

ULAŖTIRMA SEKTÖRÜNÜN ENERJİ TALEBİNİN MODELLENMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİTİKALAR

Özgür BAŞKAN, Soner HALDENBİLEN, Halim CEYLAN

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada Türkiye ulaştırma sektöründeki enerji talebi, benzin pompa fiyatları ve özel araç sayısı verileri kullanılarak modellenmiş ve ardından kısa ve orta vadede geleceğe yönelik senaryolar hazırlanarak bu sektördeki enerji talebi tahmin edilmiştir. Çalışmada doğrusal olmayan modeller kullanılmış, aylık değişimleri temsil edebilecek indeksleme metodu ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Gelecekteki talebin belirlenmesinde ise etkili parametreler zaman serisi kullanılarak tahmin edilmiştir.

Sonuç olarak özel araç sahipliğinin ve kullanımının hızla arttığı ülkemizde, sektörel enerji tüketiminden kaynaklanan ekonomik ve çevresel problemlerin büyük boyutlara ulaşmaması ve sektörde sürdürülebilir bir gelişmenin sağlanabilmesi için talep tabanlı planlamalar ve alternatif ulaşım sistemlerinin kullanımı ile birlikte özel araç kullanımını kısıtlayıcı politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Çevresel etkilerin azaltılması için pompa fiyatlarının düzenlenmesi ve vergilendirme politikalarının yanında şehirler arası ulaşım talebinin yönetimini baz alan modeller ile sektörel enerji tüketiminde sağlanabilecek kazanımlar ortaya konmuştur.

1.GİRİŞ

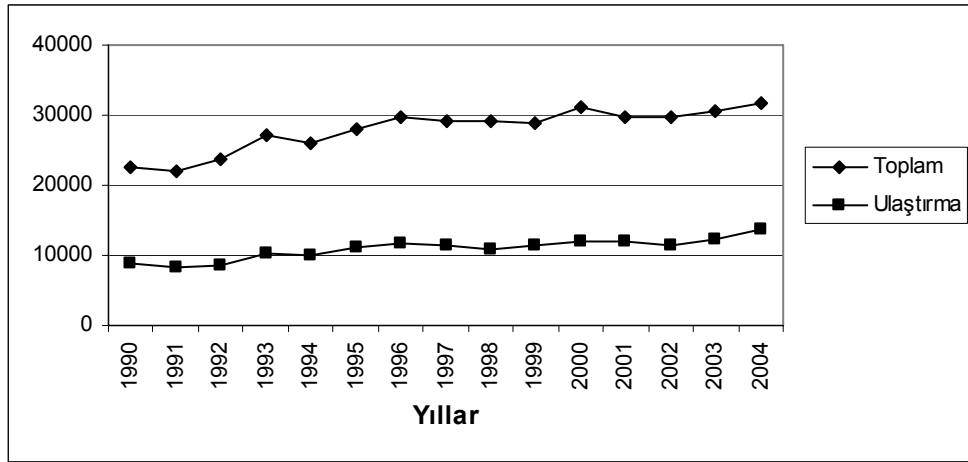
Ülkemiz geliŖmekte olan ölkelerde olduğu gibi hızla geliŖmekte ve bu hızlı büyümenin beraberinde getirdiği sorunlarla mücadele etmek zorunda kalmaktadır. Hızlı büyümenin en fazla hissedildiği sektörlerden biri de ulaştırma sektörüdür. Son

yıllardaki hızlı nüfus artışı ve bunun beraberinde getirdiği motorlu araç sahipliğindeki artış ciddi boyutlara ulaşmıştır. İstatistiklere bakıldığında zaman kullanımındaki toplam motorlu taşıt sayısının 10.236.357 olduğu ve bunun da %54'ünü otomobillerin oluşturduğu görülebilir [1]. Ülke nüfusu 1950'li yıllarda $21 \cdot 10^6$ iken 2003 yılında $71 \cdot 10^6$ değerlerine ulaşmıştır [2]. Bilindiği gibi ulaştırma sektörü yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi konusunda tüm sektörler içinde önemli bir paya sahiptir. Gelişmiş ülkelerde tüketilen petrol enerjisinin % 75'i ulaştırma sektöründe gerçekleşmektedir. Ulaştırma sektörünün tüketilen petrol enerjisindeki payının fazla oluşu, özel araç sahipliğinin ve kullanımının günden güne artması, hızla artan nüfus ve benzin pompa fiyatlarının yıllar itibarıyla artan bir eğilim göstermesinin bazı dışsal sorunlar doğuracağı açıktır. Enerji tüketimi sonucunda oluşan olumsuzlukların giderilmesi ve önlenmesi, sektörel bazda talebi etkileyen faktörlerin iyi şekilde belirlenmesi ve bunların kontrol altına alınabilmesi ile olasıdır. Ulaştırma sektörü özelinde konu incelendiğinde günümüzde talep yönetimi ile, ücretlendirme politikaları (vergi, fiyat vb.) gibi yöntemler kullanılarak hem mevcut altyapının etkili bir şekilde kullanılması hem de çevresel etkilerin minimum düzeyde tutulması hedeflenmektedir. Bu amaçla talep modelleri ve etkili parametrelerin belirlenmesi önem taşımaktadır [3]

2. Veri Toplama ve Değerlendirme

2.1. Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi bilindiği gibi gelişmiş toplumlarda büyük değerlerde seyretmekte ve bu trend gelişmekte olan ülkelerde de yakalandığı takdirde dünyamızı ciddi sorunlar beklemektedir. Bu sorunun, daha az enerji gereksinimi duyan teknolojik ürünlerin artması ve yaygınlaşması ile çözümü en uygun yollardan birisidir. Ulaştırma sektörü diğer sektörler içinde enerji tüketiminde büyük bir paya sahiptir. Aşağıdaki şekilde 1990-1999 yılları arasındaki Türkiye'deki toplam petrol tüketimi ve ulaştırma sektörünün bunun içindeki payının yıllara göre değişimi görülmektedir.



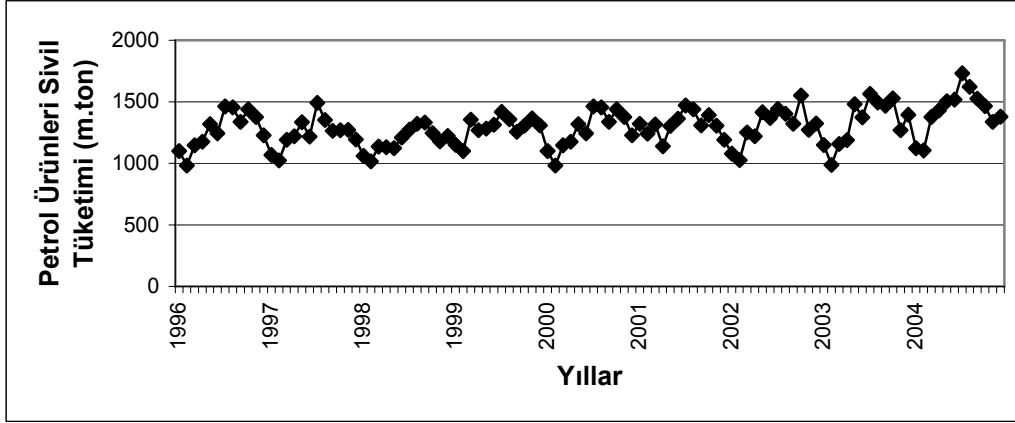
Şekil 1: Türkiye'de Toplam ve Ulaştırma Sektöründeki Petrol tüketimi [4]

Şekil 1'de görüleceği gibi 1990'lı yıllarda yaklaşık olarak $22 \cdot 10^6$ TEP olan yıllık petrol tüketimi 2004 yılında $32 \cdot 10^6$ TEP değerlerine ulaşmıştır. Tablo 1'de sektörel enerji tüketimleri ve bunların içinde ulaştırma sektörünün payı görülmektedir.

Tablo 1: Sektörel Enerji Tüketimi (Bin TEP-2001) [4]

Sektör	Tüketim	Oran(%)
Konut	19793	34,5
Sanayi	21009	36,6
Ulaştırma	12000	20,9
Tarım	2951	5,1
Enerji Dışı	1637	2,9
Nihai Enerji Tüketimi	57390	
Çevrim Sektörü	20795	26,6
Toplam Enerji Sektörü	78185	

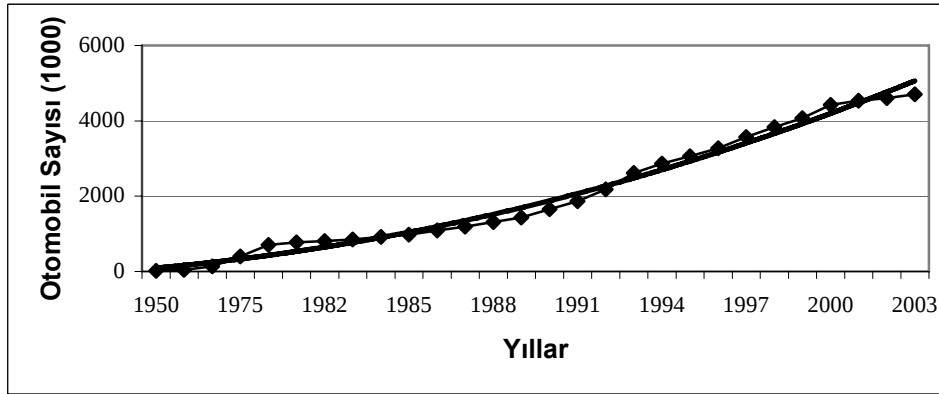
Görüldüğü gibi ulaştırma sektörü toplam enerji tüketimi içinde %21' lik payla önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada aylık bazda 1996-2004 yılları arasındaki petrol ürünleri sivil tüketimi değerleri kullanılmıştır. Bu verilerin yıllara göre değişimi Şekil 2'deki gibidir [5]. Aylık tüketimler incelendiğinde mevsim bazında bir dalgalanma görülmektedir. Kış aylarında sivil tüketim azalmaktadır. Bu dalgalanma dikkate alınarak modelleme aşamasında indeksleme yöntemine başvurulacaktır.



Şekil 2: Petrol Ürünleri Sivil Tüketimi (metrik-ton) [5]

2.2. Araç Sayısı

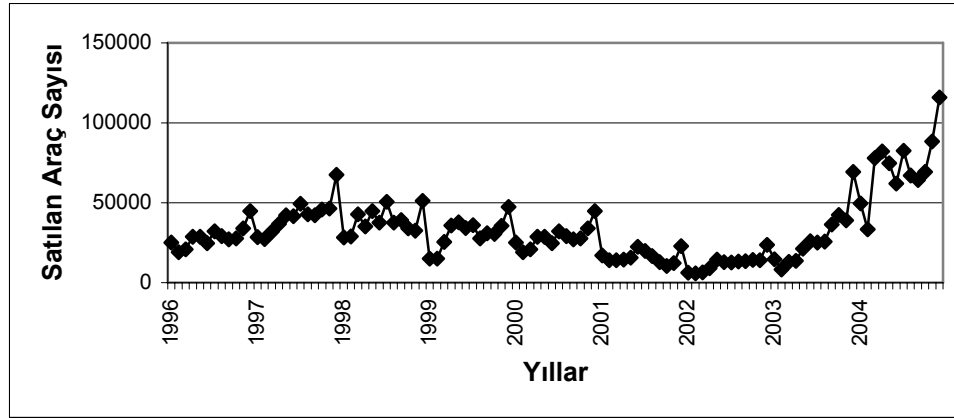
Araç sahipliği oranı gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de günden güne artmaktadır. İstatistiklere göre kullanımdaki toplam motorlu taşıt sayısının %54'ünü otomobiller oluşturmaktadır. Görüldüğü gibi otomobil diğer araç tiplerine göre yüksek bir oranda kullanılmaktadır. Şekil 3'de otomobil sayısındaki hızlı artış görülmektedir. 50 yıllık veri gözlemlendiğinde üssel bir artış izlenmektedir.



Şekil 3: Otomobil sayısının yıllara göre değişimi [1]

Otomobil dışındaki diğer araç tiplerinin 1970-2003 yılları arasındaki değişim incelendiğinde en büyük artışın kamyonette olduğu daha sonra minibüs, otobüs ve kamyonunda olduğu görülür. Bu dönemde kamyonet sayısı 18 kat, minibüs sayısı 12, otobüs sayısı 8 ve kamyon sayısı 6 kat artmıştır. Otomobildeki artış ise 34 kat olmuştur.

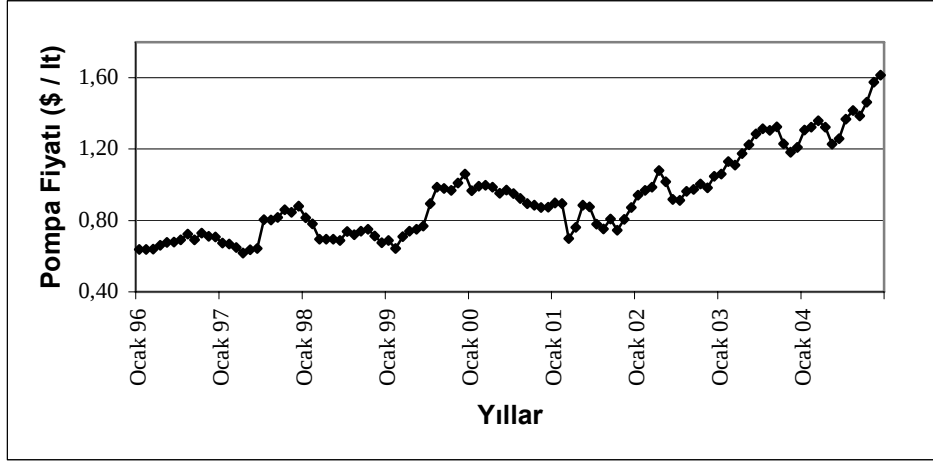
Otomobil sayısı toplam araç sayısı içindeki yüksek oranını 1950-2003 dönemi içinde sürekli korumuştur. Bu çalışmada araç sayısı verileri olarak, 1996-2004 yıllarına ait olan T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsünden alınan veriler kullanılmıştır [6]. Veriler aylık bazda düzenlenmiş olup aylık olarak yeni kayıt edilen araçlar baz alınmıştır. Bu verilere her ay kaydı silinen araçlar dahil edilmemiştir. Şekil 4’de 1996 ve 2004 yılları arasında aylık olarak trafiğe giren motorlu araç sayıları verilmiştir. Bu veriler aynı zamanda satışları da temsil etmektedir. Verilere motosiklet ve diğer diye tanımlanan motorlu taşıtlar dahil edilmemiştir.



Şekil 4: Aylık olarak trafiğe giren motorlu araç sayısı [6]

2.3. Pompa Fiyatları

Enerji tüketimi üzerinde benzin fiyatlarının da önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışma da Türkiye’de araç tiplerinden dolayı en çok tüketilen benzin türü olan kurşunsuz benzin fiyatları modele dahil edilmiştir. Fiyatlar aylık ortalama olarak dolar bazında verilmiştir. Şekil 5’de kurşunsuz benzin fiyatlarının değişimi görülmektedir. Dolar bazında zaman zaman dalgalanma görülse de pompa fiyatları artış trendi içindedir.



Şekil 5: Aylık bazda pompa fiyatlarının değişimi [6]

3. Model

Bu çalışmada sivil enerji tüketimi, araç sayıları ve pompa fiyatlarına bağlı olarak modellenmeye çalışılmıştır. Model 1 nolu bağıntı ile verilmiştir.

$$Y = (a * X_1^c + b * X_2^d) * S_i \quad (1)$$

Burada Y sivil enerji tüketimi, X_1 araç sayısı, X_2 pompa fiyatı, a, b, c, d model katsayıları ve S_i aylık indeks değeridir.

Çalışmada aylık indeksleme yapılmıştır. İndeksleme [7] ile sivil enerji tüketimine, araç sayısı ve pompa fiyatlarının aylık bazdaki etkisi belirlenmiş ve model daha güvenilir hale getirilmiştir. İndeksleme için her ayın indeksi hesaplanmış ve bulunan değerlerin kurulan doğrusal olmayan modelle çarpılması ile enerji tüketimi değerleri bulunmuştur. Şekil 6'da çalışma sayfası, Tablo 2'de ise hedef hücre formülleri verilmiştir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Yıl	Ay	SET-193	Araç Sayısı	Pompa fiyatı	Model	Aylık Tahmin								
1996	1	1100	25177	0,64	66	1134	a		50,0000					
	2	982	19167	0,64	65	1056	b		0,0269					
	3	1145	20816	0,64	65	1228	c		-0,2000					
	4	1176	28745	0,66	66	1221	d		1,3000					
	5	1318	28651	0,68	66	1341								
	6	1243	24779	0,68	66	1311								
	7	1463	32065	0,69	66	1479								
	8	1455	29110	0,72	66	1435								
	9	1336	27203	0,69	66	1348								
	10	1438	27728	0,73	66	1402								
	11	1377	33968	0,71	66	1308								
	12	1228	44847	0,71	67	1273								
	1	1069	28585	0,67	66	1138								
1997	2	1023	27273	0,67	66	1066								
	3	1190	31986	0,65	66	1242								
	4	1220	36815	0,62	66	1229								
	5	1334	42166	0,64	66	1355								
	6	1216	41613	0,64	66	1330								
	7	1491	49420	0,81	67	1496								
	8	1352	42771	0,80	66	1449								
	9	1264	42239	0,82	66	1364								
	10	1270	45832	0,86	67	1420								
	11	1272	46338	0,85	67	1319								
	12	1194	67401	0,88	67	1286								
	1	1059	26366	0,82	66	1137								
1998	2	1017	28971	0,78	66	1067								
	3	1135	42842	0,70	66	1252								
	4	1130	35210	0,70	66	1228								
	5	1122	44705	0,70	67	1357								
	6	1210	37646	0,69	66	1326								
	7	1273	50571	0,74	67	1497								
	8	1321	37631	0,72	66	1445								
	9	1331	39179	0,74	66	1361								
	10	1246	33935	0,75	66	1409								
	11	1179	32466	0,71	66	1307								
	12	1223	51123	0,67	67	1278								
1999	1	1151	15065	0,69	65	1119								
	2	1100	15046	0,64	65	1049								
	3	1354	25438	0,71	66	1234								
	4	1268	35746	0,74	66	1228								
	5	1281	37750	0,75	66	1350								
	6	1314	34127	0,77	66	1322								
	7	1418	35890	0,90	66	1482								
	8	1359	27807	0,99	66	1431								

Şekil 6: Modelleme ve indeksleme çalışmalarının örnek çalışma sayfası

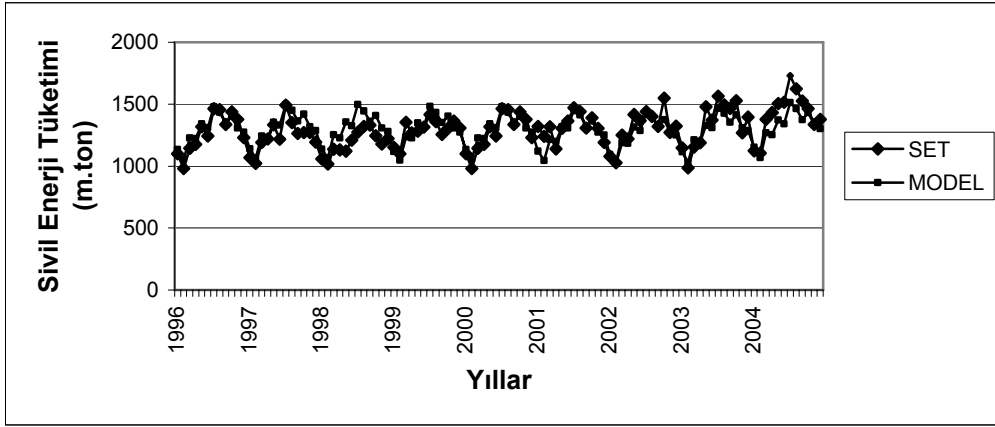
Tablo 2: Hedef Hücre Formülleri

Hücre	Formül	Kopyalama
G2	=J\$2*E2^J\$3+J\$4*F2^J\$5	G3:G241
J12	=SUMIF(\$B\$2:\$B\$109;I12;\$G\$2:\$G\$109)/COUNTIF(\$B\$2:\$B\$109;I12)	J12:J23
H2	=G2*VLOOKUP(B2;\$I\$12:\$J\$23;2)	H3:H241
I8	=SUMXMY2(H2:H109;D2:D109)	

Denklem (1)'de verilen model denkleminin çözücü menüsü ile çözülmesi sonucu a , b , c , d katsayıları ve indeks değerleri hesaplanmış ve denklem (2)'de verilmiştir.

$$Y = (50 * X_1^{0,0269} - 0,2 * X_2^{1,30}) * S_i \quad (2)$$

Denklem (2) ile elde edilen sivil enerji tüketimi ile gözlem sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.

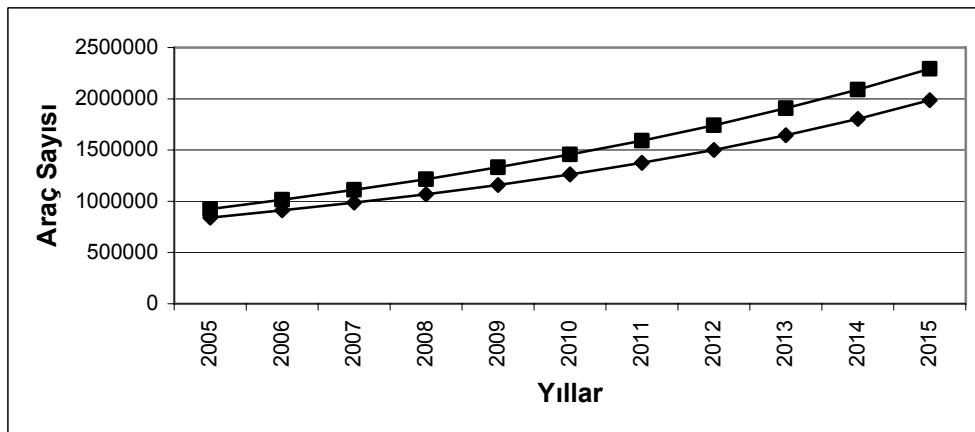


Şekil 7: Model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması

4. Gelecekteki Sektörel Enerji Tüketiminin Belirlenmesi

4.1. Araç Sayısı

Aylık araç sayılarının belirlenmesi için 1996-2004 yılları arasında aylık tescil edilen araç sayılarını taşıt kredilerini ve gelir miktarını içeren bir modelle belirlemişlerdir. Şekil 8'de iki farklı durum için tahmin edilen aylık tescil edilen araç sayısı rakamları verilmiştir.

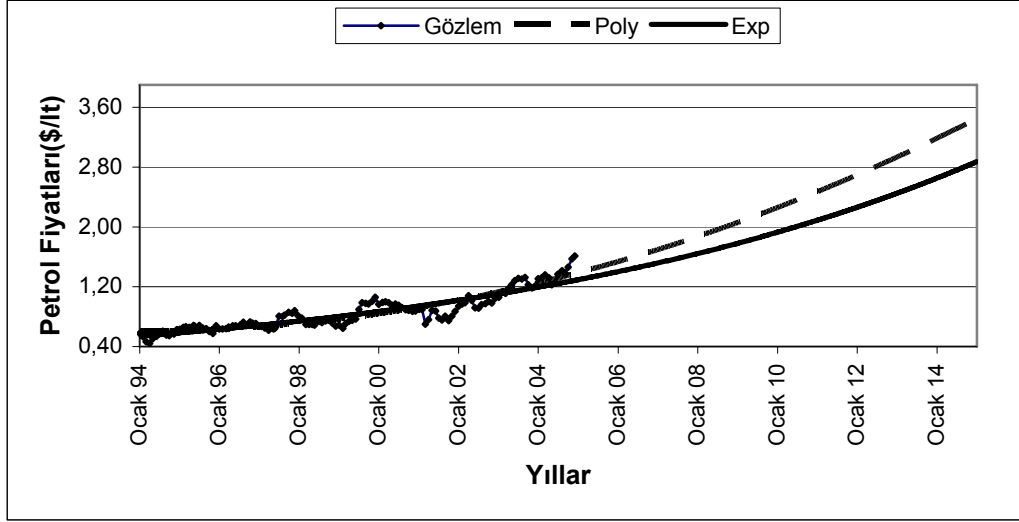


Şekil 8: 2015 yılına kadar beklenen araç sayıları

4.2. Pompa Fiyatı

Modele dahil edilen diğer bir bağımsız değişken kurşunsuz benzin pompa fiyatlarıdır. Pompa fiyatları geleceğe dönük olarak iki farklı şekilde tahmin edilmiştir. Polinom ve

üssel olarak modellenen pompa fiyatlarının 2015 yılına kadar beklenen iki farklı durum için değişimi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Pompa fiyatlarında beklenen gelişme [8]

4.3. Senaryolar

Sivil enerji tüketimi, araç sayısı ve pompa fiyatlarına bağlı olarak 4 farklı senaryo altında 2015 yılına kadar tahmin edilmiştir. Senaryolar araç sayısı ve benzin pompa fiyatlarının düşük ve yüksek olması durumuna göre aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur;

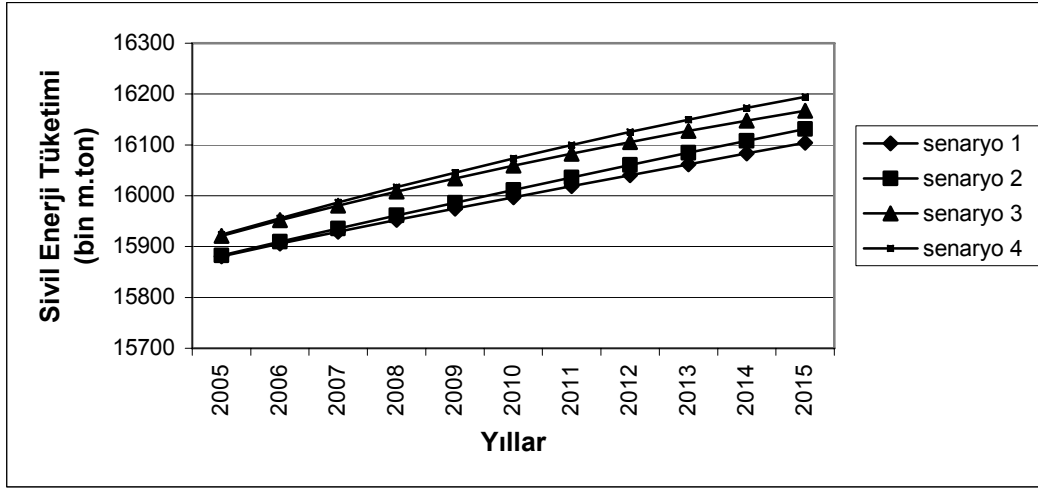
Senaryo 1: Araç sayısı düşük, pompa fiyatı yüksek

Senaryo 2: Araç sayısı düşük, pompa fiyatı düşük

Senaryo 3: Araç sayısı yüksek, pompa fiyatı yüksek

Senaryo 4: Araç sayısı yüksek, pompa fiyatı düşük

Senaryolara göre 2015 yılında sivil enerji tüketimi 16104000-16195000 metrik-ton değerleri arasında olacaktır. Senaryolar sonucu 2015 yılına kadar tahmin edilen enerji tüketim değerleri Şekil 10'da grafik olarak gösterilmiştir. Senaryo 4 en yüksek tüketimi senaryo 1 ise en düşük enerji tüketim düzeyini vermektedir.



Şekil 10: Senaryolara göre beklenen enerji tüketim değerleri

5. Sonuçlar

Ülkemiz için kısa ve orta dönemde benzin pompa fiyatları ve araç sayısının değişiminin fazla bir etkisi belirlenememiştir. 2015 yılı için benzin fiyatlarının yüksek veya düşük olması sektörel enerji talebini ancak %1 düzeyinde etkilemektedir. Benzer durum araç sayısı için de geçerlidir. Yapılan hesaplamalarda 2015 yılında motorlu araç sahipliği oranının %27-29, otomobil sahipliği oranının %20-22 arasında bulunması bu durumu açıklamaktadır. Gelişme sürecinde talebin fiyat esnekliği oldukça az olmaktadır. Uzun dönemde 2020'li yıllarda araç sayısında AB ortalamasına ulaşılması durumunda talepte fiyat esnekliğinden söz etmemiz olası olabilir ancak orta ve kısa vadede pompa fiyatları üzerinden enerji talebinin kontrolü oldukça güç görülmektedir. Bu nedenle kısa ve orta dönemde yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi ve çevresel etkilerinin azaltılması yönünde sektörel bazda alternatif yakıt türlerine yönelmek ve ulaşım talebini yöneten politikaları uygulamak enerji talebi açısından daha etkili yöntemler olacaktır. Sonuç olarak ulaşım talebi tabanlı enerji talep modelleri ülkemiz için kısa ve orta dönemde daha faydalı olacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Tübitak tarafından 104I119 nolu proje ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Tübitak'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü, <http://kgm.gov.tr>

[2] DPT, Devlet Planlama Teşkilatı, <http://dpt.gov.tr>

[3] Haldenbilen, S., Ceylan, H., ve Murat, Y., Ş., *Türkiye Ulaşım Sektöründe Enerji Tüketiminin İncelenmesi*, I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Denizli, 2003.

[4] EB, Enerji Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>

[5] PİGM, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2005.

[6] DIE, Devlet İstatistik Enstitüsü, <http://www.die.gov.tr>

[7] Ragsdale, C., T., ve Plane, D., R., On modelling time series data using spreadsheets, *Omega*, 28, pp. 215-221, 2000.

[8] Haldenbilen, S., Fuel price determination in transportation sector using predicted energy and transport demand, *Energy Policy*, 2005 (in press).