



bu bir MMO  
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## Sanayide Enerji Tasarrufu

**DOĞAN ÖZGÜR**  
**HASAN HEPERKAN**

YILDIZ TEKNİK ÜNİ.  
Makina Fakültesi

## SANAYİDE ENERJİ TASARRUFU

Doğan ÖZGÜR  
Hasan HEPERKAN

### ÖZET

Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahip olmakla beraber ürettiği toplam enerjinin yarından fazlasını ithalatla karşılamaktadır. Türkiye toplam enerji tüketiminde %34 paya sahip olan sanayi sektöründe enerjinin %42 si petrolden elde edilmektedir. Sosyopolitik nedenlerle sürekli dalgalanma gösteren enerji fiyatları karşısında dışa bağımlılık özelliğini azaltabilmek için ülkemiz endüstrisinin enerji tasarrufu konusuna daha fazla önem vermesi gerekmektedir.

Sanayide enerji tasarrufu elektrik enerjisi, ısı enerjisi, mekanik enerji ve proses enerjisi tasarrufu, madde geri kazanılması ve kullanma suyu temini yollarıyla gerçekleştirilebilir. Yazıda bu konular çeşitli uygulamalarla detaylı olarak incelenmiştir.

### GİRİŞ

Türkiye çeşitli enerji kaynaklarına sahip olmakla beraber ürettiği toplam enerjinin yarından fazlasını ithalatla karşılamaktadır. 1993 yılı toplam enerji üretimi 27 milyon TEP, tüketimi ise 61 milyon TEP olmuştur (1). Enerji açığı 34 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tahminlere göre 2010 yılında enerji açığı 96 milyon TEP olacaktır. Giderek artan enerji açığının karşılanabilmesi için petrol, doğalgaz ve taşkömürü gibi enerji hammaddelerinin ithalatına da devam edilecektir.

YILLAR	1970	1975	1980	1985	1990	1991	1992	1993
Taşkömürü	15.4	11.0	8.9	9.8	12.2	12.6	11.9	10.9
Linyit	9.2	9.8	12.4	20.3	18.3	19.4	18.8	16.9
Asfaltit	0.1	0.7	0.8	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1
Toplam Kömür	24.7	21.5	22.1	30.7	30.7	32.1	30.8	27.9
Doğal Gaz	-	-	0.1	0.2	5.8	7.0	7.4	7.6
Petrol	42.2	51.8	50.4	46.3	44.8	42.7	43.6	46.6
Hidrolik	1.4	1.9	3.1	2.6	3.7	3.6	4.0	4.8
Jeotermal								
Elektrik	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Isı	-	-	-	-	-	-	0.1	-
Güneş	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1
Toplam Ticari	68.3	75.2	75.9	80.2	85.1	85.5	86.1	87.0
Odun	20.4	16.0	14.8	13.3	10.1	9.9	9.5	8.9
Hay. Bit. Atık	11.3	8.8	9.3	6.5	4.8	4.6	4.4	4.1
Top. Tic. Olmayan	31.7	24.8	24.1	19.8	14.9	14.5	13.9	13.0
GENEL TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLO 1 Birincil Enerji Kaynakları Tüketiminin Toplam Enerji Tüketimindeki Payları (%)

Enerji kaynaklarının sürekli azalması ve enerji talebinin artması sonucu yükselen birim enerji fiyatlarının üretim mallarına yansımaları, piyasa talebinde güçlükler doğurmuş, bu durum ise enerjinin daha ekonomik olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Türkiye'nin enerji tüketimi incelendiğinde, Tablo 1, birincil kaynaklar içerisinde %27.9 kömür, %7.6 doğalgaz, %46.6 petrol, %4.8 hidrolik, %0.1 güneş ve %13 odun, tezek ve bitki atıkları kullanıldığı görülür. Bu tüketim sektörel bazda incelendiğinde, enerjinin %36'sının konutlarda, %34'ünün sanayide, %21.4'ünün ulaşımda, %5'inin tarımda ve %3.6'sının enerji dışı amaçlarda kullanıldığı anlaşılır (2). Türkiye'nin enerji tüketiminin %46'sı petrole dayanmaktadır.

Türkiye enerji üretiminin ise, Tablo 2, %43.1'i kömür (%36.6 linyit), %15.2'si petrol, %10.9 hidrolik, %0.7 doğalgaz, %0.1 güneş, %0.3 jeotermal ve %29.6 odun, tezek, bitki atıkları gibi ticari olmayan kaynaklar oluşturmaktadır. Üretim %47'si termik santrallerde kullanılmaktadır.

YILLAR	1970	1975	1980	1985	1990	1991	1992	1993
Taşkömürü	19.2	17.9	12.7	10.1	8.1	7.1	6.4	6.4
Linyit	12.0	16.7	21.6	37.8	36.9	35.3	38.0	36.6
Asfaltit	0.1	1.2	1.4	1.0	0.5	0.2	0.3	0.1
Toplam Kömür	31.3	35.8	35.7	48.9	45.5	42.6	44.7	43.1
Doğal Gaz	-	-	0.1	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7
Petrol	25.7	19.8	14.1	10.2	15.1	18.1	16.6	15.2
Hidrolik	1.8	3.1	5.6	4.8	7.7	7.5	8.4	10.9
Jeotermal								
Elektrik	-	-	-	-	0.3	0.3	0.2	0.2
Isı	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Güneş	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Toplam Ticari	52.8	58.7	55.6	64.3	69.3	69.3	70.7	70.4
Odun	26.5	26.6	27.3	24.0	20.8	20.9	20.0	20.3
Hay. Bit. Artık	14.7	14.7	17.1	11.7	9.9	9.8	9.3	9.3
Top. Tic. Olmayan	41.2	41.3	44.4	35.7	30.7	30.7	29.3	29.6
GENEL TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLO 2 Birincil Enerji Kaynakları Üretiminin Toplam Enerji Üretimindeki Payları (%)

### SANAYİDE ENERJİ TASARRUFUNUN ÖNEMİ

Sanayi sektörü göz önüne alındığında, Tablo 3, Türkiye toplam enerji tüketimi içerisindeki sektör payının 1970'te %25'ten 1993'te %34'e çıktığını görmekteyiz. Sanayide tüketilen yakıtlar içinde petrol, %41.88 oranla en yüksek yeri almaktadır, Tablo 4 (3).

YILLAR	KONUT	SANAYİ	ULAŞT.	TARIM	ENERJİ DİŞİ	NİHAİ ENERJİ TÜKETİMİ	ÇEVİRİM SEKTÖRÜ	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ
1970	8633	4122	3208	510	344	16818	2031	18849
1975	11043	6286	5148	695	517	23689	3693	27381
1980	12773	7955	5230	963	527	27448	4465	31913
1985	14206	9779	6195	1506	812	32498	6669	39167
1990	15704	14543	8723	1956	1031	41957	11377	53334
1991	16261	15181	8304	1976	1203	42925	11699	54624
1992	17053	15454	8545	1994	1450	44496	12526	57022
1993	17498	16526	10419	2445	1743	48632	12386	61018

TABLO 3A Sektörel Enerji Tüketimi (Bin Tep)

YILLAR	KONUT	SANAYİ	ULAŞT.	TARIM	ENERJİ DIŞI	NIHAİ ENERJİ TÜKETİMİ	ÇEVİRİM SEKTÖRÜ	TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ
1970	51.3	24.5	19.1	3.0	2.1	100	10.8	100
1975	46.6	26.5	21.7	3.0	2.2	100	13.5	100
1980	46.5	29.0	19.1	3.5	1.9	100	14.0	100
1985	43.7	30.1	19.1	4.6	2.5	100	17.0	100
1990	37.4	34.7	20.8	4.6	2.5	100	21.3	100
1991	37.9	35.4	19.3	4.6	2.8	100	21.4	100
1992	38.3	34.7	19.2	4.5	3.3	100	22.0	100
1993	36.0	34.0	21.4	5.0	3.6	100	20.3	100

TABLO 3B Sektörel Enerji Tüketimi (%)

Dünya ve Türkiye'deki yakıt fiyatlarına göz atacak olursak 1970 yılında varili \$73 olan petrolün 1973'te OPEC ülkelerinin yaptığı zam sonucu \$12, İran ihtilali sonucu \$28 ve İran-Irak savaşında ise, \$34'a yükseldiğini görmekteyiz. Daha sonra \$16'a kadar inen petrol fiyatı 1990 da Irak'ın Kuveyt'i işgal etmesiyle birden \$40 mertebesine yükseltmiştir. Bugün petrolün varili \$20 civarındadır. Türkiye'de ise litresi 1974'te 1.5 TL olan 6 numaralı Fuel-Oil 1988 de 260 TL ye çıkmıştır. Bugün kalorifer yakıtının fiyatı 10.770 TL/litre dir (17 Nisan 1995).

Görüldüğü gibi sanayinin kullandığı enerjinin yaklaşık olarak yarısı ithal edilmekte ve ithal enerji fiyatları sosyo-politik nedenlerle dalgalanma göstermektedir. Kullanılan enerjinin dışa bağımlılık özelliğini değiştirebilmek için ;

- \* Yeni enerji kaynaklarının kullanımı ( Güneş, rüzgar, biogaz, çöp, v.b.)
- \* Yeni teknolojilerin uygulanımı (enerji depolanması, hybrid sistemler, akışkan yataklı santraller, ısı pompaları , v.b.)

düşünülebilir. Ancak en etkin yolun kullanılan enerjinin azaltılması, enerji tasarrufu olduğu unutulmamalıdır. Zaten enerji üretim ve tüketiminin çevreye olan etkileri düşünüldüğünde (CO<sub>2</sub> oluşumu ve sera etkileri ) en akılcı yolun lüzumundan fazla enerji harcamamak olduğu görülür.

## SANAYİDE ENERJİ TASARRUFUNUN PLANLANMASI

Enerji tasarrufu çalışmalarının ilk adımı tesisin enerji dengesinin çıkarılmasıdır. Enerjinin kullanım yerleri ve bu yerlerin ihtiyaçları, yük değişimleri çok iyi bir şekilde tesbit edilmelidir. Tesiste üretilen ya da dışarıdan doğrudan satın alınan ( elektrik gibi ) enerjinin kullanım yerleri arasındaki dağılımı, dağıtımda sisteminin efektifliği ve kayıpları saptanır. Bu tesbit yapılırken sadece anlık değerler değil, günlük, haftalık hatta yıllık değişimler dikkate alınmalıdır. Bulunan veriler üzerinden ortalama enerji sarfiyatı, bu değerden sapmalar, üretim başına enerji sarfiyatı gibi hususlar belirlenir.

İkinci aşamada incelenen bütün birimlerden atılan enerjiler tesbit edilir. Değerler enerji ihtiyaçları ile karşılaştırılarak kullanılabilen olan atık enerjiler bulunur. İnceleme sırasında atılan enerjinin kullanılmaya hazır olma zamanı ile kullanım yerinin ihtiyacının senkronizasyonu da dikkate alınmalı, gerekirse kısa süreli enerji depolama yöntemleri araştırılmalıdır.

Üçüncü aşamada ihtiyaç duyulan enerji aktarımının teknik olarak gerçekleştirilmesi yolları araştırılır, uygun yöntem ve cihazlar seçilir. Önerilen sistemin fizibilite çalışmaları yapılır ve geri ödeme süreleri saptanır.

Son aşama ise uygulama ve geri ödeme performansının yapılan değişiklikler ışığında izlenmesidir. Bu kısım edinilen deneyimin ve bilgi birikiminin diğer ihtiyaç sahiplerine aktarılması yönünden çok önemlidir. Çalışmanın sonuçlarını herkesin değerlendirebilmesine olanak tanır.

TABLO 4 Sanayi Sektörü Enerji Tüketimi ( Bin Tep Olarak )

YILLAR	TAŞ KÖMÜR	LİNYİT	ASFALTİT	KOK	PETROL	DOĞAL GAZ	GÜNEŞ	TOPLAM YAKIT TÜKETİMİ	ELEKTRİK	TOPLAM
1970	268	618		898	1940			3725	397	4122
1971	240	695		808	2167			3909	452	4362
1972	223	757		837	2459			4275	524	4799
1973	257	759		866	2708			4591	593	5184
1974	431	793		894	2708			4825	635	5460
1975	428	838		963	3321			5550	735	6285
1976	178	913		1191	3483	14		5779	885	6664
1977	487	968		1188	4376	16		7035	1010	8045
1978	329	989		1271	4289	20		6898	1045	7942
1979	264	1100		1432	3833	31		6660	1054	7713
1980	357	1046		1385	4055	21		6864	1075	7939
1981	350	1109		1352	3966	15		6790	1181	7971
1982	417	1063	49	1443	4227	41		7241	1253	8494
1983	362	991	42	1663	4032	7		7097	1284	8381
1984	558	1628	25	1826	3806	36		7879	1488	9367
1985	431	1499	6	1885	3968	46		7835	1608	9443
1986	603	1475	9	1909	4363	42		8404	1728	10132
1987	621	1925	12	2133	5307	58		10057	1940	11997
1988	609	2284	8	2190	4944	187	2	10224	2054	12278
1989	639	2464	16	1976	5154	403	4	10656	2253	12909
1990	1074	2538	23	2173	5305	740	8	12130	2413	14543
1991	1291	2631	15	2318	5280	1047	13	12854	2327	15181
1992	1120	2215	10	2136	5425	1490	17	12874	2581	15455
1993	1033	2207	6	2122	5736	1825	20	13695	2832	16527

Bundan sonraki bölümlerde sanayi tesislerinde enerji tasarrufuna yönelik önemli gördüğünüz bazı konular daha detaylı olarak incelenmiştir.

- Elektrik enerjisi tasarrufu
- Isı enerjisi tasarrufu
- Mekanik enerji tasarrufu
- Proses enerjisi tasarrufu
- Madde geri kazanımı
- Kullanma suyu temini

## ELEKTRİK ENERJİSİ

Elektrik enerjisi endüstride fırınlarda olduğu gibi ısıtmada, makinaları hareket ettiren elektrik motorları tahrikinde ve üretim alanları, idari binalar, depolar ve bazı sahaların aydınlatılmasında kullanılır.

Bir tesisin aydınlatma projesi yapılırken üretim sahaları ve büroların aydınlatma ihtiyaçları doğru tesbit edilmelidir. Tasarruf açısından en önemli husus gereksiz aşırı aydınlatmadan kaçınması, genel aydınlatmadan vazgeçilerek, ihtiyaca uygun şartların belirlenerek eşas alındığı yerel aydınlatmanın uygulanmasıdır.

Aydınlatılacak mahallerde kullanılan ampullerin de sarfiyat katkısı fazladır. Türkiye 'de genellikle wolfram flamanlı, floresan , civa yada sodyum buharlı lambalar kullanılmaktadır. Lamba seçilirken ışık etkinliği yüksek lambalar tercih edilmelidir. Işık etkinliği tungsten flamanlı ampullerde 15 lümen/watt, floresan ampullerde 35-40 lümen/watt ve yüksek buhar basınçlı lambalarda 140 lümen/watt civarındadır. Lambanın verdiği ışığı azaltan perde ve kapaklardan kaçınılmalı, temizliğe özen gösterilmelidir. Son yıllarda piyasaya çıkan yüksek ışık akıllı düşük sarfiyatlı özel ampuller de ilginç bir alternatif oluşturmaktadır.

Kullanılan lambanın yanında tesisin aydınlatma planı da önemlidir. Lambalar, hava karardıkça kademeli olarak devreye girmeli, kullanılmayan alanlar emniyet dışında aydınlatılmamalıdır. Planda güneş ışınlarının mevsimsel değişimleri de mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca pencerelerin konumları ve çalışma alanlarının seçilmesi gibi pasif tedbirlere de önem verilmelidir.

Sanayide kullanılan elektrik enerjisinin en büyük bölümü elektirik motorları tarafından tüketilir. Bu bakımdan elektrik motorlarının sürekli denetim altında tutulmaları ve bakımlarının düzenli olarak yapılarak optimum tasarım değerlerinde çalışmalarını sağlamak önemlidir.

Elektirik motorları düşük gerilimde çalışırsa sargılarından fazla akım geçerek ısınır, ömürleri kısalmır, motor kayıpları artar. Yüksek gerilimde çalışırlarsa da verimleri düşer. Elektrik bağlantı yerlerinin oksitlenmesi gevşemesi motorun ısınmasına, kayıpların artmasına neden olur. Elektrik motorlarının çektikleri gücün her üç fazda eşit dağılıp dağılmadığı ve ısınıp ısınmadıkları sürekli kontrol edilmelidir, zira bu belirtiler arızanın ilk işaretleridir.

Transformatörler, generatörler ve elektrik motorları endüksiyon prensibine göre çalıştıkları için manyetik alan oluşturabilmek için mıknatıslama akımı çekerler. Şebekeden çekilen bu akım reaktif bir akımdır. Reaktif akım gücü faydalı güce dönüşmez ancak mıknatıslama akımı olarak gereklidir. Lambalarda aydınlatma gücüne, motorlarda mekanik güce ve direnç tellerine ısıya dönüşen akım aktif akımdır, elektirik sayaçlarında okunarak faturaya esas teşkil eder. Şebeke akımı reaktif akım nedeniyle aktif akımdan  $\phi$  faz açısı kadar geride kalır.  $\text{COS } \phi$  ye güç katsayısı denir. Bir tesiste reaktif güç kullanımı artarsa  $\phi$  büyür ve  $\text{Cos } \phi$  , güç katsayısı küçülür, aktif akımda küçülür. Bu nedenle elektrik işletmeleri güç katsayısının minimum değerini sınırlamışlardır. Örneğin TEK  $\text{Cos } \phi$  nin 0.9 dan büyük olmasını ister. Güç katsayısının bu değeri şebekeden çekilen aktif akımın yarısı kadar bir reaktif akımın ücretsiz kullanılabilmesine olanak tanır. Tesislerde faz kaydırıcılar ve kondensatör kullanılarak reaktif güçten azami surette faydalanma sağlanabilir.

Elektrik kullanımı ile ilgili diğer bir husus da, henüz Türkiye'de uygulanmayan ancak yabancı devletlerde yaygın bir uygulama olan kademeli elektrik tarifeleridir. Tesiste kullanılan elektrik zamanlaması bu tarifelerde bir üst kademeye geçmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

## ISI ENERJİSİ

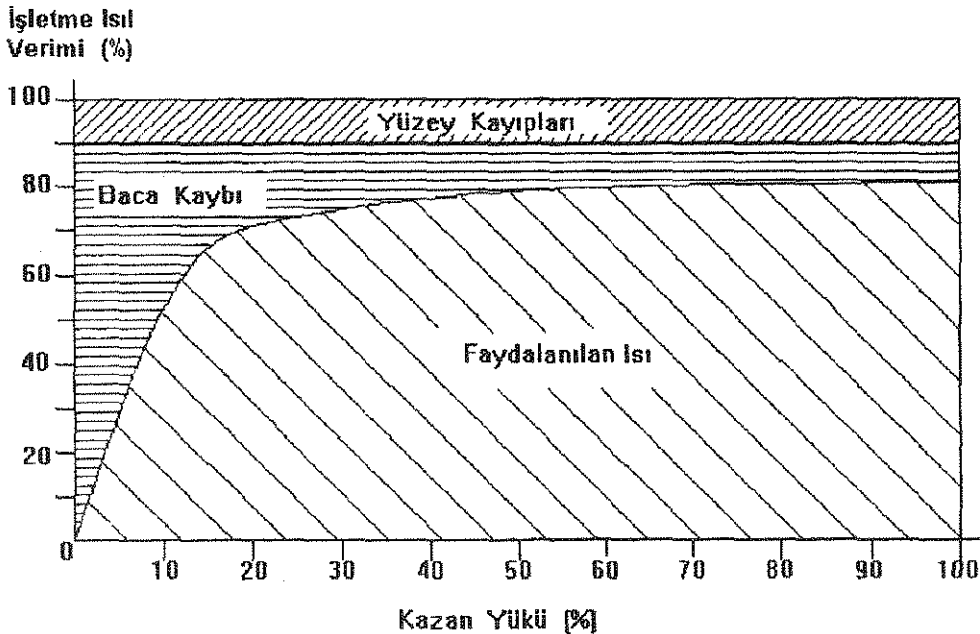
Enerjinin yoğun olarak kullanıldığı endüstriyel tesislerde ısı enerjisi tüketim yerlerine göre farklı özellikler göstermektedir. Bazı prosesler yüksek basınçta kızgın buhar gerektirmekte, buharlaştırma gibi bazı işlemler ise düşük basınçta doymuş buhar ile gerçekleştirilebilmektedir. Mahal ısıtma ve sosyal ihtiyaçlar için gerekli ısı enerjisi ise buhar yerine sıcak su ile karşılanabilmektedir. Bu bakımdan üretilen ısı enerjisinin tüketim noktaları arasında uygun olarak dağıtılması ve kullanılması tesisin toplam enerji sarfiyatı bakımından önem kazanmaktadır.

Bir tesiste ısı enerjisi optimizasyonu ve ısı tasarrufu çalışmalarını üç grupta toplamak mümkündür.

- \* Isı enerjisinin üretiminde (kazan)
- \* Isı enerjisinin dağıtımında (izolasyon)
- \* Isı enerjisinin kullanımında (kondensat)

Sanayide ısı enerjisi üretiminde cins ve kapasiteye bağlı olarak alçak, orta veya yüksek basınçta kızgın veya doymuş buhar, kaynar su, sıcak su ve kızgın yağ kazanları kullanılır. Prosese uygun kazanın gerçek ihtiyaca yetecek kapasitede seçilmesi çok önemlidir. Tesislerde bütün bir yıl boyunca her proseste sürekli üretim yapılmaz. Ayrıca çeşitli ürünlerin üretimleri o sıradaki ihracat ve iç piyasa talebine göre değişiklikler gösterir. Bunların yanı sıra kısa süreler içerisinde bazı proses değişiklikleri de söz konusu olabildiğinden ısı enerjisi üretimi kararlı bir rejim göstermez. Kazanlar çoğu zaman kısmi yükte çalışmak zorunda kalır. Klasik bir kazanın kayıplarının yükte değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir (4). Şeklin incelenmesinde bir kazanın kısmi yükte çalıştığında kayıplarının arttığı görülür. Kazan verimi test standartlarında tam yükte ölçüldüğü için gerçek çalışma şartlarındaki yakıt sarfiyatını tek başına yansıtmakta yetersiz kalır. Eğer kazan çoğunlukla kısmi yüklerde çalışıyorsa o zaman gerçek sarfiyat için kazanın yıllık işletme ısı verimine bakmak gerekir (5). İşletme ısı verimi bir kazandan bir yılda alınan faydalı ısının, kazana aynı süre içerisinde yakıtla verilen ısıya oranıdır. İşletme ısı verimini arttırabilmek için kazandaki ısı enerjisi üretimi ile proses ısı ihtiyacını tam olarak uydurabilecek bir kontrol sisteminin ve uygun teknolojiye sahip kazanların (konstrüktif+modülasyonlu brülör) kullanılması gerekir (6).

Kazanlarda enerji üretimi sırasında yakıt tasarrufu bakımından önemli bir diğer husus da hava fazlalığı ve yanmanın kontrolüdür. Yakıtın yanması için kazana stokiometrik havadan biraz fazla



ŞEKİL 1 Klasik Bir Kazanın Kayıplarının Yükte Değişimi

hava verilmesi gerekir, aksi takdirde tam yanma gerçekleşmez. Ancak fazla hava çok artarsa, baca kayıpları artacağı için sistem verimi düşer. Bu nedenle yanma havasını baca gazlarında yoğunlaşma

problemine sebep olmayacak en az miktarda vermek uygundur. Son yıllarda geliştirilen kondensasyon kazanlarından faydalandığında, özellikle gaz yakıt (örneğin doğalgaz) kullanılması halinde baca gazlarındaki su buharının yoğunlaştırılarak buharlaşma gizli ısısından da yararlanmak mümkün olmaktadır. Mevcut bir kazanda optimum yanma şartlarını belirlemek için en uygun yol baca gazı analizidir. Analiz sırasında  $O_2$  ve  $CO$  ölçülmesi mutlakta gerekir.  $O_2$  bize hava fazlalığını,  $CO$  ise yanmanın tam olup olmadığını gösterir. Tablo 5 'te bir kimyasal tesiste buhar üretiminde kullanılan kazanın değişik işletme şartlarında hava fazlalığı, kazan verimi ve buhar - yakıt oranları gösterilmiştir (7). İyi bir yanma kontrol sistemi ısı enerjisi ihtiyacını tesbit ederek ısı enerjisi üreticisini tamamen kapatmadan gerekli şartlara uydurur.

TABLO 5 Değişik İşletme Şartlarında Hava Fazlalığı, Kazan Verimi Ve Özgül Sarfiyat ( Baca gazı sıcaklığı  $230^{\circ}C$ , buhar basıncı  $9 \text{ kg/cm}^2$ , kazan giriş suyu sıcaklığı  $63^{\circ}C$  )

Açıklama	$O_2$ %	Hava Fazlalığı %	Yük %	Özgül Buhar Üretimi Kg Buhar/Kg F.O.	Özgül Yakıt Sarfiyatı Kg F.O./Ton Buhar
Normal İşletme Şartlarında	15.5	300	72	11.66	85.76
Optimum İşletme Şartlarında	13.0	174	83	13.44	74.40
Maksimum Verimdeki Şartlarda	3.9	25	90	14.57	68.63

Isıl enerji dağıtımında kullanılan bazı, vana ve flanşların izolasyonuna dikkat etmek faydalıdır. Bu elemanlardan meydana gelen ısı kayıpları çoğu zaman önemsenmemesine karşın hesaplandığında ilginç rakamlar ortaya çıkar. Prosesler ve binalar arasındaki boru hatlarının kapalı kanallardan geçirilmesi dış hava şartlarından kaynaklanan ısı kaybı artışlarını önleyeceği için yararlıdır, ancak bakım ve tamir kolaylığı açısından erişilebilirlik imkanları da unutulmamalıdır.

İzole edilmesi enerji tasarrufu açısından önemli diğer yerler ise yakıt tankları ve kazanları baca bağlantı kanallarıdır. Fuel-Oil kullanılan tesislerde yakıtın pompalanmaya uygun viskoziteye gelinceye kadar ısıtılması gerekir. Yakıt tankının tamamı olmasa da en azından alt kısımları ortalama  $50-60^{\circ}C$  sıcaklıkta tutulmaktadır. Özellikle kış aylarında dış hava şartlarının olumsuzlaşmasıyla ısı kaybı daha da artar.

Kazanlarda çoğunlukla kazanı bacaya bağlayan kanallar izole edilmez. Buradan çevreye olan ısı kaybı iyi bir izolasyonla bir ekonomizörde faydalı ısıya dönüştürülebilir.

Kazanda üretilen buhar proseslerde kullanıldıktan sonra yoğunlaşır ve kondensat hatlarında toplanarak kazana geri gönderilir. Dağıtım hatlarında ısı kaybı nedeniyle yoğunlaşan buhar, kazan besleme suyunda çözülmüş halde bulunan hava ve  $CO_2$  gazları ile birlikte korozyona neden olur, tahliye için kondensatörler kullanılır. Buradan açığa çıkan kondensat ise genelde dışarı atılır. Ayrıca prosesler arası madde alışverişlerindeki ısı kayıplarının karşılanması için kullanılan refakat hatlarında oluşan kondensat da değerlendirilmez ve genelde dışarı atılır. Debileri tek tek küçük olan bu kondensatlar toplandığında büyük miktarlara ulaşabilir. Bunlar tesisin uygun yerlerine konulacak ara toplama tanklarında depolanarak hem madde, hem de ısı tasarrufu sağlanabilir.

Tablo 6'da bir kimya tesisinde yapılmış olan bir enerji optimizasyonu çalışmasının sonuçları verilmiştir. Tabloda daha önce anlatılan enerji tasarrufu tedbirlerinin uygulanması sonucu elde edilecek kazançlar da gösterilmiştir. Tablo yorumlanırken dikkat edilmesi gereken nokta, bütün kayıpların aynı zamanda önlenmesi halinde ulaşılacak yakıt tasarrufunun tablodaki toplam değerden az olacaktır. Örneğin, kazanın optimum şartlarda çalışması halinde yakıt debisi azalacağı için baca gazı kanalındaki ekonomizörün yükü düşecektir. Sonuç olarak izolasyon ile elde edilecek ısı enerjisi kazancı azalacaktır. İzolasyonların iyileştirilmesi halinde ise buhar sarfiyatı azalacağı için dönen kondensat miktarı azalacak, kondensat kayıpları da orantılı olarak düşecektir. Ancak bu hiçbir zaman ihmal edilebilir değerlere düşecek anlamına gelmez.



Kayıplar		Isı Kaybı Kcal x 10 <sup>7</sup>	Fuel - Oil Eşdeğer kg	Yakıt Kaybı %	Isı Kaybı Maliyeti MTL/ay (1986)
Baca Gazı	Optimum Şartlar	86.00	88704	13.20	11.0
	Maksimum Şartlar	130.00	134400	20.00	16.8
İzolasyon	Fuel-Oil Tankı	7.83	10087	1.50	1.3
	Baca Bağlantı Kanalı	8.17	10540	1.57	1.0
Kondensat	Refakat	16.10	20714	3.08	2.6
	Diğer	52.80	68069	10.13	8.5
TOPLAM *		171.00	198114	29.48	24.4

TABLO 6 Isıl Enerji Kaybı

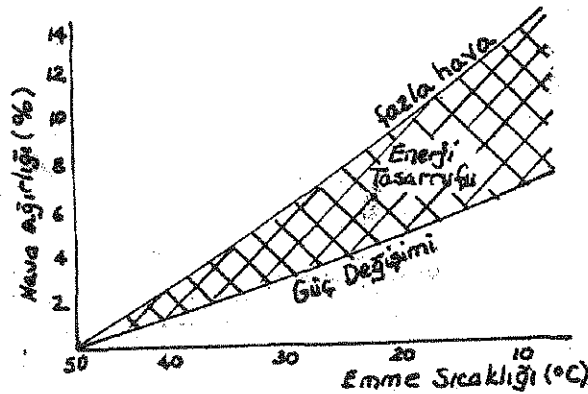
\* Toplam ısı kayıpları hesabında optimum baca gazı şartları baz alınmıştır.

## MEKANİK ENERJİ

Sanayide mekanik enerji tasarrufunun yapılabileceği en önemli alanlar basınçlı hava devreleri, pompalar ve vantilatörlerdir.

Basınçlı hava devrelerinin işletme basıncı ve kompresörleri seçilirken sistemin ihtiyacının tam olarak belirlenmesi ve emniyet için büyük seçilmemesi çok önemlidir. Zira sistem basıncının yüksek olması hem ilk yatırım maliyetlerini arttıracak hem de işletme sırasında kaçakların ve kompresör sarfiyatının artmasına neden olacaktır. Basınçlı hava devrelerinde kullanılan boruların pürüzsüz olması, dirsek redüksiyon gibi basınç kaybı yaratacak eleman sayısının minimumda tutulması ve vanaların kayıp katsayılarının küçük olması faydalıdır.

Kompresörler havayı sıkıştırırken ısıtırlar. Verilen ısı bir yan ürün olup aslında kompresörün verimini düşürür. Bu atık ısıdan mümkünse yararlanmak faydalı olacaktır. Kompresörlerin performansını arttırmanın diğer bir yolu da emme havası sıcaklığının kontrolüdür. Şekil 2 de görüleceği gibi emme havası sıcaklığı düşürülürse kompresöre giren havanın yoğunluğu artacağı için basılan hava miktarı da artacaktır. Buna karşılık güç sarfiyatındaki artma daha düşük oranda kalmaktadır (8).



ŞEKİL 2 Emme Hava Sıcaklığının Kompresör Sarfiyatına Etkisi

Mekanik enerji tasarrufunda diğer önemli bir konu da pompalardır. Proses tekniğinde öncelikle pompaların güçlerinin düşürülmesi, bunun için de akım hatlarının sürtünme, dirsek, armatür kayıpları en az olacak şekilde projelendirilmeleri ve hızların düşük tutularak sürtünme kayıplarının sınırlı tutulması gerekir. İşletme sırasında ise vanaların açık tutulmaları, by-pass hatlarının mümkün mertebe kullanılmaması, pompaların boşa çalıştırılmaması ve pompanın optimum çalışma noktasının proses akım hatlarının karakteristiği ile çakışmasının sağlanmasına dikkat edilmelidir.

Özellikle son yıllarda elektronikte meydana gelen hızlı gelişme birçok alanda olduğu gibi pompalarda da bazı yeniliklere yol açmıştır. Frekans ayarlaması yaparak devir sayısını kontrol etmek mümkündür. Bilindiği gibi pompaların optimum çalıştığı bir devir sayısı, debi, basma yüksekliği aralığı vardır. Çalışma şartları bu değerlerin dışına çıktığında pompanın performansı bozulur. İşletmelerde prosesler

çeşitli nedenlerle her zaman tasarım şartlarında çalışmazlar. Hatta çoğunlukla kısmi yüklerde üretim söz konusudur. Kısmi yüklerde çalışma durumunda sistemde mevcut pompalar tasarım değerleri dışında görev yapacaklarından özgül sarfiyatları artacaktır. Uygun kontrol sistemi ile donatılmış frekans kontrollü bir pompa kullanıldığında kısmi yüklerde devir ayarı yapılarak pompanın sürekli optimum noktada çalışması ve proses akım hattının karakteristiğine uyum sağlaması mümkün olabilmektedir. Örneğin bir ısıtma devresinde yer alan bir radyatörün debisi ( termostatik vana ile ) %15 kısıldığında ısıtma verimi sadece %3 azalmakta, buna karşılık pompa devir sayısı değiştirilmek suretiyle, Şekil 3 de görüldüğü gibi gerekli güç %50 ye yakın azaltılabilmektedir (9).

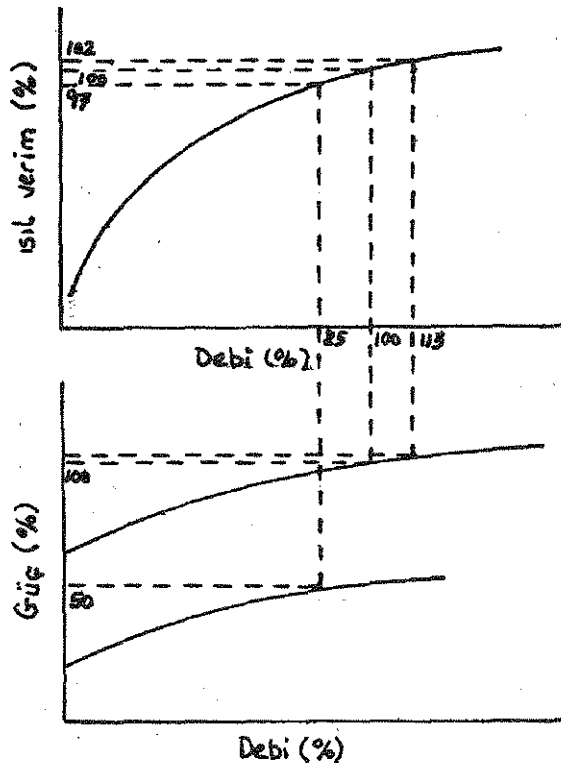
## PROSES ENERJİSİ

Proses enerjisinden tasarruf, proses sonunda açığa çıkan atık ısının aynı sistem içerisinde ya da tesiste başka bir proses veya mahalın ısı ihtiyacının karşılanmasında kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Proseslerde açığa çıkan atık enerji genellikle 100 - 200 °C sıcaklıkta olup ekserji değeri düşüktür. Bu nedenle mekanik iş üretmek zordur. Isı değiştiriciler kullanarak kazanılan ısı ise ancak bir ön ısıtma aracı olarak uygun olur. Proses atık ısısından mahal ısıtmada yararlanmak tabii ki mümkündür.

Proses atık ısısından yararlanmanın ilginç bir uygulaması absorpsiyonlu soğutma sistemleri ile gerçekleştirilebilir, Şekil 4. Kondenser, evaporatör ve kısma valfi klasik kompresörlü soğutma devrelerinin aynısı olan absorpsiyonlu sistemlerde, sistemde dolaşan akışkanın basıncı artırılmadan önce bir sıvı içerisinde çözülür ve çözeltinin basıncı artırılır. Yüksek basınçta akışkan tekrar çözüldüğünden ayrılır. Sıkıştırma işlemi sıvı fazda cereyan ettiği için kompresör yerine bir pompa kullanılır

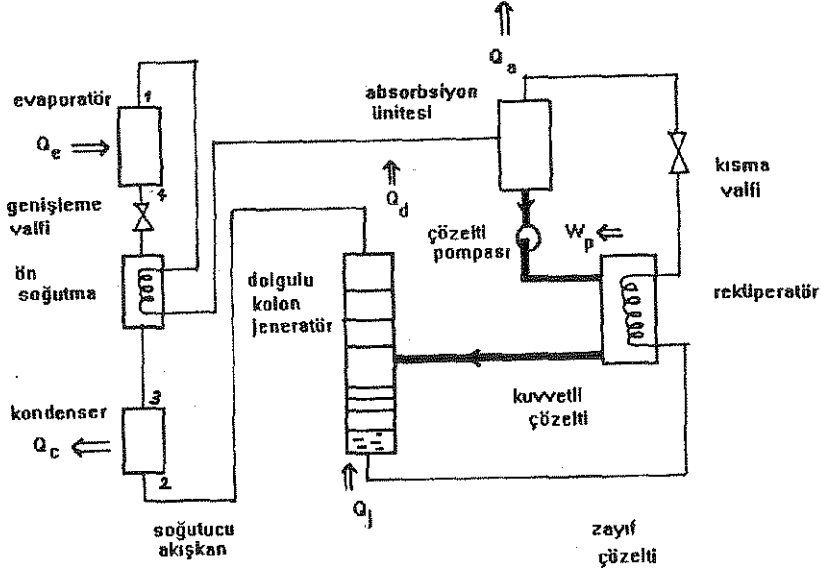
ve sarf edilen mekanik enerji önemli ölçüde azalmış olur. Buna karşılık yüksek basınçtaki çözeltiden soğutucu akışkanı ayırmak için jeneratör tabir edilen kısımda ısı vermek gerekir.

Soğutucu akışkan - çözücü çifti olarak amonyak - su, su - lityum bromid kullanılır. Son yıllarda yapılan araştırmalar E181 - R22 çiftinin de uygun bir ikili olduğunu göstermiştir (10). Bu çift için jeneratörde gerekli sıcaklık 175 - 180°C civarındadır.



ŞEKİL 3 Frekans Ayarlı Pompalarla Çalışma

Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinin performans katsayısı kompresörlü sistemlere göre daha küçüktür ( örneğin amonyak - su çifti için birin altındadır ). Ekonomik olmaları, tesiste jeneratörde kullanılacak ısıyı karşılayabilecek atık bir ısı kaynağının varlığına bağlıdır. Bu sistemlerin amonyak - hidrojen - su üçlüsünü kullanan pompa gerektirmeyen tipleri de mevcuttur. Çevrim sırasında toplam buhar basıncı sabit kalır, ancak amonyakın ve hidrojenin kısmi basınçları değişir.



ŞEKİL 4 Absorbsiyonlu Bir Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Şekil 4 de görüldüğü gibi 2-3 yoğuşma, 3-4 kısıma ve 4-1 buharlaşma işlemleri klasik soğutma sistemlerinin komponentlerinde gerçekleşir. 1 noktasında buharlaşan amonyak absorpsiyon ünitesine girer ve su içerisinde çözünür. Burada basınç atmosferin biraz üzerindedir ve bu şartlarda amonyakın su içerisindeki çözünürlüğü fazladır. Çözünme işlemi sırasında çevreye ısı verilir. Çözelti bir pompayla daha yüksek basınçtaki jeneratör kolona basılır. Jeneratörde ısıtılan çözeltiden, bu şartlarda çözünürlüğü azalmış olan amonyak buharlaşarak ayrılır. Amonyak buharı 2 noktasına ulaşır ve çevrimi tamamlar. Arda kalan zayıf amonyak çözeltisi ise bir genişleme valfi ile tekrar absorpsiyon ünitesine gönderilir. Bu arada bir ısı değiştirici ile ısısını jeneratöre pompalanan kuvvetli çözeltiye aktarır.

Özellikle gıda endüstrisinde ilginç uygulama bulabilen sistemle atık ısıdan yararlanarak soğutma yapmak mümkündür. Absorbsiyonlu sistemler mahal ısıtmasında da kullanılabilirler.

## MADDE GERİ KAZANILMASI VE KULLANMA SUYU TEMİNİ

Madde geri kazanılmasıyla tasarruf çeşitli atık ve proses sularının fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmadan sonra tekrar kullanılması yoluyla olur. Proseste kullanılan maddeler tekrar elde edildiklerinden yerlerine yenilerinin konulması gerekmez. Madde geri kazanımı özellikle çevre kirliliği açısından da önemlidir, zira proseslerden atılan ve geri kazanılacak maddelerin çoğu aynı zamanda çevre kirleticidir.

Son yıllarda git gide azalan temiz su kaynakları nedeniyle madde geri kazanımı alanına yeni bir eleman eklenmiştir, su. Özellikle tekstil, kağıt, gıda gibi suyun yoğun olarak kullanıldığı endüstrilerde temiz proses suyu temini zorlaşmakta ve pahalılaşmaktadır. Atık suların arıtılarak tekrar kullanılmaları artık bazı durumlarda ekonomik olabilmektedir.

Proses suyu temininde tesis alanına düşen yağmur sularının kullanılması ilginç bir uygulamadır. Endüstriyel tesislerdeki binaların çatılarına düşen yağış uygun toplama sistemleri ile depolanabilir ve proses suyu olarak kullanılabilir. Özellikle bol yağış alan bölgelerde kurulu tesisler için yıllık yağış ortalamaları düşünülecek olursa karşımıza hiç de küçümsenemeyecek rakamlar çıkar. Üstelik yağmur toplama sistemleri basit ve ucuzdur. Son yıllarda Almanya' da yapılan tesis ve evlere yağmur suyu toplama sistemleri olmadıkça ruhsat verilmemektedir.

## SONUÇ

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithalat yoluyla karşılayan ülkemiz endüstrisinin enerji tasarrufuna yönelmesi ve bu konuya ciddiyetle eğilmesi zorunlu olmuştur.

Türkiye'nin endüstriyel yapısı incelendiğinde enerji tasarrufuna uygun birçok konunun bulunduğu görülmektedir.

Yıllardır arzulanan ancak bir türlü gerçekleştirilemeyen üniversite - sanayi işbirliğinin enerji tasarrufu konusuyla başlamasını dileriz.

## KAYNAKLAR

1. Türkiye 6. Enerji Kongresi Sonuç Raporu, 17-22 Ekim 1994, İzmir
2. Türkiye 6. Enerji Kongresi Türkiye Enerji Sektörünün Gelişimi ve Arz Talep Projeksiyonları, 17-22 Ekim 1994, İzmir
3. Türkiye 6. Enerji Kongresi Enerji İstatistikleri, 17 - 22 Ekim 1994, İzmir
4. Modern Isınma Sistemleri (1), H.Heperkan, F. Baloğlu, A. Karahan, Tesisat Mühendisliği, Ekim-Kasım 1994, Cilt 2, Sayı: 16, sayfa 53-55.
5. DIN 4701
6. Modern Isınma Sistemleri (2), H.Heperkan, F. Baloğlu, A. Karahan, Tesisat Mühendisliği, Aralık 1994, Cilt 2, Sayı: 17, sayfa 36-39.
7. Klor- Alkali Tesislerde Enerji Optimizasyonu, H.Heperkan, S.Atakan, N.Altıntaş, TÜBİTAK - MBEAE yayını Haziran 1987.
8. Sanayide Enerji Tasarrufu, A.K. Dağsöz, Alp Teknik Kitapları, 1991.
9. Pumpenleistungsregelung, Grundlagen und Anwendungen, Wilo Werk GmbH.
10. The Design and Development of an Absorption Domestic Heat Pump, AMS Qasrawi, RE Blakeley, RJ Treece, New Ways to Save Energy Seminars, 23 - 25 Ekim 1979, Brüksel.

## ÖZGEÇMİŞ

### Doğan ÖZGÜR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilimdalı başkanı olarak görev yapmaktadır

### Hasan A. HEPERKAN

1974 te İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi'nden mezun olan yazar 1976 da Syracuse University'den M.Sc., 1980 de University of California, Berkeley'den Ph.D. derecelerini aldı. 1980 - 1981 yılları arasında ABD'de Union Carbide Araştırma Laboratuvar-larında çalıştıktan sonra 1981 - 1984 yılları arasında Alexander von Humboldt bursiyeri olarak Üniversitat Karlsruhe, Engler Bunte Institut'da yanma üzerine araştırmalar yaptı. 1984 te Türkiye'ye dönerek TÜBİTAK - Marmara Araştırma Enstitüsünde, Bosch ve Demirdöküm firmalarında çalıştı. 1995 yılı başından beri Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Termodinamik Anabilimdalı'nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.