

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

**SIEMENS**

160<sup>+</sup>

Türkiye'de  
Türkiye için

Çimento fabrikaları proses  
fanlarında enerji verimliliğinin  
artırılması

Çimento tesisleri için enerji verimliliği çözümleri

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



# Çimento Fabrikaları Proses Fanlarında Verimliliğin Arttırılması

**Metehan Karaca, Mert Kalpar**  
**Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş.,**

**metehan.karaca@siemens.com**  
**mert.kalpar@siemens.com**

## 1. Özet

Türkiye'nin 10. Kalkınma Planı'nda yer alan hedefler arasında enerji ithalatına bağımlılığının azaltılması, enerji maliyetinin sürdürülebilir kılınması, enerjinin verimli kullanılması ve en önemlisi de çevrenin korunması konuları bulunmaktadır. Bu kapsamda öncü sektörler arasında yer alan Çimento Sektörü'nde enerji maliyetleri ve sera gazı emisyonları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bilindiği üzere Çimento sektörü enerji yoğun bir sektördür. Özellikle bu sektörde maliyetin üçte ikisinin enerji maliyetlerinden oluşmasından dolayı son yıllarda enerjinin daha verimli kullanılması konusu işletmelerin stratejilerini belirlerken dikkat ettikleri birincil parametre olarak öne çıkmaktadır.

Çimento üretim prosesinde elektrik enerjisi tüketiminin büyük bir bölümünü proses fanları oluşturmaktadır. Fanlarının yoğun enerji tüketimi proses fanlarındaki enerji verimliliği uygulamalarını önemli kılmakla birlikte yüksek tasarruflar sağlanabilmektedir. Bu çalışmada çimento üretim proseslerinde kullanılan ve elektrik tüketiminde önemli kullanıcılarından olan kömür değirmenleri ID fanlarında enerji verimliliği artırılarak tasarruf sağlanması amaçlanmıştır.

Çimento proses fanlarının (Kömür değirmeni sistem fanı, Farin değirmeni sistem fanı, Filtre fanı, ID fanı, Klinker soğutma fanı, Çimento değirmeni sıcak gaz fanı vb.) toplam elektrik enerjisi tüketiminin %30'undan fazlasını oluşturduğu bilinmektedir. Bu çalışmada çimento fabrikalarında klape ile kontrol edilen fanlarda frekans sürücü kullanılması sayesinde elde edilebilecek ortalama enerji tasarruf miktarları verilmiştir. Örnek bir işletme için de emiş klapesi (Inlet Guide Valve-IGV) ile kontrol edilen Kömür Değirmeni ID fanında frekans sürücü uygulaması için uygulama öncesi yapılan ölçüm ve hesaplamalarla birlikte uygulama sonrası yapılan ölçümler detaylı olarak verilerek elde edilen tasarruf miktarı, geri ödeme süresi ve tasarruffun çevresel eş değeri belirtilmiştir.

## Anahtar Kelimeler;

Çimento, Enerji Verimliliği, Proses Fanları, Kömür Değirmeni Fanı, Değişken Hız Sürücüsü

## 2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Verimlilik artırıcı projenin amacı, Çimento Fabrikasında kömür değirmeni Induced Draft (ID) fanında enerji tasarrufu sağlanmasının incelenmesidir

Çalışma kapsamında bahsedilen ID fan, cebri çekme fanı olarak da tanımlanan ve kömür değirmeni çıkışında yer alan bir fanıdır. ID fan kömür değirmenlerinde öğütülen kömürü oluşturduğu hava çekişi ile tutma filtresi yada siklona taşır. Fanın debi ayarı emiş hattında bulunan klape (IGV) ile ayarlanmaktadır.

Çalışma kapsamında incelemesi yapılan tesiste kömür değirmeni ID fanında ölçümler yapılmıştır ve işletmeden çalışma veri kayıtları alınmıştır.



Resim 1- Değirmen ID Fan Görüntüsü Örneği

Belirtilen bu fan, proses ihtiyaçlarına göre değişkenlik gösteren çalışma koşulları olduğu ve bu koşulların fanın emişinde bulunan klape 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 frekans 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, basma hattı klapesi 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, 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 düşüktüç karakteristlik eğri ve sistem gücü eksen takımında orjine doğru hareket eder. Bu sayede değişen debi aralıklarında fan verimliliği mümkün olan en yüksek seviyede tutulur.

Bir fanı şebeke frekansında çalıştırarak emiş hattını veya basma hattını kısmak önemli miktarda enerji kaybına sebep olur. Çimento tesislerinde birçok fanda bu durum mevcut olabilmektedir.

## 4. Kömür Değirmeni ID Fanına Frekans Sürücüsü Uygulanması

### 4.1 Mevcut Durum

Değirmende kömürün öğütülmesi sırasında oluşan tozumanın emildiği Induced Draft fanı, toz filtrelerinden emiş yapmaktadır. Değirmenden çıkan tozlar bu filtrede tutulmakta ve ID fanı havayı emerek bacaya iletmektedir. Fan, emişinde bulunan mekanik klape (IGV) sayesinde kontrol edilmektedir. Değirmende öğütülen kömürün inceliğine bağlı olarak operatörün manuel bir operasyonla otomasyon sistemine girmiş olduğu klape açıklık setine göre filtrelerden hava emilmektedir. Sürekli olarak otomasyon kontrollü şekilde yürütülen bu süreç değirmende öğütülen kömürün inceliği değişince, operatör vasıtasıyla klape açıklığı değiştirilerek devam ettirilmektedir.

Sistemin devreye girişlerinde klape %0 açıklıkta iken fan motoru kalkış yapmakta ve sonrasında otomasyon sistemi klape açıklığını otomatik olarak %40'a getirmektedir. Otomasyon sistemi %40'a getirilen klape açıklığından sonra kontrolü operatöre bırakmaktadır. Operatör ise değirmende öğütülen kömürün inceliğine göre ince ayar yapmak için klape açıklık setini manuel olarak %40 ile %48 arasındaki bir değere getirmektedir. Bütün veriler otomasyon sistemi içerisinde kaydedilmekte ve takip edilmektedir.

### 4.2 Ölçüm Sonuçları

Kömür Değirmeni ID fanı emişinde bulunan klapeenin ortalama açıklığı, scada sistemindeki verilerden elde edilmiş ve %45 ortalama açıklığında çalışıldığı görülmüştür. Fan emişinde bulunan mekanik klapeenin açıklığının doğrulanması amacıyla %40 ve %45 klape açıklıklarında 2 ayrı ölçüm alınarak mevcut durum ile fanın dizayn edildiği orjinal karakteristik eğrileri ile kıyaslaması yapılmıştır.

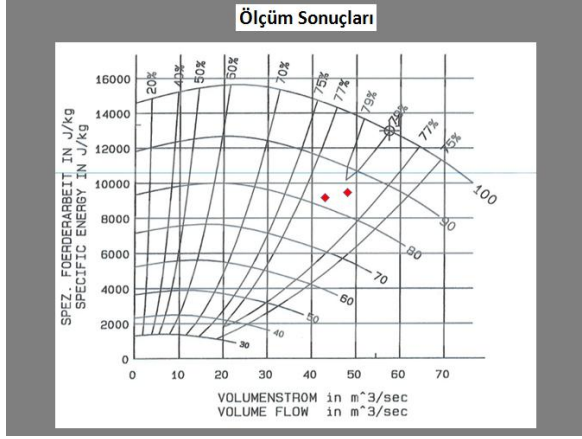
ID fanda yapılan debi ve enerji tüketim ölçüm sonuçları aşağıda detaylı şekilde belirtilmiştir.

Tablo 1 – %40 ve %45 Klape (IGV) Açıklıklarında Yapılan Ölçümler

| Ölçüm Sonuçları                   | 1.Ölçüm | 2.Ölçüm | Birim             |
|-----------------------------------|---------|---------|-------------------|
| ID Fanı                           |         |         |                   |
| Klape Açıklığı                    | 40      | 45      | %                 |
| Sıcaklık                          | 82      | 83      | °C                |
| Debi                              | 43      | 48      | m <sup>3</sup> /s |
|                                   | 154.800 | 172.800 | m <sup>3</sup> /h |
| Ölçüm Anındaki Aktif Güç Tüketimi | 770     | 810     | kW                |
| Frekans                           | 50      |         | Hz.               |

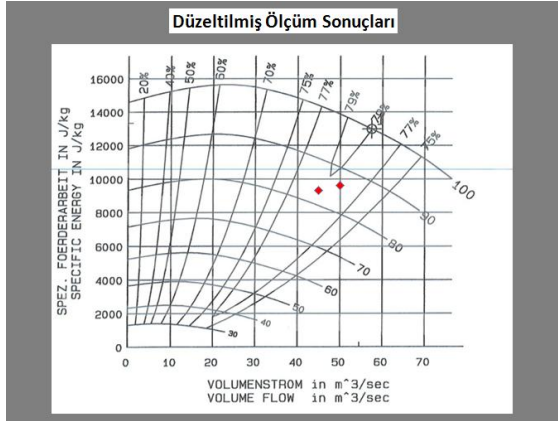
%40 ve %45 klape açıklıklarında yapılan ölçümlerde elde edilen veriler kullanılarak gerçek klape açıklığı ile scada ekranında okunan klape açıklığının kıyaslaması yapılmıştır.

Ölçüm verilerini mevcut fanın eğrisi üzerine koyduğumuzda aşağıdaki grafikte görülen durum oluşmaktadır.



Grafik 1 – Ölçüm Değerlerinin Karakteristik Eğri Üzerinde Gösterimi

Ölçümlerin 82 °C ve 83°C sıcaklıklarda yapılması ve fanın orijinal karakteristik eğrisi üzerinde klape açıklığı doğrulaması yapılırken kullanılan referans noktanın 90 °C sıcaklıkta yapılan bir ölçüme ait olması nedeniyle her iki ölçüm sonuçlarında da sıcaklık düzeltmesi yapılarak, ölçümlerin fanın 90 °C sıcaklıktaki havayı emiş yapması durumuna göre hesaplanmıştır. Pitot tüpü ile yapılan ölçümlerin 90 °C sıcaklığa göre düzeltmesi yapıldıktan sonra ölçüm noktaları fanın orijinal karakteristik eğrisi üzerine yerleştirilerek gerçek klape açıklıkları en doğru şekilde tespit edilmiştir.



Grafik 2 – Sıcaklık Düzeltmesi Yapılmış Ölçüm Değerlerinin Eğri Üzerinde Gösterimi

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere yapılan ölçümlerde scada ekranında görülen %40 ve %45 klape açıklıklarının aslında %39,7 ve %44,6 açıklıklara denk geldiği ve ortalamada %0,35 kadar bir sapma ile emiş klapelelerinin çalıştığı tespit edilmiştir.

Kullanılan fanın boyutları ve mekanik bir klape kullanılıyor oluşu nedeniyle tespit edilen bu % 0,35 sapmanın %5'in altında kalması nedeniyle önemsiz düzeyde olduğu görülmüş ve scada ekranında

okunan klape açıklığı verisinin doğruluğu ispat edilmiştir.

Otomasyon kontrollü şekilde emiş klapesinin ayarlanması ile kontrol edilen ID Fanı'nda klape açıklığı %'sine göre enerji tüketim miktarları ölçümlerle tespit edilmiştir. Fanlarda emiş klapesinin kısılması ile sağlanan debi düşüşlerinin, fan motorunun enerji tüketimine etkisi debi düşüş oranından daha az oranda oluşmakta ve enerji verimliliği açısından bakıldığında klape ile debi ayarlanmasının iyi bir yöntem olmadığı görülmüştür.

Aşağıdaki tabloda klapenin %45 açıklıktan %40 açıklığa düşmesi durumunda fanın sağladığı debideki düşüşler ve fanın enerji tüketimindeki değişim görülebilmektedir. ID fanında klape açıklığının %45'ten %40'a düşmesi sonucunda debi düşüşü %10,4 olur iken, enerji tüketimindeki düşüş sadece %4,9 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum fanlarda debi ayarlamasının klape ile yapılması durumunda enerji tüketimindeki düşüşün, debi düşüşü kadar bile olmadığını bize göstermiştir. Hâlbuki aynı debi düşüşü, klape ile değil de frekans sürücü ile fan devrinin düşürülmesi ile sağlansaydı enerji tüketimindeki düşüş çok daha yüksek miktarda olacaktır.

Tablo 2 – Farklı Klape Açıklıklarında Enerji Tüketimindeki Düşüş Oranının Hesaplanması

| Farklı Klape Açıklıklarında Enerji Tüketimindeki Düşüş Oranı Hesaplaması | ID FAN  | Birim             |                              |
|--|---------|-------------------|------------------------------|
| <b>Hava Debisi</b>   |         |                   | Hava Debisindeki Değişim     |
| %45 Klape Açıklığı   | 172.800 | m <sup>3</sup> /h |                              |
| %40 Klape Açıklığı   | 154.800 | m <sup>3</sup> /h |                              |
| <b>Emiş Klapesi ile Kısmi Sonrası Fanın Tükettiği Enerji Miktarı</b>     |         |                   | Enerji Tüketimindeki Değişim |
| %45 Klape Açıklığı   | 810     | kWh               |                              |
| %40 Klape Açıklığı   | 770     | kWh               |                              |

Kömür değirmeni ID fanı için ortalama %45 klape açıklık oranı yukarıdaki hesaplama ile gösterilmiş olup fizibilite hesaplamasında tüm yıl boyunca

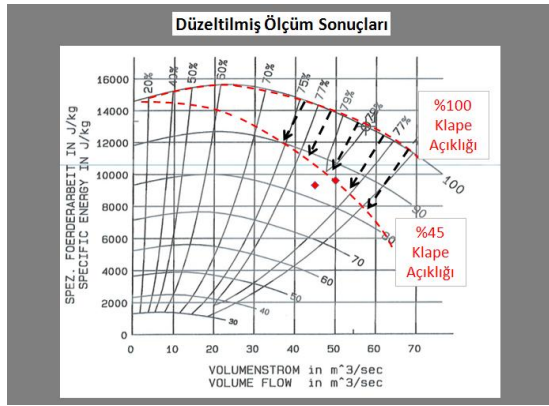
klapenin ortalama %45 açıklıkta çalıştığı varsayılmıştır.

Tablo 3 – Kömür Değirmeni ID Fanı Fiili Durum Ortalama Klape Açıklığı

| Fiili Durum | Klape Açıklığı |
|-------------|----------------|
| Ortalama    | % 45           |

### 4.3 Fizibilite Hesapları

Kömür Değirmeni ID fanı ortalama klape açıklığı %45 olarak gerçekleşmekte olup, %45 klape açıklığının fanın sağladığı hava debisindeki ortalama düşüşü aşağıdaki grafik üzerinde gösterilmiştir.



Grafik 4 - %45 Klape Açıklığının Fanın Sağladığı Hava Debisindeki Ortalama Düşüş

ID fanda %100 klape açıklığında çalışma ile %45 klape açıklığında çalışma arasında fanın sağladığı debide ortalama %12,3 azalma sağlanmakta olup yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere klapenin ortalama %45’de çalışmasıyla fanın sağladığı debi, tam kapasiteye göre ortalama %87,7 düzeyinde gerçekleşmektedir.

Fan kapasitesindeki bu kısma işlemi emiş klapesi yerine frekans çevirici ile yapılıyor olduğunda sağlanacak ortalama enerji tasarrufu hesaplanmıştır. ID fanda klape %100 açıklığa getirilip, %45 klape açıklığındaki debinin sağlanması için çalışma frekansının düşürülmesi sağlandığında 43,7 Hz frekansta istenen debinin sağlanacağı görülmektedir. Frekans sürücü ile çalışma sağlandığında fan motorunun 1 yıllık çalışma süresi boyunca ortalama 607 kW güç çekeceği görülmüştür. Kapasite kısma işlemiminin emiş klapesi ile yapılması durumunda gerçekleşen güç tüketiminin 810 kW olduğu düşünüldüğünde saatte ortalama 203 kWh elektrik tasarrufu sağlanabilecektir.

Otomasyon kontrollü şekilde emiş klapesinin ayarlanması ile kontrol edilen ID fanında klape ile fanın kontrolü yerine, fana uygulanacak olan frekans sürücü projesi sayesinde klape tam açık pozisyona alınıp frekans sürücü ile proses ihtiyaçlarının ayarlanması sağlanacak ve yılda toplam 1.607.760 kWh elektrik enerji tasarrufu sağlanacaktır.

Tablo 4 – Tasarruf Hesabı

| Tasarruf Hesabı   | ID Fan    | Birim   |
|---|-----------|---------|
| <b>Mevcut Durumdaki Enerji Tüketim Miktarları</b>                       |           |         |
| <b>Yıllık Enerji Tüketimi</b>   | 6.415.200 | kWh/Yıl |
| <b>Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi</b>                                 | 810       | kWh     |
| <b>Frekans Sürücü Uygulaması Sonrasındaki Enerji Tüketim Miktarları</b> |           |         |
| <b>Yıllık Enerji Tüketimi</b>   | 4.807.440 | kWh/Yıl |
| <b>Saatlik Ortalama Enerji Tüketimi</b>                                 | 607       | kWh     |
| <b>Tasarruf Miktarı</b>   |           |         |
| <b>Yıllık Çalışma Süresi</b>  | 7.920     | saat    |
| <b>Toplam Tasarruf Miktarı</b>  | 1.607.760 | kWh/Yıl |
| <b>Enerji Birim Fiyatı</b>  | 0,228675  | TL/kWh  |
| <b>Tasarruf Tutarı</b>  | 367.655   | TL/Yıl  |

### 4.4 Uygulama Sonrası Fizibilitenin Doğrulanması

Kömür Değirmeni ID fanında frekans sürücü uygulaması ile ilgili uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yapılan ölçümler aşağıda belirtilmiştir.

Uygulama öncesi ve uygulama sonrasındaki ölçümler fan rejim halindeyken ve proseste ürün üretilirken yapılmıştır. Debi ölçümleri fanın emme tarafından gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonrasında yapılan ölçümlere ait değerler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 5- Enerji Tüketim Sonuç Tablosu

| Fizibilite Kıyaslama Tablosu             | ID Fan       | Birim        |
|--|--------------|--------------|
| <b>Uygulama Öncesi Durum</b>             |              |              |
| Toplam Enerji Tüketimi (saatlik)         | <b>810</b>   | <b>kWh</b>   |
| Fanın Bastığı Debi                       | <b>2.580</b> | <b>m³/dk</b> |
| <b>Uygulama Sonrası Fizibilite HEDEF</b> |              |              |
| Toplam Enerji Tüketimi (saatlik)         | <b>607</b>   | <b>kWh</b>   |
| <b>Uygulama Sonrası GERÇEKLEŞEN</b>      |              |              |
| Toplam Enerji Tüketimi (saatlik)         | <b>598</b>   | <b>kWh</b>   |
| Fanın Bastığı Debi                       | <b>2.580</b> | <b>m³/dk</b> |

Tablo 6- Fizibilite Hesapları ile Gerçekleşen Kıyaslaması

| <b>Fizibilite ile Gerçekleşen Durum Kıyaslaması</b> |   |          |  |          |
|---|---|----------|--|----------|
|   | <b>Fizibilite Hedefine Göre Hesaplama</b> |          | <b>Uygulama Sonrası Gerçekleşmeye Göre Hesaplama</b> |          |
| Toplam Enerji Tasarrufu (Saatlik)                   | 203                                       | kWh      | 212  | kWh      |
| Çalışma Süresi                                      | 7.920                                     | Saat/yıl | 7.920  | Saat/yıl |
| Tasarruf Edilen Enerji Miktarı                      | 1.607.760                                 | kWh/yıl  | 1.679.040  | kWh/yıl  |
| Enerji Birim Fiyatı                                 | 0,228675                                  | TL/kWh   | 0,228675   | TL/kWh   |
| Tasarruf Tutarı                                     | 367.655                                   | TL/yıl   | 383.954  | TL/yıl   |



Resim 2- Orta Gerilim Değişken Hız Sürücüsü (Sinamics Perfect Harmony - GH180)

Uygulamanın yapıldığı işletmede kömür değirmeni ID fanında gerçekleştirilen verimlilik artırıcı bu uygulama ile % 26 enerji tasarrufu gerçekleştirilmiştir.

Uygulama öncesi sistemin enerji tüketimi için 810 kWh ölçülmüş olup uygulama sonrasında aynı debi şartında enerji tüketiminin 607 kWh'e düşeceği teorik fizibilite hesaplamasında hedeflenmiştir. Uygulama sonrasında yapılan ölçümde gerçekleşen tüketimin 598 kWh olarak gerçekleştiği ve fizibilite öngörüsünün sağlanarak teorik ile fiili sonuçların doğrulanması yapılmıştır.

## 5. Değerlendirme ve Sonuç

Uygulama öncesi ve sonrasında yapılan hesaplama ve ölçümlerde fanın enerji tüketimleri azalmış ve bu sayede enerji tasarrufu oluşmuştur.

Uygulama öncesinde fandaki kısma işlemi emiş klapesi ile yapıldığı zaman çekilen güç 810 kW ölçülmüş ve uygulama sonrasında kısma işlemi değişken hız sürücüsü ile sağlandığında tüketimin 607 kWh'e düştüğü ölçülmüştür. Gerçekleşen enerji tasarrufunun 598 kWh olduğu ölçümler sonucu hesaplanmıştır. Ayrıca bu enerji verimliliği uygulaması ile birlikte yılda 928.609 kg CO<sub>2</sub> salınımı önlenmiştir.



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)

