

DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNDE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ ANALİZİNDE EKONOMETRİK VE MÜHENDİSLİK MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Doç. Dr. Haşan ÇATALCA
I.Ü. İşletme Fakültesi
Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı

Giriş

Elektrik Enerjisi üretim ve tüketimi, bir ülkenin sosyal ve ekonomik yapısını belirleyen bir etken durumundadır. Elektrik enerjisinin bir diğer önemli özelliği de ikincil enerji kaynağı olmasıdır. İmalat sanayiinde ise elektrik enerjisi sektörü anahtar sektör konumundadır. Aynı şekilde Demir-Çelik sektörü de anahtar sektör durumundadır. Bu nedenle, Demir-Çelik sektöründe elektrik enerjisi tüketimi ayrı bir önem arz etmektedir.

Demir-Çelik sektörlerinde elektrik enerjisi tüketimi analizi iki farklı model kullanılarak yapılabilir. Bu modeller, "ekonometrik yaklaşım" ve "mühendislik yaklaşım" olarak ifade edilebilir. Mühendislik modelde, fiziksel üretimin enerji tüketiminin temel değişkeni olduğu varsayımı bulunmaktadır. Ekonometrik modelde ise, ekonomik teori çerçevesinde tutarlı hipotezler kurularak elektrik enerjisi tüketimini etkileyen faktörler tartışılmaktadır.

1. Mühendislik ve Ekonometrik Modellerin Karşılaştırılması

Enerji tüketimi analizinde kullanılan modellerin mühendislik ve ekonometrik olarak ayrılması ilk bakışta kolayca anlaşılabilir. Bununla beraber aralarında önemli farklar bulunmaktadır. Mühen-

dislik modelde; teknolojik süreçler, hammadde, enerji akımları ve enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılan araçlara dayalı ilişkileri belirleme yaklaşımı söz konusudur. Burada, sektördeki ekonomik faaliyetlerin ölçeği ile üretim sürecinde değişik girdilerin fiyatı ve miktarları arasındaki ilişkilerin belirlendiği yaklaşım ağırlıktadır. Ekonometrik yaklaşımda büyük ölçüde, ele alınan sistemde yer alan ilişkiler hakkında bilgi elde etmek için tarihi veriler kullanılmaktadır.

Genel olarak, her iki yaklaşımın güçlü ve zayıf tarafları olduğu için, enerji tüketimi analizlerinde kullanılacak ve uygun sonuçlar verebilecek tek bir yaklaşım bulunmamaktadır. Her sektör için, bu iki yaklaşımın nisbi önemini tartışan yaklaşımı esas almak uygun olacaktır. Örneğin, konut sektöründe ekonometrik model çok daha uygundur. Çünkü bu sektördeki en önemli husus, değişik özellikteki hanehalkının (gelir ve coğrafi farklılıklar olarak) artan enerji fiyatlarına karşı olan tepkisini belirlemektir. Öte yandan ticaret sektörü için ise mühendislik modelin daha uygun olduğu ifade edilebilir. Enerji tüketiminin bir kısmı aydınlatmada kullanılmaktadır. Bu nedenle, aydınlatılacak alan ve ısı gibi parametreler dikkate alınarak mühendislik yaklaşım çerçevesinde elektrik enerjisi tüketimi belirlenebilmektedir. Bununla beraber, bu sektörün artan enerji fiyatlarına karşı tepkisi ise ekonometrik yaklaşımla belirlenebilmektedir.

İmalat sanayinin önemli bir bölümünde enerjinin genel üretim sürecindeki rolü büyük oranda mühendislik yaklaşım kullanılarak ele alınabilir. Bu, özellikle enerjinin fazla miktarda tüketildiği üretici sektörler için daha doğrudur. Bu sektörler arasında demir-çelik, çimento, metal, petrol ve plastik, kâğıt, şişe-cam, kimya ve gıda sektörleri önemli bir yer tutmaktadır.

2. Modellerin Oluşturulması

Modellerde sektör için ortak özellik taşıyan değişkenler öncelikle dikkate alınmıştır. Teorik olarak elektrik enerjisi tüketimini etkileyebileceği düşünülen değişkenler bağımsız değişken olarak ele alınmış ve değişkenler arasındaki ilişkiler matematik modellerle belirlenmeye çalışılmıştır.

TABLO: 1

Demir Çelik Sektöründe Ekonometrik ve Mühendislik Modellemede Kullanılan Değişkenler

Yıllar	Elek. Ener. Tüketimi (Gwh)*	Kapasite Kullanım Oranı (%)	Üretim (Bton)	İşyeri Sayısı (Adet)	Elek. Fiyatı (TL.)	GSMH (TL.)
1970	675	69.4	835.1	170	0.15	125425
1971	703	71.3	1088.1	169	0.2	138185
1972	827	74.9	1938.4	220	0.24	148477
1973	836	71.6	1879.3	191	0.26	156458
1974	900	67.5	1969	228	0.39	168013
1975	1023	72.5	1992	221	0.4	181382
1976	1229	75.2	3773	240	0.45	195756
1977	1312	68.9	3137.9	243	0.62	203358
1978	1478	77.5	3251.8	336	1.23	209183
1979	1647	87.3	4345.9	331	1.64	208343
1980	1716	70.1	7439.6	349	4.85	206121
1981	1810	77.1	10327	353	6.78	214617
1982	2021	76.1	11306.5	341	9.2	224431
1983	2229	75.3	14382.8	186	11.82	231863
1984	2574	80.2	16259	185	18.82	245646
1985	2831	73.2	18151	203	25.3	258190
1986	3007	76	20836	212	46.97	279121
1987	3849	80.4	24336.4	209	60.59	300814
1988	3825	72.2	25315.7	220	91.66	310908
1989	3834	83	24565.6	204	145.69	316694
1990	4839	70.3	28941.2	185	214.47	345803
1991	4997	77.6	27378.5	200	348.25	360675
1992	5982	85.3	29649.6	204	634.74	383037
1993	6734	86	34025.2	196	1040	414063
1994	6534	81.6	37923.2	183	3723	432165
1995	8338	77.4	40323.1	185	5654	451098

* GigaWatt

Kaynak: D.İ.E. Yıllıkları.

2.1 Ekonometrik Model

Ekonometrik modelde, elektrik enerjisi tüketimini etkileyen temel faktörler ekonometrik ilkeler ışığında belirlenmekte ve test edilmektedir. Buna göre, elektrik enerjisi tüketiminin zaman içerisinde bağlı olduğu faktörler belirlenmekte ve sektörlerarası ilişkiler çerçevesinde elektrik enerjisi tüketiminin analizi yapılmaktadır.

Ekonomik gelişme ile elektrik enerjisi tüketimi arasında oldukça yakın bir ilişki vardır. Genel bir eğilim olarak elektrik enerjisi tüketimi GSMH'nın büyüme oranından daha fazla bir oranda artmaktadır. Elektrik enerjisi tüketimindeki yüksek artış oranı sanayileşmeye ve şehirleşmeye bağlıdır. Elektrik enerjisi tüketimi ile ilgili ekonomik ve demografik koşullardaki değişiklikler, yapılacak enerji tahminleri açısından son derece önemlidir.

Günümüzde enerji planlamasında sanayinin talebi bir çok bakımdan önem taşımaktadır. Birinci nokta, imalat sanayinin gelecek dönemlerdeki performans değişimleriyle ilgilidir. Bu konuda, demir-çelik sektörlerinin üretim süreçlerindeki değişimler büyük önem arz etmektedir. Bunun yanında elektronik donanımlardaki değişimler de sektörel rekabeti etkilemektedir. Son olarak, yeni teknolojik gelişmeler yeni piyasalar yaratmaktadır. Böyle bir süreç içinde sanayi firmalarının rekabet avantajının, kullanılan enerjinin türü ve miktarına bağlı kalacağı açıktır.

Tahmin konusunda karmaşıklık yaratan bir problem de, yeni teknolojik gelişmeler ve özellikle elektrik enerjisi-yoğun teknolojilerin gündeme gelmesi olmuştur. Yeni teknolojiler kullanılmaya başlandığında, girdi talepleri yeni teknolojilerin ihtiyaçlarına bağlı olarak değişmekte ve sonuçta nisbi rekabet pozisyonları yeni dengeleri oluşturmaktadır.

Bu modelde katma değer, işyeri sayısı, GSMH ve elektrik enerjisi fiyatı bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Model, şu şekilde ifade edilebilir:

$$E_E = a_1 + a_2 İŞ_E + a_3 GSMH_E + a_4 RF_E + HT_E$$

Burada E , Sektördeki elektrik enerjisi tüketimini; $İŞ$, sektördeki işyeri sayısını, $GSMH$, sektör gayri safi milli hasılasını ve RF , imalat sanayiindeki reel elektrik enerjisi fiyatını göstermektedir. HT , hata

terimini ifade etmektedir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki elastikiyeti tahmin etmede söz konusu modelin logaritmik formu kullanılmaktadır. Bu durumda model,

$$\log E_E = a_1 + a_2 \log I_S E + a_3 \log GSMH_E + a_4 \log RF_E + HT_E$$

şeklini alır.

2.2. Mühendislik Model

Mühendislik modelde, sektörel elektrik enerjisi tüketiminin, sektörel fiziksel üretim (ağırlık, hacim), kapasite kullanım oranı, elektrik enerjisi fiyatı ve spesifik teknolojik faktörlere bağlı olduğu varsayılmış ve bu bağımsız değişkenlerin elektrik enerjisi tüketimini nasıl etkilediği üzerinde durulmuştur.

Mühendislik modelin matematik ifadesi şöyledir:

$$E = f(\bar{U}, K, F, HT)$$

Bu eşitlikte E , sektörel elektrik enerjisi tüketimini; \bar{U} , fiziksel üretimi; K , kapasite kullanım oranını; F , elektrik enerjisi fiyatını ve HT , hata terimini göstermektedir. Bu model logaritmik formda da ele alınarak elektrik enerjisi tüketiminin analizi yapılmıştır. Böylece her bağımsız değişkenin elektrik enerjisi tüketimi açısından elastikiyeti de belirlenmiş olmaktadır.

Yukarıdaki modelde, E Gwh, \bar{U} Binton, K oran ve F TL. olarak ifade edilmiştir. Değişkenlerden anlaşılacağı gibi bu modelde, sektörel elektrik enerjisi tüketimini etkileyen faktörler mühendislik açıdan ele alınmaktadır.

İmalat sanayiinde yer alan bir çok alt sektör için fiziksel üretimin uygun bir ölçüsünü tanımlamak mümkündür. Ayrıca elektrik enerjisi tüketiminin temel belirleyicisi olarak fiziksel üretimin kullanılmasının nedeni de son derece açıktır. Teknik açıdan çıktı birimi başına enerji tüketimi iki açıdan ele alınmaktadır. İlk yaklaşım, çıktı birimi başına enerji servisi gereksinimidir. İkincisi ise enerji servisi başına enerji tüketimidir. Fiziksel üretim gerçekte enerji servisinin temel belirleyicisidir. Buna karşılık enerji ile doğrudan bir ilişkisi bulunmamaktadır. Enerjiye, bu servisleri karşılamak için ihtiyaç duyulmaktadır.

Diğer bir problem de, elektrik enerjisi tüketimi analizinde fiziksel üretim ve katma değerden hangisinin uygun olacağı sorusuyla ilgilidir. Genel bir eğilim olarak, elektrik enerjisi tüketimi analizlerinde fiziksel üretim yerine katma değer tercihini uygun olmaktadır. Çünkü katma değer, enerji de dahil olmak üzere kullanılan tüm materyallerin girdilerin üretim değerinden çıkarılmasıyla elde edilmektedir.

Kapasite kullanımının değişik açılardan ele alınması söz konusudur: Özellikle, pompa, fan ve kompresörlerin elektrik enerjisi tüketimi; sabit elektrik enerjisi tüketimi, grinding sistemlerinin elektrik enerjisi tüketimi ve işlem etkinliği bu açıdan büyük öneme sahiptir. Birkaç istisna hariç imalat sanayiinde elektrik enerjisi kullanımı büyük ölçüde, kapasite kullanım oranı değiştiğinde, etkinliği değişen elektrik motoru ile çalışan teçhizat tarafından belirlenmektedir. Pompa, fanlar ve kompresörler düşük kapasite kullanım oranlarında azalan etkinliğe sahip üç temel teçhizattır.

Aydınlatma, güvenlik araçları, elektriksiz kontrol ve benzeri alanlardaki elektrik enerjisi kullanımı, üretim birimi ölçeğinde aşağı yukarı sabittir. Diğer bir ifadeyle, üretim azalsa da bu tür bir tüketim, üretim birimi başına artma eğiliminde olmaktadır. Bununla beraber bu özellikteki elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir boyutta olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Genel olarak bu tür elektrik enerjisi tüketimi imalat sanayiinde yer alan sektörlerde toplam elektrik enerjisi tüketiminin % 5-10'u arasında olmaktadır.

Elektrik enerjisi fiyatları zaman serisi şeklinde TL. cinsinden modele alınmış; reel enerji fiyatının tüketim üzerindeki etkisini bulmak amacıyla da elektrik enerjisi fiyatı toptan eşya fiyatları endeksine göre deflate edilmiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında fiziksel üretim, kapasite kullanım oranı ve elektrik enerjisi fiyatı bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Burada, kapasite kullanım oranının önemli bir rol oynadığını belirtmek gerekir; çünkü üretim birimindeki teçhizat ve araç-gereç tam kapasiteyle faaliyette bulunmak üzere planlanmıştır. Üretim birimleri, oluşturulmuş kapasiteden daha düşük kapasitede faaliyette bulunduğu toplam elektrik enerjisi tüketimi aynı oranda düşmemektedir. Bu nedenle, fiziksel üretimin ve kurulu kapasitenin bir üretim biriminde elektrik enerjisi tüketimini belirlediği ifade edilebilir.

Burada, fiziksel üretim birimi başına elektrik enerjisi tüketimi bağımlı değişken, kapasite kullanım oranı da bağımsız değişken olarak ele alınmaktadır. Bu durumda model şu şekilde ifade edilebilir:

$$E_M = a_1 + a_2 \dot{U}_M + a_3 K_M + a_4 RF_M + HT_M$$

Burada; E, sektörel elektrik enerjisi tüketimini, \dot{U} , fiziksel üretim, K, kapasite kullanım oranını, RF, reel elektrik enerjisi fiyatını ve HT, hata terimini göstermektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki elastikiyeti tahmin etmek amacıyla yukarıdaki denkleme ek olarak tam logaritmik form kullanılmıştır. Buna göre,

$$\log E_M = a_1 + a_2 \log \dot{U}_M + a_3 \log K_M + a_4 \log RF_M + HT_M$$

Bağımsız değişken katsayıları o değişken ile bağımlı değişken arasındaki elastikiyeti göstermektedir.

3. Modellerin Parametrelerinin Belirlenmesi

Demir-Çelik sektöründe ekonometrik modelde kullandığımız bağımsız değişkenler; işyeri sayısı, elektrik enerjisi fiyatı ve GSMH'dır. Model, bu değişkenlerle hem doğrusal hem tam logaritmik formda incelenmiştir. Gwh olarak hesaplanan elektrik enerjisi tüketimini kullandığımız modelde parasal değişkenler reel olarak ele alınmıştır. İşyeri sayısının bağımsız değişken olarak alınmasındaki amaç, sektörde elektrik enerjisi tüketen üretim birimlerindeki artışın sektörel elektrik enerjisi tüketimine etkisini ölçmektir. Elektrik enerjisi fiyatı ekonomik bir prensip olarak ele alınmıştır. GSMH, makro bir büyüklük olarak, sektörel gelişmeyi gösteren bir değişken olarak modele dahil edilmiştir.

Tablo incelendiğinde, gerek doğrusal gerek tam logaritmik denklemlerin geçerli olabileceği söylenebilir. Ancak, bağımsız değişkenlerin katsayılarının bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki elastikiyeti gösteren ve dolayısıyla ekonomik analizlere daha uygun olan logaritmik model, sektörel enerji tüketimini tahminde daha etkin bir şekilde kullanılabilir.

TABLO: 2

Demir-Çelik Sektöründe Elektrik Enerjisi Tüketimini Etkileyen Faktörler:
Doğrusal ve Tam Logaritmik Form (Ekonometrik Yaklaşım)

K A T S A Y I L A R

Denk- lem	Sabit	İşyeri	Elek. Enerjisi Fiyatı	GSMH	F Değeri	Dü- zeltil. R ²	D.W. İstatistiği (d)
Doğru- sal	-1988.17	-1.957	0.207	0.02	451.18 (S.D.= 3.22) PROB >F:0.0001	0.981	1.79 (d<2) (d _L = 1.22, d _U = 1.55) Pozitif Otokor. yok.
Loga- ritmik	1.902	0.236	0.087	0.004	776.74 (S.D.= 3.22) PROB> F:0.0001	0.989	1.92 (d<2) (d _L = 1.22), d _U = 1.55) Pozitif Otokor. yok

Mühendislik modelde kullandığımız bağımsız değişkenler; sektörel kapasite kullanım oranı, sektörel üretim ve elektrik enerjisi fiyatıdır. Model, bu değişkenler kullanılarak doğrusal ve tam logaritmik formlarda incelenmiştir. Kapasite kullanım oranının değişken olarak alınmasındaki amaç, kapasite kullanım oranı değiştiğinde etkinliği değişen elektrik cihazları tarafından sektörel elektrik enerjisi tüketiminin ne oranda değiştiğini ölçmektir. Üretimin değişken olarak kullanılması, sektördeki üretim artışının sektörel elektrik enerjisi tüketimine etkisini ölçmek amacıyla. Elektrik enerjisi fiyatı ise ekonomik bir prensip olarak modele dahil edilmiştir. Bu değişkenlerle yapılan analiz sonucunda aşağıdaki tabloda yer alan sonuçlara varılmıştır.

TABLO: 3

Demir-Çelik Sektöründe Elektrik Enerjisi Tüketimini Etkileyen Faktörler:
Doğrusal ve Tam Logaritmik Form (Mühendislik Yaklaşım)

K A T S A Y I L A R

Denk-lem	Sabit	Sekt. Fiz. Üretim	Elek. Enerjisi Fiyatı	Kap. Kull. Oranı	F Değeri	Dü-zeltil. R ²	D.W. İstatistiği (d)
Doğrusal	-1516.59	0.135	29.119	0.338	228.21 (S.D.= 3,22) PROB> F: 0.0001	0.964	1.299 (d<2) (d _L = 1.22, d _U = 1.55) Pozitif Otokor. yok.
Loga-ritmik	-0.075	0.559	1.023	-0.300	131.94 (S.D.= 3.22) PROB> F: 0.001	0.940	0.69 (d<2) (d _L = 1.22, d _U = 1.55) d < d _L Pozitif Otokor. var

Yukarıdaki tabloyu incelediğimizde doğrusal denklemin anlamlı sonuçlar ifade ettiği, buna karşılık tam logaritmik denklemin tahmin amacıyla kullanılamayacağı belirlenmiş olmaktadır.

Sonuç

Ekonomik gelişme ile elektrik enerjisi tüketimi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Elektrik enerjisi yoğunluğu girdi fiyatlarının ve teknolojik değişmelerin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmıştır. Bu ilişkiler ekonomide elektrik enerjisi tüketimini belirleyen temel değişkenlerdir. Buna göre, ekonometrik modelde işyeri sayısı, GSMH ve elektrik enerjisi fiyatı bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Mühendislik modelde, sektörel fiziksel üretim, kapasite kullanım oranı ve elektrik enerjisi fiyatı bağımsız değişken olarak ele alınmıştır.

Türk ekonomisinde itici gücü olan Demir-Çelik sektörünün etkinliğinin artmasında elektrik enerjisinin ağırlıklı rolü olduğu açıktır. Ayrıca bu sektör, ekonominin genel dengesi açısından da oldukça önemli bir konuma sahiptir. Elektrik enerjisi tüketim analizi de bu

açından ayrı bir önem taşımaktadır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen denklemler vasıtası ile ulusal düzeyde özel ve kamusal karar birimlerine ışık tutacak önemli sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKÇA

Bouaman, R.W.; "Energy Requirements for Ironmaking and Steelmaking", **Iron and Steelmaker**, C: 10, S:1, 1983.

D.İ.E.; Türkiye İstatistik Yıllıkları, 1977, 1989, 1994, 1995, 1996.

Kılıçbay, A.: **Ekonometrinin Temelleri**, İst. Üniv. Yayını, Yayın No: 2701, İstanbul, 1980.

Özmucur, S.: **Geleceği Tahmin Yöntemleri**, İstanbul Sanayi Odası Yayın No: 1990/2, İstanbul, 1990.

Schmidt, P.S.; **Electricity and Industrial Productivity**, Electric Power Research Institute, Pergamon Press, New York, 1984.

Serper, Ö.: **Uygulamalı İstatistik**, 2. Bası, İstanbul, 1993.

Sincich, T.: **Business Statistics by Example**, 3. Bası, Maxwell-MacMillan, San Francisco, 1990.

Thomas, S.- G.MacKerron; "Industrial Electricity Consumption in U.K.: Past Determinants and Possible Futures", **Energy Policy**, C: 10, S: 4, Aralık 1982.