

## Birleşik Isı ve Güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması

Muharrem İMAL<sup>1\*</sup>, Ahmet KAYA<sup>1</sup>, Mahit GÜNEŞ<sup>2</sup>, Muhammed Enes KUYUMCU<sup>1</sup>, Kerim SÖNMEZ<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye,

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Kahramanmaraş, Türkiye,

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elk-Elektro. Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada ticari binalarda ve özellikle üniversite yerleşkelerinde yaygın olarak kullanılan, birleşik ısı ve güç sistemlerinin termodinamik ve ekonomik açıdan analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu sistemlerin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için kapasite seçiminin doğru yapılmasının önemi incelenmiştir. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde, düşük yükte çalışma durumlarında türbin verimleri düşük olmaktadır. Ayrıca bu enerji üretim sistemleri kısa süreli (dur-kalk) çalışma prensibine uygun değildir. Bu çalışmada KSÜ hastanesinde kurulabilecek kojenerasyon ve trijenerasyon sistemi karşılaştırılarak günümüz şartlarına göre elde edilebilecek maksimum net kar ve maksimum net fayda sağlayacak tesis kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Kojenerasyon, Trijenerasyon, Termodinamik Analiz

### THERMO-ECONOMIC COMPARISON OF COGENERATION AND TRIGENERATION SYSTEMS AND A CASE STUDY OF KSU HOSPITAL

**ABSTRACT:** In this study CHP (Combine Heat And Power) systems are used in commercial buildings in the world are studied thermodynamically and economically. It has been told in cogeneration and trigeneration systems turbine efficiencies are very low while system is operating in partial load. Additionally, absorption cooling systems are not designed to cycle on and off quickly, starting up and reaching equilibrium temperatures is taking time. Using hourly energy consumption values of the university hospital, the total benefit respect to existing situation and the capacity, which can provide maximum benefit, has been determined.

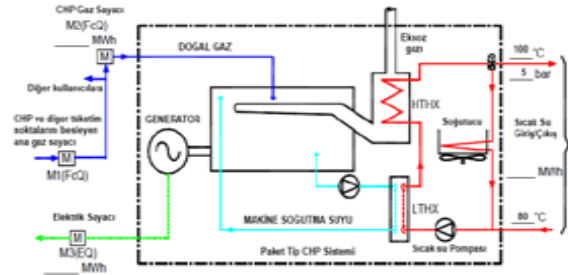
**Keywords:** Cogeneration, Trigeneration, Thermodynamics Analysis

## 1. GİRİŞ

Kojenerasyon (Bileşik Isı Güç Sistemleri), elektrik enerjisini ve ısı enerjisini bir tekil ısı kaynağından elde eden sistem olarak tanımlanmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde ısı ve elektrik enerjisi birlikte üretilmektedir. Endüstriyel kullanımında ve konut kullanımında bu iki enerji türüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde amaç kullanılan yakıtın enerjisini en verimli seviyede kullanmaktır. Isı ve mekanik enerjinin ayrı ayrı üretildiği klasik tesislerde kullanılan yakıtın enerjisinden yararlanma oranı %55–65 civarında olmasına karşılık kojenerasyon tesislerinde bu değer %80–90 oranlarına kadar çıkmaktadır. Şekil 1. de bir kojenerasyon ünitesi gösterilmiştir.

Trijenerasyon sisteminde ise soğurmalı soğutma mekanizmasıyla ısı gücünden soğutma elde edilmektedir. Özellikle konvansiyonel sistemlerde elde edilen soğutma çok fazla elektrik enerjisi harcamaktadır. Eğer uygun bir ısı kaynağı olursa elektrik üretimi ve ısıtmanın yanında soğutma da elde etmek için trijenerasyon sisteminin kullanımının önemi artmaktadır.

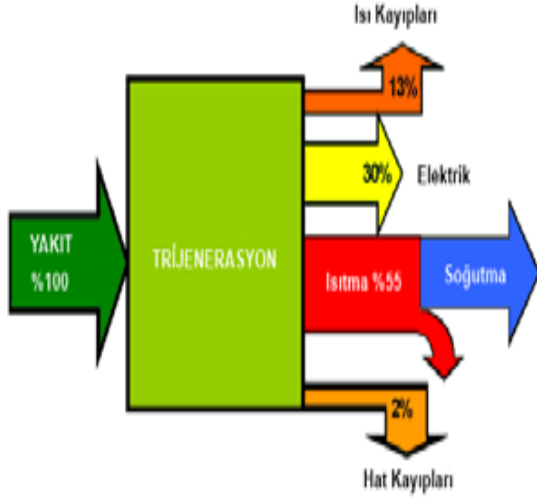
\*Sorumlu Yazar: Muharrem İMAL, [muharremimal@ksu.edu.tr](mailto:muharremimal@ksu.edu.tr)



**Şekil 1.** Gaz motorlu paket tip kojenerasyon ünitesinin prensip gösterimi

Trijenerasyon üniteleri, ana güç kaynağından üç farklı formda (ısıtma, soğutma ve güç üretimi) enerji üreten sistemlerdir. Trijenerasyon, ısıtmanın yanında soğutmaya ihtiyaç duyulan alanlarda önemli ölçüde esneklik sunmaktadır. Bu özelliği ile binalarda ve fabrikalarda iklimlendirme için kullanımı söz konusu olmaktadır. İki temel tip soğutma tekniği vardır. Bunlar kompresörlü (sıkıştırılmalı) soğutma ve absorpsiyonlu soğutmadır. Kompresörlü soğutmada enerji kaynağı olarak elektrik kullanılırken absorpsiyonlu soğutmada egzoz gazlarının ısı enerjisi ısı kaynağı olarak kullanılır. Termodinamik açıdan absorpsiyonlu soğutmanın kojenerasyon sistemlerine ilave edilmesi verimin artmasına sebep olacaktır. Bir trijenerasyon sistemi, bir

kojenerasyon sisteminden elde edilen ısının bir kısmını kullanarak soğutma yapan absorpsiyonlu soğutucu bulundurur [1]. Şekil 2.'de trijenerasyon sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Trijenerasyon Sistemi prensip gösterimi

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin avantajları şunlardır:

- Çevre dostu olması (ozon tabakasına zararsız ve soğutucu akışkan olarak su kullanılması),
- Atık ısının değerlendirilmesi,
- İşletme maliyetinin düşük olması,
- Hareketli parça sayısının az olması sebebiyle düşük bakım maliyeti,

Absorpsiyonlu soğutma sisteminin dezavantajı ise,

- Su tüketimi klasik kompresörlü sisteme göre yaklaşık iki kat daha fazladır.

şeklinde değerlendirilebilir.

Bu çalışmanın amacı gaz motoru ve gaz türbini kullanılan, kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinin ekonomik yönden analizini yapmak ve hangi sistemin daha ekonomik olabileceğini araştırmaktır.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Gaz Motoru Kullanılan Kojenerasyon Sistemleri

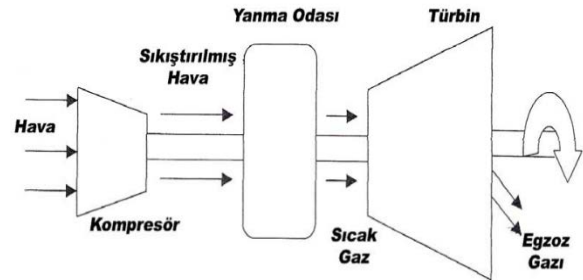
Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri; gaz türbinli sistemlere göre daha düşük atık ısı enerjisi sağladıklarından ve çeşitli güçlerde çalışabildiklerinden dolayı, özellikle elektrik ihtiyacının ısı ihtiyacından daha fazla olduğu endüstriyel uygulamalarda (toplu konut, büyük oteller) kullanılır. Gaz motorlu kojenerasyon tesisinde kullanılan motor tipi Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sisteminde Kullanılan Motor Tipi (2330 kW)

#### 2.1.2. Gaz Türbini Kullanılan Kojenerasyon Sistemleri

Gaz türbinleri kojenerasyon sistemlerinde kullanılan en yaygın makinelerdir. Gaz türbinli sistemlerde, bir veya daha fazla yanma odasında yakılan yakıttan üretilen basınçlı yanma gazları (12–13 bar) ile motorun ve buna bağlı milin dönmesiyle tahrik edilen jeneratörden elektrik enerjisi elde edilmektedir. Ayrıca aynı veya başka bir güç türbini de yanma odasına, yanma işlemini gerçekleştirmek için hava beslemesi sağlar Şekil 4.



Şekil 4. Gaz türbininin şematik gösterimi

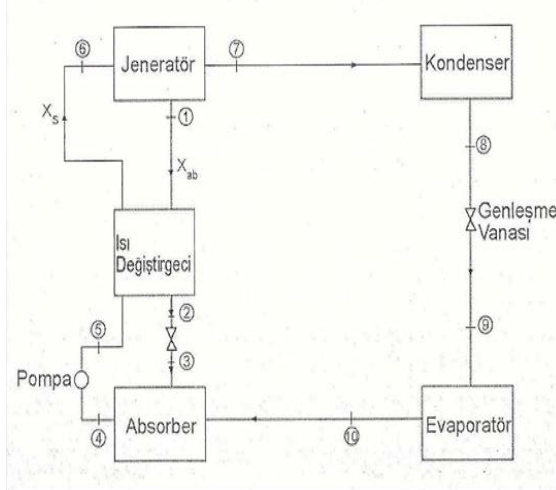
Yanma gazları türbine yaklaşık 900-1200 oC sıcaklığında girer ve yaklaşık 450-550 oC sıcaklığında çıkar. Egzoz gazlarının sahip olduğu bu yüksek sıcaklık bir ısı enerjisi kaynağıdır. Kullanılır ısı/güç oranı aralığı gaz türbininin karakteristikliklerine bağlı olarak 1.5/1 ile 3/1 arasındadır. Gaz türbini, yakıtı yakmak için gerekli olan hava miktarından daha fazlasını içine alır. Bu sebeple egzoz gazları fazla miktarda oksijen içerirler. Bu fazla oksijen ile daha fazla yakıt yakılabilir. Böylece ilave yanma, toplam ısı/güç oranını 10/1'e kadar yüksek değerlere çıkarabilir. Ayrıca gaz türbinleri yüksek güvenlilikte ve minimum bakım ihtiyacı ile çalışır.

Dünyada gaz türbinleri 500 kW'e' den 200 MWe' a kadar geniş bir güç aralığında üretilmektedir. Ancak 1

MWe' den küçük gaz türbinleri, düşük verimlilikle çalışırlar ve birim kWe başına yüksek yatırım maliyeti gerektirirler [2].

### 2.1.3. Absorbsiyonlu Soğutmanın Temel Prensipleri

Soğurmalı yani absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanın bir ikinci akışkan içinde soğurulması söz konusudur. Bu sistemlerde soğutucu akışkan olan Amonyak ( $\text{NH}_3$ ), Su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) tarafından soğurulur. Diğer absorpsiyonlu soğutma sistemleri arasında, suyun soğutucu akışkan olduğu, su-lityum bromür ve su-lityum klorür sistemleri de vardır. Absorpsiyonlu soğutma sistemi şekil 5.' de gösterilmiştir.



Şekil 5. Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi

Soğurma mekanizması içinde soğurucu, pompa, ısıtıcı, ısı değiştirici, kısılma vanası ve ayırıcı vardır. Sistemde  $\text{NH}_3$ 'ün (Amonyak) basıncının yükselmesinden sonra yoğuşturucuda soğutulmuş olarak yoğuşturulmakta ve buharlaştırıcı basıncına kısılmaktadır.  $\text{NH}_3$  buharlaştırıcıdan geçerken soğutulan ortamdaki ısı çekmektedir ve  $\text{NH}_3$  buharı, buharlaştırıcıdan çıktıktan sonra soğurucuya girer, burada su içinde soğurularak ve suyla kimyasal reaksiyona girerek  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  çözeltisini oluşturur. Soğurulan  $\text{NH}_3$  miktarını artırmak için soğurucudan ısı çekilir. Daha sonra çözelti ısıtıcıya pompalanır. Çözelti, ısıtıcıda dış kaynaktan sağlanan ısıyla buharlaştırılır ve ayırıcıya girer. Burada su, amonyak bakımından zengin olan buhardan ayrılarak ısıtıcıya geri döner, saf amonyak buharı ise yoğuşturucuya geçerek çevrimi sürdürür. Isıtıcıda kalan, amonyak bakımından zayıf çözelti, bir ısı değiştiriciden geçer, pompadan çıkan çözeltiye bir miktar ısı verir ve daha sonra soğurucu basıncına kısıılır.

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde genellikle  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$  akışkan çiftleri kullanılır.  $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$  bileşimli sistemlerin dezavantajı +

$4^\circ\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda çalışmazdır. Amonyaklı sistemler yani  $\text{NH}_3 - \text{NaSCN}$  akışkan çifti  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  akışkan çiftine göre düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarda çalışır.  $\text{LiBr} + \text{H}_2\text{O}$  sistemleri için  $80 - 150^\circ\text{C}$  sıcaklıkları uygundur.

Trijenerasyon tesisinde en fazla kullanılan tip, tek etkili absorpsiyonlu gruptur. Etkinlik katsayısı (soğutma gücü / ısı enerjisi oranı) 0,8 ve kapasitesi  $158 - 4853 \text{ kW}$  arasındadır. Enerji kaynağı olarak  $80 - 130^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki kızgın su ve maksimum 1 bar'da düşük basınçlı buhar veya egzoz gazından elde edilen atık ısı kullanılır. Kapalı alan soğutmasında kullanılan  $+5^\circ\text{C}$ 'deki soğuk hava ihtiyacı tek etkili absorpsiyonlu soğutucu ile karşılanabilir.

$\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$  ile çalışan tesisler  $-60^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşük sıcaklık üretebilir. Bu tesisler daha çok endüstriyel soğuma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Amonyaklı absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin maksimum kapasitesi yaklaşık  $200 \text{ kW}$ 'dir [3].

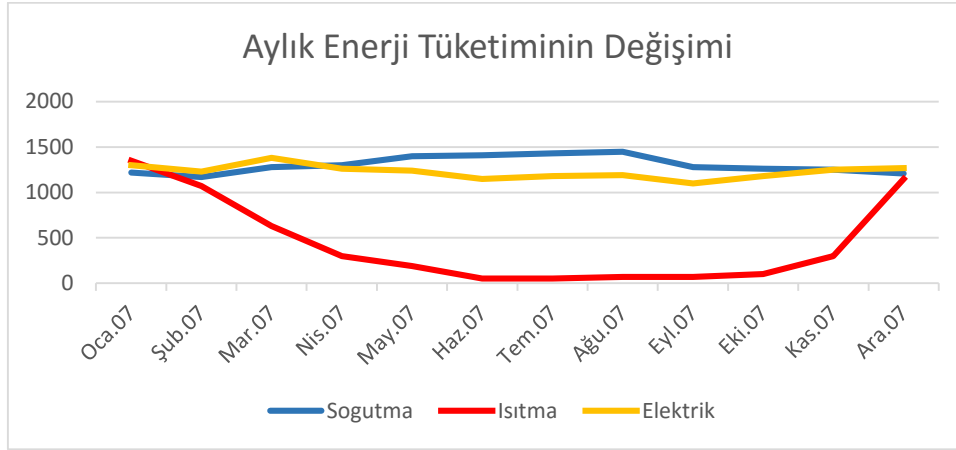
### 2.1.4. Üniversite Yerleşkesinde Uygulama

Uygulama alanında, fakülteler, idari binalar, yurtlar, lojmanlar, sosyal ve spor tesislerinden oluşan 30'u aşkın binanın yer aldığı bir yerleşkede sistem uygulanabilir. Bu yerleşke  $1.360.000 \text{ m}^2$ 'lik bir alana yayılmış olup, toplam kapalı alanı  $145.000 \text{ m}^2$ 'yi bulmaktadır. Yerleşkede enerji merkezi ayrı bir binada bulunmaktadır. Enerji merkezi içerisinde; elektrik trafo odaları, kazan dairesi ve soğutma sistemi dairesi bulunmaktadır.

Soğutma sistemi dairesinde 2 adet  $4500 \text{ kW}$ s gücünde 1 adet de  $2000 \text{ kW}$ s gücünde olmak üzere toplam 3 adet santrifuj soğutma sistemi bulunmaktadır. Bu soğutma sistemlerinde üretilen soğutulmuş su uzunluğu  $2,5 \text{ km}$ 'yi bulan boru hatları vasıtasıyla enerji merkezinden dağıtılmış dağıılmaktadır. Binaların bodrum katlarında toplam 16 adet eşanjör dairesi ile soğutulmuş su, sekonder pompalar vasıtasıyla doğrudan kullanım alanına gönderilmektedir.

### 2.1.5. Üniversite Yerleşkesinin Enerji Tüketimi

Uygulama alanının ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi ısıtma ve soğutma hatlarına yerleştirilen kalorimetreler vasıtasıyla saatlik olarak ölçülerek otomasyon sistemine kayıt edilmektedir. Benzer şekilde elektrik enerjisi tüketimleri de soğutma sistemi tarafından kullanılan elektrik enerjisi ayrıca ölçülmek kaydıyla saatlik olarak, yine otomasyon tarafından kaydedilmektedir. Şekil 6.'da yerleşkenin aylık enerji tüketimleri verilmiş ve görsel olarak karşılaştırmayı sağlamak üzere bu tüketimlerin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 6. Uygulama Alanının Enerji Tüketimleri

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Gaz Motoru Kullanılan Enerji Santralinin Ekonomik Analizi

Baz alınan faktörler

- Doğalgaz fiyatı: 0,9 TL/m<sup>3</sup> (vergiler dâhil)
- Elektrik fiyatı: 0,23 TL/kWh (vergiler dâhil)
- Doğalgaz ortalama yanış değeri: 10 kWh/m<sup>3</sup>
- kWh birim fiyatı: 0,05 TL (% 90 verimle)
- Yerleşkenin elektrik tüketimi: 16000000 kWh/yıl

Yerleşkenin 16.000.000 kWh/yıl olan elektrik ihtiyacını karşılamak üzere bir adet TCG 2032 V 16 Deutz model, (Endosan A.Ş.) gaz motorlu kojenerasyon sisteminden oluşan bir sistem seçilmiştir.

#### TCG 2032 V 16 Deutz Model Kojenerasyon Sisteminde Enerji Üretim Randımanları

- Elektrik: %36 (1 m<sup>3</sup> Doğalgaz = 3,6 kWh elektrik)
- Termik: % 42 (1 m<sup>3</sup> Doğalgaz = 4,2 kWh termik)
- Toplam: % 78
- Abs. Soğutma Kapasitesi: 1510 kW
- COP : 0,9

#### 3.2. Gaz Türbini Kullanılan Enerji Santralinin Ekonomik Analizi

Baz Alınan Faktörler

- Doğalgaz fiyatı: 0,9 TL/m<sup>3</sup> ..:(vergiler dâhil)
- Elektrik fiyatı: 0,23 TL/kWh (vergiler dâhil)
- Doğalgaz ortalama yanma değeri 10 kWh/m<sup>3</sup>
- kWh birim fiyatı: 0,05 TL (% 90 verimle)
- Yerleşkenin Elektrik Tüketim 16000000 kWh/yıl
- Yerleşkenin 16.000.000 kWh/yıl olan elektrik ihtiyacını karşılamak üzere bir adet GPC 30

DLE model, (Endosan A.Ş.) gaz türbinli kojenerasyon sistemi seçilmiştir.

#### GPC 30 DLE Model Kawasaki Kojenerasyon Sisteminde Enerji Üretim Randımanları

- Elektrik: % 28 (1 m<sup>3</sup> Doğalgaz = 2.8 kWh elektrik)
- Termik: % 44 (1 m<sup>3</sup> Doğalgaz = 4.4 kWh termik)
- Toplam: % 72
- Abs. Soğutma Kapasitesi: 1510 kW
- COP : 0,9

#### 3.3 Gaz Motorlu Modelleme için Teknik Özellikler

Çizelge 1'de güç üretici olarak gaz yakıtlı gaz motoru kullanılması durumu için parametreler görülmektedir.

#### Çizelge 1. Gaz Motorlu Modelleme için Teknik Özellikler

EKİPMAN PARAMETRELERİ	
Abs. Soğutma Sistemi Kapasitesi (kW)	1146
Abs. Soğutma Sistemi COP	0,9
Güç üretici kapasitesi	2330
İşletme Bakım Maliyetleri (TL)	0,014
Güç Isı Oranı	0,85
Güç Üretici Adedi	1
Güç Üretici Yatırım Maliyeti ( TL/kWe )	945
Abs. Soğutma Sistemi Yatırım Maliyeti (TL/kWe)	185
Elektrik Şebeke Tarife Fiyatları	
Elektrik Enerjisi Fiyatı ( TL/kWeh )	0,23
Yakıt Fiyatı ( TL/kWth )	0,05

### 3.4. Gaz Türbinli Modelleme için Teknik Özellikler

Aşağıdaki çizelgede güç üretici olarak gaz yakıtlı gaz türbini kullanılması durumu için veriler görülmektedir.

**Çizelge 2.** Gaz Türbinli Modelleme için Teknik Özellikler

<b>EKİPMAN PARAMETRELERİ</b>	
Abs. Soğutma Sistemi Kapasitesi (kW <sub>s</sub> )	1510
Abs. Soğutma Sistemi COP	0,9
Güç üretici kapasitesi	2130
İşletme Bakım Maliyetleri (TL )	0,015
Güç Isı Oranı	0,66
Güç Üretici Adedi	1
Güç Üretici Yatırım Maliyeti ( TL/kWe )	2070
Abs. Soğutma Sistemi Yatırım Maliyeti ( TL/kWe )	185
<b>Elektirik Şebeke Tarife Fiyatları</b>	
Elektrik Enerjisi Fiyatı ( TL/kWeh )	0,23
Yakıt Fiyatı ( TL/kWth )	0,05

### 3.5. Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Teknik Özellikleri

Absorpsiyonlu soğutma sisteminde kapasite seçimi önemlidir. Seçilen kapasite ekonomik çalışmayı sağlayacak şekilde belirlenmektedir. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri dur-kalk prensibine göre çalışmaya uygun değildir. Kısmi yüklerde verimleri düşmektedir [4]. Bu nedenle absorpsiyonlu soğutma sistemleri, 4 saatlik devamlı çalışmayı sağlayamadıkları durumlarda ve %25'in altındaki kısmi yüklerde devreye girmemektedir [5]. Gaz türbini ve gaz motoru modelleme

için 1510 kW<sub>s</sub> ve 1146 kW<sub>s</sub> soğurmalı soğutma sistemleri trijenerasyon sistemi için seçilmiştir [6,7].

### 3.6. Tesis Yük Profili

Tesis yük profili ve yıllık toplam enerji tüketimleri çizelge 3.'te göstermektedir.

Kyoto Protokolü'yle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji tasarrufu sağlayan Kojenerasyon teknolojileri gibi yeni enerji üretim yöntemlerine dünyada verilen önem çok artmıştır.

Enerji tasarrufu için AB içerisinde kojenerasyon sistemleriyle bileşik ısı-güç üretimi yapılarak mevcut tüketim odaklarının beslenmesi, topluluğun enerji politikasındaki önceliklerden birini oluşturmaktadır. Çünkü doğal gazın yanması sonucunda katı atık, kül, is oluşmaz. Tüketime sunulmadan önce kükürt bileşenleri ayrıştırıldığından asit yağmurlarına yol açmaz. Yanma ürünlerinin % 19'u su buharıdır ve diğer yakıtlara nazaran çok düşük miktarlarda karbonmonoksit ve azotoksit bileşenleri bulunur. Ayrıca doğalgazın yapısında karbon miktarı az, hidrojen miktarı çoktur. Bu nedenle küresel ısınmayı önlemede en uygun enerji kaynağıdır. Avrupa Birliği 11 Şubat 2004 tarihinde Kojenerasyon (CHP) Yönergesi'ni yayımlayarak ve yönetmelikleri basitleştirerek kojenerasyon sistemlerinin şebekeye bağlantı işlemlerini kolaylaştırmış ve finansal destekler de vererek kullanımlarını teşvik etmeye başlamıştır. Bu nedenlerle bileşik ısı-güç üretimi yani kojenerasyon uygulamaları Avrupa'da büyük bir hızla yaygınlaşmaya başlamış ve 2010 yılı itibarıyla, toplam ısı ve elektrik üretiminin %18' ini sağlar seviyeye gelmiştir. Bu yöntem ile elektrik ve ısı üretimi Danimarka gibi bazı AB ülkelerinde ise toplam üretim içinde %51 gibi çok yüksek oranlara çıkmıştır. [8]

**Çizelge 3.** Uygulama Alanı Yerleşkenin Yıllık Enerji Tüketimi

Talepler	<b>Tesis Yük Profili</b>					
	Elektrik		Isıtma		Soğutma	
Yıllık	15649443	kWeh	4801590	kWth	14629471	kWsh
Maximum	4648,09	kWe	1418	kWt	4600	kWs
Minimum	465,54	kWe	0	kWt	0	kWs

### 3.7. Kojenerasyon Sistemi ve Trijenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Uygulamada ayrı ayrı elde edilen trijenerasyon sistemi maliyetleri ve kojenerasyon sistemi maliyetleri

karşılaştırılarak yıllık kâr belirlenmiştir. Bulunan kâr, tesisin ekonomik ömrü üzerine yayılarak elde edilecek net kârın günümüzdeki değeri tespit edilmektedir.



### 3.7.1. Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Motorlu Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

**Çizelge 4.** Gaz Türbinli Trijenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Motorlu Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

<b>GAZ MOTORU KOJENERASYON</b>		<b>GAZ TÜRBİNİ TRİJENERASYON</b>	
<b>Üretim Maliyeti</b>		<b>Üretim Maliyeti</b>	
Doğalgaz(TL)	4.527.772,5	Doğalgaz(TL)	5.093.742,86
Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	2.201.850,00	Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	4.409.100,00
Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	253.555,26	Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	237.708,00
Abs. Soğutma Yatırım Maliyeti(TL)	212.010,00	Abs. Soğutma Yatırım Maliyeti(TL)	279.350,00
Abs. Soğutma Bakım Maliyeti(TL)	124.726,06	Abs. Soğutma Bakım Maliyeti(TL)	168.516,00
<b>Toplam(TL)</b>	<b>7.319.913,816</b>	<b>Toplam(TL)</b>	<b>10.188.416,86</b>
<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>		<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>	
Elektrik Fiyatı(TL)	4.165.550,70	Elektrik Fiyatı(TL)	3.644.856,00
Isı Fiyatı(TL)	243.704,08	Isı Fiyatı(TL)	432.361,00
Abs. Soğutma Elektrik Fiyatı(TL)	3.364.893,33	Abs. Soğutma Elektrik Fiyatı(TL)	3.364.893,33
<b>Toplam(TL)</b>	<b>7.774.148,11</b>	<b>Toplam(TL)</b>	<b>7.442.110,31</b>
İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	2.868.094,3	İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	1.942.143,466

### 3.7.2. Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Türbinli Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

**Çizelge 5.** Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Türbinli Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

<b>GAZ TÜRBİNİ KOJENERASYON</b>		<b>GAZ TÜRBİNİ TRİJENERASYON</b>	
<b>Üretim Maliyeti</b>		<b>Üretim Maliyeti</b>	
Doğalgaz(TL)	5.093.742,86	Doğalgaz(TL)	5.093.742,86
Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	4.409.100,00	Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	4.409.100,00
Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	237.708,00	Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	237.708,00
Abs. Soğutma Yatırım Maliyeti(TL)	279.350,00		
Abs. Soğutma Bakım Maliyeti(TL)	168.516,00		
<b>Toplam(TL)</b>	<b>10.188.416,86</b>	<b>Toplam(TL)</b>	<b>9.740550,86</b>
<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>		<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>	
Elektrik Fiyatı(TL)	3.644.856,00	Elektrik Fiyatı(TL)	3.644.856,00
Isı Fiyatı(TL)	432.361,00	Isı Fiyatı(TL)	1.245.137,14
Abs. Soğutma Elektrik Fiyatı(TL)	3.364.893,33		
<b>Toplam(TL)</b>	<b>7.442.110,31</b>	<b>Toplam(TL)</b>	<b>4.889.993,14</b>
İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	1.942.143,446	İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	480.893,14

### 3.7.3 Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Motorlu Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

**Çizelge 6** Gaz Motorlu Kojenerasyon Sistemi Maliyetlerinin Gaz Motorlu Trijenerasyon Sistem Maliyetleriyle Karşılaştırılması

<b>GAZ MOTORU KOJENERASYON</b>		<b>GAZ MOTORU TRİJENERASYON</b>	
<b>Üretim Maliyeti</b>		<b>Üretim Maliyeti</b>	
Doğalgaz(TL)	4.527.772,5	Doğalgaz(TL)	4.527.772,5
Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	2.201.850,00	Güç Üretici Yatırım Maliyeti(TL)	2.201.850,00
Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	253.555,26	Güç Üretici Bakım Maliyeti(TL)	253.555,26
Abs. Soğutma Yatırım Maliyeti(TL)	212.010,00		
Abs. Soğutma Bakım Maliyeti(TL)	124.726,06		
Toplam(TL)	7.319.913,8	Toplam(TL)	6.983.177,76
<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>		<b>Üretilen Enerjinin Tüketim Değeri</b>	
Elektrik Fiyatı(TL)	4.165.550,70	Elektrik Fiyatı(TL)	4.165.550,70
Isı Fiyatı(TL)	243.704,08	Isı Fiyatı(TL)	1.056.480,20
Abs. Soğutma Elektrik Fiyatı(TL)	3.364.893,33	Toplam(TL)	5.222.030,95
Toplam(TL)	7.774.148,11		
İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	2.868.094,3	İlk Yıl Hariç Yıllık Ek Gelir(TL)	440.703,2

## 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

### 4.1. Gaz Türbinli ve Gaz Motorlu Tesis Modellerinin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kurulan iki model için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında gaz türbinli tesis modelinde 2130 kWe gaz türbini kapasitesi ve 1510 kW's absorpsiyonlu soğutma sistemi kapasitesi için gaz türbininin yılın %84,9'unda çalışabildiği görülmektedir. Gaz motorlu modelde ise güç üretici kapasitesinin göreceli olarak artarak 2330 kWe olduğu ve bununla birlikte absorpsiyonlu soğutma sistemi kapasitesinin ise azalarak 1146 kW's'a düştüğü görülmektedir. Gaz motorlu tesis modelinde de yılın %88,7'sinde çalışabildiği görülmektedir.

Gaz türbinli sistem ile yıllık planlama süresi boyunca kojenerasyon sisteme göre elde edilecek kârın bugünkü değeri hesaplanmıştır. İlk yıl yakıt ve elektrik fiyatları hiçbir eskalasyon oranı ile çarpılmadığında elde edilen kâr 1.942.143,446 TL olmaktadır. Kurulacak gaz türbinli trijenerasyon tesisinin toplam yatırım maliyeti 10.188.416,86 TL'dir. Buradan gaz türbinli tesisin 16,5 ayda tüm yatırım maliyetini geri ödediği görülmüştür.

Benzer hesaplar gaz motorlu sistem için yapılmıştır ve bir yıllık planlama süresi boyunca elde edilecek kârın bugünkü değeri hesaplanmıştır. İlk yıl yakıt ve elektrik

fiyatları hiçbir eskalasyon oranı ile çarpılmadığında elde edilen kâr 2.868.094,3 TL olmaktadır. Kurulacak gaz türbinli trijenerasyon tesisinin toplam yatırım maliyeti ise 7.319.913,816 TL'dir. Buradan da diesel motorlu tesisin 11,3 ayda tüm yatırım maliyetini geri ödediği görülmüştür.

Ortaya çıkan sonuç incelendiğinde, gaz motorlu sistem bu tip bir uygulamada atık ısısının kullanımındaki zorluklar nedeniyle çok tercih edilen bir seçenek olmamasına rağmen kısa vadede yatırım maliyetinin az olması ekonomik açıdan uygun olabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak uzun vadede gaz türbinli bir sistemin getirisi daha çok olacaktır. Yukarıda verilen grafikler incelendiğinde gaz motorlu sistemin ısı gereksiniminin çok düşük bir kısmını sağlayabilmesine rağmen soğutma için harcanan elektrik enerjisi düşünüldüğünde ekonomik seçenek olarak karşımıza çıkması dikkat çeken bir durumdur. Bunun sebebi ülkemizde elektrik maliyetlerinin yakıt maliyetlerinden çok fazla oluşudur. Bu durum yüksek elektrik verimli gaz motorlu sistemi avantajlı hale getirmiştir.

Sonuç olarak uygulama alanı yerleşkesine bir trijenerasyon sisteminin kurulmasının büyük miktarda maddi kazanç sağlayacağı belirlenmiştir. Kurulacak tesisin gaz motorlu seçilmesiyle elde edilecek kârın gaz türbinli sisteme göre daha fazla düşünülmektedir.

**Çizelge 7.** Gaz Türbinli ve Gaz Motorlu Trijenerasyon Modelin Sonuçlarının Genel Karşılaştırılması

	Gaz Türbinli Modelleme	Gaz Motorlu Modelleme
Güç Üretici Kapasitesi ( kWe )	2130	2330
Abs. Soğutma Kapasitesi ( kW <sub>s</sub> )	1510	1146
Yıllık Çalışma Saati	7440	7773
Tesisin Yatırım Maliyeti ( TL )	10.188.416,86	7.319.913,816
Yatırım Geri Ödeme Süresi ( ay )	16,5	11,3

**Çizelge 8.** Gaz Türbinli ve Gaz Motorlu Kojenerasyon Modelin Sonuçlarının Genel Karşılaştırılması

	Gaz Türbinli Modelleme	Gaz Motorlu Modelleme
Güç Üretici Kapasitesi ( kWe )	2130	2330
Yıllık Çalışma Saati	7440	7773
Tesisin Yatırım Maliyeti ( TL )	9.740.550,86	6.983.177,76
Yatırım Geri Ödeme Süresi ( ay )	24	16

Bu çalışmada günümüzde kullanılan kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojileri karşılaştırılmıştır. Bu teknolojilerden ticari binalarda sıklıkla kullanılan gaz türbinli trijenerasyon ve içten yanmalı motorlu trijenerasyon sistemlerinin, uygulama alanı yıllık enerji tüketimlerine göre ekonomik karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde kurulacak trijenerasyon sistemi uygulaması ile yıllık toplam net kâr belirlenmiştir ve tesisin 11,3 ay sonunda tüm yatırım maliyetini geri ödeyeceği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, birincil enerjinin daha verimli şekilde kullanıldığı trijenerasyon sistemlerinin ülkemizde daha kârlı kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Bu teknolojinin yatırımcılar tarafından; yeni oluşturulan projelerde ve hatta hali hazırda çalışmakta olan kojenerasyon sistemleri üzerine de uygulanabilecek bir enerji üretim sistemi olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- [1]. ÖNER, E. , “Örnek Bir İşletmede Kojenerasyon Tesisi Uygulaması” , Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [2]. TEKELİ, A. “Gaz Türbinli Bileşik Isı-Güç Sisteminin Termodinamik Çözümlemesi ASHRAE Fundamentals, “Ses ve Titreşim”, Çeviren: A. ARISOY, Tesisat Mühendisleri Derneği, 1997.
- [3]. AKDENİZ, N. , “Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi” , Yüksek Lisans Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2007.
- [4]. ÇALIŞICI, M. , “Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılatabilecek Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği” , Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 2005.
- [5]. ARAT, B. , “Organize Sanayi Bölgelerinde Kojenerasyon Santralinin Yer Optimizasyonu” , Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [6]. ARPACI, İ. “Doğal Gazlı Kojenerasyon Sistemlerinde Exergy Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [7]. ÇENGEL, Y.A. BOLES, M.A. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill Literatür Yayıncılık, 1996.
- [8]. PRADAVLIOĞLU S. “Kojenerasyon Sistemleri ile Yerde Enerji Üretimi”. TMMD 2012.