

## BİLEŞİK ISI GÜÇ SİSTEMLERİ VE BİR MODEL ÜZERİNDE UYGULANABİLİRLİK ETÜDÜ

M.Süleyman Halilbeyoğlu, Kemal Çakır, İmdat Taymaz

**Özet-** Ülkemizde enerji dar boğazının aşılması, üretim ve kullanım aşamasında verimliliğin artırılması, kaliteli enerjiye duyulan ihtiyaç, kayıpların asgari düzeyde tutulmak istenmesi gibi nedenler kojenerasyon yani bileşik ısı güç üretim sistemlerini(CHP) gündeme getirmiştir.

Bu çalışmada kojenerasyon sistemleri tanıtılmaya çalışılmış, sistemin uygulanması ile ilgili kriterlere değinilmiş ve askeri bir tesiste kojenerasyonun uygulanabilirliği incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Kojenerasyon, verimlilik.

**Abstract-** The cogeneration systems, in other words the compound heat power generating systems are being considered in order to overcome the energy shortage in our country, to increase the efficiency at the time of production and service, to keep the loss level at minimum and to meet the need for quality energy.

The cogeneration systems have been introduced in this study. The criteria concerning the application of the system have been mentioned. Also, the applicability of the cogeneration in a military facility has been researched.

**Keywords-** Cogeneration, efficiency.

### I. GİRİŞ

Birincil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenen olması, hem alternatif enerji kaynakları üzerindeki araştırmaların artmasına neden olmuş, hemde enerji üretim ve kullanım aşamalarında verimliliğin artırılması çalışmalarını hızlandırmıştır.

Günümüz dünyasında baş döndürücü hızla gelişen teknolojinin devamlılığının sağlanması enerji tüketiminin artmasına bağlıdır. Yakın gelecekte enerji üretiminde

vazgeçilemeyecek kaynaklardan olan birincil enerjinin en verimli şekilde kullanılması önem arz etmektedir.

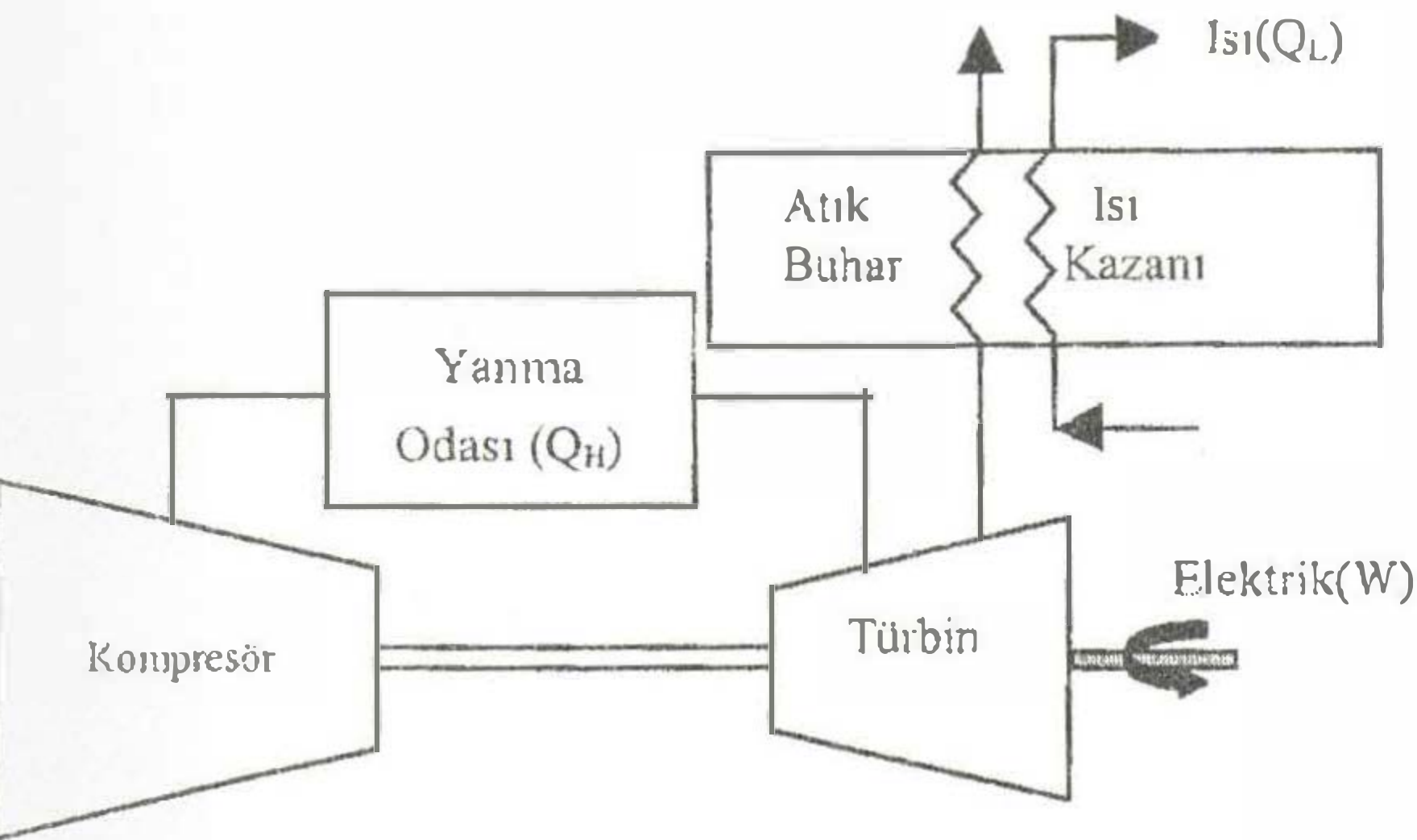
Gelişmiş ülkeler, enerji tüketiminin GSMH 'ya oranını düşürerek enerji yoğunluğunu azaltmayı ve böylelikle daha az enerji ile daha çok mal ve hizmet üretmeyi amaçlamaktadırlar. Kişi başına enerji tüketiminde dünya ortalamasının altında kalan Türkiye enerji kaynakları, teknoloji ve finansman açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Kişi başına enerji tüketiminde dünya ortalamasının altında kalan Türkiye'nin gelişimi petrol krizi sonrasında birçok Avrupa ülkesinin yaptığı gibi ulusal Enerji Tasarruf Politikaları benimseyerek, enflasyonla mücadelede benzer bir kararlılıkla bu politikaları uygulamaya koymasına bağlıdır.

Yakın zamana kadar üretim ve dağıtım devlet tarafından yapılan elektrik enerjisi, artık sanayi kuruluşlarının ihtiyacına cevap verememektedir. Bunun sonucu olarak 1992 yılında yapılan kanuni düzenleme ile birlikte sanayi kuruluşları, hem elektrik enerjisi dar boğazını aşmalarını sağlayacak, hemde ısı ve elektriğin birlikte üretimi ile birincil enerji girdisini konvansiyonel sistemlere göre daha verimli olarak değerlendirecek olan bileşik ısı güç sistemi tesisleri kurmaya başlamışlardır.

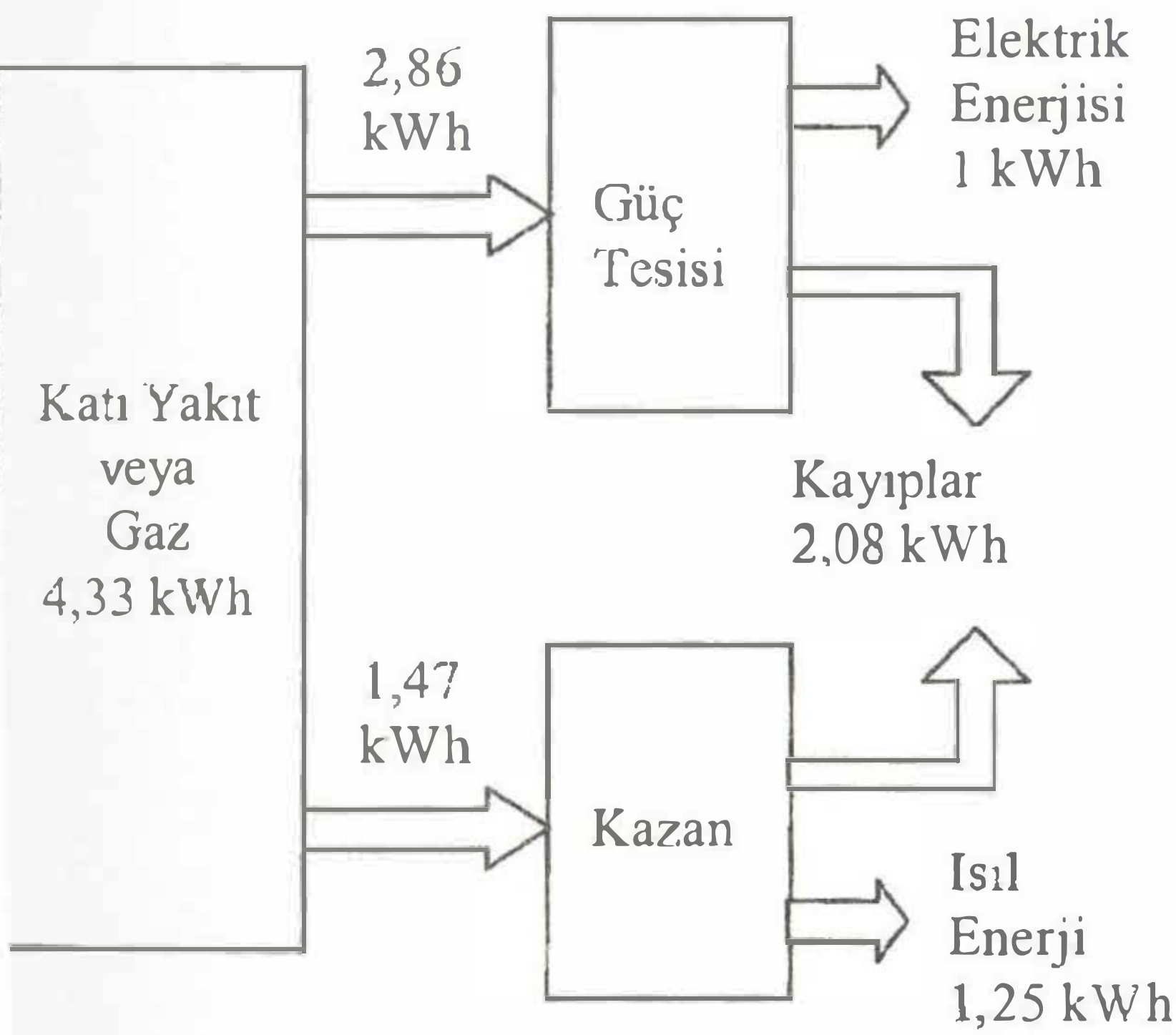
### II. BİLEŞİK ISI GÜÇ SİSTEMLERİ (KOJENERASYON) NEDİR?

Bileşik ısı güç sistemleri kısaca, enerjinin hem elektrik hem de ısı biçimlerinde aynı sistemden beraberce üretilmesi olarak tarif edilir (Şekil 1). Basit çevrimde çalışan sistemler kullandıkları yakıtın enerjisinin yalnızca % 30-40 kadarını elektriğe çevirebilir ve ısı enerjisinin büyük bir bölümünü atık ısı olarak çevreye bırakırlar. Bileşik ısı güç sistemleri ise atık ısıyı proses buharı, kızgın su ve sıcak su gibi endüstriyel proseslerde veya ısıtmada kullanarak, sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisini kullanılabilir enerjiye dönüştürür, böylelikle giren enerjinin % 70-90'ı değerlendirilir. Her iki enerji biçiminin ayrı ayrı aynı miktarlarda üretilmesi için gerekli birincil enerji miktarının, bunların bileşik ısı güç sistemi ile üretilmesi durumunda ne oranda azalacağı Şekil 2 ve Şekil 3'de görülmektedir.

Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiği takdirde bileşik ısı güç sisteminin, kullanılan birincil enerjiden % 42 tasarruf sağladığı görülmektedir. Bileşik ısı güç sistemleri enerji tasarrufunun yanı sıra atık emisyonlarını da azaltarak çevreye daha az zarar vermektedir.



Şekil 1 Bileşik ısı güç sistemi



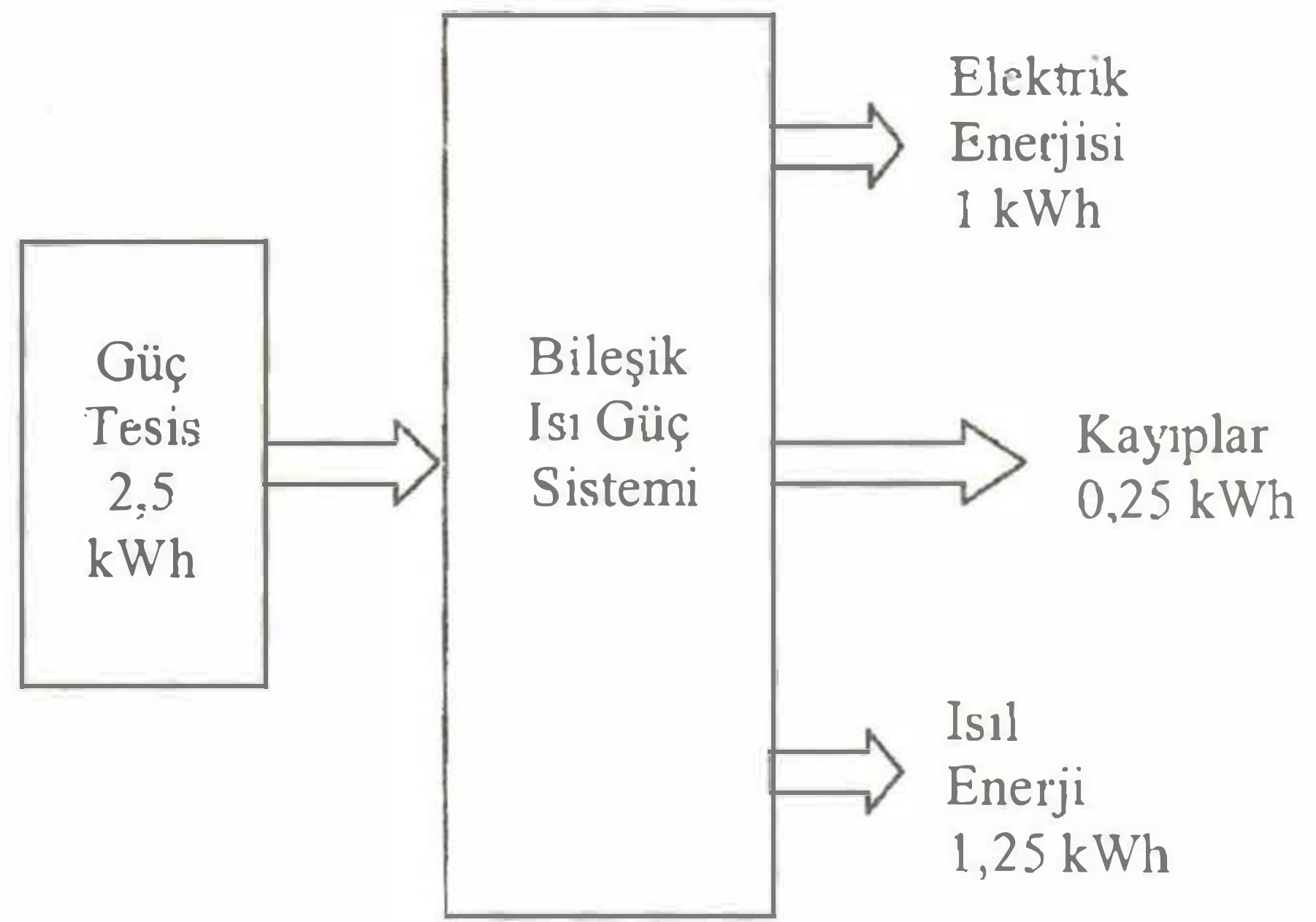
Şekil 2 Kombine çevrimle çalışan sistemlerin enerji bilançosu

## II.1. Performans Parametreleri

Bileşik ısı güç santrali bir ısı makinası olarak ele alınabilir (Şekil 4). Isı makinasında üretilen işin (elektrik, W), sağlanan ısı enerjisine (yakıt enerjisi,  $Q_H$ ) oranı, ısıl verim olarak tanımlanır ( $\eta$ ).

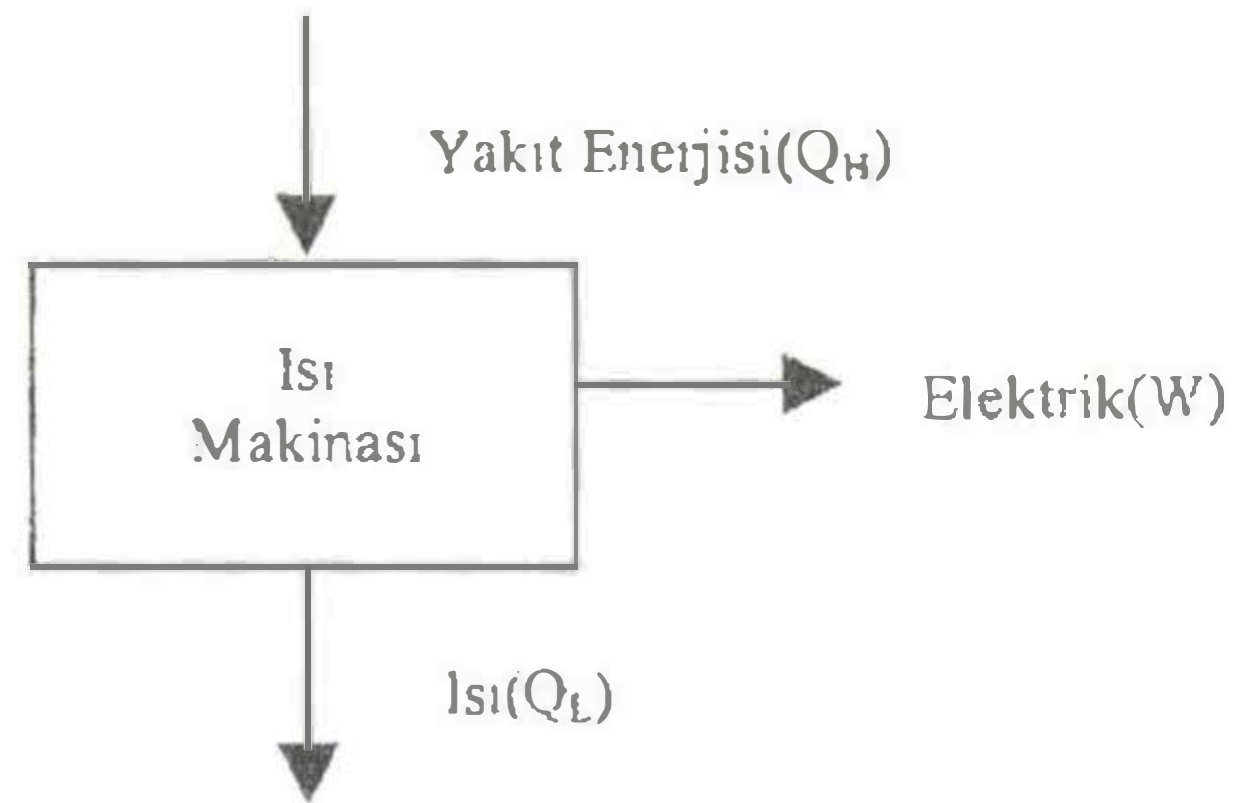
$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (1)$$

Bileşik ısı güç sistemlerinde ısıl verime 'elektrik çevrim oranı' da denilmektedir.



Şekil 3 Bileşik ısı güç sistemi enerji bilançosu

Buhar türbinli bileşik ısı-güç santralının en önemli özelliği yoğuşturucunun olmamasıdır. Dolayısıyla çevreye verilen ısı, yani atık ısı yoktur, kazanda buhara



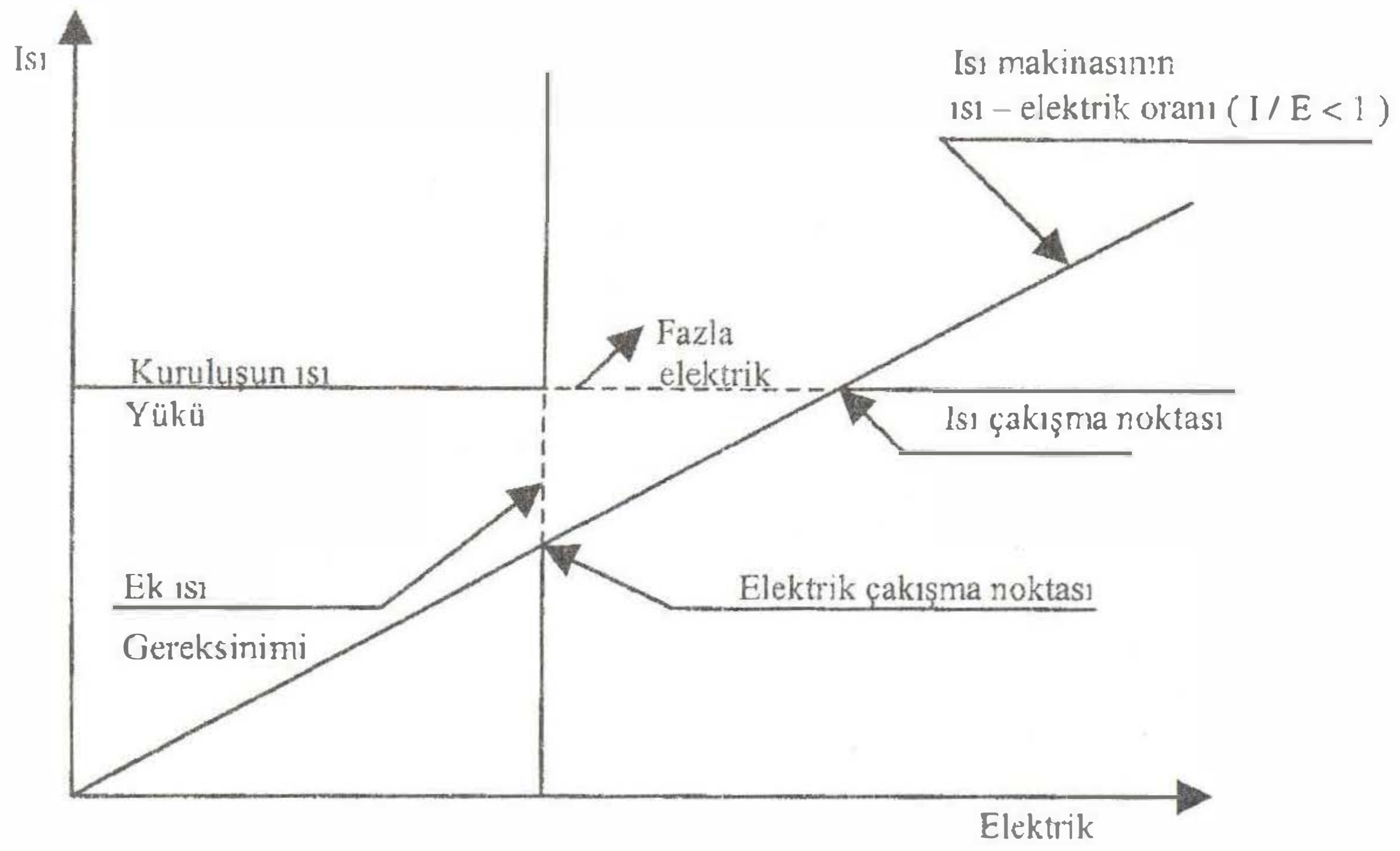
Şekil 4 Kojenerasyonun temel düşüncesi

verilen tüm enerji, elektrik enerjisine veya proses ısısına dönüşmektedir. Çevreye verilen ısıl enerji ( $Q_L$ ) kullanımı amaçlanan ısıdır. Bir bileşik ısı-güç santrali için enerjiden yararlanma oranı veya toplam verim Eşitlik 2' deki gibi tanımlanır:

$$EYO = \frac{W + Q_L}{Q_H} \quad (2)$$

Eşitlik 2' den de görüldüğü gibi, buhar türbinli sistemlerde enerjiden yararlanma oranı % 100'dür. Fakat uygulamada atık ısının tümünden yararlanılamadığı için bu değer % 70-90 arasında olur[1].

Bir bileşik ısı güç santralında kullanılan ısının, üretilen işe veya elektrığe oranı, ısı elektrik oranı, IEO olarak tanımlanır.



Şekil 5 İşletmenin ısı ve elektrik yüklerinin ısı makinası özellikleri ile karşılaştırılması[5]

Sistem seçiminde dikkatle üzerinde durulması gereken hususlardan birisi de atıl kapasite yaratmayacak bir sistem seçimi yapılmasıdır.

Bileşik ısı güç sisteminde verimin, türbin çıkış gazındaki enerjinin geri kazanım miktarı ile doğru orantılı olduğunu bilmekteyiz, dolayısıyla bileşik ısı güç sistemini değerlendirirken, enerji geri kazanım olayı maksimum boyutlarda değerlendirilmelidir. Bu nedenle buharı kullanacak olan prosesin buhar ihtiyacı en az, elektrik üretmek üzere kurulacak olan sistemin üreteceği buharı alabilecek şekilde olmalıdır. Seçimde bu husus dikkate alınmadığı takdirde elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı kullanılmayacağından sistem verimi düşük olacaktır.

İşletme yoğun olarak yüksek sıcaklıkta buhar, kızgın yağ ya da sıcak havaya ihtiyaç duyuyorsa, bu ihtiyacı 1:2 elektrik/ısı dengesine oturuyorsa, sisteme uygun yakıt ekonomik olarak mevcut ise ve santral büyüklüğü gaz türbinleri kapasite aralığına giriyorsa ihtiyaç bir gaz türbin sistemini işaret eder.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta değişken sayısının fazlalığıdır. Tüm veriler bir gaz türbinini işaret ediyorken bile, sistemin ekonomik açıdan incelenmesi neticesinde sistem bir dizel motor santraline dönüştürülebilmektedir.

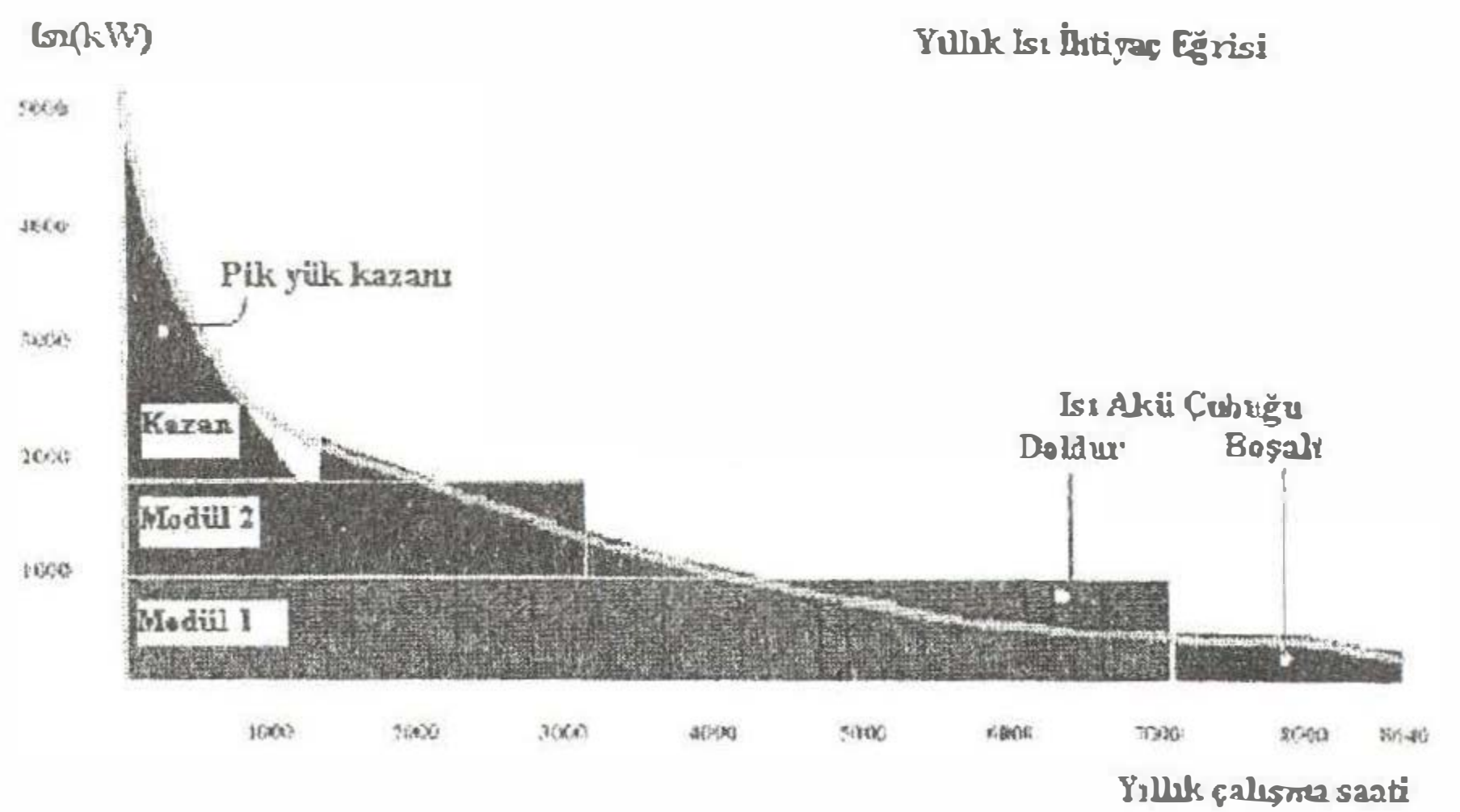
Yapılan değerlendirme sonucunda, proses yüksek ısı ihtiyacı göstermeyen sıcak su ya da kızgın su ihtiyacına işaret ediyorsa ve ısı - elektrik dengesi, elektrik lehinde daha fazla ise elektrik talebine göre bir gaz ya da dizel motor santrali tercih edilir.

Burada tercihi belirleyen temel nokta motorların türbinlere oranla %10 oranında yüksek elektrik çevrim verimidir. %40 elektrik verimine sahip bir motor

santralında, doğal gazdan elde edilecek ısıdan hiç yararlanılmasa dahi, üretilen elektrik şebeke elektriğinden daha ucuza mal olmaktadır, bu gaz türbinlerinde mümkün değildir.

Sistem seçimi ile santral büyüklüğü ve tipini belirledikten sonra santralin kaç modülden oluşacağını tespit etmek gerekmektedir. Burada ilk kısıtlama piyasada mevcut üretilmekte olan modül büyüklüğüdür.

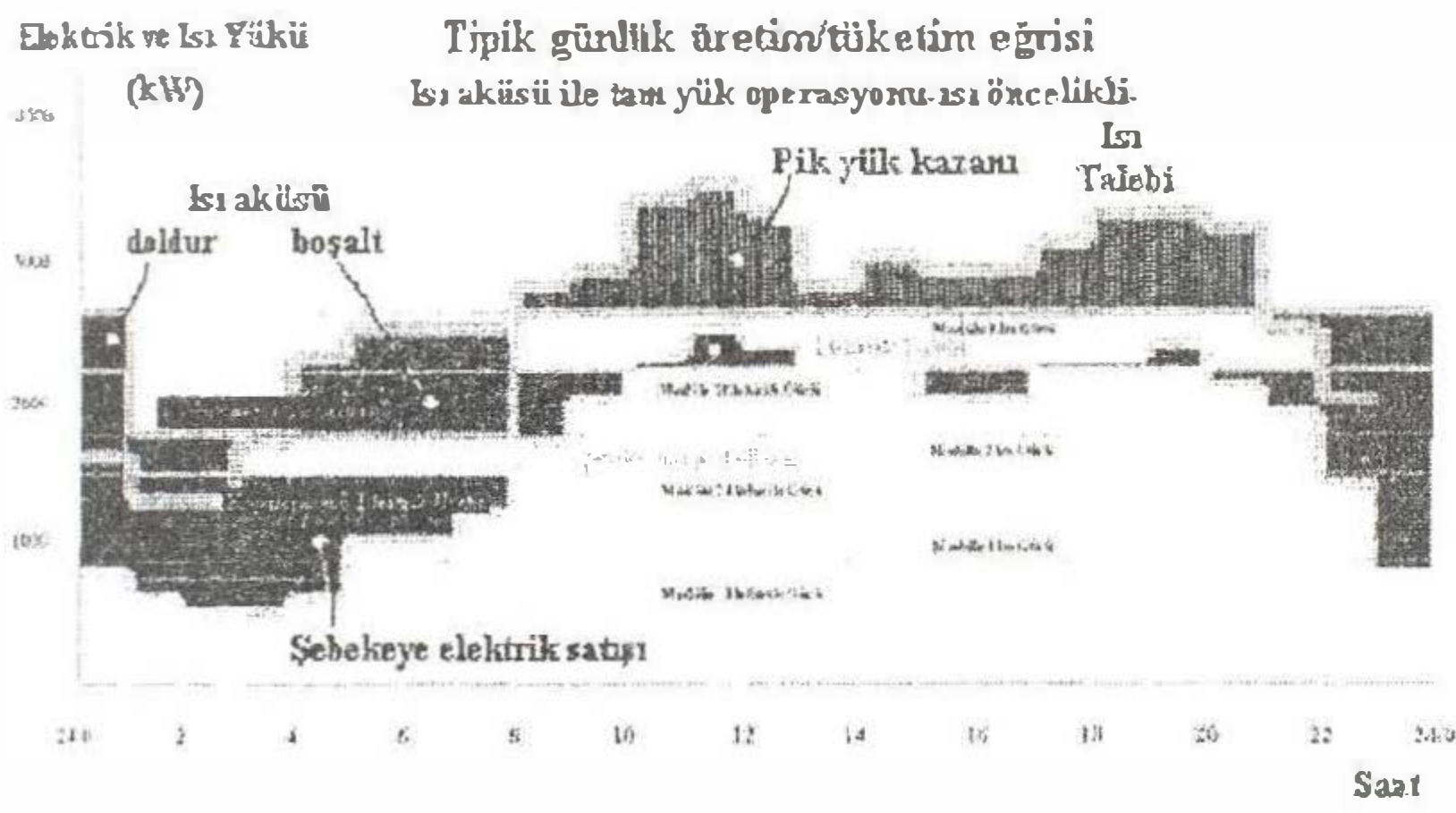
Bu problem aşılabildiği zaman ilke olarak en az iki modülden oluşan bir santral kurmak enerji temin güvencesi açısından her zaman tercih edilmelidir. İkinci önemli kriter ise mümkün olan en yüksek verimde çalışabilmek amacıyla yıllık tüketim eğrisini değerlendirmektir. Modül sayısını yıllık tüketim eğrisine oturttuğumuzda Şekil 6'daki durumla karşılaşırız.



Şekil 6 Modül sayısının yıllık tüketim eğrisi üzerine oturtulması[5]

Şekil 6'dan anlaşılacağı üzere, elektrik talebi yaklaşık 1.4 MW olarak tespit edilen santral ısı eğrisine çakıştırılmış ve 1 modülün yılın büyük bölümünde 7000 saat, diğerinin ise 3000 saat tam yükte çalışması durumunda en yüksek verimle santralin çalışabileceği tespit edilmiştir.

Buna göre yapılacak fizibilite çalışmaları uygun sonuç verirse santral yatırımı yapılabilir. Bir diğer önemli değerlendirme ise eğer gün içinde elektrik ve ısı yükünde önemli değişiklikler oluyorsa modül sayısının buna göre tespiti. Bu gibi durumlarda santral modül sayıları genellikle artar, modül kapasiteleri daha düşük seçilir. Bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7 Modül sayısının gün içindeki elektrik-ısı yükü değişimine göre tespiti[5]

Şekil 7'den, 22.00 - 08.00 arası gece operasyonunda üç modülden ikisinin çalışmasına rağmen elektrik üretim fazlası olduğu, buna karşın 09.00-20.00 arasında her üç modülün de elektrik üretiminin tamamen kullanılabildiği, ısı talebinin ise 3 modüle rağmen ancak 21.00-08.00 arasındaki gece rejiminde karşılanabildiği, gün içinde pik yük kazanlarının ısı sistemini takviye ettiği anlaşılmaktadır. Bu durumda her ünitenin yıllık çalışma saatlerine bakılarak yapılacak fizibilite etüdü santral yatırımının yapılabilirliği hakkında kesin sonucu verecektir.

## VII. ASKERİ BİR FABRİKADA BİLEŞİK ISI GÜÇ SİSTEMİ İÇİN UYGULANABİLİRLİK ETÜD ÇALIŞMASI

### VII.1. Tesiste Bileşik Isı Güç Sistemi İçin Ön Değerlendirme

Fabrika kapalı alanı 118.000 m<sup>2</sup> olup, enerji iletim hatları 1997-99 yılları arasında revize edilmiştir. Enerji tasarrufu hususunda sorun yoktur. Tesiste kullanılan buhar sıcaklığı 175°C, buhar basıncı maksimum 8 bar, ortalama saha sıcaklıkları 15-25°C'dır. Yıllık çalışma saati ortalama 2500 saat olup, bileşik ısı güç sistemleri için öngörülen 5000 saatlik sürenin altında kalmaktadır. 5.5 ayın günlük enerji sarfiyatları incelendiğinde genelde

500kW'ı aşan elektrik ve ısı yüklerinin mevcut olduğu görülmektedir.

Isı yüklerinin özellikle kış aylarında 500kW'ı aştığı, yaz ayları ve hafta sonlarında (çalışma olmayan saatlerde) ise genelde bu değer altında kaldığı görülmektedir. 170 günlük incelemede, 74 gün ısı yükü 500 kW'yı aşmıştır.

Elektrik yüklerinin genelde 500 kW'lık değer üzerine çıktığı görülmektedir. 170 günlük incelemede 132 gün ısı yükü 500kW'ı aşmıştır.

Bileşik ısı güç sisteminin kurulması halinde, fabrikanın çok yakınından geçmekte olan doğal gaz hattından yararlanılabilecek veya bileşik ısı güç sisteminde kullanılan diğer yakıt seçeneklerinden birinin kullanımı mümkün olacaktır. Yakıt depolama ile ilgili sorun yoktur. Sistemin kurulması için yeterli alan mevcuttur.

### VII.2. Tesis İçin Sistem ve Kapasite Seçimi

Fabrikanın günlük ısı ve elektrik yükü değişimlerini gösteren örnek şekiller Şekil 8 ve Şekil 9'da, Isı ve elektrik yükü değişimi ise Şekil 10'da görülmektedir.

Fabrikanın günlük ısı ve elektrik yükü değişimlerini gösteren örnek tablolar Tablo 1 ve Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 1 21 AĞUSTOS 2002 gününe ait elektrik ve ısı yükleri

21.08.2002 ÇARŞAMBA				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	1242	572	3,5
ISI	0	476,25	164,35	

Tablo 2 03 ARALIK 2002 gününe ait elektrik ve ısı yükleri

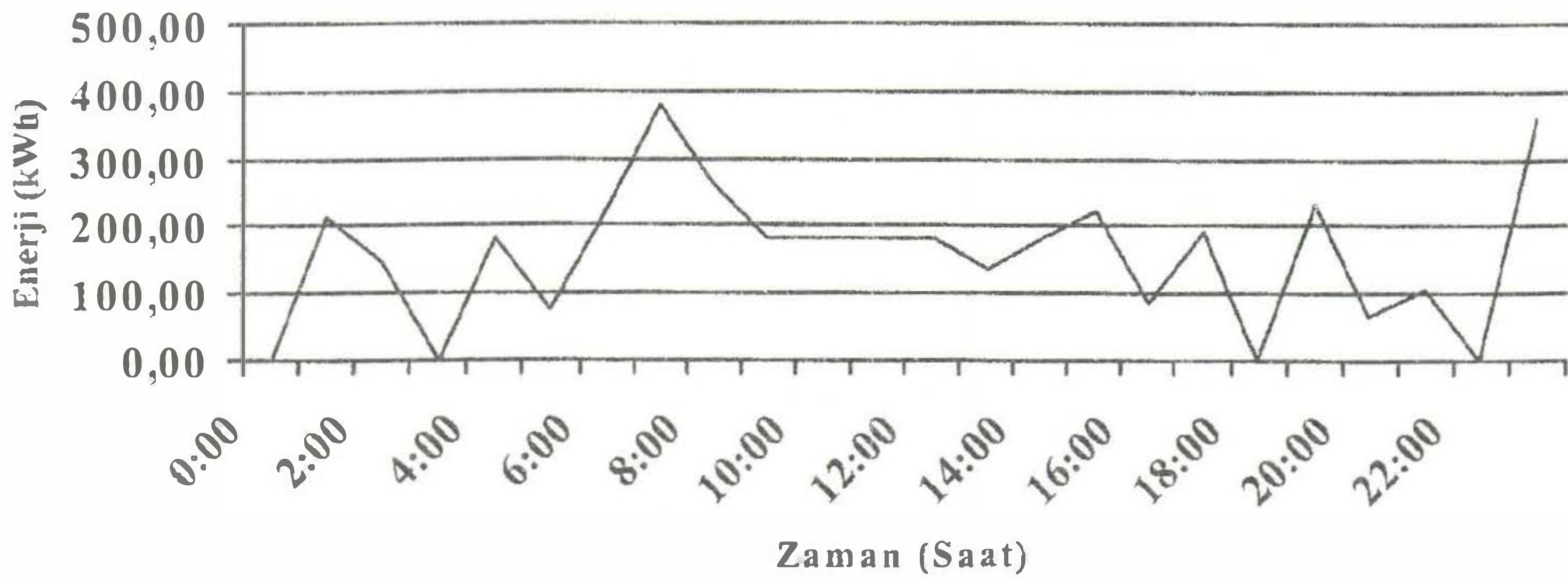
03.12.2002 SALI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	414	1242	791	1,6
ISI	264,58	878,41	505,82	

Fabrikanın haftalık ısı ve elektrik yükü değişimlerini gösteren örnek tablolar Tablo 3 ve Tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 3 EYLÜL ayının 5. haftasına ait elektrik ve ısı yükleri

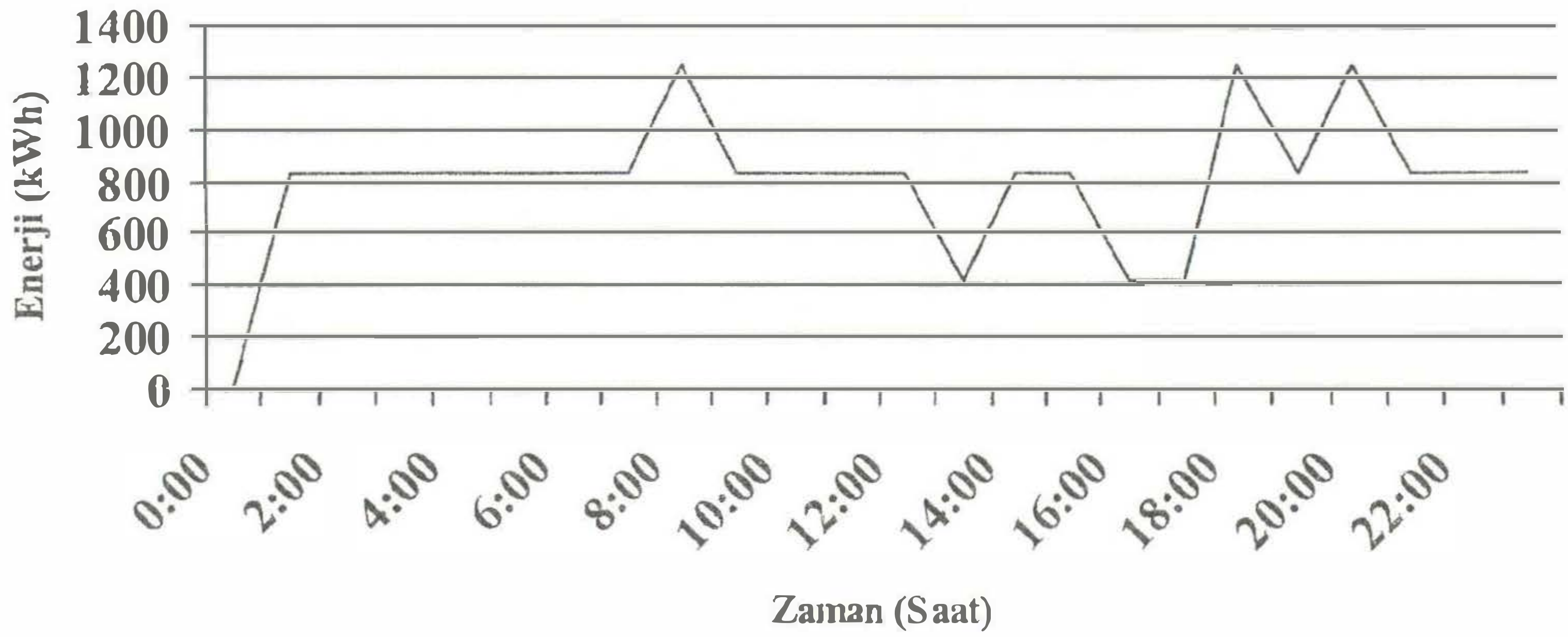
EYLÜL 5NCİ HAFTA				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	1242	672,96	3,6
ISI	0	698,5	186,63	

### 29 Temmuz 2002 Günü Isı Enerjisi Tüketimi



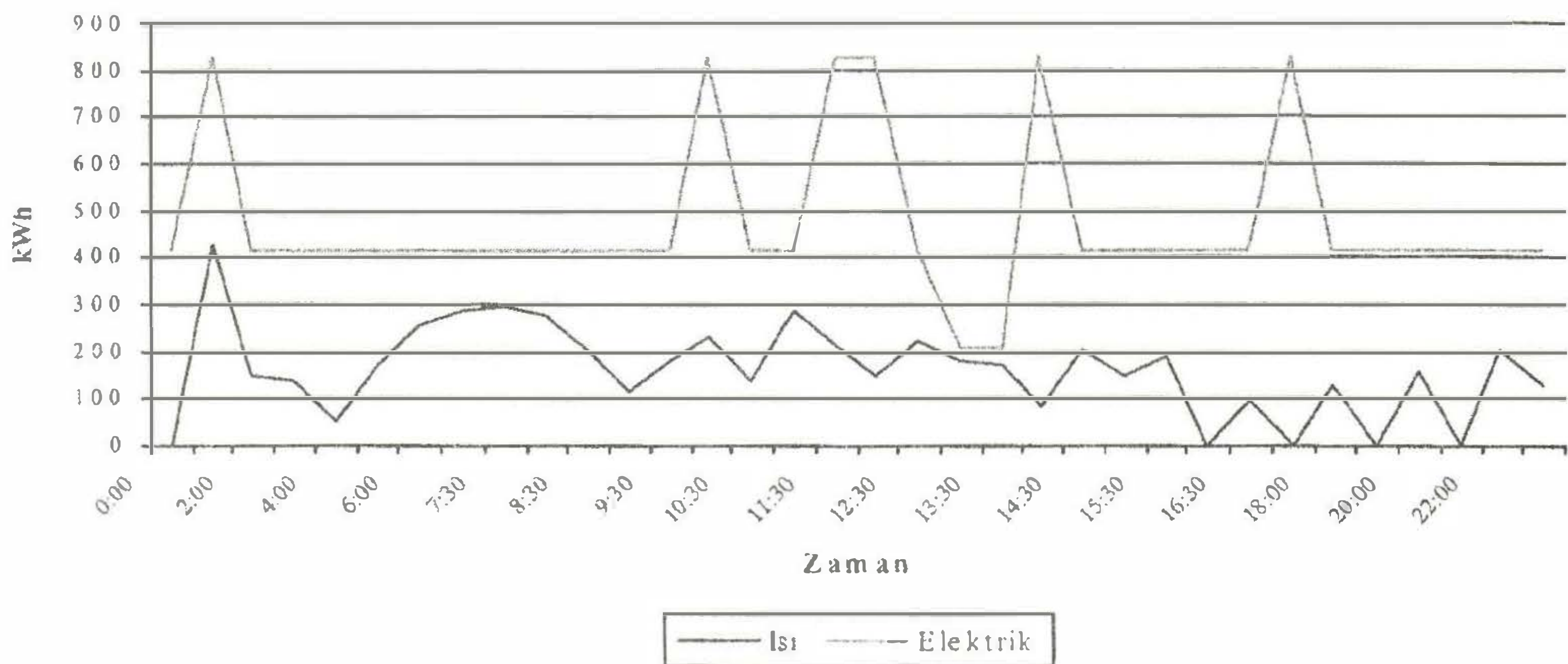
Şekil 8 Günlük ısı enerjisi tüketiminin gün içindeki değişimi

### 19 Kasım 2002 Günü Elektrik Enerjisi Tüketimi



Şekil 9 Günlük elektrik enerjisi tüketiminin gün içindeki değişimi

### 01 Ağustos 2002 Günü Elektrik ve Isı Tüketimi



Şekil 10 Günlük elektrik ısı enerjisi tüketiminin gün içindeki değişimi

Tablo 4 EKİM ayının 3. haftasına ait elektrik ve ısı yükleri

EKİM 3NCÜ HAFTA				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	1656	758,79	3,7
ISI	0	687,91	204,34	

Fabrikanın aylık elektrik ve ısı yükü değişimleri Tablo 5'de, Mevsimlik ısı ve elektrik yükü değişimleri Tablo 6'da, 5,5 aylık verilerin değerlendirilmesi Tablo 7'de görülmektedir.

Veriler incelendiğinde Elektrik/Isı oranının elektrik lehine olduğu, 5,5 aylık enerji yükleri değerlendirildiğinde elektrik ısı oranının 3 olduğu, kış aylarında yaz aylarına oranla ısı yüklerinde artış meydana geldiği, elektrik ve ısı yüklerinde pik yüklerin ortalama değerlerin 3 ile 5 katı olduğu, yaz aylarında hafta sonu ısı ve elektrik yüklerinin yaklaşık yarı yarıya azaldığı, kış aylarında ise hafta sonu ısı yükündeki azalmanın 8 ile 10 kata ulaştığı görülmektedir. Gece ile gündüz arası ısı ve elektrik yükleri incelendiğinde kış aylarında geceleyin oluşan ısı yükleri ortalamasının gündüze göre % 30 ile % 45 civarında arttığı, yaz aylarında ise % 27 ile % 36 arasında artış olduğu, elektrik yüklerinin ise yaklaşık aynı kaldığı görülmüştür.

Tablo 5 Aylık Elektrik Isı Yükü Değişim Tabloları

TEMMUZ AYI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	2898	740	4,7
ISI	0	592,66	156,8	
AĞUSTOS AYI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	1656	488,43	3,5
ISI	0	677,33	138,39	
EYLÜL AYI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	2070	612,8	3,3
ISI	0	783,16	184,91	
EKİM AYI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	2070	753,3	3,6
ISI	0	952,5	212,3	
KASIM AYI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	3726	726,72	2,3
ISI	0	1619,24	323,59	

ARALIK AYI (17 GÜNLÜK DEĞERLENDİRME)		
TÜKETİM	ORTALAMA (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	691,64	1,7
ISI	407,82	

Tablo 6 Mevsimlik Elektrik Isı Yükü Değişim Tabloları

TEMMUZ - AĞUSTOS AYLARI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	2898	614,25	4,2
ISI	0	677,33	147,6	

EYLÜL - EKİM - KASIM AYLARI				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	3726	697,61	2,9
ISI	0	1619,24	240,27	

Tablo 7 5.5 Aylık Elektrik Isı Yükü Değişim Tabloları

5.5 AYIN DEĞERLENDİRMESİ				
TÜKETİM	MİN. (kWh)	MAK (kWh.)	ORT. (kWh.)	E/I ORANI
ELEKTRİK	0	3726	666,75	3
ISI	0	1619,24	221,8	

## VIII. SONUÇ

Yapılan değerlendirme sonucunda, bileşik ısı güç sisteminin kurulması için temel koşul olarak kabul edilen yıllık 5000 saatlik çalışma süresi ile kıyaslandığında 2500 saatlik çalışma süresinin yetersiz olması, elektrik ve ısı yüklerinin zaman zaman 500 kW'ın altında kalışının yanı sıra sistemin kurulduğunda engel teşkil edecek yan etkenler olarak iş akışının yıl içerisinde değişiklikler göstermesi, her kalemde seri üretimin süreklilik arz etmemesi, değişen ihtiyaçların üretim planlarında değişikliklere sebep olması sayılabilir. Dolayısıyla bileşik ısı güç sistemleri için temel koşul olarak ön görülen şartların sağlanmaması nedeniyle seçilecek sistemin verimli olmayacağı değerlendirilmiştir.

Ancak gelecekte seri üretimde süreklilik sağlanması, tezgahlara yüklenen iş saatlerinin artırılması ile daha çok atölyede vardiyalı çalışmaya geçilmesi durumunda elektrik ve ısı yüklerinin yeniden tespiti ile bileşik ısı güç uygulamasına geçilebileceği değerlendirilmektedir.

İkinci bir çözüm yöntemi ise benzer şekilde proses ısı ihtiyacı olan tesislerdeki üretim kalemlerinin bu tesiste toplanmasıdır. Böylelikle üretim miktarı artırılacak, artan üretim miktarını karşılamak için yıllık çalışma saati 2500saat düzeylerinden 5000 saat düzeylerine çekilecek,

ısı tüketimi artacak ve diğer tesisteki verimsiz enerji tüketimine de engel olunacaktır.

Bu çalışmada enerji kullanım verimliliğinin artırılması sadece bileşik güç santralleri yönü ile ele alınmıştır. Ancak mevcut kaynakları verimli kullanmak sorunun çözümünde katkı sağlamakla birlikte sorunu çözmez. Ülkemiz kalıcı çözüm için enerji teknolojilerinin gelişen eğilimlerine uymak zorundadır. Düşük kalorili kömürlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş enerjisi, modern biomas enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi) değerlendirilmesi, yakıt hücreleri konularında araştırmaların yapılması, süper ısı pompası teknolojisi, ve özellikle düşük maliyetli hidrojen üretimi için izleyen değil üreten ve ortak girişimlerde bulunan ülke konumunda olmalıdır.

### KAYNAKLAR

- [1] ARISOY,A., DERBENTLİ,T., TÜRKEKEL,M.U., ÜNLÜ,C., “Kojenerasyon Semineri” Seminer Kitabı, s. 19-28, 30-31 MAYIS 2002
- [2] “Kojenerasyon Nedir”, Enko Bileşik Enerji Sistemleri Web Sitesi  
[www.enkogen.com](http://www.enkogen.com)
- [3] “Kojenerasyon”, Türkiye Kojenerasyon ve Otoprodüktörlük Derneği Web Sitesi
- [4] ÇENGEL,Y.A.,BOLES,M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, s. 469-506, 1996
- [5] İNALLI,M., YÜCEL,H.L., IŞIK,E., “Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği”, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 506, 2002