

Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi

Selecting the Appropriate Energy Source According to the Electrical Power Consumption of the Devices

¹Rezzan Nisa ER , ²Bora UĞURLU , ³Utku BAYRAM 

¹*İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye*

²*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale, Türkiye*

¹rezzan.er@izu.edu.tr, ²boraugurlu@comu.edu.tr, ³ubayram@comu.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :11 January 2021

Accepted : 12 February 2021

Keywords:

Embedded Systems, Internet of Things, Edge Computing, Cloud Computing

ABSTRACT

It is of great importance to diversify electrical energy sources in recent times. In this study, the electrical energy that a house may need is provided by two different sources. The first of these is the city grid and the other is the battery that can be charged with solar energy. Transitions between two energy sources are carried out with the developed system. Thus, the energy costs of the home and / or office user are reduced and at the same time, energy estimates are made for future energy needs depending on the usage habits. Polynomial linear regression and LSTM methods were used for this estimation. Using the RMSE metric, we compared which method predicts with less error rate. For the non-linear data set, LSTM performed more successfully, while for linear data such as electrical energy, the best estimation result was 0.99 with Polynomial Linear Regression.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim :11 Ocak 2021

Kabul : 12 Şubat 2021

Anahtar Kelimeler:

Gömülü Sistemler, Nesnelerin İnterneti, Uç Hesaplama, Bulut Bilişim

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisi kaynaklarını çeşitlendirmek büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir evin ihtiyaç duyabileceği elektriksel enerjisi iki farklı kaynak tarafından sağlanmaktadır. Bunlardan ilki, şehir şebekesi, diğeri ise güneş enerjisi ile şarj edilebilen bataryadır. İki enerji kaynağı arasındaki geçişler geliştirilen sistem ile gerçekleştirilmektedir. Böylelikle ev ve/veya ofis kullanıcısının enerji maliyetleri düşürülmekle beraber kullanım alışkanlıklarına bağlı olarak gelecekteki enerji ihtiyacına yönelik enerji tahminleri yapılmıştır. Bu tahmin için polinomsal lineer regresyon ve LSTM metotları kullanılmıştır. RMSE metriğini kullanarak hangi yöntemin daha az hata oranı ile tahmin yaptığını karşılaştırdık. Doğrusal olmayan veri setinin için LSTM daha başarılı performans gösterirken, elektriksel enerji gibi doğrusal veriler için Polinomsal Lineer Regresyon ile en iyi tahmin sonucu olarak 0.99 değeri elde edilmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

GİRİŞ

Teknolojinin gelişimiyle beraber enerji tüketimindeki yüksek orandaki artış ve bunu karşılamaya yönelik çalışmalar bizleri ilk olarak enerji tasarrufuna, ardından ise yenilenebilir enerjilere yönlendirmiştir. Enerji tasarrufu, cihazların etkin ve amacına uygun çalışarak işlevlerini daha az enerji ile gerçekleştirmeleri için yapılan çalışmaları içermektedir [1]. Enerji ve kaynaklarının verimli kullanılması ile enerji maliyetlerini düşürmesi, ayrıca kesintisiz bir şekilde kullanıcılara enerji tedarik edilmesi ve bu enerjinin denetlenmesi, enerji yönetiminin amacını tanımlamaktadır. Diğer bir tanım da tüketilen güç ile üretilen gücün dengesini takip etmek için izlenmesi olarak ifade edilmiştir [2].

Enerji izleme sistemlerinde cihazların birbirleriyle ve internet ağı ile iletişimini, insan müdahalesi olmadan sağlayan Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT) teknolojisine başvurmak gerekmektedir. Akıllı evlerde cihazların birbiriyle haberleşerek ağ oluşturması ve kullanıcı ile bu ağ tarafından iletişime geçmesi IoT ile mümkündür. Oluşturulan bu ağ ile cihazlardan topladığı yığınla veriyi kullanılabilir anlamlı bilgi haline getirir [3]. Ayrıca akıllı evdeki enerji akış verilerinin toplanması ve değerlendirilmesini sağlayan mikrodenetleyici ile IoT sisteminin geri kalanı ile olan uyumu, sistemin verimli çalışması açısından oldukça önemlidir.

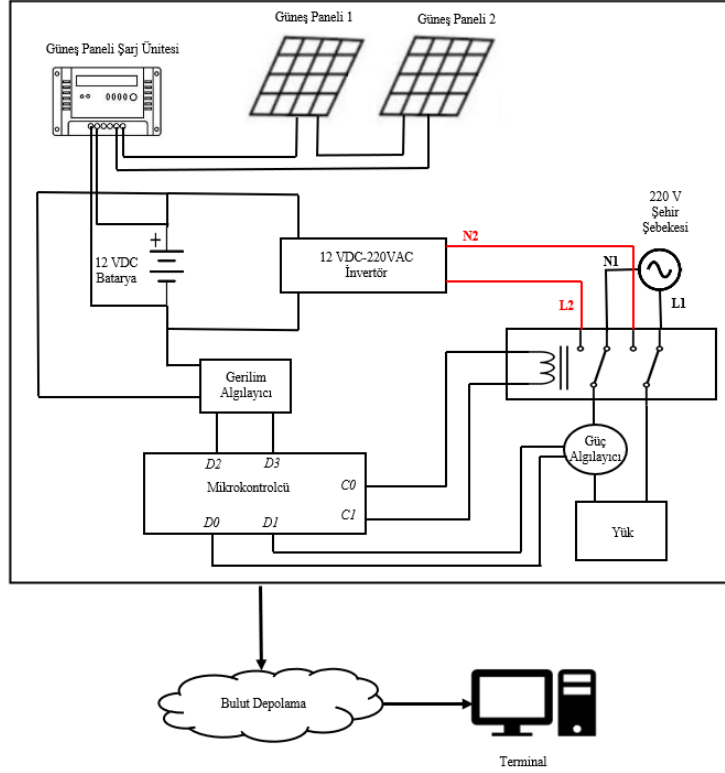
Literatür incelendiğinde evlerde enerji tasarrufunu sağlamak amacıyla pek çok farklı çalışmalar yapılmış olup her biri konuyu farklı yöntemlerle ele almışlardır. Çalışmalar incelendiğinde evlerdeki enerji tüketiminin takibi ve izlenmesi için pek çok farklı yöntem hayata geçirildiği uygulamaya rastlanılmıştır. Akıllı evler için elektrik yönetim sistemi kavramını tanıtan Nassereddine ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, akıllı enerji yönetimi araçlarının kullanımı ile yerleşim yerleri için elektriksel uç taleplerini azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir [4]. Sistem, çalışma saatlerinde kullanılacak fotovoltaik (photovoltaic-PV) sisteminden üretilen enerjinin yüzdesini artırarak, üretilen enerjilerin kullanımını en üst düzeye çıkartıp, elektrik faturalarını ve çevre üzerindeki etkileri azaltmak için kullanıcıya tam bir kontrol sağlamıştır. Bayrak (2014) çalışmasında güneş ve hidrojen enerjilerinin birlikte evde kullanılmak üzere hibrit bir enerji üretim sistemi geliştirerek, yenilenebilir enerjinin verimi arttırmayı hedeflemiştir [5]. Başol (2016) çalışmasında akıllı ev tasarımı ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Sistem için geliştirdiği ara yüzler ile de evdeki cihazları anlık olarak kontrolünü sağlayarak evdeki cihazlar için gereken enerji ihtiyacını da güneş panelinden tedarik ederek elektrik maliyetinden tasarruf sağlamıştır [6]. A. K. Singh, Chinmaya ve Badoni (2019) çalışmasında ev elektrik sistemine takılabilir elektrikli araçlar için şarj işlemi sırasında çift kaynakları kullanma yetkisine sahip çok amaçlı bir güç elektronik ara yüzü önermiştir. Bu yöntemde elektrikli araç ihtiyaca göre pil, güneş fotovoltaikinden veya şebekeden şarj edilebilir. Böylece fosil yakıt bazlı elektrik kullanımı azalmaktadır [7]. Yıldız (2019) çalışmasında enerjinin tamamının güneşten tedarik edilmesi ve cihazları uzaktan yönetmesiyle (cihazın gücünü keserek), enerji tasarrufu sağlamak amacıyla sıfır enerjili yani sadece güneşten beslenen akıllı ev tasarımı gerçekleştirmiştir [8]. Agyeman, Al-Waisi ve Hoxha, (2019) ise akıllı evler için verimli enerji yönetimi sağlanan bir akıllı sayaç sistemi sunmuş ve nesnelerin interneti teknolojisinden yararlanarak, sistemin evdeki cihazlara hem web hem mobil ara yüz ile uzaktan erişimini sağlamışlardır. Kullanıcı güç tüketimini ve kullanılan enerjinin toplam maliyetini gerçek zamanlı olarak görebilir. Cihazları kontrol etmek için Arduino tabanlı mikro denetleyici kullanılmıştır. Böylelikle enerji tüketimini uzaktan izlenerek cihazların otomatik açıp kapatarak yeşil enerjiye katkı sağlamayı amaçlamışlardır [9].

Abdalla (2019) projesinde akıllı evler için enerji yönetim sistemi geliştirmiştir. Projesinde konuttaki yüklerin izlenilmesi ve kontrol edilmesi ile, mevcut enerjinin etkin bir şekilde yönetilmesi amaçlanmıştır. Cihazların uzaktan kontrolü internet protokolü ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geliştirdiği kontrol algoritması ile yükün az olduğu saatlerde cihazlar çalıştırılmaktadır. Bunun sonucunda enerji tasarrufu sağlanarak, elektrik faturalarının da azalması sağlanmıştır [10]. Enerji yönetimi ile ilgili Aybar, (2019) çalışmasında akıllı ev cihazlarının çalışma zamanının planlanması ile gün içinde enerji tüketiminin dengeli dağılımı ve çok zamanlı tarifelerde elektrik faturasına olan etkisini incelemiştir ve sezgisel algoritmalarla başvurmuştur. Benzetilmiş tavlama, diferansiyel gelişim algoritması ve genetik algoritmalar çalışma kapsamında uyarlanmıştır. Gerçekleştirdiği testler sonucunda ise senaryolarda geliştirilen algoritmaların, sabit fiyatlı tarife kıyasla enerji tüketiminin maliyetini azalttığını göstermiştir [11]. Akıllı ev sistemlerinde enerji ihtiyacı yenilenebilir doğal kaynaklardan güneş ve rüzgâr enerjisi tarafından karşılanmaya çalışılmaktadır. Bunun yanı sıra, yenilenebilir enerjiye ek olarak elektrik şebekesinin de katıldığı sistemler bulunmaktadır [12]. Bunu sebebi kesintisiz bir enerji döngüsü için sadece doğaya bağlı kalmamaktır; güneş enerjili bir sistemde her zaman günler güneşli olmayabilir. Yine, sadece rüzgâr enerjisine dayandırılarak geliştirilmiş bir sistemde rüzgarsız bir günde elektrik enerjisi üretilmeyecektir. Depoladığımız enerji bizi ne kadar süre için idare edebilir? Güneş ve rüzgârın olmadığı durumlarda çalışan cihazlara elektrik enerjisi nasıl sağlanabilecektir? Literatürdeki bu gibi problemlere çözümsel yaklaşımlar sunan bu çalışmada, güneş enerjisi ile elektrik şebekesinin birlikte kullanıldığı akıllı ev sistemlerinin enerji yönetimini gerçekleştirmesini amaçlayan bir sistem tasarlanmıştır. Makale çalışmasının sonraki kısımlarında bu sistemin işleyişi açıklanmakta ve sistem üzerine bağlı bulunan elektriksel cihazlara ait analizler yer almaktadır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada iki farklı enerji kaynağı kullanılmıştır. İlki şehir elektrik şebekesi olup diğeri ise güneş enerjisi ile önceden şarj edilmiş olan bataryadır. Sistemde elektriksel cihazların bağlanabildiği bir priz bulunmaktadır. Bir

mikrodenetleyici, prize bağlı cihazlar ile birlikte sisteme dahil edilmiş enerji kaynakları üzerinde sürekli olarak ölçümler yapmaktadır. Bu ölçümler sırasıyla prizdeki alternatif gerilim, akım, elektriksel güç, elektriksel enerji ve bataryanın gerilim durumudur. Mikrodenetleyici bu verileri değerlendirerek iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişleri otomatik olarak sağlamaktadır. Sistem üzerindeki güç ve gerilim algılayıcılardan elde edilen veriler analiz edildikten sonra değerlendirilmek üzere bulut üzerindeki sunucularda depolanmaktadır. Sunucuda depolanan bu veriler uzaktaki bir terminal üzerinden erişilip Python programlama dili kullanılarak analiz edilmiştir. Geliştirilen sistemin mimari görünümü Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Genel mimari görünüm

Yükte bulunan elektriksel cihazların tümü 220 volt alternatif gerilim değeri ile çalışmaktadır. Şehir şebekesinin dışında bu cihazlara bu gerilim değerini sağlayabilmek için bataryadan elde ettiği doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştürerek 220 volt değer üretebilen çevirici (invertör) kullanılmıştır. 1200 watt kapasiteye sahiptir. Yükte seri bir şekilde bağlı bir adet güç algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcı, yük üzerindeki alternatif gerilimi, geçen akımı, anlık güç değerlerini, başlangıçtan itibaren harcanan elektrik enerjisini ölçmektedir. Ölçmüş olduğu değerleri D0 ve D1 uçları yardımıyla mikrodenetleyiciye aktarmaktadır. Sistem üzerindeki bir diğer algılayıcı ise mikrodenetleyicinin D2 ve D3 uçlarına bağlı bulunan gerilim algılayıcısıdır. Bu algılayıcı, bataryanın gerilim düzeyini ölçmek için kullanılmaktadır. Sistem üzerinde kurşun asit türünde 12 voltluk iki adet batarya bulunmaktadır. Kurşun asit bataryaların tamamen deşarj olması durumunda tekrar kullanımları mümkün değildir. Bu nedenle bataryalar gerilim algılayıcı ile sürekli olarak takip edilmektedirler. İki adet güneş paneli sistem üzerinde bulunan bataryaları şarj etmektedir. Şarj işlemin ne zaman başlayacağı ne zaman sonlandırılacağı ise şarj kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 1’de belirtilen iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişler, mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bir röle yardımıyla gerçekleştirilir. Mikrodenetleyicinin C0 ve C1 uçları rölenin anahtarlanmasında kullanılmaktadır. Rölenin anahtarlama gerilimi 5 voltur.

Bu tasarımda ESP8266 tabanlı bir mikrodenetleyici olan NodeMcu seçilmiştir. Bu mikrodenetleyici iyi bilinen ve düşük maliyetli bir IoT platformudur. Aynı zamanda Wi-Fi SoC (System on Chip) platformu olarak da bilinmektedir. Kablosuz ağlara kolaylıkla bağlanarak, internet üzerinden verilerin bulut depolama ortamına gönderiminde esnek bir kullanım ara yüzü sunmaktadır. Mikrodenetleyicinin bahsi geçen iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişi sağlayan algoritma Şekil 2’deki gibidir [13].

```

//Başlangıç
Varsayılan enerji kaynağı ← şehir şebekesi
döngü (sistemde enerji olduğu sürece) {
toplam_güç_tüketimi ← yükteki cihazların güç değerleri toplamı
batarya_gerilimi ← bataryanın gerilim değeri,
if (toplam_güç_tüketimi <=60 Watt && batarya_gerilimi >=12.0 Volt)
    enerji kaynağını batarya olarak belirle.
else if (toplam_güç_tüketimi <=60 Watt && batarya_gerilimi <12.0 Volt)
    enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirle
else
    enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirle
}

```

Şekil 2. Mikrodenetleyici üzerinde çalışan algoritma

Sisteme ilk defa enerji verildiğinde yükün varsayılan enerji kaynağı şehir şebekesidir. Sistemin çalışma durumlarını belirleyen iki önemli parametre bulunmaktadır. Birincisi yükteki cihazların gereksinim duydukları güç değerleri ve bataryanın gerilim seviyesidir. Güç değeri için 60 watt, batarya gerilim değeri için ise 12 volt eşik değerler olarak belirlenmiştir. Evlerdeki görece düşük güç gereksinimi olan pek çok elektrikli cihazın güç tüketimleri 100 watt'dan düşüktür. 32 inçlik bir televizyon ortalama 30-55 watt, lamba 20-75 watt, dizüstü bilgisayar (şarjda) 90 watt gibi değerlere sahiptir. Düşük güç tüketimi yapan cihazların enerjisi batarya üzerinden desteklenmesi hedeflendiğinden 60 watt gibi makul bir seviye belirlenmiştir. İkinci eşik değeri ise kurşun asit bataryaların gerilim seviyesi olan 12 voltur.

Yük olarak bağlanan cihaz(lar) toplamda 60W'dan az güç harcaması ve bataryanın gerilim değeri 12 volta eşit ve yüksek ise mikrodenetleyici Şekil 1'deki C0 ve C1 uçlarına bağlı bulunan röleyi tetikleyerek yükün enerji kaynağını bataryaların enerjilendirdiği, çeviricinin dahil olduğu L2-N2 hattı olarak belirler. Yük, artık şehir şebekesi ile değil çeviricinin sağladığı olduğu 220 voltluk gerilim üzerinden çalışmasına devam etmektedir. Sistem, ancak yükün 60 wattan fazla güce ihtiyaç duyulduğu durumlarda ve bataryanın geriliminin 12 voltun altına düşmesi durumundan yükün enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirler. Böyle bir durumda mikrodenetleyici C0 ve C1 uçlarındaki röleyi tetiklemeyi bırakarak yükün L1-N1 hattıyla devresini tamamlamasını sağlar. Geliştirilen bu sistem sayesinde düşük güç tüketimi olan yükler batarya üzerinden çevirici yardımıyla elde edilen alternatif akım ile beslenmesi, yüksek güç tüketimine sahip olan yüklerin ise şehir şebekesi ile beslenmesi sağlanmış olur.

Şekil 1'de yer alan mikrodenetleyici güç ve gerilim algılayıcılardan elde etmiş olduğu verileri bağlı bulunduğu yerel ağ üzerinden bulut ortamına göndermektedir. Bulut ortamı olarak ThingSpeak platformu seçilmiştir. Bu platform bir IoT analitik hizmeti olup sahadan verilerin toplanmasını, görselleştirilmesini ve analiz edilmesini imkân tanır. Veriler bu platforma 15 saniyelik aralıklarla gönderilmektedir. Bataryaların kapasitesi ve rölenin yüksek akım durumlarında kontaklarının birbirine yapışması gibi nedenlerden ötürü görece çok yüksek güç tüketimine sahip olmayan cihazlar analizlerde tercih edilmiş ve yine aynı nedenlerden ötürü sayıları da sınırlı tutulmuştur. Bu nedenle geliştirilmiş olan sistem üzerine elektriksel yük olarak 3 adet cihaz bağlanmıştır. Bu cihazların güç tüketimleri Tablo 1'deki gibidir.

Tablo 1. Yük olarak kullanılan cihazlar

Cihaz no	Güç tüketimi (watt)
1	25
2	50
3	10

Bağlı bulunan yükler değişik zamanlarda bir veya birkaçının aynı anda çalıştırılması sağlanmıştır. Tablo 1'deki güç değerlerine bakıldığında cihazların tümünün aynı anda çalışması durumunda Şekil 2'de eşik değer olarak belirtilen 60 watt'lık güç değerini aştığı görülmektedir. Bataryanın durumunu ile birlikte düşünüldüğünde Tablo 1'de belirtilen Cihaz1 ve Cihaz3'ün tek başına ve/veya birlikte çalıştırılmaları durumunda sistemin enerji kaynağı bataryalar olacaktır. Sistemin şehir şebekesini kullanabilmesi için ise Cihaz2'nin Cihaz1 ve/veya Cihaz3 ile birlikte kullanılması gerekmektedir. Tablo 1'deki cihazlar çalışırken sistem üzerindeki algılayıcılar yardımıyla ölçümler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen değerler mikrodenetleyici tarafından bulut depolama ortamına gönderilmiştir. Sistemin gerçekleştirdiği bu farklı ölçümler kullanılarak ilerideki olası durumlara yönelik tahminlerde bulunulmuştur.

Elektriksel Enerjinin Tahmini için Polinomsal Lineer Regresyon

Sistem üzerinde Tablo 1’de belirtilen cihazlar kullanıcı tarafından (tıpkı bir ev kullanıcısı gibi) rastgele olarak açılıp kapatılarak sistemin iki farklı enerji kaynağı arasında geçişi sağlanmıştır. Buradaki temel amaç bir kişinin evdeki prizleri rastgele olarak kullanımını simüle edebilmektir. Rastgele gerçekleşen kullanımların sonucunda ortaya çıkan algılayıcı verilerinin ileriye yönelik tahmini için polinomsal lineer regresyon kullanılmıştır.

N dereceli polinomsal lineer regresyon modeli denklemdenki gibi ifade edilmiştir. Denklemin lineer kısmını $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ katsayıları (coefficients) ve polinom kısmını ise x^2, x^3, \dots, x^n x’in üssel ifadeleri tarafından oluşmaktadır [14].

$$f(x) = y = a_0x^0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (1)$$

Denklemden y, gerçek güç verisini x ise zaman verisini temsil etmektedir. Bu denklem ile esas bulunmak istenen a katsayıları. Denklem de x ve y değerleri yerine yazıldığında a_1, a_2, \dots, a_n değerleri bulunur, a_0 sabiti (bias) ise grafiğin y doğrusunu kestiği noktadır. Burada n değeri ise ($\dots a_nx^n$) denklemin derecesini yani veri setindeki y dışındaki özneliklerin sayısıdır. Bir diğer ifade ile y verisini etkileyen bağımsız değişkenlerin sayısıdır. Elimizdeki veri kümesine bakacak olursak, güç tüketimi (y) hariç sadece zaman (x) verisinden dolayı sadece 1 adet x’ e (bu durumda n=1) sahipmişiz gibi görünebilir ancak denklemin kaç dereceye sahip olacağını x^2, x^3, \dots, x^n yani n değerini kendimiz belirleyebiliriz. Böyle bir durumda x (zaman)in 2.’den n.’ ye kadar kuvvetini almamız yeterli. Polinomun derecesini artırarak verileri fit edebiliriz. Belirtilen bu matematiksel ifadeyi kullanan Python kodu Şekil 3’de verilmiştir.

```
1. from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
2. poly_reg= PolynomialFeatures(degree=n)
3. _poly= poly_reg.fit_transform(x)
```

Şekil 3. Python programlama dilinde polinomsal lineer regresyon için kod bloğu

Yukarıdaki şekilde verilen kod bloğunun ikinci satırındaki n değerini veri seti eleman sayısından küçük olacak şekilde istediğimiz değeri atayabiliriz. Yine üçüncü satırdaki x değerini n. dereceden polinomsal özneliğe dönüştürmüş olduk. Şimdi x^n ’i kullanarak eğriyi fit edebiliriz. En uygun yani en iyi fit edilmiş eğri en az hata ile mümkündür. Hata karelerinin ortalaması (Mean square error -MSE) 0 değerine ne kadar yakınsa doğru tahmin oranı o kadar yüksek olur. MSE hesaplamak için denklem;

$$MSE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y - y_{head})^2 \quad (2)$$

Denklemden y_{head} tahmin değerlerini göstermektedir. Denklemden incelendiğinde $y - y_{head} = 0$ veya 0’a yakın bir değer olması, çok iyi bir doğruluk oranı ile tahminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. Çalışmamızda doğruluk oranını gözlemlemek için R2 (r_square) yani belirleme katsayısı (coefficient of determination) yöntemine başvurduk. Belirleme katsayısı veya R2, bir modelin uyum başarısı hakkında bilgi veren bir ölçüdür. Diğer bir deyişle regresyon çizgisinin gerçek verilere ne kadar iyi yaklaştığını istatistiksel olarak ortaya koymaktadır. Regresyon metodlarını değerlendirme metriği olan bu R2 değeri veri setinde bulunmayan y değerlerinin ne kadar doğru tahmin edileceğini gösterir. R2 değeri 1’ ne kadar yakınsa, regresyon sonucu (tahmin) o kadar doğru demektir. Bu nedenle, gelecekteki sonuçları tahmin etmek veya hipotezlerin test edilmesinde istatistiksel bir model kullanıldığında önemlidir. Toplam kareler regresyonu SSR (Sum Squared Regression); gerçek y değeri ile tahmini y değerlerinin arasındaki farkın karelerinin toplamı, tüm kareler toplamı SST (Sum Squared Total); gerçek y değeri ile tahmin edilen y değerlerinin ortalaması arasındaki farkın karelerinin toplamını ifade etmektedir. Ostertagová aşağıda, r_square değerinin hata karelerinin ortalaması (MSE) ve diğer denklemler ile olan ilişkisini belirtmiştir [15].

$$r_{square} = 1 - \left(\frac{SSR}{SST} \right) \quad (3)$$

$$SSR = \sum (y - y_{head})^2 \quad \bullet \text{ (Sum squared error-SSR)} \quad (4)$$

$$SST = \sum (y - y_{ortalama})^2 \quad \bullet \text{ (Sum squared total-SST)} \quad (5)$$

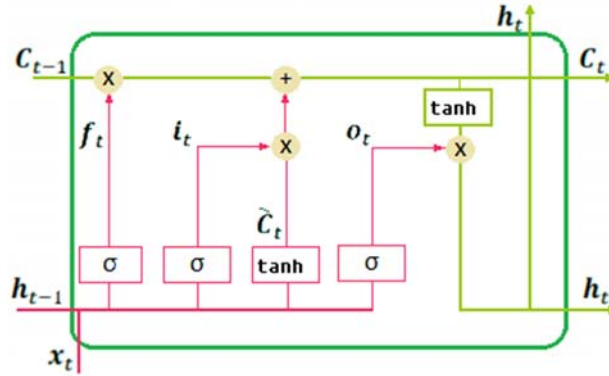
$$MSE = SSR/k \quad (6)$$

Çalışmamızda tahmin konusunda amacımız gelecek güç tüketim verilerinin yüksek doğruluk oranı ile tahmin edebilmektir. Bulut sunucu ortamında aktarılan sonuçlar ve bu sonuçlar üzerinde uygulanan polinomsal lineer regresyon sonuçları bir sonraki bölümde incelenecektir.

Elektriksel Enerji ve Güç Tüketim Tahmini için Özelleştirilmiş bir RNN Olan LSTM Modeli Uygulaması

Polinomsal lineer regresyon kullanıldıktan sonra daha iyi tahmin değerleri üretmek için RNN' in (recurrent neural networks - tekrarlayan sinir ağı) özelleşmiş bir çeşidi olan LSTM (long short term memory - uzun kısa dönem hafıza) yöntemine başvurduk. LSTM yönteminin tercih edilmesindeki en önemli etken, sistemimizdeki gibi zaman seri verileri üzerinde gösterdiği başarılı tahmin oranlarına dayanmaktadır. Bunu uzun/kısa süre önce gelen bilgiyi depolayarak ve önemsiz gördüğü bilgiyi unutarak gelişmiş ve karmaşık bir öğrenme özelliğine sahip olmasıyla gerçekleştirebilir.

Derin öğrenme yöntemleri, sinir ağının gizli katmanlarının sayısını artırır ve güçlü doğrusal olmayan özellikleri işlemede çok iyi performans gösterir. Tekrarlayan sinir ağı (RNN - recurrent neural networks), tahmin zaman serilerinde uygulanan derin öğrenme algoritmalarından biridir. Yapısı ilk kez 1990 yılında sunulan RNN zamansal bilgileri tutabilir. Önceki anlardan gelen bilgilerin korunup korunmayacağını seçmek için tekrarlayan katman kavramını tanıtır. Bununla birlikte, RNN patlayan / kaybolan gradyan problemi nedeniyle uzun vadeli bağımlılığı iyi sürdüremez. Bu sorunları çözmek için, uzun kısa süreli bellek ağı (LSTM) olarak adlandırılan gelişmiş bir RNN önerilmektedir [16].



Şekil 4. LSTM yapısı [17]

- x işlemi: bilgi ölçeklendirilir
- + işlemi: bilgi eklenir
- σ : hatırlamak/unutmak için kullanılır. 1 ya da 0'dır.
- \tanh : parametreleri güncellemek için kullanılır
- X_t : girdi
- h_{t-1} : hem girdi hem de bir önceki LSTM ünitesinin çıkışı
- C_{t-1} : önceki LSTM ünitesinden hafıza/hatırlama
- C_t : güncellenmiş yeni hafıza
- h_t : çıktı

Şekil4'teki gibi LSTM mimarisi, birbirini tekrar eden sıralı bloklardan oluşur. LSTM yapısı, 3 farklı kapıdan oluşur bunlar; unut, girdi ve çıktı kapılarıdır. Unut kapısı : girdi olarak X_t ve h_{t-1} verilerini alarak gelen bilginin unutulup unutulmayacağına karar verir. Bunu denklemdeki gibi f_t ile yapar ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanır.

$$f_t = \sigma(W_{f,x} * X_t + W_{f,h} * h_{t-1} + b_f) \quad (7)$$

Daha sonra, hangi bilginin depolanacağını karar verildiği girdi kapısı devreye girerek i_t denklem (8) kullanır ve sigmoid fonksiyonu ile bilgileri günceller. Ardından yeni bilgi \tanh fonksiyonu (9) tarafından belirlenir. Vanishing gradient (yavaş öğrenme-çok küçük gradient) problemini çözdüğü için \tanh kullanılır. Parametreler güncellenirken (update) türev alınır ve \tanh 'ın türevi hemen 0'a ulaşmaz. Yeni bilgiler denklem (10) ile elde edilir.

$$i_t = \sigma(W_{i,x} * X_t + W_{i,h} * h_{t-1} + b_i) \quad (8)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_{c,x} * X_t + W_{c,h} * h_{t-1} + b_c) \quad (9)$$

$$C_t = C_{t-1} * f_t + i_t * \tilde{C}_t \quad (10)$$

En son çıktı kapısında üretilen çıktı verileri aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

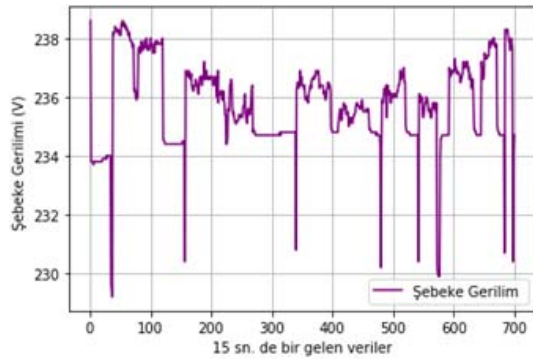
$$o_t = \sigma(W_{o,x} * X_t + W_{o,h} * h_{t-1} + b_o) \quad (11)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (12)$$

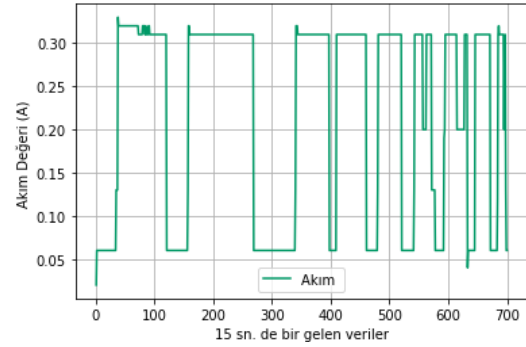
Bu süreç tekrar eder, ta ki bias (b) ve ağırlık (W_i) parametreleri en doğru değerlere ulaşana kadar. Bu parametrelerin en doğru değere ulaşması demek modelin en iyi şekilde eğitildiğinin ve LSTM çıktı verileri ile eğitim verileri arasındaki farkın en az olması, çıktının gerçek veriye en yakın değerde olması demektir. [17] Sistemin çalışmasında odak nokta olarak güç ve enerji tüketim verileri olduğu için LSTM ile Polinomslar Lineer Regresyon modelinin performanslarını bu iki veri seti üzerinde kıyasladık. Bulgular ve Tartışma kısmında her iki yöntemle elde ettiğimiz tahminlerin doğruluk ve hata oranlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

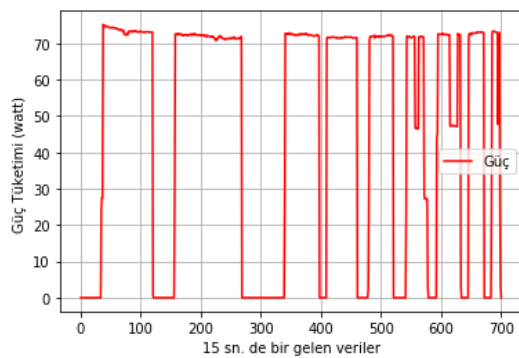
Şekil 1'deki mimari tasarıma sahip olan sistemimiz üzerinde Tablo 1'de belirtilen güç tüketim değerlerine sahip cihazlarımız bağlanmış ve farklı zaman aralıklarında tipik bir ev kullanıcısının kullanım karakteristiğine benzer şekilde rastgele olarak anahtarlanmışdır. 15 saniye aralıklarla 700 farklı ölçüm alınmıştır. Aşağıda zamana bağlı olarak alternatif gerilim değerleri, yükün çektiği akım değeri, yükte harcanan güç, harcanan enerji ve bataryaların gerilim değerlerindeki değişimler sırasıyla verilmiştir.



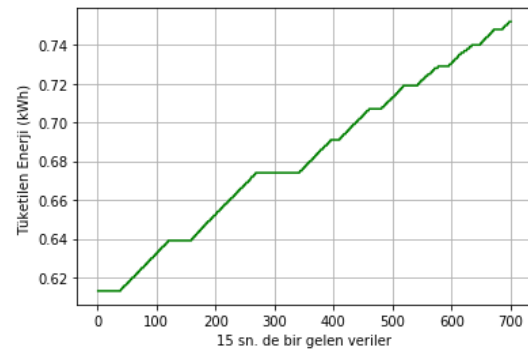
Şekil 5. Alternatif gerilim değerleri



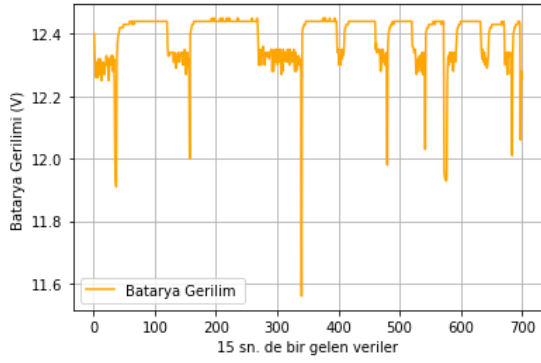
Şekil 6. Yükün akımı



Şekil 7. Yükün güç tüketimi



Şekil 8. Yükün enerji tüketimi



Şekil 9. Bataryanın gerilim değerleri

Şekil 5, 6, 7 ve 9 incelendiğinde zamana bağlı olan değişimlerin rastgele olduğu görülmektedir. Doğrusal olarak artış bir tek sistemin enerji tüketiminin gösterildiği Şekil 8’de görülmektedir. Polinomsal regresyon modelini meydana getiren denklemde (1) n (denklemi derecesi) değeri, 1 ve 10 arasında değerler verilerek R2 (r_square) yani tahminin doğruluk oranı sonuçları karşılaştırılmıştır. Tahminin doğruluk oranı sonuçları ait değerler Tablo 2’de verilmiştir. n=1 değeri için lineer regresyon modeli ile uygulanmış olan grafikler arasında polinom olmayan lineer bir eğri gösteren yalnızca enerji tüketim grafiğidir (Şekil 7) ve lineer regresyon metodu sonucunda r_square değeri / tahminin doğruluk oranı 0,99509’dur. Yine de polinomsal regresyon modeliyle n=6 için 0,00147’lük bir farkla 0,99656 olan en yüksek değer üretilmiştir.

Tablo 2. R2 (r-square) katsayıları

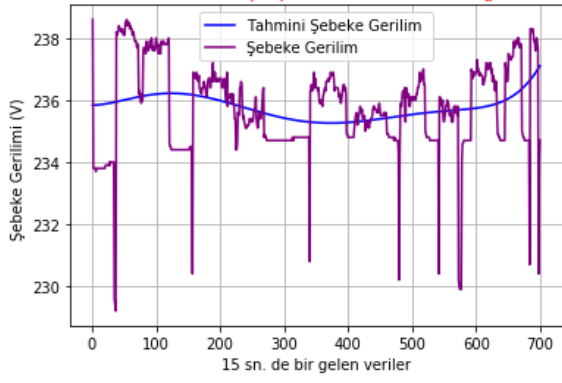
Uygulanan veri seti	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10
1. Alternatif gerilim	0.00079	0.02796	0.06647	0.09446	0.15111	0.06349	0.06180	0.08075	0.08497	0.07677
2. Akım	8.43240	0.00472	0.01429	0.04424	0.09015	0.03832	0.00691	0.00651	0.01746	0.02016
3. Güç	8.79277	0.00339	0.0130	0.04506	0.08864	0.03736	0.00614	0.00550	0.01553	0.01737
4. Enerji	0.99509	0.99539	0.99569	0.99573	0.99608	0.99656	0.99514	0.98789	0.97501	0.95908
5. Batarya gerilimi	1.99479	0.01840	0.03248	0.05436	0.06725	0.03734	0.01067	0.00895	0.01819	0.02302

Yukarıdaki tablodaki en iyi r square değerlerine ait n değerleri aşağıdadır.

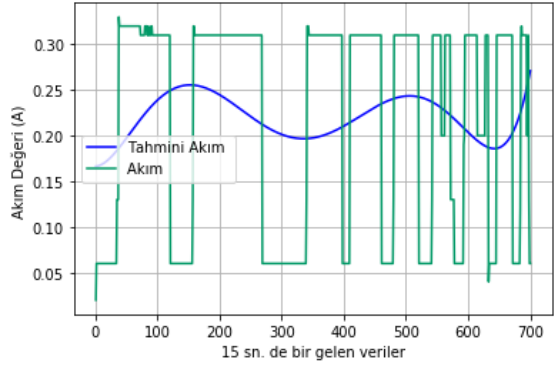
Tablo 3. En iyi R2 (r_square) / tahminin doğruluk oranı sonuçları ve bu sonuçları veren n değerleri

Uygulanan Veri Seti	R kare (r square)	n değeri
1. Alternatif gerilim	0.084	5
2. Akım	0.09	5
3. Güç	0.088	5
4. Enerji	0.99	6
5. Batarya gerilimi	0.067	5

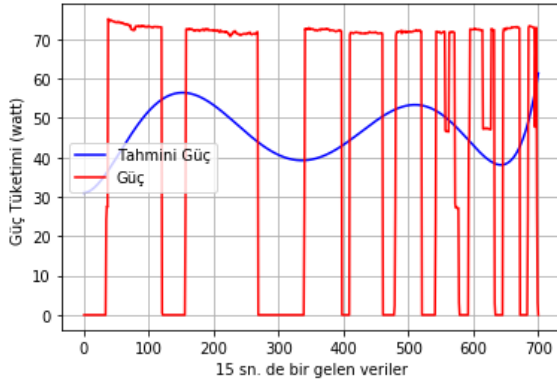
Polinomsal lineer regresyonun verilere uygulanması sonucunda elde edilen tahminlere ait grafikler ve var olan algılayıcı verileriyle birlikte aşağıda sırasıyla verilmektedir.



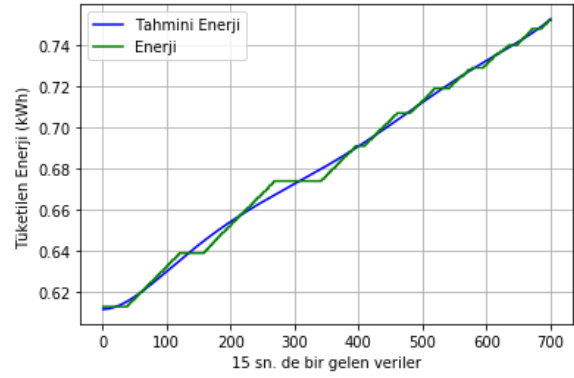
Şekil 10. Alternatif gerilim tahmini



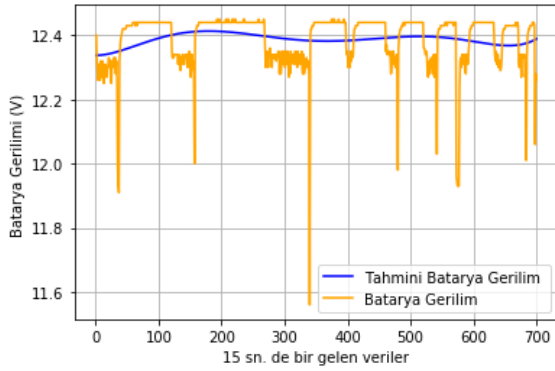
Şekil 11. Yük akımının tahmini



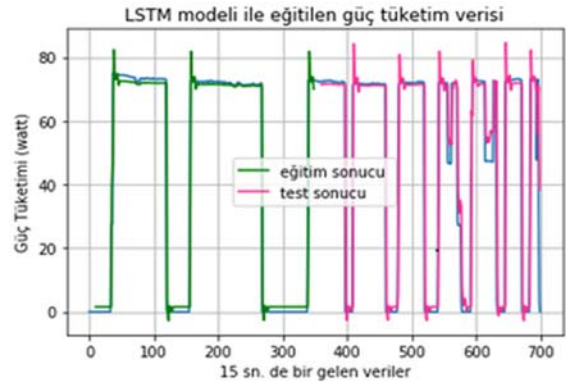
Şekil 12. Yükün güç tahmini



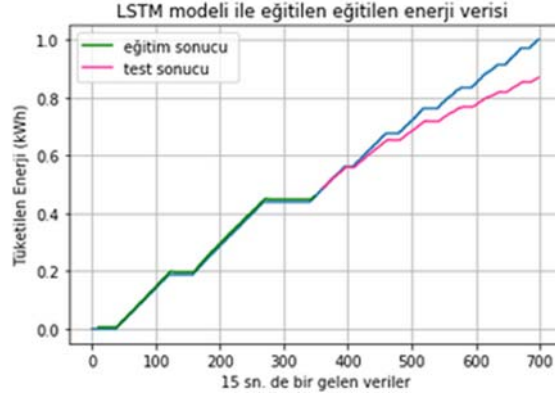
Şekil 13. Yükün enerji tüketimi tahmini



Şekil 14. Batarya gerilim tahmini



Şekil 15. LSTM modeli ile eğitilen güç tüketim verisi



Şekil 16. LSTM modeli ile eğitilen enerji verisi

Tablo 4. RMSE değerleri

Uygulanan Veri Seti	LSTM		Polinomsal Lineer Regresyon
	Eğitim Skoru	Test Skoru	
1. Güç	6.83	12.46	33.51
2. Enerji	0.01	0.06	0.002

Hatanın boyutunu ölçen RMSE (root mean square error- hata karelerinin ortalamasının kökü) değeri 0'a ne kadar yakınsa o kadar doğru tahmin gerçekleştirilmiş demektir. 0 ile ∞ arasında değer alır. RMSE ile daha önceden bahsedilen MSE arasındaki ilişki ise şu şekilde hesaplanır.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (13)$$

Şekil 15 ve 16'da görüldüğü gibi güç ve enerji veri setlerinde %50-%50 eğitim ve test verileri olarak 2'ye ayrıldı. İlk 350 veri eğitim verisini oluşturarak model eğitildi ve 351' den 700' e kadar olan veriler test sonucu olarak ortaya çıktı. Şekil 15 ile 12 karşılaştırıldığında LSTM ile oluşturulan modelin gerçek veriye daha adapte olduğu görülmektedir. Fakat, Şekil 16 ve 13 kıyaslandığında Polinomsal Lineer Regresyon metoduyla ortaya çıkan tahmin modeli LSTM ile oluşturulan modelden daha düzgün oluşturulmuştur. Bu iki yöntemin performanslarını sayısal olarak (Tablo 4) kıyaslandığımız ise grafiklerden çıkardığımız sonucu doğrular niteliktedir. LSTM ile güç tüketimi tahmininde RMSE değeri 12.46 iken, polinomsal lineer regresyon ile 33.51 olmaktadır. Güç tüketiminin aksine enerji tüketim tahmininde LSTM ile RMSE değeri 0.06 iken Polinomsal Lineer Regresyonda bu değer 0.002 olarak karşımıza çıkmaktadır. Veri setinin dalgalı olduğu durumlarda LSTM çok daha başarılı performans gösterirken, doğrusal olarak ilerleyen veriler için polinomsal lineer regresyon 0.058 gibi az bir farkla daha başarılıdır. Bu değer göz ardı edilebileceği gibi veri setinin boyutu arttıkça daha anlamlı hale gelecektir fakat tüm bunlar bir yana, verinin sürekli artış ya da azalış göstereceğinin kesin bir delili bulunmamaktadır. Bu sebeple LSTM her iki durumda da veri tahmini için başvurmaya daha uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

SONUÇ

Evlerdeki elektriksel enerjinin maliyetinin düşürülmesine yönelik olarak doğada bulunan enerji kaynakları ile ev enerji sistemlerinin desteklenmesi sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Evlerin ve işyerlerinin bu farklı enerji kaynakları ile desteklenmesi beraberinde enerji kaynaklarının akıllı bir şekilde yönetilmesini de getirmektedir. Ev kullanıcıları hali hazırda var olan şehir şebekesine ek olarak güneş enerjisinden uzun bir süreden beri faydalanmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı elektrik enerjisi kaynağının olduğu ev sistemleri için kaynakların kendi aralarında otomatik geçişlerin sağlanabildiği bir sistem geliştirilmiştir. Geçişlerin yapılabilmesi ev içerisindeki prizlerin ve şebekeyi destekleyici bataryaların durumlarının anlık olarak incelenmesine bağlıdır. Çalışma kapsamında sistemdeki alternatif gerilim değeri, akım, güç, enerji ve bataryaların durumları anlık olarak ölçülmektedir. Ölçümlenen değerler sistem üzerinde bulunan mikrodenetleyici ile değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmenin sonucuna bağlı olarak iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçişler sağlanmaktadır. Geliştirilen sistem evdeki yerel ağa bağlanabilmekte ve internet üzerinden bulut üzerindeki depolama ortamına toplamış olduğu verileri göndermektedir.

Çalışma kapsamında sistem üzerinden toplanarak bulut ortamına aktarılan veriler analiz edilerek ilerisi için tahminlerde bulunulmuştur. Alternatif gerilim, akım, güç ve batarya durumlarına ait değerler, tıpkı bir ev kullanıcısının evdeki elektrikli cihazları kullanımları gibi rastgele bir özellik sergilemektedir. Sistemde harcanan toplam güç değeri ise doğrusal bir özellik göstermektedir. Bu nedenle, ileriye yönelik yapılan güç tahminleri daha başarılı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarlanan sistem kullanılan malzemelerin sınırlı özelliklerinden ötürü prototip özellik taşımakta ve bu nedenle sadece düşük güç tüketimine sahip üç farklı tür elektrikli cihaz üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha büyük kapasitedeki uygulamaları desteklemesi açısından başarılıdır. Özellikle çevirici, batarya ve diğer algılayıcıların kapasiteleri artırılarak daha büyük ölçeklerde uygulama imkanına sahiptir. Bunun yanında sistemin ilave alternatif enerji kaynakları ile desteklenmeye açık bir yapısı bulunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FHD-2020-3381. Desteklerinden dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu makale Rezzan Nisa ER'in yüksek lisans tez konusu kapsamında yapılmıştır.

Yazar Katkıları

Rezzan Nisa Er: Sistemin üretmiş olduğu sayısal çıktıları görselleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Bora Uğurlu: Sistemin yazılımsal ayağını oluşturarak bulut ortamına dahil etmiş ve makale yazım sürecine yardımcı olmuştur.

Utku Bayram: Sistemin donanımsal alt yapısını oluşturmuştur.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

- [1] H.T. Karakoç, B. Erbay, ve N. Karakoç, "Enerji analizi". Türkiye Cumhuriyeti Anadolu Üniversitesi Yayını, Birinci Baskı, 2486, 2011.
- [2] O. Ö. Mengi, "Yenilenebilir enerji sistemlerinde süreklilik için akıllı bir enerji yönetim sistemi", Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2011.
- [3] M. Taştan, "Akıllı Ev Uygulamaları için Yeni Nesil IoT Denetleyici ile Gerçek Zamanlı Uzaktan İzleme ve Kontrol Uygulaması". Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 481-487, 2019.
- [4] Nassereddine, M., Rizk, J., Hellany, A., Nagrial, M., Elrafhi, A., Obeid, Z., & Hajar, K., "Electrical energy management for advance smart home systems: Introduction.", In 2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC) (pp. 1-6). IEEE, July, 2016.
- [5] Z. U. Bayrak, "Evsel yükler için yakıt pili-güneş pili hibrit sisteminin tasarımı, modellenmesi ve uygulaması/Design, modeling and implementation of fuel cell-solar cell hybrid system for residential loads", (2014).
- [6] G. Başol, "Güneş pili ile çalışan mobil uygulama destekli akıllı ev otomasyon sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [7] A. K. Singh, K. A. Chinmaya ve M. Badoni, "Solar PV and Grid Based Isolated Converter for Plug-in Electric Vehicles", IET Power Electronics, vol. 14-12, 3707 3715, 2019.
- [8] S. Yıldız, "Sıfır enerjili akıllı ev tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [9] M. O. Agyeman, Z. Al-Waisi ve I. Hoxha, "Design and Implementation of an IoT-Based Energy Monitoring System for Managing Smart Homes", In 2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC) (pp. 253-258). IEEE, June, 2019.
- [10] S. H. Abdalla, "Energy management system for smart home (Yüksek Lisans tezi)". Erişim adresi : <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>, 2019.
- [11] R. Aybar, "Akıllı ev aletlerinin Enerji Tüketiminin Planlanması (Yüksek Lisans tezi)". Erişim adresi : <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>, 2019.
- [12] Z. Çelik, A. YILMAZ ve SERT E., "Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Üretim Sistemlerinin Kontrolü". Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 41-48, 2015
- [13] B. Uğurlu, U. Bayram ve R.N. Er, "Elektrik Enerjisi Kaynaklarının Güç Tüketimine Göre Kaynağının Otomatik Olarak Belirlenmesi", Çakır, Ö., Fen ve Mühendislik Bilimleri : 2020 UBAK 7. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Fen ve Mühendislik Bilimleri, Bildiri Tam Metin Kitabı içinde (pp. 271-276), Ankara, 2020.

- [14] G. Wang, J. Cao, H. Wang, ve M. Guo, "Polynomial regression for data gathering in environmental monitoring applications.", In IEEE GLOBECOM 2007-IEEE Global Telecommunications/Conference (pp. 1307-1311). IEEE, November, 2007.
- [15] E. Ostertagová, "Modelling using polynomial regression. Procedia Engineering", vol. 48, pp. 500-506, 2012.
- [16] Wang, J. Q., Du, Y., & Wang, J. LSTM based long-term energy consumption prediction with periodicity. *Energy*, 197, 117197, 2020
- [17] A. Kara, "Global Solar Irradiance Time Series Prediction Using Long Short-Term Memory Network". Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji, vol , vol. 4-7, pp.882-892, 2019.