

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

160+

Türkiye'de  
Türkiye için

Enerji santrallerinde iç tüketimi azaltmak için fanlarda enerji verimliliği

Enerji santralleri için enerji verimliliği çözümleri

[siemens.com.tr](http://siemens.com.tr)

# Enerji Santrallerinde İç Tüketimi Azaltıcı Tedbirlerden Taze Hava, Sekonder Hava Ve ID Fanlarda Enerji Verimliliğinin Artırılması,

**Mert Kalpar, Bülent Dinçer**  
**Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş.**  
**mert.kalpar@siemens.com,**  
**bulent.dincer.ext@siemens.com**

## 1. Özet

Son yıllarda iklim değişikliği konusu ülkemiz ve dünyada önemli bir gündem haline gelmiştir. Enerji ihtiyacının artışı ve karbondioksit emisyonlarının azaltılması hedefi, enerji kaynaklarının verimli kullanımını zorunlu kılmaktadır. Emisyonlarının düşürülebilmesi için alınabilecek tedbirlerden en önemlisi, enerji verimliliğini hem tüketim hem de üretim tarafında arttırmaktır. Termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi yapılırken proseste kullanılan ekipmanlar da enerji tüketerek iç tüketim oluşturmaktadırlar. Tesis iç ihtiyaçlarında tüketilen elektrik enerjisi, enerji üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda termik santraller iç enerji tüketimini azaltıcı enerji verimliliği çalışmaları, enerji üretim maliyetleri, enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve emisyon değerlerinin azaltılması amaçlarına doğrudan hizmet etmektedir.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda yapılan bu çalışma ile termik santrallerde kazan yakma havası fanları (Taze Hava, Sekonder Hava) ve cebri çekme fanları (Induced Draft) enerji verimliliği açısından irdelenmiştir. Çalışmada termik santral kazanlarında klape ile kontrol edilen fanlarda değişken hız sürücüsü kullanılması sayesinde elde edilecek ortalama enerji tasarruf miktarları verilmiştir. Örnek bir işletmede Inlet Guide Vane-IGV (emiş klapesi) ile kontrol edilen taze hava, sekonder hava ve cebri çekme fanında değişken hız sürücüsü uygulaması için uygulama öncesi yapılan ölçüm ve hesaplamalarla birlikte uygulama sonrası gerçekleşen tüketimler verilerek gerçekleşen tasarruf miktarı ve tasarrufun çevresel etkisi belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler;** Enerji Santralleri, Enerji Verimliliği, Fanlar, Değişken Hız Sürücüsü

## 2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu örnek çalışma herbiri 100 MW'ın üzerindeki güçlerde olan enerji santrallerinde farklı ünitelerin buhar kazanına ait taze hava besleyen primer fanlarda, yanma tamamlayıcı sekonder fanlarda ve yanma gazlarını ileten ID fanlarda enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesidir. Çalışma kapsamında inceleme yapılan fanlarda ölçümler yapılmıştır ve işletmeden çalışma veri kayıtları alınmıştır. Elde edilecek tasarruf miktarı hesaplanıp detaylandırılmıştır.

Belirtilen bu fanlar, proses ihtiyaçlarına göre değişkenlik gösteren çalışma koşulları olduğu ve bu koşulların fanın emişinde bulunan IGV klapeleleri vasıtasıyla ayarlandığı görülmüştür. Santrifüj etki ile iş yapan bu tip fanlarda, proses ihtiyacına göre debi ayarlamasının klape vasıtasıyla yapılması enerji verimliliği açısından tercih edilen bir yöntem değildir. Değişken olarak istenilen debinin motor devri ile orantılı olduğu debi ayarının elektrik motoruna bağlanacak olan bir değişken hız sürücü ile sağlanması enerji tüketimlerinde önemli boyutlarda tasarruflar sağladığından dolayı bu çalışma şekline geçilmesi amaçlanmıştır.

## 3. Fanlarda Enerji Verimliliği

Prosesin talebini karşılamak için gerekli gaz debisi fanlarda üç farklı yöntemle ayarlanabilir. Bu yöntemler emiş hattı klapesi (Inlet Guide Vane), basma hattı klapesi (Outlet Damper) ve fan hız kontrolüdür. Proseste neredeyse tüm fanlar olabilecek en yüksek çalışma şartlarını sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır.

### 3.1. Basma Hattı Klapesi

Klapeler ile kesit daraltma işlemi fazladan sürtünmeler oluşturur ve basınç kayıpları artar. Klapeler sistem direncini artırarak fanı yüksek basınçta çalışmaya zorlar. Artan basınç ile çalışma noktası sistem eğrisinde sol bölgeye kayar ve debi azalır. Fanın çalışma noktası en iyi verim noktasından uzaklaşır.

### 3.2. Emiş Hattı Klapesi (IGV)

Emiş klapeleleri (IGV), basma hattı klapelelerine göre daha verimli kontrol ekipmanlarıdır. Fakat kesit daraltma işleminden dolayı sürtünme kayıpları ve türbülans oluşacaktır. Bundan dolayı değişken hız sürücülerine göre verimsiz sistemlerdir.

### 3.3. Fan Hızının Ayarlanması

Hız kontrol yöntemi, en efektif fan akış kontrol yöntemidir. Hız kontrolü ile debi ayarlanmasında aynı hidrolik iş yapılırken klape kontrolüne göre daha az enerji tüketimi olmaktadır. Fan sisteme uygun bir şekilde tasarlanmış ise fan hızı düştükçe karakteristik eğri ve sistem gücü eksen takımında orjine doğru hareket eder. Bu sayede değişen debi aralıklarında fan verimliliği mümkün olan en yüksek seviyede tutulur.

Değişken debi ihtiyacının değişken hız sürücüler ile sağlanması konusu, motorlar ile sürülen bu tür sistemlerde günümüzde en yaygın elektrik enerjisi tasarrufu yöntemlerinden biridir.

## 4. Primer Hava Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması

### 4.1. Mevcut Durum ve Ölçümler

Kazan besleme fanları, yakıtın yanmasını sağlamak için gerekli taze havayı kazana gönderir. Bir çok tesis fanların debi kontrolünü verimsizlik unsuru olan klape (IGV) ile ayarlamaktadır. Bu yöntem ilk yatırım maliyeti olarak düşük gözükse de tesisin üretimde bulunduğu süre zarfında enerjiden kaybedilen miktar, buz dağının görünmeyen kısmıdır.

Tablo 1 – Primer Hava Fanları İçin Ölçümler

Ölçüm ve Hesaplama Sonuçları Primer Hava Fanları	PA FAN A	PA FAN B	Birim
<b>Emiş Klapesi (IGV) Açıklığı %</b>			
Maksimum Kapasitede	68	69	%
Ortalama Kapasitede	58	59	%
Minimum Kapasitede	46	47	%
<b>Hava Debisi Toplamı (Kazan Girişi)</b>			
Maksimum Kapasitede	324.919		Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	312.247		Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	240.856		Nm <sup>3</sup> /h
<b>Enerji Tüketim Miktarları</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	10.663.488	10.558.944	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	1.346	1.333	kWh
<b>Emiş Klapesi ile Kısmi Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	1.390	1.378	kWh
Ortalama Kapasitede	1.346	1.333	kWh
Minimum Kapasitede	1.274	1.193	kWh

Çalışma yapılan tesisdeki primer taze hava besleme fanı klape (IGV) ile kazana verilen yakıt miktarına göre oransal olarak otomasyon sistemi tarafından

ayarlanmaktadır. Primer Hava Fanı A ve B 'de yapılan debi ve enerji tüketim ölçüm sonuçları yukarıdaki tabloda detaylı şekilde belirtilmiştir.

Affinity kanununa göre çekilen gücün değişim oranı, debideki değişim oranının küpüyle orantılıdır. Sistemdeki besleme fanlarının incelenmesi sonucu otomasyon kontrollü klape enerji verimliliği açısından verimsiz bir yöntem olduğu görülmektedir.

Tablo 2 – Farklı Klape Açıklıklarında Enerji Tüketimindeki Düşüş Oranının Hesaplanması

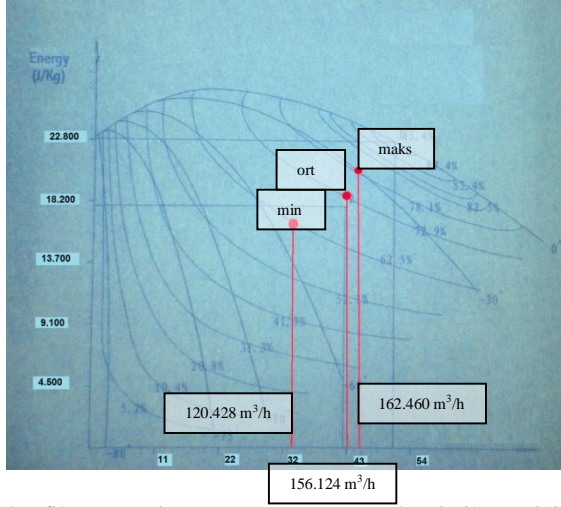
Hava Debisi Toplamı (Kazan Girişi)			Hava Debisindeki Değişim
Maksimum Kapasitede	324.919	Nm <sup>3</sup> /h	-%25,9
Ortalama Kapasitede	312.247	Nm <sup>3</sup> /h	
Minimum Kapasitede	240.856	Nm <sup>3</sup> /h	
<b>Emiş Klapesi ile Kısmi Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı</b>			<b>Enerji Tüketimindeki Değişim</b>
Maksimum Kapasitede	1.390	1.378	-%8,3 -%13,4
Ortalama Kapasitede	1.346	1.333	
Minimum Kapasitede	1.274	1.193	

Tesis verilerini referans olarak hazırlanan yukarıdaki tabloda debideki düşüş oranlarına karşılık fanın toplam tükettiği güçteki düşüş oranları verilmiştir. Tablo incelendiğinde kazana giren taze havanın debisi, santralin maksimum elektrik üretim kapasitesinden minimum üretim kapasitesine düşerken %25,9 düşüş göstermiş ve fanların toplam tükettiği güç aynı debi azalması için ortalama %11 olarak gerçekleşmiştir. Bu debi kısmi işlemi mekanik klape yerine fan motoruna uygulanacak değişken hız sürücüsü ile gerçekleşseydi fanların tükettiği toplam güç çok daha az olacaktı.

### 4.2. Fizibilite Hesapları

Enerji santrali ünitesinin yıllık ortalama çalışma kapasitesi çalışma verilerinden hesaplanmıştır. Sistem kapasitesi hesaplanan ortalama kapasitede iken Primer Hava Fanı A ve B 'de çalışma verileri ölçülmüş, ihtiyaç duyulan hava debisi için klape (IGV) ile kısmi değil de değişken hız sürücü kullanarak fanın devrinin ayarlanması sayesinde

ulaşılması durumunda oluşacak enerji tüketimi aşağıda hesaplanmıştır



Grafik 1 – Primer Hava Fanı Karakteristik Eğrisi Üzerinde Çalışma Noktaları

Primer hava fanlarının karakteristik eğrileri incelendiğinde her bir fanın mevcut çalışma koşullarında 181.870 Nm<sup>3</sup>/h hava basma kapasitesi olduğu görülmektedir. Ancak işletme şartlarında ünite gücü maksimumda olmasına rağmen toplamda 324.919 Nm<sup>3</sup>/h hava debisi ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu durum ihtiyaca göre bir miktar yüksek kapasiteli bir fan ile çalışıldığını göstermektedir. Maksimum kapasitede bile çalışırken primer hava fanının klapesinin yaklaşık %70 açıklıkta olması ve 1.800 kW gücündeki fanın sadece 1.390 kW güç tüketmesi fanın ihtiyaçtan daha büyük seçilmiş olduğunu teyit etmektedir. Bu durum değişken hız sürücü kullanımı sonrasında oluşacak tasarrufu artırıcı etki yapmaktadır.

Değişken hız sürücü kullanımı sonrasında emiş klapesi (IGV) tam açılarak %100 konumuna getirilecek ve istenilen debi, değişken hız sürücü vasıtasıyla fan devrinin düşürülmesi ile sağlanacaktır. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere emiş klapesi tam açık konuma getirildiğinde ünite maksimum güç üretirken primer hava fanlarının 44,7 Hz frekansta çalıştırılacağı, ünite gücü yıllık ortalama değerde iken fanın 42,9 Hz frekansta çalıştırılacağı ve minimum güç üretim değerinde iken fanın 33,1 Hz frekansta sürüleceği görülmektedir.

Tablo 3 – Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrası Enerji Tüketimi Hesaplamaları

Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrasında Enerji Tüketimindeki Düşüş Hesaplaması	PA FAN A	PA FAN B	Birim
<b>Hava Debişi Toplamı (Kazan Girişi)</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	181.870	181.870	Nm <sup>3</sup> /h
Maksimum Kapasitede	162.460	162.460	Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	156.124	156.124	Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	120.428	120.428	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Sürücü Kullanımı Sonrası Fanın Sürüleceği Frekans Değeri</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	50	50	Hz
Maksimum Kapasitede	44,7	44,7	Hz
Ortalama Kapasitede	42,9	42,9	Hz
Minimum Kapasitede	33,1	33,1	Hz
<b>Değişken Hız Sürücü Kullanımı Sonrası Fanların Tüketeceği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	1.286	1.275	kWh
Ortalama Kapasitede	1.137	1.089	kWh
Minimum Kapasitede	522	489	kWh
<b>Enerji Tüketim Miktarları (Değişken Hız Sürücü Kullanımı İle)</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	9.004.499	8.624.850	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	1.137	1.089	kWh
Toplam Tasarruf Miktarı	3.587.760		kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694		TL/kWh
Yıllık Tasarruf Tutarı	820.499		TL/yıl

Primer hava fanlarının klape ile kontrolü yerine klape tam açık pozisyonda iken değişken hız sürücü vasıtasıyla kapasitelerinin proses ihtiyacına göre ayarlanması durumunda yılda oluşacak enerji tasarrufu miktarı 3.587.760 kWh olarak hesaplanmıştır.

### 4.3. Uygulama Sonrası Fizibilitenin Doğrulanması

Primer hava fanlarında değişken hız sürücü uygulaması ile ilgili uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yapılan ölçümler aşağıda belirtilmiştir.

Uygulama öncesi ve uygulama sonrasındaki ölçümler fanın aynı hava debisini sağlaması durumunda yapılmıştır. Uygulama sonrasında yapılan ölçümlere ait değerler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4- Enerji Tüketim Sonuç Tablosu

Fizibilite Kıyaslama Tablosu	Primer Hava Fanı A	Primer Hava Fanı B	Birim
<b>Uygulama Öncesi Durum</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	1.346	1.333	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	156.124	156.124	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Uygulama Sonrası Fizibilite HEDEF</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	1.137	1.089	kWh
<b>Uygulama Sonrası GERÇEKLEŞEN</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	1.129	1.095	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	156.124	156.124	Nm <sup>3</sup> /h

Tablo 5- Fizibilite Hesapları ile Gerçekleşen Kıyaslaması

Fizibilite ile Gerçekleşen Durum Kıyaslaması				
	Fizibilite Hedefine Göre Hesaplama		Uygulama Sonrası Gerçekleşmeye Göre Hesaplama	
Toplam Enerji Tasarrufu (Saatlik)	453	kWh	455	kWh
Çalışma Süresi	7.920	Saat/yıl	7.920	Saat/yıl
Tasarruf Edilen Enerji Miktarı	3.587.760	kWh/yıl	3.603.600	kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694	TL/kWh	0,228694	TL/kWh
Tasarruf Tutarı	820.499	TL/yıl	824.122	TL/yıl

Uygulama öncesi fanların toplam enerji tüketimi için 2.679 kWh ölçülmüş olup uygulama sonrasında aynı debi şartında enerji tüketiminin 2.226 kWh'e düşeceği teorik fizibilite hesaplamasında hedeflenmiştir. Uygulama sonrasında yapılan ölçümde toplam enerji tüketiminin 2.224 kWh olarak gerçekleştiği görülmüştür. Tasarruf öngörüsünde hesaplanan miktar fiilen gerçekleşmiş ve 455 kWh tasarruf sağlanmıştır.

## 5. Sekonder Hava Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması

### 5.1. Mevcut Durum ve Ölçümler

Sekonder hava fanları, yanmanın tamamlanmasını sağlamak için taze havayı kazana gönderir. Bir çok tesis fanların debi kontrolünü verimsiz bir debi kontrol yöntemi olan klapeler ile ayarlamaktadır. Bu yöntem ilk yatırım maliyeti olarak düşük olsada işletme maliyeti yapılan işe göre çok yüksek olmaktadır.

Çalışma yapılan tesisteki sekonder hava fanlarının debisi emiş hatlarında bulunan mekanik klapeler ile ayarlanmaktadır. Fanın klapeleri baca gazı içeriğinde bulunan oksijen yüzdesine göre hesaplanarak kontrol edilmektedir.

Sekonder Hava Fanı A ve B 'de yapılan debi ve enerji tüketim ölçüm sonuçları aşağıda detaylı şekilde belirtilmiştir.

Tablo 6- Ölçüm ve Hesaplamalar

Ölçüm ve Hesaplama Sonuçları Primer Hava Fanları	SA FAN A	SA FAN B	Birim
<b>Emiş Klapesi (IGV) Açıklığı %</b>			
Maksimum Kapasitede	23	23	%
Ortalama Kapasitede	15	15	%
Minimum Kapasitede	12	12	%
<b>Hava Debisi Toplamı (Kazan Girişi)</b>			
Maksimum Kapasitede	106.270		Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	71.234		Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	59.998		Nm <sup>3</sup> /h
<b>Enerji Tüketim Miktarları</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	4.062.960	3.920.400	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	513	495	kWh
<b>Emiş Klapesi ile Kısmi Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	563	578	kWh
Ortalama Kapasitede	513	495	kWh
Minimum Kapasitede	442	438	kWh

Affinity kanununa göre çekilen gücün değişim oranı, debideki değişim oranının küpüyle orantılıdır. Sistemdeki sekonder hava fanlarının incelenmesi sonucu otomasyon kontrollü klapenin enerji verimliliği açısından verimsiz bir yöntem olduğu görülmektedir.

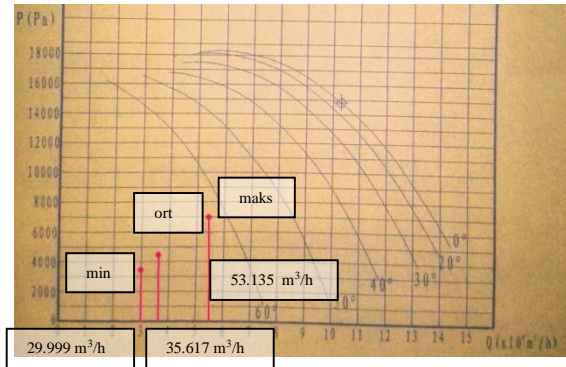
Fabrika verilerini referans alarak hazırlanan aşağıdaki tabloda debideki düşüş oranlarına karşılık fanın toplam tükettiği güçteki düşüş oranları verilmiştir. Tablo incelendiğinde kazana giren taze havanın debisi santralin maksimum üretim gücünden minimum üretim gücüne gerilediğinde %43,5 azalırken, fanların toplam tükettiği güç aynı azalma için ortalama %22,8 gerçekleşmiştir. Bu debi kısma işlemi mekanik klapeler yerine fan motoruna uygulanacak değişken hız sürücüsü ile gerçekleşseydi fanların tükettiği toplam güç çok daha az olacaktı.

Tablo 7- Debi Düşümü ve Enerji Tüketimi Değişimi

Hava Debisi Toplamı (Kazan Girişi)			Hava Debisindeki Değişim	
Maksimum Kapasitede	106.270	Nm <sup>3</sup> /h	- %43,5	
Ortalama Kapasitede	71.234	Nm <sup>3</sup> /h		
Minimum Kapasitede	59.998	Nm <sup>3</sup> /h		
Emiş Klapesi ile Kısmı Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı			Enerji Tüketimindeki Değişim	
Maksimum Kapasitede	563	578	kWh	
Ortalama Kapasitede	513	495	kWh	- %21,4
Minimum Kapasitede	442	438	kWh	- %24,2

## 5.2. Fizibilite Hesapları

Enerji santralinin yıllık ortalama çalışma kapasitesi kayıtlı verilerden hesaplanmıştır. Bu sebeple otomasyon sisteminden alınan verilerle ortalama sistem kapasitesi belirlenmiş olup Sekonder Hava Fanı A ve B'de ortalama sistem kapasitesinde çalışma sırasında, ihtiyaç duyulan hava debisi için klape ile kısma değil de değişken hız sürücü kullanarak fanın devrinin ayarlanması sayesinde oluşacak enerji tüketimi aşağıda hesaplanmıştır.



Grafik 2 – Sekonder Hava Fanı Karakteristik Eğrisi Üzerinde Çalışma Noktaları

Sekonder hava fanlarının karakteristik eğrileri incelendiğinde fanın mevcut çalışma koşullarında 123.600 Nm<sup>3</sup>/h hava basma kapasitesi olduğu görülmektedir. Ancak işletme şartlarında ünite gücü maksimumda olmasına rağmen 53.135 Nm<sup>3</sup>/h hava debisi ihtiyacı olduğu görülmektedir.

Bu durum ihtiyaca göre bir miktar yüksek kapasiteli bir fan ile çalışıldığını göstermektedir.

Değişken hız sürücü kullanımı sonrasında emiş klapesi (IGV) tam açılarak %100 konumuna getirilecek ve istenilen debi, değişken hız sürücü vasıtasıyla fan devrinin düşürülmesi ile sağlanacaktır. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere emiş klapesi tam açık konuma getirildiğinde ünite maksimum güç üretirken sekonder hava fanlarının 45,1 Hz frekansta çalıştırılacağı, ünite gücü yıllık ortalama gücünde iken fanın 30,2 Hz frekansta çalıştırılacağı ve minimum güç üretiminde iken fanın 25,4 Hz frekansta sürüleceği görülmektedir.

Tablo 8 – Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrası Enerji Tüketimi Hesaplamaları

Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrasında Enerji Tüketimindeki Düşüş Hesaplaması	SA FAN A	SA FAN B	Birim
<b>Hava Debisi Toplamı (Kazan Girişi)</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	123.600	123.600	Nm <sup>3</sup> /h
Maksimum Kapasitede	53.135	53.135	Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	35.617	35.617	Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	29.999	29.999	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Sürücü Kullanımı Sonrası Fanın Sürüleceği Frekans Değeri</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	50	50	Hz
Maksimum Kapasitede	45,1	45,1	Hz
Ortalama Kapasitede	30,2	30,2	Hz
Minimum Kapasitede	25,4	25,4	Hz
<b>Değişken Hız Sürücü Kullanımı Sonrası Fanların Tüketeceği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	270	281	kWh
Ortalama Kapasitede	159	150	kWh
Minimum Kapasitede	119	118	kWh
<b>Enerji Tüketim Miktarları (Değişken Hız Sürücü Kullanımı İle)</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	1.259.280	1.188.000	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	159	150	kWh
Toplam Tasarruf Miktarı	5.536.080		kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694		TL/kWh
Yıllık Tasarruf Tutarı	1.266.068		TL/yıl

Sekonder hava fanlarının klape ile kontrolü yerine değişken hız sürücü vasıtasıyla kapasitelerinin proses ihtiyacına göre ayarlanması durumunda yılda oluşacak enerji tasarrufu 5.536.080 kWh olarak hesaplanmıştır.

### 5.3. Uygulama Sonrası Fizibilitenin Doğrulanması

Sekonder fanlarda değişken hız sürücü uygulaması ile ilgili uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yapılan ölçümler aşağıda belirtilmiştir.

Uygulama öncesi ve uygulama sonrasındaki ölçümler fanın aynı hava debisini sağlaması durumunda yapılmıştır. Uygulama sonrasında yapılan ölçümlere ait değerler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 9- Enerji Tüketim Sonuç Tablosu

Fizibilite Kıyaslama Tablosu	Sekonder Hava Fanı A	Sekonder Hava Fanı B	Birim
<b>Uygulama Öncesi Durum</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	513	495	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	35.617	35.617	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Uygulama Sonrası Fizibilite HEDEF</b>			
Toplam Enerji Tüketimi (saatlik)	159	150	kWh
<b>Uygulama Sonrası GERÇEKLEŞEN</b>			
Toplam Enerji Tüketimi (saatlik)	157	153	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	35.617	35.617	Nm <sup>3</sup> /h

Tablo 10- Fizibilite Hesapları ile Gerçekleşen Kıyaslaması

Fizibilite ile Gerçekleşen Durum Kıyaslaması				
	Fizibilite Hedefine Göre Hesaplama		Uygulama Sonrası Gerçekleşmeye Göre Hesaplama	
Toplam Enerji Tasarrufu (Saatlik)	699	kWh	698	kWh
Çalışma Süresi	7.920	Saat/yıl	7.920	Saat/yıl
Tasarruf Edilen Enerji Miktarı	5.536.080	kWh/yıl	5.528.160	kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694	TL/kWh	0,228694	TL/kWh
Tasarruf Tutarı	1.266.068	TL/yıl	1.264.257	TL/yıl

Uygulama öncesi fanların toplam enerji tüketimi için 1.008 kWh ölçülmüş olup uygulama sonrasında aynı debi şartında enerji tüketiminin 309 kWh'e düşeceği teorik fizibilite hesaplamasında hedeflenmiştir. Uygulama sonrasında yapılan ölçümde gerçekleşen tüketimin 310 kWh olarak gerçekleştiği görülmüştür. Fizibilite öngörüsünün fiilen gerçekleştiği ölçüm sonuçlarından görülmüştür.

### 6. ID (Induced Draft) Fanlarında Değişken Hız Sürücü Uygulaması

#### 6.1. Mevcut Durum ve Ölçümler

ID hava fanları, buhar kazanında yakıtın yanması sonucu oluşan yanma gazını arıtma-filtreleme sistemi ve bacaya yönlendirmektedir. Bir çok tesis fanların debi kontrolünü verimsizlik unsuru olan klapeler ile ayarlar. Bu yöntem ilk yatırım maliyeti olarak düşük gözükse de tesisin üretimde bulunduğu süre zarfında enerjiden kaybedilen miktar, buz dağının görünmeyen kısmıdır.

Çalışmasını yaptığımız tesisteki ID hava fanları, kazan iç set basıncını sağlamak üzere otomasyon kontrollü bir şekilde çalıştırılmaktadır. ID Hava Fanı A ve B 'de yapılan debi ve enerji tüketim ölçüm sonuçları aşağıdaki tabloda detaylı bir şekilde belirtilmiştir.

Tablo 11 – ID Fanları İçin Hesaplamalar

Ölçüm ve Hesaplama Sonuçları	ID FAN A	ID FAN B	Birim
<b>Induced Draft Fanları</b>			
<b>Emiş Klapesi (IGV) Açıklığı %</b>			
Maksimum Kapasitede	42	42	%
Ortalama Kapasitede	35	35	%
Minimum Kapasitede	28	28	%
<b>Hava Debisi Toplamı (Kazan Çıkışı)</b>			
Maksimum Kapasitede	720.000		Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	674.400		Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	613.800		Nm <sup>3</sup> /h
<b>Enerji Tüketim Miktarları</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	7.492.320	7.397.280	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	946	934	kWh
<b>Emiş Klapesi ile Kısmi Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	1.026	1.025	kWh
Ortalama Kapasitede	946	934	kWh
Minimum Kapasitede	898	875	kWh

Affinity kanununa göre çekilen gücün değişim oranı, debideki değişim oranının küpüyle orantılıdır. Sistemdeki ID fanlarının incelenmesi sonucu otomasyon kontrollü klape nin enerji verimliliği açısından verimsiz bir kontrol yöntemi olduğu görülmektedir.

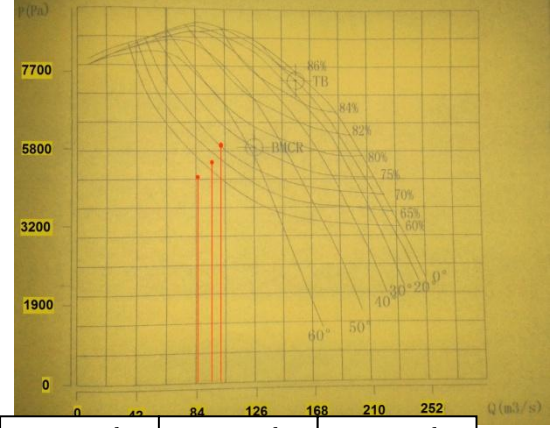
Tablo 12 – Farklı Klape Açıklıklarında Enerji Tüketimindeki Düşüş Oranının Hesaplanması

Hava Debisi Toplamı (Kazan Çıkaşı)			Hava Debisindeki Değişim
Maksimum Kapasitede	720.000	Nm <sup>3</sup> /h	- %14,8
Ortalama Kapasitede	674.400	Nm <sup>3</sup> /h	
Minimum Kapasitede	613.800	Nm <sup>3</sup> /h	
Emiş Klapesi ile Kısmı Sonrası Fanların Tükettiği Enerji Miktarı			Enerji Tüketimindeki Değişim
Maksimum Kapasitede	1.026	1.025 kWh	- %12,5 - %14,6
Ortalama Kapasitede	946	934 kWh	
Minimum Kapasitede	898	875 kWh	

## 6.2. Fizibilite Hesapları

Tesis verilerini referans olarak hazırlanan yukarıdaki tabloda debideki düşüş oranlarına karşılık fanın toplam tükettiği güçteki düşüş oranları verilmiştir. Tablo incelendiğinde kazandan çıkan yanma gazı debisi santralin maksimum üretim gücünden minimum üretim gücüne gerilediğinde %14,8 düşerken, fanların toplam tükettiği güç aynı azalma için ortalama %13,5 gerçekleşmiştir. Bu debi kısma işlemi mekanik klape yerine fan motoruna uygulanacak değişken hız sürücüsü ile gerçekleşseydi fanların tükettiği toplam güç çok daha az olacaktı.

Enerji santrali ünitesinin yıllık ortalama çalışma kapasitesi kayıtlı verilerden hesaplanmıştır. ID Fanı A ve B'de ortalama sistem kapasitesinde çalışma sırasında, ihtiyaç duyulan gaz debisi için klape ile kısma değil de değişken hız sürücüsü kullanarak fanın devrinin ayarlanması sayesinde ulaşılabilecek durumda oluşacak enerji tüketimi aşağıda hesaplanmıştır.



Grafik 3 – ID Fanı Karakteristik Eğrisi Üzerinde Çalışma Noktaları

ID hava fanlarının karakteristik eğrileri incelendiğinde her bir fanın mevcut çalışma koşullarında 567.000 Nm<sup>3</sup>/h hava basma kapasitesi olduğu görülmektedir. Ancak işletme şartlarında ünite gücü maksimumda olmasına rağmen 360.000 Nm<sup>3</sup>/h hava debisi ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu durum ihtiyaca göre bir miktar yüksek kapasiteli bir fan ile çalışıldığını göstermektedir.

Değişken hız sürücüsü kullanımı sonrasında emiş klapesi (IGV) tam açılarak %100 konumuna getirilecek ve istenilen debi, değişken hız sürücüsü vasıtasıyla fan devrinin düşürülmesi ile sağlanacaktır. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere emiş klapesi tam açık konuma getirildiğinde ünite maksimum güç üretirken ID fanlarının 38,1 Hz frekansta çalıştırılacağı, ünite gücü yıllık ortalama iken fanın 35,7 Hz frekansta çalıştırılacağı ve minimum güç üretim değerinde iken fanın 32,5 Hz frekansta sürüleceği görülmektedir.



Tablo 13 – Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrası Enerji Tüketimi Hesaplamaları

Değişken Hız Sürücüsü Kullanımı Sonrasında Enerji Tüketimindeki Düşüş Hesaplaması	ID FAN A	ID FAN B	Birim
<b>Hava Debisi Toplamı (Kazan Çıkışı)</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	567.000	567.000	Nm <sup>3</sup> /h
Maksimum Kapasitede	360.000	360.000	Nm <sup>3</sup> /h
Ortalama Kapasitede	337.200	337.200	Nm <sup>3</sup> /h
Minimum Kapasitede	306.900	306.900	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Sürücü Kullanımı Sonrası Fanın Sürüleceği Frekans Değeri</b>			
Fan Maksimum Kapasitesi (Karakteristik Eğriden)	50	50	Hz
Maksimum Kapasitede	38,1	38,1	Hz
Ortalama Kapasitede	35,7	35,7	Hz
Minimum Kapasitede	32,5	32,5	Hz
<b>Değişken Hız Sürücü Kullanımı Sonrası Fanların Tüketeceği Enerji Miktarı</b>			
Maksimum Kapasitede	525	531	kWh
Ortalama Kapasitede	454	471	kWh
Minimum Kapasitede	301	305	kWh
<b>Enerji Tüketim Miktarları (Değişken Hız Sürücü Kullanımı İle)</b>			
Yıllık Enerji Tüketimi	3.595.680	3.730.320	kWh/yıl
Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	454	471	kWh
Toplam Tasarruf Miktarı	7.563.600		kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694		TL/kWh
Yıllık Tasarruf Tutarı	1.729.750		TL/yıl

ID hava fanlarının klape ile kontrolü yerine klape tam açık pozisyonda iken değişken hız sürücü vasıtasıyla kapasitelerinin proses ihtiyacına göre ayarlanması durumunda yılda 7.563.600 kWh enerji tasarrufu olacağı hesaplanmıştır.

### 6.3. Uygulama Sonrası Fizibilitenin Doğrulanması

ID fanlarda değişken hız sürücü uygulaması ile ilgili uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yapılan ölçümler aşağıda belirtilmiştir.

Uygulama öncesi ve uygulama sonrasındaki ölçümler fanın aynı hava debisini sağlaması durumunda yapılmıştır. Uygulama sonrasında yapılan ölçümlere ait değerler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 14- Enerji Tüketim Sonuç Tablosu

Fizibilite Kıyaslama Tablosu	ID Fan A	ID Fan B	Birim
<b>Uygulama Öncesi Durum</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	946	934	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	337.200	337.200	Nm <sup>3</sup> /h
<b>Uygulama Sonrası Fizibilite HEDEF</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	454	471	kWh
<b>Uygulama Sonrası GERÇEKLEŞEN</b>			
Enerji Tüketimi (saatlik)	451	465	kWh
Fanın Bastığı Hacimsel Debi	337.200	337.200	Nm <sup>3</sup> /h

Tablo 15- Fizibilite Hesapları ile Gerçekleşen Kıyaslaması

Fizibilite ile Gerçekleşen Durum Kıyaslaması				
	Fizibilite Hedefine Göre Hesaplama		Uygulama Sonrası Gerçekleşmeye Göre Hesaplama	
Toplam Enerji Tasarrufu (Saatlik)	955	kWh	964	kWh
Çalışma Süresi	7.920	Saat/yıl	7.920	Saat/yıl
Tasarruf Edilen Enerji Miktarı	7.563.600	kWh/yıl	7.634.880	kWh/yıl
Enerji Birim Fiyatı	0,228694	TL/kWh	0,228694	TL/kWh
Tasarruf Tutarı	1.729.750	TL/yıl	1.746.051	TL/yıl

Uygulama öncesi fanların toplam enerji tüketimi için 1.880 kWh ölçülmüş olup uygulama sonrasında aynı debi şartında enerji tüketiminin 925 kWh'e düşeceği teorik fizibilite hesaplamasında hedeflenmiştir. Uygulama sonrasında yapılan ölçümde gerçekleşen tüketimin 916 kWh olarak gerçekleştiği görülmüştür. Tasarruf öngörüsünde hesaplanan tasarrufun gerçekleştiği tespit edilmiştir.

## 7. Değerlendirme ve Sonuç

Yapılan hesaplar sonucunda fanların debisinin verimsiz kontrol yöntemi olan klape yerine verimli olan değişken hız sürücü ile sağlanması sonucu ne miktarda tasarruf edilebileceği aşağıdaki tabloda görülebilmektedir.

Tablo 16- Uygulama Sonrası Tüketim Değerleri, Tasarruf Miktarları ve Çevresel Etkileri

Sonuç	Primer Fanlar	Sekonder Fanlar	ID Fanlar	Birim
Mevcut Durum				
Toplam Yıllık Enerji Tüketimi	21.217.680	7.983.360	14.889.600	kWh/yıl
Toplam Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	2.679	1.008	1.880	kWh
Değişken Hız Sürücüsü Uygulanması Sonrası Durum				
Toplam Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi	2.226	310	916	kWh
Toplam Saatlik Enerji Tasarrufu Miktarı	455	698	964	kWh
Toplam Yıllık Enerji Tasarrufu	3.603.600	5.528.160	7.634.880	kWh/yıl
Toplam Yıllık Tasarruf Tutarı	824.122	1.264.257	1.746.051	TL/yıl
CO <sub>2</sub> Azalması	1.993.005	3.057.402	4.222.543	kg/yıl

Uygulama öncesinde Primer fanlardaki kısma işlemi emiş klapesi (IGV) ile yapıldığı zaman enerji tüketimi 2.679 kWh ölçülmüş ve uygulama sonrasında kısma işlemi değişken hız sürücüsü ile sağlandığında tüketimin 2.226 kWh'e düştüğü ölçülmüştür. Gerçekleşen enerji tasarrufunun 455 kWh olduğu ölçümler sonucu hesaplanmıştır.



Resim 1- Orta Gerilim Değişken Hız Sürücüsü (Sinamics Perfect Harmony - GH180)

Uygulama öncesinde Sekonder fanlardaki kısma işlemi emiş klapesi ile yapıldığı zaman enerji

tüketimi 1.008 kWh ölçülmüş ve uygulama sonrasında kısma işlemi değişken hız sürücüsü ile sağlandığında tüketimin 310 kWh'e düştüğü ölçülmüştür. Gerçekleşen enerji tasarrufunun 698 kWh olduğu ölçümler sonucu hesaplanmıştır.

Uygulama öncesinde ID fanlardaki kısma işlemi emiş klapesi ile yapıldığı zaman enerji tüketimi 1.880 kWh ölçülmüş ve uygulama sonrasında kısma işlemi değişken hız sürücüsü ile sağlandığında tüketimin 916 kWh'e düştüğü ölçülmüştür. Gerçekleşen enerji tasarrufunun 964 kWh olduğu ölçümler sonucu hesaplanmıştır.

Ayrıca bu enerji verimliliği fırsatlarının hayata geçirilmesi ile birlikte yılda toplam 9.273 ton CO<sub>2</sub> salınımı önlenmiştir.

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi yapılırken proseste kullanılan ekipmanlar da enerji tüketerek iç tüketim oluşturmaktadırlar. Tesis iç ihtiyaçlarında tüketilen elektrik enerjisi, enerji üretim maliyetlerini doğrudan etkileyen bir unsur olup referans olan bu uygulamada görülebileceği üzere 100 MW üzerindeki elektrik üretim gücüne sahip bir enerji santralinde taze hava fanları, sekonder hava fanları ve ID fanlarda gerçekleştirilebilecek enerji verimliliği artışı ile 2.117 kWh'lik enerji tasarrufu gerçekleştirilmiş ve santralden daha fazla elektrik üretilmesi sağlanabilmiştir.

Bu broşürde verilen bilgiler sadece genel açıklamalar ve performans özelliklerini içermektedir. Bu özellikler, fiilen kullanıldığında her zaman açıklandığı gibi uygulanmamaktadır veya ürünlerin daha da geliştirilmesi sonucunda değişebilir. İlgili özellikleri sağlamak yükümlülüğü, yalnızca sözleşme şartlarında açıkça anlaşmaya varıldığında geçerlidir.

Tüm ürün tanımlamalarının üçüncü şahıslar tarafından kendi amaçlarıyla kullanılması, sahiplerinin haklarını ihlal edebilecek olup bu tanımlamalar Siemens San. Ve Tic. A.Ş. veya tedarikçi şirketlerin ticari markaları veya ürün adları olabilir.

**Daha fazla bilgi için:**  
[www.siemens.com.tr/eos](http://www.siemens.com.tr/eos)

### **Siemens Türkiye Dijital Fabrika**

Yakacık Cad. No: 111 34870 Kartal  
İstanbul / Türkiye

E-posta:  
[mert.kalpar@siemens.com](mailto:mert.kalpar@siemens.com)

Call Center: 444 0 747

© 2017, Siemens Türkiye

Bizi takip edin:  
[twitter.com/SiemensTurkiye](https://twitter.com/SiemensTurkiye)  
[youtube.com/SiemensTurkiye](https://youtube.com/SiemensTurkiye)  
[instagram.com/siemensturkiye](https://instagram.com/siemensturkiye)

