



TTMD

Adına Sahibi / On Behalf of TTMD
Hüseyin Erdem

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü /
Director of Editing Board
Abdullah Bilgin

Genel Yayın Yönetmeni /
TTMD Journal Editor in Chief
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç

Yayın Kurulu / Editorial Board

İ. Zeki Aksu
Gürkan Arı
Abdullah Bilgin
Aytekin Çakır
Dr. İbrahim Çakmanus
Remzi Çelik
Erbay Çerçioğlu
Selfinaz Çıldır
Faruk Çimen
Ali Rıza Dağlıoğlu
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Günerhan
Orhan Murat Gürson
Halim İman
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç
Şükrü Küçüköner
Selami Örfan
Züleyha Özcan
Fevzi Özel
E. Aybars Özer
S.Seden Çakıroğlu Özteker
Yeşim Portakal
Özlem Şahin
İsmet Ünlü Taner
Bora Türkmen
Cafer Ünlü

Dernek Müdürü / TTMD Manager
Selen Güngör

Dergi Yayın Sorumlusu /
Responsible in Charge For Publication
Gülten Acar
İlknur Altınbaş

İletişim / Contact Info
Ankara : Bestekar Sokak Çimen Apt.
No :15/2 06680 Kavaklıdere
Tel: 0.312. 419 45 71 - 419 45 72
Faks: 0.312. 419 58 51
web: http://www.ttmd.org.tr
e-mail: ttmd@ttmd.org.tr

İstanbul : İnönü Caddesi, Mercan Sokak
STFA Konutları B-8 Blok No:12/4 Kozyatağı
Tel: 0.216. 464 93 50
Faks: 0.216. 464 93 51
web: http://www.ttmd.org.tr
e-mail: ttmd.istanbul@ttmd.org.tr

TTMD Yönetim Kurulu / TTMD Board

Hüseyin Erdem (Başkan)
Abdullah Bilgin (Başkan Yrd.)
Hirant Kalataş (Başkan Yrd.)
Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç (Başkan Yrd.)
Dr. İbrahim Çakmanus (Genel Sekreter)
Orhan Murat Gürson (Muhasip Üye)
İ. Zeki Aksu (Üye)
Levent Alatlı (Üye)
Gürkan Arı (Üye)
Handan Özgen (Üye)
S.Seden Çakıroğlu Özteker (Üye)
Tuğfan Tunç (Üye)
Cafer Ünlü (Üye)

48. Sayının Ekidir

Birlikte Üretim Sistemlerinin (Kojenerasyon) Analizi ve Çevresel Yararları Analysis of Cogeneration Systems and Their Environmental Benefits

Prof. Dr. Birol İ. Kalkış, Mak. Yük. Müh.

TTMD Üyesi,

1. Giriş

Birlikte Üretim Sistemleri (Cogeneration Systems), enerji ve ekserji ekonomisi yanında çevreye olan olumlu katkıları ile araştırmadan uygulamaya kadar uzanan geniş bir yelpaze içerisinde Ülkemizin de ilgisini çekmeye başlamıştır. Nitekim Ülkemiz Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı içerisinde önemli bir projeye katılmaktadır. Sanayi ağırlıklı uygulamalar, konut ve hizmet binaları gibi diğer sektörlerle açılmaya başlamıştır. Birlikte üretim sistemlerinin, birincil enerji tasarrufları; uygulama türü ve yeri, yıllık kullanım süresi, kapasite ve arz-talep dengeleri gibi değişik faktörlere bağlı olarak, ortalama %10 ile %50 arasında değişmektedir. Çevreye olan katkıları takip eden bölümlerde açıklanacağı üzere daha önemlidir. OECD'nin *Enerji Teknolojileri Perspektifi Raporu*'na göre birlikte üretimin 2055 yılına kadarki uygulamaları çerçevesinde gerçekleştirilecek küresel Karbondioksit salımlarında yıllık azaltma payı (wedge) 2055 yılında 0.3 Gton CO₂/yıl olacaktır (OECD 2006). Aynı rapor verilerine dayanılarak yapılan diğer bir çalışmada ise, bina ve HVAC sektöründe de yaygın uygulamalara geçildiğinde ve ekserji verimliliği hesaba katıldığında, söz konusu azaltma payının 3 Gton CO₂/yıl değerine ulaşabileceği görülmüştür (Kalkış, B. ve Kalkış, Ş. 2007). Bu azaltma payı, birçok çevreci kuruluşun tanımladıkları ulaşım, endüstri gibi yedi değişik ve her biri 2055 yılında 1 Gton CO₂/yıl Karbondioksit salımında azaltma payına karşılık gelen dilimlerden yaklaşık üçünün toplamına eşittir (Şekil 14). Söz konusu yedi dilimle 2005 yılının küresel boyuttaki toplam 7 Gton CO₂/yıl salımın 2055 yılına kadar sabit tutulması amaçlanmaktadır. Birlikte üretim sistemlerinin bina ve HVAC sektörü ile birlikte yaygınlaşması ile gerçekleştirilecek yeni (sekizinci) dilimle, 2055 yılında küresel CO₂ miktarının sabit kalmasının ötesinde; yıllık toplam salım 4 Gton/yıl a inebilecektir. Bu nedenle TTMD'nin ve tüm üyelerimizin çok önemli görevleri ve sorumlulukları bulunmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir, yeşil ve yüksek performans binaları kapsamında, mühendis ve mimarların, inşaat, HVAC ve birlikte üretim sektörlerinin elele vermeleri kaçınılmazdır. Birlikte üretim sistemlerinin HVAC ve bina sektörlerinin çevreci önemine dayanılarak uygulayıcıları ve karar verme düzeyindeki yöneticileri bilgilendirmek amacı ile bu Ek hazırlanmıştır.

Birleşik Isı ve Güç Sistemleri (Combined heat and power: CHP), mekanik/elektrik güç yanında sadece faydalı ısıyı kapsayan birlikte üretimdir. ASHRAE-HVAC Systems and Equipment (2004) El Kitabının 7. bölümünde ise; CHP ve cogeneration eş anlamlı tutulmuştur. Keşke tanım ve ifadeler arasındaki karmaşa bu kadarla kalıp, tanımlar daha net olsa idi. Farklı tanım, tarif ve terimler nedeni ile, hangi sistemin, tesisin veya

santralin birlikte üretim olduğu (tamamen, kısmen veya hiç) sorun olmakta ve doğru cevabı vermekte zorlanılmaktadır. Birlikte üretim sistemlerinin önemli avantajlarının olması, değişik uygulama alanlarına ve sektörlere hitabetmesi ve değişik sistem ve tipleri kapsamaması, ilk bakışta tanım, tarif ve analiz yöntemlerinin karmaşıklığını haklı gösterebilir. Bu karmaşayı gidermek aslında çok zor değildir. Avrupa Birliği (AB) 2004 yılında 2004/8/EC Yönergesini (Directive 2004/8/EC) yayımlayarak bu konuya belirli düzeyde bir disiplin getirmiştir (EU 2004-a). Bu yönerge *Official Journal of the European Union* da yayınlandığı 21 Şubat 2004 tarihinden itibaren yürürlükte ve bağlayıcı niteliktedir. Üye ülkelerin ulusal yönergelerini aynı tarihten itibaren iki yıl içerisinde yayınlamaları zorunludur. Yönerge ile ilgili olarak AB'nin yayınladığı CWA 45547 Birleşik Isı ve Güç Üretim Sistemlerinin Belirlenmesine İlişkin Kılavuz (CEN/CENELEC 2005), 2004/8/EC Yönergesinin Uygulamaya Sokulması: Analiz ve Kılavuz-Referans Değerler Matrisi (EU 2006-a), 2004/8/EC Yönergesinin Uygulamaya Sokulması için Kılavuz: Ek II ve III ün Uygulanması (EU 2006-b), ayrıca ASHRAE'nin tanımlarına göre, birlikte üretim aşağıdaki beş koşulu aynı anda yerine getirmelidir:

Birlikte Üretimin Beş Koşulu

- 1- Birlikte üretim, faydalı ısıyı ve mekanik /elektrik gücü eş-zamanlı olarak aynı yakıt girdisinden (yardımcı başka yakıt da kısmen kullanılabilir) üretmelidir. Başka bir anlatımla, aynı yakıt girdisinden güç yanısıra, en az bir başka tür faydalı ısıya dayalı enerji, aynı zamanda üretilmelidir.
- 2- Birlikte üretim, faydalı ısıyı, mekanik ve/veya elektrik gücü, sürdürülebilir bir biçimde, ölçerek, kendi dışındaki tüketicilere, birlikte sağlamalıdır.
- 3- Birlikte üretilen enerji faydalı enerji olmalıdır. Directive 2004/8/EC yönergesine göre faydalı ısı, tüketicinin gerçek ısıtma soğutma, veya benzer taleplerini ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde karşılayan ısıdır.
- 4- Birlikte üretim verimli olmalıdır. Birlikte üretim veriminin alt sınırları 2004/8/EC Yönergesine uygun olmalıdır. Bu verim, birlikte üretilen güç ve enerjinin birbirinden bağımsız tesis ve ünitelerde ayrı

üretilmesi durumunda elde edilecek verimler toplamından yüksek olmalıdır.

- 5- Birlikte üretim, verimli olma koşulunun bir gereği olarak sürdürülebilir bir biçimde enerji ve yakıt tasarrufu sağlamalı, çevreye olan zararlı salımları azaltmalıdır.

Bu koşulları görünce hemen akla ülkemizdeki birçok mevcut uygulamanın ve kombine güç santrallerinde üretilen elektrik gücünün birlikte üretim kapsamında olup olmadığı gibi sorular gelmektedir. İşte bu noktada temel tanım karmaşası başlamaktadır. Bu karmaşayı mümkün olduğunca ve örneklerle çözmek ve bunu takiben daha bilinçli analizler ve hesaplar yapmak, doğru kararlar vermek için genel bilgi ve yöntemler sırası ile takibeden bölümlerde sunulmaktadır.

1. Temel Tanım ve Açıklamalar

Ülkemizde kısa bir geçmişe sahip birleşik ısı ve güç sistemleri ve benzer sistemlerin tanım ve kavramlarında eksiklik ve belirsizlikler gözlemlenmektedir. Örneğin, çoğu kez, kombine güç santrali, otoproduktör, bölge ısıtması, birleşik ısı ve güç gibi farklı tanımlar eş anlamlı kullanılmaktadır. Bu nedenle tutarlı ve uyumlu tanım ve tariflerin teknik literatürümüze bir an önce kazandırılması gerekmektedir. Birlikte Üretim Standardı Terim ve Tarifler gibi standartların da bu konuya çok faydalı olacağı açıktır. Böylelikle mevcut veya hazırlanmakta olan yasa ve yönetmeliklerin uygulanmasında ve yorumunda karşılaşılabilecek sorunlar da önlenecektir. Diğer ülkelerde birçok özendirici ve bir o kadar da yaptırımcı program, yönerge ve protokol uygulamaya girmiş olmasına karşın, ülkemizde, birlikte üretimi özendiren, destekleyen veya yaptırımcı ulusal programlar da hazır değildir. Uluslararası programlara örnek olarak, Kyoto Protokolünün Temiz Gelişme Mekanizması (Clean Development Mechanism, CDM) sayılabilir. Kyoto Protokolünü aşan yeni bir adım olarak; öncekilerin aksine, gelişmiş ülkeler, G-8 Ülkeleri, hatta Protokol kapsamında olmayan Çin ve Hindistan 2007 Şubatında Washington'da bir araya gelerek, istisnasız tüm ülkelerin Karbon salımlarını azaltma önlemlerini hemen almaya başlamaları konusunda fikir birliğine varmışlardır. Yaptırımcı kurallar arasında AB nin 2002/9/EC Yönerge sayılabilir. Bu yönerge, tüm üye ülkelerde toplam alanı 1000 m² yi geçen yeni binaların projelendirilmesi sırasında birleşik ısı ve güç sistemlerinin teknik, çevresel ve ekonomik olurluk

raporlarının hazırlanması ve belgelenmesi zorunluluğunu getirmiştir. Bu nedenlerle, önce konu ile ilgili önemli tanım ve kavramların mümkün olduğunca derinlemesine bir açıklaması yapılmıştır. Aşağıda verilen tanımların önemli bir bölümü ilgili literatürden (öncelikle AB Yönergesi, CWA 45547 ve ASHRAE yayınlarından) derlenmiş olmakla birlikte yeni kısaltma ve tanım önerileri de yapılmış, bunlar (*) ile işaretlenmiştir. Bu önerileri okurlarımızın ve üyelerimizin tartışmasına açıyor, değerli katkı ve görüşlerini bekliyoruz. Tanımlar alfabetik dizin yerine fiziksel ve mantıksal bir ilişki dizini içersinde sunulmuştur.

1.1. Ana Tanımlar

Birlikte Üretim, BÜ* (Cogeneration): Birlikte Üretim, tek bir yakıt girdisinden mekanik /elektrik gücü ve faydalı ısıya dayalı farklı enerji türlerini aynı tesis veya üniteye eş zamanlı olarak üretip, tesis dışındaki tüketicilere, ölçerek, sürekli, sürdürülebilir, faydalı ve verimli bir şekilde sağlayan, ayrıca 2004/8/EC Yönergesi EK II deki koşulları yerine getiren üretimdir. Örnekler Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir.

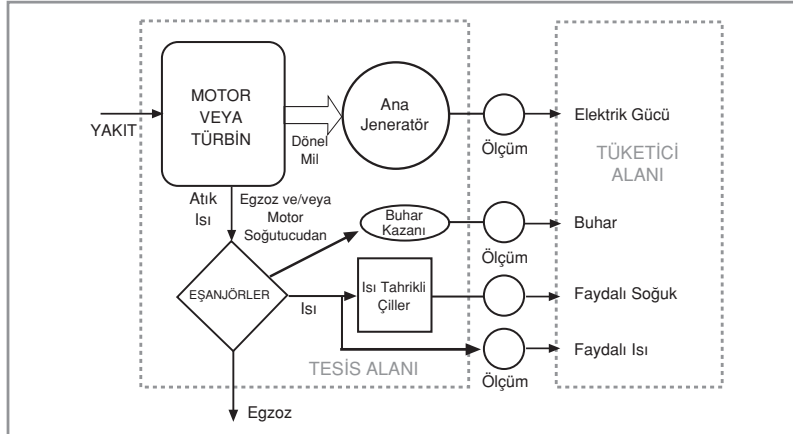
Birleşik Isı ve Güç, BİG* (CHP): Birleşik Isı ve Güç, mekanik/elektrik güç ve ısı enerjisini kapsayan birlikte üretimdir. Örnekler Şekil 3,4,7,8,9,12 ve 13'de gösterilmiştir.

Faydalı Isı, H_{CHP}: Faydalı Isı, ekonomik talebi karşılamak üzere, birlikte üretim yöntemi ile üretilen ısı veya ısıya dayalı diğer enerji türlerinin toplamıdır. Birimi, W-h dir.

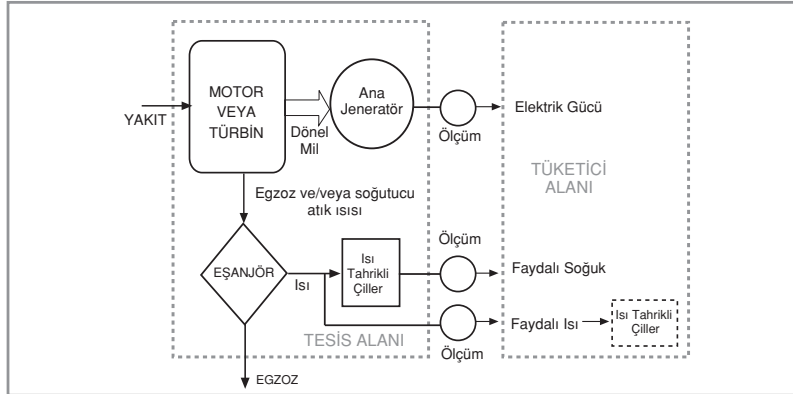
Ekonomik Talep: Ekonomik talep, tüketicinin gerçek işletme koşullarındaki ısıtma, soğutma, sıcak su gibi ısıya dayalı farklı enerji taleplerinin toplamını aşmayan, aştığı taktirde; aşan miktarın serbest piyasa koşullarında birlikte üretim dışındaki yöntemlerle karşılanacağı toplam enerji talebidir. Birimi, W-h dir.

Birlikte üretim, tüketicinin ısıya dayalı tüm enerji yüklerinden daha fazla ısı ürettiyorsa, bu fazlalık faydalı ısı sayılmaz. Faydalı ısının, faydalı amaçlara yönelik gerçek tüketici taleplerini karşılıyor olması gerekir.

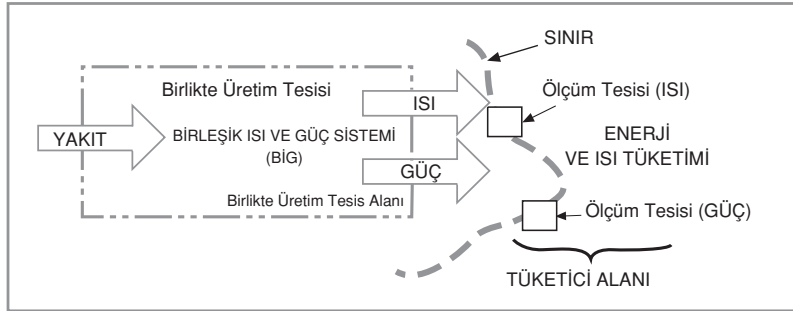
En Uzak Mesafe, L: En Uzak Mesafe, ekonomik ve teknik yönlerden, faydalı ısının uzaktaki bir tüketici alanına, ekonomik talepleri karşılamak üzere, kapalı devreli bir



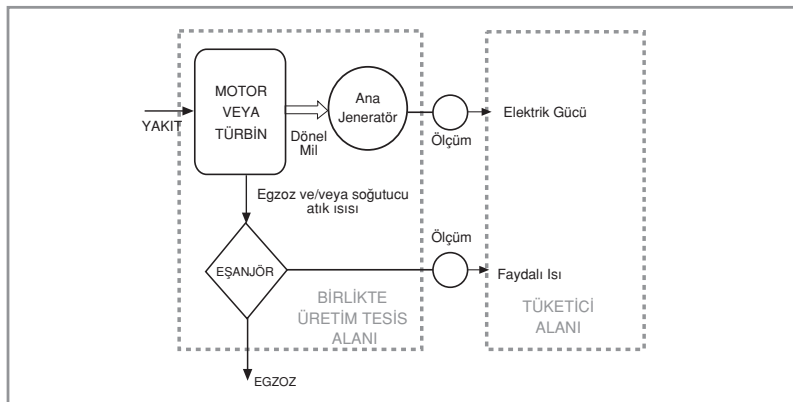
Şekil 1. Çoklu birlikte üretim.



Şekil 2. Üçlü birlikte üretim.



Şekil 3. Alan ve sınırların belirlenmesi (CWA).



Şekil 4-a. Güç öncelikli birlikte üretim çövrümü.

akışkan vasıtası ile taşınabileceği en uzak mesafedir. Birimi, km'dir.

Birlikte Güç, E_{CHP} : Birlikte Güç, belirli bir işletme süresi içerisinde faydalı ısı ile eş zamanlı olarak üretilen mekanik/elektrik gücün 2004/8/EC Yönergesi EK II deki yöntemlere göre belirlenen, toplam enerji karşılığıdır. Birimi, W·h'dir.

Genel Verim: Genel Verim, bir yıllık işletme süresince, tüketiciye sağlanan birlikte güç ve faydalı ısı toplamının, bu süre içerisinde brüt güç ve ısı üretimleri için tüketilen enerji oranıdır.

Verim: Verim, yakıtın alt değerleri kullanılarak hesaplanan genel verimdir.

Yüksek-Verimli Birlikte Üretim (High-Efficiency Cogeneration): Yüksek-Verimli Birlikte Üretim, verimi ve sağladığı yakıt tasarrufu itibarı ile 2004/8/EC Yönergesi EK III deki koşulları yerine getiren birlikte üretimdir.

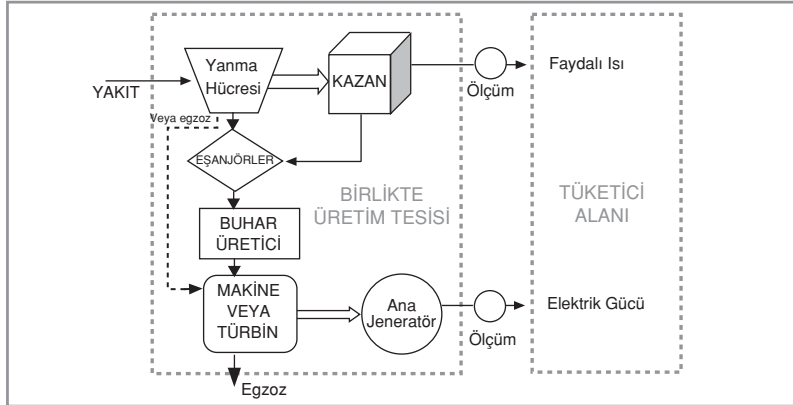
Çoklu Birlikte Üretim, ÇÜ* (Polygeneration): Çoklu Birlikte Üretim, faydalı ısıdan buhar, soğutulmuş su, sıcak servis suyu gibi farklı ekonomik talepleri aynı tesis veya ünite üretebilen ve tüketiciye sağlayan birlikte üretimdir.

Üçlü Birlikte Üretim, ÜÜ* (Trigeneration): Üçlü Birlikte Üretim, aynı tesis veya ünite faydalı ısıdan sadece ısıtma ve soğutma enerjisi üreten çoklu birlikte üretimdir.

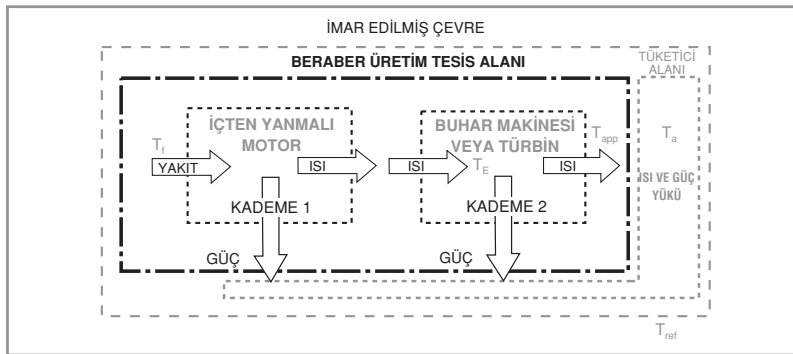
Üçlü birlikte üretim; ancak Şekil 2'de gösterildiği gibi, soğutma enerjisi aynı tesis alanı içerisindeki bir soğutucu ünitesi, örneğin absorpsiyonlu çillerde karşılaşma durumunda geçerlidir. Buna karşın, soğutucu ünite tüketiciye ait ve tüketici alanında kurulu ise (noktalı çizgilerle gösterilen sistem), söz konusu birlikte üretim birleşik ısı ve güç üretimidir. Bu açıklamadan da anlaşılacağı üzere, belirli işlem, çevrim, cihaz ve ünitelerin tesise mi yoksa tüketiciye mi ait olduğu önemlidir. Bu nedenle, Avrupa Birliğinin çeşitli yayımlarında aşağıdaki dört tanım yer almaktadır:

Tesis Alanı: Tesis Alanı, birlikte üretimin gerçekleştiği sahayı belirler.

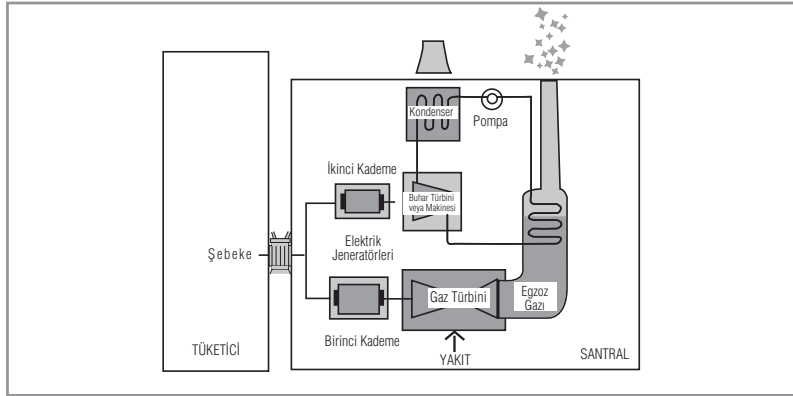
Bu alanın dışına tüketiciye sağlanan tüm faydalı enerji ve güç bağlantıları çıkar.



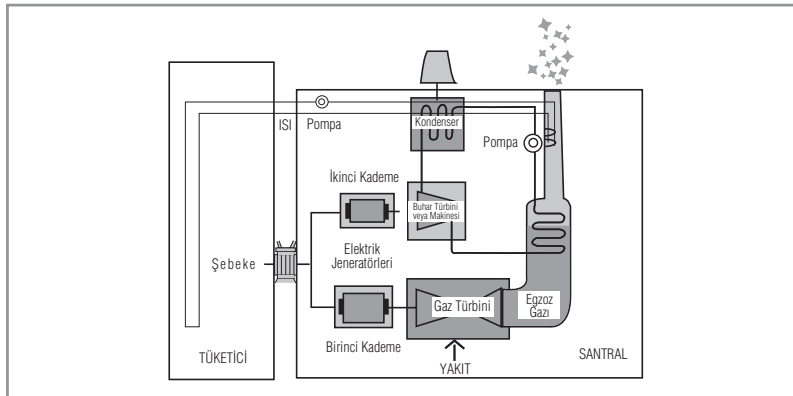
Şekil 4-b. Faydalı ısı öncelikli birlikte üretim çevrimi.



Şekil 5. Birlikte üretimde birleşik çevrim (CWA 45547).



Şekil 6. Tüketicie sadece elektrik gücü sağlayan kombine çevrim güç santraline basit bir örnek.



Şekil 7. Tüketicie elektrik gücü ile birlikte, faydalı ısı sağlayan kombine santral kavramı (BIG kapsamında).

Tüketici Alanı: Tüketici Alanı, birlikte üretti-min sağladığı faydalı enerji ve gücün tüketildiği sahaları belirler.

Ölçüm Ünitesi: Ölçüm Ünitesi, birlikte üretti-min tükettiği enerji ve yakıt girdileri yanı-sıra, tüketiciye sağlanan tüm ısıya dayalı enerji türlerini ve mekanik/elektrik gücün işletme süresi içerisinde enerji karşılıklarını ölçen ve kaydeden ünite veya cihazların her birisidir.

Sınır: Sınır, tesis alanı ile tüketici alanını ayırdeden sanal sınırların bütünüdür.

Bu sanal sınır genellikle ölçüm ünitelerinin konumu da belirler. Tesis tüketici alanı içerisinde ise, sınır tüm tesisi çevreler. Bu dört tanım, Şekil 3 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

Güç Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi (Topping Cycle): Yakıt girdisi öncelikli güç üretiminde kullanılan birlikte üretim çevri-midir (Şekil 4-a).

Faydalı Isı Öncelikli Birlikte Üretim Çevrimi (Bottoming Cycle): Yakıt girdisi öncelikle faydalı ısı üretiminde kullanılan birlikte üretim çevrimidir (Şekil 4-b).

Birlikte Üretimde Birleşik Çevrim (Coproductıon): Birlikte üretilen elektrik enerjisini ardışık çevrimlerle üreten birlikte üretim çevrimidir (Şekil 5).

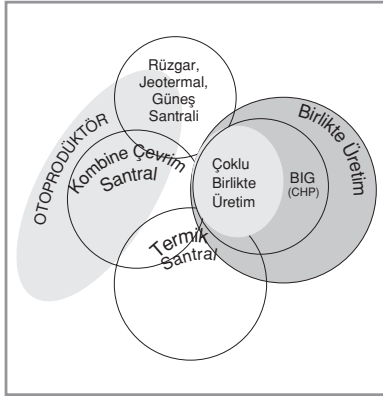
Güç Öncelikli Yük Takibi: Tüketicinin değişken güç yüklerini takibeden ve öncelikle güç taleplerini karşılayan yük takibidir. Güç yüküne elektrik gücü dahil, bütün mekanik tüketici yükleri dahildir.

Isı Öncelikli Yük Takibi: Tüketicinin değişken faydalı ısıya dayalı enerji yüklerini takibeden ve öncelikle faydalı ısı taleplerini karşılayan yük takibidir. Faydalı ısı yüküne, sıcak servis suyu, ısı tahrikli soğutma, buhar gibi tüm ısı yükleri dahildir.

Birlikte Üretim Ünitesi: Birlikte üretimin gerekli tüm koşullarını karşılamak kaydı ile birlikte üretim yapabilen ünite-dir.

Çok-Küçük-Ölçekli (Mikro) Birleşik Isı ve Güç Ünitesi: Birlikte güç kapasitesi 50 kW_e nin altında olan birlikte üretim ünitesidir.

Küçük-Ölçekli-Birleşik Isı ve Güç Ünitesi: Kurulu birlikte güç kapasitesi 1



Şekil 8. Enerji ve güç sistemleri venn diyagramı.

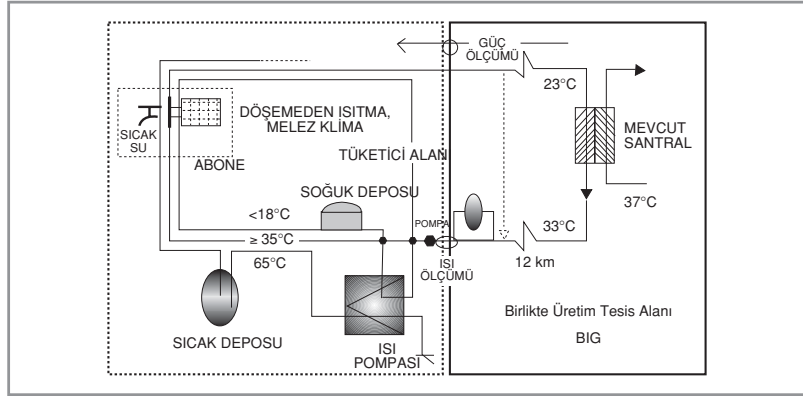
Güç-Enerji (Isı) Oranı, C: Sadece birlikte üretim modundaki işletme verileri itibarı ile üretilen mekanik/elektrik enerjinin üretilen faydalı ısıya oranıdır. Bu orana birlikte üretim modunda üretilmeyen ısı ve güç değerleri dahil edilmez.

1.2 Diğer Tanımlar

Kombine Çevrim Güç Santrali (Combined Cycle Power Plant): Kendi tesisinde birden çok ardışık veya paralel sistem ve termodinamik çevrimlerle kendi atık ısısının bir bölümünü de kullanarak daha yüksek ısı veriminde elektrik gücü üreten güç santralidir.

Ülkemizde kısaca *Kombine Santral* diye anılan bu santraller Şekil 6'daki örnekte de görüldüğü üzere, tüketiciye elektrik gücü ile eş zamanlı olarak faydalı ısı sağlamadıkları için birlikte üretim sayılmazlar. Atık ısı, faydalı ısıya dönüşmeyip genellikle soğutma kulelerinden çevreye atılır. Aksine, kendi termodinamik çevrimlerinin atık ısılarını çevredeki tüketicilere faydalı ısı şeklinde sağlayıp birlikte üretimin beş koşulunu da yerine getirdiklerinde birlikte üretim sayılabilirler: böyle bir kavram Şekil 7'de gösterilmiştir. İki kademedeki (kombine çevrim) oluşan elektrik gücü üretiminden arta kalan atık ısı, faydalı ısı şeklinde tüketiciye bir bölge ısıtma sistemi vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Şekil 5, 6 ve 7'den görüldüğü üzere, "kombine çevrim güç santrali," "birlikte üretimde birleşik çevrim" gibi terimler birlikte üretim koşullarına bakılmaksızın özdeşleştirilemez.

Elektrik gücü de eğer sadece bu santralden sağlanıyor ise, bölge ısıtma sistemi, bölge enerji sistemi halini alır. Her durumda Santral



Şekil 9. Adapazarı kenti için üçlü birlikte üretim sistemi (Kılkaç, I. B. ve G.Cengiz 2000).

BGI kategorisine girmektedir. Dikkat edileceği üzere bu çözüm sayesinde soğutma kulelerine gereksinim azalmakta, dolayısı ile boyutları da küçülmektedir. Önceden yapılmış bir mühendislik çalışmasına göre Adapazarı için böyle bir bölge ısıtma sistemi eklenmiş bir kuramsal sistem Şekil 9'da gösterilmiştir.

Otoprodüktör: Öncelikle kendi elektrik gücü talebini karşılamak üzere elektrik enerjisi üreten yasal kurum, kuruluş, kişi veya topluluktur.

Merkezi Elektrik Santrali (Central Power Plant): Her hangi bir veya birden çok enerji kaynağını ve yakıtı kullanarak elektrik şebekesi aracılığı ile tüketiciye iletmek üzere sadece elektrik gücü üreten santraldir.

Yerinde Üretim (On-site Production): Enerji ve/veya gücün talep noktasında veya çok yakınında üretimdir.

Dağıtık Enerji (Distributed Energy): Güvenirlik, güvenlik, şebeke kayıplarının azaltılması, daha iyi yük takibi, yerel ve alternatif küçük kaynakların etkin kullanımı gibi nedenlerle merkezi elektrik santrallerini ikame etmek üzere, yerinde enerji üretimini öngören enerji üretim yaklaşımıdır.

Bireysel Enerji: Tek bir tüketicinin taleplerini karşılayan dağıtık enerjidir.

Enerji Adacı (Energy Island): Bir dağıtık enerji sisteminin ve bu sistemin tüketici alanını kapsayan bölgesidir.

Elektrik Şebekesi (Grid): Merkezi elektrik santrallerinde üretilen elektriği tüketiciye

iletken, koşullandıran ve dağıtan sistemler toplamıdır.

Şebekeden Bağımsız Birlikte Üretim (Grid Independent Cogeneration): Elektrik şebekesinden tamamen bağımsız çalışan birlikte üretimdir.

Şebekeye Bağlı Birlikte Üretim (Grid Connected Cogeneration): Şebekeden gerektiğinde elektrik enerjisi alan, üretimi talebi aştığında şebekeye elektrik enerjisini geri verebilen birlikte üretimdir.

Termik Santral: Herhangi bir yakıtın yanmasından ortaya çıkan enerjiyi sadece elektrik gücüne çeviren güç üretim tesisidir. Termik bir santral, atık ısısını faydalı ısıya dönüştürüp kendi dışındaki tüketicilere sağlıyorsa diğer koşulları da yerine getirmek kaydı ile birleşik ısı ve güç kapsamındadır.

Merkezi Enerji Sistemi (Central Energy System): Tüketicinin faydalı ısı, soğuk gibi enerji taleplerinin merkezi bir santralden karşılandığı ve tüketici alanına ulaştırılıp dağıtıldığı sistemdir. Bu sistem daha çok yerleşke, toplu konut alanları gibi orta büyüklükteki tüketici alanlarını kapsar. Sadece bir enerji türü söz konusu ise sistem o enerji türü ile örneğin, merkezi ısı sistemi şeklinde anılır.

Bölge Enerji Sistemi (District Energy System): Tüketicinin birden fazla enerji taleplerinin bir veya daha fazla merkezi ısı ve/veya güç santrallerinden karşılandığı ve şehir, kasaba boyutu mertebesindeki tüketici alanlarını kapsayan sistemdir.

1.3. Birlikte Üretim Belirlenmesi

Önceki kısımlardan anlaşılacağı üzere, birlikte üretim kapsamına kesin ve anlaşılır

üretim kapsamında olması, bu kısıtlara tümünden uyum sağlamasına bağlıdır. Bu sınırlar dışında kalıpta, yeni düzenlemelerle uyum sağlayabilen istisnalar varsa bunlar da birlikte üretim kapsamına girer. Birlikte üretim kapsamı Şekil 8'de şematik olarak açıklanmıştır. Örneğin, bir rüzgar enerjisi ile güç üreten tesisi ele alalım: ürettiği mekanik/elektrik gücün bir kısmını ısı pompasında kullanarak sıcak su, soğuk su şeklinde tesis dışındaki tüketicilere faydalı enerji de sağlarsa birlikte üretim kapsamına girebilir. Şekil 7'de gösterilen ve benzeri birlikte üretim yapan kombine çevrim santralleri ve termik santraller için de aynı koşullar geçerlidir.

Bu konuya birkaç ek örnekle daha fazla açıklık getirmek mümkündür:

a- Kombi Cihaz: Kombi cihazın ısı verimi çok yüksek olmakla beraber tek bir enerji türü (ısı) üretmektedir. Bu nedenle, eş-zamanlı olarak güç ve ısı üretmediği için birlikte üretim kapsamında değildir. Ancak, konut tipi kombi cihaz boyutlarında ve doğal gazı çok küçük bir motor veya türbinde yakarak elektrik üreten, atık ısısını da faydalı ısı olarak ısıtma sistemine veren çok küçük ölçekli (mikro) üniteler günümüzde ticarileşmiş durumdadır. Tesis alanı, ünitenin kendisi, tüketici alanı da ünitenin hizmet verdiği daire veya apartmandır. Verimi yüksek, ölçüm cihazları üzerinde veya yakınında takılıdır. Bu nedenlerle cihaz birlikte üretim kapsamındadır.

b- Termik Santral: Bu kez, kombi cihazın aksine, termik santral abonelere sadece elektrik gücü iletmektedir. Atık ısı, faydalı ısıya dönüştürülmek üzere geri kazanılmaksızın çoğu kez soğutma kulelerinden çevreye atılmaktadır. Halbuki, atık ısı faydalı ısı olarak bir bölge ısıtma sisteminde değerlendirilirse, diğer tüm koşulları da yerine getirmek kaydı ile aynı termik santral birleşik ısı ve güç sistemine dönüşebilir. Yatağan santralının atık ısısından Muğla kentinin ısıtılması yönünde bir TÜBİTAK destekli proje ve uygulama protokolü yürürlüğe konmuştur. Eğer, faydalı ısı (ve/veya soğuk) sadece Yatağan santrali içerisindeki sınırlı enerji yüklerine sahip sayılı lojman ve tesis binalarına verilip, geri kalan ısı çevreye atılmaya devam edilirse tesis dışındaki

tüketiciler koşulu gerçekleşmediğinden bu uygulama kapsam dışıdır. Peki, o zaman bir üniversite yerleşkesine kurulu benzer bir tesis tüm atık ısıyı faydalı ısı olarak kendi yerleşke sinde etkin bir biçimde kullansa BIG tanımına uymayacak mı? Bu sorudan açıkça görülmektedir ki ek bir tanıma gerek vardır. Bu tanım, yıllık veya mevsimlik bazda, faydalı ısı-atık ısı oranının en az %50'si olması gibi bir koşul gerçekleştiğinde tesis dışı tüketici koşulu aranmayabilmelidir. İşte bu gibi nuans ve tanım eksikliklerinden dolayı 2006 yılında tamamlanması planlanan 2004/8/EC Yönergesinin Eklerindeki çizelgeler ve yorumlar henüz kesin değildir.

c- Kombine Çevrim Santrali: Her ne kadar

kombine çevrim santralinde, ardışık çevrimlerle atık ısı faydalı ve aslında daha yüksek bir kalitedeki enerji (güç) üretiminde kullanılıyor, termik ve benzer santrallere oranla daha yüksek verimde elektrik enerjisi tüketiciye sağlanıyorsa da birlikte üretim kapsamına giremez. Bunun açık nedeni, tesis dışındaki tüketici alanına sadece tek bir enerji türü (elektrik) sağlanmasıdır. Ardışık çevrimlerde daha çok elektrik üretilmesine rağmen gene de geriye kalan düşük sıcaklıktaki atık ısı soğutma kulelerinden çevreye atılmaktadır. Genellikle, "atık ısının çok düşük sıcaklıkta (düşük ekserjiye sahip) olup, santral atık ısıları faydalı olamaz" gibi savlar öne sürülmektedir. Halbuki, bu tür atık ısılar binaların konfor ısıtmasında, örneğin döşemeden ısıtma, melez klima ve hatta boyutları optimum oranlarda büyük seçilmiş alışılagelen HVAC cihazlarında kullanılabilir. Burada en önemli konu, atık ısının faydalı ısı olarak kullanılabilmesi için uygun HVAC sistem uyarlamalarının ekonomik sınırlar içerisinde optimize edilmesidir. Gereğinde ufak bir pikleme tesisi de eklenerek atık ısıdan yararlanmanın mühendislik çözümleri her zaman mevcuttur. Adapazarı kenti, yakınındaki kombine çevrim santralının "çok düşük sıcaklığı var" diye tanımlanan atık ısısının bölge ısıtmasında değerlendirilmesi, yapılan bir mühendislik çalışmasına göre sistem optimize edilmek kaydı ile mümkündür. Bu sistemin

prensip şeması Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu çalışmada, mevcut kombine elektrik santralinin sadece soğutma kulelerinden belirli miktar atık ısının çekilmesi durumunda (en olumsuz senaryo) bile sistemin ekonomik olabileceği hesaplanmıştır. En olumsuz senaryoya göre; gerçek zamandaki ısı yüklerine bağlı olarak gerektiğinde, Adapazarına sevkedilen faydalı sıcak su için pikleme söz konusudur. Aslında, pik konfor yüklerinde bile döşemeden ısıtma ve/veya melez klima sistemleri kullanılarak kış mevsiminde 33°C su sıcaklığı yeterli olabilmektedir. Bu nedenle, pikleme için kurulacak herhangi bir tesis aslında yedekleme görevini üstlenmektedir. Mevcut santral Adapazarı tüketici alanına faydalı ısı ve elektrik gücünü eş zamanda sağladığında BIG kapsamına girer. Ekonomik, idari ve teknik gerekçelerle, örneğin; santralde en az değişikliği gerçekleştirme amacı (sadece kapasiteye uygun eşanjör eklenmesi ve ufak debi ayarları), abonelere enerjiyi de beladiden satacağı ve bireylerle muhatap olacağı varsayımı ile tüm diğer cihaz ve tesisler tüketici alanı içerisinde öngörülmüştür. Yazın soğutma istendiğinde ve/veya daha çevreci bir pikleme /yedekleme amacı ile toprak ısı bir ısı pompası tesisi öngörülmüştür. Şekil 9'da gösterilen yaz ve kış işletme akışkanı sıcaklıkları, sıcak servis suyu, döşemeden (duvar veya tavandan) ısıtma/soğutma, yazın da sıvı desikant kullanan melez klima sistemleri için yeterlidir. Pik ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak amaçları ile teknik, çevresel ve ekonomik optimizasyona uygun kapasitelerde sıcak ve soğuk depoları seçilmiştir. Yapılan kestirimlere göre böyle bir sistem, sadece santral soğutma kulelerinden önce faydalı ısıya dönüştüreceği 200 MW, ısı gücünden, pazara girme potansiyeli, ekonomik ve teknik koşullarla Adapazarı nüfusu göz önünde tutulduğunda ilk etapta 70 MW, faydalı ısıyı kullanarak 125 m²'lik 10,000 konut eşdeği konfor ısıtması yapılabileceği hesaplanmıştır. Böyle bir uygulamanın karşılığı yılda 100,000 GW-h enerji tasarrufudur. Pikleme uygun kapasitede ısı pompaları ile düşünüldüğünde, yazın 2,000 konut eşdeğeri konfor soğutması da mümkündür. Isı pompası tesisi, santralin ürettiği elektrik gücü ile çalışacaktır. Diğer bir kestirime göre, mevcut kombine elektrik santralinin kullandığı yakıtı göre Santral toplam verimine %15 puan daha eklenebilecektir. Bundan çok daha önemlisi, doğal

ikame edileceği için CO₂ salımlarında büyük azaltım söz konusudur (Bölüm 3'e bakınız). Bölge ısıtması ile binalarda yüksek verimli yoğunlaşmalı doğal gaz kazanlarının ikame edildiği, kazan CO₂ salımının yaklaşık 0.2 kg CO₂/kW-h varsayıldığında yıllık 100 GW_t-h mertebesindeki enerji tasarrufuna karşılık gelen yıllık salım miktarındaki azaltım 20,000 ton CO₂/yıl'dır.

Tipik bir yoğunlaşmalı doğal gaz kazanının bile konfor ısıtmasındaki akılcı ekserji verimi sadece %4 dür. Kısacası, doğal gaz gibi çok çeşitli ve daha yararlı iş üretme (sanayide kullanım, elektrik üretimi gibi) kapasitesine sahip bir enerji kaynağı, konfor ısıtması gibi düşük ekserji kaynakları ile karşılanabilecek bir uygulamada tüketilerek yararlı iş potansiyelinin %96'sı yok edilmektedir. Adapazarı örneğinde, talep edilen ve arz edilen enerji birbiri ile tamamen uyumlu olduğu için akılcı ekserji verimi % 100'e yaklaşabilecektir. Görüldüğü gibi, bugüne değin sözü bile edilmeyen bu atık ısı çok akılcı bir biçimde kullanılabilir. Eğer böyle bir sistem Ambarlı Termik Santraline uygulansaydı, teorik olarak İstanbuldaki bütün binalar ısıtılabilir.

Unutulmamalıdır ki, Adapazarı örneğinde sadece soğutma kulelerine giden atık ısının bir bölümü göz önünde tutulmuştur. Santralde yapılacak diğer düzenlemelerle daha verimli çözümlere ulaşılabileceği muhakkaktır. Her zaman karşılaşılan diğer bir önyargı da faydalı ısının, hele düşük sıcaklıklarda, uzun mesafelere taşınmayacağıdır. Bu konuda yapılan bir araştırmada aşağıdaki eşitliğe ulaşılmıştır (bölge ısıtması için):

$$L \leq 0.6 + \left(\frac{\dot{H}_{CHP}}{1000} \right)^k \quad (1)$$

Denklemin 1'de, \dot{H}_{CHP} faydalı ısı kapasitesi (kW_t), L faydalı ısının kapalı bir devrede ekonomik olarak taşınabileceği en uzak mesafedir (km). k üssü, faydalı ısının gidiş sıcaklığına (ekserjisine) bağlı bir katsayı olup, 0.6 ile 0.95 arasında değişir. Bu örnekteki sıcaklık "çok düşük" olduğundan k katsayısı 0.6 alınmıştır. Bu kabule dayalı olarak, ilk etapta kullanımı öngörülen 70 MW_t ($\dot{H}_{CHP} = 70,000$ kW_t) faydalı ısı kapasitesine karşılık gelen en uzak mesafe 13.4 km'dir. Santralin kente uzaklığı ise 12 km olduğuna göre en olumsuz senaryoda ve ilk etap için bile sistem olur gözükmektedir.

Bu kuramsal çalışmadan da anlaşılacağı gibi, ekserji her ne kadar çok önemli bir çevresel ölçüt ise de çok düşük ekserjiye sahip atık ısının bile kullanılabilmesi çözümler ve uygulamalar bulunmaktadır. Japonya'da termik ve kombine santrallerin atık ısılarının özel kamyonlarla konutlara ücret karşılığı dağıtıldığını hatırlamak bile olumsuz yargılardan ve yaklaşımlardan bir an önce sıyrılmamızı ve çözüm üretmeye başlamamızı sağlamalıdır.

"Atık ısı" yoktur, faydalı işte kullanılmayan ısı vardır. Her atık ısı için uygun ve yararlı bir uygulama mutlaka vardır. Aslıolan bu amaçları benimsemek ve uygun teknolojilerle hayata geçirmektir. Birleşik üretim bu teknolojilerin temelini oluşturur.

d- Kızıldere Jeotermal Güç Üretim Tesisi:

Kızıldere jeotermal enerji santralinden elde edilen elektrik gücü yanısıra özellikle son yıllarda olumlu bir gelişme olarak atık ısının faydalı bir biçimde çevre yerleşim alanlarına sağlanmaya başladığını görüyoruz. Atık ısının faydalı bir biçimde yaygın kullanımı ile bu tesis BIG özelliğini kazanabilecektir.

Konunun sevindirici ve ümit veren yönü, yukarıda kısaca değinilen örneklerde de görüldüğü gibi ülkemizdeki bir çok santral, sistem ve tesis, prensip itibarı ile ve belirli uyarlamalarla birlikte üretim kapsamına girebilir. Sonuçta karlı çıkacak olan hepimiz, kısacası, tüm kamu ve özel sektör güç ve enerji üreticileri, tüketiciler, devlet, HVAC ve yapı sektörü ve de en önemlisi, büyük tehlike ve tehditler altında bulunan küresel çevremiz olacaktır. İşte, uluslararası yönerge ve diğer yayınlardaki "can sıkıcı ve karmaşık" gözüken koşullara ve tanımlara bu yapıcı ve birleştirici gözlemlerle bakarsak, bunların aslında bizlere sürdürülebilir bugün ve yarınlar sağlayacak faydalı ve akılcı yol haritalarını çizdiğini ve ipuçlarını verdiğini görebileceğiz.

2. Birleşik Isı ve Güç Üretimine İlişkin Yönerge ve Kılavuzlar

Avrupa parlamentosunun 2004 senesinde yayınlamış olduğu 2004/8/EC yönergesi ve buna bağlı olarak yayınlanan Uygulamaya Geçirilmesi Esasları ve CWA 45547 Birleşik Güç ve Isı Sistemlerinin Belirlenmesine Dair

El Kitabı, aslında bir arada değerlendirilmesi ve kullanılması gereken referans dökümanlarıdır. Bu referanslar, beraber yorumlandığında, birlikte üretimin belirlenmesi, tasarımları, performans ve çevresel değerlendirilmeleri netleşmektedir. Aynı şekilde, Yönerge koşullarını yerine getirmeyen sistemlerin de kolayca ayırıldıkabilmeleri mümkün olmaktadır. Bu kaynakların içerdiği sayısal bilgiler ve koşullar Ülkemizdeki mevcut ve ileriki uygulamalar için de referans teşkil etmelidir. Şunu da belirtmek gerekir ki bu kaynakların bazı bölümleri iyileştirilme aşamasında olup, Ülkemiz açısından da önem taşıyan konular varsa AB ye öneri götürme imkanları bulunmaktadır. Nitekim, burada da kısaca belirtildiği gibi, birlikte üretim sistemlerinin Akılcı Ekserji Verimi ile de değerlendirilmesinin gerekliliği konusunda bir öneri sunulmuştur (Kılıks, B. ve Kılıks, Ş. 2007). Dikkat edilecek önemli bir konu, Yönerge, Yönerge ekleri ve ASHRAE El Kitabı, birlikte üretimin sadece birleşik ısı ve güç boyutunu (BIG) kapsamalıdır. Çoklu üretimde talep edilen enerji türleri ısıya dayalı olduklarından, bu gibi enerji talep verileri önce eşdeğer faydalı ısıya dönüştürülmeli ve tek bir faydalı ısı kalemi altında toplanmalıdır. Farklı faydalı enerji talepleri zaman içerisinde değişik davranışlar gösterdikleri için bu matematiksel toplama işlemleri çok küçük zaman aralıkları bazında yapılmalıdır.

2.1. Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin 11 Şubat 2004 Tarih ve 2004/8/EC Sayılı Yönergesi

2.1.1. Ön Tanıtım: Yönergenin niteliksel bölümü EK I'de tanımlar, Yönerge gerekçeleri ve amaçları, birleşik ısı ve güç üretim teknolojilerinin kapsamı verilmektedir. Yönergenin niceliksel bölümünde, birlikte üretimin değerlendirilmesine ve kapsamına ilişkin koşullar, iki aşamada çözümlenmektedir. İlk aşama (EK II), birlikte üretilen gücün hesaplanması için uyum yöntemini vermektedir. İkinci aşama (EK III), birlikte üretim verimlerinin hesabı için uyum yöntemini vermektedir. Üye ülkelerin, EK'ler üzerindeki çalışmalarını devam ettirmektedir (Nuno, A. M., Eliseu, M. ve Salvador, M. 2007).

2.1.2. EK I. Yönerge Kapsamı: Uyum yöntemleri ve birlikte üretimin tanımı çerçevesinde; birleşik ısı ve güç üretiminde kullanılabilir teknolojiler şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Faydalı ısıya dönüşen geri kazanımlı kombine çevrim gaz türbini
- Geri basınç buhar türbini
- Buhar yoğunlaşmalı türbin
- İçten yanmalı motor
- Faydalı ısıya dönüşen geri kazanımlı gaz türbini
- Mikro-türbinler
- Stirling (dıştan yanmalı) motorlar
- Organik Rankin Çevrimleri
- Birlikte üretim tarifine her yönü ile uymak kaydı ile diğer teknolojiler

Dikkat edilmesi gereken en önemli konu; yukarıda belirtilen olabilir teknolojileri diğer AB yayınları da göz önüne alındığında ancak birlikte üretimin tüm koşullarını sağladıkları zaman birlikte üretim kapsamındadır. Örneğin, Şekil 8'de de gösterildiği üzere her kombine elektrik santrali otomatikman birlikte üretim tanımı ile özdeşleştirilemez. Ancak, Şekil 9'un örneklemediği gibi, kombine çevrim atık ısısını faydalı ısıya dönüştürüp tüketiciye eş zamanlı olarak sağlayan santraller birlikte üretim kapsamına girebilir. Başka bir örnek olarak; içten yanmalı bir motor, sadece jeneratör seti olarak kullanılıyorsa, birlikte üretim kapsamında değildir.

2.1.3. EK II. Birlikte üretilen elektrik enerjisinin hesabı: EK II'de, birlikte üretilen elektrik enerjisinin normal işletme ve kullanım koşullarına göre (tahmini veya gerçek) hesaplanacağı, çok küçük ölçekli (Mikro) ünitelerde ise hesapların test onaylı katalog verilerine dayandırılabilceği belirtilmektedir.

a. Aşağıda belirtilen koşullar çerçevesinde, ünitenin yıl boyunca ürettiği ve ana jeneratör çıkışlarında kaydedilen elektrik enerjisinin tamamı birlikte üretilen elektrik enerjisi sayılacaktır;

i. Ek 1'de belirtilen (b), (d), (e) (f), (g) ve (h) teknolojilerinde; yıllık genel verim, üye ülkelerin %75 den az olmamak üzere belirleyeceği alt sınırdan yüksek olmak kaydı ile,

ii. Ek 1'de belirtilen (a), ve (c) teknolojilerinde; yıllık genel verim, üye ülkelerin %80 den az olmamak üzere belirleyeceği alt sınırdan yüksek olmak kaydı ile.

b. (a) maddesinin teknolojilerle ilgili (i) veya (ii) şıkında belirtilen genel verim alt sınırlarını aşmayan ünitelerde, birlikte üretilen elektrik enerjisi miktarı CWA 45547 esaslarına göre Denklem 2'den hesap edilir. C, güç-faydalı ısı oranıdır. Bu denklemde, birlikte üretimin tarifine uygun olarak, $H_{CHP} > 0$ ve $E_{CHP} > 0$ koşullar her zaman geçerlidir. Aksi takdirde, ünite birlikte üretim kapsamında değildir.

$$E_{CHP} = C \cdot H_{CHP} \quad \{E_{CHP} \text{ ve } H_{CHP} > 0\} \quad (2)$$

Örnek bir hesap Örnek 2-b de verilmiştir. Yeterli veri bulunmadığı durumlar için Çizelge 1'de verilen değerlerin kullanımını öngörmüştür. CWA 45547 ya göre birleşik ısı ve güç kapsamı dışında bırakılacak elektrik enerjisi yoksa (Örnek 2-b ye bakınız), Denklem 2 aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$CHPE\eta = C \cdot CHPH\eta \quad \{E_{CHP} \text{ ve } H_{CHP} > 0\} \quad (3)$$

Birleşik Isı ve Güç Teknolojileri	C
Faydalı ısı geri kazanımlı kombine çevrim gaz türbini	0.95
Geri basınç buhar türbini	0.45
Buhar yoğunlaşmalı türbin	0.45
Faydalı ısı geri kazanımlı gaz türbini	0.55
İçten yanmalı motor	0.75

Çizelge 1. Veri yokluğunda kullanılacak bazı C değerleri (EU 2004).

2.1.4. EK III. Birleşik ısı ve güç veriminin belirlenmesi: Ek III, Yönergenin çevre ve enerji ekonomisine en fazla odaklanmış bölümüdür. Bu niteliksel bölümde; birlikte üretilen güç verimi, faydalı ısı verimi ve birlikte ısı ve güç üretim verimi yanısıra bu verimlerle ilintili birincil enerji tasarrufu (PES: Primary Energy Savings) potansiyelinin ne şekilde hesaplanacağı gösterilmektedir.

(a) Yüksek-Verimli Birlikte Üretim

Yönergeye göre, birlikte üretimin yüksek verimli sayılması, aşağıdaki kriterlere bağlıdır:

- Birlikte üretilen elektrik ve faydalı ısının birbirinden bağımsız olarak ayrı sistemlerde üretildiği varsayımını ve bu sistemlerin referans verimlerini kullanarak (b) şıkında gösterilen 4 numaralı denklemden hesaplanacak birincil enerji tasarruf yüzdesinin (PES) en az %10 olması,
- Küçük-ölçekli ve çok-küçük-ölçekli birlikte üretim üniteleri, %10 koşulu aranmaksızın yüksek verimli birlikte üretim ünitesi sayılabilir.

(b) Birinci Enerji Tasarruf Yüzdesi

Ayrı ayrı üretilen elektrik ve faydalı ısı referans verimleri Çizelge 3 ve Çizelge 5 de verilmiştir (DG TREN Ocak 2006). Çizelge 2 ise pratikte kullanılan bazı değerleri vermektedir. Referans değerleri bazı düzeltme katsayılarına tabi olduğu gibi bu değerler üye ülkelerde henüz geliştirme aşamasındadır.

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{CHPH\eta}{RefH\eta} + \frac{CHPE\eta}{RefE\eta}} \right] \times 100 \quad (4)$$

Denklem 4, C cinsinden de yazılabilir:

$$PES = \left[1 - \frac{1}{CHPH\eta \left(\frac{1}{RefH\eta} + \frac{C}{RefE\eta} \right)} \right] \times 100 \quad (5)$$

Sistem	RefH η	RefE η
Buhar	0.90	0.52
Proses Isısı	0.85	0.52

Çizelge 2. Referans verimlerine örnek (ayrıca çizelge 3 ve çizelge 5'e bakınız).

Örnek 1.

Buhar çevrimine dayalı bir ünitenin faydalı ısı verimi $CHPH\eta$ 0.55, birlikte üretilen elektrik verimi $CHPE\eta$ 0.33'dür. Çizelge 2 den $RefH\eta = 0.90$, $RefE\eta = 0.52$ olarak bulunur. Bu verilerle PES % 19.7 olarak bulunur.

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{0.55}{0.90} + \frac{0.33}{0.52}} \right] \times 100 = \%19.7$$

Bu verim yüzde %10 alt sınırından dan yüksek olduğu için yüksek-verimli birlikte üretim koşulunu karşılamaktadır.

Yönerge, yukarıda özetlenen maddeler dışında, özel durumlarda ve uygulamalarda geçerli olan başka maddeler de içermektedir. Bu maddelere, Yönerge metninin pdf formatındaki elektronik kopyesine, ücretsiz olarak indirilebilen;
http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2004/l_052/l_05220040221en00500060.pdf internet adresinden ulaşılabilir.

2.2. CWA 45547. Birleşik Isı ve Güç Sistemlerinin Belirlenmesine İlişkin El Kitabı: 78 sahifelik bu el kitabında ilgili tanımlar, literatür bilgileri, hesap yöntemleri ve örnek çözümler bulunmaktadır. Örnek 2 de bu el kitabında mevcut bir örnek uygulamanın hesap özeti aynen verilmiştir. Bu örnek, geri basınçlı bir buhar türbinine ilişkindir. Bir yıllık işletim süresine ait veriler aşağıdaki diyagramda verilmiştir.

Örnek 2-a.

Enerji girdisi 400,000 MW-h, buhar türbini-jeneratör bileşkesinin yıllık elektrik enerjisi üretimi, 102,000 MW-h, tüketiciye sağlanan faydalı ısı 238,000 MW-h'dır. Bu verilerle;

Birlikte faydalı ısı üretim verimi, $CHPH\eta = 238,000/400,000 = 0.595$

Birlikte Güç üretim verimi, $CHPE\eta = 102,000/400,000 = 0.255$

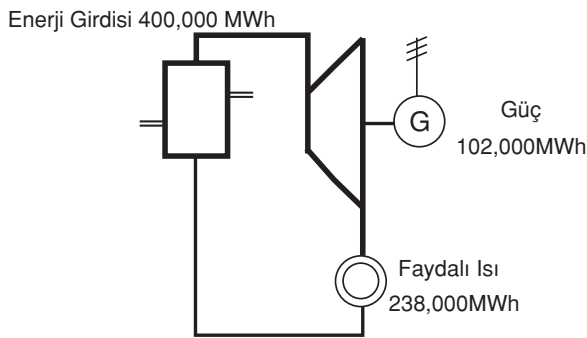
Bu verimlerin toplamı olarak;

$\eta_{CHP} = 0.85$ bulunur.

Bu örnek uygulama, 2004/8/EC Yönergesinin EK II (a) bendine göre, 0.75'den daha yüksek bir verime sahip olduğu için, ürettiği elektrik enerjisinin tamamı birlikte üretim kapsamındadır. CWA 45547 deki örnek hesapları burada son bulmaktadır.

Eğer incelemeye devam edersek, bu örnekte birlikte üretim dışı faydalı ısı üretimi söz konusu olmadığı için;

$C = 102,000/238,000 = 0.43$.



Hesabedilen C, Çizelge 1'de bu teknoloji için gösterilen veri yokluğunda kullanılacak değere (0.45) oldukça yakındır. Bunun anlamı, ünitenin kendi teknolojik alanındaki genel performansa uyumlu olduğu, ancak belirgin bir yenilik getirmedeği anlaşılmaktadır. Çizelge 2'deki ilgili referans verim değerleri kullanıldığında;

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{0.59}{0.90} + \frac{0.25}{0.52}} \right] \times 100 = \%12$$

Birincil enerji tasarrufunun daha da artması için verimlerin iyileştirilmesi gerekir.

Örnek 2-b

Bu örnekte, faydalı ısı, H_{CHP} sadece 138,000 MW-h'dır. Geriye kalan ısı, elektrik üretimini arttırmakta da kullanılmayıp, çevreye atılmaktadır. Bu durumda, η_{CHP} 0.6 olur ve 0.75'den az olduğu için; Denklem 2 kullanılmalıdır. CWA 45547 Şekil 5, 6, ve 7'nin ilgili kısımları takip edilerek ve bu örnek sistemde elektrik enerjisi üretim sürecinin faydalı ısı üretim sürecinden bağımsız olması nedeni ile;

$$C = (\text{Elektrik Enerjisi/Enerji Girdisi}) / [0.75 - \text{Elektrik Enerjisi/Enerji Girdisi}] \\ = (102,000/400,000) / [0.75 - 102,000/400,000] \\ = 0.51 \text{ olarak bulunur}$$

Burada 0.75, Yönergenin verim alt sınırıdır. Denklem 2 ye göre hesabedilen birlikte üretim kapsamındaki üretilen elektrik enerjisi:

$$E_{CHP} = 0.51 \times H_{CHP} = 0.51 \times 138,000 \text{ MW-h} \\ E_{CHP} = 70,380 \text{ MW-h.} \\ \text{olur.}$$

Görüldüğü üzere, atık ısının faydalı hale verimsiz bir şekilde dönüşümü, üretilen elektriğin birlikte üretim kapsamını da kısıtlamıştır. Yönergedeki bu yaklaşımın amacı, daha verimli tasarımları ve uygulamaları özendirmeştir. Örneğin, böyle bir üniteyi pazarlayan üretici, ünitenin birleşik üretim kapasitesini 70,380 MW-h (102,000 MW-h ürettiği halde) olarak belirtmek zorundadır. Bunun sonucunda bu ünitenin hakedeceği teşvikler de aynı oranda azalacaktır. Bu dökümanın pdf formatındaki elektronik kopyasına, <http://www.cen.eu/cenorm/businessdomains/technicalcommitteesworkshops/workshops/ws14.pdf> internet adresinden ulaşılabilir.

2.3. 2004/8/EC Yönergesinin Uygulanmaya Sokulması İçin Analiz ve Gayd: Referans Değerler Matrisi (DG TREN Ocak 2006):

Bu kaynakta, Yönerge maddeleri açıklanmakta ve yorumlar getirilmektedir. Yönergenin niceliksel kısımlarındaki hesaplar için gerekli referans matrisleri çizelgeler ve maddeler şeklinde verilmektedir. İlk olarak, yakıtların ortalama kalorifik ve ISO Standartları baz alınarak; santral yaşı (hizmete giriş yılı) ve tipine göre referans elektrik üretim verimleri verilmiştir (RefE η). Bu matrisin bir kopyası Çizelge 3'de verilmiştir.

Şebeke kayıplarının hesaplanmasına dair düzeltme katsayıları, Çizelge 4 de aynen verilmiştir. Yakıt pillerinde çevre sıcaklığı düzeltmesi kullanılmaz.

- 15°C'in üzerindeki her derece Santigrat için 0.1% yüzde puan düşülür.
- 15°C'in altındaki her derece Santigrat için 0.1% yüzde puan eklenir.

Birlikte ısı üretimi referans değerleri (RefH η), yüzde olarak Çizelge 5'de verilmiştir. RefE η ve RefH η değerleri Denklem 4'ün hesabında kullanılır. Bu dökümanın pdf formatındaki elektronik kopyasına, ücretsiz olarak indirilebilen; http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/200603/060123draftreferencevaluesmatrix_08.pdf internet adresinden ulaşılabilir.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006-2010	
Solid	Hard coal / coke	39.7%	40.5%	41.2%	41.8%	42.3%	42.7%	43.1%	43.5%	43.8%	44.0%	44.2%
	Lignite / lignite briquettes	37.3%	38.1%	38.8%	39.4%	39.9%	40.3%	40.7%	41.1%	41.4%	41.6%	41.1%
	Peat / peat briquettes	36.5%	36.9%	37.2%	37.5%	37.8%	38.1%	38.4%	38.6%	38.8%	38.9%	39.0%
	Wood fuels	25.0%	26.4%	27.7%	28.8%	30.0%	30.9%	31.7%	32.4%	33.0%	33.5%	34.0%
	Solid (biodegradable waste+ agricultural biomass)	20.0%	21.0%	21.6%	22.1%	22.6%	23.1%	23.5%	24.0%	24.4%	24.7%	25.0%
Liquid	Oil (gas oil+ Residual fuel oil), LPG	39.7	40.5%	41.2%	41.8%	42.3%	42.7%	43.1%	43.5%	43.8%	44.0%	44.2%
	Liquid biofuels	39.7	40.5%	41.2%	41.8%	42.3%	42.7%	43.1%	43.5%	43.8%	44.0%	44.2%
	Liquid (biodegradable) waste	20.0%	21.0%	21.6%	22.1%	22.6%	23.1%	23.5%	24.0%	24.4%	24.7%	25.0%
Gaseous	Natural Gas	50.0%	50.4%	50.8%	51.1%	51.4%	51.7%	51.9%	52.1%	52.3%	52.4%	52.5%
	Refinery gas / Hydrogen	39.7%	40.5%	41.2%	41.8%	42.3%	42.7%	43.1%	43.5%	43.8%	44.0%	44.2%
	Biogas	36.7%	37.5%	38.3%	39.0%	39.6%	40.1%	40.6%	41.0%	41.4%	41.7%	42.0%
	Coke oven gas, Blast furnace gas +other waste gases (including waste heat recovery)	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%

Çizelge 3. Birlikte Elektrik Üretimi İçin RefEn Değerler Matrisi.

İçin	Şebekeye Geri Verilen Güç İçin	Şebekeden Alınan Güç
>200 kV	1	0.985
100-200 kV	0.985	0.965
0.4-100 kV	0.965	0.925
<0.4 kV	0.925	0.860

Çizelge 4. Şebeke Hat Kayıpları Hesaplarının Düzeltme Faktörleri.

	Buhar*/Sıcak su	Egzoz gazının doğrudan	
Solid	Hard coal / coke	88%	80%
	Lignite / lignite briquettes	86%	78%
	Peat / peat briquettes	86%	78%
	Wood fuels	86%	78%
	Solid (biodegradable) waste	+ 80%	72%
	Agricultural biomass		
Liquid	Oil (gas oil+residual fuel oil)	89%	81%
	Liquid biofuels	89%	81%
	Liquid (biodegradable) waste	80%	72%
Gaseous	Natural gas	90%	82%
	Refinery gas / hydrogen	89%	81%
	Biogas	70%	62%
	Coke oven gas, blast furnace gas + other waste gases	80%	72%

*Sadece buhar kazanı ile yapılan bereber üretimin faydalı ısısına kondens dönüşü dahil ediliyorsa, çizelge değerleri %5 puan eksiltir.

 Çizelge 5. Faydalı Isı Üretiminde Yakıt Türüne Göre Referans Değerleri, RefH_q.

2.4. 2004/8/EC Yönergesinin Uygulanmaya Sokulması İçin Gayd-EK II ve EK III Hakkında (Haziran 2006):

Bu döküman, CWA 45547 dekine benzer bir içerikte, tesis ve tüketici alanları gibi tanımları, diğer temel tanımları, sistemi belirleme esaslarını, değişik teknolojilerin hesap örneklerini, ayrıca Yönergenin uygulamaya sokulmasında takip edilecek yöntemleri içermektedir. Bunlara ek olarak, birlikte üretim sistemlerinin işletmelerinin ne şekilde kaydedileceği, takibi ve ölçüm esaslarını belirlemektedir.

2.5 ASTM E 974 Standardı

Bu standart sadece yüksek ekserjili (elektrik gücü üretimine müsait) jeotermal enerji kaynaklarını kapsamakla birlikte, diğer Birlikte üretim sistemlerinin analizine yardımcı olduğu noktalar vardır. Şekil 10, birlikte üretim yapan tek kademeli bir jeotermal tesisi şematik olarak göstermektedir. Standartın özüne uygun olarak, enerji kaynağından yararlanma düzeyi (YD) aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$YD = \frac{E_{CHP}}{Q_{II}} + \frac{H_{CHP}}{Q_I} \quad (6)$$

Q_{II} , ($E_{CHP} + H_{CHP}$) nin üretiminde kullanılan jeotermal akışkanın ideal Karno Çevrimine göre ekserjisidir.

Yukarıdaki denklemde Q_I , ($E_{CHP} + H_{CHP}$) nin üretiminde kullanılan jeotermal akışkanın kuyu çıkış sıcaklığı - re-enjeksiyon sıcaklığı aralığında ve normal işletme debisindeki enerjisidir. Q_{II} , aynı işletme koşullarında ve sıcaklık aralığında hesaplanır.

Örnek 3

Bir yıllık işletme süresince;

$$E_{CHP} = 35,000 \text{ MW}\cdot\text{h}$$

$$Q_{II} = 90,000 \text{ MW}\cdot\text{h}$$

$$H_{CHP} = 80,000 \text{ MW}\cdot\text{h}$$

$$Q_I = 200,000 \text{ MW}\cdot\text{h}$$

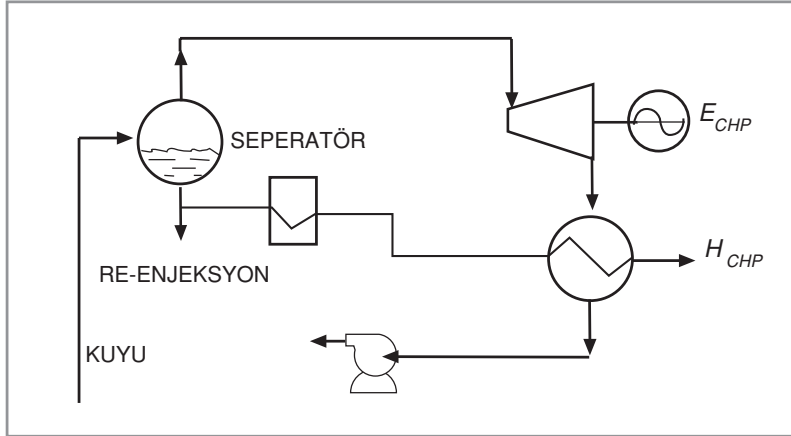
Bu değerler kullanılarak;

$$YD = (35,000/90,000+80,000/200,000) = 0.79$$

$$C = 35,000/80,000 = 0.44$$

Bu sistemi bütünü ile değerlendirmek için tüketici alanındaki uygulamaları da birlikte değerlendirmek gerekir. Bu nedenle aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$$E = H_{CHP}/H \quad (7)$$



Şekil 10. Jeotermal Enerjili Birlikte Üretim Sistemine bir Örnek (ASTM E 974 2000).

Burada, H bölge enerji sisteminin pikleme santrali ve/veya HVAC cihazlarını büyük seçerek jeotermal sahadan (veya başka bir enerji kaynağından) daha fazla faydalı ısı alabilme durumundaki yıllık bölge ısıtma kapasitesidir. Ekserji Faktörü EF ise jeotermal kaynağın ideal elektrik-ısı oranının bölge ısıtma sisteminde ne düzeyde kullanıldığını göstermektedir. Bu tür uygulamalarda, T_f jeotermal kuyu başı sıcaklığı, T_{ref} ise çevrenin referans sıcaklığıdır.

$$EF = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) \times \left(\frac{1}{C}\right) \quad (8)$$

T_f , 145°C (418 K), T_{ref} , 15°C (285 K) ise, yukarıdaki örnek için EF 0.72 dir.

2.5. ASHRAE El Kitabı

ASHRAE el kitabının ilgili bölümünde, birleşik ısı ve güç ünitesinin toplam ısıl verimi aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\eta_{BIG} = \frac{H_{BIG} + E_{BIG}}{Q_Y} \quad (9-a)$$

$$\eta_{BIG} = \frac{\sum_y H_{BIG} + \sum_y E_{BIG}}{\sum_y Q_Y} \quad (9-b)$$

Verimin, yıl veya bir mevsim boyunca saatlik, hatta daha kısa aralıklı (y) verilerle hesaplanması, en doğru sonucu verecektir (Denklem 9-b). BIG ünitesi henüz işletmeye alınmamış veya daha tasarım aşamasında ise, yukarıdaki denklem, tasarım güçleri esas alınarak kuramsal olarak da hesaplanabilir.

Örnek 4.

Yeni geliştirilmekte olan ve içten yanmalı bir doğal gaz motoru kullanan bir BIG ünitesinin tasarım girdileri şu şekildedir:

$$Q_Y : 327 \text{ kW}_t$$

$$H_{CHP} : 144 \text{ kW}_t$$

$$E_{CHP} : 145 \text{ kW}_e$$

Hedef verim, yukarıdaki denklemden 0.88 olarak bulunur:

$$\eta_{CHP} = \frac{144 + 145}{327} = 0.88$$

NOT: CWA 45547 Birleşik Isı ve Güç Sistemlerinin Belirlenmesine İlişkin Kılavuza göre (CEN/CENELEC 2005); eğer kullanılan yakıtın enerji girdisinden bir bölümü kimyasal bileşikler içerisindeki dönüşümle geri kazanılırsa bu enerji bölümü Q_Y den düşülür. Böyle

bir geri dönüşümle geri kazanılan enerji 15 kW_t ise; düzeltilmiş $Q = 327 \text{ kW}_t - 15 \text{ kW}_t = 312 \text{ kW}_t$ değeri kullanılarak η_{BIG} 0.93 bulunur. Bu önlem ile AB, yakıtlardan geri dönüşümü de özendirir. AB Yönergesine göre bu ünitenin C oranı da 145/144 = 1.007'dir (Denklem 2). Bu güç-ısı oranı, C, Çizelge 2 içten yanmalı motor seçeneği için verilen değerlerle mukayese edildiğinde, bu ünitenin ısıya oranla daha yüksek bir ekserjiye sahip elektrik gücünü daha fazla üretebildiğini göstermektedir. Ancak ASHRAE el kitabında da aynen belirtildiği gibi; 9-a ve 9-b denklemleri enerjinin kalitesini ayırt edememekte, adeta elma ile armudu toplamaktadır. Bu nedenle AB Yönergesi de dahil olmak üzere daha yüksek ekserjili (elektrik fazla, ısı az) üretim yapan üniteler ile daha az ekserjili (ısı fazla, elektrik az) üretim yapan üniteler arasında sağlıklı bir ayırım yapmak mümkün olmamaktadır. Bu sorunu biraz da olsa gidermek üzere, Denklem 4, hiç olmazsa, iki ayrı enerji türünü tek paydada toplamak yerine, enerji türlerinin kendi verimlerini kendi referans verimleri ile mukayese ederek birincil enerji tasarruf yüzdesini bulmaktadır. Ancak bu yeterli değildir. Sadece çevrenin korunması ve zararlı salımların önlenmesi için değil, ekserji tasarruflarını daha gerçekçi bir kapsamda hesaplayabilmek için Denklem 4 ve Denklem 5'e ekserji teriminin doğrudan girmesi gerekir. İşte bu eksikliği gidermek üzere ve Bölüm 3'de özetlenen yeni *Akılcı Ekserji Yönetim Modeli* geliştirilerek, bu model çerçevesinde hazırlanan ekserji içerikli Denklem 4, diğer önerilerle birlikte AB ye önerilmiştir (Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2007).

3. Akılcı Ekserji Verimi

Termodinamiğin Birinci Kanununa göre hesaplanan enerji verimi ve İkinci Kanuna göre hesaplanan ekserji verimi, her ne kadar çevre, ekonomi, insan, tükenebilir enerji kaynakları dörtlemine ortak sürdürülebilirliği konusunda fikir vermekte ise de, karmaşık ve çok boyutlu insan ve çevre ilişkilerini bina, ünite, tesis, fabrika, santral gibi dar alanlar ve "tek-başına" kavramının dışına taşıyabilecek, arz ve talep ekserjileri arasındaki dengeyi bir bütün olarak değerlendirebilecek metrikler bu güne kadar geliştirilmemiştir. Bu eksikliği gidermek üzere *Akılcı Ekserji Yönetim Modeli* geliştirilmiştir.

3.1. Akılcı Ekserji Verimi

Akılcı Ekserji Verimi, ψ_{Ri} ; herhangi bir (i)

uygulamasının talep ettiği en az ekserjiye (ϵ_{appi}) karşın arz edilen ekserjinin (ϵ_{max}) ne kadar birbirleri ile dengede (yakın) olduklarını sorgulamaktadır. Akılcı ekserji verimi, ekserji talebi ile ekserji arzı arasındaki uyumun ve dengenin bir ölçütüdür.

$$\psi_{Ri} = \frac{\epsilon_{appi}}{\epsilon_{max}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{appi}}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \quad (10)$$

Buna karşın, doğalgaz ve benzeri fosil yakıtlar çok yüksek ekserjiye sahiptirler.

Örnek 5:

Bir (i) binasının doğal gazlı ısıtma sistemin için, aşağıdaki tasarım sıcaklıkları ($T_{appi} = T_a$) verilmiştir. Bu koşullarda, (i) binasının akılcı ekserji verimi, ψ_{Ri} ;

$$\psi_{Ri} = \frac{\left(1 - \frac{283}{293}\right)}{\left(1 - \frac{283}{2000}\right)} = 0.04$$

dür. Diğer bir deyişle, doğal gazın faydalı iş (elektrik üretimi gibi) üretme potansiyelinin %96'sı kaybedilmektedir. Aynı bina, kendi elektriğini bir küçük ölçekli BIG ünitesinde üretme yerine merkezi santrallerden elektrik enerjisi talep ederek ikinci bir enerji tüketimine ve ikinci bir çevre kirliliğine neden olmaktadır. İşte bu nedenle, Yönergenin Birincil Enerji Tasarrufu Yüzdesi (PES) denklemi, BIG üniteleri için aşağıdaki şekilde düzeltilmiştir. Burada $Ref\psi_{RCHP}$ 0.2 alınır. ψ_{RCHP} değerlerine örnek, Bölüm 3.2'de verilmiştir.

$$PES_{RCHP} = \left[1 - \frac{1}{CHPH\eta \left(\frac{1}{RefH\eta} + \frac{C}{RefE\eta} \right) \times \frac{(2 - Ref\psi_{RCHP})}{(2 - \psi_{RCHP})}} \right] \times 100 \quad (11)$$

Örnek 6

$\psi_{RCHP} = 0.75$ kabulü ile, Örnek 1 yeni PES_{RCHP} denklemi ile çözüldüğünde, daha gerçekçi enerji tasarrufu, %44 dür. Örnek 1 de PES %19.7 olarak bulunmuştu.

$$PES_{RCHP} = \left[1 - \frac{1}{0.55 \times \left(\frac{1}{0.90} + \frac{0.6}{0.52} \right) \times \frac{(2 - 0.2)}{(2 - 0.75)}} \right] \times 100 = \%44$$

3.2. Çevresel Değerlendirme

Yukarıdaki denklemden hareketle, BIG sistemlerinin çevreye olumlu katkıları daha iyi anlaşılacaktır.

Hergünkü Senaryo:

Şekil 11'de görüldüğü üzere, doğal gaz kazanı ile ısıtılan (i) indisli bir bina, elektrik talebinin tamamını uzaktaki bir termik santralden almaktadır. Kazanda yakılan yakıt türüne, yanma performansına, dış koşullara bağlı olarak binadan havaya belirli ölçüde zararlı salım, örneğin CO_2 salımı olmaktadır. Bu bacaları hepimiz görüyoruz ve enerji verimliliğini, çevre korumasını bu bacalara göre tayin ediyoruz. Ancak sorun bu kadarla bitmiyor: bu binanın kısmen sorumlu olduğu ve görülmeyen ikinci, hatta daha fazla sayıda ek salımlardan sorumlu bacası vardır. Enerji kalitesinin kullanımındaki büyük uyumsuzluğa neden olan bu bina, BIG sistemi kullanmayıp elektrik enerjisini (j) indisli bir termik santralden almaktadır. Binanın bu elektrik yüküne karşılık, santralin toplam yükü artmakta ve bu oranda santral daha fazla CO_2 salımı

yapmaktadır (ΔCO_{2j}). Bu ikincil salım, binada BIG uygulanırsa büyük ölçüde önenebilir. Birim toplam bina yükü P_i başına iki bacadan çıkan toplam CO_2 salımı:

$$\sum CO_{2i} = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left(\frac{c_i}{\eta_i} \right) + \left(\frac{c_j}{\eta_i \eta_T} \right) (1 - \psi_{Ri}) \quad (12)$$

Örnek 7.

Aşağıdaki veriler, santralde ve binada aynı tür yakıt kullanıldığı ve ısı verimlerin benzer oldukları kabulü ile değerlendirildiğinde;

$$\sum CO_{2i} = \left(\frac{c_i}{0.7} \right) + \left(\frac{c_i}{0.7 \times 0.75} \right) (1 - 0.04) = 3.3c_i$$

Doğal gaz için c_i 0.2 kg $CO_2/kW-h$ alınırsa, birim toplam enerji yükü başına CO_2 salımı 0.66 kg $CO_2/kW-h$ olur.

Bölge Isıtma Senaryosu:

Bu senaryoda, merkezi santral atık ısı, bölge ısıtma sistemi ile binanın ısıtılmasında kullanılmaktadır. Aşağıdaki veriler göz önüne alındığında akılcı ekserji veriminin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu senaryoya göre, binada baca yoktur, çünkü kazana gerek kalmamıştır ve artık binadan CO_2 salımı yoktur. Ancak, elektrik yükü hala santralden karşılanmakta ve elektrik talebinin karşılanmasında henüz bir iyileşme söz konusu değildir.

$$\sum CO_{2i} = \Delta CO_{2j} = \left(\frac{c_j}{\eta_i \times \eta_T} \right) (1 - \psi_{Ri}) \quad (13)$$

Örnek 8

Örnek 7'deki veriler kullanılarak ve $c_i = c_j$ koşulunda, bina sorumluluğundaki toplam Karbondioksit salımı ikincil salımdan (santraldeki oransal salım) ibarettir:

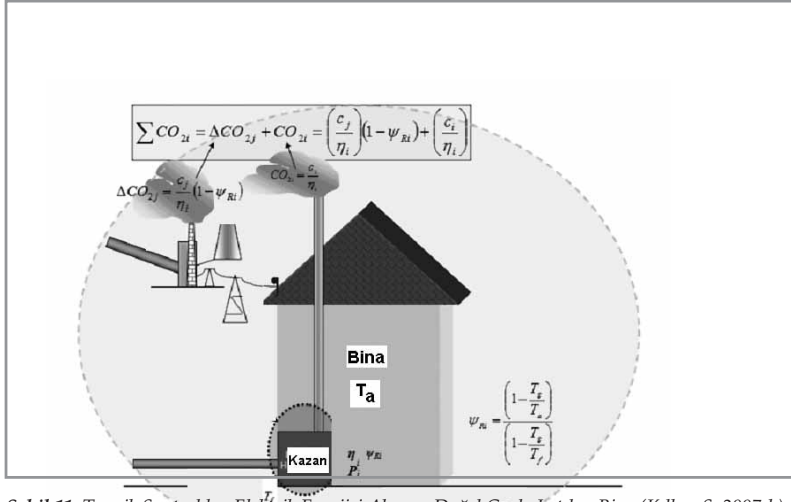
$$\sum CO_{2i} = \left(\frac{c_i}{0.7 \times 0.75} \right) (1 - 0.04) = 1.8 c_i$$

Dağıtık Enerjide Çok-Küçük Ölçekli Birleşik Isı ve Güç:

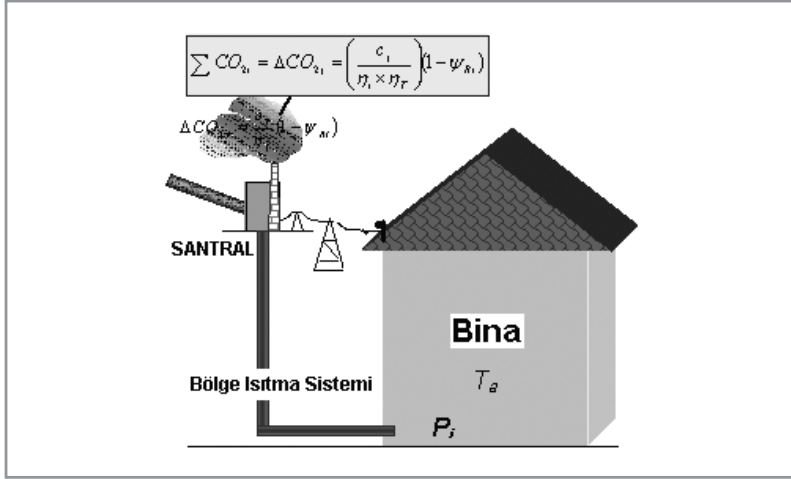
Bu senaryoda bina, santral ile ilişkisini tamamen kesmiş, kendi güç ve ısını üretmektedir.

Örnek 9

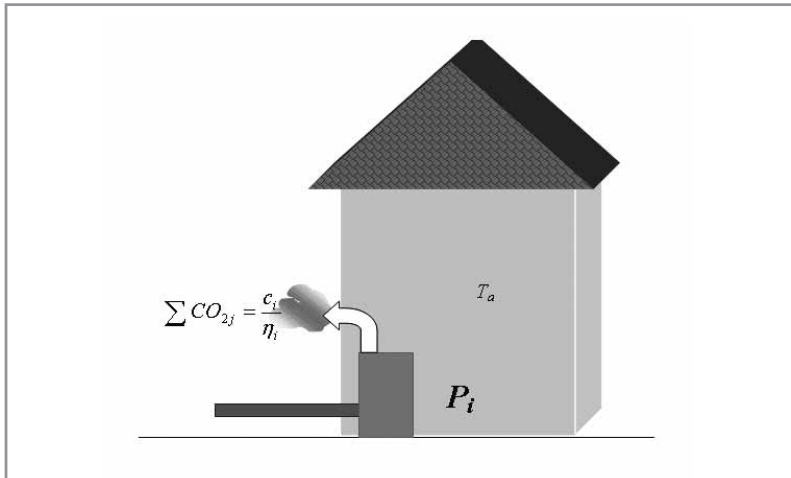
Bu örnekte, birleşik ısı ve güç kavramı bina boyutuna indirilmiştir. Santralle olan irtibat tamamen kesilmiş, eş zamanda kendi elektrik ve ısını üretmektedir. Karbondioksit salımı birleşik ısı ve güç ünitesinin eksozundan oluşmaktadır. Bu değer genellikle eksozun katalitik dönüştürücüsü vasıtası daha da azaltılmaktadır.



Şekil 11. Termik Santralden Elektrik Enerjisi Alan ve Doğal Gazla Isıtılan Bina (Kılıkış, Ş. 2007-b).



Şekil 12. Aynı Termik Santral Atık Isısının Bölge Isıtmasında Faydalı Isıya Dönüşmesi (Kılıkış, Ş. 2007-a ve b).

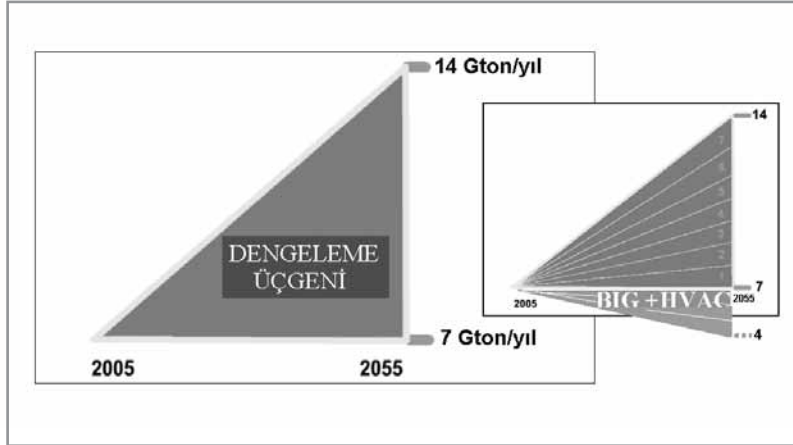


Şekil 13. Bir Konutta BIG Sistemi (Kılıkış, Ş. 2007-a ve b).

Yukarıdaki örnekler ve hesaplar, çevrenin korunması yönünden çok önemli konulara işaret etmektedir. 2005 yılındaki yıllık küresel toplam CO₂ salımı olan 7 Gton CO₂/yıl değerinin lineer artarak 2055 yılında 14 Gton CO₂/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu trendin doğrusal olduğu düşünülerek bu artışı durdurmak üzere, her biri 2055 yılında 1 Gton CO₂/yıl azaltım olan yedi adet Karbondioksit salımını azaltma dilimi tariflenmiştir. Eğer, yukarıdaki örneklere uygun olumlu gelişmeler yaygın bir biçimde gerçekleşirse, sekizinci bir BIG+HVAC birleşiminde 3 Gton CO₂/yıllık bir ek azalma dilimi gerçekleştirilebilir.

4. Semboller

- | | |
|-------------------|--|
| C | Güç-ısı oranı |
| c _i | Birim tüketici toplam faydalı ısı ve güç talebinin (P _i) karşılamasında yakılan yakıtın saldığı CO ₂ miktarı, kg CO ₂ /kW |
| CHPH _η | Birlikte faydalı ısı üretim verimi |
| CHPE _η | Birlikte güç üretim verimi |
| CO ₂ | Birincil Karbondioksit salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl) |
| ΔCO ₂ | Ekserji verimsizliğine bağlı (önlenebilir; ikincil) Karbondioksit salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl) |
| ΣCO ₂ | Toplam Karbondioksit salımı, kg CO ₂ (veya Gton CO ₂ /yıl) |
| E | Etkinlik katsayısı |
| EF | Ekserji faktörü |
| H | Bölge enerji sisteminin pikleme santrali ve/veya HVAC cihazlarını büyük seçerek jeotermal sahadan (veya başka bir enerji kaynağından) daha fazla faydalı ısı alabilme durumundaki yıllık bölge ısıtma kapasitesi kW·h. |
| H _{CHP} | Birlikte üretilen faydalı ısı, kW·h |
| | Faydalı ısı kapasitesi, kW |
| E _{CHP} | Birlikte üretilen elektrik (mekanik güç) enerjisi (Birlikte üretim kapsamı dışında kalan miktar hariç), kW·h |
| k | Tesis ve tüketici alanları arasında faydalı ısıyı taşıyan akışkan ekserjisine bağlı matematiksel üs |



Şekil 14 . Karbondioksit salımlarını dengeleme üçgeni ve yedi adet azaltım dilimi (CMI 2006).

L	Faydalı ısının kapalı bir devrede dolaşan akışkan ile taşınabileceği en uzak tüketici alanı mesafesi, km
$RefH\eta$	Birlikte faydalı ısı üretimi referans değeri
$RefE\eta$	Birlikte güç üretimi referans değeri
P_i	Birlikte üretimin karşıladığı birim enerji talebi, kW-h
PES	Birinci Yasaya göre birincil enerji tasarrufu, %
PES_{RCHP}	Birinci ve ikinci yasalara göre toplam birincil enerji tasarrufu, %
Q_Y	Yakıt girdisine eşdeğer enerji miktarı (ortalama alt ısıl değere göre), kW-h
Q_I	Tüketicinin ısı ve güç talebini karşılayan enerji kaynağının toplam ısısı (Birinci yasaya göre), kW ·h
Q_{II}	Tüketicinin ısı ve güç talebini karşılayan enerji kaynağının tasarım şartlarındaki ideal ekserjisi (İkinci Yasaya göre), kW-h
T_a	Tasarım konfor sıcaklığı, °C (K)
T_{appi}	(i) uygulamasına giren faydalı ısı sıcaklığı (uygulama sıcaklığı), °C
T_E	Birlikte güç üretimini terkeden işletme akışkanının sıcaklığı, °C
T_{ref}	Çevrenin referans (denge) sıcaklığı, °C
T_f	Yakıtın yanma (alev) sıcaklığı veya mekanik enerjinin ekserji eşdeğeri sanal yanma sıcaklığı, °C
YD	Enerji kaynağından yararlanma düzeyi
η	Birinci Yasa verimi
η_i	Her hangi bir (i) uygulamasının verimi
η_{CHP}	BIG (CHP) sisteminin verimi
η_T	Merkezi santraldeki ilk enerji dönüşümünden sonra, tüketiciye kadar olan çevrim, iletim, dağıtım ve koşullandırma (transformatör gibi) aşamalarını kapsayan toplam verim
ϵ_{app}	(i) uygulamasının birim yükünü gerçekleştirebilecek en düşük ekserji
ϵ_{max}	(i) uygulamasının birim yükü için harcanan ve bir kısmı yokedilen ekserji
ψ_{Ri}	(i) uygulamasına ilişkin Akılcı Ekserji verimi
ψ_{RCHP}	BIG sisteminin Akılcı Ekserji verimi
i	Tüketici alanındaki her hangi bir uygulamanın indisi
j	Santralin indisi

5. Kaynakça

- [1] ASHRAE, 2004. ASHRAE Handbook- HVAC Systems and Equipment, Chapter 7, Cogeneration Systems and Engine and Turbine Drives, Atlanta.
- [2] ASTM. 2000. Standard Guide for Specifying Thermal Performance of Geothermal Power Systems, Standard E 974-00.
- [3] CEN/CENELEC. 2004. Workshop Agreement. Manual for Determination of Combined Heat and Power (CHP), CWA 45547.
- [4] CMI. Carbon Mitigation Initiative, Princeton University, <http://www.princeton.edu/~cmi/>
- [5] CMI. The Stabilization Triangle, Princeton University, http://www.princeton.edu/~cmi/resources/CMI_Resources_new_files/CMI_Stab_Wedges_Movie.swf
- [6] EC DG TREN. 2006-a. Analysis and Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Reference Values- Matrix.
- [7] EC DG TREN. 2006-b. Guidelines for the Implementation of the CHP Directive 2004/8/EC: Guidelines for Implementation of Annex II and Annex III, Draft.
- [8] EU. 2004. Directive 2004/8/EC, on the Promotion of Cogeneration Based on Useful Heat Demand in the Internal Energy Market and Amending Directive 92/42/EEC. EU Official Journal, L52/50, Vol. 47, pp. 50-60.
- [9] Kılıkış, Ş. 2007-a. Development of a Rational Exergy Management Model to Reduce CO₂ Emissions with Global Exergy Matches, Honors Thesis, Georgetown U., 130 pages, 21 figures.
- [10] Kılıkış, Ş. 2007-b, A Rational Exergy Management Model for Curbing CO₂ Emissions, ASHRAE Transactions, ASHRAE: Atlanta.
- [11] Kılıkış, I. B. ve C. Güngör. 2000. Düşük Entalpili Alternatif Enerji Kaynaklarının Bölge Isıtma ve Soğutmasında Etkin Kullanımı, Tebliğler Kitabı, s. 731-738, Ulusal Temiz Enerji Simpozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- [12] Kılıkış, I. B. 2002. Environmental Economy of Low-Enthalpy Energy Resources in District Energy Systems, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Part 2, pp. 580-588.
- [13] Kılıkış, I. B. ve Kılıkış, Ş. 2007. Upgrading Directive 2004/8/EC with Rational Exergy Model, ASHRAE Transactions, ASHRAE: Atlanta.
- [14] Nuno, A. M., Eliseu, M. and Salvador, M. 2007. Portuguese Start-transposition of the EU Cogeneration Directive, Cogeneration and On-site Power Production, January-February 2007, pp. 45-51.
- [15] OECD. 2006. Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050: in Support of the G8 Plan of Action/IEA, Paris: OECD/IEA, 479 p.

Yazar;

Prof. Dr. Birol Kılıkış,

1949 yılında Ankarada doğan Birol Kılıkış 1966 yılında Ankara Kolejni ifthar derecesi ile bitirdi. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında Tübitak NATO bursu ile Briiksel NATO von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak Şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında M.Sc. ve 1979 yılında Ph.D derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılıkış 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan kendi isteği ile emekli oldu. Halen ASHRAE Özel Teknik Projeler alt komite Başkanı olup TÜBİTAK ve AB FP6 Destekli projelere katılmakta ve/veya yürütmektedir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılıkış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiştir. Green Energy Council üyesi, Int. Journal of Green Energy ve Exergy Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyesidir. Melez klima sistemleri ve kojenerasyon konularında patentleri ve müracaatları bulunmaktadır. AB Kojenerasyon Direktifine Cogen Europe üyesi olarak görüş bildirmekte ayrıca ASHRAE Handbook revizörlüğü yapmakta olup, Üntes A.Ş.'nin Araştırma Koordinatörüdür.