

KADİR HAS ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN

ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERGÜN YÜKSELTAN

Ocak 2016

Ergün Yükseltan

Yüksek Lisans Tezi

2016

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ

ERGÜN YÜKSELTAN

Finans Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans derecesi

için gerekli kısmi şartların yerine getirilmesi amacıyla

Fen Bilimleri Enstitüsü'ne

teslim edilmiştir.

KADIR HAS ÜNİVERSİTESİ

Ocak, 2016

KADIR HAS ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN

ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ

Ergün YÜKSELTAN

ONAYLAYANLAR:

Prof. Dr. Ayşe H. BİLGE Danışman

Kadir Has Üniversitesi



Doç. Dr. Ahmet YÜCEKAYA

Kadir Has Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr Kürşad Derinkuyu

Türk Hava Kurumu Üniversitesi



ONAY TARİHİ: 19/01/2016

“Ben, Ergün Yükseltan, bu Yüksek Lisans Tezinde sunulan çalışmanın şahsıma ait olduğunu ve başka çalışmalardan yaptığım alıntıların kaynaklarını kurallara uygun biçimde tez içerisinde belirttiğimi onaylıyorum.”

Ergün Yükseltan

ÖZET

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN

ZAMAN SERİLERİ İLE ANALİZİ

Ergün Yükseltan

Finans Mühendisliği, Yüksek Lisans

Danışman: Prof. Dr. Ayşe H. Bilge

Ocak 2016

Özet: Serbestleşen elektrik enerjisi pazarında oluşturulan sistemler sayesinde üreticiler, yapılan tahminler çerçevesinde saatlik üretim planlarını sisteme girmektedirler. Tahminlerin doğruluğu rekabetçi piyasa ve kesintisiz elektrik enerjisi arzı için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple bir çok matematiksel modelleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye elektrik tüketimi, 2012-2014 yıllarına ait saatlik elektrik tüketim datası ile günlük, haftalık, mevsimsellik ve ayrıca sıcaklık sapmaları ile modellenmiştir. Mevcut yıllık periyotlu data %3.94 hata oranı ile modellenmiş ve %9.8 hata oranı ile tahmin sonucu vermiştir (L2 Norm). Ayrıca günlük tüketim eğrileri ve hafta içi-haftasonu tüketim örnekleri incelenmiş ve elektrik tüketimindeki sanayi bazlı etki açıklanmaya çalışılmıştır. Sıcaklık etkisinin tüketim üzerindeki etkisini daha iyi

görebilmek amacıyla her saat dilimine ait sıcaklık-tüketim eğrileri oluşturulmuştur. Benzer saat dilimlerindeki sıcaklığa bağlı tüketim değerleri haftasonu ve hafta içi tüketim farklılıkları ele alınarak açıklanmıştır. Oluşturulan bu tüketim eğrilerinden, insanların genel olarak uykuda oldukları süre içerisinde konfor sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerine, konfor sıcaklığının üzerindeki sıcaklık değerlerindeki kadar tepki vermediği görülmüştür. Ayrıca akşam ve gece saatlerinde sıcaklık-tüketim eğrisinin hafta içi ve haftasonu için büyük oranda benzer olduğu fark edilmiştir. Ek olarak hafta içi gün içerisinde oluşan tüketim eğrilerinin açıkça benzer ve düzgün bir parabolik eğri olduğu görülürken, hafta içi mesai başlangıç ve bitiş saatlerindeki ve haftasonundaki oluşan tüketim değerleri, insanların çeşitli aktivitelerde bulunması nedeniyle farklı ve düzensizdir. Haftasonu tüketim eğrilerini kendi içerisinde incelediğimizde ise yine benzer sebeplerden Pazar ve Cumartesi günü tüketim eğrilerinin büyük oranda farklı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Zaman Serileri, Fourier Serileri, Türkiye Saatlik Enerji Tüketimleri, Elektrik Enerjisi Marketi, Yük Tahmini

ABSTRACT

APPLYING FOURIER SERIES METHOD TO TURKEY ELECTRICITY CONSUMPTION

Ergün Yükseltan

Master of Science in Financial Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ayşe H. Bilge

January 2016

Abstract: Turkish power market has undergone a restructuring and deregulation to reach a competitive and reliable electricity market. A typical day starts when the system operator announces the next day demand forecast for the electricity and participants submit offers in response to meet the demand. Accuracy in electricity demand forecast is essential for a reliable power system and successful market operation. Mathematical models are needed to help market participants forecast the electricity demand. We use hourly electricity demand data for Turkey, for the years 2012-2014 to make a linear model taking into account seasonal, weekly and diurnal periodic variations and the deviations from optimal temperatures. The model fits the yearly data within %4 and predicts within %9.8 in the L2 norm. We discuss daily variation curves and the week day/weekend demand profiles as well as demand profiles for holidays to infer the proportion of industrial and domestic electricity

demand. In order to observe clearly effects of temperature on electricity consumption, we formed temperature-consumption curves for each hours. Similar hours were considered together to explain temperature effects on people's behave. We see that people give different reaction to temperature deviation from comfort level when they are in sleep. When temperature is above comfort level, people have much tendency to reach comfort level with using cooling system. However, their reaction is less for temperature lower than comfort level. In addition, during evening and night periods, there is no such a big difference on consumption curves that belong to week and weekend. In week days periods 08:00-18:00 have similar and more regular curves while in early morning and late in afternoon have different and irregular consumption pattern due to different working hours and activities of people in these hours. Also, weekend days were considered separately, Sunday has unique consumption pattern..

Keywords: Time series analysis, Fourier Series, Hourly Electricity Demand for Turkey, Deregulated Electricity Market, Load Forecast

İçerik

1. Giriş.....	1
2. Elektrik Enerjisi Piyasaları.....	3
2.1. Tarihsel Süreç.....	3
2.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası.....	4
2.2.1. Gün Öncesi Piyasası.....	9
2.2.2. Dengeleme Piyasası.....	10
2.2.3. Gün İçi Piyasası.....	10
3. Uygulama.....	12
3.1. Problem.....	12
3.2. Zaman Serileri.....	14
3.2.1. Lineer Regresyon.....	17
3.2.2. Fourier Analizi.....	19
3.3. Veri ve Model.....	23
3.3.1. Veri Toplanması ve Düzenlenmesi.....	23
3.3.2. Periyodik Değişimlerin Modellenmesi.....	27

3.3.3. Olağan Dışı Terimlerin İncelenmesi	33
3.3.4. Fiziksel Parametlere ait Değişimler	36
4. Tahmin	52
5. Sonuç	55
6. Referanslar	57

Tablo ve Şekiller

Tablo 1 : Fonksiyon Özelliklerine göre Fourier Dönüşüm Çeşitleri	20
Tablo 2 : Yıllara ait Standard Model Hata Oranları (Ortalama Hata Kareleri Kökü).....	53
Tablo 3 : Yıllara ait Standard Model Hata Oranları (Ortalama Mutlak Hata)	53
Tablo 4 : 2013 ve 2014 Yıllarına ait Model Hata Oranları ve 2014 Tahmin Modeli (Ortalama Hata Kareleri Kökü).....	53
Tablo 5 : 2013 ve 2014 Yıllarına ait Model Hata Oranları ve 2014 Tahmin Modeli (Ortalama Mutlak Hata)	54
Şekil 1 : Elektrik Enerjisi Piyasaları Serbestleşme Süreci ve Türkiyedeki Gelişmeler	4
Şekil 2 : Türkiye Elektrik Kurumu'nun Organizasyon Değişikliği	5
Şekil 3 : Türkiye Elektrik Piyasası Serbestleşme Reformları	6
Şekil 4 : Serbest Tüketici Limiti ve Piyasa Açıklık Oranının Yıllara Göre Değişimi	7
Şekil 5 : Türkiye Dağıtım Bölgeleri ve Sorumlu Firmalar (Deloitte).....	8
Şekil 6 : Zaman Serilerine ait Bileşenler.....	16
Şekil 7 : Fourier Serisi ile Kare Dalganın Modellenmesi (en.wikibooks.org/).....	22
Şekil 8 : 2012 Yılına ait Tüketim Grafiği	24
Şekil 9 : 2012 – 2013 – 2014 Yıllarına ait Düzenlenmiş Tüketim Grafiği	25

Şekil 10 : Saatlik Tüketim Datası Yaz-Kış Dönemi Haftalık Tüketim Örneği.....	26
Şekil 11 : Lineer Regresyon - Yıllık Harmonik Eklenmiş Model ve Tüketim Grafiği....	27
Şekil 12 : Günlük Harmonik Eklenmiş Model.....	28
Şekil 13 : Haftalık Tüketim Örneği ve Model	29
Şekil 14 : Yıllık-Haftalık-Günlük Harmonikler ile Modelleme.....	30
Şekil 15 : Haftalık Tüketim Örneği ve Haftalık Harmonik Eklenmiş Model.....	30
Şekil 16 : Tüketim ve Modülasyon Eklenmiş Model.....	31
Şekil 17 : Günlük Tüketim Eğrileri.....	33
Şekil 18 : İki Hafta Önceki ve Sonraki Tüketimlere Göre Günlük Değişimler	35
Şekil 19 : Sıcaklık Verilerine göre Gruplandırılmış Türkiye Haritası.....	37
Şekil 20 : Nüfus ile Ağırlıklandırılmış Yıllara ait Saatlik Sıcaklık Değerleri	38
Şekil 21 : Sıcaklık Etkisi ile Oluşturulmuş Model.....	39
Şekil 22 : 2013 ve 2014 Modelleri Hata Oranının Ort. Sıcaklıkla Değişimi	40
Şekil 23 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 00:00-01:00.....	42
Şekil 24 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 01:00-02:00.....	42
Şekil 25 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 02:00-03:00.....	42

Şekil 26 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 03:00-04:00.....	43
Şekil 27 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 04:00-05:00.....	43
Şekil 28 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 05:00-06:00.....	43
Şekil 29 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 06:00-07:00.....	44
Şekil 30 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 07:00-08:00.....	44
Şekil 31 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 08:00-09:00.....	45
Şekil 32 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 09:00-10:00.....	46
Şekil 33 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 10:00-11:00.....	46
Şekil 34 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 11:00-12:00.....	46
Şekil 35 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 12:00-13:00.....	47
Şekil 36 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 13:00-14:00.....	47
Şekil 37 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 14:00-15:00.....	47
Şekil 38 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 15:00-16:00.....	48
Şekil 39 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 16:00-17:00.....	48
Şekil 40 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 17:00-18:00.....	48
Şekil 41 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 18:00-19:00.....	49

Şekil 42 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 19:00-20:00.....	49
Şekil 43 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 20:00-21:00.....	50
Şekil 44 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 21:00-22:00.....	50
Şekil 45 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 22:00-23:00.....	50
Şekil 46 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 23:00-00:00.....	51

1. Giriş

Devletlerin tekelinde bulunan elektrik üretim-iletim ve dağıtım sorumluluğu 2000’li yılların başından itibaren özel sektöre devredilmeye başlamıştır. Birçok firmanın katılımı ile oluşan elektrik enerjisi pazarında, üreticiler en kârlı şekilde elektrik enerjisini satmak ve tüketiciler en ucuz ve güvenilir elektrik enerjisini almak amacıyla olduğundan rekabet ortamı sürekli artmaktadır. Bu nedenle firmaların kârlılıklarını koruyabilmesi için var olan kaynakları ve sistemleri en verimli şekilde kullanmaları gerekmektedir. Elektrik enerjisi tüketiminde arz-talep dengesizlikleri birim maliyetin artmasına sebep olurken aynı zamanda var olan sistemlerin kullanım ömürlerini sınırlandırmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisini depolanamaması arz-talep dengesinin önemini artırmaktadır.

Elektrik enerjisi arz-talep dengesinin sağlanması amacıyla firmalar belirlenen periyot için elektrik enerjisi tüketimini en doğru şekilde tahmin ederek, üretim planlarını bu tahminlere göre yapmaktadırlar. Bu şekilde fazla ya da az üretimden doğan zararları minimuma indirerek, sürekli ve güvenli enerji tedarikini sağlamaya çalışmaktadırlar. Bu doğrultuda bir çok matematiksel model geliştirilmiş olup, bilgisayarlar yardımı ile geçmiş elektrik tüketimi verilerinden gelecek zaman birimleri için tüketim tahminleri yapılmaktadır.

Zaman serileri analizi ekonomi, fizik vb. bir çok alanda tahmin metodu olarak kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi tahminleri de son yıllarda bu metodlar ile

modellenmeye çalışılmaktadır. Farklı yaklaşımlar ve teknikler ile yeni metodlar oluşturularak en düşük hata oranı ile tahminlerin yapılması hedeflenmektedir.

2. Elektrik Enerjisi Piyasaları

2.1. Tarihsel Süreç

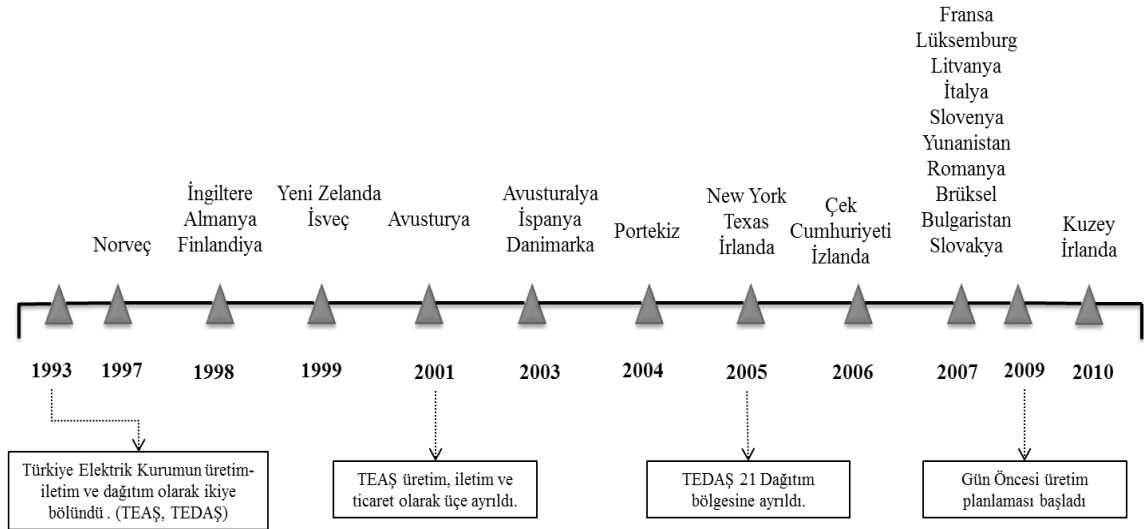
Elektrik enerjisinin depolanamaması ve çok geniş iletim hatları ile bir çok tüketiciye ulaştırılması nedeniyle arz-talep dengesi bütün ülkeler için önem taşımaktadır. Üretim, iletim ve dağıtım aşamalarındaki kaynakların ve mevcut sistemlerin verimli kullanımı arz-talep dengesi için önemli bir rol oynamaktadır.

Elektrik enerjisi piyasaları yakın zamana kadar devlet tekelinde olmuş, elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı devletlerin sorumluluğunda gerçekleştirilmiştir. Yükselen yaşam standartı ve ulaşılan hızlı ekonomik büyüme seviyeleri ülkeler için güvenli ve sürekli enerji arzının önemini artırmıştır. Arz-talep dengesi oluşturabilmek adına atılan ilk adımlardan birisi 1951'de kurulan Avrupa Elektrik Üretim - İletim Birliği'dir (UCPTE). İlk olarak 3 ülkenin iştiraki ile işletilmeye başlayan sistem, 1999'da Avrupa Elektrik İletim Birliği(UCTE) ismini almış ülke sayısı 24'e kadar yükselmiştir. 2009'da ise Avrupa İletim Operatörleri Ağı (ENTSO-E) adını almış ve katılımcı ülke sayısı 34'e yükselmiştir. Temel amaç enerji tüketiminde birbirlerine ve dışa bağımlı ülkelerin, enerji politikalarını şebekeler arası iletişim ile şekillendirmek ve elektrik üretim, iletim ve dağıtımında farklı kaynakların planmasını yapma ve verimliliği artırmaktadır [1].

ENTSO-E'nin kurulmasıyla başlayan yedek kapasite ve acil durumlarda enerji paylaşımı, farklı enerji kaynaklarını ve bu kaynaklara dayalı üretim maliyetlerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda bu farklılıklardan yararlanmak ve ayrıca 1970'lerdeki enerji krizinin ülkelerin güvenli ve sürekli enerji

arzına dahil endişelerini artırması nedeniyle orta ve uzun vadeli kontratlar ile devletler arasında enerji alış-verişine yönelik antlaşmalar yapılmıştır [2].

1990'lı yıllarda başlayan bir çok sektördeki liberalleşme hareketlerine paralel, enerji sektöründe de devletler sorumluluklarını özel şirketlere devretmeye başladılar. Aşağıdaki şekilde bazı ülkelere ait elektrik enerji piyasası serbestleşme sürelerini ve bu süreçte Türkiye'de atılan önemli adımları görebilirsiniz.

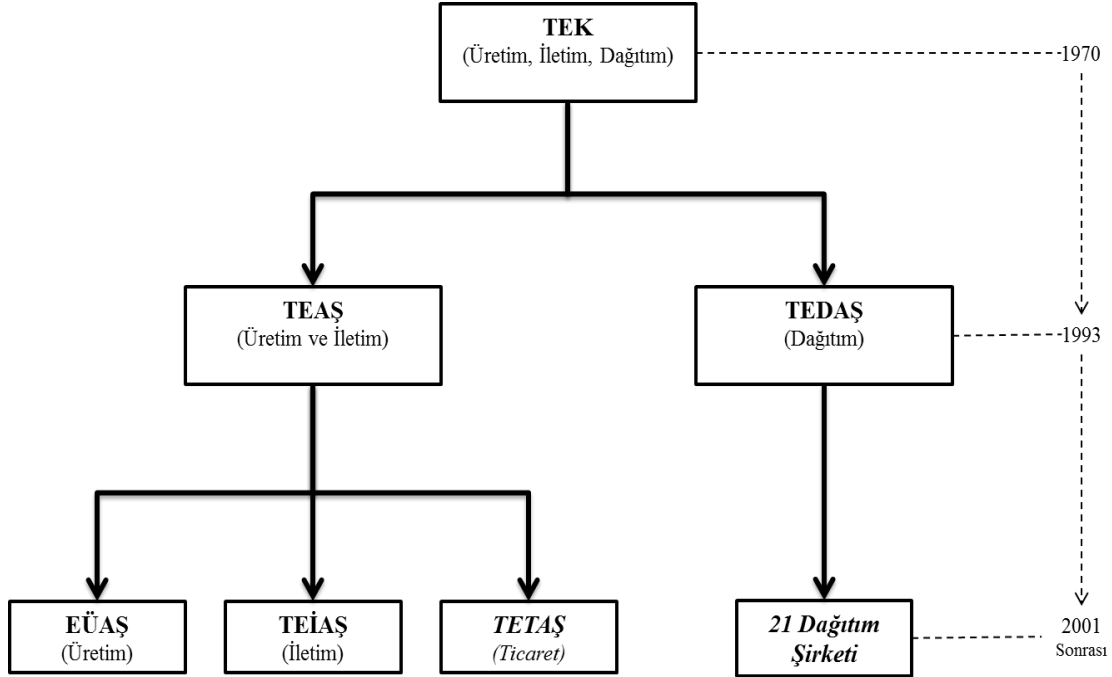


Şekil 1 : Elektrik Enerjisi Piyasaları Serbestleşme Süreci ve Türkiyedeki Gelişmeler

2.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Piyasası

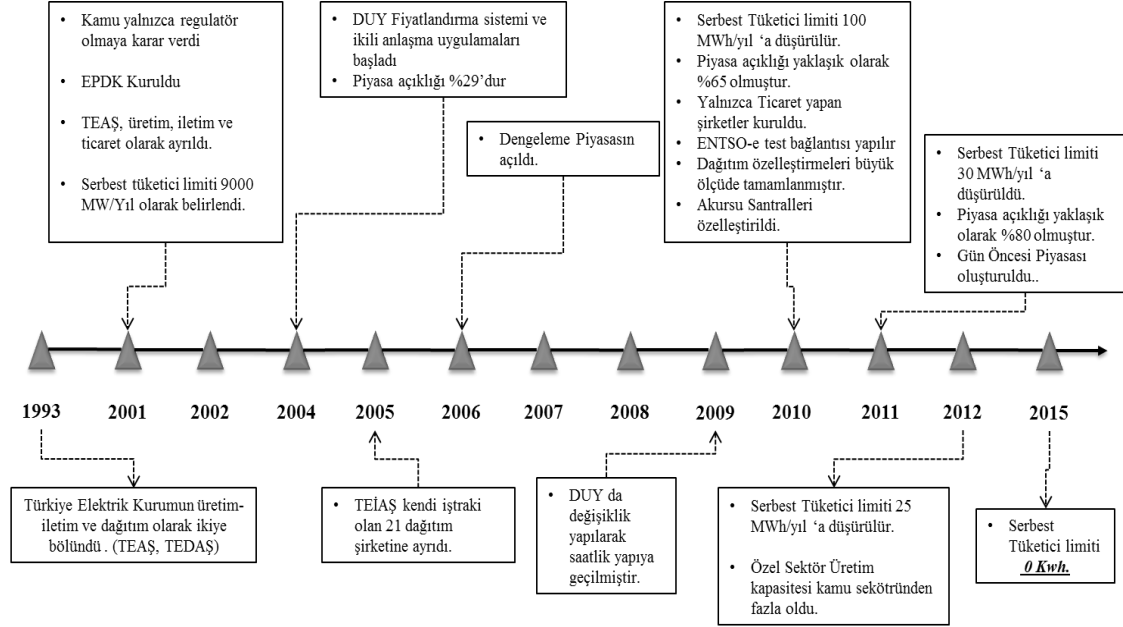
Türkiye'de serbest elektrik piyasasına dair ilk adım üretim, iletim dağıtım birimlerini birlikte yöneten Türkiye Elektrik Kurum'unun (TEK), üretim-iletim ve dağıtım olmak üzere 1993'de ikiye ayrılmasıdır. Elektrik üretim-iletimini için TEAŞ, dağıtımını için ise TEDAŞ kurulmuştur. 2001 yılına kadar bu şekilde yönetilen elektrik piyasasında, TEAŞ

sorumluluğundaki üretim ve iletim bu yılda birbirinden ayrılmıştır. Üretim ve iletimin ayrılması sonucunda Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahüt A.Ş.(TETAŞ) kurulmuştur. Üretim ve iletime ek olarak enerji ticareti içinde ayrı bir kurum olan TETAŞ görevlendirilmiş ve enerji ticareti için ilk lisans bu kuruma verilmiştir. Ayrıca oluşacak yeni piyasa için düzenleyici kurum olarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) kurulmuştur. 2005 yılında ise dağıtım şirketi olarak kurulan TEDAŞ, kendi iştiraki olarak kurduğu 21 şirket ile “İşletme Hakkı Devri (İHD)” sözleşmesi imzalamış ve elektrik dağıtım bölgelere ayrılmıştır [3]. Aşağıdaki şekilde TEK kurumunun yıllar içerisindeki değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2 : Türkiye Elektrik Kurumu'nun Organizasyon Değişikliği

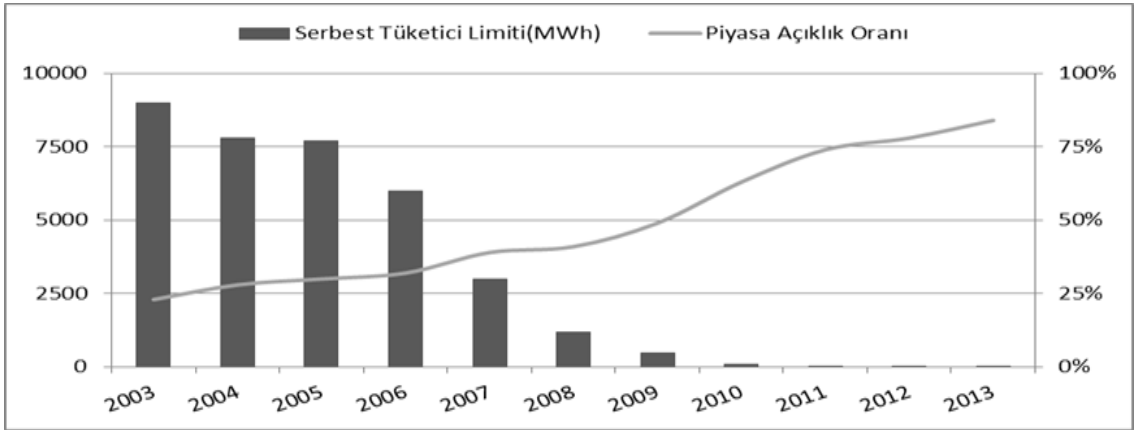
TEK kurumu bünyesinde bulunan üretim,iletim ve dağıtımın 2001 yılında tamamiyle ayrışması ile serbest elektrik piyasasının temelleri atılmıştır. Daha sonraki yıllarda kamunun sadece regülatör görevini üstlenmesi amaç edinilmiş ve EPDK tarafından buna yönelik elektrik üretim, iletim ve dağıtım kurallarını ve standartlarını şekillendiren mevzuatlar çıkarılmıştır. Ayrıca 2001 yılında TEDAŞ'ın, üretim-iletime ek olarak ticaret olarak da ayrılması elektrik ticareti için atılan adımlardan birisidir. 2004 yılında ise "Dengelem ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY)" yayınlanarak iki anlaşmalar ile gerçekleştirilecek elektrik ticaret için mevzuat oluşturulmuştur. 2009 yılında ise DUY'da yapılan değişiklikler ile saatlik yapıya geçilmiştir [4]. Aşağıdaki şekilde Türkiye'de 1993-2015 arası yapılan serbestleşmeye yönelik önemli reformlar gösterilmektedir.



Şekil 3 : Türkiye Elektrik Piyasası Serbestleşme Reformları

TEDAŞ'ın bölünmesiyle kurulan TETAŞ, toptan elektrik ticareti için ilk yetkilendirilen ve lisans verilen kurum olmuştur [5]. Bu doğrultuda 2001 yılında “Serbest Tüketici” sınırı belirlenmiştir. Buna göre yıllık elektrik tüketimi 9 GWs'ten fazla olan tüketiciler toptan elektrik antlaşmaları yapabilme hakkı kazanmıştır. 2001 yılında piyasadaki tüketicilerin %29'u serbest tüketici konumunda bulunmaktadır. [6].

Serbest tüketici limitleri piyasada ikili anlaşmalar ile elektrik ticareti yapabilecek tüketici sayısını belirlemektedir. İdeal bir piyasa için serbest tüketici limiti sıfırdır ve bütün tüketiciler kendi tedarikçilerini seçme hakkına sahiptir. Şekil 3'de görüldüğü gibi Türkiye 2015 yılı itibariyle ile bu limiti kaldırmayı hedeflemiştir. Ancak alt yapı yetersizlikleri nedeniyle 2015 Ocak ayında açıklanan karar ile bu limiti yıllık 4000 KWs'e çekilmiştir [7]. Aşağıdaki grafikte yıllara göre serbest tüketici limitinin değişimi ve piyasa açıklık oranı görülmektedir.



Şekil 4 : Serbest Tüketici Limiti ve Piyasa Açıklık Oranının Yıllara Göre Değişimi

2001 yılında başlayan piyasa serbestleşme sürecine 2005 yılında dağıtım hizmetlerinin özelleştirilmesi planı da eklenmiştir. 2005 yılında TEİAŞ ilk olarak, kendi iştiraki olarak kurduğu 21 şirket ile “İşletme Hakkı Devri (İHD)” sözleşmesi imzalamış ve sonucunda elektrik dağıtımını bölgelere ayırmıştır [3].

İlerleyen yıllarda her dağıtım bölgesi için ayrı özelleştirme ihaleleri düzenlenmiş olup, 2013 yılında bu özelleştirmeler tamamlanmıştır [8]. Aşağıdaki haritada dağıtım bölgeleri ve sorumlu firmalar gösterilmektedir.



Şekil 5 : Türkiye Dağıtım Bölgeleri ve Sorumlu Firmalar (Deloitte)

2004 yılında yayımlanan “Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmenliği (DUY)” ile TEİAŞ bünyesinde oluşturulan “Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi” (PMUM), DUY hükümleri doğrultusunda, gerçekleşen alım-satımlar ile sözleşmeye bağlanmış miktarlar arasındaki farkları esas alarak, piyasada faaliyet gösteren tüzel kişilerin borçlu ya da alacaklı oldukları tutarları hesaplamak suretiyle, mali uzlaştırma sistemini çalıştırmaktadır [9].

Tek alıcı, tek satıcı modelli piyasadan, serbest ve rekabetçi piyasaya geçiş sürecinde 2009 yılında “Gün Öncesi Planlama” sistemi kurulmuştur. Bu piyasada edinilen tecrübeler dahilinde 2011 yılında serbestleşme yolunda en büyük adım olan “Gün Öncesi Piyasası” kurulmuştur.

PMUM aracılığıyla yapılan dengelemeler ve 2009 da başlayan gün öncesi planlama sistemi gibi yenilikler, 2011 yılında Gün Öncesi Piyasa’sının kurulmasıyla devam etmiştir. 2015 yılında PMUM bünyesindeki yetkiler dahilinde, “Elektrik Piyasaları İşletme Anonim Şirketi” kurulmuş ise Gün İçi Piyasa’sı kurularak günümüz piyasa koşulları oluşturulmuştur. Günümüzde elektrik ticareti gerçekleştirilebilmesi için oluşturulmuş piyasalar aşağıdaki gibidir.

- Gün Öncesi Piyasası
- Dengeleme Piyasası
- Gün İçi Piyasası

2.2.1. Gün Öncesi Piyasası

Gün öncesi piyasasına 2011 itibariyle ile geçilmiştir. Bu piyasa kapsamında bir sonraki güne ait tüketilecek saatlik elektrik enerjisi tahmin verilerini PMUM sistemi aracılığı ile piyasa işletmecisi tarafından paylaşılır ve firmaların GÜP (Gün Öncesi Üretim Planı) değerlerini ve fiyat tekliflerini sisteme girmesiyle değerlendirme yapılır. Her firmaya ait üretim miktarı ve fiyat teklifleri alındıktan sonra, düşük fiyattan yüksek fiyata doğru sıralama yapılır, öngürülen tüketimi karşılayacak en yüksek teklif fiyatı son fiyat olarak kabul edilir. Bu fiyat söz konusu saat için SGÖF (Sistem Gün Öncesi Fiyatı) olarak,

teklifleri kabul edilmiş firmaların GÜP miktarı ise KGÜP (Kesinleşmiş Üretim Planı) olarak duyurulur. Böylece gün öncesi piyasasında gerçek zamanda şebekeye verilecek elektrik enerjisi planlanmaya çalışılır ve sistem üzerindeki ani yük değişiklikleri engellenmeye çalışılır [9].

2.2.2. Dengeleme Piyasası

Bir sonraki gün gerçekleşen tüketim ile KGÜP saatlik değerleri arasında dengesizlik oluşması durumunda, EPIAŞ yük alma veya yük atma tekliflerini değerlendirerek dengesizliği giderilmesini sağlar. Yine benzer şekilde oluşturulan saatlik fiyat SMF (Sistem Marjinal Fiyatı) olarak ilan edilir (Accenture Türkiye, 2013). Gün öncesinden farklı olarak bu piyasada 15 dakika içerisinde çıkış gücü değişimi 10 MW olan katılımcılara ait yedek kapasite alış-satışının gerçekleştiği ve sistem işletmecisi tarafından işletilen organize bir piyasadır [10].

2.2.3. Gün İçi Piyasası

Gün içi piyasası 1 Temmuz 2015 tarihi ile oluşturulmuş, satıcıların ve alıcıların gerçek zamanlı işlem yapmasına imkan veren piyasa şeklidir. Bu şekilde alıcılar ve satıcılar portföylerini dengeleme fırsatı elde edebilmektedir. Gün içi piyasası, gün öncesi piyasanın kapanmasından sonra saat 18:00 de bir sonraki gün için başlamaktadır ve 00:00'a kadar devam etmektedir. Anlık girilen alış ve satış tekliflerinin eşleşmesiyle piyasada işlem gerçekleştirilmektedir. Alıcı ve satıcılar sağlanan arayüz sayesinde tekliflerini girebilir, değiştirebilir ve son teklif durumunu görebilmektedirler. Tekliflerin

önceliği fiyata göre belirlenmekte olup, alım tekliflerinde en yüksek fiyat, satım tekliflerinde en düşük fiyat birinci önceliğe sahiptir.

3. Uygulama

3.1. Problem

Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımının devlet tekelinden çıkararak, özel sektör firmalarına devredilmesi ve serbest piyasa sisteminin oluşturulması elektrik tedarikinde köklü değişikliklere yol açmıştır.

Tek tip fiyatlı ve satıcılı piyasada alıcıların herhangi bir seçim hakkı bulunmaz iken, yeni oluşan sistemde belirli elektrik tüketimi kapasitesine sahip alıcılar kendi üreticilerini seçerek fiyat avantajına sahip olabileceği gibi, tüketim miktarını önceden tahmin ederek piyasa fiyatının altında elektrik enerjisi satın alma hakkına da sahip olabilmektedirler. Aynı şekilde üretim, iletim ve dağıtım firmaları kendi maliyetlerini düşürecek adımlar atarak kârlılık oranlarını artırabilme şansına sahiptirler.

Serbestleşen bu piyasa ile beraber elektrik enerjisinin depolanamaması, daha önce belirtildiği gibi alıcı ve satıcılar için elektrik enerjisi tüketim tahminlerinin önemi artırmıştır. Üreticiler piyasada kalıcı olmak için, alıcılar ise en ucuz ve güvenilir elektrik enerjisini satın almak için doğru planlamalar ve tahminler yapmak zorundadır.

Değişen piyasa koşulları ile birlikte, bu konudaki akademik araştırmalar da değişiklik göstermeye başlamıştır. Özellikle 70'li yıllarda, petrol krizinin de etkisiyle akademik çalışmalar uzun vadeli elektrik enerjisi tüketim tahminlerine yoğunlaşarak, elektrik üretimi kapasite planması ve güvenli ve sürdürülebilir elektrik tedariki ile ilgilenirken,

2000'li yıllardan sonra daha kısa periyotlar için elektrik tüketim tahminleri konusundaki çalışmaların sayısı artmıştır. Tawfiq ve Ibrahim [11], 1999 yılındaki çalışmalarında uzun dönemli elektrik enerjisi tüketim tahmini için yapay sinir ağı metodu ile otoregresif hareketli ortalamalar metodunu kullanmışlardır. Yapay sinir ağı metodunun uzun vadeli tahmin için daha uygun olduğu öne sürülmüştür. Conejo vd. [12] bir sonraki güne ait talep tahmini için zaman serileri, yapay sinir ağları ve dalga dönüşüm metodlarını incelemiştir. Kısa vadeli periyotlar için yapılan talep tahminlerinde zaman serilerinin daha güvenilir tahminler verdiği sonucuna ulaşmıştır. Çalışmaların birçoğunda ortak olarak regresyon analizleri, zaman serileri, Box Jenkins modellemesi, ekonomik modeller, sinir ağı modelleri, karınca koloni algoritması, genetik algoritmalar ve birçok çeşitli metodlar kullanılmıştır. Erdoğan [13], Türkiye için yaptığı çalışmada ise otoregresif hareketli ortalama metodu ile 2004 yılını baz alarak 2005-2014 yılları için elektrik tüketimindeki yıllık değişimleri tahmin etmeye çalışmıştır. Ayrıca Taylor [14], otoregresif hareketli ortalama metodu ile yarım saatlik tüketim verisi için günlük ve haftalık dönem etkilerini incelemiştir. Wilson [15], yaptığı çalışmada ise Box-Jenkins metodu ile bir günlük tatilin saatlik elektrik talebine olan etkisini modellemiştir. Çalışmada tatil periyotları bir önceki ve bir sonraki normal tüketim periyotları ile interpolate edilerek normalleştirilmiştir.

Dyner ve Larsen [16] ise farklı olarak strateji karar metodlarının tahmin metodları üzerindeki etkisini incelemiş ve doğru karar mekanizmaları oluşturmak için planlamaya ek olarak, risk yönetimi, oyun teorisi ve simulasyon tekniklerini önermişlerdir. Ayrıca sıcaklık elektrik talebini etkileyen bir diğer faktördür. Sailor [17] 2001 yılında yaptığı

çalışmada, sıcaklık ile elektrik yükü arasındaki ilişkiyi, linear regresyon metodu ile açıklamaya çalışmıştır. Model ile aylık kişi başına düşen tüketimi tahmin ederek, sıcaklık değişiminin etkisini yıllık periyotta incelemiştir. Çalışmanın sonucuna göre, sıcaklık ve iklim değişikliklerinin, kişi başına düşen elektrik tüketimini önemli oranda etkilediği belirtilmektedir. Mirasgedis vd. [18], paralel olarak çoklu regresyon metodu ile günlük ve aylık modeller oluşturmuştur. Elektrik enerjisi talebini, iklim koşulları ve periyodik özellikler dahilinde incelemiştir. Elektrik enerji talebinin günlük sıcaklıktan etkilendiğini ve bağıl nem oranının talep üzerinde etkili olan bir diğer faktör olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bu çalışmada elektrik enerjisi tüketimi zaman serisi olarak incelenecek ve genel model oluşturulacaktır. Zaman serisi olarak modellenen elektrik enerjisi tüketimindeki olağandışı terimler ele alınarak, fiziksel parametlerin tüketim üzerindeki etkisi açıklanmaya çalışılacaktır.

3.2. Zaman Serileri

Zaman serileri, zamanın belirli periyotlarında bir değişken için ölçülen ya da gözlemlenen verilerin bütünüdür [19]. Zaman serisi analiz metodları ise bu serileri incelenmesine ve modellenmesini sağlayan metodlardır. Hareketli ortalama metodları, en küçük kareler yöntemi, lineer regresyon analizleri ve daha bir çok yöntem zaman seri analizlerinde kullanılmaktadır.

Günlük sıcaklık verileri, yıllık büyüme oranı, nüfus değişimleri gibi çok çeşitli değişkenlerden zaman serileri oluşturulabileceğinden, ekonomik tahminler, talep tahminleri, sinyal sistemleri gibi birçok farklı alanda zaman serisi analiz metodları kullanılmaktadır. Bu analizlerin sonucunda değişkene ait karakteristik özellikler açıklanabildiği gibi geleceğe yönelik tahmin modelleri de geliştirilmektedir.

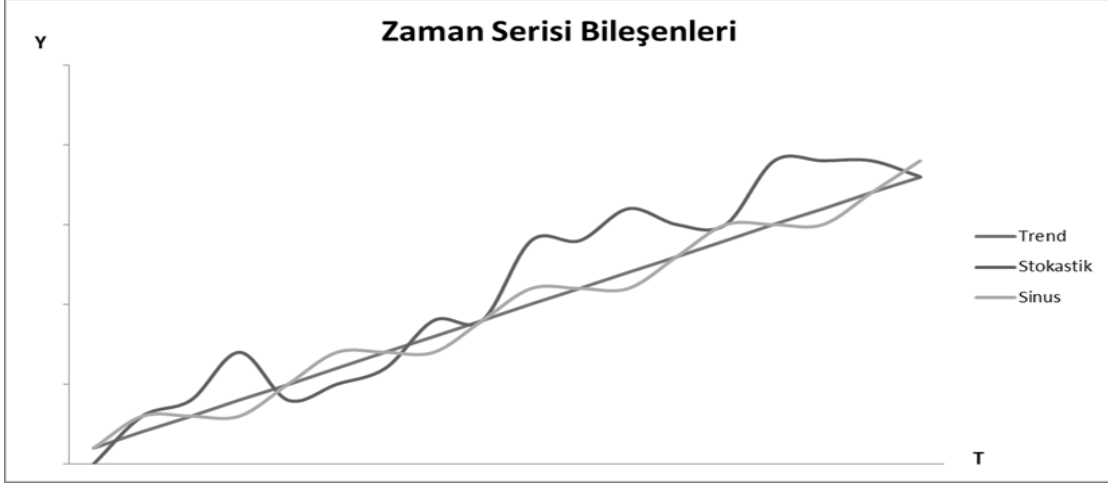
Zaman serilerinde zaman periyodu (T) eşit aralıklardan oluşabileceği gibi (T=1,2,3...N), sürekli de (T>0) olabilir. Zaman boyutuna yardımcı olması amacıyla bazı durumlarda değişkenler frekans boyutunda incelenebilir. Örneğin sinyal analizleri genel olarak frekans boyutunda yapılır.

Zaman serilerinde bir diğer konu ise “*Durağanlık*” durumudur. Stokastik süreçlerin durağan ve durağan olmayan olarak ayrılması serinin istatistiksel olarak açıklanmasıyla ilgilidir. Yani bir serinin ortalaması ve varyansı (Denklem 3.1) zaman içerisinde değişmiyor ise bu seri durağandır. Tam tersi durum ise durağan olmayan serilerdir.

Özet olarak zaman serilerinin kullanılması sonucunda bir değişkene ait değerler grafiğe dökülerek, değişkenin nasıl hareket ettiği incelenebilir ve çeşitli metodlar kullanılarak geleceğe yönelik tahmin modelleri geliştirilebilir.

$$1. \quad \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \quad \text{Var}(X) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(X_i - \mu)^2}{N} \quad (3.1)$$

Bir zaman serisine aşağıdaki şekilde gösterileceği gibi trend, stokastik ve trigonometrik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlere ait Y_t değişkeni denklem 3.2'deki gibi bileşenlerin toplamı ile ifade edilebileceği gibi çarpımı olarak da ifade edilebilir.



şekil 6 : Zaman Serilerine ait Bileşenler

$$Y_t = T_t + S_t + Z_t \quad \& \quad Y_t = T_t S_t Z_t \quad (3.2)$$

Bu denklemlerde T trend bileşenini, S periyodik bileşeni ve Z stokastik bileşeni göstermektedir. Serinin trend bileşenine sahip olması zaman serilerinde durağan olmamanın bir nedenidir. Bu nedenle mevcut zaman serisini durağan hale dnuştrmek için trend veya periyodik etkilerden arındırılması gerekmektedir.

Çalışmamızda elektrik enerjisi tüketimi “Lineer Regresyon” ve “Fourier Serileri” yöntemleri kullanılarak modellenecek olup, bu metodlar incelenecektir.

3.2.1. Lineer Regresyon

Regresyon istatistiğin en önemli konularından birisidir ve matematik, finans, mühendislik vb. birçok alanda farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. İki değişken arasında bir ilişki olup olmadığını ve varsa bu ilişkinin derecesini ölçmeye imkan tanır.

Regresyon analizini uygulayabilmek için değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel yapısı saçılım grafikleri aracılığıyla elde edilmelidir. Doğrusal ilişki gösteren değişkenler için doğrusal regresyon denklemi 3.3'de gösterilmiştir. Bu denklemde Y değişkeni X değişkenine bağlı, X değişkeni ise bağımsız değişkendir. B katsayısı ise Y değişkenine ait değişimlerin ne kadarının X değişkeni ile açıklabildiğini göstermekte olup, C ise Y değişkenine ait açıklanamayan karakteristik değişim miktarıdır.

$$Y_t = BX_t + C \quad (3.3)$$

B ve C katsayılarının bulunması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. En küçük kareler yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntem dahilinde B ve C katsayıları 3.4 ve 3.5 numaralı denklemler ile elde edilir.

$$B = \frac{\sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sum(X_t - \bar{X})^2} \quad (3.4)$$

$$C = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (3.5)$$

Gerçek bağımlı değişken değerleri ile tahmin edilen değerler arasındaki hata oranları benzer ise bu yöntem sayesinde iki değişken arasındaki ilişki güvenilir oranda elde edilebilir. Ancak hata oranları çok çeşitli ise yani normal dağılmıyor ise en küçük kareler yöntemi iyi sonuç vermeyebilir. Bu nedenle modele ait belirlilik katsayısı bulunur ve modelin güvenilirliği ölçülmeye çalışılır. Belirlilik katsayısı R ile gösterilir ve denklem 3.6'daki gibi ifade edilir. Burada her tahmin edilen y değerinin gerçek Y değerinden ne kadar saptığı ölçülür.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_t - Y_i)^2}{\sum(Y_t - \bar{Y})^2} \quad (3.6)$$

Bu denklem ile $0 \leq R^2 \leq 1$ olarak elde edilir. R^2 değerinin 1'e yaklaşması, modelin bağımlı değişkene ait değişimin yüksek oranda bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğini gösterir.

Ayrıca basit lineer regresyona karşılık, bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken ile açıklanabildiği durumlar da olabilir. Bu durumlar için "Çoklu Lineer Regresyon Modeli" kullanılır. Bu model 3.7 numaralı denklem ile ifade edilir.

$$Y = B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \dots + B_0 \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki parametreler için de yine en küçük kareler yöntemi kullanılabilir. Terim sayısı arttığından matris işlem özellikleri kullanılarak denklemler aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{nn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} B_0 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (3.9)$$

3.2.2. Fourier Analizi

Fourier metodu, bir zaman serisinin bileşenlerinin belirli frekanslarda trigonometrik ya da üssel fonksiyonlar ile ifade edilmesidir. Genel olarak iki çeşit Fourier açılımı vardır;

- Fourier Serileri : Eğer zaman serisi periyodik ve sürekli ise, bu zaman serisi trigonometrik ve üssel fonksiyonların toplamı olarak belirli frekanslarda ayrık bir fonksiyon olarak ifade edilebilir.
- Fourier Dönüşümleri: Zaman serisinin periyodik olması gerekmez. Zaman serisi trigonometrik ve üssel fonksiyonlar toplamı ile sürekli bir fonksiyon olarak ifade edilebilir

Fourier analizinde uygulanacak yöntem, değişkene ait fonksiyonun periyodiklik ve süreklilik durumlarına göre değişmektedir. Tablo 1 de fonksiyon özelliğine göre uygulanabilecek Fourier analiz teknikleri belirtilmiştir. Fourier analizi ile genel denklemlerin kosinüs ve sinüs trigonometrik denklemleri ile ifade edilmesini sağladığı için çok önemlidir. Analizlerde farklı denklem çeşitleri üzerinde çalışmak yerine sürekli olarak trigonometrik fonksiyonlar üzerinde çalışmak kolaylık sağlamaktadır.

Tablo 1 : Fonksiyon Özelliklerine göre Fourier Dönüşüm Çeşitleri

Zaman Boyutu	Fourier Dönüşüm Çeşidi	Frekans Boyutu
$X(t)$ Sürekli- Düzensiz	Fourier Dönüşümü	$\hat{X}(f)$ Sürekli-Düzensiz
$X(t)$ Sürekli- Periyodik	Fourier Serisi	$\hat{X}(f)$ Ayırık-Düzensiz
$X(t)$ Ayırık- Düzensiz	Ayırık Zamanlı Fourier Dönüşümü	$\hat{X}(f)$ Sürekli-Periyodik
$X(t)$ Ayırık- Periyodik	Ayırık Fourier Dönüşümü (FFT)	$\hat{X}(f)$ Ayırık-Periyodik

Zamana bağlı değişkene ait fonksiyon $f(t)$ ve bu fonksiyon $0 \leq t \leq T$ aralığında periyodik ise Fourier trigonometrik seri denklemi olarak aşağıdaki denklem kullanılmaktadır. Periyodik olan fonksiyonlar için herhangi bir nokta başlangıç noktası olarak seçilebilir. Yani periyodu T olan bir denklem için Fourier modellemesi $-T/2 \leq t \leq T/2$ veya $T \leq t \leq 2T$ aralığında uygulanabilir. Periyodik ve sürekli bir fonksiyonun $0 \leq t \leq T$ aralığına ait Fourier açılım denklemi ile trigonometrik fonksiyonların toplamı olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2\pi n}{T} t + b_n \sin \frac{2\pi n}{T} t \right) \quad (3.10)$$

Yukardaki tabloda belirtildiği gibi Fourier serisi açılımı sürekli ve periyodik fonksiyonlar için tanımlıdır. Periyodik olmayan fonksiyonlar için diğer Fourier teknikleri kullanılmakta olup, çalışmamızda sadece Fourier serisi açılımı üzerinde durulacaktır.

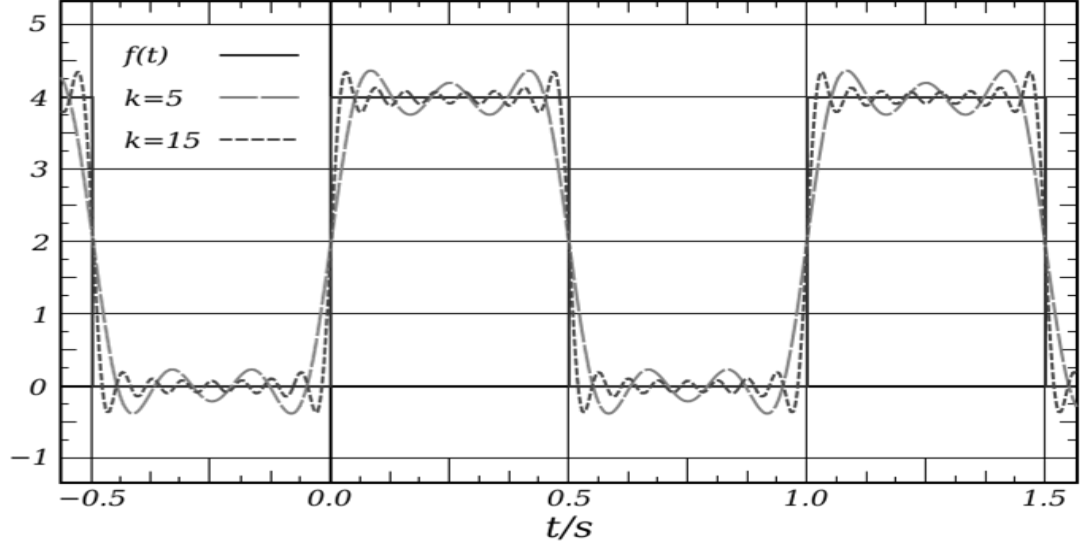
Denklemdaki a ve b katsayıları Fourier katsayıları olup yine aynı periyot $0 \leq t \leq T$ için aşağıdaki denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (3.11)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) dt \quad (3.12)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T} nt\right) dt \quad (3.13)$$

Bu katsayılar dahilinde oluşturulan ve her bir n değerine karşılık gelen denklemler, asıl denkleme ait “*Harmonikler*” olarak adlandırılır. Her bir harmonik seviyesinin eklenmesi ile oluşturulan model gerçek seriye daha benzer bir hale gelir. Örnek olarak aşağıda şekilde gösterilen kare dalga incelendiğinde beşinci harmonik seviyesine kadar oluşturulmuş modelin, onbeşinci harmonik seviyesine göre kadar oluşturulmuş modele göre daha az benzerlik gösterdiği fark edilmektedir.



Şekil 7 : Fourier Serisi ile Kare Dalganın Modellenmesi (Kaynak: en.wikibooks.org/)

Harmonikler kısaca periyodik fonksiyona ait daha küçük periyotlarda kendilerini tekrar eden kısımların incelenmesine imkan sağlar. Örneğin T periyotlu fonksiyona ait ikinci harmonik ($n=2$) $T/2$ periyotlu fonksiyonudur.

3.3. Veri ve Model

3.3.1. Veri Toplanması ve Düzenlenmesi

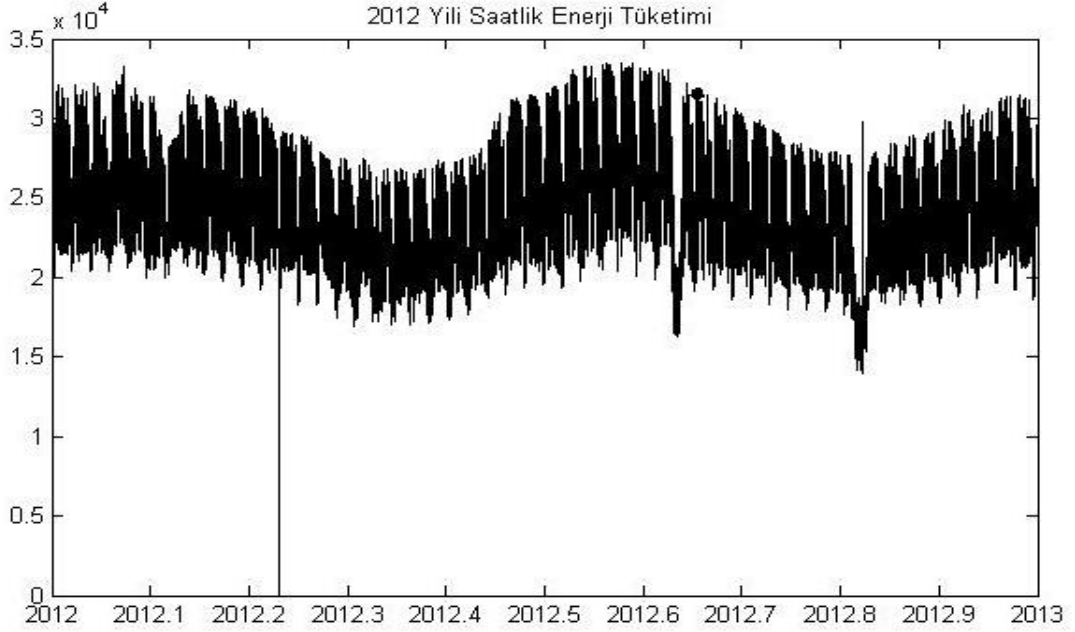
EPIAŞ sitesinden elde edilen veriler 2011 Aralık ayından başlamakta olup, bütün Türkiye'ye ait saatlik tüketim değerlerini içermektedir. Elektrik tüketim verilerinde tüketim tipi bakımından bir ayırım belirtilmemiştir. Veri setinde aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır.

- Öngörülen Saatlik Tüketim Tahminleri
- İkili Antlaşma ile Gerçekleşen Tüketim Bilgileri
- Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı (KGÜP)
- Fiyat Bilgileri

Çalışma için 2012, 2013, 2014 yıllarına ait bütün saatlik veriler indirilmiş ve düzenlenmiştir. Bütün veriler grafiğe döküldüğünde yıllık periyotlar açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Fonksiyonumuzun periyodunu bir yıl olarak alacağımızdan dolayı ilk olarak 2012 yılı verileri kullanılmıştır. Saatlik elektrik enerjisi miktarı verilerinde benzer hareketler olduğu için KGÜP değerleri saatlik tüketim verisi olarak alınmıştır. 2012 yılına ait veri seti MATLAB programına aktarılarak, tarih ve saat bilgisi birinci sütunda ve tüketim bilgisi ikinci sütunda olacak şekilde yeni bir matris oluşturulmuştur.

İlk adımda veri seti üzerinde hiçbir değişiklik yapılmamış ve saatlik değerlerden oluşan veriler olduğu gibi grafiğe aktarılmıştır. Şekil 8' de 2012 yılına ait EPIAŞ sisteminden elde edilen saatlik KGÜP değerleri gösterilmiştir.

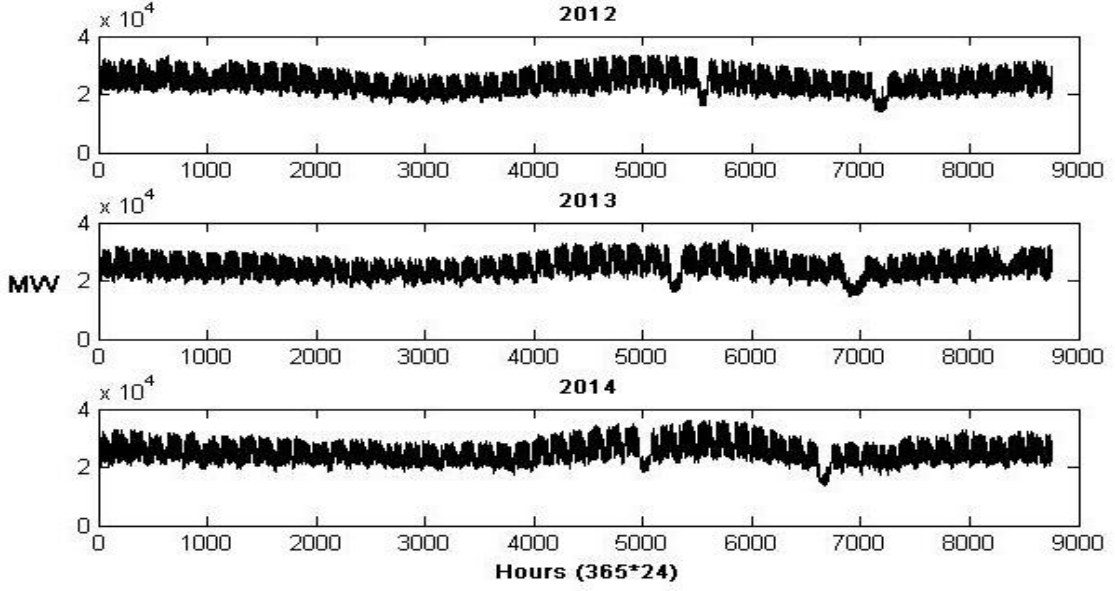
Grafikte ilk dikkatimizi çeken nokta mart ayına rastlayan sıfır değeridir. Bu noktaya ait tarih incelendiğinde, bu değer oluştuğu noktada yaz saati uygulamasının başlangıcı nedeniyle saatlerin bir saat ileriye alındığı görülmektedir. Saatlerin bu noktada ileri alınması nedeniyle belirtilen saat için tüketim değeri oluşmamıştır.



Şekil 8 : 2012 Yılına ait Tüketim Grafiği

Benzer bir durum da yine saatlerin bir saat ileriye alındığı kış saati başlangıç tarihi 28 Ekim 2012'de oluşmaktadır. Bu saate ait tüketim miktarı bir önceki satın yaklaşık iki katıdır. Ancak bu tarihteki değişim diğerine göre daha az olduğundan grafik üzerinden gözlemlenememektedir. Yine grafik yakından incelendiğinde yılın ilk günlerine ait tüketim değerinin az olduğu görülmektedir. Bir çok üretim tesisinin bu dönemde tatil olması düşük tüketimin bir sebebi olabilir. Bunlar bize ön incelemenin dikkatli yapılması gerektiğini göstermektedir.

İkinci aşamada ise bu saat değişikliğinden kaynaklanan değerler bir önceki ve bir sonraki, saatlik değerler ile interpolasyon yapılarak değiştirilmiştir. Yeni oluşturulan grafik aşağıdaki gibi olup, değiştirilen mart ayı değeri açıkça fark edilebilmektedir.



Şekil 9 : 2012 – 2013 – 2014 Yıllarına ait Düzenlenmiş Tüketim Grafiği

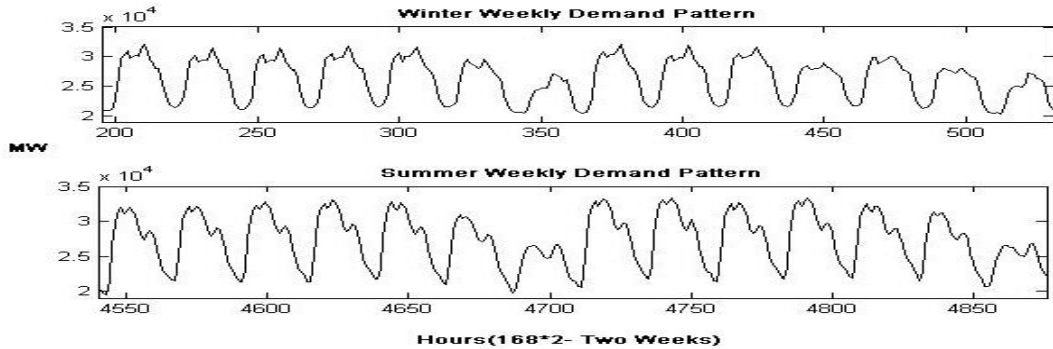
Şekil 9’ daki yeni grafiği incelediğimizde dikkatimizi çeken bir değer nokta ise belirtilen yılların sonlarına doğru oluşan iki az tüketim görülen bölgedir. Tarihler karşılaştırıldığında bunların o yılın dini bayram dönemlerine karşılık gelen tüketim değerleri olduğu anlaşılmıştır. Bu dönemlere ait tüketim değerleri değiştirilmemiş olup ayrıca incelenecektir.

Veri setini yakından incelediğimizde haftalık tüketim değerlerindeki değişiklikler açıkça görülmektedir. Şekil 10’da görüldüğü gibi hafta içi ve haftasonu tüketim değerleri ve tipi arasında dikkate değer bir fark vardır. Haftasonlarında gün içi pik tüketim öğleden sonra

iken bu durum hafta içinde sabah saatlerindedir. Bunun nedeni insanların hafta içi ve haftasonu farklı aktivitelerde bulunmasıdır. Hafta içi tüketim öğle yemeği molası, vardiya değişimleri genel çalışma saatleri gibi aktivitelerden etkilenirken, haftasonu için birçok farklı sebep ele alınabilir.

Haftalık tüketim değişimleri yakından incelediğinde ayrıca mevsimsel etkiler de fark edilebilmektedir. Sıcaklık etkisi ile oluşan bu farklı tüketim seviyeleri, bizi mevsimsel değişikliklerin tüketimi doğrudan etkilediği sonucuna ulaştırmaktadır.

Yine aynı şekilde hafta içi ve haftasonu günlerine ait tüketim değerlerindeki farklılık ve bir güne karşılık gelen tüketim eğrisindeki gece gündüz tüketim değişimi, hane tüketimi ve sanayi tüketiminin ne kadar farklı olduğu hakkında kabaca bir bilgi vermektedir. Bu nedenle tatil dönemi tüketim değerleri hane tüketim değerini hesaplamak için kullanılacaktır. Mevsimsel etki sonucunda hem gece gündüz farkı hem de genel tüketim miktarları arasındaki fark artmaktadır. Modellemeyi zorlaştıran önemli noktalardan birisi bu değişimlerdir.

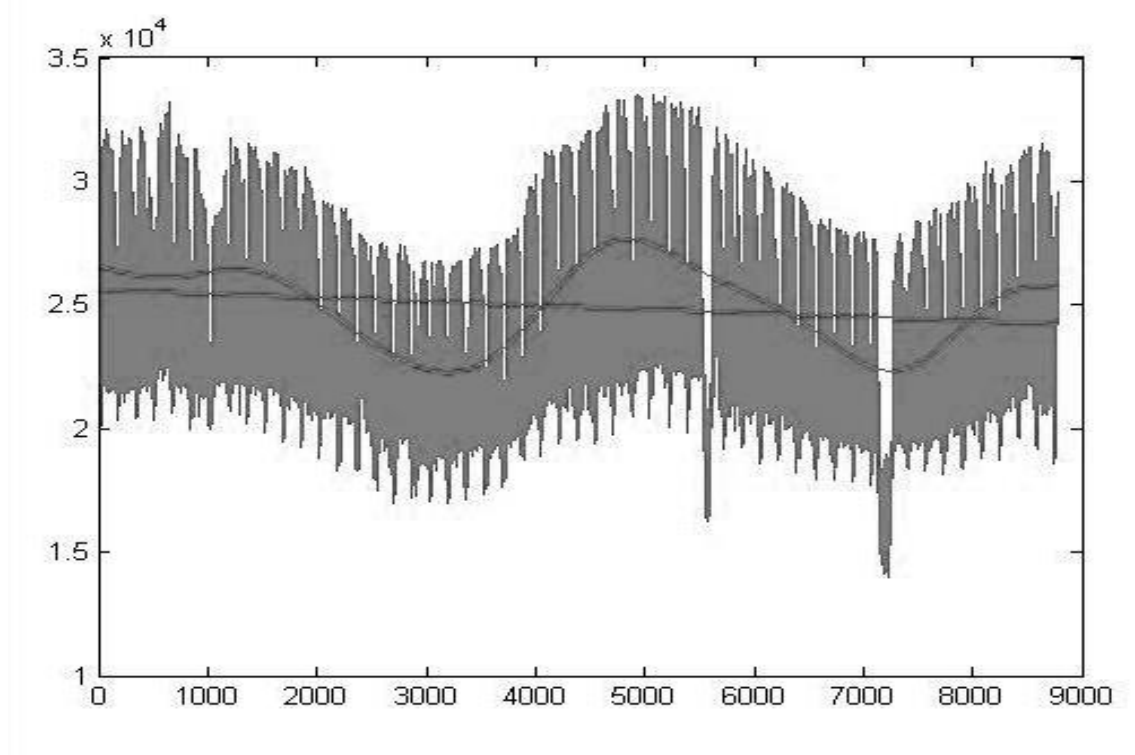


Şekil 10 : Saatlik Tüketim Datası Yaz-Kış Dönemi Haftalık Tüketim Örneği

3.3.2. Periyodik Değişimlerin Modellenmesi

Veri üzerindeki düzenlemeler ile aykırı terimlerin temizlenmesinden sonra ilk olarak tüketim trendini temsil edecek terimler için lineer regresyon kullanılmış ancak bunun modele ciddi bir katkısının olmadığı görülmüştür. Bu sebep, verinin bir yıllık olmasından dolayıdır.

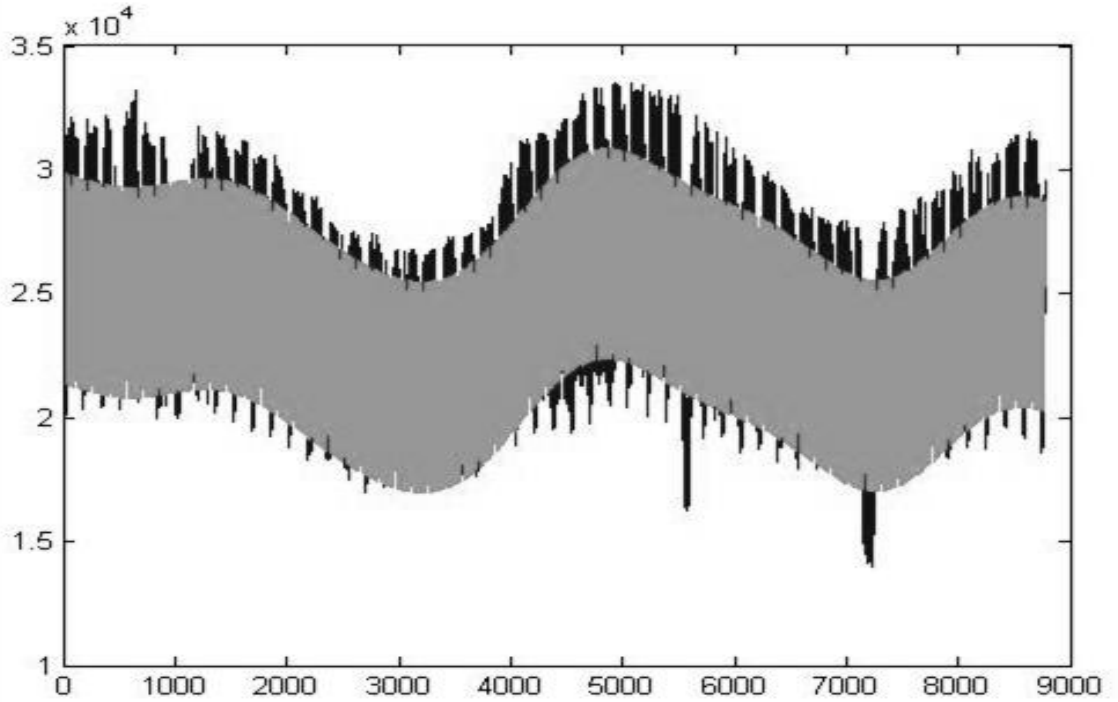
Bir sonraki aşamada lineer regresyonla modellenmiş eğriye, Fourier denklemi ile elde edilen yıllık harmonik eklenmiştir. Aşağıdaki şekilde görüleceği üzere yıllık harmonik eklenmiş modelin daha önce bahsettiğimiz mevsimsel tüketim değişimini takip ettiği görülmektedir.



Şekil 11 : Lineer Regresyon - Yıllık Harmonik Eklenmiş Model ve Tüketim Grafiği

Üçüncü aşamada ise modele 24 saatlik periyoda ait harmonikler eklenmiştir. Bu işlem sonucunda oluşan model şekil 12’de görüldüğü gibi gerçeğe daha yakındır ancak aşağıda belirtilen eksiklikler tespit edilmiştir. Modelin bu aşamasındaki sorunlar ;

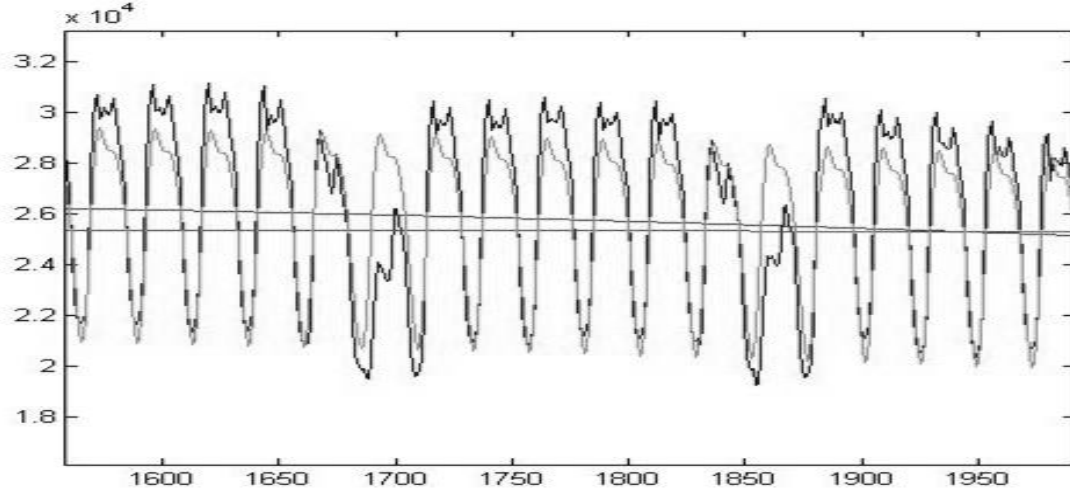
- i) Yaz ve kış aylarında modelin genliği sabittir ve gerçek tüketim verisindeki genlik değişikliklerini takip edememektedir. Yaz mevsimine denk gelen dönemde model ile veri arasında fark olduğu görülmektedir. Genel olarak oluşturulan yeni modelin tüketim değerlerindeki artı yönlü hareketleri yakalayamadığı söylenebilir.



Şekil 12 : Günlük Harmonik Eklenmiş Model

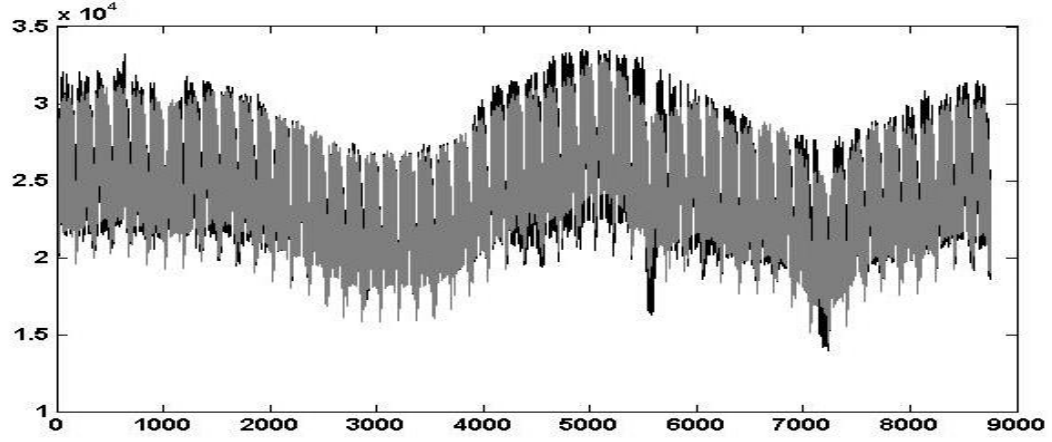
ii) Diğer bir sorun ise haftasonu etkisinin ihmal edilmiş olmasıdır.

Aşağıdaki haftalık tüketim örneğinde görüldüğü gibi, model ile veri setinde hafta sonlarına denk gelen tüketim değerleri farklıdır.



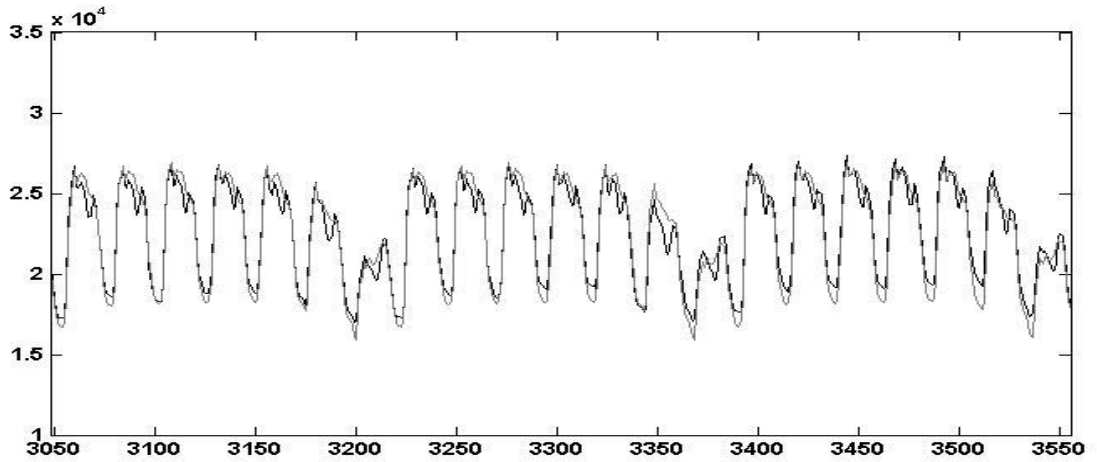
Şekil 13 : Haftalık Tüketim Örneği ve Model

Haftasonu etkisinin dikkate alınması ve var olan farkı azaltmak için haftalık periyodik değişimin harmonikleri modele eklenmiştir. Sonucunda sadece takvim bilgisi ile tüketim serisinin modellenmesi tamamlanmıştır. Başka hiç bir parametreyi ele almadan oluşturulan model ortalama %4.62 hata oranı ile gerçek seriye uyum sağlamıştır. Bahar aylarında modelin gerçek seriye daha yakın olduğu, hata oranının yaz ve kış aylarındaki tüketim artışından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 14 : Yıllık-Haftalık-Günlük Harmonikler ile Modelleme

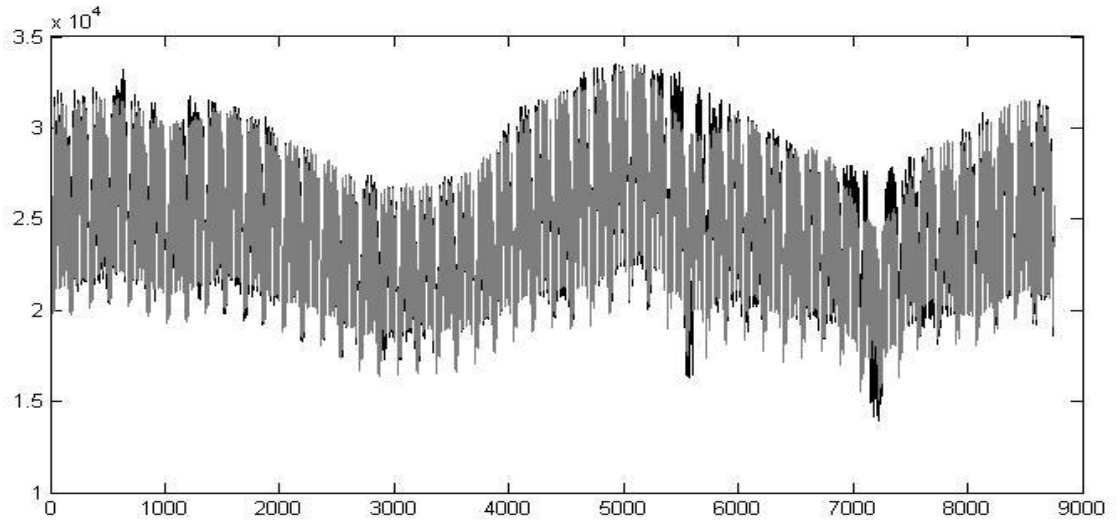
Haftalık harmoniklerin eklenmesiyle oluşan modeli yakından incelediğimizde de gerçek seriyi yakından takip ettiğini görebiliriz. Bir önceki aşamada sadece yıllık harmonik ve günlük harmonik ile oluşturulan modele göre, hafta sonlarındaki tüketim değerlerinde düşüş de artık modelimiz tarafından takip edilebilmektedir.



Şekil 15 : Haftalık Tüketim Örneği ve Haftalık Harmonik Eklenmiş Model

Takvim periyotları dahilinde oluşturulmuş model ile elde edilen %4.6'lık hataya rağmen bu aşamada modelimizin en büyük eksiği farklı mevsimlerdeki farklı genlikleri takip edememesidir. Yaptığımız model yaz ve kış aylarındaki sıcaklığa bağlı tüketim artış dönemlerinde genliği sabit olarak modellemektedir. Şekil 14'ü incelediğimiz bu durum açıkça görülmekte olup, yaz aylarındaki gece gündüz tüketim farkının artması bu dönemdeki genliğin diğer dönemlere göre fazla olmasına neden olmaktadır.

Bu sorunu gidermek için yıllık harmoniklerin ile günlük harmoniklerin çarpımı modülasyon regressörleri olarak modele eklenmiştir. Bu sayede mevsimsel genlik değişimleri takip edilmeye çalışılmıştır. Şekil 16'da modülasyon ile genliği değiştirilmiş model gösterilmiştir. Özellikle yaz aylarındaki genlik artışlarında modelin hata oranında iyileşmeler elde edilmiştir. Eklenen modülasyon sonucunda modelimizin ortalama hata oranı %3.95'e düşmüştür.



Şekil 16 : Tüketim ve Modülasyon Eklenmiş Model

Bu aşamaya kadar modelimiz periyodik harmonikler ve bu harmoniklere bağlı modülasyon regresörleriyle oluşturulmuştur. Matematiksel olarak modelimizi ifade edersek, ilk öncelikle kullanılan regresörler ve modele ait eşitlik aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$X_i = \text{Yıllık Harmonikler} \quad \rightarrow \quad X = [X_1 \quad \dots \quad X_{12}] \quad (3.14)$$

$$Y_i = \text{Günlük Harmonikler} \quad \rightarrow \quad Y = [Y_1 \quad \dots \quad Y_{11}] \quad (3.15)$$

$$Z_i = \text{Haftalık Harmonikler} \quad \rightarrow \quad Z = [Z_1 \quad \dots \quad Z_{23}] \quad (3.16)$$

$$U_{ij}^k = [X_i^k \quad Y_j^k] \quad \rightarrow \text{Modülasyon Denklemleri} \quad (3.17)$$

Matris haline getirilen regresörler tek bir F matrisi olarak gruplandırılır ve zaman serisine ait değişken değerlerini içeren matris (S) ile, katsayı vektörü a ve model m aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F = [X_i \quad Y_i \quad Z_i \quad T_i \quad X_i \times Y_i] \quad (3.18)$$

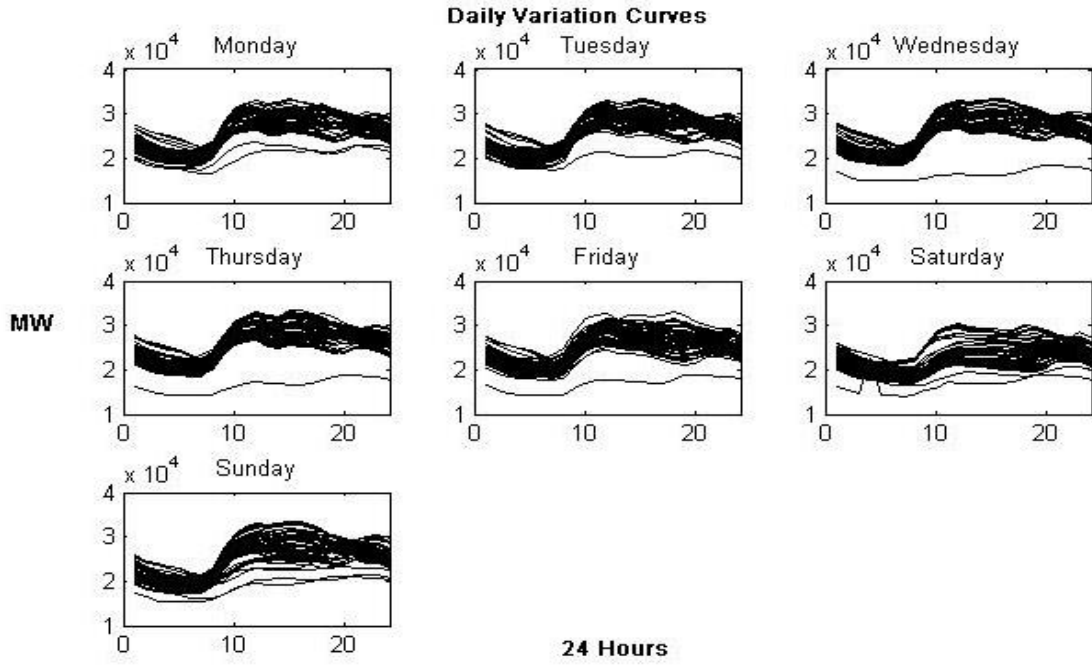
$$a = (F^t \times F)^{-1} \times F^t \times S \quad (3.19)$$

$$m = F \times a \quad (3.20)$$

Model hata oranını ölçmek için model değerleri ile gerçek değerler arasındaki fark hesaplanmıştır. Oluşturulan model 96 periyodik ve 160 modülasyon regresörü içermektedir. Regresör sayısı modelin gerçeğe yakınlığı açısından önemlidir ancak gereğinden fazla regressor eklenmemesi konusunda dikkatli olmak gerekmektedir.

3.3.3. Olağan Dışı Terimlerin İncelenmesi

Olağan dışı terimlerin incelenmesi için ilk olarak her güne ait tüketim eğrileri günlük bazda şekil 17 gösterildiği gibi grafiğe aktarılmıştır. Pazar günü haricinde genel olarak diğer günlerin tüketim eğrilerinin birbirine benzediği söylenebilir. Cumartesi günü tüketim eğrisi hafta için günlere ait tüketim eğrilerine benzemektedir ancak daha düşük genliktedir.



Şekil 17 : Günlük Tüketim Eğrileri

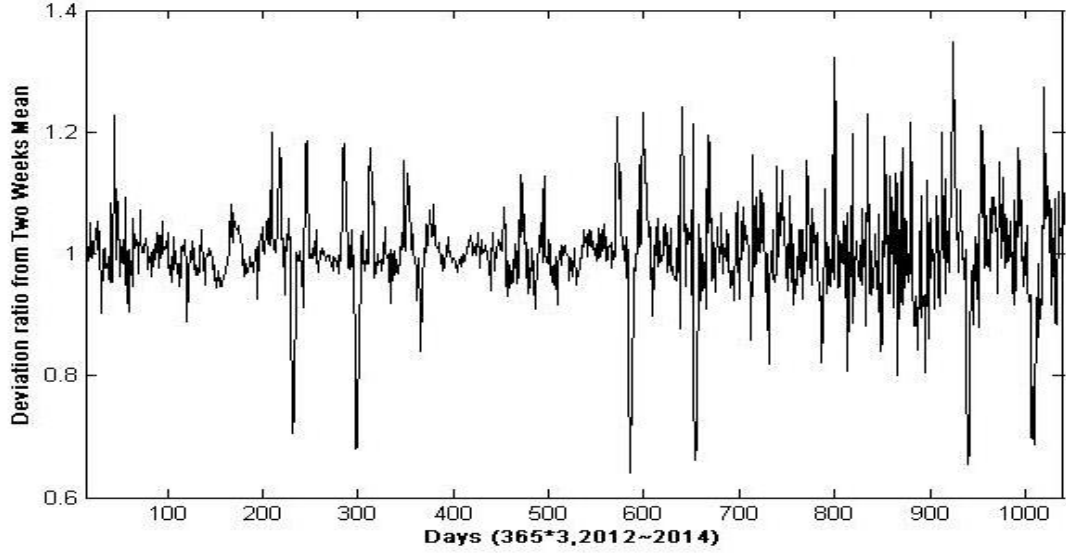
Bu şekilde dikkatimizi çeken bir diğer nokta ise çok düşük tüketim değerlerine sahip olan günlerdir. Bu günler incelendiğinde genel olarak iki dini bayram dönemine ait tatillere denk gelmektedir. Bu olağandışı günler hane tüketim değeri için referans olarak düşünülebilir, çünkü bu günlerde bir çok üretim tesisi çalışmalarına ara vermektedirler.

Ayrıca grafikte görüldüğü gibi Cuma ve Cumartesi günlerine ait en yüksek tüketime ait eğri diğer tüketim eğrilerinde ayrılmaktadır. Bugünleri incelediğimizde tüketim değerlerinin 2012 yılı Temmuz ayına denk geldiği görülmektedir. O haftaya ait sıcak verilerini incelediğimizde son yılların en sıcak döneminin yaşandığı görülmektedir.

Gece ve gündüz tüketimlerindeki değişikliklerde çalışma saatlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Kesin olmamakla beraber bir çok üretim tesisinin iki vardiya çalıştığı düşünüldür ise gece yarısında sonraki tüketim düşüklüğü ve hafta içi saat 8:00 itibariyle tüketim miktarında başlayan artış da bu şekilde açıklanabilir.

Daha önce belirtildiği gibi grafiklerdeki en düşük tüketim eğrilerinin oluştuğu günler genel olarak dini bayram dönemlerinde gerçekleşmiş olup, bugünlere ait tüketim değerleri hane tüketime ulaşabilmemiz için güvenilir bir referanstır. Bu veriden yararlanarak hane halkı tüketimini hesaplamak için, öncelikle toplam günlük tüketimler 3 yıllık periyot için hesaplanmıştır. Daha sonra her güne ait tüketim değeri kendisinden önceki ve sonraki ikişer haftadaki aynı güne ait günlük tüketim değerlerin ortalamasına oranlanmıştır. Örnek olarak, 36'ncı haftaya ait Salı gününün tüketim değerindeki değişim miktarını hesaplamak için 34, 35, 37 ve 38'inci haftalardaki Salı günlerine ait tüketim değerlerinin ortalaması referans alınmıştır. Bu şekilde veri seti kaydırılarak 2012-2014 yılları için günlük tüketim sapmaları hesaplanmış ve Şekil 18'de

gösterilmiştir.



Şekil 18 : İki Hafta Önceki ve Sonraki Tüketimlere Göre Günlük Değişimler

Grafikte açıkça görüldüğü gibi 3 yıllık periyotta 6 güne ait tüketim değişimi çok fazla olup, bu günlere ait tüketimler dini bayram dönemlerine aittir. Bu günlerdeki elektrik tüketimi önceki ve sonraki haftalara göre 2012,2013 ve 2014 yıllarında sırasıyla %30, %35 ve %33 azalmıştır. Bu sonuçlar Türkiye'ye ait sanayi ve evsel elektrik enerjisi tüketim dağılımı hakkında fikir vermektedir. Sanayi ve evsel tüketimin değişmesinde bir çok neden olabilir.

Grafikte ayrıca 2014 yılına ait günlük sapma miktarlarının diğer yıllara göre çok fazla olduğudur. Ancak bu konuda elimizde güvenilir veriler olmadığı için ve 2014 Yerel seçimleri, milli maç günleri vb. bir çok farklı dış etkenin bu değişime yol açabileceği için yorum yapmamız doğru olmaz.

3.3.4. Fiziksel Parametrelere ait Değişimler

Elektrik tüketim grafiğinde daha öncede belirttiğimiz gibi mevsimsel etkiler açıkça görülmektedir. Yazın soğutma ve kışın ısıtma amacıyla tüketimin artması, konfor sıcaklığının altındaki ve üstündeki değerler için tüketimin normalden farklı olarak değişebileceğini göstermektedir. Bu nedenle sıcaklık etkisi içinde bir regressör oluşturulup modele eklenecektir.

İdeal olan her il için saatlik sıcak verilerinin elde edilmiş olmasıdır. Ancak hava durumu istasyonları sınırlı olduğu için bütün illere ait saatlik sıcaklık verisine ulaşamamıştır. Elimizdeki mevcut 56 hava durumu istasyona ait verilerden, bazıları veri sayısındaki yetersizlik nedeniyle çıkartılmıştır.

Bir diğer fiziksel parametre olarak nüfus düşünülebilir. Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu illere ait tüketimin fazla olacağı beklenildiğinden sıcaklıkla beraber modele eklenecektir.

Her il için ayrı sıcaklık datası bulunmadığından, illeri gruplandırarak ve nüfus bakımından ağırlandırarak aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Şekil 19'daki Türkiye haritasında birbirine sınır ve aynı renkli şehirlerin sıcakları aynı varsayımı yapılmış ve nüfus olarak şehirlere ait toplam nüfus hesaplanmıştır. Veri güvenilirliği bakımından sadece otuz ile ait data kullanılmış ve Türkiye haritasında sıcaklık datası bulunan otuz ile göre gruplandırma yapılmıştır.



Şekil 19 : Sıcaklık Verilerine göre Gruplandırılmış Türkiye Haritası

T_h^c sıcaklık matrisi olmak üzere, 30 ile ait 8760 (365×24) sıcaklık değerinden oluşturulmuştur. Sıcaklık verisi dahilinde gruplandırılan illere ait nüfus matrisi (P_c) ile ağırlandırılarak, saatlik bazda bütün Türkiye için tek sıcaklık değerinden oluşan matris (W_t) elde edilmiştir.

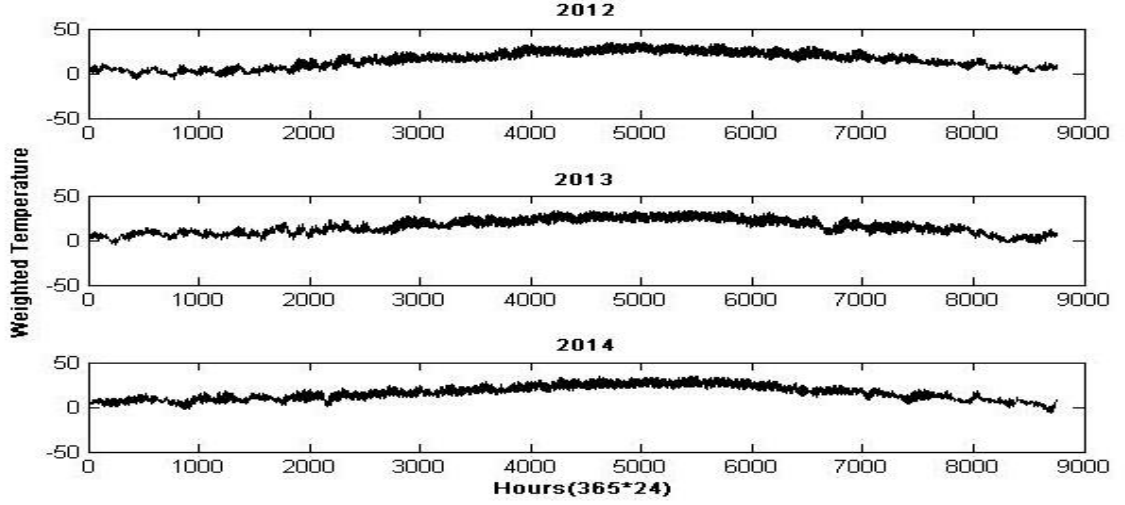
$$T_h^c = \begin{bmatrix} t_1^1 & \dots & t_1^{30} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{8760}^1 & \dots & t_{8760}^{30} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$P_c = \begin{bmatrix} P_1 & \dots & P_{30} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_1 & \dots & P_{30} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$W_t = \frac{(\text{Sum}((T_h^c \times P_c)'))'}{\text{Total Population}} \quad (3.23)$$

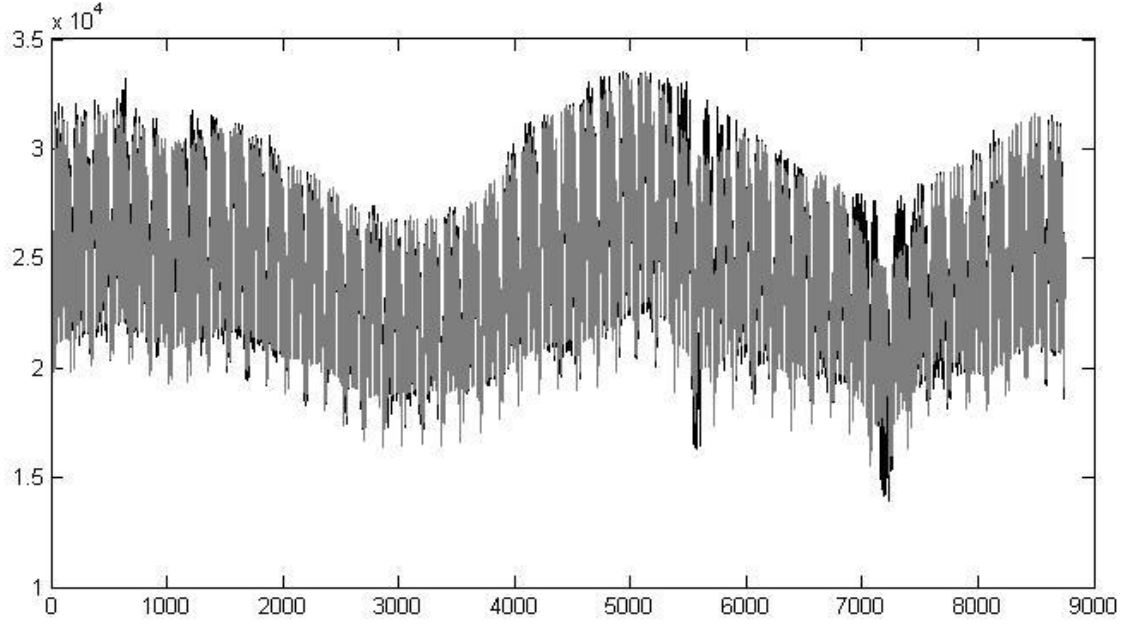
İşlemler sonucunda elde ettiğimiz ağırlıklandırılmış sıcaklık verisi şekil 20'de gösterilmiştir. Oluşan grafiği incelediğimizde yaz aylarına ait sıcaklık etkisinin normale yakın olduğu ancak kış aylarında görmeyi beklediğimiz aşırı soğuk dönemlerin nüfus ile ağırlıklandırmanın etkisiyle azaldığını söyleyebiliriz. Bunun nedeni olarak yoğun

elektrik tüketim bölgelerinde, kış aylarının ortalama sıcaklığının diğer bölgelere göre daha sıcak olduğu gösterilebilir.



Şekil 20 : Nüfus ile Ağırlıklandırılmış Yıllara ait Saatlik Sıcaklık Değerleri

Sıcaklık ve nüfus değerleriyle elde edilmiş ağırlıklandırılmış sıcaklık verisini modele eklemek için bir sonraki aşamada, sıcaklık verisinin konfor sıcaklığından uzaklıklarının mutlak değeri hesaplanmıştır. Böylece sıcaklıktaki sapma değerlerinin etkisinin modele eklenmesi amaçlanmıştır. Konfor sıcaklığı olarak genellikle 22~24 °C arası değerler kabul görmektedir [20]. Bu doğrultuda 23 °C ortam sıcaklığı konfor sıcaklığı olarak kabul edilmiş, sıcaklık değerlerinin sapmaları bu değere göre hesaplanmıştır. Modele bu verinin de eklenmesiyle modelin hata payı sadece yaklaşık olarak %3.94'e düşmüştür. Yeni oluşan modelaş ağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 21 : Sıcaklık Etkisi ile Oluşturulmuş Model

Daha önce oluşturduğumuz periyodik modele ait denkleme sıcaklık verisinin eklenmesiyle oluşan son model aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

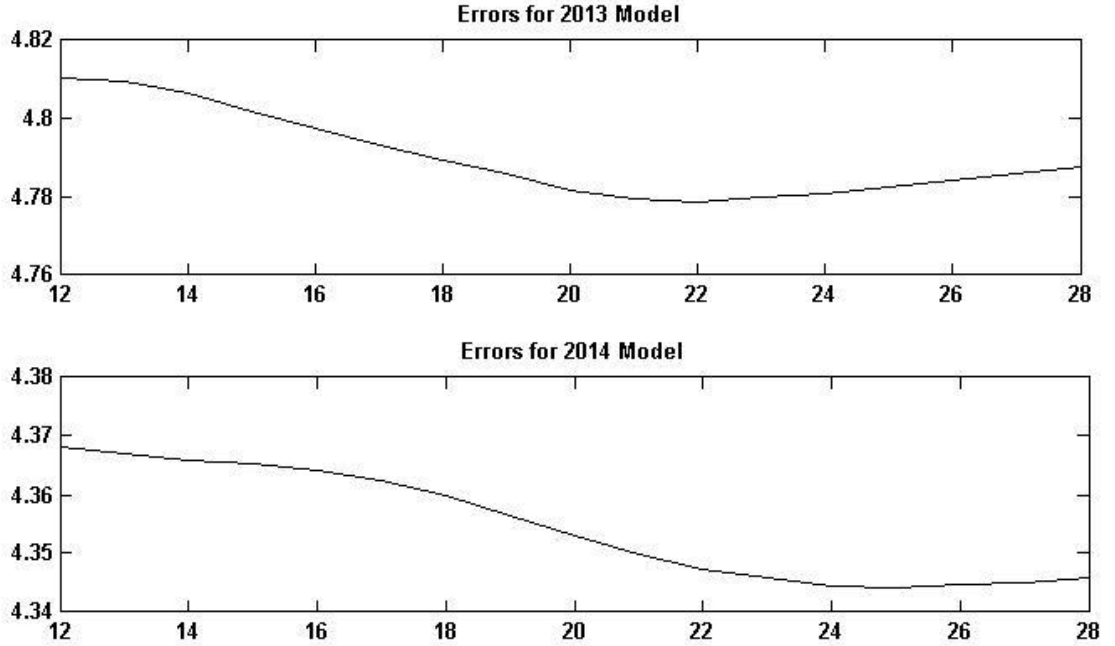
$$F = [X_i \quad Y_i \quad Z_i \quad T_i \quad X_i \times Y_i] \quad (3.24)$$

$$a = (F^t \times F)^{-1} \times F^t \times S \quad (3.25)$$

$$m = F \times a \quad (3.26)$$

Konfor sıcaklığı olarak standard sıcaklık değerinin kullanılmasına rağmen modele ait hata oranı 12 ve 28 °C derece arasındaki bütün değerler için hesaplanmıştır. Şekil 21’de gösterilen 2013 ve 2014 tüketim modellerine ait hata eğrilerinde, en düşük hata oranı standard konfor sıcaklığına paralel olarak, 23~24 °C derecelerde elde edilmiştir. Bu sonuç modelimizin tutarlılığını desteklemektedir.

Bu sonuçtan, sıcaklık ve nüfusun genel elektrik tüketimine, sanayi tüketimine oranla daha az etkilediği varsayımı yapılabilir. Ancak genel tüketim grafiği üzerinde gözlemlenebilen mevsimsellik etkisi nedeniyle bu varsayım çok doğru değildir. Bu nedenle sıcaklık ve nüfus etkisinin az çıkmasını nedeni olarak, halihazırda modelimizin periyodik harmonikleri içermesini gösterebiliriz. Çünkü sıcaklık da periyodik değişimlerin içerisinde olduğundan, eklenen periyodik harmoniklerin sıcaklık etkisini modele yansıttığını söyleyebiliriz.



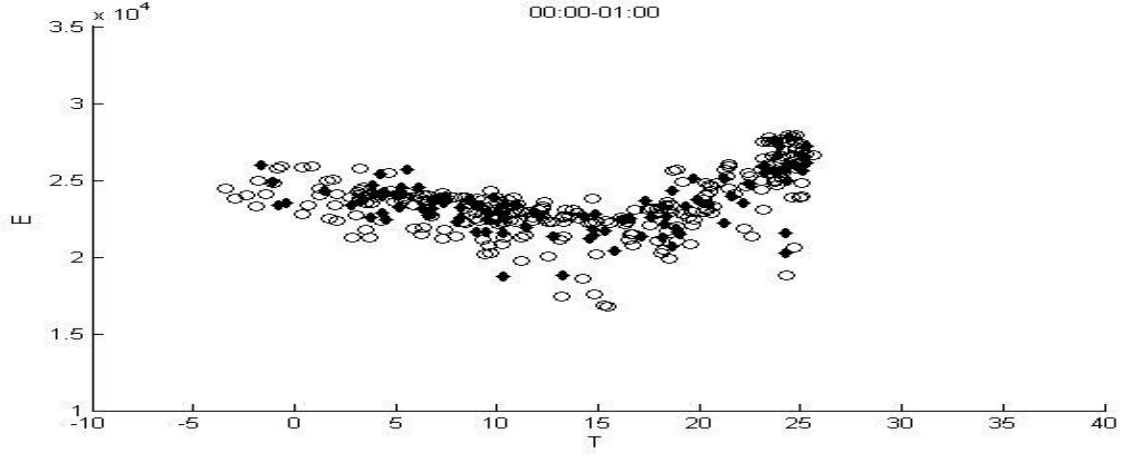
Şekil 22 : 2013 ve 2014 Modelleri Hata Oranının Ort. Sıcaklıkla Değişimi

Sıcaklık verisinin tüketim üzerinde etkili olduğunu anlamak için tüketim-sıcaklık nokta grafikleri çizdirilerek saatlik bazda sıcaklık etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Aynı saat dilimlerinde sıcaklıkla beraber tüketimdeki artışlar ve azalışlar her bir saat için incelenmiştir.

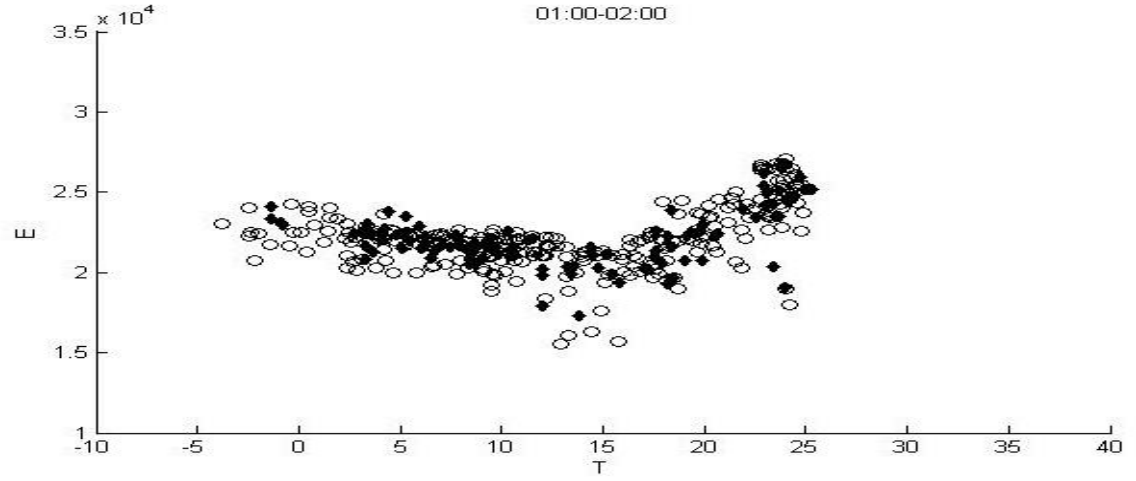
Saat dilimlerini incelediğimizde farklı sonuçlar ve alışkanlıklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle grafiklerde haftasonu ve hafta içi tüketim değerleri ayrı olarak incelediğinde hane tüketimi ve sanayi tüketimine ait özellikler açıkça fark edilebilmektedir.

Bütün grafiklerde ilk dikkatimizi çeken çok düşük tüketim değerleridir. Yine bu saatleri incelediğimizde, bu değerlerin resmi ve dini tatillerde oluştuğu görülmektedir. Grafiklerde koyu renkler haftasonuna ait tüketimleri gösterirken, açık renkler hafta içi tüketim değerlerini göstermektedir.

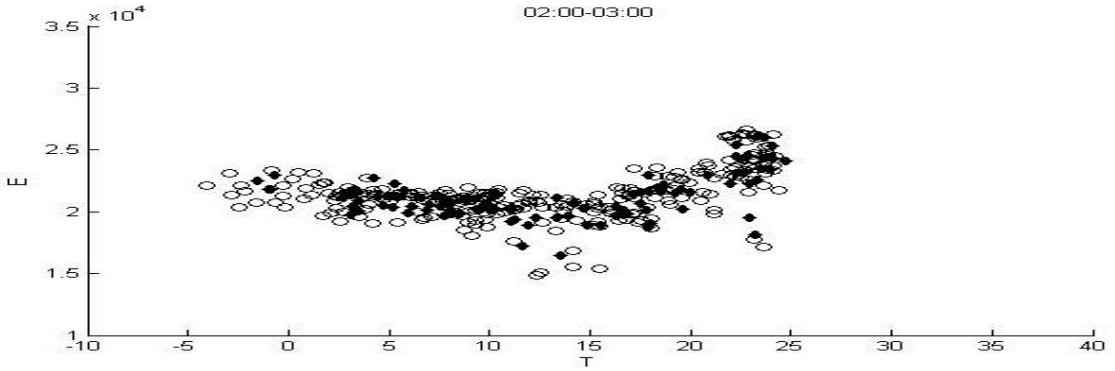
Genel olarak ardışık saatler benzer tüketim eğrisine sahip olduğundan belirli gruplar dahilinde inceleme yaparsak, 00:00-06:00 saatleri arasındaki hafta içi ve haftasonu tüketim değerlerinin büyük oranda benzer olduğunu söyleyebiliriz. Bu duruma sebep olarak bu saatlerde bir çok insanın uykuda olması, kamusal alanların ve bir çok sanayi tesisinin kapalı olması nedenleri gösterilebilir. İlginç olan nokta ise sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde, düşük olduğu dönemlere göre saatlik tüketim değerlerinin daha fazla olmasıdır. Bunun nedeni olarak, insanların uykuda yaz döneminde soğutma sistemleri için harcadığı elektrik enerjisinin, kış döneminde ısıtma sistemleri için harcanan elektrik enerjisinden daha fazla olduğu varsayımı yapılabilir. Yani insanlar konfor sıcaklığının üstündeki değerlere daha fazla tepki vermektedirler.



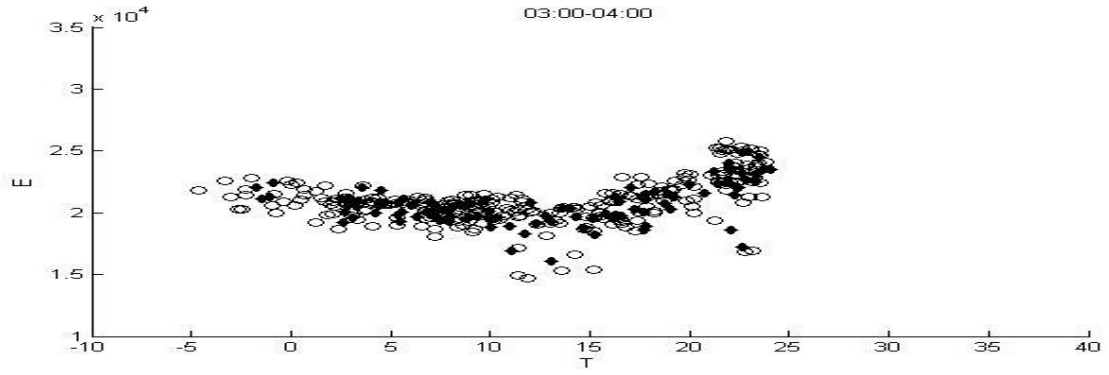
Şekil 23 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 00:00-01:00



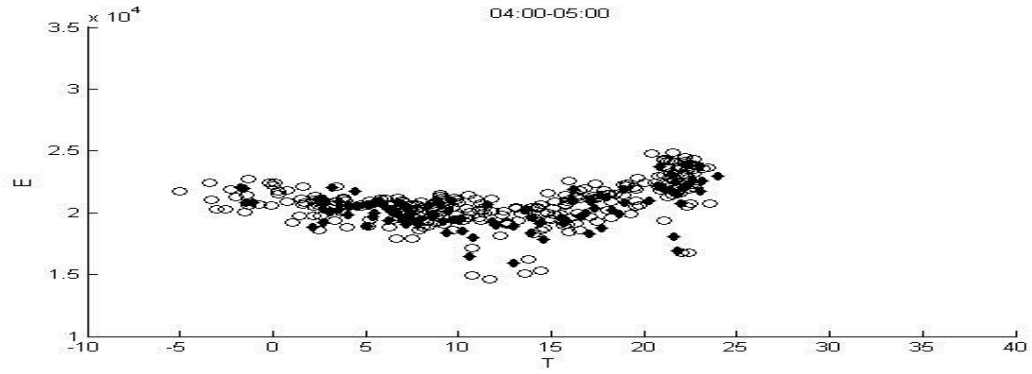
Şekil 24 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 01:00-02:00



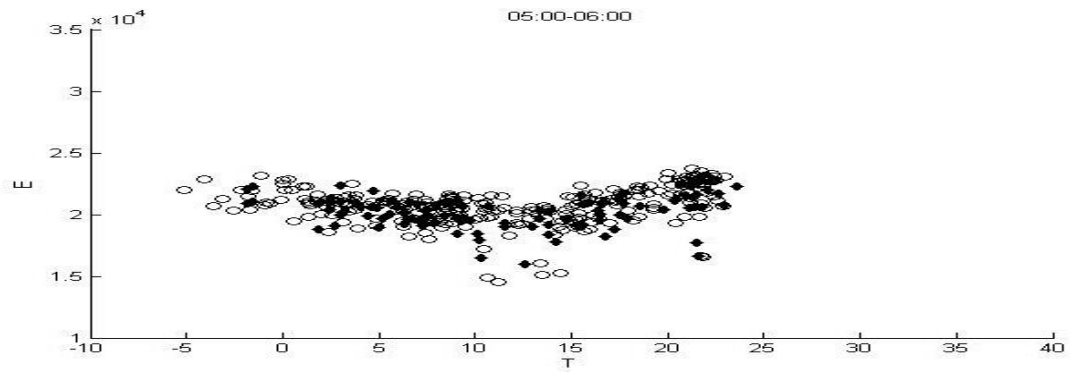
Şekil 25 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 02:00-03:00



Şekil 26 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 03:00-04:00

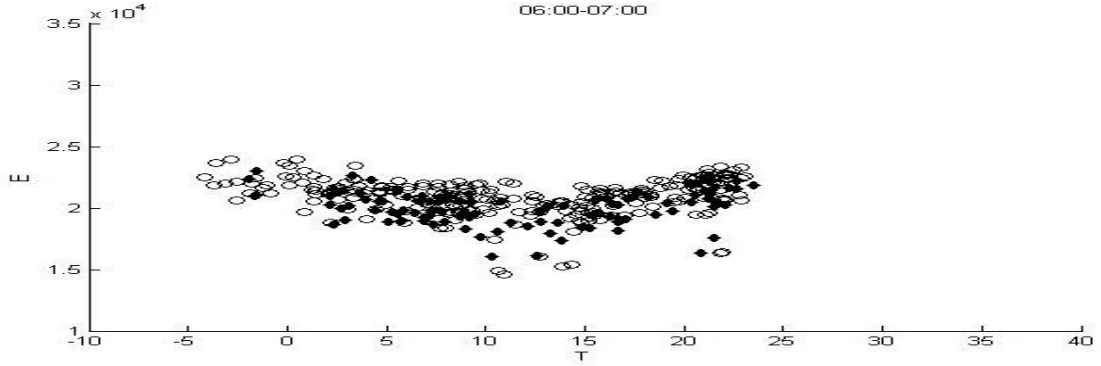


Şekil 27 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 04:00-05:00

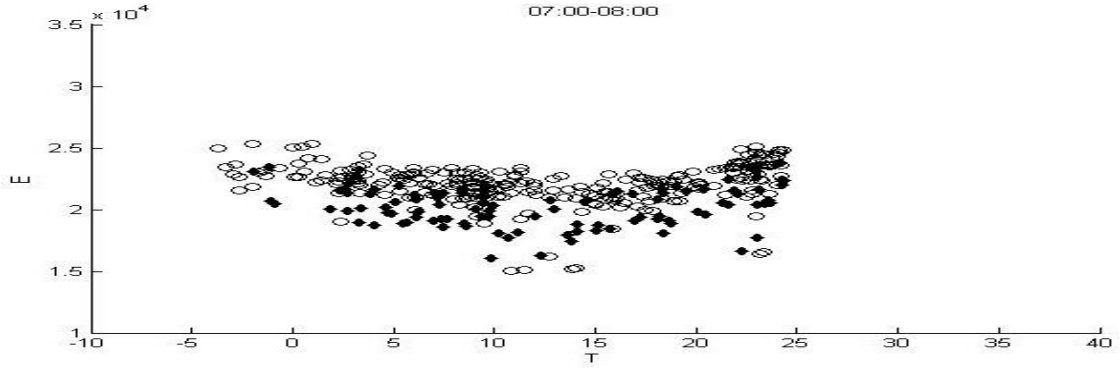


Şekil 28 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 05:00-06:00

Saat 06:00-08:00 arası tüketimleri incelediğimizde ise hafta içi ve haftasonu değerlerinin belirgin olmasa da farklılaşmaya başladığını belirtebiliriz. Bu saatlerde genel olarak insanların günlük aktivitelerine başlaması ve kamu ve özel sektördeki farklı mesai saatleri nedeniyle hafta içi tüketim değerleri, haftasonu değerlerine göre artmaya başlamıştır.



Şekil 29 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 06:00-07:00

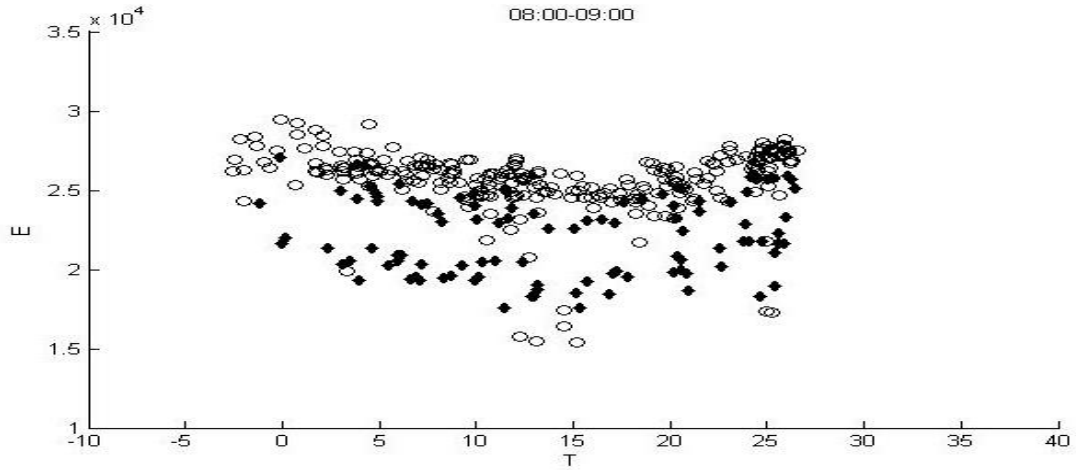


Şekil 30 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 07:00-08:00

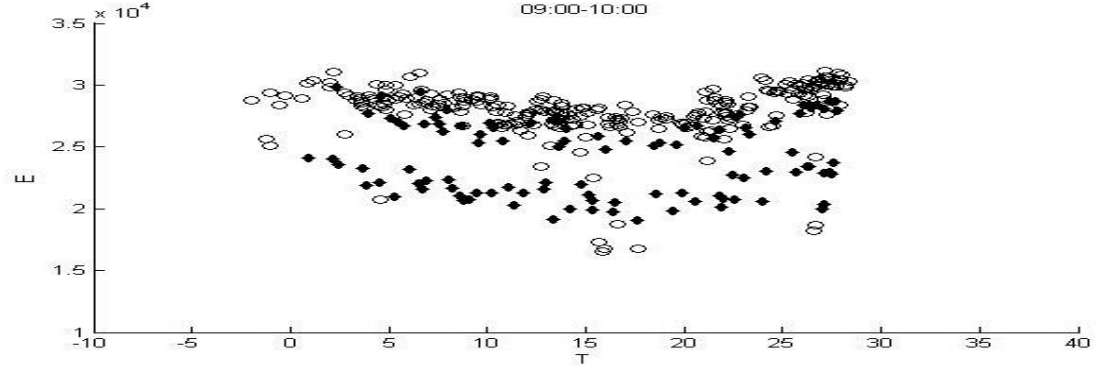
Saat 08:00-18:00 arası incelediğinde artık açık bir şekilde haftasonu ve hafta içi tüketim değerlerinde farklılık görülmektedir. Burada dikkatimizi çeken önemli bir nokta yine

aşırı sıcak ve aşırı soğuk dönemlerde oluşan yüksek tüketim değerleridir. Gece saatlerinde insanların daha çok konfor sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda elektrik tüketimleri artar iken, gün içi tüketim değerlerini incelediğimizde konfor sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda da tüketimlerin benzer şekilde arttığı görülmektedir. Yazın oluşan elektrik tüketimine bir çok turizm tesisinin tam kapasite ile çalışması ve ayrıca tarım alanlarının sulaması gibi çeşitli nedenlerin etkisi olduğu söylenebilir.

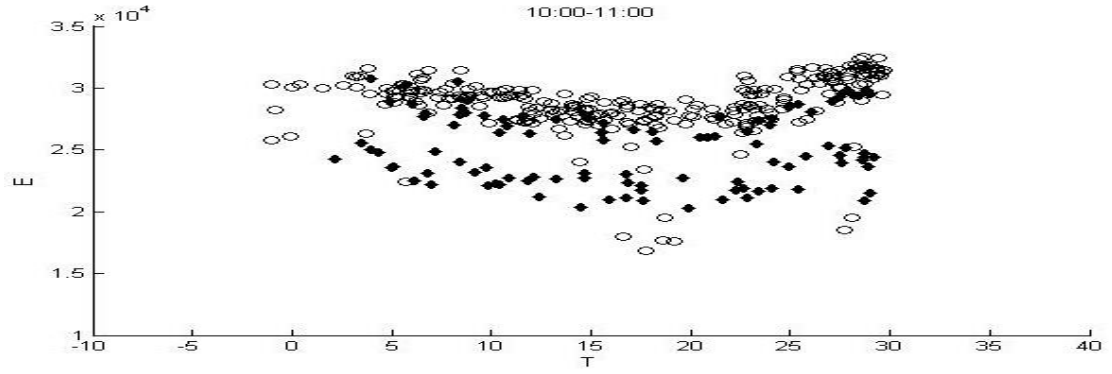
Bir diğer dikkat çeken nokta ise haftasonu tüketim değerlerinin kabaca iki farklı eğri oluşturmasıdır. Genel olarak bu duruma sebebin Pazar günlerine ait tüketim eğrisinin Cumartesi günü tüketim eğrisinden farklı olması gösterilebilir. Cumartesi ve Pazar günler her ne kadar haftasonu olarak ele alınsa da Cumartesi günü bazı sanayi tesislerinin çalışması, daha fazla kamusal ortak alanın kullanılması tüketimi doğrudan etkilemektedir.



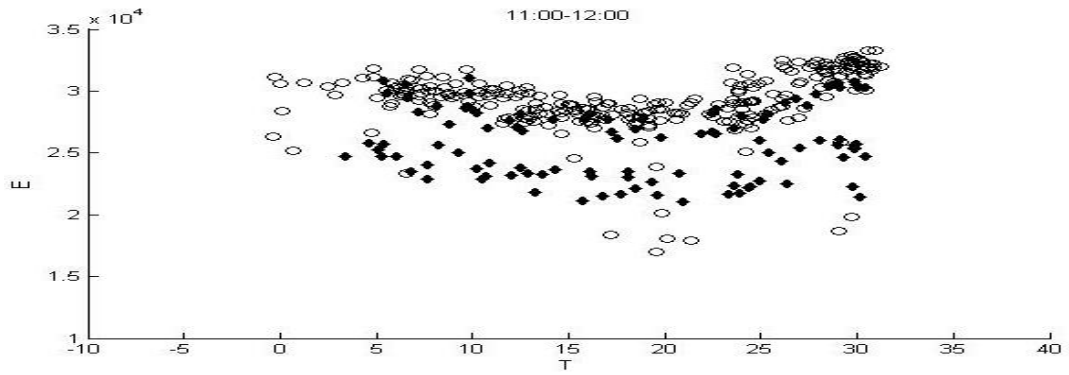
Şekil 31 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 08:00-09:00



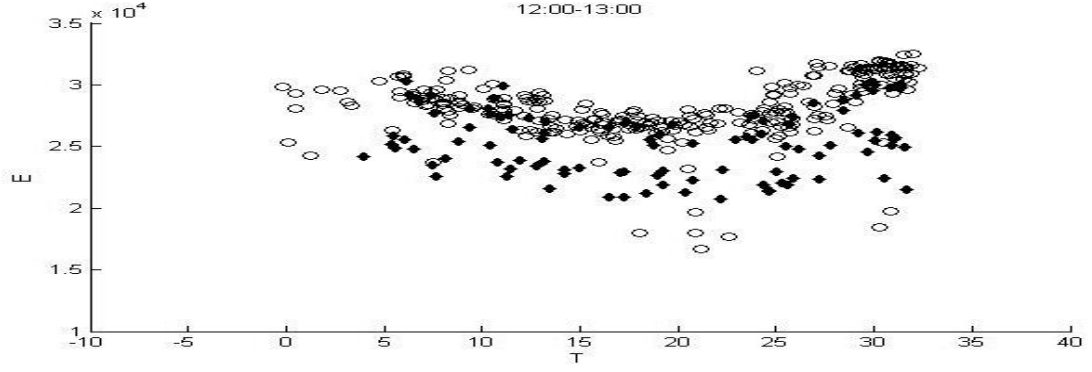
Şekil 32 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 09:00-10:00



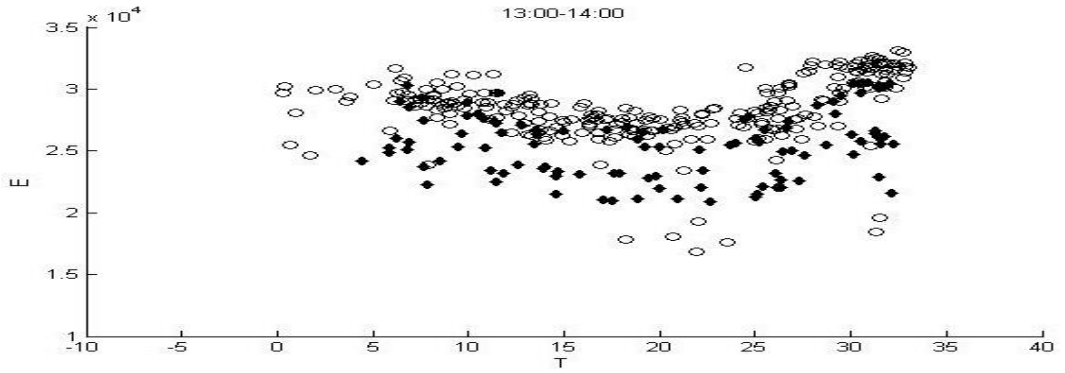
Şekil 33 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 10:00-11:00



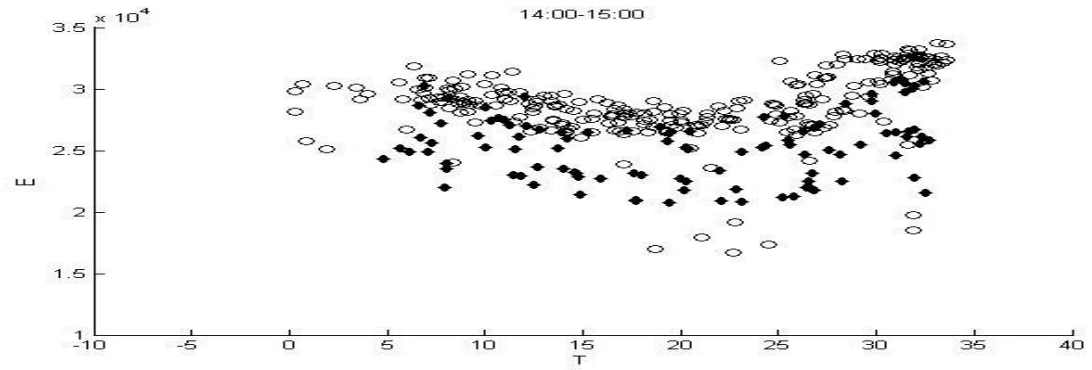
Şekil 34 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 11:00-12:00



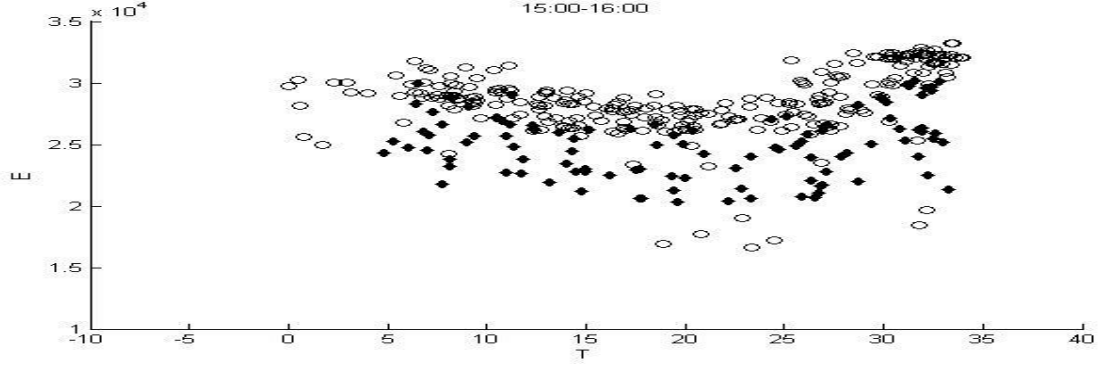
Şekil 35 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 12:00-13:00



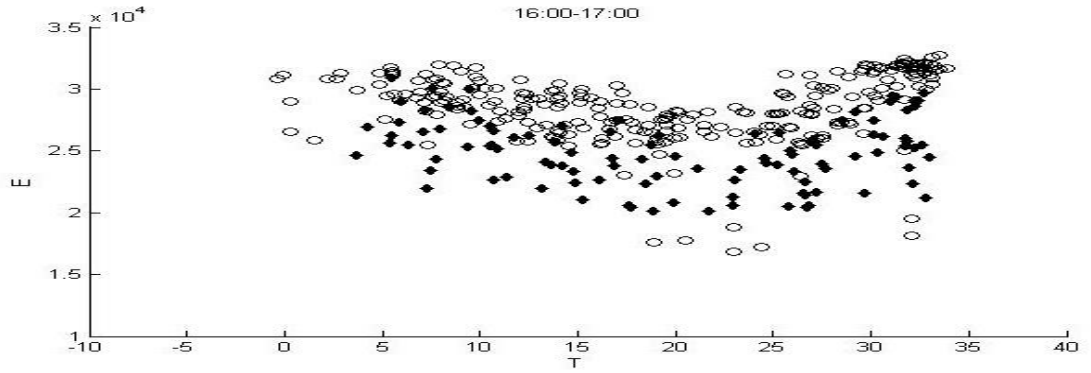
Şekil 36 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 13:00-14:00



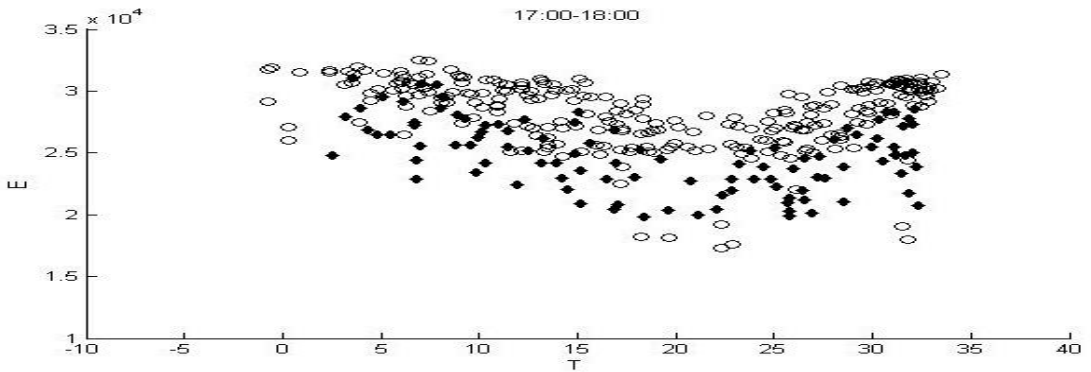
Şekil 37 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 14:00-15:00



Şekil 38 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 15:00-16:00

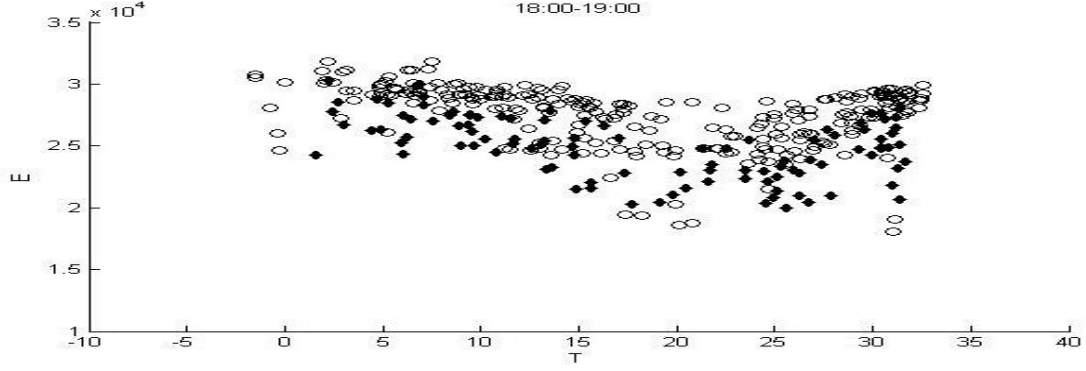


Şekil 39 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 16:00-17:00

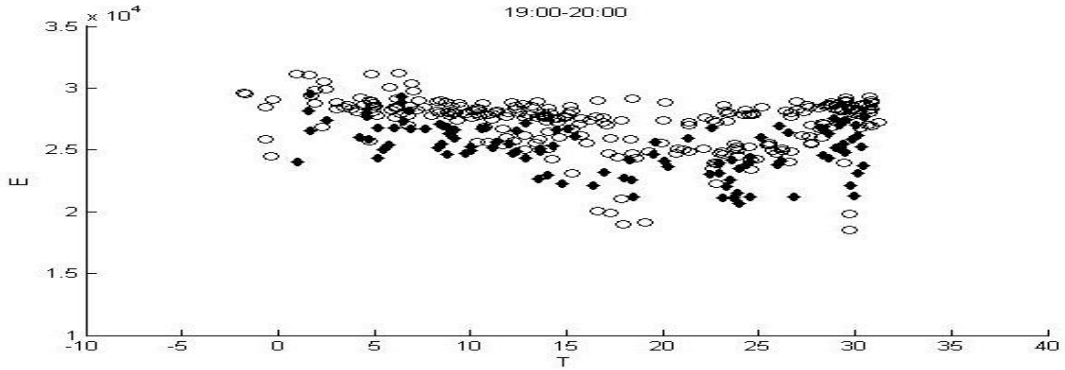


Şekil 40 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 17:00-18:00

Saat 18:00-20:00 aralığını incelediğimizde ise diğer saatlere oranla tüketim değerlerinin daha düzensiz olarak dağıldığı görülmektedir. Yine buna sebep olarak farklı mesai bitiş saatleri ve insanların bu saatlerde farklı aktivitelerde bulunması gösterilebilir.

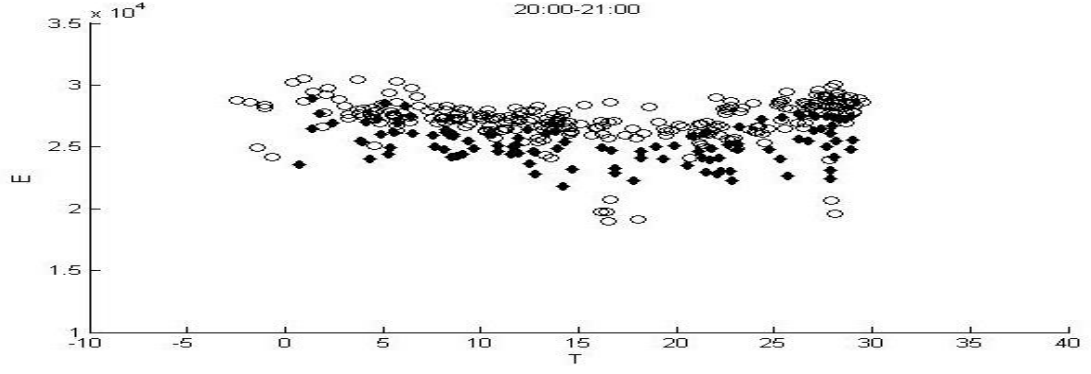


Şekil 41 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 18:00-19:00

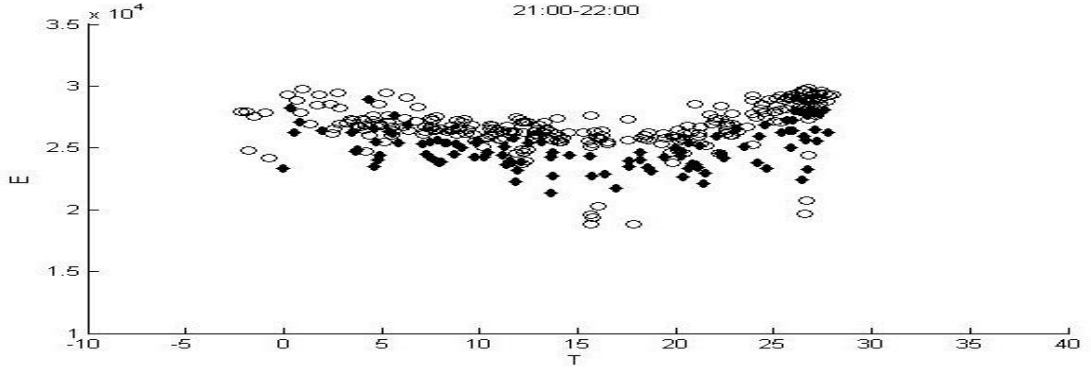


Şekil 42 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 19:00-20:00

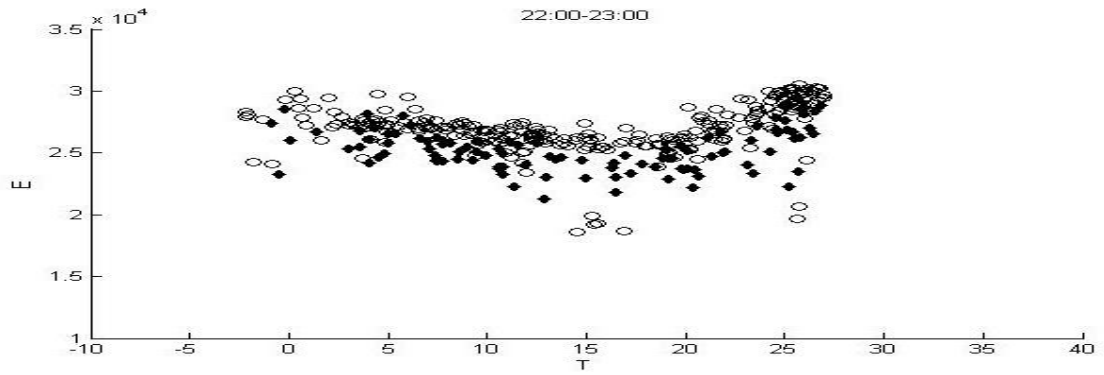
Son olarak 20:00-00:00 saat aralığı incelediğinde, hafta içi tüketim eğrilerinin tekrar haftasonu tüketim eğrilerine benzemeye başladığını ve aradaki farkın azaldığını söyleyebiliriz. Bu saat aralığında bir çok insan evinde vakit geçirmekte olup, bir çok sanayi tesisi ve kamusal ortak alanlar kapanmaktadır.



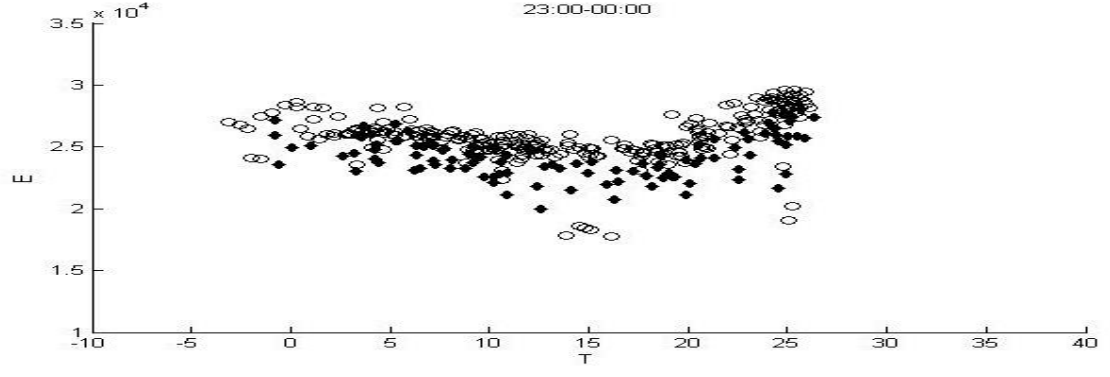
Şekil 43 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 20:00-21:00



Şekil 44 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 21:00-22:00



Şekil 45 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 22:00-23:00



Şekil 46 : Sıcaklık – Tüketim Eğrisi 23:00-00:00

4. Tahmin

Bu modeli oluşturmamızdaki amaç gelecek dönemlere ait tüketim değerlerini tahmin edebilmektedir. Bu doğrultuda zaman doğrusu geçmiş (t_1) ve gelecek (t_2) olmak üzere bölünmüştür. Çalışmamızda yıllık veri setleri üzerinde çalıştığımızdan bir sonraki yıla ait tüketimi tahmin etmeye çalıştık ancak geçmiş ve gelecek zaman dilimleri, aylık, haftalık ya da günlük olarak belirlenebilir. Bu sayede bir sonraki güne ya da aya ait tüketim verisi tahmin edilebilir. Aylık zaman dilimi için yapılan tahmin sonuçları incelediğimizde sonuçların haftalık periyot etkisi nedeniyle istenilen olmadığı görülmüştür.

Model ile tahmin yapabilmemiz için, zaman boyutunda olduğu gibi F matrisini de F_1 ve F_2 olarak ikiye bölmemiz gerekmektedir. 2013 yılına ait model ile 2014 yılını tahmin edeceğimizden F matrislerimizde sıcaklık verisi hariç diğer regresörler aynıdır. Bu bilgiler dahilinde m_2 modeli aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$a_1 = (F_1^t \times F_1)^{-1} \times F_1^t \times S_1 \quad (3.27)$$

$$m_2 = F_2 \times a_1 \quad (3.28)$$

Bu denklemler sonucunda elde ettiğimiz veri ile gerçek değer arasındaki hata oranı için S_2-M_2 farkı alınmış ve oluşturulan modellere ve tahminlere ait hata oranı aşağıdaki tablolarda paylaşılmıştır.

Tablo 2 : Yıllara ait Standard Model Hata Oranları (Ortalama Hata Kareleri Kökü)

Hata Tipi	2012	2013	2014
Standard Model	3.95%	4.81%	4.37%

Tablo 3 : Yıllara ait Standard Model Hata Oranları (Ortalama Mutlak Hata)

Hata Tipi	2012	2013	2014
Standard Model	2.48%	3.04%	3.02%

Tablo 4 ve 5’te görüldüğü gibi tahmin hata oranı, model hata oranlarından fazla olmaktadır. Çünkü modelleme yaparken, var olan zaman serisine en uygun eğri denklemini oluşturmaya çalışırken, tahmin yaparken bu eğrinin devamında oluşacak değer ile gerçek değerler karşılaştırılmaktadır. Ek olarak orjinal zaman serisi hiçbir şekilde değiştirilmemiştir. Yani bayram ve diğer olağandışı günler modelimizin içinde yer almaktadır. Bu genel hata oranımızı ciddi bir şekilde etkilemektedir. Genel bir çalışma olduğu için gerçek veride herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

Tablo 4 : 2013 ve 2014 Yıllarına ait Model Hata Oranları ve 2014 Tahmin Modeli (Ortalama Hata Kareleri Kökü)

Hata Tipi	2013	2014	2014 Tahmin
Standart Model	4.81%	4.37%	9.80%
Sıcaklık & Nüfus Modeli	4.79%	4.34%	9.79%

Tablo 5 : 2013 ve 2014 Yıllarına ait Model Hata Oranları ve 2014 Tahmin Modeli (Ortalama Mutlak Hata)

Hata Tipi	2013	2014	2014 Tahmin
Standart Model	3.04%	3.02%	7.10%
Sıcaklık & Nüfus Modeli	3.01%	3.00%	7.09%

Ayrıca tüketimi etkileyen, yıllık büyüme oranı, sanayi indeksi gibi birçok farklı etken tahmin modeline gerektiği durumlarda eklenebilir. Kısa vadeli tahminler için modelin gerekli veriler ile düzenlenmesi hata oranlarını düşürebilir.

5. Sonuç

Elektrik enerjisi üretim-tüketim tahmini gelişen yeni piyasa koşulları nedeniyle çok önemlidir. Uzun vadeli tahminlerle firmalar yatırım stratejilerini belirlerken, kısa vadeli tahminler var olan sistemlerin en verimli ve kârlı şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

Bir topluma ait elektrik tüketim datası incelendiğinde o topluma ait özel günler ve alışkanlıklar hakkında bilgi edinilebilir. Elektrik tüketimindeki olağan dışı artışlar ve azalışlar, tatil günleri, bölgenin iklimi ve topluma ait karakteristik günler hakkında fikir vermektedir.

Bu çalışmada Türkiye 2012~2014 yıllarına ait elektrik tüketim datası incelenmiş ve yıllık harmonikler ile modellenmiştir. Daha iyi sonuç elde edebilmek için haftalık ve günlük harmonikler de daha sonra modele eklenmiştir.

Saatlik sıcaklık verisi nüfus ile ağırlıklandırılarak oluşturulan modele eklenmiş ve hata oranı tekrar hesaplanmıştır. Model hata oranı düşmesine rağmen, beklenildiği kadar bir değişiklik olmamıştır. Bu duruma sebep olarak sanayi tüketiminin, genel tüketime oranının çok yüksek olması gösterilebilir. Ayrıca sıcaklık verisi kısa periyotların, örneğin bir sonraki gün ya da bir sonraki hafta, modellenmesinde çok daha iyi sonuç verebilir.

Sıcaklık etkisini daha gösterebilmek için saatlik bazda sıcaklık-tüketim grafiklerinin oluşturulmuş ve bu grafiklerden saatlik tüketim örnekleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Gece saatlerinde hafta içi ve hafta sonu tüketim değerleri benzer iken, gün içi değerler açık bir şekilde farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada elde edilen bir diğer önemli sonuç ise sanayi tüketiminin genel tüketimdeki oranını gözlemleyebilmektir. Uzun tatil periyotlarındaki tüketimin hane baz tüketimine ait olduğu varsayılabilir. Ayrıca her saate ait ortalama tüketimin incelenmesi sayesinde, tedarikçi firmalar üretim ve bakım planlarını bu bilgiler dahilinde yapabilirler.

6. Referanslar

- [1] ENTSO-E. (2015, December) The European Network of Transmission System Operators. [Online]. <https://www.entsoe.eu/Pages/default.aspx>
- [2] TEİAŞ , "Türkiye Elektrik İletimi Sektör Raporu," Ankara, 2013.
- [3] Deloitte , "Serbestleşme Yolunda Türkiye Elektrik Piyasası," 2014.
- [4] Fehmi Tanrıseven , Fatih Baytugan , and Mustafa Sezgin Kürşad Derinkuyu, "Combinational Auctions in Turkish Day-Ahead Electricity Market," in *Industrial Engineering Applications in Emerging Countries* , Bahar Y. Kara , Bopaya Bidanda Ihsan Sabuncuoglu, Ed.: CRC Press, 2015, ch. 3, pp. 51-66.
- [5] (2001) Türkiye Elektrik İletim A.Ş. [Online]. www.teias.gov.tr
- [6] EPDK , *Turkish Energy Market Investor's Guides*, pp. 18-19, 2012.
- [7] Resmi Gazete. (2015, Jan.) Resmi Gazete. [Online].

<http://www.resmigazete.gov.tr/ilanlar/eskiilanlar/2015/01/20150121-4.htm#Ç01>

[8] Özelleştirme İdaresi Başkanlığı , "Türkiye Elektrik Dağıtım Sektörü Özelleştirilmesi," p. 12, 2010.

[9] (2015) Elektrik Piyasaları İşletme A.Ş. [Online]. <https://www.epias.com.tr/>

[10] Metin Gökğöz, "Türkiye Elektrik Piyasası ve EPIAŞ," 2014.

[11] Ibrahim El-Amin Tawfiq Al-Saba, "Artificial neural networks as applied to long-term demand forecasting," *Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 189-197, April 1999.

[12] Antonio J. Conejoa, Javier Contrerasa, Rosa Espínolaa, and Miguel A. Plazasb, "Forecasting electricity prices for a day-ahead pool-based electric energy market," *International Journal of Forecasting*, pp. 435-462, 2005.

[13] Erkan Erdogdu, "Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey," *Energy Policy*, vol. 35, no. 2, pp. 1129-1146, February 2007.

- [14] James W. Taylor and Roberto Buizza, "Using weather ensemble predictions in electricity demand forecasting," *International Journal of Forecasting*, vol. 19, no. 1, pp. 57-70, March 2003.
- [15] S.R. Brubacher and G.T. Wilson, "Interpolating time series with application to the estimation of holiday effects on electricity demand," *Applied Statistics*, pp. 25, 107-116, 1976.
- [16] Isaac Dyer and Erik Larsen, "From planning to strategy in the electricity industry," *Energy Policy*, pp. 1145-1154, 2001.
- [17] David J. Sailor, "Relating residential and commercial sector electricity loads to climate—evaluating state level sensitivities and vulnerabilities," *Energy*, vol. 26, pp. 645-657, November 2001.
- [18] S. Mirasgedis et al., "Models for mid-term electricity demand forecasting incorporating weather influences," *Energy*, vol. 31, no. 2-3, pp. 208-227, February 2006.

[19] Terry Sincich, *Business Statistics By Example*. USA: Prentice Hall International Editions, fifth edition, 1996.

[20] İbrahim ATMACA and Abdulvahap YİĞİT, "Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi," Makina Mühendisleri Odası, Istanbul, Research 2011.

