

## KONUTLARDA PAKET TİPİ KOJENERASYON İLE YERİNDE ENERJİ ÜRETİMİ – KONYA ŞARTLARINDA UYGULAMA

<sup>1</sup>Mehmet KAPLAN, <sup>2</sup>Mahmut Sami BÜKER

<sup>1</sup>Elektrik Grup Şefi, Seha Yapı, İttifak Holding, Konya, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji ve Yarı İletken Teknolojileri Araştırma Grubu, Konya, TÜRKİYE

<sup>1</sup>mehmet.kaplan@sehayapi.com, <sup>2</sup>msbuker@erbakan.edu.tr

(Geliş/Received: 15.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.04.2019)

**ÖZ:** Kojenerasyon, bileşik ısı-güç üretim sistemleri (CHP-Combined Heat and Power) ısı ve elektriğin birlikte üretildiği modüler yapıları sistemlerdir. Konutlarda uygulanan, gazla çalışan ve genellikle küçük kapasiteli bu üniteler kurulduğu binalarda tüketilmesi amacıyla elektrik üretirler. Elektrik üretiminde açığa çıkan atık ısı, neredeyse hiç kayba uğramadan, ısıtma için kullanılarak enerji verimliliği sağlanır. Oldukça çevre dostu olan bu sistemlerin CO ve NO<sub>x</sub> salınımları diğer fosil yakıtlı sistemlere göre ihmal edilebilir seviyelerdedir, toz ve kükürt salınımları da yoktur.

Bu çalışmada, Türkiye’de ilk defa, Konya’da inşa edilen 137 dairelik konut projesinde uygulanan 71 kWe ve 115 kWt kapasiteye sahip mikro kojenerasyon sistemine ait performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Aylık tüketilen ortalama 6.998 m<sup>3</sup>/ay doğalgaza karşılık yine ortalama 18.480 kWh/ay elektrik enerjisi elde edilmiştir. Mikro kojenerasyonun devreye girmesi ile şebekeden çekilen elektrik enerjisinde %51 oranında azalma gözlemlenmiştir. Kış sezonunda mikro kojenerasyon ünitesinin saatlik güç üretimi ortalama 48 kW iken bu oran yaz sezonunda saatlik ortalama 30,54 kW olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toplam verimlilik oranının %87 civarında olduğu saptanmıştır. Ekonomik göstergelere göre, daire başı aylık ortalama \$22,10 civarında bir ekonomik getirisinin olduğu hesaplanmıştır. Yaz döneminde mikro kojenerasyon ünitesi uyku modunun kış dönemine oranla ortalama %44 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma da ayrıca mikro kojenerasyonun konutlara uygulanabilirliği konusu analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konut, paket tip, mikro-kojenerasyon, performans analizi, Konya

### Packaged Cogeneration Systems for Energy Production in the Residential Buildings – A Case Study in Konya

**ABSTRACT:** Cogeneration (CHP-Combined Heat and Power) is a modular system where heat and electricity are produced jointly. These units, building types with small capacity, utilise natural gas to generate electricity to be consumed in the buildings. They also generate waste heat during electricity production, which is exploited for heating and domestic hot water needs. CO and NO<sub>x</sub> emissions of these environmentally friendly systems are negligible as compared to conventional counterparts. In addition, there is no dust and sulphur emissions arouse through these systems.

In this study, the performance evaluation of a micro cogeneration system for residential sector in Konyacity has been conducted. The micro-cogeneration system, having 71 kWe of electrical and 115 kWt of thermal capacity, was implemented in a housing project with 137 flats. The corresponding findings from the system operation show that 18.480 kWh of electricity was generated per month against 6.998 m<sup>3</sup>/month of natural gas consumption. Moreover, the electricity withdrawn from the network decreased 51% with the introduction of micro-cogeneration system. While the average hourly power production of the micro cogeneration unit was 48 kW in winter

season, it was 30.54 kW per hour in summer season. According to the analysis results, it was observed that the total system efficiency of 87% was attained. Corresponding economic indicators reveal that an average economic return of \$22.10 per flat was obtained. In addition, the sleep mode of cogeneration unit was observed to be 44% higher in summer season. Overall, the aim of this study is to shed light on the applicability of this system in residential sector in Turkey.

**Key Words:** *Micro-cogeneration, package type, residential buildings, performance analysis, Konya*

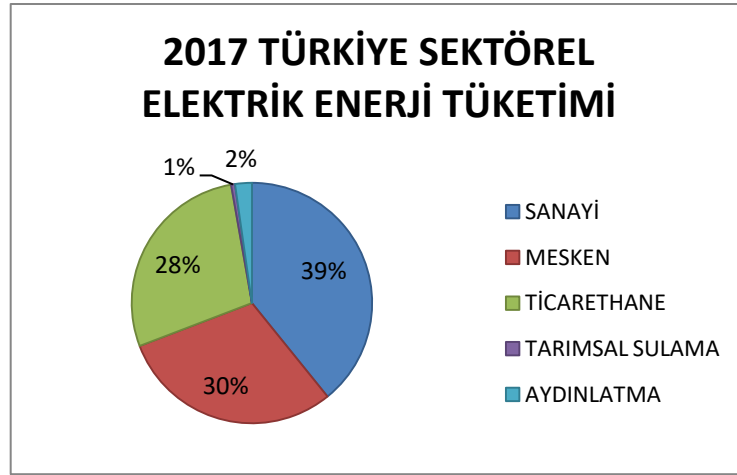
## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektriği bulan Thomas Edison, 1882'de Pearl Street istasyonunda dünyada ilk kez elektrik ve ısıyı kombine şekilde üretebilen bir tesis kurmuş ve tesiste elektrik üretimi esnasında oluşan atık ısıyı da değerlendirerek, komşularının ihtiyacı olan elektrik ve ısı enerjisini bu tesisten karşılamıştır. Kojenerasyon kavramı yüzyılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen, popüleritesini ve yükselen ilgiyi 70'lerin ikinci yarısı ve 80'lerin başlarında yaşanan petrol krizinin yarattığı şoka borçludur. Bu durumu iyi değerlendiren Kuzey ve Doğu Avrupa ülkeleri, ısınma sistemlerini tek merkezde toplamışlar ve bu sayede atık ısı kayıplarını minimumda tutabilmişlerdir (Kanoğlu, 2005).

Günümüzde tüm ülkeler sürdürülebilir enerji politikaları oluşturmak için çalışmalar yürütmektedir. Enerji kaynaklarının verimli kullanımı enerji israfını önlediği gibi çevreye olan zararlı gaz emisyonlarını da azaltmaktadır. Termik santralde kömür yakılarak elde edilecek 1 kWh elektrik üretimi için 0,915 kg. CO<sub>2</sub> havaya salınımı öngörülmüştür. Yakıt kaynağına bağlı olarak 1 kWh enerji üretimi için ortalama 0,50-0,44 kg arasında CO<sub>2</sub> salındığı kabul edilmektedir. (<https://arge7.com/detay.asp?id=2648>)

Küresel çevre kirliliğinin azaltılması sadece endüstriyel ve ticari alanlarda değil, aynı zamanda konut uygulamalarındaki eski teknolojilerin birincil enerji tüketiminin azaltılmasına da bağlıdır. Zararlı gaz emisyonlarının insan ve çevre üzerindeki etkisinin azaltılması için konvansiyonel sistemler ile yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Yüksek verimli düşük emisyonlu mikrokojenerasyon sistemleri üzerinde dünya çapında çalışmalar sürmekte ve analizler yapılmaktadır (Wang ve diğ., 2015; Kannan ve Strachan, 2009). Bu bağlamda, konutlardaki birleşik ısı güç sistem uygulamaları son zamanlarda yapılan çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Ren ve Gao (2010) çalışmalarında konutlarda iki farklı mikro-CHP uygulamasını analiz etmiştir. Analiz edilen mikro kojenerasyonlar gaz motorlu ve yakıt hücreli sistemlerdir. Sonuç olarak yakıt hücresinin daha iyi bir seçim olacağına dikkat çekmişlerdir. Pilavachi ve diğ. (2006) ise kojenerasyon uygulamaları için sürdürülebilirlik endeksi kullanarak çeşitli teknolojileri değerlendirmişlerdir. Merkel ve diğ. (2015) İngiltere'de binalar için merkezi olmayan mikro-CHP sistemlerinin planlanması, kapasitesi ve sevkıyatı ile ilgili optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Alahäivälä ve diğ. (2015) konut mikro-CHP uygulamasında elektrik üretim fazlasının kullanılması sorununu ele aldılar. Smith ve Mago (2014) hibrit bir mikro-CHP'nin operasyonel performansını yani elektrik ve termik yükünü irdelemiştir. Noussan ve diğ. (2014) bir yerleşke bölgesinde biyokütle ateşlemeli CHP için optimum özellikleri incelemiştir. Onovwiona ve Ugursal (2006) mikro kojenerasyon ünitelerini içten yanmalı pistonlu motor bazlı (IC), mikro türbin bazlı, yakıt hücresi bazlı (FC), stirling motor bazlı (SE) olarak dört sınıfa ayırarak incelemiştir.

İtalya'da toplam enerji tüketiminin %32'si konut sektöründe harcanırken (Badami ve diğ., 2018) bu oran 2017 verilerine göre Türkiye'de %30,01 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle son yıllarda araştırmalar mikro kojenerasyon sistemlerinin geliştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Şekil 1'de 2017 yılı itibarıyla sektörel elektrik enerji tüketimi oranları sunulmuştur.



**Şekil 1.**2017 yılı itibariyle Türkiye’de sektörel elektrik enerji tüketim oranları

**Figure 1.** Sectoral electricity energy consumption rates in Turkey as of 2017

Geleneksel olarak büyük ölçekli CHP sistemler endüstride ve ticari uygulamalarda yaygındır (Horlock, 1997). Son zamanlarda enerji piyasasındaki rekabet ve yeni teknolojilerin gelişmesi ile küçük ölçekli CHP sistemler oluşmuştur (Rosselli ve diğ., 2011; Mongibello ve diğ., 2016). Çok konutlu yapılarda kullanımı verimli olan küçük ölçekli CHP içten yanmalı (IC) mikro kojenerasyon sistemleridir (Wakui ve Yokoyama, 2014). Aslında konutların düzensiz yük profili nedeniyle muhtemel mikro kojenerasyon güç seçimi oldukça zordur (Barbieri ve diğ., 2012). Bunun için, genellikle simülasyon verilerine dayalı veya enerji analizörleri yardımıyla elde edilen veriler ışığında sistem kurgulanmaktadır. Bazı uygulamaların başarısını elektrik ve termal yüklerin eşzamanlı kullanımı belirlemektedir. Ayrıca kısmi yükler ile ilgili olarak ev ahalisinin sayısı önemli olup küçük aile yapılı sistemlerde enerji kullanım oranı düşeceğinden sistem verimi düşecek buda yatırımın geri dönüş süresini uzatmış olacaktır (Shimoda ve diğ., 2017). Mikro kojenerasyon sisteminin veriminin artması termal enerji ile (Riva ve diğ., 2013) elektrik enerjisine olan talebin senkronize olmasına bağlı olduğu gibi oluşan enerjilerin depolanmasına da bağlıdır (Bianchi ve diğ., 2012). CHP ünitelerinin konutlarda daha uzun süreli çalışması için yani sistemin uyku moduna düşmemesi için ünitenin en kazançlı zaman dilimlerinde çalışması sağlanmalıdır (Arteconi ve diğ., 2012).

Elektrik ve ısı enerjisine ihtiyaç duyulan yapılarda, ısı ve elektriğin birbirinden bağımsız ünitelerde üretilerek tüketilmesi yerine tek bir santralde aynı anda verimli bir şekilde üretilip tüketime sunulmasına olanak sağlayan kojenerasyon sistemlerine gün geçtikçe ilgi artmaktadır. Dolayısıyla, kojenerasyon sistemlerinde, tek enerji kaynağı kullanımı ile iki farklı enerji türü açığa çıkmaktadır. Konutlarda yaygınlaştırılması planlanan kojenerasyon uygulamalarında doğalgaz kullanımı ile elektrik üretilmekte ve yararlı ısı açığa çıkmaktadır. Yani doğalgaz çevrim içerisinde elektrik enerjisi üretilirken, mekanik kayıpların açığa çıkardığı kayıp ısı enerjisi faydalı ısı enerjisine dönüştürülür. Konvansiyonel sistemlerde güç üretiminde atık ısıdan yararlanılmazken kojenerasyon sistemlerinde atık ısıdan da faydalanılır. Böylece toplam sistem verimliliği konvansiyonel güç üretim sistemlerine kıyasla önemli ölçüde artar (Pravadalioğlu, 2011). Bir mikro kojenerasyon sisteminde açığa çıkan elektrik ve termal enerji toplam verimi %80’lerde iken geleneksel yöntemlerle aynı miktar fosil yakıt tüketen bir sistemde elde edilen elektrik enerji verimi %30-35 seviyesindedir (Onovwiona ve Ugursal, 2006). Net-sıfır enerji tüketim dereceli binalara ulaşma fikri yeni teknolojiler üzerinde araştırma yapılmasını gerekli kılmaktadır (Asae ve diğ., 2015).

Bu çalışmada, Türkiye’de ilk kez 2016 yılında SehaYapı’nın konut yapımında hayata geçirmiş olduğu mikro kojenerasyon uygulaması ( $\leq 100$  kWe) mesken tipi konutlara uygulanabilirliği açısından etüt edilmiştir. Söz konusu mikro kojenerasyon sistemi ayrıca, işletme performansı, enerji verimliliği ve toplam enerji tüketiminde sağlamış olduğu tasarruf açısından incelenmiştir. Böylelikle gelecekte elektrik enerjisi üretimi ve tüketimine ilişkin bazı alışkanlıkların değişerek, alışlagelen üretim anlayışının dışında yerinde elektrik üretip tüketmenin üstün geleceği vurgulanmış ve doğalgaz ile

beslenen bir mikro kojenerasyon ünitesinden elde edilen elektrik ve termal enerjilerin maksimum tüketilebilirliği irdelenmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM(MATERIAL and METHOD)

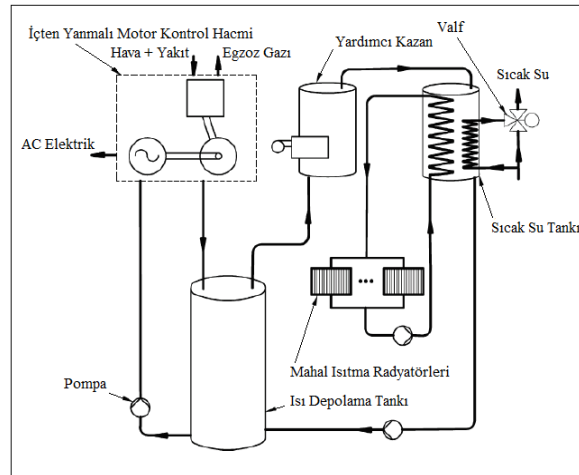
Kojenerasyonlar şehir, bölge veya sitenin ısıtma ve/veya soğutma ile güç ihtiyacını karşılamak üzere kurulur. Merkezi ısıtma denilen bu sistem pek çok ülkede kullanılmaktadır. Özellikle ısı yükü fazla ve kış mevsimi uzun süren şehirlerde bu sistem ile hem enerji ekonomisi sağlanmış hem de çevre kirliliği büyük ölçüde azaltılmıştır. Rusya'nın toplam binalarının yaklaşık %70'i merkezi ısıtma ile ısıtılmaktadır. İskandinav ülkelerinde ise toplam binaların %30 ila %80'i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri bileşik ısı güç üretimi şeklinde tesis edilmiştir (Yöntem, 2011).

Ülkemizde ise meskenlerde kojenerasyon sistemleri uygulaması ilk kez SehaYapı eli ile gerçekleşmiştir. Meskenlerin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için mikro kojenerasyon sistemi oluşturulmuş, toplam 137 dairede uygulaması yapılmıştır. Bu bölümde genel olarak tercih edilen kojenerasyon sistemi için geçerli olan yöntemlerden bahsedilmektedir.

### Motor Bazlı Kojenerasyon Sistemleri(Engine Based Cogeneration Systems)

Kullanımı gerçekleşen mikro kojenerasyon sistemi içten yanmalı pistonlu motor olup yanma sonucu silindir içinde oluşan artı basıncın pistonu hareket ettirmesi prensibine dayanır. İçten yanmalı motorlar mikro kojenerasyon uygulamalarında daha çok tercih edilir (Possidente ve diğ., 2006; Asaee ve diğ., 2015). Kurulumu gerçekleşen sistemin şematik gösterimi Şekil 2'de yer almaktadır (Asaee ve diğ., 2015).

İçten yanmalı motorlar olduğu gibi dıştan yanmalı motorlarda kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Dıştan yanmalı mikro kojenerasyon uygulamalarında daha çok Stirling motor kullanılmaktadır (Cioccolanti ve diğ., 2015; Renzi ve diğ., 2014). Stirling motorlu mikro kojenerasyon ünitelerinin boyutlarının küçük olması ve sessiz çalışmaları konut uygulamalarında kendine yer bulurken ilk yatırım giderlerinin oldukça yüksek oluşu ve termal enerji ihtiyacına göre elektrik üretmesi sistemin dezavantajlı yanını oluşturur. Bu da geri dönüş sürelerini uzattığından kullanımı yaygın değildir.



Şekil 2. İçten Yanmalı Motor Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi (Asaee ve diğ., 2015)

Figure 2. Schematic representation of internal combustion engine based micro cogeneration system

### Isıl Güç (Kojenerasyon) Sistem Yapısı Ve Çalışma Prensibi(Cogeneration System Structure And Working Principle)

Kojenerasyon sistemlerinin basit çevrimdeki sistemlere nazaran daha yüksek verimle çalışmasının başlıca nedeni egzoz gazlarından ve motor bloku ceket soğutmasından faydalanarak ikincil bir enerji üretimine olanak sağlamasıdır. Basit çevrimlerde sadece elektrik üreten gaz türbini ya da motor, çevrime giren enerjinin yalnızca %30-40'ini elektriğe çevirmekte, geri kalan kısım büyük oranda atık ısı olarak çevreye salınmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde ise bu atık enerjinin büyük kısmı kullanılabilir enerji olarak geri kazanılmaktadır (Rahim ve Gündüz, 2013).

Kojenerasyon sistemi; Motor-Alternatör, radyatör ve motor soğutmasında su devridaim pompası ve borulama sistemi ile suyun egzoz gazı ısı ile ısıtılmasını sağlayan eşanjörden oluşan bir set şeklindedir. Gaz motorunun egzozundan çıkan yüksek güçteki sesin engellenmesi için ilave olarak susturucu da kullanılmaktadır. İlave tedbirler ile kullanılan modülün ses seviyesi 52 dB olarak tespit edilmiştir.

Gaz motorları, türbinli sistemlere göre daha düşük atık ısı enerjisi kazanımına olanak sağladıklarından ve daha küçük güç seviyeleri için üretildiklerinden dolayı, özellikle elektrik ihtiyacı ve elektrik ısı oranı yüksek uygulamalarda en uygun çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Türbin esaslı kojenerasyon tesislerinde bir birim elektrik enerjisi alınırken yanında üç birim ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ancak gaz motorlu kojenerasyon tesislerinde bu oran iki birim elektrik enerjisine karşılık, yaklaşık iki birim ısı enerjisi olarak gerçekleşmektedir. Oransal olarak, pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıtın enerjisinin; %35-40'lık kısmı mekanik güce, mekanik güçten alternatör aracılığı ile elektrik gücüne, %30-35'lik kısmı motor gömlek ısısına, %25-30'luk kısmı egzoz ısısına, %7-10'luk kısmı ise radyasyon enerjisi şeklinde kayıp enerjiye dönüşür (İmal ve diğ., 2016).

Şekil 3'te sistem kapasite seçimi diyagramı gösterilmektedir. Sistem kapasitesi seçilirken ısı yükü ihtiyacı ile enerji kullanım miktarları gözetilerek seçilmesi gereken kojenerasyon kapasitesinin yapıya uygunluğu fizibilite aşamalarında tespit edilmelidir. Modülün uyku moduna düşmemesi için hedef 4500 h/yıl olmalıdır.



Şekil 3. Kojenerasyon kapasite seçimi diyagramı (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Figure 3. Cogeneration capacity selection diagram(Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Kojenerasyon tesisinde gaz yakıt kullanılmasının nedenleri;

Doğalgaz öncelikle külsüz ve dumansız yandığından sıfır atık bir enerji kaynağıdır. Zararlı gaz emisyonları (CO ve NO<sub>x</sub>) diğer yakıt türlerine göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla çevreye zararı yok denecek seviyede olup oldukça çevrecidir. Diğer yandan, ulaşılması özellikle günümüz şartlarında oldukça kolaydır. Ayrıca tüketimi sayaçlar aracılığı ile ölçülebilir, dolayısıyla kolaylıkla kontrol edilebilir. Depolama ve taşıma giderleri yoktur. Bu yakıt tipinin kullanımı tüketicilere zahmetsiz, konforlu bir yaşam olarak geri döner. Ek olarak, işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Doğal gaz havadan hafiftir, serbest haldeyken yükselir ve bir yerde birikmez.

### Kojenerasyon Sisteminin Bileşenleri(Components of the Cogeneration System)

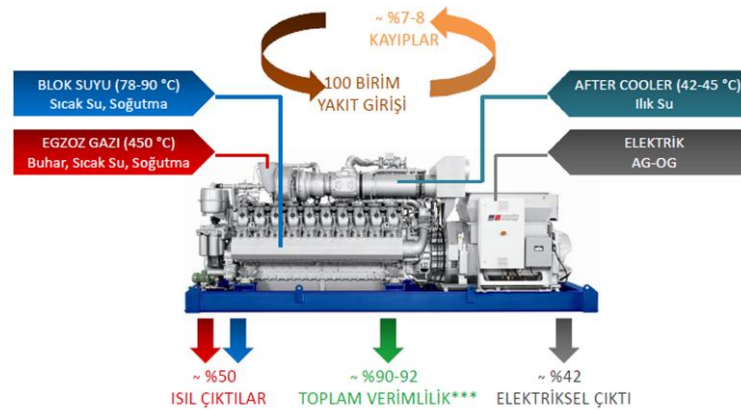
Kojenerasyon sistemi çok çeşitli alt elemanlardan oluşmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; Yüksek ve düşük sıcaklık devresi elektrik pompaları, ateşleme sistemi, hava yakıt karışımını ayarlayan mikser (AFR), elektronik hız kontrolörü ve aktüatör, değiştirilebilir elemanlı hava filtresi, basınç, sıcaklık ve hız sensörleri, motor, alternatör ve kojenerasyon sistemi şasesi, kojenerasyon sistemi için özel tasarlanmış yüksek verimli alternatör, titreşim takozları, kablo bağlantı kitleri, acil durum radyatörleri, çıkış şalteri, yağ soğutucusu, intercooler, plakalı eşanjör, üç yollu vanalar, genleşme tankı ve egzoz hatları, egzoz eşanjörü, sıcaklık ve basınç sensörleri, aşırı basınç emniyet vanaları, hava deşarj purjörleri, analog basınç ve sıcaklık göstergeleri, kelebek vanalar, filtre, çiftli selenoid valf, gaz regülatörü, preostat, küresel vana ve fleks bağlantı gibi alt modüllerdir. Ek olarak, alternatör nem alıcı, diferansiyel koruma, alternatör diyot koruma, ses izolasyon kabini ve konteyneri, üç yollu katalitik konvertör, silindir vuruntu kontrol ekipmanı, aktif AFR kontrolü, uzaktan izleme, otomatik yağ tamamlama ve boşaltma, ters ozmoz su arıtma sistemi, orta gerilim ekipmanları, tropikal tip yağmurlamalı radyatör, sismik uyarı sistemi, pano ısıtıcısı ve şok dalgası (ROCOF) rölesi gibi çok çeşitli işlevi olan opsiyonel parçalarda uygulamanın çeşitliliğine göre kullanılabilir.

### Enerji Üretimi(Energy production)

Aynı anda elektrik ve ısı tüketimine ihtiyaç duyulan tesislerde, ısı ve elektriğin ayrı ayrı santrallerde üretilerek tüketilmesi yerine tek bir santralde aynı anda elektrik ve ısı üretiminin gerçekleştirilip tüketime sunulması çok daha verimli neticeler vermiştir. Bunun için gaz motoru ve alternatör ile elektrik enerjisi üretilirken, çıkan ceket suyu ve egzoz gazlarının ısısından faydalanılarak borulu eşanjörler yardımı ile sıcak su üretilir. Termal enerji geri kazanımı bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Temel olarak elektrik enerjisi üretim işlemi; kullanılan yakıtın motor silindirlerinde yanmasıyla mekanik enerji oluşması, bu mekanik dönme hareketinden alternatörlerde faydalanmak suretiyle elektrik enerjisi elde etme yöntemiyle gerçekleşir. Bu işlem sırasında yanma sonucu 400-600°C sıcaklık aralığında egzoz gazı ısısı açığa çıkar. Bu ısının yanında motor ceket suyunun soğutulması sırasında da 80-90°C aralığında sıcak su elde edilir. Elde edilen sıcak su genel ısıtma sistemine beslenerek ısıtmaya katkıda bulunulur. Bu sayede %45-%55 civarı enerji verimliliği sağlanmış olur.

Şekil 4'de gaz yakıtlı Oto-yanma motorlu kojenerasyon gösterilmektedir. Gaz motorları elektrik üretmek amacıyla kullanıldığında verimleri %40-45 dolayındadır. Bu nedenle kojenerasyon sistemlerinde yüksek verimlilikle çalışırlar.



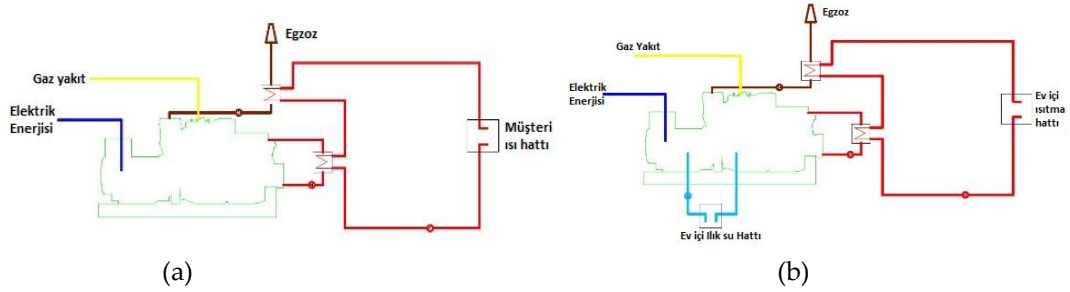
**Şekil 4.** Gaz yakıtlı kojenerasyon sisteminin ısı ve elektrik çıkış noktalarına ilişkin verim gösterimi(<http://gesenerji.com/istatistik/imag/kojenerasyon.PNG>)

**Figure 4.** Efficiency of gas-fired cogeneration for heat and electrical output points (<http://gesenerji.com/istatistik/imag/kojenerasyon.PNG>)

### Termal Enerji Geri Kazanımı(Heat Recovery)

Kojenerasyon sistemlerinde, motorun verimli ve düzgün çalışabilmesi için motor ceketinin üzerinde oluşan ısının motordan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, motorlarda ceket suyu denilen soğutma suyu dolaştırılır. Bu ortalama 80-95°C sıcaklık aralığındadır. Plakalı eşanjörde soğutulan bu su, eşanjörden çıkışta üç yollu termal vana yardımı ile cekete veya soğutulmak üzere radyatöre gönderilir. Burada soğutulan su (75-80°C) motor ceketine gönderilir. Ek olarak, motorun içinde yanan doğal gazdan dolayı oluşan egzoz gazı yüksek sıcaklığa (400-600°C) sahiptir. Gaz motorlarında, atık ısının 2/3'ü ceket soğutmasından, 1/3'ü ise egzoz gazından geri kazanılmaktadır. Ayrıca, motor üzerindeki yağın soğutulması yoluyla elde edilen ısı geri kazanımı da mevcuttur. Buradan elde edilen termal enerji nispeten düşük seviyelerdedir. İntercooler olarak da bilinen bu ılık su havuz, musluk suyu ısıtması gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılır.

Görüleceği üzere, soğutma devreleri ceket ve yağ soğutulmasından oluşur, dolayısıyla atık ısı geri kazanımı da bu işlemlerden elde edilmektedir. Buna egzoz eşanjöründen elde edilen atık ısı da eklenmektedir. Şekil 5' te hem soğutma devreleri hem de yağ soğutma sistemi sayesinde ısı geri kazanımı gösterilmiştir.



Şekil 5 a. Ceket suyu sıcaklığı ve egzoz ısısı geri kazanımı, b. Intercooler ısı geri kazanımı  
Figure 5 a. Jacket water temperature and exhaust heat recovery, b. Intercooler heat recovery

### Kojenerasyon Sisteminin Faydaları(Benefits of Cogeneration System)

Kojenerasyon uygulamaları enerji verimliliğinden, sistem verimliliğine, vergi avantajlarından, enerji arz güvenliğine, çevre dostu olmasından sürdürülebilir enerji üretimine ve ekonomik getirileri olmak üzere ülkemizin enerji açığını mikro düzeyde belirli kapasitelere kadar karşılayabilecek bir dizi faydalar barındırmaktadır. Kojenerasyon uygulamaları sayesinde, enerji üretim ve tüketiminin yerinde gerçekleşmesi sonucunda, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi sağlanır. Ayrıca, tüketiciler için vergi avantajı olarak, TRT payı ve ETV' den muaftır.

Bu sistemleri kısa sürede kurmak mümkündür ve devreye alma süresi de oldukça kısadır. Yaklaşık 10-15 sn. içerisinde sistem tamamen devreye alınabilmektedir. Düşük işletme maliyeti sürekli çalışma özelliği ile yatırımı kısa sürede amorti eder.

Doğal gaz başta olmak üzere, propan, çöp gazı, biyogaz vb. yakıtlarla çalışarak kesintisiz, kaliteli ve yüksek verimde enerji üretimi sunmaktadır. Düşük egzoz gazı emisyonları ve yüksek yanma verimi ile çevreci bir sistemdir. Aynı miktarda enerjiyi daha az yakıt tüketerek elde ettiği için CO<sub>2</sub> emisyonu azdır. Toz ve kükürt salınımı yoktur. Atık ısı geri kazanımı sağlandığı için konvansiyonel sistemlere kıyasla atmosferi ısıtmaz.

Konut, ticari ve endüstriyel alandaki enerji tüketicilerinin ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir. Elektrik şebekesine paralel, şebekeden bağımsız ya da yedek güç bağlantıları ile çalışabilmektedir. Şebeke elektriği kesilse de kojenerasyon çalışmaya devam edebilir. Stabil ve kaliteli elektrik üretir.

### Kojenerasyon Uygulaması (Case study)

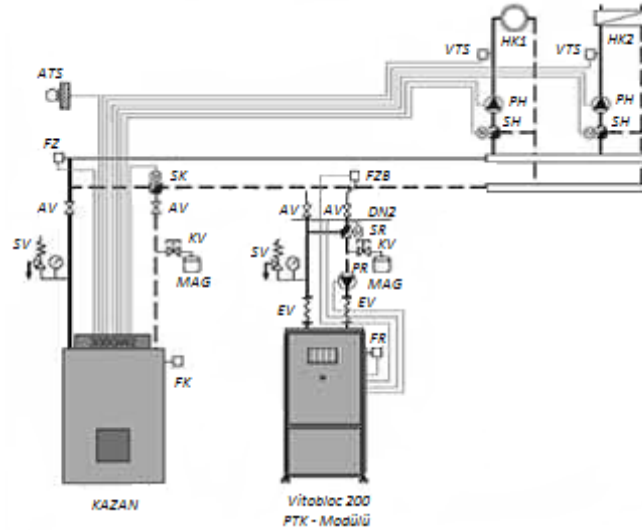
Seha Yapı örneğinde kurulumu gerçekleştirilen gaz motorlu kojenerasyon sistemi Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. SehaYapı’da kullanılan blok tipi mikro kojenerasyon ünitesi

Figure 6. Block type micro cogeneration unit used in SehaYapı

Sistem Viessmann Vitaobloc 200 PTK-Modülü ile sistem kurgulanmış olup ana yardımcı ekipmanlar sırasıyla kazan, elektrik dağıtım panosu ile yardımcı ekipmanlar; ATS dış hava sıcaklık sensörü, AV kapama ventili, DN2 PTKM (Paket tip kojenerasyon modülü) bağlantı çapı, EV elastik yataklama, FK kazan suyu sıcaklık sensörü, FR dönüş suyu sıcaklık sensörü, FZ ortak giriş sıcaklık sensörü, FZB ilave sıcaklık sensörü, HK ısıtma devresi, KV ventil, MAG membranlı genleşme tankı, PH ısıtma devresi sirkülasyon pompası, PR dönüş suyu sıcaklık kontrolü için pompa, SH ısıtma devresi için 3 yollu vana, SK dönüş suyu kontrolü için 3 yollu vana, SV emniyet ventili ve VTS gidiş suyu sıcaklık sensörüdür. Uygulanan paket tip kojenerasyon sistem şeması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kurgulanan paket tipi kojenerasyon sistem şeması

Figure 7. Viessmann Vitaobloc 200 PTK(Constructed package type cogeneration system diagram)

Devreden çıkma sıcaklığı ilk işletmeye almayla ilgili işletme şartlarına göre tam olarak ayarlanır. Bu ayar, mevcut kojenerasyon ilave sensöründe (FZB) ölçülen dönüş suyu sıcaklığı, otomatik kontrol sisteminde ayarlanan değer altındaysa (öneri = 62°C), modül devreye girer. Sensörde ayarlanan devreye girme sıcaklığı ile devreden çıkma sıcaklığı (70°C) arasındaki sıcaklık farkı minimum 5 K olmalıdır. Burada dikkate alınması gereken en önemli konulardan biri tecrübeye dayalı bilgilerin atlanmamasıdır. Yani paket tipi kojenerasyon sisteminin ısı kapasitesi binanın ihtiyacı olan ısının %15’ ini geçmemelidir. Aksi takdirde sistem olması gerekenden büyük seçilmiş olacağından uyku modunda geçireceği süre sistemin performansını düşürecektir. Uygulaması yapılan sisteme ait teknik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

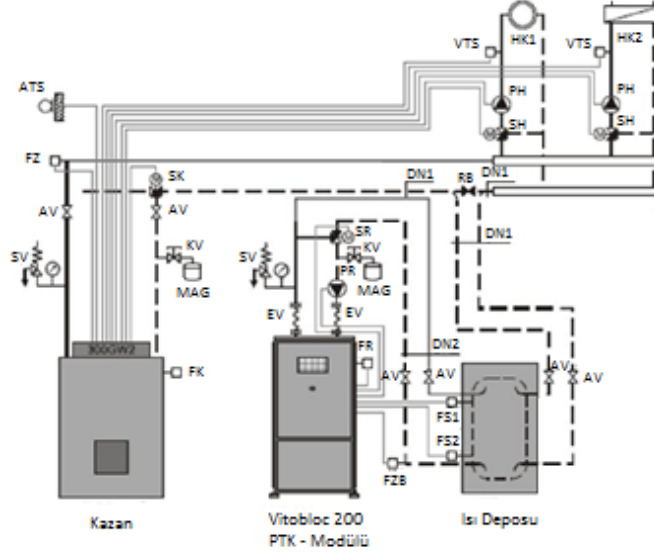


**Çizelge 1.** Mikro kojenerasyonun teknik özellikleri**Table 1.** Viessmann Vitobloc 200 PTK (Technical specifications of the micro cogeneration unit)

<b>Motor Tipi</b>	MAN E 0836 E
<b>Elektrik Gücü</b>	71 ekW
<b>Termal Gücü</b>	115 tkW ± %5
<b>Yakıt Tüketimi</b>	204 tkW ± %5
<b>Egzoz Çıkış Sıcaklığı</b>	610 °C
<b>Elektriksel Verim</b>	% 34,3
<b>Isıl Verim</b>	% 56,4
<b>Toplam Çevrim Verimi</b>	% 90,7
<b>Geri dönüş sıcaklığı min./max.</b>	60 °C / 70 °C
<b>Isıtma suyu akış hızı</b>	4,9 m <sup>3</sup> /h
<b>Azami işletme basıncı</b>	10 Bar
<b>Gürültü Seviyesi</b>	52 dB

**Kazanın Devreye Girmesi ve Devreden Çıkması (Activation and de-activation of the boiler)**

Yapıda iki adet kazan mevcut olup çok kazanlı bir sistemdir. Kojenerasyon ısısı sitenin tüm ısı yükünü karşılayabilir olmamakla birlikte sistemi takviye edici özelliğindedir. Yaz ve kış sezonlarında farklı senaryolar ile sistem desteklenmekte olup yaz dönemi sıcak kullanım suyu için çalışması gereken kazan çalışmayacak, mevsimsel geçiş dönemlerinde tek kazan çalışması ve kış döneminde tek kazan kapasitesi sistemin gereksinimlerini karşılayamadığından ikinci kazan devreye girer. Ortak gidiş sıcaklık sensörü olan FZ'deki gidiş sıcaklığı 62°C değerinin altındaysa birinci kazan (kılavuz kazan) devreye girer. Isıtma devresinde istenen yüksek sıcaklık seviyesi, FZ sensörünün veya strateji sensörünün (FVS) istenen sıcaklık değerini belirler. Bu sensörler istenen değer üzerinde sıcaklık tespit ederse sitede yer alan iki kazandan ilk önce biri devre dışı kalır. FZ veya FVS strateji sensörleri yüksek sıcaklık algılamaya devam etmesi halinde ikinci kazanda devre dışı kalır. Kazanların devre dışı kalması PTKM'nin (Paket Tipi Kojenerasyon Modülü) devre dışı kalması anlamına gelmemektedir. FZB sensörü sıcaklığı 70°C olarak algılamadıkça PTKM devrede kalır. Dönüş suyu sıcaklığının FZB sensörü tarafından 70°C algılanmasıyla PTKM devreden çıkar. Bu bahsi geçen PTKM'nin devreye girme ve çıkma sayıları sistem verimini direk ilgilendirdiğinden verim düşüşüne neden olmaktadır. Ortalama 490 saat olarak çalışması planlanan modülün çalışma saati olarak 440 saatlere kadar gerilemiş olduğu gözlemlenmiştir. Devreye girme çıkma sayılarının önüne geçebilmek için Şekil 8'de yer alan ısı deposu sisteme eklenmiştir.



**Şekil 8.** Kurgulanan ısı deposu PTKM sistem şeması (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

**Figure 8.** CHP system with heat storage (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Kojenerasyonun kurgulandığı sitede ısıtma devrelerinin ısı tüketimi sürekli olmadığından ısı deposu paket tipi kojenerasyon sisteminin sık sık devreye girip çıkmasını önler. Buda paket tipi kojenerasyonun çalışma süresini maksimum seviyeye taşır. Akümülayon tankı 5 tonluk seçilmiş olup, paket tipi kojenerasyon sistemi elektrik ihtiyacına göre işletilmiştir. Paket tipi kojenerasyon sisteminin dönüş hattına monte edilen ilave sıcaklık sensörü (FZB) akümülayon tankına yakın konumlandırılmalıdır.

#### **Paket Tipi kojenerasyon Sisteminin Devreye Girmesi (Activation of Package type Cogeneration System)**

Eğer ısı deposu sıcaklık sensöründe (FS1) ölçülen dönüş suyu sıcaklığı, ayarlanan değerin altındaysa (önerilen 70°C), paket tipi kojenerasyon sistemi devreye girer. Kazanların devreye girme ve çıkma senaryosu ile paket tipi kojenerasyonun devreye girmesi akümülayon tankı olmayan yapı ile aynı olmakla birlikte bu sistemin farklılığı, akümülayon tankı sıcaklık sensörü (FS1) dönüş suyu sıcaklığını ölçer ve bu değer 70°C' nin altında ise paket tipi kojenerasyon modülü (PTKM) devreye girer. Yine aynı şekilde FS2 akümülayon sıcaklık sensöründe ayarlanan devreden çıkma sıcaklığı 62°C üzerinde oluşursa veya FZB sensöründe 70°C sıcaklık değerinin üzerine çıkılırsa PTKM devreden çıkar.

Üretici firmanın motorun teknik kataloğunda vermiş olduğu işletme parametreleri Çizelge 2'de yer almaktadır. Buradan motor çalışma yükleri incelendiğinde motor yükünün %50'nin altında çalıştırılması istenmediğinden motor çalışma sınırı PTKM' de %46'ya ayarlanmıştır. Aksi durumda motor her kademe için çalışmış olacak tüketimi üretiminden fazla olacağından verimsiz çalışacaktır. Bu husus göz önünde bulundurulup motor yükünün %50-100 arasında çalıştırılmasına dikkat edilmiştir.

**Çizelge 2.** Mikro kojenerasyon sistemine ait işletme parametreleri

**Table 2.** Viessmann Vitobloc 200 PTK)(Operating parameters of micro cogeneration unit)

<b>PTKM Modülü işletme parametreleri</b>	Vitobloc 200 EM – 70/115		
	%50 Yük	%75 Yük	%100 Yük
Paralel şebeke işletiminde sürekli güç			
Elektrik gücü (kW)	35	53	70
Isı gücü (kW)	66	85	115
Yakıt uygulaması (kW)	122	159	204

### Ekonomik Analiz(Economic Analysis)

Üretim tesislerinde atık ısı ortaya çıkıyorsa ve bu ısı yararlı ısıya dönüştürülebiliyorsa yatırım kârlılığı maksimum seviyelere taşınmaktadır. Böylece geri dönüş süresi minimum seviyeye indirilir ki bu da yatırımın yapılabilirliğini ortaya koymaktadır. Atık ısının kullanılabilirliği atık ısının sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. Ayrıca ısıl enerjinin tüketileceği nokta ile santralin birbirine mesafesi, kullanım noktasının elektriğe ve ısıl enerjiye olan talebi, hangi zaman dilimlerinde ne kadar elektrik enerjisi ve ısıl enerji ihtiyacı olduğu gibi bazı etkenler PTKM'nin verimini doğrudan etkiler. PTKM'nin girdilerinden olan yakıt türü ve birim fiyatı da büyük önem taşımaktadır. Temel amortisman süreleri Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir.

Kojenerasyon ekonomisinde ana etken parametre, kullanım noktasının elektriğe ve ısıl enerjiye olan talep zamanlamasıdır. Uygulanan sistem yaz için kullanım suyu ısısını karşılamaya yönelik olup kış ve ara mevsimsel geçişlerde mahal ısıtmasında destek sağlayıcı modda çalışarak modülden en yüksek verim elde edilmeye çalışılmıştır.

Kojenerasyon santralının teknik ve ekonomik değerlendirmesi karmaşık bir analiz gerektirir. Karmaşıklık elektrik üretme maliyetinin ısıl enerji üretme maliyetinden oldukça yüksek olmasından ileri gelmektedir (1 ekWh (elektrik üretme maliyeti) > 1tkWh (ısıl enerji üretme maliyeti)).

### Sistem verimliliği(System Efficiency)

Atık ısının sıcaklığı 70°C civarlarında ise iç ortam ısıtmalarında kullanılabilir. Ama düşük sıcaklığa (40°C) sahip ise kullanım suyu gibi noktalarda tüketilerek daha düşük verim elde edilir. Atık ısıl enerjinin uzun mesafelere taşınması kayıp-kacak faktörleri de göz önüne alındığında çok maliyetli olabilmektedir.

Bir birleşik santralin verimliliği şu şekilde hesaplanır (Özil ve diğ., 2012);

$$\eta = (H+E) / F$$

Burada  $\eta$  verimi, H üretilen ısıl enerji miktarını, E üretilen elektrik miktarı ve F ise kullanılan yakıt miktarını göstermektedir. Bilindiği gibi, yakıt girdisi çıktı olarak ısı ve elektriğe dönüşür ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$F_h = H / \eta = F [H / (E+H)]$$

$$F_e = [F - H] / \eta = F [E / (E + H)]$$

Bundan dolayı toplam oluşan enerjinin (ısıl + elektrik), sisteme verilen ısıl enerjiye bölünmesi ile basit olarak verim hesaplanır (Özil ve diğ., 2012);

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

Şekil 9 dikkate alınarak basit aritmetik ile konveksiyonel sistem ve kojenerasyonlu bir sistem kıyaslanır ise;

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = [(33+70)/200]*100$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = \% 51,5$$

Paket tipi kojenerasyon modülünde termal verim %55, Elektriksel verimi %30 olarak belirtilmiş olup 200 birim yakıt girişine karşılık çıktı olarak 110 birim ısı enerji, 60 birim elektrik enerjisi elde edilmiştir.

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

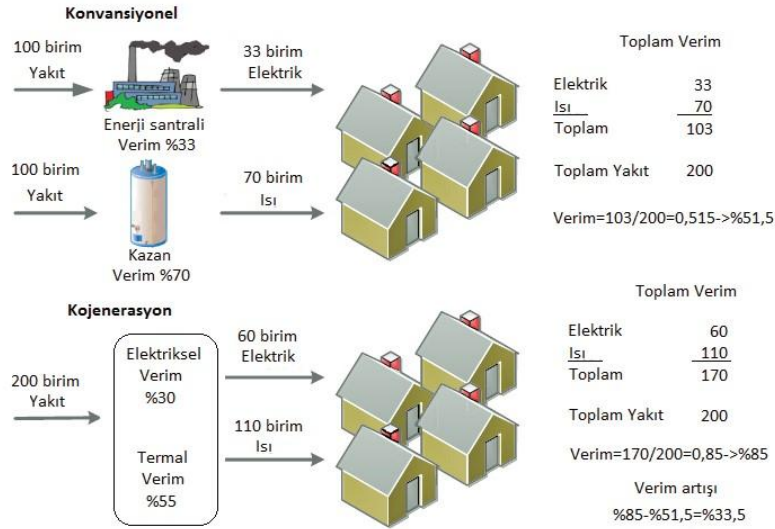
$$\eta_{\text{kojen}} = [(110+60)/200]*100$$

$$\eta_{\text{kojen}} = \% 85$$

Konveksiyonel yapı bir sistemden kojenerasyonlu sisteme geçilerek elde edilen verim artışı;

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{kojen}} - \eta_{\text{kon.sis}}$$

$$\eta_{\text{toplam}} = \% 85 - \% 51,5 = \% 33,5$$

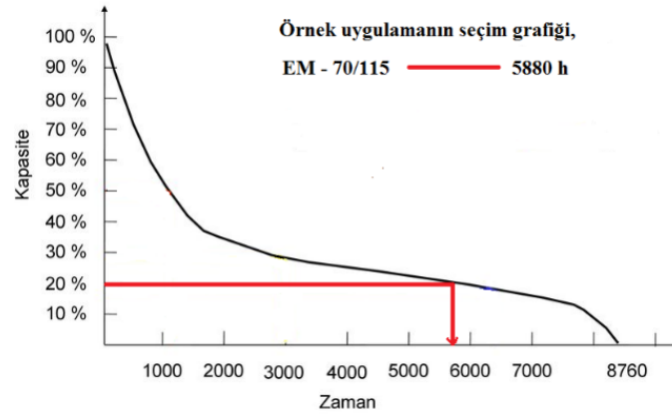


Şekil 9..Konvansiyonel sistem ile Kojenerasyonlu sistem karşılaştırması (Fuentes-Cortés ve diğ., 2015)

Figure 9.Comparison of conventional system with cogeneration system

## BULGULAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS & DISCUSSIONS)

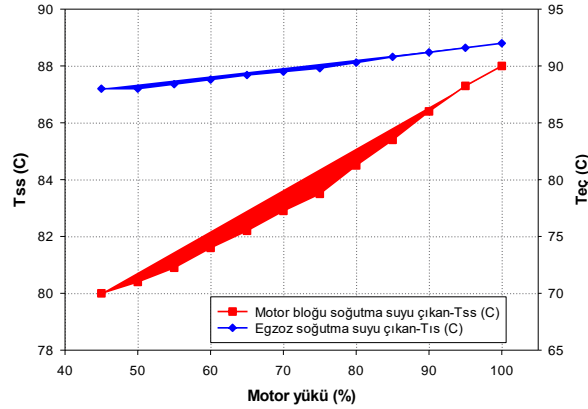
Türkiye’ de ilk mesken uygulaması 2016 yılında yapılmış olan mikro kojenerasyon ünitesine ait analizler bu bölümde sunulmaktadır. Ekonomik bir işletme için yıllık > 4.500 işletme saati hedef alınmalıdır. Seçimi yapılan Viessmann EM-70/115 modülüne ilişkin yıllık ortalama çalışma süresi 5880 h olarak tespit edilmiş olup, elektrik enerjisi üretimi sonucunda oluşan atık ısılar, site içi ısı tüketim noktalarında kullanılarak yüksek verimlilik elde edilmiştir. Kojenerasyon yıllık çalışma saatine göre kapasite seçim grafiği Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kojenerasyon çalışma saatine göre kapasite seçimi

Figure 10.Capacity selection of the cogeneration system based on operating hours

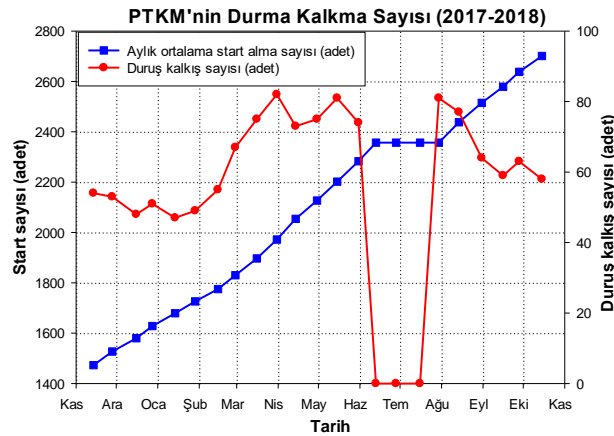
Uygulanan kojenerasyon sisteminde gaz motorlarının çalışma yüklerine karşılık gelen, motor ceket ısısından elde edilen  $T_{ss}$  (soğutma suyu sıcaklığı) ve egzozdan elde edilen  $T_{ec}$  (egzozdan çıkan suyun sıcaklığı) sıcaklıkları Şekil 11’ de verilmiştir. Ceket soğutmasından yaklaşık olarak  $80^{\circ}\text{C}$ ’ye yükselen sıcak su, egzoz ünitesinden elde edilen ısıyı da geri kazandığında yaklaşık olarak  $88^{\circ}\text{C}$  civarlarına çıkmaktadır. Dikkat edilirse, motor yükü arttıkça karşılık gelen ceket soğutma suyu sıcaklığı ve egzoz gazı ısı geri kazanım miktarı da artış göstermektedir.



**Şekil 11.** Motor ceket ısı ve egzoz gazı ile ısıtılan suyun çalışma yüküne göre çıkış sıcaklığındaki değişimi

**Figure 11.** Motor block temperature and exhaust gas output temperature with respect to working load

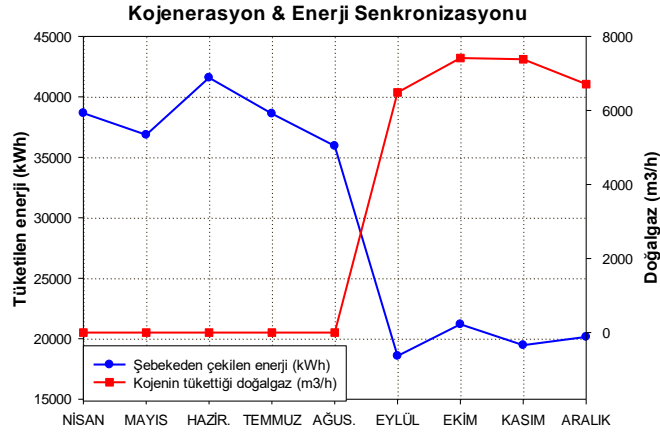
Şekil 12' de sistemin işletme şartlarında toplam duruş kalkış sayısı ile ortalama aylık duruş kalkış sayısı gösterilmiştir. Tüketici yük karakteristiğinin değişkenlik içermesinden dolayı binalarda ki PTKM' de senelik duruş kalkış sayısı fazladır. Bundan dolayı gaz motorlu sistem kurgusu şarttır. Çünkü bu motor tipi daha kolay devreye alınabilmektedir. Duruş kalkış sayısı sistemin uyku modu ile direkt ilişkili olduğundan sistemin verimini etkiler. Dikkat edilirse yaz aylarındaki duruş – kalkış sayısı kış aylarına oranla yaklaşık olarak %44 daha fazla gözlemlenmiştir. Yaz aylarında ihtiyaç duyulan elektrik ve ısı enerjisinin, kış aylarına oranla daha az olması bu durumu etkilemektedir. Yaz sezonunda binanın ihtiyacı olan ısı tüketimi sadece sıcak kullanma suyu ile ilgili olduğundan ayarlı alt limit kilit mekanizması sistemi anlık denetim yapmaktadır. İhtiyacın oluşmadığı zaman dilimlerinde PTKM durur. Buradaki sıcak kullanma suyundan kasit dairelerin tüketmiş olduğu sıcak su ve ortak yaşam alanlarında yer alan havuz, sauna, hamam vb. gibi alanların ısınması tüketim noktalarını kapsar. Kış sezonunda bu durum denetlenmeye muhtaç olmayıp sitenin ısı tüketimi PTKM' nin kullanılabilir faydalı ısınsının yaklaşık 20 katıdır. Kullanılan Vitobloc 200 EM – 70/115 kojenerasyon ünitesinin ısı güç kapasitesi 115 kW'tir. Bu, sitenin kış sezonunda termal enerji tüketiminin 2250 kWt olduğu düşünülürse toplam termal enerji ihtiyacının %5'ine karşılık gelmektedir. Bu termal enerji kapasitesi kış sezonunda ve mevsimsel geçiş dönemlerinde mevcut kazan sistemini takviye edici iken yaz koşullarında sıcak kullanım suyu temini için çalışması muhtemel olan kazanın çalışmamasını sağlamaktadır. Böylelikle mikrokojenerasyon kurulumu gerçekleştirilen sitelerde kazanların bakım süresi gerçek bakım sürelerinden daha uzundur. Fizibilite hesaplarına dâhil olmayan kazançlardan birisi de budur.



**Şekil 12.** PTKM' nin aylık çalışma durum eğrisi

**Figure 12.** Monthly working condition curve of CHP unit

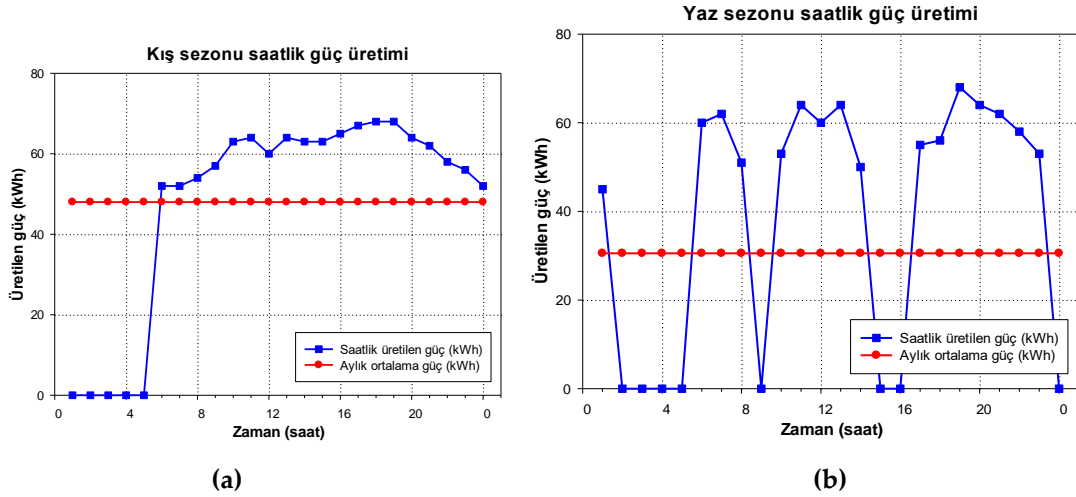
Mikrokojenerasyon modülü devreye alındığı andan itibaren yakıt olarak doğalgaz tüketirken karşılığında ise elektrik enerjisi, egzoz ısı enerjisi ve blok suyu ısıyı açığa çıkarır. Şekil 13' te yer alan veriler test dönemine ilişkin olup tüketilen 6998 m<sup>3</sup>/ay doğalgaza karşılık üretilen elektrik enerjisi yine ortalama 18480 kWh/ay olarak tespit edilmiştir. Mikrokojenerasyonun devreye alındığı ay itibari ile şebekeden çekilen elektrik enerjisinde ortalama %51 oranında azalma tespit edilmiştir. Bunun yanında yararlı enerjiye çevrilen termal ısı için kullanılması muhtemel ısı üretici (kazan) yaz sezonunda kullanılmayacak ve kış sezonu ve ara geçiş mevsimlerinde 2 adet 1120 kWt kapasiteli kazanlara takviye ısı sağlanacaktır. Böylelikle termal verimin yanında kazanların bakım süreleri de uzamaktadır.



Şekil 13. PTKM' nin enerji senkronizasyonu.

Figure 13. Energy synchronization of CHP unit

Kış sezonunda şekil 14 (a)'da görüldüğü gibi saatlik güç üretimi ortalama 48 kW'dır. Ancak yaz sezonunda şekil 14 (b)'de görüldüğü gibi modülün uyku modu devreye daha fazla girdiğinden sistemin ortalama güç üretimi 30,54 kW olarak tespit edilmiştir. Ortalama güç üretimine karşılık gelen saatlik veriler yine aynı grafiklerde verilmektedir.



Şekil 14a. Kış dönemi ortalama saatlik güç üretimi b. Yaz dönemi ortalama saatlik güç üretimi

Figure 14a. Average hourly power generation in winter b. Average hourly power generation in summer

Paket tipi kojenerasyon modülüne (PTKM) ilişkin veriler ölçümlere dayalı olarak Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir. İlk uygulama verilerine göre, yatırımın geri dönüş süresi 5,48 yıl ve daire başına düşen aylık kazanç ortalama \$22,10 olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.**Mikro kojenerasyon sistemine ilişkin ilk uygulama verileri**Table 3.**Initial application data on CHP

<b>Parametreler</b>			
Konut sayısı	137 + 4		
Günlük çalışma süresi	15 h		
Veri toplama süresi	980 h		
İç tüketim	1 kW/h		
<b>Koijen gücü</b>		<b>Kojenerasyon verimi</b>	
Elektriksel güç	71 ekW	Elektriksel verim	%34,3
Termal güç	116 tkW	Termal verim	%56,4
<b>Ekonomik Göstergeler</b>		<b>Yatırım Bedeli</b>	
Bakım gideri	0,35 €/h	Trafo ve altyapı yatırım bedeli	\$ 101.694,00
Daire sakininin aylık kazancı	\$ 22,10	Mikrokojenasyon cihaz bedeli	\$ 91.525,00
Sitenin aylık kâr marjı	\$ 3.115,93	Sayaç bedeli	\$ 11.949,00
Yatırımın geri dönüş süresi	5,48 YIL	<b>TOPLAM</b>	<b>\$ 205.168,00</b>
Daire sakininin yıl içi aylık kazanç yüzdesi	%15,34 - %34		

Çizelge 4'te Seha Yapı kojenerasyon uygulamasının devreye alındığı 2016 yılı Ekim ve Kasım aylarına ait performans tablosu verilmiştir. Kojenerasyonlu ve konvansiyonel sistemlerin karşılaştırmasına bakıldığında, doğalgaz gideri, elektrik üretimi ve iç tüketim değerleri göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirmelerde, kojenerasyon sistemiyle iki aya ait toplam ekonomik getirinin \$6.232,50, aylık bazda bu getirinin \$3.116,25 ve daire başına aylık getirinin ise \$22,10 olduğu görülmektedir.

Isı ve elektriğe dayalı olarak farklı kapasitelerde çalışma şekilleri kurgusu PTKM'de söz konusu olabilmektedir. Isıya dayalı senaryo modelinde binada ısı kullanılmaz ise elektrik üretimi de oluşmaz, elektrik üretimi oluşmazsa tasarruf da oluşmaz, tasarrufun oluşamayacağı öngörülmüyor ise kojenerasyon kurgusuna gerek kalmaz. Kojenerasyon sisteminin verimli yıllık çalışma saati ne kadar yüksek ise tasarruf o ölçüde artar. Üretilen ısı ve elektrik enerjisinin bina tarafından tüketilme süresine göre amorti süresi uzar veya kısılır. Mevcut yapıda sistem, ısı yükünden ziyade tüketilebilecek elektrik enerjisi senaryosu üzerine kurgulanmıştır. Böylelikle üretilen elektrik enerjisinin tamamının iç tüketimde kullanımı sağlanmış olup oluşan ısı da faydalı ısıya dönüştürülüp kullanıma sunulmuştur.

Çizelge 4.Uygulamaya ilişkin performans ve ekonomik veriler

Table 4.Performance and economic data of CHP application

KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)									
KOJEN OLMASAYDI	KOJEN ELK. ÜRETİM	Elektrik üretim değeri	kwh	46.849,00	KOJEN GETİRİSİ	\$ 40.643,62			
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157					
		Kojen elektrik katkı TL değeri	\$	7.368,79					
	KOJEN ISIL KAZANÇ	Kojen ısı güç	kwh	115			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Kojen Düzeltmiş tüketim	m <sup>3</sup>	13,98					
		Kojen toplam ısıl kazancın TL değeri	\$	4.645,81					
	SITE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kwh	39.775,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157					
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	6.256,13					
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Isı Tüketimi	m <sup>3</sup>	66.000,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Doğalgaz Birim Fiyatı	\$	0,338					
		Kojen Harici Doğalgaz Tüketimi	\$	22.372,88					
KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)									
KOJEN DEVREDE İKEN	KOJEN DOĞALGAZ TÜKETİM	Kojen doğalgaz tüketim	\$	6.830,33	KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11			
	KOJEN İÇ TÜKETİM	İç Tüketim	kwh	1,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		İç Tüketim Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118					
		İç tüketim gideri	\$	116,27					
	KOJEN BAKIM GİDERİ	Bakım gideri birim fiyat (Saat)	Euro	0,35			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Bakım gideri	\$	453,45					
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Isınma Tüketim Doğalgaz Miktarı	m <sup>3</sup>	66.000,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Doğalgaz Birim Fiyatı	\$	0,338					
		Kojen Harici Doğalgaz Tüketimi	\$	22.372,88					
	SITE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kwh	39.775,000			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118					
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	4.638,16					
	KOJEN TOPLAM KAZANÇ						\$6.232,50		
	KOJEN AYLIK KAZANÇ						\$3.116,25		
KONUT SAKİNİNİN AYLIK KAZANÇ				\$22,10					



## SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ülkemizde ilk kez uygulanan konut tipi bir mikro kojenerasyon sisteminin performansı enerji ve ekonomik açıdan değerlendirilmektedir. Bu teknolojinin yaygınlaşması için, kojenerasyon sisteminin konutlara yönelik uygulaması analiz edilmiş, yol haritası çizilmeye çalışılmıştır. Sisteme giren toplam enerji, çıkan elektriksel güç, çıkan termal güç, sistemin toplam verimi, yatırım maliyeti, basit amortisman süreleri ile ilgili bilgiler verilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Genel olarak termal çıkış gücü, tüm mikro kojenerasyon sistemlerinde elektriksel güçten daha yüksektir. Uygulanan sistemin toplam veriminin genel olarak %85'in üzerinde olduğu görülmüştür. Ekonomik veriler, CHP (combined heat and power) uygulaması ile konut başına aylık 22,1\$ kazanç sağlandığını göstermektedir.

Kojenerasyon modülü ısıyı ve elektriği aynı anda tüketim yerinde ve yaklaşık %90'lık bir verimlilikle üreten kompakt bir enerji üretim cihazıdır. Aynı enerji teminine göre (örn. Termik santralden elektrik temini ve bir kazan üzerinden ısı temini) yaklaşık %30 primer enerji tasarruf edilir. Paket tipi kojenerasyon modülü uygulamasında dikkate alınması gereken en önemli konulardan biri de, paket tipi kojenerasyon sisteminin ısı kapasitesi binanın ihtiyacı olan ısıнын %15' ini geçmemelidir.

Yıllık doğalgaz tüketimi 35.000 m<sup>3</sup> ve yıllık elektrik tüketimi 80.000 kWh üzerinde ise mikro kojenerasyon sistemi düşünülebilir. Yakıt fiyatı ile elektrik fiyatı oranı 3 ve üzerinde olursa amortisman süreleri kısalır. Kojenerasyon sistemi yıllık çalışma saati en yüksek olacak şekilde seçilmelidir.

Bu sistemin çalışması esnasında yerel idarelerin doğalgaz ile elektrik birim fiyatları devamlı takip edilerek sistemin çalışması veya durdurulması yönünde dönemsel kararlar alınıp, karlılık oranı artırılabilir. Ayrıca, elektrik enerji tarifelerinin daha pahalı olduğu gündüz ve puant saatlerinde sistem maksimum çalıştırılarak, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi şebekeden çekmek yerine mikro-kojenerasyondan sağlanır. Böylece karlılık oranı yükselmiş olur. Bunun gerçekleştirilebilmesi için site elektrik aboneliğinin çift tarifeli olması gerekir. Böylelikle elektrik birim fiyatı en düşük olan gece tarifesi süresince sistem uyku moduna geçecek ve site en ucuz zaman diliminde elektrik tüketimini şebeke üzerinden sağlayacaktır.

Geleneksel sistemler ile kıyaslandığında, elektrik ve ısı üretimine göre mikro kojenerasyon destekli bir yapıda açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonları üç kat daha azdır. Emisyon kirleticiler, CHP sistemi aracılığı ile küresel ve yerel ölçekte azaltılmış olacaktır.

Yatırım geri dönüş süresi oldukça kısa olan kojenerasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması için bir dizi yönetmelik, mevzuat değişiklikleri gerektiği gibi uygulayıcılara ve kullanıcılara yönelik teşvikler de sağlanmalıdır. Kojenerasyonun konut uygulamalarındaki tespit edilen olumsuz yanı bakım giderlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Bakım giderlerinin düşmesi konut uygulamalarının yaygınlaşması ile mümkündür. Böylelikle tüketim yerinde enerji üretimi artacak ve sistem desteklenmiş olacaktır. Toplam elektrik enerji tüketiminin %30'unun konut sektöründe olduğu düşünülürse, yerinde enerji üretiminin önemi ortaya çıkacaktır. Ek olarak, enerji üretildiği yerde tüketildiğinden, elektrik enerji dağıtımından doğan kayıplar da ortadan kalkar, kesintisiz ve kaliteli bir enerji arzı sağlanır. Sonuç olarak, mikro kojenerasyonlu sistemlerde sistem verimi konvansiyonel sistemlere göre daha fazladır ve enerji verimliliğini arttırmada mikro kojenerasyon sistemleri önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmayla ayrıca, öncelikle Türkiye iklim koşullarında IC motor tabanlı mikro-kojenerasyon sisteminin performansına ilişkin bir ön bilgiye sahip olmak amaçlanmıştır. Sistemde gerçekleştirilen enerji üretimlerini ayrı ayrı en üst seviyeye çıkarmak için operasyon çizelgelemesini dengeleme stratejileri, enerji yönetimi ve CHP sistemlerinin operasyonel optimizasyonu konuları, ileri çalışma olarak yapılabilecek araştırma konuları arasındadır.

## KATKI BELİRTME(ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği bulunan, değerli bilgilerini ve vaktini bizimle paylaşan İttifak Holding Yönetim kurulu üyesi Sayın Mehmet Ali KORKMAZ'a teşekkürü bir borç biliriz.

**KAYNAKLAR(REFERENCES)**

- Alahäivälä, A., Heß, T., Cao, S., & Lehtonen, M., 2015, "Analyzing the optimal coordination of a residential micro-CHP system with a power sink." *Applied Energy*, 149, 326-337.
- Arteconi, A., Hewitt, N. J., & Polonara, F., 2012, "State of the art of thermal storage for demand-side management.", *Applied Energy*, 93, 371-389.
- Asaee, S. R., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I., 2015, "Techno-economic evaluation of internal combustion engine based cogeneration system retrofits in Canadian houses—A preliminary study.", *Applied Energy*, 140, 171-183.
- Badami, M., Chicco, G., Portoraro, A., & Romaniello, M., 2018, "Micro-multigeneration prospects for residential applications in Italy.", *Energy Conversion and Management*, 166, 23-36.
- Barbieri, E. S., Spina, P. R., & Venturini, M., 2012, "Analysis of innovative micro-CHP systems to meet household energy demands.", *Applied Energy*, 97, 723-733.
- Bianchi, M., De Pascale, A., & Melino, F., 2013, "Performance analysis of an integrated CHP system with thermal and Electric Energy Storage for residential application.", *Applied Energy*, 112, 928-938.
- Cioccolanti, L., Savoretti, A., Renzi, M., Caresana, F., & Comodi, G., 2015, "Design and test of a single effect thermal desalination plant using waste heat from m-CHP units.", *Applied Thermal Engineering*, 82, 18-29.
- Fuentes-Cortés, L. F., Ávila-Hernández, A., Serna-González, M., & Ponce-Ortega, J. M., 2015, "Optimal design of CHP systems for housing complexes involving weather and electric market variations." *Applied Thermal Engineering*, 90, 895-906.
- Horlock, J. H., 1997, "Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics."
- İmal, M., Kısakesen, T., & Kaya, A., 2016, "Enerji Ekonomisi Açısından Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojilerinin Isıtma-Soğutma Kapasitelerinin Analizi.", *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 9-19.
- Kannan, R., & Strachan, N., 2009, "Modelling the UK residential energy sector under long-term decarbonisation scenarios: Comparison between energy systems and sectoral modelling approaches." *Applied Energy*, 86(4), 416-428.
- Kanoğlu, M., "Jeotermal elektrik üretim sistemleri ve kojenerasyon.", *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 2005.
- Kojenerasyon nedir?, <http://www.yegem.com/bilgidetay/1250/kojenerasyon-nedir>, ziyaret tarihi: 16 Ekim 2018.
- Kojenerasyon sistemlerinde gaz jeneratörü, <http://gesenerji.com/istatistik/imaj/kojenerasyon.PNG>, ziyaret tarihi: 22 Mart 2019.
- Merkel, E., McKenna, R., & Fichtner, W., 2015, "Optimisation of the capacity and the dispatch of decentralised micro-CHP systems: A case study for the UK.", *Applied Energy*, 140, 120-134.
- Mongibello, L., Bianco, N., Caliano, M., & Graditi, G., 2016, "Comparison between two different operation strategies for a heat-driven residential natural gas-fired CHP system: Heat dumping vs. load partialization.", *Applied energy*, 184, 55-67.
- Noussan, M., Abdin, G. C., Poggio, A., & Roberto, R., 2014, "Biomass-fired CHP and heat storage system simulations in existing district heating systems.", *Applied Thermal Engineering*, 71(2), 729-735.
- Onovwiona, H. I., & Ugursal, V. I., 2006, "Residential cogeneration systems: review of the current technology.", *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(5), 389-431.
- Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A., & Olgun, B., 2012, "Santral Ekonomisi", *Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği*, Cilt 3, Türkiye Elektrik Sanayi Birliği (TESAB) Ticari İşletmesi, 331-334.
- Pilavachi, P. A., Rومpeas, C. P., Minett, S., & Afgan, N. H., 2006, "Multi-criteria evaluation for CHP system options.", *Energy Conversion and Management*, 47(20), 3519-3529.

Possidente, R., Roselli, C., Sasso, M., & Sibilio, S., 2006, "Experimental analysis of micro-cogeneration units based on reciprocating internal combustion engine.", *Energy and Buildings*, 38(12), 1417-1422.

Pravadalıoğlu, S., Komisyonu, E. M. O. İ. Ş. E., & Şti, Ü. T. E. M. L. (2011). *Yerde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri*. EMO.

Rahim, M., & Gündüz, D., 2013, "Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama.", *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 19-27.

Ren, H., & Gao, W., 2010, "Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan.", *Energy and Buildings*, 42(6), 853-861.

Renzi, M., & Brandoni, C., 2014, "Study and application of a regenerative Stirling cogeneration device based on biomass combustion.", *Applied Thermal Engineering*, 67(1-2), 341-351.

Riva, G., Sotte, M., & Coccia, G., 2014, "L'accumulo di energia termica quale importante strumento per la realizzazione di edifici nZEB.", *Report Ricerca di Sistema Elettrico*, ENEA.

Roselli, C., Sasso, M., Sibilio, S., & Tzscheutschler, P., 2011, "Experimental analysis of microcogenerators based on different prime movers.", *Energy and buildings*, 43(4), 796-804.

Shimoda, Y., Taniguchi-Matsuoka, A., Inoue, T., Otsuki, M., & Yamaguchi, Y., 2017, "Residential energy end-use model as evaluation tool for residential micro-generation.", *Applied Thermal Engineering*, 114, 1433-1442.

Smith, A. D., & Mago, P. J., 2014, "Effects of load-following operational methods on combined heat and power system efficiency.", *Applied energy*, 115, 337-351.

Üretilen birim güç başına eşdeğer karbondioksit salınım miktarı ne kadardır?, <https://arge7.com/detay.asp?id=2648>, ziyaret tarihi: 22 Mart 2019.

Viessmann Vitobloc 200 PTK Modül kullanım kılavuzu.

Wakui, T., & Yokoyama, R., 2014, "Optimal structural design of residential cogeneration systems in consideration of their operating restrictions.", *Energy*, 64, 719-733.

Wang, Q., Su, B., Sun, J., Zhou, P., & Zhou, D., 2015, "Measurement and decomposition of energy-saving and emissions reduction performance in Chinese cities.", *Applied Energy*, 151, 85-92.

Yöntem, M. A., 2011, "Küçük ölçekli kojenerasyon sisteminin verimliliğinin incelenmesi", Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.