerlendirilmesi
- Tahmini atık ısıdan elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi
- Seçilen tesisler için bölgesel ısıtma potansiyelinin değerlendirilmesi
- Tahmini atık ısıdan geri kazanılmasından elde edilecek SG emisyonu azaltım potansiyelinin değerlendirilmesi
- Yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma seçeneklerinin değerlendirilmesi: Yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısıtma (YKIE) uygulamaları
- Çeşitli sektörler için ısı geri kazanım teknolojisi seçeneklerine genel bakış sunulması

Rapor 6 ana bölümden oluşmaktadır. Kullanılan metodoloji, veriler ve varsayımlara ilişkin ayrıntılar, raporun 2. Bölümünde verilmektedir. Değerlendirmelerin sonuçları 3. Bölümde sunulmuştur.

Ülke düzeyinde atık ısı potansiyeli değerlendirmesinin (yukarıdan aşağıya değerlendirme) sonuçları, proje kapsamında seçilen tesislerde gerçekleştirilen atık ısı odaklı ön inceleme etütlerinin ve detaylı enerji etütlerinin (aşağıdan yukarıya değerlendirme) sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Değerlendirmenin detayları 4. Bölümde verilmektedir.

Ayrıca, 5. Bölümde çeşitli sektörler için farklı sıcaklık aralıklarına dayalı AIGK uygulamaları ve teknolojileri değerlendirilmektedir. Bu bölümde ve eklerde ayrıca bütün sektörler için iyi uygulama örnekleri ve vaka çalışmalarına yer verilmiştir.

Son olarak, 6. Bölümde değerlendirme sonuçlarına ve paydaş katılımına dayalı bir dizi kilit konu ve tavsiye sunulmaktadır.

2. Metodoloji, Veriler ve Varsayımlar

2.1 Literatür İncelemesi ve Paydaş Katılımı

Seçilen sektörlerin atık ısı potansiyellerinin tahmin edilmesinde en uygun yaklaşımı belirlemek için ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir. Literatür taraması çok çeşitli metodolojiler ve yaklaşımlar sunsa da incelenen çalışmalarda bahsedilen metodolojiler üç ana grupta sınıflandırılabilir.

1. Bazı çalışmalarda egzozda salınan enerji girdisinin oranları ve egzozdan geri kazanılabilir enerji oranı için literatürün yayınlandığı veriler kullanılmıştır.
2. Çalışmaların bazılarında enerji-ekserji analizi için etütlere dayalı, gerçek sahaya özel veriler kullanılmıştır.
3. Çalışmaların bazılarında yakıt tüketimine dayalı entalpi tahmini için termodinamik yasaları kullanılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı, yakıt tüketimlerini tahmin etmek için sektörlerin emisyon verilerini kullanmaktadır.

İncelenen çalışmalar ve ana sonuçlar Ek l'de verilmiştir.

Literatür taramasına ek olarak, aşağıdaki konuları analiz etmek ve doğrulamak için çeşitli paydaş katılımı faaliyetleri gerçekleştirilmiştir:

- paydaşların motivasyon ve sorunları ve bunların projeye nasıl ilişkilendirilebileceği
- daha önce yapılmış benzer çalışmaların/projelerin mevcudiyeti
- halihazırda kurulu teknolojilerin kapsamı
- atık ısı geri kazanımı (AIGK) teknolojilerinin uygulanmasının önündeki sektörlere özgü engeller
- AIGK sınırlılıkları ve fiziksel kısıtlılıkları
- varsayımlar ve hesaplamalar

KojenTürk, TÇÜD, EÜD ve TÜRKÇİMENTO gibi bazı proje paydaşlarının ilgi ve deneyimi, diğerlerine kıyasla daha fazladır. Bu nedenle, paydaşların bazıları projeye aktif katılım gösterirken, bazı paydaşların katılımı ilgi seviyelerine bağlı olarak proje başlangıç aşamasıyla sınırlı kalmıştır.

Ön katılım faaliyetleri proje paydaşlarını, amaçlarını, sorunlarını ve bunların projeye nasıl ve ne ölçüde ilişkilendirilebileceğini anlamak olarak belirlenmiştir. Bu aşamada kişisel görüşmeler ve çevrimiçi toplantılar yapılmıştır. Bu aşamanın tamamlanmasının ardından Danışman, katılımlı faaliyetler aracılığıyla değerlendirmeye ilişkin geniş bir yelpazede uzanan görüşler toplamayı amaçlamıştır. Bu faaliyetlerin bir diğer motivasyonu da etütler aracılığıyla gerekli verinin toplanması gibi projenin iç amaç ve faaliyetlerine yönelik bilgi edinilmesi olmuştur. Proje uygulama aşamasında gerçekleştirilen çevrimiçi toplantılar Ek l'de özetlenmiştir.

2.2 Metodolojiye Genel Bakış, Veri Akışı ve Hesaplamalar

Analiz 8 ana adımdan oluşmaktadır:

1. Endüstriyel proseslerden kaynaklanan ısı fazlası ve teknik iş potansiyeli ulusal istatistiklerden, sektör derneklerinden, literatür incelemesinden ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığının (ÇŞİDB) Sürekli Emisyon Ölçüm Sisteminden (SEÖS) elde edilen yıllık yakıt tüketimleri ve egzoz sıcaklıklarına dayanarak tahmin edilmiştir.

2. Ticari bina ve hizmet binası atık ısı potansiyelleri, ulusal istatistikler ve yakıt tüketimi verileri kullanılarak tahmin edilmiştir.
3. Termik santrallerden kaynaklanan ısı fazlası ve teknik iş potansiyeli, ÇŞİDB SEÖS'ten ve sektör derneklerinden elde edilen gerçek baca gazı sıcaklığı ve kütsel debi verileri kullanılarak tahmin edilmiştir.
4. Yüksek verimlilikli kojenerasyon sistemi tanımı kullanılarak geri kazanılmamış ısı potansiyelinin tahmin edilmesi için mevcut kojenerasyon ve trijenerasyon santralleri değerlendirilmiştir.
5. Biyokütle, biyogaz ve çöp gazı (ÇG) santrali gibi ilgili yenilenebilir enerji kaynaklarından kaynaklanan atık ısı, ulusal istatistiklerden ve sektör derneklerinden elde edilen yakıt tüketimi ve elektrik üretim verileri kullanılarak değerlendirilmiştir.
6. Çeşitli proseslerde egzoz gazlarının beklenen kimyasal bileşimleri kullanılarak her sektör için sera gazı (SG) emisyonu faktörleri hesaplanmıştır. Ardından, karşılık gelen atık ısı geri kazanım potansiyeli için emisyon azaltımları tahmin edilmiştir.
7. Her sektördeki atık ısı geri kazanımı için teknoloji seçenekleri, ısı fazlası akışlarının termodinamik niteliği ve her sektördeki belirli proseslerin gereksinimleri kullanılarak analiz edilmiştir.
8. Jeotermal enerji ve yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısıl enerji (YGKIE) santralleri için yenilenebilir enerjiye dayalı ısıtma seçenekleri analiz edilmiştir. Isıtma uygulamalarında fosil yakıtlar yerine jeotermal enerjinin kullanımı, yine Baş Danışman tarafından hayata geçirilen ve yakın zamanda tamamlanan Dünya Bankası (DB) projesi *Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlgilerin Değerlendirilmesi* kapsamında değerlendirilmiştir. YGKIE teknolojisi, seçilen sektörler için tekno-ekonomik bir analizle değerlendirilmiştir.

2.2.1 Atık Isı Potansiyellerinin Tanımı

Isı fazlası potansiyeli hesaplamaları için gaz akışlarından elde edilebilecek maksimum ısı, ısının aşağıdaki sıcaklıklara soğutulması temelinde analiz edilmiştir:

25°C: Bu referans sıcaklık, sıcak gaz akışlarının ortam sıcaklığına soğutulması durumunda elde edilebilecek maksimum teorik ısıyı hesaplamak için kullanılmıştır.

70°C: Sera uygulamalarında potansiyelden yararlanmak için gereken minimum egzoz sıcaklığı olarak tanımlandığı için ikinci referans sıcaklık 70°C olarak belirlenmiştir.

120°C: Bölgesel ısıtma uygulamalarında potansiyelden yararlanmak için gereken minimum egzoz sıcaklığı olarak tanımlandığı için üçüncü referans sıcaklık 120°C olarak belirlenmiştir.

150°C: Çoğu endüstriyel proses bu sıcaklığın altındaki sıcak gaz akışlarını soğutamadığı için son referans sıcaklık 150°C olarak belirlenmiştir.

Bazı sanayi sektörleri için egzoz sıcaklığını 150°C'ye düşürmek mümkün değildir. Örneğin, cam sektöründe baca gazı sülfat içerir, bu da 200°C'nin altında ısı geri kazanımını zorlaştırır. Ancak bu değerlendirmenin amacı, genel bir yukarıdan aşağıya değerlendirme sunmaktır. Bu nedenle, referans sıcaklıklar her sektöre özel seçilmemiştir.

Mevcut kojenerasyon ve trijenerasyon santralleri söz konusu olduğunda, ısı fazlası, mevcut santrallerin mevcut verimliliği ve performansı ile ilişkili geri kazanılmamış ısı olarak tanımlanmıştır. Potansiyeli tahmin etmek için ulaşılabilecek maksimum verim ile mevcut durum arasındaki fark hesaplanmıştır.

Teorik atık ısı potansiyeli ve teknik atık ısı potansiyeli için maliyet tasarrufları aşağıdaki varsayımlara dayanarak tahmin edilmiştir:

- Tahmini atık ısı potansiyelinin tamamı termal enerji olarak kullanılacaktır
- Kullanılan atık ısı, doğalgazın yerini alacaktır
- Sanayi tesislerinin 2/3'si yılda 300.000 sm³'ten fazla doğalgaz tüketmektedir

Hesaplamlarda BOTAŞ toptan doğalgaz fiyatı kullanılmıştır (birim fiyat 300.000 sm³/yıldan az tüketen tesisler için 0,03 ABD doları/kWh, 300.000 sm³/yıldan fazla tüketen tesisler için 0,06 ABD doları/kWh'dir). Ağırlıklı ortalama birim fiyatı 0,05 USD/kWh'dir.⁶

2.3 Sanayide Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Yöntem

Sanayi sektörlerindeki ısı fazlası potansiyelini tahmin etmek için odak noktası, egzoz gazı atık ısı kayıplarıyla sınırlandırılmıştır. Proseslerdeki atıksu akışlarından veya ürünlerden kaynaklanan ısı fazlası gibi diğer ısı fazlası kaynakları bu değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Egzoz gazı atık ısı kaybını, egzoz gazlarının entalpisine ve kütleli debisine göre hesaplamak mümkündür. Entalpi, egzoz gazlarının sıcaklığına ve kimyasal bileşimine bağlı olduğundan, analiz için aşağıdaki denklem uygulanabilir.

$$E_{ex} = m_{ex} \cdot h(t) = m_{ex} \sum_i (x_i h_i(t))_{ex}$$

Bu denklemde E_{ex} egzoz gazı atık ısı kaybı, m_{ex} egzoz gazı kütleli debisi, $h_i(t)$ egzozdaki her bir bileşenin entalpisini, x_i egzozdaki her bir bileşenin kütle kesiri ve t sıcaklıktır.

Hesaplamlarda aşağıdaki varsayımlarda bulunulmuştur:

- Gazların hepsi ideal gazdır
- Yakıt yanmaları tam yakıt yanmalarıdır
- Egzoz gazları atmosfer basıncındadır
- Tüm malzeme ve enerji akışları sabit haldedir

Yukarıdaki varsayımlara dayanarak, egzoz gazlarının entalpisini, belirli ısı kapasitelerinin ve egzoz gazı ile referans sıcaklıklar arasındaki sıcaklık farkının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

$$h_i(t) = \int_{T_1}^{T_2} C_{p,i}(t) dt$$

Bu denklemde C_p egzoz gazı bileşenlerinin özgül ısı kapasitesi, T_1 referans sıcaklık ve T_2 egzoz gazı sıcaklığıdır. Bu analizde C_p , ideal gaz özgül ısı denklemi kullanılarak hesaplanır:

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

Yukarıdaki hesaplamadaki sıcaklık K cinsindedir ve C_p 'nin birimi kJ/kmol'dür. Aşağıdaki tabloda hesaplamalardaki sabit değerler verilmiştir.

⁶ BOTAŞ'ın TL cinsinden fiyatları, 14.06.2022 tarihli USD/TRY kuru ile çevrilmiştir: 17.2343

Tablo 2-1: Özgül Isı Hesaplamaları için Sabit Değerler⁷

Madde	Formül	A	b	c	d
Azot	N ₂	28,9	-0,00157	0,00000808	-2,9E-09
Oksijen	O ₂	25,48	0,0152	-0,00000716	1,3E-09
Karbondioksit	CO ₂	22,26	0,0598	-0,000035	7,5E-09
Su buharı	H ₂ O	32,24	0,00192	0,0000106	-3,6E-09
Kükürtdioksit	SO ₂	25,78	0,058	-0,0000381	8,6E-09
Hidrojen	H	29,11	-0,001916	0,000004003	-8,7E-10
Karbonmonoksit	CO	28,16	0,001675	0,000005372	-2,2E-09

Baca gazı bileşimleri, çeşitli yakıtların yanma denklemlerine göre belirlenmiştir. Yakıtların bileşimlerinin aşağıdaki tablodaki gibi olduğu varsayılmıştır.

Tablo 2-2: Yanma Hesaplamaları için Varsayılan Yakıt Bileşimleri^{8,9}

	Antrasit (%)	Linyit (%)	Kok (%)	Asfaltit (%)	Yağ (%)	Doğalgaz	
Karbon	76,1	42,4	87,8	80,7	87,3	CH ₄	93
Hidrojen	1,8	2,8	0,63	4,5	12,6	C ₂ H ₆	4
Kükürt	1,8	0,7	0,54	1,8	0,22	C ₃ H ₈	0,57
Oksijen	0,6	12,4	9,42	2,4	0,04	C ₄ H ₁₀	0,29
Azot	0,6	0,7	1,55	1,1	0,01	Azot	1,19
Su	5,4	34,8	0	3,3	0	Su	0
Kül	13,7	6,2	0	6,2	0,01	Karbondioksit	0,79

Aşağıdaki denklemler, doğalgaz yanması için örnek teşkil etmektedir. Doğalgaz yanması için %10 hava fazlası varsayılmıştır.

Metan $CH_4 + 1.1 \cdot 2(O_2 + 3.76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 0.2O_2 + 8.272N_2$

Etan $C_2H_6 + 1.1 \cdot 3.5(O_2 + 3.76N_2) = 2CO_2 + 3H_2O + 14.476N_2 + 0.35O_2$

Propan $C_3H_8 + 1.1 \cdot (6/1.1) (O_2 + 3.76N_2) = 3CO_2 + 4H_2O + 22.56N_2 + O_2$

Bütan $C_4H_{10} + 1.1 \cdot (7.5/1.1) (O_2 + 3.76N_2) = 4CO_2 + 5H_2O + 28.2N_2 + O_2$

Her tür yakıt için benzer denklemler türetilmiş, egzoz gazı bileşimleri Ek II'de belirtilmiş ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

⁷ https://www.seenergies.eu/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/sEEnergies-WP5_D5.1-Excess_heat_potentials_of_industrial_sites_in_Europe.pdf

⁸ https://www.researchgate.net/publication/228353763_Effect_of_Fuel_Characteristics_on_the_Thermal_Processes_in_an_Iron_Ore_Sintering_Bed

⁹ https://www.researchgate.net/publication/348901735_Syngas_Compositions_Cold_Gas_and_Carbon_Conversion_Effibilities_for_Different_Coal_Gasification_Processes_and_all_Coal_Ranks

Tablo 2-3: Türetilmiş Egzoz Gazı Bileşimleri

	Antrasit (%)	Linyit (%)	Kok (%)	Asfaltit (%)	Yağ (%)	Doğalgaz
CO ₂	19,16	7,66	19,16	19,16	15	9
H ₂ O	2,72	19,16	0,82	6,42	0	17,49
SO ₂	0,06	0,11	0,04	0,15	0	0
N ₂	78,1	79,5	71,46	84,29	85	73,51

Egzoz gazı kütleli debisinin hesaplanması için yanma denklemlerinden hava kütlesi hesaplanmıştır. Egzoz kütlesi $K_{yakıt}$ ve K_{hava} toplamına eşittir. Egzoz gazı sıcaklıklarını tahmin etmek için bu değerlendirmede iki farklı metodoloji kullanılmıştır. Sanayi tesislerinin gerçek baca gazı sıcaklıkları ÇŞİDB SEÖS'ten elde edilmiştir. Ancak çevrimiçi sistem yalnızca belirli bir değerde kütleli debiye sahip bacalar için ölçüm yapmaktadır. Bu nedenle, sistem 340 tesiste 691 bacayı kapsamaktadır. Demir-çelik, çimento, cam gibi bazı endüstriler söz konusu olduğunda, tüm tesis ve bacalar bu sisteme dahildir. Ancak tesislerin kütleli debisinin yüksek olmadığı endüstriler söz konusu olduğunda, çevrimiçi izleme sistemine yalnızca daha yüksek kapasiteli tesisler dahil edilmiştir. Sisteme dahil olmayan tesislerin çoğunlukla küçük ve orta ölçekli işletme (KOBİ) statüsünde olması, bu tesislerin enerji tüketim trendlerini aynı sektördeki yüksek kapasiteli bir tesisten önemli ölçüde farklılaştırmaktadır. Örneğin, çevrimiçi ölçüm sisteminde izlenen tekstil fabrikalarının sayısı azdır. Ancak bu fabrikalar çoğunlukla önemli enerji tüketimleri olan entegre tesislerdir. Bu tesislerde enerji yoğunluğunu düşürmek için sürekli olarak faaliyet gösteren enerji yönetim sistemleri ve enerji yöneticileri bulunmaktadır. Öte yandan, Türkiye'de tekstil sektörü çoğunlukla KOBİ'lerden oluşmakta, KOBİ'lerin tesislerinde de bu türden enerji verimliliği uygulamaları bulunmamaktadır. Dolayısıyla, Danışman, tüm sektörler için mevcut verileri dış değerlemek yerine bu tür endüstrilerin baca gazı sıcaklıklarını belirlemek için literatür verilerini kullanmıştır. İlerleyen bölümlerde buna ilişkin ayrıntılı bilgi verilmektedir.

Sektörlerin atık ısı potansiyelleri hesaplandıktan sonra sıcaklığın bir fonksiyonu olan farklı proseslerin Carnot potansiyeli temel alınarak atık ısı potansiyelinin elektrik/mechanik iş potansiyeli hesaplanmıştır. Proseslerin Carnot verimliliklerinin tahmin edilmesinde aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)$$

Burada η Carnot verimliliğini, T_1 ortam sıcaklığını (25°C), T_2 ise atık ısı kaynağının sıcaklığını ifade etmektedir.

Atık ısı potansiyelinin ve elektrik/mechanik iş potansiyelinin tahminine ek olarak, tahmini atık ısı kayıpları üç farklı sıcaklık grubunda sınıflandırılmıştır. Sıcaklık grupları şu şekilde tanımlanmıştır:

Tablo 2-4: Sıcaklık Aralıkları Sınıflandırması¹⁰

Düşük Sıcaklık (DS)	100°C ve altı
Orta Sıcaklık (OS)	100 – 299°C
Yüksek Sıcaklık (YS)	300°C ve üzeri

Daha düşük sıcaklık aralığındaki atık ısı, elektrik/mechanik iş potansiyeli içinde önemli ölçüde daha düşük paya sahiptir. Carnot potansiyeli, atık ısının teknik iş yapılıp yapılamayacağı veya ısı transferi için daha iyi kullanılıp kullanılmayacağı konusunda daha kesin gösterge sağlar. Bu projede atık ısı

¹⁰ Forman, 2016

potansiyeli ve Carnot potansiyeli, her sıcaklık aralığı için tüketilen enerjinin yüzdesi olarak analiz edilmiştir.

Veri

Sanayi sektörlerine ait yakıt tüketim verileri hem Ulusal Enerji Denge Tablolarından hem de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) ENVER portalından elde edilmiştir. Sanayi alt sektörlerinin yakıt tüketimlerinin belirlenmesi için sektörel yakıt tüketimleri, sektör raporları ve ENVER portalından elde edilen sanayi alt sektörü üretim dağıtımları oranıyla uyumlu olarak sanayi alt sektörlerine dağıtılmıştır. Ayrıca, muğlak bilgilerin netleştirilmesi için sektör dernekleri ve proje paydaşlarıyla çeşitli toplantılar yapılmıştır.

Sanayi sektörlerinin egzoz sıcaklıklarına ilişkin iki veri seti bulunmaktadır. Çimento, demir-çelik, cam gibi ÇŞB'nin çevrimiçi ölçüm sisteminde yüksek oranda temsil edilen sektörler için gerçek baca gazı ölçümlerinin yıllık ortalama egzoz gazı sıcaklıkları kullanılmıştır. Öte yandan, kütesel debisi daha düşük olduğu için sistemde yer almayan tekstil, kimya gibi sanayi sektörleri literatürden elde edilen egzoz sıcaklıkları sektör ortalamasıyla analiz edilmiştir. Çevrimiçi ölçümler, kararlaştırılan numune toplama noktasına bağlı olarak belirli bir mesafedeki bacadan alındığından, gerçek ölçüm sonuçlarının biraz daha düşük olabileceği belirtilmelidir. SEÖS Tebliğinde bu husus "Numune alma noktası, baca tepesinden beş hidrolik çap aşağıda ve homojen akışın başladığı yerin beş hidrolik çap yukarısında yeterince yüksek ve homojen gaz hızı olan bir yerde seçilir"¹¹ şeklinde ifade edilmektedir. Dolayısıyla, numune alma noktası tesisten tesise değişebilir ancak numune alma noktalarındaki varyasyonlardan kaynaklanan sıcaklık farkları bu çalışmada hesaba katılmamıştır.

Aşağıdaki tablo doğalgaz tüketiminin dağılımını, varsayılan egzoz sıcaklıklarını ve egzoz sıcaklıklarının kaynaklarını göstermektedir.

Tablo 2-5: Doğalgaz Tüketimi Dağılımı, Varsayılan Egzoz Sıcaklıkları ve Seçilen Sıcaklıklar İçin Referanslar¹²

Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	DG Tüketimi (*10 ⁶ Sm ³)	Varsayılan Egzoz Sıcaklığı (K)	Varsayılan Egzoz Sıcaklığı Referansı
Madencilik	155	366	Gerçek Veri
Gıda İmalatı	1.241	396	Gerçek Veri
İçecek İmalatı	31	423	6
Tütün İmalatı	24	343	2
Şeker Üretimi	88	418	Gerçek Veri
Tekstil İmalatı	1.085	473	3
Giyim İmalatı	124	473	3
Deri ve Deri Ürünleri	9	473	3
Ahşap Ürünler	45	363	3
Kağıt ve Kağıt Hamuru	251	392	Gerçek Veri
Kimyasal Maddeler	1.482	423	1
Gübre	578	391	Gerçek Veri
İlaç İmalatı	108	500	7

¹¹ <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111012-6-1.pdf>

¹² ETKB, Enerji Denge Tabloları 2019 (DG Tüketimi)

Kauçuk ve Plastik Ürün İmalatı	163	398	5
Cam İmalatı	805		Gerçek Veri
Cam Ambalaj	306		Gerçek Veri
Rejeneratif Fırın	201	660	Gerçek Veri
AIGK'lı Rejeneratif Fırın	100	500	Gerçek Veri
Düz Cam			Gerçek Veri
Rejeneratif Fırın	135	704	Gerçek Veri
AIGK'lı Rejeneratif	202	523	Gerçek Veri
Cam Ev Eşyası			Gerçek Veri
Rekuperatif Fırın	112	660	Gerçek Veri
Cam Yünü	48		1
Rekuperatif	48	1253	1
Seramik	869	423	6
Çimento	162	493	Gerçek Veri
Demir-Çelik	1.650		Gerçek Veri
Kok Fırını			
Isı Geri Kazanımsız Kok Fırını Gazı		1073	4
Isı Geri Kazanımlı Kok Fırını Gazı		723	4
Çıkış Gazlarındaki Atık Isı		488	Gerçek Veri
Yüksek Fırın		523	Gerçek Veri
YFG'deki Duyulur Isı		493	Gerçek Veri
Isı Geri Kazanımsız Yüksek Fırın Egzozu		523	Gerçek Veri
Isı Geri Kazanımlı Yüksek Fırın Egzozu		403	Gerçek Veri
Bazık Oksijen Fırını	544		Gerçek Veri
BOF çıkış gazlarındaki duyulur ısı, geri kazanımsız	272	1973	4
BOF çıkış gazlarındaki duyulur ısı, geri kazanımlı	272	523	4
Elektrik Ark Fırını	1.105		Gerçek Veri
Isı geri kazanımsız	66	450	Gerçek Veri
Isı geri kazanımlı	1.039	338	Gerçek Veri
Demir dışı metal üretimi	326		Gerçek Veri
Birincil	32	426	Gerçek Veri
Isı geri kazanımlı ikincil	147	856	4
Isı geri kazanımsız ikincil	147	1423	4
Fabrikasyon Metal Ürünler	182	533	5
Makine, elektrik, elektronik ürünler imalatı	123	533	5
Ulaşım Araçları Sanayii	321	400	Gerçek Veri
Mobilya	45	413	Gerçek Veri
Diğer Sanayi	444	423	6
Rafineri		420	Gerçek Veri

Varsayılan Egzoz Sıcaklıkları Referansları:

1: https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf

2: [\(PDF\) Application of biomass moulding fuel to automatic flue-cured tobacco furnaces: Efficiency and cost-effectiveness \(researchgate.net\)](#)

3: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915004584>

4: https://www.seenergies.eu/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/sEEnergies-WP5_D5.1-Excess_heat_potentials_of_industrial_sites_in_Europe.pdf

5: <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub52953.pdf>

6: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510004131>

7: <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/10352/0037417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bu tablolar her bir yakıt türü için oluşturulmuş ve Ek II-A, Ek II-B ve Ek II-C'de paylaşılmıştır.

Tüm sanayi sektörleri arasından Cam, Çimento, Demir-Çelik ve Demir Dışı Metal sektörleri için daha kapsamlı bilgi bulunduğundan, bu sektörler aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Cam İmalatı

Yakıt tüketiminin cam sanayinin alt sektörlerine göre dağılımı, toplam tüketimin %38'inin cam ambalaj, %42'sinin düz cam, %14'ünün cam ev eşyası ve %6'sının cam elyaf ve cam yünü fabrikalarında olduğunu gösteren ENVER portalı verilerine dayanmaktadır. Çevrimiçi izleme sisteminin egzoz gazı sıcaklık verileri, cam sektörünün alt sektörlerinde dahi önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Örneğin, düz cam fabrikalarında 420°C ve 250°C civarında olmak üzere iki sıcaklık bandı bulunmaktadır. Bu nedenle, Danışman, bu tesislerin bazılarında mevcut AIGK sistemlerinin olduğunu ve sıcaklık aralıklarının AIGK uygulanan ve AIGK uygulanmayan düz cam fabrikaları olarak iki gruba ayrıldığını varsaymıştır. Bu varsayım, çeşitli işaretler sırasında sektör uzmanları tarafından da onaylanmıştır. Düz cam fabrikalarının bazılarında ORC gibi AIGK sistemleri bulunmaktadır. Cam elyaf ve Cam yünü fabrikaları dışında cam sanayii ile ilgili alt sektörlerinin egzoz gazı sıcaklıkları ÇŞİDB listesinde yer alan gerçek verilerdir. Aşağıdaki tablo, cam sektörünün her bir alt sektörü ve teknolojisi için toplam enerji tüketimini, egzoz gazı sıcaklıklarının dağılımını ve bu sıcaklıkların referanslarını göstermektedir.

Tablo 2-6: Cam Sektörü için Enerji Tüketimi ve Egzoz Sıcaklıkları Dağılımı

Alt Sektör ve Teknoloji	Enerji Tüketimi Dağılımı (%) ²	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	Egzoz Gazı Sıcaklığı Referansı
Cam Ambalaj Rejeneratif Fırın	25	387	Gerçek Veri
AIGK'lı Cam Ambalaj Rejeneratif Fırın	13	227	Gerçek Veri
Düz Cam Rejeneratif Fırın	17	431	Gerçek Veri
AIGK'lı Cam Ambalaj Rejeneratif Fırın	25	250	Gerçek Veri
Cam Ev Eşyası Rejeneratif Fırın	14	387	Gerçek Veri
Cam Elyaf/Cam Yünü Reküperatif Fırın	6	980	1

1: https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf

2: ENVER portalı verileri

Çimento

Çimento üretim süreci üç ana adımdan oluşur: hammadde hazırlama, klinker yapımı (bu prosese piro-proses adı verilir) ve son taşlama veya çimento yapımı.

Çimento fabrikalarındaki toplam enerji tüketiminin %90'ı klinker yapımından kaynaklanmaktadır. Cüruf yapımı (piro-proses), hammaddelerin klinkere dönüştürülmesi için yüksek sıcaklık, dolayısıyla yüksek yakıt tüketimi gerektirir. Ayrıca bu süreçte makinelerin çalışması için elektriğe ihtiyaç duyulur. Çimento fabrikalarında genellikle ön kalsinasyon, hammaddelerin ön ısıtması ve ek enerji geri kazanımı seçenekleri için egzoz gazları kullanılır.¹³

Çimento fabrikalarında klinker soğutucular ve fırın ön ısıtma sistemleri, faydalı enerji ve güce dönüştürülebilecek iki ana egzoz akışıdır. Klinker soğutucular, 300 ila 400°C civarı sıcaklıkta büyük miktarlarda baca gazı üretir ve çimento fabrikalarında atık ısıdan elektrik üretmede öncelikli olarak tercih edilen kaynaktır.¹⁴ klinker soğutucuların bacaları ÇŞİDB'nin çevrimiçi emisyon izleme sisteminde yer

¹³ <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/0d4f43ee-018d-4f26-9fbe-a47d2927363b/Waste+Heat+Recovery+in+Turkish+Cement+Industry.pdf?MOD=AJPERES&CVID=maKQJNI>

¹⁴ TÜRKÇİMENTO ile yapılan 13.04.2022 ve 14.04.2022 tarihli görüşmeler

almadığından, çimento derneği TÜRKÇİMENTO ile yapılan görüşmeler sonucunda klinker soğutucu baca sıcaklığı sektörel ortalaması 350°C olarak tespit edilmiştir. 350°C olan ortalama klinker soğutucu baca sıcaklığı Türkiye'deki 56 çimento fabrikasının 16'sında atık ısıdan elektrik üretim sistemleri ile 70-80°C'ye soğutulurken, geri kalan çimento fabrikaları klinker soğutucu bacalarından atmosfere ortalama 350°C sıcaklıkta büyük miktarlarda baca gazı salmaya devam etmektedir. Klinker soğutuculara ek olarak, ön ısıtıcılardan kaynaklanan fırın gazı, atık ısı geri kazanımı için önemli potansiyele sahiptir. Fırın gazının fırın dolum alanındaki sıcaklığı fırın tipine ve ön ısıtıcıların kademelerine bağlı olarak 280°C ila 440°C civarındadır. Türkiye'deki ortalama bir fabrikanın fırın gazı sıcaklığı 300°C civarında verilmektedir.¹⁵ Bu gaz genellikle farin değirmeninde malzemeyi kurutmak için kullanılır ve ardından 150°C'nin altında atmosfere bırakılmadan önce tozları uzaklaştırmak için elektrostatik süzgeçlere veya torba filtreler gönderilir. Farin değirmeni çalışmıyorsa, egzoz gazının toz toplayıcılara girmeden önce su spreyi veya soğuk hava ile soğutulması gerekir çünkü bunlar daha düşük sıcaklıklar gerektirir. Danışman, farin değirmeninde veya kömür değirmeninde ön ısıtma yoluyla ne kadar atık ısının geri kazanılamayacağını anlamak için harici olarak soğutulan fırın gazı miktarını ölçmeyi amaçlamıştır. Sektör derneği TÜRKÇİMENTO ile yapılan görüşmelerde, Türkiye'deki çimento fabrikalarındaki farin değirmenlerinin ortalama çalışma saatlerinin günde 20 saat olarak alınabileceği sonucuna varılmıştır. Ulusal çevrimiçi baca izleme sistemi, fırın ön ısıtıcıları için ortalama 106°C baca sıcaklığı vermektedir. Bütün bu unsurlar dikkate alındığında, Danışman, Türkiye'deki çimento fabrikaları için ortalama kombine (klinker soğutucu ve ön ısıtıcı kaynaklı fırın gazı) egzoz gazı sıcaklığını 220°C olarak tahmin etmiştir.

Demir-Çelik

Projenin bu bölümünde, demir-çelik sanayiindeki atık ısı akışları, hem proses gazları hem de soba ve bacalardan çıkış gazları için analiz edilmiştir. Egzoz gazlarının atık ısı potansiyeli, Bölüm 2.3'te verilen metodolojiye benzer bir metodolojiyle tahmin edilmiştir. Demir-çelik sanayiinin, egzoz gazlarına ek olarak kok fırını gazı, yüksek fırın gazı, bazik oksijen fırını gazı ve elektrik ark fırını gazı gibi üretim gazlarından kayda değer atık ısı geri kazanımı potansiyeli bulunmaktadır. Ancak egzoz gazları için kullanılan metodoloji ile üretim gazlarının potansiyelinin tahmin edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, demir-çelik sektörü için farklı bir analiz metodolojisi kullanılmıştır. Egzoz gazlarının ve üretim gazlarının kimyasal bileşimleri literatürden ve BREF belgelerinden elde edilmiştir. Kütleli debi için hem Kütle ve Denge Tablolarındaki yakıt tüketimi verileri hem de literatürdeki çevirme çarpanları kullanılmıştır. Aşağıdaki tablo, egzoz ve üretim gazlarının varsayılan kimyasal bileşimlerini göstermektedir.

Tablo 2-7: Demir-Çelik Sanayiinde Egzoz Gazlarının Kimyasal Bileşimleri¹⁶

Egzoz Gazı/Üretim Gazı	H ₂	CO	CO ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	H ₂ O
ALGK'sız Kok Fırını Gazı	0,52	0,04	0,02	0	0,37	0,05	0
ALGK'lı Kok Fırını Gazı	0,52	0,04	0,02	0	0,37	0,05	0
Kok Fırını Atık Gazı	0	0	0,08	0,7	0	0	0,22
Yüksek Fırın Çıkış Gazı	0,03	0,26	0,21	0,5	0	0	0
Sıcak Hava Fırını Çıkış Gazı	0	0	0,26	0,68	0	0	0,05
ALGK'sız Bazik Oksijen Fırını Gazı	0	0,73	0,16	0,08	0	0	0
ALGK'lı Bazik Oksijen Fırını Gazı	0	0,73	0,16	0,08	0	0	0
Elektrik Ark Fırını Çıkış Gazı	0	0,18	0,14	0,57	0	0	0

¹⁵ TÜRKÇİMENTO ile yapılan 13.04.2022 ve 14.04.2022 tarihli görüşmeler

¹⁶ https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf

Yukarıdaki kimyasal bileşimler kullanılarak termodinamik analizle sektördeki atık ısı akışlarının entalpisi ve ardından egzoz gazı enerjisi hesaplanmıştır. Demir-çelik sanayiindeki proses gazlarının oldukça kirli olduğu ve AİGK teknolojilerinin uygulanmasının, ısı değiştiricilerde kirletici birikimi sorunu nedeniyle ileri teknoloji ve yüksek sermaye yatırım maliyetleri gerektirdiği belirtilmelidir. Ayrıca, kirlilik sorunu, atık gazın sıcaklığının düşürülmesi üzerinde fiziksel bir kısıtlama teşkil etmektedir. Örneğin, Kok Fırın Gazının (KFG) ısı değiştiricilerle ısı değişimi 450°C ile sınırlıdır.

Aşağıdaki tablolarda hesaplamalarda dikkate alınan diğer girdi parametreleri ve referanslar, sektördeki her gaz akışı için verilmiştir.

Tablo 2-8: Hesaplamalar için Girdi Parametreleri^{17,18,19}

Egzoz Gazı/Üretim Gazı	Sıcaklık (K)	Egzoz Kütle (kg/y)	Varsayımlar
Isı Geri Kazanımsız Kok Fırını Gazı	1073	623.196.000	- KFG'nin %50'si için AİGK sistemleri uygulanmaktadır - Kömürden koka çevirme oranı %70'tir - 1 ton koktan 0,24 ton KFG üretilir
Isı Geri Kazanımlı Kok Fırını Gazı	723	623.196.000	
Kok Fırını Atık Gazı	488	18.973.800.000	
Yüksek Fırın Gazı	493	19.410.462.500	- YF gazı üretimi: 4719 MJ/t Sıcak Metal (SM) (BREF değerlerinin ortalaması) - YF gazının yoğunluğu: 1,25 kg/nm ³
Sıcak Hava Fırını Çıkış Gazı	523		- Yüksek fırınlardaki toplam yakıt tüketiminin %10'u yüksek fırınlarda tüketilmektedir
AİGK'sız Bazik Oksijen Fırını Gazı	1973	791.471.477	- BOF gazının yoğunluğu 1,33 kg/nm ³ - BOF gazı üretimi: 525 MJ/t Sıvı Çelik (SÇ)
AİGK'lı Bazik Oksijen Fırını Gazı	523	791.471.477	
Elektrik Ark Fırını Çıkış Gazı	450		- 2019 yılında EAF elektrik tüketimi 1.138,4 GWh olmuştur - Çıkış gazı olarak kaybedilen güç girdisi yüzdesi: %20 - Duyulur ısı olarak çıkış gazı kayıplarının %'si: %50

Demir Dışı Metaller

Demir dışı metal üretimi birincil ve ikincil üretim olarak ikiye ayrılır. Birincil üretim, alüminyum üretimi için boksit cevheri gibi hammaddelerden üretim süreçlerini temsil eder. İkincil üretim, hurda malzemelerden üretimi temsil eder. Cevher ve hurda malzemelerden üretim iki farklı prosestir ve çok farklı enerji tüketim miktarları ve egzoz sıcaklıklarıyla sonuçlanırlar. Türkiye'nin tek entegre alüminyum üretim tesisi olan Seydişehir Eti Alüminyum, yıllık 82.000 ton birincil alüminyum üretim kapasitesine sahiptir. Birincil ve ikincil üretime ilişkin güncel veriler, toplam üretimin %25'inin birincil üretime, %75'inin ikincil üretime ait olduğunu göstermektedir. Türkiye'de bakır üretimi de benzer bir seyir izlemekte, tek

¹⁷ TÜRKÇİMENTO ile görüşmeler

¹⁸ Demir-Çelik BREF Belgesi; https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/IS_Adopted_03_2012.pdf

¹⁹ ÇSİDB SEÖS

bakır üretim tesisi olan Eti Bakır A.Ş. (cevherden birincil üretim) yılda 150.000 ton katot bakır üretmektedir.²⁰ Danışman, bu bilgilere dayanarak şu varsayımlarda bulunmuştur:

- Enerji tüketiminin dağılımı üretim miktarları ile paralel olacaktır
- Birincil üretim, ikincil üretimden yaklaşık 6 kat daha fazla enerji yoğunudur²¹
- İkincil üretimin %50'si AIGK sistemlerini uygulamıştır, bu nedenle daha düşük egzoz sıcaklıklarına sahiptir

Aşağıdaki tablo, alüminyum sanayii için tahmini enerji tüketimi ve referans sıcaklıkların dağılımını göstermektedir.

Tablo 2-9: Enerji Tüketimi ve Egzoz Sıcaklıkları Dağılımı

Alt Sektör ve Teknoloji	Enerji Tüketimi Dağılımı (%)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)	Egzoz Gazı Sıcaklığı Referansı
Birincil Üretim	25	153	Gerçek Veri
AIGK'lı İkincil Üretim	37,5	583	1
AIGK'sız İkincil Üretim	37,5	1.150	1

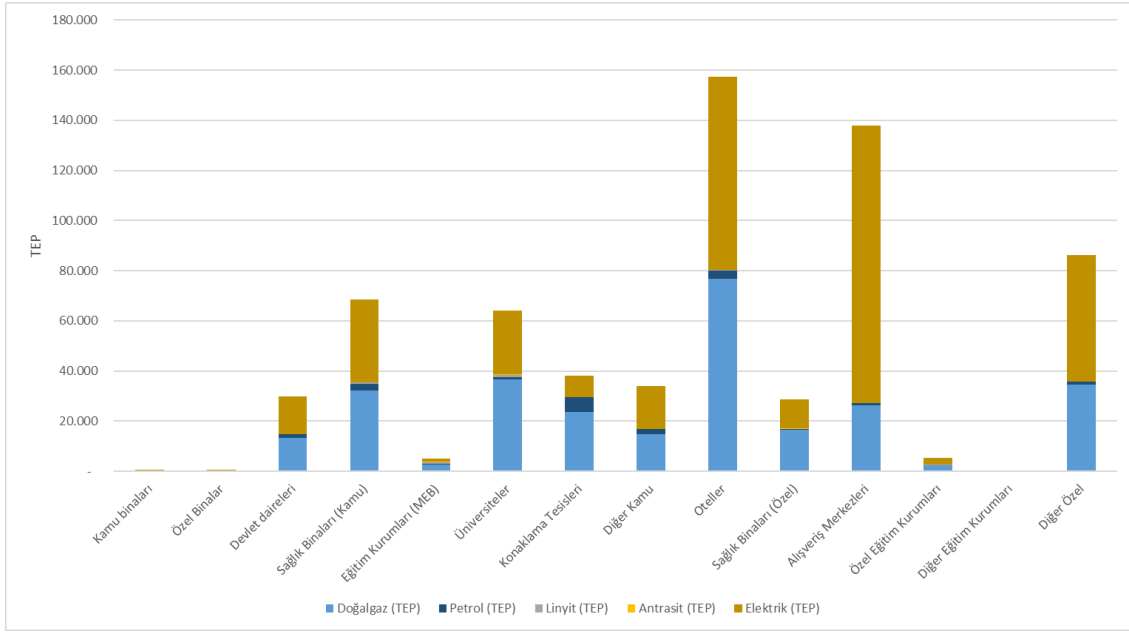
1: https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf

2.4 Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Ticari binalar ve hizmet binalarındaki egzoz gazı akışlarının atık ısı potansiyeli, ETKB'nin Enerji ve Kütle Denge Diyagramları, ETKB'nin ENVER portalı değerleri ve endüstriyel sektörler için uygulanana (Bölüm 2.3) benzer bir metodoloji ile literatür verileri/anket sonuçları kullanılarak tahmin edilmiştir. Potansiyel atık ısı, yakıt tüketimine ve tahmini egzoz sıcaklıklarına dayalı termodinamik analiz yoluyla hesaplanmıştır. Enerji ve Kütle Denge Diyagramları, ticari binalarda tüketilen farklı yakıt türlerine ilişkin bilgi sağlamaktadır. Ancak söz konusu veriler tüm sektör için kümülatif sonuç vermekte ve otel, hastane, üniversite vb. farklı bina türleri arasında ayırım gözetmemektedir. ENVER portalı verileri, farklı bina türlerinin dökümünü vermektedir. Ancak ENVER verileri tüm ticari binaları ve hizmet binalarını kapsamamaktadır. Portaldaki en güncel veriler 2016 yılına aittir ve 2016 yılı için sektörün %19'unu kapsamaktadır. Aşağıdaki grafikte, farklı bina tiplerine göre yakıt türlerinin dağılımı verilmiştir.

²⁰ <https://madencilikturkiye.com/turkiyenin-cevherden-bakir-elde-eden-tek-fabrikasi-ekonomiye-can-suyu-oluyor/#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%20yakla%C5%9F%C4%B1k%20150%20bin,b%C3%BCnyesindeki%20Samsun%20Eti%20Bak%C4%B1r'd%C4%B1r.>

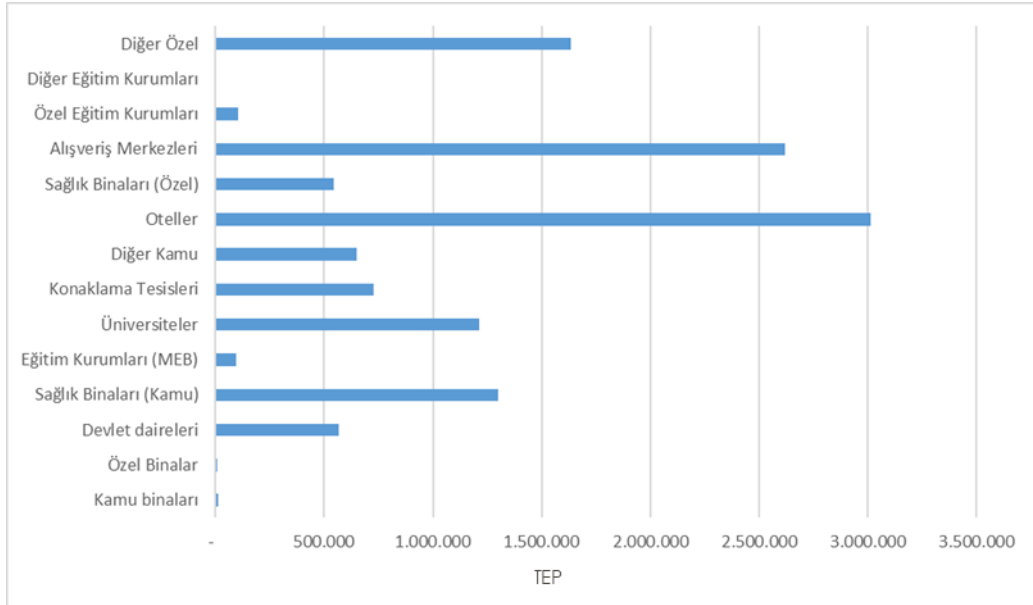
²¹ https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf



Şekil 2-1: Bina Tiplerine Göre Yakıt Türleri ve Tüketim Miktarlarının Dağılımı (2016)²²

Yukarıdaki grafik, tüm ticari binalar ve hizmet binaları arasından en yüksek elektrik tüketicilerinin oteller ve alışveriş merkezleri olduğunu göstermektedir. En yüksek miktarda kömür (liniyit ve ithal) tüketen binalar, özel ve devlet sağlık kurumları ve eğitim kurumlarıdır. Akaryakıt çoğunlukla konaklama tesislerinde kullanılmaktadır.

Yakıt tüketiminin dökümünü elde etmek için yakıt tüketim miktarları ve egzoz sıcaklıkları belirlenerek tüm sektör için 2016 verileri dış değerlendirilmiştir. 2019 için farklı hizmet binaları arasında toplam enerji tüketiminin dış değerlendirilen dağılımı aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2-2: Nihai Enerji Tüketimi Dağılımı (2019)²³

²² ETKB EVÇED

²³ ETKB EVÇED'in 2016 verilerinden hareketle 2019 için türetilmiştir

Yukarıdaki veriler, oteller ve alışveriş merkezlerinin 2019'da en büyük enerji tüketicileri olduklarını göstermektedir. Özel ve devlet sağlık kurumları ve diğer özel binalar, ikinci en büyük enerji tüketicileridir.

Sektördeki atık ısı potansiyellerinin hesaplanması için çevrim ekipmanları, yakıtlar ve literatürden elde edilen verilerle varsayılan egzoz sıcaklıklarıyla eşleştirilmiştir.

Tablo 2-10: Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Çevrim Ekipmanları ve Yakıtların Egzoz Sıcaklıkları²⁴

Yakıt Tipi	Çevrim Ekipmanı	Çevrim Ekipmanının Payı	Atık Isı Akışının Egzoz Olarak Sıcaklığı (°C)
Petrol ve petrol ürünleri	Dizel motoru	%50	300
	Petrol motoru	%50	300
Kömür	Kömür fırını/brülörü	%100	200
Doğalgaz, biyoyakıtlar ve atık	Gaz brülörü	%50	300
	Diğer motorlar	%50	300
Elektrik	Aydınlatma	%38	0
	Soğutma	%13	0
	Dondurma	%12	0
	TV, bilgisayar, cihazlar	%7	0
	Mekan ısıtma	%4	0
	Su ısıtma	%2	0
	Diğer	%24	0
Jeotermal, ısı	Dağıtım ağı dahil ısı değiştirici	%100	0

2.5 Termik Santrallerde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Bu çalışma, termodinamik yasalarına dayalı olarak enerji santrallerinin harici atık ısı potansiyellerini belirlemekte ve tahmin etmektedir. Bir termik santraldeki enerji dönüşümü, ağırlıklı olarak termodinamik bir süreçtir. Harici atık ısı potansiyelleri iki kaynaktan gelir: egzoz gazının atık ısı ve türbinden ara buhar çekme olarak atık ısı. Harici amaçlar için kullanılmak üzere dahili atık olarak döngünün farklı noktalarından buhar çekilmesi mümkündür: ara buhar, flaş buhar veya buhar jeneratörü/kazan blöf suyu. Dahili atık ısı potansiyelleri, yeniden ısıtma veya türbinden ara buhar çekme gibi termodinamik döngülerde iyileşme anlamına gelir.

Egzoz gazının atık ısını tahmin etme yöntemi, Bölüm 2.3'te ayrıntılı olarak açıklandığı şekliyle sanayi için kullanılan yöntemle benzerlik taşımaktadır. Egzoz gazı atık ısı kaybını, egzoz gazlarının entalpisine ve kütleli debisine göre hesaplamak mümkündür. Entalpi, egzoz gazlarının sıcaklığına ve kimyasal bileşimlerine bağlı olduğundan, enerji santrali egzoz gazı sıcaklıkları (°C) ve hacimsel debi (m³/s) veri listeleri ÇŞİDB'den alınmıştır. Yalnızca hacimsel debi (m³/s) verisi mevcut olduğundan, hacimsel debiyi (m³/s) kütleli debiye (kg/s) dönüştürmek için ek bir hesaplama kullanılmıştır.

Doğalgaz santrallerinin harici atık ısı potansiyeli, üç uygulamaya dayalı olarak değerlendirilmiştir:

- Teorik Potansiyel → Egzoz gazının nihai sıcaklığı 25°C kabul edilmiştir
- Sera → Egzoz gazının nihai sıcaklığı 70°C kabul edilmiştir

²⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015750?via%3Dihub>

- Bölgesel Isıtma → Egzoz gazının nihai sıcaklığı 120°C kabul edilmiştir

Ancak sıcaklığın ne kadar düşürülebileceğini belirleyen en önemli sınırlayıcı faktör, egzoz gazındaki kükürttür. Bu nedenle, özellikle kömür yakıtlı termik santraller için sınır sıcaklık 120°C'den yüksek olabilir ve bu da daha düşük atık ısı potansiyeline neden olabilir. Veri setlerimizde santrallerin kükürt içerikleri mevcut değildir ve içerik önemli ölçüde değişebileceğinden, bunlar yalnızca her santral için ayrı ayrı verinin mevcut olduğu durumlarda değerlendirilebilir.

Bahsedilen kamu sektörü kömür yakıtlı elektrik santralleri, EÜAŞ'a (Elektrik Üretim Anonim Şirketi) aittir. Diğer enerji santrallerinin tamamının mülkiyeti özel sektör aktörlerine aittir ve söz konusu santraller bu aktörler tarafından işletilmektedir.

Doğalgaz kombine çevrimli enerji santralleri, linyit kömürü yakıtlı enerji santralleri ve antrasit/ithal kömür yakıtlı enerji santralleri için 2021 ortalama kapasite faktörleri sırasıyla 0,48, 0,49 ve 0,68'dir.

Türbinden ara buhar çekme olarak atık ısıyı tahmin etme yöntemi, termik santrallerin tek tek değerlendirilmesini gerektirir. Ancak TÜBİTAK'ın doğalgaz ve kömür yakıtlı 14 EÜAŞ termik santralini kapsayan TSAD başlıklı bir çalışması bulunmaktadır ve bu çalışmanın genel bulguları, bu metodolojide varsayım olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, enerjik ve ekserjetik performansların bölgesel ısıtma ve soğutmanın dahil edilmesinden nasıl etkilendiğini analiz etmek için her bir elektrik santrali için simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Buharın, ısıtma potansiyeline sahip olacak kadar yeterli miktarda bulunması gerektiğinden, buharın çekilme noktaları önemlidir ancak bunun elektrik santralinin elektrik verimliliğini ve elektrik enerjisi üretimini fazla düşürmemesi gerekir. Çalışmaya göre, buhar türbininin orta basınç çıkışı ile düşük basınç girişi arasında bir buhar çekme noktası, optimal kabul edilmiştir.

Verilerin çoğu TSAD raporundan alınan, santrallerin sözleşmelerle belirlenmiş tasarım parametreleridir; verilerin bir kısmı ise 3 santral için EÜAŞ'tan elde edilmiştir. Bu verilerin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Atık ısı potansiyeli, çekilen kızgın buharın entalpisi (kJ/kg) ile aynı sıvının aynı basınçta doymuş su formundaki entalpisi (kJ/kg) arasındaki farkın, çekilen buharın kütleli debisiyle (kg/s) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

2.6 Yenilenebilir Enerjiye Dayalı (Biyoenjerji ve Atıktan Enerjiye) Enerji Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Biyoenjerji santralleri için mevcut ısı üretimi (TJ) verileri, ETKB EVÇED'in Yıllık Denge Tablolarından elde edilmiştir. 2016-2020 yıllarına ait bu veriler, aşağıdaki tabloda sunulmuştur. 2021 Denge Tabloları henüz yayımlanmadığından, yalnızca TEİAŞ 2021 Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporundan elektrik üretim verilerine yer verilebilmiştir.

Tablo 5-1: 2016-2021 Arası Biyoenjerji Elektrik ve Isı Üretimi²⁵

	Birincil Enerji Kaynağı Olarak Biyoenjerji ve Atıklar					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Elektrik Üretimi (GWh)	2.372	2.972	3.623	4.624	5.737	7.617
Kurulu Güç (MW)	496	634	811	1.163	1.485	1.659
Isı Üretimi (TJ)		5.395		5.707	4.798	
Satılan Isı (TJ)				4.239	4.716	

²⁵ ETKB EVÇED

Satılmayan Isı (TJ)		5.395		1.468	82	
Kapasite Faktörü	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5

Hesaplanan kapasite faktörleri her yıl için yukarıdaki tabloya dahil edilmiştir. Ortalama kapasite faktörü 0,5'tir.

EPDK'nın Haziran 2020 tarihli Düzenleme Kurulu Kararına göre, biyoenerji elektrik santrallerinin maksimum yıllık elektrik üretimi, %85 kapasite faktörüne karşılık gelen yılda 7.500 çalışma saati olarak kabul edildiğinden, kapasite faktörleri değerlendirilirken biyoenerji enerji santrallerinin neden düşük performans gösterdiğinin anlaşılması önemlidir. Danışmanın, Biyoenerji Derneği (BİYODER) ile yaptığı görüşme sonucunda, düşük kapasite faktörlerinin başlıca nedeninin, biyomateryal tedarikinin kesintiye uğraması olduğu anlaşılmıştır. Kapasite faktörleri, daha iyi tedarik zinciri stratejileri ve metodolojileri geliştirilerek artırılabilir. Özellikle 2019 ve 2020 yılları için tabloda görülen düşüşlerin ikinci nedeni ise bu senelerin, şebekeye satılan elektriğe uygun oranlı mevcut YEKDEM Tarife Garantisi Mekanizmasının devre dışı kalmasından önceki son iki sene olmasıdır. O yıllarda piyasaya çok sayıda yeni şirket girmiş ve son tarihten önce enerji santrali inşa etmek için aceleci davranmıştır. Bu yeni şirketler şimdi bir öğrenme eğrisi tecrübe etmektedir. BİYODER, kapasite faktörlerinin 2-4 yıl içinde %65'e kadar artmasını beklemektedir.

Isıdan güce ve verimlilik değerleri için iki referans tablosu kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, Tablo 5-2, Avrupa Kojenerasyon Teşvik Birliği (COGEN Europe) ve Avrupa Biyokütle Sanayii Birliğinin (EUBIA) referans tablosudur. İkincisi, Tablo 5-3, ise Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğden (18.09.2014 tarih ve 29123 sayılı Resmi Gazete) ve Değişiklikten (13.05.2017 tarih ve 30065 sayılı Resmi Gazete) alınmıştır.

Tablo 5-2: Bu Sistemler için En Yüksek Isı:Güç Oranı, Ek Ateşlemeyle Elde Edilir, Tipik Kojenerasyon Sistemleri - Kaynak: COGEN & EUBIA

Tahrik ünitesi	Kullanılan yakıt	Boyut aralığı (MWe)	Isı:güç oranı	Elektrik verimliliği	Toplam verimlilik	Isı niteliği
Ara buharlı türbin	Herhangi bir yakıt	1 ila +100	3:1 ila +8:1	%10 – %20	%80'e kadar	2 veya daha fazla basıpta buhar
Karşı basınçlı buhar türbini	Herhangi bir yakıt	0,5 ila 500	3:1 ila +10:1	%7 – %20	%80'e kadar	2 veya daha fazla basıpta buhar
Kombine çevrim gaz türbini	Gaz, biyogaz, gazyağı, LFO, LPG, nafta	3 ila +300	1:1 ila +3:1*	%35 – %55	%73 – %90	Orta seviye buhar; yüksek sıcaklıkta sıcak su
Açık çevrim gaz türbini	Gaz, biyogaz, gazyağı, HFO, LFO, LPG, nafta	0,25 ila +50	1,5:1 ila 5:1*	%25 – %42	%65 – %87	Yüksek seviye buhar; yüksek sıcaklıkta sıcak su
Sıkıştırma ateşlemeli motor	Gaz, biyogaz, gazyağı, HFO, LFO, LPG, nafta	0,2 ila 20	0,5:1 ila 3:1*	%35 – %45	%65 – %90	Düşük basınçlı buhar; orta sıcaklıkta sıcak su
Buji ateşlemeli motor	Gaz, biyogaz, LHO, nafta	0.003 ila 6	1:1 ila 3:1	%25 – %43	%70 – %92	Düşük ve orta sıcaklıkta sıcak su

Tablo 5-3: Referans Verimlilik ve Güç-Isı Oranı – Kaynak: 18.09.2014 tarih ve 29123 sayılı Tebliğ

Kojenerasyon Tipi	Elektrik-Mekanik Güç-Isı Oranı
Isı geri kazanımlı, gaz türbinli kombine çevrim sistemleri	0,95
Karşı basınçlı, buhar türbinli sistemler	0,45
Ara buhar çekilen, kondense buhar türbinli sistemler	0,45
Isı geri kazanımlı, gaz türbinli sistemler	0,70
İçten yanmalı motorlu sistemler	≤ 1,5

Türkiye'de genel olarak üç tür biyoenerji santrali bulunmaktadır: biyokütle yakmalı enerji santralleri, biyogaz enerji santralleri ve çöp gazı enerji santralleri. Biyoenerji santrallerinin listesi ve genel verileri YEK Destekleme Mekanizması 2022 listesinden ve EPDK'nın Lisanslı Santraller Veritabanından derlenmiştir. Ancak bu listeler tek tek biyoenerji santralleri için ısı üretim verileri içermediğinden, atık ısı potansiyeli, biyoenerji elektrik santrali türlerine göre değişen bazı varsayımlara dayalı olarak hesaplanmıştır.

2.6.1 Biyokütle Yakmalı Enerji Santralleri

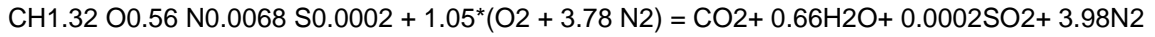
Bu çalışma, termodinamik yasalarına dayalı olarak enerji santrallerinin harici atık ısı potansiyellerini belirlemekte ve tahmin etmektedir. Bir termik santraldeki enerji dönüşümü, ağırlıklı olarak termodinamik bir prosestir. Harici atık ısı potansiyelleri iki kaynaktan gelir: egzoz gazının atık ısı ve türbinden ara buhar çekme olarak atık ısı. Harici amaçlar için kullanılmak üzere dahili atık olarak döngünün farklı noktalarından buhar çekilmesi mümkündür: ara buhar, flaş buhar veya buhar jeneratörü/kazan blöf

suyu. Dahili atık ısı potansiyelleri, yeniden ısıtma veya türbinden ara buhar çekme gibi termodinamik döngülerde iyileşme anlamına gelir.

ÇŞİDB veritabanından alınan egzoz gazı verileri arasında yedi biyokütle yakmalı enerji santrali bulunmakta, bu da 107,8 MW kurulu güce karşılık gelmektedir. Bu verilere dayanarak bir hesaplama yapılmış ve sonuç, toplam 801,4 MW kapasiteli bütün biyokütle yakmalı enerji santrallerine dış değerlendirilmiş, bu sonuçlar Ek IV'te sunulmuştur.

Varsayımlar:

- [Pii: S0378-3820\(97\)00059-3 \(byu.edu\)](https://doi.org/10.1016/j.encon.2016.03.002) temelinde, "Urban / (1) Agwood" biyokütle enerji santrali yakıt karışımının kuru yakıt içindeki bileşimi: %51,44 C, %5,67 H, %38,12 O, %0,41 N, %0,03 S ve %0,01 Cl.
- Aynı çalışmaya göre, HK yakıtlar için stokiyometrik hava yakıt oranları genellikle 14 ila 17, biyokütle için 4 ila 7 arasındadır. Daha düşük değerler, büyük ölçüde biyokütlenin daha yüksek oksijen içeriğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle hava fazlasına gerek yoktur ve oran, aralık dahilindedir.
- Dengeli kimyasal yanma reaksiyonu şu şekildedir:



- Doğalgaz santrallerinin harici atık ısı potansiyeli, üç uygulamaya dayalı olarak değerlendirilmiştir:
 - Teorik Potansiyel → Egzoz gazının nihai sıcaklığı 25°C kabul edilmiştir
 - Sera Egzoz gazının nihai sıcaklığı 70°C kabul edilmiştir
 - Bölgesel Isıtma Egzoz gazının nihai sıcaklığı 120°C kabul edilmiştir

Ancak sıcaklığın ne kadar düşürülebileceğini belirleyen en önemli sınırlayıcı faktör egzoz gazının kükürt içeriğidir, bu nedenle özellikle kömür yakıtlı termik santraller için sınır sıcaklık 120°C'den yüksek olabilir ve bu da atık ısı potansiyelinin düşmesine neden olabilir. Veri setlerimizde santrallerin kükürt içerikleri mevcut değildir ve içerik önemli ölçüde değişebileceğinden, bunlar yalnızca her santral için ayrı ayrı verinin mevcut olduğu durumlarda değerlendirilebilir.

2.6.2 Biyogaz Enerji Santralleri

Basit santrallerin elektrik üretim verimliliği sadece %20-45 olduğu için yaygın uygulama, bileşik ısı ve güç sistemiyken (Muche et al. 2016), enerjinin daha büyük bir kısmı ısıya dönüştürülmektedir (kullanılan enerjinin yaklaşık %60'ı (Damyanova ve Beschkov2020). Bu ısı, ısı geri kazanım sistemleri tarafından çürütücüyü ısıtmak için proses ısısı gibi dahili amaçlar için veya bölgesel ısıtma/soğutmada kullanılmak üzere veya yakındaki bir serada kullanılmak üzere civar bir bölgeye satış gibi harici amaçlar için yeniden kullanılabilir. Ayrıca, soğutma gücüne (üçlü üretim) ek olarak, absorpsiyonlu soğutucu, bileşik ısı ve güç (CHP) aracılığıyla ısının daha iyi kullanımına aday olabilir. CHP, %70'e varan yüksek verimlerle ısıyı soğutma gücüne dönüştürebilir (Rümmeli et al. 2010).

CHP çevrimi, üretilen elektriğin ve ısının sırasıyla %35 ve %65'ini üretebilirken, verimliliği %90'ı bulabilen yeterli üretkenliğe sahiptir. Bu durumda, prosesi ısıtmak için bir miktar termal enerji kullanılmakta, mezofilik bir çürütücü söz konusuysa ısının yaklaşık 2/3'ü harici kullanımlar için kullanılmakta, termofilik çürütücü söz konusuysa ısının çoğu prosesi ısıtmak için kullanılmaktadır. Detaylı bilgiye sahip olunmadığından, harici kullanımlar için ortalama 1/2'lik bir kullanım kaldığı varsayılmıştır.

Varsayımlar:

- BİYODER ile yapılan görüşmeye istinaden gaz türbinleri ve gaz motorları için ortalama ısı:güç oranı, 1:1 kabul edilmiştir
- Türkiye için ortalama kapasite faktörü %50'dir
- Termal enerjinin 1/2'i prosesi ısıtmak, yaklaşık 1/2'i harici kullanımlar için kullanılmaktadır

2.6.3 Çöp Gazı Enerji Santralleri

Varsayımlar:

- BİYODER ile yapılan görüşmeye istinaden gaz türbinleri ve gaz motorları için ortalama ısı:güç oranı, 1:1 kabul edilmiştir
- Türkiye için ortalama kapasite faktörü %50'dir
- Proses olmadığı için prosesi ısıtmak için termal enerji kullanılmaz ve tamamı harici kullanımlar için kullanılabilir

2.7 Kojenerasyon Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Bir kojenerasyon sisteminin verimliliği, pistonlu motor, gaz türbini veya buhar türbini güç kaynağından üretilen ısının geri kazanılmasına ve etkin kullanımına bağlıdır. Bu nedenle, güç kaynağının verimliliği ile "yüksek verimli kojenerasyon sistemi" için tanımlanan verimlilik arasındaki fark, geri kazanılmayan atık ısı potansiyelini verecektir.

"Yüksek verimli kojenerasyon sistemi" için standartlaştırılmış verimlilik hesaplamaları ve gereken minimum verimleri tanımlamak için Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğden (18.09.2014 tarih ve 29123 sayılı Resmi Gazete ve Değişiklikten (13.05.2017 tarih ve 30065 sayılı Resmi Gazete) yararlanılabilir. "Yüksek verimli kojenerasyon sistemleri" için listelenen minimum verimlerin, optimum atık ısı geri kazanımı için karşılanması gereken verimlilik değerleri olduğu varsayılmaktadır.

Türkiye'deki kojenerasyon santrallerinde güç üretimi için iki tür prosedür vardır: 1) lisanslı güç üretimi ve 2) lisanssız güç üretimi. 7257 Sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 14-ç maddesi gereğince (02.12.2020 tarih ve 31322 sayılı Resmi Gazete, önceki adıyla 6446 Sayılı Kanun) lisanssız güç üretimi, kurulu gücü 100 kW'ın altında olan mikrokojenerasyon santralleri ve "yüksek verimli kojenerasyon sistemi" gerekliliklerini yerine getiren kojenerasyon santralleri için geçerlidir ve bu santraller, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır.

Mikrokojenerasyonun ve lisanssız kojenerasyonun, değerlendirme dışı bırakılması aşağıdaki sebeplerden mümkündür:

- Mikrokojenerasyon: Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğin 6 – (5) maddesi uyarınca mikrokojenerasyon üniteleri kullanılmak suretiyle yapılan üretim yüksek verimli kojenerasyon olarak kabul edilir.
 - Lisanssız kojenerasyon: Lisans alma zorunluluğundan muaf olmanın ön koşulu, Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğde tanımlanan "yüksek verimli kojenerasyon sistemi" gerekliliklerinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, lisanssız kojenerasyon uygulamaları halihazırda yüksek verimli kojenerasyonlardır. "Yüksek verimli kojenerasyon sistemi" sertifikasına sahip lisanssız kojenerasyon santrallerinin listesi Ek VIII'de görülebilir.

Ayrıca;

- Lisanslı kojenerasyon, Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğe göre “yüksek verimli kojenerasyon sistem sertifikasına” sahipse halihazırda “yüksek verimli kojenerasyon sistemi”dir. Lisanslı tüm kojenerasyon sistemlerinin listesi EPDK'nın internet sitesinde sunulmakta olup sertifikalı kojenerasyon sistemlerinin bir listesi ETKB'den temin edilebilir ve Ek VIII'de görülebilir.

ETKB verilerine göre, 01.01.2022 tarihi itibarıyla 218 tesis “Kojenerasyon Verim Belgesi” başvurusunda bulunmuştur. Yapı sektöründen 114, sanayi sektöründen 86 olmak üzere toplam 200 tesise sertifika verilmiştir. . Kojenerasyon Verim Belgesi verilen santrallerin toplam maksimum elektrik çıkış gücü 597.340 MWe, maksimum termik çıkış gücü 570.759 MW'tir. Her sanayi sektörü ve bina tipindeki mevcut tüm kojenerasyon santrallerinin toplam elektrik ve termik kurulu kapasiteleri, bir önceki bölümde verilen iki şekilde görülebilir. Tüm tesisler dahil olmak üzere yıllık birincil enerji kaynağı tasarrufunun 2.823.129 MWh/yıl olacağı öngörülmektedir.

ETKB tarafından 2007-2020 yılları için Kümülatif Yıllık Yakıt Girdisi (TJ), Elektrik Üretimi (GWh) ve Isı Üretimi (TJ) verileri sağlanmaktadır ve bu veriler Ek VIII'de görülebilir.

Kojenerasyon ve Mikrokojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğe (18.09.2014 tarih ve 29123 sayılı Resmi Gazete) ve Değişikliğe (13.05.2017 tarih ve 30065 sayılı Resmi Gazete) göre, farklı yakıt türleri için resmi kojenerasyon toplam verimlilik değerleri şu şekildedir:

- * Isı geri kazanımlı kombine çevrim gaz türbini için min. %80
- * Karşı basınçlı buhar türbini için min. %75
- * Ara buhar çekilen yoğuşturucu buhar türbini için min. %80
- * Isı geri kazanımlı gaz türbini için min %75
- * İçten yanmalı motor için min. %75
- * Stirling motoru, buhar makinası ve yakıt hücresi için min. %75

Yukarıda sunulan verimlerin minimum gereken değerler olduğu göz önüne alındığında, hesaplamamız için verimlilik değeri %80 varsayılmıştır.

Aynı Tebliğ uyarınca;

$$\eta_k = (P_e + P_h) / P_g$$

η_k : Kojenerasyonun toplam verimliliği (%)

P_e : Kojenerasyondan elde edilen toplam elektrik veya mekanik güç enerjisi miktarı (kWh/yıl)

P_h : Kojenerasyondan elde edilen toplam yararlı ısı enerjisi miktarı (kWh/yıl)

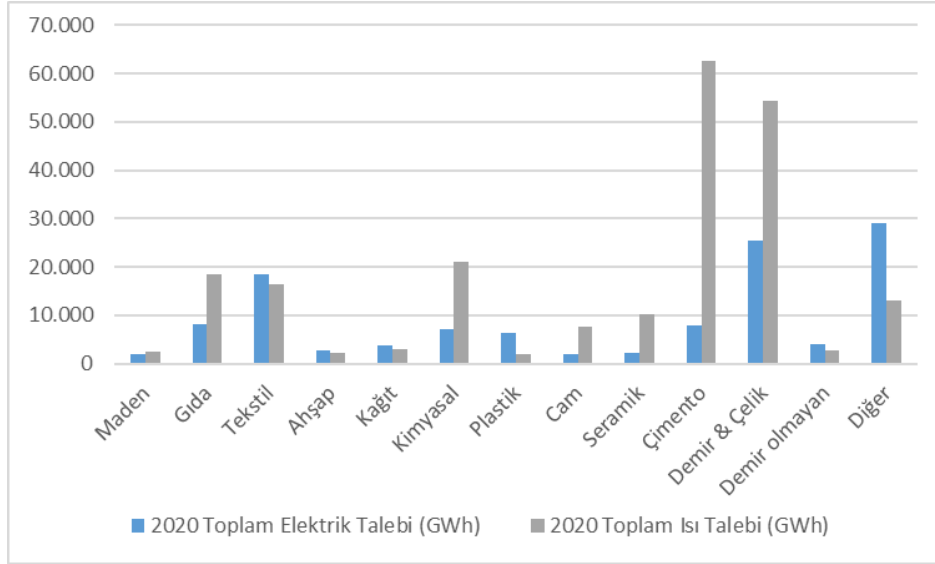
P_g : Kojenerasyona giren toplam birincil enerji kaynağı eşdeğeri enerji miktarı (kWh/yıl)

2.8 Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli Değerlendirmesi

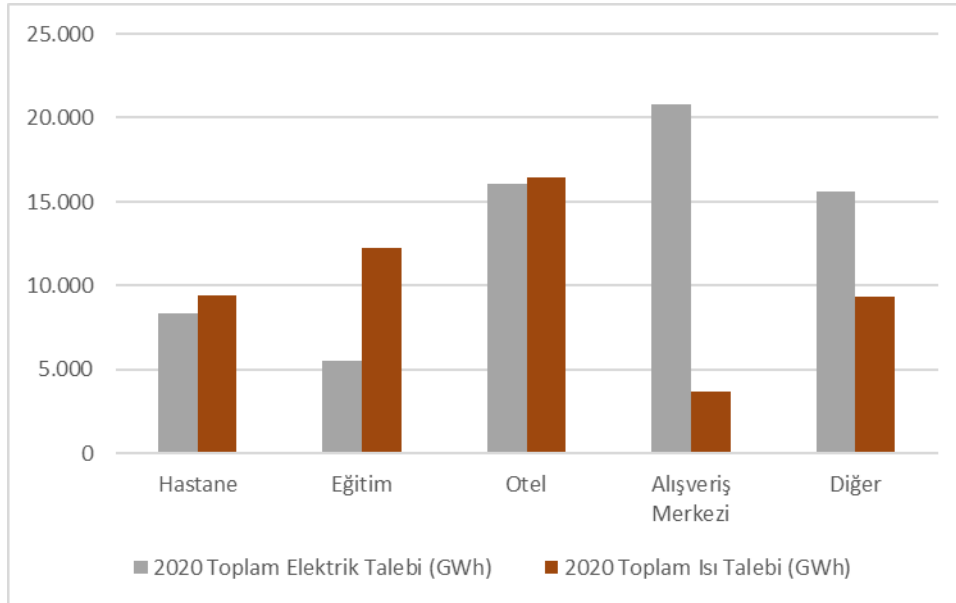
Analiz, i) her sanayi sektörü ve bina tipinin yıllık toplam elektrik ve ısı talebi, ii) mevcut lisanslı ve lisanssız kojenerasyon santrallerinin yakıt tüketimleri ve iii) her sanayi sektörü ve bina tipi için elektriğin ısıya oranı dikkate alınarak yapılmıştır.

2020 yılı için sanayi sektörleri ve binaların toplam elektrik ve ısı talebi/tüketimi Ulusal Enerji ve Kütle Denge Tablolarından alınmıştır. Mevcut kojenerasyon santrallerinin özel olarak elektrik üretimi için yakıt tüketimleri, her sanayi sektörü ve bina tipinin yakıt tüketimlerinden çıkarılarak, ısıtma için net yakıt tüketimi ve buna göre ısı talebi tahmin edilmiştir. Yakıtlar için çevirme çarpanları halihazırda

tamamlanmış olan Ecoheatcool²⁶ projesinden elde edilmiş, konsolide veri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 2-3: 2020 Yılında Sanayi Sektörlerinde Elektrik ve Isı Talebi



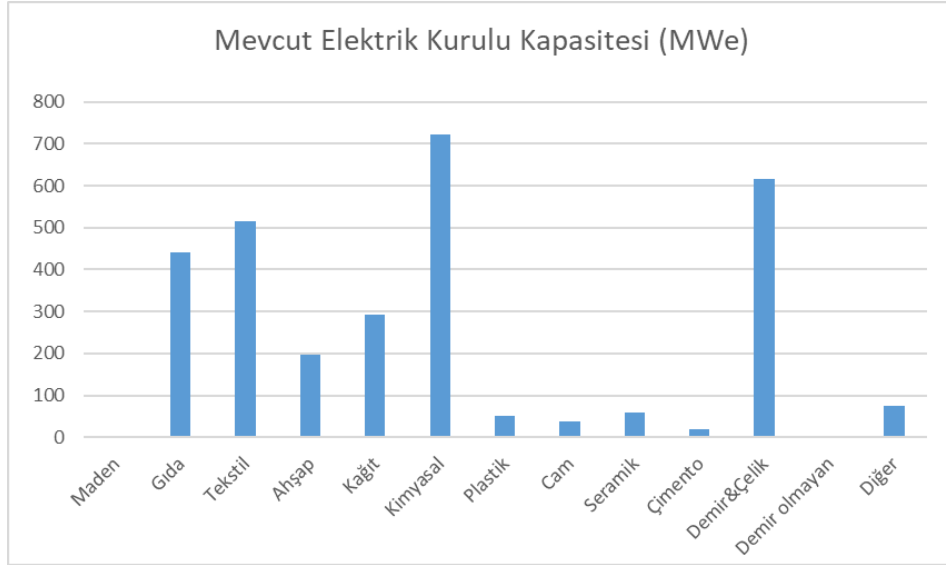
Şekil 2-4: 2020 Yılında Binaların Elektrik ve Isı Talebi

Bir tesisteki potansiyel bir kojenerasyon tesisinin kurulu elektrik ve termal kapasitesi bakımından kojenerasyon potansiyeli, o tesisin elektrik ve ısı talebine bağlı olarak tahmin edilebilir. Ancak, bir sanayi sektörünün veya bir bina tipinin toplam kojenerasyon potansiyelinin tahmin edilmesi için sektörü temsil eden bir elektrik/ısı oranı değeri gereklidir. Sanayi sektörlerinde ve bina tiplerinde mevcut kojenerasyon santrallerinin güncel ortalama elektrik/ısı oranları ETKB tarafından sağlanmaktadır.

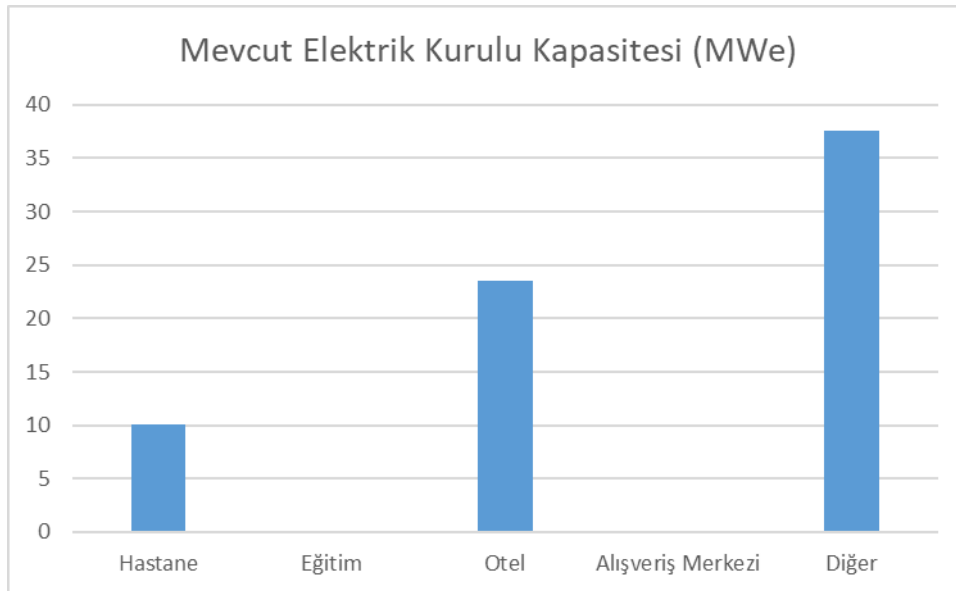
²⁶ Ecoheatcool Projesi Çalışma Paketi 1, 2005b

Elektrik/ısı oranı verisinin bulunmadığı veya sağlanmadığı sektörler ve/veya bina tipleri için bu değerler hesaplanmış veya hesaplanamıyorsa 1 kabul edilmiştir. Sağlanan ve hesaplanan tüm elektrik/ısı oranları Ek IX'da bulunabilir.

Ayrıca, aşağıdaki şekillerde gösterildiği üzere, her sanayi sektörü ve bina tipindeki mevcut tüm lisanslı ve lisanssız kojenerasyon santrallerinin toplam elektrik kurulu güç kapasiteleri de ETKB tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 2-5: Sanayi Sektörlerinde Mevcut Kojenerasyon Santrallerinin Toplam Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri



Şekil 2-6: Binalardaki Mevcut Kojenerasyon Tesislerinin Toplam Elektrik Kurulu Güç Kapasiteleri

Veriler, Türkiye'de sektördeki mevcut tüm lisanslı ve lisanssız kojenerasyon tesislerinin toplam kurulu gücünün 3.028 MWe, Türkiye'deki binalardaki mevcut tüm lisanslı ve lisanssız kojenerasyon santrallerinin toplam kurulu gücünün ise 71 MWe olduğunu göstermektedir.

2.9 Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretim Potansiyeli

Atık ısıdan elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, bu proje kapsamındaki sanayi sektörleri ve termik santraller için yapılan atık ısı potansiyeli tahminlerinin sonuçlarına dayanmaktadır.

Geri döndürülemez termodinamik kayıplar ve elektrik üretimi sırasında meydana gelen kayıplar nedeniyle, ticari atık ısıdan güç sistemleri, Carnot verimliliğinden daha düşük verimlilikle çalışır. Bu gerçek verimlilik, önceki benzer çalışmalara dayanarak belirlenmiştir.

Tahmini atık ısı potansiyeli değerleri, elektrik üretim potansiyelini elde etmek için varsayılan gerçek verimlilik değeri ile çarpılmıştır. Ardından, yıllık elektrik üretimi, varsayılan yıllık çalışma saatleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmüştür.

Varsayımlar:

- Atık ısıdan güce (AIG) potansiyelini hesaplamak için atık ısı akışlarından faydalı enerji elde etmek için bu sıcaklık üst sınır kabul edildiğinden, 25°C'deki atık ısı verileri dikkate alınmıştır.
- ICF International'ın Mart 2015 tarihli Atık Isıdan Güce (AIG) Piyasası Değerlendirmesi başlıklı çalışmasının metodolojisine göre, pratik atık ısıdan güce sistemlerinin, Carnot verimliliğinin 1/3'ünde çalıştığı varsayılmaktadır.
- Atık ısı akışı üreten endüstriyel santrallerin %80 kapasite faktörüyle ortalama 7.000 saat/yıl çalıştığı varsayılmaktadır.

2.10 Bölgesel Isıtma Potansiyeli Değerlendirmesi

Analiz, ısı kaynaklarının (endüstriyel tesisler ve termik santraller) ve ısı emicilerin (konutlar için gelecekteki potansiyel bölgesel ısıtma sistemleri) coğrafi konumu dikkate alınarak yapılmıştır. Bölgesel ısıtma, ticari binalar ve hizmet binaları için de uygulanabilir. Bununla birlikte, verilerin mevcudiyetine göre, bu projede, eşleşen arz ve talebi ölçmek için haneler kullanılmıştır.

Analiz üç ana adımda gerçekleştirilmiştir.

1. 102 ilçede bulunan 295 adet sanayi bölgesi ve santral bacasının atık ısı potansiyelleri, egzoz gazı sıcaklıkları ve kütledebileri esas alınarak hesaplanmıştır. Baca gazı özellikleri için ÇŞİDB'nin Ulusal Emisyon İzleme Ağı Veritabanı kullanılmıştır. Daha düşük baca gazı sıcaklıkları bölgesel ısıtma için önemli bir potansiyel göstermeyeceğinden, baca gazı sıcaklığı 120°C ve üzerinde olan bölgeler ve tesisler değerlendirilmiştir. Değerlendirmede atık ısıya ek olarak termik santrallerin ara buhar potansiyelleri de analiz edilmiştir. Dolayısıyla, egzoz sıcaklıklarının 120°C'nin üstünde olup olmamasına bakılmaksızın termik santrallerin hepsi değerlendirmeye dahil edilmiştir.
2. Hesaplanan atık ısı potansiyelleri, ilçe bazında coğrafi konumlara tahsis edilmiştir.
3. Atık ısı potansiyelleri, her ilçedeki nüfus, her ilçede hane başına düşen ortalama kişi sayısı ve illerin iklim bölgelerine göre hanelerin buna karşılık gelen ısıtma talepleri dikkate alınarak gelecekteki potansiyel bölgesel ısıtma talepleriyle eşleştirilmiştir.

Varsayımlar

Atık ısı potansiyelini ve talebini tahmin etmek için aşağıdaki varsayımlar ve bilgiler kullanılmıştır.

1. Konut sayısını tahmin etmek için TÜİK'in her ilçe için Ortalama Hane Sayısı verileri kullanılmıştır.²⁷
2. Her ilçenin iklim bölgesini belirlemek için TS825 kullanılmıştır.
3. Konutlar için m² başına Spesifik Enerji Tüketimi (SET), her iklim bölgesinden referans şehirler için enerji modellemesi ile ÇŞİDB'nin konut SET hesaplamasından elde edilmiştir.²⁸
4. Konutlarda enerji tüketiminin %70'i ısıtma sistemlerinde (mekan ısıtma ve su ısıtma) kullanılmaktadır.²⁹
5. Konutların %31'i yalıtımlı (TS825'e göre), %69'u yalıtımsızdır.³⁰
6. Kapasite faktörü sanayi için %75, linyit yakıtlı enerji santralleri (ES) için 0,49, antrasit ve ithal kömür yakıtlı santraller için 0,68 ve biyokütle ve biyogaz santralleri için 0,48'dir.
7. Her konutun taban alanı 100 m² kabul edilmiştir.
8. Linyit yakıtlı enerji santralleri ve cam sektörü özelinde, atık ısı potansiyellerini tahmin etmek için referans alınan sıcaklıklar sırasıyla 160°C ve 200°C'dir. Baca gazının özelliklerinden dolayı bu sektörlerin baca gazı sıcaklıklarını 120°C'ye indirmeleri mümkün değildir.

2.11 Tahmini Atık Isı Geri Kazanımı Yoluyla SG Emisyonu Azaltım Potansiyeli Değerlendirmesi

SG emisyonu azaltımları sanayi sektörlerinin, ticari binalar ve hizmet binalarının ve termik santrallerin potansiyel atık ısı geri kazanım verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Sanayi alt sektörleri için genel emisyon faktörleri aşağıdaki formüle dayalı olarak geliştirilmiştir.³¹

$$K_T = \frac{\sum_{x=1}^N C_x K_x}{\sum_{x=1}^N C_x}$$

K_T genel emisyon faktörü, C_x sektörde kullanılan x yakıtının oranı, K_x yakıtın emisyon faktörü, N ise sektörde kullanılan farklı yakıt sayısıdır. Çift sayımı önlemek için şebeke elektriğine ilişkin emisyonlar termal santral hesaplamalarında halihazırda dikkate alındığı için elektrik bu hesaplama dahil edilmemiştir. Temel hava kirleticilerinin emisyon faktörleri ve yakıt türüne göre SG'ler Türkiye'de Elektrik Üretimi, Isıtma ve Karayolu Taşımacılığında Fosil Yakıt Kullanımının Dışsal Maliyeti³² başlıklı SHURA raporundan alınmıştır.

Tablo 2-11: Sanayi için Yakıt Türüne Göre Temel Hava Kirleticiler ve SG Emisyonu Faktörleri

	Emisyon Faktörleri (kg/TJ)							KIP
	Doğalgaz	Antrasit	Linyit	Kok	Asfaltit	Yağ	Elektrik	
CH ₄	1	1	1	1	1	3	0	28
CO	39	17	9	9	9	15	0	0
CO ₂	56100	9600	105430	105430	105430	74100	0	1
N ₂ O	0	2	2	2	2	1	0	265
NM VOC	3	2	2	2	2	1	0	0
NO _x	65	251	407	407	407	180	0	0

²⁷ <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2020-37251>

²⁸ <https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/icerikler/kamu-b-nalarin-enerji-ver-ml-yen-lemes-ne-yonel-k-rehber-20201014100010.pdf>

²⁹ IEA (2021), *Turkey 2021 Energy Policy Review (Türkiye 2021 Enerji Politikası İncelemesi)*, IEA Enerji Politikası İncelemeleri, OECD Yayınları, Paris, <https://doi.org/10.1787/0633467f-en>.

³⁰ İZODER 2017 Basın Bülteni, <https://yesilekonomi.com/turkiyedeki-konutlarin-yalnizca-yuzde-30unda-uygun-yalitim-var/>

³¹ <https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/spatial-modelling-of-industrial-heat-loads-and-recovery-potential>

³² https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/Methodology_TR_web.pdf

PM	4	5116	8870	8870	8870	3	0	0
PM10	0	1170	2103	2103	2103	2	0	0
PM2.5	0	672	314	314	314	1	0	0
SOx	0	1546	1926	1926	1926	460	0	0

IPCC AR5 raporuna göre, sera gazlarının (CH₄, CO₂ ve N₂O) küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak yakıtların toplam CO_{2eş} emisyon faktörleri hesaplanmış ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2-12: Sanayi için Yakıtların CO_{2eş} Cinsinden Genel Emisyon Faktörleri

Emisyon Faktörleri (kg/TJ)							
	Doğalgaz	Antrasit	Linyit	Kok	Asfaltit	Yağ	Elektrik
CO _{2eş}	56.128	96.658	105.988	105.988	105.988	74.449	-

Termik santrallerin SG emisyonları söz konusu olduğunda, SG'lerin emisyon faktörleri, sanayi sektörlerinden bir miktar farklılık göstermektedir. Aşağıdaki tablolar, enerji santralleri için emisyon faktörlerini göstermektedir.

Tablo 2-13: ES'ler için Yakıt Türüne Göre SG Emisyonu Faktörleri³³

	Emisyon Faktörleri			KIP
	Doğalgaz	Antrasit	Linyit	
CH ₄ (kg/TJ)	1	1	1	28
CO ₂ (kg/TJ)	56300	95350	102950	1
N ₂ O (kg/TJ)	0,1	1,5	1,5	265
CO _{2eş} (kg/TJ)	56.355	96.141	103.992	

³³ https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/Methodology_TR_web.pdf

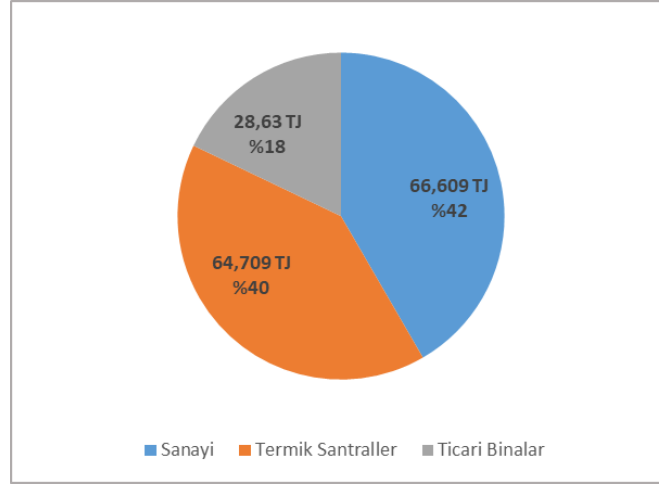
3. Sonuçlar

3.1 Atık Isı Potansiyellerine Genel Bakış

2020 ve 2021 yıllarında COVID-19 pandemisinin etkisinin ortadan kaldırılması ve sonuçların gösteriminin basitleştirilmesi için proje sonuçları 2019 yılı için verilmiştir. Bununla birlikte, 2018 ve 2020 sonuçları Ek II-A ve Ek II-C'de mevcuttur.

2019 yılında sanayi sektörleri, ticari binalar ve termik enerji santrallerinin (ES) toplam enerji girdisi 3.283.472 TJ³⁴, toplam tahmini teorik atık ısı potansiyeli ise 159.957 TJ olmuştur. Dolayısıyla, 2019 yılında her üç sektörün toplam teorik atık ısı potansiyelinin, toplam enerji girdisinin %5'i olduğu tahmin edilmektedir.

Sanayi sektörleri 66.609 TJ/yıla karşılık gelen %42'lik payla en yüksek atık ısı potansiyeline sahiptir. İkinci en yüksek atık ısı potansiyeli 64.709 TJ/yıl ile termik santrallere aittir. Toplam atık ısı potansiyelinin %18'i ticari binalardan kaynaklanmakta, bu oran 28.639 TJ/yıla karşılık gelmektedir.



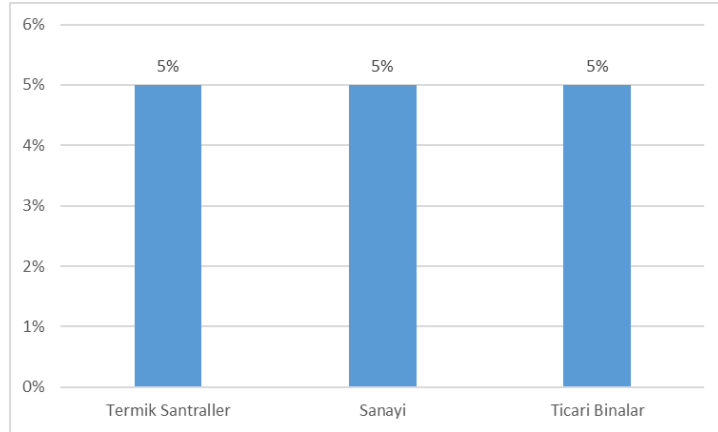
Şekil 3-1: Termik ES'ler, Sanayi Sektörleri ve Ticari Binalar için Tahmini Teorik Atık Isı Potansiyelinin Dağılımı (25°C Referans Sıcaklıkta)

Aşağıdaki tablo ve grafik, enerji girdilerinin dökümünü, tahmini teorik atık ısı potansiyellerini ve tahmini teorik atık ısı potansiyellerinin enerji girdilerine oranlarını göstermektedir.

Tablo 3-1: 2019 Yılında Sektörler için Toplam Enerji Girdisi, Tahmini Atık Isı Potansiyeli ve AI Potansiyeli/Enerji Girdisi Oranı

Sektör	Toplam Enerji Girdisi (TJ/yıl)	Tahmini AI Potansiyeli (25°C Ref.)	AI Potansiyeli/Toplam Enerji Girdisi
Termik Santraller	1.317.085	64.709	%5
Sanayi	1.443.014	66.609	%5
Ticari Binalar	523.373	28.639	%5
TOPLAM	3.283.472	159.957	%5

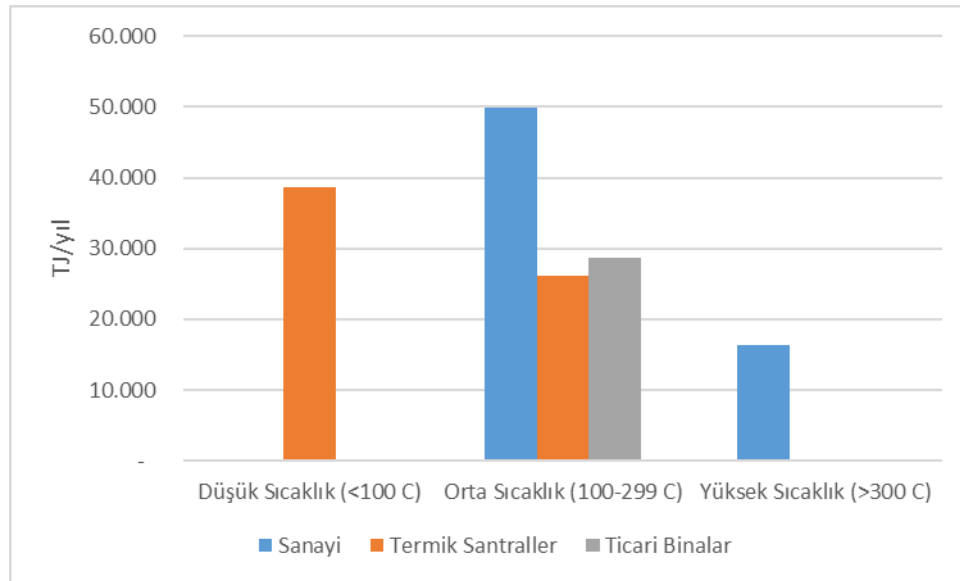
³⁴ ETKB Enerji Denge Tabloları, 2019



Şekil 3-2: Sektörler için Tahmini Atık Isı Potansiyeli/Enerji Girdisi Oranı

Yukarıdaki tablo ve grafik, termik santraller, sanayi binaları ve ticari binalar için tahmini atık ısının toplam enerji girdisine oranının eşit olduğunu göstermektedir.

Tahmini potansiyellerin termodinamik niteliğinin belirlenmesi için sektörler tahmini atık ısının sıcaklıklarına göre sınıflandırılmıştır.

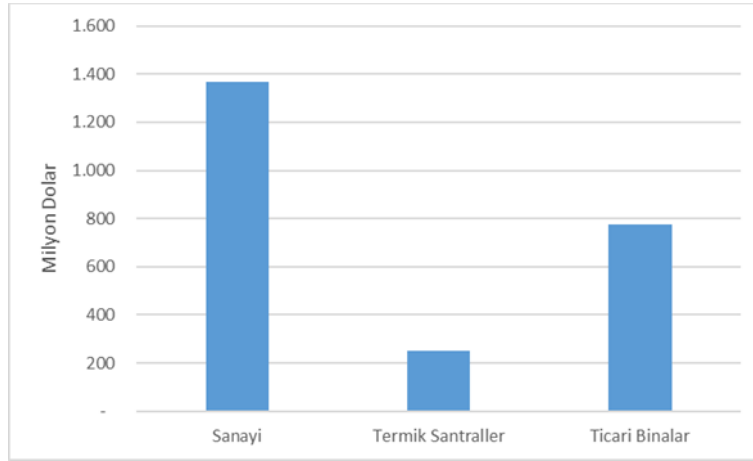


Şekil 3-3: Sıcaklık Aralığına Bölünmüş Tahmini Atık Isı Potansiyeli

Yukarıdaki tablo, düşük sıcaklıkta atık ısının ağırlıklı olarak termik santrallerden (38.618 TJ enerji santrali ve 263 TJ endüstriyel tesis) kaynaklandığını göstermektedir. Orta sıcaklıkta atık ısı miktarı, en yüksek miktardır (104.644 TJ). Yüksek sıcaklıkta atık ısı ise sanayi kaynaklıdır (16.430 TJ).

Teorik atık ısı potansiyelinden yararlanmak için gereken toplam yatırım tutarının 7.640.832.055 ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Atık ısı geri kazanım projeleri için birim yatırım maliyetini belirlemek için paydaşlar, teknoloji sağlayıcılar ve ETKB'yle toplantılar yapılmıştır. Birim maliyetler teknolojiye, kurulum büyüklüğüne, kurulum konumuna vb. bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle ETKB'nin Verimlilik Artırıcı Projelerinden (VAP) elde edilen AIGK projelerinin yatırım maliyetlerinin en

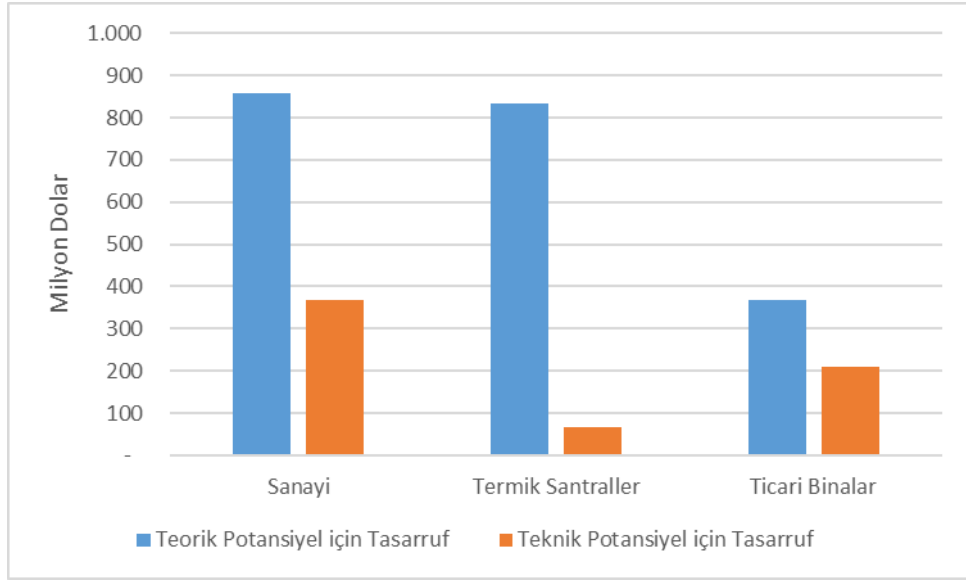
güvenilir veri olduğuna karar verilmiştir. ETKB, AIGK ile ilgili tüm projeleri ve bunların birim yatırım maliyetlerini VAP veritabanı üzerinden incelemiş ve bu projede bu birim yatırım maliyetlerinin ortalaması kullanılmıştır.³⁵ Teorik potansiyel yerine her sektör için teknik potansiyel daha gerçekçi bir toplam yatırım maliyeti ortaya koyabilir. Sanayi tesisleri için atık ısı geri kazanım teknolojilerine ilişkin genel uygulama, 150°C referans sıcaklıktadır ve bu sıcaklıkta tahmini atık ısı yatırım tutarı 1.368.029.133 ABD doları olacaktır. Termik santraller için en uygun referans sıcaklık, bölgesel ısıtma uygulamalarının potansiyelini tahmin etmek için kullanılan 120°C'dir. Dolayısıyla, ES'ler için tahmini yatırım tutarı 248.880.537 ABD dolarıdır. Ticari binalar söz konusu olduğunda, teknik potansiyel için 150°C referans sıcaklık varsayılmıştır ve bu sıcaklıkta tahmini atık ısı için gerekli yatırım tutarı 776.823.774 ABD doları olacaktır. Teknik potansiyel için toplam kümülatif yatırım tutarı 2.393.733.445 ABD dolarıdır.



Şekil 3-4: Ana Sektörler için Teknik AI Potansiyelini Gerçekleştirecek Toplam Yatırım Maliyeti

Teorik atık ısı potansiyelinin geri kazanılmasıyla sağlanabilecek maliyet tasarrufu, sanayi için 859.000.000 ABD doları/yıl, termik santraller için 834.000.000 ABD doları/yıl ve ticari binalar için 369.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir. Teknik potansiyel için maliyet tasarrufu sanayi için 369.000.000 ABD doları/yıl, termik santraller için 67.000.000 ABD doları/yıl ve ticari binalar için 210.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir. Teknik atık ısı potansiyelinin geri kazanılmasıyla sağlanabilecek toplam maliyet tasarrufu 646.000.000 ABD doları/yıl olarak tahmin edilmektedir.

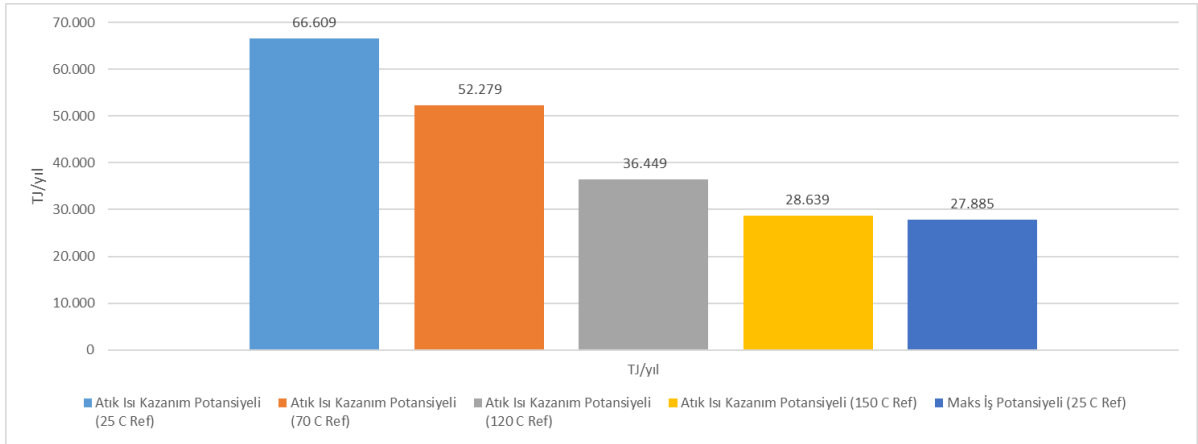
³⁵ Birim yatırım maliyeti EVÇED tarafından 2000 ABD doları/TEP olarak alınmıştır.



Şekil 3-5: Teorik ve Teknik Potansiyel için Tahmini Tasarruflar

3.2 Sanayide Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

2019 yılında sanayi sektörlerinin toplam enerji girdisi 1.443.014 TJ/yıl olmuştur. 2019 yılında sanayi sektörlerinin toplam teorik atık ısı potansiyeli 66.609 TJ olarak tahmin edilmekte olup bu da %5'lik atık ısı/enerji girdisi oranına karşılık gelmektedir. 2019 yılında sanayi sektörleri için tahmini atık ısı potansiyellerinin sonuçları aşağıdaki şekiller ve tabloda verilmiştir.

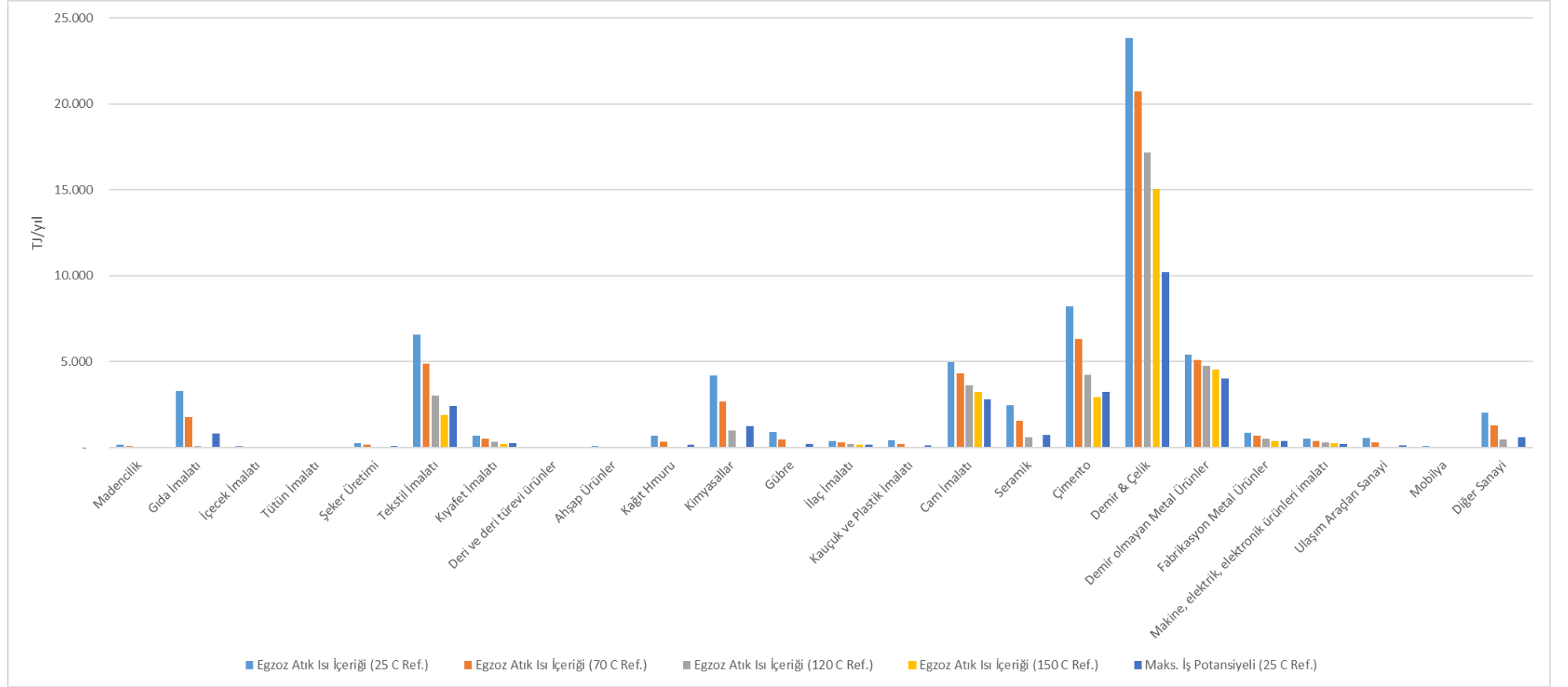


Şekil 3-6: 2019 Yılında Sanayinin Atık Isı Kayıpları ve İş Potansiyeli

Tablo 3-2: 2019 Yılında Sanayinin Atık Isı Kayıpları ve İş Potansiyeli³⁶

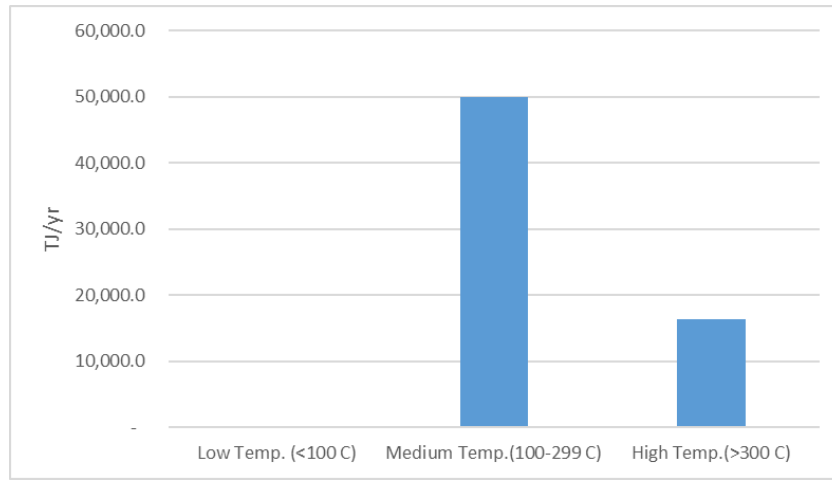
Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	Atık Isı Potansiyeli (TJ/yıl)				Maksimum İş Potansiyeli (TJ/y)	Carnot Verimliliği
	25°C Ref.	70°C Ref.	120°C Ref.	150°C Ref.		
Madencilik	177	60	(70)	(148)	33	%18
Gıda İmalatı	3.265	1.766	100	(900)	808	%24
İçecek İmalatı	65	41	15	-	19	%29
Tütün İmalatı	18	-	(20)	(32)	2	%13
Şeker Üretimi	239	149	50	(10)	69	%28
Tekstil İmalatı	6.581	4.889	3.008	1.880	2.435	%37
Giyim İmalatı	699	519	320	200	259	%37
Deri ve Deri Ürünleri	29	22	13	8	11	%37
Ahşap Ürünler	69	21	(32)	(63)	12	%17
Kağıt ve Kağıt Hamuru	673	351	(7)	(222)	161	%24
Kimyasal Maddeler	4.187	2.680	1.005	-	1.237	%29
Gübre	882	455	(19)	(304)	210	%23
İlaç İmalatı	381	296	202	145	154	%40
Kauçuk ve Plastik Ürün İmalatı	407	224	20	(102)	102	%25
Cam İmalatı	4.961	4.335	3.640	3.223	2.801	%54
Seramik	2.438	1.560	585	-	720	%29
Çimento	8.212	6.317	4.211	2.948	3.248	%39
Demir-Çelik	23.831	20.704	17.174	15.068	10.222	%54
Demir Dışı Metal Üretimi	5.404	5.093	4.748	4.540	4.001	%58
Fabrikasyon Metal Ürünler	841	680	501	394	371	%44
Makine, Elektrik, Elektronik Ürün İmalatı	496	401	296	232	219	%44
Ulaşım Araçları Sanayii	544	304	37	(123)	139	%25,5
Mobilya	86	52	15	(7)	24	%27,8
Diğer Sanayi	2.040	1.306	490	-	603	%29,6
Rafineri	84	53	19	(2)	25	%29,0
TOPLAM	66.609	52.279	36.449	28.639	27.885	

³⁶ Tablodaki negatif değerler, egzoz akışı sıcaklığının 150°C'nin altında olduğunu, dolayısıyla bu referans sıcaklık için bir potansiyelin olmadığını göstermektedir.

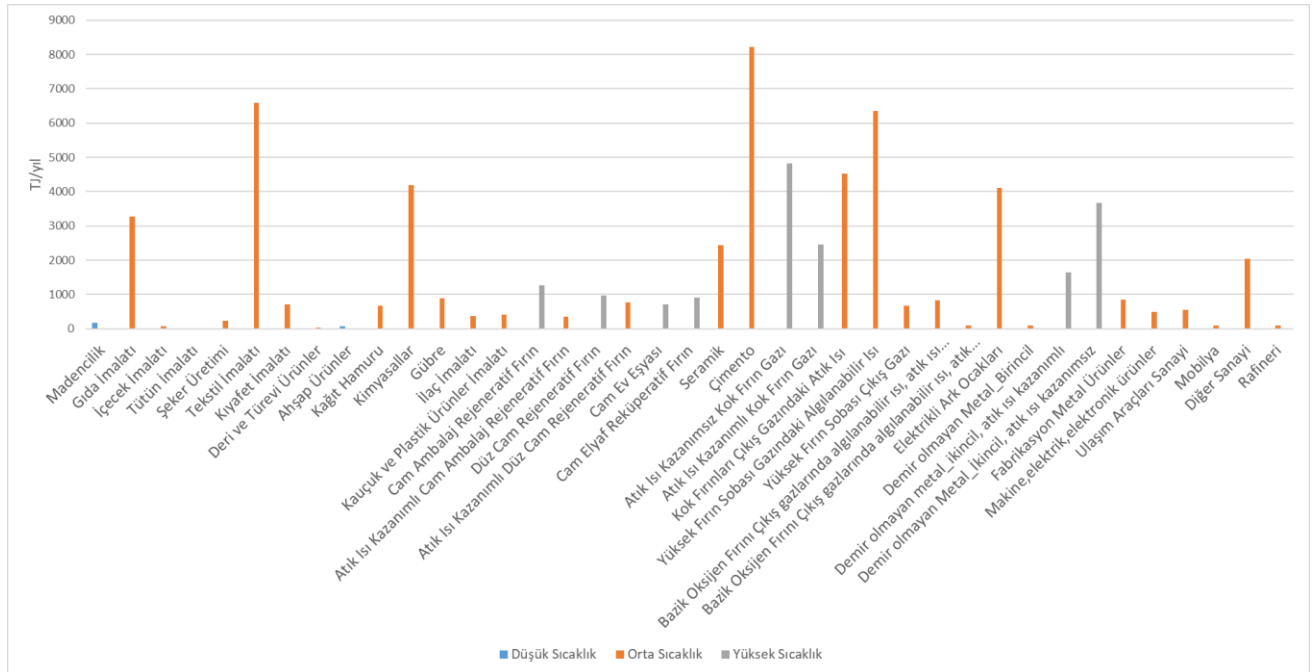


Şekil 3-7: Sanayi Sektörlerinin Atık Isı & İş Potansiyeli

Yukarıdaki tablo ve şekil, demir-çelik sektörünün, tüm sanayi sektörlerinin neredeyse üçte biriyle (23.831 TJ/y) en yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. 25°C referans sıcaklıkta demir-çeliği sırasıyla 8.212 TJ/y, 6.581 TJ/y 5.404 ile çimento, tekstil ve demir dışı metal üretimi takip etmektedir. 25°C referans sıcaklıkta en yüksek üçüncü potansiyele sahip sektör tekstil sektörü olarak tanımlansa da sektördeki potansiyel ağırlıklı olarak 25°C referans sıcaklık içindir ve geri kazanılmayan ısının iş potansiyeli daha önce sıralanan sektörler göre daha düşüktür. Ayrıca, cam, kimyasal madde, gıda ve seramik sektörleri de önemli potansiyel göstermektedir. Çoğu sektörün baca gazı sıcaklığı 150°C referans sıcaklığın altındadır. Dolayısıyla, madencilik, gıda, kağıt hamuru ve kağıt, ahşap vb. gibi birçok sanayi sektörü için AIGK potansiyelinin 150°C'de tahmin edilmesi mümkün değildir. Tahmini potansiyellerin termodinamik kalitesini niteliğinin belirlenmesi için sektörler, aşağıdaki grafiklerde tahmini atık ısının sıcaklıklarına ve karşılık gelen Carnot verimliliklerine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 3-8: Tahmini Atık Isı Sıcaklık Aralıkları



Şekil 3-9: Farklı Sektör ve Proseslerin Sıcaklığa (Yüksek, Orta, Düşük) Göre Atık Isı Potansiyeli

Değerlendirme esas olarak bacalardan kaynaklanan egzoz sıcaklıklarına dayandığından, 100°C sıcaklığın altındaki atık ısı önemsiz görünmektedir. Yalnızca madencilik ve tütün sektörlerinde 100°C'nin altında baca sıcaklıkları görülmüştür. Tahmini atık ısının çoğu 100–299°C sıcaklık aralığında yer almaktadır. Demir-çelik ve cam gibi bazı sektörlerde 300°C'nin üzeri için de bir miktar potansiyel söz konusudur.

Tablo 3-3: Endüstriyel Prosesler için Atık Isı Akışlarının Termodinamik Niteliği (Carnot Faktörü)

Endüstri/Proses	%20 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%30 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%40 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%50 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%60 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%70 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%80 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji	%90 Carnot Faktörü nde TJ/yıl Enerji
Madencilik	177	-	-	-	-	-	-	-
Gıda İmalatı	-	3.265	-	-	-	-	-	-
İçecek İmalatı	-	65	-	-	-	-	-	-
Tütün İmalatı	18	-	-	-	-	-	-	-
Şeker Üretimi	-	239	-	-	-	-	-	-
Tekstil İmalatı	-	-	6.581	-	-	-	-	-
Giyim İmalatı	-	-	699	-	-	-	-	-
Deri ve Deri Ürünleri	-	-	29	-	-	-	-	-
Ahşap Ürünler	69	-	-	-	-	-	-	-
Kağıt ve Kağıt Hamuru	-	673	-	-	-	-	-	-
Kimyasal Maddeler	-	4.187	-	-	-	-	-	-
Gübre	-	882	-	-	-	-	-	-
İlaç İmalatı	-	-	-	381	-	-	-	-
Kauçuk ve Plastik Ürün İmalatı	-	407	-	-	-	-	-	-
Cam	-	-	-	-	4.961	-	-	-
Seramik	-	2.438	-	-	-	-	-	-
Çimento	-	-	8.212	-	-	-	-	-
Demir-Çelik	-	-	-	-	23.831	-	-	-
Demir Dışı Metal	-	-	-	-	5.404	-	-	-
Fabrikasyon Metal Ürünler	-	-	-	841	-	-	-	-
Makine, Elektrik, Elektronik Ürün İmalatı	-	-	-	496	-	-	-	-
Ulaşım Araçları Sanayii	-	544	-	-	-	-	-	-
Mobilya	-	86	-	-	-	-	-	-
Diğer Sanayi	-	2.040	-	-	-	-	-	-

Yukarıdaki tablo, önemli potansiyel göstermesine rağmen bazı sektörlerin elektrik/mekanik iş potansiyellerinin düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, tekstil ve gıda imalat sektörleri önemli atık ısı potansiyeline sahip olarak listelenmiştir. Ancak egzoz gazı sıcaklıkları nedeniyle tahmin edilen ısının çalışma potansiyeli düşüktür (tekstil ve gıda sektörlerinin Carnot verimliliği sırasıyla %25 ve

%37'ken cam sektörünün Carnot verimliliği %55'e ulaşmaktadır). Demir-çelik, demir dışı metal üretimi ve cam sanayii için egzoz akışlarının kayda değer iş potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, cüruf soğutma bacasından çıkan yüksek sıcaklıktaki (yaklaşık 350°C) egzoz gazları nedeniyle çimento sektörünün önemli iş potansiyeli göstermesi beklenmektedir. Ancak bu projede tahminler için soğutma bacası ve fırın bacası sıcaklıklarının ortalaması kullanılmıştır. Dolayısıyla, çimento sektörünün ortalama Carnot potansiyeli beklenenden düşük gözükmektedir. Atık ısı geri kazanımı için en büyük potansiyel demir-çelik, çimento, demir dışı metal üretimi ve tekstil sektörlerinde tespit edilmiştir.

Verilerin ulaşılabilirliğine bağlı olarak, bazı sektörler daha ayrıntılı analiz edilmiştir.

Demir-Çelik

Aşağıdaki tablo, demir-çelik üretim proseslerinde üretilen egzoz gazlarından veya diğer önemli gaz akışlarından kaynaklanan tahmini atık ısı potansiyelini göstermektedir. Analiz edilen prosesler arasında kok fırınları, yüksek fırınlar, bazik oksijen fırınları ve elektrik ark fırınları bulunmaktadır.

Tablo 3-4: Demir-Çelik Sanayiinde Tahmini Egzoz Gazı Atık Isı Kayıpları

Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	AI Potansiyeli 25°C Ref. (TJ/y)	AI Potansiyeli 70°C Ref. (TJ/y)	AI Potansiyeli 120°C Ref. (TJ/y)	AI Potansiyeli 150°C Ref. (TJ/y)	Carnot Verimliliği	Maksimum İş Potansiyeli (TJ/y)
Demir-Çelik						
Kok Fırını						
Atık Isı Geri Kazanımsız Kok Fırını Gazı	4.814	4.534	4.224	4.037	%72,2	3.477,29
Atık Isı Geri Kazanımlı Kok Fırını Gazı	2.452	2.190	1.904	1.731	%58,8	1.441,70
Çıkış Gazlarındaki Atık Isı	4.521	3.450	2.261	1.546	%38,9	1.760,35
Yüksek Fırın						
YFG'deki Duyulur Isı	6.359	5.087	3.674	2.826	%39,6	2.515,37
Yüksek Fırın Çıkış Gazları	668	297	386	296	%43,0	1.028,23
Bazik Oksijen Fırını						
BOF çıkış gazlarındaki duyulur ısı, geri kazanımsız	824	803	778	763	%84,9	700,17
BOF çıkış gazlarındaki duyulur ısı, geri kazanımlı	92	74	53	41	%43,0	39,69
Elektrik Ark Fırını	4.098	4.030	3.893	3.825		

Analiz sonucunda, demir-çelik sektöründeki tüm atık ısı akışları arasından kok fırını gazının (KFG) en yüksek iş potansiyeline ve termodinamik niteliğe sahip olduğu tahmin edilmektedir. Ancak KFG'nin kirletici bileşimi nedeniyle atık ısının geri kazanılması zor olabilir. Türkiye'deki yaygın KFG geri kazanım yönteminin anlaşılması için demir-çelik şirketleriyle görüşmeler yapılmıştır. KFG'nin genellikle üretim tesislerinde diğer birçok proseste kullanılmasını mümkün kılacak sıcaklıklara soğutulduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu prosesler sırasında atık ısı geri kazanılmamaktadır. KFG'ye ek olarak, yüksek fırın (YF) gazı da önemli potansiyel göstermektedir. Çıkış gazının sıcaklıkları KFG'den nispeten daha düşük olmasına rağmen egzoz gazı daha temizdir. Dolayısıyla, bu gazın kullanımı için yakıtın veya yanma havasının ön ısıtılması gibi daha fazla potansiyel bulunması mümkündür.

Demir Dışı Metal Üretimi

Tablo 3-5: Demir Dışı Metal Üretiminden Kaynaklanan Tahmini Egzoz Gazı Atık Isı Kayıpları

Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	AI Potansiyeli 25°C Ref. (TJ/y)	AI Potansiyeli 70°C Ref. (TJ/y)	AI Potansiyeli 120°C Ref. (TJ/y)	Atık Isı Potansiyeli 150°C Ref. (TJ/y)	Carnot Verimliliği	Maksimum İş Potansiyeli (TJ/y)
Demir Dışı Metal Üretimi						
Birincil	90	58	23	2	%30	27
Isı geri kazanımlı ikincil	1.639	1.507	1.360	1.272	%65	1.069
Isı geri kazanımsız ikincil	3.673	3.527	3.363	3.265	%79	2.904

Cam İmalatı

Tablo 3-6: Cam İmalatından Kaynaklanan Tahmini Egzoz Gazı Atık Isısı

Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y) 25°C Ref.	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y) 70°C Ref.	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y) 120°C Ref.	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y) 150°C Ref.	Carnot Verimliliği	Maksimum İş Potansiyeli (TJ/y) 25°C Ref.
Cam İmalatı						
Cam Ambalaj						
Rejeneratif Fırın	1.269	1.112	937	831	%54	696
AIGK'lı Rejeneratif Fırın	342	265	181	130	%40	138
Düz Cam						
Rejeneratif Fırın	963	856	737	667	%57	555
AIGK'lı Rejeneratif	769	615	445	342	%43	331
Cam Ev Eşyası						
Rejeneratif Fırın	708	620	522	464	%54	388
Cam Elyaf ve Cam Yünü						
Rekuperatif Fırın	907	864	817	788	%76	691

Analiz sonucunda, cam sektöründeki tüm atık ısı akışları arasından cam elyaf ve cam yünü fırınlarından çıkanların daha iyi termodinamik niteliğe sahip olduğu tahmin edilmektedir. Ancak düz cam fırınları, Türkiye'de sanayide en yüksek atık ısı kayıplarına sahiptir.

Çimento

Türkiye'de çimento sektöründe faaliyet gösteren 56 tesisten 16'sı halihazırda AIGK teknolojilerine yatırım yapmış olmasına rağmen çimento sektörü tüm sanayi sektörleri arasında en yüksek atık ısı potansiyeline sahip ikinci sektördür. Aşağıdaki tablo sektördeki tahmini AIGK potansiyelini göstermektedir.

Sanayi ve Sanayi Alt Sektörü	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y)	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y)	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y)	Atık Isı Potansiyeli (TJ/y)	Carnot Verimliliği	Maksimum İş Potansiyeli (TJ/y)
	25°C Ref.	70°C Ref.	120°C Ref.	150°C Ref.		25°C Ref.
Çimento	8.212	6.317	4.211	2.948	40	3.248

Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği (TÜRKCİMENTO) tarafından sağlanan Türk çimento sektöründe kurulu AIGK sistemlerinin en güncel listesi aşağıdaki tabloda sunulmaktadır. Sektördeki AIGK sistemlerinin kurulu gücü 2020 yılı itibarıyla 141,5 MW'a ulaşmıştır.

Tablo 3-7: Çimento Fabrikalarında Kurulu AIGK Sistemleri³⁷

Şirket	Sistem	Kurulu Güç (MW)	Hat Sayısı	Devreye Alındığı Yıl
Akçansa Çanakkale Çimento	SRC	15,2	2	2011
Aşkale Erzurum Çimento	SRC	7,5	2	2011
Çimsa Mersin Çimento	SRC	9,8	2	2012
Batıçim Çimento	SRC	9,0	2	2012
Batisöke Çimento	SRC	5,5	1	2012
Nuh Çimento	SRC	17,7	3	2013
Bursa Çimento	SRC	9,0	2	2013
Bolu Çimento	SRC	7,5	1	2014
Aslan Çimento	SRC	7,5	1	2014
Göлтаş Çimento	SRC	12,0	2	2015
KÇS Çimento	SRC	9,0	2	2018
Medcem Çimento	SRC	10,0	1	2018
Çimko Narlı	ORC	4,5	1	2019
Bartın Çimento	SRC	5,0	1	2019
Sönmez Çimento	ORC	7,8	1	2020
Arkoz Çimento	SRC	4,5	1	2020
TOPLAM		141,5	25	

TÜRKCİMENTO ile yapılan görüşmeler, kurulu tüm SRC/ORC geri kazanım sistemlerinin, cüruf soğutma bacalarına kurulduğunu göstermektedir. Çimento fabrikalarında yüksek egzoz sıcaklıkları, yüksek akış hızları ve görece temiz gaz bileşimi nedeniyle geri kazanım sistemlerin kurulmasında soğutma bacası ilk tercihtir.

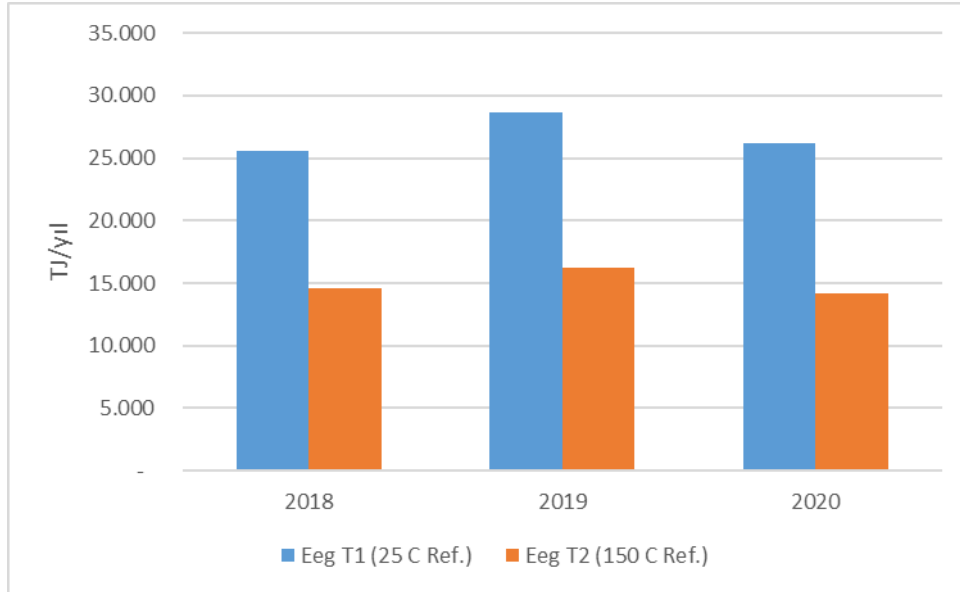
³⁷ TÜRKCİMENTO

3.3 Ticari Binalar ve Hizmet Binalarında Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Sonuçlar, 2019 yılında ticari binalar ve hizmet sektörlerindeki binalara yıllık toplam 523.373 TJ enerji tedarik edildiğini göstermektedir. Egzoz gazlarından kaynaklanan toplam tahmini atık ısı 28.639 TJ/y olup atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranı %5'tir. Tahmini atık ısı potansiyelinin tamamı orta sıcaklık aralığındadır. 2018, 2019 ve 2020 yılları için tahmini atık ısı potansiyelleri aşağıdaki tablo ve grafikte verilmiştir.

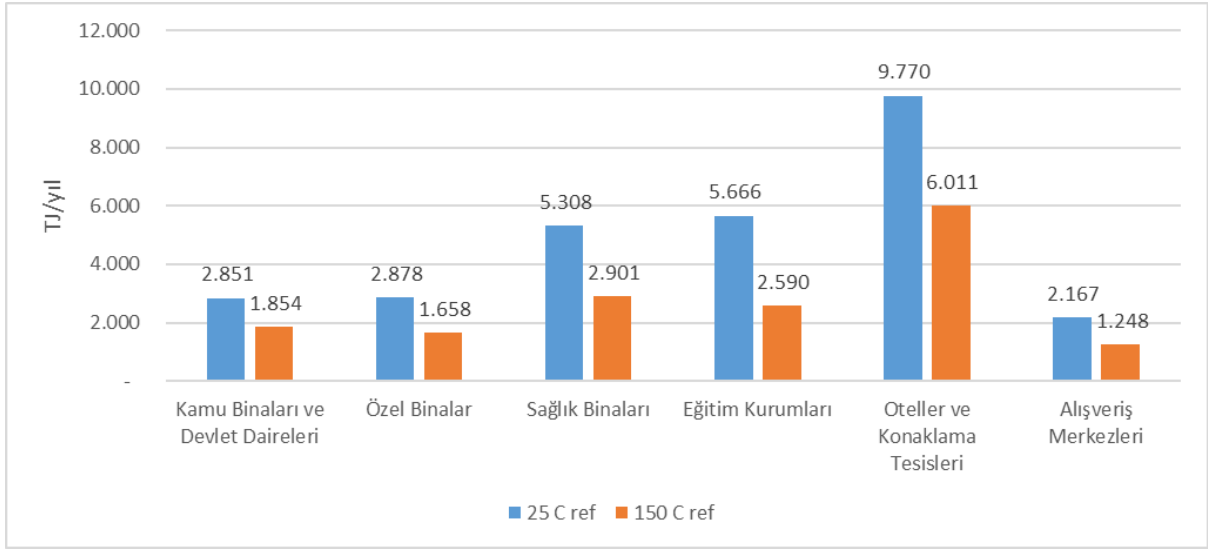
Tablo 3-8: Tedarik Edilen Toplam Enerji ve Tahmini Atık Isı

Yıl	Eeg 25°C Ref. (TJ)	Eeg 150°C Ref. (TJ)	Tedarik Edilen Toplam Enerji (TJ)
2018	25.545	14.548	501.788
2019	28.639	16.262	523.373
2020	26.139	14.155	470.010



Şekil 3-10: 2018, 2019 ve 2020 Yılları için Tahmini Egzoz Gazı Atık Isısı

Aşağıdaki grafik, ticari sektör ve hizmet sektöründeki her bina tipi için atık ısı potansiyellerini göstermektedir.



Şekil 3-11: Tahmini Egzoz Gazı Atık Isı

Yukarıdaki grafik, 25°C referans sıcaklık için sırasıyla 9.770 TJ ve 5.308 TJ ile oteller ve konaklama tesisleri ile kamu ve özel sağlık kuruluşlarının en yüksek yıllık atık ısı potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

3.4 Termik Santrallerde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

2021 yılında Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarından yıllık brüt elektrik üretimi 331.492 GWh olmuştur. Toplam üretimin %66,6'sına tekabül eden 220.594 GWh, termik santrallerden sağlanmıştır. Termik santrallerin payı 2019 yılında %57,6 ve 2020 yılında %59,6'dan 2021 yılında %66,6'ya yükselmiştir. Bunun başlıca nedeni, hidro enerji santrallerinde kuraklık nedeniyle elektrik üretiminin önceki yıllara göre azalması ve yerini doğalgaz kombine çevrimli enerji santrallerinin almasıdır. Aralık 2021 itibarıyla termik santrallerin kurulu güç içindeki payı %48,3 olmuştur. Bu nedenle, termik santraller Türkiye'nin enerji karışımında halen önemli rol oynamaktadır ve atık ısı potansiyellerinin yüksek olması beklenmektedir.

2021 yılı elektrik üretimine bakıldığında, termik santraller içinde akaryakıt, motorin ve nafta gibi sıvı yakıtların payı neredeyse yok denecek kadar azken, biyokütle ve atık ısı santralleri gibi yenilenebilirler ve atıkların payı da %3,5'le oldukça düşüktür. 2021 yılında termik santrallerin elektrik üretiminin %49'u ve toplam elektrik üretiminin %33'ü doğalgazdan, termik santrallerin elektrik üretiminin %47'si ve toplam elektrik üretiminin %31'i kömürden sağlanmıştır. İthal kömürdeki fiyat artışları ve doğalgazdaki kıtlık ve fiyat artışları dikkate alındığında, yenilenebilir enerjinin enerji karışımı içindeki payının artırılması için Türkiye'deki termik santrallerde atık ısı geri kazanımı ve yeniden kullanımının yanı sıra yeni yenilenebilir enerji yatırımı gereksinimi kritik hale gelmiştir.

Tablo 3-9: 2019, 2020 ve 2021 Yılları için Türkiye'nin Brüt Elektrik Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (GWh) ve Aralık 2021 İtibarıyla Kurulu Güç – Kaynak: TEİAŞ

	2019 (GWh/yıl)	2020 (GWh/yıl)	2021 (GWh/yıl)	Aralık 2021 Kurulu Güç (MW)
Taş Kömürü + İthal Kömür + Asfaltit	66.022	67.874	60.802	10.240

	2019 (GWh/yıl)	2020 (GWh/yıl)	2021 (GWh/yıl)	Aralık 2021 Kuru Güç (MW)
Linyit	46.872	37.938	43.400	10.120
Sıvı Yakıtlar	336	323	337	258
Doğalgaz + SDG	57.288	70.931	108.439	25.576
Yenilenebilirler ve Atıklar	4.624	5.737	7.617	2.035
TERMAL	175.142	182.803	220.594	48.228
HİDRO	88.822	78.094	55.695	31.493
JEOTERMAL + RÜZGAR + GÜNEŞ	39.932	45.806	55.203	20.099
BRÜT ÜRETİM	303.897	306.703	331.492	99.819

Akaryakıt, dizel yakıt ve nafta gibi sıvı yakıtların payı neredeyse yok denecek kadar az olduğundan, bu bölümde doğalgaz kombine çevrimli ve kömür yakıtlı elektrik santrallerinin ısı fazlası potansiyellerine odaklanılmaktadır. Biyokütle enerji santralleri Bölüm 3.5'te ele alınmaktadır.

2019 yılında termik santrallerin toplam enerji girdisi 1.317.085 TJ/yıl olmuştur. Atık ısı potansiyeli, %5'lik bir ortalama atık ısı potansiyeli/giriş enerjisi oranıyla 64.709 TJ/yıl olarak tahmin edilmektedir. Egzoz gazlarından kaynaklanan atık ısı değerlendirmesine ek olarak, bu bölümde ara buhar çekme de değerlendirilmiştir. Sonuçlar ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

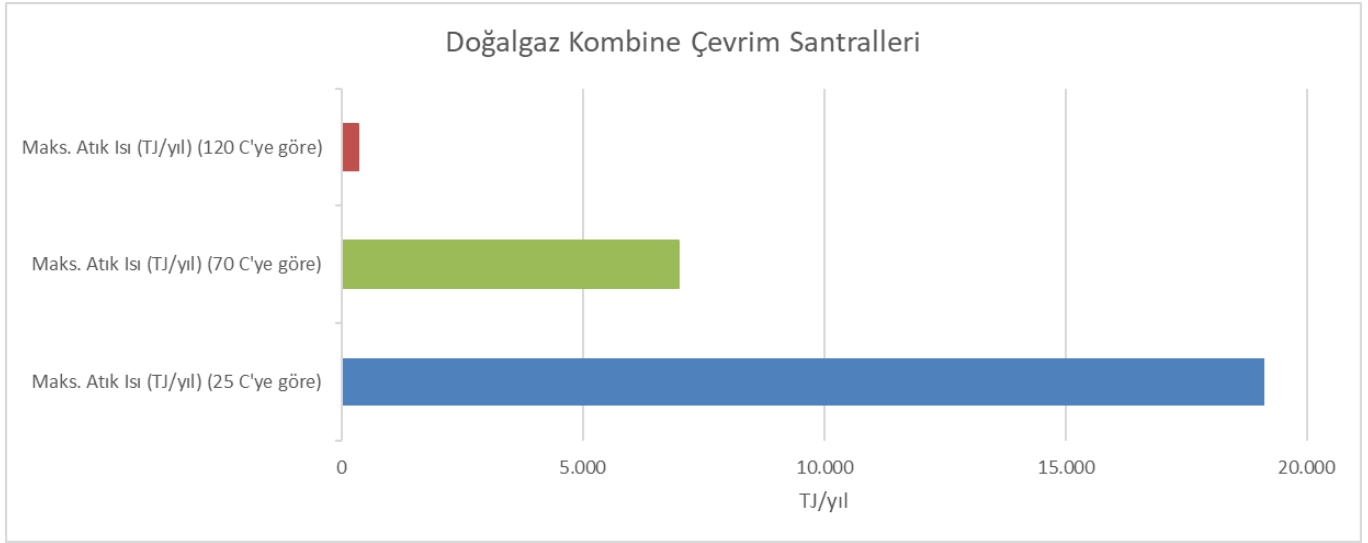
3.4.1 Egzoz Gazı Atık Isısı

Doğalgaz Kombine Çevrimli Enerji Santrali

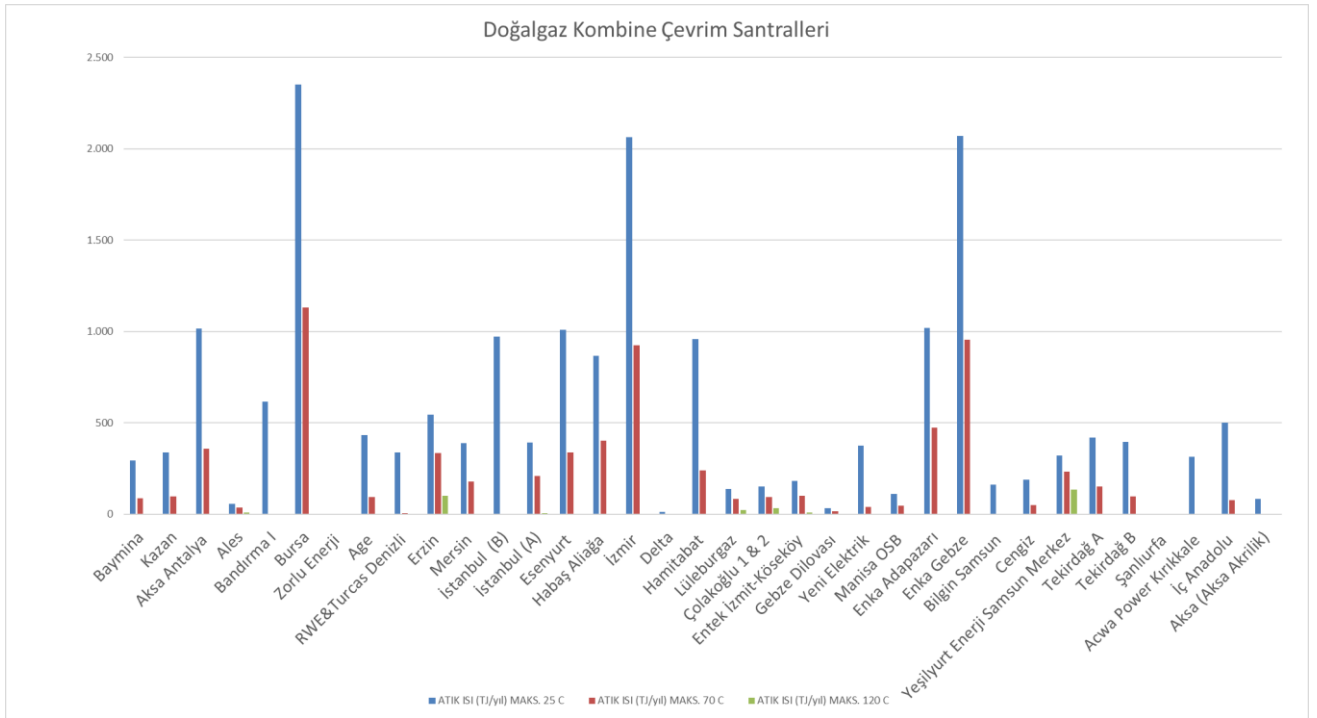
Türkiye'deki doğalgaz kombine çevrimli enerji santralleri bağlamında, kombine çevrim gaz türbini (KÇGT), gaz türbininin Brayton çevrimi ile buhar türbininin Rankin çevrimini birleştiren fosil yakıtlı enerji santralini ifade eder. Tipik bir düzende, ısı geri kazanım buhar kazanından (IGKBK) geçen gaz türbininden çıkan egzoz ısı, alt buhar çevriminde oluşan buharı üretir. Buhar türbininden çıkan egzoz buharı daha sonra yoğunlaştırılır ve çevrimi tekrarlamak için IGKBK'ye geri pompalanır.

Elektrik santrali egzoz gazı sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$) ve hacimsel debi (m^3/s) veri listesi ÇŞİDB'den alınmıştır. Veri setimizde kullanılan doğalgaz kombine çevrimli enerji santrallerinin tamamı ve bunların 25°C , 70°C ve 120°C nihai sıcaklıkları için hesaplamalar Ek III'te bulunmaktadır.

Aşağıdaki grafikler, 25°C , 70°C ve 120°C referans sıcaklıkları için Doğalgaz KÇES'de tahmini atık ısı potansiyelini özetlemektedir.



Şekil 3-12: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrallerinde Hesaplanan Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar



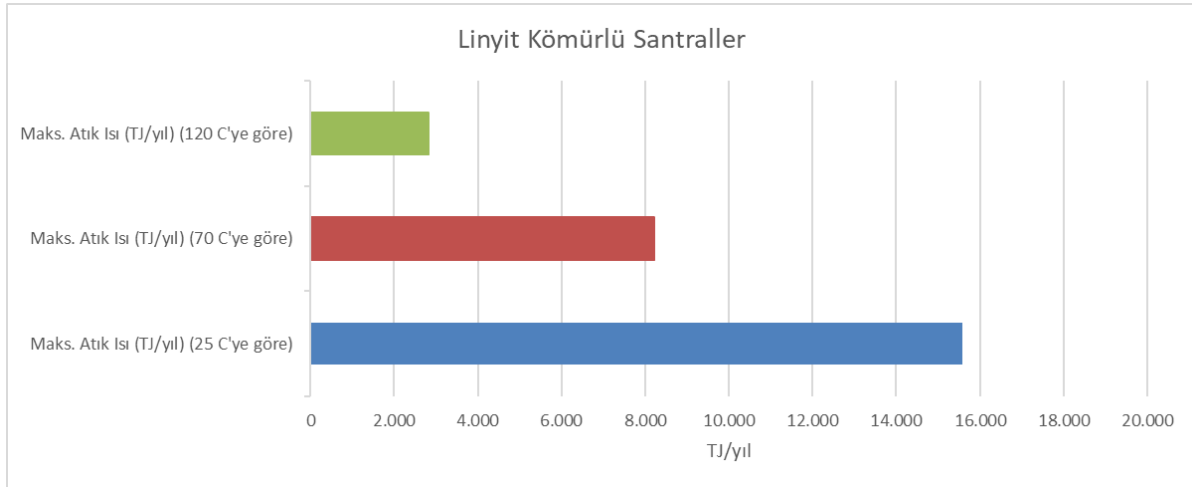
Şekil 3-13: Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020, 2021 yıllarındaki maksimum değerler)

Kömür Yakıtlı Enerji Santrali

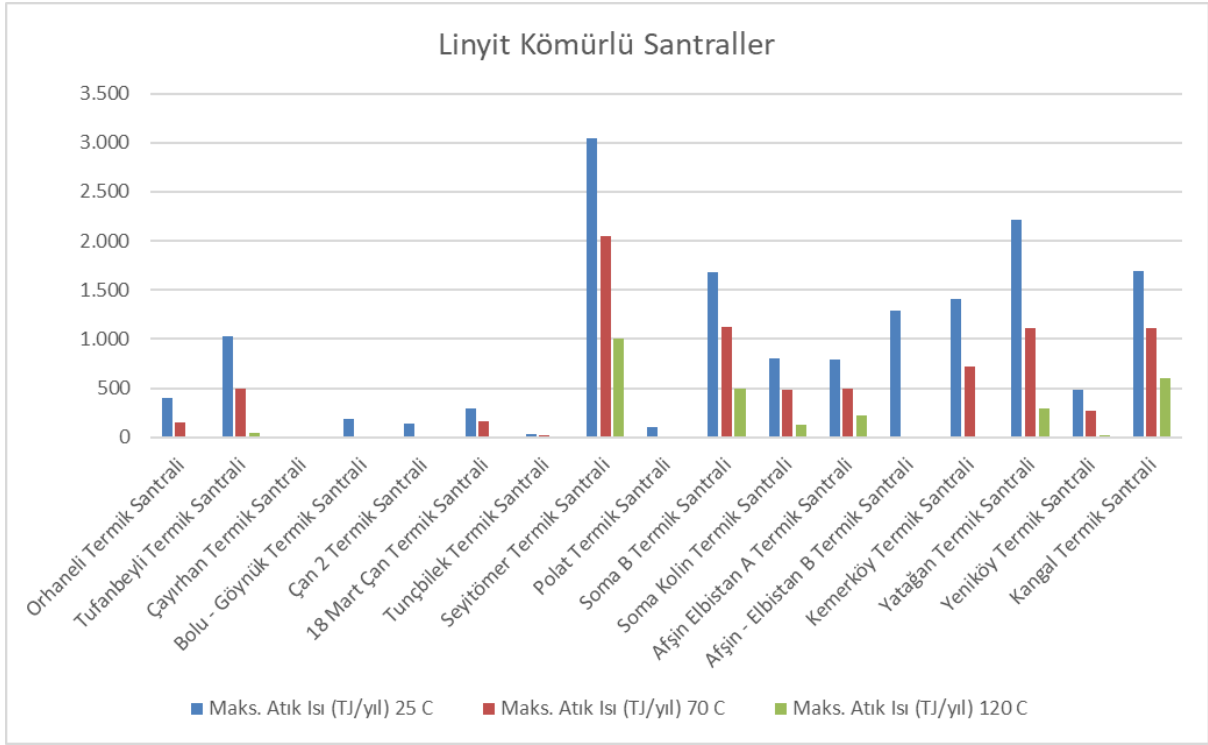
Tipik bir kömür yakıtlı elektrik santralinde, kazanın yanma odasında yakılmak üzere kömürü ince toz haline getiren öğütücüler bulunur. Kömürün yanmasıyla üretilen ısı, yüksek sıcaklık ve basınçta buhar üretir. Kazandan çıkan yüksek basınçlı buhar, türbindeki birkaç bıçak takımına çarpar. Bu, Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasına dayalı olarak alternatörde elektrik üretimiyle sonuçlanan mekanik mil rotasyonunu ortaya çıkarır. Türbinden çıkan egzoz buharı daha sonra yoğunlaştırılır ve çevrimin tekrarı için kazana geri pompalanır.

Veri setimizde kullanılan linyit kömürü yakıtlı enerji santrallerinin tamamı ve bunların 25°C, 70°C ve 120°C nihai sıcaklıkları için hesaplamalar Ek III'te bulunmaktadır.

Aşağıdaki grafikler, 25°C, 70°C ve 120°C referans sıcaklıkları için linyit kömürü yakıtlı enerji santrallerindeki tahmini atık ısı potansiyelini özetlemektedir.



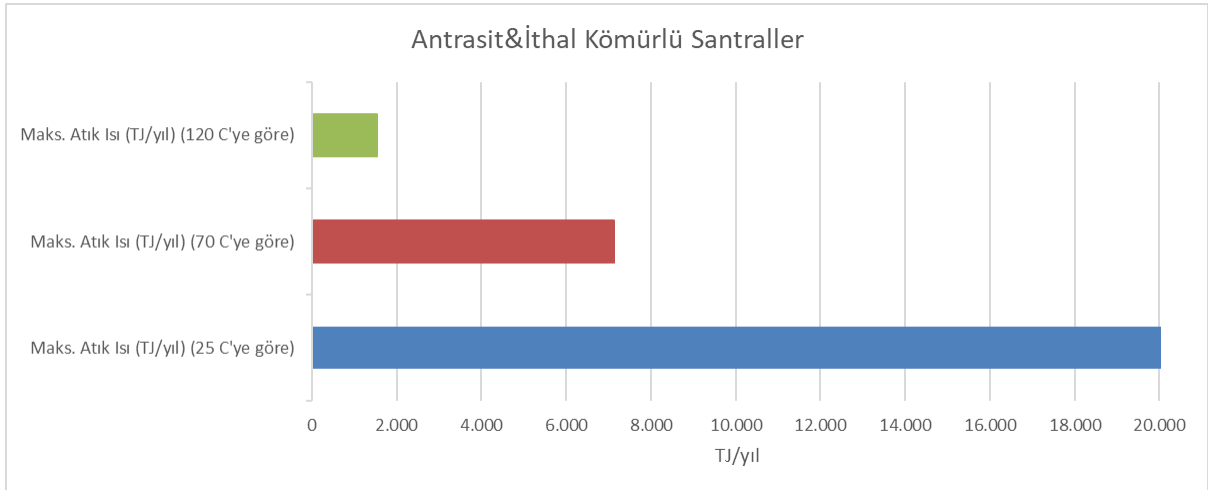
Şekil 3-14: Linyit Kömürü Yakıtlı ES'lerde Tahmini Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar



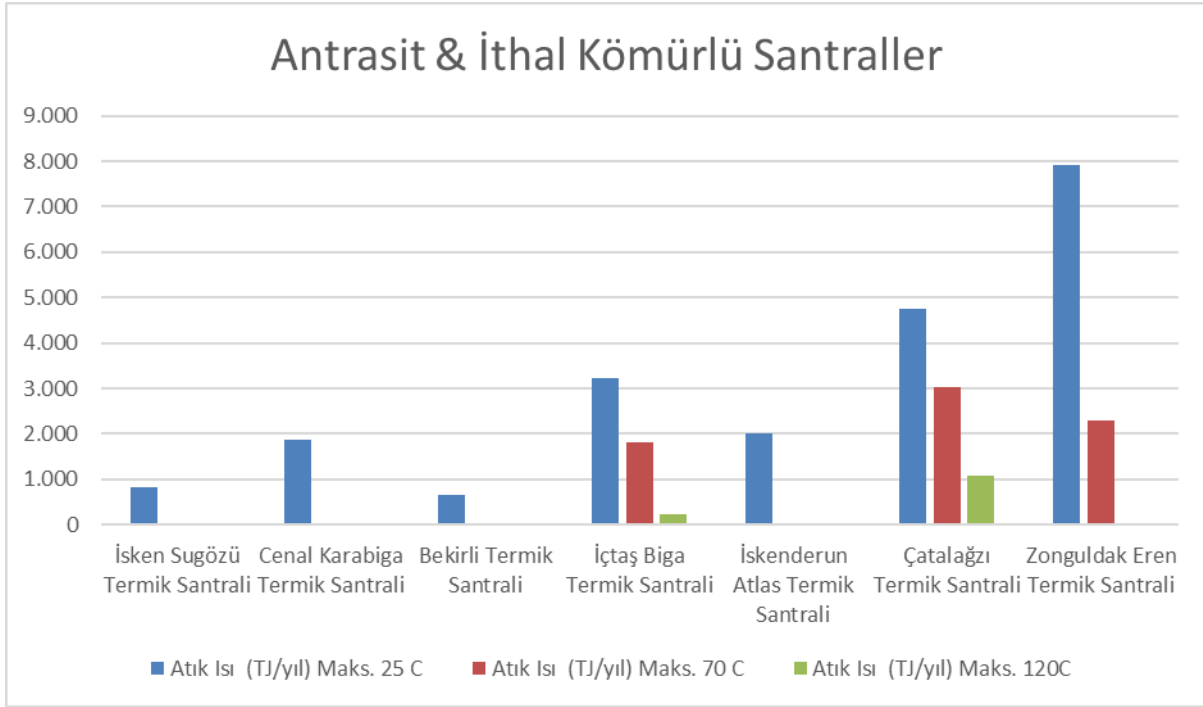
Şekil 3-15: Linyit Kömürü Yakıtlı ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020 ve 2021 yılları için maksimum değerler)

Veri setimizde kullanılan antrasit ve ithal kömür yakıtlı enerji santrallerinin tamamı ve bunların 25°C, 70°C ve 120°C nihai sıcaklıkları için hesaplamalar Ek III'te bulunmaktadır.

Aşağıdaki grafikler, 25°C, 70°C ve 120°C referans sıcaklıkları için antrasit ve ithal kömür yakıtlı elektrik santrallerindeki tahmini atık ısı potansiyelini özetlemektedir.



Şekil 3-16: Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'lerde Tahmini Atık Isı Potansiyeli için Kümülatif Sonuçlar

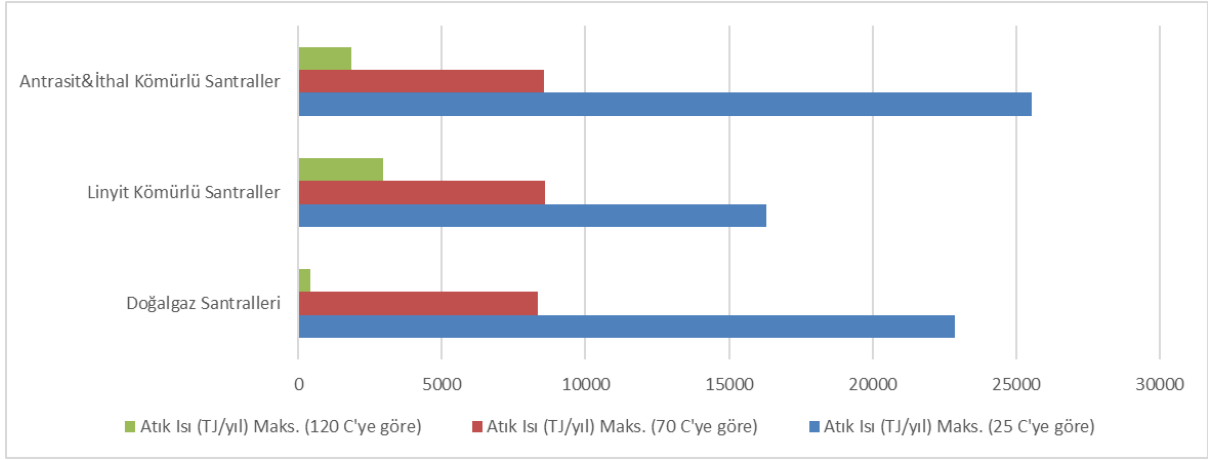


Şekil 3-17: Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'ler için Tahmini Atık Isı Potansiyelleri (2019, 2020 ve 2021 yılları için maksimum değerler)

Aşağıdaki tablo ve grafik, 25°C, 70°C ve 120°C referans sıcaklıklarında tüm termik santral türleri için tahmini atık ısı potansiyelini özetlemektedir.

Tablo 3-10: Nihai Sıcaklıklar= 25°C, 70°C ve 120°C için Toplam Kurulu Güç için Dış değerlendirilmiş Konsolide Termik ES Sonuçları

Maks. Atık Isı (TJ/yıl)	Doğalgaz KÇES	Linyit Kömürü Yakıtlı ES	Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES
Nihai Sıcaklık = 25°C (Teorik Potansiyel)	22.876	16.302	25.530
Nihai Sıcaklık = 70°C (Sera)	8.346	8.584	8.543
Nihai Sıcaklık = 120°C (Bölgesel Isıtma)	408	2.953	1.848



Şekil 3-18: Toplam Kurulu Kapasite için Dışdeğerlenmiş Konsolide Termik ES Sonuçları

Tahmin edilen toplam atık ısı potansiyellerine göre, linyit kömürü yakıtlı termik santraller, egzoz gazı baca sıcaklıklarına ve 120°C'de egzoz gazının kütle akışlarına dayalı olarak, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ve doğalgaz kombine çevrimli enerji santrallerine kıyasla nispeten daha fazla potansiyele sahiptir (bölgesel ısıtma için). Ancak hepsinin 70°C'de benzer potansiyeli bulunmaktadır (sera için).

Tablo 3-24: Nihai Sıcaklık= 25°C, 70°C ve 120°C için Egzoz Gazının MW Kurulu Güç Başına Atık Isısı için Konsolide Termik Santral Sonuçları

Maks. Atık Isı (TJ/yıl)	Doğalgaz KÇES	Linyit Kömürü Yakıtlı ES	Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES
Toplam Kurulu Güç (MWe)	25.576	10.120	10.240
Nihai Sıcaklık = 25°C (Teorik Potansiyel)	0,89	1,61	2,49
Nihai Sıcaklık = 70°C (Sera)	0,33	0,85	0,83
Nihai Sıcaklık = 120°C (Bölgesel Isıtma)	0,02	0,29	0,18

Egzoz gazlarının MW başına atık ısı potansiyeline göre, linyit kömürü yakıtlı termik santraller, egzoz gazı baca sıcaklıklarına ve 120°C'de egzoz gazının kütle akışlarına dayalı olarak, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ve doğalgaz kombine çevrimli enerji santrallerine kıyasla nispeten daha fazla potansiyele sahiptir (bölgesel ısıtma için). Ancak, kömür yakıtlı santrallerin hepsi benzer potansiyele sahiptir ve potansiyelleri, 70°C'de doğalgaz kombine çevrimli enerji santrallerine kıyasla daha yüksektir (sera için).

3.4.2 Ara Buhardan Kaynaklanan Potansiyel

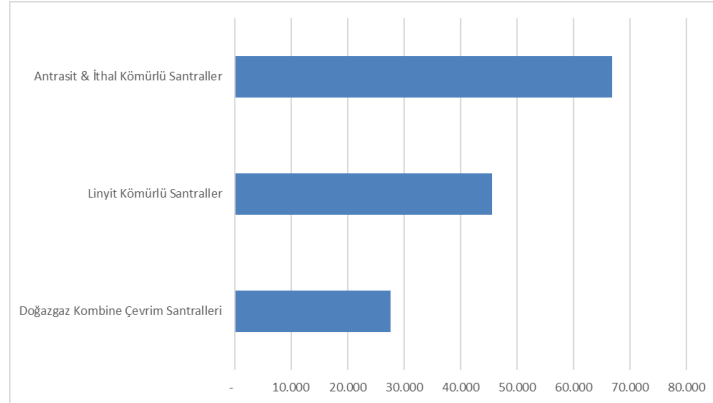
Ara buhar potansiyeli, çekilen kızgın buharın entalpisi (kJ/kg) ile aynı sıvının aynı basınçta doygun su formundaki entalpisi (kJ/kg) arasındaki farkın, çekilen buharın kütledebisiyle (kg/s) çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

Aşağıdaki tablo, tüm termik santral türleri için tahmini ara buhar potansiyelini özetlemektedir.

Tablo 3-11: Doğalgaz Yakıtlı ES'ler, Linyit Kömürü Yakıtlı ES'ler ve Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES'ler için Ara Buhar Potansiyeli Sonuçları (Toplam Kurulu Kapasite için Dışdeğerlenmiştir)

	Toplam Kurulu Kapasite (MWe)	Potansiyel Atık Isı (TJ/yıl) - %20 Kütlesel Debi Çekışı
Doğalgaz Kombine Çevrimli Enerji Santrali	25.576	27.651
Linyit Kömürü Yakıtlı Enerji Santrali	10.120	45.531
Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı Enerji Santrali	10.240	66.821

Çekilen kütle akışının yüzdesi, büyük ölçüde talep tarafına bağlıdır ve santralin toplam verimliliğini ve elektrik üretimini etkilediğinden, her bir santral için ayrı ayrı dikkatle incelenmelidir. Ancak bu çalışmada %20'lik uygun bir miktar kullanılmıştır. Bu varsayımla, buhar çekiminden kaynaklanan ilgili elektrik üretim kaybının kabaca %6-7 olduğu tahmin edilmektedir. Bazı ES'ler için %20 buhar çekme mümkün olmayacak ve buna karşılık gelen kayıp farklı olacaktır. Örneğin, %10 buhar çekmenin uygun olduğu bir ES için tahmin edilen güç kaybı kabaca %3-4 civarında olacaktır. Ayrıca, her elektrik santralinin niteliği farklıdır ve tahmini güç kaybı bu operasyonel farklılıklara bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Kesinlik oranı daha yüksek bir tahmin için her ES'nin operasyonel girdilerinin termodinamik modelleme araçlarında incelenmesi gerekir.



Şekil 3-19: Potansiyel Isı (TJ/y) – %20 Kütle Akışı Çekme – Dış değerli

3.5 Yenilenebilir Enerjiye Dayalı (Biyoenjerji ve Atıktan Enerjiye) Enerji Santrallerinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) Ocak 2022 Kurulu Güç Raporuna göre, Türkiye'de biyoenjerji santrallerinin (biyokütle yakmalı, biyogaz, çöp gazı vs.) toplam kurulu gücü 1.658 MW olup bu rakam 380 enerji santraline karşılık gelmektedir. Kurulu gücün büyük bölümünü 1.569 MW (323 enerji santrali) ile SÜŞ'ler (serbest üretim şirketi-lisanslı üretim) oluştururken 89 MW (57 enerji santrali) ise lisanssız üretimden gelmektedir. Biyoenjerji santrallerinin tamamı özel şirketlere aittir ve özel şirketler tarafından işletilmektedir. Bu biyoenjerji santrallerinin kurulu güç içindeki payı Ocak 2022 itibarıyla %1,7'dir.

Biyoenjeri santrallerinden sağlanan yıllık brüt elektrik üretimi, 2021 yılında 7.617 GWh/yıl olup TEİAŞ 2021 Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporuna göre 331.492 GWh/yıl olan Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarından elde edilen brüt elektrik üretiminin %2,3'üne karşılık gelmektedir. Biyoenjeri santrallerinin Türkiye'nin yıllık brüt elektrik üretimindeki payı 2019 yılında %1,5'ten 2020 yılında %1,9'a ve 2021 yılında %2,3'e yükselmiştir. Biyoenjeri santrallerinin sağladığı yıllık brüt elektrik üretimi 2020 yılında 5.737 GWh/yıl ve 2019 yılında 4.624 GWh/yıl iken, Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarından yıllık brüt elektrik üretimi 2020 yılında 306.703 GWh/yıl ve 2019 yılında 303.898 GWh/yıl olmuştur.

3.5.1 Biyokütle Yakmalı Enerji Santralleri

Biyokütle yakmalı enerji santrallerinde ısı üretmek için katı atık yakılır ki bu termokimyasal bir prosestir. Katı atıklar arasında tarımsal atıklar, orman atıkları, endüstriyel atıklar, evsel/kentsel atıklar, peletler/briketler vb. sayılabilir. Yakılan katı atığın baca gazı, buhar üretmek üzere bir kazanı/fırını ısıtmak için kullanılır. Bu buhar daha sonra jeneratör aracılığıyla elektrik üretmek için buhar türbinine yönlendirilir.

Biyokütle yakmalı enerji santrallerinin çalışma prensibi kömür yakıtlı enerji santrallerinin çalışma prensipleriyle benzerlik gösterse de yakıt, kömür değil, katı atıktır. Bu nedenle, bu santrallerin atık ısı potansiyeli hesaplanırken kömür yakıtlı enerji santrallerinde kullanılan metodolojiye benzer bir metodoloji kullanılmıştır. Enerji santrallerinin kapasite faktörü, bir diğer kritik farktır.

Egzoz gazının atık ısı potansiyeli için entalpi farkı hesabı Ek IV'te sunulmuştur.

Toplam 107,8 MW kurulu güce karşılık gelen yedi biyokütle yakmalı enerji santrali için egzoz gazının atık ısı potansiyeli: Nihai Sıcaklık = 25°C için 888 (TJ/y), Nihai Sıcaklık = 70°C için 492 (TJ/y) ve Nihai Sıcaklık = 120°C için 161 (TJ/y).

Toplam kapasitesi 801.4 MW olan tüm biyokütle yakmalı elektrik santralleri için egzoz gazının atık ısı potansiyeli şu şekilde tahmin edilmektedir: Nihai Sıcaklık = 25°C için 6.603 (TJ/y), Nihai Sıcaklık = 70°C için 3.658 (TJ/y) ve Nihai Sıcaklık = 120°C için 1.200 (TJ/y).

Biyokütle yakmalı enerji santralleri için ara buhar çekme potansiyeli, herhangi bir veri seti bulunmadığı için hesaplanamamıştır. Ancak kendi yatırımları için bu tür fizibilite çalışmaları hazırlamış sektör firmaları ile yapılan görüşmelerde buhar türbininden ısıtma amacıyla çekilen buharın, elektrik üretimindeki düşüşün neden olduğu gelir kaybını ticari olarak kompanse etmediği anlaşılmıştır. Bu nedenle, mevcut şartlarda biyokütle yakmalı enerji santrallerinin boyutları fosil yakıtlı termik santrallere göre oldukça küçük olduğundan, ticari olarak yalnızca elektrik üretimi tercih edilmektedir.

3.5.2 Biyogaz Enerji Santralleri

Biyogaz enerji santrallerinde katı-sıvı atıklar, biyogaz üretmek üzere çürütücüde fermente edilir ve bu biyokimyasal bir prosestir. Söz konusu katı-sıvı atık; bitkisel atık, hayvansal atık, belediye atığı, atıksu çamuru vb. olabilir. Fermente edilmiş katı-sıvı atığın biyogazı, jeneratör aracılığıyla elektrik üretmek üzere gaz türbini veya gaz motorunda (içten yanmalı motor) yakılır.

Hesaplama Ek IV'te sunulmuştur.

Toplam 489,1 MW_e kurulu güce karşılık gelen biyogaz enerji santralleri için egzoz gazının atık ısı potansiyeli: 2.617 (TJ/y).

3.5.3 Çöp Gazı Enerji Santralleri

ÇG enerji santrallerinde çöp gazı, bir düzenli atık depolama alanındaki çöpleri (organik atıklar, gıda atıkları, kağıt atıkları vb.) çürüten mikroorganizmaların faaliyetle üretilir. Düzenli atık depolama alanının üstü kapatılıp bir dizi kuyu ve fan/alevlenme (veya vakum) sistemi kullanılarak depolama alanından çöp gazı çekilir. ÇG, jeneratör aracılığıyla elektrik üretmek için üzere gaz türbininde veya gaz motorunda yakılır.

Hesaplama Ek IV'te sunulmuştur.

Toplam 392,1 MW_e kurulu güce karşılık gelen ÇG enerji santralleri için egzoz gazının atık ısı potansiyeli: 4,344 (TJ/y).

3.5.4 Biyokütle, Biyogaz ve ÇG Enerji Santralleri için Genel Sonuçlar

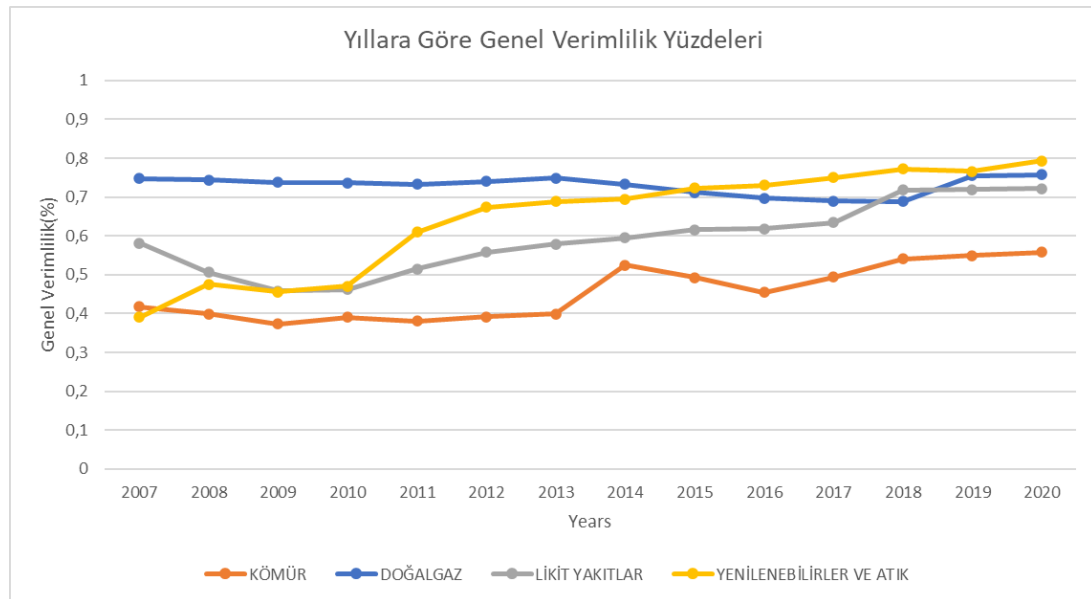
YE kaynaklı AI potansiyeli için genel sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 3-12: Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Atık Isı Potansiyeli Genel Sonuçları

	Biyokütle Yakmadan Kaynaklanan Atık Isı Egzoz Gazı Nihai S = 25°C (TJ/yıl)	Biyokütle Yakmadan Kaynaklanan Atık Isı Egzoz Gazı Nihai S = 70°C (TJ/yıl)	Biyokütle Yakmadan Kaynaklanan Atık Isı Egzoz Gazı Nihai S = 120°C (TJ/yıl)	Harici Kullanımlar için Biyogaz Isı Üretimi (TJ/yıl)	Harici Kullanımlar için ÇG Isı Üretimi (TJ/yıl)
Mevcut %50 kapasite faktörü ile	6.603	3.658	1.200	2.617	4.344

3.6 Kojenerasyon Santralleri Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi

Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, mevcut kojenerasyon santrallerinde tüm yakıt türleri için yıllar itibarıyla önemli bir toplam verimlilik artışı söz konusudur. 2020 yılında kojenerasyon santrallerinin ortalama toplam verimliliği, aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi, yenilenebilirler ve atıklar için %79,7, doğalgaz için %75,7, sıvı yakıtlar için %72,2 ve kömür için %55,8 olmuştur.



Şekil 3-20: Yıllara Göre Toplam Verimlilik Yüzdeleri

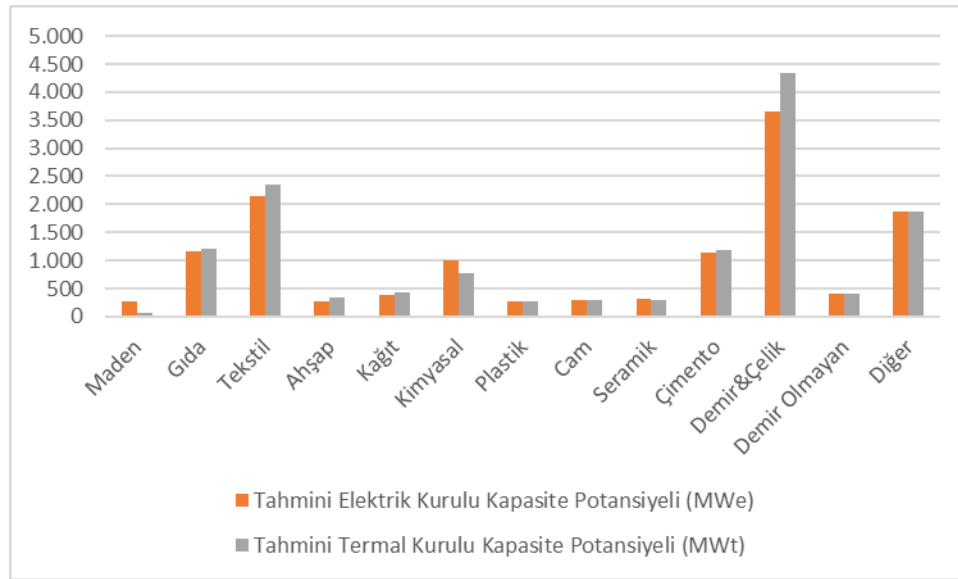
Tablo 3-13: Kojenerasyon Santrallerinin Yakıt Türüne Göre Toplam Verimlilikleri ve Atık Isı

2020 Yılı	Kömür	Doğalgaz	Sıvı Yakıtlar	Yenilenebilirler ve Atıklar	Toplam
Toplam Verimlilik (%)	55,8	75,7	72,2	79,7	-
Atık Isı (TJ)	4.146	4.006	404	80	8.635

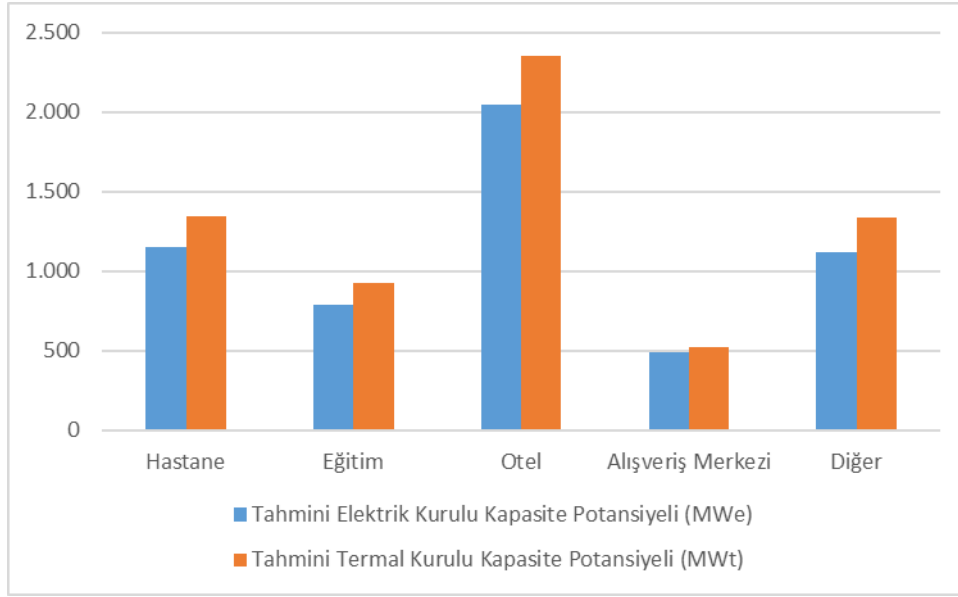
Yenilenebilirler ve atıklar (%79,70) ve doğalgaz (%75,75) için 2020'deki kojenerasyon santrallerinin ortalama genel verimliliği söz konusu olduğunda, gelişim ve atık ısı potansiyeli alanının kısıtlı olduğu görülmüştür. Başlıca gelişim alanı, toplam verimlilikleri %55,76 olan kömür yakıtlı kojenerasyon santralleri olmakla birlikte kömür ve sıvı yakıtlı kojenerasyon santralleri için dikkate alınması gereken husus, yeşil dönüşüm veya yeşil kojenerasyon santralleriyle ikamedir.

3.7 Ülke Düzeyinde Kojenerasyon Potansiyeli Değerlendirmesi

Bu proje kapsamında sanayi binaları ve ticari binaların toplam kojenerasyon potansiyeli tahmin edilmiştir. Ek IX'da verilen analize dayalı olarak, her sanayi sektörü ve bina tipinin toplam kojenerasyon potansiyeli aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır.



Şekil 3-21: Sanayi Sektörlerinde Toplam Kojenerasyon Potansiyeli



Şekil 3-22: Binalarda Toplam Kojenerasyon Potansiyeli

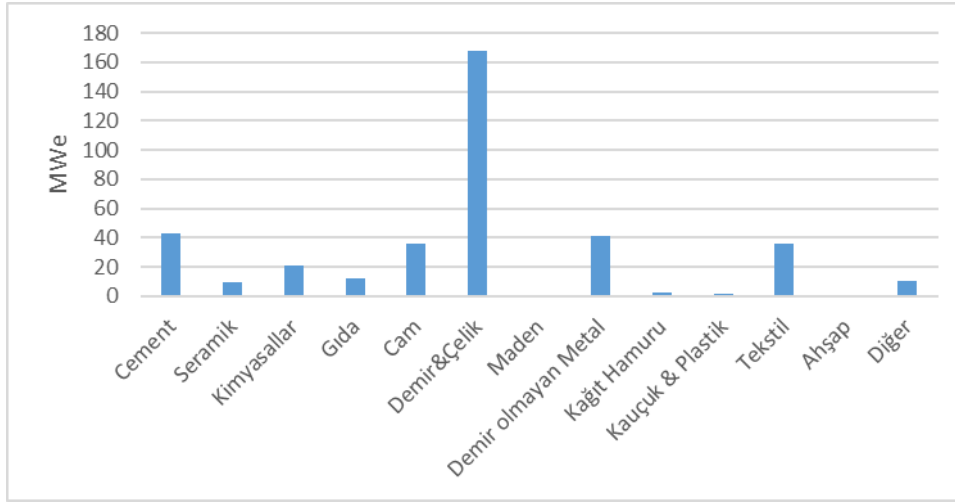
Sonuçlar, Türkiye’de sanayideki toplam kojenerasyon potansiyelinin 13.164 MWe ve 13.795 MWt kurulu güç olduğunu, Türkiye’deki binalardaki toplam kojenerasyon potansiyelinin ise 5.591 MWe ve 6.473 MWt kurulu güç olduğunu göstermektedir.

Türkiye’deki toplam kojenerasyon kurulum potansiyelini gerçekleştirmek için gereken yatırım maliyetine ilişkin yaklaşık bir tahmin yürütmek için CogenTURK ile görüşmelere istinaden 1.500 USD/kW birim kurulum maliyeti varsayılmıştır. 19.386 MWe’ye (sanayi için 13.164 MWe, binalar için 5.591 MWe) için karşılık gelen yatırım maliyeti, 29 milyar ABD doları civarındadır.

3.8 Tahmini Atık Isıdan Elektrik Üretim Potansiyeli

Yakalanan atık ısı Buhar Rankin Çevrimi (SRC), Organik Rankin Çevrimi (ORC), Kalina Çevrimi gibi çeşitli geri kazanım teknolojileri aracılığıyla elektrik üretmek için kullanılabilir. Raporun bu bölümü, sanayi bölgeleri ve termik santraller için tahmini atık ısı potansiyellerine dayalı olarak elektrik üretim potansiyelinin bir değerlendirmesini sunmaktadır. Binaların atık ısı akışlarının daha düşük akış hızları ve daha düşük egzoz sıcaklıklarının ekonomik fizibilitesi sanayiye ve enerji santrallerine kıyasla daha düşük olduğundan, binalardan kaynaklanan atık ısı bu kapsamda değerlendirilmemiştir.

Türkiye’de sanayide atık ısıdan güce (AIG) elektrik kurulu gücünün genel teorik potansiyelinin 380 MWe olduğu tahmin edilmektedir. Detaylı hesaplamalar Ek XI’de verilmiştir.



Şekil 3-23: AIG Kurulu Kapasite Potansiyeli

Atıktan güce teknolojilerinin uygulanması için gereken yatırım maliyetinin yaklaşık bir tahmininin yapılabilmesi için tüm kurulumların ORC teknolojisi olacağı ve birim kurulum maliyetinin 2.000-2.500 ABD doları/kW olduğu varsayılmıştır.³⁸ 380 MWe'lik uygulama için yatırım maliyeti 760.000.000-950.000.000 ABD doları civarındadır.

Atık ısının tamamının elektrik üretimi için kullanılması durumunda toplam maliyet tasarrufu yıllık 422.000.000 ABD doları olacaktır.³⁹

3.9 Bölgesel Isıtma Potansiyeli Değerlendirmesi

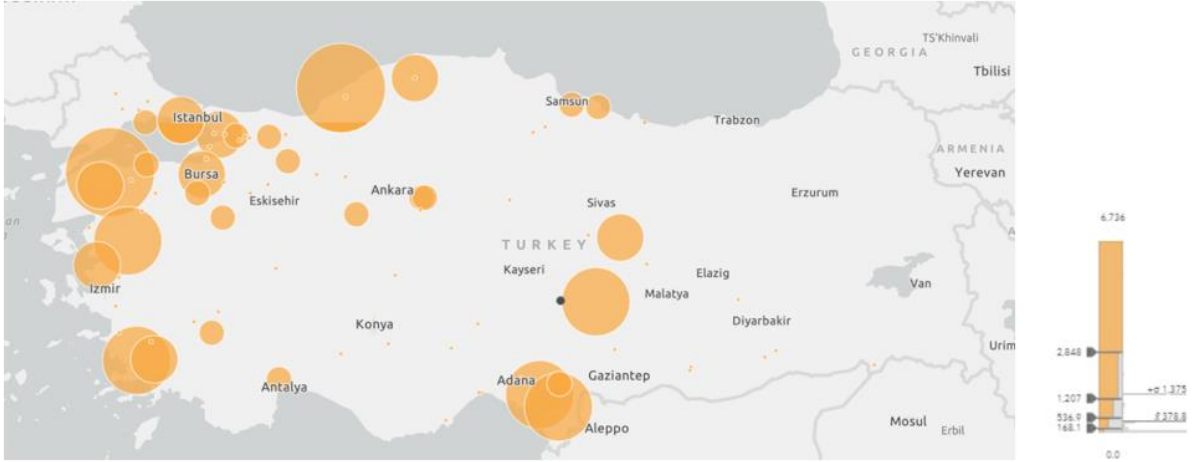
Gelecekteki potansiyel bölgesel ısıtma sistemlerine ilişkin fikir vermek amacıyla belirli sanayi bölgelerinden ve enerji santrallerinden kaynaklanan tahmini potansiyel atık ısı, coğrafi olarak taleple eşleştirilmiştir. Bu bağlamda, 102 bölgede sanayi bölgelerinin ve santrallerin toplam 295 bacası değerlendirilmiştir.

Her ilçede tahmini toplam atık ısı miktarı ve bunlara karşılık gelen atık ısı potansiyelleri, ilçelerdeki toplam talep, ilçelerdeki 1 hanenin ısı ihtiyacı ve potansiyel atık ısı ile ısıtılacak eşleşen hanelerin sayısı Eklerde verilmiştir.

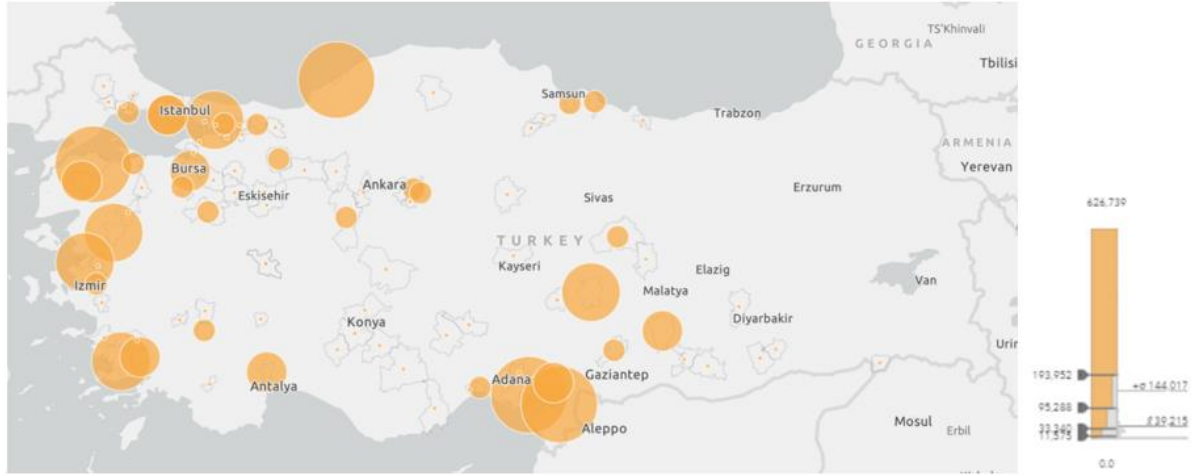
Aşağıdaki şekiller, sırasıyla, tahmini atık ısı potansiyellerinin coğrafi olarak dağılımını ve potansiyel atık ısı ile ısıtılacak eşleşen hanelerin sayısını göstermektedir. Etkileşimli haritalar Eklerde verilmiştir.

³⁸ <https://www.osti.gov/biblio/1819547>

³⁹ Elektrik birim fiyatı EPDK orta gerilim için sanayi tarifesinden elde edilmiştir: 2,73 TL/kWh (14.06.2022 tarihli 17,2343 döviz kuruyla 0,16 ABD doları/kWh)



Şekil 3-24: Tahmini Atık Isı Potansiyelinin Coğrafi Dağılımı



Şekil 3-25: Tahmini Potansiyel ile Isıtılabilecek Hane Sayısı

Yukarıdaki sonuçlar, mevcut atık ısı ve ara buhar ile 3.803.846 hanenin ısıtılabileceğini göstermektedir. Afşin, Aliağa, Tekkeköy, İskenderun, Kilimli, Bahşılı, Soma, Honaz, Biga, Milas, Kangal, Çan, Orhaneli, Yatağan, Göynük, Yumurtalık, Döşemealtı, Erzin, Terme, Marmaraeğlisi ve Yahşihan ilçelerinde tahmini potansiyel, ısıtılacak mevcut hanelerin %100'ünü kapsamaktadır.

Bölgesel ısıtma projelerinin yatırım maliyeti, esas olarak kaynağın talep alanına olan uzaklığına ve konut girişlerinde trafo merkezi birimlerinin varlığına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, türbin revizyonu ihtiyacı, ısı değiştirici istasyonları, buhar sistemi ve boru hattı da maliyete etki etmektedir. Uygulayıcılarla yapılan görüşmeler, 4.255 ABD doları/hane varsayımının kullanılacağını göstermiştir. Bu da 3.803.846 hane için 16.185.364.730 ABD dolarına karşılık gelmektedir.

Tahmini potansiyelin tamamının bölgesel ısıtma sistemleri için kullanılması durumunda, yıllık maliyet tasarrufu 735.000.000 ABD doları^{40,41} olacaktır.

⁴⁰ Bölgesel ısıtmanın doğalgazın yerini alacağı varsayılmaktadır.

⁴¹ Haneler için DG birim fiyatı BOTAŞ verilerine dayanarak 0,02 ABD Doları/kWh'dir (14.06.2022 tarihli döviz kuruyla 0,3 TL/kWh)

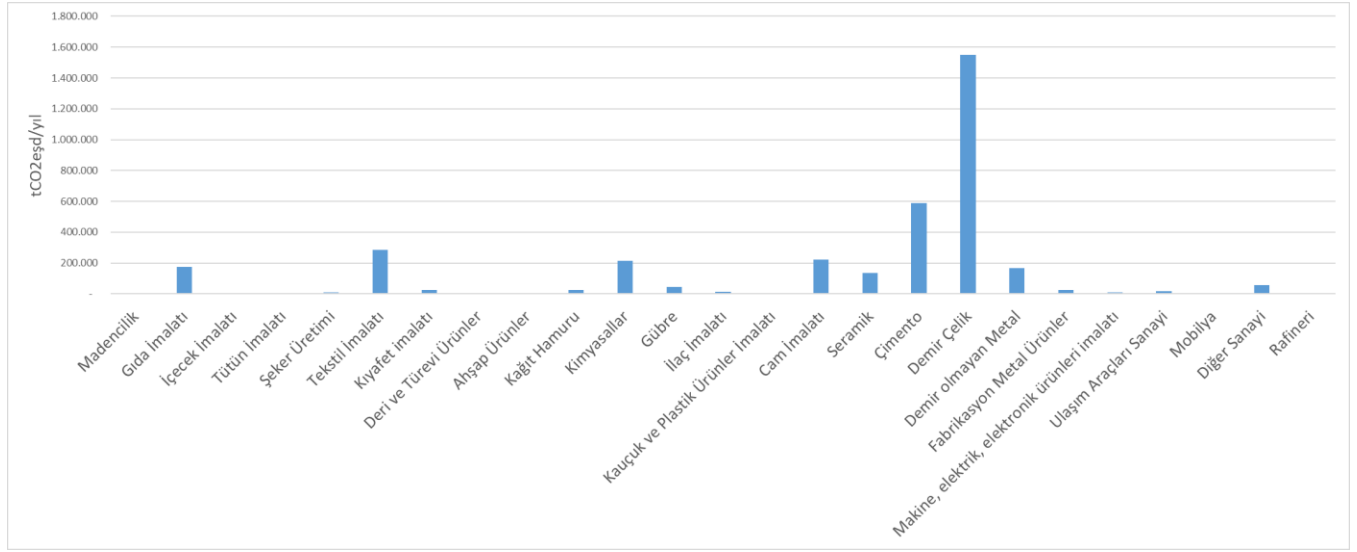
3.10 Tahmini Atık Isı Geri Kazanımı Yoluyla SG Emisyonu Azaltım Potansiyeli Değerlendirmesi

3.10.1 Sanayi

Aşağıdaki tablo ve grafik, endüstriler/süreçler için üretilen genel emisyon faktörlerini ve tahmini SG emisyonu azaltım miktarlarını göstermektedir. Toplam SG emisyonu azaltım potansiyeli 25°C referans sıcaklıkta 3.590.102 tCO_{2eş}/yıl olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 3-14: Tahmini Emisyon Faktörleri ve Sera Gazı Emisyonu Azaltımları

Endüstri/Proses	Toplam Emisyon Faktörü	Sera Gazı Emisyonu Azaltımı
	tCO ₂ /TJ	tCO _{2eş} /yıl
Madencilik	40,09	7.083
Gıda İmalatı	53,28	173.970
İçecek İmalatı	22,01	1.421
Tütün İmalatı	30,32	548
Şeker Üretimi	49,26	11.773
Tekstil İmalatı	43,36	285.315
Giyim İmalatı	37,49	26.204
Deri ve Deri Ürünleri	10,68	314
Ahşap Ürünler	16,76	1.150
Kağıt ve Kağıt Hamuru	39,06	26,295
Kimyasal Maddeler	51,30	214.790
Gübre	52,05	45.920
İlaç İmalatı	38,73	14.752
Kauçuk ve Plastik Ürün İmalatı	11,56	4.701
Cam	44,49	220.689
Seramik	55,30	134.832
Çimento	71,61	588.105
Demir-Çelik	65,06	1.550.420
Demir Dışı Metal Üretimi	30,68	165.796
Fabrikasyon Metal Ürünler	29,63	24.919
Makine, Elektrik, Elektronik Ürün İmalatı	21,24	10.539
Ulaşım Araçları Sanayii	31,64	17.199
Mobilya	23,87	2.055
Diğer Sanayi	27,13	55.367
Rafineri	70,38	5.945
TOPLAM		3.590.102



Şekil 3-26: Endüstriler ve Prosesler için Potansiyel Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (25°C Ref. Sıcaklık)

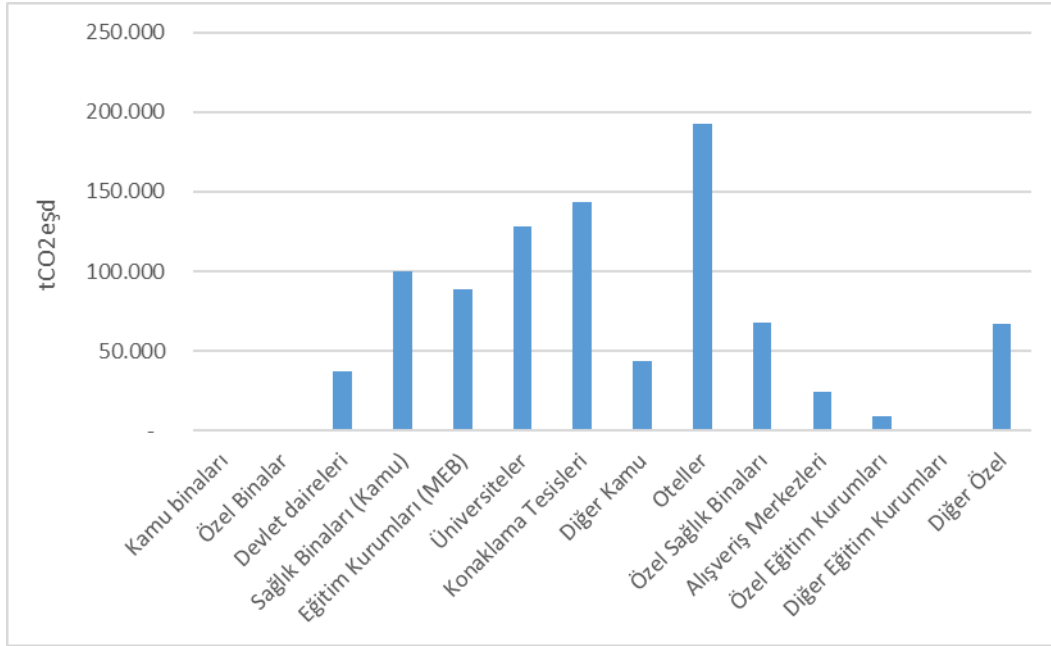
Yukarıdaki grafik, demir-çelik sektörünün yıllık 1.550.420tCO_{2eş} ile en yüksek emisyon azaltımı potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (tüm proseslerin, kok fırınlarının, yüksek fırınların vb. toplamı). Çimento sektörü yıllık 588.105tCO_{2eş} ile en yüksek ikinci potansiyele sahiptir.

3.10.2 Ticari Binalar ve Hizmet Binaları

Aşağıdaki tablo ve grafikte, ticari binalar ve hizmet binaları için üretilen toplam emisyon faktörleri ve 25°C referans sıcaklıkta tahmini SG emisyonu azaltım miktarları gösterilmektedir.

Tablo 3-15: Ticari Binalar için Tahmini Emisyon Faktörleri ve Sera Gazı Emisyonu Azaltımları

Bina Tipi	Toplam Emisyon Faktörü (tCO ₂ /TJ)	2018 Emisyon Azaltımları (tCO _{2eş})	2019 Emisyon Azaltımları (tCO _{2eş})	2020 Emisyon Azaltımları (tCO _{2eş})
Kamu Binaları	31,4	792	911	842
Özel Binalar	35,6	623	719	669
Devlet Daireleri	28,8	33.142	37.335	32.136
Sağlık Binaları (Kamu)	30,2	88.019	99.962	91.715
Eğitim Kurumları (MEB)	53,2	88.133	88.993	90.338
Üniversiteler	34,9	112.191	128.580	127.142
Konaklama Tesisleri	46,4	131.216	143.783	116.866
Diğer Kamu	28,7	39.055	43.746	36.887
Oteller	28,9	168.709	192.591	175.185
Özel Sağlık Binaları	33,9	63.714	67.954	62.439
Alışveriş Merkezleri	11,1	21.074	24.110	21.899
Özel Eğitim Kurumları	29,4	7.627	8.854	9.445
Diğer Eğitim Kurumları	30,6	180	205	185
Diğer Özel	23,5	58.644	67.079	60.883
TOPLAM		813.120	904.821	826.633



Şekil 3-27: Ticari Binalar ve Hizmet Binaları için Potansiyel Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (25°C Ref. Sıcaklık)

Yukarıdaki tablo ve grafik, otellerin yıllık 192.591 tCO_{2eş} ile en yüksek emisyon azaltım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. 2019 yılında konaklama tesisleri ve üniversiteler sırasıyla 143.783 tCO_{2eş}/yıl ve 128.580 tCO_{2eş}/yıl ile ikinci en yüksek emisyon azaltım potansiyelini göstermiştir.

3.10.3 Termik Santraller

Aşağıdaki tablo, termik santrallerin egzoz gazlarından kaynaklanan tahmini SG emisyonu azaltım miktarlarını göstermektedir.

Tablo 3-16: Termik Santrallerin Egzozundan Kaynaklanan Tahmini Emisyon Azaltımları

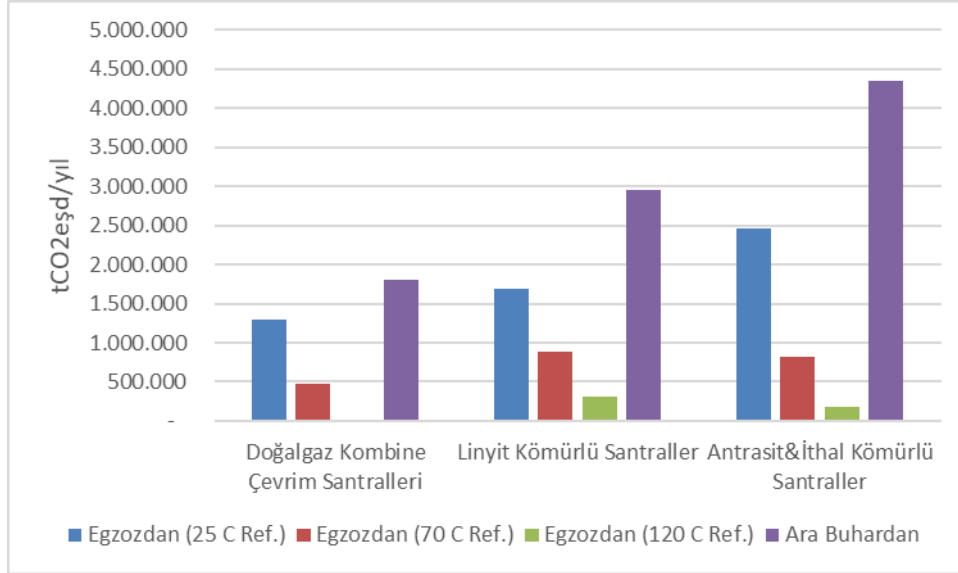
SG Emisyonu Azaltımı	SG Emisyonu Azaltımı tCO _{2eş} /yıl (25°C'ye göre)	SG Emisyonu Azaltımı tCO _{2eş} /yıl (70°C'ye göre)	SG Emisyonu Azaltımı tCO _{2eş} /yıl (120°C'ye göre)
Doğalgaz KÇES	1.289.185	470.361	23.018
Linyit Kömürü Yakıtlı ES	1.695.285	892.708	307.115
Antrasit ve İthal Kömür Yakıtlı ES	2.454.499	821.354	177.715

Egzoz gazlarına ek olarak, ara buharın geri kazanılması da emisyon azaltımı sağlayabilir. Karşılık gelen emisyon azaltımını tahmin etmek için yakındaki bir yerleşim bölgesinin ısıtma talebini karşılamak için bölgesel ısıtma sisteminde ara buharın kullanılacağı varsayılmıştır. Başlıca varsayımlar:

- Ara buharın tamamı bölgesel ısıtma sisteminde kullanılacaktır.
- Haneler mevcut durumda mekan ısıtma ve su ısıtma için doğalgaz kullanmaktadır.

- Doğalgaz için CO₂ emisyon faktörü 0,234 tCO₂/MWh'dır.⁴²

Yukarıdaki hususlar dikkate alındığında, ara buhardan kaynaklanan emisyon azaltımının 9.100.201 tCO_{2eş}/yıl olduğu tahmin edilmektedir. Aşağıdaki grafik, emisyon azaltım potansiyelinin dağılımını göstermektedir.



Şekil 3-28: Termik Santraller için Tahmini Emisyon Azaltımları

Yukarıdaki tablo ve grafik, ara buharın termik santrallerde sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyelinin en yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'ler, 25°C referans sıcaklıkta 2.454.499 tCO_{2eş}/y, 70°C referans sıcaklıkta 821.354 tCO_{2eş}/y ve egzozdan gelen 120°C referans sıcaklık için 177.715 tCO_{2eş}/y ile en yüksek emisyon azaltma potansiyeline sahiptir. Egzoz gazlarına ek olarak, antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'lerde ara buhardan kaynaklanan azaltım potansiyeli 4.343.368 tCO_{2eş}/y'dir ki bu tüm ES'ler arasında en yüksek rakamdır. 70°C referans sıcaklıkta linyit yakıtlı ES'ler ile antrasit ve ithal kömür yakıtlı ES'lerin azaltım potansiyeli birbirine yakındır (sırasıyla (sırasıyla 892.708 tCO_{2eş}/y ve 821.354 tCO_{2eş}/y). En yüksek azaltım potansiyeli, linyit yakıtlı ES'lerde ara buhar kaynaklıdır. 120°C referans sıcaklıkta DG yakıtlı ES'ler 23.018 tCO_{2eş}/y ile en düşük potansiyele, linyit yakıtlı ES'ler ise 307.115 tCO_{2eş}/y ile en yüksek değere sahiptir.

3.11 Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma Değerlendirmesi

Atık ısı geri kazanım seçeneklerinin değerlendirilmesine ek olarak, Danışman, fosil yakıt kaynaklı ısıtma uygulamalarının yerini alma potansiyeli bulunan seçilmiş yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma seçeneklerini gözden geçirmiştir.

Öncelikle, ısıtma uygulamalarında fosil yakıtlar yerine jeotermal enerji değerlendirilmiştir. Baş Danışman, Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlginin Değerlendirilmesi projesini yakın zamanda tamamladığı için bu bölümde söz konusu projenin sonuçları verilmektedir. Çalışmada Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı için farklı alternatiflerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Amaç, Türkiye'nin yenilenebilir, sürdürülebilir ve yerel olarak mevcut enerji kullanımını artırma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olmak için kapsamı

⁴² TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği ile birlikte Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

genişletmek üzere teknik, sosyal ve ekonomik uygulanabilirliğin değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Jeotermal enerjinin ısıtma uygulamalarında doğrudan kullanım uygulamalarının potansiyel faydaları vurgulanarak proje çıktıları açıklanmıştır.

Danışman, ayrıca güneşten gelen radyasyonu yüksek sıcaklıkta termal enerjiye dönüştürmek için toplayan ve yoğunlaştıran yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısı enerji (YGKIE) uygulamalarının da gelişmiş bir değerlendirmesini yapmıştır. YGKIE gıda işleme, kimyasal üretim, mineral işleme vb. gibi çeşitli endüstriyel uygulamalara ısı sağlamak için kullanılabilir. Proje kapsamında, bir vaka çalışması için YGKIE sistemlerinin tekno-ekonomik analizi değerlendirilmiştir.

3.11.1 Jeotermal

Dünya çapında jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı, son yıllarda ortalama yaklaşık %8 artmıştır.⁴³ Jeotermal doğrudan kullanımın en hızlı büyüyen segmenti, mekan ısıtmayken (yıllık yaklaşık %13 büyüme gösteren toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP) baskın olmak üzere), onu sera ısıtması (yaklaşık %1,8) takip etmektedir.

Türkiye tektonik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır ve 63 farklı ilde sıcaklıkları 20°C'nin üzerinde olan yaklaşık 346 bilinen jeotermal sahaya sahiptir.⁴⁴ Türkiye'nin tahmini toplam teorik jeotermal potansiyeli 60.000 MWt'tan (1.892.160 TJ/yıl) fazladır. Bu potansiyelin 40.000 MWt'ının (1.261.440 TJ/yıl) elektrik üretimine uygun olduğu tahmin edilmektedir, bu da 4.000 MWe'lik potansiyel elektrik çıktısını mümkün kılacaktır. Kalan potansiyel, 20.000 MWt (630,720 TJ/yıl), orta ila düşük sıcaklıktadır ve doğrudan kullanıma uygundur. Buna elektrik üretiminin kalıntı akışkanları dahil değildir.

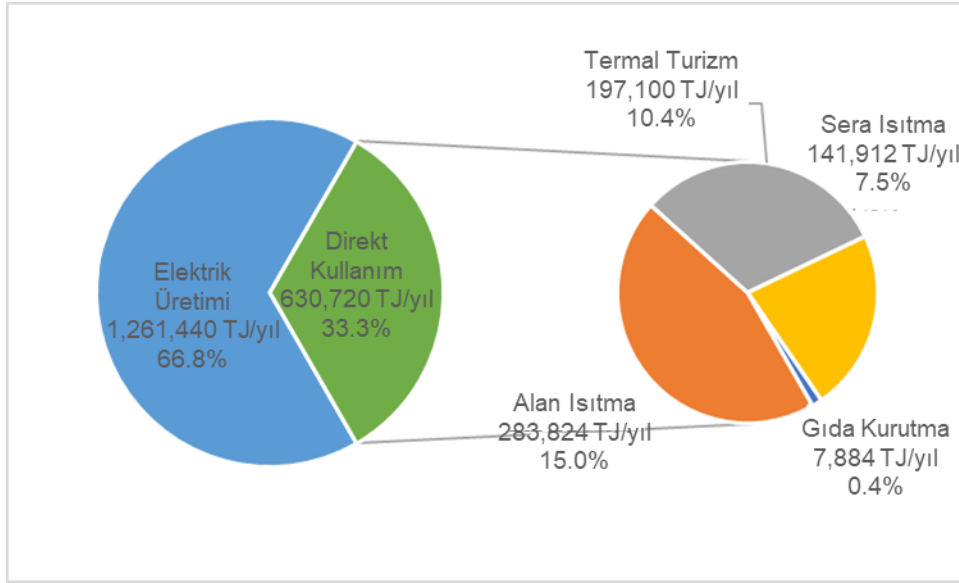
Türkiye'deki mevcut kurulu doğrudan kullanım kapasitesi yaklaşık 3.500 MWt olup bunun %41'i konut ve ticari mekan ısıtma, %35'i termal kaplıcalar ve tatil köyleri ve %24'ü sera ısıtma için kullanılmaktadır. Halihazırda bu kapasitenin yalnızca %0,1'i gıda kurutma için kullanılmaktadır. Türkiye doğrudan kullanım potansiyelinden tam olarak yararlanırken, bu sektörlerin aşağı yukarı aynı oranda katkı sağlamaya devam etmesi beklenmektedir: mekan ısıtma: 9.000 MWt (283.824 TJ/yıl) (%45), termal turizm: 6.250 MWt (197.100 TJ/yıl) (%31), sera ısıtma: 4.500 MWt (141.912 TJ/yıl) (%22.5) ve gıda kurutma: 250 MWt (7,884 TJ/yıl) (%1,5).⁴⁵

Türkiye'nin teorik jeotermal potansiyelinin elektrik üretimi ve doğrudan kullanım teknolojilerine göre dağılımı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

⁴³ Yenilenebilirler 2020 Küresel Durum Raporu (Paris: REN21 Sekreteryası). ISBN 978-3-948393-00-7.

⁴⁴ Akkuş, I., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.

⁴⁵ "Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlginin Değerlendirilmesi" Projesi Nihai Raporu



Şekil 3-29: Türkiye'nin Teorik Jeotermal Potansiyelinin Elektrik Üretimi ve Doğrudan Kullanım Teknolojilerine Göre Dağılımı

Kömür ve petrol gibi karbon bazlı ithal yakıtlardan elde edilen enerji tüketimini yerli yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüştürmek, pek çok faydayı beraberinde getirecektir. Bu sayede ülkede karbon emisyonları azaltılacak, yerel enerji kaynaklarına bel bağlanabilecek ve pahalı ithal enerjiye bağımlılık azalacaktır. Daha yüksek değerli ihracat ve yükselen turizm gelirleri sayesinde ticaret dengesi de iyileşecektir. Bu durumun toplum açısından ise nitelikli istihdam, daha düşük enerji maliyetleri, ekonomik kalkınma ve daha temiz çevre gibi faydaları olacaktır. Örneğin, 20.000 MWt doğrudan kullanımlı jeotermal enerji potansiyelinin tamamının karşılanması halinde ithal kömürün %36 oranında azaltılması mümkündür. Bu sayede yılda 618 milyon ABD doları tasarruf sağlanacak ve CO₂ emisyonları yılda 15,6 milyon ton azalacaktır. Sera sektörü, ihracat satışlarında yılda 780 milyon ABD dolarına kadar gelir elde edebilecek ve 19.500 yeni iş imkanı yaratılacaktır. Termal turizm sektörü yılda 4,45 milyar ABD doları kazanacak ve 136 bin kişiye istihdam sağlayacaktır. Bunun %25'inin dış turizmden kaynaklanması halinde ticaret dengesine yılda 4,1 milyar ABD doları eklenecektir. Toplamda, Türkiye'nin doğrudan kullanım kaynaklarının tam potansiyel faydası, dış ticarete 5,75 milyar ABD doları, CO₂ emisyonlarında 15,6 milyon ton/yıl azalma ve 170,000 yeni iş şeklinde kendini gösterecektir.

Ancak doğrudan kullanımın tüm faydalarına ulaşılabilmesi için birtakım engellerin üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Teknik engeller söz konusu olsa da bunların aşılması görece daha kolaydır. Türkiye jeotermal enerjiyi aynı sektörlerde onlarca yıldır başarıyla kullanmaktadır. Başlıca engeller finansal, kurumsal ve sosyal nitelik taşımaktadır. Mevcut kullanım düzeyinde bu engeller yönetilebilir olsa da doğrudan kullanımdaki hızlı büyüme, reformlar yapılmasını gerektirecektir.

Önümüzdeki otuz yıl için yılda yaklaşık 60 projeye yayılan yıllık 640 milyon ABD doları tutarında bir sermaye yatırımı gerekmektedir. Bu projelerin büyüklüğü gıda kurutma tesisi için 1,8 milyon ABD doları ile bölgesel ısıtma sistemi için 28 milyon ABD doları arasında değişecektir. Tek başına termal turizm sektörü yılda 466 milyon ABD doları tüketecektir. Ancak doğrudan kullanım sektörlerinin hiçbirinin bu türden bir büyüme oranı ve sermaye harcaması deneyimi bulunmamaktadır. Yeni finansman araçlarına, yönetim uzmanlığına ve ekonomik rehberliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Paydaşlarla yapılan anket ve

görüşmeler; finansal teşvik, krediye erişim ve gelir garantilerine yönelik ortak bir istek olduğunu göstermektedir.

Kurumsal engeller arasında kaynak lisanslama reformu, jeotermal kaynak yönetimi, çevre koruma, düzenleyici reform ve jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı için net bir ulusal strateji bulunmaktadır. Gelecekte kaynak geliştirme lisanslarının hidrotermal enerjinin elektrik üretimi ile eşit koşullarda doğrudan kullanımını tanıması ve sağlaması gerekmektedir. Kaynak, birkaç farklı son kullanıcı arasında paylaşılmalıdır. Birden fazla lisans sahibinin bir jeotermal rezervuarı paylaştığı durumlarda, rezervuardan üretim, rezervuarın ömrünü ve sıcaklığını maksimize edecek şekilde yönetilmelidir. Yönetmelikler bu amaçla tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Çevreyi korumak için kalıntı akışkanların ve üretilen gazların tahliyesi kontrol edilmelidir. Bütün bunlar ülke genelinde jeotermal enerjinin kullanımını teşvik etmek için tasarlanmış net bir ulusal politikayı desteklemek üzere yapılmalıdır.

Jeotermal gelişmenin toplumsal kabulü; arazi kullanımı, kirlilik, toplulukta bozulmalar ve fayda paylaşımı ile ilgili yerel endişelere özen gösterilerek teşvik edilmelidir. Halk eğitimi ve halka erişim çalışmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Son olarak, yerel paydaşların kalkınma projelerine yönelik planlama çabalarına erken aşamada dahil olmaları halinde sosyal kabul, sahiplenme duygusuyla birlikte artacaktır.

Baş Danışman'ın yakın zamanda tamamladığı *Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlginin Değerlendirilmesi* projesi kapsamında aşağıdaki doğrudan kullanım örnek çalışmalarından hareketle finansal ve ekonomik analiz yapılmıştır:

- Seferihisar Sıfırdan Yatırım Bölgesel Isıtma
- Seferihisar Sıfırdan Yatırım Termal Turizm
- Aydın Doğrudan Yabancı Yatırım Kurutma Tesisi
- Denizli Doğrudan Yabancı Yatırım Bölgesel Isıtma
- Çanakkale-Yenice Sıfırdan Yatırım Sera
- Çanakkale-Yenice Sıfırdan Yatırım Kurutma Tesisi

Bu örnekler, Türkiye'nin jeotermal doğrudan kullanım kaynaklarının eksiksiz geliştirilmesinin maliyet ve faydalarının tahmin edilmesi için gereken teknik ve ekonomik verileri sağlamıştır. Ayrıca, doğrudan kullanımın ekonomik uygulanabilirliği hakkında fikir vermiştir. Denizli dışındaki bütün örneklerde öz kaynaktan %7,9 ila %34,3 oranında içsel getiri oranı (İGO) tespit edilmiştir. Yalnızca Denizli Doğrudan Yabancı Yatırım Bölgesel Isıtma örneği, projenin küçük boyutu nedeniyle ekonomik olarak uygun değildir. Ancak genel olarak, doğrudan kullanım uygulamaları ekonomik olarak uygulanabilir olabilir.

Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanımlarındaki Fırsatların ve İlginin Değerlendirilmesi projesi kapsamında Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı için farklı seçeneklerin teknik ve ekonomik uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Jeotermal enerjinin, tam gelişmenin önündeki birtakım engellerin aşılabilmesi koşuluyla, Türkiye için önemli ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar yaratma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm paydaşlar karşılıklı sorumluluklarını kabul ettiğinde ve ortak çabalarının faydalarını adil bir şekilde paylaştığında, jeotermal enerjinin tam olarak kullanılmasının önündeki engeller de aşılabacaktır.

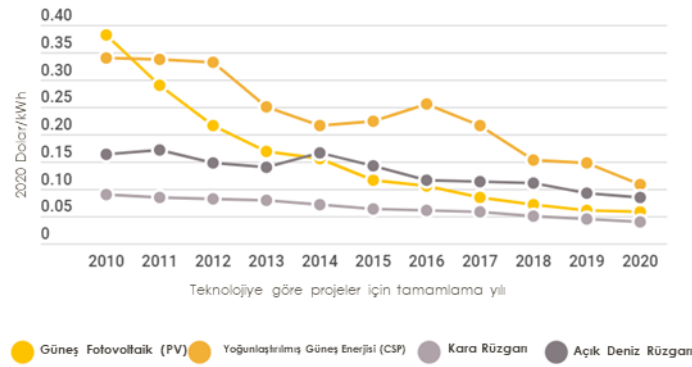
3.11.2 Yoğunlaştırılmış Güneş Kaynaklı Isıl Enerji

Giriş

Raporun bu bölümü, Türkiye'de özellikle endüstriyel tesislerde kullanılan ve Endüstriyel Süreçler için Güneş Isı (ESGI) olarak adlandırılan Yoğunlaştırılmış Güneş Kaynaklı Isıl Enerji (YGKIE) Sistemlerine odaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, YGKIE teknolojisinin teknik-ekonomik analizini, çeşitli sanayi

sektörlerinde uygulanabilirliğini ve uygulanabilirliğin önündeki engelleri gözden geçirmek ve incelemektir.

YGKIE sistemlerinde güneş kolektörleri güneş ışınımını absorbe etmek ve ısıyı bir ısı transfer akışkanına (su, buhar, termal yağ vb.) aktarmak için kullanılır. Bunlar, çeşitli sektörlerde buhar veya sıcak su için ısı veya türbinlerle elektrik üretmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, IRENA 2020'nin aşağıdaki verilen grafiğinde görüldüğü üzere, FV sistemler güneş sistemlerinden elektrik üretimi noktasında çok daha rekabetçi hale geldiğinden, YGKIE sistemlerini yalnızca ısı üretimi için düşünmek yararlı olacaktır. IRENA Yenilenebilir Kapasitesi İstatistikleri 2022'ye⁴⁶ göre, güneş FV'nin AB'deki kurulu gücü 2021 yılında 158.061 MW'a, güneş kaynaklı ısı enerji kurulu gücü ise 2.321 MW'a ulaşmıştır.



Kaynak: IRENA 2020 [Infografik: Düşük Yenilenebilir Maliyetleri, Kömürün Ötesinde Enerji Kaynaklarını Mümkün Kılıyor \(irena.org\)](https://www.irena.org/en/infographic/low-cost-renewables)

Şekil 3-30: Yıllara Göre Güneş ve Rüzgar Projeleri ABD doları/kWh değerleri

Kısaca tanımlamak gerekirse, güneş kaynaklı ısı enerji sistemi, güneş enerjisini ısı enerjiye (ısı) dönüştüren bir teknolojidir. Kolektörlerin düz veya boşaltılmış tüp kolektör olmaları durumunda özellikle ev tipi kullanım sıcak su gibi düşük sıcaklıklar için kullanılırlar. Isı odaklı kullanıldıklarında ise yoğunlaştırılmış güneş kaynaklı ısı enerji (YGKIE) olarak adlandırılırlar. Sanayide en yaygın kullanımları, sıcak su veya buhar şeklindedir. Ayrıca, absorpsiyonlu soğutucularla soğutma işlemi de yapılabilirler.

Güneş kaynaklı ısı enerjinin, sanayideki ısıtma ve soğutma uygulamaları talebini belirli bir seviyeye kadar, geri ödeme sürelerinin kısaltılabilmesi ve fiyatları yükselmekte olan kömür ve doğalgazın yerini alacak yeni teknolojik gelişmelerle alan/sistem gerekliliklerinin düşürülmesi durumunda ise kayda değer seviyede karşılama potansiyeli bulunmaktadır. 80°C'nin üstündeki sıcaklıkların gerekli olduğu endüstriyel prosesler söz konusu olduğunda, bu sistemin kullanılabilmesi için parabolik oluk, parabolik çanak, doğrusal Fresnel tabanlı sistem gibi yoğunlaştırıcı güneş kolektörlerinin kullanılması gerekmektedir. Kullanım alanları ısıtma ve soğutma, yüksek sıcaklıklarda proses ısısı, elektrik üretimi ve güneş yakıtları ve diğer kimyasal veya metalürjik uygulamalardır. Güneş kaynaklı ısı enerji sistemleri çevresel koşullara, ısı ve soğutma taleplerine, yük profillerine ve maliyetlere bağlı olarak boyut ve tasarım açısından önemli farklılıklar gösterir. Endüstriyel amaçla kullanılan güneş enerjisi prosesli ısı tesisatları, özellikle yalnızca düşük (<150°C) ila orta (150°C–400°C) sıcaklıkların gerekli olduğu

⁴⁶ [Yenilenebilir Enerji Kapasitesi İstatistikleri 2022 \(india-re-navigator.com\)](https://www.irena.org/en/infographic/low-cost-renewables)

uygulamalar söz konusu olduğunda, konutlarda kullanılan tesisatlarla benzerlik taşır. Daha yüksek sıcaklıklar (>400°C) için daha gelişmiş veya yoğunlaştırılmış güneş kolektörlerine ihtiyaç vardır.

Çeşitli endüstriyel proseslerin analizi, güneş enerjisi yoğunlaştırıcıların birçok endüstride teknik olarak uygulanabilir olabileceğini ve çeşitli tarife garantisi mekanizmaları sayesinde ticari olarak karşılanabilir olabileceğini göstermektedir. YGKIE uygulaması için iyi potansiyel gösteren endüstriler gıda işleme, kağıt ve kağıt hamuru, kimya, gübre, bira fabrikaları, elektrokaplama, ilaç, tekstil, rafineriler ve deri sektörleridir. Birincil enerji tüketiminin ve sera gazı (SG) emisyonlarının azaltımı için seçilen potansiyel endüstrilerde, seçilen uygulama türleri ve belirli bölgeler için ısıtma ve soğutma uygulamalarında YGKIE projelerinin hayata geçirilmesinin teşvik edilmesi amacıyla pilot bir tarife garantisi mekanizması ile yenilikçi bir finansman/kredi şemasının uygulanması düşünülebilir.

YGKIE sistemlerinin ısı endüstrisine ilişkin belirli faydaları bulunmaktadır. Politik ve ekonomik faydalar, enerji maliyetlerinde potansiyel tasarruf ve enerji ithalatının azaltılmasıyla enerji güvenliğinin geliştirilmesinin yanı sıra güneş kaynaklı ısı enerji sistemlerinin üretimi, ticarileştirilmesi, kurulumu ve bakımı için istihdam yaratılmasına ilişkindir. Isı üretimi açısından standart düz kolektöre göre avantajlı yanı, odaklama sayesinde yüksek sıcaklık ve yüksek termodinamik verim sağlayabilmesidir. Bu yöntemlerde güneş izleme mekanizması özellikle önemlidir. YGKIE'nin bir diğer faydası da yakalanan ısının düşük enerji kaybıyla uzun süreler boyunca maliyet etkin şekilde depolanabilmesidir. Bu, YGKIE'nin güneşli olmayan havada da elektrik üretmek veya ısı sağlamak için kullanılabilmesi anlamına gelir. Küresel seviyede, elektrik üretimi için kullanılan çoğu YGKIE santralinde 3-15 saatlik termal enerji deposu bulunmaktadır. Bu sistemler ayrıca, günün en uygun veya en gerekli zamanda ısı veya elektrik sağlamak için kolayca hibritlenebilir veya Termal Enerji Depolama (TED) sistemleriyle birleştirilebilirler (sevk edilebilirlik).

Teknoloji seçimi, tasarım ve maliyet

Uygun güneş kolektörünün seçimi çalışma sıcaklığı, termal verim, enerji verimi, maliyet ve kapladığı alan olmak üzere beş temel faktöre bağlıdır. 250°C civarındaki orta sıcaklıklar için genellikle parabolik oluklar ve doğrusal Fresnel teknolojileri gibi hat odaklı teknolojiler kullanılırken son zamanlarda güneş çanağı teknolojileri önem kazanmaya başlamıştır. Daha yüksek sıcaklıklar söz konusu olduğunda, yalnızca nokta odaklı teknolojiler kullanılabilirdiğinden, teknoloji kriterlerinin seçiminde mevcut seçenekler sınırlandırılmış olur.

YGKIE santrali tasarlamak için adımların belirlenmesi ve bilgi edinilmesi gerekir. YGKIE sistem tasarımında en önemli konulardan biri, prosese entegrasyondur. Güneş ısısının endüstriyel prosese entegre edilmesi, diğer geleneksel ısı tedarik sistemlerine kıyasla karmaşık bir işlemdir. Güneş kaynaklı ısı enerji santralinin tasarım ve planlamasının temel adımları şu şekildedir: ön analiz, ısı tedarik ve ısı tüketim süreçlerinin detaylı analizi, sistem verim simülasyonu ve ekonomik modelleme; kolektör özellikleri, konum, geliş açıları vb. gibi tasarım parametrelerini içeren teknik ve ekonomik fizibilite çalışması, sistem mühendisliği, ihale ve devreye alma ve son olarak işletim ve bakım prosedürleri.

Bir güneş enerjisi prosesinin endüstriyel prosese iyi entegrasyonu, ekonomik, teknik ve organizasyonel iyileştirmeler sağlayabilecek enerji verimliliği ve ısı geri kazanımı ile ilgili tüm unsurların dikkate alınmasını gerektirir. Güneş enerjisinin endüstriyel prosese entegrasyonu, sürecin teknolojik optimizasyonu ve tüm üretimin sistem optimizasyonu yoluyla enerji tasarrufu potansiyellerine özellikle dikkat etmelidir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çoğu gibi, YGKIE sistemlerinin de karakteristik niteliği, daha yüksek ön ödeme maliyetleri ve ücretli yakıt gereksinimi olmaması nedeniyle işletim ve bakım maliyetleri gibi

önemli ölçüde daha düşük değişken maliyetlerdir. İ&B maliyetleri genellikle sistem üreticisinin bir parçasıdır ve bileşen değişim ücretlerini içerebilen veya içermeyen sabit periyodik ücretleri kapsar.

Son yıllarda tasarlanan projeler mimari, konfigürasyon, kullanılan termal depolamanın boyutu ve şekli, sevk profili, destek yapıları ve finansman gereksinimleri açısından önemli farklılıklar göstermektedir.

Enerji maliyetleri ve potansiyel tasarruflar söz konusu olduğunda, bir güneş kaynaklı ısı enerjisi sistemi tarafından üretilen enerjinin karşılaştırılabilir maliyetleri üzerinde daha büyük etkisi ve dikkate alınması gereken üç ana husus bulunur. Bunlar sistem başlangıç maliyeti, sistem ömrü ve sistem performanslarıdır. Bu faktörler konuma (iklim, yalıtım, vergiler, yaşam maliyeti vb. etki eden) ve sistemin kalitesine (performans, kullanım ömrü ve maliyeti etkileyen) bağlıdır. Bunlar ülkeden ülkeye önemli değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla, güneş kaynaklı ısı enerjisi sistemleri için ortalama yatırım maliyetleri de ülkeden ülkeye ve farklı sistemler arasında büyük farklılıklar gösterebilmektedir. IEA'ya göre, Avrupa'daki büyük sistemler için yatırım maliyetleri 350 ila 1040 ABD doları/kWth (315 ila 936 Avro/kWth) arasında değişmektedir. Son on yılda güneş kaynaklı ısı enerjisi kolektörü teknolojisi fiyatlarında düşüş söz konusudur. Solar Payback maliyet analizi broşürüne⁴⁷ göre, maliyetler altı yılda üçte iki oranında azalmıştır.

Sanayi Sektörleri

GKIE'ler çeşitli endüstriyel proses ısı ve mekan soğutma uygulamalarında kullanılabilen 50°C ila 400°C arasında değişen sıcaklık üretebilmektedir. Güneş enerjisi yoğunlaştırıcılarının uygulanması için iyi potansiyel gösteren sanayiler gıda işleme, süt ürünleri, kağıt ve kağıt hamuru, kimyasal madde, tekstil, gübre, bira fabrikaları, elektrokaplama, ilaç, kauçuk, tuzsuzlaştırma ve tütün sektörleridir.

YGKIE sistemlerinin entegre edilmesine uygun endüstriyel prosesler kurutma ve dehidrasyon, ön ısıtma (girdi veya hammadde), pastörizasyon ve sterilizasyon, yıkama ve temizleme, kimyasal reaksiyonlar, yüzey işleme, mekan ısıtma ve sıcak su veya buhar temini olarak sıralanabilir.

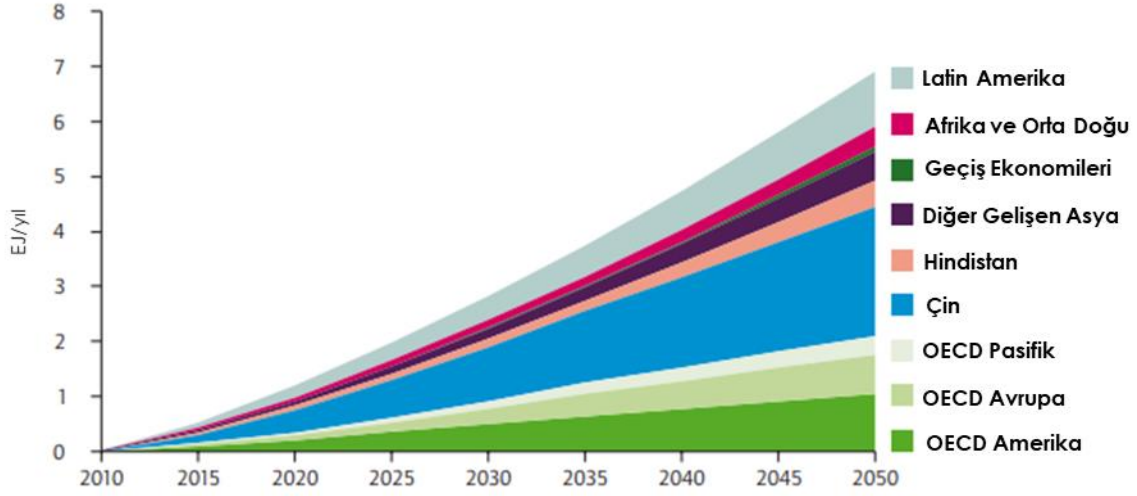
Pazar Görünümü

Güneş enerjisi teknolojileri evsel sıcak su ve mekan ısıtmada yıllardır kullanılmaktadır. Ancak endüstriyel proseslerde doğrudan kullanım için ısı üretimi, yeni bir uygulamadır. 2018'in sonunda, dünya çapında faaliyet gösteren endüstrilerde yaklaşık 741 güneş kaynaklı ısı enerjisi santrali bulunuyordu.⁴⁸ IEA'ya göre, modern yenilenebilirler, bugün küresel ısı arzının yalnızca %11'ini oluşturmaktadır. Elektrik (%20) ve ulaşımdan (%30) çok daha yüksek olan ısı, küresel nihai enerji tüketiminin yarısından fazlasına karşılık gelmekte ve enerjinin en büyük nihai kullanımını oluşturmaktadır. Modern yenilenebilirler 2019'da küresel ısı talebinin yalnızca %11'ini (21,5 EJ) karşıladığından, 2019 yılında küresel CO₂ emisyonlarına %40'luk (13,3 gigaton) bir katkı yapan fosil yakıtlar, ısı arzında baskın olmayı sürdürmektedir. 2020'de tüketilen toplam ısının yaklaşık %50'si endüstriyel prosesler için kullanılırken, %47'si binalarda mekan ve su ısıtması ve daha az oranda pişirme amaçlı kullanılmış, kalan kısım ise tarımda, özellikle sera ısıtmasında kullanılmıştır. Küresel ısı tüketiminin dörtte birinden fazlası —üçte ikisi sanayi için olmak üzere— Çin'de gerçekleşirken ABD, Avrupa Birliği, Hindistan ve Rusya hep birlikte %35'lik paya sahiptir.

Aşağıdaki şekilde, güneş kaynaklı ısı enerjisinin endüstriyel proses ısı potansiyeli, exajoule cinsinden verilmiştir.

⁴⁷ <https://www.solar-payback.com/download/cost-analysis-flyer-august-2021/>

⁴⁸ Güneş Enerjisi Geri Ödemesi



Şekil 3-31: Güneş Kaynaklı Isıl Enerjinin Endüstriyel Proses Isısı Potansiyeli (EJ/yıl)⁴⁹

Ren2021 Küresel Durum Raporunda⁵⁰ belirtildiği üzere, küresel güneş kaynaklı ısı enerjisi piyasasının kademeli düşüşü 2020 yılında devam etmiş, dünya çapında tahmini 25,2 GWth kapasite eklentisiyle 2019'daki 26,1 GWth'de %3,6'lık düşüş gözlemlenmiştir. Güneş kaynaklı ısı enerjisi piyasalarının çoğu, pandemiyle ilgili kısıtlamalar ve endüstriler ve oteller de dahil olmak üzere ticari müşteriler tarafından ertelenen yatırım kararları gibi COVID-19 ile ilişkili zorluklar nedeniyle kısıtlanmıştır. Bununla birlikte, çeşitli stabilize edici faktörler nedeniyle azalma beklenenden daha düşük gerçekleşmiştir.

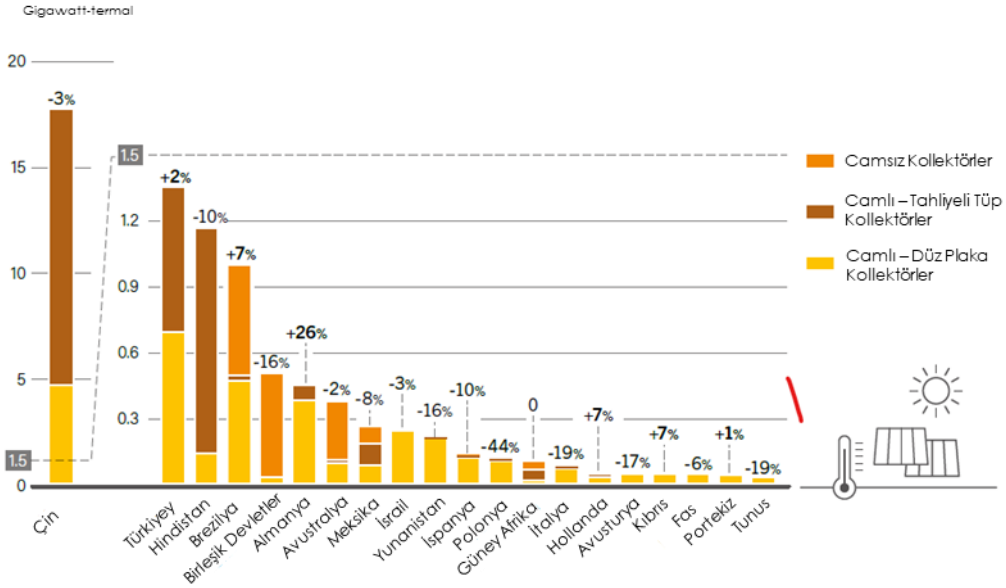
Türkiye'nin coğrafi olarak "güneş bandı" olarak adlandırılan bölgede bulunması ve gelişmekte olan en büyük güneş enerjisi pazarları arasında yer alması nedeniyle güneş enerjisi ana itici güçtür. Türkiye'nin güneş enerjisi, jeotermal ve atık kullanımı için iyi koşullara ve önemli potansiyele sahip, yenilenebilir kaynaklara dayalı ısıtmayı teşvik etme planları geliştirmesi gerekmektedir. Türkiye'de güneş ışınımının yüksek oluşu, güneş kaynaklı ısı enerjisi için özellikle uygun kılacaktır. Ayrıca, güneş enerjisiyle ısıtma, doğalgaz veya ısı pompaları dahil olmak üzere diğer kaynaklarla kolayca birleştirilebilir.

Türkiye en büyük gelişen güneş enerjisi pazarları arasında yer almaktadır. 2019 yılı itibarıyla Türkiye'de kurulu güneş kolektörü alanının büyüklüğü yaklaşık 26 milyon m²'ye ulaşmıştır. Bu kapasitede güneş kolektörleri kullanılarak önceki yılların rakamlarına dayalı yaklaşık bir tahminde bulunulmuş ve yaklaşık 1,15 milyon TEP'e eşit ısı enerjisi sonucuna varılmıştır. Söz konusu ısı enerjisinin 0,78 milyon kadarının konutlarda, 0,37 milyonunun ise endüstriyel amaçlar doğrultusunda kullanıldığı çıkarımında bulunulabilir.

Aşağıdaki şekilde görülebileceği üzere, 2020 yılında yeni sırlı ve sırsız düz levha kolektör kurulumlarında başı çeken ülkeler Çin, Türkiye, Hindistan, Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Avustralya olmuştur. Yeni küresel satışların %71'ini gerçekleştiren Çin pazarı domine ederken, Çin'i Türkiye ve Hindistan izlemiştir (ikisi de %5'er payla). Hindistan şu anda grafikte Türkiye'den önce ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye'nin dünya çapında yeni satışlarda ikinci sırada yer alan güneş kaynaklı ısı enerjisi pazarı, 2020'de hafif genişlemiştir (%2 artış).

⁴⁹ Güneş Enerjisi Isıtma ve Soğutma Teknolojisi Yol Haritası

⁵⁰ Yenilenebilirler 2021, Küresel Durum Raporu



Şekil 3-32: Güneş Enerjili Su Isıtma Kolektörü İlaveleri, Kapasite Eklmesine Göre İlk 20 Ülke, 2020⁵¹

YGKIE uygulamalarına ilişkin vaka çalışmalarına, IEA Task 49/IV projesi kapsamında hazırlanan ESGI Santralleri veritabanının internet sitesi⁵² üzerinden erişmek mümkündür. Çevrimiçi veritabanı, farklı endüstriyel sektörlerin üretim prosesleri için güneş kaynaklı ısı enerjisi sağlayan mevcut güneş kaynaklı ısı enerjisi santrallerinin dünya çapında bir genel görünümünü sunmaktadır. Her santralin tanımında örneğin kolektör alanının büyüklüğü, kolektör teknolojisi veya üretim sürecindeki entegrasyon noktası hakkında bir dizi bilgi bulunmaktadır.

Türkiye’de endüstriyel proses uygulamaları için güneş kaynaklı ısı enerjisi potansiyeli büyük olmasına rağmen sanayi sektöründe uygulanan yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin sayısı düşüktür. INSHIP Projesi’nin Ulusal Konsept Notları Raporuna⁵³ göre, Türkiye’de resmi ve gayriresmi güneş kaynaklı ısı enerjisi piyasasının 28 AB ülkesinin tamamının büyüklüğüne denk gelecek kadar büyük olmasına rağmen ülkedeki ESGI uygulamalarının sayısı son derece düşüktür.

2008 yılında, Mersin’in Tarsus ilçesindeki Pepsi Co. FritoLay patates cipsi fabrikasına 190°C’de proses buharı sağlamak için 125 parabolik oluk kolektör kurulmuştur. Kolektörler Ankara, Türkiye’de üretim tesisi bulunan bir Alman şirketi olan Soliterm Gmbh tarafından sağlanmıştır. 2012 yılında, Türkiye’nin güneybatısındaki bir cevher madenindeki mineral feldspatın kurutulması için Alman şirketi Feranova tarafından doğrusal Fresnel kolektörü sahası kurulmuştur. Feranova’nın web sitesinde bulunan 2014 tarihli broşüre göre, 1 MWth termal kapasiteye sahip olan sistem, yılda 1,4 GWth’lık üretim yapmakta ve 200°C’de, tambur kurutucuda kullanılan havayı ısıtmada kullanılan yüksek basınçlı su üretmektedir. Ancak ESGI Santralleri veritabanında Türkiye’den yalnızca İzmir’de faaliyet gösteren bir ambalaj sektörü fabrikası bulunmaktadır.⁵⁴ Fabrikanın kurulu gücü 3000 kWth, deposuz brüt alanı 6000 m²’dir. Proje, tesisin genel proses ısıtmasına yöneliktir.

Özellikle sanayi sektörü ve bölgesel ısıtma olmak üzere iki sektördeki potansiyele rağmen, Türkiye’de güneş enerjisi halihazırda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Otel ve konutlar başta olmak üzere

⁵¹ Ren2021 Küresel Durum Raporu

⁵² <http://ship-plants.info/>

⁵³ Integrating National Research Agendas on Solar Heat for Industrial Processes

⁵⁴ <http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/394-packaging-business-turkey-turkey?country=Turkey>

özellikle güneşli kıyı kentlerinde sadece sıcak kullanım suyu üretimi için kullanılan düz plaka güneş kollektörleri, bu duruma istisna teşkil etmektedir. Isıtma ve soğutmaya yönelik endüstriyel ihtiyaçlar göz önüne alındığında, endüstriyel prosesler için güneş kaynaklı ısı enerjisinin gelişmekte olan bir pazar olduğu görülmekte ve Türkiye’de ilerletilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

2017 tarihli Solar Heat for Industry broşüründe, dünyanın 22 ülkesinde 71 anahtar teslim ESGI sistemleri tedarikçisi listelenmiştir. Listede yer alan tek Türk şirketi olan Anıtcam Sunstrip, belirli bir hizmet listesinin temin edildiği diğer birçok tedarikçiden farklı olarak, yalnızca genel olarak “anahtar teslim ESGI sistemleri sunmaya hazır” olarak tanımlanmıştır.

Türkiye için Konsept Notunda belirtildiği gibi, Türkiye hem Avrupa düzeyinde hem de küresel düzeyde önemli bir güneş kaynaklı ısı enerjisi pazarıdır. Düz levhalı ve boşaltılmış tüp kollektörlerin her biri, Türkiye pazarının toplamının yaklaşık %50’sini temsil etmiştir. Türkiye 2011 yılında güneş kaynaklı ısı enerjisi kollektörlerinde kullanılan vakum tüplerinin ithalat vergisini artırmış, 2012 yılında ise Türkiye’de satılan vakum tüplerinin neredeyse hepsi yerli üretim olma özelliği taşımıştır. Bununla birlikte, Türkiye’de spesifik olarak ESGI piyasasının veya daha genel anlamda herhangi bir güneş kaynaklı ısı enerjisi teknolojisinin hayata geçirilmesine yönelik teşvik mekanizmaları mevcut değildir. Türkiye’deki kayıt dışı pazarın büyüklüğü, bu türden teşviklerin eksikliğini yansıtmaktadır. Kayıt dışı pazar bu türden teşviklerden yararlanamayacağından, piyasanın canlandırılmasına yönelik teşviklerin olduğu yerde kayıt dışı pazarın büyük olması beklenmez. Türkiye genelinde, özellikle Türkiye iç pazarını domine eden ve hakkında bilgiye ulaşılamayan, düşük sıcaklık yoğunlaştırıcı olmayan kollektörlerin kullanıldığı yeni ESGI kuruluşları söz konusu olabilir. Teşviklerin olmaması, ESGI kuruluşlarını kayıt altına alacak bir mekanizma veya teşvik olmadığı, dolayısıyla Türkiye’nin ESGI kuruluşunu merkezi veritabanının bulunmadığı anlamına gelmektedir.

Çerçeve ve Düzenlemeler, Engeller, İhtiyaç Değerlendirmesi ve Finansman

Türkiye güneş enerjili sıcak su teknolojileri konusunda önemli deneyime sahipken, endüstriyel güneş enerjisiyle ısıtma teknolojileri konusundaki farkındalık sınırlı kalmıştır. Genel kapsamlı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Kanunu yürürlükte olsa da endüstriyel güneş kaynaklı ısı enerjisi sistemlerine özel olarak odaklanılmamaktadır. Önceki bölümlerdeki içerikle tutarlı olarak, Türkiye’de genel olarak güneş kaynaklı ısı enerjisi veya özel olarak endüstriyel güneş kaynaklı ısı enerjisi destekleyecek herhangi bir özel mevzuat veya düzenleyici çerçeve bulunmamaktadır.

YGKIE teknolojisinin endüstrilerde yenilenebilir ısının yaygınlaşmasını sağlama potansiyeli bulunmasına rağmen endüstriyel termal enerji talebinin büyük kısmı fosil yakıtlara bağımlı olmaya devam etmektedir. Bu süre zarfında, özellikle endüstriyel proseslerde güneş enerjisiyle ısıtma ve soğutma teknolojilerinin kullanımını artırmak için herhangi bir politika çerçevesi uygulanmamıştır. Güneş enerjisi termal düşük karbonlu teknoloji olduğundan, ilk adım devlet tarafından güneş kaynaklı ısı enerjisi uygulamalarının belirli enerji politikası ve programlarıyla desteklenmesi suretiyle atılabilir.

Bu teknolojinin gelişiminin desteklenmesi için destek programları, finansman mekanizmaları ve teşvikler olmalıdır. Türkiye’de ulusal düzeyde ESGI özelinde herhangi bir araştırma finansman mekanizması bulunmasa da ESGI ilişkili araştırmaların çeşitli finansman mekanizmalarıyla desteklenmesi mümkündür. Türkiye’deki başlıca bilimsel araştırma finansman kurumu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumudur (TÜBİTAK). Programlar Ek VII’de açıklanmıştır.

Endüstriyel güneş kaynaklı ısı enerjisi teknolojisi yasal, düzenleyici ve prosedürel, iklimsel, ekonomik ve finansal, sosyo-kültürel engeller gibi birçok zorlukla karşı karşıyadır. Başlıca engeller şu şekilde sıralanabilir: ilk yatırım maliyeti ve uzun geri ödeme süreleri, düşük farkındalık ve görünürlük, montajcı ve tasarımcıların belirli becerilere sahip olmaması, yetersiz politika desteği, teknik bilgi ve kaynak

eksikliğinden kaynaklanan sorunlar, standardizasyon sorunları ve kurulum için geniş alana ihtiyaç duyulması.

Başlıca engel, geleneksel sistemlere kıyasla yüksek olan yatırım maliyetidir. Finansörlerin çoğu yatırımlarının getirisine öncelik verdiği için bu husus özellikle önemlidir ancak iklim değişikliği öncelikleri değiştirmektedir. Sosyoekonomik ve çevresel unsurların ön plana çıkması, emisyon vergilerinin getirilmesiyle birlikte yakın gelecekte ticari fizibiliteye de etki edecektir. Bu engelin aşılması için güneş kaynaklı ısı enerjisi teknolojileri ile geleneksel alternatifleri arasındaki maliyet farkını azaltmaya yardımcı olacak özel teşvik programlarının uygulanması gerekmektedir. Bu teknolojilerin güvenilir olduğunun ve piyasa operatörlerine doğru sinyaller verilirse rekabetçi hale gelebileceğinin kanıtlanması için çok daha fazla bilinçlendirme faaliyetine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle ESGI uygulamalarına ilişkin üçüncü bir engel, karmaşık bir sistemi güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde kurmak için gereken bilgiye sahip olmayabilen birçok tasarımcı ve montajcının belirli becerilerden yoksun oluşudur.

Veri analizi sonucunda yeterli devlet desteği ve mali desteğin olmamasının, yetersiz kapasitenin ve uzmanlık eksikliğinin, modern teknolojilere aşına olunmamasının ve yetersiz altyapının ESGI teknolojisinin yayılmasının önündeki önemli engeller olduğu görülmüştür. Türkiye'nin yeşil dönüşüm yolunda, ısı üretiminin karbonsuzlaştırılması için sanayide Endüstriyel Süreçler için Güneş Isısı (ESGI) teknolojilerinin kullanımı teşvik edilebilir ve bu alanda geri kalınmaması için Türk hükümeti tarafından ısı enerjisi üretiminde güneş enerjisi kullanımına ilişkin politika çerçevesi genişletilebilir.

Sonuç

Prensipite, sektörde güneş kaynaklı ısı enerjisi kullanımına ilişkin değerlendirilmeyen kayda değer potansiyel mevcuttur: Toplam sanayi ısı talebinin yaklaşık %30'u, ticari olarak mevcut güneş kolektörleriyle sağlanabilen 100°C'nin altındaki sıcaklık seviyelerindedir. Ancak dünya genelinde ve Türkiye'de pazar henüz emekleme aşamasındadır ve daha çok yol kat etmesi gerekmektedir. Endüstriyel süreçler için güneş ısı (ESGI) teknolojileri geliştikçe geri ödeme süreleri de düşmektedir. Ayrıca, kömür ve doğalgaz fiyatları artmaktadır ve muhtemel karbonsuzlaştırma vergileri de yoldadır. Bu nedenle, Türkiye'de YGKIE pazarının gelişimini desteklemeye başlamanın zamanının geldiğine kanaat getirilmiştir. Bu bağlamda, YGKIE pazarının geliştirilmesini ve güneş enerjisi konusunda tanınmış faaliyetleri olan büyük araştırma enstitüleriyle etkileşim kurulmasını, söz konusu enstitülerin faaliyetlerinin entegre edilmesini ve güneş enerjisi araştırmalarını ulusal araştırma hedefleriyle uyumlu hale getirmek için ulusal makamlar ve endüstrilerle ortak çalışmalar yürütülmesini amaçlayan projeler bulunmaktadır. Bu projelerin kilit noktaları ve yaklaşımı, belirli endüstriyel sektörler/dallar ile sınırlı olmayacak şekilde endüstriyel prosesler, güneş kaynaklı ısı enerjisi ve bölgesel pazar geliştirme konularındaki bilgi birikimini bir araya getirmek ve pilot projelerin belirlenmesi ve desteklenmesiyle birlikte hedeflenen farkındalık yaratma ve bilgilendirme faaliyetlerini yürütmek olarak belirlenebilir.

Ayrıntılı rapor aşağıdaki bölümleri içermekte ve Ek VII'de sunulmaktadır.

1. Teknolojiye Genel Bakış
2. Küresel Pazar Görünümü
3. Türkiye Pazarı Görünümü
4. YGKIE Çerçeve, Destek ve Düzenlemeleri
5. Vaka Çalışmaları

4. Enerji Etüdü Sonuçlarının (Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım) Ülke Düzeyinde Atık Isı Potansiyeli Değerlendirmesi (Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım) ile Değerlendirmesi

Proje kapsamında, her hedef sektöre ilişkin örnek teşkil edilmesi ve yukarıdan aşağıya değerlendirmenin desteklenmesi amacıyla seçilen sanayi tesislerinde, ticari binalarda ve termik santrallerde atık ısı odaklı ön inceleme etütleri ve detaylı enerji etütleri yapılmıştır. Bu bölümde, yapılan denetimlerin temel bulguları, yukarıdan aşağıya değerlendirmenin sonuçlarıyla birlikte irdelenmektedir.

Yapılan denetimler sonucunda tesislerin toplam atık ısı potansiyeli kategorize edilerek iki ayrı grupta raporlanmıştır. İlk olarak, tesislerde çeşitli geri kazanım teknolojilerinin uygulanmasıyla halihazırda geri kazanılan/kullanılan atık ısı tespit edilmiş ve raporlanmıştır. Ardından, kalan atık ısı potansiyeli ve ilişkili önerilen geri kazanım teknolojisi listelenmiştir. Bu projede basit geri ödeme süreleri 7 yıldan az olan AIGK projeleri ekonomik potansiyel olarak belirlenmiştir.

Atık ısı potansiyeline ek olarak, yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma potansiyeli ve kojenerasyon/trijenerasyon sistemleri potansiyeli de rapor edilmiştir.

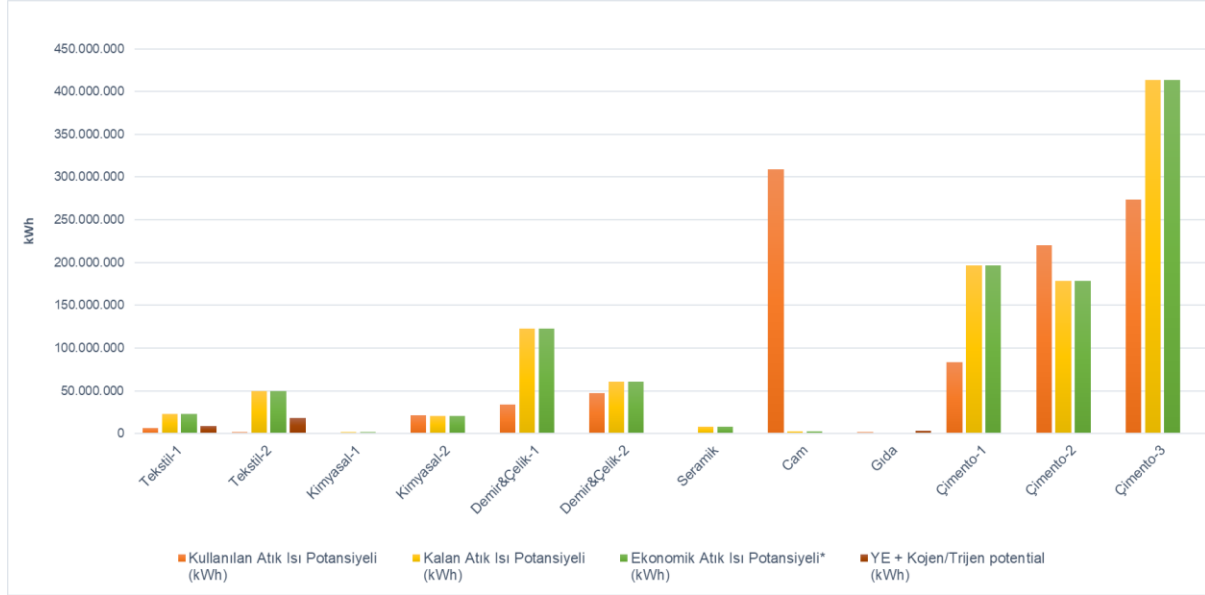
Aşağıdaki tablo, etüt çalışması yapılan her tesiste halihazırda geri kazanılan atık ısıyı, kalan atık ısı potansiyelini, ekonomik atık ısı potansiyelini ve yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyelini göstermektedir.

Tablo 4-1: Etüt Çalışması Yapılan Tesisler için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli

	Kullanılan WH potansiyeli (kWh)	Kalan WH potansiyeli (kWh)	Ekonomik WH potansiyeli (kWh)	YE + Kojen./Trijen. potansiyeli (kWh)
Alışveriş Merkezi	3.681.578	1.499.483	n.a.	6.992.214
Hastane	n.a.	937.322	937.322	1.928.639
Otel	2.361.797	2.002.015	2.002.015	287.249
Tekstil-1	6.069.777	22.762.451	22.762.451	8.490.818
Tekstil-2	2.131.747	49.860.386	49.332.416	18.524.308
Kimyasal Madde-1	166.820	1.374.157	1.374.157	649.463
Kimyasal Madde-2	21.704.700	20.593.587	20.593.587	220.498
Demir-Çelik-1	33.935.916	122.459.436	122.459.436	n.a.
Demir-Çelik-2	46.978.000	60.853.512	60.853.512	n.a.
Seramik	1.253.452	7.923.643	7.923.643	72.796
Cam	309.321.600	2.520.000	2.520.000	877.000
Gıda	1.463.400	285.897	111.002	3.235.318
Çimento-1	83.431.440	196.876.800	196.876.800	n.a.
Çimento-2	219.871.201	178.149.888	178.149.888	n.a.
Çimento-3	273.420.040	413.825.328	413.825.328	n.a.
Kömür Yakıtlı ES	n.a.	18.971.000	n.a.	n.a.
DG Yakıtlı ES-1	n.a.	70.489.480	n.a.	3.507.960
DG Yakıtlı ES-2	n.a.	100.534.800	100.534.800	6.115.154

4.1 Sanayi

7 sanayi sektöründen 12 sanayi tesisinde atık ısı odaklı ön inceleme etütleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki grafik, etüt çalışması yapılan her sanayi tesisinde halihazırda geri kazanılan atık ısıyı, kalan atık ısı potansiyelini, ekonomik atık ısı potansiyelini ve yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyelini göstermektedir.

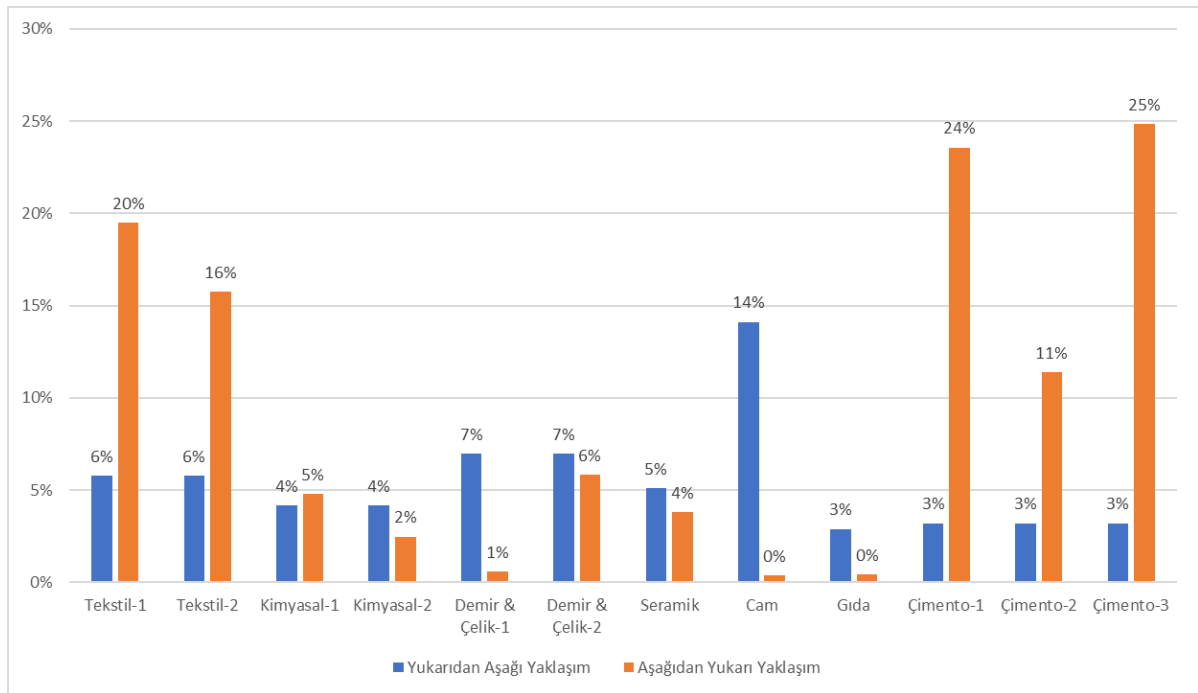


Şekil 4:- Etüt Çalışması Yapılan Sanayi Tesisleri için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli Dağılımı

Etüt sonuçları, incelenen çimento fabrikalarının genel olarak incelenen tüm fabrikalar arasında en yüksek atık ısı potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Çimento-1 ve 3 için kalan/ekonomik atık ısı potansiyeli halihazırda kullanılan atık ısıdan daha yüksekken, kullanılan atık ısı Çimento-2 için kalan/ekonomik potansiyelden daha yüksektir. Demir-çelik fabrikaları, ikinci en yüksek atık ısı potansiyeline sahip tesisler olarak belirlenmiştir. Her iki demir-çelik tesisi için de kalan potansiyeller, halihazırda kullanılan atık ısıdan daha yüksektir. Bununla birlikte, Demir-Çelik-2'nin kullanılan atık ısı oranının daha yüksek olması, bu tesisin daha uygulanabilir AIGK fırsatları sağlayan elektrik ark fırınlarına sahip olması ve tesisin bu fırsatların bazılarında halihazırda faydalanması ile açıklanabilir. Tekstil fabrikaları, en yüksek üçüncü kalan atık ısı potansiyeline sahiptir. Ayrıca, etüt çalışmasının yapıldığı tüm sanayi tesisleri arasında, yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma potansiyeli ve kojenerasyon/trijenerasyon santrallerinin kurulum potansiyeli en yüksek olarak tekstil fabrikaları için kaydedilmiş, bunu gıda tesisi izlemiştir. Bu durum, sürekli buhar ve/veya soğutma talepleri ve bu sektörlerdeki önemli elektrik talepleriyle açıklanabilir. Kalan atık ısı potansiyeli bakımından tekstil fabrikalarını sırasıyla kimyasal madde, seramik, cam ve gıda sektörleri izlemektedir. Cam imalatı tesisinde geri kazanılan atık ısı miktarı, kalan potansiyelden önemli ölçüde yüksektir. Bu durum, cam fırınlarında olağan uygulama olarak cam fırınına entegre AIGK sistemiyle açıklanabilir. 1600°C civarında çalışan fırın, bacadaki sıcaklığı 400°C civarına düşüren entegre bir rejeneratif hava ön ısıtma sistemine sahiptir. Cam fırınlarında rejeneratif sistemle hava ön ısıtması, AIGK için ek bir uygulama değil, üretim sürecinin olağan bir uygulamasıdır. Bazı cam fırınlarında rejeneratör yerine reküperatör bulunur.

Kalan atık ısı potansiyeli, etütlerde tespit edilen AIGK projelerine karşılık geldiğinden ve tespit edilen AIGK projelerinin hepsinin 7 senelik veya daha kısa bir geri ödeme süresi olduğundan, etüt çalışması gerçekleştirilen neredeyse her sanayi tesisinde kalan atık ısı potansiyeli, ekonomik atık ısı potansiyeline eşittir.

Tesislerdeki toplam enerji girdisinin miktarı da atık ısı potansiyeline etki ettiğinden, etüt çalışması gerçekleştirilen tesislerin karşılaştırılmasında atık ısı/enerji girdisi oranları kullanılmıştır. Bu yaklaşım yukarıdan aşağıya tahmin için de uygulanmıştır. Her sanayi sektörü için sektörlerin yukarıdan aşağıya değerlendirmesini karşılaştırmak ve ayrıca yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya değerlendirmelerin sonuçlarını irdelemek için toplam tahmini sektörel atık ısı potansiyelinin toplam sektörel enerji tüketimine oranı kullanılmıştır. Ancak yukarıdan aşağıya yaklaşımın sonuçları tüm sektörler için bir ortalama verirken, etütler her sektördeki tesislere ilişkin sonuçları tek tek göstermektedir. Bu nedenle, AIGK oranları büyük ölçüde değişebilir ve bu aşamada amaç, sonuçları karşılaştırmak yerine yorumlamak için bu verileri kullanmaktır.



Şekil 4-1: Sanayi Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Endüstriyel Tesisler İçin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

Demir-çelik sektörü, Türk sanayiinin en fazla enerji tüketen sektörüdür. Yukarıdan aşağıya yaklaşımın sonuçları, tahmini atık ısı potansiyelinin de tüm sanayi sektörleri arasından demir-çelik sektöründe en yüksek olduğunu göstermektedir. Öte yandan, yukarıdaki grafik, yukarıdan aşağıya yaklaşıma göre, cam sektörünün tüketilen enerji birimi başına en yüksek atık ısı potansiyeline sahip olduğunu ve atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranının %14 olduğunu göstermektedir. Ancak, cam üretim tesisinde yapılan ön inceleme etüdünün sonuçları önemli bir potansiyeli işaret etmemiştir. Bu durum, şu gerçeklerle açıklanabilir: i) cam sektöründeki egzoz gazlarının kirletici özelliği, AIGK teknolojilerinin uygulanmasını zorlaştırır ve bu durum etütte dikkate alınmıştır ve ii) etüt çalışmasının gerçekleştirildiği fabrikada halihazırda bir atık ısı geri kazanım kazanı bulunmaktadır ve bu teknoloji diğer fabrikalarda kurulu olmayabilir.

Yukarıdaki tabloya göre, etüt çalışması yapılan çimento fabrikaları, Çimento-1 (%24), Çimento-2 (%11) ve Çimento-3 (%25) ile en yüksek potansiyelleri gösterirken, çimento sektörü tüketilen birim enerji başına en düşük atık ısı potansiyeline sahiptir. Bu durum, Türkiye'deki 54 çimento tesisinden 17'sinin, sektörün genel atık ısı potansiyelini azaltan AIGK yoluyla elektrik üretimine sahip olması ve etüt çalışmasının gerçekleştirildiği fabrikaların hiçbirinde bu AIGK teknolojisinin uygulanmamış olmasıyla açıklanabilir.

Demir-çelik sektörü, tüketilen birim enerji başına en yüksek ikinci atık ısı potansiyeline sahip olup atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranı %7'dir. Demir-Çelik-2 tesisinin etüt sonuçları, sektörü temsil eden yukarıdan aşağıya değerlendirmenin sonuçlarıyla uyumludur. Demir-Çelik-1 tesisinin etüt sonuçları, yukarıdan aşağıya değerlendirmeye kıyasla çok daha düşük bir oran göstermektedir. Demir-Çelik-1, büyük enerji tüketimine sahip entegre bir tesistir. Tesis ayrıca büyük atık ısı potansiyeline sahip olacaktır ve atık ısının büyük kısmı, ancak kirlenmiş proses gazlarının geri kazanımı için teknolojiler gibi gelişmiş geri kazanım teknolojileri yoluyla geri kazanılabilecektir. Örneğin, ısı değiştiricide Kok Fırını Gazının (KFG) olası minimum sıcaklığı 450°C civarındadır. Bu sıcaklıktan sonra, KFG için AIGK için hala teorik potansiyel olmasına rağmen, bu tür kaynaklardan atık ısıyı geri kazanmak için yeni teknolojiler gerekecektir.⁵⁵ Bu türden AIGK teknolojileri önemli yatırımlar gerektirdiği ve ekonomik olarak uygulanabilir bulunmadığı için etütlerde değerlendirilmediğinden, Demir-Çelik-1 tesisinin atık ısı potansiyelinin enerji girdisine oranı düşüktür.

Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği tekstil fabrikaları, tekstil sektörünün yukarıdan aşağıya değerlendirmesinden daha yüksek atık ısı potansiyeli göstermektedir. Tekstil sektörünün alt sektörlerinin prosesleri ve enerji tüketimin dağılımı büyük ölçüde farklılık gösterdiğinden, yukarıdan aşağıya değerlendirmenin sonuçları mevcut tüm tekstil tesislerinin ortalama atık ısı potansiyelini gösterecektir ve bu sonuçların tek tek tekstil tesisleriyle karşılaştırılması mümkün olmayabilir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği iki fabrika, tekstil sektörünün diğer alt sektörlerine kıyasla enerji tüketiminin ve atık ısı potansiyelinin nispeten daha yüksek olduğu bir entegre tesis ve bir dokuma ve boyama tesisidir; bu durum, fabrikaların atık ısı potansiyelinin toplam enerji girdisine oranının daha yüksek olmasını açıklayabilir.

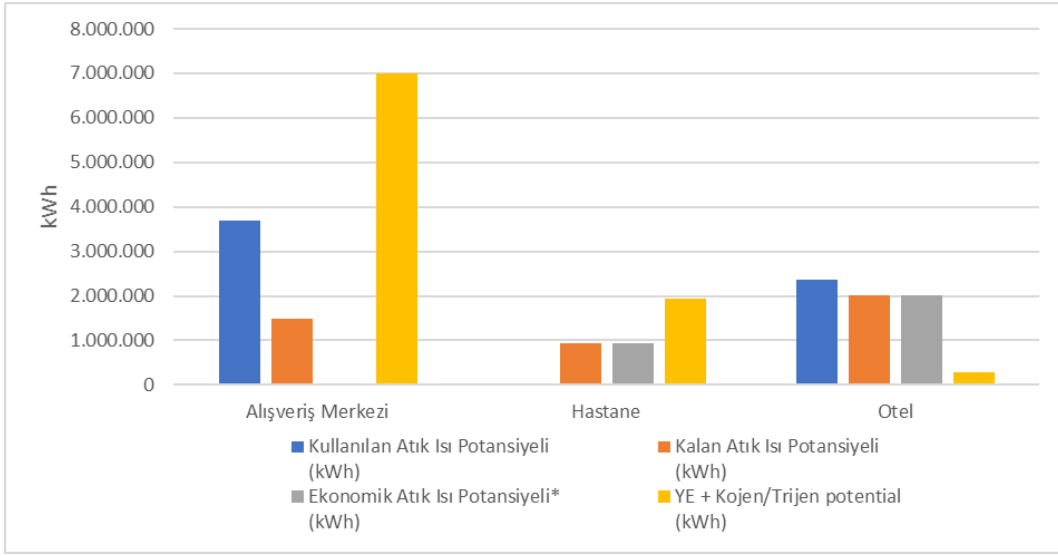
Tekstil sektörü gibi gıda sektöründe de çeşitli enerji tüketim profillerine sahip birçok alt sektör bulunur. Etüt çalışmasının yapıldığı gıda tesisi, gıda sektörünün yukarıdan aşağıya değerlendirmesine göre daha düşük atık ısı potansiyeli göstermektedir. Bunun nedeninin, etüt sırasında az sayıda fırsatın tespit edilmesi olduğu düşünülmektedir.

Kimyasal madde ve seramik sektörlerinde etüt sonuçlarının yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. Kimyasal-2 tesisi, Şekil 4 1'de de görülebilen çeşitli Atık ısı Geri Kazanım teknolojilerini halihazırda uyguladığı için, biraz daha düşük atık ısı potansiyeline sahiptir.

4.2 Ticari Binalar ve Hizmet Binaları

Ticari bina sektöründe AVM, hastane ve otel için atık ısı odaklı ön inceleme etütleri yapılmıştır. Aşağıdaki grafik, etüt çalışması yapılan her binada halihazırda geri kazanılan atık ısıyı, kalan atık ısı potansiyelini, ekonomik atık ısı potansiyelini ve yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyelini göstermektedir.

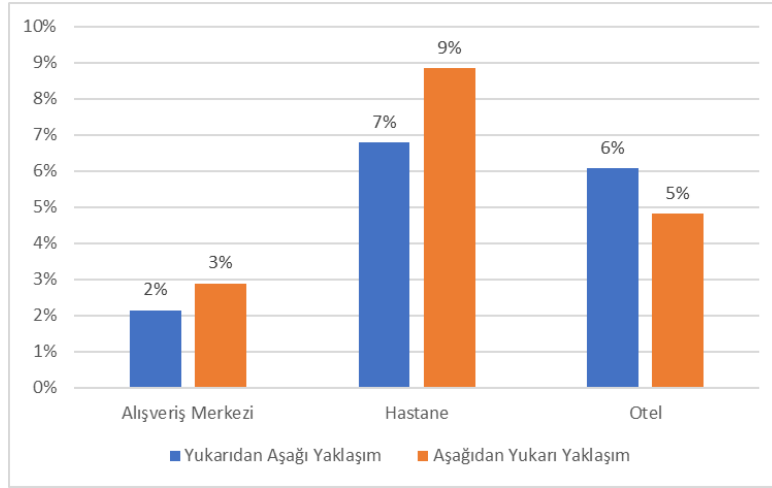
⁵⁵ https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf



Şekil 4-2: Etüt Çalışması Yapılan Ticari Binalar ve Hizmet Binaları için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli Dağılımı

Etüt sonuçları, incelenen alışveriş merkezinde, kullanılan atık ısının kalan atık ısı potansiyelinden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu göstermekte, bu da alışveriş merkezinin atık ısının geri kazanılması ve kullanılması açısından iyi performans sergilediğini işaret etmektedir. Ayrıca, etüt çalışmasının gerçekleştirildiği alışveriş merkezinin kalan atık ısı potansiyeli, alışveriş merkezi etüdünde değerlendirilen tüm AIGK projelerinin 7 yıldan fazla geri ödeme süresi olduğundan, ekonomik atık ısı potansiyeli olarak tanımlanmamıştır. Bu durum, alışveriş merkezinin AIGK ünitesi entegre ISH sistemleri ve ısı pompaları gibi ekonomik uygulanabilirliği nispeten daha yüksek AIGK teknolojilerini halihazırda uyguladığını gösterdiğinden, incelenen alışveriş merkezinin iyi bir AIGK performansı sergilediği düşüncesini desteklemektedir. Alışveriş merkezi aynı zamanda en yüksek yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyeline sahiptir ki bu durum, alışveriş merkezlerinin önemli elektrik talebinin yanı sıra yıl boyunca devam eden eşzamanlı ısıtma ve soğutma talebiyle açıklanabilir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği alışveriş merkezinin yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyelinin bu denli yüksek olmasının bir diğer nedeni de incelenen alışveriş merkezinin trijenerasyon santralının aynı kompleks içinde yer alan konutlara enerji sağlamak üzere tasarlanmış olmasıdır. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği otel, ekonomik atık ısı potansiyeli olarak da tanımlanan en yüksek kalan atık ısı potansiyeline sahiptir. Otelde kullanılan atık ısı, otel halihazırda bir kojenerasyon santrali ve çeşitli AIGK teknolojileri kurmuş olduğundan, kalan/ekonomik atık ısı potansiyelinden de yüksektir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği hastanede kullanılan atık ısı söz konusu değildir. Bunun nedeninin, hastanenin temiz oda ve diğer sıcaklığa duyarlı gereksinimler gibi özel gereksinimlerine, AIGK veya genel olarak diğer enerji verimliliği teknolojilerine kıyasla daha fazla öncelik verilmesi olduğu düşünülmektedir. Hastane ayrıca önemli yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyeline sahiptir.

Aşağıdaki grafik, ticari bina ve hizmet binası sektörü ve incelenen binalar için atık ısı potansiyelinin enerji girdisine oranlarını göstermektedir.

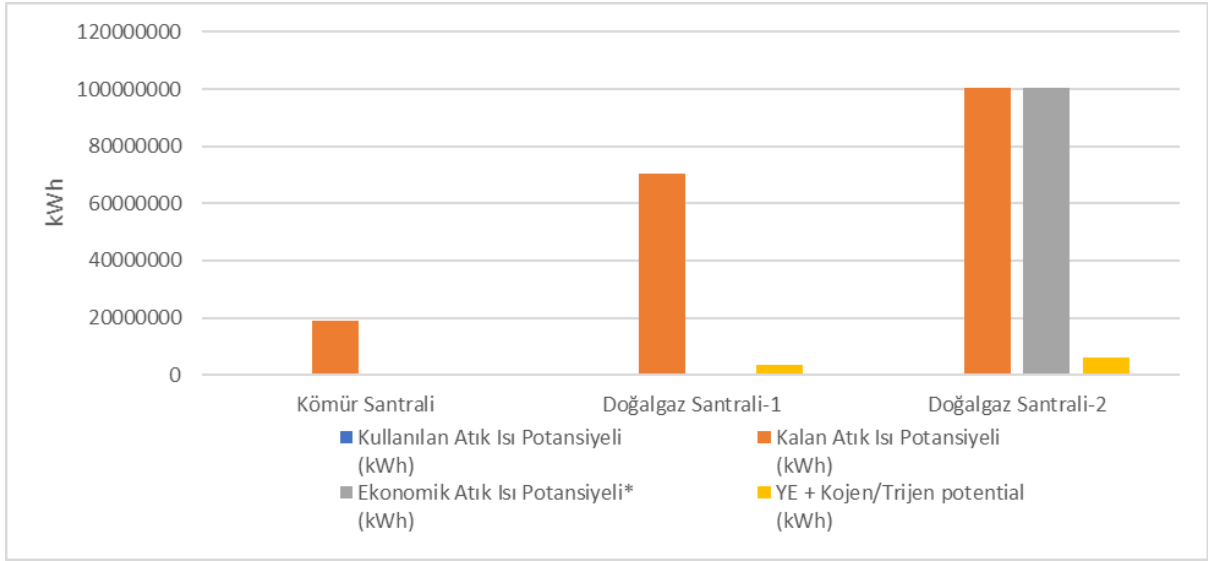


Şekil 4-3: Ticari ve Hizmet Binaları Sektörleri (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Ticari ve Hizmet Binalarının (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

Ticari bina ve hizmet binaları sektörleri söz konusu olduğunda, etüt sonuçlarının yukarıdan aşağıya değerlendirme sonuçlarıyla belirgin şekilde uyumlu olduğu görülmüştür. Hastane sektörü, tüketilen birim enerji başına en yüksek atık ısı potansiyeline sahiptir. Bu durum, hastane sektörünün, önceki kısımlarda, incelenen hastane örneğinde açıklanan spesifik gereksinim ve öncelikleriyle açıklanabilir. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği hastane, hastane sektörünün geneline kıyasla biraz daha yüksek atık ısı potansiyeli göstermektedir ki bu, etüt çalışmasının gerçekleştirildiği hastanede AIGK uygulamalarının olmamasıyla açıklanabilir.

4.3 Termik Santraller

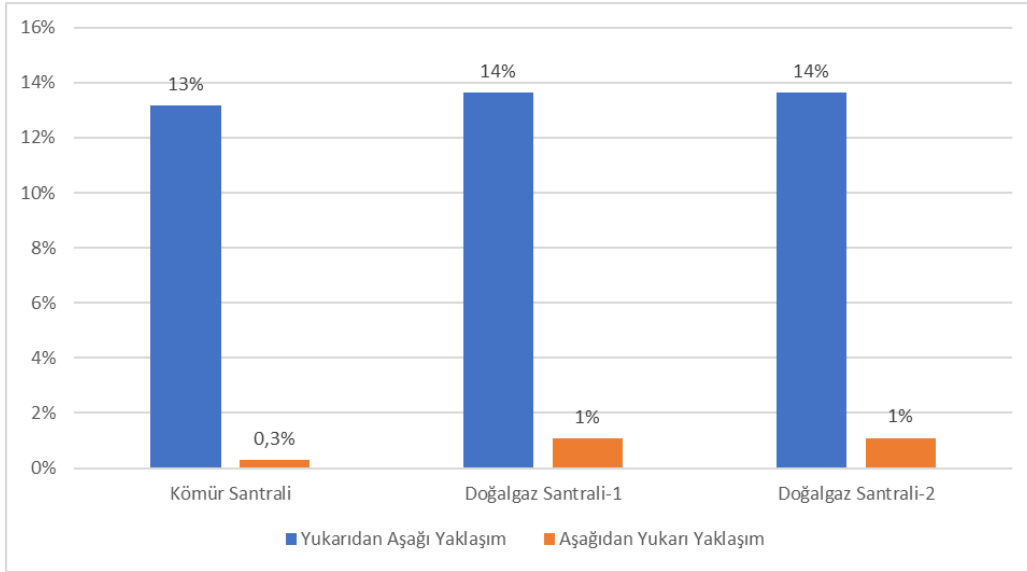
Proje kapsamında, kömür yakıtlı bir termik santral için atık ısı odaklı bir ön inceleme etüdü, DG yakıtlı bir termik santralde ise atık ısı odaklı detaylı enerji etüdü gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki grafik, etüt çalışması yapılan her termik santralde halihazırda geri kazanılan atık ısıyı, kalan atık ısı potansiyelini, ekonomik atık ısı potansiyelini ve yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyelini göstermektedir.



Şekil 4-4: Etüt Çalışması Yapılan Termik Santraller için AI Potansiyeli ve YE + Kojen./Trijen. Potansiyeli Dağılımı

Etüt sonuçları, incelenen termik santrallerin hiçbirinin halihazırda atık ısıyı geri kazanıp kullanmadığını göstermektedir. DG Yakıtlı TS-2, kalan en yüksek atık ısı potansiyeline, ekonomik atık ısı potansiyeline ve yenilenebilir enerji kaynaklı ısıtma ve kojenerasyon/trijenerasyon potansiyeline sahiptir. DG Yakıtlı TS-1 ve Kömür Yakıtlı TS, belirlenen bölgesel ısıtma projelerinin geri ödeme süreleri sırasıyla 17,7 ve 17,9 yıl olduğundan, ekonomik atık ısı potansiyeline sahip değildir. Bunun temel nedeni, bu iki santralin kamuya ait olması ve işletilmesi ve EÜAŞ'ın enerji fiyatlarındaki sübvansiyonları nedeniyle daha düşük fiyatlarla elektrik satmalarıdır. Bu nedenle, performans iyileştirmelerinden kaynaklanan maliyet tasarrufları/gelirleri o kadar önemli değildir ve bu da performans iyileştirme projelerinin finansal sonuçlarını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, kombine çevrimli termik santrallerin verimliliği yüksektir ve bölgesel ısıtma için ara buhar kullanılması, elektrik üretiminden önemli ölçüde vazgeçilmesine neden olmaktadır. Bu durumda, elektrik satış fiyatı ile ısı satış fiyatı arasında aşırı bir fark olmaması ve bu tür yatırımların maliyetinin oldukça yüksek olması nedeniyle bu tür projeler mali açıdan olumlu olarak değerlendirilememektedir.

Aşağıdaki grafik, kömür ve doğalgazla çalışan termik santraller ve etüt çalışması gerçekleştirilen termik santraller için atık ısı potansiyelinin enerji girdisine oranını göstermektedir.



Şekil 4-5: Kömür & Doğalgaz Yakıtlı Termik Santraller (Yukarıdan Aşağı Yaklaşım) ve Etüt Yapılan Termik Santrallerin (Aşağıdan Yukarı Yaklaşım) Atık Isı Potansiyelinin Toplam Enerji Girdisine Oranı

Yukarıdaki grafiğe göre, yukarıdan aşağıya değerlendirme, etüt çalışmasının gerçekleştirildiği termik santrallerin hiçbirinde AIGK olmamasına rağmen hem kömürle çalışan hem de DG ile çalışan termik santraller için çok daha yüksek potansiyeli işaret etmektedir. Bunun temel nedeni, tanımlanan potansiyelin çoğunun enerji santrallerinde egzoz gazları yerine ara buhardan kaynaklanması ve bölgesel ısıtma sistemlerinde genellikle ara buharın kullanılmasıdır. Etüt çalışmasının gerçekleştirildiği Kömür Yakıtlı TS-1 ve DG Yakıtlı TS-1 için bölgesel ısıtma projeleri değerlendirilmiş olmasına rağmen mevcut atık ısının kullanım oranı, talep tarafıyla sınırlıdır. Projenin uygulanabilirliğini ve bölgesel ısıtma sistemiyle ne kadar atık ısının geri kazanılabileceğini, yakınlardaki yerleşim bölgesinin nüfusu belirlemektedir. Öte yandan, yukarıdan aşağıya değerlendirme her bir termik santral için arz-talep ilişkisini değerlendiremediğinden, tüm atık ısının kullanılıp kullanılmayacağına bakılmaksızın, mevcut tüm atık ısıyı dikkate alır.

5. Teknoloji Seçeneklerinin Gözden Geçirilmesi

5.1 Genel Bakış

Dünya çapındaki sera gazı emisyonlarının %32'sinden, yani endüstriyel tesislerde kullanılan elektrikten kaynaklanan dolaylı emisyonlar dahil olmak üzere yaklaşık 16 milyar ton CO_{2eş}'ten sanayi sorumludur.⁵⁶ Dünyada her yıl yaklaşık 4.000 TWh ısı israf edilmekte, bu da 2.800 milyon metrik ton CO₂ emisyonuna karşılık gelmektedir.⁵⁷ Avrupa Endüstriyel Proseslerde Enerji Verimliliği (EE-IP) kuruluşu, atık ısı geri kazanımının Avrupa'da 250 milyon ton/yıl CO₂ emisyonu azaltım potansiyeline sahip olduğunu tahmin etmektedir.⁵⁸

Atık ısı, bir endüstriyel tesisin sınırlarını terk eden ve çevreye giren atık hava akışları, egzoz gazları ve/veya sıvılarla ilişkili enerjidir. Başka şekilde ifade edilecek olursa, atık ısı, bir prosesten, enerjinin bir kısmının ekonomik şekilde faydalı amaçlar için geri kazanılmasını mümkün kılmaya yetecek kadar yüksek sıcaklıkta reddedilen enerjidir. Atık ısıyı geri kazanmak, değerli enerji kaynakları sağlamak ve genel enerji tüketimini azaltmak için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır.

Isı kayıpları, yüksek sıcaklık (YS), orta sıcaklık (OS) ve düşük sıcaklık (DS) seviyesi olarak sınıflandırılabilir. Yüksek sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı (AIGK), 300°C'nin üstündeki sıcaklıklarda atık ısının geri kazanılmasını ifade ederken, orta sıcaklık aralığı 100–300°C'yi, düşük sıcaklık aralığı ise 100°C'nin altındaki sıcaklıkları ifade eder.⁵⁹

Belirli sanayi sektörleri için atık ısı sıcaklık seviyesi örnekleri, Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5-1: Belirli Sanayi Sektörleri için Atık Isı Sıcaklık Seviyeleri

Yüksek Sıcaklık	Orta Sıcaklık	Düşük Sıcaklık
Pik demir sanayii Metal sanayii Cam sanayii Seramik sanayii Taş sanayii	Basın ve yayın sanayii Kağıt sanayii Çimento sanayii Plastik sanayii Tekstil sanayii Tütün sanayii Gıda sanayii	Neredeyse her endüstriyel sektörde

Isı geri kazanımında en optimum verimliliğin elde edilmesini sağlamak için her atık ısı aralığı için AIGK sistemleri devreye alınmaktadır. Genellikle yüksek sıcaklık aralığındaki atık ısının çoğu doğrudan yakma proseslerinden, orta sıcaklık aralığında yakma ünitelerinin egzozundan ve düşük sıcaklık aralığında parça, ürün ve proses ünitelerinin ekipmanından kaynaklanmaktadır.

Endüstriyel ısıtma yüklerinin sıcaklıkları Tablo 5-2'de⁶⁰ gösterilmektedir.

Tablo 5-2: Endüstriyel Isıtma Yüklerinin Sıcaklıkları

Sektör	Proses	Tipik sıcaklık seviyesi (°C)
Tüm sektörler	Kazan besisi suyu ön ısıtma Tesis ve depolarda ortam şartlandırma Su ısıtma	25 - 100 5 - 100 40 - 90

⁵⁶ IPCC 2010 verilerine göre

⁵⁷ ABD Enerji Bakanlığı ve ADEME.

⁵⁸ EE-IP, Enerji Geri Kazanımı-Emisyon Azaltım Projesi, 2013

⁵⁹ S. Bruckner "Industrial waste heat recovery technologies: an economic analysis of heat transformation Technologies", 2015

⁶⁰ ABD EB, 2006

	Yükü ön ısıtma	15 - 315
	Yanma havasını ön ısıtma	315 - 870
Yiyecek-İçecek	Kurutma (gıda işleme, bira fabrikaları, süt ürünleri)	30 - 220
	Yoğurt olgunlaştırma (süt ürünleri)	40 - 46
	Isıl işlem (gıda işleme)	40 - 60
	Yerinde temizlik; şişe, giysi vs. yıkama	40 - 90
	Bitkisel yağın damıtılması (gıda işleme)	60 - 110
	Pastörizasyon (gıda işleme, bira fabrikaları, süt ürünleri)	70 - 120
	Kaynatma (gıda işleme)	93 - 104
	Damıtma (bira fabrikaları)	96 - 102
	Buharlaştırma (süt ürünleri)	60 - 150
	Sterilizasyon (gıda işleme)	140 - 150
	Kızartma (gıda işleme)	80 - 220
Tekstil	Boyamadan sonra durulama	46 - 52
	Tekstil vb. yıkama	40 - 80
	Ağartma	60 - 102
	Kurutma	93 - 150
	Boyama	100 - 160
Petrokimya ve Kimya	Kaynatma	90 - 105
	Damıtma	110 - 355
	Çeşitli kimyasal prosesler	120 - 250
Orman Ürünleri	Kurutma (kereste)	40 - 100
	Isıtma, kurutma, ondülasyon (kağıt hamuru ve kağıt)	110 - 150
İmalat	Sprey boyama	21 - 30
	Galvanizleme	30 - 90
	Plastik enjeksiyon kalıplama için nem giderme/hava ısıtma	32 - 87
	Yağlama/yıkama	38 - 150
	Yağ giderme	50 - 65
	Isıtma kaplama, paklama, hidrofilleştirme banyosu	50 - 95
	Kurutma	80 - 90
	Buhar kazanı egzozu	230 - 480
	Pistonlu motor egzozu	230 - 590
	Kurutma ve pişirme fırınlarından egzoz gazı	230 - 590
	Gaz türbini egzozu	370 - 590
	Isıl işlem fırınlarından egzoz gazı	425 - 650
	Katalitik krakerlerden egzoz gazı	425 - 650
	Çimento fırınlarından egzoz gazı (kuru proses)	620 - 730
	Açık merdaneli fırın egzoz gazı	650 - 700
	Alüminyum rafinasyon fırını egzoz gazı	650 - 760
	Bakır rafinasyon fırını egzoz gazı	760 - 815
	Hidrojen santrali egzoz gazı	650 - 980
	Katı atık yakma fırını egzoz gazı	650 - 980
	Çinko rafinasyon fırını egzoz gazı	760 - 1090
Termik oksitleyici egzoz gazı	650 - 1420	
Çelik ısıtma fırını egzoz gazı	925 - 1040	
Bakır yansımali (reverber) fırın egzoz gazı	900 - 1090	
Cam eritme fırını egzoz gazı	980 - 1540	

Geri kazanılan ısı, genel olarak şu şekillerde kullanılabilir:

- ön ısıtma prosesleri, ısı konfor, soğutma vb. için bir endüstride tesiste,
- başka bir yerde tesis dışında,
- bölgesel ısıtma ağı sistemi aracılığıyla tesis dışında.

Atık ısı kullanım kriterleri

Isı geri kazanımı amacıyla hangi spesifik teknolojinin kullanılabileceğine karar vermek ve potansiyel teknoloji aralığını sınırlandırmak için aşağıdaki kriterlerden faydalanılabilir.

Sıcaklık - Mevcut atık ısı kaynağının sıcaklık seviyesi, en uygun AIGK teknolojisinin seçiminde en önemli faktörlerden biridir. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, satın alınan enerjinin ikamesi için mevcut atık ısı miktarı o kadar fazla olacaktır. Genel olarak, ekonomik bakımdan yalnızca orta ila yüksek sıcaklık aralığında atık ısıdan elektrik enerjisi üretimini dikkate almanın mantıklı olduğu söylenebilir. Düşük sıcaklıkta atık ısı da ısı pompaları, soğutma üniteleri ve ısı dönüşüm prosesleri için kullanılabilir. Tüm sıcaklık seviyelerinde ısı geri kazanımı/yer değişimi mümkündür.

Atık ısı çıktısı - Mevcut atık ısı ısısal çıktısı ne kadar yüksek olursa, enerji verimi de o kadar yüksek olacaktır. Atık ısı ısısal çıktısı öncelikle aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Akış hacmi (egzoz gazı, akışkan)
- Isı aktarımı öncesi ortam sıcaklığı
- Isı aktarımı sonrası potansiyel ortam sıcaklığı
- Egzoz gazı/akışkanın bileşimi

Egzoz gazının bileşimi, enerji içeriği ve dolayısıyla çekilebilir termal verim üzerinde kritik etkiye sahiptir. Ayrıca, karışım, ısı aktarım ortamı için malzeme seçerken dikkate alınması gereken ve yatırım maliyetlerini etkileyebilecek aşındırıcı maddeler içerebilir.

Potansiyel ve talep eşzamanlılığı - Optimum ve basit endüstriyel atık ısı kullanımı için ısı geri kazanımından gelen ısı kaynağının, enerji gereksinimleriyle tam uyum göstermesi avantajlı olacaktır. Aksi durumlarda depolama tankı/tankları, tampon olarak kullanılmalıdır. Ancak, elektrik üretmek için depolama ısısının kullanılması, ekonomik olarak mümkün değildir. Bu nedenle, tüketilmeyen enerji fazlasının ulusal şebekeye verilmesi gerekmektedir.

Kullanım süresi - Doğrudan atık ısı kaynağının mevcudiyetine bağlıdır. AIGK ünitesinin ekonomik olarak çalıştırılabilmesi için sürekli ve uzun kullanım süresi sağlanması çok önemlidir. AIGK ünitesinin kurulumu için yatırım maliyeti, kullanılabilir enerji hacmi verimi ile geri kazanılacaktır. Bu, kullanım süresi ne kadar uzun olursa, amortisman süresinin o kadar kısa olacağı anlamına gelir.

AIGK'nın sanayi için faydaları

Atık ısı geri kazanımı, sanayiye aşağıdakiler de dahil olmak üzere çok sayıda fayda sağlar:

- Enerji maliyetlerini azaltır; geri kazanılan tüm atık ısı doğrudan satın alınan enerjinin yerini alır
- Sermaye ekipmanının maliyetini azaltır; atık ısının yeniden kullanımı, daha küçük enerji dönüşümü kapasitesine sahip ekipmanların kullanımını mümkün kılar
- İşletim ve sermaye maliyetlerini azaltır
- Çevresel etkiyi azaltır; çünkü geri kazanılan tüm atık ısı doğrudan satın alınan enerjinin yerini alır
- Endüstriyel operasyonlarla ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltır
- Hava kirleticilerinin arıtılmasının maliyeti, gaz veya buhar halindeki hava kirleticilerini ayrıştırmak için yakma fırınları kullanılan tesislerde egzoz gazlarından atık ısı geri kazanımı ile önemli ölçüde azaltılabilir;

Atık ısının yakalanması ve geri kazanılması için kullanılan ve esas olarak atık ısı geri kazanım ünitesi şeklindeki enerji geri kazanımlı ısı değiştiricilerden oluşan birçok farklı AIGK teknolojisi mevcuttur. AIGK teknolojilerine şunlar dahildir:

- Enerjiyi dönüştürmek yerine başka bir ortama aktaran veya talep üzerine kullanıma sunmak için depolayan ısı değiştiriciler ve ısı depolama çözümleri
- Isı kaynağının sıcaklığını artıran ısı pompaları
- Tesiste kullanılmak üzere buhar üretmek için atık ısıyı kullanan buhar kazanları (endüstriyel proseslerde yaygın olarak kullanılmaktadır)
- Türbinle elektrik üretmek veya tesisteki döner makineyi doğrudan tahrik etmek için (mekanik tahrik) akışkanın faz geçişine bağlı klasik termodinamik çevrimler
- Döner makineler ve faz geçişi akışkanları olmadan elektrik üretmek için alternatif teknolojiler (örneğin termoelektrik)

Yukarıda belirtildiği gibi, kaynak tipine, sıcaklık aralığına ve son kullanım gereksinimlerine bağlı olarak piyasada bir dizi farklı teknoloji mevcuttur.

Tablo 5-3'te her sanayi sektörü için atık ısı potansiyeli bulunan, belirlenmiş prosesler verilmiştir.

Tablo 5-3: Her Sanayi Sektöründe Atık Isı Potansiyeli Bulunan Proseslerinin Tespiti

Sanayi Türü	Kullanılan Proses	Sıcaklık Aralığı (°C)	Sıcaklık Aralığı	Isı Geri Kazanım Teknolojisi
Demir-Çelik Üretimi	Sinter prosesi	1300 – 1480	YS	Isı değiştirici
	Peletleme Tesisi Sertleştirme prosesi	Düz ızgara prosesi: 1300 – 1350 Izgara fırın prosesi: 1250	YS	Isı değiştirici
	Kok fırını tesisleri – Jewell-Thompson fırını	1150 – 1350	YS	Isı değiştirici
	Yüksek fırın – Sıcak fırın	900 – 1500	YS	Isı değiştirici
	Bazık oksijen çelik üretimi	1200	YS	Isı değiştirici
Gıda, İçecek ve Süt Ürünleri Sanayii	Çözünürleştirme/alkalileştirme prosesi	45 – 130	OS	Isı değiştirici veya Termal enerji depolama
	Yardımcı proses – BIG	60 – 115	OS	Termal enerji depolama
	Soğutma sistemlerinden ısı geri kazanımı	50 – 60	DS	Isı değiştirici
	Kızartma	180 – 200	OS	Isı değiştirici
Cam imalatı	Fırınlara ısıtılması ve birincil eritme	750 – 1650	YS	Isı değiştirici
Demir dışı metal üretimi	İzabe prosesi	400 – 1200	YS	Buhar Rankin Çevrimi
	Birincil ve ikincil kurşun üretimi	200 – 400	OS	Termal enerji depolama veya ısı değiştirici
	Çinko sülfür	900 – 1000	YS	Isı değiştirici
Çimento, kireç ve magnezyum oksit üretimi	Fırın ateşleme	≥2000	YS	Buhar Rankin Çevrimi veya Organik Rankin Çevrimi (ORC) Termal enerji depolama
	Cüruf yakma	1400 – 2000	YS	Isı değiştirici Termal enerji depolama

Kağıt hamuru, kağıt ve mukavva üretimi	Kraft hamurlaştırma prosesi (kimyasal proses)	155 – 175 (pişirme ve delignifikasyon)	OS	Termal enerji depolama Isı değiştirici
	Sülfat hamurlaştırma prosesi (kimyasal proses)	90 – 100 (oksijen delignifikasyonu)	DS	
		800 – 1100 (kalsinasyon reaksiyonu – kireç fırını)	YS	
	Mekanik hamurlaştırma ve kimyasal-kimyasal hamurlaştırma	95 – 125 (öğütme – basınçlı mekanik odun hamurlaştırma)	DS – OS	Isı değiştirici
	Kağıt yapımı ve ilgili prosesler	45 – 90 (Kağıt makinesi)	DS YS	Isı değiştirici
	Bobin kaplama	150 – 220	OS	
Tekstil sanayii	Kir çıkarma	1200	YS	Isı değiştirici
	Pamuk çözgü ipliği optimizasyonu	60 – 110	DS – OS	Isı değiştirici
	Boyama	80 – 100	DS	Isı değiştirici
	Oksitleme	750	YS	Isı değiştirici ile potansiyel kullanım
	Kurutma	130	OS	Isı değiştirici
	Oksitleme, yakma	800 – 1450	YS	

Tüm ısı geri kazanım teknolojileri arasından seçilecek ısı değiştiricilerin tipi ve seçimi tedarikçiye bağlıdır ve ilgili karar, fizibilite çalışmasının tamamlanmasının ardından sonuçlandırılmalıdır. Genel olarak dört tip ısı değiştirici vardır. Bunlar kanatlı borulu, gövde borulu, çift borulu ve levhalı ısı değiştiricidir.

Atık ısı potansiyeli

Atık ısının tam miktarını belirlemek zor olsa da çeşitli araştırmalarda endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %20 ila %50'sinin atık ısı olarak boşaltıldığı ve bu atık ısının %18 ila %30'unun kullanılabileceği tahmin edilmektedir. Her sıcaklık aralığı için tüketilen enerjinin yüzdesi olarak atık ısı potansiyeli ve Carnot potansiyeli aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.⁶¹

Tablo 5-4: Sıcaklık Aralıklarına Göre Atık Isı ve Carnot Potansiyeli Yüzdeleri

Potansiyel	DS <100°C	OS 100 – 299°C	YS >300°C
Atık ısı	%12,60	%6,00	%11,40
Carnot	%1,73	%2,00	%6,40

Daha düşük sıcaklık aralığındaki atık ısı, Carnot potansiyeli içinde önemli ölçüde daha küçük paya sahiptir. *Forman vd.*'ye göre, Carnot potansiyeli, atık ısının teknik iş yapıp yapamayacağı veya ısı aktarımı için daha iyi kullanılıp kullanılamayacağı konusunda daha kesin bir gösterge sağlar. Avrupa'daki başlıca sanayi sektörleri için atık ısı potansiyeli ve Carnot potansiyeli Tablo 5-5'te gösterilmektedir.

⁶¹ *Forman vd.* sonuçları (2016)

Tablo 5-5: Avrupa⁶² ve Türkiye'deki Başlıca Sanayi Sektörleri için Atık Isı ve Carnot Potansiyeli Dağılımı

Sanayi Türü	Avrupa'da AI Potansiyeli	Avrupa'da Carnot Potansiyeli	Türkiye'de AI Potansiyeli	Türkiye'de Carnot Potansiyeli
Demir-çelik	%11,40	%6,40	%36	%19
Kimya ve petrokimya	%11,00	%5,13	%6	%2
Demir dışı metal	%9,60	%4,93	%8	%5
Metalik olmayan mineraller (cam, seramik, çimento)	%11,40	%6,40	%23	%10
Kağıt hamuru ve kağıt	%10,56	%4,59	%1	%0,2
Tekstil ve kumaş	%11,04	%2	%11	%4
Gıda ve tütün	%8,64	%1,89	%5	%1

Halihazırda tamamlanmış bir projenin (I-TheRM Projesi) sonuçları, Avrupa'daki tahmini atık ısının 7 sektör arasında neredeyse eşit olarak dağıldığını göstermektedir. Ancak iş potansiyeli açısından demir-çelik, metalik olmayan mineraller ve kimya ve petrokimya endüstrileri en yüksek potansiyele sahiptir. Türkiye sonuçları, demir-çelik ve metalik olmayan minerallerin en yüksek atık ısıya ve Carnot potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

⁶² Endüstriyel Termal Enerji Geri Kazanımı Dönüşüm ve Yönetimi "I-TheRM", 2016

Birleşik Krallık dahil olmak üzere AB Üye Devletleri için endüstrideki toplam potansiyeller (atık ısı ve Carnot) Tablo 5-6'da gösterilmiştir.

Tablo 5-6: Birleşik Krallık dahil her AB Üye Devleti için Toplam Potansiyel^{63, 64}

AB Ülkesi	Potansiyel (TWh)		Oran
	Atık Isı	Carnot	Tahmini At/Toplam Enerji Girdisi
Avusturya	13,36	6,43	13%
Almanya	89,18	42,82	12%
Belçika	16,79	7,89	14%
Birleşik Krallık	27,44	12,71	11%
Bulgaristan	2,81	1,3	9%
Çek Cumhuriyeti	10,59	5,18	12%
Danimarka	1,96	0,79	7%
Estonya	0,6	0,27	9%
Finlandiya	11,89	5,35	8%
Fransa	43,52	20,03	13%
Hırvatistan	1,02	0,45	8%
Hollanda	43,72	20,17	33%
İrlanda	2,03	0,88	8%
İspanya	22,14	10,45	9%
İsveç	12,52	5,72	9%
İtalya	28,36	13,44	9%
Kıbrıs	0,22	0,11	11%
Letonya	0,65	0,26	7%
Litvanya	0,99	0,42	9%
Lüksemburg	0,62	0,32	10%
Macaristan	3,27	1,48	8%
Malta	0,03	0,01	3%
Polonya	16,17	7,56	10%
Portekiz	5,08	2,28	10%
Romanya	6,18	3,03	6%
Slovakya	4,96	2,59	10%
Slovenya	1,2	0,58	9%
Yunanistan	3,11	1,47	10%
AB-27	370,42	173,98	%10

Yukarıda verilen AB-27 ülkeleri için tahmini atık ısı potansiyelleri, farklı bir metodoloji kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmadan elde edilmiştir. Bu yöntem, ülkelerin yakıt tüketim verilerine dayalı olup egzozda açığa çıkan enerji girdisinin kesirlerini ve egzozdan geri kazanılabilir enerji oranını belirlemek için literatürdeki değerleri kullanmaktadır.

Bu değerlendirmede metodoloji, emisyon izleme sistemi tarafından elde edilen baca gazı verilerine, hesaplamalar ise termodinamik analize dayanmaktadır. Bu nedenle, Türkiye için bu değerlendirmenin sonuçlarının AB-27 ülkeleri ile karşılaştırılması doğru olmayabilir. Ancak birtakım içgörüler sağlamak amacıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır. Türkiye'de sanayinin tahmini atık ısı potansiyeli 18,5 TWh/yıl (66.609 TJ/yıl) olup Polonya, İspanya ve Belçika sonuçlarına yakındır.

⁶³ http://www.itherm-project.eu/wp-content/uploads/2017/10/I-ThERM_D2.1.pdf

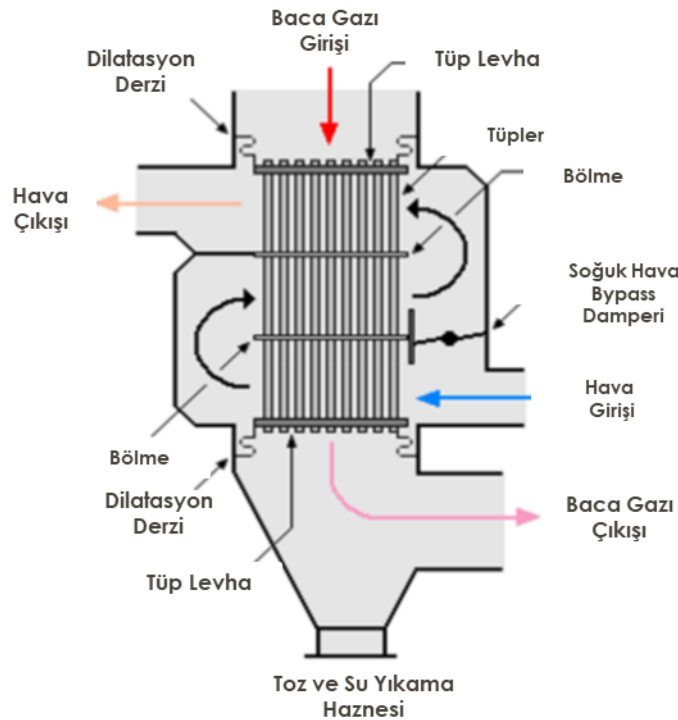
⁶⁴ Tahmini Atık Isının Toplam Enerji Girdisine Oranı, I-Therm Proje Raporundaki enerji tüketimi ve tahmini atık ısı miktarları kullanılarak elde edilmiştir.

5.2 Yaygın Kullanılan AIGK Ekipman ve Sistemleri

Atık ısıyı geri kazanma yöntemleri esas olarak gazlar ve sıvılar arasındaki ısı aktarımını, fırınların ön ısıtılmasını, mekanik ve elektriksel güç üretimini kapsar. Bu üniteler, hava ön ısıtıcılar (reküperatörler, rejeneratörler dahil), fırın rejeneratörleri ve döner tip rejeneratörler veya ısı tekerlekleri ve çevrimsel (run-around) bobin gibi yaygın atık ısı geri kazanım sistemleri ile rejeneratif ve reküperatif brülörler, ısı borusu ısı değiştiriciler, levhali ısı değiştiriciler, ekonomizerler, atık ısı kazanları ve doğrudan enerji dönüşümü aygıtlarından oluşur. Başlıca atık ısı geri kazanım sistemleri aşağıda listelenmiştir.

Ekonomizer

Ekonomizerler genellikle sıcak egzoz gazı akışlarının hava kanalları içine yerleştirilmiş gazdan sıvıya veya gazdan gazda ısı değiştiricilerdir. Besleme suyu alt kolektöre pompalanır ve bu su bir dizi dikey boru vasıtasıyla üst kolektöre taşınır. Sıcak baca gazları boruların dış yüzeyinden geçebilir. Borularda yukarı doğru akan besleme suyu, baca gazları tarafından ısıtılır. Bu önceden ısıtılmış su, kazana verilir. Ekonomizerler normalde düşük ve orta sıcaklık uygulamaları için kullanılır. Kazan sistemleri, baca gazı sıcaklıklarını geri kazanarak baca gazı sıcaklığındaki her 5°C'lik düşüş için verimliliklerini %1 artırır. Bu, sistemin yakıt tüketiminin 2 yıldan daha kısa bir geri ödeme süresi ile %5-10 oranında azaltılabileceğini gösterir.⁶⁵ Şekil 5-1'de çok geçişli ekonomizer şeması gösterilmiştir.



Şekil 5-1: Çok Geçişli Ekonomizer Şeması⁶⁶

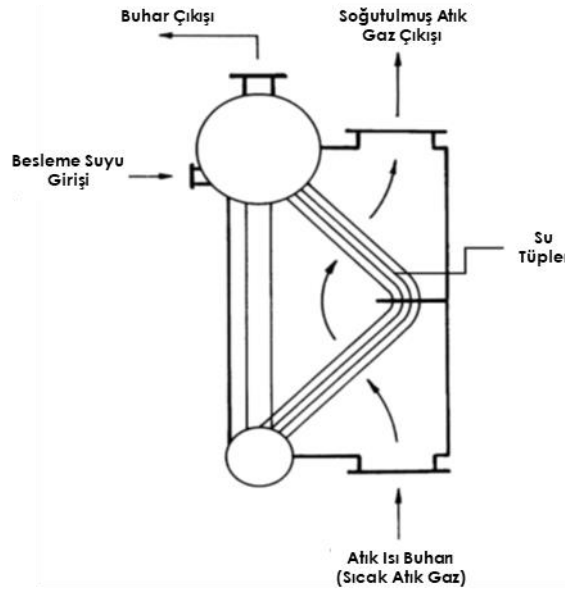
⁶⁵ Spirax Sarco: "An Explanation of Specialist Boiler Types and Other Specialist Features", 2011

⁶⁶The Renewable Energy Hub UK. "Types of Heat Recovery Systems"

Atık ısı kazanı

Atık ısı kazanları, sıcak su veya doymuş buhar üretmek için baca gazlarında yakma proseslerinden kaynaklanan ısıyı veya endüstriyel proseslerden kaynaklanan sıcak atık ısı akışlarını kullanırlar. Atık ısı kazanı, birbirine paralel ve sistemden çıkan ısı yönünde yerleştirilmiş birkaç su borusundan oluşur.

Bu teknoloji, orta ila yüksek sıcaklıktaki egzoz gazlarından ısıyı geri kazanmak için uygundur ve çıktı olarak buhar üretmek için kullanılır. Buhar daha sonra güç üretimi için kullanılabilir veya enerji geri kazanımı için sisteme geri yönlendirilebilir. Atık ısı kazanlarının tipik uygulamaları, gaz türbinlerinin, pistonlu motorların, oksitleyicilerin ve fırınların egzozlarından çıkan enerjiyi geri kazanmaktır. Şekil 5-2'de paralel su tüplerine sahip bir atık ısı kazanı şeması gösterilmiştir.⁶⁷



Şekil 5-2: Atık ısı kazanı şeması

Hava ön ısıtıcı

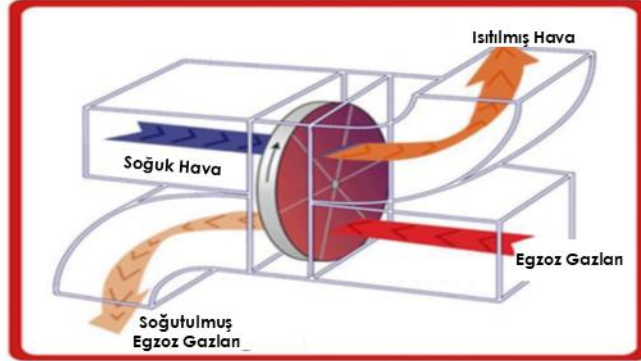
Hava ön ısıtıcılar, baca gazlarından yanma havasına enerji aktarmak için kullanılır. Hava ön ısıtıcının ana işlevi, havayı önceden ısıtmaktır, bu da hava girdisinde artışla sonuçlanır. Hava ön ısıtıcılar, düşük ila orta sıcaklıkta uygulamaları için uygundur ve yanma için gereken havanın sıcaklığını artırarak sistemin toplam verimliliğini iyileştirirler. Bu teknoloji, en çok akışkanların kirlenmesinin önlenmesinin gerektiği durumlarda faydalıdır. Bu tür teknolojiler, gaz türbini egzozlarını ve fırınlardan ve buhar kazanlarından ısı geri kazanımını içerebilir. Hava ön ısıtıcının tipik örnekleri, döner tip rejeneratör ve çevrimsel (run-around) serpantindir.

a) Döner tip rejeneratör (ısı tekerleği)

Döner tip rejeneratörde, sürekli dönen bir eleman her iki akışı keserken atık gazlar ve yanma havası zıt yönlerde hareket eder. Döner tip rejeneratörler, genellikle yaklaşık 315°C ile sınırlı olan düşük ila orta sıcaklık aralıkları için uygundur. Yaklaşık %85'lik bir toplam verimlilik rapor edilmiştir. Isı tekerlekleri, temiz gaz akışlarından gelen ısının yanı sıra nemi geri kazanmak üzere tasarlanabilir. Nem bir hava

⁶⁷ W.C. Turner, Energy Management Handbook, 2009.

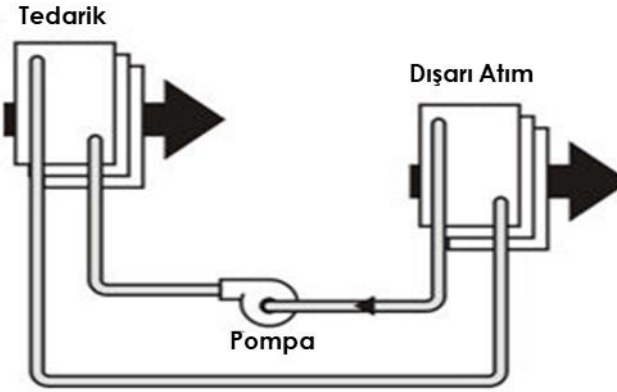
kanalından diğerine aktarılabilir. Bu sayede, ısı tekerleği gelen sıcak ve nemli havanın ısı ve nemi, çıkan soğuk havaya aktardığı hava şartlandırma uygulamalarında faydalı olur. Aşağıdaki şekilde tipik bir ısı tekerleği tipi atık ısı geri kazanım birimi gösterilmektedir.



Şekil 5-3: Döner Tip (Isı Tekerleği) Rejeneratör⁶⁸

a) Çevrimsel (run-around) bobin ısı değiştirici (ÇBİD)

Çevrimsel (run-around) bobin ısı değiştiriciler, hava akımlarının birbirinden tamamen ayrıldığı rejeneratif ısı geri kazanım sistemleridir. Sıcak akışkandan gelen ısı, bir ara akışkan vasıtasıyla daha soğuk akışkana aktarılır. Bu kapalı döngünün bir bobini sıcak akışta, diğeri ise soğuk akışta kurulur. Bu sıvının dolaşımı, dolaşım pompası vasıtasıyla sağlanır. Genel olarak, ÇBİD sistemi %50 civarında maksimum verim sağlar. Şekil 5-4'te ÇBİD şeması verilmiştir.



Şekil 5-4: ÇBİD Şeması⁶⁹

Isı borusu ısı değiştirici

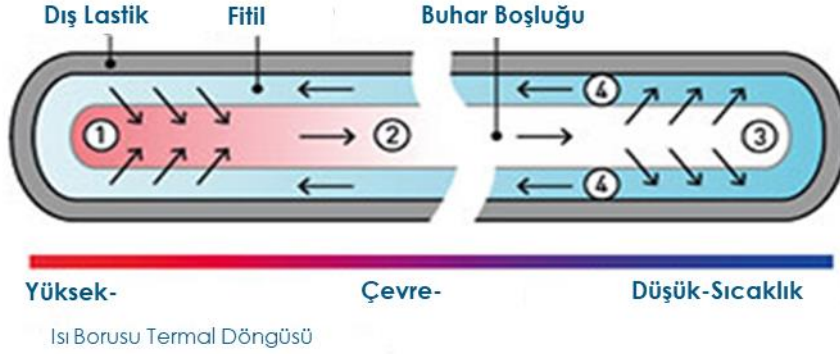
Isı borusu ısı değiştiriciler üç unsurdan oluşur: sızdırmaz kap, kılcal fitil yapısı ve aracı akışkan. Bu teknoloji, hem endüstriyel hem de ticari uygulamalarda verimli bir havadan havaya ısı geri kazanım ekipmanı olarak kullanılmaktadır. Isı borusu ısı değiştirici, hermetik kapamalı metal tüp içindeki kaynama yoğunlaşma döngüsü ile sıcak akıştan soğuk akışa pasif olarak ısı enerjisi aktarır. Bu sayede, sıcak alandan gelen ısı, borunun soğuk kısmına çok verimli şekilde aktarılabilir.

⁶⁸ Kaynak: Uptime technology BV

⁶⁹ ResearchGate

Isı borusu ısı geri kazanım sistemleri, %60 ile %80 arasında değişen ısı geri kazanım kapasitesi ile 315°C'de çalışabilmektedir. Aşağıdaki şekilde ısı borusu ısı değiştirici şeması gösterilmektedir.

Isı Borusu Termal Döngüsü



Şekil 5-5: Isı Borusu Eşanjör⁷⁰

Isı boruları aşağıdaki endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır:

- Prosesten mekan ısıtmaya - ısı borusu ısı değiştirici, bina ısıtması için proses egzozundan ısı enerjisi aktarır.
- Prosesten procese - ısı borusu ısı değiştirici, proses egzozundan atık ısı enerjisi geri kazanır ve bu enerjiyi gelen proses havasına aktarır. Gelen hava böylece ısınır ve aynı proses veya diğer prosesler için kullanılabilir ve proses enerji tüketimini azaltır.
- Soğutma ve ısıtma için ISH uygulamaları

Brülör teknolojisi

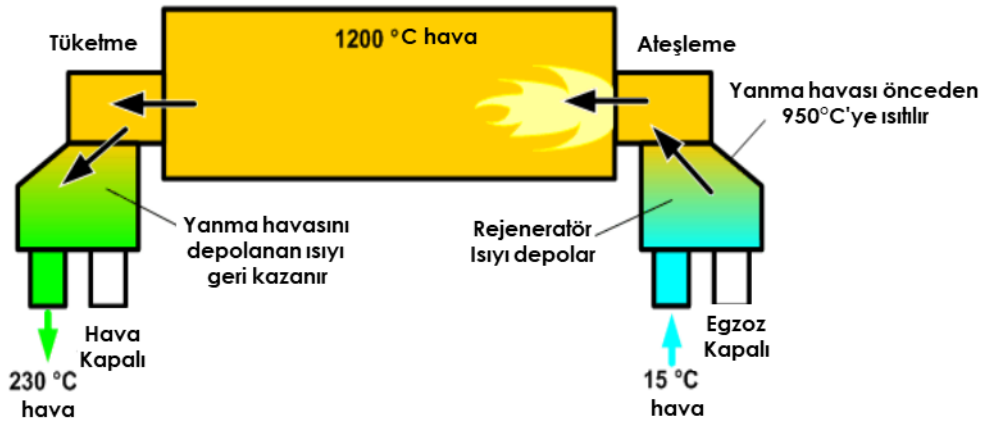
a) Rejeneratif brülör kullanımı

Rejeneratif brülörde, egzoz gazı ve yanma havası dönüşümlü olarak bir ısı depolama ortamıyla dolu bir bölmeden akar; egzoz gazı akışıyla dolar ve hava akışıyla boşalır. Brülör, çevrime bağlı olarak ateşleme odasından hava giriş veya çıkış ağız işlevi görerek iki ayrı amaca hizmet eder. Rejeneratif brülör seti iki brülör, iki rejeneratör, yön değiştirme valfleri ve kontrol sisteminden oluşur. Döngünün birinci ve ikinci yarısı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

⁷⁰ HALA Contec GmbH



Şekil 5-6: Rejeneratif Brülörün 1. Döngüsü



Şekil 5-7: Rejeneratif Brülörün 2. Döngüsü⁷¹

Sıcak gazların enerji içeriği, destek malzemelerini ısıtmak için kullanılır ve normal bir brülöre kıyasla enerji tüketimini %70 oranında azaltabilir. Rejeneratif brülörlerin, reküperatif brülörlere göre %30 daha az enerji kullandığı rapor edilmiştir. İkincil alüminyum prosesinde rejeneratif brülörler için geri ödeme süresinin bir yıldan az olduğu bildirilmektedir.⁷²

b) Rejeneratif art yakıcı kullanımı

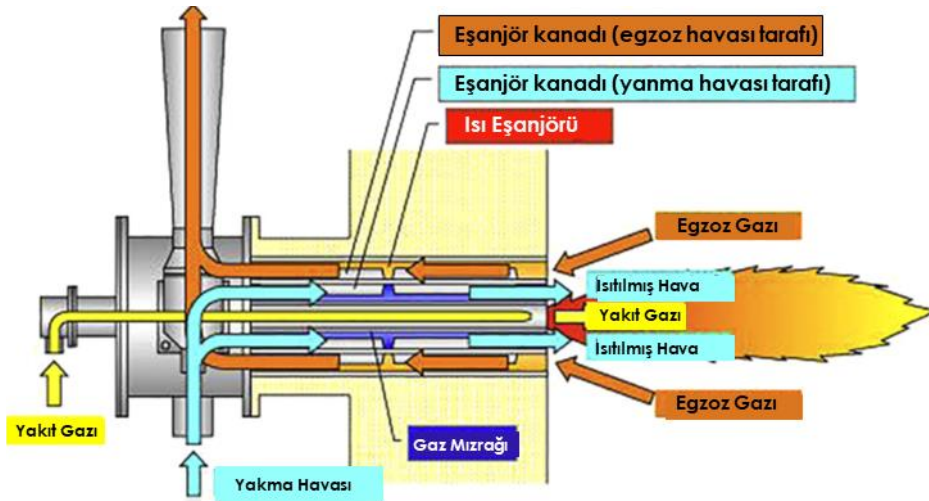
Rejeneratif Termal Oksitleyici (RTO) olarak da bilinen rejeneratif art yakıcılar, atık gazları arıtmaya hizmet eder. Proses, ısıtma, soğutma ve temizleme döngülerinin gerçekleştiği bir dizi destek bölgesi boyunca değişen bir gaz döngüsüne bağlıdır. Yanıcı kısım, ısıtma bölgesinde ısıtılır ve yanmanın tamamlandığı kalış odasına geçer. Sıcak gazlar daha sonra bir sonraki ısıtma bölgesi olmak üzere ısıtılan bir soğutma bölümüne geçer. Bölgeler, temizlemeyi sağlamak üzere bir manifold sistemi kullanılarak değiştirilir.

c) Reküperatif brülör kullanımı

Reküperatif brülör, yanma havasını yakıtla karışmadan önce ön ısıtmak için egzozdan çıkan atık gazın enerjisini kullanır. Brülör, brülör nozulunun gövdesinden hem egzoz gazını hem de atık ısıyı toplayarak ve her ikisini de ısıyı yanma havasına aktarmak için kullanarak çalışır. Reküperatif brülör şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir.

⁷¹ Winter 2007

⁷² BAT, Demir Dışı Metal Endüstrileri için Referans Belgesi, 2014

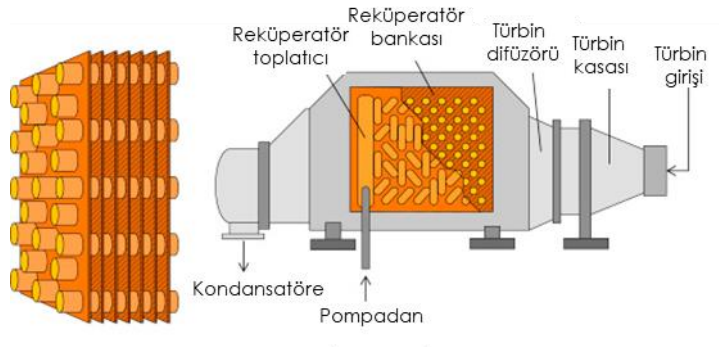


Şekil 5-8: Reküperatif Brülör Şeması⁷³

Rejeneratif ve reküperatif brülörler, yanma sürecinden kaynaklanan sıcak baca gazından kaynaklanan atık ısıyı yakalamak ve kullanmak için ısı değiştirici yüzeylerini birleştirerek enerji verimliliğini optimize eder. Sistem, fırına bağlanan ve fırına giren yanma havasını dönüşümlü olarak ısıtan ayrı kontrol valflerine sahip iki brülörden oluşur.

Rekuperatör

Rekuperatör, atık ısıyı geri kazanmak için endüstriyel bir prosesin egzoz gazlarına yerleştirilmiş ters akışlı bir enerji geri kazanımı ısı değiştiricidir. Rekuperatörde metalik veya seramik duvarlar vasıtasıyla baca gazları ile hava arasında ısı değişimi gerçekleşir. Aşağıdaki şekilde endüstriyel ısıtma ekipmanında kullanılan tipik bir rekuperatör gösterilmektedir.



Şekil 5-9: Rekuperatöre Genel Bakış⁷⁴

Dört ana rekuperatör tipi bulunur:

- radyasyon rekuperatörü
- konvektif rekuperatör
- hibrit rekuperatör

⁷³ Osaka Gas, Recuperative Burner (Recupeburner), Osaka Gas Co., Ltd., Osaka, 2017

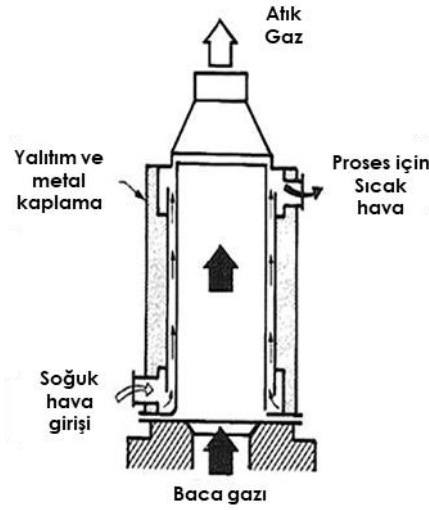
⁷⁴ ScienceDirect.com

- seramik reküperatör

a) Metalik radyasyon reküperatörü

Sistem, iki eş merkezli uzunlukta metal borudan oluşur. Sıcak egzoz gazları iç boru vasıtasıyla taşınırken, dış halka yanma havasını atmosferden fırın brülörlerinin hava giriş ağızlarına taşır. Sıcak gazlar, artık yanma odasına ek enerji taşıyan yanma havası tarafından soğutulur.

Bu, yakıt tarafından sağlanması gerekmeyen enerjidir; bu nedenle, belirli bir fırın yüklemesi için daha az yakıt kullanılır. Yakıt tasarrufu aynı zamanda yanma havasının ve baca kayıplarının azalması anlamına gelir. Metalik radyasyon reküperatörleri, yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalarda atık ısı geri kazanımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde bir metalik reküperatör şeması gösterilmektedir.

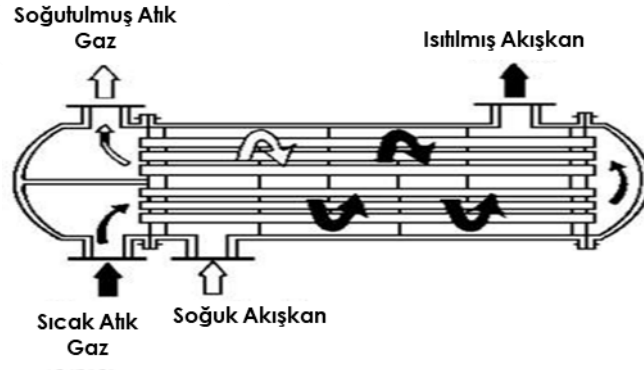


Şekil 5-10: Metalik Radyasyon Reküperatörü⁷⁵

b) Konvektif reküperatör

Konvektif reküperatörde, sıcak gazlar bir dizi paralel küçük çaplı tüpten taşınırken, ısıtılacak gelen hava, boruları çevreleyen bir gövdeye girer ve sıcak boruların üzerinden, eksenlerine paralel yönde bir veya daha fazla kez geçer. Bu cihazlar, metalik reküperatörlerden daha kompakttır ve geniş ısı aktarımı alanı nedeniyle daha yüksek verimliliğe sahiptir. Aşağıdaki şekilde tipik bir konvektif reküperatör gösterilmektedir.

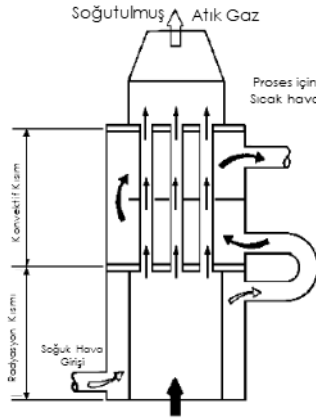
⁷⁵ Kaynak: PG & E



Şekil 5-11: Konvektif Reküperatör⁷⁶

c) Hibrit reküperatör (kombine radyasyon/konveksiyon reküperatörü)

Isı aktarımının maksimum etkinliği için radyasyon ve konvektif tasarım kombinasyonları kullanılır. Bu aygıtlar, basit metalik radyasyon reküperatörlerinden daha pahalı ancak daha az hacimlidir. Aşağıdaki şekilde bir hibrit reküperatör gösterilmektedir.



Şekil 5-12: Hibrit Reküperatör⁷⁷

d) Seramik reküperatör

Seramik tüplü reküperatörler, metalik reküperatörlerin sıcaklık sınırlamalarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir (normalde 870° ila 980°C arasındaki sıcaklıklar için kullanılırlar). Seramik reküperatörler gaz tarafında 1550°C'ye kadar ve ön ısıtılmış hava tarafında 815°C'ye kadar çalışabilirler. Bununla birlikte, bu aygıtlar, ısıl döngü sırasında hava sızıntısı ve malzeme hasarı potansiyeli nedeniyle sık bakım gerektirir.

Levhalı ısı değiştirici

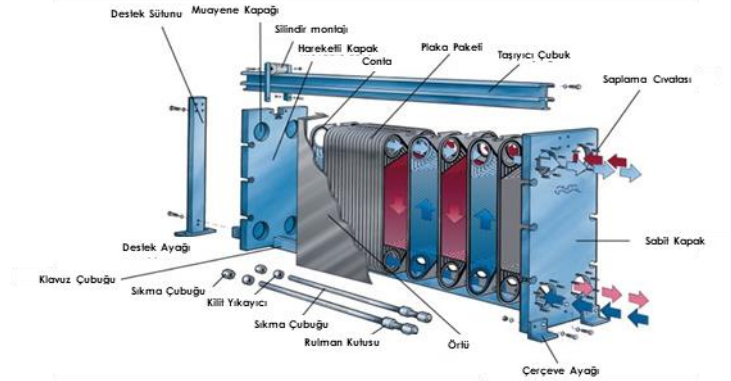
Levhalı ısı değiştirici, akışkanların aralarında akması için bir dizi kanalın oluşmasını sağlamak üzere üst üste yerleştirilmiş bir dizi paralel levhadan oluşur. Levhaların köşelerindeki hava giriş ve çıkış

⁷⁶ ResearchGate

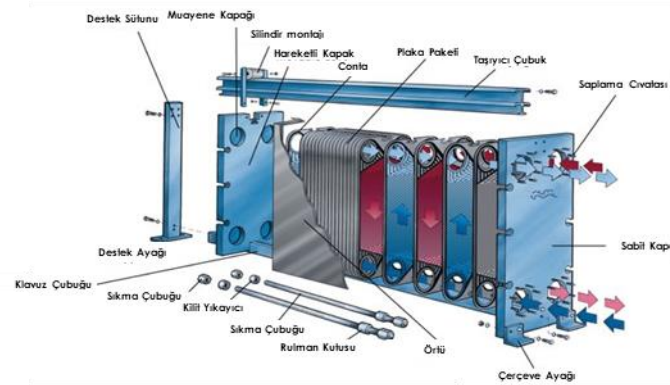
⁷⁷ Source: PG & E

ağzları, değiştiricideki dönüşümlü kanallardan sıcak ve soğuk akışkanların geçişini sağlar, böylece bir levha her zaman bir tarafta sıcak akışkan, diğer tarafta soğuk akışkan ile temas halinde olur.

Levhalı ısı değiştirici, en gelişmiş enerji verimli ısı aktarım ekipmanıdır. Değiştirilen aynı miktarda ısı için levhalı ısı değiştiricinin boyutu daha küçüktür; levhaların sağladığı büyük ısı aktarım alanı nedeniyle, geniş levha yüzey alanından daha fazla ısı geçebilir. Levhalı ısı değiştiriciler, kompakt yapıları sayesinde ısıyı çok yüksek verimle aktarabilir ve çok az yer kaplar. Levhaların eklenmesi veya çıkarılmasıyla ısı aktarımı alanı artırılabilir veya düşürülebilir. Aşağıdaki şekilde bir levhalı ısı değiştirici



gösterilmektedir.



şekil 5-13: Levhalı ısı Deęiřtirici⁷⁸

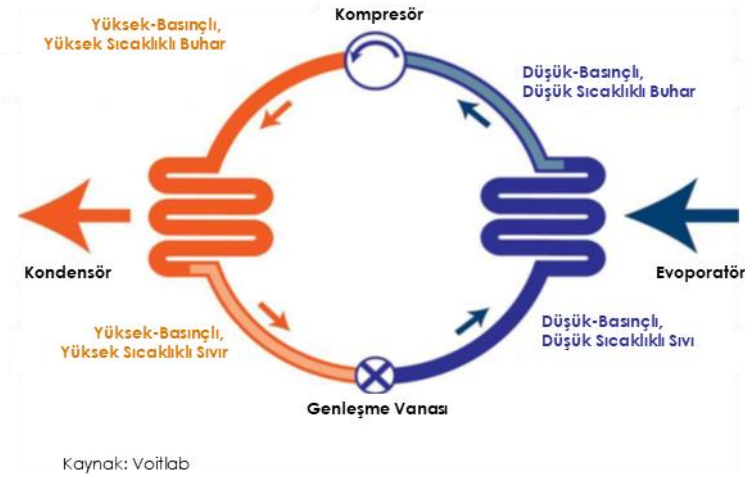
Isı pompası

Isı pompaları, buhar sıkıştırma çevrimi prensibiyle çalışır. Dolaşım maddesi, proses akışlarında kullanılmak üzere kaynaktan ve ısıdan fiziksel olarak ayrılır ve çevrimsel şekilde yeniden kullanılır ("kapalı çevrim" olarak adlandırılır). Isı pompasında aşağıdaki prosesler gerçekleşir:

- Buharlaştırıcıda dolaşım maddesini kaynatmak için ısı kaynağından ısı çekilir;
- Dolaşım maddesi sıkıştırıcı tarafından sıkıştırılır, basıncı ve sıcaklığı, enerjisinin kullanıma hazır hale geldiği bir seviyeye yükselir.
- Isı, yoğuşturucuya iletilir;
- Dolaşım maddesinin (ara akışkan) basıncı, çevrimin tekrarlandığı kısma valfindeki buharlaştırıcı durumuna geri düşürülür.

Isı pompasının ısı geri kazanımı uygulaması için çalışma prensibi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

⁷⁸ Kaynak: Alfa Laval



Şekil 5-14: Isı Pompasının Isı Geri Kazanımı Uygulaması için Çalışma Prensibi⁷⁹

Aracı akışkanın türü büyük ölçüde ısı borusunun kullanıldığı uygulamanın sıcaklık aralığına bağlıdır. Örneğin, düşük sıcaklık uygulamaları için amonyak, aseton, “Freon” soğutucular ve su kullanılmaktadır. Ucuz olması, iyi termo-fiziksel özelliklere sahip olması ve ayrıca işlenmesi güvenli olduğu için suyun sıklıkla tercih edilen akışkan olduğu bildirilmektedir.

Isı pompasının performansı, ısı çıktısının enerji girdisi miktarına oranını ifade eden performans katsayısı (PK) ile derecelendirilir. Belirli bir aracı akışkan için PK, gerekli proses sıcaklığını sağlamak için gereken hava giriş ağız basıncına ve boşaltma basıncına bağlı olacaktır. Endüstriyel uygulamalarda, PK 2,0 ile 6,0 aralığındadır. Isı pompalarının en yaygın uygulamaları:

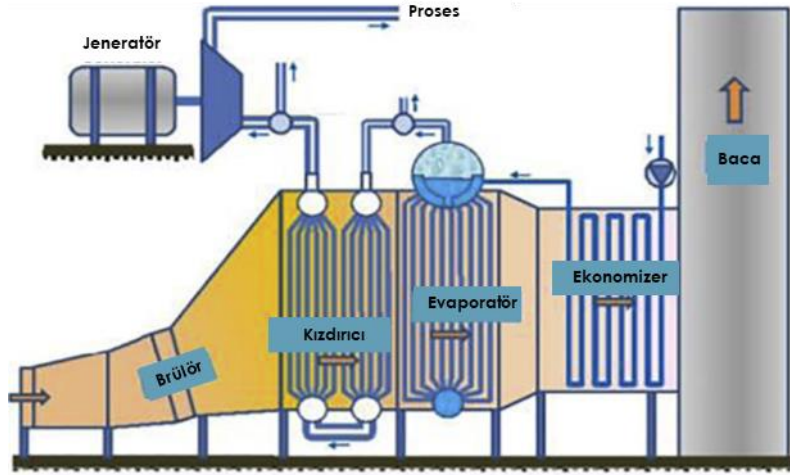
- **Mekan ısıtma:** Isı pompaları, alan ısıtma için dahili veya harici olarak kullanılabilen düşük ila orta sıcaklıklı ısı sağlar;
- **İşletme suyu ısıtma/soğutma:** Birçok endüstri yıkama, sanitasyon ve temizlik amacıyla 40°C ila 100°C sıcaklık aralığında sıcak suya ihtiyaç duyar;
- **Buhar üretimi:** 120°C ila 180°C sıcaklık aralığında endüstriyel proseslerde ve ısı dağıtımında tüketilen çok miktarda düşük basınçlı buhar. Yüksek sıcaklıklı ısı pompaları 150°C'ye kadar buhar üretebilir.
- **Kurutma prosesleri:** Isı pompaları, düşük ve orta sıcaklıklarda (maksimum 95°C) endüstriyel nem alma ve kurutma işlemlerinde kullanılır. Başlıca uygulamalar, kağıt hamuru ve kağıdın, çeşitli gıda ürünlerinin, orman ürünlerinin, tozların, farmasötik malzemelerin vb. kurutulmasıdır.
- **Buharlaştırma ve damıtma prosesleri:** Buharlaştırma ve damıtma, enerji yoğun süreçlerdir. Kimya ve gıda endüstrilerinde ısı pompaları kurulur.

Isı geri kazanım buhar kazanı (IGKBK)

Isı geri kazanım buhar kazanı (IGKBK), bir elektrik üretim tesisinin egzozundan atık ısıyı geri kazanmak için kullanılan karmaşık bir sistemdir. IGKBK ayrıca fabrikada proses ısıtmasında veya elektrik üretmek üzere buhar türbinini çalıştırmada kullanılacak buhar üreterek genel verimliliği artırmak amacıyla üretim proseslerinin egzozundan kaynaklanan atık ısıyı geri kazanabilir.⁸⁰ Tipik bir ısı geri kazanım buhar kazanının bileşenleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.

⁷⁹ Kaynak: Voltlab

⁸⁰ K.C. Haug, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi – Enerji ve Proses Mühendisliği Bölümü, Trondheim, 2016.

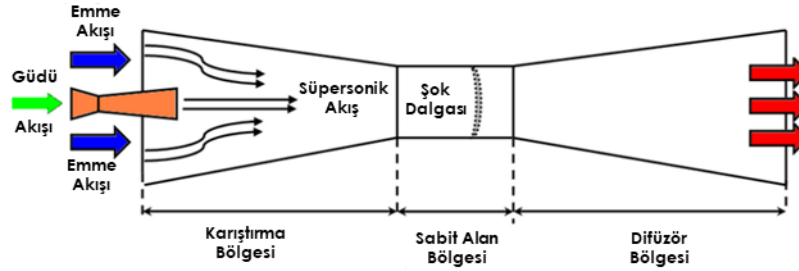


Şekil 5-15: Tipik Isı Geri Kazanım Buhar Kazanı Bileşenleri

Sistem, suyu buhara dönüştürmek için buharlaştırıcı, kızdırıcı, ekonomizer ve buhar haznesi gibi çeşitli ısı geri kazanım bölümlerinden oluşmaktadır. IGKBK'de ayrıca üçlü basınç sistemi (yüksek basınç, yeniden ısıtma basıncı veya orta basınç ve düşük basınç) bulunur. Buhar üretiminde IGKBK kullanımıyla %75-85 verimlilik oranına ulaşılabileceği raporlanmıştır.⁸¹

Termo-kompresör

Termo-kompresörün ana bileşenleri nozul, emme ve karıştırma odacığı ve yayındırıcıdır. Çalışma sırasında yüksek basınçlı buhar, buhar odasına girer ve hız artarken basıncın düştüğü buhar nozulundan geçerken genişler. Daha sonra buhar nozuldan çıkar ve nozul çıkışında buhar maksimum hıza ve minimum basınca ulaşır. Aşağıdaki şekilde bir termo-kompresörün şematik bir görünümü gösterilmektedir.



Şekil 5-16: Termo-Kompresörün Şematik Görünümü⁸²

Termo-kompresörlerin avantajları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Buhar üretim verimliliğini artırır ve enerji maliyetlerini azaltır.
- Basit, kompakt ve hafif yapıya sahiptir, bu nedenle boru hattına monte edilmeleri kolaydır ve baş üstü kurulumla olanak tanırırlar.

⁸¹ V. Ganapathy, Heat Recovery Steam Generators, 2017

⁸² ResearchGate

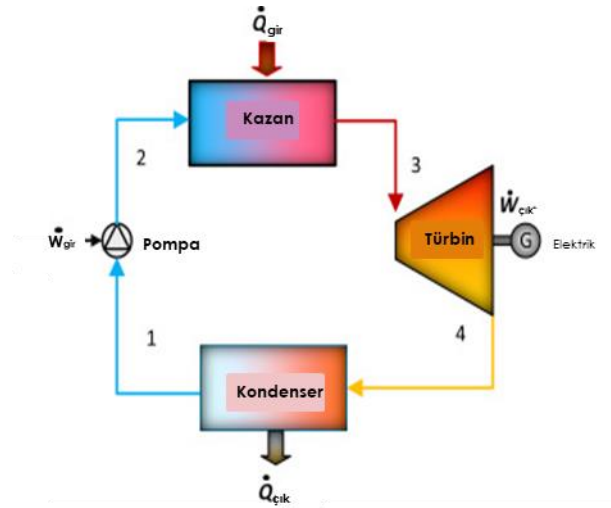
- Sermaye ve işletim maliyetleri düşüktür.
- Yüksek güvenilirli çalışır (hareketli veya döner parça bulunmaz).
- Bakım maliyeti düşüktür.
- Tehlikeli alanlar için uygundur.

Atık ısı geri kazanımı için kullanılan termodinamik çevrimler

Atık ısıdan güce, mevcut bir proses tarafından reddedilen ısıyı yakalama ve bu ısıyı elektrik üretme için kullanma prosesidir. Genel olarak, atık ısıyı kullanmak için en ucuz seçenek, bu enerjiyi yerinde bir termal proseste yeniden kullanmaktır. Başka bir termal proses için atık ısı akışından enerji geri kazanımı mümkün değilse, atık ısı geri kazanım sistemi ekonomik olarak cazip bir seçenek olabilir. Yaygın olarak kullanılan teknolojiler şunlardır:

a) Buhar Rankin Çevrimi

Rankin çevrimi, ısıyı mekanik enerjiye çeviren termodinamik bir çevrimdir. Buhar Rankin çevrimi, aşağıda gösterildiği gibi, kazan (ısı değiştirici), buhar türbini, yoğuşturucu (ısı değiştirici) ve pompa olmak üzere dört ana aygıttan oluşan ana güç üretim çevrimlerinden biri olarak bilinir.



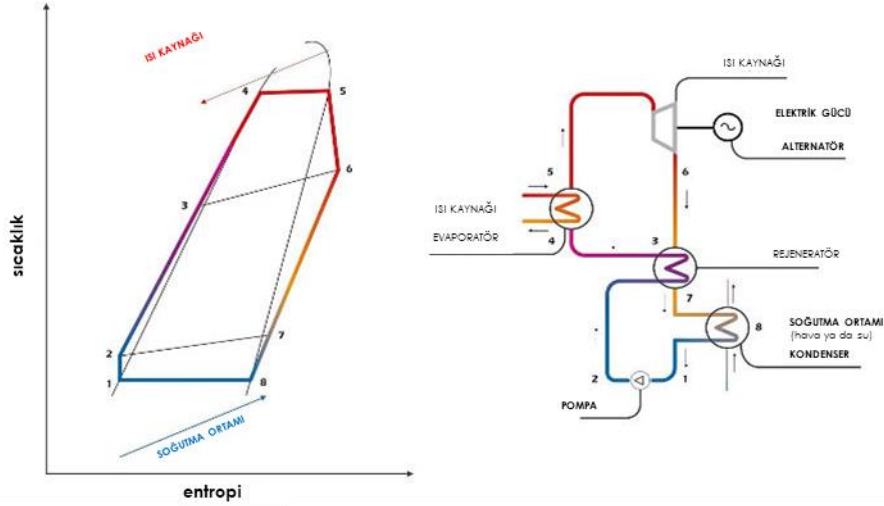
Şekil 5-17: Buhar Rankin Çevrimi⁸³

b) Organik Rankin çevrimi (ORC)

ORC'nin prensibi, termal enerjiyi mekanik enerjiye ve son olarak bir elektrik jeneratörü aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürmek için geleneksel bir buhar türbini olarak çalışan bir turbo jeneratöre dayanmaktadır. ORC sistemi, sudan buhar üretmek yerine, moleküler kütlesi sudan daha fazla olan organik bir akışkanı buharlaştırır, bu da türbinin daha yavaş dönmesiyle, daha düşük basınçlarla ve metal parçalarda ve kanatlarda aşınma olmamasıyla sonuçlanır.

⁸³ Kaynak: Science Direct

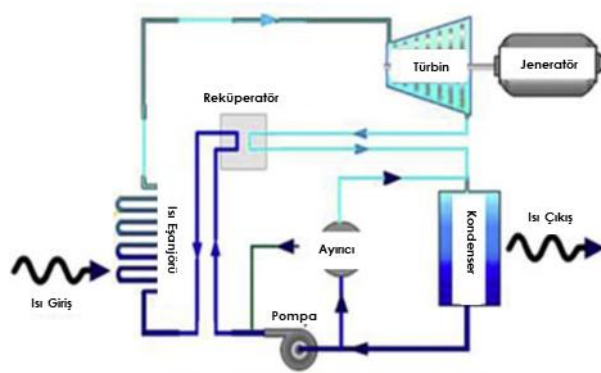
Aracı akışkan olarak organik bir akışkanın kullanılması, sistemi düşük dereceli atık ısıdan yararlanmaya ve jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisi uygulamaları gibi enerji kaynaklarını kullanarak elektrik üretimine uygun hale getirir. Atık ısı geri kazanım prosesleri için ORC kullanımı düşünülüyorsa, optimum aracı akışkan seçimi önemli bir husustur. Bir tesisin toplam verimliliği, aracı akışkanın ve çevrim operasyonunun uygun seçimi sayesinde yaklaşık %6 oranında artırılabilir ve yakıt tüketimi %13 oranında azaltılabilir.⁸⁴ Tipik bir ORC'nin basit bir görünümü aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.⁸⁵



Şekil 5-18: Tipik ORC Şeması - Turboden

c) Kalina çevrimi

Kalina çevrimi, elektrik üretmek için kapalı bir çevrimde aracı akışkan olarak amonyak ve su karışımı kullanan modifiye edilmiş Rankin çevrimidir. Bu sistem genellikle buhar ve güç üretmek için Rankin çevriminin diğer bileşenlerine ek olarak bir reküperatörden ve bir ayırıcıdan oluşur. Sistem aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.⁸⁶



Şekil 5-19: Reküperatör ve Ayırıcıdan Oluşan Kalina Çevrimi

⁸⁴ S. Douvartzides, I. Karmalis, Working fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) exhaust heat recovery of an internal combustion engine power plant, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016

⁸⁵ Coepro-consultores E Engenheiros Projectistas Lda, Lisboa, 2017

⁸⁶ Heat Transfer Research & Development Ltd., Waste or unused energy recovery for power generation, 2017

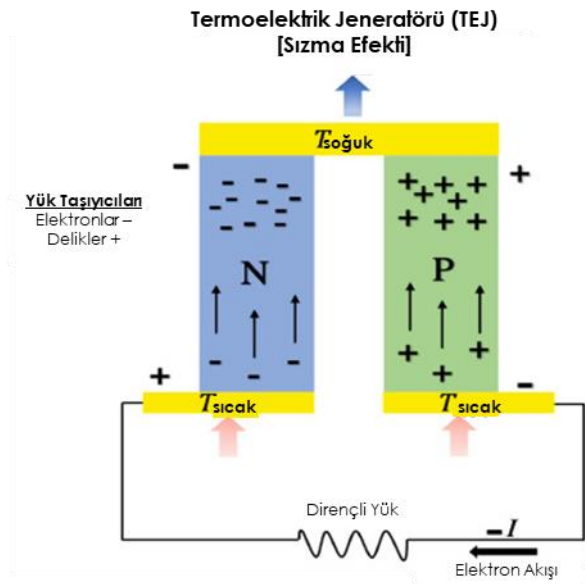
Genel olarak Kalina çevrimi, geleneksel buharlı güç üretim teknolojilerine göre %10-15 daha fazla güç üretir.

Doğrudan enerji dönüşümü aygıtı

Doğrudan atık ısıdan elektrik üreten sistemler de mevcuttur ve bunlar, elektrik enerjisi üretmek için ısıyı mekanik enerjiye dönüştürme ihtiyacını ortadan kaldırırlar. Bu teknolojiler, elektrik üretimi için termoelektrik, piezoelektrik, termiyonik ve termo fotovoltajik (TFV) aygıtların kullanımını içerir.

a) Termoelektrik üretimi (TÜ)

Seebeck jeneratörü olarak da bilinen termoelektrik jeneratör (TEJ), bir ısı kaynağından üretilen ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrikli aygıttır. Aşağıdaki şekilde basit bir çalışma şeması gösterilmektedir.



Şekil 5-20: Termoelektrik Üretimi Şeması⁸⁷

TEJ'de "Isılçift pil" adı verilen kapalı bir termoelektrik modül bulunur ve bir dizi yarı iletken içerir. Isılçift pildeki sıcaklık farkı, soğutucu taraf (yani metalik yüzey) boyunca akan bir DC akımı oluşturur. Sıcak taraf ile soğuk taraf arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyük olursa üretilen elektrik gücü de o kadar büyük olur. TEJ sistemleri otomotiv, medikal, endüstriyel, petrol, gaz, madencilik ve telekomünikasyon dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde uygulanabilir.

b) Piezoelektrik enerji üretimi

Piezoelektrik güç üretimi, piezo malzemeye uygulanan küçük basınç farkları aracılığıyla düşük sıcaklıktaki ısı enerjisini doğrudan elektrığe dönüştürme işlemidir. Isı geri kazanımı için piezoelektrik cihazlar, ince film zarlardan yapılmıştır ve salınımlı gaz genişlemesi gibi ortam titreşimini elektrığe dönüştürerek çalışırlar.

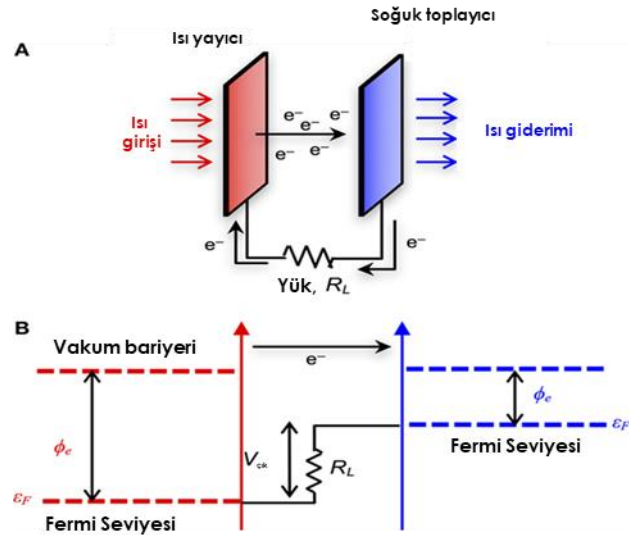
⁸⁷ Alferd: "Applied Thermoelectric Solutions"

Endüstriyel atık ısı uygulamaları için bu teknoloji laboratuvar geliştirme aşamasındadır. Bu sistemleri geliştirmeye yönelik araştırmalar, büyük ölçüde piezoelektrik malzeme özelliklerinin iyileştirilmesine dayanır. Piezoelektrik jeneratörlerin atık ısı geri kazanımı için ticarileştirilmesinin önündeki ana engeller verimlilik, güvenilirlik ve yüksek maliyettir.

c) Termiyonik güç jeneratörü

Termiyonik güç dönüştürücü olarak da adlandırılır ve ilk önce başka bir enerji biçimine dönüştürmek yerine, termiyonik emisyon kullanarak ısıyı doğrudan elektriğe dönüştürmek için kullanılır. Aygıt iki elektrottan oluşmaktadır. Elektrotlardan biri (ısıtma plakası), termiyonik elektron salıcı olmasını sağlamak için yeterince yüksek bir sıcaklığa yükseltilir. Diğer elektrot (kollektör) salınan elektronları alır ve önemli ölçüde daha düşük bir sıcaklıkta çalışır. Elektrotlar arasındaki boşluk normalde düşük basınçta buhar veya gazla doldurulur (bkz. aşağıdaki şekil).

Isıl enerji kimyasal, güneş enerjisi veya nükleer kaynaklardan sağlanabilir. Termiyonik dönüştürücüler, hareketli parçası olmayan katı hal aygıtlarıdır. Yüksek güvenilirlik sağlayacak ve uzun süre kullanılacak şekilde tasarlanabilirler. Termiyonik enerji dönüşüm prosesi şeması aşağıda gösterilmiştir.

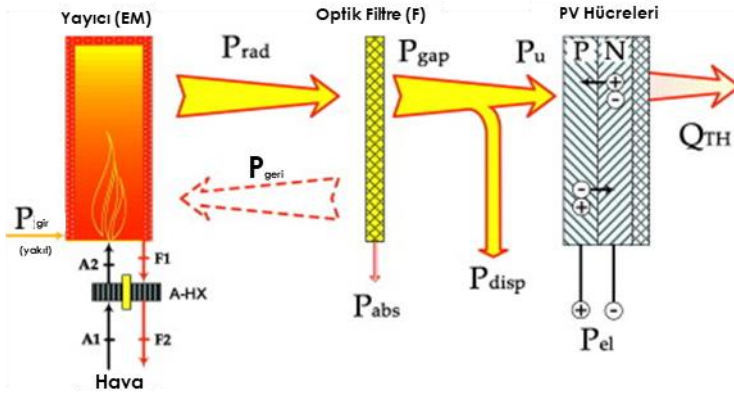


Şekil 5-21: Termiyonik Enerji Dönüşüm Prosesi Şeması ⁸⁸

d) Termo Fotovoltaik (TFV) jeneratör

Termo Fotovoltaik Jeneratör (TFV), bir ısı kaynağından (yani yakıtın yanması) yayılan radyasyonu fotovoltaik hücreler kullanarak elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. Ana bileşenlerin ve enerji akışlarının vurgulandığı aşağıdaki şekilde TFV şeması gösterilmektedir. TFV jeneratörü şeması aşağıda verilmiştir.

⁸⁸ David B. Go, John R. Haase, Jeffrey George, Jochen Mannhart, Robin Wanke, Alireza Nojeh and Robert Nemanich "Thermionic Energy Conversion in the Twenty-first Century: Advances and Opportunities for Space and Terrestrial Applications"



Şekil 5-22: TFV Jeneratör Şeması⁸⁹

TFV jeneratör genel olarak, bir ısı kaynağı, bir salıcı (EM), bir filtre (F) ve bir dizi fotovoltaik hücreden (FH) oluşur. Bu enerji sisteminin ana avantajları şu şekildedir:

- yüksek yakıt kullanım faktörü (ısı kayıplarının büyük bir kısmının geri kazanılmasını sağlayan ve TFV'nin bileşik ısı ve güç sistemi olarak kullanılmasını mümkün kılan aygıtlar sayesinde sistem kayıpları oldukça azdır)
- düşük gürültü seviyeleri (hareketli parçaların olmaması nedeniyle)
- bakım kolaylığı (yaygın ev tipi kazanlara benzer)
- büyük yakıt esnekliği (bir TFV sisteminin ısı kaynağı doğalgaz, petrol, kok, belediye katı atıkları, nükleer yakıtlar vb. ile sağlanabilir).

Ancak FV hücrelerin çalışma sıcaklığı aralığı kısıtlıdır ve hücre sıcaklığı arttıkça verimleri düşer.⁹⁰ Bir TFV aygıtının verimliliği, salıcıdan yayılan radyasyona ve ısı aktarımına ve jeneratörün düzenine bağlı olarak %1 ila %20 arasında değişir.⁹¹

Düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımının zorluk ve fırsatları

Genel olarak, atık ısının geri kazanılması sıcaklıklar orta ve yüksek aralıkta olduğunda daha uygulanabilir ve daha kolaydır. Ancak çoğu endüstriyel atık ısı bu kategoriye girdiğinden, düşük sıcaklık aralığında atık ısının geri kazanılmasına yönelik fırsatlar da oldukça fazladır.

Düşük sıcaklıktaki bir prosesten kaynaklanan atık ısı yakalanır, bir ısı değiştiriciyle aktarılır ve bir prosesin ön ısıtması veya elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı için taşınabilir membran kondenser, doğrudan ve dolaylı temaslı yoğuşma geri kazanımı gibi teknikler kullanılmaktadır.

a) Doğrudan ve dolaylı temaslı yoğuşma geri kazanımı

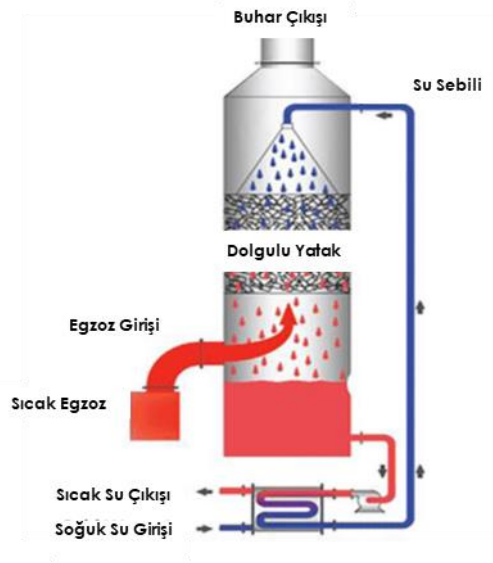
Doğrudan temaslı yoğuşma geri kazanım ünitesi, evsel ve ön ısıtma amaçlı kullanımlar için sıcak su üretmek üzere atık egzoz gazının soğutulmuş su ile karıştırılmasına dayanır (bkz. aşağıdaki şekil).⁹²

⁸⁹ C. Ferrari, F. Melino, Thermo photovoltaic generator development, Energy Procedia, 2014

⁹⁰ L.D.F. Bouzid, Performance evaluation of a GaSb thermophotovoltaic converter, Revue des Energies Renouvelables, 2012.

⁹¹ Comsol Inc, Thermo-Photo-Voltaic Cell, Stockholm, 2017

⁹² Bionomic Industries Inc., "Direct Contact Heat Exchanger System, Bionomic Industries Inc., Mahwah, 2017.



Şekil 5-23: Doğrudan Temaslı Yoğuşma Geri Kazanım Ünitesinin Şematik Görünümü

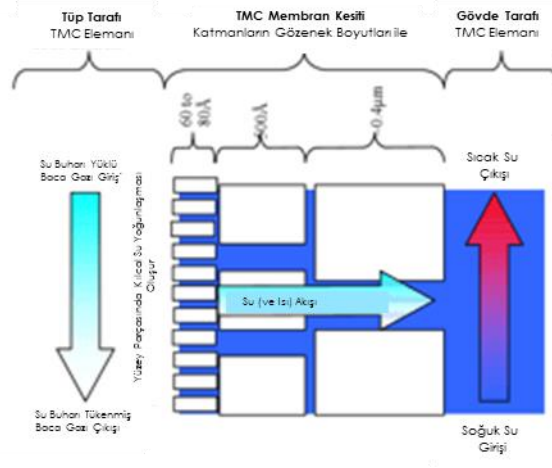
Sistem, bir su dağıtıcı, egzoz giriş ağızı, egzoz çıkış ağızı ve sıcak su çıkış ağızı içeren bir doğrudan karışım ısı değiştirici kullanır. Baca egzoz gazı ve su, sırasıyla ısı değiştiricinin altından ve üstünden ters akış yönlerinde hareket eder. Böylece, atık ısı, daha sonra ısı değiştiricinin alt kısmında depolanan soğuk suya aktarılır. Bu sistemin bir dezavantajı, ayırıcı duvarın olmaması nedeniyle baca gazındaki parçacıkların suya karışmasıdır.

Öte yandan, dolaylı temaslı yoğuşma geri kazanımı ise, asidik yoğuşma çökmesinden kaynaklanan korozyonu en aza indirmek için gelişmiş malzemelerden (örn. Teflon, cam ve paslanmaz çelik) yapılmış bir gövde borulu ısı değiştiriciden oluşur. Sistem, egzoz gazlarından kaynaklanan ısıyı ısı değiştiricinin borularından akan soğuk suya aktarır. Bu sistem, baca gazı ve suyun çapraz kirlenmesini ortadan kaldırma avantajı sağlar ve bir prosesin filtresi olarak çalışacak şekilde tasarlanabilir.

b) Taşınmalı Membran Kondenser (TMK)

Taşınmalı membran kondenser, membranlı ısı değiştirici olarak da bilinir. TMK, yakın zamanda araştırılan ve ısı değiştiriciler ile membranların avantajlarını bir araya getiren yenilikçi bir teknolojidir ve hem kütle hem de enerji aktarımını kontrol etmek için benzersiz bir araç sunar. TMK'nın basit bir şeması aşağıda gösterilmiştir.⁹³

⁹³ Dexin Wang - Yayımlanma tarihi: 31 Mart 2012, Engineering, Environmental Science, Physics



Şekil 5-24: TMK Şeması

Bu teknoloji sayesinde kalsinatörlerden, kireç yapma fırınlarından, geri kazanım kazanlarından ve temizleme sonrası proseslerden düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanılabilir. TMK'nin avantajları arasında kompakt tasarım, korozyon direnci, esnek tasarım, su geri kazanımı ve maliyet etkinliği yer alır.

5.3 Sonuçlar

Atık ısı, bir üretim tesisinin tamamında bulunan çeşitli endüstriyel sistemlerden üretilir. Çoğu endüstri için en büyük atık ısı kaynakları, proses ısıtmasında brülörlerden kaynaklanan yüksek sıcaklıktaki gazlar gibi ısıtma sistemlerinden kaynaklanan egzoz ve baca gazları ve ısıtılmış hava; ısıl işlem fırınlarından, kurutuculardan ve ısıtıcılardan kaynaklanan daha düşük sıcaklıktaki gazlar ve ısı değiştiricilerden, soğutma sıvılarından ve gazlardan kaynaklanan ısıdır.

Isı kayıpları esas olarak yüksek sıcaklık, orta sıcaklık ve düşük sıcaklık aralıkları olarak sınıflandırılır ve atık ısı geri kazanım sistemleri her atık ısı aralığı için buna uygun şekilde belirlenir. Atık ısı, şirketin iç ihtiyaçlarını, ısı talebini veya soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için absorpsiyonlu soğutucu sayesinde geri kazanılabilir. Ayrıca, termal şebekelere enjekte edilebilir ve yerel hanelere ve işletmelere dağıtılabilir ve/veya genellikle kurulumda kendi kendine tüketilen, şebekeden gelen elektriğin yerini alarak güç üretebilir.

Isı geri kazanım teknolojilerinin seçimi, büyük ölçüde ısı kaynağının uygunluk ve etkinlik açısından kalitesi, miktarı ve niteliği gibi temel faktörlere bağlıdır. Atık ısının yakalanması ve geri kazanılması için kullanılan ve esas olarak atık ısı geri kazanım ünitesi şeklindeki enerji geri kazanımlı ısı değiştiricilerden oluşan birçok farklı AIGK teknolojisi mevcuttur. Sanayide bir dizi tedarikçi tarafından sunulan çok çeşitli ısı geri kazanım ekipmanı kullanılmaktadır. Bu ekipmanın çoğu, belirli endüstriyel uygulamalar için tasarlanmıştır. Bunları sınıflandırmak için standart bir yöntem yoktur; çoğu durumda üreticiler özel tasarım uygulamaları sunar. Yaygın olarak kullanılan atık ısı geri kazanım sistemleri aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 5-7: Sıcaklık Aralığına Göre Yaygın Kullanılan AIGK Sistemleri

Düşük Sıcaklık	Orta Sıcaklık	Yüksek Sıcaklık
Birçok farklı tasarımlı konvektif reküperatör (metalik) Kanatlı borulu ısı değiştirici (ekonomizer) Su ve sıvı ısıtma için gövde borulu ısı değiştirici Isı pompası Temaslı su ısıtıcı Yoğuşturucu su ısıtıcı veya ısı değiştirici Metalik ısı tekerleği Isı borusu değiştirici	Birçok farklı tasarımlı konvektif reküperatör (metalik) Kanatlı borulu ısı değiştirici (ekonomizer) Su ve sıvı ısıtma için gövde borulu ısı değiştirici Self-rekuperatif brülör Buhar ya da sıcak yoğuşma suyu için atık ısı kazanı Yük-hammadde (konveksiyon bölümü) ön ısıtma Metalik ısı tekerleği Isı borusu değiştirici	Konvektif reküperatör (metalik) – çoğunlukla boru şekilli Radyasyon reküperatörü Rejeneratif brülör Isı geri kazanım kazanı Buhar türbini-jeneratör kaynaklı güç üretimi dahil atık ısı kazanı Yük ya da hammadde ön ısıtma Metalik ısı tekerleği (rejeneratif sistem)

Elektrik üretmek için atık ısı kullanan AIGK teknolojileri şunlardır:

- Buhar Rankin Çevrimi - Rankin çevriminin en yaygın örneği buhar Rankin çevrimidir (SRC). SRC sistemlerinde, aracı akışkan sudur ve türbini çalıştırmak için buhar oluşturulur.
- Organik Rankin Çevrimi (ORC) - ORC sistemleri, SRC sistemlerine benzer ancak tipik olarak daha düşük sıcaklıklarda kullanılır ve aracı akışkan su yerine bir hidrokarbon, hidroflorokarbon veya amonyaktır.
- Kalina Çevrimi - Kalina çevrimi, aracı akışkan (genellikle su ve amonyak) olarak ikili bir akışkan çiftinin kullanıldığı Rankin çevriminin bir varyasyonudur ve verimliliği SRC'den daha yüksektir.

Atık ısı geri kazanımı, enerji maliyetlerinden tasarruf ettirme potansiyeline sahiptir ancak bu teknolojilerin üretimi olumsuz yönde etkilemesi ihtimali söz konusuysa endüstriler AIGK teknolojilerini benimseme konusunda isteksiz olabilir. Riski azaltmak için AIGK teknolojilerinin vaka bazında kapsamlı şekilde değerlendirilmesi gerekir ancak dikkate alınması gereken birtakım genel kılavuzlar bulunmaktadır:

- Atık ısı kaynaklarının belirlenmesi ve atık ısı oluşumunun azaltılması. Bu, ısıtma sisteminin enerji kullanımını azaltmanın ve toplam termal verimliliğini artırmanın en uygun maliyetli ve en hızlı yoludur.
- Atık ısının ısıtma sisteminin kendisinde kullanıldığı durumlarda uygun ısı geri kazanım yöntemlerinin seçilmesi. Atık ısı geri kazanımı, aynı sistem içinde kullanılmak üzere bir proses ısıtma sisteminden kaynaklanan atık ısının kullanılmasıdır. Bu sayede ısı arz ve talebinin eşleşmesi ile ilgili sorunlar ortadan kaldırılacaktır. Isı geri dönüşümünün mümkün olmadığı durumlarda santralde AIGK düşünülmelidir. Yaygın örnekler;
 - düşük sıcaklıktaki proseslerde sıcak gazların kullanımı
 - tesiste kullanılan su veya temizleme sıvılarının ön ısıtılması
 - daha soğuk iklimlerde bulunan tesislerde mekan ısıtma için ısı kullanımı
 - atık ısı akışlarının büyük miktarlarda geri kazanılabilir ısı içerdiği buhar üretimi.
- Tesis içinde ısı kullanılmasının mümkün olmadığı veya yerinde elektrik kullanımının ekonomik olduğuna dayalı güçlü bir göstergenin olduğu durumlarda, buhar türbini jeneratör sistemleri veya Organik Rankin Çevrimi (ORC) sistemleri gibi diğer sistemler kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin kullanılması düşünülmelidir.
- Sıcaklık, akış oranları, atık gaz, kirleticilerin varlığı (katılar, sıvı buharlar ve diğer yoğuşabilir malzemeler) gibi atık ısı özelliklerinin ve bu özelliklerdeki değişikliklerin değerlendirilmesi.

- Atık ısı geri dönüşüm veya geri kazanım sisteminin genel ekonomisinin değerlendirilmesi.

AIGK teknolojilerinin uygulanması genel olarak büyük ölçüde sanayi alt sektörlerinin operasyonel verimlilik riski olmaksızın yatırım getirisi (enerji verimliliği yoluyla) sağlayabilecek teknolojilere yatırım yapma istekliliğine bağlıdır. Mevcut atık ısı teknolojilerinin fayda ve kısıtlılıkları aşağıdaki Tablo 5-8'de⁹⁴ verilmiştir.

Tablo 5-8: AIGK Teknolojilerinin Özet Tablosu

Teknoloji	Sıcaklık Aralığı	Faydalar	Kısıtlılıklar
Rejeneratif Brülör	YS	Yanma havasını önceden ısıtarak yakıt tasarrufu sağlar ve yanma verimini artırır.	Sistemin çalışması için ısı değişim ortamı ve birkaç kontrol valfi gibi ilave bileşenler gerekir.
Rekuperatif Brülör	YS	Brülör nozulu gövdesinden hem egzoz gazı hem atık ısı yakalanır ve nozuldaki daha fazla ısı üretilir.	Brülör ve nozulun, fırın gövdesine yerleştirilmesi gerekir ve bu kurulum ve fırında modifikasyon gerektirebilir.
Ekonomizer	DS – OS	Sisteme giren sıvıları ısıtmak veya ön ısıtmak için atık baca gazından düşük-orta sıcaklıktaki ısıyı geri kazanarak sistemin termal verimliliğini en üst düzeye çıkarır.	Asidik yoğunlaşma çökmesine dayanıklı olabilmesi için sistemin pahalı olabilen gelişmiş malzemelerden yapılmış olması gerekebilir.
Atık ısı kazanı	OS – YS	Sistem orta-yüksek sıcaklıktaki egzoz gazlarından kaynaklanan ısıyı geri kazanmak için uygundur ve çıktı olarak buhar üretmek için kullanılır.	Atık ısı, gerekli miktarda buharı üretmek için yeterli değilse, sistemde yardımcı yakıcıya veya art yakıcıya ihtiyaç duyulabilir.
Rekuperatör	DS – OS	Sisteme giren sıvıları ısıtmak veya ön ısıtmak için atık baca gazından kaynaklanan düşük-orta sıcaklıktaki ısıyı geri kazanarak sistemin termal verimliliğini en üst düzeye çıkarılır.	Asidik yoğunlaşma çökmesine dayanıklı olabilmesi için sistemin pahalı olabilen gelişmiş malzemelerden yapılmış olması gerekebilir.
Rejeneratör	OS – YS	Bu teknoloji, fırınlar ve kok fırınları gibi yüksek sıcaklık uygulamalarından ve kirli egzoz uygulamalarından kaynaklanan atık ısının geri kazanılması için uygundur.	Sistem boyut olarak çok büyük ve çok pahalıdır (yüksek sermaye maliyetleri).
Döner tip rejeneratör	DS – OS	Düşük-orta sıcaklık uygulamaları için kullanılır ve çok yüksek toplam ısı aktarımı verimliliği sağlama potansiyeline sahiptir.	Sistem, yapısal gerilmeler ve yüksek sıcaklıktan kaynaklanabilecek deformasyon ihtimali nedeniyle yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir.

⁹⁴ Hussam Jouhara*, Navid Khordehghah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech, Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou "WHR technologies and applications"

Teknoloji	Sıcaklık Aralığı	Faydalar	Kısıtlılıklar
Isı geri kazanım buhar kazanı (IGKBK)	YS	Sistem, fabrikada veya enerji üretiminde proses ısıtması için kullanılabilir. Buhar üreterek genel verimliliği önemli ölçüde artırmak için bir enerji üretiminin veya üretim tesisinin egzozundan kaynaklanan atık ısının geri kazanılmasında kullanılabilir.	Sistemin çalışması için birkaç bileşen gerekir ve ayrıca, geri kazanılan atık ısının kalitesinin iyileştirilmesi için ilave bir brülöre ihtiyaç duyulabilir. Öte yandan, sistem oldukça büyüktür ve alan inşasını gerektirir.
Levhalı ısı değiştirici	OS – YS	Yüksek sıcaklık ve basınç işletim sınırları bulunur ve çapraz bulaşmanın önlenmesi gereken durumlarda bir akışkandan diğerine ısı aktarımında kullanılır.	Sıcaklık ve yükteki sık değişim gibi parametrelerin incelenmesi gerekir. Bu parametrelere dayanarak, uygulama için ısı değiştiricinin yapısının bozulmasını önlemek için uygun bir değiştirici tasarımı seçilmelidir.
Isı borusu sistemleri	OS – YS	Isı boruları çok yüksek ısı iletkenliğine sahiptir, bu da pasif işletim içerdiklerinden, ısının uzun mesafelere aktarılmasında minimal sıcaklık düşüşü ve bakım gerektirmeyen uzun kullanım ömrü sağlar. Diğer ısı değiştirici türlerine göre işletim maliyeti daha düşüktür.	Isı değiştiriciden optimum performansın elde edilmesi için uygulama ve atık ısının sıcaklık aralığı temelinde uygun tasarım, malzeme, aracı akışkan ve fitil tipinin seçilmesi gerekir.
Termoelektrik üretim	OS – YS	Sistem doğrudan atık ısıdan elektrik üretir ve elektrik enerjisi üretmek için ısıyı mekanik enerjiye dönüştürme ihtiyacını ortadan kaldırır.	Sistem %2-5 gibi çok düşük verimliliğe sahiptir. Nanoteknolojideki güncel gelişmeler, %15 veya daha fazla elektrik üretim verimliliğine ulaşılmasını mümkün kılmıştır.
Piezoelektrik enerji üretimi	DS	Sistem düşük sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı için kullanılabilir ve salınımlı gaz genişmesi gibi ortam titreşimini doğrudan elektrığe dönüştürerek çalışır.	Sistemin verimliliği düşük, daha empedansı yüksektir, uzun vadede dayanıklı olması gerekir ve kurulum maliyetleri oldukça yüksektir.
Termiyonik üretici	YS	Aygıt, yüksek sıcaklıkta atık ısı geri kazanımı için kullanılır ve herhangi bir hareketli nesne kullanmadan iki ortam arasındaki sıcaklık farkı ile elektrik akımı üreterek çalışır.	Bu teknolojinin çalışması, yüksek sıcaklık uygulamaları ile sınırlı ve verimsizdir. Ancak verimliliği artırmak ve düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılmasını sağlamak için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur.
Termo fotovoltaik (TPV) jeneratör	DS – YS	Bu aygıtlar, ışığa enerjisini doğrudan elektrığe dönüştürmek için kullanılır ve diğer doğrudan enerji dönüşümü aygıtlarına göre daha yüksek verimliliğe sahiptir.	Ancak aygıtın işletim sıcaklığının kısıtlı olduğu görülmüştür ve sıcaklık arttıkça hücrelerin verimliliği düşer. Yüksek sıcaklık aralıklarına dayanıklı yüksek verimli FV hücreler de mevcuttur ancak bunlar pahalıdır ve sistem maliyetini yükseltir.
Isı pompası	DS – OS	Isı pompası, az miktarda enerji kullanarak ısıyı bir ısı kaynağından bir ısı emiciye aktarır ve toplam enerji verimliliğini artırmak için çeşitli kaynaklardan ısıyı geri kazanmanın ekonomik ve verimli bir alternatifidir. Isı pompaları, atık ısının sıcaklık ve kalitesini yükseltme kabiliyetleri sayesinde özellikle düşük sıcaklıkta AIGK için iyidir.	Bu sistemin kullanılabilmesi için önce kaynağı ve seviyesi temelinde atık ısıyı yakalama yöntemi analiz edilmeli ve bu doğrultuda uygun ısı değiştirici ve sistem kurulumu yapılmalıdır.

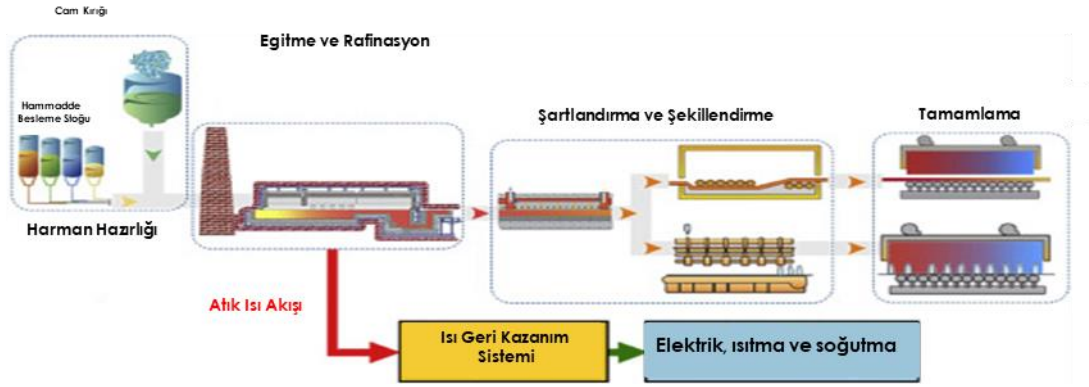
Teknoloji	Sıcaklık Aralığı	Faydalar	Kısıtlılıklar
Doğrudan temaslı yoğuşma geri kazanımı	OS – YS	Sistem, ayırma duvarı olmayan bir doğrudan karışım ısı değiştirici kullanır ve karışmaz sıvı- sıvı ve katı-sıvı veya katı-gazdan ısıyı aktarmak için kullanır.	Bu tip değiştiricide ayırıcı duvar olmaması nedeniyle baca gazından gelen partiküller su ile karışabilir, bu da ısı değiştiriciden çıkmadan önce filtreleme gerektirebilir.
Dolaylı temaslı yoğuşma geri kazanımı	OS – YS	Bu sistem, baca gazı ve suyun çapraz kirlenmesini ortadan kaldırma avantajı sağlar ve bir prosesin filtresi olarak çalışacak şekilde tasarlanabilir.	Sistem, asidik yoğuşmadan kaynaklanan korozyonun minimize edilmesi için gelişmiş malzemeden yapılması gereken ve bu nedenle pahalı olabilen bir ısı değiştiriciden oluşur.
Taşımalı Membran Kondenser	OS – YS	Kılcal yoğuşma kanalı yoluyla doğrudan egzoz gazından sıcak suyu sistem besleme suyuna çekerek ve geri vererek çalışır. Su, doğrudan baca gazından değil, bir membran kanalından çekildiğinden, geri kazanılan su kirlenmez ve filtreleme gerektirmez.	Sistem bir kılcal yoğuşma kanalı kullanır, bunun da asidik yoğuşmadan kaynaklanan korozyonun minimize edilmesi için gelişmiş malzemelerden yapılması gerekebilir ve pahalı olabilir.

5.4 Cam Sanayii

Cam imalatı enerji yoğun bir sektördür; enerji, cam yapımında en büyük işletme maliyetlerinden biridir. Cam endüstrisindeki başlıca enerji kaynakları akaryakıt, doğalgaz ve elektriktir. AB, dünyanın en büyük cam imalatçılarındandır. 2020 yılında AB’de cam imalatı 36,8 milyon tona ulaşmıştır.⁹⁵ Cam sektörü beş alt sektörden oluşur: a) Cam ambalaj (%60,4), düz cam (%29,2), cam ev eşyası (%3,2), elyaf (%5,3) ve özel cam (%2,1) .

Cam imalatı prosesi hammadde seçimini, parti hazırlamayı, ergitme ve saflaştırmayı, şartlandırmayı, biçimlendirmeyi ve art işlemeyi içerir. Cam yapımında kullanılan başlıca hammaddeler silis kumu, soda külü, dolomit ve kalkerdir. Bir diğer yaygın cam bileşeni ise “cam kırığı”dır (geri dönüştürülmüş cam). Cam imalatı için proses adımları aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Ergitme ve saflaştırma, cam imalatının en enerji yoğun süreçleridir.

⁹⁵ Glass Alliance Europe



Şekil 5-25: Cam İmalatı Akış Şeması⁹⁶

Cam sanayiinde en önemli enerji tüketen alanların bir özeti Tablo 5-9'da⁹⁷ sunulmuştur

Tablo 5-9: Cam Sanayiinde Enerji Tüketen Alanlar

Proses Adımı	Kullanılan Güç	% Enerji
Parti hazırlama	Elektrik kovalı elevatörler, konveyörler ve karıştırıcılar için kullanılır.	%4
Ergitme/Safılaştırma	Doğalgaz, akaryakıt ve oksijen kullanılır.	>%75
Şartlandırma	Gazla çalışır veya elektrikle ısıtılır	%6
Biçimlendirme	Elektrik kullanılır. Biçimlendirme makinelerinin tahrik gücü, sıkıştırılmış havadan gelir.	%4
Tavlama (Lehr)	Cam ürünleri yüksek sıcaklığa ısıtmak için gaz veya elektrik kullanılır.	%2

Alt sektör (ambalaj, düz, cam elyafı ve cam ev eşyası) başına ortalama spesifik enerji kullanımı ve Alman cam endüstrisi için cam yapımındaki ana proses adımları aşağıdaki Tablo 5-10'da gösterilmektedir.⁹⁸

Tablo 5-10: Ana Proses Adımlarının Ortalama Spesifik Enerji Kullanımı

Proses Adımı	Ortalama spesifik enerji (GJ/ton)			
	Cam Ambalaj	Düz Cam	Cam Elyaf	Cam Ev Eşyası
Parti hazırlama	0,17	0,04	0,20	0,17
Ergitme/Safılaştırma	5,40	7,70	5,40	13,2
Biçimlendirme	1,03	0,13	0,26	2,25
Tavlama/Bitim	0,90	3,86	0,85	0,88
Toplam	6,60	11,73	6,71	16,5

Toplam sanayii maliyetlerinin %20'sinden fazlasını oluşturan enerji, cam sanayiinde önemli bir maliyettir. Tüm enerjinin yarısı ergitme fırınında tüketilir ve birincil girdinin %80'i boşa harcanır, bu da iyileştirme alanının geniş olduğu anlamına gelir.

Modern cam ergitme fırınlarında halihazırda yerleşik ısı geri kazanım sistemleri (rejeneratif ısı değiştiriciler) bulunmaktadır. Oksijenli yanma fırını, rejeneratörlü ergitme fırınına alternatif teşkil edebilir;

⁹⁶ ScienceDirect Topics

⁹⁷ Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı - Cam Endüstrisi için Enerji Verimliliği İyileştirmeleri ve Maliyet Tasarrufu Fırsatları

⁹⁸ Leisin M. Branchensteckbrief der Glasindustrie; Ağustos 2019.

yakma havayla değil, saf oksijenle yapılır. Bu durumda, egzoz gazları daha yüksek sıcaklığa ve daha düşük hacme sahip olacaktır ki bu daha az nitrojen oksit emisyonuna neden olur ve atık ısı geri kazanımı potansiyel olarak daha kolaydır ancak oksijen üretiminin maliyet ve çevresel etkisinin dikkatli şekilde değerlendirilmesi gerekir.

Cam sanayii için önerilen atık ısı geri kazanım sistemleri arasında parti/cam kırığı ön ısıtma, elektrik üretimi, buhar veya sıcak su üretimi, termokimyasal geri kazanım ve doğalgaz ön ısıtma yer almaktadır. Bir cam fabrikasında enerji dengesinin değerlendirilmesi, 450-500°C'lik ısı kaynağı sıcaklık seviyesi için ORC sistemleri ve su buharı Rankin çevrim sistemlerinin %15-19'luk elektrik verimliliği sağladığını göstermiştir.⁹⁹

Doğalgazın yaklaşık 350-400°C sıcaklıkta ön ısıtılması halihazırda birkaç endüstride, özellikle oksijenli yanma fırınlarında uygulanmaktadır ve bu uygulamanın kurulumu %3 mertebesinde spesifik enerji tasarrufu sağlamaktadır.¹⁰⁰

Geri kazanılan ısı aşağıdakiler için kullanılabilir:

- dahili termal kullanımlar (örneğin hammaddelerin ve/veya yakıtın ön ısıtılması, proses buharının üretilmesi veya yardımcı sistemler, ısıtma odaları için);
- yakınlarda kullanıcı varsa daha fazla yatırımla harici kullanımlar (örn. orta ve düşük sıcaklıktaki diğer endüstriyel kullanıcılar veya bölgesel ısıtma/soğutma)
- Organik Rankin Çevrimi (ORC) gibi teknolojiler kullanılarak genellikle tesisin kendisinde tüketilen elektrik üretimi

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-D'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

- Tesis, baca gazının atık ısı ile ORC ile elektrik üretimi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 4,5 yıl olarak hesaplanmıştır.
- Tesis, son baca gazından ısı geri kazanımı için atık ısı kazanımı halihazırda uygulamaya koymuştur. Ayrıca, cam fırınındaki yanma havası, cam fırını refrakterleri vasıtasıyla ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır.

5.5 Çimento Sanayii

Çimento sanayii, küresel enerji kullanımının %7'sini (10,7 EJ) oluşturan üçüncü en büyük endüstriyel enerji tüketicisidir.¹⁰¹ Bu da küresel enerji tüketiminin %30-40'ını oluşturmaktadır. Elektrik, enerji karışımının yaklaşık %12'sini ve enerji maliyetlerinin %50'sini temsil etmektedir. Üretilen her bir ton çimento, çimento tipine ve kullanılan prosese bağlı olarak 60 ila 130 kg akaryakıt veya eşdeğeri ve yaklaşık 110 kWh elektrik gerektirmektedir.¹⁰² Tipik bir iyi donanımlı çimento fabrikası, bir ton çimento üretmek için yaklaşık 4,0 GJ enerji tüketirken, dünyadaki çimento üretimi yılda yaklaşık 3,6 milyar tondur.¹⁰³

Çimento üretim prosesi iki ana adımdan oluşur: cüraf yapımı (bu prosese piro-proses adı verilir) ve son taşlama veya çimento yapımı (bkz. aşağıdaki şekil).

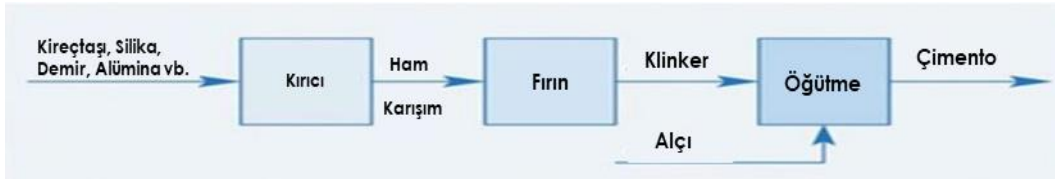
⁹⁹ Zourou, K., vd., *Energetic and Exergetic Assessment of Waste Heat Recovery Systems in Glass Industry*, 2013)

¹⁰⁰ van Limpt, H., vd., *Energy Recovery from Waste Heat in the Glass Industry & Thermo Chemical Recuperator*, 2013

¹⁰¹ IEA Teknoloji Yol Haritası – Çimento Endüstrisinde Düşük Karbona Geçiş, 2018

¹⁰² CEMBUREAU

¹⁰³ Atmaca A, Yumrutaş R, "Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry" 2014



Şekil 5-26: Çimento Üretim Prosesi

Çimento fabrikalarında toplam enerji tüketiminin %90'ı cüruf yapımı kaynaklıdır. Cüruf yapımı, hem makineleri çalıştırmak için elektriğe hem de yüksek sıcaklıkta bir prosesle (piro-proses) hammaddeleri cürufa dönüştürmek için yakıta ihtiyaç duyar. Cüruf yapımı için iyi uygulama, spesifik elektrik tüketiminin 22,0 kWh/t cüruf olarak tahmin edildiğini, yakıt kullanımının ise 2,85 GJ/t cüruf kadar düşük olduğunu göstermektedir.¹⁰⁴

Cüruf, çimento haline getirilmek için az miktarda alçı ve diğer bileşenlerle birlikte ince bir toz halinde öğütülür. Elektrik tüketimi 90 ila 120 kWh/t çimento arasında değişirken, cürufun ısısal enerji yoğunluğunun 3,4-3,5 GJ/t olduğu tahmin edilmektedir.¹⁰⁵

Hammadde kalitesine, hammadde boyutuna ve mineralojik yapıya bağlı olarak, 1 kg cüruf yapmak için teorik olarak yaklaşık 390-420 kcal ısı gerekir. Ancak sağlanan ısının sadece %58'i kullanılır ve kalan %42'si ısı kaybı olarak atmosfere verilir. Cüruf soğutucudan ve fırın ön ısıtma sisteminden kaynaklanan fırın egzoz akışları, güce dönüştürülebilen faydalı termal enerji içerir. Cüruf soğutucular genellikle büyük miktarlarda sıcak havayı (250 ila 340°C) doğrudan atmosfere bırakır. Ön ısıtıcı egzozlarından ve cüruf soğutuculardan kaynaklanan atık ısı geri kazanılabilir ve tesisdeki düşük sıcaklıklı ısıtma ihtiyaçlarını sağlamak, şebekeden satın alınan gücün bir kısmını dengelemek üzere güç üretmek veya sahadaki yakıt tüketiminden kaynaklı otoprodüktörün ürettiği güç için kullanılabilir.

Atık ısı geri kazanımı, bir çimento fabrikasının genel elektrik ihtiyacının %30'unu karşılayabilir¹⁰⁶ ve aşağıdaki avantajları sunar:

- Satın alınan güç tüketimini azaltır, bu da işletme maliyetlerini azaltır.
- Gelecekteki elektrik fiyat artışlarının etkisini azaltır.
- Tesis güç güvenilirliğini artırır.
- SG emisyonlarını azaltarak tesisin spesifik enerji tüketimini düşürür.

Üç adet birincil atık ısı geri kazanımlı güç üretim sistemi mevcuttur: Rankin çevrimi, Organik Rankin çevrimi ve Kalina çevrimi. Bu ısı geri kazanım sistemleri, çimento sektöründe uygulanmaya uygundur ancak performansları baca gazının akış hızına, baca gazının atık ısı geri kazanım sistemine giriş sıcaklığına ve gazdaki toz konsantrasyonuna bağlıdır. Diğer ekonomik göstergeler olumlu olsa bile endüstri tarafından genellikle kabul edilenden daha uzun olan geri ödeme süresi, bu sistemlerin yaygınlaşmasında sınırlayıcı bir faktördür.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-A'ya bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

¹⁰⁴ Seçilmiş endüstriyel sektörler için Dünya İyi Uygulama Enerji Yoğunluğu Değerleri

¹⁰⁵ IEA Çimento Takip raporu, Kasım 2021

¹⁰⁶ LBNL 2008, EPA 2010

Çimento-1

- Tesis, soğutma bacası ve ön ısıtma bacasının baca gazı atık ısısından elektrik üretimi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,9 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, soğutma bacasının baca gazından buhar üretimi için atık ısı kazanını halihazırda devreye almıştır. Ayrıca, ön ısıtma bacasındaki atık ısı, nem alma prosesi için kömür değirmeninde ve hammadde ünitesinde kullanılmaktadır.

Çimento-2

- Tesis, soğutma bacası ve ön ısıtma bacasının baca gazı atık ısısından elektrik üretimi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, soğutma bacasının baca gazından buhar üretimi için atık ısı kazanını halihazırda devreye almıştır. Ayrıca, fırın ön ısıtma bacasındaki atık ısı kömür değirmeninde nem alma prosesinde, hammadde ünitesinde; fırın soğutma bacasındaki atık ısı ise çimento değirmeninde nem alma prosesi için kullanılmaktadır.

Çimento-3

- Tesis, soğutma bacası ve ön ısıtma bacasının baca gazı atık ısısından elektrik üretimi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, çimento değirmeninde fırın soğutma bacasından kurutma prosesi için halihazırda sıcak gaz kullanmıştır. Ayrıca, aynı bacanın atık ısısından ekonomizer uygulanarak sıcak su kullanılmaktadır. Buna ilaveten, fırın ön ısıtma bacasındaki atık ısı kömür değirmeninde nem alma prosesinde, hammadde ünitesinde; fırın soğutma bacasındaki atık ısı ise farin değirmeninde nem alma prosesi için kullanılmaktadır.

5.6 Demir-Çelik Sanayii

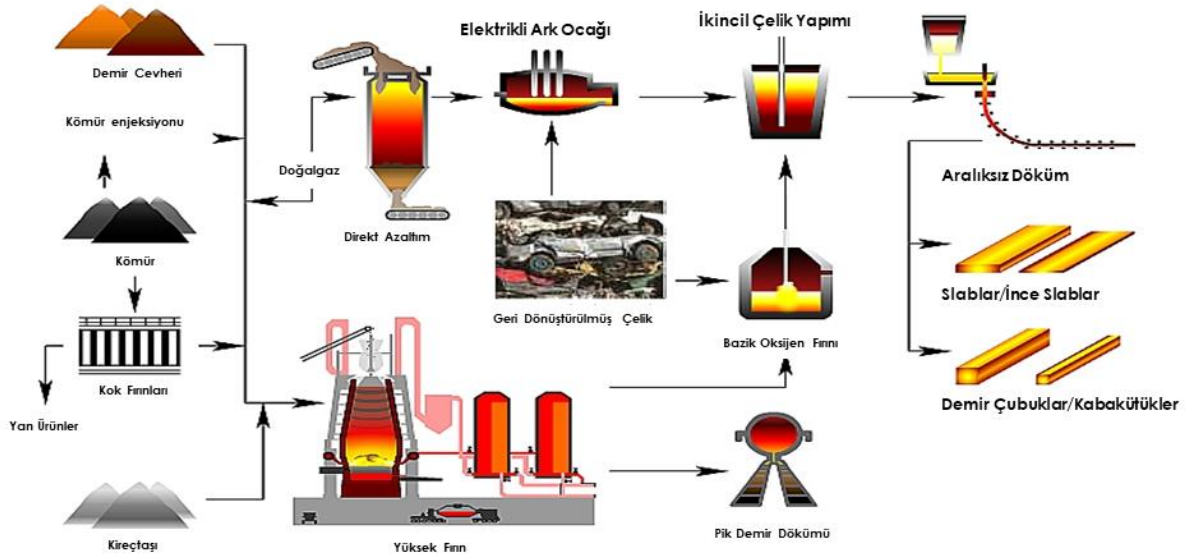
Demir-çelik imalat sanayii, 2020 yılında toplam küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %7'sini oluşturan, dünyadaki en enerji ve karbon yoğun endüstrilerden biridir.¹⁰⁷ 2019 yılında küresel ham çelik üretimi 1,82 milyar ton olmuştur.

Çelik yapımında üç proses kullanılır. Yüksek fırın ve bazik oksijen fırını teknolojisi, Avrupa'nın çelik üretiminin yaklaşık %54'ünü oluşturmaktadır. Hurda çeliğin elektrik ark fırınıyla eritilmesi, Avrupa'da yaklaşık %43 ile ikinci en büyük kaynaktır. Son olarak, işlenmesi daha kolay bir cevher kullanan doğrudan indirgenmiş demir, Avrupa çeliğinin kalan %2,7'sini oluşturmaktadır.¹⁰⁸

Demir-çelik sanayiinde kullanılan başlıca prosesler arasında kok yapımı, sinter ve peletleme tesisleri, demir yapımı, çelik yapımı, haddeleme ve bitim yer alır. Aşağıdaki şekilde çelik üretiminin akış şeması gösterilmektedir.

¹⁰⁷ IEA 2020

¹⁰⁸ IHS Markit



Şekil 5-27: Çelik Üretimi Akış Şeması¹⁰⁹

Demir-çelik sanayiinde farklı proses rotaları için iyi uygulama enerji yoğunluğu değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 5-11: Farklı Proses Yolları için Enerji Yoğunluğu¹¹⁰

Proses		YF – BOF (GJ/tcs)	İzabe İndirgeme BOF (GJ/tcs)	Kömür bazlı DİD - EAF (GJ/tcs)	Kömür bazlı DİD - EAF (GJ/tcs)*
Malzeme İşleme	Sinterleme	2,1			
	Peletleme		0,8	0,8	0,8
	Koklaştırma	1,0			
Demir imalatı	YF	11,8			
	İzabe İndirgeme		17,0		
	DİD			12,6	9,5
Çelik imalatı	BOF	1,0	1,0		
	EAF			5,6	5,6
	Saflaştırma	0,4	0,4		
	Sürekli döküm	0,1	0,1	0,1	0,1
		16,4	19,3	19,1	16,0

Çelik değirmenleri bir dizi yüksek sıcaklıkta ısı geri kazanım olanağına sahiptir. Entegre tesislerde (kok yapımından ürün bitimine kadar tüm üretim prosesleri gerçekleştirilir) kok fırınlarından, demir üretimi için yüksek fırınlardan ve çelik üretimi için bazik oksijen fırınlarından kaynaklanan atık ısı geri kazanılabilir. Ayrıca, esas olarak geri dönüştürülmüş hurdadan çelik üreten çelik “mini değirmenlerde” elektrik ark fırınından kaynaklanan atık ısıyı geri kazanma fırsatları da söz konusudur.

Kok fırınları - 650-980°C’de kok fırınlarından çıkan sıcak gazdan atık ısı geri kazanılabilir; bu gazlar, ısı geri kazanımını zorlaştıracak katran ve kirleticilerle doludur. Kok fırınlarındaki bir diğer atık ısı

109

¹¹⁰ Seçilmiş endüstriyel sektörler için Dünya İyi Uygulama Enerji Yoğunluğu Değerleri Ernst Worrell, Lynn Price, Maarten Neelis, Christina Galitsky, Zhou Nan, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, 2007.

kaynağı da geri kazanılan ve temizlenen kok fırını gazının yanması sonucu bacadan 200°C'de çıkan atık gazlardır.

Yüksek Fırın - Daha eski yüksek fırınlar 480°C civarında yüksek egzoz sıcaklıklarına sahiptir. Daha verimli ısı transferi için yeni fırınlar tasarlanmıştır; bu nedenle, egzoz gazları düşük sıcaklık aralığındadır.

Bazık Oksijen Fırını - Fırın gazları atık ısı geri kazanımı için fırsatlar sunar. Egzoz akışındaki kirleticiler nedeniyle ısı geri kazanım teknolojisi daha maliyetli ve bakım yoğundur.

Elektrik Ark Fırını - Atık ısı fırından genellikle yaklaşık 1200°C'de çıkar. Isı, güce dönüştürmek üzere bir atık ısı geri kazanımlı buhar kazanında yakalanabilir ve bölgesel ısıtma operasyonlarında veya diğer tesis ihtiyaçlarında kullanılabilir. Elektrik ark fırını işletiminde en yaygın ısı geri kazanım tipi, hurda ön ısıtmadır.

Sinter tesisleri - Duyulur ısı, hem sinter tesisinin egzoz gazlarından hem de sinter soğutucusunun çıkış havasından geri kazanılabilir.

Demir-çelik sanayiindeki atık ısı geri kazanım potansiyelleri, esas olarak orta ila yüksek sıcaklık aralığına odaklanır. Geri kazanım yöntemlerinde zorluk ve kısıtlamalar, kirli ve düşük kaliteli atık ısıya ilişkindir.¹¹¹ Atık ısıyı geri kazanım yöntemleri esas olarak gazlar ve sıvılar arasındaki ısı aktarımını, fırınların ön ısıtılmasını, mekanik ve elektriksel güç üretimini kapsar.

Atık ısı, demir-çelik sanayiinde bir diğer önemli ikincil enerji kaynağıdır. Bununla birlikte, şu anda atık ısının yalnızca küçük bir kısmının geri kazanılıyor oluşu, daha kapsamlı kullanım potansiyelleri olduğunu ortaya koymaktadır. Sanayide temiz gaz akışlarından ısı geri kazanımı yaygın olmasına rağmen aşırı kirlenmiş egzoz gazlarından ısı geri kazanım teknikleri de mevcuttur ancak yüksek sermaye yatırım maliyetleri nedeniyle bunların uygulanması sınırlı kalmıştır.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-E'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

Demir-Çelik-1 (BOF)

- Tesis, kok bataryası bacalarının baca gazı vasıtasıyla kok yağı baca atık ısısının geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, yüksek fırın baca gazı ile ısı değiştiriciler vasıtasıyla yüksek fırın baca atık ısısının geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 3,7 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Evaporatif soğutma sistemleri vasıtasıyla beton plak fırın bacası atık ısısının geri kazanımı, tesis için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, STH baca gazındaki atık ısıyla ısı değiştiriciler vasıtasıyla Sürekli Tavlama Hattından (STH) atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 4,9 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, santral bacaları ve kojenerasyon bacalarının baca gazı vasıtasıyla santral bacalarından ve kojenerasyon bacalarından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projelerin basit geri ödeme süreleri 2,2 ve 4,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.

Tesis, dairesel sinter soğutucu atık ısısından buhar üretimi için atık ısı kazanını halihazırda uygulamaya koymuştur. Ayrıca, buhar üretimi için atık ısı kazanı aracılığıyla beton plak fırındaki evaporatif soğutma sisteminden (ESS) kaynaklanan atık ısı da kullanılmaktadır. İlaveten, ön ısıtma bölümündeki sürekli

¹¹¹ (Jouhara et al., 2018).

tavlama hattının egzoz fanlarının baca gazından çıkan atık gazlar, atık ısı kazanı vasıtasıyla buhar üretimi için kullanılmaktadır.

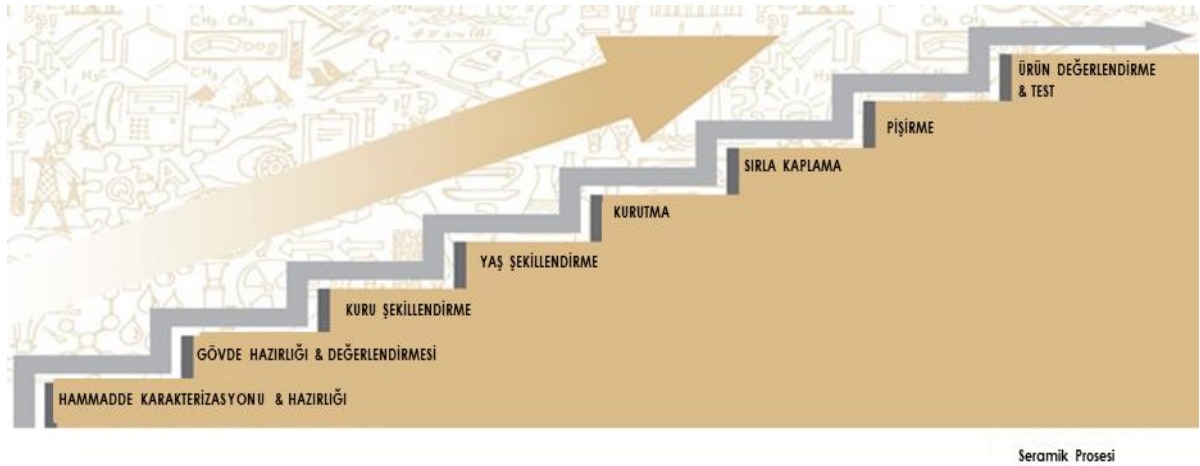
Demir-Çelik-2 (EAF)

- Tesis, ısı dayanıklılığı daha yüksek bir reküperatör ile kapasite artırımı vasıtasıyla tavlama fırınındaki yanma havasının ön ısıtılması için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 4,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, haddehane bölümündeki yüksek sıcaklıktaki demirin ısı vasıtasıyla sıcak su için haddehane iletim hattı ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, ergitme fırınının baca gazından kaynaklanan atık ısı vasıtasıyla çelik bacadan atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, atık cürufun hammadde ön ısıtması için kullanılan ısı vasıtasıyla çelik atık cürufdan atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,4 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, tavlama fırınının baca gazını, atık ısı reküperatörüyle halihazırda kullanmıştır.

5.7 Seramik Sanayii

Avrupa seramik sanayii dokuz alt sektörde yapılanmaktadır (duvar ve yer karoları, tuğla ve çatı kiremitleri, refrakterler, teknik seramikler, sofa ve süs eşyaları, vitrifiye, genleşmiş kil, kil borular ve saksılar). Prosesin ana kısmı kurutmayı ve ardından 900°C ila 1800°C arasındaki sıcaklıklarda pişirmeyi içerdiğinden, seramik sektörlerinin tamamı enerji yoğun sektörlerdir.

Seramik sanayii, küresel üretimin yaklaşık %25'ini ve AB genelinde 200.000'den fazla doğrudan istihdamı oluşturan, yıllık yaklaşık 30 milyar Avroluk bir üretim değerini temsil etmektedir. Şekil 5-28'de¹¹² seramik ürün imalatının çeşitli aşamalarına genel bir bakış sunulmuştur.

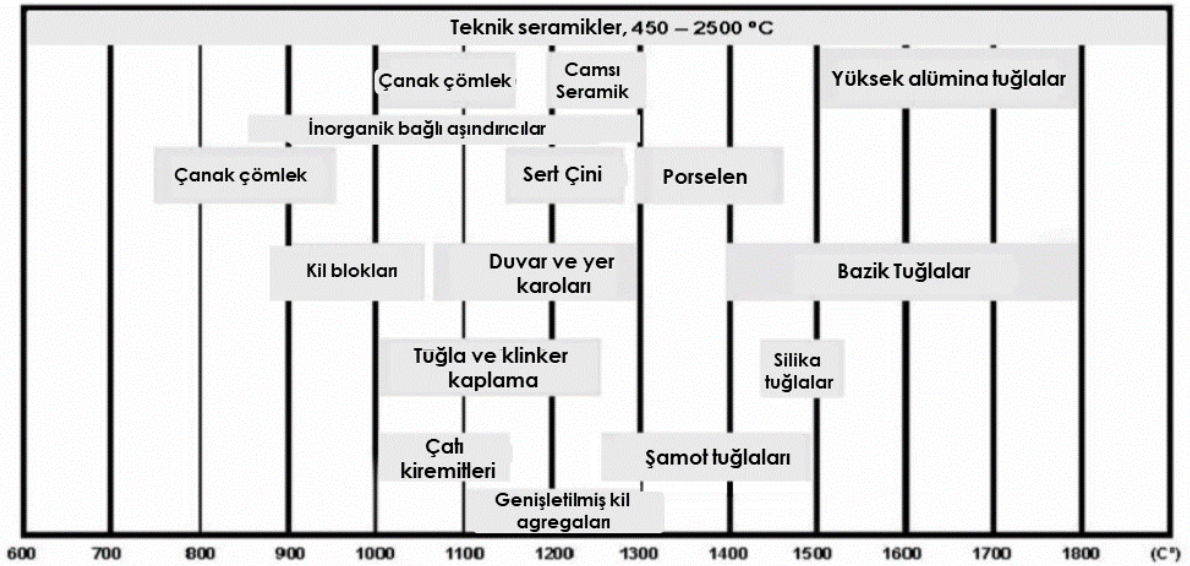


Şekil 5-28: Seramik İşleme

Farklı seramik ürünler için pişirme sıcaklığı aralıkları Şekil 5-29'da¹¹³ verilmiştir.

¹¹² Lucideon Ltd, Birleşik Krallık

¹¹³ UBA, 2001, 23, TWG Ceramics, 2005, 30, TWG Ceramics, 2005)



Şekil 5-29: Farklı Seramik Ürünler için Pişirme Sıcaklığı Aralıkları

Seramik sanayii enerji fiyatlarına duyarlıdır; üretim maliyetlerinin enerjiyle ilgili kısmı %30'u bulabilmektedir. Enerji tüketimi, hammaddelere, üretim sürecine, fırın tipine ve uygulanan pişirim tekniklerine bağlıdır. Seramik sanayiinde enerji tüketen başlıca prosesler şunlardır:

Hammaddelerin hazırlanması: motorlarda elektrik enerjisinin kullanımı dahil olmak üzere

Biçimlendirme: motorlarda elektrik enerjisinin kullanımı dahil olmak üzere

Kurutma: tüketilen toplam enerjinin %50'sini oluşturur

Pişirim: üretim maliyetlerinin %30'unu oluşturur. Fırınların enerji verimliliğini artırmak, genel üretim maliyetlerini azaltmada çok önemlidir.

Duvar ve yer karosu üretimi için proses başına spesifik ısıl enerji ve elektrik enerjisi tüketimi Tablo 5-12'de gösterilmektedir. Veriler, enerji gereksinimleri açısından en önemli İtalyan fabrikalarına atıfta bulunmaktadır.¹¹⁴

Tablo 5-12: Proses Adımı Başına Isıl Enerji ve Elektrik Enerjisi Tüketimi

Proses	Isıl enerji (GJ/t)	Elektrik enerjisi (GJ/t)
Sprey kurutma prosesi	0,01 – 0,07	0,98 – 2,2
Kurutma prosesi	0,01 – 0,04	0,25 – 0,75
Pişirim: tek pişirimli karo (tünel fırın)	0,02 – 0,15	5,42 – 6,3
Pişirim: çift pişirimli karo (tünel fırın)		5,92 – 7,3
Pişirim: tek pişirimli karo (merdaneli fırın)		1,9 – 4,8
Pişirim: çift pişirimli karo (merdaneli fırın)		3,4 – 4,62
Kuru öğütme	0,04 – 0,07	
Islak öğütme	0,05 – 0,35	
Presleme	0,05 – 0,15	

Sprey kurutma, kurutma ve pişirim, seramik üretimindeki en enerji yoğun işlemlerdir. Bu proseslerde kullanılan ekipmanlar (yani pişirimde fırınlar, kurutmada kurutucular) atık ısının ana kaynağıdır.

¹¹⁴ BAT "Seramik İmalat Sanayi Üretimi için Referans Belgesi", 2007

Fırınlara enerji verimliliğinin iyileştirilmesi, üretim maliyetlerini düşürmek için olmazsa olmazdır. Ayrıca fırınlar, ısının bir türü olarak seramik sanayiindeki başlıca atık kaynaklarından birini temsil etmekte ve bu nedenle atık ısının geri kazanımı ve kullanımıyla ilişkili pek çok fırsat ortaya koymaktadır.

Seramik sanayiinde kurutma prosesi, pişirim prosesinden sonra ikinci en büyük enerji tüketicisidir. Tipik sanayileşmiş ülkelerde kurutmanın endüstriyel enerji talebinin %15-20'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir. Geleneksel bir kurutucuda tüketilen enerjinin %50'sinden azı ürünü ısıtmak ve suyu buharlaştırmak için kullanılmaktadır. Kalan enerji, kurutucu yapısı, eşya destekleri ve egzoz havası tarafından kullanılmaktadır.

Seramik sanayiindeki atık ısı kaynakları, seramik üretim sürecinden kaynaklanan atık ısının sıcaklıklarının 650°C'yi geçmemesi nedeniyle orta ve düşük sıcaklık aralıklarına karşılık gelmektedir. Orta aralıktaki ısı, örneğin yanma havası ön ısıtması, besleme suyu ön ısıtması vb. için endüstriyel proseslerde yeniden kullanım için uygundur. Düşük aralıklı ısı ise elektrik enerjisi üretimi, ısıtma, soğutma, tatlı su üretimi veya hidrojen üretiminde kullanılabilir.¹¹⁵

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-B'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

- Tesis, fırınların üzerindeki brülörün yanma havasının ısıtılması ve sprey kurutucudaki yanma havasının ön ısıtılması için bir reküperatör sistemi ile yakma fırınında baca gazından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,3 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Bir ısı değiştirici vasıtasıyla kompresör kapalı devre yağından kaynaklanan atık ısının geri kazanımı, sıcak su için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,2 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, pişirim fırınında oluşan atık ısıyı, yanma havasını reküperatörler vasıtasıyla ısıtmak için halihazırda kullanmıştır.

5.8 Süt Ürünleri ve Fırıncılık Sanayii

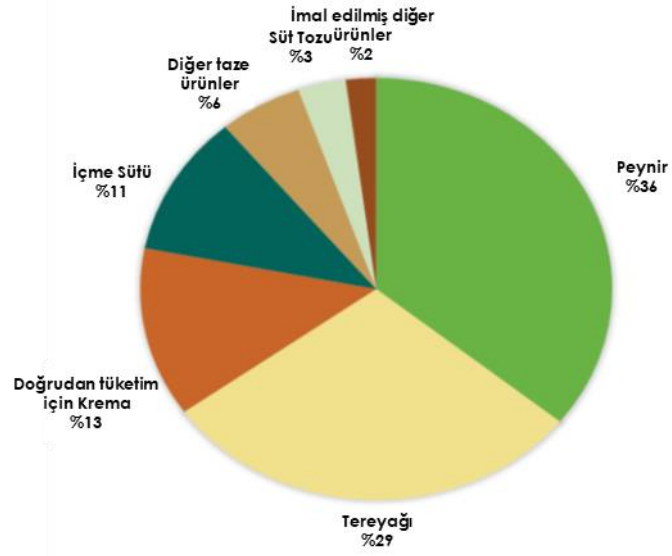
Gıda, içecek ve süt işleme ve imalatı; et ve kümes hayvanları, meyve ve sebzeler, süt ürünleri, un ve tahıllar, unlu mamuller, deniz ürünleri, şeker, şekerlemeler, alkolsüz içecekler ve bira ürünleri dahil olmak üzere geniş bir ürün yelpazesini kapsamaktadır.

AB-27'deki ilk 5 sektör (et sektörü, süt ürünleri, içecekler, unlu mamuller ve çeşitli gıda ürünleri) toplam cironun %75'ini ve toplam çalışan ve şirket sayısının %80'den fazlasını temsil etmektedir.

Süt ürünleri sanayii, Avrupa'da gıda, içecek ve süt sanayii cirosunun yaklaşık %14'ünü temsil etmektedir. AB, dünya süt ürünleri pazarında önemli bir oyuncu ve başta peynir olmak üzere birçok süt ürününün lider ihracatçısıdır. AB'de süt ürünlerinde kullanılan süt Şekil 5-30'da¹¹⁶ gösterilmektedir.

¹¹⁵ Ammar Y., Joyce, S., Norman, R., Wang, Y. and Roskilly, A. P. Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK. Applied Energy, 2012

¹¹⁶ Eurostat, 2015



Şekil 5-30: AB-27'de Tam Yağlı Süt Kullanımı

Farklı süt ürünlerinin üretimi için kullanılan elektrik ve yakıt miktarı Tablo 5-13'te verilmiştir.

Tablo 5-13: Süt Ürünleri Üretiminde Kullanılan Elektrik ve Yakıt

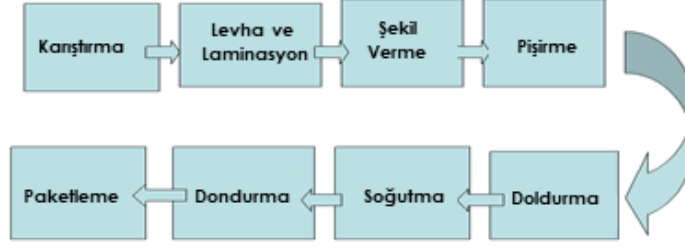
Süt ürünleri	İmalat Enerjisi (MJ/kg ürün)		
	Elektrik	Termal enerji	Toplam enerji
Krema	1,0	0,18	1,18
Tereyağ	0,65	0,85	1,50
Taze süt	0,93	1,85	2,78
Konsantre süt	0,6	4,0	4,60
Peynir	1,1	3,94	5,04
Süt tozu	1,23	14,99	16,22

Toz ürünler, hem kurutma hem de buharlaştırma işlemlerinin yüksek enerji talepleri nedeniyle diğer süt ürünlerine kıyasla en yüksek miktarda enerji gerektirir.

Ana unlu mamullerden biri ekmektir. Ekmek, çeşitli fırıncılık mamulü içerir ve türleri ülkeden ülkeye önemli ölçüde farklılık gösterir. Ekmek yapım prosesleri Şekil 5-31'de¹¹⁷ gösterilmiştir.

¹¹⁷ Fırın sanayileri

Otomatik Pişirilip Dondurulmuş Pizza Üretimi için Akış Şeması



Şekil 5-31: Ekmek İmalatı Prosesi Akış Şeması

Üretim sürecinin tamamı, özellikle 230-270°C sıcaklıkta yaklaşık 40 dakika boyunca gerçekleşen pişirme süreci olmak üzere, dikkatle kontrol edilen, ısı yoğun bir süreçtir. Bir fırındaki en önemli enerji kaynakları doğalgaz ve elektriktir. Doğalgaz en çok toplam gazın yaklaşık %70-80'ini tüketen fırınlarda tüketilmektedir. Elektriğin ana tüketicileri prosesin soğutulması, iklimlendirme, hamur hazırlama, aydınlatma ve basınçlı havadır.

Süt ürünleri sanayiinde pastörizasyon prosesi, önemli ısı geri kazanım fırsatları sunar. Pastörizatörler normalde rejeneratif karşı akım akışlı ısıtma bölümleriyle donatılmıştır. Süt ürünleri ve fırıncılık sanayiinin büyük bölümünde baca gazı büyük miktarda enerji içermesine rağmen sıcak baca gazı doğrudan bacadan dışarı yönlendirilir. Bir ısı geri kazanım teknolojisi kullanılarak bu enerji fazlası toplanıp ısıtma için yeniden kullanılabilir, böylece maddi tasarruf sağlanır ve çevre korunur. En yaygın kullanılan ısı geri kazanım yöntemleri şunlardır:

- doğrudan kullanım: ısı değiştiriciler, akış fazlasında olduğu gibi ısıyı kullanır;
- ısı pompası: mevcut sıcaklığında elde edilebilecek olandan daha faydalı işler yapabilmesi için nispeten soğuk akışlardaki ısı yükseltilir (yani, yüksek kaliteli enerji girişi, atık ısının enerji kalitesini yükseltir).

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-C'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

Fırın Tesisi

- Reküperatör vasıtasıyla fırın bacasından atık ısı geri kazanımı yakma havasının ön ısıtılması için uygundur veya ekonomizer ile sıcak su elde edilebilir. Projenin basit geri ödeme süresi tesisteki fırın bacalarına göre 6,5 ve 7,5 yıl olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca, aynı amaç doğrultusunda diğer fırının baca gazından kaynaklanan atık ısı da reküperatörle geri kazanıma uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 7 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, sıcak su için bir ısı değiştirici vasıtasıyla kompresör kapalı devre yağından kaynaklanan atık ısıyı halihazırda kullanmıştır. Ayrıca, buhar kazanı bacalarından, ekonomizerler vasıtasıyla atık ısı kullanılmaktadır.

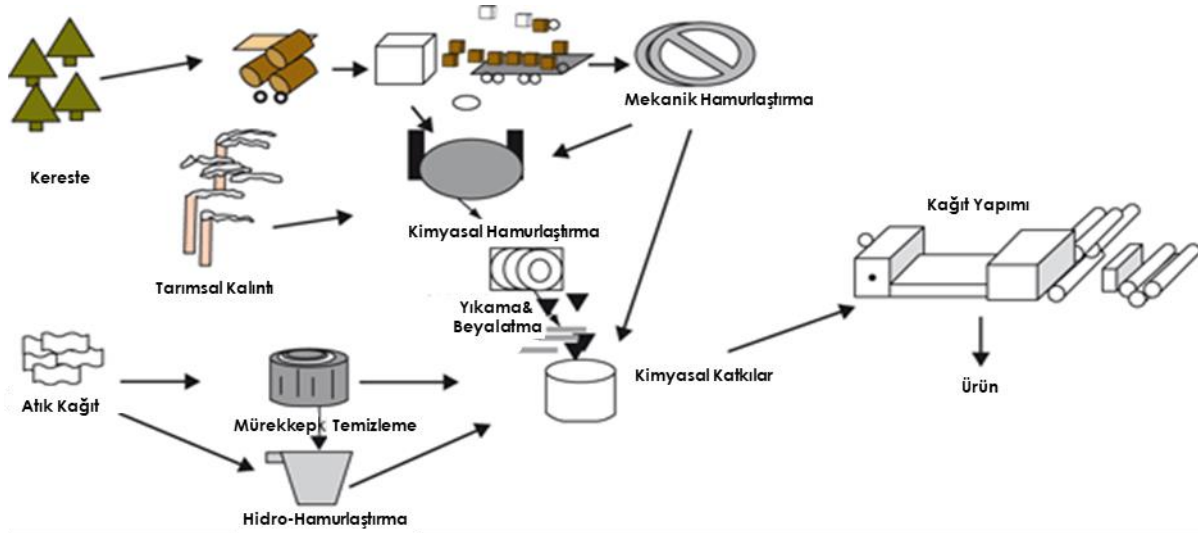
5.9 Kağıt ve Kağıt Hamuru Sanayii

Sermaye maliyetleri ve uzun yatırım döngüleri ile kağıt hamuru ve kağıt imalat sanayii, enerji ve hammadde yoğundur. Enerji, üretim maliyetlerinin ortalama %21'ini oluşturur ve bu nedenle üretim sürecinin enerji verimliliğini artırmanın hem rekabetçi hem de çevresel faydaları bulunur.¹¹⁸ Sektör, birincil enerjisinin yarısından fazlasını biyokütleden üreterek daha fazla kendi kendine yeterli ve daha az CO₂ yoğun hale gelmiştir. Dünya çapında, birincil enerji tüketiminin yaklaşık %56'sı biyokütleden gelmektedir.¹¹⁹

Odun hamuru üretiminin üç ana prosesi şunlardır:

- Kimyasal hamurlaştırma (sülfat veya Kraft prosesi olarak da bilinir),
- Mekanik hamurlaştırma, hamurlaştırmanın en eski şeklidir.
- Yarı kimyasal hamurlaştırma, kimyasal ve mekanik hamurlaştırma proseslerinin bileşimidir.

Toplam hammaddenin %50'sinden fazlasını oluşturan geri dönüştürülmüş kağıt (geri kazanılmış kağıt), kağıt endüstrisi için çok önemli bir hammadde haline gelmiştir. Avrupa'da kağıdın geri dönüşüm için ortalama kullanım oranı %70 civarındadır. Hem kağıt hamuru hem de kağıt üretimi yapılan tesislere entegre değirmen denir. Basitleştirilmiş kağıt hamuru ve kağıt üretim prosesi Şekil 5-32'de¹²⁰ gösterilmektedir.



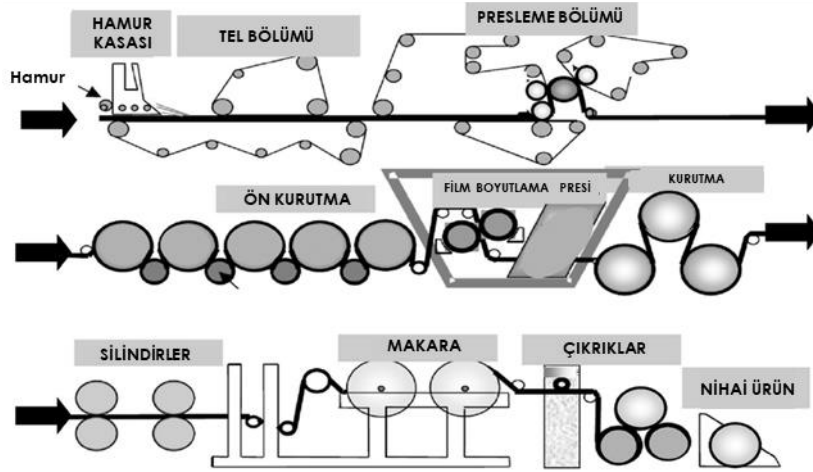
Şekil 5-32: Kağıt Hamuru ve Kağıt Yapımında Proses Akış Şeması

Kağıt üretimi, aşağıdaki bölümlerden oluşan büyük kağıt makinelerinde yapılır: hamur kasası (lif süspansiyonunu sağlar); elekler (su çıkarır); pres (preslerle daha fazla su çıkarılır); kurutucu (buharla ısıtılan oyuk silindirlere kurutma); kalender (kağıdı pürüzsüz ve parlak yapar) ve merdane ve zemberek (makine merdanesinde kağıda dönüştürülür). Kağıt makinesinin farklı bölümleri Şekil 5-33'te gösterilmiştir.

¹¹⁸ CEPI 2019

¹¹⁹ CEPI verilerine göre

¹²⁰ SpringerLink



Şekil 5-33: Kağıt Makinesi¹²¹

Bir ton kağıt üretimi hammaddelere, üretilen kağıdın kalitesine ve niteliğine ve uygulanan tekniklere bağlı olarak ortalama yaklaşık 13,4 GJ birincil enerji gerektirir.¹²²

Kağıt endüstrisi, prosesin türüne bağlı olarak, gerekli ısının çoğunu veya neredeyse tamamını ve ihtiyaç duyduğu elektriğin büyük bir kısmını (yaklaşık %44) kendi tesislerinde üretir.¹²³ Modern kağıt hamuru değirmenleri kendi kendine yeterli olmanın ötesindedir ve ihtiyaç fazlası güç, artan enerji fiyatları nedeniyle iyi bir kar marjına sahip bir satış metası haline gelmiştir. 2019 yılında kağıt hamuru ve kağıt sanayiinde kullanılan yakıtların yaklaşık %62'si biyokütleden gelmiştir.

Bir kağıt değirmeninde tüketilen ısı enerjisinin neredeyse tamamı kağıt kurutma için kullanılır, bu da kurutucu bölümünü kağıt makinesindeki en büyük enerji tüketicisi haline getirir. Kurutma işleminde kullanılan termal enerjinin büyük kısmı egzoz havasına gitmekte, bu nedenle kağıt yapım sürecinin toplam enerji tasarrufu için bir ısı geri kazanım sisteminin kullanılması hayati önem taşımaktadır. Kağıt yapımında, kağıt kurutma prosesinde buhar ve atık ısıdan termal enerjiyi geri kazanmanın çeşitli olasılıkları vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Kağıt makinesindeki kurutucuların durağan sifonlarla değiştirilmesi;
- Kurutma işleminde aşırı ısıtılmış buharın mekanik yeniden sıkıştırılması/yeniden kullanılması;
- Yanma odasına giren havayı ön ısıtmak için davlumbaz havasının geri kazanılması;
- Davlumbaz havasından ısıyı geri kazanmak ve bunu kağıt makinesi keçe ve tellerinin yüksek basınçlı duşları için tatlı suyu ısıtmak üzere kullanmak için bir ekonomizer kurulması;
- Atık ısının geri kazanılması için ısı pompalarının kullanılması;
- Kurutma bölümünün havalandırma havasından ısının geri kazanılması ve bu ısının gerektiğinde tesislerin ısıtılmasında kullanılması.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-F'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

¹²¹ ResearchGate

¹²² Avrupa Kağıt Endüstrileri Konfederasyonu (CEPI) – Temel İstatistikler 2020

¹²³ CEPI 2019

Kimya-2 (Hayat Kimya)

- Bir ısı değiştirici vasıtasıyla kompresör kapalı devre yağından atık ısının geri kazanımı, sıcak su için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 3,9 yıl olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca, tesis, gaz türbinlerinin son baca gazından ekonomizer uygulaması ile atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,5 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, halihazırda diğer gaz türbinlerinin son baca gazından çıkan atık ısıyı ekonomizerler aracılığıyla kullanmıştır.

5.10 Tekstil Sanayii

Tekstil sanayii, küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ'ler) hakim olduğu parçalı ve heterojen bir sektör olduğu için en karmaşık imalat sanayiilerinden biridir. Sektör, hammadde üretiminden yarı işlenmiş (bitim prosesleriyle birlikte iplik, dokuma ve örme kumaşlar) ve nihai ürünlere (halı, ev tekstili, giyim ve endüstriyel kullanımlı tekstiller) kadar üretim döngüsünün tamamını kapsayan çok sayıda alt sektörden oluşmaktadır.

Entegre tekstil tesisi, eğirme, dokuma/örme ve ıslak işlemenin (hazırlık, boyama/baskı, bitim) aynı anda bulunduğu tesistir. Şekil 5-34'te hammaddelerin bitmiş ürüne dönüştürülmesinde yer alan çeşitli tekstil proseslerini gösteren basit akış şeması verilmiştir.

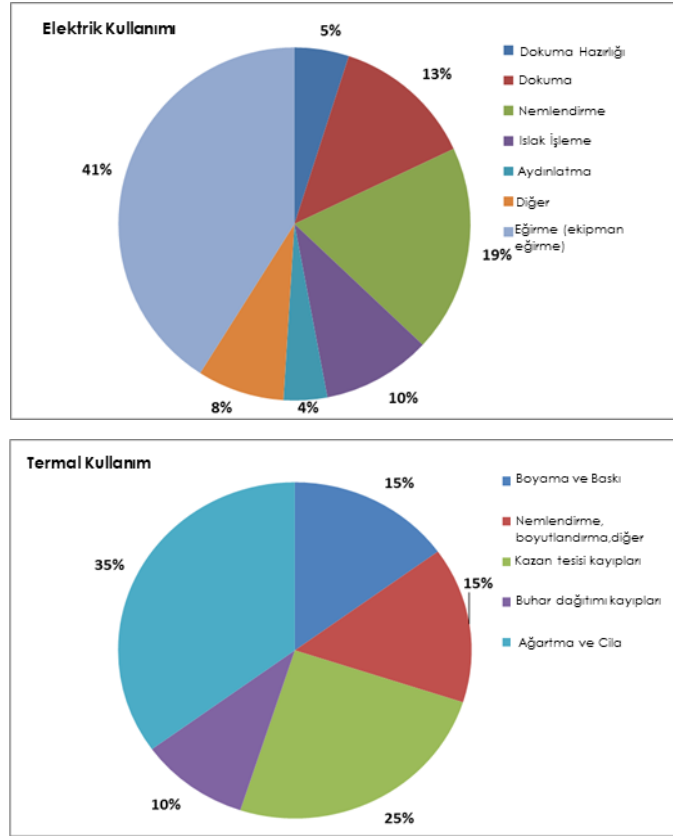


Şekil 5-34: Çeşitli Tekstil Proseslerinin Akış Şeması¹²⁴

İplik eğirme, dokuma, ıslak işleme (hazırlık, boyama, baskı ve bitim) ve suni elyaf üretimi en önemli proseslerdir ve sektördeki enerji kullanımının en büyük payını oluştururlar.

Tekstil endüstrisi hem elektrik hem de yakıtı büyük miktarlarda kullanır. Eğirme, dokuma ve ıslak işleme, dünya çapında tekstil sanayiinde enerji tüketiminde en yüksek paya sahiptir. Elektrik, iplik eğirmede baskın enerji kaynağıdır ve makineler, klima sistemleri, basınçlı hava sistemleri, aydınlatma, ofis ekipmanları vb. için ortak güç kaynağıdır. Tekstil fabrikalarında termal enerji esas olarak suyun ısıtılması ve kurutulmasında tüketilir. Bir entegre tekstil fabrikasının tipik elektrik ve termal enerji kullanımının dağılımı Şekil 5-35'te gösterilmektedir.

¹²⁴ Tekstil değer zinciri



Şekil 5-35: Entegre Bir Tekstil Fabrikasında Tipik Elektrik ve Termal Enerji Kullanımının Dağılımı¹²⁵

Eğirme, elektrikte en büyük payı alırken (%41) onu dokuma (%18) takip etmektedir. Islak işleme hazırlama ve bitim birlikte termal enerjide en büyük payı (%35) tüketmektedir. Buhar üretimi ve dağıtımı sırasında da önemli miktarda termal enerji kaybedilir (%35).

Atık ısı geri kazanımı tekstil sektörüne enerji tasarrufu için ekonomik ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Atık ısı geri kazanım sistemleri, endüstriyel proseslerden kaynaklanan ve aksi takdirde çevreye dağılan atık ısıyı çekerek ve yeniden kullanarak çalışır. Geri kazanılan ısı, yerinde elektrik üretimi için, yanma havasını önceden ısıtmak veya buhar üretmek için kullanılabilir.

Havadan suya ısı değiştiriciler kullanılarak egzoz ısısı geri kazanımı sağlanabilir. Bu sayede %70'e kadar enerji tasarruf edilebilir. Sıcak su boyamada kullanılabilir. İsteğe bağlı olarak, çıkış gazı temizliği için elektrostatik filtreleme monte edilebilir. Tadilat mümkündür. Sıcak su gerekli değilse, havadan havaya ısı değiştirici kullanılabilir. Verimlilikler genellikle %50 ile %60 arasında değişmektedir. Yaklaşık %30 oranında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-G'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

Tekstil-1

- Tesis, ekonomizer vasıtasıyla baca gazı veya buhar kazanı bacasından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,1 yıl olarak tahmin edilmektedir. Ayrıca, kızgın

¹²⁵ Ali Hasanbeigi, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, 2010

yağ kazanı bacasının baca gazından ekonomizer yoluyla atık ısı geri kazanımı, diğer buhar kazanı besleme suyunun ön ısıtılması veya proses suyunun boyanması için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 9 yıl olarak tahmin edilmektedir.

- Isı değiştirici vasıtasıyla kompresör kapalı devre yağından atık ısı geri kazanımı, sıcak su için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,7 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, RAM makinelerinin ramöz egzoz bacasının yüksek sıcaklıktaki baca gazından ekonomizer vasıtasıyla atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,2 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Isı pompasının buharlaştırıcı tarafında soğutma için ihtiyaç duyulan soğutma suyu için hava kaynaklı ısı pompası uygulaması yapılabilir ve yoğunlaştırıcı tarafındaki atık ısı, sıcak su, kazan besli suyu ısıtması amacıyla ısı pompası vasıtasıyla kullanılacaktır. Projenin basit geri ödeme süresi 1,5 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis halihazırda buhar kazanı bacasının baca gazından çıkan atık ısıyı ekonomizer aracılığıyla kullanmıştır. Ayrıca boşaltılan boyahane suyunun sıcak suyundan değiştirici vasıtasıyla atık ısı geri kazanımı yapılmaktadır.

Tekstil-2

- Tesis, Stenter bacalarının ramöz egzoz bacasının yüksek sıcaklıktaki baca gazından ekonomizer vasıtasıyla atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,3 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, boyahane ön giriş suyunun ısıtılması için ısı değiştirici vasıtasıyla boyahane atık sularından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 8 ay olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, mevcut soğutma kulesi yerine ısı pompası entegrasyonu ile kullanım suyu ısıtma ve soğutma uygulaması için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 1,4 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, yoğunlaşma dönüştürme ünitesi üzerinden oluşan flaş buhardan kaynaklanan atık ısıyı halihazırda kullanmıştır. Ayrıca, kostik tank soğutma suyundan ve ağartma makinesinin yoğunlaşma dönüştürme suyundan kaynaklanan atık ısı geri kazanılmaktadır.

5.11 Demir Dışı Metal Sanayii

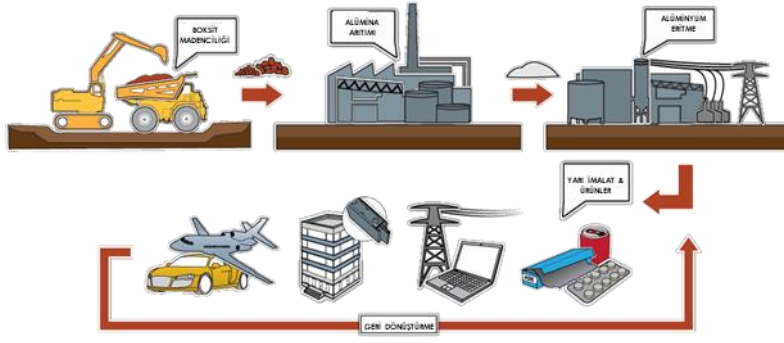
En bilinen metaller alüminyum, bakır, çinko, nikel, magnezyum ve kurşundur. Demir dışı metaller makine mühendisliği, ulaşım, havacılık, inşaat, paketleme, elektrik ve enerji, elektronik ve tıbbi cihazlar için önemlidir.

2019 yılında dünyada birincil alüminyum üretimi 64.265 bin metrik ton alüminyum olmuştur. Çin, dünya çapında birincil alüminyum üretimini domine ederken, onu Körfez İşbirliği Konseyi (KİK), Asya (Çin hariç) ve Rusya takip etmektedir. 2021 yılında tahmini küresel bakır madeni üretimi 21 milyon metrik ton olmuştur. AB-27'de dünya toplam üretiminin yaklaşık %8,6'sını temsil eden yaklaşık 1,8 milyon metrik ton üretim yapılmıştır. Şili 5.600 kton ile dünyanın en büyük bakır üreticisidir, onu Peru (2.200 kton) ve Çin (1.800 kton) izlemektedir.¹²⁶

Alüminyum

Alüminadan (Al_2O_3) alüminyum metali üretmek için elektrolitik proses kullanılır. Aşağıdaki şekilde tipik bir alüminyum üretimi akış şeması gösterilmektedir.

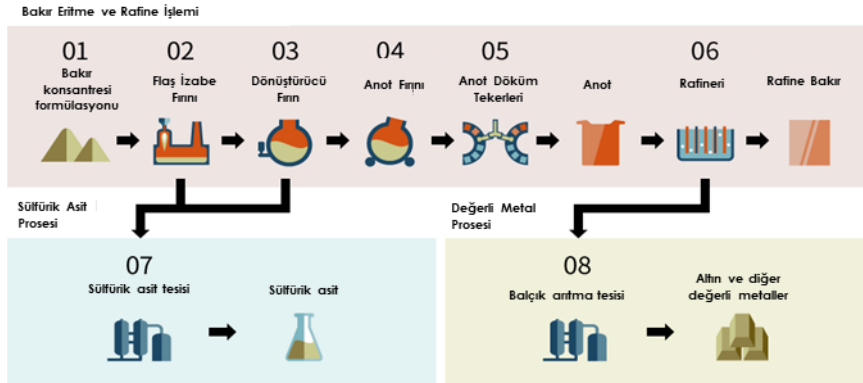
¹²⁶ Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları



Şekil 5-36: Alüminyum Üretimi Akış Şeması¹²⁷

Bakır

Bakır üretiminde iki ana yol vardır: pirometalurjik ve hidrometalurjik yol. Birincil bakırın yaklaşık %80'i pirometalurji prosesi ile, kalan %20'si ise hidrometalurji prosesi ile üretilmektedir. Birincil ve ikincil bakır üretimindeki ana proseslerin akış şeması aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5-37: Birincil ve İkincil Bakır Üretimi¹²⁸

Bakır, geri dönüşüm sürecinde kimyasal ve fiziksel özelliklerini kaybetmeyen veya bozulmayan az sayıdaki malzemeden biridir. 2019 yılında küresel bakır tüketiminin yaklaşık %30'u geri dönüştürülmüş bakırdan gelmiştir.¹²⁹

¹²⁷ Avustralya Alüminyum Konseyi

¹²⁸ (Pan Pacific Copper) Pan Pasifik Bakır

¹²⁹International Copper Study Group [Uluslararası Bakır Çalışma Grubu (ICSG)]

Alüminyum üretiminin her prosesi için spesifik enerji tüketimi Tablo 5-14'te gösterilmiştir.

Tablo 5-14: Alüminyum Üretimi için Dünyada İyi Uygulama Nihai Enerji Yoğunluğu¹³⁰

Proses	Güç	Birincil Alüminyum		ikincil Alüminyum	
		GJ/t	Kgce/t	GJ/t	Kgce/t
Alüminyum üretimi (Bayer)	Çürütme (yakıt)	12,1	414		
	Kalsinasyon fırını (yakıt)	6,5	223		
	Elektrik	1,4	48		
Anot üretimi (Karbon)	Yakıt	1,0	35		
	Elektrik	0,21	7		
Alüminyum izabe (Elektroliz)	Elektrik	49,0	1671		
Külçe dökme	Elektrik	0,35	12		
Toplam		70,6	2411	2,5	85

Bakır üretimi için enerji kullanımı, büyük ölçüde cevher derişimine bağlıdır. Bakır üretimi çoğu aşamada enerji gerektirir, ancak elektrolitik proseste kullanılan enerji en önemlisidir. Bakır derişintisi kullanan bir dizi proses için gereken enerji, bir ton bakır katot başına 14–20 GJ aralığındadır.¹³¹ Bununla birlikte, tipik olarak pirometalurjik işlemler için 30 MJ/kg rafine bakır şeklindeki gerçek spesifik enerji tüketimi nispeten yüksektir. Bakır üretimi için gereken enerji, %3 bakır derişiminde izabe prosesi için ton başına yaklaşık 33 GJ ve %2 cevher içeren çözümdürme prosesi için 64 GJ/t'dir.¹³²

Demir dışı metal sanayilerinde, geri kazanılan atık ısıyı yakma havasını veya yük malzemesini önceden ısıtmak, buhar üretmek, suyu ısıtmak veya diğer işlemlere ısı sağlamak için kullanarak önemli verimlilik iyileştirmeleri elde edilebilir. Temiz baca gazlarından (yani alüminyum yeniden ısıtma veya ısıl işlem fırınları) ısıyı geri kazanmak için genellikle reküperatörler kullanılırken, kirletici içeren baca gazlarının olduğu alanlarda (alüminyum izabe) seramik ısı aktarımı ortamı rejeneratörler kullanılır.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-H'ye bakınız.

¹³⁰ Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, seçilmiş endüstriyel sektörler için Dünya İyi Uygulama Enerji Yoğunluğu değerleri

¹³¹ Traulsen. H. 1999

¹³² John Rankin "High temperature processing symposium" 2012

5.12 Termik Santraller

Enerji üretim tesisleri, termodinamik çevrim tipine, birincil enerjinin çeşidine ve çalışma şekline göre sınıflandırılır. Başlıca fosil yakıtlı enerji santralleri şunlardır: buhar santralleri, basit çevrim gaz türbini (BÇGT) ve kombine çevrim gaz türbini (KÇGT) santralleri.

Buhar santralleri şu anda enerji endüstrisinde en yaygın olanlardır. Yakıttan elektrığe enerji dönüşümü Clausius Rankin termodinamik çevrimine (Rankin çevrimi) dayanmaktadır.

Gaz türbinli enerji santralleri için tipik olan, gaz türbini jeneratör setine kıyasla oldukça büyük hava giriş ağızı ve büyük bacadır. Gaz türbinlerinin başlıca avantajları, nispeten hızlı devreye alma kapasiteleri ve yüksek yük değişimi oranlarıdır.

Kombine çevrim gaz türbini (KÇGT), gaz türbin(ler)inden, akışaşağı ısı geri kazanım buhar jeneratöründen (IKBK) ve buhar türbini jeneratör setinden oluşur.

Bir elektrik santralinde çok miktarda atık ısı tahliye edilir. Atık ısı kaynağı sıcaklıkları 30 ila 200°C arasında değişir. Atık ısının geri kazanılması, fosil yakıtlı enerji santralleri için termal verimliliği daha da iyileştirmenin ve sera gazı emisyonlarını azaltmanın ana yaklaşımıdır.

Genel olarak, geri kazanılabilen termik santral enerjileri şu şekildedir:

- Kazanın geri basma kayıpları
- Baca gazından çıkan enerji
- Yoğuşturucudan atılan enerji

Enerji santrallerinde elektrik üretmek için boşaltılan baca gazı, tahliye edilen su ve egzoz buharından ısının geri kazanımı için ORC kullanımı, fosil yakıt tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için verimli bir yaklaşımdır.

ABD Enerji Bakanlığının bir araştırmasına göre, endüstriyel enerjinin %20-50'si atık ısı olarak kaybolmaktadır. Atık ısı, ısıtma amacıyla kullanılarak, diğer CO₂ yayan proseslerin yerini alabilir ve böylece sera gazı emisyonlarını azaltmak için etkili bir alternatif olabilir.

Gaz türbinlerinden, kazanlardan ve içten yanmalı motorlardan egzoz ısısının geri kazanılması, verimliliği ve performansı optimize etmenin ve aynı zamanda elektrik üretim alanında işleme ve saflaştırma için yaygın olarak kullanılan enerji üretim tesislerinin çevresel etkisini azaltmanın kolay bir yoludur.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-J'ye bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

Kömür ES

- Tesis, OB ve DB türbini arasından buhar çekme vasıtasıyla bölgesel ısıtma kullanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 17,9 yıl olarak tahmin edilmektedir.

DG ES-1

- Tesis, baca gazından ısı çekerek absorpsiyonlu soğutucu vasıtasıyla gaz türbini çevrimi sıkıştırılmış hava sıcaklığının düşürülmesi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 7 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, OB ve DB türbini arasından buhar çekme vasıtasıyla bölgesel ısıtma kullanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 17,7 yıl olarak tahmin edilmektedir.

DG ES-1

- Tesis, baca gazından ısı çekerek absorpsiyonlu soğutucu vasıtasıyla gaz türbini çevrimi sıkıştırılmış hava sıcaklığının düşürülmesi için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,2 yıl olarak tahmin edilmektedir.

5.13 Ticari Binalar ve Hizmet Binaları

Ticari binalar, işyerleri, ofisler, hastaneler, okullar, ibadet yerleri, depolar, oteller ve alışveriş merkezleri veya diğer kamu binaları gibi çeşitli bina türlerini kapsar. Ticari binalardaki enerji tüketiminin yaklaşık %67'si aydınlatma, ısıtma, havalandırma, soğutma ve sıcak su gibi bina hizmetleri sağlamak için kullanılmaktadır. Mekan ısıtma, ticari binalardaki toplam enerji kullanımının yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır.¹³³ Elektrik ve doğalgaz, ticari binalarda kullanılan en yaygın enerji kaynaklarıdır. Ticari binalar, konut binalarından ortalama olarak %40 daha fazla enerji yoğunudur (180 kWh/m²'ye karşılık 250 kWh/m²).¹³⁴

Ticari binalarda en fazla gücü ısıtma, soğutma ve havalandırma (ISH) sistemleri ve aydınlatmalar tüketmektedir. ISH cihazları, bir binanın enerji kaynağının yaklaşık %40-60'ını tüketerek verimliliğini sınırlar.¹³⁵ Çevre Koruma Ajansına göre, ticari bir binada kullanılan enerjinin yaklaşık %30'u verimsizlikler nedeniyle boşa gitmektedir.

Isı geri kazanım sistemleri, duyulur ısı geri kazanımı ve entalpi ısı geri kazanımı olarak sınıflandırılabilir. Hem duyulur ısıyı hem de gizli ısıyı geri kazanma kabiliyeti bakımından, entalpi ısı değiştiriciler, havalandırma sistemindeki ıslak yükün büyük oranı ve modern binalar için iç ortam hava nemi gereksinimleri nedeniyle daha iyi bir sürdürülebilirlik etkisine sahiptir.

Atık ısı geri kazanım sistemleri, binanın diğer bölümlerinde faydalı ısıtma sağlamak için laboratuvarlardan, veri merkezlerinden veya endüstriyel faaliyetlerden atık ısıyı taşımak için karma kullanımlı binalarda (konut/ticari) giderek daha fazla kullanılmaktadır. Atık ısının geri kazanılması, düşük enerji kullanımı elde etmek ve emisyonları azaltmak için çalışan tesisler için (net sıfır enerji veya yüksek performanslı binalar gibi) cazip bir seçenek haline gelmiştir.

Ortam şartlandırma için su bazlı sistemlerin kullanılması, tesiste kurulu toplam ısıtma ve soğutma kapasitesi miktarını azaltırken hassas sıcaklık ve nem kontrolü sağladığı için tercih edilmektedir. Yoğuşmalı kazanların kullanılması, yanma ürünlerinin ısıtma bobininin dışında yoğuşmasını ve normalde kazan bacası yoluyla kaybedilen ısının çekilmesini sağlar. Su bazlı soğutma sistemlerinde binadan kaynaklanan ısı, soğutulmuş su sistemine reddedilir. Isı geri kazanımlı soğutucu, binada faydalı ısıtma sağlamak için normalde soğutma kulesine reddedilen ısıyı, soğutucudan kaynaklanan bu ek ısıtma enerjisiyle birlikte alır. Bu şekilde geri kazanılan atık ısı, yalnızca binada ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda soğutma kulesi enerjisini ve su tüketimini de azaltır.

Havalandırma sistemi vasıtasıyla, durum başka türlü olsaydı kaybedilecek olan ısının geri kazanımı, enerji tüketimini azaltabilir. ISH sistemlerinden enerjisi geri kazanmanın en etkili yolu, devir daim eden havayı kullanmaktır. ISH sistemlerinde ısı geri kazanım teknolojilerinin birçok uygulaması vardır ancak bunlar birkaç basit tekniğe dayanmaktadır. Bunların başlıcaları ısı tekerleği, levhalı ısı değiştirici, ısı borulu ısı pompası ve çevrimsel (run-around) sistemdir. Isı geri kazanım sistemleri atık enerjinin yaklaşık %60-95'ini geri kazanabilir ki bu oldukça umut vadeden bir orandır.¹³⁶

¹³³ Bina Enerji Verimliliği Araştırması 2016

¹³⁴ Avrupa Komisyonu

¹³⁵ Avrupa Komisyonu, EASME, Binalar

¹³⁶ Cuce, P.M.; Riffat, S. "A comprehensive review of heat recovery systems for building applications"

Isı tekerleği sistemi

Isı tekerleği (“döner” veya “rejeneratif” ısı değiştirici olarak da bilinir) geri kazanım sistemi, motorla çalışan, dönen, boşluklu bir tekerlektir. Isı tekerlekleri, temiz gaz akışlarından kaynaklanan ısının yanı sıra nemi geri kazanmak üzere tasarlanmıştır. Yaklaşık %85’lik bir toplam verimlilik rapor edilmiştir. Bu teknolojinin kullanımı, besleme havasını gerekli sıcaklığa ısıtmak (veya soğutmak) için gereken enerji miktarını, CO₂ emisyonlarında da karşılığını bulacak seviyede azaltacaktır.

Levhalı ısı değiştirici

Levhalı ısı değiştirici, en gelişmiş enerji verimli ısı aktarım ekipmanıdır. Levhalı ısı değiştiriciler, kompakt yapıları sayesinde ısıyı çok yüksek verimle aktarabilir ve çok az yer kaplar.

Isı borusu ısı değiştirici

Tipik ısı borusu değiştiriciler, yaklaşık %50’lik bir termal verim sağlayabilir. Artan hava akış hızı ile etkinlik azalacak ve levhalar ile ısı borusu arasında standart altı termal temas meydana gelecektir. Isı borusu ısı borusu ısı değiştirici, genel olarak şu avantajlara sahiptir: dayanıklı üretim ve uygun bakım, çapraz kirlenme olmaması ve daha yüksek termal iletkenlik.

Isı pompası

Verimliliği %60’ı bulabilen sistem, alternatif ve daha verimli ısı geri kazanım yöntemleri için iki hava akımının yeterince yakın olmadığı durumlarda ortalama bir ısı geri kazanımı sağlar. Yüksek devreye almanın başlıca dezavantajı olduğu düşünüldüğünde, soğuk mevsimlerde tam verimliliğe ulaşamaz ve ısı pompalarını çalıştırmak için elektrik gerekir.

Çevrimsel (run-around) ısı geri kazanım sistemi

Çevrimsel (run-around) sistem genel olarak, %50 seviyesinde maksimum verimliliğe sahiptir. Bu sistem, iki ısı değiştiricinin ayrı olması sayesinde çapraz kirlenmeyi önleyebilir. Çevrimsel (run-around) ısı geri kazanımının ısı değişim oranı, normal koşullar altında %45 ila %65 arasında değişmektedir. Bir binada çevrimsel (run-around) ısı geri kazanım sisteminin kullanılması, enerji tüketimini artırmaksızın havalandırma hava akış hızını artırabilir.

Ticari sektörde artan enerji verimliliği, herhangi bir ulusal enerji verimliliği stratejisinin önemli bir bileşeni olmalıdır ve günümüzde, geçmişte olduğundan daha fazla dikkat gerektiren bir konudur.

Daha fazla bilgi için lütfen Ek VI-I’ya bakınız.

Yukarıda açıklanan AIGK teknoloji fırsatları doğrultusunda, gerçekleştirilen atık ısı odaklı enerji etütleri ile aşağıdaki teknoloji seçenekleri belirlenmiştir.

Alışveriş Merkezi

- Tesis, kanal tipi plakalı reküperatör vasıtasıyla klima santrali ve fanlarından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 7,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, bataryalı ısı geri kazanım sistemleri vasıtasıyla mutfak şaftlarından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 8,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, yoğunlaşma ısı değiştiriciler vasıtasıyla sıcak su kazanlarından çıkan atık ısıyı halihazırda kullanmıştır. Ayrıca, su kaynaklı ısı pompalarında birbirlerinin atık enerjileri kullanılarak atık ısı geri kazanılmaktadır.

Hastane

- Tesis, ekonomizer vasıtasıyla baca gazı veya buhar kazanı bacasından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,2 yıl olarak tahmin edilmektedir.

- Tesis, ekonomizer vasıtasıyla hava kompresörünün atık ısısından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,5 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Isı değiştirici vasıtasıyla sterilizasyon ünitesinin yoğuşma suyu sıcaklığından atık ısı kazanımı, tesis için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 2,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesiste herhangi bir atık ısı geri kazanım projesi uygulanmamıştır.

Alışveriş Merkezi

- Tesis, kanal tipi plakalı reküperatör vasıtasıyla klima santrali ve fanlarından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 7,1 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, bataryalı ısı geri kazanım sistemleri vasıtasıyla mutfak şaftlarından atık ısı geri kazanımı için uygundur. Projenin basit geri ödeme süresi 8,8 yıl olarak tahmin edilmektedir.
- Tesis, yoğuşmalı ısı değiştiriciler vasıtasıyla sıcak su kazanlarından çıkan atık ısıyı halihazırda kullanmıştır. Ayrıca, su kaynaklı ısı pompalarında birbirlerinin atık enerjileri kullanılarak atık ısı geri kazanılmaktadır.

6. Temel Sorun ve Öneriler

Değerlendirmenin Geliştirilmesine Yönelik Öneriler

- Bu proje için sistem sınırı, egzoz akışlarındaki potansiyel ve proses çıkış gazları olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, katı ve sıvı akışlarından kaynaklanan atık ısı gibi çeşitli başka atık ısı potansiyelleri de bulunmaktadır. Özellikle düşük sıcaklıklarda bu tür kaynakların dahil edilmesiyle birlikte, mevcut potansiyel artacaktır.
- Termik santrallerin değerlendirilmesi, egzoz gazlarının hacimsel debilerine dayandığından, bu verileri kütleli debiye dönüştürürken bazı varsayımlar kullanılmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, çevrimiçi izleme sistemlerinin yazılımının, 2022'nin ikinci yarısında egzozdaki her kirletici için kütleli debi oranlarının elde edilmesini mümkün kılacak yeni bir sisteme yükseltileceğini belirtmektedir. Sistemin uygulanmasının ardından, daha iyi veri setleri elde edilebilecek ve ES'lerin potansiyeline yönelik çalışmalar daha hassas şekilde yapılabilecektir.
- Biyokütle, biyogaz ve ÇG tesisleri yenilenebilir enerji kaynaklı atık ısı potansiyeli kapsamında analiz edilmiştir. Ayrıca FV-termal hibrit sistemler de Türkiye'deki potansiyelleri, teknolojik uygunlukları ve ekonomik uygulanabilirlikleri açısından değerlendirilebilmiştir.

Termik Santraller ve Bölgesel Isıtma Sistemi

Şehirleri veya yerleşim yerlerini ısıtmak için bireysel sistemler kullanılabilirken, merkezi ısıtma sistemi kurularak bölgesel ısıtma da yapılabilir.

Bölgesel ısıtma sistemleri, bireysel sistemlere kıyasla daha büyük kapasiteye sahip olduklarından, hem teknik hem de çevresel açıdan çeşitli avantajlar sunarlar.

- Bölgesel ısıtmada kullanılan büyük kazanlarda verim %98 civarındayken, yakma sistemine bağlı olarak fırın ve merkezi ısıtma kazanlarında bu oran %60 civarındadır. Dolayısıyla, büyük kazanlarda aynı miktarda yakıt daha verimli şekilde kullanılabilir.
- Birçok ısıtma sistemi yerine bölgesel ısıtma sistemleri kullanıldığında tek bir sistem söz konusu olduğu için hem yatırım maliyetleri hem de işletim ve bakım maliyetleri düşer.
- Bölgesel ısıtma sistemlerinde aynı miktarda ısı talebi için daha az yakıt yakılır. Bu da bölge halkının ısınma giderlerini azaltır.
- Bireysel ısıtma sistemlerinin bacalarının kısa ve yaygın olması nedeniyle bunların hava kirliliği üzerindeki etkileri daha fazladır. Bölgesel ısıtma ile şehir merkezlerindeki bu kontrolsüz bacalar ortadan kalkar ve yerini tek ve kontrolü daha kolay bir baca alır. Bu nedenle, çevre kirliliğinde önemli bir azalma görülür.
- Bölgesel ısıtma ile bölgede yakılan yakıtın azaltılması, bölgede atmosfere salınan emisyon miktarını da azaltır. Bu sayede, çevre kirliliği azalır. Bölgesel ısıtma ile emisyonlardaki azalmaya bağlı olarak sağlık harcamaları da azalır.
- Baca zehirlenmesi gibi sağlık sorunları, bölgesel ısıtma sistemleri ile ortadan kaldırılabilmektedir.

- Şehir merkezinde, özellikle kömür yakılması sonucu oluşan küllerin kirletici etkisi, bölgesel ısıtma ile ortadan kalkar. Ayrıca, bu küllerin uçuşmasına bağlı sağlık sorunları ve küllerin toplanmasına bağlı trafik sorunları da azalır.

Yerleşime yakın termik santrallerin atık ısı ile bölgesel ısıtma yapılması durumunda rekabetçi fiyatlı, kaliteli bir çevre sistemi oluşturulacaktır. Haneler için daha uygun fiyatlı ısıtma sistemleri ve ortamdaki hava kalitesinin artması da santral ile santralin yarattığı olumsuzlukları yaşayan bölge halkı arasındaki sosyal barışa katkı sağlayabilir. Yıldız Teknik Üniversitesi ve TÜBİTAK MAM, 2006-2011 yıllarında EÜAŞ'a bağlı on dört termik santrali ve bu santrallerin etrafındaki yerleşimleri inceleyerek santrallerin atık ısı potansiyellerini ve bu atık ısıların geri kazanım yöntemlerini belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın bulguları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Farklı amaçlarla kullanılacak enerji santrallerinin toplam atık ısı potansiyeli 35 milyon MWth/yıldır.
- Kamuya ait termik santrallerin atık ısı potansiyeli 3,2 milyar m³ doğalgaza eşdeğerdir.
- Değerlendirilen termik santrallerin tahmini atık ısı potansiyeli 1,5 milyon konutun ihtiyacını karşılamaya yeterlidir. Talep tarafı ile eşleştiğinde termik santrallerin çevresinde yer alan 620 bin konut, santrallerden gelen mevcut atık ısı ile ısıtılabilir.
- Santral yakınındaki evlerin atık ısıdan ısıtılması ile santrallerde çevre kirliliğini ve su kullanımını önemli ölçüde azaltmak mümkün olacaktır. Bu durumda, 5 milyon ton CO₂ ve 100 bin ton SO₂ emisyonu oranında azaltım yapılmış olacaktır.

Biyokütle Enerji Santralleri

- Günümüzde su soğutmalı yoğunlaştırıcı sistemine sahip biyokütle enerji santrallerinde türbin çıkışındaki ısı fazlası, soğutma kuleleri vasıtasıyla atmosfere atılmaktadır. Bu tür tesislerin soğutma çevriminde kullanılan 35°C-40°C sıcaklıktaki su, ısı pompası ile daha yüksek sıcaklıklara ısıtılabilir. Örneğin;
 - OSB bölgesinde kurulan tesislerin atık ısı yaklaşık 90°C'ye kadar ısıtılarak yakındaki işletmelerde kullanılabilir.
 - Tarım arazilerinin yakınında bulunan tesislerin atık ısı yaklaşık 60°C'ye kadar ısıtılabilir ve tesis yakınında tarımsal faaliyetlerde (ör. sera ısıtması) kullanılabilir.
 - Yerleşim alanlarına yakın tesislerden çıkan atık ısı 70°C civarına kadar ısıtılabilir ve bölgedeki konutlarda doğalgaz veya katı yakıtlara alternatif olarak ısıtma/soğutma amaçlı kullanılabilir.

Cöp Gazı Enerji Santralleri

- Türkiye'de hemen her ilde çöp gazından elektrik üretim tesisleri kurulmuş ve büyük kapasiteye ulaşmıştır ancak ne yazık ki bu tesisler yeterli devlet desteği görememektedir. Bu tesislerin çoğunda atık ısı geri kazanımı söz konusu değildir.

Demir-Çelik

- Paydaş katımlı faaliyetler sırasında demir-çelik sektörü derneği tarafından haddehanelerde, kok kuru söndürme işleminde ve elektrik ark fırınlarında soğutma prosesinde AIGK

potansiyelinin önemli olduğunun ve haddehanelerde AIGK'nın sektör için detaylı olarak değerlendirileceğinin altını çizmiştir.

- Türkiye'deki birçok demir-çelik fabrikasında elektrik ark fırınlarından geri kazanılan atık ısı hurdanın ön ısıtılması için kullanılsa da bu AIGK uygulamasıyla atmosfere salınan egzoz gazları, bu teknolojinin ülkemizde yaygın olarak uygulanmasını engelleyen çevresel bir etkiye sahiptir.

Çimento Sanayii

- Paydaş katılımlı faaliyetler sırasında, çimento sanayii derneği tarafından AIGK teknolojilerinin sektörde iyi bilindiği vurgulanmıştır. Başlıca mesele, bu tür projeleri finanse etmek için destek mekanizmalarının, teşviklerin vb. iyileştirilmesidir. Bu bağlamda, bu tür yatırımların uygulanması için mali destek mekanizmaları geliştirilmelidir.
- Aynı barada elektrik üretmek ve tüketmek amacıyla kurulmuş lisanslı atık ısı üretim tesisleri bulunan fabrikalar, iletim sistemine bağlı oldukları tek bir sayaç üzerinden bağdaştırılmaktadır.

"Çimento Sektöründe Devreye Alınan Atık Isı Geri Kazanım Tesisi Yatırımları Listesi"nde yer alan çimento fabrikalarının çoğu, tüketim yönünde yer almalarına rağmen atık ısı santralleri için almış oldukları lisans nedeniyle TEİAŞ tarafından yapılan "Bağlantı ve Sistem Kullanım Sözleşmeleri" kapsamında üretim tesisi olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, atık ısı santrallerinde üretilen elektriği kendi baralarında tüketmelerine ve zorunlu teknik durumlar dışında şebekeden beslemesiz çalışmalarına rağmen TEİAŞ, bu fabrikaların lisanssız santral kurulumuna başvurması halinde bağlantı görüşü veremeyeceğini beyan etmekte ve bunun gerekçesi olarak lisanssız üretim tesisinin, lisanslı üretim tesisinin barasına bağlanamayacağını öne sürmektedir.

Elektrik Piyasası Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ve/veya Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğinde istisna yapılması, fabrikaların lisanssız yenilenebilir enerji tesisi kurmasının önünü açacaktır.

Politika ve Düzenlemelerin Geliştirilmesine İlişkin Öneriler

- Atık Isı Enerji Piyasası Yasası Teklifi

Enerjinin verimli kullanılmasına, ısıtma sektöründe kaynak ve teknolojilerin kullanım sırasının belirlenmesine, bu sıraya göre kullanımının özendirilmesine ve mecburi kılınmasına ve bu yönetmeliğe uyulmasına ilişkin yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Ayrıca, ısıtma ve soğutma için doğalgaz kullanımının yanı sıra evlerde ısıtma amacıyla doğalgaz kullanımı yerine kombine çevrim ve kojenerasyon prensibiyle çalışan enerji santrallerinde doğalgaz kullanılarak elektrik üretimine ilişkin yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Bölgesel ısıtma sistemi yatırımlarını cazip hale getirecek teşvikler konusunda çalışmalar yapılmalıdır.

Ayrıca, organize seralar gibi farklı sektörlerde termik santral atık ısısının kullanımı ve teşvikine yönelik yasal düzenlemeler getirilmelidir.

Bu bağlamda, "Elektrik Piyasası Kanunu" ve "Doğalgaz Piyasası Kanunu" gibi "Atık Isı Enerji Piyasası Kanunu" çıkarılmalıdır.

Atık ısının üretimi, dağıtımı, iletimi ve depolanmasıyla ilgili tüm faaliyetler EPDK'nın görev ve sorumluluğu kapsamında ele alınmalıdır. Atık ısı enerjisi piyasası kurulmalıdır. Devlet, enerji

kaynaklı ısıyı uygun fiyata tüketiciye ulaştırmak için gerekli önlemleri almalı ve ilk uygulamalara destek vermelidir.

- Özel Sektör Teklifi

Atık ısının faydalı kullanımı kapsamlı projeleri de beraberinde getirir. Dolayısıyla, bu projelerin sağlıklı ve verimli şekilde hayata geçirilebilmesi için projelerde özel sektörün de yer alması gerekmektedir. Özel sektör, atık ısının santralden son kullanıcıya taşınmasıyla ilgili tüm faaliyetlerde EPDK tarafından belirlenecek düzenlemeler çerçevesinde çeşitli sorumluluklar üstlenmelidir. Hayata geçirilecek projelerle yeni bir sektör oluşturulacağı için istihdam ve bölgesel kalkınma artacaktır.

Özel sektör projelerde bağımsız olarak yer alabilir ya da kamu kurumları veya belediyelerle işbirliği yapabilir.

Özel sektör ayrıca atık ısıyı değerlendirecek ve ilgili istihdamı artıracak yeni iş alanları belirleyebilir. Sera, soğuk hava deposu, turizm vb. sektörler bu kapsamda değerlendirilebilir.

Özel sektör, bölgesel ısıtma ve soğutma ekipmanlarının üretiminde ve geliştirilmesinde yer almalıdır. Bu sayede, bu ekipmanların üretimini yerelleştirmek mümkün olacaktır.

Bu konuda yatırım yapacak özel sektör kuruluşlarına çeşitli teşvikler sağlanmalıdır.

- Vatandaş Eylem Planı

Atık ısı en ekonomik enerji kaynaklarından biridir. Atık ısının kullanımı ve önemi konusunda farkındalık oluşturulmalı ve vatandaşların ilgisi bu konuya çekilmelidir. Bu bağlamda, yerel ve ulusal iletişim kaynaklarından yararlanılabilir. Ayrıca, vatandaşların atık ısı kaynaklı ısıtma ve soğutma sistemlerini benimsemeleri için maddi destek sağlanmalıdır. Bunlar düşük faizli krediler olabileceği gibi çeşitli vergi muafiyetleri de olabilir.

Potansiyel Yatırımların Ekonomik Fizibilitesine İlişkin Temel Meseleler

Aşağıdan yukarıya yaklaşımın sonuçları, tanımlanan atık ısı geri kazanım teknolojilerinin neredeyse tamamının, sanayi ve ticari binalar için ekonomik olarak (geri ödeme süresi 7 yıldan az olan projeler) uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu teknolojiler, atık ısı kazanları ile geri kazanım, yanma havası ön ısıtması, atık ısı ile elektrik üretimi, kompresörlerin kızgın yağından AIGK vb. kapsamaktadır.

Atık ısıdan enerjiye dönüşüm teknolojileri de termik santraller için makul ve uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir. Etüt sonuçlarına göre, elektrik üretim projelerinin geri ödeme süreleri 3 ila 5 yıl arasında değişmektedir. ORC teknolojilerinin geri ödeme süreleri, diğer atık ısı geri kazanım teknolojilerine göre yaklaşık 1,7 kat daha uzundur.

Bölgesel ısıtma projelerinin geri ödeme süreleri ise diğer geri kazanım teknolojilerine göre kayda değer oranda daha uzundur. Bölgesel ısıtmanın ekonomik fizibilitesi, kaynağın talep alanına uzaklığı ve konut girişlerinde trafo merkezlerinin varlığı gibi birçok faktöre bağlıdır. Ayrıca, türbin revizyonu ihtiyacı, ısı değiştirici istasyonları, buhar sistemi ve boru hattı da maliyete etki etmektedir. Bahsedilen maliyet bileşenlerine ek olarak santrallerin mülkiyeti de fizibiliteye etki eder. Kamuya ait santraller, EÜAŞ tarafından getirilen enerji fiyatlarındaki sübvansiyonlar nedeniyle elektriği daha düşük fiyatlarla satmaktadır. Bu nedenle, elektrik satmak yerine ısı satışından elde edilen maliyet tasarrufları/gelirleri, kamuya ait santraller için daha kısa geri ödeme sürelerine sahip olabilir.

Kaynakça

1. ETKB Enerji Denge Tabloları, 2019: (<https://enerji.gov.tr/eigm-denge-tablolari>)
2. Quantification Of Synergies Between Energy Efficiency First Principle And Renewable Energy Systems (https://www.seenergies.eu/wp-content/uploads/sites/25/2020/04/sEEnergies-WP5_D5.1-Excess_heat_potentials_of_industrial_sites_in_Europe.pdf)
3. Effect of Fuel Characteristics on the Thermal Processes in an Iron Ore Sintering Bed (https://www.researchgate.net/publication/228353763_Effect_of_Fuel_Characteristics_on_the_Thermal_Processes_in_an_Iron_Ore_Sintering_Bed)
4. Syngas Compositions, Cold Gas and Carbon Conversion Efficiencies for Different Coal Gasification Processes and all Coal Ranks (https://www.researchgate.net/publication/348901735_Syngas_Compositions_Cold_Gas_and_Carbon_Conversion_Efficiencies_for_Different_Coal_Gasification_Processes_and_all_Coal_Ranks)
5. Sürekli Emisyon Ölçüm Sistemleri Tebliği (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111012-6-1.pdf>)
6. Isı Geri Kazanım Teknolojilerinin Karşılaştırılması (https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf)
7. (PDF) Application of biomass moulding fuel to automatic flue-cured tobacco furnaces: Efficiency and cost-effectiveness (researchgate.net)
8. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915004584>)
9. Atık Isıdan Enerjiye Piyasası Değerlendirmesi (<https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub52953.pdf>)
10. Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510004131>)
11. Bir İlaç Fabrikasında Trijenerasyon Sistemi Kurulmasının Termoekonomik Analizi (<http://dSPACE.yildiz.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/1/10352/0037417.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)
12. Türkiye Çimento Endüstrisinde Atık Isı Geri Kazanımı [turkcement report.indd](http://www.turkcement.com.tr/indd) (ifc.org)
13. Küresel atık ısı potansiyelinin tahmin edilmesi (Estimating the global waste heat potential - ScienceDirect)
14. Ecoheatcool Proje Çalışma Paketi 1, (<https://www.euroheat.org/our-projects/ecoheatcool-european-heating-cooling-market-study/>)
15. İstatistiklerle Aile, 2020 TÜİK Kurumsal (tuik.gov.tr)
16. KAMU BİNALARININ ENERJİ VERİMLİ YENİLEMESİNE YÖNELİK REHBER (<https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/icerikler/kamu-b-nalarinin-enerji--ver-ml--yen-lemes-ne-yonel-k- rehber-20201014100010.pdf>)
17. <https://doi.org/10.1787/0633467f-en> IEA (2021), Türkiye 2021 Enerji Politikası İncelemesi, IEA Enerji Politikası İncelemeleri, OECD Yayınları, Paris, <https://doi.org/10.1787/0633467f-en>.
18. İZODER 2017 Basın Bülteni, (<https://yesilekonomi.com/turkiyedeki-konutlarin-yalnizca-yuzde-30unda-uygun-yalitim-var/>)
19. Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK (<https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/spatial-modelling-of-industrial-heat-loads-and-recovery-potential>)
20. Shura (2021) Metodoloji ve ayrıntılı sonuçlar ([Methodology_TR_web.pdf](http://www.shura.org.tr) (shura.org.tr))

21. TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği ile birlikte Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
22. Yenilenebilirler 2020 Küresel Durum Raporu (Paris: REN21 Sekreteryası). ISBN 978-3-948393-00-7.
23. Akkuş, I., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. (2005). Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.
24. Yenilenebilir Enerji Kapasitesi İstatistikleri 2022 (india-re-navigator.com)
25. IRENA 2020 İnfografik: Düşük Yenilenebilir Maliyetleri, Kömürün Ötesinde Enerji Kaynaklarını Mümkün Kılıyor (irena.org)
26. Maliyet Analizi Broşürü, Ağustos 2021 Maliyet Analizi Broşürü, Ağustos 2021 - Solar Payback (solar-payback.com)
27. Endüstriyel proseslerde güneş ısı entegrasyonu uygulamaları veritabanı (<http://ship-plants.info/>)
28. Integrating National Research Agendas on Solar Heat for Industrial Processes
29. Türkiye'de Ambalaj Şirketi (<http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/394-packaging-business-turkey-turkey?country=Turkey>)
30. R.C. McKenna, J.B. Norman, Spatial modelling of industrial heat loads and recovery potentials in the UK, Energy Policy 38 (2010) 5878–5891 EE-IP, Energy Recovery - Emission Reduction Project, 2013
31. S. Bruckner "Industrial waste heat recovery technologies: an economic analysis of heat transformation Technologies", 2015
32. BCS Inc. (2008): Waste heat recovery: technology and opportunities in U.S. industry ABD Enerji Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi, Endüstriyel Teknolojiler Programı Washington, DC, ABD.
33. Industrial Thermal Energy Recovery conversion and Management "I-TheRM", 2016
34. Spirax Sarco: "An Explanation of Specialist Boiler Types and Other Specialist Features", 2011
35. The Renewable Energy Hub UK. "Types of Heat Recovery Systems"
36. W.C. Turner, Energy Management Handbook, 2009.
37. BAT, Demir Dışı Metal Endüstrileri için Referans Belgesi, 2014
38. Osaka Gas, Recuperative Burner (Recupeburner), Osaka Gas Co., Ltd., Osaka, 2017
39. K.C. Haug, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi – Enerji ve Proses Mühendisliği Bölümü, Trondheim, 2016.
40. V. Ganapathy, Heat Recovery Steam Generators, 2017
41. S. Douvartzides, I. Karmalis, Working fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) exhaust heat recovery of an internal combustion engine power plant, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016
42. Coepro-consultores E Engenheiros Projectistas Lda, Lisboa, 2017
43. Heat Transfer Research & Development Ltd., Waste or unused energy recovery for power generation, 2017
44. Alferd: "Applied Thermoelectric Solutions"
45. David B. Go, John R. Haase, Jeffrey George, Jochen Mannhart, Robin Wanke, Alireza Nojeh and Robert Nemanich "Thermionic Energy Conversion in the Twenty-first Century: Advances and Opportunities for Space and Terrestrial Applications"
46. C. Ferrari, F. Melino, Thermo photovoltaic generator development, Energy Procedia, 2014
47. L.D.F. Bouzid, Performance evaluation of a GaSb thermophotovoltaic converter, Revue des Energies Renouvelables, 2012.

48. Comsol Inc, Thermo-Photo-Voltaic Cell, Stockholm, 2017
49. Bionomic Industries Inc., "Direct Contact Heat Exchanger System, Bionomic Industries Inc., Mahwah, 2017.
50. Dexin Wang - Yayın tarihi: 31 Mart 2012, Engineering, Environmental Science, Physi
51. Hussam Jouhara*, Navid Khordehgah, Sulaiman Almahmoud, Bertrand Delpech,
52. Amisha Chauhan, Savvas A. Tassou "WHR technologies and applications"
53. Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı - Cam Endüstrisi için Enerji Verimliliği İyileştirmeleri ve Maliyet Tasarrufu Fırsatları
54. Leisin M. Branchensteckbrief der Glasindustrie; Ağustos 2019.
55. Zourou, K., vd., Energetic and Exergetic Assessment of Waste Heat Recovery Systems in Glass Industry, 2013
56. Van Limpt, H., vd., Energy Recovery from Waste Heat in the Glass Industry & Thermo Chemical Recuperator, 2013
57. IEA Teknoloji Yol Haritası – Çimento Endüstrisinde Düşük Karbona Geçiş, 2018
58. Atmaca A, Yumrutaş R, "Analysis of the parameters affecting energy consumption of a rotary kiln in cement industry" 2014
59. Seçilmiş endüstriyel sektörler için Dünya İyi Uygulama Enerji Yoğunluğu Değerleri
60. IEA Çimento Takip raporu, Kasım 2021
61. LBNL 2008, EPA 2010
62. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
63. Seçilmiş Sanayi Sektörleri için Dünyanın En İyi Uygulamalı Enerji Yoğunluğu Değerleri. Ernst Worrell, Lynn Price, Maarten Neelis, Christina Galitsky, Zhou Nan, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, 2007.
64. Waste Heat Recovery Technologies and Applications (Jouhara et al., 2018).
65. UBA, 2001, 23, TWG Ceramics, 2005, 30, TWG Ceramics, 2005)
66. BAT "Seramik İmalat Sanayi Üretimi için Referans Belgesi", 2007
67. Ammar Y., Joyce, S., Norman, R., Wang, Y. ve Roskilly, A. P. Low grade thermal energy sources and uses from the process industry in the UK. Applied Energy, 2012
68. Ladha-sabur vd. 2019
69. CEPI Temel İstatistikler 2020
70. Avrupa Kağıt Endüstrileri Konfederasyonu (CEPI) – Temel İstatistikler 2020
71. Ali Hasanbeigi, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, 2010
72. Uluslararası Bakır Çalışma Grubu (ICSG)
73. Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, seçilmiş endüstriyel sektörler için Dünya İyi Uygulama Enerji Yoğunluğu değerleri
74. Traulsen. H. 1999
75. John Rankin "High temperature processing symposium" 2012
76. Bina Enerji Verimliliği Araştırması 2016
77. Avrupa Komisyonu, EASME, Binalar
78. Cuce, PM; Rifat, S. "A comprehensive review of heat recovery systems for building applications"

79. Thekdi, Arvind, Nimbalkar, Sachin U., Sundaramoorthy, Senthil, Armstrong, Kristina O., Taylor, Anthony, Gritton, Jack E., Wenning, Thomas, & Cresko, Joe. Technology Assessment on Low-Temperature Waste Heat Recovery in Industry. Amerika Birleşik Devletleri. <https://doi.org/10.2172/1819547>