



Bu proje, Avrupa Birliği tarafından finanse edilmektedir



Enerji Verimliliğinde Kurumsal  
Kapasitenin Geliştirilmesi İçin  
Teknik Destek Projesi

# SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ KIYASLAMASI SEKTÖRE ÖZEL UYGULAMALAR



**NIRAS**





**Enerji Verimliliği ve  
Çevre Dairesi Başkanlığı**

---

# **SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ KIYASLAMASI SEKTÖRE ÖZEL UYGULAMALAR**

# İÇİNDEKİLER



SUNUŞ	iii
KISALTMALAR	iv
<hr/>	
<b>1. Giriş</b>	<b>1</b>
<b>2. SANAYİ SEKTÖRLERİNDE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ</b>	<b>2</b>
<b>2.1. GENEL KRİTERLER</b>	<b>2</b>
<b>2.2. SEKTÖRE ÖZGÜ KRİTERLER</b>	<b>5</b>
<hr/>	



## SUNUŞ

Bu kitapçık, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığının (EVÇED) ana faydalanıcı olduğu ve Avrupa Birliği tarafından finanse edilen “Enerji Verimliliğinde Kurumsal Kapasitenin Geliştirilmesi İçin Teknik Destek Projesi” kapsamında hazırlanmıştır.

Genel amacı AB'nin kaynak verimliliği ve iklim eylem hedefleri doğrultusunda enerji verimliliğinin teşvik edilmesi olan projenin, uygulama sürecinde yürütülen faaliyetler ile enerji verimliliğinin sektörel veya sektörler arası düzeylerde teşvik edilmesi hedeflenmiştir.

Bu sürece destek vermek amacıyla yürütülen proje çalışmalarında, kamu kurumlarının, ilgili piyasa aktörlerinin ve paydaş grupların mevcut kurumsal kapasitelerinin güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Enerji verimliliği ile ilgili ulusal mevzuatın çerçevesinin daha da iyileştirilmesi ve uygulanabilirliğine teknik destek sağlanması konularında çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, enerji verimliliği uygulamalarının ilerleyen süreçte artarak gerçekleştirilmesinin ülke ekonomisine sağlayacağı faydalar konusunda, somut verilere dayanan analizler ve projeksiyonlar yapılarak gerek ilgili teknik paydaşlar ve gerekse tüm kamuoyunun farkındalığının artırılması da amaçlanmıştır.

Proje kapsamında üretilen çıktıların proje paydaşları ve ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşılması ve mevcut uygulamalara rehberlik etmesi düşüncesiyle bu kitapçık oluşturulmuştur.

Kılavuz olarak da değerlendirilebilecek bu kitapçık, EVÇED - Planlama ve Denetim Daire Başkanlığı uzmanlarının ve proje teknik destek ekibinin ortak çalışmalarının bir ürünüdür.

Ankara, 2021

## KISALTMALAR

GJ	Gigajoule
kWh	Kilovat saat
NACE	Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması
SET	Spesifik Enerji Tüketimi

# GİRİŞ



Bu kitapçık, Sanayi Sektörü için Kıyaslama Raporu Hazırlama Rehberine ek, bilgilendirici bir belgedir.

Endüstriyel tesisin enerji tüketimi açısından etkinliğini belirlemek ve aynı sektördeki benzer işletmelerle karşılaştırmak amacıyla kıyaslama metodolojilerinin uygulanması, belirli bir endüstriyel tesisin mevcut durumuna göre atılması gereken adımlar için sağlam bir temel oluşturacaktır. Dolayısıyla bu tür bir karşılaştırma analizi için birtakım kriterler belirlenmeli ve uygulanmalıdır.

Enerji verimliliği/tüketimi açısından kıyaslamaya yönelik karşılaştırmalı analiz için faydalı kabul edilebilecek başlıca iki tür kriter vardır. Bunlardan birincisi genel kriterler olarak adlandırılabilir ve tüm sektörlerde uygulanabilir; ikinci kriter grubu sektöre özeldir. Bu raporda, her iki kriter de ele alınmakta ve daha açıklayıcı olması için örnekler sunulmaktadır.

Genel kriterlerin ayrıntıları sunulduktan sonra, sektöre özgü kriterler, daha açıklayıcı olması için iki ayrı kısımda ele alınmaktadır. Sektöre özgü kriterlerin ilk kısmında, cam sektörü için bazı özel kriterler üzerinde durulmuş, ikinci kısımda ise Çimento ve Demir-Çelik sektörlerine yönelik proseslere ilişkin kıyaslama yaklaşımı açıklanmıştır.

# SANAYİ SEKTÖRLERİNDE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

## 2

Benzer sanayi sektöründeki işletmelerin karşılaştırmalı analizi yapılırken birden fazla kriterin kullanılması gerekebilir. Ancak bazı genel kriterler tüm sektörler için geçerli olabilirken, bazı kriterler sektöre özeldir.

### 2.1. GENEL KRİTERLER

Burada belirtilen kriterler tüm sektörler için uygulanabilir niteliktedir. Kriterlerin önem sırasına göre sıralanmış olmadığına dikkat edilmelidir.

#### 2.1.1. Kuruluş yılı veya yenileme yılı:

Kuruluş yılı veya yenileme yılı; sınıflandırma için kullanılan temel kriterlerden biridir. Mevcut tesislerin güncel durumunun/koşullarının belirlenmesine yardım edecek, ayrıca her bir tesisteki proseslerde kullanılan teknolojiler için iyi bir göstere olacaktır.

#### 2.1.2. Üretim kapasitesi ve türü:

Üretim kapasitesi, kıyaslamaya yönelik karşılaştırma amaçları doğrultusunda kullanılan temel kriterlerden biridir. Üretim türü (stok veya siparişe göre üretim) tesislerin sürekliliğini belirtir.

#### 2.1.3. Gruplandırma için üretim gamı:

Üretim gamı, anlamlı çıktılar elde etmek için kullanılan en karmaşık kriterdir. Sektörde birkaç çeşit nihai ürün olduğundan, karşılaştırma analizi yapmadan önce bunların gruplara ayrılması gerekir. Bu tip bir gruplandırma yapmanın en iyi yollarından biri, işletmelerin ekonomik faaliyet kodunu kullanmaktır. Bu gruplandırma için, EuroStat ekonomik faaliyet kodları belgesi kullanılabilir. Bu bölümde yer alan Tablolarda, ilgili gruplar sektörel bazda sunulmuştur.

Eurostat NACE sınıflandırmasını kullanarak alt gruplara ayırmanın Çimento (23.51 Çimento İmalatı), Demir-Çelik (24.10 Temel Demir-Çelik ile ferro alaşımlarının imalatı) ve Şeker (10.81 Şeker İmalatı) sektörleri için uygun olmadığına dikkat edilmelidir.

Tekstil ve Seramik Sektörleri için ilgili NACE Sınıflandırmaları sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1: Eurostat, NACE Rev.2 Tekstil Sektörünün İstatistiksel Sınıflandırması**

Bölüm	Grup	Sınıf	
13	13.1		Tekstil İmalatı
			Tekstil elyafının hazırlanması ve eğrilmesi
		13.10	Tekstil elyafının hazırlanması ve eğrilmesi
	13.2		Tekstil Dokumacılığı
		13.20	Tekstil Dokumacılığı
	13.3		Tekstil Terbiyesi
		13.30	Tekstil Terbiyesi
	13.9		Diğer Tekstillerin İmalatı
		13.91	Örme ve tığ işi kumaş imalatı
		13.92	Giyim eşyası hariç tamamlanmış tekstil ürünlerinin imalatı
		13.93	Halı ve kilim imalatı
		13.94	Halat, ip, sicim ve ağı imalatı
		13.95	Giyim eşyası hariç, dokumasız kumaşların ve dokumasız kumaşlardan yapılan ürünlerin imalatı
		13.96	Diğer teknik ve endüstriyel Tekstillerin imalatı
		13.99	Başka yerde sınıflandırılmamış diğer Tekstillerin imalatı

1: Eurostat, NACE Rev.2 Avrupa Topluluğu'ndaki ekonomik faaliyetlerin istatistiksel sınıflandırması

**Tablo 2: Eurostat, NACE Rev.2 Seramik Sektörünün İstatistiksel Sınıflandırması**

Bölüm	Grup	Sınıf	
23	23.3		Metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı
			Kil yapı malzemelerinin imalatı
		23.31	Seramik karo ve döşeme taşı imalatı
	23.4		Diğer porselen ve Seramik ürünlerin imalatı
		23.41	Seramik ev ve süs eşyalarının imalatı
		23.42	Seramik sıhhi tesisat imalatı
		23.43	Seramik izolatörlerin ve izolasyon bağlantı parçalarının imalatı
		23.44	Diğer teknik seramik ürünlerin imalatı
		23.49	Diğer seramik ürünlerin imalatı

Kağıt ve kağıt hamuru grupları Tablo 3'te sunulmuştur. Özellikle kağıt hamuru üretimi için (NACE kodu 17.11) kullanılan kağıt hamuru üretim teknolojisinin türüne (örn. mekanik, termo-kimyasal, kimyasal vb. kağıt hamuru yapımı) ve hatta kullanılan hammaddeye (örn. odun, geri dönüştürülmüş kağıt vb. türü) göre başka alt sınıflandırmalar da söz konusu olabilir.

**Tablo 3: Eurostat, NACE Rev.2 Kağıt Hamuru ve Kağıt Sektörünün İstatistiksel Sınıflandırması**

Bölüm	Grup	Sınıf	
17	17.1		Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı
			Kağıt hamuru, kağıt ve mukavva imalatı
		17.11	Kağıt hamuru imalatı
		17.12	Kağıt ve mukavva imalatı
	17.2		Kağıt ve mukavvadan eşya imalatı
		17.21	Oluşlu kağıt ve mukavva ile kağıt ve karton kutuların imalatı
		17.22	Ev ve sıhhi eşyalar ile tuvalet malzemelerinin imalatı
		17.23	Kağıt kırtasiye ürünleri imalatı
		17.24	Duvar kağıdı imalatı
		17.29	Diğer kağıt ve mukavvadan eşya imalatı

Cam Sektörü için ilgili NACE Sınıflandırması Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4: Eurostat, NACE Rev.2 Cam Sektörünün İstatistiksel Sınıflandırması**

Bölüm	Grup	Sınıf	
23		23.11	Düz Cam imalatı
		23.12	Düz Camın şekillendirilmesi ve işlenmesi
		23.13	İçi boş Cam imalatı
		23.14	Cam elyafı imalatı
		23.19	Teknik Cam Eşyalar dahil olmak üzere diğer Camların imalatı ve işlenmesi (onarım, bakım ve kurulum hariç)

## 2.2. SEKTÖRE ÖZGÜ KRİTERLER

Bu bölümde, sektöre özgü kriterlere örnekler verilmiştir. Fabrikaların kıyaslanmasında (sektöre özgü olarak) karşılaştırmalı analiz için cam sektörüne yönelik spesifik bir proses örneğinin yanı sıra hem çimento hem de demir-çelik sektörlerine uygulanabilen temel prosesler için de özel bir yaklaşım sunulmuştur.

### 2.2.1. Sektöre Özgü Kriterlere Bir Örnek (Cam Sektörü)

Bölüm 1'de verilen genel kriterlerin yanı sıra, aşağıda açıklandığı üzere Cam sektöründeki karşılaştırma analizlerinde hesaba katılması gereken bir diğer önemli konu vardır.

#### Erime Sıcaklıkları ve Eritme Prosesleri:

Eritme, cam sanayiinde en yüksek enerji yoğunluğuna sahip prosestir. Eritme sıcaklıkları ve eritme prosesinin türü ve özellikleri (örneğin kaba ve ince eriyik payı), bu prosesin enerji tüketimini belirler.

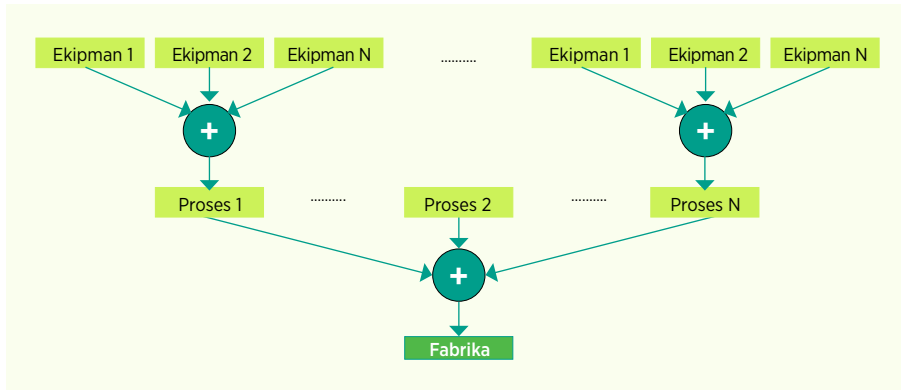
İşletmelere özgü bilgilerden yararlanılarak, eritme sıcaklıklarına ve eritme proseslerine özel kümeler oluşturulabilir. Ardından, çalışma kapsamına alınan işletmeler bu kümelere atanır.

## 2.2.2. Proses Bazında İlgili Kıyaslama Yaklaşımı (Çimento ve Demir-Çelik Sektörleri)

Bu bölümde, aşağıdan yukarıya (bottom up) bir bakış açısıyla kıyaslama yaklaşımı, Çimento ve Demir-Çelik sektörleri için örneklerle açıklanmıştır. Belirlenen fabrikanın spesifik enerji tüketiminin (SET) yanı sıra, söz konusu sektördeki temel proseslerin her birine özel SET de sunulmuştur.

### Çimento Sektörü

Bu yaklaşımda, temel proseslerin SET değeri toplanır. Tüm proseslerin etkileşimi, fabrikanın tamamının SET değerini belirler. Münferit proseslerin SET değeri ve/veya prosesler arasındaki karşılıklı ilişkilerin iyileştirilmesi ile, fabrikanın SET değeri de iyileşir. Şekil 1'de gösterilen bu işlem, her tür enerji taşıyıcısı için yapılır.



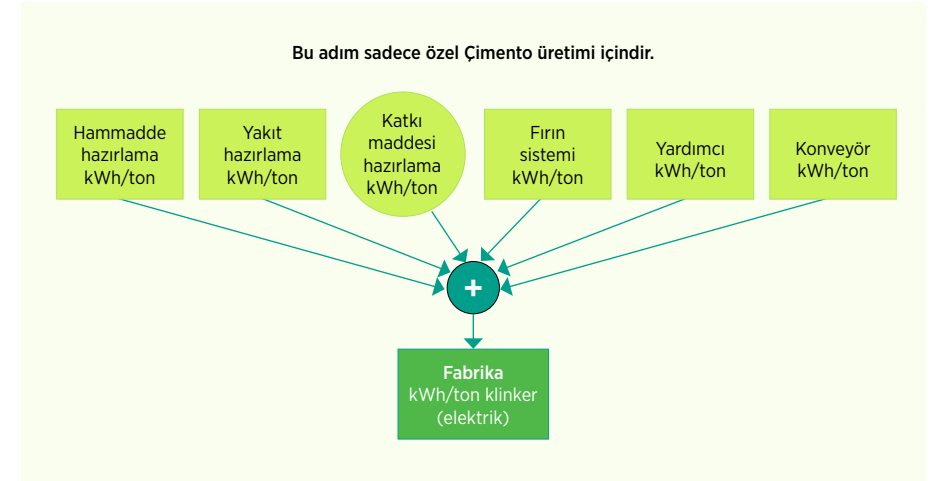
Şekil 1: Aşağıdan yukarıya özgül enerji tüketimi süreci

Proseste kullanılan spesifik enerji tüketiminin toplamı, temel proseslerin SET değerini verir. Temel ekipmanların her biri için ayrı SET değerleri oluşturulabilir. Bu yaklaşımın avantajı, verimsizliklerin ekipman düzeyine kadar takip edilebilmesi ve gerekli tedbirlerin uygulanabilmesidir.

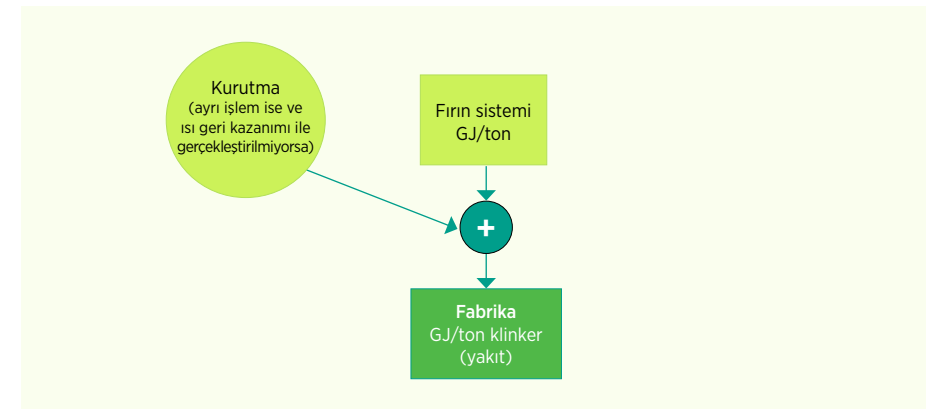
Çimento sektöründeki mevcut kıyaslama çalışmaları çoğunlukla işletme seviyesinde olsa da proses seviyesinde de çalışmalar vardır. Örneğin, literatürdeki bazı kaynaklarda<sup>2</sup> hammaddenin hazırlanması, yakıtların hazırlanması, katkı maddelerinin hazırlanması (özel çimentolar için), klinker yapımı ve son öğütme olmak üzere bazı prosesler için kıyaslama değerleri sağlanmıştır.

2. [https://china.lbl.gov/sites/default/files/6328e\\_industry\\_energy\\_benchmarking.june\\_.2013.pdf](https://china.lbl.gov/sites/default/files/6328e_industry_energy_benchmarking.june_.2013.pdf)

Çimento sektöründe asgari olarak Şekil 2 ve 3'te verilen prosesin kıyaslamasının yapılması önerilmektedir. Bina ve Sanayi Sektörü için Veri Kalitesi ve Veri Toplama Sürecinin İyileştirilmesine Yönelik Yol Haritası Kılavuzunda, her bir proses için uluslararası kıyaslama ölçütleri verilmiş olup referans olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2: Klinker üretiminde elektrik tüketiminin kıyaslanması

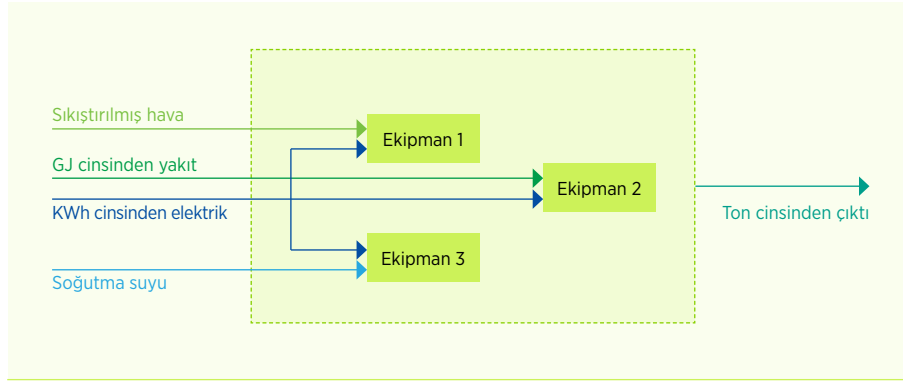


Şekil 3: Klinker üretiminde yakıt tüketiminin kıyaslanması



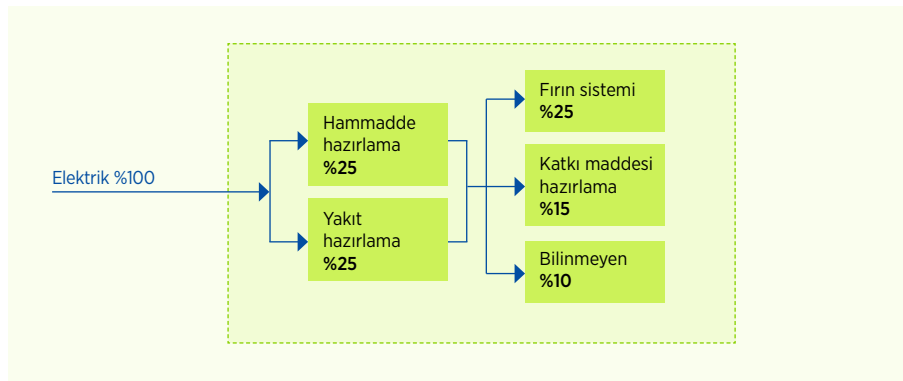
## Proseslerin Sınırları

Her prosesin sınırlarını net bir şekilde tanımlamak önemlidir. Bu sınır, söz konusu prosesin spesifik enerji tüketimini belirler. Proses sınırı, kıyaslama değeri için kullanılan proses sınırı ile aynı olmalıdır.



Şekil 4: Örnek bir prosesin sınırları ile girdi ve çıktılar

Türkiye'deki çimento sektörü, her bir prosesin sınırı üzerinde mutabakat sağlamalıdır. Proses sınırlarının, toplam enerji tüketiminin en az %90'ının net bir şekilde hesaplanabileceği şekilde seçilmesi önerilmektedir. Proses sınırları Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Proses sınırları

Bir processte doğrudan kullanılan elektrik ve yakıt kolayca hesaplanabilir. Processte kullanılabilecek başka enerji türleri de mevcuttur. Proseslerde kullanılan soğutma suyu ve sıkıştırılmış hava, çimento sektöründe kullanılan enerjinin diğer önemli formlarındandır. Soğutma kuleleri, processte kullanılan soğutma suyunu üretmek için elektrik tüketirler. Benzer şekilde, kompresörler de elektrik tüketerek processte kullanılmak üzere sıkıştırılmış hava üretir.

Hava kompresörü ve soğutma kulesi için SET değerleri, kWh/m<sup>3</sup> hava ve kWh/m<sup>3</sup> soğutma suyu olabilir. Bu SET değerleri, prosesin m<sup>3</sup>/ton cinsinden spesifik sıkıştırılmış hava ve soğutma suyu tüketimi kullanılarak prosesin spesifik elektrik tüketimine eklenebilir.

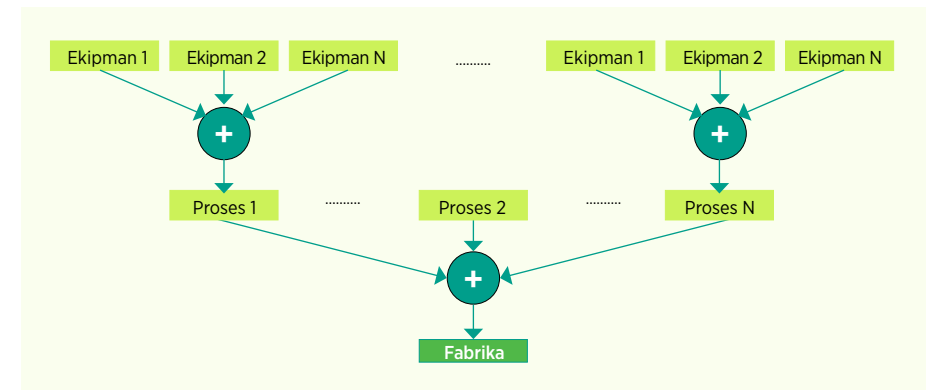
- Prosesin spesifik soğutma suyu tüketimi = X m<sup>3</sup> soğutma suyu/ton
- Soğutma suyu üretiminin spesifik elektrik tüketimi = Y kWh/m<sup>3</sup> soğutma suyu
- Prosesin soğutma suyu tüketimine bağlı spesifik elektrik tüketimi = X \* Y kWh/ton.

Aynı işlem sıcak su, buhar vb. gibi diğer enerji formları için de uygulanabilir. Buhar ve sıcak su üretiminin proses içinde gerçekleşmesi durumunda, bunlar için tüketilen enerji hesaplanırken entalpi farkı dikkate alınmalıdır.

## Demir-Çelik Sektörü

Fabrikaların kıyaslanmasına dair proses bazlı yaklaşım demir ve çelik fabrikaları için de açıklanmıştır.

Processte kullanılan ekipmanların spesifik enerji tüketiminin toplamı, temel proseslerin SET değerini verir. Temel ekipmanların her biri için ayrı SET değeri oluşturulabilir. Bu yaklaşımın avantajı, verimsizliklerin ekipman düzeyine kadar takip edilebilmesi ve gerekli tedbirlerin uygulanabilmesidir.

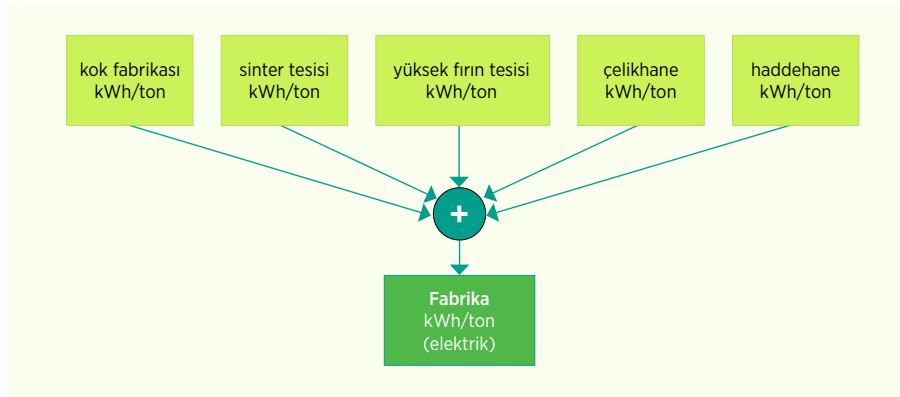


Şekil 6: Aşağıdan yukarıya (bottom up) spesifik enerji tüketimi süreci

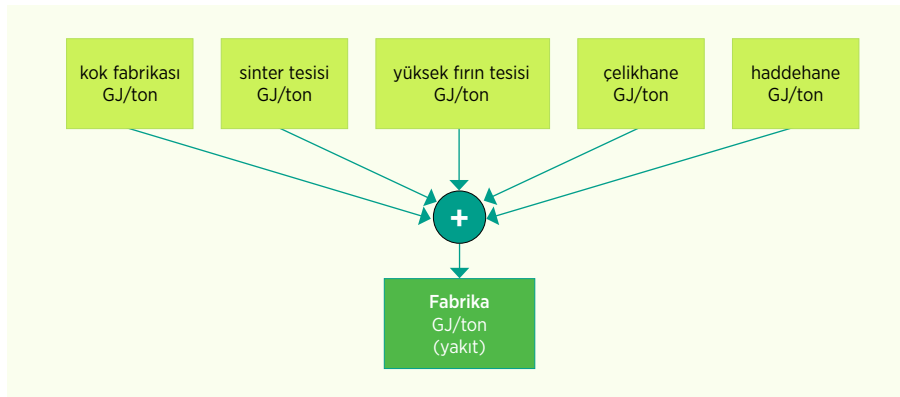
## Uluslararası Standartlarla Kıyaslamanın Proses Düzeyinde Uygulanması

Demir çelik sektöründeki mevcut kıyaslama sonuçları; büyük ölçüde fabrika düzeyinde, bir dereceye kadar ise proses düzeyinde yoğunlaşmıştır. Örneğin, halihazırda en yaygın olarak kullanılan kıyaslama değerleri, demir-çelik yapımında elektrik ve yakıt kullanımına ait SET, yani  $GJ_{el}/ton$ ,  $GJ_{yakıt}/ton$  veya  $GJ_{toplam}/ton$ 'dur. Literatürdeki bazı kaynaklarda, kok tesisi, sinterleme tesisi, yüksek fırın tesisi, çelikhane ve haddehane makinesi gibi prosesler için kıyaslama değerleri yer almaktadır.

Şekil 7 ve Şekil 8'de demir-çelik üretiminde elektrik ve yakıt tüketimleri için proses sınırları verilmektedir. Bina ve Sanayi Sektörü için Veri Kalitesi ve Veri Toplama Sürecinin İyileştirilmesine Yönelik Yol Haritası Kılavuzunda, her bir proses için uluslararası kıyaslama ölçütleri verilmiş olup referans olarak değerlendirilebilir.



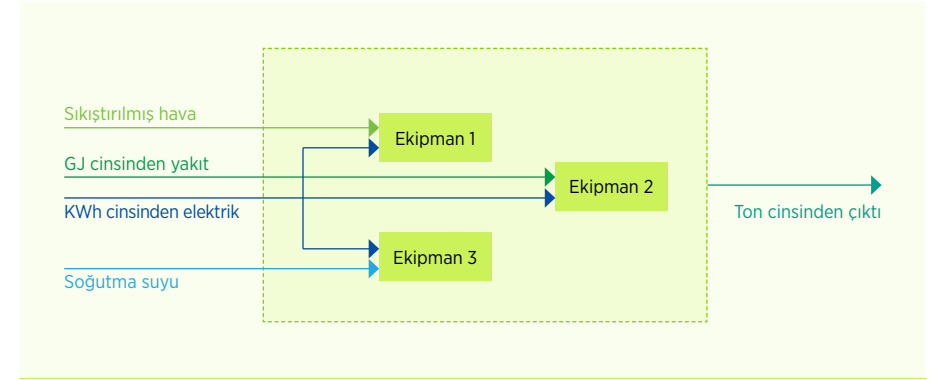
Şekil 7: Demir-çelik üretiminde elektrik tüketiminin kıyaslanması



Şekil 8: Demir-çelik üretiminde yakıt tüketiminin kıyaslanması

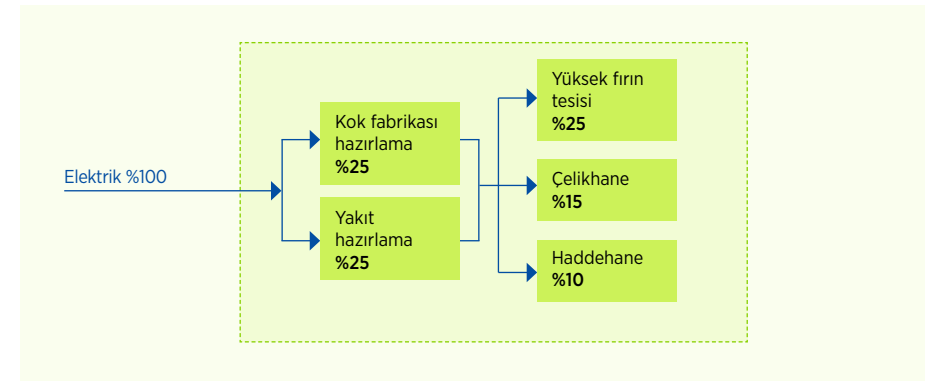
## Proseslerin Sınırları

Her prosesin sınırlarını net bir şekilde tanımlamak önemlidir. Bu sınır, söz konusu prosesin spesifik enerji tüketimini belirler. Proses sınırı, kıyaslama değeri için kullanılan proses sınırı ile aynı olmalıdır.



Şekil 9: Örnek bir prosesin sınırları ile girdi ve çıktıları

Türkiye'deki demir-çelik sektörü, her bir prosesin sınırı üzerinde mutabakat sağlamalıdır. Proses sınırlarının, toplam enerji tüketiminin en az %90'ının net bir şekilde hesaplanabileceği şekilde seçilmesi önerilmektedir. Proses sınırları Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10: Proses sınırları

Bir proseste doğrudan kullanılan elektrik ve yakıt kolayca hesaplanabilir. Proseste kullanılacak başka enerji türleri de mevcuttur. Proseslerde kullanılan soğutma suyu ve sıkıştırılmış hava, demir-çelik sektöründe kullanılan enerjinin diğer önemli formlarındandır. Soğutma kuleleri, proseste kullanılan soğutma suyunu üretmek için elektrik tüketirler. Benzer şekilde, kompresörler de elektrik tüketerek proseste kullanılmak üzere sıkıştırılmış hava üretir.

Hava kompresörü ve soğutma kulesi için SET'ler, kWh/m<sup>3</sup> hava ve kWh/m<sup>3</sup> soğutma suyu olabilir. Bu SET'ler, prosesin m<sup>3</sup>/ton cinsinden spesifik sıkıştırılmış hava ve soğutma suyu tüketimi kullanılarak prosesin spesifik elektrik tüketimine eklenebilir.

- Prosesin soğutma suyu tüketimi = X m<sup>3</sup> soğutma suyu/ton
- Soğutma suyu üretiminin spesifik elektrik tüketimi = Y kWh/m<sup>3</sup> soğutma suyu
- Prosesin soğutma suyu tüketimine bağlı spesifik elektrik tüketimi = X \* Y kWh/ton.

Aynı işlem, sıcak su, buhar vb. gibi diğer enerji formları için de uygulanabilir. Buhar ve sıcak su üretiminin proses içinde gerçekleşmesi durumunda, bunlar için tüketilen enerji hesaplanırken entalpi farkı dikkate alınmalıdır.





Bu proje, Avrupa Birliği tarafından finanse edilmektedir  
This project is funded by the European Union

## Proje Künyesi / Project Identity

### Proje Adı / Title:

Enerji Verimliliğinde Kurumsal Kapasitenin Geliştirilmesi İçin Teknik Destek Projesi / Technical Assistance for Enhancement of Institutional Capacity in Energy Efficiency

### Sözleşme No. / Contract No.:

TR2015/EN/07/A2-01/001

### S resi / Duration:

24 ay / 24 months (19.03.2019 – 18.03.2021)

### Bütçe / Budget:

3 470 000 Avro / Euros

### Finansman Kaynađı / Source of Funding:

Avrupa Birliği / The European Union

### S zleşme Makamı / Contracting Authority:

Türkiye Cumhuriyeti Hazine ve Maliye Bakanlığı Merkezi Finans ve İhale Birimi / Ministry of Treasury and Finance, Central Finance and Contracts Unit (CFCU)

### Faydalanıcı / Beneficiary:

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı / The Republic of Turkey, Ministry of Energy and Natural Resources

### Yüklenici / Contractor:

NIRAS IC Sp. z o.o. (Polonya) liderliđindeki Energy Saving International AS (Norveç) Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Tasarrufu Merkezi (Yunanistan) ve Rast Mühendislik Hizmetleri Ltd.Őti. (Türkiye) konsorsiyumu. NIRAS IC Sp. z o.o. (Poland) in consortium with, Energy Saving International AS (Norway), Centre for Renewable Energy Sources and Saving (Greece) and Rast M hendislik Hizmetleri Ltd. Őti. (Turkey).

*Bu yayın Avrupa Birliđinin maddi desteği ile hazırlanmıştır. İerik tamamıyla NIRAS IC Sp. z o.o. sorumluluğu altındadır ve Avrupa Birliđinin g r Őlerini yansıtılmak zorunda değildir.*

*This publication was produced with the financial support of the European Union. The content of this publication is the sole responsibility of NIRAS IC Sp. z o.o. and can in no way be taken to reflect the views of the European Union.*

### Daha detaylı bilgi için / For further information

T.C.Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Verimliliği ve evre Dairesi Başkanlığı  
The Republic of Turkey, Ministry of Energy and Natural Resources Department of Energy Efficiency and Environment  
<https://enerji.gov.tr/evced>



**NIRAS**

