T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNALARIN ENERJİ TÜKETİMİNDE KULLANICI DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

Gürhan MAMAKLIOĞLU

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mukden UĞUR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 8.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Mükden UĞUR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakülte

Prof. Dr. Emel ÖNAL
İstanbul Teknik Üniversitesi-
Elektrik Elektronik Mühendisliği Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Temmuz 2019

Bu çalışmada, birçok benzetin programının enerji tüketim tahminlerini önemli ölçüde değiştiren ve dolayısı ile konu olan gerçek enerji tüketiminin tahminini oldukça güç kılan, kullanıcı davranışlarının enerji tüketimine etkisi matematiksel olarak modellenmeye çalışılmıştır.

Binaların, özellikle konutların enerji tüketimlerinin gerçeğe yakın olarak tahmin edilmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Ulusal istatistiklere göre, konut ve hizmet sektörünü sanayi ile birlikte en yüksek enerji tüketen iki sektördür. Gayri Safi Milli Hasıla'mızın önemli bir bölümünün enerji ithalatına gittiği düşünüldüğünde, enerji talep projeksiyonlarının, ülke politikalarının belirlenmesinde oldukça büyük önem taşıdığı aşikardır. Bu çerçevede, diğer sektörlerin aksine konut sektörünün enerji talep projeksiyonları her zaman en yüksek yanılgı payına sahip projeksiyonlardır. Bunun asıl senedi de kullanıcıların etkisinin, konutların enerji tüketimine çok önemli etki etmesidir. Kullanıcı davranışlarının karakteristik olarak birçok parametreye bağlı tahmin edilmesi zor etkiler olduğu bilinmektedir. Bu tez, bu soruna bir çözüm arayarak, istatistiksel analiz yöntemleri ile kullanıcı davranışlarını matematiksel olarak ifade etmeye çalışmıştır. Bu sayede, konutların enerji tüketimleri daha hassas hesaplanabilecek, projeksiyonların daha doğru olması sağlanabilecektir.

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen sayın Hocam Prof. Dr. Mukden Uğur'a teşekkürü borç bilirim. Bunun yanında sevgili eşim Dilek ve sevgili oğlum Alp'e de bana tüm hayatımda kattıkları için teşekkür ederim.

Gürhan MAMAKLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. TÜRKİYE'DE GENEL YAPI SEKTÖRÜ GENEL BİLGİLER 3
2.1.1. Bina Stoku İstatistikleri 3
2.1.2. Mevcut Binaların Genel Enerji Durumu 7
2.2. BİNALARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ MEVCUT YASAL ALTYAPI 8
2.2.1. Enerji Verimliliği Kanunu 8
2.2.2. TS825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları 9
2.2.3. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği 9
2.3. TEZİN KAPSAMI 11
2.4. LİTERATÜR TARAMASI 12
3. MALZEME VE YÖNTEM **14**
3.1. BEP-TR 15
3.2. BEP-TR HESAP YÖNTEMİ 19
3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ 21
4. BULGULAR **30**
4.1. DEĞİŞKENLERİN TANITILMASI VE VERİ SETİ 30
4.2. DOĞRUSAL GERİLEME ANALİZİ SONUÇLARI 38
4.3. OPTİMAL ÖLÇEKLEMELİ KATEGORİK GERİLEME ANALİZİ VE SONUÇLARI 46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **52**

KAYNAKLAR **57**
ÖZGEÇMİŞ **59**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2-1: Kullanım türüne göre toplam bina sayısı dağılımı. 4

Şekil 2-2: Mülkiyet türüne göre yapı stokunun gelişimi. 4

Şekil 2-3: Konuma göre toplam yapı sayısının dağılımı. 5

Şekil 2-4: Bina yaşına göre dağılım..... 6

Şekil 2-5: Yıllara ve sektörlere göre birincil enerji tüketimi. 7

Şekil 2-6: Yıllara ve sektörlere göre enerji tüketimi..... 8

Şekil 3-1: BEP-TR sistemine bina şeklinin aktarılması..... 15

Şekil 3-2: BEP-TR sisteminde bina genel özelliklerinin girilmesi..... 16

Şekil 3-3: BEP-TR sisteminde bina kat ve bölge planları. 17

Şekil 3-4: Enerji Kimlik Belgesi. 18

Şekil 3-5: Hata terimlerinini minimum yapılması..... 23

Şekil 4-1: Tüketimleri toplanan verilerin illere göre dağılımı. 31

Şekil 4-2: Tüketimleri toplanan verilerin illere göre dağılımı. 34

Şekil 4-3: EKB tüketim tahminleri ile gerçekleşen tüketimler arasındaki fark. 38

Şekil 4-4: Artıklerin dağılımı 43

Şekil 4-5: Tahmin edilen değerler ile gerçekleşen değerlerin farkı..... 44

Şekil 4-6: Tahmin edilen değerler ile gerçekleşen değerlerin farkı..... 44

Şekil 4-7: İstanbul verileri için dağılım grafiği 45

Şekil 4-8: Artıkların (residuals) kategorik olarak değişimi..... 49

Şekil 4-9: Kullanıcı etkisinin EKB tüketim tahminine göre değişimi 51

Şekil 5-1: 2017 yılı iller bazında hane başı ortalama doğalgaz tüketimi (Gazbir, 2018) 55

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4-1: EKB'lere göre ısıl enerji tüketimleri. 32

Tablo 4-2:Binaların gerçek tüketim değerleri ortalaması. 36

Tablo 4-3: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 1 – Ortalama ve Standart Sapma 38

Tablo 4-4: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – Korelasyon katsayıları ve anlamlılık 39

Tablo 4-4: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 3 – Model Özeti..... 39

Tablo 4-5: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 4 – ANOVA Sonuçları 41

Tablo 4-6: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 5 – Değişken sabitleri 42

Tablo 4-7: İstanbul verileri için Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 45

Tablo 4-8: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 1 – Bağımsız değişkenler arası korelasyon 46

Tablo 4-9: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – model özeti..... 47

Tablo 4-10: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – model özeti..... 47

Tablo 4-11: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 3 – model sabitleri..... 48

Tablo 4-12: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları - model özeti 49

Tablo 4-13: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları - ANOVA 50

Tablo 4-14: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları – model sabitleri 50

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
AB	: Avrupa Birliği
BEP-TR	: Binalarda Enerji Performansı Değerlendirme Yazılımı
EBRD	: Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (*European Bank for Development and Reconstruction)*
EKB	: Enerji Kimlik Belgesi
EVD	: Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketi
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
HDD	: Isıtma Derece Gün (*Heating Degree Day)*
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü *(The Organisation for Economic Co-operation and Development)*
TUREEFF	: Türkiye Konut Enerji Verimliliği Finansman Programı (*Turkish Residential Energy Efficiency Financing Facility)*
TUIK	: Türkiye İstatistik Kurumu

Kısaltmalar	Açıklama
EUR	: Avrupa Para Birimi
M	: Milyon
m	: metre
kWh	: kilowattsaat
USD	: Amerika Birleşik Devletleri Para Birimi

ÖZET

BİNALARIN ENERJİ TÜKETİMİNDE KULLANICI DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürhan MAMAKLIOĞLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Mukden UĞUR

Enerji yatırımları, hem direk enerji ithalatı anlamında, hem de ilgili santral ve altyapı sistemleri yatırımları ile Türkiye'nin toplam bütçesinde en büyük paylardan birini almakta, bütçe açığının da önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Böyle bir ortamda, en önemli konulardan biri, enerji tüketiminin analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesidir. Bu sayede, ülkelerin enerji stratejisi ve yatırım planları çok daha hassas bir şekilde belirlenebilir. Çözülmesi gereken en önemli konulardan birisi ise kullanıcı etkilerinin modellenebilmesidir. Bu çalışmada, konut sektörü özelinde kullanıcı davranışlarının tüketimi ne kadar değiştirdiği araştırılmış ve bu değişimin matematiksel bir model olarak ifadesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Tezin ilk bölümünde Türkiye'nin genel ve konut sektörü özelinde hem sayısal, hem de enerji tüketimi anlamında gelişimi verilmiştir. İkinci bölümde, kullanıcıların tüketimini belirleyebilmek için referans alınan Enerji Kimlik Belgesi Tüketim değerlerinin nasıl hesaplandığı ve yapılan istatistiksel analiz ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Üçüncü ve son bölümde ise araştırması yapılan 153 binanın referans ve gerçekleşen tüketimleri karşılaştırılarak, tüketici etkisi raporlanmış, gerileme (regresyon) analizi yöntemleri kullanılarak gerçekleşen tüketimleri, referans tüketim değeri cinsinden belirten matematiksel modeller önerilmiştir.

Temmuz 2019, 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: Konutlarda enerji tüketimi, kullanıcı etkisi, Enerji Kimlik Belgesi

SUMMARY

Modelling Of User Behaviors On Buildings Energy Consumption

M.Sc. THESIS

Gürhan MAMAKLIOĞLU

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Mukden UĞUR

Investments related with energy, including direct energy imports, new power plants and infrastructures, are a major share in Turkey's overall budget and fiscal deficit. In this occasion, it is crucial to forecast the future energy consumption projections. Only this way, the energy strategies and investment plans can be identified precisely. However, the most substantial challenge on this would be to forecast the effect of the users on the energy consumptions. This study is concentrated on this subject and tried to create a mathematical model based on the user effects of energy consumption specifically for residential sectors. In the first part of the thesis, specific statistics about Turkey's overall and residential sector have been given. In the second part, reference energy consumption baseline and hence energy performance certificates have been analyzed together with theoretical information about statistical regression analysis methods. In the last part, reference and realized energy consumptions of 153 building have been compared and a mathematical model that represents the realized consumption as a component of reference baseline has been suggested.

July 2019, 70 pages.

Keywords: Energy consumptions in residential sector, user effects on energy consumptions, Energy Performance Certificates

1. GİRİŞ

Türkiye'de toplam nüfusun ortalama birim enerji tüketimi, OECD ülkelerinin oldukça altında olmasına karşın, enerji yoğunluğu bu ülkelere kıyasla oldukça yüksektir. Bir diğer deyişle, gelişmiş OECD ülkeleri kişi başına çok daha fazla enerji harcarken, bu enerji ile ekonomik katkı yaratmakta Türkiye'den oldukça ilerdedirler. Bu durumun asıl nedeni, Türkiye'nin ağır, katma değeri az, ancak enerji yoğunluğu yüksek sektörlere (demir-çelik, çimento gibi) sahip olmasıdır. Enerji yoğunluğunu düşürmenin en hızlı yolu, yüksek katma değer sağlayan, bunun yanında enerji tüketimi görece daha düşük teknolojik sektörlere yönelmektir.

Bunun yanında hem Kyoto Anlaşmasına uyum çerçevesinde hem de cari açığın azaltılması anlamında enerjiyi verimli kullanmak da büyük önem arz etmektedir. Türkiye'de binalarda tüketilen enerji, toplam tüketimin içinde birinci sıradadır ve enerji tüketimi kaynaklı yıllık sera gazı emisyonundan da birinci derecede sorumludur. Bu yüzden, Türkiye'de de, diğer OECD ülkelerine benzer şekilde, konutlardaki enerji tüketimini azaltmaya yönelik yasal altyapı hazırlanmış ve uygulamaya koymuştur. Bu yasal gereklilikler dolayısı ile yeni binalarda artık çok daha verimli ekipmanların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak yüksek verimli sistemlerin fiyatlarının uygulanabilir seviyelere gelmesi, bunun yanında enerji giderlerinin de yükselmesi ile geri ödeme süreleri makul seviyelere gerilemiştir. Yüksek verimli sistemler ve malzemeler sayesinde kullanılan enerji miktarını azaltmış ve bu duruma istinaden bina özellikleri ve sistemlerinin enerji tüketimindeki yeri giderek azalmıştır. Bu azalmaya zıt yönde, kullanıcı davranışlarının binanın enerji tüketimindeki rolü ise gün geçtikçe artmaktadır ve bu durum beraberinde önemli bir sorun getirmiştir. Binada kullanılan sistemlerin enerji tüketim karakteristikleri hem binanın özelliklerine göre, hem de iklim şartlarına göre gerçeğe yakın bir şekilde farklı teknikler kullanılarak benzetim yapılabilmekte ve binanın enerji toplam enerji ihtiyacı hassas bir şekilde tahmin edilebilmektedir; ancak kullanıcı davranışlarının etkisinin tahmin edilmesi çok daha karmaşık ve güçtür. Kullanıcı davranışlarının, binanın toplam enerji tüketimindeki etkisinin artması ile birlikte, binanın toplam enerji tüketimi hassas bir şekilde tahmin edilemez hale gelmeye başlamıştır.

Bir binanın, tasarım aşamasında enerji talebinin hassas bir şekilde tahmin edilebilmesi sayesinde sistemler için optimum kapasiteler seçilebilmekte ve özellikle ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde gerektiğinden yüksek kapasiteler için boşa harcanan yatırımlar önlenebilmektedir. Özellikle uluslararası finans kuruluşlarının finanse ettiği bina enerji verimliliği yatırımlarında, finansman öncesi enerji tüketim tahminleri ile finansman sonrası gerçek tüketim değerleri arasında ciddi farklar olduğu gözlenmektedir. Konutlarda bu farkın ±%40 kadar değişebiliyor olması, önerilen ısıtma, soğutma veya havalandırma sisteminin olması gerektiğinden daha büyük kapasiteli veya talebe yetmeyecek kadar küçük seçildiği anlamına gelmektedir.

Tez kapsamında, bu soruna bir çözüm bulup, kullanıcı davranışlarının belli istatistiki ve bölgesel verilere göre modellenmesi amaçlamaktadır. Kullanıcı davranışlarının, binanın enerji tüketimine etkisinin doğru bir şekilde modellenebilmesi, aşağıdaki belirtilen noktaların çok daha hassas bir şekilde tahmin edilebilir hale gelmesine imkân sağlayacaktır.

- Binanın toplam enerji ihtiyacı
- Seçilecek sistemlerin boyutları ve optimizasyonu
- Bina otomasyon sistemlerinde konforun bozulmadan optimum otomatik kontrol senaryolarının belirlenmesi
- Ülke enerji tüketim projeksiyonlarının hassaslaştırılması, santral planlaması ve uluslararası enerji antlaşmalarının daha hassas bir şekilde yapılması

2. GENEL KISIMLAR

2.1. TÜRKİYE'DE GENEL YAPI SEKTÖRÜ GENEL BİLGİLER

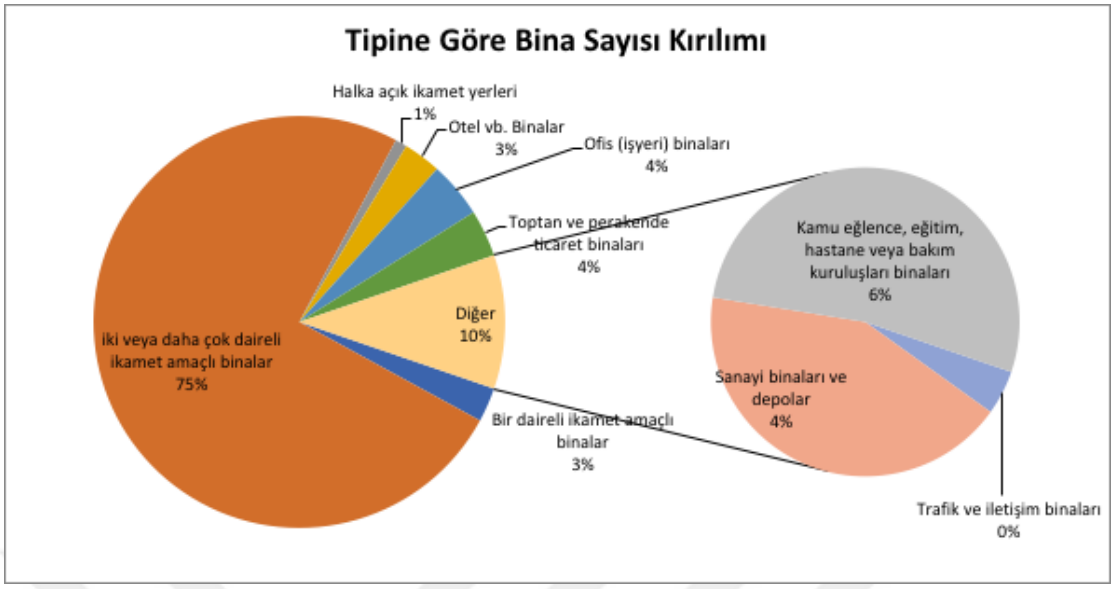
2.1.1. Bina Stoku İstatistikleri

İnşaat sektörü Türkiye'deki ana sektörlerden bir tanesidir. Toplamda 1,5 milyon çalışanıyla inşaat sektörü, aileler de göz önüne alınacak olursa, ülkenin toplam nüfusunun yaklaşık %7,5'ini doğrudan etkileyebilecek konumdadır. İnşaat sektörünün Türkiye ekonomisine katkısı ise ikincil sektörler de hesaba katıldığında Gayri safi yurt içi hasılanın yaklaşık %30'unu bulmaktadır. İnşaat sektörünün ülkenin büyüme oranına paralel olarak her yıl istikrarlı bir şekilde gelişmesi, bina sayısında da her yıl düzenli bir artışa sebep olmaktadır.

Türkiye yapı envanterine ilişkin yakın geçmişe ait resmi bina sayımı mevcut değildir. Yapı envanterine ilişkin en yeni resmi veriler 2000 yılında yapılan bina sayımı ile elde edilmiştir. 2000 yılından sonra yapılan yeni binalara ilişkin resmi istatistikler mevcut olmakla birlikte bu kayıtlara yalnızca inşaat izni olan binalar dahil edilmiş ve bu binaların yapısal özellikleri de belirtilmemiştir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, 2000 yılında bina sayımının üstüne 2000 yılında sonra verilen yapı izinleri eklenerek belirtilen istatistiklere ulaşılmıştır.

TÜİK tarafından yapılan bina sayımına göre 1984 yılında Türkiye'deki toplam bina sayısı 4.3 milyonken bu rakam %78 oranında artmış ve 2000 yılına (en son bina sayımı) gelindiğinde 7,8 milyona ulaşmıştır. Bu rakamın 6,735,813'ü mesken ve kısmen mesken binalardan oluşurken (>%50 ikamet amaçlı kullanım), yalnızca %3.6sı kamu binası olarak sayılmıştır. (TUIK, 2000) [1]

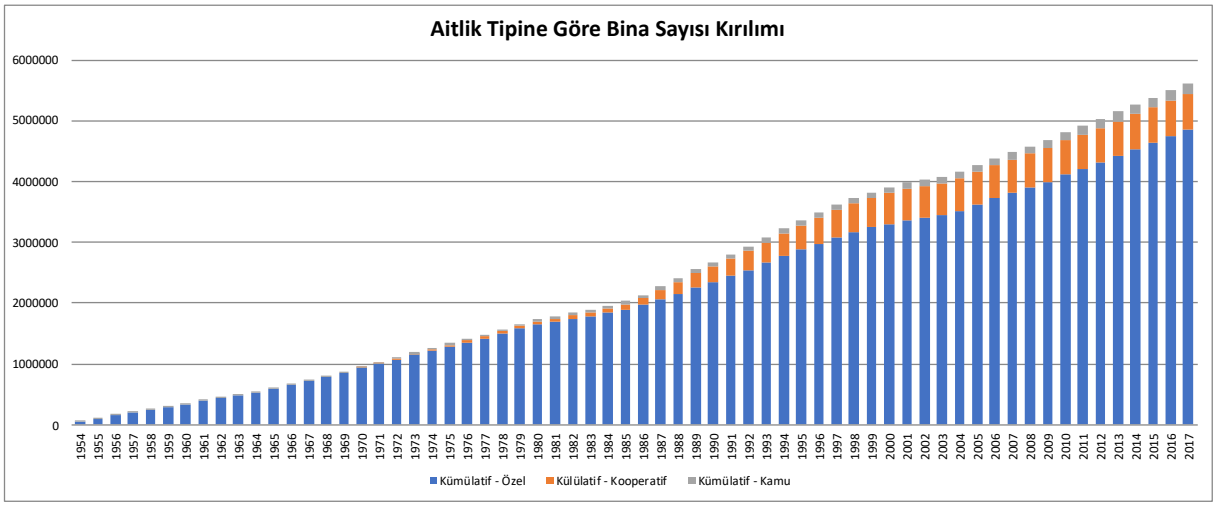
TÜİK'in inşaat izni istatistiklerine göre, yeni binaların da eklenmesiyle toplam yapı stoku 2017 sonu itibariyle yaklaşık olarak 9,5 milyona ulaşmıştır. Aşağıda verilen 2 grafik kullanım türüne göre toplam yapı alanı ile toplam bina sayısının dağılımlarını göstermektedir: (TUIK, 2000-2018)[2]



Şekil 2-1: Kullanım türüne göre toplam bina sayısı dağılımı.

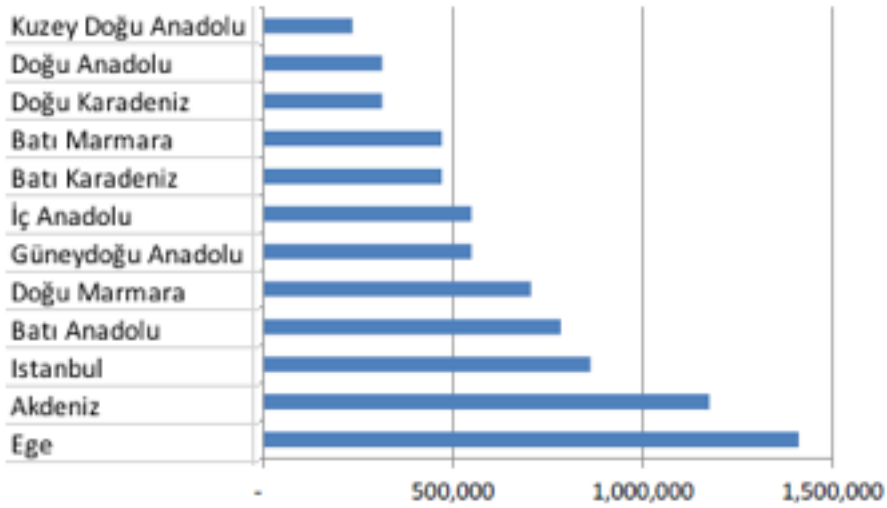
Yukarıdaki grafikte de görüldüğü üzere, toplam yapı sayısının %75'i iki veya daha fazla mesken tipi bina olarak sayılmıştır. Halka açık eğlence alanları ve eğitim kurumlarına ait binalar, hastane ve kurumsal bakım merkezleri ile özel işyeri olarak kullanılan binalar toplamda %6'lık bir oranla mesken tipi yapıları takip etmektedir.

Bina mülkiyeti açısından bakılacak olursa, toplam bina sayısının %88'i özel sektöre, %9'u ise inşaat kooperatiflerine aitken, bu binaların yalnızca %3'ü kamu sektörüne aittir. Aşağıda verilen grafikler yıllar içerisindeki toplam bina stoku gelişimini mülkiyet dağılımına göre göstermektedir. Grafikte yalnızca inşaat izni olan binalar gösterilmiş olup, inşaat izni olup oturma izni olmayan binalar grafiklere dahil edilmemiştir.



Şekil 2-2: Mülkiyet türüne göre yapı stokunun gelişimi.

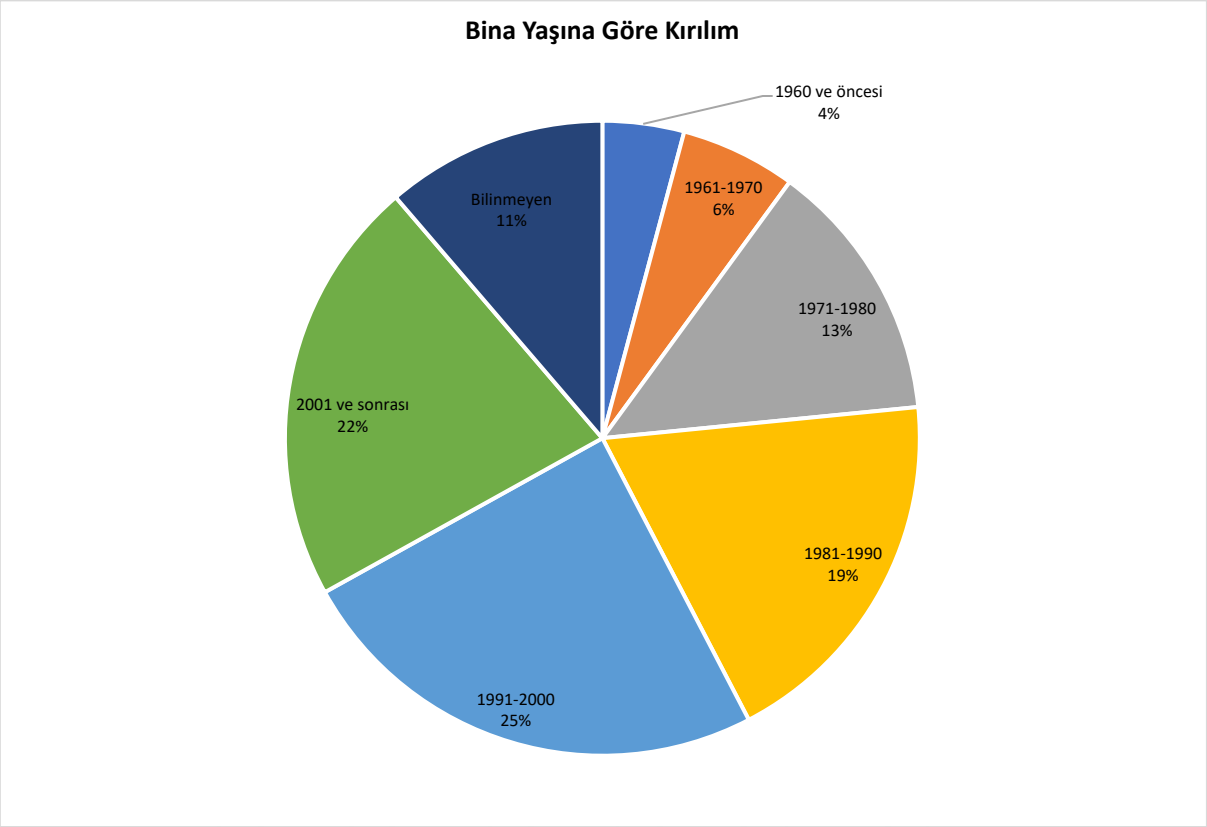
Aşağıda verilen TÜİK inşaat izni istatistiklerine göre, yalnızca İstanbul, Türkiye'deki toplam bina sayısının %10'undan fazlasına sahiptir. En büyük 5 il (İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa, Antalya) toplam bina sayısının yaklaşık olarak %30'unu içermektedir.



Şekil 2-3: Konuma göre toplam yapı sayısının dağılımı.

Ticari ve mesken tipi binalar temel olarak İstanbul'da yoğunlaşırken kamu binaları genel olarak başkent Ankara ve İstanbul'da yoğunlaşmıştır.

Toplam yapı sayısının %70'inden fazlası 30 yaşın altındadır, dolayısıyla Türkiye'deki bina sayısı, AB ülkelerinin yapı sayısı ile karşılaştırıldığında görece çok daha yenidir. Bunun temel nedeni henüz 80'lerin başında başlayan ve hala devam etmekte olan, gelişmiş AB ülkelerine göre geç başlamış kentleşmedir. Toplam yapı sayısının %22'si geçtiğimiz 16 yıl içerisinde inşa edilmiş olup tüm binaların %25'i 1990-2000 yılları arasında yapılmıştır. Aşağıda verilen grafik bina sayısına Türk yapı stokunun bina yaşına göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 2-4: Bina yaşına göre dağılım.

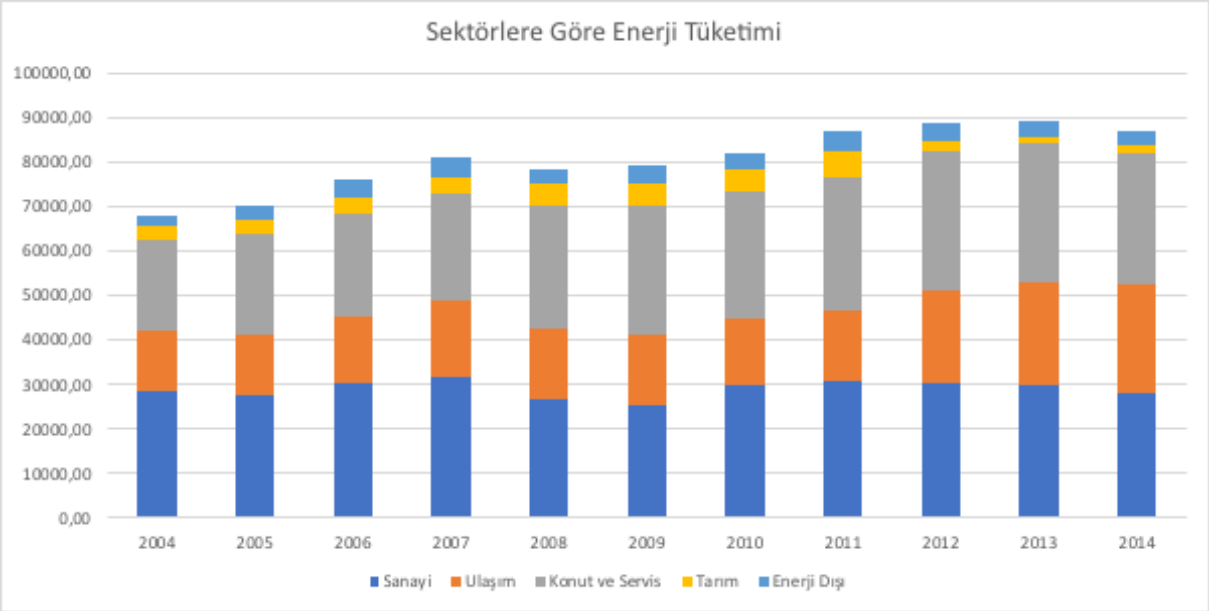
Düşük yapısal kalitenin yanı sıra, mevcut yapı stoku doğal afetlere, özellikle de depreme karşı halen büyük risk taşımaktadır. Bu nedenle, 'Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi' hakkındaki 6306 sayılı kanun taslağı 16 Mayıs 2012 tarihinde TBMM tarafından onaylanmış ve 31 Mayıs 2012 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe konmuştur. Söz konusu kanunun uygulama yetkisi Çevre ve Şehircilik Bakanlığına aittir. Kanunu düzenleyen yönetmelik de 15 Aralık 2012 tarihinde Resmi Gazete de yayınlanmıştır.

Kanun çerçevesinde tahmini olarak 7 milyon bina yeniden inşa edilecektir. Uygulamanın ilk aşaması Türkiye'de 35 ilde yaklaşık olarak 75 farklı alanda ve 3169 binayı kapsayacak şekilde 05.10.2012 tarihinde başlamıştır. Bakanlık riskli binaların yıkımına öncelikle birinci dereceden deprem bölgesi olan şehirlerde başlamıştır.

Mevcut kentsel dönüşüm faaliyetleri ile yapı mevcudu özellikleri özellikle İstanbul'da hızla değişim göstermeye başlamıştır. İlk faaliyetler genel olarak mesken tipi binaların değişimini kapsamaktadır. Ancak yeni konut projeleri, ofis ve satış alanları gibi ticari birimleri de içermektedir. Nisan 2018 itibariyle 45 ilde toplam 128 binden fazla riskli bina yıkılmıştır.

2.1.2. Mevcut Binaların Genel Enerji Durumu

Enerji Bakanlığının 2016 yılı "Mavi Kitap" [3] enerji tedarik ve talep istatistiklerine göre konut ve hizmet sektörü 2012 yıl sonu itibariyle endüstri sektörünü geride bırakmış ve toplam enerji tüketimi açısından ilk sıraya yerleşmiştir. Geçmiş yıllara göre enerji tüketimi dağılımı aşağıda verilmiştir:



Şekil 2-5: Yıllara ve sektörlere göre birincil enerji tüketimi.

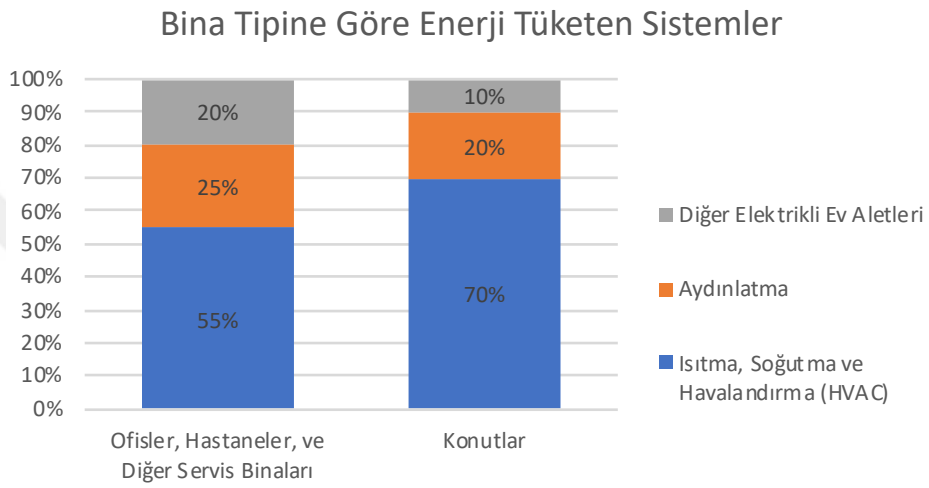
2014 yılının sonunda konut ve hizmet sektörünün toplam enerji tüketimindeki payı %34'tür. (ETKB, 2017) [3]

"Binalarda Enerji Performansı" yönetmeliği ve Kentsel Dönüşüm sayesinde yeni binaların enerji verimliliği büyük ölçüde iyileştirilmiştir, ancak mevcut yapı stoku dolayısıyla (özellikle de 2000 yılından önce inşa edilen binalar göz önüne alındığında) toplam bina sayısının neredeyse %90'ı düşük bir enerji verimliliği profili sergilemektedir.

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne göre, kapsam dışı bırakılan yapıların dışında kalan tüm binaların EKB alması şartı konulmuştur. Nisan 2018 tarihi itibari ile, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı istatistiklerine göre toplam 674 bin bina EKB almıştır. Nisan 2018 itibari ile EKB ile ilgili istatistikler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve BEP-TR web sitelerinden kaldırılmış olmasına rağmen, verilen EKB'lerin yaklaşık %3'si A sınıfı, yaklaşık %20'si B sınıfı olarak belirlenmiştir. Ancak özellikle EKB hesapları için kullanılan "BEP-TR" yazılımının ilk versiyonundaki hatalar sonucunda verilen EKB'lerin tam olarak gerçeği yansıtmadığı

bilinmektedir. BEP-TR yazılımının daha kararlı çalışan ikinci versiyonu ise Temmuz 2017 itibari ile kullanıma sunulmuştur.

Kabaca, binalarda enerji harcayan sistemlerin, toplam tüketim içindeki dağılımı aşağıdaki gibi verilebilir. Grafikte görüleceği üzere, Isıtma, Soğutma ve Havalandırma (HVAC) Sistemleri tüm binalar için en çok enerji tüketen sistemlerdir ve dolayısı ile en yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahiplerdir.



Şekil 2-6: Yıllara ve sektörlere göre enerji tüketimi.

2.2. BİNALARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ MEVCUT YASAL ALTYAPI

Binalarda enerji verimliliği konusunda en önemli 3 yasal düzenleme aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1) Enerji Verimliliği Kanunu

2) TS 825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları

3) Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

2.2.1. Enerji Verimliliği Kanunu

5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu 02.05.2007 tarih ve 26510 sayısı ile yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Genel olarak, ülkedeki enerji verimliliği aktivitelerinin kurumsal altyapısı ve sorumluluk dağılımının yapıldığı kanunda, EVD şirketleri, görevleri ve enerji etütlerinin esasları da tanımlanmıştır. Sonrasında yayımlanan "Enerji Verimliliği Yönetmeliği" ile de özellikle aşağıdaki konularda ilgili detaylar verilmiştir.

- Enerji yöneticilerinin atanması ve EVD şirketlerinin akreditasyonu
- Enerji etüdü esasları
- Binaların enerji sınıflarının belirlenmesi için gereken altyapının oluşturulması
- Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda ısı pay ölçer kullanımı esaslarının belirlenmesi

2.2.2. TS825 – Binalarda Isı Yalıtım Kuralları

İlk olarak 1999'da yayımlanan standart, ilgili revizyonlar sonrasında Haziran 2000 yılında tüm yeni binalar için zorunlu hale getirilmiştir.

TS 825 standardı, binaların ısıl yüklerinin hesap prensiplerini ve izin verilen maksimum ısıl enerji ihtiyacını belirler. Tüm yeni binalar ile %15'inden fazla tadilat olan binalar TS825 standardında verilen maksimum ısıl enerji ihtiyacı miktarlarını geçemez. Standart ayrıca,

- Bina bileşenlerinin Isıl Isıl İletim Katsayısı (U değeri)
- Hava değişim katsayısı
- Gölgeleme ve gün ışığı geçirgenlik katsayıları
- Isı yalıtımı teknikleri

hakkında ilgili parametreleri belirler. TS825 Standardı sonraki bölümde verilecek olan "Binalarda Enerji Performansı" Yönetmeliği için de en önemli referanslardan biridir.

2.2.3. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği

Enerji Verimliliği Kanununa istinaden Resmi Gazetenin 05.08.2007 tarih ve 27075 sayısı ile Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir.

Bu yönetmelikte, binalarda enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması amacını taşıyan ve binalar için enerji tüketim hedefleri ve sınırları koyan bir yönetmeliktir.

BEP Yönetmeliği, iklim koşulları ve yerel ve ulusal standartlar ışığında binaların enerji tüketimlerinin hesaplama yöntemleri ve hesaplanan tüketim değerlerine göre sınıflandırmayı amaçlar. Bu çerçevede, tüm mekanik ve elektriksel sistemler ile ilgili hedefler ve

yükümlülükleri belirler. Daha açık olarak, BEP Yönetmeliği, aşağıdaki konularda binalar özelinde ilgili düzenlemeleri yapar:

- Binanın mimarisi ve bina kabuğu özellikleri
- Isıtma, soğutma, havalandırma tesisatlarının özellikleri
- Aydınlatma ve elektrik tesisatlarının özellikleri
- EKB düzenlenmesi, kontrolü ve denetim esasları
- İlgili kuruluşların sorumluluk alanları ile eğitim ve yetkilendirme esasları
- Ülke çapında bina özellikleri ve enerji tüketimi envanterinin oluşturulması
- Ülke genelinde bilinçlendirme faaliyetlerinin esasları

Yönetmelik esasına göre, yeni yapılacak binalar minimum "C" enerji sınıfında olmalıdır, aksi takdirde yapı kullanım izni alınamamaktadır. Mevcut binalar için herhangi bir minimum enerji sınıfı mevcut değildir.

Yönetmelik kapsamında EKB'nin hazırlanmasında kullanılacak ulusal hesaplama yönteminin yazılımı olan Bina Enerji Performansı Yazılımı (BEP-TR) 2010 yılı sonunda tamamlanmış, yazılımın ikinci versiyonu ise Temmuz 2017 yılında kullanıma sunulmuştur.

Enerji Verimliliği Kanunu gereğince, tüm binaların 2 Mayıs 2017 tarihine kadar EKB almaları zorunludur. Ancak bu tarih sonradan 2020 yılına kadar uzatılmıştır.

EKB'den muaf binalar şu şekildedir:

- Üretime yönelik fabrika binaları,

- İki yıldan az kullanılacak binalar

- Toplam kullanım alanı 50 m^2' nin altında olan binalar

- Seralar, Atölyeler, Depolar

- Aktif ısıtma ve soğutma yapılmayan binalar

- Türk Silahlı Kuvvetleri, Milli Savunma Bakanlığı ve bağlı kuruluşları, Milli İstihbarat Teşkilatı Müsteşarlığı binaları

EKB düzenleme tarihinden itibaren 10 yıl süre ile geçerlidir. Bu sürenin sonunda EKB yenilenmelidir. 6306 sayılı Afet Riskli Yapıların Yenilenmesi Hakkında Kanun'da mevcut bina stoğunun enerji verimliliğinin arttırılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu kanuna göre, kentteki afet riski taşıyan alanlar belirlenip, sağlıklı ve yaşanılabilir hale getirilmelidir. Kanun, Türkiye'nin her tarafındaki kent ve köylerdeki ekonomik ömrünü tamamlamış, yıkılma riski taşıyan binaların devletin sağladığı yapım kredisi, kira yardımı, belediye harç/vergi avantajlarını da kullanarak yeniden yapılmasını öngörmektedir. Eski ve verimsiz binaların yenilenmesi dolayısı ile mevcut enerji verimliliğinin de arttırılması sağlanmaktadır.

2.3. TEZİN KAPSAMI

Bu çalışmada uzun dönemli (1 yıllık) enerji tüketim verileri toplanmış ve istatistiksel analiz yöntemleri ile kullanıcıların etkisi modellenmeye çalışılmıştır. Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, her yeni bina EKB almak zorundadır, ancak bu EKB'lerde hesaplanan enerji tüketim değerleri halihazırda herhangi bir enerji talep projeksiyonu için kullanılmamaktadır.

Simülasyon verileri sonucu hesaplanan enerji tüketim tahminleri kullanıcıların etkisi ile oldukça farklılaşabilmektedir. Bu durum, binanın gerçek tüketimini tahmin etmek konusunda mikro düzeyde yatırımcıları ve makro düzeyde enerji dağıtım şirketlerini, belediyeleri ve bakanlıkları etkilemekte, hükümet düzeyinde gerçek enerji talep değerinden yüksek sapma gösteren projeksiyonlar yapılmasına neden olmaktadır.

Tez kapsamında, EKB sonuçlarını ve gerçekleşen tüketimleri konut sektöründe karşılaştırıp, üzerinde bugüne kadar yeterince çalışma yapılmamış olan kullanıcı tüketim etkisinin matematiksel olarak modellemesi amaçlamaktadır. Uygun bir model bulunduğunda, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde toplanan tüm EKB'ler için model çalıştırılarak, bu binaların gerçekte ne kadar enerji tüketecekleri tahmin edilebilecektir. Bu sayede, örneğin yeni kurulan yerleşim yerlerine sağlanması gereken enerji dağıtım sistemleri daha doğru planlanabilecek veya konut sektörü özelinde, sonraki yıllarda tüketimin ne düzeyde olacağı daha hassas tahmin edilebilecektir.

2.4. LİTERATÜR TARAMASI

Davranış kavramı, belirsiz sayıda parametreden etkilenen ve açıkça formüle edilemeyen bir kavramdır. İnsan davranışlarını açıklamaya veya nedenlerini detaylandırmaya çalışan oldukça fazla çalışma mevcuttur, ancak bu çalışmalar halen davranış biliminin genel geçer modellerini kurmakta başarılı olamamıştır. Psikoloji ve Sosyoloji gibi bilimlerin kapsamı içine giren davranış kavramı çalışmaları bu tezin konusu olmadığından değerlendirilmemiştir.

Bu tezin ana konusu olan, binalarda kullanıcı etkilerinin modellenmesi konusu ise, bina tasarım konusundaki mimari ve mühendislik çalışmalarının önemli bir başlığıdır. Ancak davranış kavramını matematiksel olarak modellemek çok mümkün olmadığı gibi, bu davranış sonucu oluşan etkileri de modellemek çok kolay değildir. Burada devreye istatistiksel modeller girmekte ve toplanan örneklem uzayı içerisinde, bina kullanıcılarının genel geçer alışkanlıkları, sosyo-ekonomik durum, iklimsel ve bölgesel özelliklere göre sınıflandırılabilmektedir.

Bu kapsamda, Türkiye'de, binaların tasarım aşamasında hesaplanan ve sonrasında gerçekleşen enerji tüketimlerini karşılaştırıp, kullanıcı davranışlarının bu farkın oluşmasındaki etkisini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Özellikle bu tezin amacına uygun literatür taraması İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'nde yayınlanan bir çalışmada (Karahan, 2014) [4] oldukça iyi bir şekilde özetlenmiştir. Aşağıdaki bölümde bu literatür taraması yayınından yararlanılarak uluslararası çalışmalardaki kullanıcı etkisini analiz eden yayınlara değinilmiştir.

Ülkelerin ekonomik gelişmişlik durumları ve özellikler Kyoto Protokolü Ek 1 ülkeleri ve AB ülkelerindeki enerji verimliliğine zorlayıcı yasal altyapı nedeniyle, bu tür araştırmalar daha çok gelişmiş AB ülkeleri, Uzak Doğu ve ABD de olduğu görüşmüştür. Türkiye'de ise konutlardaki kullanıcı davranışlarının enerji tüketimine etkilerini araştıran çalışmalar oldukça kısıtlıdır ve kullanıcı etkisinden daha çok, mimari ve bina özelliklerine yoğunlaşılmıştır.

Bu tez, kullanıcıların enerji tüketimini "neden ve nasıl değiştirdiğinin" incelemek yerine, genel bağlamda "ne kadar" değiştirdi üzerine bir çalışmadır. Bu paralelde özellikle uluslararası yapılar araştırılmış, benzer konuda nasıl çalışmalar yapıldığı sonuçları ile incelenmiştir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, özellikle benzer binalarda enerji tüketim değerlerinin farklılığına yönelik yapılan çalışmalarda, kullanıcıların davranışlarının farklılığının ana etken olduğu ortaya konulmuştur. (Haas ve diğ., 1998)[5] (Branco ve diğ., 2004) [6] (Linden ve diğ., 2006) [7]. Kullanıcı davranış, alışkanlıkları, temel olarak alışkanlıklar tercihler ve sosyo-ekonomik özelliklerinin etkisiyle oluştuğu birçok araştırmada öne çıkarılmıştır. Schweiker ve Shukuya (2009) [8], yayınladığı çalışmasında, özellikle ısıtma sistemlerinin kullanımında, hane halkının etkilerinin oldukça önemli olduğu, ve bu etkinin iklim koşulları gibi dış etkenlerden değil de kişisel faktörlerden çok daha fazla etkilendiğini öne sürmüştür. Andersen vd.'nin (2009) [9] yine benzer yöndeki çalışmasında, ısıtma sistemlerinin enerji tüketimi, dış etkilerin yanında, kullanıcının kişisel davranış alışkanlıkları ve algıları ve cinsiyeti gibi etkenlerden istatistiksel anlamlı bir şekilde etkilendiğini ortaya koymuştur.

Kullanıcı etkisinin tüketime etkisinin gerçek anlamda ölçmenin tek yolu, benzer, hatta mümkünse aynı binadaki enerji tüketimlerini karşılaştırmaktır. Bu teze paralel yöntem izleyen (Sonderegger, 1978) [10] 205 sıra evi içeren istasitik araştırmasında, konutlar enerji tüketimi arasındaki farkın 3 kata kadar tespit etmiştir. Bu farkın % 54'ü bina tasarım değişkenleri ile açıklanabilirken, % 46'lık kısım tamamen kullanıcı tercihleri ile alakalı olduğunu tespit etmiştir. Ancak bir sonraki aşama olan bu etkiyi matematiksel model olarak gösterme yoluna gidilmemiştir.

Benzer şekilde Guerra Santin, [11] 2010 yılında yaptığı istatistiksel çalışmada, benzer binalardaki enerji tüketim farklılıklarının %12'isinin tamamen kullanıcıların alışkanlıkları sonucu olduğu sonucuna ulaşmıştır. (Guerra Santin & Ithard, 2010). Araştırmada, bireylerin duş, çamaşır, bulaşık gibi alışkanlıkları, elektronik aletlerin kullanım sıklığı gibi davranışsal öğelerin enerji tüketimine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Gill vd. [12] yaptığı birbaşka araştırmada da bu davranışsal parametrelerin su, elektik ve ısı tüketimine %11 ila %57 arasında etki ettiğini bulmuşturç (Gill ve diğ., 2010). Yine Chen vd. Çin'de yaptığı araştırmada, kullanıcıların sosyo-ekonomik durumlarının, enerji tüketimine %28,8 oranında değiştirebildiğini belirlemiştir (Chen ve diğ., 2013) [13].

Tüm bu çalışmalarda, hane halkının, enerji tüketimine ne kadar etki ettiği araştırılmış, ancak kullanıcı davranışlarının raslantısal özelliği nedeniyle, matematiksel model elde edilme yoluna gidilmemiştir. Bu çalışmanın sonunda, literatüre farklı olarak böyle bir analiz sonucu eklenecektir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Ticari bir simülasyon programı kullanılarak çalışmada seçilen binaların beklenen enerji talepleri ile gerçekleşen enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma her iklim bölgesi açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iklim bölgesi için elde edilen ikili veriler için "eğri uydurma yöntemiyle" matematiksel modeli kurularak, kullanım alışkanlıklarının enerji tüketimine etkisinin gerçek tüketimi hangi boyutlarda değiştirdiği analiz edilmiştir.

Tasarım aşamasında binaların enerji talep tahminleri birçok farklı benzetim yazılımı yardımıyla yapılabilmektedir, ancak hem ulusal, hem de bakanlık nezdinde onaylanmış bir yazılım olması nedeniyle bu tez kapsamında enerji talep analizi için BEP-TR yazılımı seçilmiştir.

BEP-TR yazılımı, Enerji Kimlik Belgesi hazırlanırken kullanılan, bu belgede yer alan enerji tüketim değerlerinin bulunması sırasında kullanılan resmi yazılımdır.

Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre, tüm yeni binalar en az C sınıfı olacak şekilde EKB almalıdır. Bu kimlik belgesi ile ilgili enerji talep değerlerinin hesaplanması, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan BEP-TR sistemi aracılığı ile yapılmaktadır.

İlk kez 2008 yılında hazırlanan yazılımın, ilk versiyonu oldukça fazla hata barındırmaktaydı. Özellikle sistemin, veri girişi aşamasında sadece belirli bina şekillerinin seçilmesine izin vermesi, mekanik sistemlerin sadece önceden belirlenmiş sistemler arasından seçilebilmesi ve herhangi bir yenilenebilir enerji veya kojenerasyon sistemi girişi yapılamaması dolayısı ile hesaplanan sonuçların gerçekleşen değerlerden oldukça farklı olduğu gözlenmiştir.

2014 yılında ise mevcut yazılım yenilenerek geliştirilmiştir. Yeni versiyon (BEP-TR 2) çok daha doğru sonuçlar vermektedir, dolayısı ile BEP-TR 2'nin, inceleme yapılacak binaların enerji talep tahminlerinin belirlenmesinde kullanılması uygun olacaktır. Sonraki bölümde BEP-TR sistemine veri girişinin nasıl yapıldığı ve sistemin hangi değerlendirmeleri ve hangi hesaplamaları yaptığı basitçe anlatılmıştır.

3.1. BEP-TR

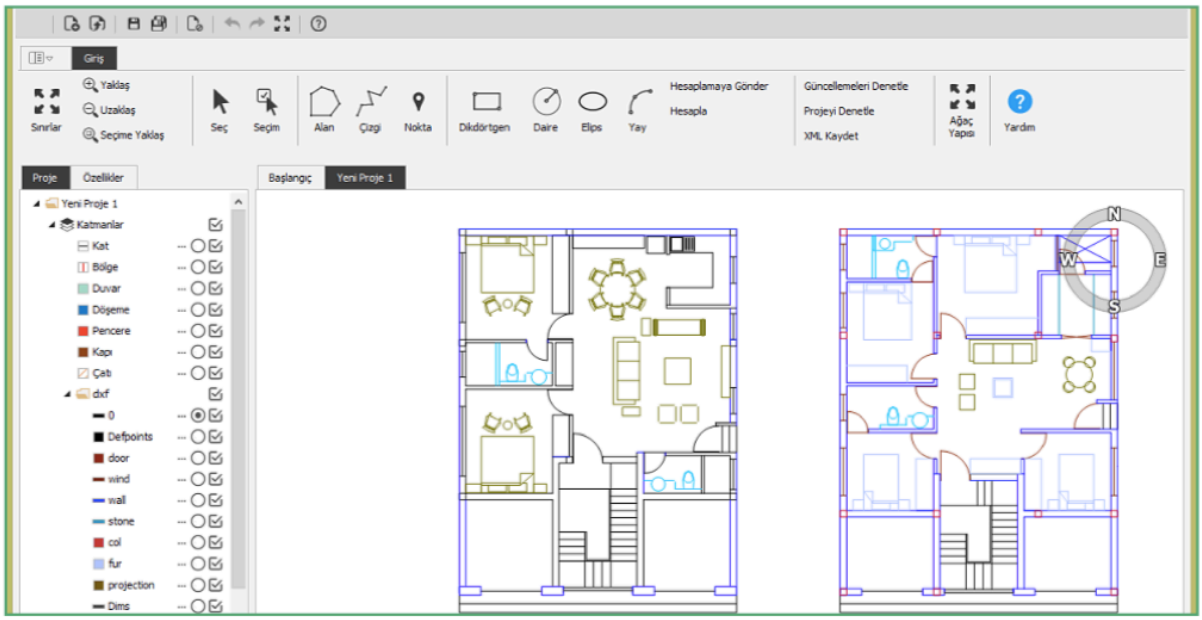
BEP-TR sisteminin yeni versiyonu 2 ana bileşenden oluşmaktadır.

İlk kısım olan BEP-BUY sistemi, çevrimdışı çalışabilen ve resmi yazılımın altyapısını oluşturan benzetim yöntemlerini içeren bileşendir. Bu sistemde, ilgili binanın tüm parametreleri ve geometrisi sisteme girilerek gerekli hesaplar yapılabilir. Buna rağmen geçerli bir EKB çıktısı alınamaz. Bunun için yapılan proje çevrimiçi çalışan BEP-IS sistemine yüklenmelidir. Bu yükleme işlemini yalnızca onaylanmış uzmanlar şifre ve kullanıcı adı ile yapabilir.

BEP-IS bileşeni ise kullanıcı adı ve şifresi ile giriş yapıldıktan sonra resmi EKB'ler ve mevcut projeler görüntülenebilir, üzerinde değişiklik yapılabilir ayrıca onaylı EVD'ler eğitim modülü ile eğitim girişlerini yapabilirler. Onay ile yetkili yerel yönetim birimleri, bu modül ile onaya sunulan projeleri görüntüleyebilir ve onay/red verebilir.

Sisteme veri girişi aşağıdaki sıralama ile yapılır:

a) Bina geometrisinin çizilmesi: BEP-TR 2 yazılımı, ilk versiyonun aksine CAD tabanlı çizimlerin sisteme aktarılabilmesine olanak sağlar. Bu aşamada, kullanıcı, herhangi bir CAD çizimi yükleyerek veya vektörel çizim yaparak binanın geometrik şeklini sisteme aktarır. Proje geometrisi için 7 alt katman oluşturulmalıdır. Bunlar 'Kat', 'Bölge', 'Duvar', 'Döşeme', 'Pencere', 'Kapı' ve 'Çatı' dır.



Şekil 3-1: BEP-TR sistemine bina şeklinin aktarılması.

Aktırılan veya manuel olarak çizilen bina geometrisinde bu katmanlar sol taraftaki proje barından eklenebilir veya çıkarılabilir.

b) Binanın temel özelliklerinin belirlenmesi: Binanın geometrisi sisteme aktarıldıktan sonra işlem yapılan katmanın özellikleri sol panelde yer alır. Bu bölümde, kullanıcı binaya ait genel özellikleri girer.



Şekil 3-2: BEP-TR sisteminde bina genel özelliklerinin girilmesi.

Bina bilgileri bölümü altında bulunan proje bilgileri, bina bilgileri, sızdırmazlık bilgileri, ısı köprüsü bilgileri, bulunuyorsa fotovoltaik ve kojenerasyon sistem bilgileri projesine uygun olarak girilir. Bu bölümde Binanın yapı ruhsat tarihi 01.01.2011 tarihinden sonra ise yeni bina olarak işaretlenir ve istasyon bilgisini belirlemek için bina konumu bilgileri mutlaka girilmelidir.

Yine bina bilgileri sekmesinden binanın konumu, bina tipi, konstrüksiyon tipi, binanın korunma durumu sisteme aktarılır.

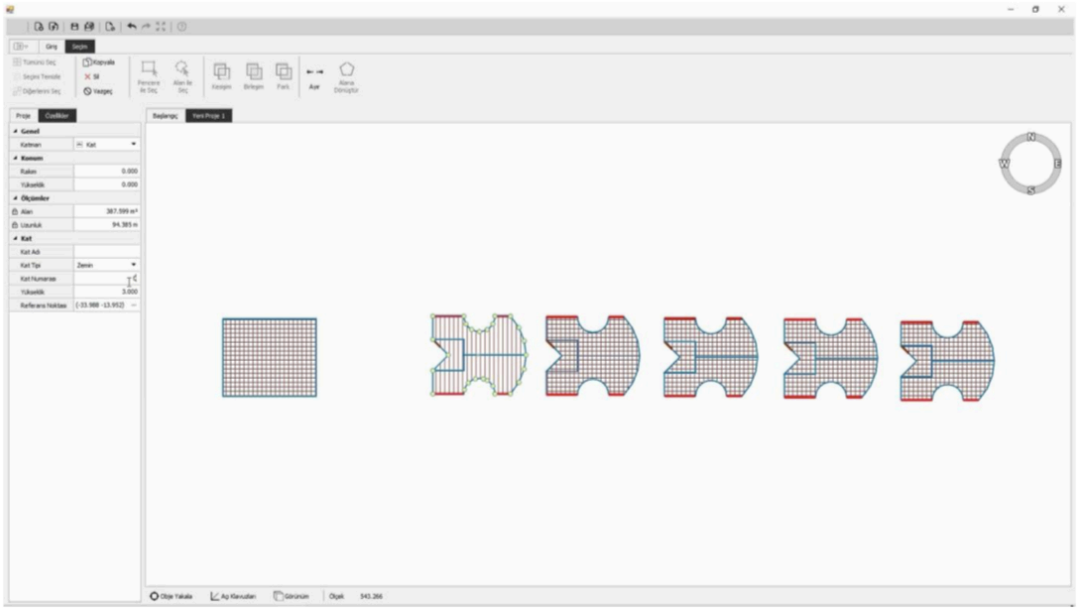
Isı köprüleri bölümünden projeye uygun ısı köprüleri seçilir.

Mekanik sistemler bölümünde tesise ait tüm ısıtma, soğutma, havalandırma sistemlerinin özellikleri girilir. Seçilen sistem özelliklerine göre veri giriş ekranında bulunan bölümler aktif veya pasif hale gelir.

c) Binanın ayrık bölgelerinin belirlenmesi: Bina temel özellikleri seçildikten sonra binanın katmanları belirlenmelidir. Projenin kat planının oluşturmak için sol tarafta bulunan 7 ana katman kullanılır. Bunlar hiyerarşik sırayla tanımlanmak üzere kat, bölge, duvar, döşeme, pencere, kapı ve çatıdır.

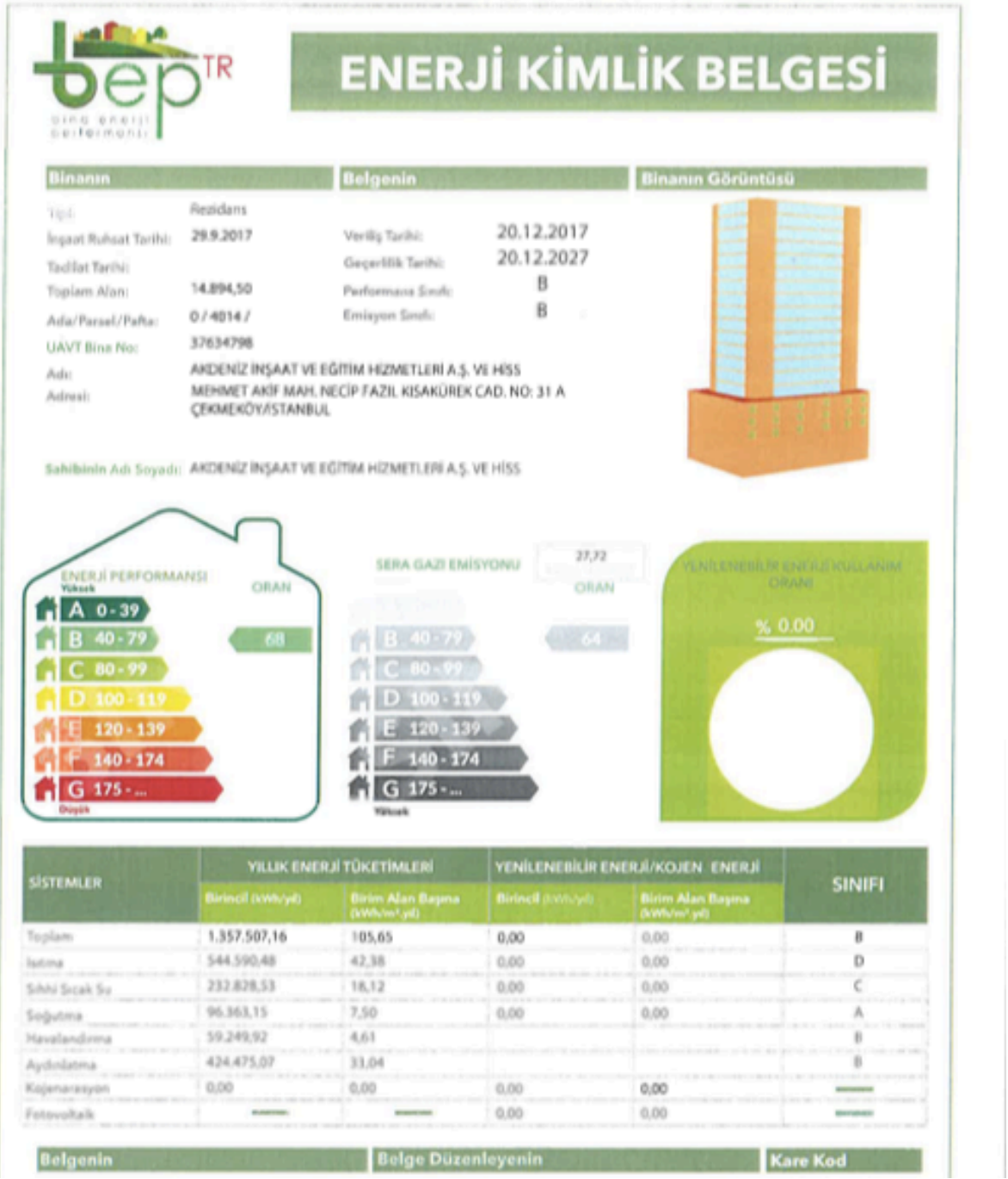
Binada kullanılan mekânlar, ısıtma, soğutma, sıcak su ve havalandırma sistemlerinin çalışma özellikleri, mekândaki aktivite durumu, kullanıcı profilleri, iç kazancılardaki farklılıklar gibi ısıl etmenlere göre farklı gruplara ayrılırlar. Benzer özellikler gösteren her bir grup bölge olarak isimlendirilir. Her bir bölge için aydınlatma başlığı altında armatürler sekmesinden aydınlatma sistemi eklenir. Gelen menüde sağ tarafta görünen armatür tipi, lamba tipi ve lamba sayısı projesine uygun olarak girilir. Program Aydınlık düzeyinin istenilen değere göre yeterliliğini kontrol ettiğinden projeyi denetleme aşamasında armatür tipinden ne kadar eksik olduğunu bir uyarı ile bildirecektir.

Alanlar ve bölgeler ayrı ayrı belirtildikten sonra çizilen şekil için gerekli duvar, pencere, kapı, döşeme ve çatı katmanları ve özellikleri belirtilir.



Şekil 3-3: BEP-TR sisteminde bina kat ve bölge planları.

d) Sonuç Rapor: Gerekli veri girişleri yapıldıktan sonra ilgili EKB uzmanı sonuç raporunu ve hesaplamaları BEP-BUY üzerinden sisteme aktarır. Onaylanan projeler için EKB oluşturulur ve yine sistem üzerinden EKB indirilir. Altta örnek bir EKB verilmiştir:



ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın

Tipi:	Rezidans
İnşaat Ruhsat Tarihi:	29.9.2017
Tadilat Tarihi:	
Toplam Alan:	14.894,50
Ada/Parsel/Pafta:	0 / 4014 /
UAVT Bina No:	37634798
Adı:	AKDENİZ İNŞAAT VE EĞİTİM HİZMETLERİ A.Ş. VE HİSS
Adresi:	MEHMET AKİF MAH. NECİP FAZIL KISAKÜREK CAD. NO: 31 A ÇEKMEKÖY/İSTANBUL

Belgenin

Veriliş Tarihi:	20.12.2017
Geçerlilik Tarihi:	20.12.2027
Performans Sınıfı:	B
Emisyon Sınıfı:	B

Binanın Görüntüsü

Sahibinin Adı Soyadı: AKDENİZ İNŞAAT VE EĞİTİM HİZMETLERİ A.Ş. VE HİSS

ENERJİ PERFORMANSI — ORAN: 68

A 0-39 · B 40-79 · C 80-99 · D 100-119 · E 120-139 · F 140-174 · G 175-...

SERA GAZI EMİSYONU — ORAN: 64

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIM ORANI: % 0.00

SİSTEMLER	YILLIK ENERJİ TÜKETİMLERİ		YENİLENEBİLİR ENERJİ/KOJEN ENERJİ		SINIFI
	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m².yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m².yıl)	
Toplam	1.357.507,16	105,65	0,00	0,00	B
Isıtma	544.590,48	42,38	0,00	0,00	D
Sıhhi Sıcak Su	232.828,53	18,12	0,00	0,00	C
Soğutma	96.363,15	7,50	0,00	0,00	A
Havalandırma	59.249,92	4,61			B
Aydınlatma	424.475,07	33,04			B
Kojenerasyon	0,00	0,00	0,00	0,00	—
Fotovoltaik	—	—	0,00	0,00	—

Belgenin | Belge Düzenleyenin | Kare Kod

Şekil 3-4: Enerji Kimlik Belgesi.

3.2. BEP-TR HESAP YÖNTEMİ

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğince oluşturulan BEP-TR hesaplama yazılımı, ilgili Türk Standartları ve genel kabul görmüş uluslararası standartları kullanarak, EKB'si çıkarılacak binaların bir yılda tüketeceği, ısıl, elektrik ve primer enerji miktarlarını ve buna bağlı emisyon miktarlarını hesaplamaktadır. Bu hesapların sonuçları, binanın enerji kimlik belgesi sınıfının belirlenmesinde kullanılmaktadır. BEP-TR yazılımı, her türlü bina için kullanılabilmekte ve tasarım aşamasında veya sonrasında farklı yöntemlerin ve ekipmanların enerji tüketimini nasıl etkilediğinin araştırılmasında uygun bir yazılımdır. Yazılım, altyapısında sakladığı EKB'ler ve tüketim değerleri ile de gelecek ile ilgili enerji tüketim projeksiyonları için faydalı bir veri tabanı oluşturur.

BEP-TR yazılımında aşağıdaki konularda enerji tüketim değerleri hesaplanır:

- Bina kabuğu özellikleri, geometrisi, konumu ve iklimi dolayısı ile binanın net ısıtma ve soğutma talebi
- Bu talebi üstlenecek mekanik sistemlerin özellikleri dolayısı ile tüketeceği son enerji miktarı
- Binanın, standartlarda verilen iç hava kalitesine ulaşabilmesi için gereken taze hava miktarı ve bu havalandırmayı sağlayacak mekanik sistemlerin enerji tüketim miktarları
- Binanın konumu, geometrisi, duvarlarının ve odaların özellikleri ve gün ışığından faydalanma oranı dolayısı ile gerekli aydınlatma ihtiyacı ve uygulanacak aydınlatma sisteminin enerji tüketimi
- Binanın kullanıcı sayısı kabulleri ile kullanım sıcak suyu ihtiyacı ve bu ihtiyacı karşılayacak su ısıtma sistemlerinin enerji tüketimi
- Var ise binanın enerji üretim miktarı (yenilenebilir veya kojenerasyon) ve bu enerji üretiminin binanın son enerji tüketimine etkisi
- Tüm bu hesaplamalar sonucunda binanın yıllık elektrik ve ısıl enerji tüketimi, birim alan başına enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu

BEP-TR sistemi saatlik dinamik hesap yöntemini kullanır. Bir diğer deyişle, binanın tüm özellikleri dolayısı ile, gün içinde saatlik olarak değişen iklim özellikleri, güneşin konumu ve etkisi, binanın enerji tüketimini nasıl etkilediği saatlik olarak değerlendirilir. Bu değerlendirme

sonunda binanın yıllık olarak net enerji ihtiyacı ve net enerji tüketimi ile sera gazı emisyonları hesaplanır.

EKB'de, ilgili enerji ihtiyacı ve sera gazı emisyonu sınıflarının belirlenmesi için karşılaştırma yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu amaçla, sistemde bir referans bina tanımlanmış ve proje için girilen bina özellikleri, referans bina ile karşılaştırılarak bina EKB sınıfları belirlenmiştir.

Referans bina yönteminde, aynı konumda aynı geometride fakat farklı bina kabuğu özellikleri, ısıtma soğutma ve aydınlatma sistemleri içeren ve mevcut yasal altyapının izin verdiği minimum sistemlere sahip gerçek dışı bir bina tanımlanır.

Bu hayali bina BEP-TR sistemi tarafından otomatik yaratılır. Aynı hesap metodolojisi kullanılarak hem proje binası hem de bu hayali referans bina için tüketim değerleri hesaplanır. Bu sonuçlar karşılaştır ve proje binasının referans binaya oranla ne kadar daha az enerji tükettiği belirlenir.

Referans binanın ısı yalıtım sistemleri TS 825 standardında verilen değerlere uygundur. Proje binasının ise TS825 değerlerinden daha iyi bir ısıl yalıtıma sahip olması gerekmektedir.

Referans binanın ısıtma için doğalgaz yakıtlı merkezi ısıtma sistemi kullandığı kabul edilir. Bu sistem ilgili yönetmeliklerce izin verilen en düşük verim sınıfına sahip sistem olarak seçilir.

Referans konut binasında bireysel oda tipi klima, soğutma sistemi olarak belirleniştir.

Benzer şekilde referans binada kulanım sıcak suyu için doğalgazlı şofben seçilmiştir.

Aydınlatma sistemi ise, direkt aydınlatmalı duvarların ışık yansıtma seviyesi (ρD) %50, tavanın ışık yansıtma seviyesi (ρT) ise %70 olarak belirlenen hacimde, floresan lamba olarak belirlenmiştir.

Bu şekildeki bir referans binanın m^2 başına enerji tüketimi, sera gazı emisyonu hesaplanır. Proje binası için de hesaplanan bu değerler referans bina değerleri ile karşılaştırılarak EKB sınıfları belirlenir.

3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Tezin amacı kullanıcı davranışlarının enerji tüketimine etkisinin incelenerek matematiksel model olarak belirtilmesidir. İstatistiki verilerin incelenmesi ve matematiksel modelin çıkarılmasında gerileme (regresyon) analizi yapılmıştır.

Gerileme (regresyon) analizi, bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenler cinsinden temsil edilmesini sağlayan modellerin üretilmesi, sonrasında bu modellerin, sistemi ne kadar temsil edebildiğinin testini yapabilen bir yöntemdir. Gerileme modelinde, her bir bağımsız değişkenin (X), bağımlı bir Y değişkeni ürettiği varsayılır ve bu ayrı değerler kümesinin ortak değerleri hesaplanır.

Genel bir ifade olarak, bağımsız değişkenler Y ile, bağımlı değişkenler X ile ifade edilirse; bağımsız değişkenler şu fonksiyon ile ifade edilir:

$$\boldsymbol{Y = \alpha + \sum_{i=1}^{k} \beta_i X_i + \varepsilon_i} \tag{3.1}$$

(k = Fonksiyondaki bağımsız değişken sayısı)

Fonksiyonda verilen (ε_i) terimi, "hata (*residual*)" terimi olarak adlandırılır ve gözlemlenen değerlerin ortalamadan farklarını temsil etmektedir.

Yukarıda verilen Hata Terimi için şu kabuller yapılır:

- Gerileme analizindeki temel hedef hata teriminin sıfır yapılmasıdır: E(ε) = 0
- Hata terimlerinin varyansları eşittir ve sabittir.
- Her bir hata terimi birbirinden bağımsızdır: E (ε_i ε_j) = 0 (i ≠ j için)
- Her bir hata terimi ile ilgili bağımsız değişken birbirinden bağımsızdır: (X,ε) = 0

Hata terimlerinin "normal dağılımlı" olduğu kabul edildiğinde , denklemin başarısını ve doğruluğu test edilebilir.

Gerileme modelinde, Y'ler rastgele değişkenlerdir. Buna karşılık, X bağımsız değişkenlerinin böyle bir özelliği olması aranmaz. Asıl varyasım, X'lerin doğru gözlemlendiği veya ölçüldüğüdür. (Günel, 2003) [15]

Toplanan verilerin özelliğine göre literatürde birçok gerileme (regresyon) yöntemi mevcuttur;

- En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma veya L1 Norm,
- En Küçük Kareler Yöntemi veya L2 Norm,
- Toplam En Küçük Kareler veya Ortogonal Regresyon,
- Robust Regresyon

en çok kullanılan gerileme (regresyon) yöntemlerindendir.

Kümelenmiş veri grupları için yapılan çalışmalarda en uygun gerileme analizi yöntemi "En Küçük Toplamlı Mutlak Sapma veya Robust Regresyon" olarak belirlenmiştir. Bunun yanında dağınık veri gruplarında En Küçük Kareler veya Ortogonal Gerileme yöntemleri ile daha uygun ve güvenilir sonuçlar vermektedir.

Ek Küçük Kareler Regresyonu (L2 Norm), uygulaması en verimli olan eğri uydurma tekniklerinden biridir. L2 Norm, en küçük kareler optimizasyonunun en temel şeklidir ve L2 Normunun temel doğrusal-cebirsel problemleri için örnekleme algoritmaları, en temel gerileme (regresyon) problemlerinden bir tanesidir. Hata terimi ε'nin normal (Gauss veya üstel) dağılım gösterdiği varsayımı altında etkili bir istatistiksel yaklaşımdır. (Öztürk, 2012) [14]

Yöntemin amacı, gözlemlenen gerçek değerlerin analiz ile belirlenen doğrudan farklarının en küçük olduğu doğru fonksiyonunun bulunmasıdır.

$y_i(x)$: gözlenen değerler

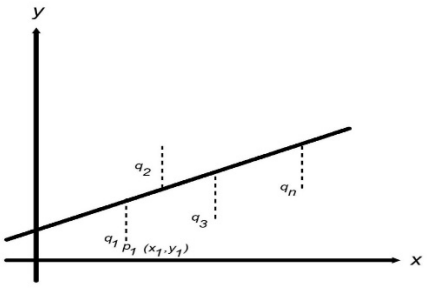
$\widehat{y_i}(x)$: tahmin edilen değerler (Gerileme/Regresyon analizi sonuçları)

q_i : bu değerler arasındaki fark

olduğunda;

$$\sum_{i=0}^{n} {q_i}^2 = \text{minimum} \tag{3.2}$$

Yapacak fonksiyon modeli en iyi temsil eden fonksiyondur q_i'nin gösterimi aşağıdaki şekildedir:



Şekil 3-5: Hata terimlerinin minimum yapılması.

$(x_0 , y_0) , (x_1 , y_1) , (x_n , y_n)$ noktaları arasından sonsuz sayıda doğru geçebilir. Her doğru için gözlenen $y_i(x)$ ve hesaplanan $\widehat{y_1}(x)$ değerlerin farkı değişik olacaktır. Bu doğrular arasında, bu farkların karelerinin toplamı hangi doğruda minimum ise, o doğru sistemi en iyi modelleyen doğrudur.

$(x_0 , y_0) , (x_1 , y_1) , . . . , (x_n , y_n)$ noktalarını kapsayan doğrunun denklemi:

$$\widehat{y_1}(x) = \alpha x_i + b \tag{3.3}$$

Biçiminde ifade edilir.

Bu denklemi 3.2 denkleminde yerine yazarsak;

$$\sum_{i=0}^{n} q_i^{\,2} = \sum_{i=0}^{n} (y_i - ax_i - b)^2 \tag{3.4}$$

elde edilir. 3.2 no'lu denklemin minimum değeri alacağı şekilde α ve b değerlerini bulmak için $\sum_{i=0}^{n} (y_i - ax_i - b)^2$ sonucunu sıfıra eşitleyip, a ve b'ye göre kısmi türevler alınırsa aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\sum y_i = \alpha \sum x_i + nb \tag{3.5}$$

$$\sum x_i y_i = \alpha \sum x_i^2 + b \sum x_i^2 \tag{3.6}$$

Bu denklemlere "normal denklemler" olarak adlandırılır. Bu denklemler yardımıyla α ve b değerleri bulunur ve ana gerileme analizi denkleminde (y = α + bx) yerine yazılırsa istenen gerileme analizi denklemine ulaşılmış olur

Oluşturulan modelin, sistemi ne kadar başarılı temsil edebildiği "belirleme katsayısı (R^2)" istatistiği ile test edilebilir. Bu istatistik, modelin veri uzayını ne kadar temsil edebildiğini, dolayısı ile, sonraki tahminleri ne kadar başarılı yapabildiğini gösterir.

Gerileme analizinde, ana yöntem, ölçülen bağımlı değişken Y'lerin karelerinin toplamını, gerileme analizinde kullanılan tahmini Y değerlerinin karelerinin toplamı ve hata bileşenlerinin karelerinin toplamı olarak iki parametre ile gösterebilmektir.

$$\sum_i (Y_i - \hat{Y})^2 = \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 + \sum_i (\hat{Y}_i - \hat{Y})^2 \tag{3.7}$$

$$\hat{Y} = \sum_i Y_i \, / n$$

$\hat{Y}_i$= *denklemden hesaplanan* Y değerleri

Yukarıdaki denklemde, sağdaki ilk kısım analiz sonucu hesaplana değerlerin karesidir (RSS), ikinci kısım ise hataların karelerinin toplamıdır (ESS). Soldaki terim ise gözlemlenen Y değerlerinin karelerinin toplamıdır. (TSS). Eşitlikte her iki taraf TSS'ye bölündüğünde aşağıdaki denklem ortaya çıkmaktadır.

$$1 = \frac{RSS}{TSS} + \frac{ESS}{TSS} \tag{3.8}$$

(RSS/TSS) oranı, analizin belirlediği, modelin gösteren ve "denklemin belirleme katsayısı (R^2)" olarak adlandırılan parametredir:

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS} = 1 - \frac{ESS}{TSS} \tag{3.9}$$

Hata terimlerinin varyansı ile belirleme katsayısı arasındaki eşitlik ise aşağıdaki gibidir:

$$S_{y,x}^2 = \frac{n-1}{n-k-1} \left(S_y^2 - \sum_{i=1}^{k} b_i^2 S_i^2\right)$$

$$S_{y,x}^2 = \frac{n-1}{n-k-1} S_y^2 (1 - R^2) \tag{3.10}$$

Hata terimlerinin (ε) birçok problem için normal dağılımlı olarak kabul edilir. Bu varsayıma göre:

$$F = \frac{R^2 / k}{(1- R^2)/ (n-k-1)} = \frac{n-k-1}{k} \frac{R^2}{1-R^2} \quad (3.11)$$

Denkleminin sonucu, X ve Y arasında istatistik anlamda geçerli bir bağlantı olup olmadığını test etmeye imkan sağlar. Hesaplanacak değer, tablodan görülen F değerinden küçükse, ortaya çıkan model ve denklem başarılı değildir sonucuna ulaşılır. Eğer büyük bir F değeri hesaplanırsa, model geçerli ve başarılıdır. (Günel, 2003) [15]

Bu F testinde, oluşturulan model uygun ve başarılı olarak gözükse bile, yine de hangi bağımsız değişkenin bu modele ne kadar katsı sağladığı kontrol edilmelidir. Yapılacak bir başka test ile, model gerçekten de değerlendirmeye alınan bağımsız değişkene ihtiyacı olup olmadığı belirlenebilir. Ortaya çıkacak modelin en az sayıda bağımsız değişken içermesi her zaman hedeflenen durumdur. Bu test için önce gerileme analizi ile R^2 değeri bulunur. Daha sonra bağımsız değişkenlerden birkaçı elenerek yeni bir gerileme analizi yapılır. Değerlendirmeye alınmayan değişkenlerin istatistik anlamda önemli olup olmadığı aşağıdaki formül ile değerlendirilir:

$$F_{p;n-k-1} = \frac{(R_k^2 - R_{k-p}^2) / p}{(1- R_k^2) / (n-k-1)} \quad (3.12)$$

Bulunacak bu F değeri, tablodan görülen F değerinden küçükse, hesaba katılmayan değişkenlerin istatistik olarak önemli katkısı olmadığı anlaşılır. Eğer tersi durum söz konusu ise, değerlendirme dışı bırakılan değişkenlerin modele önemli katkısı vardır ve değerlendirme dışı bırakılmamalıdır sonucu çıkar. (Günel, 2003) [15]

Bu çalışmada, önce tek parametreli (EKB tüketim tahmini ve gerçek tüketimler) lineer ve üstel gerileme (regresyon) analizi yapılarak, bulunan denklemlerin F ve R^2 değerleri karşılaştırılmış, uydurulan denklemlerin veri setini ifade edip edemeyeceği değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada aynı işlemler bir de çok parametreli Doğrusal gerileme (regresyon) ve kategorik gerileme (regresyon) analizine tabi tutulmuş, hangi yöntemin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Birden fazla bağımsız değişken söz konusu olduğunda, bağımlı değişkeni tahmin etmeye yönelik analize "Çoklu gerileme analizi" denir. Bu analiz, bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişken cinsinden ifadesine ve toplam varyansın incelenmesine olanak verir. Ayrıca

bu analizde, her bir bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediği de yorumlanabilir. Bu analizdeki doğrusal ilişki aşağıdaki denklem ile gösterilir:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \cdots + \beta_n X_n \quad (3.13)$$

Çoklu gerileme (regresyon) analizinde eğimler (β_i) diğer değişkenler sabit tutulduğunda, o bağımsız değişkendeki birim artışa karşılık, bağımlı değişkendeki değişim miktarını gösterir ve kısmi eğim ya da kısmi gerileme (regresyon) katsayısı olarak isimlendirilir.

X_i = Bağımsız değişkenler

β_i = Tahmin edilecek parametreler

α= Hata terimi

Y = Bağımlı değişken

Çoklu gerileme (regresyon) modelinin varsayımları aşağıdadır:

1. Dağılımlar normaldir.
2. Fonsiyon doğrusaldır.
3. Hata terimlerinin ortalaması 0'dır
4. Varyant sabittir
5. Otokorelayon yoktur
6. Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantının yoktur

Çoklu gerileme (regresyon) modelinde H_0 hipotezinde tüm katsayıların sıfıra eşit olduğu ($H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \ldots. = \beta_n$) kabul edilirken, H_a hipotezinde en az bir β_i'nin sıfırdan farklı olduğu kabulü yapılır. Seçilen parametrelerin istatistiksel anlamlılığı için t testi incelenmelidir. Modelin bir bütün olarak anlamlı olup olmadığı için ise 'F' testi sonuçlarına bakılır. (Kanıt & Baykan, 2004) [16]

Belirlilik katsayısı (R^2), kurulan modelin, gerçekleşen bağımlı değişkenleri hangi yüzde ile tahmin edebildiğini gösterir. Çoklu gerilemede (regresyon) modele yeni bağımsız değişkenler eklendikçe R^2 artar, bu yüzden düzeltilmiş R^2 değerini kullanmak daha doğrudur.

Doğaldır ki, bağımsız değişken arttıkça modelin başarısı da artacaktır. Ancak, pratikte, eklenen her bir bağımsız değişken yeni bir zaman ve maliyet yükü getireceğinden, hedeflenen en az sayıda bağımsız değişken ile modelin kurulabilmesidir.

Enter yöntemi, değişken seçiminde en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde, analizi yapan tarafından belirlenen bağımsız değişkenler modele eklenerek, modelin tahmin gücü test edilir. Eğer herhangi bir değişken çıktığında, R^2 değeri değişmiyorsa bu değişken modelden çıkarılabilir.

Değişken ekleme metodunda (Forward Selection), modelde kullanılan her bir değişkenin tahmin gücüne etkisi ölçülür ve bu değeri önemli ölçüde etkilemeyen bir değer var ise bu modelden çıkarılır.

Değişken eleme işleminde ise (*Backward Selection*), tüm değişkenler önce modelde kullanılır. Sonrasında en etkisiz bağımsız değişken modelden çıkarılır ve analiz tekrar hesaplanır. Eğer bu durumda model önemli derecede veri uzayını temsil etme yeteneğini kaybedtmiyorsa bu değişken modelden çıkarılır. Bu süreç, sadece yüksek etkiye sahip bağımsız değişkenler kalana kadar devam eder.

Çok parametreli gerileme (regresyon) analizinde seçilen ve bir sonraki bölümde tanıtılan bağımsız değişkenlerden bazıları kategorik yapıdadır, dolayısı ile kategorik gerileme (regresyon) analizi uygulanmıştır.

Kategorik gerileme (regresyon) analizi, değişkenler arasında hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkilerin bulunduğu, bağımlı değişkenin kategorik olduğu durumlarda kullanılabilen çok değişkenli bir analiz tekniğidir. CATREG daha az varsayım gerektirmesi, uygulama alanının geniş olması ve bilgisayar programlarında da uygulamasının yapılabilmesi sebebiyle, daha çok kategorik verilerin bulunduğu sosyal bilim çalışmalarında kullanılabilecek etkin bir gerileme (regresyon) modeli olmaktadır (Cengiz, 2008) [17].

Kategorik gerileme (regresyon) analizi, değişken düzeylerindeki dönüşümlerin doğrusal olmaması sebebiyle, doğrusal gerileme (regresyon) gibi çalışmamaktadır. Kategorik gerileme (regresyon) analizinde değişkenler orijinal kategorilerinin özelliklerini yansıtacak şekilde sayısallaştırılmakta ve bu değişkenler nümerik değişkenler gibi gerileme (regresyon) modelinde yer almaktadır. CATREG, kategorik değişkenlerin dönüşümlerle nümerik hale getirilmesiyle,

doğrusal gerileme (regresyon) analizi ile eş hale gelmektedir. Kategorik gerileme (regresyon) sürecinde öncelikle sayısallaştırmalar yapılmakta ardından gerileme (regresyon) katsayıları tahmin edilmekte ve kayıp fonksiyonu hesaplanmaktadır. Daha sonra bir önceki adımda elde edilen kayıp fonksiyonu ile karşılaştırma yapılarak aralarındaki fark anlamsız oluncaya kadar iterasyonlar devam etmekte ve amaç fonksiyonunun optimizasyonu sağlandığında iterasyonlar durdurulmaktadır (Kooji ve diğ., 2006) [18].

Sayısallaştırma işleminde, en uygun denklemi ortaya çıkarabilmek için bir takım doğrusal olmayan dönüşümler kullanılır. Sözü edilen tüm dönüşümler, her bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında kurulan modeli en başarılı hale getirmek için yapılmalıdır. Kategorik gerileme analizi, işte bu en uygun sayısallaştırma teknikleri ile kategorilerin ölçek haline getirilmesi şeklinde dönüştürülmüş değişkenlere uygulanan çoklu gerileme analizidir. Bu analizde kullanılan hata denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\varphi_r(y) = \sum_{j=1}^{J} \beta_j \, \varphi_j(x_j) + e \tag{3.14}$$

Yukarıdaki denklemdeki J bağımsız değişken sayısını, y bağımlı değişkeni, x_j bağımsız değişkenleri, β_j gerileme (regresyon) katsayılarını, φ_r bağımlı değişken için, φ_j bağımsız değişkenler için dönüşüm fonksiyonunu, e ise hata terimini göstermektedir.

Yukarıdaki analizdeki tüm değişkenler, Gösterge Matrisi denilen, Nxk_j boyutlu bir matris ile ifade edilebilir. Burada verilen N, sistemdeki tüm değişken sayısını, k_j ise j. değişkenin kategori sayısını temsil eder. Gösterge Matrisi, yalnızca 0 ve 1 değerlerin içerir. Her bir satırdaki kategorik değişken hangi sütunda ise o değer 1 diğer değerler 0 şeklinde değer almaktadır. Böylece eğer sistemde eksik bir Y değeri yoksa, bir başka deyişle eksik bir gözlem yok ise, matristeki her satır toplamı 1 olur.

Kategorik sayısallaştırma metodu ile elde edilmiş vektörler ve bu gösterge matrisi kullanılarak hata terimlerinin ifadesi aşağıdaki denklemdeki gibi yazılabilir:

$$G_r y_r = \sum_{j=1}^{J} \beta_j \, G_j y_j + e \tag{3.15}$$

Kategorik gerileme analizinde, bu hata fonksiyonu, Dalgalı En Küçük Kareler algoritması (ALS: Alternating least squares) yöntemi ile minimum yapılır. Bu yöntemde, her bir kategorik bağımsız değişken için sayısallaştırma yapılmakta, ve gerileme analizinin model sabitleri

hesaplanmaktadır. Sonrasında ise bu parametreler ise hata fonksiyonu değerleri hesaplanır. Hata fonksiyonu değeri minimum olana kadar, iterasyon ile bu sayısallaştırma yenilenir ve gerileme analizi tekrar yapılır. Hata fonksiyonu değeri değişimi anlamsız olduğunda ise analizin sonuçlar, model parametreleri olarak ortaya çıkar. (Güç & Başar, 2016) [19]

Tez kapsamında tüm istatistiksel analizler SPSS-23 programı kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1.DEĞİŞKENLERİN TANITILMASI VE VERİ SETİ

Öncelikle daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, konutlarda, ticari binalar ile karşılaştırıldığında, kullanıcı davranışlarının tüketime etkisini daha açık bir şekilde görülebildiğinden analiz konutlar üzerinde yapılmıştır. AVM, iş merkezi, hastane gibi binalarda kullanıcı davranışlarının dışında tesisin çalışma özellikleri ve değişken yükleri nedeniyle tüketim önemli bir biçimde etkilenebilir ve kullanıcı davranışlarının etkilerinin modellenmesi çok mümkün değildir.

Seçilen konutlar TuREEFF (*Turkey Residential Energy Efficiency Financing Facility*) projesi kapsamında finanse edilen binalardır. TuREEFF projesi, Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (AİKB) tarafından geliştirilip "Temiz Teknoloji Fonu" CTF (*Clean Technology Fund*) ve Avrupa Birliği (AB) tarafından desteklenen ve konutlarda enerji verimliliği projelerinin gerçekleştirilmesine finansal destek sağlayan bir çerçeve operasyonudur.

AİKB ve AİKB'in sağladığı ve anlaşmalı bankalarca dağıtılacak toplam 270 Milyon Dolar, Enerji Verimliliği kredileri konusunda bir değişimi teşvik eden, geniş kapsamlı ve Teknik Danışmanlık Desteğiyle bütünleşik bir programdır.[1]

TuREEFF kapsamında finanse edilecek binalar başvuru aşamasında yeni veya mevcut bina için resmi EKB'lerini TuREEFF danışman ekibi ile paylaşmak zorundadırlar. Yatırım tamamlandıktan sonra ise TuREEFF danışman ekibi projeleri yerinde ziyaret ederek yatırımın EKB'de girilen parametrelere uygunluğunu denetleyerek ilgili konutlarda gerçek enerji tüketim değerlerini toplamaktadır.

EKB'lerin kapsamı içerisinde, konutta kullanılan elektrikli aletlerin elektrik tüketimine etkisi hesaba katılmadığından, EKB'de belirtilen elektrik tüketimi ile gerçekleşen elektrik tüketimi arasında ciddi farklar bulunmaktadır. Bu yüzden, yalnızca konutların ısıl enerji tüketimleri değerlendirilmiştir. Konutlardaki ısıl enerji tüketimi, ortam ısıtma ve sıhhi sıcak su ısıtması için

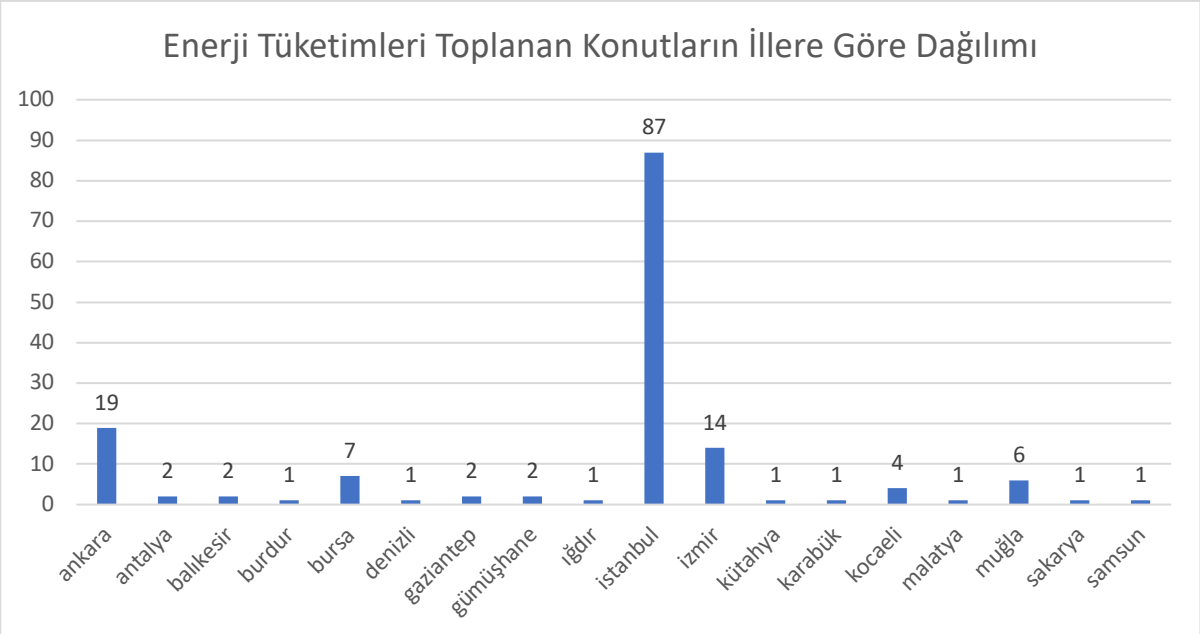
[1] https://www.tureeff.org/hakkimizda

kullanılan enerji olarak kabul edilmiştir. EKB'lerde yer alan sıhhi sıcak su ve ortam ısıtması için birim alana düşen enerji tüketimlerinin toplamı, bu konutlar için toplam tahmini enerji tüketimi olarak kabul edilmiştir.

Verileri toplanan tüm konutlar ısıl enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanmaktadır. Dolayısı ile gerçekleşen ısıl enerji tüketimleri için, aynı binalarda yer alan hanelerin bir yıllık doğalgaz tüketimi toplanmıştır. Doğalgaz tüketiminin %10'unun pişirme için ocaklarda kullanıldığı varsayımı yapılmıştır. Toplam doğalgaz tüketiminin %90'ı ise sıhhi sıcak su ve ortam ısıtması için kullanıldığı kabulü yapılmıştır. Bu tüketim, ilgili konutun brüt alanına bölünerek birim alan başına tüketilen ısıl enerji bulunmuştur.

Enerji tüketim değerleri ve EKB'leri toplanan konutlar, 2014-2017 yılları arasında TuREEFF projesi çerçevesinde finanse edilmiş ve tamamlanarak kullanıma başlamış ve 1 yıllık tüketim verisi mevcut projelerdir. İlgili konutlara sağlanan toplam finansman 49,000,000 USD'dir. TuREEFF projesi ve ilgili bankalar arasında yapılan gizlilik sözleşmesi gereği, binaların ve konutların adres ve aidiyet bilgileri paylaşılamamıştır.

Toplam 18 ilden 153 adet konutun EKB si ve proje sonrasında yıllık tüketim harcamaları toplanmıştır. Enerji tüketimi toplanan konutların illere göre dağılımı aşağıda verilmiştir.



Şekil 4-1: Tüketimleri toplanan verilerin illere göre dağılımı.

En büyük konut stoku İstanbul'da olduğundan 87 bina ile en fazla veri İstanbul'dan toplanmıştır. Sonrasında Ankara ve İzmir'den de sırasıyla 19 ve 14 binanın tüketim değerleri toplanmıştır.

EKB tüketim tahmini değerleri ana bağımsız değişkendir. Aşağıdaki tabloda tüm binaların EKB'lerinde hesaplanan m^2 başına ısıl enerji tüketimleri verilmiştir. Bankalar ile yapılan gizlilik anlaşması gereği bina isimleri verilememiş, sadece bulunduğu il ifade edilmiştir.

Tablo 4-1: EKB'lere göre ısıl enerji tüketimleri.

Bina Adı	**EKB - m^2 başına ısıtma + sıhhi sıcak su enerji ihtiyacı (kWh/m^2)**	**Bina Adı**	**EKB - m^2 başına ısıtma + sıhhi sıcak su enerji ihtiyacı (kWh/m^2)**	**Bina Adı**	**EKB - m^2 başına ısıtma + sıhhi sıcak su enerji ihtiyacı (kWh/m^2)**
Ankara 1	172,43	İstanbul 15	203,13	İstanbul 66	111,66
Ankara 2	95,53	İstanbul 16	73,34	İstanbul 67	111,66
Ankara 3	143,15	İstanbul 17	177,98	İstanbul 68	107,71
Ankara 4	89,47	İstanbul 18	203,13	İstanbul 69	90,86
Ankara 5	89,47	İstanbul 19	177,98	İstanbul 70	156,04
Ankara 6	89,47	İstanbul 20	110,74	İstanbul 71	245,50
Ankara 7	72,37	İstanbul 21	80,56	İstanbul 72	78,01
Ankara 8	115,79	İstanbul 22	177,98	İstanbul 73	130,32
Ankara 9	155,45	İstanbul 23	250,76	İstanbul 74	90,23
Ankara 10	159,97	İstanbul 24	134,93	İstanbul 75	262,53
Ankara 11	131,98	İstanbul 25	68,75	İstanbul 76	120,15
Ankara 12	201,63	İstanbul 26	120,76	İstanbul 77	71,47
Ankara 13	115,93	İstanbul 27	128,90	İstanbul 78	187,94
Ankara 14	194,13	İstanbul 28	88,11	İstanbul 79	138,73
Ankara 15	205,98	İstanbul 29	78,65	İstanbul 80	147,19
Ankara 16	122,68	İstanbul 30	128,90	İstanbul 81	138,73
Ankara 17	151,46	İstanbul 31	177,98	İstanbul 82	169,03
Ankara 18	130,55	İstanbul 32	80,56	İstanbul 83	77,99
Ankara 19	130,55	İstanbul 33	253,68	İstanbul 84	99,27
Antalya 1	70,03	İstanbul 34	96,80	İstanbul 85	235,97
Antalya 2	79,04	İstanbul 35	226,33	İstanbul 86	212,30
Balıkesir 1	209,21	İstanbul 36	283,89	İstanbul 87	151,50
Balıkesir 2	186,57	İstanbul 37	248,08	İzmir 1	53,31
Burdur 1	132,72	İstanbul 38	252,77	İzmir 2	28,77
Bursa 1	98,02	İstanbul 39	102,02	İzmir 3	22,77

Tablo 4-1: EKB'lere göre ısıl enerji tüketimleri (Devam).

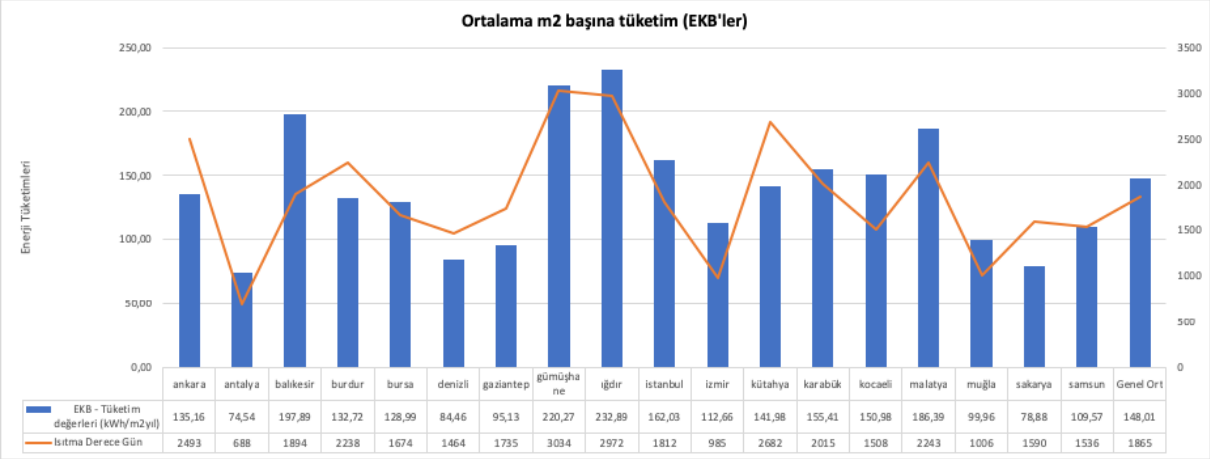
Bursa 2	101,04	İstanbul 40	102,02	İzmir 4	76,17
Bursa 3	103,88	İstanbul 41	225,05	İzmir 5	168,18
Bursa 4	165,00	İstanbul 42	153,22	İzmir 6	149,84
Bursa 5	144,20	İstanbul 43	244,56	İzmir 7	91,70
Bursa 6	144,57	İstanbul 44	79,32	İzmir 8	98,80
Bursa 7	146,24	İstanbul 45	79,32	İzmir 9	79,91
Denizli 1	84,46	İstanbul 46	111,66	İzmir 10	234,62
Gaziantep 1	95,88	İstanbul 47	278,76	İzmir 11	131,64
Gaziantep 2	94,38	İstanbul 48	94,71	İzmir 12	137,77
Gümüşhane 1	191,17	İstanbul 49	89,84	İzmir 13	61,43
Gümüşhane 2	249,36	İstanbul 50	90,03	İzmir 14	242,37
Iğdır 1	232,89	İstanbul 51	62,34	Karabük 1	155,41
İstanbul 1	62,83	İstanbul 52	262,48	Kocaeli 1	188,46
İstanbul 2	96,80	İstanbul 53	203,00	Kocaeli 2	154,84
İstanbul 3	226,15	İstanbul 54	203,00	Kocaeli 3	157,28
İstanbul 4	231,30	İstanbul 55	203,00	Kocaeli 4	103,35
İstanbul 5	180,50	İstanbul 56	203,00	Kütahya 1	141,98
İstanbul 6	252,77	İstanbul 57	203,00	Malatya 1	186,39
İstanbul 7	196,00	İstanbul 58	82,75	Muğla 1	135,28
İstanbul 8	254,38	İstanbul 59	82,75	Muğla 2	64,36
İstanbul 9	122,37	İstanbul 60	272,49	Muğla 3	61,67
İstanbul 10	241,44	İstanbul 61	272,49	Muğla 4	145,50
İstanbul 11	241,44	İstanbul 62	272,49	Muğla 5	147,92
İstanbul 12	255,96	İstanbul 63	88,11	Muğla 6	45,00
İstanbul 13	203,13	İstanbul 64	153,56	Sakarya 1	78,88
İstanbul 14	203,13	İstanbul 65	153,56	Samsun 1	109,57

Tüm bu 153 binanın birim alan başına termal enerji tüketimi ortalaması 148,01 kWh/m^{2}yıl olarak hesaplanmıştır.

İklim şartlarının da kullanıcı davranışlarına etki etmesi yüksek bir ihtimaldir, dolayısı ile iklim şartlarının etkisini istatistiksel analize katabilmek için, illerin ısıtma derece gün değerleri de bir başka bağımsız değişken olarak varsayılmıştır. Bu çalışmada, t_b>18°C için 10 yıllık meteoroloji verileri dikkate alınmıştır. Isıtma derece gün verisi, bir yıl içerisinde seçilen bölgenin sıcaklığının, seçilen baz sıcaklığından yüksek olduğu saat sayısı olarak ifade edilebilir. İller için ısıtma gün dereceleri farklı kaynaklarda küçük farklar göstermektedir. Ancak burada asıl

görülmek istenen, soğuk ve sıcak iklimlerdeki kullanıcı davranışlarının farklılığıdır. İklim koşullarının EKB'lerde çıkan tüketim değerlerine direk etkisi olduğu gözlenebilen bir durumdur, dolayısı ile EKB değerleri ve ısıtma gün derecelerinin bağımsız değişkenler değil de birbirine bağımlı değişkenler olduğu öne sürülebilir. Yine de hem ısıtma derece gün değerlerini bağımsız değişken gibi düşünerek, hem de bağımlı değişken gibi düşünerek yapılan analizlerde R^2 değişimi gözlenecek ve ısıtma derece gün değerlerinin hesaba katılmasının, daha doğru sonuç veren bir matematiksel model bulunmasına katkı yapıp yapmadığı incelenecektir.

Aşağıdaki grafik, iller bazında EKB'lerde hesaplanan ısıl enerji tüketim ortalamaları ile ilgili ilin ısıtma gün derecesini belirtmiştir.



Şekil 4-2: Tüketimleri toplanan verilerin illere göre dağılımı.

Beklenen, illere göre ısıl enerji tüketimlerinin ısıtma gün dereceleri ile uygun doğrultuda olmasıdır. Bir diğer deyişle, ısıtma gün derecesi yüksek olan illerin termal enerji tüketimlerinin de yüksek olması beklenmektedir. Derece gün sayıları ile karşılaştığında özellikle Balıkesir, Burdur, Gaziantep, Kocaeli, Kütahya ve Sakarya illerinin değerlerinin ısıtma derece gün bağlamına uymadığı gözlemlenmiştir. Bu iller için EKB tüketimleri ve ısıtma gün dereceleri arasında doğrusal bir bağımlılık söz konusu değildir. Diğer şehirler için ise, ısıtma gün derece oranları ile uygun dağılım olduğu gözükmektedir.

Son olarak benzer şekilde EKB enerji sınıfının da kategorik olarak kullanıcı tüketim etkisine nasıl bir etki ettiği araştırılacaktır. Varsayım olarak, yüksek EKB sınıfına sahip konutlarda kullanıcı etkisinin daha az olması beklenmektedir. Çünkü yüksek EKB sınıfına sahip binalarda bina zaten mümkün olan en düşük enerjiyi tüketerek maksimum konfor sağlamaktadır. Dolayısı

ile tüketimin dış etkenler ile çok fazla değişmemesi beklenmektedir. EKB sınıfları A'dan G ye kadar kategoriye ayrılmıştır.

Yukarıdaki son kategorik bağımsız değişken için SPSS programı yardımıyla daha önceki bölümlerde anlatılan ALS yöntemi ile sayısallaştırma yapılmış, EKB sınıfları A=1 ve G=7 olacak şekilde sayısallaştırılmış ve istatistiksel analizde sayısallaşmış halde kullanılmıştır.

Gerçekleşen m^2 başına tüketim ilk bağımlı değişkendir. EKB tüketim tahmini değeri ile gerçekleşen tüketim arasındaki fark olarak kabul edilen kullanıcı davranışları etkisi de aynı şekilde bir diğer bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Bu iki bağımlı değişken ayrı ayrı incelenecek ve bu değerleri en iyi temsil eden formül bulunmaya çalışılacaktır. Bulunacak formül aşağıdaki şekilde ifade edilecektir.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (4.1)$$

Bu matematiksel modelde α: Sabit değer; X_1: EKB tüketim değeri; X_2: Isıtma derece gün; X_3: Kategorik Gelir Düzeyi (sayısallaştırılmış) ve X_4: Kategorik bilinç düzeyi sınıfı (sayısallaştırılmış) olacaktır. Y ise ilk analizde gerçekleşen m^2 başına ısıl enerji tüketimi, ikinci analizde ise gerçekleşen tüketim ile EKB tüketim tahmini arasındaki fark olan kullanıcı davranışlarının m^2 başına ısıl enerji tüketimine etkisi olacaktır.

Gerçek tüketim değerlerinin bulunması birkaç kabul üzerinden yapılmıştır. Bu kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- EKB'lerde verilen tüketim miktarları, binanın EKB sınıfı ve iklim bölgesi özelikleri, gerçek tüketimi etkileyen bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir. Gerçek tüketimler ise, bu bağımsız değişkenlere bağlı, kullanıcı etkisi ile farklılaşmış bağımlı değişkenlerdir.
- EKB'si toplanan binaların her birindeki mevcut konutlardan %55'inin (85 adet)1 yıllık doğalgaz faturaları toplanmıştır. 1 yıldan daha az süreli takip edilen binalarda ise toplanan faturalardaki tüketimler aritmetik ortalama yolu ile 1 yıla tamamlanmıştır.
- Bu toplanan faturalardaki enerji tüketimlerin %10'unun pişirme için ocaklarda kullanıldığı kabul edilmiş, kalan %90'ı ise ortam ve kullanım sıcak suyu ısıtması için gerekli olan tüketim miktarı olduğu kabul edilmiştir.

- Toplanan tüketimler, ilgili konutların yüzölçümlerine bölünerek birim alan başına tüketim hesaplanmıştır. Bu birim alan başına tüketimlerin aritmetik ortalaması, binanın birim alan başına tüketimi olarak varsayılmıştır.
- Toplamda 962 bağımsız konuttan bir yıllık tüketim verisi toplanmıştır.
- Bu tüketim ortalaması değerleri, EKB'lerde verilen ısıl enerji tüketimleri ile karşılaştırılmıştır.
- Aradaki farkın, kullanıcı etkisi olduğu kabul edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda, her binanın gerçek tüketimleri ortalamaları yer almaktadır:

Tablo 4-2: Binaların gerçek tüketim değerleri ortalaması.

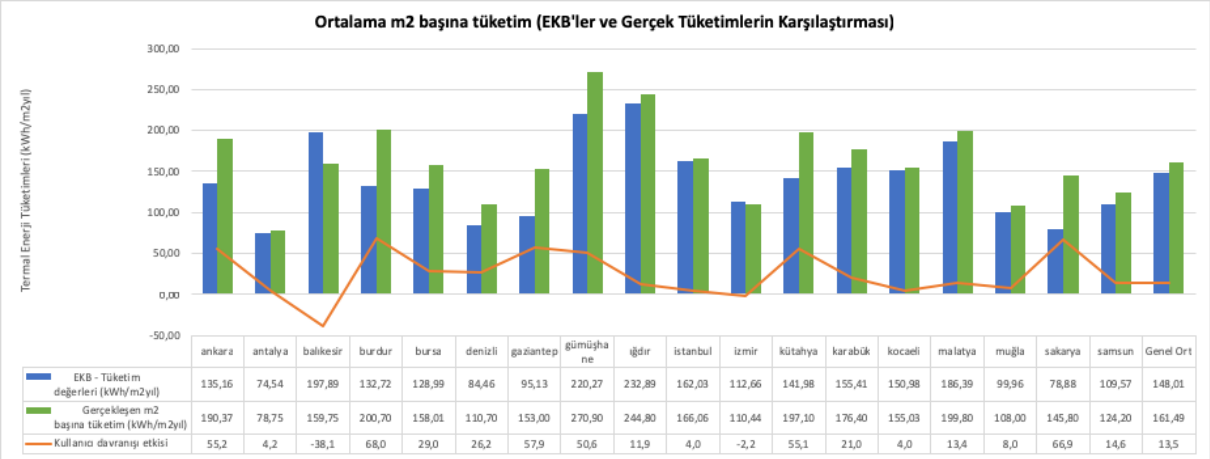
Bina Adı	Gerçek tüketim değerleri ortalaması (kWh/m^2)	Bina Adı	Gerçek tüketim değerleri ortalaması (kWh/m^2)	Bina Adı	Gerçek tüketim değerleri ortalaması (kWh/m^2)
Ankara 1	223,2	İstanbul 15	189	İstanbul 66	107,1
Ankara 2	153	İstanbul 16	130,5	İstanbul 67	138,6
Ankara 3	217,8	İstanbul 17	206,1	İstanbul 68	193,5
Ankara 4	143,1	İstanbul 18	208,8	İstanbul 69	136,8
Ankara 5	191,7	İstanbul 19	207,9	İstanbul 70	171
Ankara 6	174,6	İstanbul 20	133,2	İstanbul 71	171,9
Ankara 7	164,7	İstanbul 21	141,3	İstanbul 72	180
Ankara 8	219,6	İstanbul 22	202,5	İstanbul 73	210,6
Ankara 9	149,4	İstanbul 23	192,6	İstanbul 74	144
Ankara 10	203,4	İstanbul 24	178,2	İstanbul 75	155,7
Ankara 11	163,8	İstanbul 25	203,4	İstanbul 76	124,2
Ankara 12	238,5	İstanbul 26	189,9	İstanbul 77	153,9
Ankara 13	173,7	İstanbul 27	201,6	İstanbul 78	199,8
Ankara 14	160,2	İstanbul 28	136,8	İstanbul 79	204,3
Ankara 15	179,1	İstanbul 29	150,3	İstanbul 80	108
Ankara 16	189,9	İstanbul 30	199,8	İstanbul 81	111,6
Ankara 17	246,6	İstanbul 31	181,8	İstanbul 82	113,4
Ankara 18	222,3	İstanbul 32	180,9	İstanbul 83	128,7
Ankara 19	202,5	İstanbul 33	184,5	İstanbul 84	154,8
Antalya 1	82,8	İstanbul 34	180,9	İstanbul 85	171
Antalya 2	74,7	İstanbul 35	177,3	İstanbul 86	157,5
Balıkesir 1	176,4	İstanbul 36	155,7	İstanbul 87	158,4
Balıkesir 2	143,1	İstanbul 37	156,6	İzmir 1	144,9
Burdur 1	200,7	İstanbul 38	198	İzmir 2	115,2
Bursa 1	179,1	İstanbul 39	130,5	İzmir 3	74,7

Tablo 4-2: Binaların gerçek tüketim değerleri ortalaması (Devam).

Bursa 2	177,3	İstanbul 40	178,2	İzmir 4	149,4
Bursa 3	111,6	İstanbul 41	206,1	İzmir 5	114,3
Bursa 4	178,2	İstanbul 42	180,9	İzmir 6	114,3
Bursa 5	202,5	İstanbul 43	171	İzmir 7	134,1
Bursa 6	126	İstanbul 44	185,4	İzmir 8	64,8
Bursa 7	131,4	İstanbul 45	104,4	İzmir 9	98,1
Denizli 1	110,7	İstanbul 46	175,5	İzmir 10	151,2
Gaziantep 1	108,9	İstanbul 47	188,1	İzmir 11	60,3
Gaziantep 2	197,1	İstanbul 48	153,9	İzmir 12	67,5
Gümüşhane 1	274,5	İstanbul 49	171,9	İzmir 13	95,4
Gümüşhane 2	267,3	İstanbul 50	196,2	İzmir 14	162
Iğdır 1	244,8	İstanbul 51	138,6	Karabük 1	176,4
İstanbul 1	171,9	İstanbul 52	200,7	Kocaeli 1	195,3
İstanbul 2	199,8	İstanbul 53	142,2	Kocaeli 2	120,6
İstanbul 3	181,8	İstanbul 54	118,8	Kocaeli 3	127,8
İstanbul 4	153	İstanbul 55	188,1	Kocaeli 4	176,4
İstanbul 5	180,9	İstanbul 56	119,7	Kütahya 1	197,1
İstanbul 6	181,8	İstanbul 57	135,9	Malatya 1	199,8
İstanbul 7	139,5	İstanbul 58	148,5	Muğla 1	80,1
İstanbul 8	189	İstanbul 59	193,5	Muğla 2	83,7
İstanbul 9	178,2	İstanbul 60	184,5	Muğla 3	126
İstanbul 10	129,6	İstanbul 61	154,8	Muğla 4	139,5
İstanbul 11	196,2	İstanbul 62	142,2	Muğla 5	72,9
İstanbul 12	185,4	İstanbul 63	137,7	Muğla 6	145,8
İstanbul 13	177,3	İstanbul 64	112,5	Sakarya 1	145,8
İstanbul 14	174,6	İstanbul 65	165,6	Samsun 1	124,2

Bina başına gerçek tüketim değerleri ortalamaları incelendiğinde, 153 binanın genel ortalama tüketiminin 161,49 kWh/m^2 yıl olduğu görülmüştür. Her bir binanın tüketimi, benzer şekilde illere göre ısıtma-derece-gün sayıları ile karşılaştırıldığında, beklendiği şekilde bir uyum olduğu görülmüştür. Bir diğer deyişle, ısıtma gün derecesi yüksek illerde ısıtma için tüketim daha yüksek olmuştur. Doğaldır ki, ısıtma enerjisini, binanın termal yalıtım ve ısıtma sisteminin verimi de oldukça etkilemektedir. Dolayısı ile gerçek tüketim değerlerinin illerin ısıtma gün dereceleri ile birebir uyumu söz konusu değildi, ancak bu küçük farklılıklar, binaların yalıtım durumu ile açıklanabilir.

Aşağıdaki tabloda, illere göre ortalamaların EKB'lerde hesaplanan değerler ile gerçek tüketimlerinin karşılaştırması mevcuttur:



	ankara	antalya	balıkesir	burdur	bursa	denizli	gaziantep	gümüşhane	ığdır	istanbul	izmir	kütahya	karabük	kocaeli	malatya	muğla	sakarya	samsun	Genel Ort
EKB - Tüketim değerleri (kWh/m2yıl)	135,16	74,54	197,89	132,72	128,99	84,46	95,13	220,27	232,89	162,03	112,66	141,98	155,41	150,98	186,39	99,96	78,88	109,57	148,01
Gerçekleşen m2 başına tüketim (kWh/m2yıl)	190,37	78,75	159,75	200,70	158,01	110,70	153,00	270,90	244,80	166,06	110,44	197,10	176,40	155,03	199,80	108,00	145,80	124,20	161,49
Kullanıcı davranışı etkisi	55,2	4,2	-38,1	68,0	29,0	26,2	57,9	50,6	11,9	4,0	-2,2	55,1	21,0	4,0	13,4	8,0	66,9	14,6	13,5

Şekil 4-3: EKB tüketim tahminleri ile gerçekleşen tüketimler arasındaki fark.

İllere göre ortalamalara bakıldığında, veri toplanan 18 ilin 15'inde gerçekleşen enerji tüketimleri, EKB ile hesaplanan tüketim değerlerinden yüksek çıkmıştır. 3 ilde ise gerçekleşen tüketim ortalaması, EKB ile hesaplanan değerden düşük olmuştur.

4.2. DOĞRUSAL GERİLEME ANALİZİ SONUÇLARI

İlk bölümde EKB tüketim değerlerinin tek bağımsız değişken, gerçekleşen tüketim değerlerinin ise bağımlı değişken olduğu ve sonrasında ise ısıtma gün derece değerlerinin de eklendiği iki bağımsız değişkenli veri setinin doğrusal gerileme (regresyon) analizi yapılmıştır.

Buna göre SPSS sonuç çıktıları aşağıdaki gibidir:

Tablo 4-3: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 1 – Ortalama ve Standart Sapma.

	Ortalama	Std. Sapma	N
Gerçek_tuketim	161,4941	40,67552	153
EKB_tuketimi	148,0133	63,55061	153
HDD	1791.04	451.723	153

Daha önce açıklandığı gibi EKB tüketimlerinin ortalaması 148.01 kWh/m2 yıl, gerçekleşen tüketimlerin ortalaması 161.49 kWh/m2 yıl olmuştur. EKB tüketim istatistiklerinin standart sapması gerçek tüketimden daha büyük olması, EKB değerlerinin daha dağınık olduğu sonucunu verebilir.

Tablo 4-4: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – Korelasyon katsayıları ve anlamlılık

Korelasyon

		Gerçek_tuketim	EKB_tuketimi	HDD
Pearson Correlation	Gerçek_tuketim	1.000	.337	.675
	EKB_tuketimi	.337	1.000	.229
	HDD	.675	.229	1.000
Sig. (1-tailed)	Gerçek_tuketim	.	.000	.000
	EKB_tuketimi	.000	.	.002
	HDD	.000	.002	.
N	Gerçek_tuketim	153	153	153
	EKB_tuketimi	153	153	153
	HDD	153	153	153

Kurulan modelde temelde istenen, seçilen bağımsız değişkenlerin birbiri ile korelasyon sayılarının 0,8 ortalama değerinden düşük olmasıdır. Bu durum bağımsız değişkenlerin arasında yüksek korelasyon olmadığını, diğer bir deyişle çoklu doğrusallık probleminin olmadığını ve dolayısıyla seçilen değişkenlerin uygun olduğu sonucunu beraberinde getirir. Aynı şekilde "significance" değeri de güven aralığı olan 0,05'ten küçük çıktığı için seçilen bağımsız değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna ulaşılır. Yüksek korelasyona sahip bağımsız değişkenler ile karşılaşılsaydı, bu değişkenlerden birini elemek daha uygun olacaktı.

Gerçekleşen tüketim değeri için EKB tüketiminin korelasyon katsayısı 0.337 iken ısıtma gün derece (HDD) değerini 0.675'tir. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere ısıtma gün derece bölgelerinin iklimi temsil ettiği bilindiğine göre, iklim koşulları, gerçekleşen tüketime daha fazla etki etmiştir.

Tablo 4-5: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 3 – Model Özeti.

Model Özeti[c]

					Değişim İstatistikleri					Durbin-Watson
Model	R	R2	Düzeltilmiş R2	Tahminin Std. Sapması	R2 Değişim	F Değişim	df1	df2	Sig. F Değişim	
1	.337[a]	.113	.108	38,42689	.113	19.310	1	151	.000	
2	.700[b]	.490	.483	29,23589	.377	110.864	1	150	.000	1.884

a. Tahmin Ediciler: (Sabitler), EKB_tuketimi

b. Tahmin Ediciler: (Sabitler), EKB_tuketimi, HDD

c. Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Yukarıdaki model özetinde 1 numaralı satırda verilen model "Gerçekleşen Tüketim"in bağımlı değişken, "EKB Tüketimi" değerlerinin tek bağımsız değişken olduğu modeldir. 2 numaralı model ise "EKB tüketimi" ve "HDD" değerlerinin birlikte bağımsız değişken olduğu modeldir.

Belirleme veya tamamlayıcılık (determinasyon) katsayısı R^2, modelin, bağımsız değişkeni açıklamada ne kadar başarılı olduğunu gösterir. Bir başka deyişle, modelin seçilen uzayı ne kadar temsil edebildiği belirlenir. Seçilen uzay, gerçek ortamda asıl uzayın sadece bir alt kümesi olacağından, tüm uzaya göre düzeltilmiş R^2'nin kullanılması daha doğrudur.

1 numaralı modelin regresyon analizi modeli incelendiğinde, R^2 determinasyon katsayısı 0,113; ve örnekleme uzayına göre düzeltilmiş R^2 determinasyon katsayısı 0.108 olduğu görülmüştür. Bir diğer deyişle, elde edilen matematiksel modelde gerçek tüketim değerlerinin yalnızca %10'u, EKB tüketim tahminleri yardımıyla açıklanabilmektedir. Burada analizde güven aralığı (*confidence interval*) 0,95 olarak seçilmiştir. Modelin veri uzayını ±%5 aralığında temsil etmesi istenmektedir.

İklim bilgisini barındıran ısıtma gün derece (HDD) değerleri de bağımsız değişken olarak alınan 2 numaralı modelde ise elde edilen modelin veri uzayını daha iyi tanımladığı gözlenmiştir. 2 numaralı modelde düzeltilmiş R^2 değeri 0,483 olarak hesaplanmıştır. Bir diğer deyişle, elde edilen model, veri uzayının %48'ini temsil edebilmektedir. Yine aynı şekilde güven aralığı 0,95 olarak seçilmiştir.

Standart hata, tahmin edilen değerler ile gözlemlenen değerler arasındaki farktır ve gözlemlenen bağımlı değişkenlerin tahmin edilenlerin etrafında nasıl dağıldığını gösterir. Yapılan analizde, 1. modelde standart hata değeri 38,43 kWh/m^{2}yıl; 2.modelde ise 29,23 kWh/m^{2}yıl olarak bulunmuştur.

Durbin Watson istatistiği, bir gerileme (regresyon) modeli tahmin edildikten sonra artık terimlerin korelasyon halinde olup olmadığını test etmeye yarayan bir sayıdır. Sonuçlardaki Durbin-Watson istatistiği 1,884 olarak bulunmuştur. Bu değer 2'ye oldukça yakın olduğundan hata terimleri arasında korelasyon yoktur denebilir.

Tablo 4-6: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 4 – ANOVA Sonuçları.

ANOVA[a]

Model		Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig.
1	Regresyon	28513.179	1	28513.179	19.310	.000[b]
	Artık	222970.486	151	1476.626		
	Toplam	251483.665	152			
2	Regresyon	123273.088	2	61636.544	72.112	.000[c]
	Artık	128210.577	150	854.737		
	Toplam	251483.665	152			

a. Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

b. Tahmin Ediciler: (Sabitler), EKB tuketimi

c. Tahmin Ediciler: (Sabitler), EKB_tuketimi, HDD

Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken ile arasında doğrusallık testi için H_0 ve H_1 hipotezleri şöyle oluşturulmuştur

H_0 : Tüm katsayılar sıfır olduğu durumda bağımlı değişken (gerçeklesen m^2 tüketim) ile bağımsız değişken (EKB tüketimi) arasında doğrusal bir ilişki yoktur. [ya da, $H_0 : b_1=0$]

H_1 : En az bir katsayı sıfırdan farklı ise bağımlı değişken (gerçeklesen m^2 tüketim) ile bağımsız değişken (EKB tüketim tahmini) arasında doğrusal bir ilişki vardır. [ya da, $H_0 : b_1 \neq 0$]

Açıklanan değişimin (Regresyon) açıklanmayan (artık hata terimi) değişime oranı olan F değeri 1. Model için 19,310; 2.model için 72,112 olduğundan genel olarak model istatistiksel anlamlıdır. Benzer şekilde Sig.=P=0,00 değerinin de 0 olması ve bu değerin testin güven aralığı olarak seçilen %5 ten küçük olması Modelin anlamlı, ve bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğunu gösterir ki bu H_0 hipotezinin reddedilmesi anlamına gelir.

Tablo 4-7: Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları 5 – Değişken sabitleri.

Katsayılar[a]

Model		Standardize edilmemiş Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.	95.0% Güven aralığı for B		Korelasyon			Collinearity İstatistikleri	
		B	Std. Hata	Beta			Alt Sınır	Üst Sınır	Zero-order	Kısmi	Part	Tolerans	VIF
1	(Sabitler)	129.595	7.896		16.412	.000	113.994	145.196					
	EKB_tuketimi	.216	.049	.337	4.394	.000	.119	.312	.337	.337	.337	1.000	1.000
2	(Sabitler)	41.591	10.293		4.041	.000	21.253	61.929					
	EKB tuketimi	.123	.038	.192	3.206	.002	.047	.199	.337	.253	.187	.947	1.056
	HDD	.057	.005	.631	10.529	.000	.046	.067	.675	.652	.614	.947	1.056

a. Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Yukarıda verilen model sabitlerine göre 1. Model için veri uzayı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$Gerçekleşen\ tüketim = 129{,}595 + 0{,}216\ x\ (EKB\ tüketim\ tahmini) \quad (4.2)$$

Bu modelde EKB tüketimi ile gerçekleşen tüketimin pozitif orantılı olduğu görülmektedir.

2. model ise gerçekleşen tüketimi aşağıdaki denklem ile ifade etmektedir:

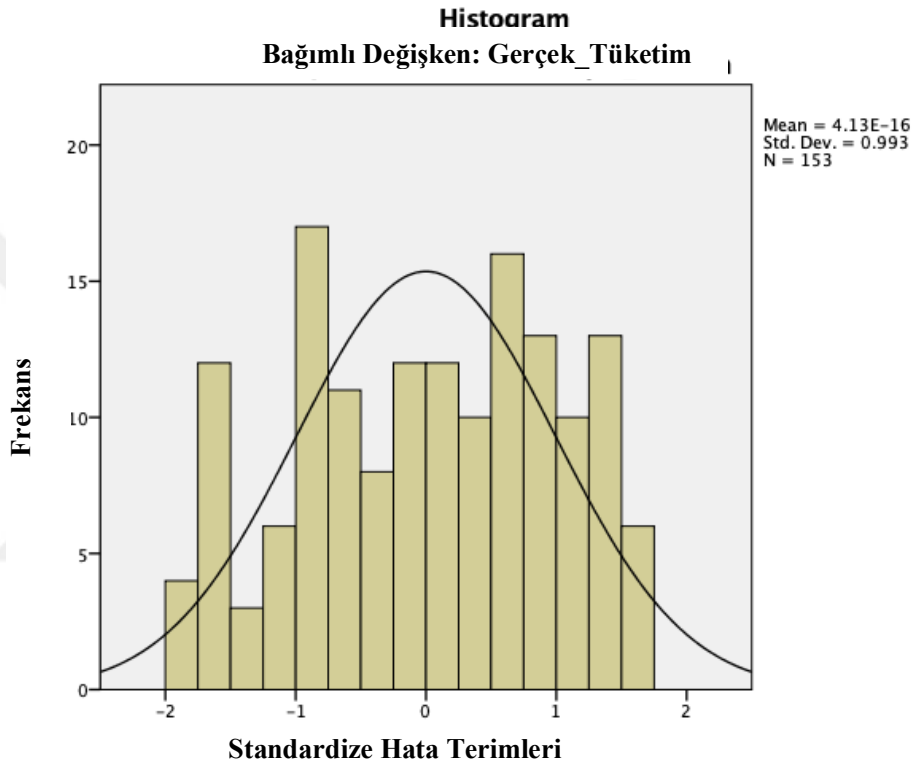
$$Gerçekleşen\ tüketim = 41{,}591 + 0{,}123\ x\ (EKB\ tüketim\ tahmini) + 0{,}057\ x\ (HDD) \quad (4.3)$$

2. modelde standardize edilmiş beta değerlerine bakıldığında HDD değerlerinin beta değerinin 0,631 den daha büyük olması, iklim değerlerinin gerçekleşen tüketime etkisinin EKB değerlerinden daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

İyi bir model için %95 güven aralıkları küçüktür. Çıkan sonuçlarda 95% güven aralıkları sonuçlarına bakıldığında 2 modelde daha küçük aralıklar olduğu gözükmektedir. Dolayısı ile ikinci model daha iyi bir modeldir denebilir. Burada tüm bağımsız değişkenler için "significance" değeri güven aralığı olan 0,05'ten küçük olduğu için seçilen tüm bağımsız değişkenlerin model üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

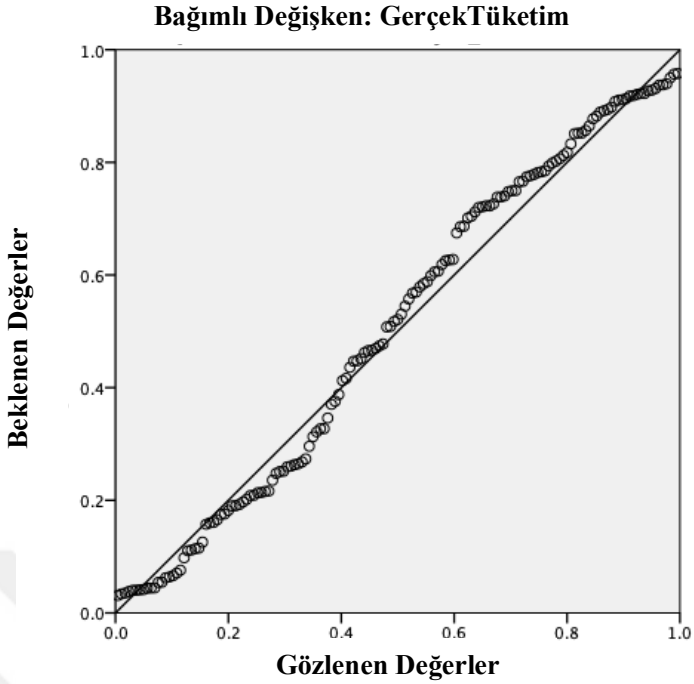
Varyans Enflasyon Faktörü (VIF) 10'un altında, tolerans istatistikleri de 0,2'nin üstünde olduğundan tahmin değişkenleri arasında mükemmel doğrusal ilişkiden söz edilemez.

Aşağıdaki grafikte artık hata terimlerinin (*residual)* yani model tarafından tahmin edilen değerlerle gözlenen değerler arasındaki farkların yaklaşık olarak normal dağıldığı varsayımına ulaşılabilir. (Ortalama sıfıra oldukça yakın)



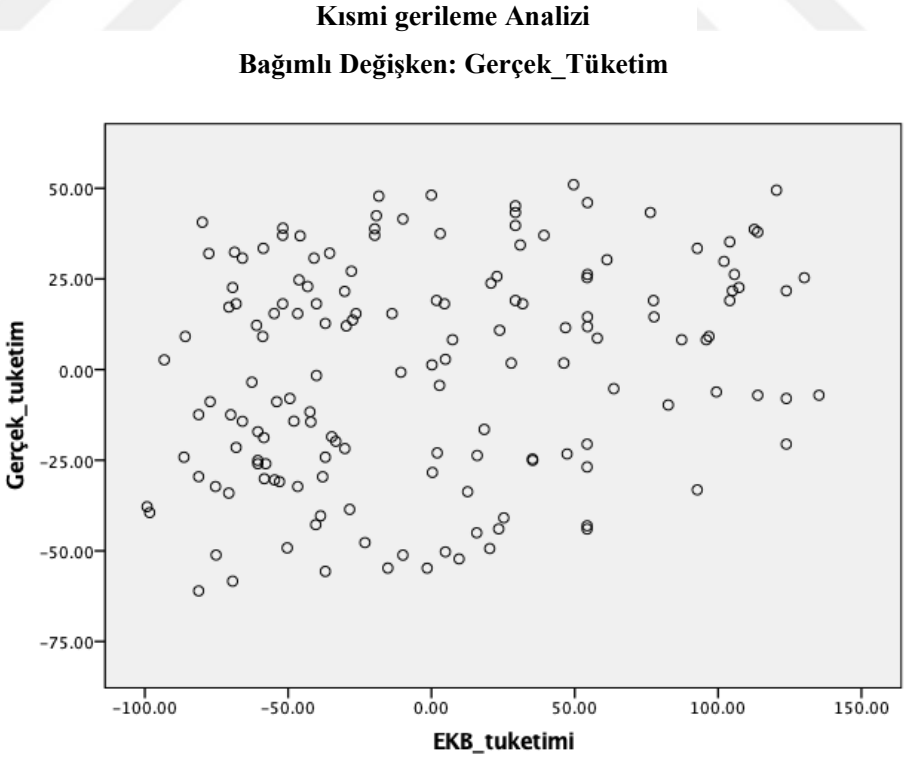
Şekil 4-4: Artık Hata Terimlerinin dağılımı.

Aşağıdaki grafik ise tahmin edilen değerleri ile gerçekleşen değerlerin farkını vermektedir.



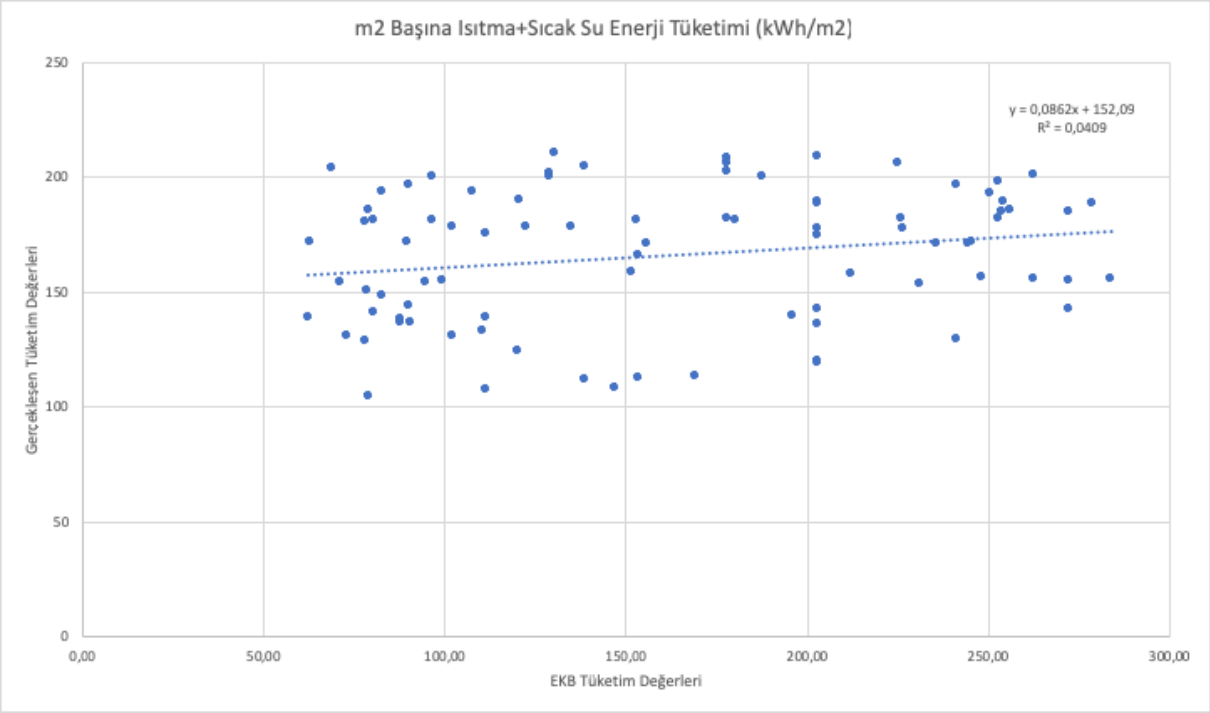
Şekil 4-5: Tahmin edilen değerler ile gerçekleşen değerlerin farkı.

Aşağıdaki grafik ise EKB tüketim değerleri ile gerçekleşen tüketim değerlerinin kısmi gerileme (regresyon) grafiğidir:



Şekil 4-6: EKB tüketim tahmini ile gerçekleşen tüketimlerin dağılımı.

Daha önce açıklandığı üzere, bazı illerden oldukça az veri toplanabilmiştir. Öyle ki, 8 ilden sadece tek bina için enerji tüketim değeri toplanabilmiştir. Tek bir veri toplanan bu illerde istatistiksel bir analiz yapmak mümkün olmadığı gibi, bu illerin bozucu etkisi de yüksek olabilir. Bu nedenle, yukarıda yapılan istatistiksel analizler, aşağıdaki bölümde sadece İstanbul ilinden toplanan veriler (87 adet) özelinde tekrar edilecek ve veri uzayını daha iyi temsil edebilen bir model oluşturulup oluşturulamayacağı kontrol edilecektir. Buna göre, İstanbul'dan toplanan verilerin dağılım grafiği aşağıdaki gibidir:



Şekil 4-7: İstanbul verileri için dağılım grafiği.

Aynı veri uzayının SPSS gerileme (regresyon) analizi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 4-8: İstanbul verileri için Doğrusal gerileme (regresyon) analizi sonuçları.

Model Özeti[b]

Model	R	R2	Düzeltilmiş R2	Tahminin Std. Sapması	Değişim İstatistikleri					Durbin-Watson
					R2 Değişim	F Değişim	df1	df2	Sig. F Değişim	
1	.202[a]	.041	.030	28,51528	.041	3.628	1	85	.060	1.680

a. Tahmin Ediciler: (Sabitler), EKB_tuketimi

b. Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Üstteki tablodan görüleceği üzere üretilen model tamamlayıcılık katsayısı (adjusted R2) değeri 0.030 olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile üretilen modelin veri uzayının yalnızca %3'ünü temsil edebilmektedir. Buradan çıkarılabilecek sonuç, kullanıcı etkisinin tahmin edilmesi zor doğası gereği hepsi aynı şehirde bile olsa bile, veri sayısının azaltılması, uygun bir model oluşturulmasını olanaksız hale getirmiştir. Bu noktada daha iyi bir matematiksel model oluşturabilmenin tek yolu, bağımsız değişkenlerin ve toplam veri sayısının arttırılmasıdır. Aşağıdaki bölümde, veri uzayına bir de kategorik bir değişken olan EKB sınıfı bilgisinin girilmesi sonucu kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları incelenmiştir.

4.3. OPTİMAL ÖLÇEKLEMELİ KATEGORİK GERİLEME ANALİZİ VE SONUÇLARI

Bu bölümde ise, bir başka bağımsız değişken olarak EKB enerji sınıfı da eklenecek ve gerçekleşen tüketim için daha uygun bir matematiksel model oluşturulmaya çalışılacaktır. EKB sınıfı A'dan G'ye kadar değişebilen, rakamsal olmayan kategorik bir değişken olduğu için daha önceki bölümlerde anlatılan sayısallaştırma yöntemleri kullanılarak kategorik gerileme (regresyon) analizi yapılacaktır. Aşağıda SPSS programı yardımıyla yapılan kategorik gerileme (regresyon) analizinin sonuçları yer almaktadır:

Tablo 4-9: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 1 – Bağımsız değişkenler arası korelasyon.

Korelasyon – Orijinal Değişkenler

	EKB_tuketimi	HDD	EKB_sinifi
EKB_tuketimi	1.000	.212	.833
HDD	.212	1.000	.063
EKB_sinifi	.833	.063	1.000
Dimension	1	2	3
Eigenvalue	1.876	.970	.154

Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere özellikle EKB tüketimi ile EKB sınıfı (1-7 arası; 1 A sınıf, 7 G sınıfı) arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözükmektedir. Bu oldukça doğal bir durumdur. Zira, EKB sınıfının artması, yani düşük enerji sınıfına sahip bir binada, EKB tüketim değeri de yaklaşık olarak doğrusal şekilde artacaktır.

Seçilen bağımsız değişkenlerin özdeğerleri de sırayla 1,876, 0,970 ve 0,154 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4-10: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – model özeti.

Model Özeti

Çoklu R	R2	Düzeltilmiş R2	Tahmin Hatası *(Apparent Prediction Error)*
.781	.611	.595	.389

Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Tahmin Ediciler: EKB_tuketimi HDD EKB_sinifi

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere R^2 tanımlayıcılık katsayısı 0,595 olarak hesaplanmıştır. Bu değer daha önceki bölümde Doğrusal gerileme (regresyon) sonucu hesaplanan değerden daha büyük olduğundan kurulan modelin veri uzayını daha iyi temsil edebildiğini göstermektedir.

Tablo 4-11: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 2 – model özeti.

ANOVA

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig.
Regresyon	93.427	6	15.571	38.162	.000
Artık	59.573	146	.408		
Toplam	153.000	152			

Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Tahmin Ediciler: EKB_tuketimi HDD EKB_sinifi

Açıklanan değişimin (Regresyon) açıklanmayan (artık hata terimi) değişime oranı olan F değeri 38,162 olduğundan genel olarak model istatistiksel anlamlıdır. Benzer şekilde Sig.=P=0,00 değerinin de 0 olması ve bu değerin testin güven aralığı olarak seçilen %5 ten küçük olması Modelin anlamlı, ve bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğunu gösterir ki bu H_0 hipotezinin reddedilmesi anlamına gelir.

Tablo 4-12: Kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları 3 – model sabitleri.

Katsayılar

	Standard Katsayılar				
	Beta	Std. Hata Tamini	df	F	Sig.
EKB_tuketimi	.052	.141	2	.139	.871
HDD	.758	.060	3	157.508	.000
EKB_sinifi	.064	.132	1	.234	.629

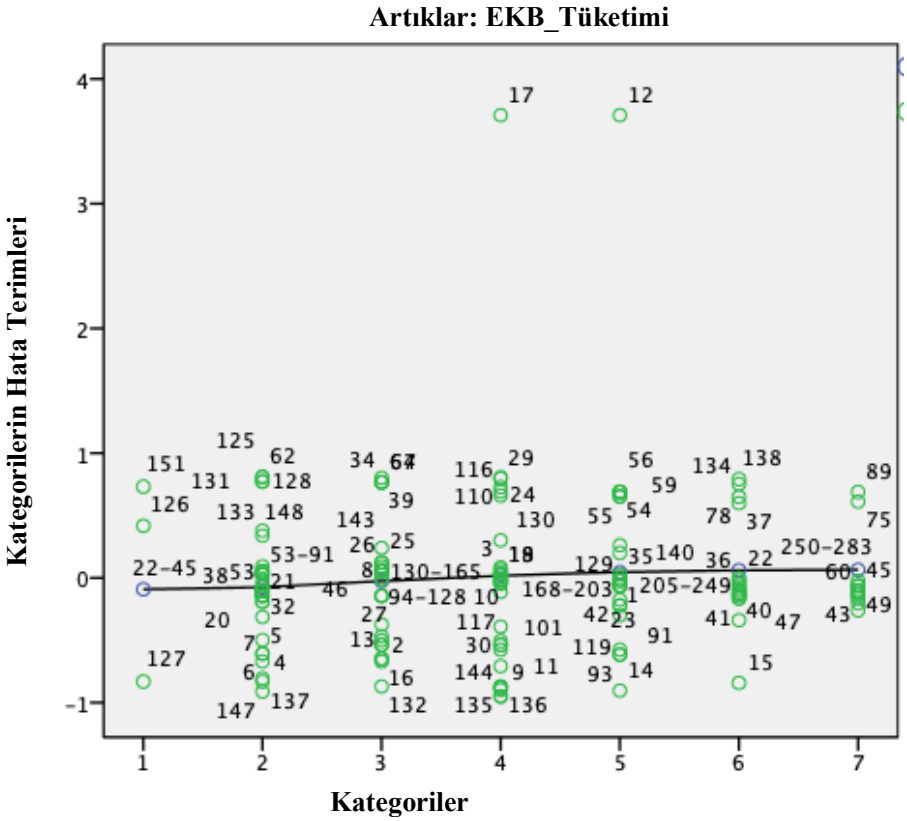
Bağımlı Değişken: Gerçek_tuketim

Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere matematiksel model şöyle kurulmuştur:

$$Gerçekleşen\ tüketim = 0{,}141\ x\ (EKB\ tüketim\ tahmini) + 0{,}060\ x\ (HDD) + 0{,}132\ x\ (EKB\ sınıfı\ kategorisi) \quad (4.4.)$$

Burada önemli bir unsur olan "*significance*" yani önem seviyesi değeri "EKB sınıfı" için 0,629, ve EKB tüketimi için 0,871 olarak hesaplanmıştır. Yani güven aralığı olarak seçilen 0,05'lik kabul edilen sapmadan büyüktür. Yine de %10 civarında olması, seçilen bağımsız değişkenin tamamıyla istatistiksel anlamsız olmadığını, sonuca etki ettiğini göstermektedir.

Aşağıdaki grafik, kategorik bağımsız değişkene göre EKB tüketimi ile gerçekleşen tüketim arasındaki artıkların (residuals) değişimini göstermektedir.:



Şekil 4-8: Artıkların (*residuals*) kategorik olarak değişimi

Yukarıdaki grafikten görüleceği üzere, artıklar, bir diğer deyişle EKB tüketimi ile gerçekleşen tüketim arasındaki farklar en çok 2. ve 4. kategori olan B ve D sınıfı EKB kimlik belgesine sahip binalarda meydana gelmiştir.

Aynı analizi bir de "Kkllanıcı etkisi"nin modellenmesi için yapılırsa model özeti aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

Tablo 4-13: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları - model özeti.

Model Özeti

Çoklu R	R2	Düzeltilmiş R2	Tahmin Hatası *(Apparent Prediction Error)*
.876	.768	.753	.232

Bağımlı Değişken: Kullanici_etkisi

Tahmin Ediciler: EKB_tuketimi HDD EKB_sinifi

Burada oluşturulan modelin R^2 değeri 0,753 olduğundan, veri uzayının kullanıcı tüketim etkisinin tahmin edilmesinde daha başarılı olduğu görülmektedir. Aşağıda verilen ANOVA sonuçlarının da oluşturulan modelin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4-2: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları – ANOVA.

ANOVA

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kareler	F	Sig.
Regresyon	117.489	9	13.054	52.570	.000
Artık	35.511	143	.248		
Toplam	153.000	152			

Bağımlı Değişken: Kullanici_etkisi

Tahmin Ediciler: EKB_tuketimi HDD EKB_sinifi

Matematiksel modelin katsayıları incelendiğinde aşağıdaki gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır..

Tablo 4-15: Kullanıcı etkisi modellemesi için kategorik gerileme (regresyon) analizi sonuçları – model sabitleri.

Katsayılar

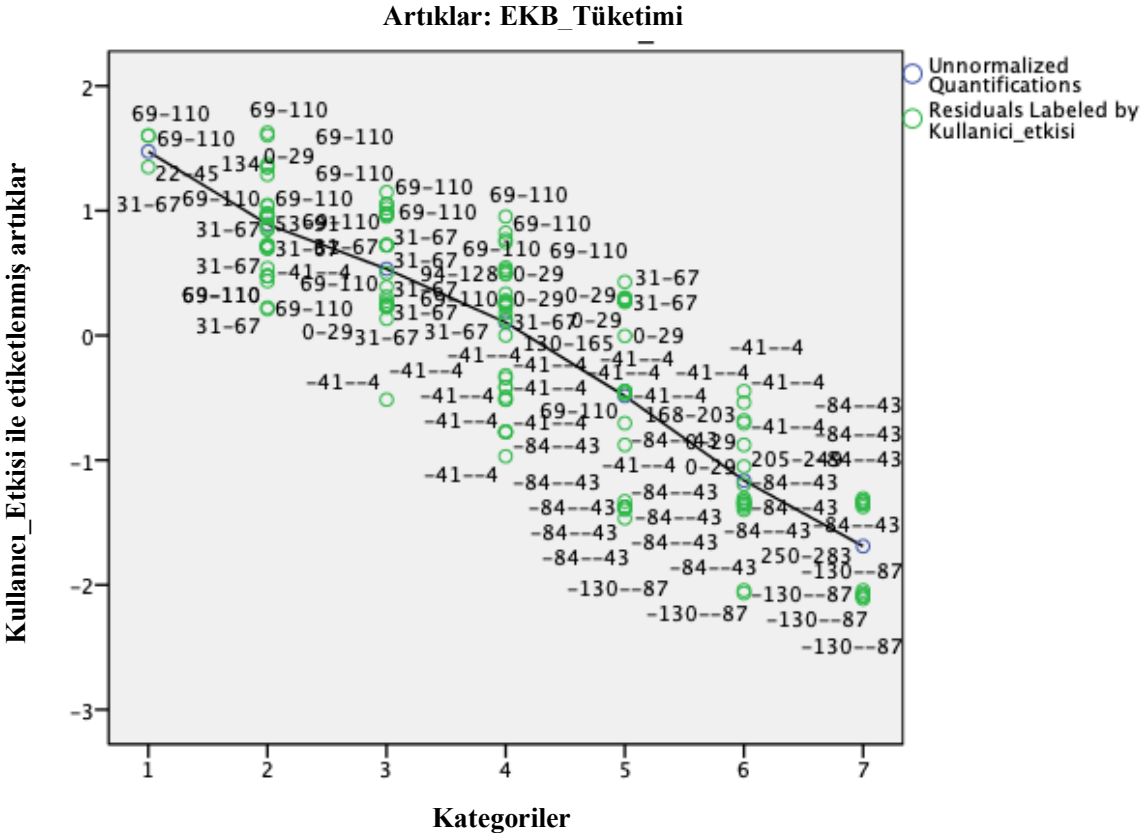
	Standard Katsayılar				
	Beta	Bootstrap (1000) Estimate of Std. Hata	df	F	Sig.
EKB_tuketimi	-.843	.081	4	109.168	.000
HDD	.376	.062	4	36.479	.000
EKB_sinifi	-.037	.087	1	.184	.668

Bağımlı Değişken: Kullanici_etkisi

Sistemin matematiksel modeli aşağıdaki gibi bulunmuştur. Burada yine daha önceki kategorik gerileme (regresyon) analizi sonucundaki problem görülmektedir. EKB sınıfı istatistiksel anlamda önemli değildir.

$$Kullanıcının\ tüketime\ etkisi = 0{,}081\ x\ (EKB\ tüketim\ tahmini) + 0{,}062\ x\ (HDD) + 0{,}087\ x\ (EKB\ sınıfı\ kategorisi) \quad (4.5)$$

Kullanıcı etkisinin EKB tüketim tahminine göre değişimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 4-9: Kullanıcı etkisinin EKB tüketim tahminine göre değişimi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tezin amacı, kullanıcı alışkanlıkları ve davranışları ile oldukça farklılaşan konut enerji tüketim değerlerinin tahmin edilmesini sağlayacak uygun bir matematiksel model geliştirebilmektir. Ülkemizin büyük bir enerji ithalatçısı olduğu düşünüldüğünde, bütçe planlamalarında enerji talep değerlerinin ne kadar önemli olduğu açıktır. Enerji tüketiminin tahmini, geleceğe yönelik enerji politikalarının belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. İletim şebekesinin genişletilmesinden enerji üretim tesislerinin inşa edilmesine kadar birçok muazzam yatırımın planlanmasında geleceğe yönelik enerji talebi tahmini kullanılmaktadır. Sağlıklı planlama yapılabilmesi için de projeksiyonların gerçeğe en yakın olması gereklidir. Elbette, hiçbir tahmin değeri gerçekleşen tahmin değeriyle birebir aynı olamaz. Burada esas amaç, gerçekleşen değerden aşırı derecede sapma olmamasıdır.

Enerji talep projeksiyonları yapılırken Zaman serisi, Regresyon, Ayrıştırma, Gri tahmin, vb. birçok farklı yöntemle modeller oluşturulmaktadır.

Bu modeller belirlenirken gayri safi yurtiçi hasıla değişkenleri, nüfus artışları, üretim parametreleri ekonomik göstergeler, teknolojik gelişmeler gibi birçok parametre göz önüne alınmaktadır. Ancak burada tahmin edilmesi ve modellenmesi en zor konulardan biri kullanıcı davranışları dolayısı ile değişen tüketim miktarlarıdır. Kullanıcı davranışları oran olarak en fazla konut tüketiminde etkili olduğu için çalışma konutlar özelinde yapılmıştır. Bu tez kapsamında kullanıcı davranışlarının enerji tüketimine etkisi konusunda bir yöntem önerilmiş ve bunun ne kadar başarılı olduğunu test edilmiştir.

Önerilen yöntem, Enerji Kimlik Belgesi (EKB)'nde yer alan tüketim tahmini değerlerini, 1 yıl sonunda gerçekleşen reel tüketim değerleri ile karşılaştırmak ve aradaki farkın hane halkı kullanım alışkanlıkları yüzünden olduğu varsayımına dayanarak istatistiksel modelleme yapılmasıdır. Böyle bir analizde çok önemli iki konu ortaya çıkmaktadır:

İlk konu EKB'de verilen tüketim tahmini değerlerinin doğruluğudur. Bina planları ve enerji tüketen sistemlerin parametrelerinin BEP-TR adı verilen yazılıma girilmesi sonucu bu yazılım, yaptığı benzetim ile binanın toplam elektrik ve doğalgaz tüketimleri ile metrekare başına düşen tüketim miktarını hesaplayarak referans binaya göre binanın enerji kimlik sınıfını belirler ve

EKB çıktısını hazırlar. Her yeni bina bu EKB belgesini almak zorundadır ve yeni binalar minimum C enerji sınıfına ulaşmalıdır.

BEP-TR'nin 2008 yılında çıkan ilk sürümünün, hesapladığı tüketim değerleri ve enerji sınıfı belirlemesi konusunda oldukça yüksek sapmalar gösteren bir yazılım olduğu görmüştür. Gerçekten de bu tezin veri toplama aşamasında BEP-TR'nin ilk versiyonu ile hazırlanan EKB'lerde 900-1000 kWh/m^2 gibi, bir konutta olamayacak kadar büyük tüketim değerleri ile karşılaşılmıştır.

2014 yılında ise BEP-TR'nin yeni versiyonu kullanıma sunulmuştur. Çok daha tutarlı hesaplamalar yapan BEP-TR 2 bu tezde kullanılmıştır. BEP-TR 2 programı ile binaların hem elektrik hem de ısıl enerji tüketimleri ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Ancak elektrik tüketimi hesabında beyaz eşya ve elektrikli ev aletleri hesaba katılmamakta, yalnızca aydınlatma ve varsa klimaların tüketimi hesaba katılmaktadır. Öte yandan binanın ısıl enerji ihtiyacı ve tüketimi daha net hesaplanabilmektedir. Bu yüzden, bu çalışmada sadece ısıl enerji tüketimleri analiz edilmiştir. Gerçek tüketim değerlerinin de EKB hesap değerlerine görece yakın olması, EKB sonuçlarının doğruluğu varsayımını güçlendirmektedir.

İkinci önemli konu ise EKB'si hazırlanan yeni binaların bir yıllık m^2 başına enerji tüketimlerinin toplanmasının zorluğudur. Her binada en az 5 farklı konut olduğu düşünüldüğünde (kimi binalarda 20'den fazla) her bir konutun ayrı ayrı bir yıllık tüketimlerinin toplanıp bunların m^2 başına ortalamasının alınması ve böylece binanın toplam enerji tüketimi karşılaştırma yapılması amacıyla belirlenmesi bir araştırmacı açısından oldukça zordur. Böyle bir veriyi ancak EKB kayıtlarını tutan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile doğalgaz tedariki yapan firmaların verilerinin entegrasyonu sonucu ortaya çıkabilir, ancak böyle bir entegrasyon henüz mevcut değildir. Bu yüzdendir, literatür çalışması yapıldığında, özellikle sosyo ekonomik şartların kullanıcıların enerji tüketimine ne kadar etki ettiği konusunda oldukça fazla araştırma olmasına karşın, bu etkinin tüm konutlara uygulanabilecek bir matematiksel model oluşturma konusu çok daha az araştırmanın konusu olmuştur. Bunun asıl nedeni, incelenen konutların, kullanıcı etkisinden bağımsız olarak ne kadar enerji tüketeceğinin hesaplanmasındaki ve bir referans tüketim belirlenmesindeki zorluktur. Genel olarak önceki çalışmalarda istatistiksel olarak benzer iklim bölgelerinden tüketim verileri toplanmış ve bunlar analiz edilerek sosyo-ekonomik parametrelerin tüketimi nasıl değiştirdiği tartışılmıştır. Ancak farklı binalar arasındaki tüketim farklarının gerçekten sosyo-ekonomik farklılıklardan mı yoksa temelde

binaların farklı enerji tüketim karakteristiklerinden mi kaynaklandığı hesaba katılamamıştır. Bunun temel nedeni de tüm veri uzayını kapsayacak referans tüketim değerinin bulunamayışıdır. Bu çalışmada ise diğerlerinden farklı olarak bir Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) projesi olan Türkiye Konutlarda Enerji Verimliliği Finansman Programı (TuREEFF) sayesinde binaların gerçek tüketim değerleri toplanabilmiştir. TuREEFF projesi, toplamda 270.000.000 USD'lik bir finansman paketidir ve konutlardaki enerji verimliliği yatırımları (yalıtım gibi) ile yüksek enerji verimli konut binalarının inşası için uygun koşullarda finansman sağlamaktadır. Bu proje çerçevesinde finanse edilen, özellikle kentsel dönüşüm kapsamında yeniden yıkılıp inşa edilen binaların önceki durumu ile yeniden inşa sonucu EKB'leri toplanabilmiş ve proje finansman gerekliliği olarak raporlanan, finanse edilen binaların sonraki dönemdeki tüketim değerleri bu çalışmada kullanılmıştır. Böylece, ulusal olarak kabul edilen bir baz değer, yani EKB tüketim değerleri ile uzun dönem ortalaması olan bir yıllık gerçek tüketim değerleri karşılaştırılmıştır. Bu sayede, konutlarda enerji tüketiminde kullanıcıların etkisinin ne denli önemli olduğu daha açık ortaya çıkmıştır. Konutların toplam birincil enerji tüketimindeki payının yaklaşık %30 olduğu düşünülürse, buradaki ±%30-40'lık değişimler, totalde de gözler görülür farklar yaratacaktır.

Bu çalışmada, istatistiki analiz yöntemleri kullanılarak toplanan verilerin temsil ettiği uzayda kullanıcı enerji tüketim etkisi matematiksel olarak modellenmiştir. Bu sayede, veri uzayına yeni eklenecek binaların EKB tüketimlerini bilerek, gerçekte o binanın ne kadar enerji tüketeceği tahmin edilebilecektir. Daha çok veri ile matematiksel modelin daha da geliştirilmesi mümkündür, ancak bu çalışmada eldeki veriler ile ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

1) BEP-TR programının ilk versiyonu oldukça hatalı sonuçlar ortaya çıkarmasına karşın, ikinci versiyonu çok daha başarılı olarak gözükmektedir. EKB verileri ile gerçekleşen tüketimler karşılaştırıldığında, genel ortalama olarak %24'lik bir fark çıkmıştır ki, kullanıcı etkisi de düşünüldüğünde bu fark oldukça kabul edilebilir bir farktır. Aynı veriler 3. bir sağlama olarak 2017 yılında GazBir tarafından yayınlanan çalışmadaki iller bazında ortalama tüketimler ile de örtüşmektedir. İlgili grafik aşağıdadır:



Şekil 5-1: 2017 yılı iller bazında hane başı ortalama doğalgaz tüketimi. (Gazbir, 2018) [20]

Bundan sonra, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde tutulan bu EKB belgelerindeki tüketim tahminlerinin daha etkin bir şekilde enerji projeksiyonlarında kullanılması yararlı olacaktır.

2) Bu çalışmadaki veri uzayı hesaba katıldığında, EKB tüketim değeri ile gerçek tüketim yalnızca %10 oranında tahmin edilebilmektedir. Bir diğer deyişle, sadece EKB tüketimlerinin bağımsız değişken olarak kabul edildiği matematiksel model, veri uzayının yaklaşık %10'unu temsil edebilmektedir. Bu değer, oldukça düşük ve kullanılamaz bir değer olarak gözükse de kullanıcı etkisinin rastlantısal olması özelliği nedeniyse böyle düşük bir tanımlayıcılık katsayısı değeri beklenebilir bir değerdir. Nitekim, literatürde, özellikle sosyal konularda yapılan istatistiksel analizlerde, bu değerin %10'un da altında olduğu sıklıkça görülmüştür.
3) EKB bağımsız değişkenine bir de binanın bulunduğu ilin ısıtma derece gün değeri bağımsız değişken olarak eklendiğinde ise oluşturulan modelin tanımlayıcılık katsayısı 0,483 olarak bulunmuştur. Yani model yaklaşık %48 oranında doğru tahminler yapabilmektedir. Bu değer oldukça kabul edilebilir bir değerdir. Özellikle güven aralığının %95 seçildiği düşünülürse, EKB değeri ile yaklaşık olarak gerçek tüketimin ne kadar olacağı tahmin edilebilir denebilir.
4) İşin içine bir de kategorik bir değişken olan EKB sınıfı da bağımsız olarak eklendiğinde, yapılan optimal ölçeklemeli kategorik gerileme (regresyon) analizi sonucunda oluşturulan matematiksel model diğerleri ile karşılaştırıldığında tanımlayıcılık katsayısı

en yüksek model olmuştur. Ortaya çıkan model, veri uzayını %60'lik bir oranda açıklayabilmiştir. Ancak burada bağımsız olarak seçilen EKB sınıfının istatistiksel olarak görece daha anlamsız ancak tamamıyla etkisiz olmadığı belirlenmiştir.

5) Genel olarak Gerçekleşen tüketim, seçilen tüm bağımsız değişkenler ile pozitif orantılı olduğu görülmüştür. Daha yüksek bir EKB tüketimine, EKB sınıfı kategorisine veya ısıtma derece gün değerine (soğuk iklim) sahip binanın gerçekte de daha yüksek bir tüketime sahip olması beklenmektedir. Bu oldukça anlaşılabilir ve zaten beklenen bir durumdur.
6) Yapılan analizlerde gerçekleşen tüketime en çok etkisi olan bağımsız değişkenin ısıtma derece gün değeri olduğu saptanmıştır. Yani iklimin etkisi, kullanıcıların tüketimini etkileyen en önemli bileşendir. Bir örnekle açıklamak gerekirse, bina karakteristikleri dolayısı ile benzer EKB tüketim değerlerine sahip iki binadan soğuk iklimde olan binada gerçekleşen tüketim daha ılıman iklimdeki binaya göre daha yüksektir.
7) Yeni bağımsız değişkenlerin eklenmesi ile modelin gücü artmaktadır. Burada kullanıcı davranışlarını etkileyen en önemli parametrelerden olan sosyo-ekonomik göstergelerin, (örneğin, her bina için hane halkı sayısı, yaş ortalaması, gelir düzeyi, eğitim düzeyi gibi değişkenler) doğru bir şekilde analize eklenmesi ile çok daha güçlü bir model oluşturulabilir. Bu sayede, konutların gelecekteki tüketim projeksiyonları çok daha hassas olacaktır.
8) Seçilen veri uzayı, Türkiye'de toplam 9 milyon konut binasının olduğu varsayılırsa, tüm uzayın %0,0016 gibi oldukça küçük bir kısmını temsil ettiği görülmektedir. Daha doğru önermelerin ve modelin hesaplanabilmesi için veri uzayının genişletilmesi gerektiği aşikardır.

Tezin temel amacı talep projeksiyonlarını daha hassas hale getirebilecek modeli üretebilmektir. Mevcut kentsel dönüşüm aktiviteleri göz önünde bulundurulduğunda özellikle büyük şehirlerde birçok binanın yıkılıp tekrar yapılacağı açıktır. Bu aşamada hazırlanan EKB değerleri eğer doğru analiz edilebilirse, mikro ölçekte belediyeler ve enerji sağlayıcılar için, makro ölçekte ise hükümetler için oldukça hassas projeksiyonlar hazırlanmasında faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

[1]. TUIK, 2001. BİNA SAYIMI, DEVLET İSTATİSTİK ENSTİTÜSÜ MATBAASI, ANKARA, ISBN: 975-19-2819-2.

[2]. TUIK, 2000-2018. *TUIK Yapı İzin İstatistikleri,* http://www.tuik.gov.tr

[3]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016, *Mavi Kitap - Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri,* Ankara, http:// https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi_kitap_2016.pdf.

[4]. Karahan, E. E., 2014. Konut Kullanıcı Davranışı Ve Enerji Tüketimi: Literatür Değerlendirmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 26(Güz 2015/1).

[5]. Haas, R., Auer, H. & Biemary, P., 1998, The Impact of Consumer Behaviour on Residential Energy Demand for Space Heating, *Energy and Buildings,* 27, 195-205.

[6]. Branco, G., Lachal, B., Gallinelli, P. & Weber, W., 2004, Predicted Versus Observed Heat Consumption of a Low Energy Multifamily Complex in Switzerland Based on Long-Term Experimental Data, *Energy and Buildings,* 36, 543-555.

[7]. Linden, A., Carlsson-Kanyama, A. & Eriksson, B., 2006, Efficient and Inefficient Aspects of Residential Energy Behavior: What Are the Policy Instruments for Change, *Energy Policy,* 34, 1918–1927.

[8]. Schweiker, M. ve Shukuya, M., 2009, Comparison of Theoretical and Statistical Models of Air-Conditioning-Unit Usage Behaviour in a Residential Setting under Japanese Climatic Conditions, *Building and Environment,* 44, 2137–2149.

[9]. Andersen, R., Toftum, J., Andersen, K. & Olesen, B., 2009, Survey of Occupant Behaviour and Control Of Indoor Environment in Danish Dwellings, *Energy and Buildings,* 41, 11–16.

[10]. Sonderegger, R., 1978, Movers and Stayers: the Resident's Contribution to Variation across Houses in Energy Consumption for Space Heating, *Energy and Buildings,* 1, 313–324.

[11]. Guerra Santin, O. & Ithard, L., 2010, Occupant Behaviour: Determinants And Effects On Residential Heating Consumption, *Building Research & Information,* 38, 318-338.

[12]. Gill, Z., Tierney, M., Pegg, I. & Allan, N., 2010, Low-Energy Dwellings: The Contribution of Behaviours to Actual Performance, *Building Research & Information,* 38(5), 491-508.

[13]. Chen, J., Wang, X. & Steemers, K., 2013, A Statistical Analysis of A Residential Energy Consumption Survey Study in Hangzhou, China, *Energy and Buildings,* 66, 193-202.

[14]. Öztürk, S., 2012, İstatistiksel Regresyon Yöntemlerinin Farklı Veri Gruplarına Uygulanması Üzerine Bir Analiz, *GÜFBED/GUSTIJ*, 2(2), 55-67.

[15]. Günel, A., 2003, Regresyon Denkleminin Başarısını Ölçmede Kullanılan Belirleme Katsayısı ve Kritiği. 4(2), 133-140.

[16]. Kanıt, R. & Baykan, U. N., 2004, Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon ile Belirlenmesi, *Politeknik Dergisi,* 7(4), 359-367.

[17]. Cengiz, D., 2008, Kategorik Regresyon Analizi ile Öğrencilerin Benlik Algılarını Etkileyen Özelliklerin Belirlenmesi, *Öneri Dergisi,* 8(29), 193-198.

[18]. Kooji, A. J. v. d., Meulman, J. J. & Heiser, W., 2006, Local minima in categorical multiple regression, *Computational Statistics & Data Analysis,* February, 50(2), 446-462.

[19]. Güç, K. & Başar, E., 2016, Optimal Ölçeklemeye Dayalı Kategorik Regresyon Analizi ve Bir Uygulama, U*rasian Econometrics, Statistics & Emprical Economics Journal,* October, 5(2), 4-27.

[20]. Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği, 2018, *2017 Yılı Doğalgaz Dağıtım Sektörü Raporu,* Ankara, http://www.gazbir.org.tr/uploads/page/2017-yili-dogal-gaz-dagitim-sektoru-raporu.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Gürhan MAMAKLIOĞLU
Doğum Yeri	Ankara
Doğum Tarihi	29.01.1986
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0535 6349586
E-Posta Adresi	gurhan.m@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Teknik Üniversitesi
Fakülte	Elektrik Elektronik Fakültesi
Bölümü	Elektrik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	19.06.2009