



Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini

Ramazan Bayram^{1*}, Selçuk Emiroğlu²

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-6876-4790), ramazan.bayram5@ogr.sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7319-8861), selcukemiroglu@sakarya.edu.tr

(2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, October 15 - 18, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1189150)

ATIF/REFERENCE: Bayram, R. & Emiroğlu, S. (2022). Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (42), 26-39.

Öz

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektriksel cihazların davranışları da değişmiştir. Bu durum, yük modelinin geliştirilmesini ve cihazların doğru bir şekilde tanımlanmasının gerekli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışma akkor lamba, Işık Yayan Diyot (LED) lamba, Sıvı Kristal Monitör (LCD) ve elektrik süpürgesi gibi konutsal yüklerin yük modelinin geliştirilmesini, polinomsal yük modeli ve üstel yük modeli katsayılarını deneysel olarak belirlenmesini sunmaktadır. Ölçüm parametreleri, kullanımı kolay ve ekonomik olduğu için PZEM-004T modülü kullanılarak Arduino Uno ile Excel'e aktarılıp Matlab'de bu yük modellerinin katsayıları ve gerilim azaltma oranı hesaplanmıştır. Konutsal yüklerin polinomsal ve üstel yük modeli parametreleri en küçük kareler ve iç nokta yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca ZIP yük modeli parametreleri kullanılarak üstel yük modeli parametrelerinin elde edilmesi gösterilmiştir. Akkor lamba ve elektrikli süpürge için bulunan katsayılar ile elde edilen ZIP ve üstel yük modeli gerçek yük modeline çok yakın olduğu ölçümler sayesinde görülmüştür. LED lamba için elde edilen ZIP ve üstel yük modeli ise nominal gerilim etrafında gerçek güç değerlerine yakın sonuç vermektedir. Konutsal yüklerin ZIP yük modeli katsayılarına dayalı tahmini güç tüketimi elde edilerek ölçülen gerçek güç tüketimi ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Statik Yük Modeli, Polinomsal Yük Modeli, Üstel Yük Modeli, CVR Faktörü, Tahmini Güç Tüketim.

Parameter and Power Consumption Estimation of Residential Loads

Abstract

With the development of technology, the behavior of electrical devices has also changed. This makes it clear that the development of the load model and the correct identification of the devices are necessary. This study presents the development of the load model of residential loads such as incandescent lamp, Light Emitting Diode (LED) lamp, Liquid Crystal Monitor (LCD) and vacuum cleaner, and experimentally determining the coefficients of the polynomial load model and the exponential load model. Since the measurement parameters are easy to use and economical, PZEM-004T module was transferred to Excel with Arduino Uno and the coefficients and voltage reduction ratio of these load models were calculated in Matlab. It has been determined that both load models are suitable for the incandescent lamp and the vacuum cleaner. Estimated power consumption based on polynomial load model coefficients and actual power consumption results are obtained. According to these results, the estimated power in the incandescent lamp and vacuum cleaner is below the actual power; In the LED lamp and LCD monitor, the estimated power was found to be above the actual power.

Keywords: Static Load Model, Polynomial Load Model, Exponential Load Model, CVR Factor, Estimated Power Consumption.

* Corresponding Author: ramazan.bayram5@ogr.sakarya.edu.tr

1. Giriş

Güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımını ve tüketimi için çok sayıda cihazdan oluşan birbiri ile bağlantılı büyük sistemlerdir. Yük, sisteme bağlı bir veya daha fazla cihazların sistemde tükettiği toplam güç olarak adlandırılabilir. Yük özellikleri sistem performanslarını etkilediğinden, güç sistemi çalışmaları için önemli bir konu olmuştur. Yeni teknolojik cihazlar ile birlikte cihazların özelliklerinin elektrik güç sistemlerinin çalışması ve performansı üzerindeki etkisi yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yüklerin davranışını incelemek için bunlara uygun yük modelleri geliştirilmesi ve uygun olanının seçilmesi sistem analizi için çok önemlidir.

Yük özelliklerinin elektrik güç sistemi üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve yük özelliğinin doğru bir şekilde temsil edilmesinin kritik olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Araştırmacılar, gerçek yük özelliklerinin davranışını tanımlamak için yükler tarafından çekilen gerçek ve reaktif gücün gerilim ve frekansla nasıl değiştiğini açıklamak konusunda yoğun çaba sarf etmiştir.

Quilumba ve arkadaşları (2011) (Quilumba et al., 2013), oyun konsolları ve TV'lerin yük davranışını ve güç sistemindeki etkisini analiz etmek için ZIP yük modeli kullanarak çeşitli yük modelleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. LED TV, LCD TV, XBOX 360 ve PS3 gibi cihazlar üzerinde çeşitli testler yapılmış ve laboratuvar testlerinden elde edilen bu değerler için ZIP yük modeli geliştirilmiştir.

Zhao ve arkadaşları (2010) (Zhao et al., 2010), akkor lamba, floresan ve sodyum lamba, LCD, masaüstü bilgisayar, notebook, mikrodalga fırın gibi cihazların yük bileşenleri dinamik simülasyon deneylerine dayalı olarak modellenmiştir. Buna göre tipik ısıtma yüklerinin sabit empedans modelleri olarak gösterilebileceği ve tüm cihazlar için aktif güç ile reaktif gücünün farklı olduğu görülmüştür.

Schneider ve Fuller (2010) (Schneider & Fuller, 2010), enerji tüketimi üzerinde önemli etkiye sahip olan talep tepkisi ve enerji verimliliği gibi detayları dikkate alarak son kullanım yük modellerini dağıtım sistemi analizine dahil etmek için ZIP yük modeli ile iyileştirmeyi amaçlamışlardır.

Duan ve arkadaşları (2007) (Duan et al., 2007), tarafından yapılan çalışmada doğrusal olmayan elektronik yüklerin, gerilimdeki değişikliklere bağlı tepkileri incelenmiştir. Ölçümlere dayanarak ZIP modeli geliştirilmiş, nominal gerilimdeki aktif ve reaktif güçlere dayalı olarak bireysel yük ekipmanlarını analiz etmek için bilgisayar programı geliştirmişlerdir.

Yük modeli geliştirmeye yönelik iki temel yaklaşım vardır. "Ölçüme dayalı modeller" ve "Bileşen tabanlı modeller". Her iki model de yük geriliminin ve sistem frekansının değişmediği durumlarda polinomsal veya üstel yük modeli üretir (Patton & Ilic, 1993).

Bu çalışmada, konutsal yüklerin polinomsal (ZIP) yük modeli ve üstel (eksponansiyel) yük modelinin en küçük kareler ve iç nokta yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen yük modelleri gerçek güç değerleri ile karşılaştırılarak uygun olan yük modeli tespit edilmiştir. Konutsal yüklerden bazılarının ölçümler ile gerilim azaltımı yöntemi (CVR) faktörü hesaplanmıştır. ZIP yük modeli katsayıları ile yaklaşık hesaplanan gerilim azaltım faktörü kullanılarak tahmini güç tüketimi hesaplanmıştır. Tahmini güç

tüketimi konutsal yüklerden bazıları için değişken gerilim profili altında hesaplanarak gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır.

Bu makalenin geri kalanı aşağıdaki gibi organize edilmiştir:

Bölüm 2'de polinomsal yük modeli ve üstel yük modeli, gerilim azaltma yöntemi (CVR), en küçük kareler yöntemi (EKK), Bölüm 3'te donanım, Bölüm 4'te parametrelerin hesaplanması, test prosedürü ve verilerin aktarılmasından bahsedilmiştir. Bölüm 5'te, ölçümü yapılan cihazların gerilim-güç eğrileri, CVR faktörü, tahmini güç tüketiminden ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Bölüm 6'da, elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Statik Yük Modeli

Yük modelleme, güç ile gerilim arasındaki matematiksel ilişkiyi ifade etmektedir (Yiğit et al., 2021). Statik yük modeli, herhangi bir andaki aktif veya reaktif gücün, gerilim büyüklüğü ve frekansın fonksiyonları olarak ifade edilmektedir. En yaygın statik yük modelleri sabit empedans, sabit akım ve sabit güç ifadelerinden oluşan polinomsal yük modeli ve üstel (eksponansiyel) yük modelidir.

Sabit empedans yük modeli: Gücün gerilim büyüklüğünün karesiyle doğru orantılı olarak değiştiği yük modelidir. Aydınlatma, ark ocakları, ısıtma bu yük modeline verilebilecek örneklerdir ve ağırlıklı olarak omik karakteristiğe sahiptirler (McKeever et al., 1982).

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (2)$$

Sabit akım yük modeli: Gücün gerilimin büyüklüğüyle doğru orantılı olarak değiştiği yük modelidir. Elektrokimya ve metalurji alanında, metal parlatma, kaplama ve elektroliz çalışmalarında uygulanan tekniğin esası sabit akım çekmeye dayalıdır (*Metalografi - A. Emel Geçkinli - Google Kitaplar*, n.d.).

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (4)$$

Sabit güç yükü modeli: Besleme gerilimi büyüklüğündeki değişimden bağımsız olarak yük, sabit aktif ve reaktif güç çeker. Bu model, sabit PQ yük modeli (veya sabit MVA yük modeli) olarak adlandırılabilir.

2.2. Polinomsal Yük Modeli

Polinomsal (ZIP) yük modeli genellikle hem kararlı durum hem de dinamik çalışmalarda kullanılır (Arif et al., 2018). Enerji endüstrileri arasında genel olarak tanınan statik yük modellerinden biridir (Quilumba et al., 2013). Bu model, güç sistemi kararlılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zhao et al., 2010).

Bu model, sabit empedans (Z), sabit akım (I) ve sabit güç (P) bileşenlerinden oluşan bir polinom denkleminde gerilim ile güç arasındaki ilişkiyi ifade eder. ZIP yük modeli, sistem davranışını analiz çalışmaları için uygun modellerden birisidir. Sabit empedans, sabit akım ve sabit güç kategorilerinin toplamını temsil

eder. Üç kategori arasındaki fark, güç-gerilim ilişkisi ile ilgilidir: Sabit empedans için gerilim ile güç bağımlılığı ikinci dereceden, sabit akım için doğrusal ve sabit güç için ise gerilimden bağımsızdır (Hatipoglu et al., 2012). Matematiksel olarak ZIP yük modeli aktif ve reaktif güç için denklem (5) ve (6)'da gösterilmiştir.

$$P = P_0 \left[Z_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (5)$$

$$Q = Q_0 \left[Z_q \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] \quad (6)$$

Burada P toplam aktif güç, Q toplam reaktif güç, Z, I, P ise sırasıyla empedans, akım ve gücü temsil etmektedir. P_0 ve Q_0 , V_0 nominal gerilimindeki aktif ve reaktif güçtür (Quilumba et al., 2011).

2.3. Üstel Yük Modeli

Üstel yük modelinde güç ile gerilim arasındaki ilişki aktif ve reaktif güç için denklem (7) ve (8)'de ifade edilmiştir. Burada gerilim ile aktif ve reaktif güç arasındaki ilişkiyi ifade etmek için n_p ve n_q katsayıları yer almaktadır. Bu denklemde yer alan katsayılar ZIP yük modelinde yer alan katsayılardan daha azdır (Arif et al., 2018).

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^{n_p} \quad (7)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^{n_q} \quad (8)$$

ZIP yük modelinin üstel yük modeline dönüşümü denklem (9)'da yer almaktadır ve bu denklem reaktif yük modeli için de geçerlidir (Collin et al., 2014; Milanović et al., 2013).

$$n_p \approx \frac{(2 \cdot Z_p) + (1 \cdot I_p) + (0 \cdot P_p)}{Z_p + I_p + P_p} \quad (9)$$

2.4. Gerilim Azaltma Yöntemi (CVR)

Gerilim azaltımı (CVR) yöntemi, şebeke gerilimi seviyesini azaltarak güç tüketiminin azaltılmasını amaçlayan bir tekniktir. Son tüketicide bulunan ekipman ve cihazların kapanmaması veya arıza olmayacak şekilde nominal gerilimden daha düşük gerilim seviyeleri ile çalıştırılabilir. CVR uygulamasının etkinliğini değerlendirebilmek için şebekeye bağlı yüklerin davranışını tanımlayan iyi bir model elde etmek gerekir. Bu çalışmada, model parametreleri konutsal yüklerde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilmiştir. CVR'nin cihazlar üzerindeki etkisi aktif ve reaktif güç değişimleri incelenmiştir.

Lamberti ve arkadaşları (2013), Birleşik Krallıkta dağıtım ağındaki ev cihazlarının davranışı üzerindeki CVR etkisini incelemiştir (Lamberti et al., 2013).

Tesfasilassie ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada, CVR'nin toplam güç talebini azaltmadaki etkinliğinin, ana transformatör merkezi gibi merkezi noktadan toplu yük modeli kullanılarak yaklaşık olarak tahmin edilebileceği gösterilmiştir (Tesfasilassie et al., 2014).

CVR'nin faktörü, yük tarafından tüketilen enerji değişim yüzdesinin gerilim değişim yüzdesine oranı olarak denklem

(10)'da ifade edilmiştir (Hossan et al., 2018). Ayrıca denklem (11)'de yer alan CVR faktörü üstel yük modeli katsayısına hemen hemen eşittir (Gutierrez-Lagos & Ochoa, 2020). CVR faktörü, reaktif güç (kVAr) ve enerji (kWh) cinsinden yazılabilir (Emiroğlu, 2017).

$$CVR_f = \frac{\% \Delta P}{\% \Delta V} \quad (10)$$

Ayrıca;

$$CVR_f \approx n_{p,q} \quad (11)$$

olduğu denklem (7) ve (8) sayesinde görülmektedir.

3. Donanım

3.1. Varyak

Şebeke gerilimini istenilen gerilime yükselten veya düşüren cihazlardır. Tek sargılı bakır telin saç nüve etrafına sarılmasıyla elde edilir (*Test Varyak - Regülatörler, Varyak, Transformatörler*, n.d.). Şekil 1'de varyak cihazına ait görüntü yer almaktadır.



Şekil 1. Varyak (*Test_varyak_kutulu_11.Png (284×400)*, n.d.)

3.2. Arduino Uno

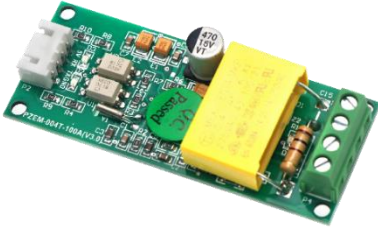
Arduino Uno, 6 analog giriş ve 14 dijital giriş/çıkış pinine sahip ATmega328 tabanlı bir mikrodenetleyici kartıdır. Şekil 1'de yer alan Arduino Uno'nun çalışma gerilimi 5V olup 32 KB flash belleğe sahiptir (Kumar & Ajitha, 2018).



Şekil 2. Arduino Uno (*Pr_01_2173.Jpg (817×570)*, n.d.)

3.3. Pzem-004t (10A) Modül

Pzem-004t, gerilim, akım, güç, güç faktörü ve enerji parametreleri ölçmek için kullanılan AC çok işlevli ölçüm cihazıdır. Modül ekran fonksiyonuna sahip değildir. Veriler TTL arayüzü üzerinden okunur. PZEM-004T-10A dahili şönt 0-10A ölçüm aralığına sahiptir ve PZEM-004T-100A harici transformatörlü 0-100A ölçüm aralığına sahiptir (PZEM-004T-3-0-TTL-Modbus-Electric-Kwh-Energy-Meter-Wattmeter-Voltmeter-Ammeter-Volt-Amp-Power.Png (800×800), n.d.). Şekil 3'te PZEM-004T 10A modülü yer almaktadır.



Şekil 3. Pzem-004T 10A Modülü (Regresyon et al., 2008)

4. Parametrelerin Hesaplanması

4.1. En Küçük Kareler Yöntemi

ZIP parametreleri bazı yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntem En Küçük Kareler (EKK) yöntemidir. EKK yöntemi, regresyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve hesaplamadaki kolaylığından dolayı en uygun tahmin yöntemi olarak tercih edilmektedir (Sadeghi & Abdollahi Sarvi, 2009). Bu yöntem ile deneysel çalışmalardan elde edilen verilere en yakın değerleri temsil edecek eğrinin parametreleri hesaplanacaktır. Denklem (12)'de EKK yönetimi ifade edilmiştir:

$$\min_p \sum_{n=1}^N (y_n - px_n)^2 \quad (12)$$

ZIP modelin genel denklemi (13)'de verilmiştir.

$$P = P_0 \left[Z_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (13)$$

$$Z_p + I_p + P_p = 1 \quad (14)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right)^2 \quad (15)$$

en küçük olacak şekilde Z_p, I_p, P_p parametrelerine göre türevi alınarak sıfıra eşitlenir.

$$\frac{d\lambda}{dZ_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{d\lambda}{dI_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \frac{V_i}{V_0} \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (17)$$

$$\frac{d\lambda}{dP_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (18)$$

Yukarıdaki denklemlerden türev alma ve düzenleme işlemlerinden sonra matris formu denklem (19)'daki gibi bulunur (Carneiro et al., 2017).

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n V_i^4 & \sum_{i=1}^n V_i^3 & \sum_{i=1}^n V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n V_i^3 & \sum_{i=1}^n V_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i \\ \sum_{i=1}^n V_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i & n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n P_i \end{bmatrix} \quad (19)$$

4.2. Fmincon Algoritması

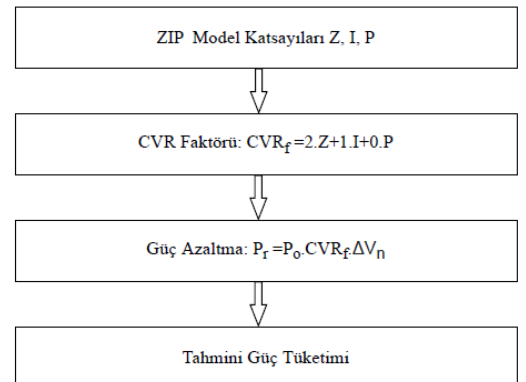
ZIP yük modeli katsayıları ve üstel yük modeli katsayıları MATLAB fmincon - iç nokta algoritması kullanılarak çözülebilir (Find Minimum of Constrained Nonlinear Multivariable Function - MATLAB Fmincon, n.d.). Reaktif güç parametrelerini tahmin etmek için benzer prosedür kullanılır. Söz dizimi aşağıdaki gibidir.

$$x = \text{fmincon}(\text{fun}, x_0, A, B, Aeq, Beq, lb, ub)$$

Burada fun çözülecek fonksiyonu, x_0 başlangıç değerini, A ve Aeq matris, B ve Beq vektörleri, lb ve ub alt ve üst sınırı temsil etmektedir (An et al., 2016).

4.3. ZIP Katsayılarına Dayalı Tahmini Güç Tüketimi

Yük tarafından tüketilen güç değişim yüzdesinin gerilim değişim yüzdesine oranı olarak CVR faktörü, matematiksel olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, CVR'den kaynaklanan güç azalmasının da tahmin edilmesi gerekir. Şekil 4'te tahmini güç tüketimi akış şeması yer almaktadır. Denklem (20) - (27)'de bu matematiksel ifadenin çıkarımı yer almaktadır.



Şekil 4. Tahmini Güç Tüketim Akış Şeması

Denklem (5)'te yer alan ifadeye $P_n = \frac{P}{P_o}$ ve $V_n = \frac{V}{V_o}$ ile denklem (20)'deki gibi yazılabilir.

$$P_n = Z_P V_n^2 + I_p V_n + P_P \quad (20)$$

$$\frac{\partial P_n}{\partial V_n} = 2Z_P V_n + I_p \quad (21)$$

$$\partial P_n = [2Z_P(\partial V_n + 1) + I_p]\partial V_n \quad (22)$$

$$\partial P_n = [2Z_P \partial V_n^2 + 2Z_P \partial V_n + I_p \partial V_n] \quad (23)$$

$$\partial P_n = (2Z_P + I_p)\partial V_n + 2Z_P \partial V_n^2 \quad (24)$$

∂V_n^2 ihmal edilebilir ve basitlik için göz ardı edilebilir. Bu nedenle, CVR faktörü denklem (25)'teki gibi sabit empedans ve sabit akım olan ZIP yük modeli katsayılarına dayalı olarak hesaplanabilmektedir (Alkrch, 2020).

$$CVR_f = \frac{\partial P_n}{\partial V_n} = 2Z_P + I_p \quad (25)$$

$$\Delta V_n = \frac{V_o - V}{V_o} \quad (26)$$

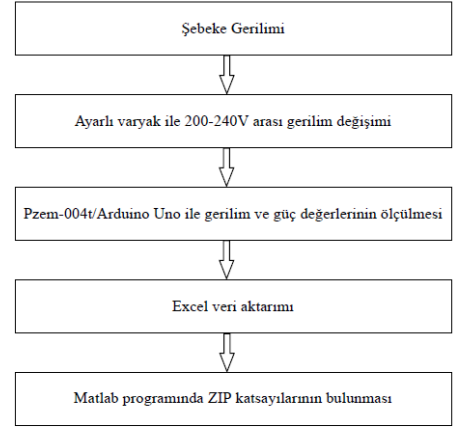
$$P_r = P_o CVR_f \Delta V_n \quad (27)$$

Denklem (27) CVR, yani ZIP katsayılarına dayalı olarak güç azalmasını bulunmasını sağlamaktadır. Tahmin edilen güç ise denklem (28)'de yer alan P_o nominal güç ile P_r güç azalmasının farkıdır (Alkrch, 2020).

$$P_{tahmin} = P_o - P_r \quad (20)$$

4.4. Test Prosedürü

Cihazlar üzerindeki test, 240-200 V gerilim değerleri arasında yapılmıştır. Her yük çeşidi seçilen en yüksek gerilim değerinde çalışmasına izin verilerek kademeli olarak gerilim değeri azaltılmıştır. Test ölçüm akış şeması Şekil 5'te, test ölçüm düzeneği Şekil 6'da yer almaktadır. Uygun gerilim değerini sağlamak için ayarlanabilir varyak kullanılmıştır. Gerilim ve akım değerleri stabilize edildikten sonra geçerli ölçümler kaydedilmiştir. Tekrarlanabilirliği kontrol etmek için her test en az iki defa yapılmıştır.



Şekil 5. Test Ölçüm Akış Şeması



Şekil 6. Test Ölçüm Düzeneği

4.5. Verilerin Aktarılması

Data Streamer, bir mikrodenetleyici ile karşılıklı olarak MS Excel'e canlı veri akışını sağlayan eklentidir (*What Is Data Streamer?*, n.d.). Arduino Uno ile USB aracılığıyla bilgisayara bağlantı yapıldıktan sonra PZEM-004T modülünü ile ölçülen gerilim, akım, güç ve güç faktörü parametrelerinin bilgisayara aktarıldığı esnadaki ekran görüntüsü Şekil 7'de yer almaktadır.

Gerilim (V)	Akım (A)	Güç (W)	Güç Faktörü (PF)
240	0,11	14,4	0,54
239	0,11	14,4	0,54
238	0,11	14,4	0,54
237	0,11	14,4	0,54
236	0,11	14,4	0,53
235	0,11	14,4	0,55
234	0,11	14,4	0,55
233	0,11	14,3	0,54
232	0,11	14,3	0,54
231	0,11	14,4	0,55
230	0,11	14,3	0,55
229	0,11	14,3	0,55
228	0,11	14,3	0,55
227	0,11	14,3	0,55
226	0,11	14,3	0,55
225	0,11	14,3	0,56
224	0,12	14,3	0,56
223	0,12	14,3	0,55
222	0,12	14,3	0,55
221	0,12	14,3	0,55
220	0,12	14,3	0,56

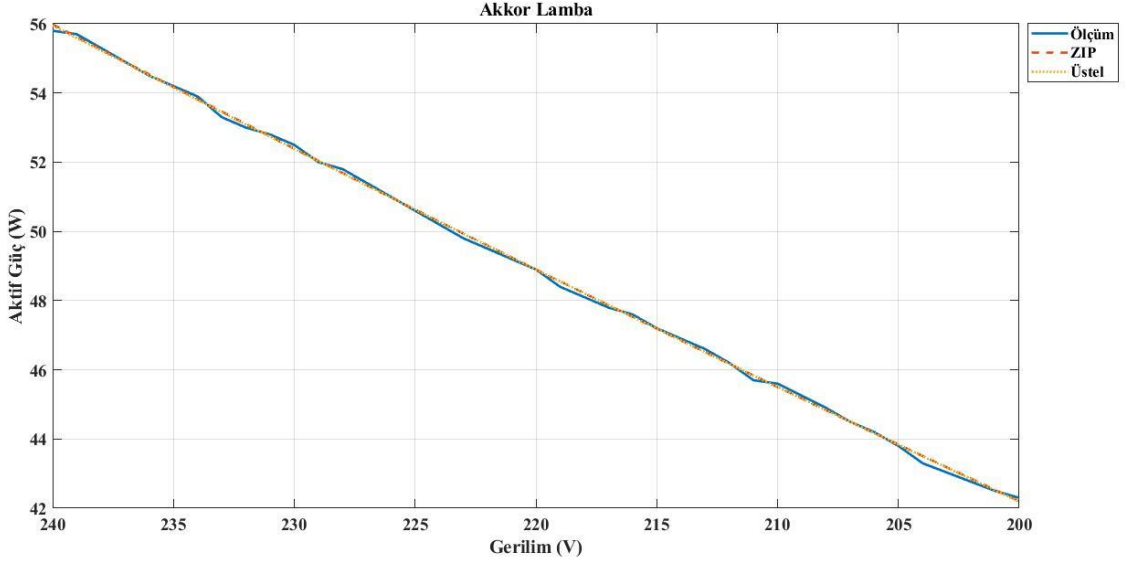
Şekil 7. Verilerin Excel'e Aktarılması

5. Bulgular ve Tartışma

5.1. Akkor Lamba

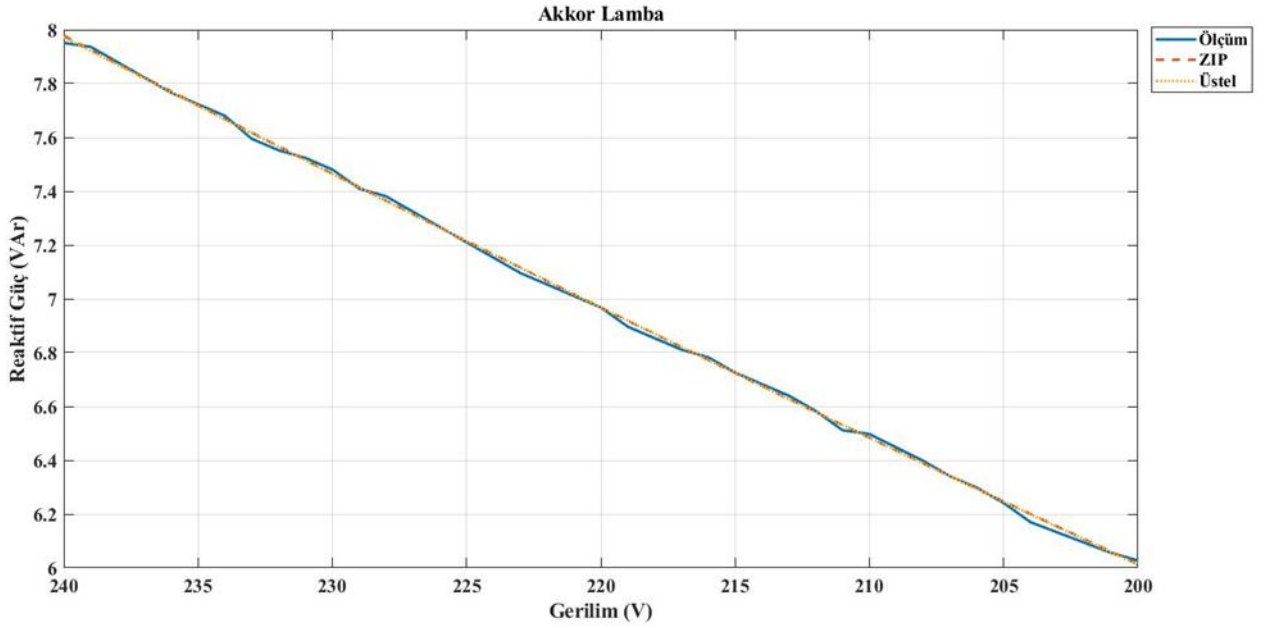
Şekil 8’de akkor lamba için gerilim – aktif güç eğrisi yer almaktadır. Ölçüm sonucunda nominal gerilim

220 V gerilimde 48.9 W aktif güç tükettiği baz alınarak model oluşturulmuştur. Akkor lambanın ölçüm, ZIP ve üstel yük modelinin birbirine çok yakın olduğu ve başarılı sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 8. Akkor lamba gerilim – aktif güç eğrisi

Nominal gerilim 220 V gerilim değerinde 6.96 VAR tükettiği baz alınarak oluşturulan model şekil 9’da yer almaktadır. Bu cihaz için reaktif güç modelinin de başarılı sonuç verdiği görülmektedir.

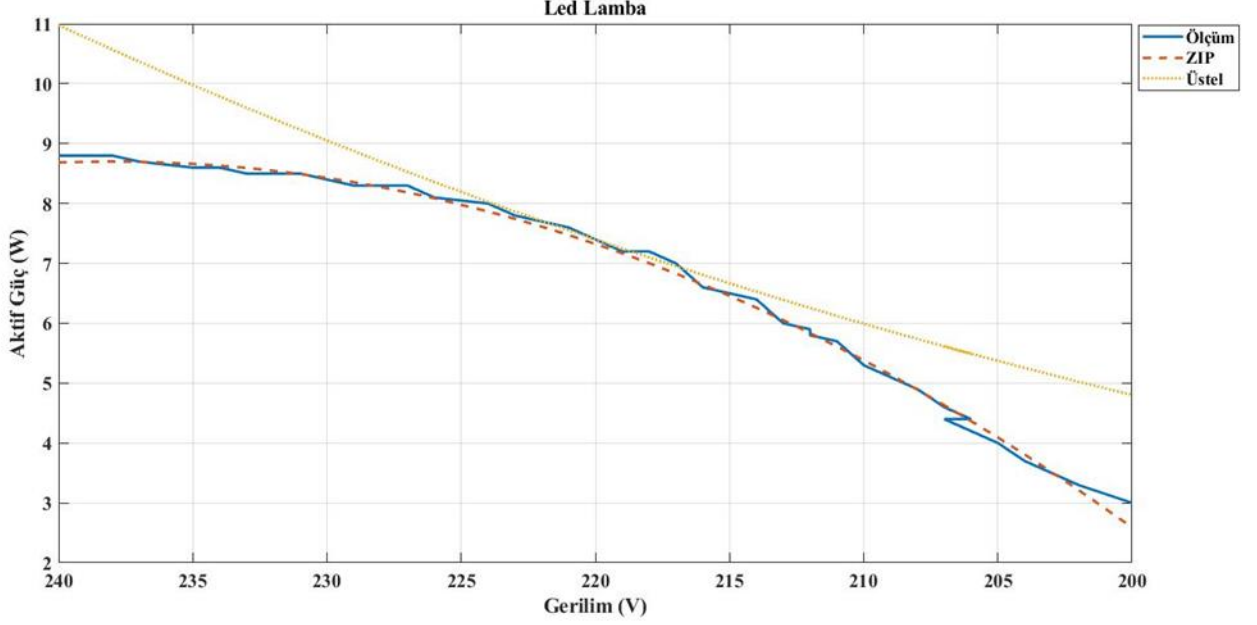


Şekil 9. Akkor lamba gerilim - reaktif güç eğrisi

5.2. LED Lamba

Şekil 10'da LED lamba için gerilim – aktif güç eğrisine yer verilmiştir. Ölçüm sonucunda nominal gerilim 220 V gerilimde 7.4 W aktif güç tükettiği baz alınarak model oluşturulmuştur. Ölçüm ve modelleme sonuçlarına göre 240 – 225 V gerilim

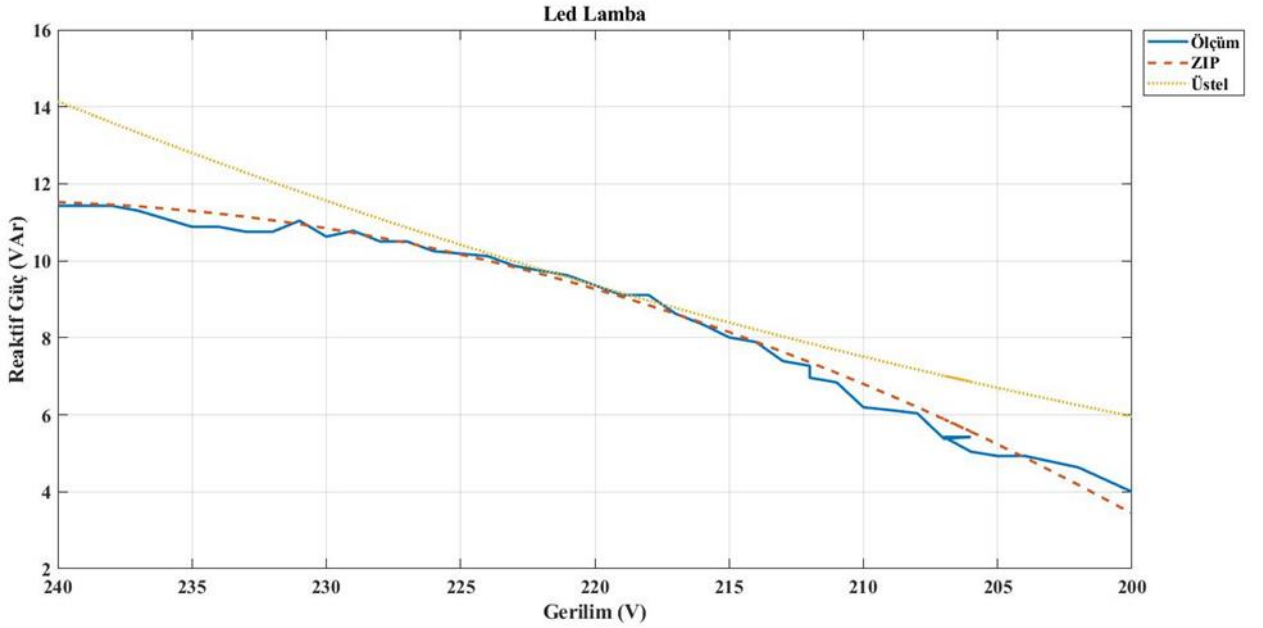
aralığında ZIP modelin gerçek sonuçlara yakın, üstel modelin ise gerçek modele yaklaştığı; 225 – 217 V gerilim aralığında ise her iki modelin gerçek sonuçlara çok yakın değerler ürettiği; 217 – 200 V gerilim aralığında ise ZIP modelin gerçek sonuçlara yakın, üstel modelin ise gerçek sonuçlardan uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 10. LED lamba gerilim – aktif güç eğrisi

Nominal gerilim 220 V gerilim değerinde 9.36 VAR tükettiği baz alınarak oluşturulan model, Şekil 11'de yer almaktadır. Buna göre reaktif güç için de aktif güçte olduğu gibi benzerlik

olmaktadır. ZIP modelin LED lamba için daha uygun bir model olduğu sonucuna varılmıştır.

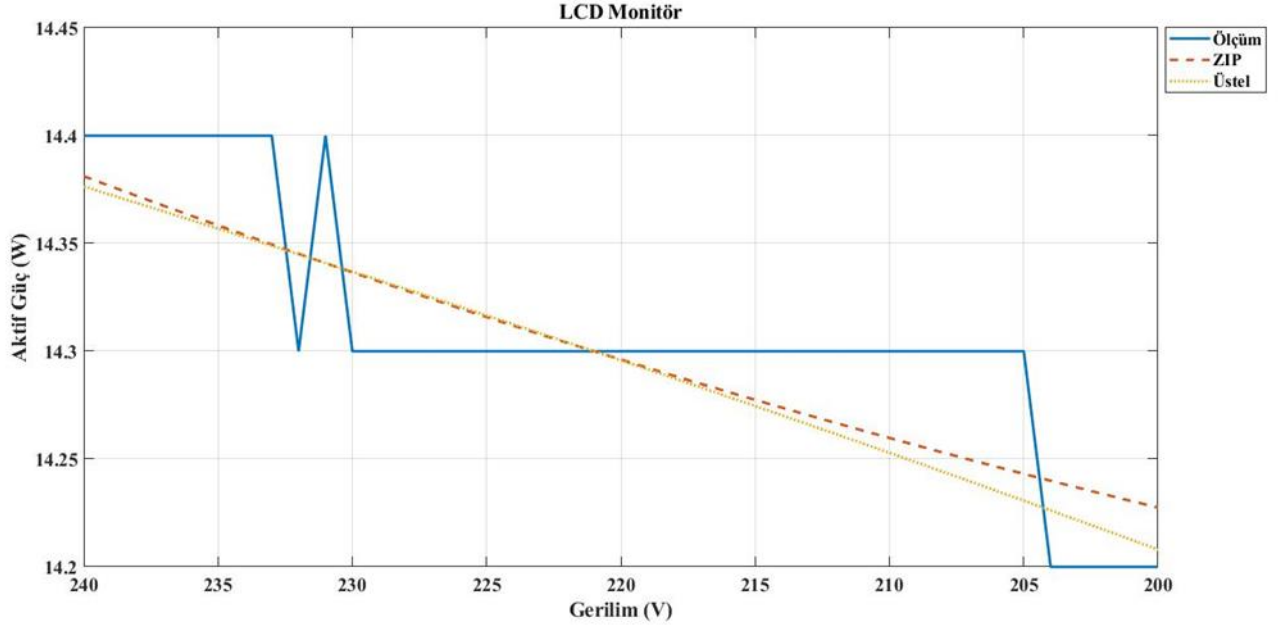


Şekil 11. LED lamba gerilim - reaktif güç eğrisi

5.3. LCD Monitör

LCD monitör için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 12'deki gibidir. Ölçüm sonucunda nominal gerilim 220 V gerilimde 14.3 W aktif güç tükettiği baz alınarak model oluşturulmuştur.

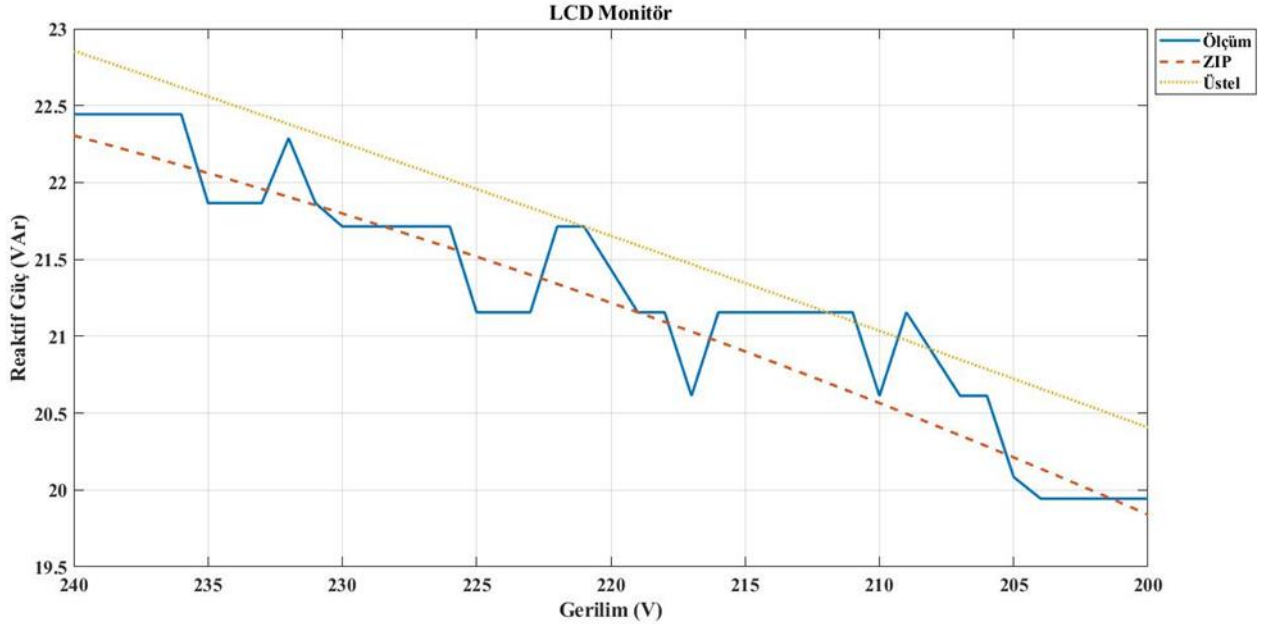
Ölçüm sonucunda 230 – 205 V gerilim değerlerinde sabit güç tüketimi yaptığı görülmektedir. ZIP ve üstel yük modellerinin birbiri ile benzerlikte olduğu görülmektedir.



Şekil 12. LCD monitör gerilim - aktif güç eğrisi

Nominal gerilim 220 V gerilim değerinde 21.71 VAR tükettiği baz alınarak oluşturulan model Şekil 13'te yer almaktadır.

Ölçülen ve oluşturulan modellerin sonuçlardan farklı olmakla birlikte yakın olduğu görülmektedir.

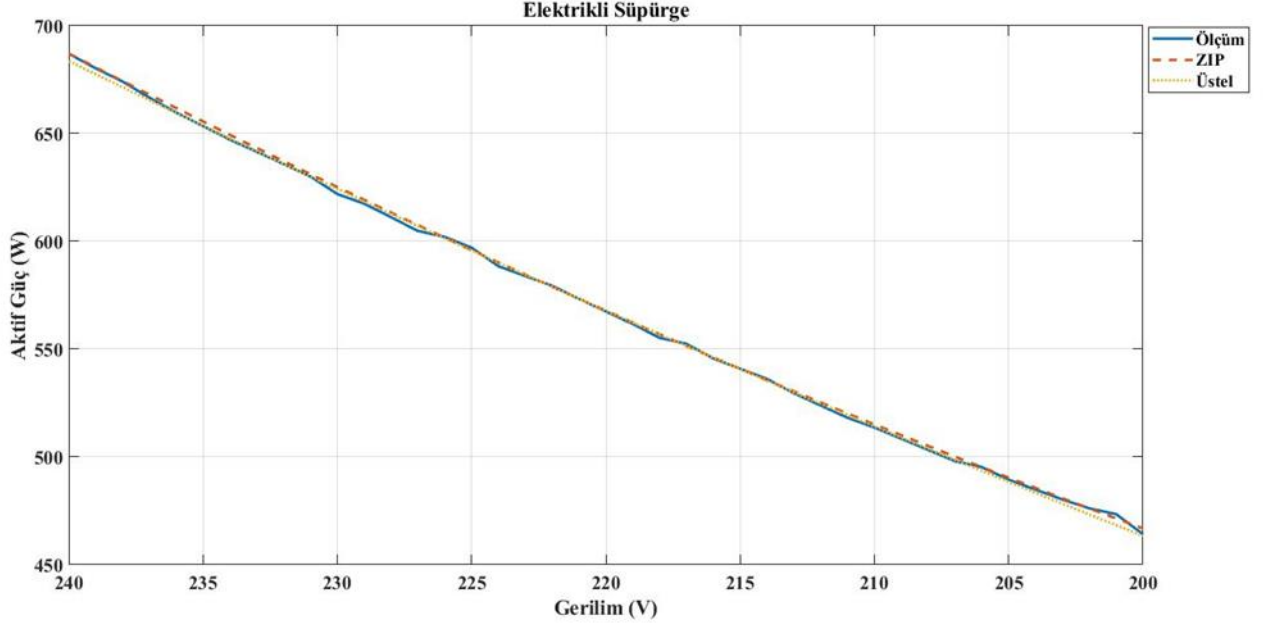


Şekil 13. LCD monitör gerilim - reaktif güç eğrisi

5.4. Elektrikli Süpürge

Elektrikli süpürge için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 14’deki gibidir. Ölçüm sonucunda nominal gerilim 220 V gerilimde

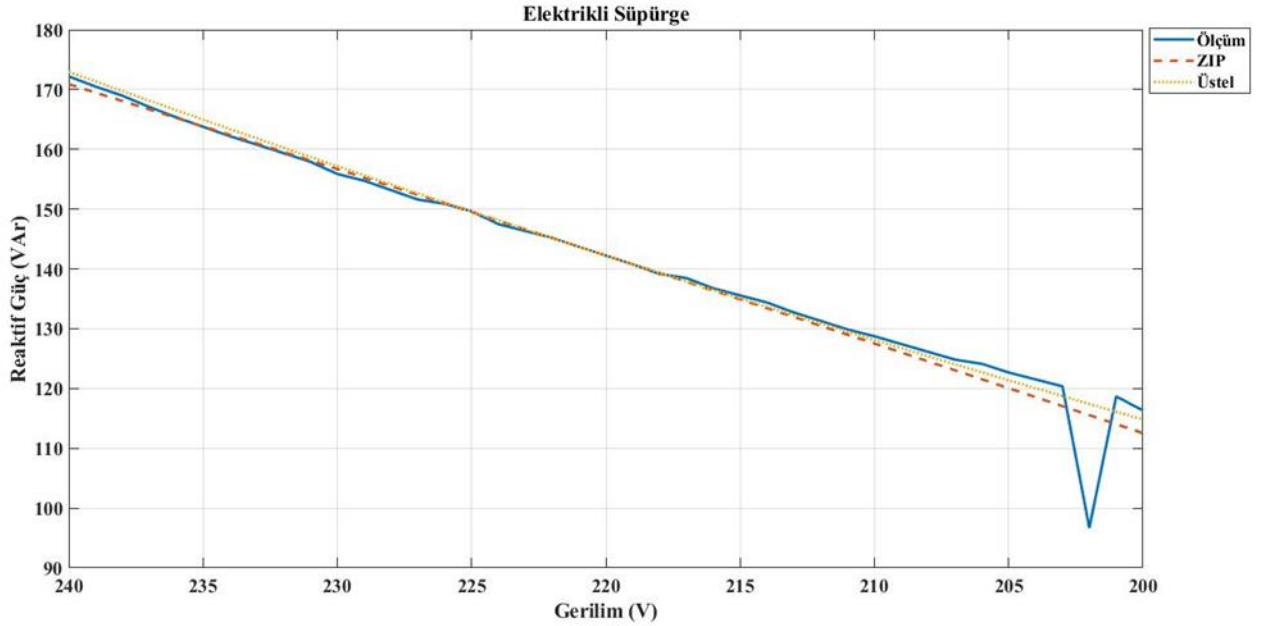
573.4 W aktif güç tükettiği baz alınarak model oluşturulmuştur. Elektrikli süpürge için ölçülen değerlerin ve hesaplanan modellerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 14. Elektrikli süpürge gerilim - aktif güç eğrisi

Nominal gerilim 220 V gerilim değerinde 143.70 VAR tükettiği baz alınarak oluşturulan model Şekil 15’te yer almaktadır. 240

– 200 V gerilim değerleri arasında ölçülen sonuçların ve hesaplanan modelin yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 15. Elektrikli süpürge gerilim - reaktif güç eğrisi

Bu çalışmada akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge için gerilimleri 240 V’tan 200 V’a kademeli olarak azaltılarak ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar bilgisayara aktarılmıştır. Her bir cihazın aktif ve reaktif güç için eşitlik (9) ve (19)’a göre ZIP yük modeli katsayıları ve üstel yük modeli katsayıları Tablo 1’de, Matlab programına ait fmincon

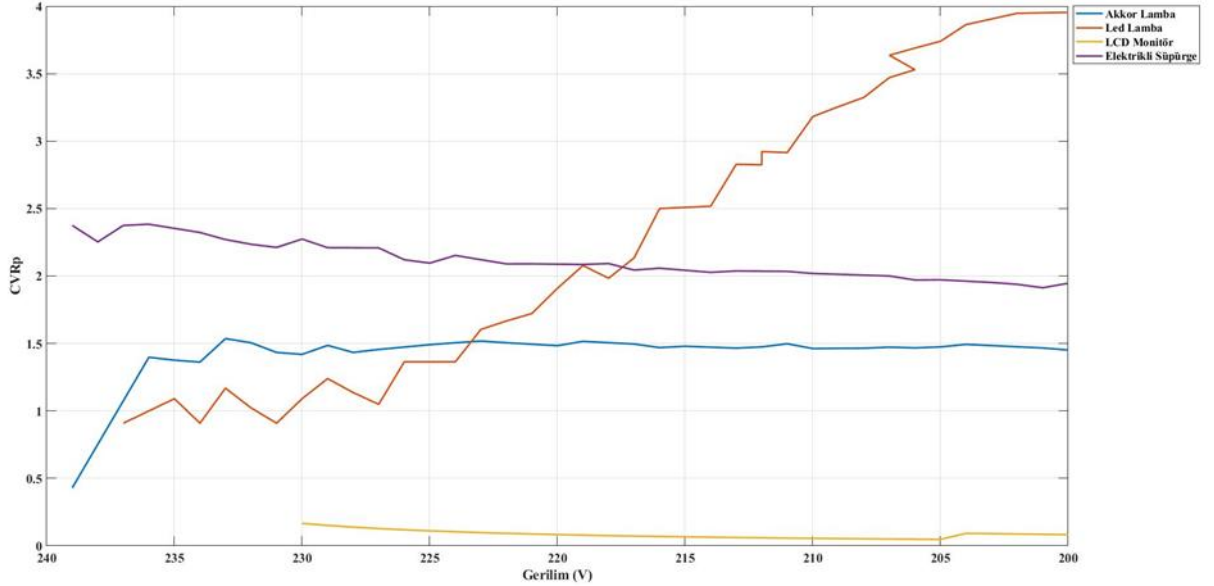
algoritmasına göre ise Tablo 2’de yer almaktadır. Sonuçlara göre her cihazın belirli oranlarda Z, I, P katsayılarını içerdiği görülmektedir.

Tablo 1. Elektriksel cihazlara ait ZIP katsayıları eşitlik (9) ve (19)'a göre parametre sonuçları

Cihaz	Z_p	I_p	P_p	Z_q	I_q	P_q	n_p	n_q
Akkor Lamba	0.4787	0.5906	-0.0696	0.4787	0.5906	-0.0696	1.5480	1.5480
LED Lamba	-27.5792	59.6921	-31.1198	-23.1145	50.9677	-26.8749	4.5337	4.7387
LCD Monitör	0.0742	-0.0838	1.0102	-0.8198	2.2613	-0.4569	0.0646	0.6218
Elektrikli Süpürge	1.9481	-1.7636	0.8140	-0.4477	3.1425	-1.6937	2.1326	2.2470

Tablo 2. Elektriksel cihazlara ait ZIP katsayıları matlab fmincon algoritmasına göre parametre sonuçları

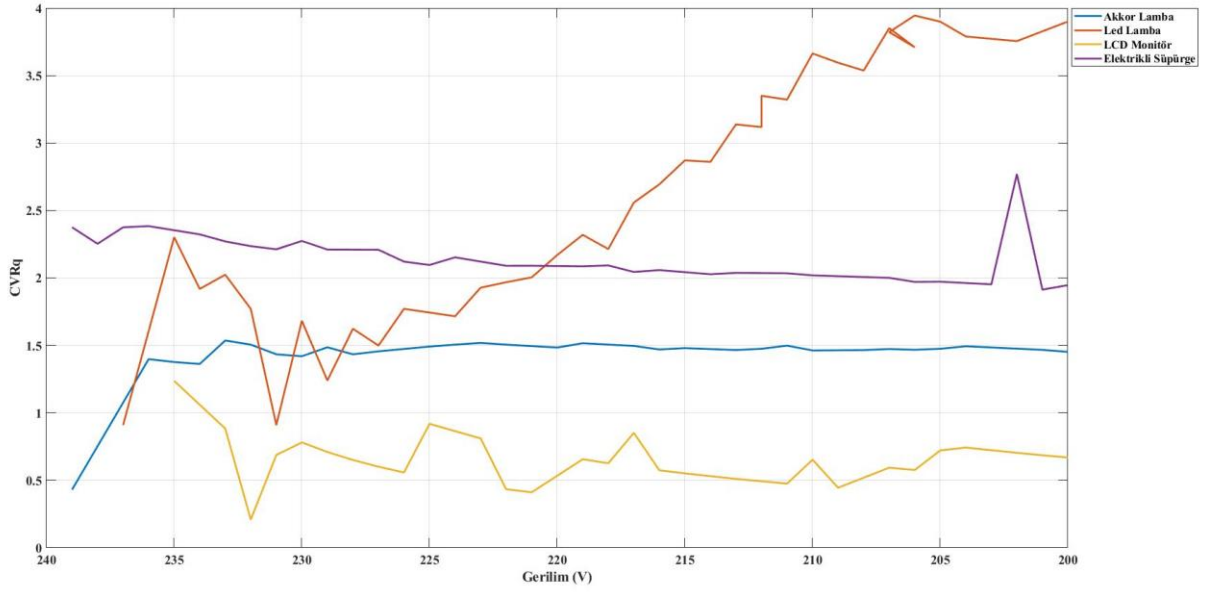
Cihaz	Z_p	I_p	P_p	Z_q	I_q	P_q	n_p	n_q
Akkor Lamba	0.4787	0.5906	-0.0696	0.4787	0.5906	-0.0696	1.5480	1.5480
LED Lamba	-27.5792	59.6921	-31.1198	-23.1145	50.9677	-26.8749	4.5337	4.7387
LCD Monitör	0.0742	-0.0838	1.0102	-0.8198	2.2613	-0.4569	0.0646	0.6218
Elektrikli Süpürge	1.9481	-1.7636	0.8140	-0.4477	3.1425	-1.6937	2.1326	2.2470



Şekil 16. Tüm cihazlara ait gerilim - CVRp eğrisi

Çalışmada kullanılan tüm cihazlar için aktif güç için CVR_p eğrisi Şekil 16'da, reaktif güç için CVR_q eğrisi Şekil 17'de yer almaktadır. Akkor lamba ve elektrikli süpürge genel olarak sabit bir CVR_p değerine sahiptir.

LCD monitör ise bu iki cihazdan daha düşük CVR_q değeri üretmiştir. LED lamba ise 240-200 V azalan gerilime göre sürekli artış göstermiştir.



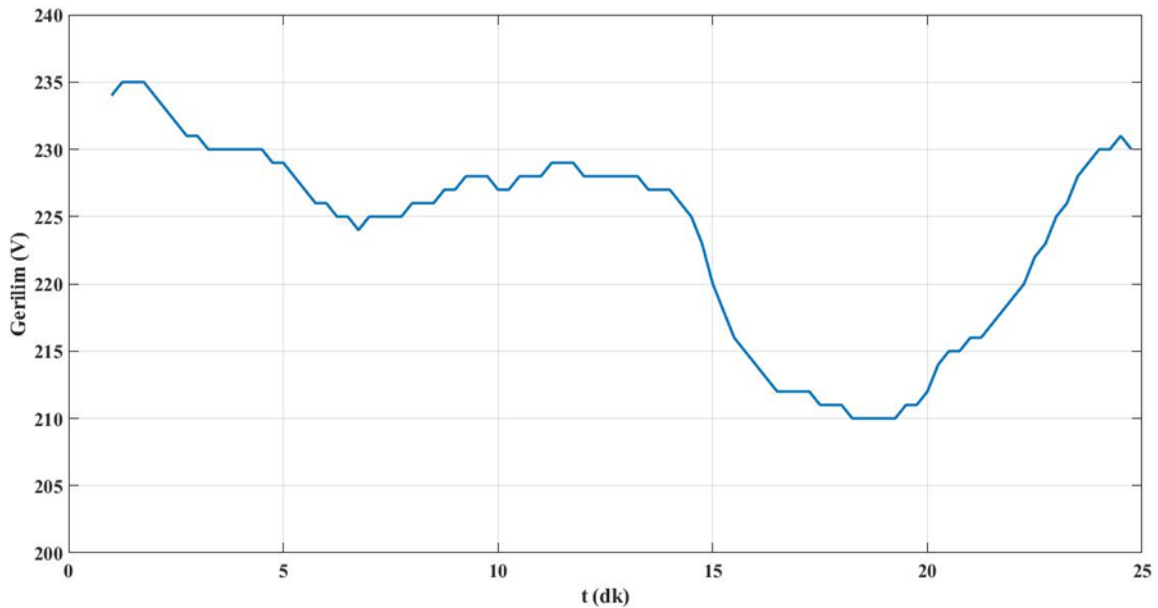
Şekil 17. Tüm cihazlara ait gerilim - CVRq eğrisi

Akkor lamba ve elektrikli süpürge genel olarak sabit bir CVR_q değerine sahiptir. LCD monitör ise bu iki cihazdan daha düşük ve CVR_p 'den yüksek değer üretmiştir. Led lamba ise 235-220 V gerilime göre CVR_p 'den yüksek sonuçlar üretmiştir.

5.5. Tahmini Güç Tüketimi

CVR yöntemi cihazlara uygulanmış ve Z, I, P katsayılarına bağlı CVR faktörü belirlenmiştir. CVR faktörü, güçteki değişimin gerilim değişimlerine oranı olduğundan, CVR'den kaynaklanan güç azalmasının da tahmin edilmesi gerekir. Şekil 18'de konutsal cihazlara uygulanan gerilimin grafiği, Tablo 3'te ise tahmini güç tüketimi ve gerçek sonuçları yer almaktadır. Buna göre akkor

lambada 48.9 W nominal güçte ve 220V nominal gerilimde, denklem (25)'e göre CVR faktörü değeri 1.5480 bulunur. 220 V ve 210 V arasında, ΔV_n 0.045 oranında gerilim değişiminde tahmini aktif güç 45.460 W'tır. Bu değer gerçekte 45.6 W'tır ve gerçek güç ile tahmini güç arasında %0.31 oranında fark vardır. Buna göre akkor lamba ve LCD monitörde tahmin edilen güç, gerçek gücün altında; LED lamba ve elektrikli süpürge ise tahmin edilen güç, gerçek gücün üzerinde bir değerde bulunmuştur. Tablo 4'te ise tahmini reaktif güç tüketimi sonuçları yer almaktadır.



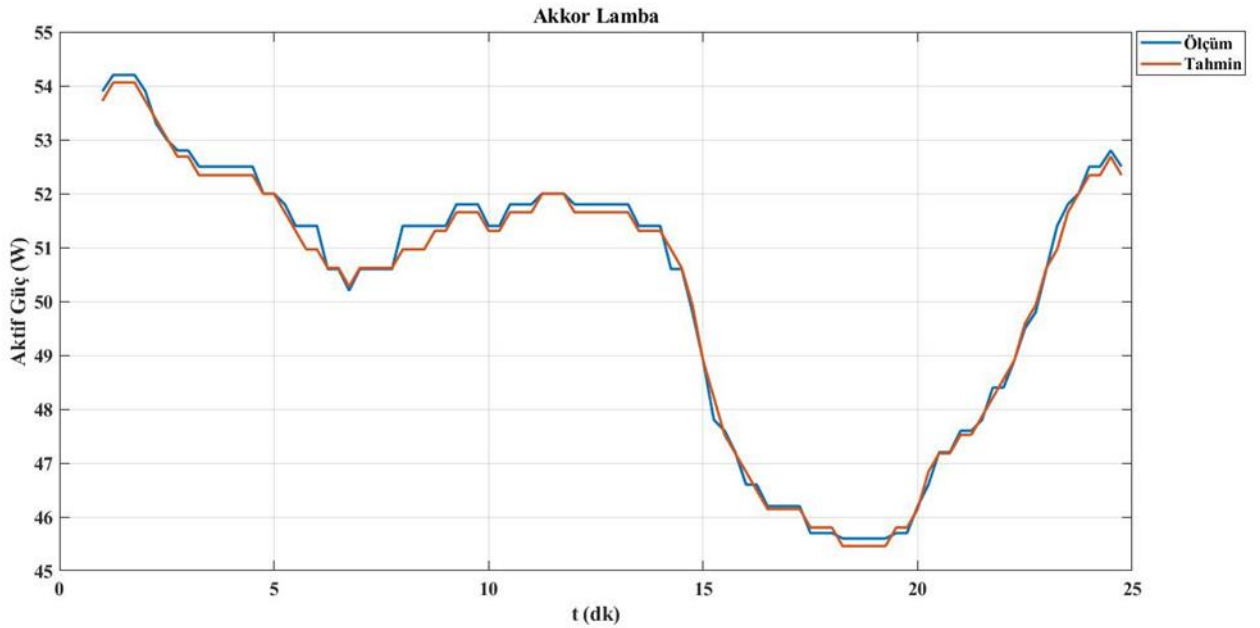
Şekil 18. Cihazlara uygulanan gerilim eğrisi

Tablo 3. Elektriksel cihazlara ait tahmini aktif güç tüketimi sonuçları

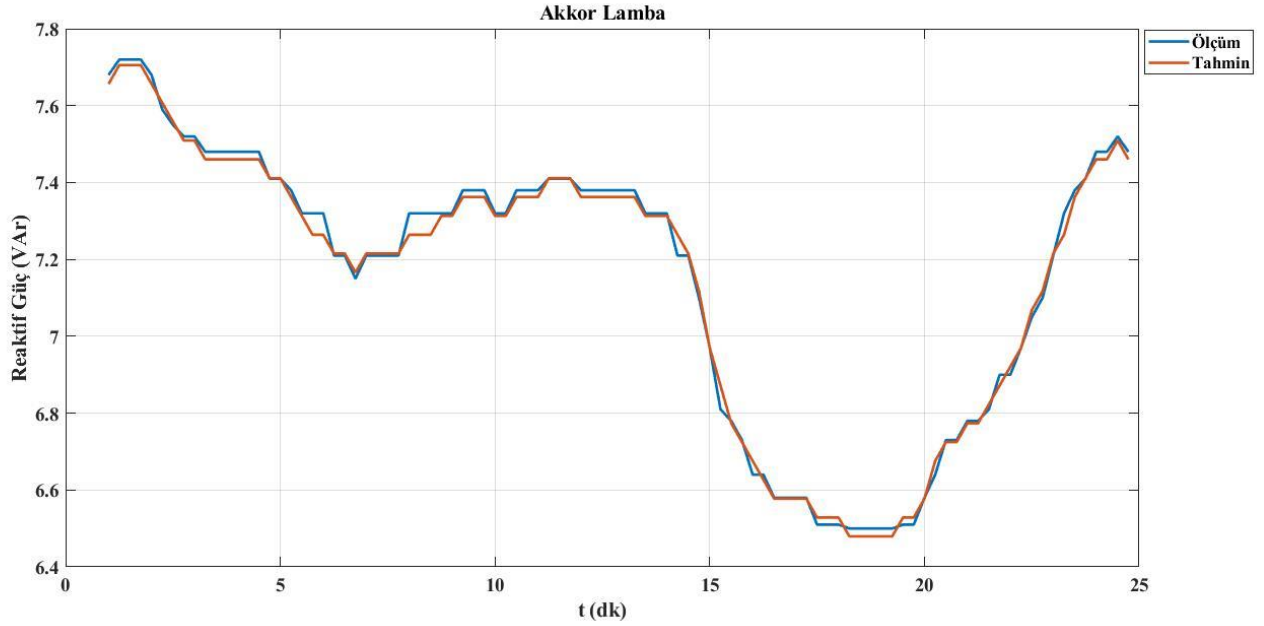
Cihaz	P_o	CVR_p	ΔV_n	P_r	P_{tahmin}	$P_{gerçek}$	Değişim
Akkor Lamba	48.9	1.5480	0.045	3.440	45.460	45.600	0.31%
LED Lamba	7.4	4.5337	0.045	1.525	5.875	5.300	-10.85%
LCD Monitör	14.3	0.0646	0.045	0.042	14.258	14.300	0.29%
Elektrikli Süpürge	573.4	2.1326	0.045	55.578	517.822	513.700	-0.80%

Tablo 4. Elektriksel cihazlara ait tahmini reaktif güç tüketimi sonuçları

Cihaz	Q_o	CVR_q	ΔV_n	Q_r	Q_{tahmin}	$Q_{gerçek}$	Değişim
Akkor Lamba	6.97	1.5480	0.045	0.490	6.480	6.500	0.31%
LED Lamba	9.36	4.7387	0.045	2.016	7.344	6.200	-18.45%
LCD Monitör	21.71	0.6218	0.045	0.614	21.096	20.610	-2.36%
Elektrikli Süpürge	143.7	2.2470	0.045	14.676	129.024	128.700	-0.25%



Şekil 19. Akkor lambaya ait ölçüm ve tahmini aktif güç eğrisi



Şekil 20. Akkor lambaya ait ölçüm ve tahmini reaktif güç eğrisi

Şekil 18 ve Şekil 19'da akkor lambanın zaman içerisinde değişen gerilimde, aktif ve reaktif güce ait ölçüm ve tahmini güç eğrileri yer almaktadır. Her iki grafiğe göre tahmin edilen gücün ölçüm değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, gerilim değişimi altında elektriksel cihazların ZIP yük modeli ve üstel yük modeli katsayılarının belirlenmesi sunulmaktadır. Güç ve gerilim arasındaki ilişkiyi bulmak için kademeli olarak gerilim azaltımı yapılarak testler yapılmıştır. Testler sonucunda Arduino ve PZEM-004T modülü ile elde edilen parametreler MS Excel'e aktarılmıştır. Ardından Matlab'e aktarılan parametreler ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak ZIP yük modeline ait katsayılar bulunmuştur. Ardından bu katsayılar ile Z, I ve P'ye bağlı üstel yük modeli katsayıları elde edildi. Sonrasında bu katsayılar iç nokta algoritması ile de bulunarak cihazlara ait eğriler elde edilmiştir. Gerilim azaltımı yapılarak CVR faktörü değerlendirilmiştir de yapılmıştır. Ayrıca, ZIP katsayılarından CVR faktörü elde edilerek tahmini güç tüketimi hesaplanmıştır.

ZIP ve üstel yük modeli her bir cihaz için incelenmiş olup akkor lamba için her iki modelin uygun sonuçlar ürettiği, LED lamba için ZIP yük modelinin daha uygun olduğu, LCD monitör için her iki yük modelinin benzer sonuç verdiği ve elektrikli süpürge için ise her iki yük modelinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

210V gerilim değerinde aktif güç için akkor lamba ve LCD monitörde tahmin edilen güç, gerçek gücün altında; LED lamba ve elektrikli süpürge ise tahmin edilen güç, gerçek gücün üzerinde bir değerde bulunmuştur.

Bu çalışma geliştirilerek güç dağıtım merkezlerinden CVR yöntemi uygulanarak son tüketicide bulunan ekipman ve cihazların kapanması veya arıza olmayacak şekilde nominal gerilimden daha düşük gerilim seviyeleri ile çalıştırılabilir. Tahmini güç tüketimi ile de CVR yöntemi uygulanması durumunda ZIP yük parametrelerine bağlı olarak ne kadarlık güç

tüketimi olacağı ve ne kadarlık güç azaltımı olacağı hesaplanabilmektedir. Bu çalışma ile gerilim değişimi üzerinden hem müşteri yük profili hem de nominal talepten gerçek talep (P ve Q) tahmin etmek için uygulanabilir.

7. Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesi için her türlü imkan ve yardımı sağladığı için Dr. Öğr. Üyesi Selçuk Emiroğlu'na teşekkür ederim.

Kaynakça

- Quilumba, F. L., Lee, W. J., Huang, H., Wang, D. Y., & Szabados, R. L. (2011). Load model development for next generation appliances. *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*. <https://doi.org/10.1109/IAS.2011.6074402>
- Zhao, B., Tang, Y., Zhang, W. C., & Wang, Q. (2010). Modeling of common load components in power system based on dynamic simulation experiments. *2010 International Conference on Power System Technology: Technological Innovations Making Power Grid Smarter, POWERCON2010*. <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666712>
- Schneider, K. P., & Fuller, J. C. (2010). Detailed end use load modeling for distribution system analysis. *IEEE PES General Meeting, PES 2010*. <https://doi.org/10.1109/PES.2010.5588151>
- Duan, J., Czarkowski, D., Zabar, Z., & Lee, S. (2007). Characteristics of modern nonlinear loads and their influence on systems with distributed generation. *Int. J. Energy Technology and Policy*, 5(2), 219–240.
- Patton, J. B., & Ilic, J. (1993). Identification of static distribution load parameters using general regression neural networks. *Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 2, 1023–1026. <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.1993.343245>
- Yiğit, E., Özkaya, U., Öztürk, Ş., Singh, D., & Gritli, H. (2021). Automatic detection of power quality disturbance using convolutional neural network structure with gated recurrent unit. *Mobile Information Systems*, 2021.
- McKeever, J. W., Lawler, J., Downing, M., Stahlhut, R. D., Bremmer, R., Shoemaker, J. M., Seksarian, A. K., Poore, B.,

- & Lutz, J. F. (1982). *Electric energy systems theory: an introduction*. <https://doi.org/10.2172/974598>
- Metalografi - A. Emel Geçkinli - Google Kitaplar.* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from https://books.google.com.tr/books/about/Metalografi.html?id=2V8kPwAACAAJ&redir_esc=y
- Arif, A., Wang, Z., Wang, J., Mather, B., Bashualdo, H., & Zhao, D. (2018). Load modeling - A review. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 5986–5999. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2700436>
- Quilumba, F. L., Lee, W. J., & Játiva-Ibarra, J. (2013). Load models for flat panel TVs. *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*. <https://doi.org/10.1109/IAS.2013.668258>
- Hatipoglu, K., Fidan, I., & Radman, G. (2012). Investigating effect of voltage changes on static ZIP load model in a microgrid environment. *2012 North American Power Symposium, NAPS 2012*. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2012.6336407>
- Collin, A. J., Tsagarakis, G., Kiprakis, A. E., & McLaughlin, S. (2014). Development of low-voltage load models for the residential load sector. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(5), 2180–2188. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2301949>
- Milanović, J. V., Yamashita, K., Martínez Villanueva, S., Djokić, S. Ž., & Korunović, L. M. (2013). International industry practice on power system load modeling. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(3), 3038–3046. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2231969>
- Lamberti, F., Dong, C., Calderaro, V., & Ochoa, L. F. (2013). Estimating the load response to voltage changes at UK primary substations. *2013 4th IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, ISGT Europe 2013*. <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2013.6695466>
- Tesfasilassie, M., Zarghami, M., Vaziri, M., & Rahimi, A. (2014). An estimative approach for CVR effectiveness using aggregated load modeling. *2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2014*. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2014.6816382>
- Hossan, M. S., Maruf, H. M. M., & Chowdhury, B. (2018). Comparison of the ZIP load model and the exponential load model for CVR factor evaluation. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2018-January*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2017.8274490>
- Gutierrez-Lagos, L., & Ochoa, L. F. (2020). On the Inadequacy of the CVR Factor for Active Schemes. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(3), 1592–1595. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2944750>
- Emiroğlu, S. (2017). *Dağıtık üretimli elektrik enerji sistemlerinde gerilim azaltım yöntemi ile enerji optimizasyonu*. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/76382>
- Test varyak - Regülatörler, Varyak, Transformatörler.* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from <https://www.guvenisregulator.com.tr/p88-test-varyak>
- Kumar, T. A., & Ajitha, A. (2018). Development of IOT based solution for monitoring and controlling of distribution transformers. *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies, ICICICT 2017, 2018-January*, 1457–1461. <https://doi.org/10.1109/ICICICT1.2017.8342784>
- pr_01_2173.jpg (817×570).* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from https://st2.myideasoft.com/shop/dr/21/myassets/products/173/pr_01_2173.jpg?revision=1445079759
- PZEM-004T V3 Module | Arduino & NodeMCU Code, Circuit, Pinout And Library.* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from <https://innovatorsguru.com/pzem-004t-v3/>
- PZEM-004T-3-0-TTL-Modbus-Electric-Kwh-Energy-Meter-Wattmeter-Voltmeter-Ammeter-Volt-Amp-Power.png (800×800).* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from <https://ae01.alicdn.com/kf/Hdf071eab2aa5439e9c31fa0ef40acdb4W/PZEM-004T-3-0-TTL-Modbus-Electric-Kwh-Energy-Meter-Wattmeter-Voltmeter-Ammeter-Volt-Amp-Power.png>
- Regresyon, A., Kullanilan, E. N., Küçük, K., Ve, E. N., Küçük, M., Kareler, Y., Karşılaştırılması, Ö., Gürünlü, A., Vupa Dokuz, Ö., Üniversitesi, E., Fakültesi, F.-E., & Bölümü, İ. (2008). *SDÜ FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ FEN DERGİSİ (E-DERGİ)*. 3(2), 219–229.
- Sadeghi, M., & Abdollahi Sarvi, G. (2009). Determination of ZIP parameters with least squares optimization method. *2009 IEEE Electrical Power and Energy Conference, EPEC 2009*. <https://doi.org/10.1109/EPEC.2009.5420883>
- Carneiro, A. S., Araujo, L. F., Pereira, J. L. R., Garcia, P. A. N., Melo, I. D., & Amaral, M. B. (2017). Static load modeling based on field measurements. *2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017*. <https://doi.org/10.1109/PTC.2017.7981230>
- Find minimum of constrained nonlinear multivariable function - MATLAB fmincon.* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html#d124e94060>
- An, K., Liu, H. J., Zhu, H., Dong, Z. Y., & Hur, K. (2016). Evaluation of Conservation Voltage Reduction with Analytic Hierarchy Process: A Decision Support Framework in Grid Operations Planning. *Energies 2016, Vol. 9, Page 1074*, 9(12), 1074. <https://doi.org/10.3390/EN9121074>
- Alkrch, M. (2020). LED ZIP Model Development. *Dissertations and Student Research: Architectural Engineering*. <https://digitalcommons.unl.edu/archengdiss/64>
- What is Data Streamer?* (n.d.). Retrieved October 14, 2022, from <https://support.microsoft.com/en-us/office/what-is-data-streamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f>