ARAŞTIRMA MAKALESİ

Alternatif Teknolojiler ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Müstakil Bir Konutta Kullanımının Tekno-Ekonomik Analizi

Gül Nihal GÜĞÜL
Dr.
Selçuk Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği
Konya
gul.gugul@selcuk.edu.tr

Merih AYDINALP KÖKSAL
Dr.
Hacettepe Üniversitesi
Çevre Mühendisliği
Ankara
aydinalp@hacettepe.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı kullanılarak Ankara'da bulunan iki katlı müstakil bir konutun ısıtma amaçlı saatlik enerji tüketim modeli oluşturulmuştur. Toplam ısınma alanı 500 m^2 olan bu konutta ısınma, yemek pişirme ve su ısıtma işlemleri için doğal gaz kullanılmaktadır. Konutun saatlik elektrik ve günlük doğal gaz tüketimleri bir yıl süresince izlenmiştir. Saatlik ısıtma modeli iklim verisi, binanın dış cephe yapı bileşenleri ve ısı kazanç verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Konutun enerji talebi ve buna bağlı salım miktarı belirlendikten sonra konutun enerji ve sera gazı salım sınıfları da belirlenmiştir. Konutun fiziksel yapısında iyileştirme ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören çeşitli senaryolar modele uygulanmıştır. Yenilenebilir enerji senaryoları olarak fotovoltaik panellerin kullanılması, ısıtma için toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması ve sıcak su üretimi için güneş enerjisi kullanılması durumları modellenmiştir. Konutun fiziksel yapısında iyileştirmelerin öngörüldüğü senaryolarda ise duvar ve çatı izolasyonun iyileştirilmesi ve farklı tipte pencere camlarının kullanılmasına dayalı senaryolar modele uygulanmıştır. Daha sonra yıllık enerji talebinde, CO_2 salınımında ve yakıt harcamasındaki tasarruflar hesaplanmıştır. Her senaryo için geri ödeme süreleri hesaplanarak Ankara ikliminde bulunan müstakil bir konut için en uygun koşullar tespit edilmiştir. Daha sonra Ankara iklimine en uygun enerji tasarruf yöntemlerinin Ankara'da bulunan müstakil konutlara uygulanması durumunda elde edilecek enerji tasarrufu ve CO_2 salımındaki azalmalar hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler
Bina Enerji Simülasyonu, Konutlarda Enerji Tüketimi, Enerji Tasarruf Teknolojileri, Ekonomik Analiz, ESP-r.

Techno-Economic Analysis of Using Alternative Technologies and Renewable Energy Sources at a Single Detached Home

ABSTRACT

In this study, hourly energy consumption model for the heating of a single detached two-storey building in Ankara is established using ESP-r building energy simulation software. In this house, the total heating area of which is 500 m^2, natural gas is used for heating, cooking and water heating. The hourly electricity and daily natural gas consumption of the house was monitored during one year. The hourly heating model was created by using climate data, building exterior components and heat gain data. Energy and emission classes of the house have been determined after the energy demand of the house and the amount of emission related to it has been determined. Various scenarios have been applied to the model that suppose to improve the physical structure of the site and to use renewable energy resources. The use of photovoltaic panels, the use of ground source heat pump for heating, and the use of solar energy for hot water production are modelled as renewable energy scenarios. Scenarios based on the improvement of wall and roof insulation and the use of different types of window glass have been applied in scenarios where improvements in the physical structure of the house are supposed. Later, savings on annual energy demand, emissions and fuel consumption were calculated. Payback periods for each scenario are calculated and the most favorable conditions for a single detached house in Ankara climate have been determined. Then energy savings and reductions in CO_2 emissions are calculated if the most suitable energy saving methods for the Ankara climate are applied to all single detached houses in Ankara.

Keywords
Building energy simulation, residential energy consumption, energy saving technologies, economic analysis, ESP-r.

Geliş Tarihi : 23.01.2017
Kabul Tarihi : 10.03.2017

Güğü, G. N., Köksal, M. A., Alternatif Teknolojiler ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Müstakil Bir Konutta Kullanımının Tekno-Ekonomik Analizi, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 737-754, Nisan 2017.

1. GİRİŞ

Konutlarda tüketilen enerji miktarı, toplam enerji tüketimi içinde önemli bir paya sahiptir. ABD'de konutlardaki enerji tüketimi toplam tüketimin yaklaşık %22'sini 1, Türkiye'de ise toplam nihai tüketimin %30'unu oluşturmaktadır 2. Türkiye'nin 1990-2013 yılları arasında sektörel enerji tüketimine göre sanayi sektöründen sonra en yüksek enerji tüketimi konut ve hizmetler sektöründen kaynaklanmakta ve bu tüketim sürekli artış göstermektedir 3. Ülkemizde konut sektöründe tüketilen enerji miktarı, nüfusun ve dolayısıyla konut sayısının hızla artmasına paralel olarak artmaktadır. 2014 yılında bir önceki yıla göre ikâmet amaçlı yeni yapılan toplam bina sayısında %12, yeni yapılan bir daireli bina sayısında ise %6 artış görünmüştür 4. Bu nedenle konutlarda yapılacak enerji tasarrufu büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de konut ve hizmetler sektöründe tüketilen enerjinin dörtte biri elektrik, üçte biri ise doğal gazdan kaynaklanmaktadır 3.

Ülkemizde elektrik üretiminin yarısı ithal edilen kömür ve doğal gaz ile sağlanmaktadır. Bu durumda, toplam elektrik tüketiminin yaklaşık dörtte birini oluşturan konut sektöründe elektrik tüketimini azaltmak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca elektrik tüketimini azaltmak, dışa bağımlı olduğumuz doğal gaz ve hava kirliliğine neden olan kömür kullanımını azaltmak açısından oldukça önemlidir.

2003-2013 yılları arasında Türkiye'de yapılan yeni konutların %7'si Ankara'da bulunmakta ve bu konutların yaklaşık dörtte biri bir daireli müstakil binalardan oluşmaktadır 4. Müstakil konutlarda, apartman dairelerine kıyasla ısı kaybının daha fazla olması sebebi ile enerji tüketimi daha fazladır. Ülkemizde ise son yıllarda müstakil evlerin sayısının artmasına karşın, müstakil evlerin ortalama ve toplam enerji tüketimi konusunda net bir bilgi yoktur.

Konutlarda enerji tasarrufu; konutun fiziksel yapısında yapılacak iyileştirmeler ve konutun enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla veya yeni teknolojilerle sağlanması ile elde edilebilir. Konutun fiziksel yapısında iyileştirmeler yapılması; mevcut konutlarda dış duvar ve çatıda yalıtım uygulanması ve pencerelerin iyileştirilmesi ile sağlanabilir. Bunlara ek olarak ısıtma ihtiyacının yüksek olduğu bölgelerde yeni yapılacak konutlarda fiziksel iyileştirme pencerelerin yönünün güneş enerjisinden en fazla yarar sağlayacak şekilde tasarlanması ile elde edinilebilir. Soğutma ihtiyacının yüksek olduğu bölgelerde ise yeni binalarda güneş enerjisinin soğutma yükünü en az etkileyeceği şekilde pencere tasarımları uygulanabilir.

Konutlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması; tüketilen fosil yakıtların çevreye verdiği zararı en aza indirgerken, Geri Ödeme Süresini (GÖS) tamamladıktan sonra konut sahibinin enerjiyi daha düşük fiyata sağlamasına ve konutun mali değerinin artmasına sebep olmaktadır. Ülkemizin coğrafi konumu nedeni ile Türkiye'de uygulanabilen en uygun yenilenebilir enerji kaynağı, elektrik üretimi ve sıcak su temini için güneş enerjisidir.

Konutların enerji tüketiminin modellenmesi ile konutun ısıtma/soğutma amaçlı enerji tüketim tahmini yapılabilmekte, böylece enerji tüketimini azaltmanın yöntemleri ve bu yöntemlerden elde edilecek enerji tasarrufu hesaplanabilmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak elde edilecek fosil yakıtların tüketiminden kaynaklanan CO_2 salımındaki azalma ve enerji tasarrufu sağlayan yöntemlerin ekonomik analizi de yapılabilmektedir. Bir binanın bilgisayar ortamında ısıtma/soğutma ihtiyacının modellenmesi, öncelikle binanın yapı bileşenlerinden ve mimarisinden yararlanılarak binanın fiziksel modelinin oluşturulması, daha sonra binanın bulunduğu ortamdaki iklim verilerini simülasyon programına girerek yapılan simülasyonlar ile enerji tüketiminin tahmin edilmesidir.

Konut sektöründe tüketilen enerjiyi azaltabilmenin yollarının incelenmesi, bu sektörde uygulanabilecek tasarruf politikaları ile enerji tüketiminde ve bunlara bağlı CO_2 salım miktarlarındaki azalmanın belirlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Literatürde, Türkiye'de konutlarda enerji talebini modelleyen çok az sayıda çalışma mevcuttur [7, 8, 9]. Fakat, bu çalışmadan önce Türkiye'de İç Anadolu Bölgesi iklimi şartlarında, mevcut müstakil bir konutun bir yıl süresince saatlik elektrik ve günlük doğal gaz tüketimi ölçülerek, konutun bina enerji simülasyon yazılımı ortamında saatlik ısıtma talebi modelinin oluşturulmasına, oluşturulan model üzerine piyasada hâlihazırda bulunan malzemeler göz önüne alınarak farklı senaryolar uygulanması ile elde edilebilecek enerji tasarruflarının hesaplanmasına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın bu eksiği gidermesi öngörülmektedir.

Literatürde son yıllarda konutlarda tüketilen enerji miktarının modellenmesi üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda binalarda alternatif enerji kaynakları kullanılarak, binanın yapısal malzemeleri iyileştirilerek ve/veya mimarisi değiştirilerek enerji tüketimini azaltmanın yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanılarak yapılan çalışmalarda sistemin performansını etkileyen faktörler incelenmiş [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17], sistemin sağlayacağı enerji tasarrufu hesaplanmış [18, 19, 20] ve sistemin kullanılması durumunda sağlanacak sera gazı salımındaki azalmalar [21, 22, 23] hesaplanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak modelleme çalışmalarında farklı metotların performansını inceleyen çalışmalar da mevcuttur [8, 24, 25, 26, 27]. Binalarda enerji tasarrufu elde etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile yapılan modelleme çalışmalarının yanı sıra; binanın tasarımının, güneş ile etkileşiminin, fiziksel yapısında kullanılan malzemelerin değiştirilmesi ile elde edilecek enerji tasarrufunu ve konutların komşu binalar ve ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmesinin enerji tasarrufuna olan etkisini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir [7, 9, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37].

Bu çalışma kapsamında Ankara'da bulunan müstakil bir konutun nihai enerji tüketimi bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenmiş ve ısıtma amaçlı saatlik enerji talebi belirlenmiştir. Daha sonra bu enerji tüketiminden kaynaklanan CO_2 salımı hesaplanmıştır. Ankara'da ısıtma talebinin yüksek olması sebebi ile modellenecek konut, doğal gaz ile ısıtılan bir konut seçilmiştir. Konutun bir yıl süresince saatlik elektrik ve günlük doğal gaz tüketimi ölçülmüştür. Beytepe Meteoroloji İstasyonundan 5 ölçüm yapılan yıla ait saatlik iklim verileri elde edilmiştir. Ayrıca konut sahibinden, konutta tüketilen elektrikli cihaz ve lambaların özellikleri ve kullanım saatleri, konutun mimari çizim ve yapısal özellikleri hakkında bilgi alınmış, elde edilen veriler kullanılarak konutun bilgisayar ortamında modellemesi yapılmıştır. Konutun modelinin oluşturulması ve bu model ile ısıtma talebinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma kapsamında akademik açıdan yaygın olarak kullanılmakta olan açık kodlu ESP-r [6] yazılımı kullanılmıştır. Modelde konutun ısıtma amaçlı enerji tüketim miktarı bina enerji simülasyon yazılımı ortamında hesaplanarak, ölçülen doğal gaz tüketimi ile model kalibre edilmiştir. Daha sonra bu model üzerinde enerji tüketimini azaltmak amacı ile farklı senaryolar uygulanmış, bu koşullarda elde edilen enerji tasarrufu ve buna bağlı CO_2 salım miktarlarındaki azalmalar hesaplanmış ve tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Son olarak konutun enerji tüketim sınıfı ve sera gazı salım sınıfı belirlenmiştir. Ankara'da 2005 yılından sonra inşa edilen ve konut ile aynı enerji sınıfına sahip olan konutlara senaryoların uygulanması ile Ankara'da elde edilecek enerji tasarrufu da hesaplanmıştır.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu bölümde; yapılan çalışmada model konutun seçilmesi, kullanılan verilerin tespiti ve temini, konutun modelinin oluşturulması, oluşturulan modelin kalibrasyonu, modele senaryoların uygulanması, senaryolarda elde edilen enerji tasarruflarının hesaplanması, CO_2 salımındaki azalmaların hesaplanması ve tekno-ekonomik analiz için hesaplamaların yapılması sırasında izlenen yöntemler anlatılmaktadır. Ayrıca, konutun enerji kimlik belgesinin belirlenmesi ve senaryo sonuçlarının Ankara'da bulunan konut ile aynı enerji sınıfına sahip bir daireli müstakil konutlar için genelleştirilmesinde izlenen yöntemler de açıklanmıştır.

2.1. Konutun Seçilmesi

Bu çalışmada, müstakil konutlarda enerji tüketiminin daha fazla olması ve Ankara'da yeni yapılan müstakil konut sayısının hızla artması sebebi ile Ankara Beytepe'de bulunan müstakil bir konut model olarak seçilmiştir. Isıtma amaçlı enerji tüketim modeli oluşturulan konutun 2007 yılında yapımı tamamlanmıştır. Konut; dört yatak odası, iki salon, beş banyo, iki tuvalet, üç depo odası ve bir araba garajı olmak üzere 700 m^2 toplam alana, 500 m^2 ısıtılan alana sahiptir. Konutta yedi kişi ikamet etmektedir. Konutun ısıtma, sıcak su temin etme ve yemek pişirme amaçlı enerji ihtiyacı doğal gaz kullanan kombi ile karşılanmaktadır. Bu konutun seçilmesinde en önemli etken, konutun elektrik tüketiminin yüksek olması ve konutun ısıtılan alanının büyük olması sebebi ile ısıtma talebinin çok fazla olmasıdır. Konutun ısıtma talebi; 188 GJ/yıl'dır. Buna ek olarak, konut sahibinin projeye destek vermesinden dolayı gerekli verilere ulaşım imkânının kolay olması da bu konutun model olarak seçilme nedenleri arasında yer almaktadır.

2.2. ESP-r Yazılımının Seçilme Nedenleri

Binalarda enerji talebini simüle etmek amacı ile geliştirilen yazılımları; kapasiteleri, kabiliyetleri, avantaj ve dezavantajlarına göre kıyaslayan birçok çalışma mevcuttur. Bina enerji simülasyon yazılımlarını kıyaslayan ilk çalışmalardan birisi Haltrecht ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [30]. Bu çalışmada, simülasyon tabanlı HOT2000 programının geliştirilmesi aşamasında kullanılması planlanan bina enerji simülasyon yazılımının seçilmesi amacı ile 30 bina enerji simülasyon programı karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; ESP-r'ın enerji talebi ve ısıtma, havalandırma, hava şartlandırma eşitliklerini anlık çözebilmesi, bir düğüm-ağ hava akış modeline sahip olması, uzun dalga radyasyon değişim modelinin çok ayrıntılı olması, ısıtma havalandırma hava şartlandırma metodolojilerinin genişletilebilmesi, yaklaşık 20 yıldır kullanılması sebebi ile teknik riskinin düşük olması ve böylece istikrarlı bir program olması gibi sebeplerden dolayı ESP-r yazılımı seçilmiştir [30]. Porto Üniversitesi'nde yapılan bina enerji simülasyon yazılımlarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada EnergyPlus, ESP-r, IDA ICE (Indoor Climate Energy), IES-VE (Entegre Çevre Çözümleri-Sanal Ortam) ve TRNSYS yazılımlarının en iyi, dolayısıyla en kompleks ve deneyim gerektiren yazılımlar olduğu sonucuna varılmıştır [27]. The Pontificia Universidad Catolica de Chile'de yüksek lisans tezi olarak yapılan ve yine bina enerji simülasyon yazılımlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada ise ESP-r'ın, EnergyPlus'a kıyasla daha az kullanıcı dostu fakat daha fazla araştırma odaklı bir bina enerji performans simülasyon yazılımı olduğu sonucuna varılmıştır [31].

Bu çalışmada konutun modellenmesi amacı ile ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı seçilmiştir. ESP- r, İngiltere'de Strathclyde Üniversitesi bünyesinde bulunan Energy Systems Research Unit tarafından geliştirilmiş açık kodlu enerji tüketimi modelleme yazılımıdır [12]. ESP-r'ın seçilme nedeni, bu yazılımın binaların termal, görsel performansını, enerji tüketim bilgileri, iklim koşulları ve kullanılan inşaat malzemeleri verilerini kullanarak simüle edebilen, en gelişmiş bilgisayar kodlarından ve modelleme araçlarından birisi olmasıdır.

2.3. Verilerin Temin Edilmesi

Modelin oluşturulması için ilk olarak konutun yapısal özellikleri, mimari çizimi ve anket bilgileri konut sahibinden temin edilmiştir. Konutun bulunduğu Ankara iline ait meteorolojik veriler iki farklı istasyondan temin edilmiştir [5, 38]. Buna ek olarak, senaryolarda elde edilecek enerji tasarrufunun gerçeğe daha yakın olması amacı, simülasyon sırasında iklim verisi olarak ABDEB web sitesinden temin edilen [39] Ankara için 18 yıla ait iklim verileri kullanılarak oluşturulan normal iklim verileri kullanılmıştır. Konutta doğal gaz tüketimi günlük olarak bir yıl süresince ölçülmüştür. Bu çalışmada günlük doğal gaz tüketim verisi bina enerji simülasyon programında oluşturulan modelin performansını izlemek ve modeli kalibre etmek amacı ile kullanılmıştır. Daha sonra, ölçülen doğal gaz (DG) tüketiminin ısıtma, yemek pişirme ve sıcak su temin etme amacı ile kullanılması sebebi ile, ölçülen doğal gaz tüketim verisinde ısıtma amaçlı kullanılan doğal gaz tüketimi hesaplanmıştır. Konutun saatlik elektrik tüketimi Mikrodizayn [40] firmasından alınan uzaktan sayaç okuma sistemi ile 8.10.2012-30.09.2013 tarihleri arasında okunmuştur. Güneş enerjisi ile sıcak su temin etme senaryosu için konutta tüketilen sıcak su miktarı bilgisine ihtiyaç vardır. Konutta sıcak su temin etmek için tüketilen doğal gaz miktarı bilinmektedir. Buradan yola çıkılarak konutta tüketilen sıcak su miktarını hesaplamak için yeraltı toprak sıcaklığı verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden yerin 100 cm altının saatlik toprak sıcaklığı verisi talep edilmiştir. Sıcak su temin etme amaçlı enerji tüketimi (1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{ss} = DG_{E_ss} \times EF_{ss} \times UID \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

Q_{ss} : Sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı, kWh/gün

DG_{E_ss} : Eylül ayında sıcak su temini için tüketilen DG miktarı, m^3/gün

EF_{ss} : Sıcak su temini için kullanılan cihazın verimi

UID : Doğal gaz üst ısıl değeri, kWh/m^3

Sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı hesaplandıktan sonra, bu miktarda enerji ile günlük kaç kg sıcak su tüketildiği (2) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$m_{ss} = Q_{ss} / (c \times \Delta T) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

m_{ss} : Tüketilen günlük sıcak su miktarı, kg/gün

ΔT :Sıcak suyun derecesi - Şebeke suyu sıcaklığı, °C

c : Suyun öz ısısı, kWh/kg°C

(2) eşitliğinde hesaplanan m_{ss}, Eylül ayına ait günlük sıcak su tüketimidir. Eylül ayına ait günlük sıcak su tüketiminin ortalaması alınarak günlük tüketilen ortalama sıcak su miktarı hesaplanmıştır. Günlük sıcak su tüketim miktarının yıl boyunca sabit olduğu varsayılmıştır.

Güneşten gelen radyasyon verisinin saatlik olması sebebi ile hesaplamalar saatlik yapılmıştır ve günlük tüketilen toplam sıcak suyun gün içerisindeki dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Saatlik sıcak su tüketiminin hesaplanabilmesi için Portekiz'de yapılan bir çalışmada elde edilen saatlik sıcak su kullanım profili kullanılmıştır [49] Sıcak su kullanım profilinin yıl boyunca sabit olduğu varsayılmıştır. Saatlik sıcak su kullanım profil bilgileri ve Eşitlik 2 ile hesaplanan günlük sıcak su tüketimi kullanılarak, (3) eşitliği ile günün her saati için konutta tüketilen sıcak suyun miktarı hesaplanmıştır.

$$m_{ss._l} = SSKPY_l \times m_{ss} \quad (3)$$

Bu eşitlikte;

m_{sss_l} : Tüketilen saatlik sıcak su miktarı, kg/saat

SSKPY_l : Saatlik sıcak su kullanım profili, %

l : Saat

Şebeke suyu sıcaklığı mevsimsel değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla aynı miktarda sıcak su temini için talep edilen enerji miktarı da şebeke suyuna bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple, konutta saatlik sıcak su tüketim miktarı belirlendikten sonra, bu miktarda sıcak suyu temin edebilmek için tüketilen yıllık doğal gaz miktarı (4) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{ssy} = \sum_{l=1}^{8760} (m_{sss} \# c \# DT) \# \frac{1}{AID \# EF} \quad (4)$$

Bu eşitlikte;

Q_{ssy} : Sıcak su temini için talep edilen yıllık DG miktarı, m^3/yıl

Eşitlik 4'te görüldüğü gibi saatlik sıcak su temin etme amaçlı DG miktarı belirlenmiş ve daha sonra elde edilen veriler toplanarak yıllık sıcak su temini için tüketilen DG miktarı belirlenmiştir. Böylece günlük sıcak su temini için tüketilen DG miktarı da belirlenmiştir.

Senaryo hesaplamalarında ise doğal gaz ve elektrik enerjisinde elde edilen tasarruftan kaynaklanan CO_2 salımındaki azalmayı hesaplayabilmek için doğal gaz salım faktörü (DSF) ve elektrik için salım faktörü (ESF) kullanılmıştır. Her bir senaryo için ilgili firmalardan kullanılması öngörülen malzeme/sistem ile ilgili teknik özellik ve maliyet verileri temin edilmiştir. Senaryoların ekonomik analizinde ise yatırım maliyeti verileri, elektrik tarifesi, doğal gaz tarifesi ve faiz verileri kullanılmıştır.

Bu veriler kullanılarak konutun ESP-r bina enerji simülasyon programı ile modellemesi yapılmıştır. Daha sonra, ölçülen doğal gaz (DG) tüketiminin ısıtma, yemek pişirme ve sıcak su temin etme amacı ile kullanılması sebebi ile, ölçülen doğal gaz tüketim verisinde ısıtma amaçlı kullanılan doğal gaz tüketimi hesaplanmıştır. Konutun havalandırma miktarı, bina enerji simülasyon yazılımı ile elde edilen ısıtma talep tahmini sonuçlarının, ölçülen ısıtma amaçlı doğal gaz tüketim verileri ile karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Böylece modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra oluşturulan modele senaryolar uygulanarak elde edilebilecek enerji tasarrufu ve CO_2 salımındaki azalma miktarı hesaplanmıştır. CO_2 salımındaki azalma miktarı enerji tasarrufu ve salım faktörü kullanılarak (5) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$CSA_i = ET_i \times SF_e \quad (5)$$

Bu eşitlikte;

CSA_i : CO_2 salımındaki azalma, kg/yıl

ET : Enerji tasarrufu, m^3/yıl, kWh/yıl

i : Senaryo tipi

SF : Salım faktörü, $kgCO_2/m^3$, $kgCO_2$/kWh

e : Enerji tipi, elektrik, doğal gaz

Son olarak konutun enerji sınıfı belirlenmiş ve senaryo sonuçları Ankara'da konut ile aynı enerji sınıfındaki müstakil konutlar için genelleştirilmiştir.

Tablo 1. Konutun Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Modele Uygulanan Senaryolar

Senaryo	Senaryo Kodu	Mevcut Durum	Uygulanacak Durum
Pencere Camı Tipi	S.1-a	Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam bulunmaktadır	Argon ile doldurulmuş, 16 mm boşluklu, şeffaf çift cam uygulanması
	S.1-b		Argon ile doldurulmuş, 16 mm boşluklu, şeffaf üç kat cam uygulanması
Yalıtım	S.2-a	Konutun dış duvarında ısıl iletkenlik katsayısı k=0,04 W/mK olan 80 mm yalıtım bulunmaktadır	k=0,04 W/mK ve kalınlığı 90 mm olan polistren köpük yalıtım uygulanması
	S.2-b		k=0,035 W/mK ve kalınlığı 80 mm olan Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım uygulanması
	S.2-c		k=0,035 W/mK ve kalınlığı 90 mm olan yalıtım uygulanması
	S.2-d	Konutun çatısında yalıtım bulunmamaktadır	Çatıya k=0,035 W/mK ve kalınlığı 100 mm olan XPS yalıtım uygulanması [41]
Cam + Yalıtım	S.3	Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam, dış duvarda k=0,04 W/mK olan 80 mm yalıtım vardır ve çatıda yalıtım bulunmamaktadır	Pencere camlarına 3 camlı argon, dış duvara k=0,035 W/Mk olan 90 mm Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım ve çatıya 100 mm XPS yalıtım [41] levhasının aynı anda uygulanması
Fotovoltaik Panel (FVP)	S.4	Konutta FVP bulunmamakta	Konutun güney doğu ve güney batıya bakan çatısına FV eklenmesi
Güneş Enerjisi İle Sıcak Su Sistemi (GES)	S.5	Konutun sıcak su ihtiyacı kombi ile doğal gaz kullanılarak sağlanmakta	Konuta güneş enerjisi sisteminin eklenmesi
Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP)	S.6	Konut ısıtma ihtiyacını doğal gaz kullanan kombi ile sağlamaktadır, toprak kaynaklı ısı pompası bulunmamaktadır	Konuta ısıtma ihtiyacını karşılamak için TKIP eklenmesi

2.4. Senaryo Uygulamaları

Konutlarda ısıtma talebinin modellenmesi ile ilgili çalışmaların incelenmesi ve Ankara'nın iklimine uygun olan enerji tüketimini azaltma metotlarının gözden geçirilmesi sonucunda bu çalışmada, Tablo 1'de görülen senaryoların uygulanmasına karar verilmiştir. Bu senaryolar, oluşturulan modele uygulanarak enerji tüketimindeki ve CO_2 salımındaki azalmalar hesaplanmıştır.

2.5. Ekonomik Analiz

Senaryoların geri ödeme sürelerinin hesaplanması için ilk olarak mevcut yapıların ve kullanılması öngörülen yapıların mali değeri firmalardan talep edilmiştir. Konutta enerji tüketim ölçümleri 2013 yılının sonunda tamamlanmıştır. Bu sebeple firmalardan fiyat teklifleri 2014 yılında alınmıştır. Firmalardan alınan tekliflerden uygun görülen teklifler baz alınarak senaryonun maliyet değeri elde edilmiştir. Uygulanması öngörülen senaryolardan pencere camı ve dış duvar yalıtımının iyileştirilmesi senaryoları konutta hâlihazırda bulunan senaryolardır. Konutun ısıtma talebi, mevcut pencere camı ve dış duvar yalıtımı ile hesaplanmıştır. Bu sebeple bu senaryolarda, senaryo maliyetinden mevcut yapının maliyeti çıkarılarak senaryo maliyeti elde edilmiştir. Senaryoda kullanılması öngörülen yapı ile konutta mevcut olan yapının şu anki maliyeti ve iki durumda tüketilen enerji miktarları göz önüne alınarak Geri Ödeme Süresi (GÖS) hesaplanmıştır. GÖS'nin hesaplanması için öncelikle yıllık Net Nakit Akışı (NNA) hesaplanmalıdır. Yıllık NNA (6) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$NNA_j^{yi} = OYYET_j - SYYET_j \quad (6)$$

Bu eşitlikte;

NNA_j^{yi} : Belirli bir yılda yapısal iyileştirme senaryosu için net nakit akışı, TL/yıl

j : Yıl

yi : Yapısal iyileştirme senaryosu

OYYET : Orijinal yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti, TL/yıl

SYYET : Senaryolu yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti, TL/yıl

$$NBD = \frac{NNA_1}{(1+nf)} + \frac{NNA_2}{(1+nf)^2} + ... + \frac{NNA_N}{(1+nf)^N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{NN_j}{(1+i}$$ (7)

Bu eşitlikte;

NBD : Net Bugünkü Değer, TL

NNA_j : Belirli bir yılda net nakit akışı, TL/yıl

nf : Nominal faiz

n : Yıl

j : Sistemin işletim süresi, yıl

GÖS'ün hesaplanmasında gelecek yılların elektrik ve doğal gaz fiyat bilgisi gerekmektedir. Son sekiz yıla ait elektriğin ve son on yıla ait doğal gazın konutlara satış fiyatı verileri temin edilmiştir [42, 43, 44]. Bu şekillerde verilerin eğim çizgisi denklemi kullanılarak önümüzdeki yıllara ait elektrik ve doğal gaz fiyat verisi tahmini de yapılmıştır. Faiz değerinin yıllar bazında sabit kalması durumunda [50] Net Bugünkü Değeri (NBD) (7) eşitliği ile hesaplanabilir.

NBD'nin pozitif değer almasını sağlayan en düşük j değeri, Geri Ödeme Süresi (GÖS) olarak tanımlanır [50].

2.6. Konutun Enerji Kimlik Belgesinin Belirlenmesi

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı (EP) ve Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Salım Sınıfı (SEG) değerleri mevcuttur 45. Bu veriler kullanılarak, 2013 yılı enerji tüketimi belirlenen konutun enerji sınıfı ve sera gazı salım sınıfı belirlenmiştir. Daha sonra uygulanacak senaryolar sonucunda her senaryo için konutun yeni enerji sınıfı ve sera gazı salım sınıfı belirlenmiştir.

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde yer alan Türkiye'de ısıtma bölgelerine göre konutların referans enerji tüketimi yer almaktadır ve Ankara 3. Isıtma Bölgesi'nde yer almaktadır 46. Bu durumda Ankara'da müstakil konutlarda referans enerji tüketimi (RG) 285 kWh/m^2yıl olmaktadır. Bu RG değerleri kullanılarak Ankara'da bulunan müstakil konutlar için her enerji sınıfında bulunan konutların enerji tüketim değerinin değiştiği aralık hesaplanmıştır.

Ankara'da müstakil konutlar için referans sera gazı salımı (SRG) 47 kg.CO_2/m^2.yıl olmaktadır [45], Bu SRG değeri kullanılarak Ankara'da bulunan müstakil konutlar için her enerji sınıfında bulunan konutların sera gazı salım değerinin değiştiği aralık hesaplanmış.

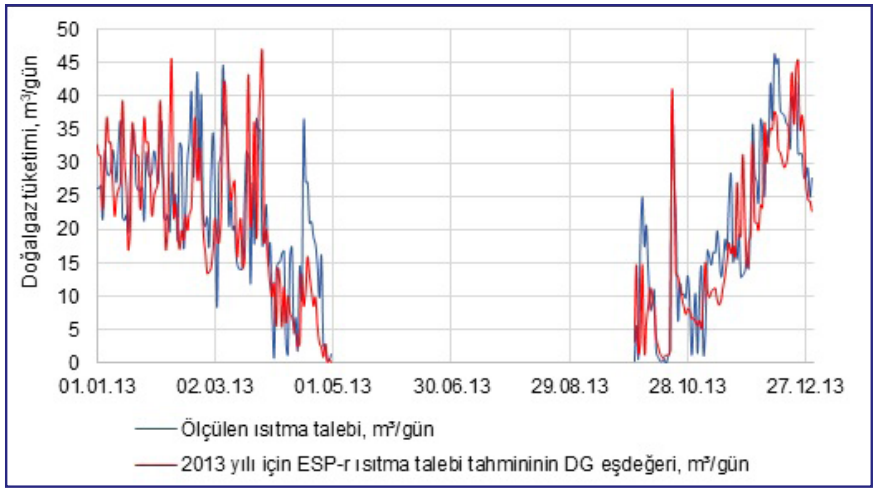
2.7. Senaryo Sonuçlarının Genelleştirilmesi

Ankara'da 2015 yılı Mayıs ayı itibari ile Enerji Kimlik Belgesi (EKB) bulunan konutlardan her enerji sınıfında bulunan konut sayısı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan sözlü görüşme ile temin edilmiştir. Bu veriler ve Ankara'da EKB'si bulunan binaların miktarı hesaplanmıştır. TÜİK istatistiklerine göre 2005 yılından itibaren Ankara'da tamamen veya kısmen biten bir daireli müstakil yeni ve ilave yapıların yüzölçümü 4.102.123 m^2'dir. Bu alanın hesaplanan enerji sınıfı oranı ile çarpılması ile her sınıf için toplam alan hesaplanmıştır.

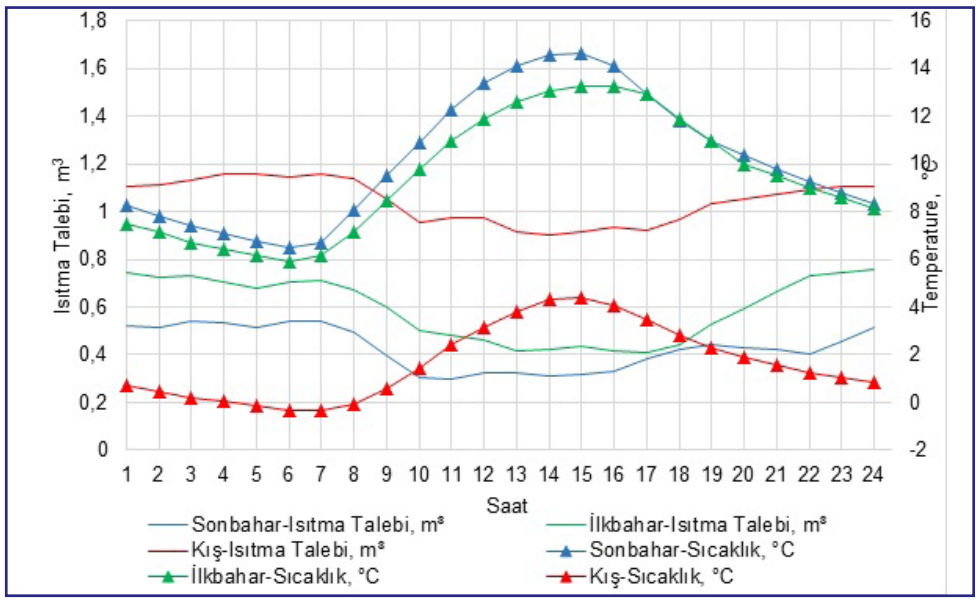
Daha sonra her senaryo için elde edilen enerji kazancı konutun toplam alanına bölünerek her senaryo için metre kare başına yıllık enerji kazancı hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, 2005 yılından sonra yapılan bir daireli binalardan model konut ile aynı enerji sınıfına sahip olan konutlara uygun görülen senaryoların uygulandığı varsayılmıştır. Konutun enerji sınıfı ile aynı enerji sınıfında olan toplam bir daireli bina alanı, metre kare başına enerji tasarrufu ile çarpılmıştır. Böylece senaryoların Ankara ilinde bulunan model konut ile aynı enerji sınıfında olan bir daireli müstakil konutlara uygulanması ile elde edinilebilecek toplam enerji tasarrufu ve CO_2 salımındaki azalma hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

2013 yılı saatlik iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre ESP-r'ın konut için yıllık ısıtma talebi tahmini toplam 141 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Konutun ısıtma alanının 500 m^2 olması sebebi ile 2013 yılının ısıtma eşiği 18 °C varsayılarak 63.992 derece saat IDS değeri (2.563 derece gün) için ısıtma alanı başına ısıtma talebi 0,28 GJ/yıl.m^2 olarak hesaplanmıştır. Konutun 141 GJ/yıl ısıtma talebinin doğal gaz tüketim eşdeğeri, %92 verim ile çalışan kombi kullanılması durumunda 3.998 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. 2013 yılı ortalama doğal gaz fiyatı [44] göz önüne alındığında konutun 2013 yılında ısıtma amaçlı doğal



Şekil 1. ESP-r tarafından 2013 yılı için tahmin edilen ve aynı yılda ölçülen günlük ısıtma talepleri, m³/gün



Şekil 2. Kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ESP-r tarafından tahmin edilen ısıtma talebinin DG eşdeğerinin dış ortam sıcaklığı ile değişimi

gaz gideri 4.272 TL/yıl, ısıtma amaçlı doğal gaz tüketiminden kaynaklanan CO_2 salımı 8.583 kg.CO_2/yıl olarak hesaplanmıştır. Doğal gaz tüketiminin 2013 yılı süresinde ölçülmesi ile konutta toplam 6.729 m^3 doğal gaz tüketildiği görülmüştür. Bu tüketim içerisinde yılda 135 m^3 doğal gaz yemek pişirme, 2.045 m^3 doğal gaz sıcak su temin etme, 4.549 m^3 doğal gazın ise ısıtma amacı ile kullanıldığı hesaplanmıştır. 2013 yılı için ESP-r simülasyon sonuçlarından elde edilen ve aynı yılda ölçülen günlük ısıtma amaçlı doğal gaz tüketimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi ilkbahar-yaz ve yaz-sonbahar geçiş ayları olan Nisan ve Ekim aylarında, hane halkının iklim koşullarına bağlı olarak tahmin edilenden fazla enerji tüketmesi sebebi ile ısıtma amaçlı ölçülen doğal gaz tüketimi ESP-r tahmininden yüksek olmuştur.

ESP-r programı tarafından tahmin edilen konutun saatlik ısıtma talebinin DG eşdeğeri, ısıtma sisteminin çalıştırıldığı üç mevsim için talebin saatlik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Isıtma sistemi kış mevsiminde Aralık, Ocak, Şubat; ilkbahar mevsiminde Mart, Nisan; sonbahar mevsiminde

ise Ekim, Kasım aylarında çalıştırılmaktadır. Isıtma sisteminin çalıştırıldığı mevsimlerde günün her saati için ortalama ısıtma talebi tahmininin DG eşdeğerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi ısıtma amaçlı doğal gaz tüketimi kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Buna ek olarak, ilkbaharda ortalama sıcaklığın sonbahara kıyasla daha düşük ve dolayısıyla ısıtma talebinin sonbahara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir.

2013 yılı toplam IDG değeri 2013 yılının normalden daha ılıman geçmesi sebebi ile normal iklim verisi IDG değerinden daha düşüktür ve dolayısıyla 2013 yılı ısıtma talebi normalden daha düşük olarak tahmin edilmiştir. Bu sebeple, senaryoların ortalama bir yılı göstermesi amacı ile senaryolar normal iklim verisi kullanılarak yapılmıştır. Normal iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre konutun ısıtma talebi 182 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir. Uygulanan bütün senaryoların yıllık enerji kazanç değerleri, maliyeti, geri ödeme süresi (GÖS) ve bu senaryo ile elde edilecek CO_2 salımındaki azalma miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de görüldüğü üzere en düşük GÖS S.1-a ve S.1-b kodlu senaryolarda elde edilmiştir ve bu senaryolarda elde edilen enerji tasarrufu %12 ve %15'dir. Bu sebeple bu senaryoların hem binaların iyileştirilmesinde hem de yeni yapılan binalarda kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Konutta hâlihazırda dış duvar yalıtımı bulunmaktadır. Dış duvar yalıtımının 10 mm arttırılması olan S.2-a kodlu senaryoda GÖS 23 yıldır. GÖS'nin oldukça yüksek olması sebebi ile dış duvarda hâlihazırda kullanılan yalıtım kalınlığının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Dış duvarda, mevcut malzeme ile aynı kalınlıkta fakat ısıl iletkenlik katsayısı (k=0,035 W/mK) daha düşük olan foamboard 2500 P (XPS) yalıtım malzemesi kullanılması durumunda (S.2-b (80 mm) ve S.2-c (90 mm) kodlu senaryolar) ise maliyetin yüksek olması sebebi ile GÖS 40 yıldan yüksek çıkmıştır. Bu sebeple hâlihazırda dış duvarda kullanılan yalıtım malzemesinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

S.2-d kodlu senaryoda, konutta çatı yalıtımının hâlihazırda olmaması sebebi ile çatıya uygulanan yalıtım %28 enerji tasarrufu sağlamıştır ve maliyetin çok yüksek olmaması sebebi ile GÖS dört yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple çatı yalıtımının oldukça yüksek enerji tasarrufu sağladığı ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. S.3 kodlu senaryoda ise (S.1-b, S.2-c ve S.2-d'nin birlikte uygulanması senaryosu) maliyetinin yüksek olmasına rağmen elde edilen enerji tasarrufunun %46 olması sebebi ile GÖS yedi yıldır. Bu durumda uygulanması en çok tercih edilebilecek olan yapısal iyileştirme senaryosunun S.3 kodlu senaryo olduğu sonucuna varılmıştır.

Konutta, güney doğu ve güney batıya bakan çatıya FVP eklenmesi ile yıllık elektrik üretimi, ESP-r bina enerji simülasyon programında modellenmiştir. ABDEB tarafından oluşturulan Ankara için normal iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre yıllık 7.375 kWh, 2013 iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre ise yıllık 8.483 kWh elektrik üretileceği tahmin edilmiştir. 2013 yılı için ölçülen yıllık

Tablo 2. Yapısal Senaryoların Enerji Kazançları

Senaryo Kodu	Senaryo Açıklaması	Senaryo İle Elde Edilen Enerji Kazancı, GJ/yıl	Senaryo İle Elde Edilen Enerji Kazancı, %	Yatırım Maliyeti, TL	GÖS, yıl	CO_2 Azalması, kg/yıl
S.1-a	Pencere Camı	22	12	5.599	1	1.342
S.1-b		27	15	8.614	5	1.646
S.2-a	Yalıtım	2	1	3.670	23	122
S.2-b		4	2	9.102	>40	244
S.2-c		5	3	11.065	>40	305
S.2-d		51	28	5.928	4	3.110
S.3	Cam + Yalıtım	84	46	25.607	8	5.122
S.4	FVP	30	53	48.944	27	3.725
S.5	GES	49	68	10.000	8	2.993
S.6	TKIP	126	69	44.000	>40	4.207

Tablo 3. Senaryoların Uygulanması İle Konutun Enerji Tüketim ve Enerji Sınıfı Değerleri

Senaryo	Senaryo Kodu	Senaryo ile EP Değeri, kWh/m².yıl	Senaryo ile Enerji Sınıfı	Senaryo ile SEG Değeri, kg.CO_2/m².yıl	Senaryo ile Sera Gazı Salım Sınıfı
Pencere Camı Tipi	S.1-a	151	B	40	C
	S.1-b	148	B	40	C
Yalıtım	S.2-a	162	B	43	C
	S.2-b	161	B	42	C
	S.2-c	160	B	42	C
	S.2-d	135	B	37	B
Cam+Yalıtım	S.3	116	B	33	B
FVP	S.4	148	B	36	B
Güneş Enerjisi ile Sıcak Su	S.5	136	B	37	B
TKIP	S.6	62	A	37	B

elektrik tüketimi 15.702 kWh'dir. FVP sisteminde bulunan aküler ile fazla elektrik depolanıp ertesi gün kullanılabilmektedir. Bu durumda, elektrik tüketiminden fazla elektrik üretildiği günler aküde depolanan elektriğin bir sonraki gün kullanıldığı varsayılmış ve konutun şebekeden satın alması gereken elektrik miktarı 7.354 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Konutta Güneş Enerjisi Sistemi (GES) bulunmamakta ve sıcak su ihtiyacı doğal gaz ile çalışan kombi ile sağlanmaktadır. Konutun bir yıl süresince doğal gaz tüketimi günlük olarak ölçülmüş ve bu tüketimde sıcak su temini için tüketilen doğal gaz miktarı hesaplanmıştır. Konutun günlük sıcak su tüketimi ortalama 1.203 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Konutta yedi kişinin ikâmet etmesi sebebi ile kişi başı sıcak su tüketimi 172 kg/gün. kişi olarak hesaplanmıştır. Yüksek gelir grubunda bulunan konutlarda günlük kişi başı sıcak su tüketiminin 100-150 litre arasında değişmesi sebebi ile bu değerin normal olduğu kabul edilmiştir [47]. Daha sonra sıcak su temini için tüketilen yıllık enerji miktarı hesaplanmış ve 2.045 m^3/yıl (72 GJ/yıl) olarak bulunmuştur. Güneşten temin edilen ve sıcak su temin etme amacı ile kullanılabilecek net güneş enerjisi ise 2013 radyasyon verisi ile 60 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. İhtiyaç fazlası enerji ise GES'de depolanamaması sebebi ile GES, konutun sıcak su temin etme amaçlı enerji talebinin %68'ini (49 GJ/yıl) karşılayabilmiştir.

Ankara için normal iklim verisi ile yapılan ESP-r simülasyon sonuçlarına göre; konutun ısıtma amacı ile enerji talebi 182 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir. ESP-r'da oluşturulan modelde konutun ısıtma ihtiyacının TKIP ile karşılanması durumunda TKIP'nın elektrik tüketim eşdeğeri 56 GJ/yıl (15.485 kWh/yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple, konutun ısıtma ihtiyacının TKIP ile sağlanması durumunda 126 GJ/yıl (%69) enerji tasarruf edildiği görülmüştür. Konutun mevcut ısıtma talebi doğal gaz ile sağlanmakta, TKIP uygulanması durumunda ise ihtiyaç duyulan enerji elektrik ile sağlanmaktadır. Bu sebeple TKIP senaryosunda GÖS hesaplanırken hem doğal gaz hem de elektrik fiyat tahminlerinin kullanılması gerekmektedir. Konutun ısıtma talebinin tamamını doğal gaz ile karşılamak, kısmen elektrik enerjisi kullanan TKIP ile karşılamaya kıyasla daha pahalıdır. Fakat aradaki fiyat farkının az olması ve TKIP sisteminin çok pahalı olması sebebi ile TKIP sisteminin GÖS 40 yıldan fazla olmaktadır. Bu sebepten konutta TKIP kullanılmasının uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Konutun ölçülen yıllık elektrik tüketimi 15.702 kWh'dir. Ölçülen yıllık doğal gaz tüketimi ise 6.729 m^3'dür (65.807 kWh/yıl) . Bu durumda konutta toplam 81.509 kWh/yıl enerji tüketilmektedir. 500 m^2 ısıtılan alana sahip olan konutun EP değeri 163 kWh/m².yıl'dır ve konut B enerji sınıfındadır. Konutun CO_2 salım miktarı 21.452 kg.CO_2/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda konutun SEG değeri 43 kg- CO_2/m².yıl'dır ve konut C sera gazı salım sınıfındadır. Senaryoların uygulanması ile konutun yeni enerji tüketim ve enerji sınıfı değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de görüldüğü gibi konutta S.6 (TKIP senaryosu) kodlu senaryonun uygulanması durumunda konutun enerji sınıfı B'den A'ya yükselebilecektir.

Tablo 4. Senaryoların Ankara'da 2005 Yılından İtibaren Yapılan B Enerji Sınıfı Müstakil Konutlara Uygulanması ile Elde Edilen Enerji Tasarrufu ve CO_2 Salınımında Azalma

Senaryo No	Enerji Tasarrufu, GJ/yıl	CO_2 Salımında Azalma Miktarı, Ton.CO_2/yıl
S.1-a	69.966	4.266
S.1-b	85.868	5.236
S.2-a	6.361	388
S.2-b	12.721	776
S.2-c	15.901	970
S.2-d	162.195	9.890
S.3	267.144	16.290
S.4	95.576	11.841
S.5	156.081	9.518
S.6	358.472	9.717

S.2-d, S.3, S.4, S.5 ve S.6 kodlu senaryoların uygulanması ile ise konutun sera gazı salım sınıfını C'den B'ye yükselebilecektir.

Ankara'da 2005 yılından itibaren yapılan bir daireli toplam bina alanının, bina enerji sınıfı bazında dağılımı Tablo 4'te verilmiştir. Mevcut konutun B enerji sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten, 2005 yılından itibaren yapılan bir daireli müstakil B enerji sınıfındaki binalara senaryoların uygulanması ile elde edilecek enerji tasarrufu ve CO_2 salımındaki azalma Tablo 4'te verilmiştir.

Enerji tasarrufunun yüksek, GÖS ve maliyetinin düşük olması sebebi ile uygulanabilir bulunan S.3 (Yapısal iyileştirme senaryolarının birlikte uygulanması senaryosu) ve S.5 (GES) kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufunun 423.225 GJ olduğu Tablo 4'de görülmektedir. Elde edilecek enerji tasarrufunun doğal gaz eşdeğeri 11 milyon m^3/yıl'dır. Bu tasarruf ile Çankırı ilinin yıllık doğal gaz talebinin tamamına yakını, Trabzon ilinin ise tamamı karşılanabilmektedir (2013 yılı Çankırı DG tüketimi 14 milyon m^3, Trabzon DG tüketimi 11 milyon m^3 48).

Aynı zamanda S.3 ve S.5 kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen CO_2 salımındaki azalma toplamda 25.808 ton.CO_2/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, 0,55 verimle günde 10 saat çalışan DG ısıl değeri 10,6 kWh/m^3 olan 18 MW'lık bir santralin CO_2 salınımına eşdeğerdir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Ankara Beytepe'de bulunan müstakil bir model konut olarak seçilmiş, bina enerji simülasyon yazılımı ortamında konutun ısıtma enerjisi talebi modeli oluşturularak saatlik ısıtma talebi 2013 yılı iklim verisi kullanılarak 141 GJ/yıl olarak, bu tüketimin doğal gaz eşdeğeri 3.998 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Daha sonra modele fiziksel yapıda iyileştirmeler içeren ve enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlandığı senaryolar uygulanmıştır. Konutun fiziksel yapısında iyileştirme yapılmasını öngören senaryolardan olan pencerelerin ısı geçiriminin azaltıldığı senaryolarda yılda 22 GJ (%12) ile 27 GJ (%15) arasında enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. Konutun dış duvarının izolasyonunun iyileştirildiği senaryolarda yılda 2 GJ (%1) ile 5 GJ (%3) arasında enerji tasarrufu edilebileceği hesaplanmıştır. Konutun çatısına yalıtım eklenmesi ise de yılda 51 GJ (%28) enerji tasarrufu elde edilebileceği hesaplanmıştır. Son olarak, pencere, duvar ve çatı senaryolarının birlikte kullanılması ile yılda 84 GJ (%46) enerji tasarrufu elde edilebileceği hesaplanmıştır.

FVP senaryosunda, konutun çatısına FVP eklenmesi bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenerek panelin elektrik üretim tahmini hesaplanmış, eklenen FVP ile konutun elektrik ihtiyacının %53'ünün karşılanabileceği ortaya çıkmıştır. FVP senaryosunun GÖS'nin farklı tarife ve faiz tahminleri ile 19-40 yıl arasında değişebileceği görülmektedir. FVP'in Türkiye'de pahalı olması sebebi ile İç Anadolu iklimi için GÖS oldukça yüksek hesaplanmıştır. Bu sebeple elektrik ihtiyacının şebekeden sağlanabileceği bölgelerde İç Anadolu

iklimi için FVP kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Konutta GES kullanılması senaryosunda yapılan hesaplamalara göre konutta sıcak su temin etmek amaçlı enerji tüketiminde %68 tasarruf sağlanacağı görülmüştür. GES'in, GÖS'nin kısa (8 yıl) olması ile de GES'in konutta uygulanmasının makul olacağı sonucuna varılmıştır. Konutun ısıtma ihtiyacını TKIP ile karşılanması senaryosu bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenmiştir. Konutun ısıtma ihtiyacının TKIP karşılanması durumunda %69 enerji tasarrufu elde edildiği görülmüştür. TKIP'nın yatırım maliyeti oldukça yüksektir ve sistem çalışırken yüksek miktarda elektrik kullanmaktadır. Bu sebeple sistemin GÖS'ü 40 yıldan fazla çıkmıştır. Bu sebeple konutta TKIP kullanılması tercih edilmemiştir.

Modele senaryoların uygulanmasından sonra konutun enerji sınıfı ve sera gazı salım sınıfı belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda konutun EP değeri 163 kWh/m^2.yıl olarak belirlendiğinden konut B enerji sınıfındadır. Benzer şekilde sera gazı salım değerine bağlı olarak konutun SEG değeri 43 kg.CO_2/m^2.yıl'dır ve sera gazı salım sınıfı C'dir. Yapılan analizler sonucunda yapılması uygun bulunan S.3 (yapısal iyileştirme senaryolarının birlikte uygulanması senaryosu) ve S.5 (GESIS) kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilebilecek enerji tasarrufu 423,225 GJ/yıl, enerji tasarrufunun doğal gaz eşdeğeri 11 milyon m^3/yıl'dır. S.3 ve S.5 kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilebilecek CO_2 salımındaki azalma 25.808 ton. CO_2/yıl olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] USDOE, Chapter 2: Residential Sector, 2010, http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro2.aspx., Erişim Tarihi: 11.6.2015.

[2] ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010, http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/61543/2, Erişim Tarihi: 01.01.2012.

[3] DEK-TMK, Türkiye Enerji Denge Tabloları, 2015, http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=MTAw#., Erişim Tarihi: 01.01.2012.

[4] TÜİK, TÜİK Bölgesel İstatistikler, 2015, http://tuikapp.tuik.gov.tr/Bolgesel/menuAction.do, Erişim Tarihi: 7.6.2012.

[5] HÜÇMB, Weather at Beytepe - Ankara, 2014, Erişim Tarihi: 01.01.2014, http://www.metstation.hacettepe.edu.tr/.

[6] ESRU, 2014, http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm., Erişim Tarihi: 01.03.2013.

[7] Eski, N. ve Türkmen, H., "Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey", Energy and Buildings, 40, p. 763-773, 2008.

[8] Dombayci, Ö. A. "The Prediction of Heating Energy Consumption in a Model House by Using Artificial Neural Networks in Denizli-Turkey", Advances in Engineering Software, 41, 2, p. 141-147, 2010.

[9] Yaşar, Y. ve Kalfa, S. M., "The Effects of Window Alternatives on Energy Efficiency and Building Economy in High-Rise Residential Buildings in Moderate to Humid Climates", Energy Conversion and Management, 64, p. 170-181, 2012.

[10] Chow, T. ve Chan, A., "Numerical Study Of Desirable Solar-Collector Orientations for the Coastal Region of South China", Applied Energy, 79, pp. 249-260, 2004.

[11] T. Chow, J. Hand ve P. Strachan, "Building-Integrated Photovoltaic and Thermal Applications in a Subtropical Hotel Building", Applied Thermal Engineering, 23, p. 2035-2049, 2003.

[12] J. H. Yoon, J. Song ve S. J. Lee, "Practical Application of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) System Using Transparent Amorphous Silicon Thin-Film PV Module", Solar Energy, 85, 5, p. 723733, 2011.

[13] D. Thevenard, "Review and Recommendations for Improving the Modelling of Building Integrated Photovoltaic Systems", Ninth International IBPSA Conference, p. 1221-1228, Montreal, 2005.

[14] Eke, R. ve Senturk, A., "Monitoring the Performance of Single and Triple Junction Amorphous Silicon Modules in Two Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Installations", Applied Energy, 109, p. 154-162, 2013.

[15] Didone, E. L. ve Wagner, A., "Semi-Transparent PV Windows: A Study for Office Buildings in Brazil", Energy and Buildings, 67, p. 136-142, 2013.

[16] Lee, J. W., Park, J. ve Jung, H. J., "A Feasibility Study on a Building's Window System Based on Dye-Sensitized Solar Cells", Energy and Buildings, 81, p. 38-47, 2014.

[17] Huang Q., Shi Y., Wang Y., Lu L. ve Cui Y., "Multi-Turbine Wind-Solar Hybrid System", Renewable Energy, 76, pp. 401-407, 2015.

[18] C. Maurer ve T. E. Kuhn, "Variable G Value Of Transparent Facade Collectors", Energy and Buildings, 51, p. 177-184, 2012.

[19] B. K. Koyunbaba, Z. Yilmaz ve K. Ulgen, "An Approach for Energy Modeling of a Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Trombe Wall System", Energy and Buildings, 67, p. 680-688, 2013.

[20] A. Karkare, A. Dhariwal, S. Puradbhat ve M. Jai, "Evaluating Retrofit Strategies for Greening Exist-

ing Buildings by Energy Modelling & Data Analytics", Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), Taipei, Taiwan, 2014.

[21] Good, J. T., Ugursal, V. I. ve Fung, A. S., "Modeling and Technical Feasibility Analysis of a Low-Emission Residential Energy System", International Journal of Green Energy, 4, pp. 27-43, 2007.

[22] A. M. Syed, A. S. Fung, V. I. Ugursal ve H. Taherian, "Analysis of PV/Wind Potential in the Canadian Residential Sector Through High-Resolution Building Energy Simulation", International Journal Of Energy Research, 33, 4, p. 342-357, 2009.

[23] Nikoofard, S., Ugursal, V. I. ve Beausoleil-Morrison, I., "An Investigation of the Technoeconomic Feasibility of Solar Domestic Hot Water Heating for the Canadian Housing Stock", Solar Energy, 101, pp. 308-320, 2014.

[24] Esen, H., Inalli, M., Sengur, A. ve Esen, M., "Performance Prediction Of A Ground- Coupled Heat Pump System Using Artificial Neural Networks", Expert Systems with Applications, 35, 4, p. 1940-1948, 2008.

[25] Uçar, A. ve Inalli, M., "Exergoeconomic Analysis and Optimization of a Solar-Assisted Heating System for Residential Buildings", Building and Environment, 41, 11, p. 1551-1556, 2005.

[26] Hepbaşli, A. ve Balta, M. T., "A Study On Modeling and Performance Assessment of a Heat Pump System for Utilizing Low Temperature Geothermal Resources In Buildings", Building and Environment, 42, 10, p. 3747-3756, 2007.

[27] Ekic, B. B. ve Aksoy, U. T., "Prediction of Building Energy Needs in Early Stage of Design by Using ANFIS", Expert Systems with Applications, 38, 5, p. 5352-5358, 2011.

[28] Koroneos, C. ve Kottas, G., "Energy Consumption Modeling Analysis and Environmental Impact Assessment of Model House in Thessaloniki-Greece", Building and Environment, 42, 1, P. 122-138, 2007.

[29] Yildiz, Y. ve Arsan, Z. D., "Identification of the Building Parameters that Influence Heating and Cooling Energy Loads for Apartment Buildings in Hot-Humid Climates", Energy, 36, 7, pp. 42874296,2011.

[30] Parker, D. S., Huang, Y. J., Konopacki, S. J., Gartland, L. M., Sherwin, J. R,, and Gu, L. "Measured and Simulated Performance of Reflective Roofing Systems in Residential Buildings", Florida Solar Energy Center, Florida, 1998. (http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/html/fsec-pf-331-98/)

[31] Florides, G., Kalogirou, S., Tassou, S. ve Wrobel, L., "Modeling of the Modern Houses of Cyprus and Energy Consumption Analysis", Energy, 25, 10, p. 915-937, 2000.

[32] Dias, D., Machado, J., Leal, V. ve Mendes, A., "Impact of Using Cool Paints On Energy Demand and Thermal Comfort of A Residential Building", Applied Thermal Engineering, 65, 1-2, pp. 273281, 2014.

[33] Sailor, D., "A Green Roof Model For Building Energy Simulation Programs", Energy and Buildings, 40, p. 1466-1478, 2008.

[34] Hoseggena, R., Wachenfeldt, B. ve Hanssen, S., "Building Simulation as an Assisting Tool in Decision Making: Case Study: With or Without a Double-Skin Façade?", Energy and Buildings, 40, 5, p. 821-827, 2008.

[35] Friess, W. A., Rakhshan, K., Hendawi, T. A. ve Tajerzadeh, S., "Wall Insulation Measures for Residential Villas in Dubai: A Case Study in Energy Efficiency", Energy and Buildings, 44, p. 26-32, 2012.

[36] Sozer, H., "Improving Energy Efficiency Through the Design of the Building Envelope", Building and Environment, 45, p. 2581-2593, 2010.

[37] Appelfeld, D., Mcneil, A. ve Svendsen, S., "An Hourly Based Performance Comparison of An Integrated Micro-Structural Perforated Shading Screen With Standard Shading Systems", Energy and Buildings, 50, p. 166-176, 2012.

[38] MGM, 2013 İklim Verisi, 2013, http://www.mgm.gov.tr/, Erişim Tarihi: 01.01.2014.

[39] USDOE, Energyplus Energy Simulation Software - Weather Data Sources, 2014, http://apps1 .eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.cfm#iwec, Erişim Tarihi: 09.04.2015.

[40] Mikrodizayn, 2014, http://mikrodizayn.com.tr/, Erişim Tarihi:17.01.2014.

[41] Izocam Fiyat Listesi, 2014, http://www.inceten.com/wp-content/uploads/2014/08/izocam_fiyat_listesi.pdf, Erişim Tarihi: 17.01.2014.

[42] TEDAS, Elektrik Tarifeleri, 2014, http://www.tedas.gov.tr/bilgibankasi/sayfalar/elektriktarifeleri.aspx, Erişim Tarihi: 07.01.2014.

[43] Başkent Doğal Gaz, 2014, http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/main.asp?id=tarifearsiv, Erişim Tarihi: 20.01.2014.

[44] Başkent Doğal Gaz - Online İşlemler, 2015, https://www.baskentdogalgaz.com.tr/dogalgazfiyatyeni.aspx., Erişim Tarihi: 01.05.2015.

[45] YEGM - Mevzuat, 2015, http://www.eie.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx., Erişim Tarihi: 10.05.2015.

[46] Bulut, H., Büyükalaca, O. ve Yilmaz, T., Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri, 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri, 2007.

[47] Kaya, M. ve Ceylan, İ., Güneş Radyasyonu Düşük Olan Bölgelerde Isı Pompası Sistemi ile Kullanma Sıcak Suyu Hazırlanması, Teknoloji, 7, 2, pp. 251-257, 2004.

[48] EPDK, Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu-2013, 2013, www.epdk.org.tr/tr/dokuman/2501, Erişim Tarihi: 10.05.2014.

[49] NetGreen, Water Consumption, Profile Over 24 Hours, http://www.netgreensolar.com/netgreen_heat_promo/body/images/costs_savings/profiles/hw_24hr_profile.PNG, 19.6.2015.

[50] J. L. Bernal-Agustín ve R. Dufo-López, Economical and Environmental Analysis of Grid Connected Photovoltaic Systems in Spain, Renewable Energy, pp. 1107–1128, 2006.