Pistonlu Gaz Motorlarıyla Tahrik Edilen Kojenerasyon Sistemleri ile Yerinde Enerji Üretimi

Kasım ZOR (kzor@adanabtu.edu.tr), Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Ahmet TEKE (ahmetteke@cu.edu.tr), Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Çukurova Üniversitesi

Elektrik ve ısı enerjisinin aynı anda tek bir yakıt girdisiyle üretildiği gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinin özellikle oteller, hastaneler ve sanayi tesislerinde sayılarının gün geçtikçe artması, bu sistemlerin enerji verimliliği çalışmalarındaki rolünü pekiştirmiştir. Ayrıca, %80 verimlilik şartını yerine getiren ve sadece kendi ihtiyaçları doğrultusunda elektrik üretmek isteyen tesislere lisans muafiyeti getirilmesi, gaz motorlu sistemlerin karbon salınımının az olması, devreye girme sürelerinin hızlı olması ve amortisman sürelerinin kısalığı, kojenerasyon sistemlerinin son dönemlerde ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır.

1. Giriş

Günümüzde fosil yakıt rezervlerinin azalmasına bağlı olarak popülerleşen yeni nesil enerji üretim teknolojilerinin pahalılığı, son yıllarda şebeke elektriğini zaten yüksek fiyatlarla satın almak zorunda kalan işletmeleri alternatif yollar aramaya itmiştir. Doğalgaz veya biyogaz tabanlı yakıtlarla çalışan gaz motorlarını bünyesinde barındıran kojenerasyon sistemleri, işletmelere ucuz elektrik üretiminin yanı sıra eş zamanlı olarak atık ısı geri kazanımı ile ısı enerjisi de sağlamaktadır[1].

Geçmişte doğalgazın sadece sınırlı bir alanda kullanılabilmesi ve doğalgaz fiyatlarındaki sürekli değişimler, doğalgaz kullanımının teşvik edilebilirliğinin önündeki en önemli engellerdi. Ancak 2012 yılının sonlarına doğru Türkiye'nin turizm başkenti Antalya'da da doğalgazın yaygınlaştırılması ile birlikte, özellikle oteller ve hastaneler için yüksek enerji verimliliği sağlayan trijenerasyon sistemlerinin kurulması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle, doğalgaz boru hatları taşımacılığında stratejik öneme sahip ülkelerden biridir. Çevre dostu bir enerji kaynağı olan doğalgazın doğudan batıya taşınmasında bir nevi köprü rolü üstlenen Türkiye, ithal ettiği doğalgaz miktarını 2011 yılında bir önceki yıla göre %22, 2012 yılında ise %8 artırmıştır[2]. Doğalgazdan elektrik üretiminin toplam elektrik üretimine oranına bakıldığında ise, 2011 yılı için %45,4 gibi bir orana sahip olduğu görülmektedir[3]. Bu verileri değerlendirdiğimizde, Türkiye'nin gelecekteki enerji projeksiyonunda doğalgazın yeri ve önemi açıkça görülmektedir[4].

Kojenerasyon sistemlerinde yakıt olarak biyogaz veya biyokütle tabanlı sistemlerin kullanımında yakıt maliyetinin bulunmayışı ve yenilenebilir enerji olarak değerlendirilmesi ile sanayide proses esnasında, depolama tesislerindeki katı veya hayvansal atıklardan elde edilen gazların içten yanmalı motorlarda yakılması enerji üretiminde başka bir opsiyon oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, gaz motoruyla tahrik edilen kojenerasyon sistemlerinin temelleri, avantajları, kapasite

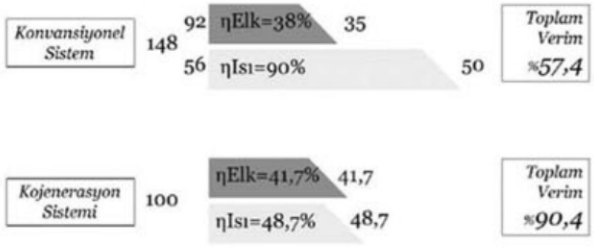
seçim kriterleri ve senkronizasyonu ile ilgili temel ve pratik bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Bu giriş bölümünden sonra bölüm 2'de kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin temelleri anlatılmıştır. Bölüm 3'te gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinde seçim kriterleri sunulmuştur. Çalışmanın önemli sonuçları ve önerileri sonuçlar bölümünde sunulmuştur.

2. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemleri

1990'lı yılların başlarından itibaren ülkemizde adından söz ettirmeyi başaran kojenerasyonun kelime anlamı, birlikte üretimdir. Gaz motorlu sistemlerde kojenerasyon denildiğinde akla gelmesi gereken şey ise elektrik ve ısının aynı anda tek bir yakıt girdisi ile üretilmesidir. Trijenerasyon sistemlerinde ise kojenerasyona ek olarak elektrik ve ısının yanında sisteme absorpsiyonlu soğutucu ve soğutma kulesi eklenerek, üretilen ısının bir bölümünden ya da hepsinden soğutma da elde edilmesidir[5]. Kullanılan yakıtlar konusunda eğilim doğalgaz, sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) ve biyogaz yönündedir.

2.1 Verimlilik Tespiti

Elektriğin ve ısının ayrı ayrı üretildiği konvansiyonel sistemler düşünüldüğünde toplam verimlilik %57,4 seviyelerindeyken[6], saatte 2,145MWh'lık elektrik enerjisi üretebilen gaz motorlu kojenerasyon sisteminin verimliliğinin %90,4 mertebesinde olduğu görülmektedir[7]. Kaybın büyük bölümü motorun şasisinden havaya yayılan ısıdır. Toplam verimliliğin %96 seviyesine yükseltilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

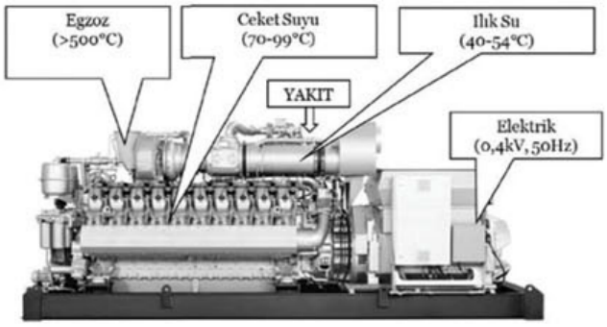


Şekil 1. Konvansiyonel sistem ile saatte 2,145MWh'lık elektrik enerjisi üretebilen gaz motorlu kojenerasyon sisteminin teorik verimliliklerinin karşılaştırılması.

Verimlilikler incelendiğinde Şekil 1'de verilen kojenerasyon sisteminin elektriksel verimliliği %41,7, ısıl verimliliği ise %48,7 olarak gösterilmiştir. Elektriksel verimlilik, motora akuple şekilde bağlı, genellikle sabit mıknatıslı senkron bir jeneratörün saatte ürettiği elektrik gücünün motorun saatlik yakıt tüketimine oranıdır[8]. Isıl verimlilik ise, gaz motoruna ait kullanılabilen tüm ısıl çıktıların bir saatlik toplamının motorun saatlik yakıt tüketimine oranıdır[8].

2.1.1. Sistemin Çıktıları

Gaz motorunun ısıl çıktıları egzoz gazı, ceket suyu ve ılık sudan elde edilen ısı geri kazanımlarıdır. Zihinde kolay canlandırılması açısından gaz motorları da araç motorları gibi Otto çevrimli ve 4 kademeli olduklarından, egzoz gazı aracın egzozundan attığı gaz ve ceket suyu çevrimi de araçlarda radyatöre gönderilip soğutulan kapalı çevrim gibi düşünülebilir.

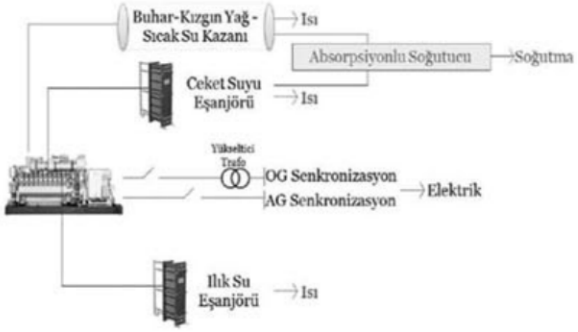


Şekil 2. Kojenerasyon sistemine ait gaz motorundan elde edilen elektriksel ve ısıl çıktılar.

Egzozdan atılan gazın sıcaklığı 500 °C'nin üzerindedir. Egzoz gazı, kojenerasyon tesislerinde sisteme entegre buhar kazanı, kızgın yağ kazanı veya sıcak su kazanı içerisinde değerlendirilerek atık ısı geri kazanımı sağlanır. Trijenerasyon sistemlerinde ise sıcak su kazanının çıkışı absorpsiyonlu soğutucular ve soğutma kulesi ile irtibatlandırılarak soğutma elde edilir.

Ceket suyu, motoru soğutan kapalı çevrim sıvısıdır. Bu çevrime yüksek sıcaklık çevrimi de denir. Motor üreticilerine bağlı olarak rejim sıcaklıkları değişiklik gösterir. Ancak genellikle ceket suyunun motora giriş sıcaklığı minimum 70 °C civarında, çıkış sıcaklığı ise maksimum 99 °C civarındadır. Kojenerasyon sisteminin verimli çalışabilmesi için ısınan ceket suyunun soğutulabilmesi, sistemin sürekliliği açısından zorunludur. Ceket suyunun soğutulması için iki yol vardır. Bunlardan birincisi ısınmış suyun radyatörlerde soğutulup motora geri gönderilmesidir. İkincisi ve kojenerasyondaki ısı geri kazanımının uygulamala-

rından birisi olan eşanjör yöntemidir. Isınmış ceket suyu, eşanjör plakaları üzerinden ısısını tesisten gelen kendisine göre daha soğuk olan sıvıya transfer eder. Trijenerasyon sistemlerinde ise ceket suyunun eşanjör çıkışı absorpsiyonlu soğutucu ve soğutma kulesi ile irtibatlandırılarak soğutma elde edilir.
Gaz motorlarında ılık su, hava soğutmalı ısı eşanjörü ile radyatör ve su soğutmalı ısı eşanjörü arasında kapalı devre bir çevrim oluşturur. Bu çevrime düşük sıcaklık çevrimi denir. Çalışma rejim sıcaklıkları motor üreticilerine göre değişiklik gösterse de, minimum giriş sıcaklığı 40 °C civarında, maksimum çıkış sıcaklığı ise 54 °C seviyesindedir. Motorun soğutulmasında ve sağlıklı çalışmasında düşük sıcaklık çevriminin de payı büyüktür. Isınmış ılık su, yine ceket suyunda olduğu gibi ya radyatör yardımıyla, ya da düşük sıcaklık eşanjöründen tesise ısı transferi yoluyla soğutularak hava soğutmalı eşanjör tarafına geri gönderilir.



Şekil 3. Örnek kojenerasyon ve trijenerasyon sistem gösterimi.

Gaz motoruna bağlı senkron jeneratörde üretilen elektriğin frekansı 50 Hz ve gerilim seviyesi 0,4 kV mertebesindedir. Jeneratör çıkışı 0,4 kV olan gerilimin, alçak gerilim seviyesinden mi yoksa orta gerilim seviyesinden mi senkron olacağının kararı verilirken her tesisin kendi ihtiyaçları doğrultusunda değerlendirilmesi gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

2.1.2. Sistemin Avantajları

Gaz motorlarının ısıl çıktıları kojenerasyonun ekonomik olmasının sebeplerindendir, ancak Türkiye'de tesislerin kojenerasyon sistemlerini benimsemesinin ana sebebi elektriğin şebeke elektriğine oranla daha ucuza üretilmesi ve kojenerasyon sistemlerinin amortisman sürelerinin kısalığıdır. Saatte 2,145 MWh elektrik üreten gaz motorunun bir saatte 513,9 m^3/h doğalgaz tükettiğini [7], elektrik iç tüketiminin ise yaklaşık 55 kWh olduğunu düşünüp, doğalgaz birim fiyatını 0,80 TL/m^3 alıp hesaplandığında yaklaşık olarak 0,20 TL/kWh gibi bir birim maliyete ulaşılacaktır. Bu fiyata ısıl tasarruflar da dahil edildiğinde ve buna bağlı olarak Türkiye'deki elektrik tarifelerine ait birim fiyatlar ve vergiler incelendiğinde, enerji verimliliğini esas alan kojenerasyon sistemleri kurulurken kapasite seçiminde elektriksel tüketimlerin neden esas alınması gerektiği daha iyi anlaşılacaktır.
tKojenerasyon sistemlerinin en büyük avantajı enerjinin yerinde üretilmesi ve daha az kayıpla kullanılmasıdır. Enerjinin şebeke elektriğine oranla daha kaliteli üretilmesi, prosesin sürdürülebilirliğini ve sistemin güvenilirliğini artırır[5]. Enerjinin yerinde üretilmesi ve kullanılması, dağıtım şirketlerine ödenen faturalardaki perakende satış hizmet bedeli, iletim ve dağıtım bedelleri, TRT payı, enerji fonu kesintisi ve belediye özel tüketim vergisi gibi ekstra yüklerden kurtulmaya olanak tanır. Çevreci olduğundan karbon salınımının azaltılmasına yardımcı olur.

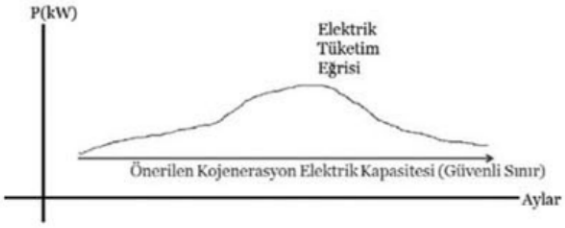
2.2 Kullanım Alanları

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin Türkiye'deki kullanım alanları arasında tekstil, kağıt, gıda, kimya, elektrolitik bakır ve madencilik gibi sanayi kolları; hastane, alışveriş merkezi ve havalimanları gibi sosyal alanlar; atık su arıtma tesisleri ve doğalgaz kompresör istasyonları bulunmaktadır.

3. Kapasite Seçim Kriterleri

Kojenerasyon sistemlerine ait kapasite seçimi çok yönlü ele alınması gereken bir konudur. Kojenerasyon sisteminin asıl amacının enerji tasarrufu olduğunu ve bu tasarrufunda büyük bir bölümünün elektrikten elde edildiği düşünüldüğünde, seçilen gaz motorunun tam yükte veya tam yüke yakın çalıştırılıp, yerinde tüketilebilecek kadar elektrik enerjisi üretilip, ısıl çıktılarında olabildiğince değerlendirilmesi gerekmektedir[9]. Türkiye'de kojenerasyon sistemlerinin kapasitesinin seçiminde görülen en büyük yanlışlar sadece elektrik tüketimine ya da sadece buhar tüketimine göre seçim yapılması, başka bir tesiste kurulu olan benzer sistemin taklit edilmeye çalışılması veya fazla enerji üretip satma isteğidir.
Kapasite seçimine geçilmeden önce karar verilmesi gereken konu sistemin kojenerasyon mu, yoksa trijenerasyon mu olacağıyla ilgilidir. Örneğin, tekstil sanayi

gibi buhar ihtiyacının olduğu yerlerde kojenerasyon tesisleri, kimya sanayi gibi soğutma ihtiyacının da olduğu yerlerde ise trijenerasyon tesisleri kurulumları daha yaygındır. Elektrik enerjisi ile birlikte üretilen ısı enerjisi verimli kullanılabiliyorsa kojenerasyon, kullanılamıyorsa ve bir soğutma ihtiyacı da varsa trijenerasyon sistemleri kurulmalıdır. Isı enerjisi ve soğutma ihtiyacının birlikte görüldüğü tesislerde, seçim yaparken tasarruflar hesaplanmalı, hangisinden daha çok tasarruf edilebilecekse kurulum mantığı o tarafa kaydırılmalıdır[10].
Kapasite seçiminde elektriksel, ısıl veya soğutma tüketimleri incelenirken uygulanması gereken yöntem en az bir yıllık geriye dönük tüketimlerin ay bazında incelenmesidir.



Şekil 4. Kojenerasyon elektrik kapasitesi tespit eğrisi.

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere Türkiye'de tesisler genellikle yazın artan bir elektrik tüketim eğrisine sahiptirler. Kojenerasyondaki ve trijenerasyondaki minimum amortisman süresini gerçekleyecek güvenli sınır, elektrik kapasitesinin bu eğrinin hemen altında seçilmesi ile mümkün olacaktır. Eğer bu eğriye karşılık gelecek olan ısıl üretim veya soğutma üretimi talep edilenden fazla ise sınır biraz daha aşağı kaydırılabilir, böylece hem elektrik hem de ısıl veya soğutma üretimlerinin tamamına yakınının tüketilmesi imkanı oluşacak ve daha enerji verimli sistemlere kavuşulacaktır [11].

3.1. Çalışma Modları

Kojenerasyon sistemleri 3 farklı şekilde çalıştırılabilirler.

3.1.1. Şebeke ile Paralel Çalışma

Kojenerasyon sistemi tesisin temel elektrik ihtiyacını sağlamak amacıyla sürekli çalışır. Sistem kapasitesinin üzerindeki elektrik enerjisi talepleri şebeke tarafından karşılanır. Paralel çalışma sistemin güvenilirliğini arttırdığından en çok tercih edilen çalışma modudur.

3.1.2. Ada Modunda Çalışma

Kojenerasyon sistemleri ada modunda çalışırken jeneratör seti şebekeden bağımsız bir şekilde, sanki kendisi şebekeymiş gibi çalışır. Şebeke ile paralel çalışmada, şebekenin herhangi bir şekilde kesilmesi de jeneratör setini ada moduna düşürür. Ada modunda çalışmanın en büyük dezavantajı, gaz motorlu sistemlerin blok yük alma kabiliyetinin düşük olması ve motorlar başlatılırken çekilen yüksek akımlara dizel jeneratörler gibi tepki verememesidir.

3.1.3. Yedek Modda Çalışma

Acil bir durumda şebeke enerjisi kesildiğinde jeneratör setinin yedek bir güç üreteci gibi çalıştırıldığı moddur. Kojenerasyon tesis maliyeti, aynı kapasiteye sahip bir dizel jeneratörün yaklaşık iki katı olacağından, sadece yedek olarak çalıştırılacak bir tesisin kurulması günümüz koşullarında pek mantıklı değildir.

3.2. Sistemlerin Şebeke ile Senkronizasyonu

Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin şebekeye senkronizasyonunda iki alternatif mevcuttur.

3.2.1. Alçak Gerilim (AG) Senkronizasyon

AG senkronizasyon, genellikle tek bir baranın beslenilmesinin planlandığı tesislerde yükseltici trafo, trafo köşkü, elektriksel kablolama ve nötr direnç gibi maliyetlerden tasarruf edilmesini sağlarken, 0,4 kV gerilim seviyesinden senkronizasyona olanak tanır.

3.2.2. Orta Gerilim (OG) Senkronizasyon

Birden çok baralı ve trafolu tesislerde, tek bir barayı AG seviyesinden beslemek ve üretilen enerjiyi sadece orada kullanmak uygulanabilir olamayacağından, jeneratör setinde üretilen elektrik enerjisi önce bir yükseltici trafo aracılığıyla OG seviyesine yükseltilerek senkronizasyon sağlanır ve enerji oradan tüm sisteme basılarak ihtiyaç neredeyse orada kullanılması sağlanır. AG senkronizasyona göre dezavantajı ek maliyeti olmasıdır. Ancak, beslenilecek yükler düşünüldüğünde, tesise enerji kullanımında esneklik sağlar.

3.3. Lisanssız Elektrik Üretimi

Son dönemde, otoprodüktör lisansının geçerliliğini yitirmesi ve enerji satışı yapmak isteyen kojenerasyon sistemine sahip tesislere üretici lisansı almanın zorunlu hale getirilmesi, enerji piyasasındaki

büyük aktörler ile saatte 2MWh elektrik enerjisi üreten ve bunun bir bölümünü satmak isteyen kojenerasyon sistemine sahip tesisleri aynı şekilde sınıflandırdığından, lisanssız elektrik üretimini popüler hale getirmiştir. Toplam verimliliğin %80 ve üzeri olduğu kojenerasyon ve trijenerasyon tesisleri, sadece kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere yerinde üretim yapmak istediklerinde, lisanssız elektrik üretimi yapabilme avantajına sahip olabilir[12].

4. Sonuçlar

Elektriğin ve ısının ayrı şekilde üretildiği konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında, tek bir yakıt tipi kullanılarak elektrik ve ısı enerjilerinin eş zamanlı olarak birlikte üretilmesi ve kullanılması ile %80 ve üzerinde verimlilik sağlayan kojenerasyon sistemleri, enerji verimliliği çalışmalarındaki rolünü günbegün güçlendirmektedir.

Enerjinin yerinde üretildiği kojenerasyon sistemlerine lisans muafiyeti getirilmesi ile Türkiye'de önceden "üret, kullan, kullanamadığını sat" şeklinde tarif edilebilecek kojenerasyon sistem mantığı, Avrupa'daki gibi "tüketebileceğin kadar üret ve ürettiğin kadarını yerinde kullan" mantığına dönüşme yolunda adım adım ilerlemektedir. Türkiye'deki kojenerasyon temel mantığındaki bu değişim, kapasite seçim kriterlerini de etkileyerek, öncelikle elektrik tüketiminin esas alındığı ve toplam verimliliği %80 veya üzerinde olacak kojenerasyon sistemleri kurmayı zorunlu hale getirmiştir. Satış yapmak isteyenler için ise üretici lisansı alma zorunluluğu doğmuştur.

Gerek Türkiye'nin coğrafi konumu ve üzerinde barındırdığı doğal gaz boru hatları, gerekse de ülkemizdeki elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın payı düşünüldüğünde, önümüzdeki yıllarda elektrik ve doğal gaz birim fiyatlarında gerçekleşecek değişimlerin, kojenerasyon sistemlerinin, elektriğin ucuza üretildiği sistemler olması avantajını sürdüreceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

[1] Pan, T., Xu, D., Li, Z., Shieh, S., Jang, S., "Efficiency improvement of cogeneration system using statistical model", Energy Conversion and Management, 68, 169-176, 2013

[2] Boru Hatları İle Petrol Taşıma A.Ş., www.botas.gov.tr

[3] Türkiye'de Elektrik Üretimi 2011, TEİAŞ 24.07.2012, http://www.emo.org.tr/ekler/ad33665364cf4ce_ek.pdf

[4] Magnani, F., Silva, P., Guerra, M., Hornsby, E., "Adaptibility of optimized cogeneration systems to deal with financial changes occuring after the design period", Energy and Buildings, 58, 183-193, 2013

[5] Wu, D., Wang, R., "Combined cooling, heating and power: A review", Progress in Energy and Combustion Science, 32, 459-495, 2006

[6] Onovwiona, H., Ugursal, V., "Residential cogeneration systems: review of the current technology", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 389-431, 2006

[7] AoE20V4000L63, MTU Onsite Energy, Gaz Motoru Teknik Kataloğu, http://www.sozenenerji.com/Resim/Upload/mtu-2145-kw.pdf

[8] Directive 2004/8/EC of the European Parliment and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of Cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending Directive 92/42/EEC, Official Journal of the European Union, L52/50, 21.02.2004

[9] Santini, E., Romito, D., "Sizing and economic analysis of a trigeneration and CHP system in a commercial site", 2nd IEEE ENERGYCON Conference & Exhibition, Advances in Energy Conversion Symposium, 2012

[10] Tina, G., Passarello, G., "Short-term scheduling of industrial cogeneration systems for annual revenue maximisation", Energy, 42, 46-56, 2012

[11] Gimelli, A., Muccillo, M., "Optimization criteria for cogeneration systems: Multi-objective approach and application in an hospital facility", Applied Energy, 104, 910-923, 2013

[12] Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayı: 28097, Tarih: 27.10.2011, http://www.enerji.gov.tr/mevzuat/5627/Enerji_Kaynaklarinin_ve_Enerjinin_Kullaniminda_Verimliligin_Artirilmasina_Dair_Yonetmelik.pdf