

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONUTSAL YÜKLERİN PARAMETRE VE
GÜÇ TÜKETİMİ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan BAYRAM

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Bilim Dalı

OCAK 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONUTSAL YÜKLERİN PARAMETRE VE
GÜÇ TÜKETİMİ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan BAYRAM

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk EMİROĞLU

OCAK 2023

Ramazan BAYRAM tarafından hazırlanan “Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini” adlı tez çalışması 23.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Dr. Öğr. Üyesi Selçuk EMİROĞLU Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Metin VARAN Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(23 /01 /2023)

Ramazan BAYRAM





Canim aileme...



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesiyle aşmamda yardımcı olan, sabrını ve desteğini her zaman hissettiğim değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selçuk EMİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmeme vesile olan, hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ramazan BAYRAM



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	1
1.2. Tezin Amacı	2
1.3. Orijinal Katkı	3
2. YÜK MODELİ TİPLERİ	5
2.1. Statik Yük Modeli	5
2.1.1. Polinomal yük modeli (ZIP yük modeli)	6
2.1.2. Üstel yük modeli	7
2.2. Dinamik Yük Modeli	8
2.3. Yük Modeli Parametrelerinin Tanımlanması	8
2.3.1. Ölçüme dayalı modeller	8
2.3.2. Bileşen tabanlı modeller	8
2.4. Gerilim Azaltım Yöntemi (CVR)	9
2.4.1. CVR ile ilgili çalışmalar	9
3. PARAMETRELERİN HESAPLANMASI	11
3.1. En Küçük Kareler Yöntemi İle ZIP Katsayılarının Hesaplanması	11
3.2. Paralel Bağlı Yükün ZIP Katsayılarının Hesaplanması	12
3.3. İç Nokta Yöntemi İle Yük Modeli Katsayılarının Hesaplanması	14
3.4. ZIP Katsayılarına Dayalı Tahmini Güç Tüketimi	15
3.5. Donanım	16
3.5.1. Varyak	16
3.5.2. Arduino Uno	17
3.5.3. PZEM-004T (10A) modül	17
3.6. Test Prosedürü	18
3.7. Verilerin Aktarılması	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Ölçümü Yapılan Cihazlar	21
4.1.1. Akkor lamba	21
4.1.2. LED lamba	22
4.1.3. LCD monitör	23
4.1.4. Elektrikli süpürge	24
4.2. Tahmini Güç Tüketimi	29

4.2.1. Akkor lamba	30
4.2.2. LED lamba	31
4.2.3. LCD monitör	32
4.2.4. Elektrikli süpürge	34
4.3. Paralel Bağlı Yük Sonuçları	35
4.3.1. Birinci durum	35
4.3.2. İkinci durum	36
4.3.3. Üçüncü durum	38
4.4. Tahmini Güç Tüketimi	42
4.4.1. Birinci durum	46
4.4.2. İkinci durum	47
4.4.3. Üçüncü durum	48
4.5. Gerçek Şebeke Gerilimde Uygulama	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

CVR	: Conservation Voltage Reduction (Gerilim Azaltım Yöntemi)
EKK	: En Küçük Kareler
LCD	: Liquid Crystal Display
LED	: Light-Emitting Diodes
TTL	: Time To Live
TV	: Television
USB	: Universal Serial Bus
ZIP	: ZIP Yük Modeli



SİMGELER

V	: Gerilim [Volt]
VA_r	: Reaktif Güç [Volt Amper reaktif]
W	: Aktif Güç [Watt]
CVR_p	: Aktif Güç CVR Faktörü
CVR_q	: Reaktif Güç CVR Faktörü





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Elektriksel cihazlara ait polinomal ve üstel yük modeli katsayıları.....	27
Tablo 4.2. Elektriksel cihazlara ait polinomal ve üstel yük modeli katsayılarının iç nokta yöntemine göre sonuçları.	27
Tablo 4.3. Elektriksel cihazlara ait tahmini aktif güç tüketimi sonuçları.....	29
Tablo 4.4. Elektriksel cihazlara ait tahmini reaktif güç tüketimi sonuçları.	30
Tablo 4.5. Elektriksel cihazların bireysel ve birlikte çalışmasına ait polinomal ve üstel yük modeli katsayıları sonuçları.	40
Tablo 4.6. Elektriksel cihazlara ait tahmini aktif güç tüketimi sonuçları.....	44
Tablo 4.7. Elektriksel cihazlara ait tahmini reaktif güç tüketimi sonuçları.	45



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Statik yük modeli karakteristiği.	6
Şekil 3.1. Tahmini güç tüketimi akış şeması.	15
Şekil 3.2. Varyak [40].	16
Şekil 3.3. Arduino Uno [42].	17
Şekil 3.4. PZEM-004T 10A modülü [43].	17
Şekil 3.5. PZEM-004T modülü blok diyagramı [44].	18
Şekil 3.6. Test ölçüm akış şeması.	18
Şekil 3.7. Test ölçüm düzeneği ve verilerin bilgisayara aktarılması.	19
Şekil 3.8. Test ölçüm düzeneği.	19
Şekil 3.9. Verilerin Excel'e aktarılması.	20
Şekil 4.1. Akkor lamba gerilim - aktif güç eğrisi.	21
Şekil 4.2. Akkor lamba gerilim - reaktif güç eğrisi.	22
Şekil 4.3. LED lamba gerilim - aktif güç eğrisi.	23
Şekil 4.4. LED lamba gerilim - reaktif güç eğrisi.	23
Şekil 4.5. LCD monitör gerilim - aktif güç eğrisi.	24
Şekil 4.6. LCD monitör gerilim - reaktif güç eğrisi.	24
Şekil 4.7. Elektrikli süpürge gerilim - aktif güç eğrisi.	25
Şekil 4.8. Elektrikli süpürge gerilim - reaktif güç eğrisi.	25
Şekil 4.9. Tüm cihazlara ait gerilim - CVRp eğrisi.	28
Şekil 4.10. Tüm Cihazlara ait gerilim - CVRq eğrisi.	28
Şekil 4.11. Akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.	30
Şekil 4.12. Akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.	31
Şekil 4.13. LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.	31
Şekil 4.14. LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.	32
Şekil 4.15. LCD Monitöre ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.	33
Şekil 4.16. LCD Monitöre ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.	34
Şekil 4.17. Elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.	34
Şekil 4.18. Elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.	35
Şekil 4.19. Akkor lamba ve LED lamba gerilim – aktif güç eğrisi.	36
Şekil 4.20. Akkor lamba ve LED lamba gerilim – reaktif güç eğrisi.	36
Şekil 4.21. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör gerilim – aktif güç eğrisi.	37
Şekil 4.22. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör gerilim – reaktif güç eğrisi.	38
Şekil 4.23. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör, elektrikli süpürge gerilim – aktif güç eğrisi.	38
Şekil 4.24. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör, elektrikli süpürge gerilim - reaktif güç eğrisi.	39
Şekil 4.25. Birlikte çalışma durumları için gerilim – CVRp eğrisi.	41
Şekil 4.26. Birlikte çalışma durumları için gerilim – CVRq eğrisi.	42
Şekil 4.27. Tahmini güç için uygulanan gerilim profili.	42
Şekil 4.28. Akkor lamba ve LED lamba birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.	46

Şekil 4.29. Akkor lamba ve LED lamba birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.....	47
Şekil 4.30. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.	47
Şekil 4.31. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.	48
Şekil 4.32. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.	48
Şekil 4.33. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.	49
Şekil 4.34. Şebeke gerilimin zamana değişimi.	50
Şekil 4.35. Şebeke geriliminde aktif güç için yük modelleri.	50
Şekil 4.36. Şebeke geriliminde reaktif güç için yük modelleri.	51
Şekil 4.37. Varyak yardımı ile şebeke geriliminin azaltılması.	51
Şekil 4.38. Şebeke geriliminden elde edilen tahmini aktif güç.....	52
Şekil 4.39. Şebeke geriliminden elde edilen tahmini reaktif güç.....	52
Şekil 4.40. Azaltılmış gerilimde gerçek ve tahmini aktif güç yüzdesel değişim.	53
Şekil 4.41. Azaltılmış gerilimde gerçek ve tahmini reaktif güç yüzdesel değişim. ...	53

KONUTSAL YÜKLERİN PARAMETRE VE GÜÇ TÜKETİMİ TAHMİNİ

ÖZET

Enerji dağıtım sistemleri, müşterilerinin cihazlarının çalışması için gerekli elektrik enerjisini ulaştırmak amacıyla kurulan sistemdir. Bu dağıtım sisteminin son noktasında ise bir ve birden fazla cihazlardan oluşan yük topluluğu bulunmaktadır. Yüklerin gerilim değerlerine duyarlılık gösterdiği bilinmektedir ve bu duyarlılığın önemi değerlendirilmelidir. Bu nedenle, yüklerin davranışını bilmek çok önemlidir. Bu sorunun ideal çözümü olarak, doğru bir yük modellemesi elde etmektir.

Gelişen teknoloji sayesinde elektrikli cihazların performansı da değişmiştir. Bu değişimle birlikte cihazların yük modellerinin incelenmesi ve güncellenmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile, evlerde kullanılan elektrikli cihazlar üzerinde polinomal ve üstel yük modellerinin uygunluğu incelenmiştir ve yük modellerine ait katsayılar yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Gerilim, akım, güç ve güç faktörü parametreleri PZEM-004T modülü kullanılarak ölçülmüştür. Bu modül kullanımı hem kolay ve hem de ekonomik olduğu için tercih edilmiştir. Bu modül ile ölçülen parametreler Arduino Uno ile bilgisayara aktarılıp MATLAB'de bu iki yük modellerinin katsayıları hesaplanmıştır. Polinomal ve üstel yük modeli katsayıları En Küçük Kareler yöntemi ve iç nokta yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Polinomal yük modeli katsayıları ile tahmini güç tüketimi hesaplanmıştır. Şebeke geriliminde çalıştırılan tüm cihazların gerilim ve güç verilerinden elde edilen polinomal yük modeli katsayıları varyasyon yardımıyla gerilim azaltılarak tüm cihazların tüketeceği tahmini güç değerleri hesaplanmıştır.

İlk olarak bu cihazların bireysel kullanımındaki durumları ve daha sonrasında birlikte kullanım durumları incelenmiştir. Bireysel kullanımını durumunda; akkor lamba ve elektrikli süpürge için her iki yük modeli gerçek ölçüm sonuçlarına çok yakın olduğu görülmüştür. LED lamba için her iki yük modeli nominal gerilim çevresinde gerçek güç değerlerine yakın sonuç vermektedir. Bireysel kullanımda polinomal yük modeli katsayılarına dayalı tahmini güç tüketiminde ise akkor lamba için aktif ve reaktif tahmini güç tüketimi ölçüm sonuçlarına yakın; LED lambada aktif ve reaktif tahmini güç tüketimi ölçüm sonuçlarının yakın olmakla birlikte hafif üzerinde; LCD monitörde çoğunlukla ölçüm sonuçlarının yakın olmakta birlikte üzerinde ve elektrikli süpürge ise tahmini güç tüketiminin ölçüm sonuçlarına yakın olduğu gözlemlenmiştir.

İkinci olarak cihazların birlikte kullanımı yani paralel bağlanması durumu incelenmiştir. Buna göre birinci durum olarak akkor lamba ve LED lamba birlikte çalıştığında polinomal yük modelinin üstel modele göre ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu; ikinci durum olarak akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör birlikte çalıştığında birinci duruma benzer sonuçlar verdiği; üçüncü durum olarak tüm cihazların birlikte çalıştığında her iki modelin gerçek sonuçlara yakın olduğu tespit edilmiştir. Birlikte kullanımdaki polinomal yük modeli katsayılarına dayalı tahmini güç tüketiminde ise aktif güç için gerçek sonuçlara yakın sonuçlar bulunmuştur.



PARAMETER AND POWER CONSUMPTION ESTIMATION OF RESIDENTIAL LOADS

SUMMARY

Energy distribution systems are available to meet the needs of their customers. Therefore, it is very important to know the behavior of loads. It is known that loads are sensitive to voltage values and the importance of this sensitivity should be evaluated. The ideal solution to this problem is to obtain an accurate load modeling. The polynomial load model (ZIP) is a well-known model and represents the relationship between active and reactive power as a function of applied voltage.

Thanks to the developing technology, the performance of electrical devices has also changed. With this change, it is necessary to examine and update the load models of the devices. In this study, the suitability of the polynomial and exponential load models on the electrical devices used in homes was examined and the coefficients of the load models were obtained as a result of the experiments. Voltage, current, power and power factor parameters were measured using the PZEM-004T module. This module has been preferred because it is both easy and economical to use. The parameters measured with this module were sent to the computer with Arduino Uno and the coefficients of these two load models were calculated in MATLAB. The coefficients of the polynomial and exponential load model were obtained using the Least Squares method and the interior point method. The estimated power consumption was calculated with the coefficients of the polynomial load model. The polynomial load model coefficients obtained from the voltage and power data of all devices operated at the mains voltage were reduced with the help of variac, and the power values to be consumed by all devices were calculated.

First of all, the situations of individual use of these devices and then the situations of use together were examined. In the case of individual use; The ZIP and exponential load model obtained with the coefficients for the incandescent lamp and vacuum cleaner are very close to the real load model thanks to the measurements. The ZIP and exponential load model obtained for the LED lamp, on the other hand, gives results close to the real power values around the nominal voltage. In the estimated power consumption based on the ZIP load model coefficients in individual use, the active and reactive estimated power consumption for the incandescent lamp is close to the measurement results; The active and reactive estimated power consumption of the LED lamp is above the measurement results; It was found to be above the measurement results in the LCD monitor and close to the measurement results of the estimated power consumption in the vacuum cleaner.

Secondly, the use of devices together, that is, their parallel connection, is examined. Accordingly, as the first case, when the incandescent lamp and the LED lamp work together, the ZIP load model is close to the measurement results compared to the exponential model; as the second case, when the incandescent lamp, LED lamp and LCD monitor work together, it gives results similar to the first case; As the third case, when incandescent lamp, LED lamp, LCD monitor and vacuum cleaner work together,

both models are found to be close to real results. In the estimated power consumption based on the ZIP load model coefficients in use together, results close to the actual results were found for active power.



1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi için çok sayıda cihazdan oluşan birbirine bağıli sistemler olan güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretim, dağıtım, iletim ve tüketimini içermektedir. Yük, sisteme bağıli cihazların toplam tükettiğı güç olarak tanımlanabilir ve sistem performansı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Gelişen teknolojik cihazlar ile birlikte, yüklerin sistem üzerindeki etkileri de artmaktadır. Bu nedenle, yüklerin davranışının incelenmesi ve uygun yük modelinin seçilmesi sistem analizi açısından önem taşımaktadır.

Elektrik güç sistemi üzerinde yük özelliklerinin etkisinin önemi ve yük modelinin doğru bir şekilde tanımlanmasının önemi, uzun zamandır bilinen bir konudur. Araştırmacılar, gerçek yük davranışını anlamaya yönelik olarak, yüklerin aktif ve reaktif güçlerinin gerilim ve frekansa bağıli olarak nasıl değiştiğini açıklamaya çalışmıştır.

1.1. Literatür Özeti

Quilumba ve ekibi (2011), gerçekleştirdikleri bu sistemde ZIP yük modelini benimseyerek televizyonların ve oyun konsollarının yük davranışını ve güç sistemindeki durumunu analiz etmeyi amaçlamıştır. ZIP yük modeli, LED Televizyon, XBOX 360, LCD Televizyon ve PlayStation 3 gibi cihazlar üzerinde yapılan çeşitli testlerinden elde edilen değerler için geliştirilmiştir [1].

Quilumba ve ekibi (2014), yük modeli araştırmalarını LCD ve LED gibi farklı boyutlardaki TV türleri üzerinde yapmışlardır. Bu araştırmadaki hedefleri, TV'lerin enerji tüketimini ve davranışlarını incelemektir. Farklı gerilim değişimlerine maruz bırakılan çeşitli TV türleri test edilmiştir [2].

Zhao ve ekibi (2010), gerçekleştirdikleri bu çalışmada LCD monitör, akkor, sodyum ve floresan lamba , masaüstü ve dizüstü bilgisayar ve mikrodalga fırın gibi cihazların yük bileşenleri dinamik simülasyon deneylerine dayalı olarak modellemiştir [3].

Schneider ve ekibi (2010), ZIP yük modeli kullanarak dağıtım sistemi analizine dahil edilen son kullanım yük modellerini geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu geliştirme ile

enerji verimliliği ve talep tepkisi gibi enerji tüketimine etki eden faktörlerin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilmiştir [4].

Duan ve ekibi (2007), doğrusal olmayan elektronik yüklerin gerilimdeki değişikliklere tepkilerini incelemiştir. ZIP modeli, ölçümlerden elde edilerek, nominal gerilimdeki aktif ve reaktif güçler bazında bireysel yük ekipmanlarını analiz etmek için bilgisayar programı oluşturulmuştur [5].

Li ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan yüklerin aktif ve reaktif güçlerinin yük modelindeki etkilerini çıkarmışlardır. Yük modeli parametrelerini belirlemek için sundukları yöntemin orta ve büyük ölçekli sistemlere uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır [6].

Lamberti ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmada, gerilimde azaltım yapılarak belirli yüklerde güç talebinin yönetilebileceğini öne sürmüşlerdir. Bir bölgeye ait yükleri ZIP parametreleri ile modellemişlerdir. Yük tepkilerini gerilim değişimlerine göre incelemişler ve aktif gücün gerilimle azalırken doğrusal olarak azaldığını ZIP parametrelerine bağlı göstermişlerdir [7].

Bu çalışmanın temel amacı konutsal yüklere gerilim azaltımı yöntemi (CVR) uygulanarak elde edilen polinomal (ZIP) yük modeli ve üstel (eksponansiyel) yük modelini karşılaştırmak ve uygun olan yük modelini tespit etmektir. Tahmini güç tüketimi ile de CVR yöntemi uygulanmasa bile ZIP yük parametrelerine bağlı olarak ne kadarlık güç tüketimi ve tasarrufu olacağı hesaplanabilmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı konutsal yüklerin ZIP ve üstel yük modellerini gözden geçirmek ve değerlendirmektir. Gerilim azaltma yöntemi (CVR) altında yüklerin ZIP ve üstel yük modeli katsayılarının deneysel olarak belirlenerek ve bu yük modellerinin herhangi bir gerilim veya gerilim azaltımı altında ne kadar güç tükettiğinin tahmini sayesinde tasarrufun belirlenmesi amaçlanmıştır. İlk adımda yüklerin bireysel kullanım için, ikinci adımda ise yüklerin paralel bağlı şekilde kullanılması durumu için yük modelleri incelenmiştir. Ayrıca, ZIP yük modeli katsayılarına dayalı olarak gerilim azaltıldığında veya azalması durumunda yükün gücü tahmin edilerek güç azalması tasarrufu elde edilir ve gerçek sonuçlara göre doğrulanır.

Elektrik sayaçlarından müşterilerin tükettiği enerji miktarları elektrik dağıtım şirketleri tarafından uzaktan okunabilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı küçük yüklerden büyük yüklere doğru apartman/site ve trafoların bağlı olduğu mahalle/köy gibi yerleşim yerlerinin yük modellerinin elektrik sayaçları üzerinden elde edilecek parametreler ile yük profilinin çıkarılmasını sağlamak ve gerilim azaltımının yapılacağı gerilim değerinde tahmini güç tüketimini hesaplamaktır. Böylece elektriksel cihazların çalışmasını ve verimini etkilemeyecek şekilde standartlarda belirlenen limitler dahilinde gerilim azaltımı yapılarak hem dağıtım sisteminin korunması hem de elektrik enerjisi üretimi esnasında kullanılan fosil yakıtların tüketiminin azaltılması sağlanır.

1.3. Orijinal Katkı

Güç sistemleri sürekli olarak yeni elektriksel yüklerle birlikte kapsamı hızlı olarak artmaktadır. Bu yüklerin artışı ile birlikte sistem olan etkileri ve yük modeliyle ilgili çalışmalar güncellenmeli ve geliştirilmelidir. Literatürde yüklerin modellenmesine ilişkin birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Yük modellerinin geliştirilmesi ve incelenmesinin yanı sıra bu yük modelleriyle bağlantılı tahmini güç tüketimi de incelenecek konulardan birisidir. Bu durumda yapılacak olan çalışmalarla birlikte hem doğru bir yük modeli hem de gerçek ölçümlere yakın tahmini güç tüketiminin elde edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Doğru bir yük modelinin elde edilmesiyle herhangi bir gerilim altında yükün gücü tahmin edilebilmektedir. Gerilim azaltım yöntemi uygulanmasa dahi o belirlenen gerilim altında yükün gücü tahmin edilerek ne kadar tasarruf edileceği yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmanın tahmini güç tüketimi konusunu ele alırken yük modellerinin geliştirilmesinde araştırmacılara kaynak sağlayacak niteliktedir.



2. YÜK MODELİ TİPLERİ

2.1. Statik Yük Modeli

Yük modelleme, gerilim ile güç arasındaki matematiksel ilişkiyi temsil etmektedir [8]. Statik yük modeli, aktif veya reaktif gücün, gerilim büyüklüğü ve frekansının fonksiyonları olarak ifade edilmektedir. Statik yük modelleri sabit empedans (Z), sabit akım (I) ve sabit güç (P) bileşenlerinden oluşan polinomal yük modeli ve üstel yük modelidir.

Sabit empedans yük modelinde; güç, gerilim büyüklüğünün karesiyle doğru orantılı olarak değişen yük modelidir. Aydınlatma cihazları, ark ocakları, rezistanslı cihazlar bu yük modeli ile uyumludur [9].

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (2.1)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \quad (2.2)$$

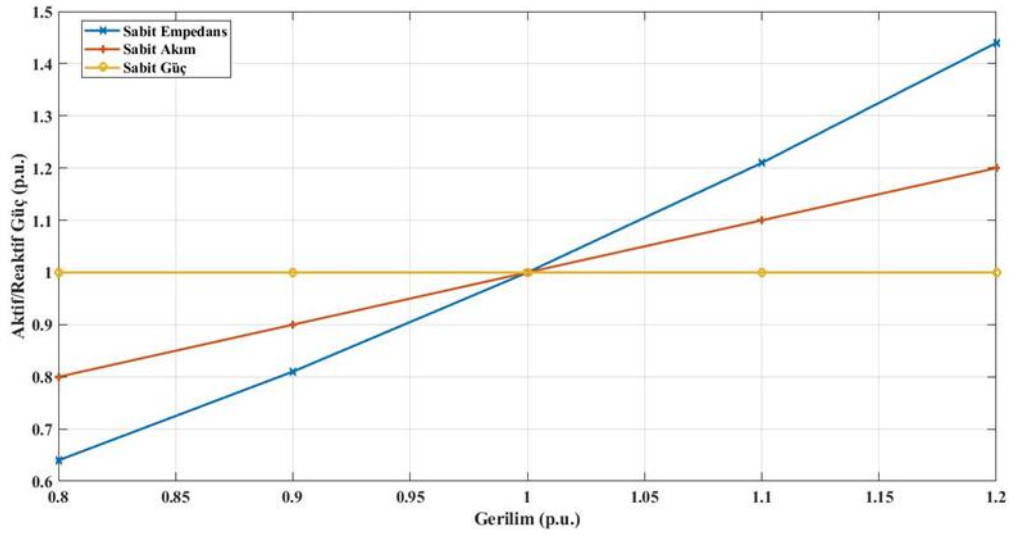
Sabit akım yük modeli, elektrokimyasal işlemlerde kullanılan bir yük modelidir. Bu modelde, güç gerilimi sabit tutulur ve yüklenen malzemeyi etkilemek için akım değerini değiştiririz. Elektroliz, metal parlatma ve kaplama gibi işlemlerde sıklıkla kullanılır ve akımın doğru şekilde kontrol edilmesi esastır [10].

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (2.3)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (2.4)$$

Sabit güç yük modeli, gerilim değerinin ne kadar değiştiğinin önemi olmadan sürekli olarak aktif ve reaktif güç çeken bir yük modelidir. Bu model, enerji üretim tesisleri ve dağıtım sistemlerinde kullanılabilir ve gerilim değişimlerine karşı dayanıklıdır. Ayrıca, sabit güç yük modelinde, gerilim değerinin değişimi sonucu akım değerinin değiştiği görülebilir. Bu da güç sistemlerinin performansının ve güç kalitesinin

izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanır. Şekil 2.1’de sabit empedans, sabit akım ve sabit güç yükü modellerinin karakteristiği yer almaktadır.



Şekil 2.1. Statik yük modeli karakteristiği.

2.1.1. Polinomal yük modeli (ZIP yük modeli)

Polinomal yük modeli, elektrik sistemlerindeki yüklerin statik ve dinamik olması durumunda da kullanılan bir yük modelidir [11]. Enerji sektöründe yaygın olarak tanınan statik yük modellerinden biridir [12]. Bu modelde elektrik sistemlerinin kararlılığı hakkında analiz ve çalışma yapmak için sıklıkla tercih edilir [3].

Polinom denklemi, sabit empedans (Z), sabit akım (I) ve sabit güç (P) bileşenlerinden oluşur ve gerilim ve güç arasındaki ilişkiyi ifade eder [13]. ZIP yük modeli, sistem davranış analizi için kullanılan uygun modellerden biridir. Sabit empedans, sabit akım ve sabit güç bileşenleri, yükün toplamını temsil eder [13]. Üç bileşen arasındaki fark, güç-gerilim ilişkisi ile ilişkilidir: Sabit empedans, gerilim ve güç arasındaki ilişki ikinci derecedendir; sabit akım doğrusal bir ilişkiye sahiptir ve sabit güç ise gerilimden bağımsızdır [14]. Matematiksel olarak ZIP modeli denklem (2.5) ve (2.6)’da gösterilmiştir.

$$P = P_0 \left[Z_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (2.5)$$

$$Q = Q_0 \left[Z_q \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] \quad (2.6)$$

Burada P toplam aktif gücü, Q toplam reaktif gücü, Z, I, P ise sırasıyla empedans, akım ve gücü temsil etmektedir. V_0 nominal gerilim olmak üzere P_0 ve Q_0 , nominal gerilimindeki aktif ve reaktif güçtür.

Polinomal yük modeli, genel bir ikinci dereceden forma sahip olduğundan, ZIP modeli doğrusal olmayan yüklere üstel yük modelinden daha iyi uyum sağlayabilir [15].

2.1.2. Üstel yük modeli

Üstel yük modeli, gerilim ile güç arasındaki ilişkiyi belirlemek için yaygın olarak kullanılan statik yük modellerinden biridir. Bu model, denklem (2.7) ve (2.8) ile güç ve gerilim arasındaki ilişkiyi ifade eder. Üstel yük modelinde, aktif ve reaktif güç arasındaki ilişkiyi tanımlamak için n_p ve n_q katsayıları bulunur. Bu katsayılar, ZIP yük modelindeki katsayılardan daha azdır [11].

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^{n_p} \quad (2.7)$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0}\right)^{n_q} \quad (2.8)$$

P, Q yükün aktif ve reaktif gücü; V uygulanan gerilimi; V_0 nominal gerilimi; P_0 , Q_0 nominal aktif ve reaktif gücü; n_p ve n_q üstel yük modeli katsayılarını ifade etmektedir.

Üstel yük modeli, yük davranışını aşağıdaki gibi ifade etmek için n_p ve n_q üslerini kullanır [16].

- $n_p = n_q = 2$ olduğunda yük, sabit empedans yükü gibi davranır.
- $n_p = n_q = 1$ olduğunda yük, sabit akım yükü gibi davranır.
- $n_p = n_q = 0$ olduğunda yük, sabit güç yükü gibi davranır.

ZIP yük modelinin üstel yük modeline dönüşümü denklem (2.9)'da yer almaktadır ve bu denklem reaktif yük modeli için de geçerlidir [17, 18].

$$n_p \approx \frac{(2 \cdot Z_p) + (1 \cdot I_p) + (0 \cdot P_p)}{Z_p + I_p + P_p} \quad (2.9)$$

2.2. Dinamik Yük Modeli

Statik yük modelleri, güç sisteminin kararlı durumdaki yk davranışını temsil eden zamandan bağımsız modellerdir [19]. Dinamik yük modeli ise, yk bileşenlerinin dinamiklerini hesaba katmakta ve zamana bağılı modeller olarak kabul edilmektedir [17]. Gerilim ve zamanın bir fonksiyonu olarak yükün hem aktif hem de reaktif güç talebini temsil eder.

Dinamik yük modelleri, gerilim kararlılığı analizini statik yük modelinden daha iyi temsil etmektedir ve statik yük modeli gerilim çökmesi altında yk davranışını yeterince temsil edemeyeceğinden dolayı gerilim kararlılığı incelenirken dinamik modeller dikkate alınmalıdır [17].

2.3. Yük Modeli Parametrelerinin Tanımlanması

Yük modellerinin tipi seçildikten sonra parametre değerleri tanımlanabilir. Yük modeli geliştirmeye yönelik “lme Dayalı Modeller” ve “Bileşen Tabanlı Modeller” olmak üzere iki temel yaklaşımla vardır [20, 21].

2.3.1. lme dayalı modeller

Bu yaklaşım, g sistemine kurulu olan ölçüm cihazlarından yük modeli parametreleri için girdi verilerini elde eder. Bu cihazlar, gerilim ve/veya frekans değişimlerinden ve doğal olarak meydana gelen değişimlerde yk özelliklerinde ortaya çıkan değişiklikleri ölçer. lm tabanlı yaklaşımın örnekleri mevcuttur. Bu modelleme yaklaşımının temel avantajı, fiziksel verilere dayanması ve doğru yük modelleri sağlamasıdır. Dezavantajı ise, yükte doğal olarak meydana gelen mevsimsel değişimlerin hesaba katılmasının zor olmasıdır [22, 23].

2.3.2. Bileşen tabanlı modeller

Bu yaklaşımın ana avantajı, toplam yük modelini oluşturmak için g sistemi ölçümlerinin gerekmemesidir. Bileşen tabanlı yaklaşımı uygulamak için yalnızca iki veri kümesi gerekir.

Yük modelleri: Toplam yükte mevcut olan münferit yüklerin gerekli elektriksel özellikleridir. Bu bireysel yük modelleri, toplam yük modelini oluşturmak için yk bileşimi verileriyle birleştirilir.

Yük bileşimi verileri: Her bir yükün toplam talebe yüzde katkısını veren yük karışımıdır [22, 23].

2.4. Gerilim Azaltım Yöntemi (CVR)

Gerilim azaltım yöntemi (CVR), enerji tasarrufuna yönelik bir çözümdür. Dağıtım şirketleri tarafından yapılan uygulamalar, bu yöntemin enerji ve ekonomik açıdan önemli miktarda tasarruf sağladığını göstermiştir [34]. Bu yöntemin temel amacı, sistemdeki güç tüketimini azaltmaktır. CVR ile, evdeki veya ofisdeki cihazlar ve ekipmanlar, nominal gerilim seviyesinden daha düşük seviyelerde çalıştırılabilir ve bu, arızaların oluşmasını veya cihazların kapanmasını önler. Gerilimin azaltılması ile aynı güç değerine sahip olan sabit güç yüklerinde, gerilim azaltıldıkça sistemden çekilen akım artar ve bu da daha fazla enerjinin harcanmasına neden olur. Ancak, sabit empedans ve sabit akım yüklerinde gerilim azaltıldıkça harcanan enerji miktarı azalır [25, 26].

CVR faktörü, yük tarafından tüketilen enerji değişim yüzdesinin gerilim değişim yüzdesine oranı olarak denklem (2.10)'da ifade edilmiştir [27]. CVR faktörü, reaktif güç (kVAr) ve enerji (kWh) cinsinden yazılabilir [28].

$$CVR_f = \frac{\% \Delta P}{\% \Delta V} \quad (2.10)$$

Ayrıca denklem (2.11)'de yer alan CVR faktörü üstel yük modeli katsayısına hemen hemen eşittir [14].

$$CVR_f \approx n_{p,q} \quad (2.11)$$

2.4.1. CVR ile ilgili çalışmalar

Lamberti ve arkadaşları (2013), bu çalışma ile CVR yönteminin ev cihazları üzerindeki etkililiğini analiz etmiş ve gerilim seviyesinin düşürülmesinin cihazlar üzerindeki tasarruf potansiyelinin ne kadar olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları, CVR yönteminin ev cihazları üzerindeki tasarruf potansiyelinin var olduğunu ve bu potansiyelin kullanılması ile enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir [7].

Tesfasilassie ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada, CVR sisteminin toplam güç talebini azaltma etkinliğinin merkezi noktadan toplu yük modeli kullanılarak tahmin edilebileceğini göstermiştir [25].

CVR yönteminin güç tüketimi azaltma konusundaki ekonomik avantajlarından çok sayıda şirket etkilenmiştir. BC Hydro, Hydro Quebec, Southern California Edison, Northeast Utilities, Dominion Virginia Power gibi birçok şirket, CVR yöntemini uygulamış ve %1'lik gerilim azaltımı için %0.3 ile %1 arasında güç azalmasının olduğunu gözlemlemişlerdir [29, 30]. BC Hydro'nun başka bir çalışmasında, CVR uygulamasının, %1 gerilim azaltımı uygulandığında enerji kayıplarının %1'ini azalttığını göstermektedir [23].



3. PARAMETRELERİN HESAPLANMASI

3.1. En Küçük Kareler Yöntemi İle ZIP Katsayılarının Hesaplanması

ZIP parametreleri, farklı yöntemler aracılığıyla belirlenebilir. Bu çalışmada kullanılan yöntem En Küçük Kareler (EKK) yöntemidir. EKK, regresyon analizleri sırasında sıklıkla kullanılan ve kolay hesaplama özelliğinden dolayı tahmin yöntemi olarak tercih edilen bir metodudur [31]. Bu yöntem kullanılarak, deneysel çalışmalardan toplanan verilerle en uygun şekilde uyumlu olan eğrinin parametreleri hesaplanacaktır. Denklem (3.1)'de EKK yönetimi ifade edilmiştir:

$$\min_p \sum_{n=1}^N (y_n - px_n)^2 \quad (3.1)$$

ZIP modelin genel denklemi (3.2)'de verilmiştir.

$$P = P_0 \left[Z_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (3.2)$$

$$Z_p + I_p + P_p = 1 \quad (3.3)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right)^2 \quad (3.4)$$

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

$$\frac{d\lambda}{dZ_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (3.5)$$

$$\frac{d\lambda}{dI_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \frac{V_i}{V_0} \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{d\lambda}{dP_p} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \left(Z_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V_i}{V_0} \right) + P_p - \left(\frac{P_i}{P_0} \right) \right) = 0 \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemlerin türev alma ve düzenleme işlemlerinin ardından, matris formundaki denklem (3.8) şeklinde bulunur [32].

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n V_i^4 & \sum_{i=1}^n V_i^3 & \sum_{i=1}^n V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n V_i^3 & \sum_{i=1}^n V_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i \\ \sum_{i=1}^n V_i^2 & \sum_{i=1}^n V_i & n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n P_i \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

3.2. Paralel Bağlı Yükün ZIP Katsayılarının Hesaplanması

Konutsal cihazlar çoğu zaman birlikte çalışmaktadır. Bir evin odasında akkor lamba çalışmaktayken diğer odada LED lamba çalışabilir. Ya da bu iki cihaz çalışmaktayken LCD monitör de çalışabilir. Bu durumda tüm cihazlar birbirine paralel bağlı elemanlardan oluşan elektrik devresi gibi çalışmaktadır.

n adet cihazın paralel bağlı durumda çalışması için matematiksel ifadeler aşağıdaki gibidir [33].

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = \sum_{k=1}^n P_{0k} \left(Z_{pk} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_{pk} \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_{pk} \right) \quad (3.9)$$

$$Q = \sum_{k=1}^n Q_k = \sum_{k=1}^n Q_{0k} \left(Z_{qk} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_{qk} \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_{qk} \right) \quad (3.10)$$

$$P = \sum_{k=1}^n P_k \quad (3.11)$$

$$= \sum_{k=1}^n \left(P_{0k} Z_{pk} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + P_{0k} I_{pk} \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_{0k} P_{pk} \right) \quad (3.12)$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} Z_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} I_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}} \left(\frac{V}{V_0} \right) + \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} P_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}} \quad (3.13)$$

$$Q = \sum_{k=1}^n Q_k \quad (3.14)$$

$$= \sum_{k=1}^n \left(Q_{0k} Z_{qk} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + Q_{0k} I_{qk} \left(\frac{V}{V_0} \right) + Q_{0k} P_{qk} \right) \quad (3.15)$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} Z_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} I_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}} \left(\frac{V}{V_0} \right) + \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} P_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}} \quad (3.16)$$

$$Z_{peq} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} Z_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}}, I_{peq} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} I_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}}, P_{peq} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{0k} P_{pk}}{\sum_{k=1}^n P_{0k}} \quad (3.17)$$

$$Z_{qeq} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} Z_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}}, I_{qeq} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} I_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}}, P_{qeq} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_{0k} P_{qk}}{\sum_{k=1}^n Q_{0k}} \quad (3.18)$$

$$P = \sum_{k=1}^n P_k = P_{0eq} \left(Z_{peq} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_{peq} \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_{peq} \right) \quad (3.19)$$

$$Q = Q_{0eq} \left(Z_{qeq} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_{qeq} \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_{qeq} \right) \quad (3.20)$$

Denklem (3.21 – 3.22), paralel bağlı cihazların toplam nominal aktif ve reaktif gücünü ifade etmektedir.

$$P_{0eq} = \sum_{k=1}^n P_{0k} \quad (3.21)$$

$$Q_{0eq} = \sum_{k=1}^n Q_{0k} \quad (3.22)$$

Denklem (3.21), (3.22)'ye göre eşdeğer devrenin nominal aktif güç ve reaktif gücü, devreyi oluşturan cihazların nominal aktif ve reaktif güçlerinin toplamıdır.

$$Z_{peq} = \frac{P_{01}Z_{p1} + P_{02}Z_{p2} + \dots + P_{0n}Z_{pn}}{P_{01} + P_{02} + \dots + P_{0n}} \quad (3.23)$$

$$I_{peq} = \frac{P_{01}I_{p1} + P_{02}I_{p2} + \dots + P_{0n}I_{pn}}{P_{01} + P_{02} + \dots + P_{0n}} \quad (3.24)$$

$$P_{peq} = \frac{P_{01}P_{p1} + P_{02}P_{p2} + \dots + P_{0n}P_{pn}}{P_{01} + P_{02} + \dots + P_{0n}} \quad (3.25)$$

$$P_{0eq} = P_{01} + P_{02} + \dots + P_{0n} \quad (3.26)$$

$$Z_{qeq} = \frac{Q_{01}Z_{q1} + Q_{02}Z_{q2} + \dots + Q_{0n}Z_{qn}}{Q_{01} + Q_{02} + \dots + Q_{0n}} \quad (3.27)$$

$$I_{qeq} = \frac{Q_{01}I_{q1} + Q_{02}I_{q2} + \dots + Q_{0n}I_{qn}}{Q_{01} + Q_{02} + \dots + Q_{0n}} \quad (3.28)$$

$$P_{qeq} = \frac{Q_{01}P_{q1} + Q_{02}P_{q2} + \dots + Q_{0n}P_{qn}}{Q_{01} + Q_{02} + \dots + Q_{0n}} \quad (3.29)$$

$$Q_{0eq} = Q_{01} + Q_{02} + \dots + Q_{0n} \quad (3.30)$$

Denklem (3.23)'e göre eşdeğer devrenin empedans yükü katsayısı nominal güç ve cihazların kendi empedans katsayıları ile çarpılması ve toplam nominal güçlerinin toplamına bölümünden elde edilmektedir. Aynı şekilde diğer katsayılar da bulunmaktadır.

3.3. İç Nokta Yöntemi İle Yük Modeli Katsayılarının Hesaplanması

İç nokta yöntemi ile kısıtlanmış doğrusal olmayan çok değişkenli fonksiyonların minimumu bulunabilmektedir. ZIP yük modeli katsayıları ve üstel yük modeli katsayıları, iç nokta yöntemi aracılığıyla çözülebilir [34]. ZIP yük modelinde kısıtlama olarak Z, I, P parametrelerinin toplamının 1'e eşit olmasıdır. Reaktif güç parametrelerinin tahmin edilmesi için benzer bir yöntem kullanılır. İç nokta yöntemi ile MATLAB' da fmincon algoritması ile kullanılabilir. Söz dizimi aşağıdaki gibidir.

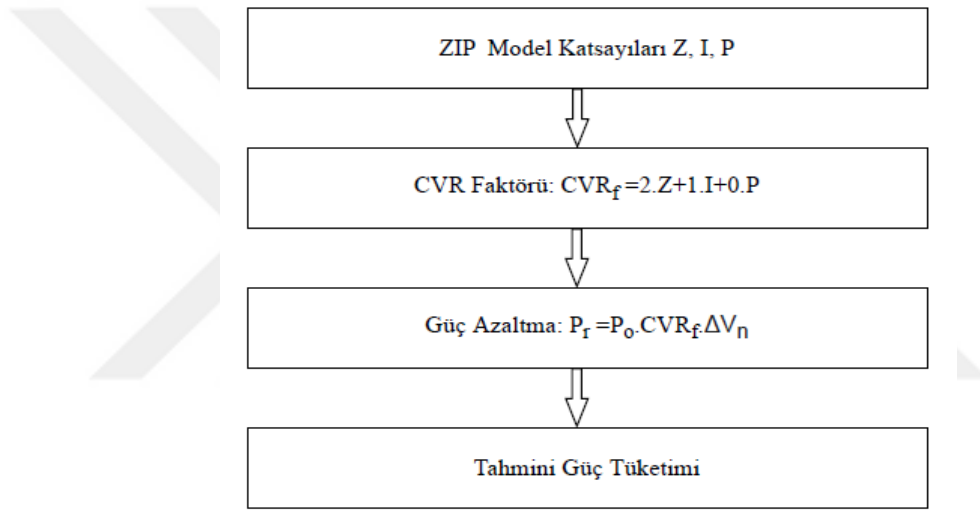
`x=fmincon(fun, x0,A,B,Aeq,Beq,lb,ub)`

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 [35].

Bu kapsamda ZIP ve üstel yük modeli katsayıları iç nokta yöntemi ile bulunarak karşılaştırma yapılmıştır.

3.4. ZIP Katsayılarına Dayalı Tahmini Güç Tüketimi

CVR faktörü ile güç tüketiminin gerilim değişimine oranı matematiksel olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, CVR nedeniyle oluşan güç düşüşünün tahmini de yapılması gerekmektedir. Şekil 3.1, beklenen güç tüketimi akışını göstermektedir. Denklem (3.31) - (3.39)'da bu matematiksel ifadenin çıkarımı yer almaktadır [36].



Şekil 3.1. Tahmini güç tüketimi akış şeması.

Denklem (2.5)'te yer alan ifadeye $P_n = \frac{P}{P_o}$ ve $V_n = \frac{V}{V_o}$ ile denklem (3.31)'deki gibi yazılabilir.

$$P_n = Z_P V_n^2 + I_P V_n + P_P \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial P_n}{\partial V_n} = 2Z_P V_n + I_P \quad (3.32)$$

$$\partial P_n = [2Z_P (\partial V_n + 1) + I_P] \partial V_n \quad (3.33)$$

$$\partial P_n = [2Z_P \partial V_n^2 + 2Z_P \partial V_n + I_P \partial V_n] \quad (3.34)$$

$$\partial P_n = (2Z_P + I_P)\partial V_n + 2Z_P\partial V_n^2 \quad (3.35)$$

∂V_n^2 ihmal edilebilir ve basitlik için göz ardı edilebilir. Bu nedenle, CVR faktörü denklem (3.36)'da belirtilen sabit empedans ve sabit akımlı ZIP yük modeli katsayılarına dayanarak hesaplanabilir [37, 38].

$$CVR_f = \frac{\partial P_n}{\partial V_n} = 2Z_P + I_P \quad (3.36)$$

$$\Delta V_n = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3.37)$$

$$P_r = P_0 CVR_f \Delta V_n \quad (3.38)$$

Denklem (3.38) sayesinde CVR faktörü kullanılarak, ZIP katsayılarına dayalı güç azalışı bulunabilir. P_0 nominal güç ile P_r güç azalışı arasındaki fark denklem (3.39) ile bulunabilmektedir ve tahmini güç tüketimi sonucunu vermektedir.

$$P_{tahmin} = P_0 - P_r \quad (3.39)$$

3.5. Donanım

3.5.1. Varyak

Varyaklar şebekeden gelen gerilim seviyesini istenilen gerilim seviyesine düşüren veya yükselten cihazlardır. Tek sargılı bakır telin sac nüve etrafına dolanmasıyla elde edilir [39]. Şekil 3.2'de varyak cihazına ait görüntü yer almaktadır.



Şekil 3.2. Varyak [40].

3.5.2. Arduino Uno

Arduino Uno, ATmega328 tabanlı bir mikrodenetleyici kartıdır ve 6 analog giriş, 14 dijital giriş/çıkış pini bulunmaktadır. Çalışma gerilimi 5V ve 32 KB flash bellekle donatılmıştır [41]. Şekil 3.3'te Arduino Uno'ya ait görsel yer almaktadır.

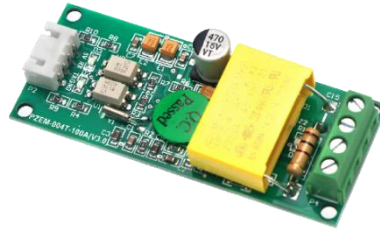


Şekil 3.3. Arduino Uno [42].

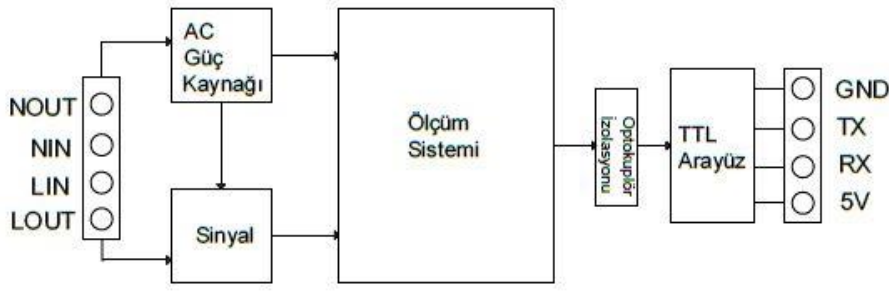
3.5.3. PZEM-004T (10A) modül

PZEM-004T, AC güç monitörü ve analizörü olarak kullanılan bir elektronik cihazdır. Bu cihaz, AC gerilim, akım, güç, enerji ve frekans gibi güç kalitesi parametrelerini ölçme ve görüntüleme işlevlerine sahiptir. PZEM-004T modülü ekran fonksiyonuna sahip olmadığından Arduino Uno aracılığıyla parametreler bilgisayara aktarılabilmektedir.

PZEM-004T, elektrik miktarını ölçme kapasitesine sahip bir cihazdır. İki farklı modelleri bulunmaktadır: PZEM-004T-10 A, dahili bir sensör ile 0-10 A ölçüm aralığı sunar ve PZEM-004T-100 A, harici bir transformatörle 0-100 A ölçüm aralığı sunar. Şekil 3.4'te PZEM-004T 10 A modülü ve Şekil 3.5'te PZEM-004T modülü blok diyagramı yer almaktadır.



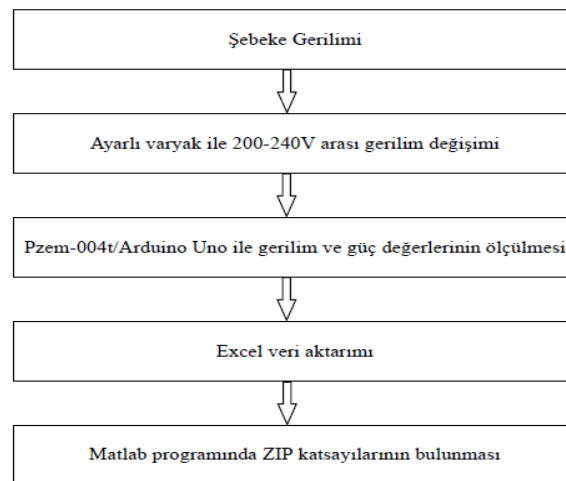
Şekil 3.4. PZEM-004T 10A modülü [43].



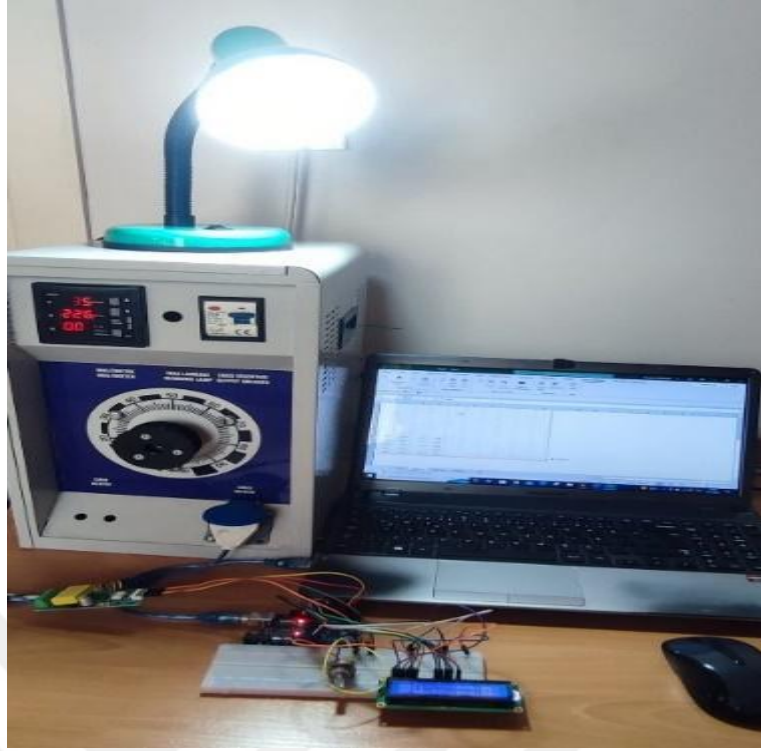
Şekil 3.5. PZEM-004T modülü blok diyagramı [44].

3.6. Test Prosedürü

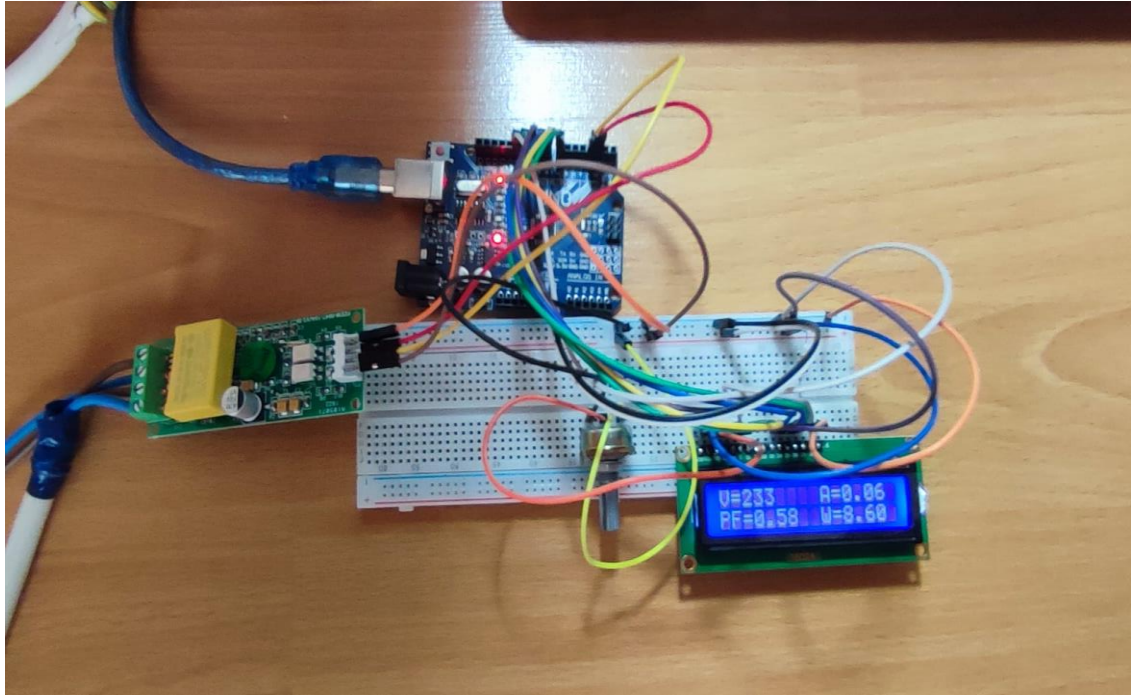
Test işlemi 240-200 V gerilim aralığında yapılmıştır. Cihazlar, seçilen en yüksek gerilim değerinde çalışmasına izin verilerek kademeli olarak gerilim değerleri düşürülmüştür. PZEM-004T ve Arduino Uno kullanılarak, cihazların gerilim, akım, güç ve güç faktörleri eş zamanlı olarak MS Excel'e aktarılmıştır. Daha sonra, MATLAB programında bu veriler EKK yöntemi ile ZIP katsayılarını bulmak için kullanılmıştır. Test ölçüm süreci Şekil 3.6'da görülmektedir. Varyak, uygun gerilim değerini elde etmek için kullanılan bir araçtır. Gerilim ve akım değerleri dengelendiğinde, kayıtlar geçerli ölçümler baz alınarak yapılmıştır. Her testin güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla, her test en az iki kez tekrarlanmıştır. Şekil 3.7 ve Şekil 3.8, test ölçüm düzenini göstermektedir.



Şekil 3.6. Test ölçüm akış şeması.



Şekil 3.7. Test ölçüm düzeneği ve verilerin bilgisayara aktarılması.



Şekil 3.8. Test ölçüm düzeneği.

3.7. Verilerin Aktarılması

Data Streamer, MS Excel'e canlı veri akışı sağlamaya yarayan bir eklentidir ve mikrodeneleyici ile birlikte çalışmaktadır [45]. Arduino Uno, bilgisayar ile USB

aracılığıyla bağlantı kurduktan sonra, PZEM-004T 10 A modülü tarafından ölçülen gerilim, akım, güç ve güç faktörü parametrelerinin bilgisayara aktarımı sağlamaktadır. Şekil 3.9'de, bilgisayara veri aktarımı esnasında ekran görüntüsü gösterilmektedir.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
7	Genim (V)	Akım (A)	Güç (W)	Güç Faktörü (PF)	CH5	CH6	CH7	CH8	CH9	CH10							
8	240	0.11	14.4	0.54													
9	239	0.11	14.4	0.54													
10	238	0.11	14.4	0.54													
11	237	0.11	14.4	0.54													
12	236	0.11	14.4	0.54													
13	235	0.11	14.4	0.55													
14	233	0.11	14.4	0.55													
15	232	0.11	14.3	0.54													
16	231	0.11	14.4	0.55													
17	230	0.11	14.3	0.55													
18	229	0.11	14.3	0.55													
19	228	0.11	14.3	0.55													
20	227	0.11	14.3	0.55													
21	226	0.11	14.3	0.55													
22	225	0.11	14.3	0.56													
23	223	0.12	14.3	0.56													
24	222	0.12	14.3	0.55													
25	221	0.12	14.3	0.55													
26	219	0.12	14.3	0.56													

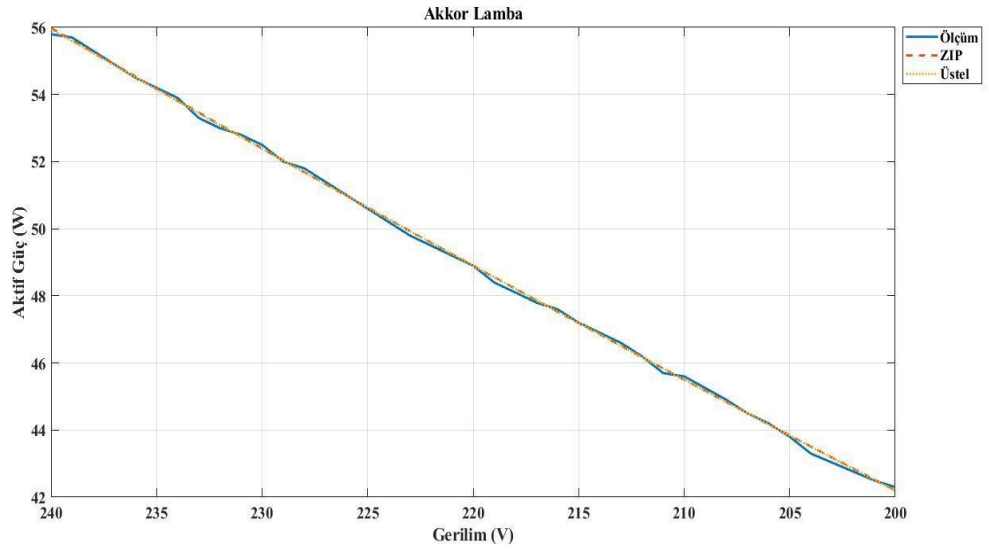
Şekil 3.9. Verilerin Excel'e aktarılması.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Ölçümü Yapılan Cihazlar

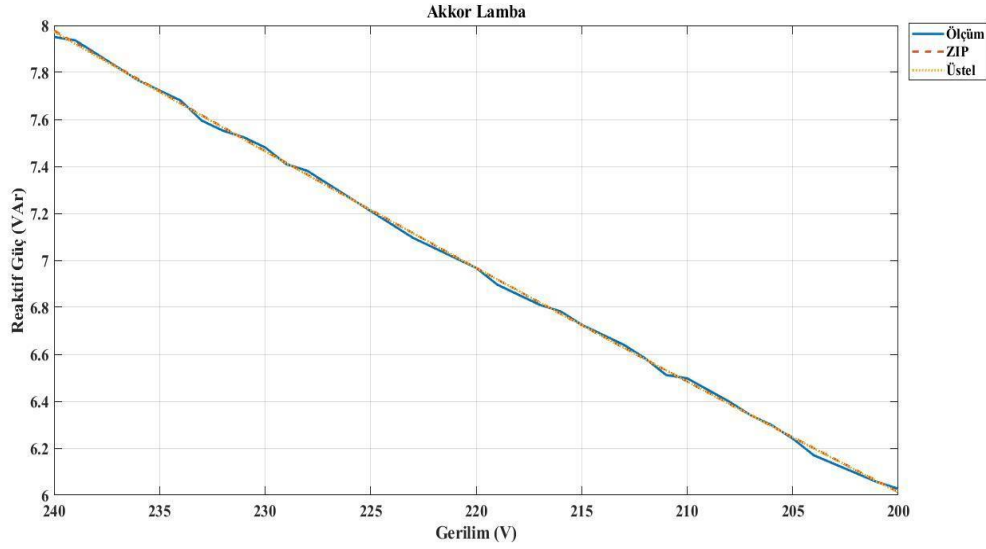
4.1.1. Akkor lamba

Şekil 4.1'de, akkor lambası için gerilim - aktif güç eğrisi bulunmaktadır. Model, 220 V nominal gerilimde 48.9 W aktif güç tüketildiği baz alınarak oluşturuldu. Ölçüm sonuçları, ZIP ve üstel yük modelinin çok benzer olduğunu ve başarılı sonuç verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.1. Akkor lamba gerilim - aktif güç eğrisi.

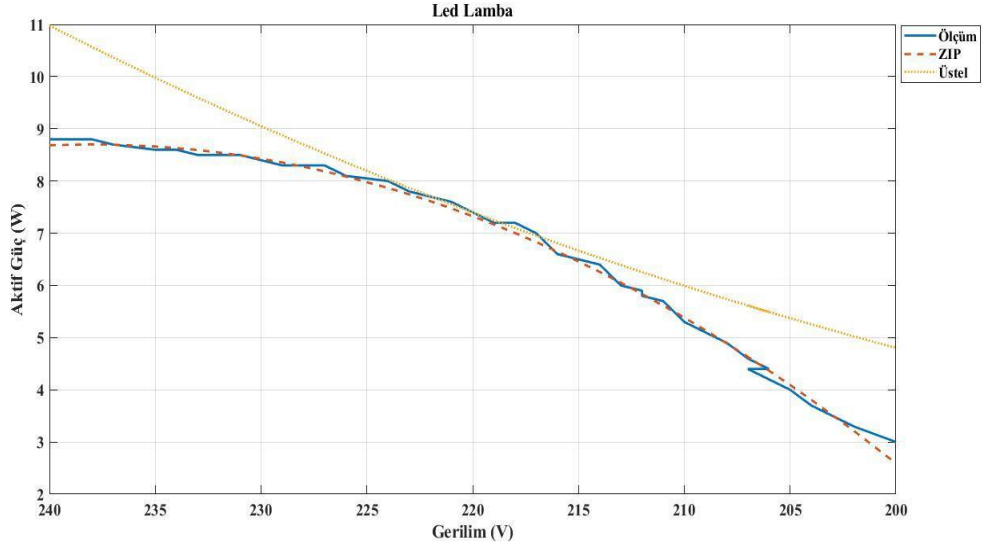
Model, 220 V nominal gerilim değerinde 6.96 VAr reaktif güç tüketildiği baz alınarak oluşturuldu ve şekil 4.2'de görülmektedir. Bu cihaz için reaktif güç modeli de başarılı sonuçlar vermiştir.



şekil 4.2. Akkor lamba gerilim - reaktif güç eğrisi.

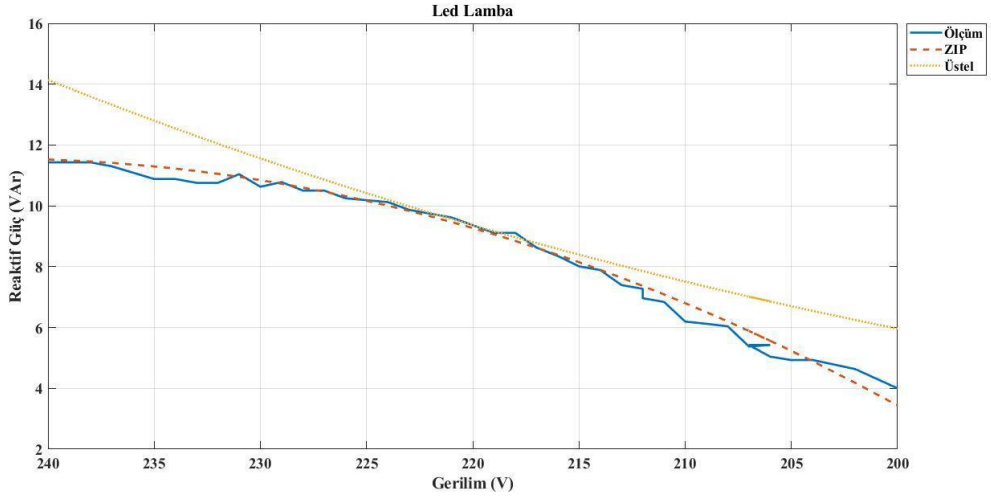
4.1.2. LED lamba

LED lamba için gerilim-güç eğrisi şekil 4.3'te verilmiştir. Model, 220 V gerilimde 7.4 W aktif güç tükettiği ölçüm sonucuna göre oluşturulmuştur. lm ve modelleme verilerine göre ZIP modelinin 200 - 217 V gerilim aralığında ölçüm verilerine yakın olduğu, üstel modelin ise artan gerilim yönünde ölçüm verilerine yaklaştığı grlmştir. 217 - 225 V gerilim aralığında her iki model de ölçüm sonuçlarına çok yakın değerler elde ederken, 225 - 240 V gerilim aralığında ZIP modeli ölçüm verilerine yakın, üstel model ise ölçüm verilerinden uzaklaşmaktadır.



Şekil 4.3. LED lamba gerilim - aktif güç eğrisi.

220 V gerilimde 9.36 VAr reaktif güç tükettiği kabulü ile oluşturulan model Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Aktif güçte olduğu gibi reaktif güçte de bir benzerlik vardır. LED aydınlatma için ZIP modelinin uygun bir yük modeli olduğu belirlenmiştir.

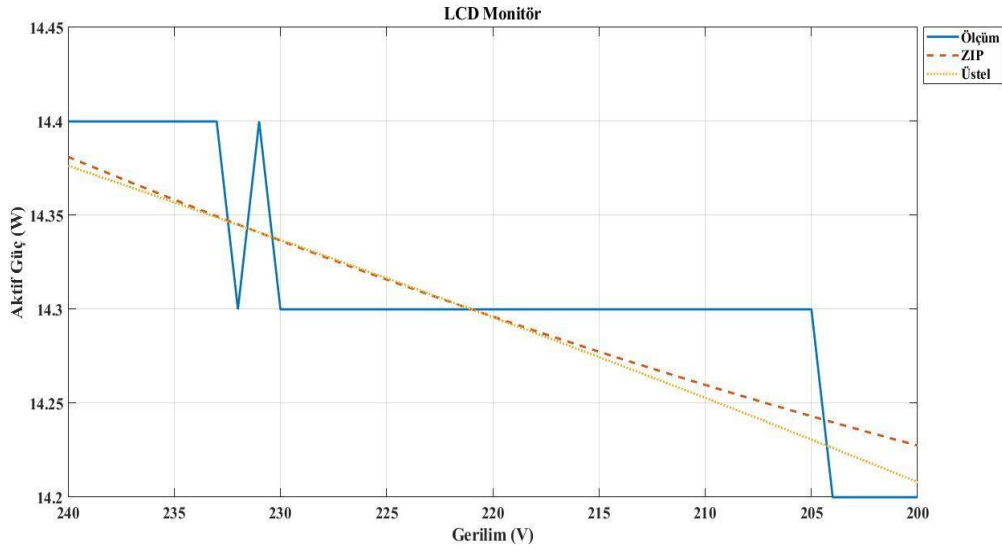


Şekil 4.4. LED lamba gerilim - reaktif güç eğrisi.

4.1.3. LCD monitör

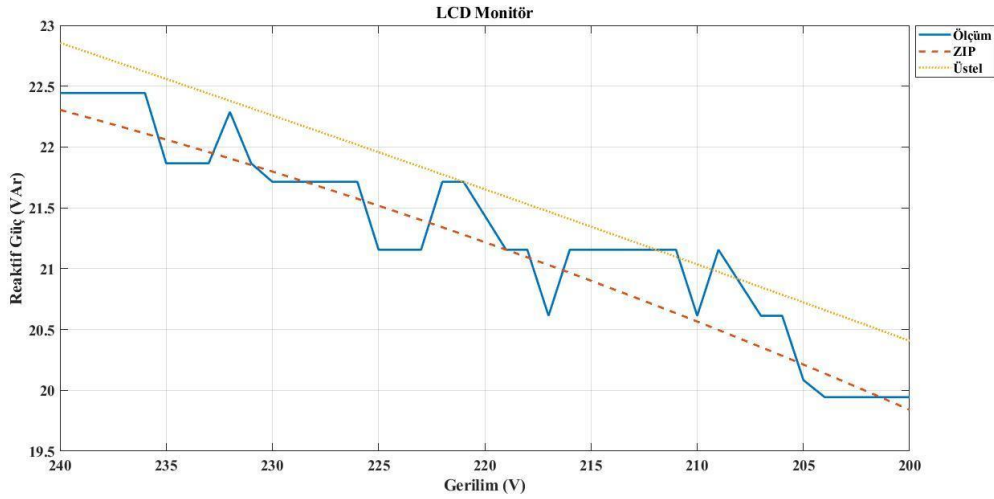
LCD monitör için gerilim - aktif güç eğrisi, Şekil 4.5'te gösterildiği gibidir. Ölçüldüğü gibi 220 V nominal gerilimde 14.3 W aktif güç tükettiği varsayımından hareketle bir model oluşturulmuştur. Ölçüm sırasında, güç tüketiminin 205 - 230 V gerilim

aralığında sabit kaldığı gözlemlendi. ZIP ve üstel yük modelleri, değer olarak çok büyük olmasa da gerçek modelden bazı farklılıklar olsa da birbirine benzer.



Şekil 4.5. LCD monitör gerilim - aktif güç eğrisi.

220 V gerilim değerinde 21.71 VAR tükettiği esas alınarak gerçekleştirilen model Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Görüşler ve ölçümler, ZIP modelinin üstel modele göre LED aydınlatması için daha doğru bir yük modeli olduğunu göstermektedir.

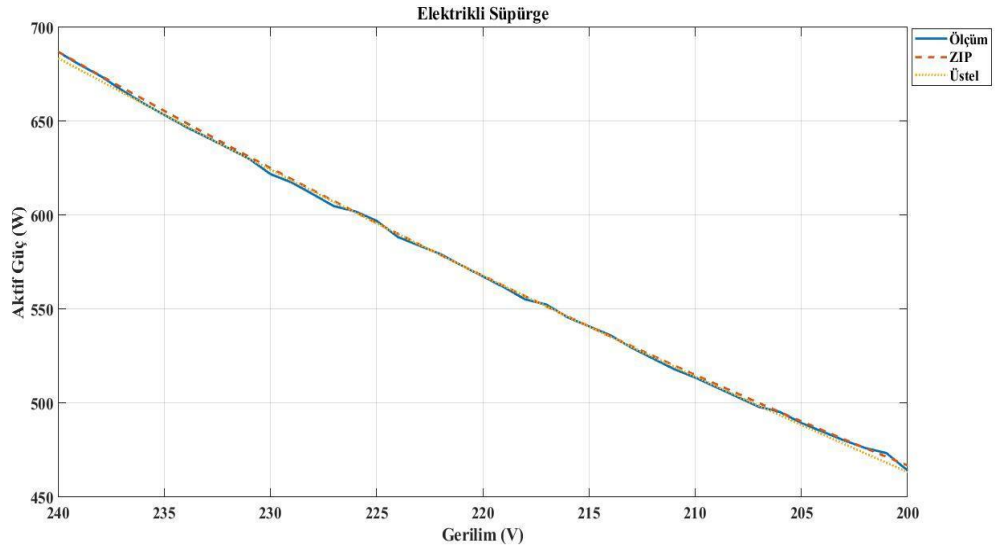


Şekil 4.6. LCD monitör gerilim - reaktif güç eğrisi.

4.1.4. Elektrikli süpürge

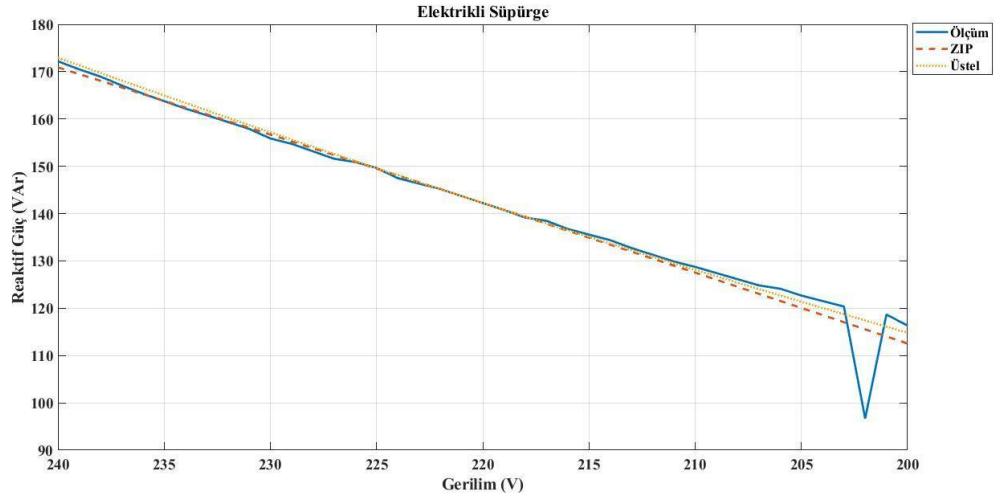
Elektrikli süpürge için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 4.7'de gösterildiği gibidir. Ölçüm sonuçlarına göre elektrikli süpürge'nin 220 V nominal gerilimde 573.4 W aktif güç tükettiği varsayılarak model oluşturulmuştur. Elektrikli süpürge'nin ölçüm

sonuçlarının ve hesaplanan hem ZIP hem üstel yük modellerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Elektrikli süpürge gerilim - aktif güç eğrisi.

Elektrikli süpürge'nin 220 V nominal gerilimde 143.70 VAR tükettiği varsayımı ile oluşturulan model Şekil 4.8'de gösterilmektedir. 210 - 240 V gerilim aralığında ölçülen sonuçların, ölçülen ve hesaplanan modellerin verdiği sonuçlara yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Elektrikli süpürge gerilim - reaktif güç eğrisi.

Bu çalışmada akkor, LED, LCD ve süpürge'nin gerilimleri kademeli olarak 240 V'tan 200 V'a düşürülerek ölçümleri yapılmıştır. Sonuçlar bir bilgisayara aktarıldı. Her cihazın aktif ve reaktif gücü için polinomal ve üstel yük modeli katsayıları sırasıyla denklem (2.9) ve denklem (3.8)'e göre hesaplanmıştır ve Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

İç nokta yöntemine göre hesaplanan katsayılar ise Tablo 4.2'de listelenmiştir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye göre, her cihaz belirli bir oranda sabit empedans, sabit akım ve sabit güç yükü özelliklerine sahiptir.

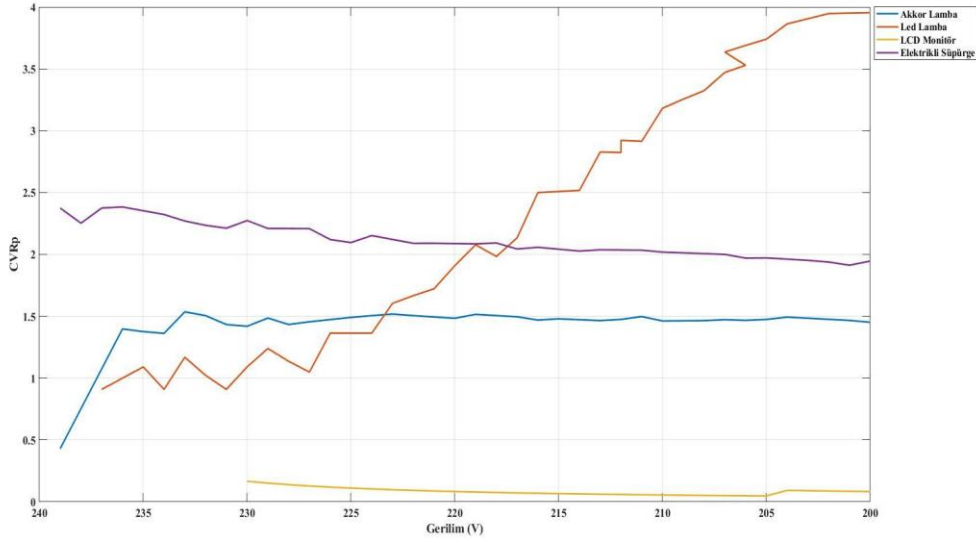


Tablo 4.1. Elektriksel cihazlara ait polinomal ve üstel yük modeli katsayıları.

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

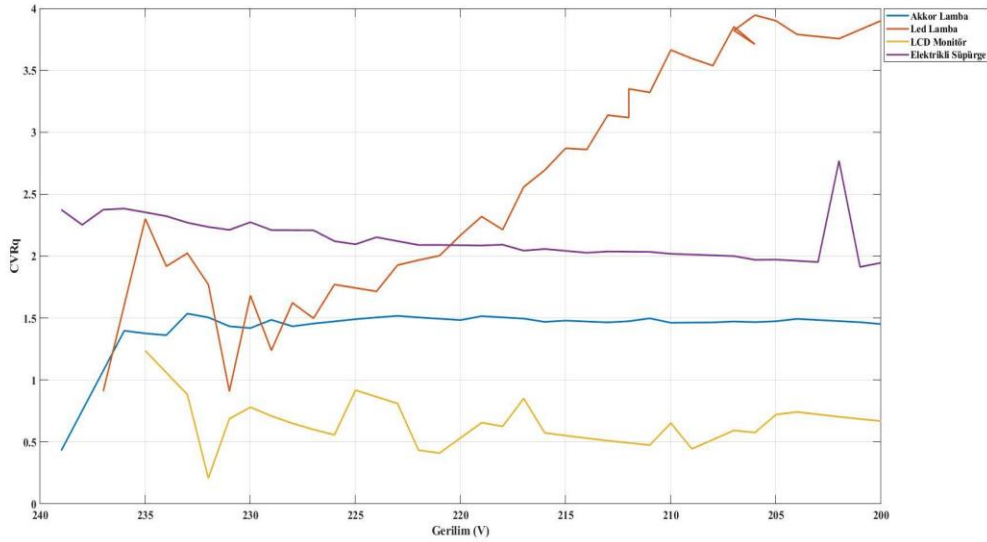
Tablo 4.2. Elektriksel cihazlara ait polinomal ve üstel yük modeli katsayılarının iç nokta yöntemine göre sonuçları.

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	-26.669	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 4.9. Tüm cihazlara ait gerilim - CVR_p eğrisi.

Çalışmada kullanılan cihazların aktif güç için CVR_p eğrisi Şekil 4.9'da, reaktif güç için CVR_q eğrileri ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Genel olarak akkor lamba ve elektrikli süpürge sabit CVR_p değerine sahiptir. Ancak LCD monitör ise bu iki cihazdan daha düşük bir CVR_p değeri ortaya koymuştur. LED lamba ise 240 V geriliminden 200 V gerilime doğru azaldıkça CVR faktörü değeri sürekli artış göstermiştir.



Şekil 4.10. Tüm Cihazlara ait gerilim - CVR_q eğrisi.

Akkor ve süpürge cihazları genellikle stabil bir CVR_q değerine sahiptir. LCD ise bu akkor ve süpürgeye daha düşük ve CVR_p 'den yüksek değer üretmiştir. LED lamba ise 235 - 220 V gerilim arasında CVR_p 'den yüksek sonuçlar üretmiştir.

4.2. Tahmini Güç Tüketimi

CVR metodu, bu dört cihaza uygulanmış ve Z, I, P katsayılarına dayalı CVR faktörü belirlenmiştir. CVR faktörü, güçteki değişim yüzdesinin gerilim değişim yüzdesine oranıdır. Bu nedenle CVR'nin neden olduğu güç azalmasının tahmin edilmesi gerekmektedir. Tablo 4.3'de, ev aletlerinin tahmini güç tüketimi ve ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Buna göre, akkor lamba 48.9 W nominal güçte, denklem (2.9)'a göre CVR faktörü değeri 1.5480 olarak bulunmuştur. Gerilim değişiminde V_n 0.091 oranında, tahmini aktif güç 42.012 W'a ulaşmıştır. Bu değer, ölçümlerde 42.3 W'tır ve gerçek güç ile tahmini güç arasındaki fark %0.68'dir. Bu sonuçlara göre, akkor lamba ve elektrikli süpürge tahmini güç gerçek güçten daha düşük, LED lamba ve LCD monitörde ise tahmini güç gerçek güçten yüksek bulunmuştur. Tablo 4.4, tahmini reaktif güç tüketimi sonuçlarını içermektedir.

Tablo 4.3. Elektriksel cihazlara ait tahmini aktif güç tüketimi sonuçları.

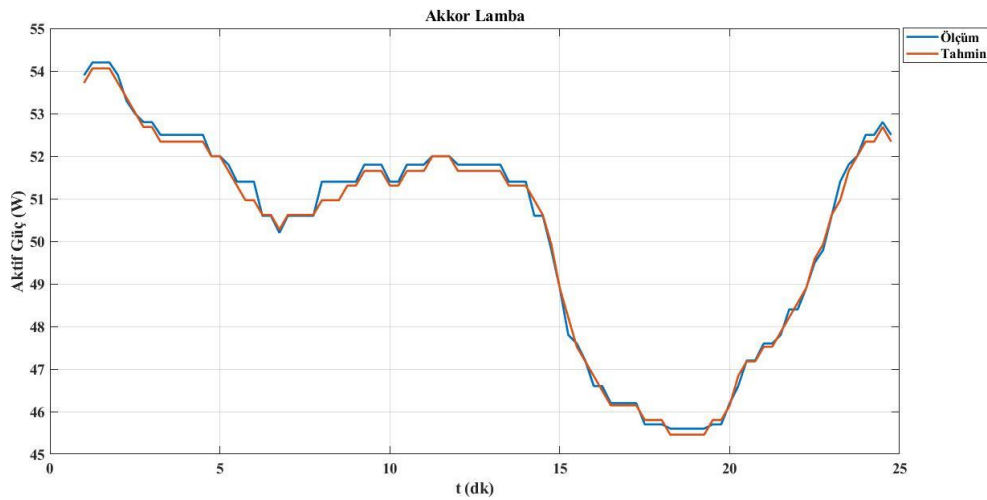
Cihaz	P_o	CVR_p	V_n	P_r	P_{tahmin}	$P_{gerçek}$	Değişim
Akkor Lamba	48.9	1.5480	0.045	3.440	45.460	45.60	0.31%
LED Lamba	7.4	4.5337	0.045	1.525	5.875	5.30	-10.85%
LCD Monitör	14.3	0.0646	0.045	0.042	14.258	14.30	0.29%
Elektrikli Süpürge	573.4	2.1326	0.045	55.578	517.822	513.70	-0.80%

Tablo 4.4. Elektriksel cihazlara ait tahmini reaktif güç tüketimi sonuçları.

Cihaz	Q_o	CVR_q	V_n	Q_r	Q_{tahmin}	$Q_{gerçek}$	Değişim
Akkor Lamba	6.97	1.5480	0.045	0.490	6.480	6.50	0.31%
LED Lamba	9.36	4.7387	0.045	2.016	7.344	6.20	-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	128.70	-0.25%

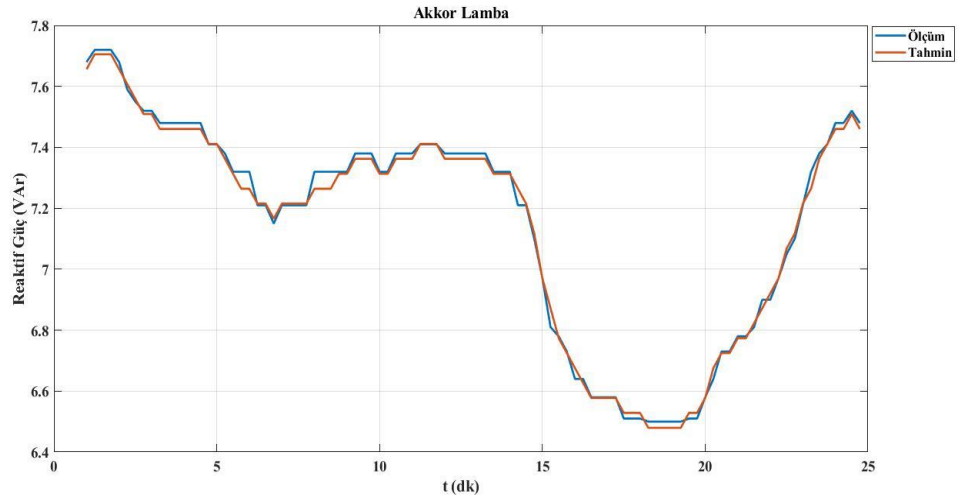
4.2.1. Akkor lamba

Şekil 4.11’de akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 48.9 W nominal aktif güç tükettiği esas alınarak yapılan hesaplamada aktif CVR faktörü 1.5480 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında yani 210 V geriliminde akkor lambada 3.440 W güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen güç 45.460 W bulunurken gerçekte ise 45.60 W güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %0.31 oranında fark vardır.

**Şekil 4.11.** Akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.

Şekil 4.12’de akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 6.97 VAR nominal reaktif güç tükettiği baz alınarak yapılan hesaplamada reaktif CVR faktörü 1.5480 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında yani 210 V geriliminde akkor lambada 0.490 VAR reaktif güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen reaktif güç 6.480 VAR bulunurken

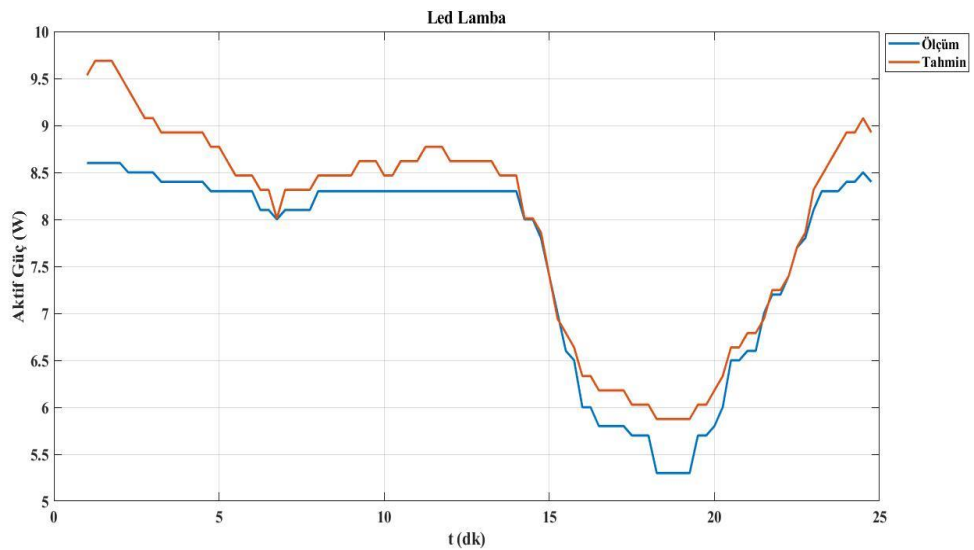
gerçekte ise 6.50 VAr reaktif güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %0.31 oranında fark vardır.



Şekil 4.12. Akkor lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.

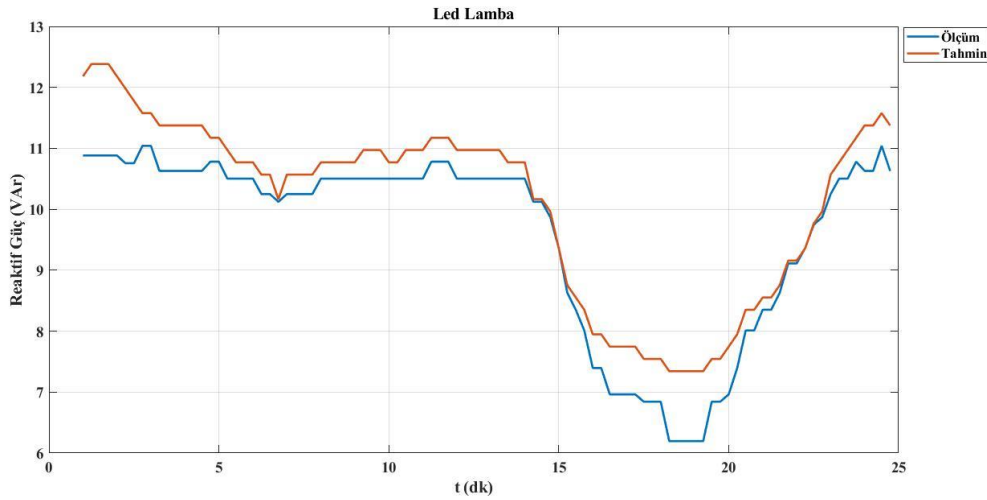
4.2.2. LED lamba

Şekil 4.13'te LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 7.4 W nominal aktif güç tükettiği esas alınarak yapılan hesaplamada aktif CVR faktörü 4.5337 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında yani 210 V geriliminde LED lambada 1.525 W güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen güç 5.875 W bulunurken gerçekte ise 5.30 W güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %10.85 oranında fark vardır.



Şekil 4.13. LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.

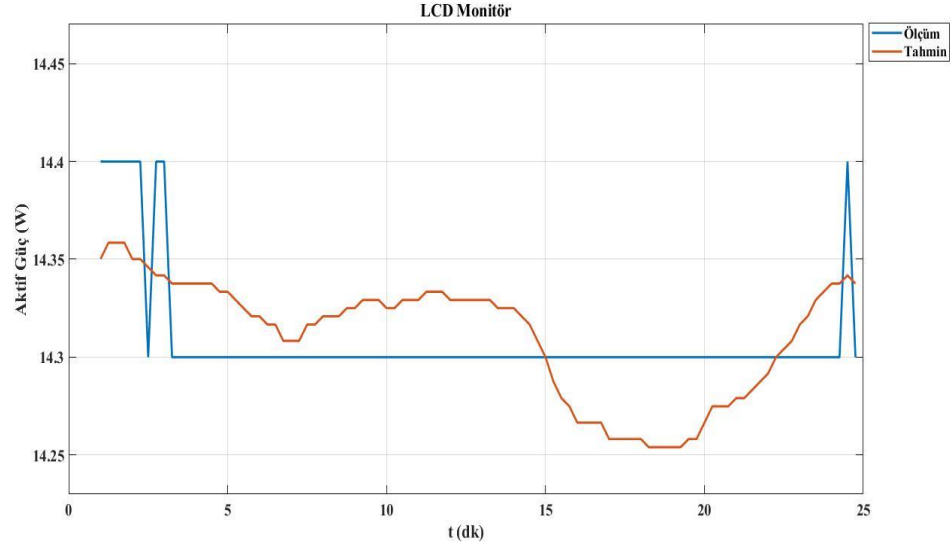
Şekil 4.14'te LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 9.36 VAr nominal reaktif güç tükettiği baz alınarak yapılan hesaplamada reaktif CVR faktörü 4.7387 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında LED lambada 2.016 VAr reaktif güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen reaktif güç 7.344 VAr bulunurken gerçekte ise 6.20 VAr reaktif güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %18.45 oranında fark vardır.



Şekil 4.14. LED lambaya ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.

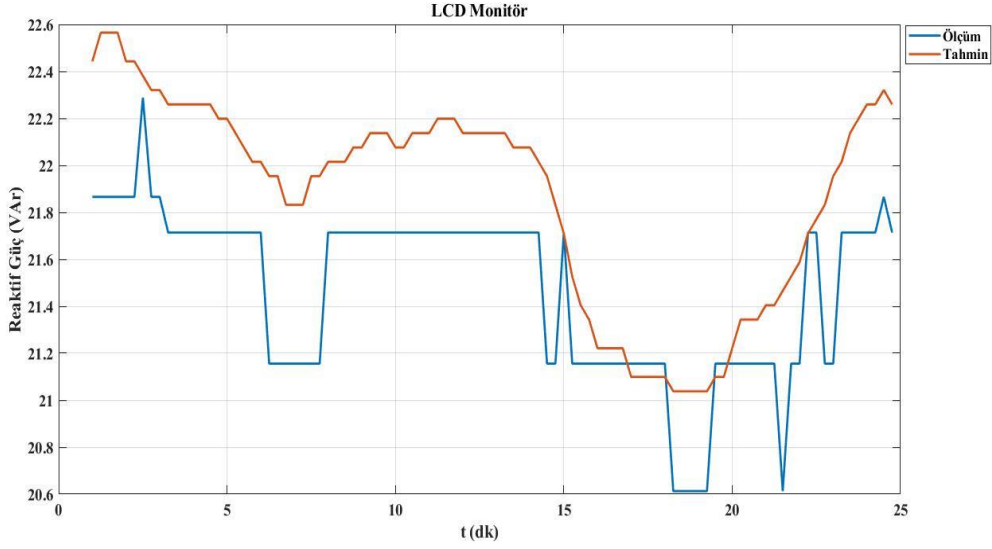
4.2.3. LCD monitör

Şekil 4.15'te LCD monitöre ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 14.3 W nominal aktif güç tükettiği esas alınarak yapılan hesaplamada aktif CVR faktörü 0.0646 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında LCD monitörde 0.042 W güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen güç 14.258 W bulunurken gerçekte ise 14.3 W güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %0.29 oranında fark vardır.



Şekil 4.15. LCD Monitöre ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.

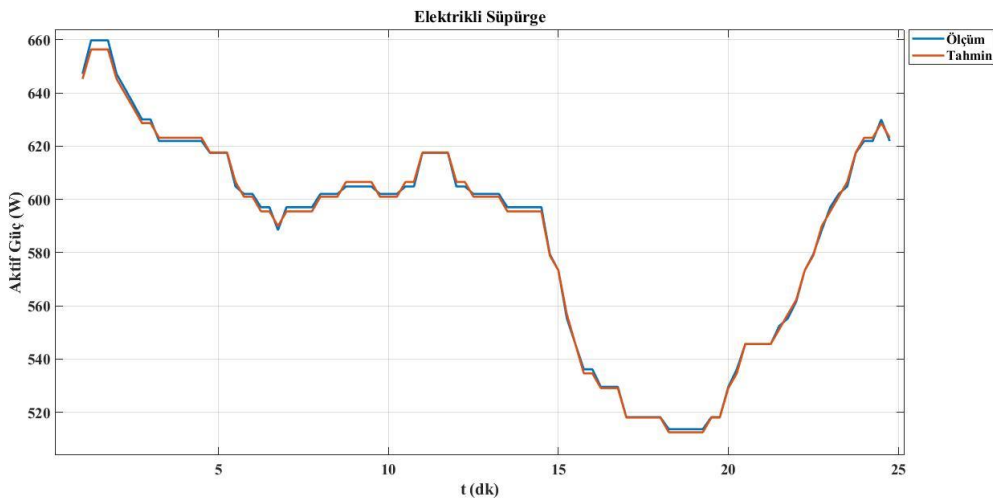
Şekil 4.16’da LCD monitöre ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 21.71 VAr nominal reaktif güç tükettiği baz alınarak yapılan hesaplamada reaktif CVR faktörü 0.6218 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında LCD monitörde 0.614 VAr reaktif güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen reaktif güç 21.096 VAr bulunurken gerçekte ise 20.610 VAr reaktif güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %2.36 oranında fark vardır.



Şekil 4.16. LCD Monitöre ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.

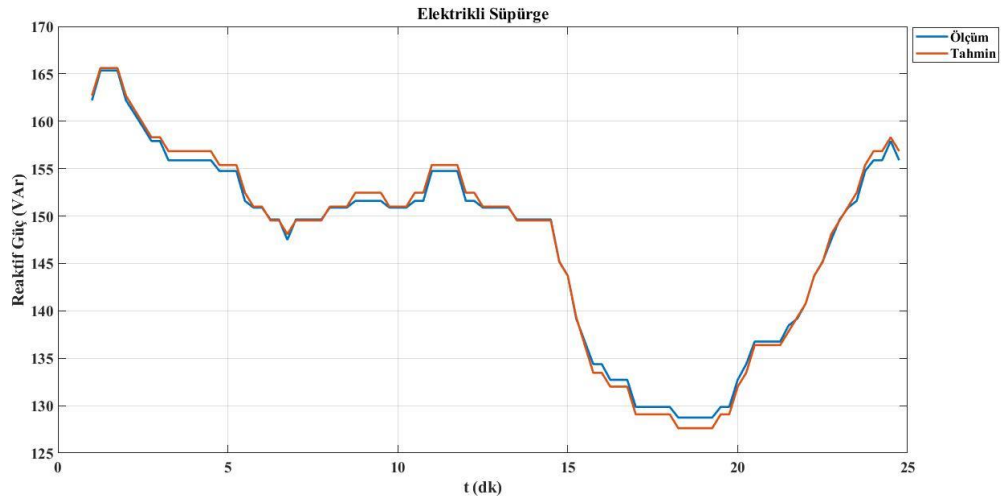
4.2.4. Elektrikli süpürge

Şekil 4.17’de elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 573.4 W nominal aktif güç tükettiği esas alınarak yapılan hesaplamada aktif güç CVR faktörü 2.1326 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında elektrik süpürgesinde 55.578 W güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen güç 517.822 W bulunurken gerçekte ise 513.70 W güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %0.80 oranında fark vardır.



Şekil 4.17. Elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini aktif güç tüketimi.

Şekil 4.18’de elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi yer almaktadır. 220 V nominal gerilimde 143.7 VAr nominal reaktif güç tükettiği baz alınarak yapılan hesaplamada reaktif güç CVR faktörü 2.2470 bulunmaktadır. V_n 0.045 oranında gerilim azalmasında 14.676 VAr reaktif güç azalması olacaktır. Bu noktada tahmin edilen reaktif güç 129.024 VAr bulunurken gerçekte ise 128.70 VAr reaktif güç tüketimi yaptığı tespit edilmiştir. Gerçek ile tahmin edilen güç arasında %0.25 oranında fark vardır.

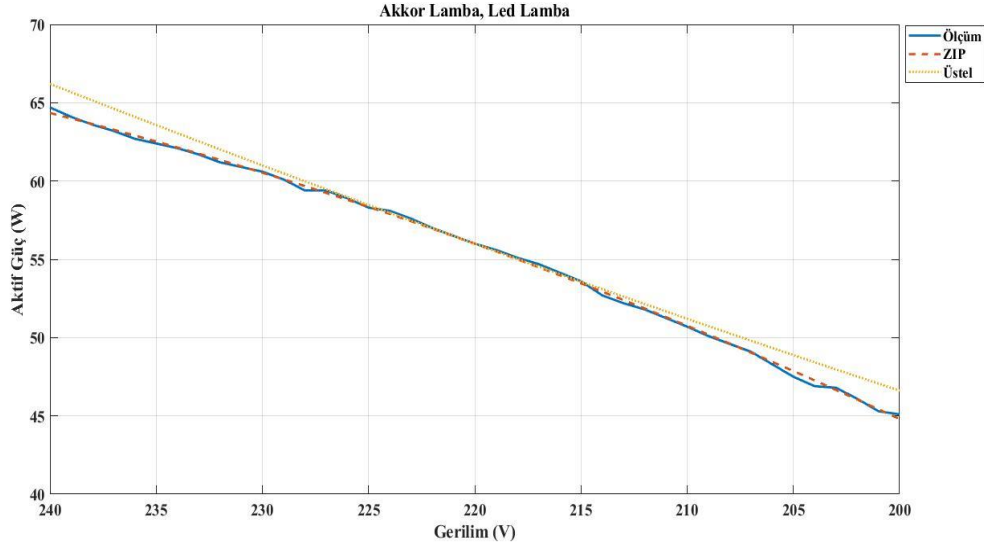


Şekil 4.18. Elektrikli süpürgeye ait gerçek güç ve tahmini reaktif güç tüketimi.

4.3. Paralel Bağlı Yük Sonuçları

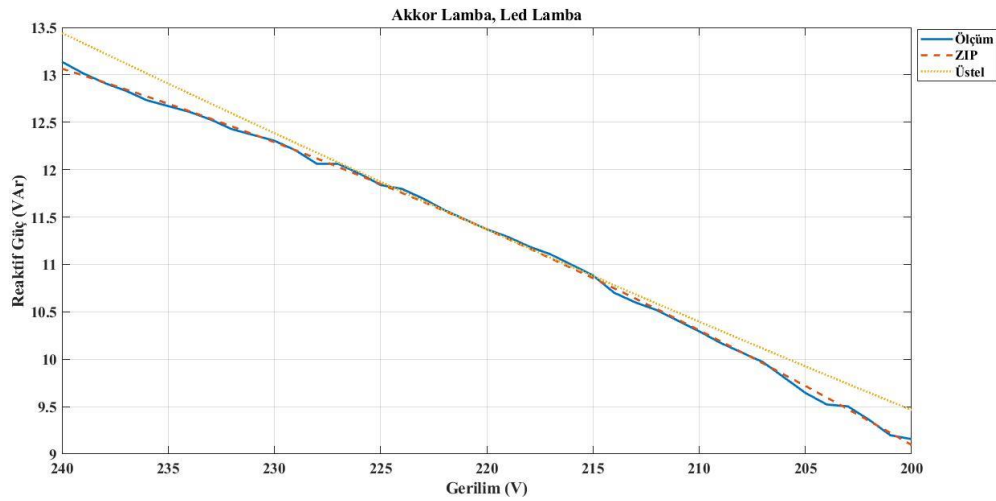
4.3.1. Birinci durum

Akkor lamba ve LED lambanın birlikte çalışması durumunun gerilim ve aktif güç arasındaki ilişkisi, Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Model, nominal 220 V geriliminde 56 W aktif güç tüketildiği varsayılarak oluşturulmuştur. Birlikte çalışma durumundaki ölçüm sonuçları ve hesaplanan modeller arasında benzerlik görülmüştür.



Şekil 4.19. Akkor lamba ve LED lamba gerilim – aktif güç eğrisi.

Akkor lamba ve LED lambanın birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 4.20’de yer almaktadır. Ölçüm sonucunda nominal gerilim 220 V gerilimde 11.37 VAr reaktif güç tükettiği esas alınarak model oluşturulmuştur. Birlikte çalışması durumu için ölçüm sonuçlarına ZIP yük modelinin yakın olduğu, üstel yük modelinin ise 225 – 215 V aralığında ölçüm sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir.

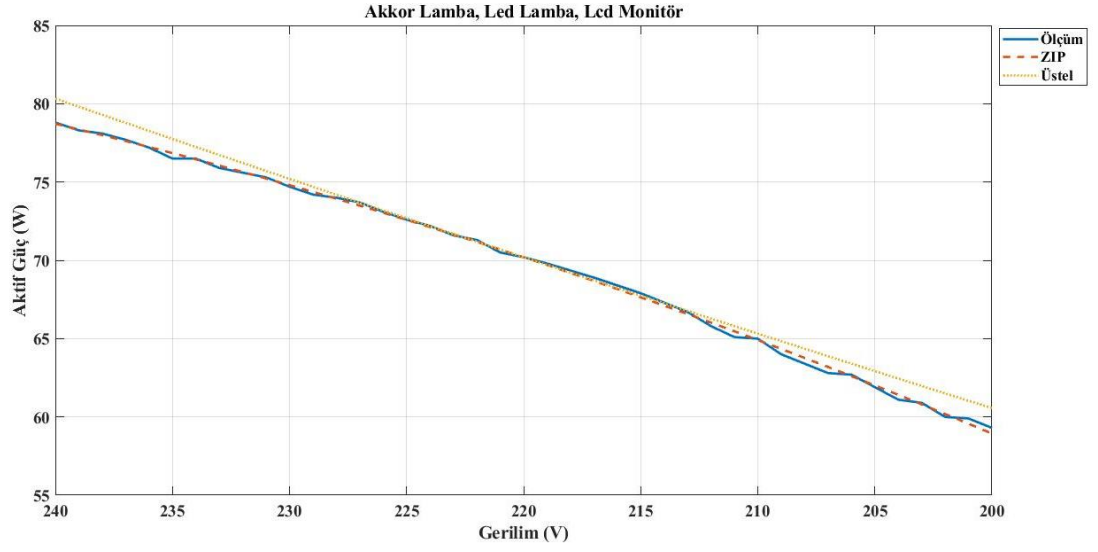


Şekil 4.20. Akkor lamba ve LED lamba gerilim – reaktif güç eğrisi.

4.3.2. İkinci durum

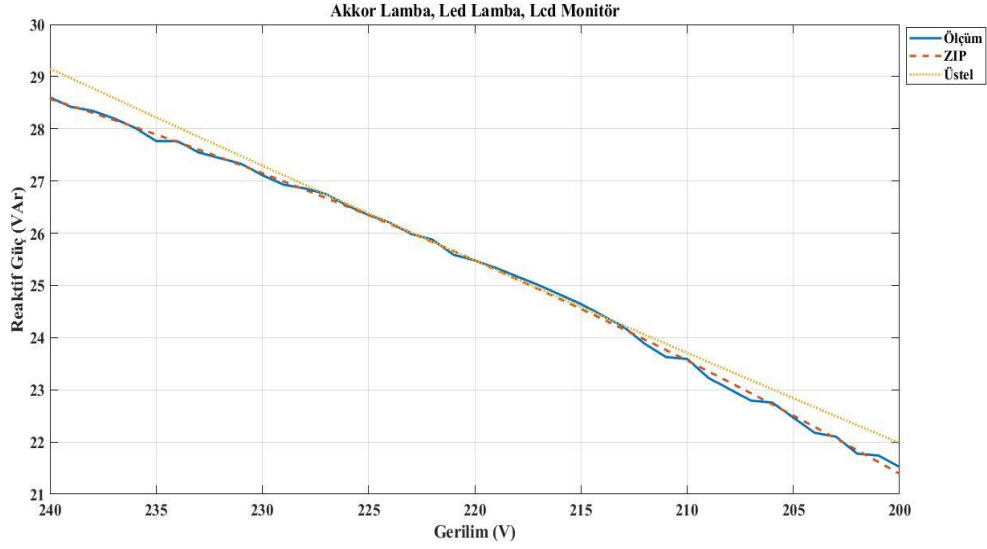
Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 4.21’de gösterilmektedir. Ölçüm sonucunda 220 V gerilimde 70.2 W aktif güç tükettiği esas alınarak model oluşturulmuştur. Birlikte çalışması durumu

için ölçüm sonuçlarına ZIP yük modelinin yakın olduğu, üstel yük modelinin ise 230 – 210 V aralığında ölçüm sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör gerilim – aktif güç eğrisi.

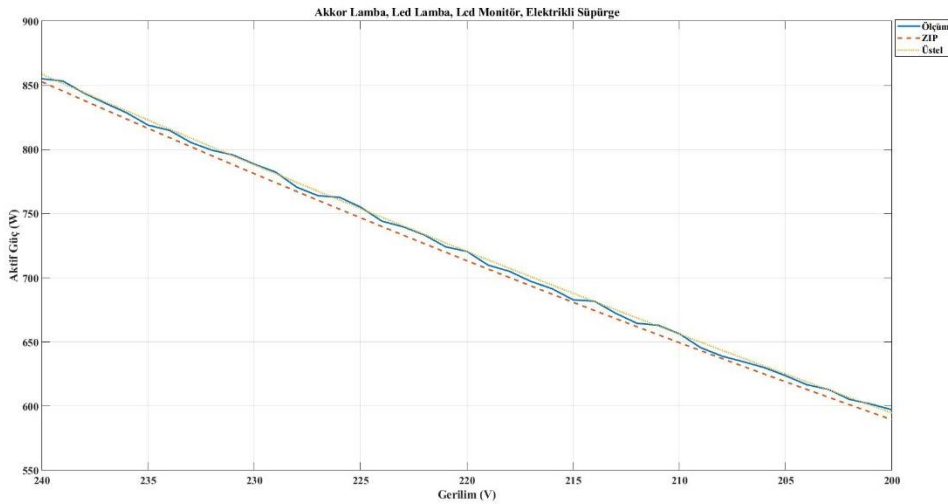
Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 4.22’de yer almaktadır. Ölçüm sonucunda 220 V gerilimde 25.48 VAR reaktif güç tükettiği esas alınarak model oluşturulmuştur. Yine bu durumda da Şekil 4.20’ye benzer sonuç çıkmaktadır.



Şekil 4.22. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör gerilim – reaktif güç eğrisi.

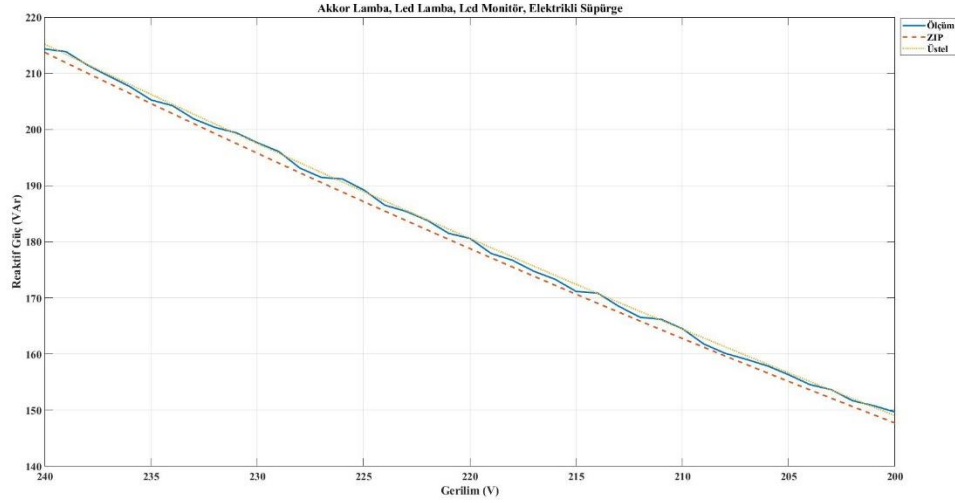
4.3.3. Üçüncü durum

Üçüncü durum olarak, LED ve akkor lamba, elektrikli süpürge ve LCD monitörün birlikte çalışması durumunun gerilim - aktif güç eğrisi Şekil 4.23'te sunulmuştur. Nominal gerilim olarak 220 V gerilim ve 720.6 W aktif güç tüketildiği dikkate alınarak bir model oluşturulmuştur. Birlikte çalışması durumu için yapılan ölçüm sonuçları, hem ZIP yük modeline hem de üstel yük modeline çok yakın bir şekilde uyum göstermektedir.



Şekil 4.23. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör, elektrikli süpürge gerilim – aktif güç eğrisi.

Son çalışma durumu olarak LED ve akkor lamba, elektrikli süpürge ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 34’te gösterilmektedir. Ölçüm sonucunda 220 V gerilimde 180.59 VAr reaktif güç tükettiği baz alınarak model oluşturulmuştur. Şekil 4.23’e benzer sonuçlar Şekil 4.24 için de geçerlidir.



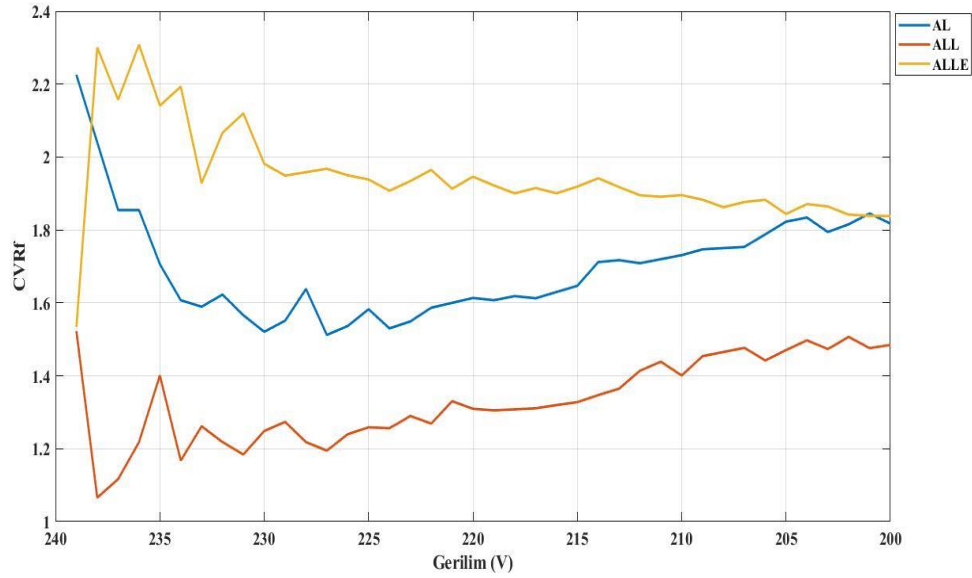
Şekil 4.24. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör, elektrikli süpürge gerilim - reaktif güç eğrisi.

Tablo 4.5’te cihazların birlikte çalışması durumu için ZIP ve üstel yük modeli katsayıları parametre sonuçları deneysel ve teorik olarak yer almaktadır. Teorik olarak katsayılar denklem (3.23) - (3.30) ile elde edilmiştir. Buna göre aktif ZIP katsayılarının teorik ve deneysel olarak birbirine çok yakın değerler aldığı tespit edilmiştir. Akkor lamba ve LED lambanın aktif güçleri sırasıyla 48.9 W ve 7.4 W’tır. Z_p katsayıları ise sırasıyla 0.4787 ve -27.5792’dir. Bu katsayılar ve nominal güç değerleri ile denklem (3.23) ile -3.2092 bulunmuştur. Gerçekte ise bu iki cihazın birlikte çalışması durumunda ölçülen değerler ile Z_p katsayısı -3.0774 bulunmuştur.

Tablo 4.5. Elektriksel cihazların bireysel ve birlikte çalışmasına ait polinomal ve üstel yük modeli katsayıları sonuçları.

Cihazlar	P_o	Q_o	Z_p	I_p	P_p	Z_q	I_q	P_q	n_p	n_q
Akkor Lamba	48.9	6.97	0.4787	0.5906	-0.0696	0.4787	0.5906	-0.0696	1.5480	1.5480
LED Lamba	7.4	9.36	-27.5792	59.6921	-31.1198	-23.1145	50.9677	-26.8749	4.5337	4.7387
LCD Monitör	14.3	21.71	0.0742	-0.0838	1.0102	-0.8198	2.2613	-0.4569	0.0646	0.6217
Elektrikli Süpürge	573.4	143.7	1.9481	-1.7636	0.8140	-0.4477	3.1425	-1.6937	2.1326	2.2471
Akkor, LED (teorik)	56.3	16.33	-3.2092	8.3588	-4.1508	-13.0444	29.4657	-15.4338	1.9404	3.3768
Akkor, LED, LCD (teorik)	70.6	38.04	-2.5441	6.6488	-3.1054	-6.0676	13.9397	-6.8863	1.5605	1.8044
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (teorik)	644	181.74	1.4556	-0.8414	0.3843	-1.6240	5.4025	-2.7806	2.0699	2.1544
Akkor, LED (deneysel)	56	11.37	-3.0774	8.0785	-4.0014	-3.0777	8.0794	-4.0019	1.9237	1.9240
Akkor, LED, LCD (deneysel)	70.2	25.48	-2.3625	6.2742	-2.9117	-2.3625	6.2742	-2.9117	1.5492	1.5492
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (deneysel)	720.6	180.59	1.3000	-0.5857	0.2828	1.3000	-0.5857	0.2828	2.0143	2.0143

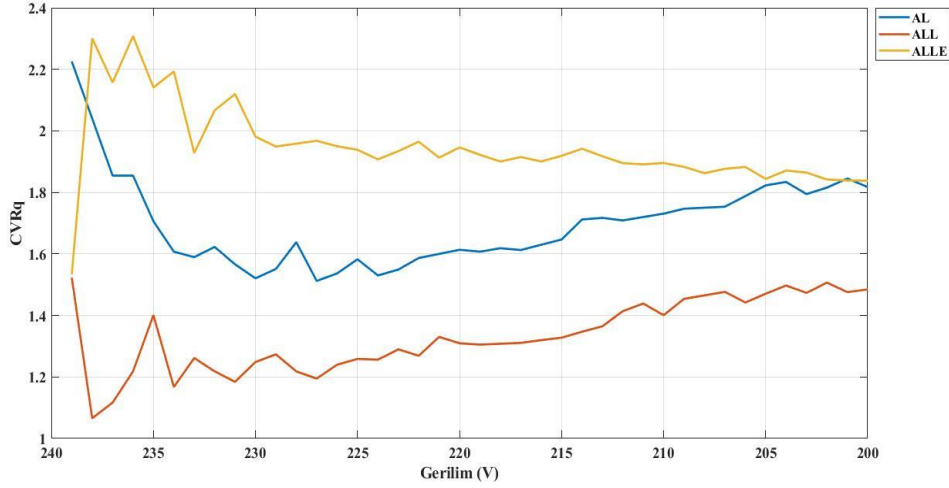
Çalışmada kullanılan tüm cihazların birlikte çalışma durumları için aktif güç için CVR_p eğrisi Şekil 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4.25. Birlikte çalışma durumları için gerilim – CVR_p eğrisi.

Akkor lamba ve LED lambanın birlikte kullanıldığı durum için ilk olarak yüksek CVR_p değerinden başlayıp azalmakta ve tekrardan yükselmektedir. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte kullanıldığı durum için genel olarak artış söz konusudur. Tüm cihazların bir arada kullanıldığı durum için ise ilk olarak artış sonrasında azalış söz konusudur.

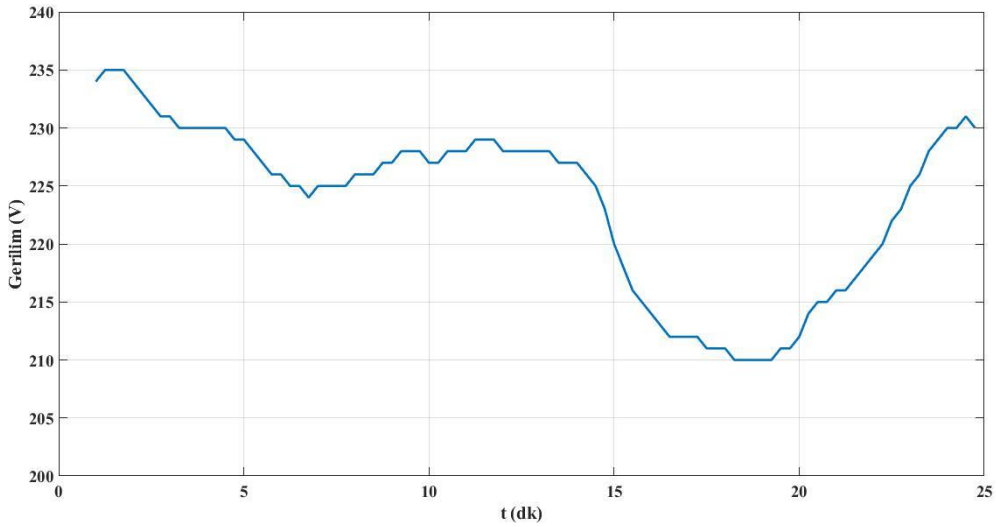
Reaktif güç için CVR_q eğrisi Şekil 4.26'da yer almaktadır. Akkor lamba ve LED lambanın birlikte kullanıldığı durum için ilk olarak yüksek CVR_q değerinden başlayıp azalmakta ve tekrardan yükselmektedir. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte kullanıldığı durum için genel olarak artış söz konusudur. Tüm cihazların bir arada kullanıldığı durum için ise ilk olarak artış sonrasında azalış söz konusudur.



Şekil 4.26. Birlikte çalışma durumları için gerilim – CVR_q eğrisi.

4.4. Tahmini Güç Tüketimi

CVR yöntemi cihazların birlikte çalışması durumu için 3 farklı durumda uygulanmış ve Z, I, P katsayılarına bağlı CVR faktörü belirlenmiştir. Şekil 4.27'de tahmini güç için uygulanan gerilim profili yer almaktadır. 235 - 210 V gerilim değerleri arasında değişen bu gerilim profili ile farklı gerilim değerlerinde cihazların ne kadarlık güç tüketimi yapacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.27. Tahmini güç için uygulanan gerilim profili.

Tablo 4.6’da konutsal cihazlara ait bireysel ve birlikte çalışma durumları için teorik ve deneysel olarak tahmini aktif güç tüketimi ve ölçüm sonuçları yer almaktadır. Buna göre akkor lamba ve LED lamba teorik olarak 56.3 W güç tüketimi yapmaktadır. Ancak birlikte çalıştığı durumda 220 V nominal gerilimde 56 W güç tüketimi yapmaktadır. 56.3 W nominal güçte, denklem (2.9)’a göre CVR faktörü değeri 1.9404 bulunur. Teorik olarak V_n 0.045 oranında gerilim değişiminde tahmini aktif güç 51.335 W, gerçek güç 50.70 W’tır. Deneysel ölçümlerde ise tahmini aktif güç 51.104 W, gerçek güç 50.70 W’tır.

Tablo 4.7’de ise hem teorik hem de deneysel olarak tahmini reaktif güç tüketimi ve ölçüm sonuçları yer almaktadır. Buna göre akkor lamba ve LED lamba teorik olarak 16.33 VAr güç tüketimi yapmaktadır. Ancak deneysel ölçümlerde birlikte çalıştığı durumda 220 V nominal gerilimde 11.37 VAr güç tüketimi yapmaktadır. 16.33 VAr nominal reaktif güçte, denklem (2.9)’a göre CVR faktörü değeri 3.3768 bulunur. Teorik olarak V_n 0.045 oranında gerilim değişiminde tahmini reaktif güç 13.824 VAr, gerçek güç 10.30 VAr’tır. Deneysel ölçümlerde ise tahmini reaktif güç 10.376 VAr, gerçek güç 10.30 VAr’tır.

Tablo 4.6. Elektriksel cihazlara ait tahmini aktif güç tüketimi sonuçları.

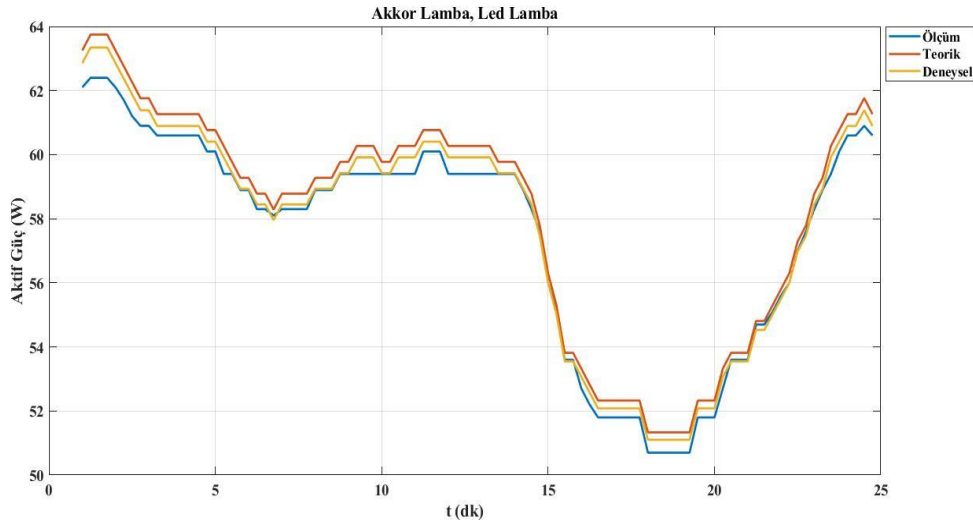
Cihaz	P_o	CVR_p	ΔV_n	P_r	P_{tahmin}	$P_{gerçek}$	Değişim
Akkor Lamba	48.9	1.5480	0.045	3.440	45.460	45.600	0.31%
LED Lamba	7.4	4.5337	0.045	1.525	5.875	5.300	-10.85%
LCD Monitör	14.3	0.0646	0.045	0.042	14.258	14.300	0.29%
Elektrikli Süpürge	573.4	2.1326	0.045	55.578	517.822	513.700	-0.80%
Akkor, LED (teorik)	56.3	1.9404	0.045	4.965	51.335	50.700	-1.25%
Akkor, LED, LCD (teorik)	70.6	1.5605	0.045	5.007	65.593	65.000	-0.91%
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (teorik)	644	2.0699	0.045	60.585	583.415	640.500	8.91%
Akkor, LED (deneysel)	56	1.9237	0.045	4.896	51.104	50.700	-0.80%
Akkor, LED, LCD (deneysel)	70.2	1.5492	0.045	4.943	65.257	65.000	-0.40%
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (deneysel)	720.6	2.0446	0.045	66.300	654.300	656.40	-0.32%

Tablo 4.7. 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	0.6217	0.045	0.613	21.097	20.610	-2.36%
Elektrikli Süpürge	143.7	2.2471	0.045	14.676	129.024	128.700	-0.25%
Akkor, LED (teorik)	16.33	3.3768	0.045	2.506	13.824	10.300	-34.21%
Akkor, LED, LCD (teorik)	38.04	1.8044	0.045	3.120	34.920	23.590	-48.03%
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (teorik)	181.74	2.1544	0.045	17.796	163.944	160.500	-2.15%
Akkor, LED (deneysel)	11.37	1.9240	0.045	0.994	10.376	10.300	-0.74%
Akkor, LED, LCD (deneysel)	25.48	1.5492	0.045	1.794	23.686	23.590	-0.41%
Akkor, LED, LCD, E.Süpürge (deneysel)	180.59	2.0446	0.045	16.615	163.975	164.5093	-0.32%

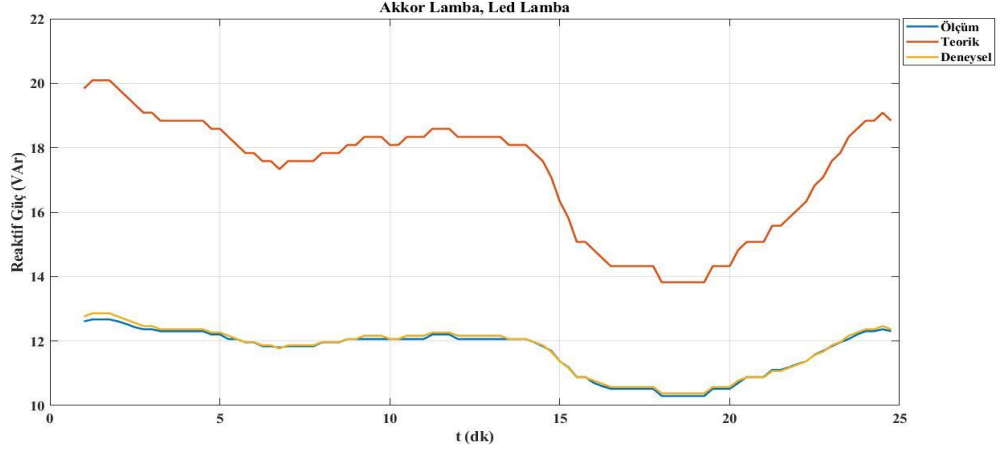
4.4.1. Birinci durum

Akkor lamba ve LED lambanın birlikte çalışması durumu için teorik ve deneysel olarak tahmin edilen aktif ve reaktif güçler hesaplanmıştır. Akkor lamba ve LED lambanın birlikte çalışması durumu için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 4.28’de yer almaktadır. Ölçüm sonucunda teorik olarak nominal gerilim 220 V gerilimde 56.3 W aktif güç tükettiği ve deneysel olarak 56 W baz alınarak modeller oluşturulmuştur. Buna göre cihazların birlikte çalışması durumunda alınan ölçüm sonucuna deneysel modelin teorik modelden daha yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.28. Akkor lamba ve LED lamba birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.

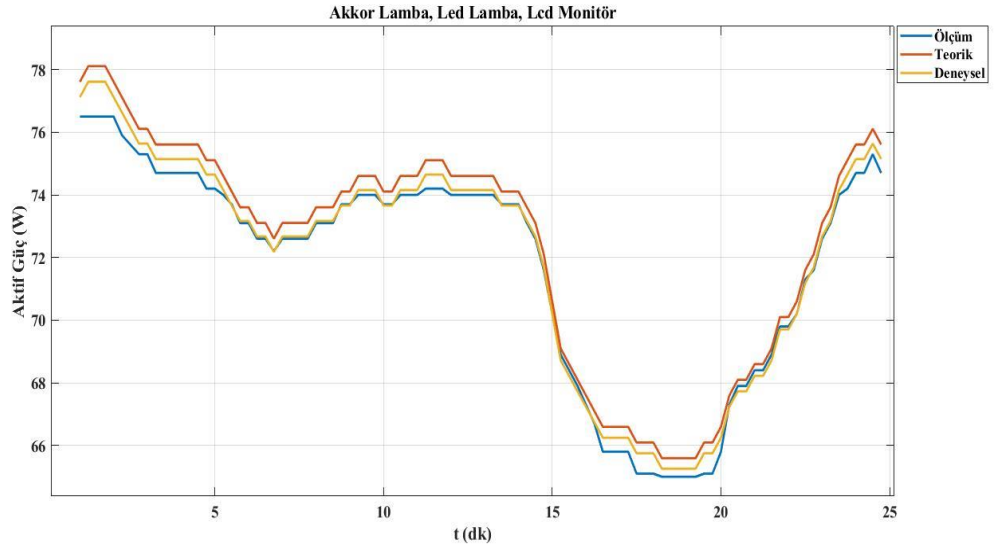
Akkor lamba ve LED lambanın birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 4.29’da yer almaktadır. Ölçüm sonucunda teorik olarak nominal gerilim 220 V gerilimde 16.33 VAR reaktif güç tükettiği ve deneysel olarak 11.37 VAR baz alınarak modeller oluşturulmuştur. Buna göre birlikte çalışması durumu için ölçüm sonucuna deneysel modelin çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.29. Akkor lamba ve LED lamba birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.

4.4.2. İkinci durum

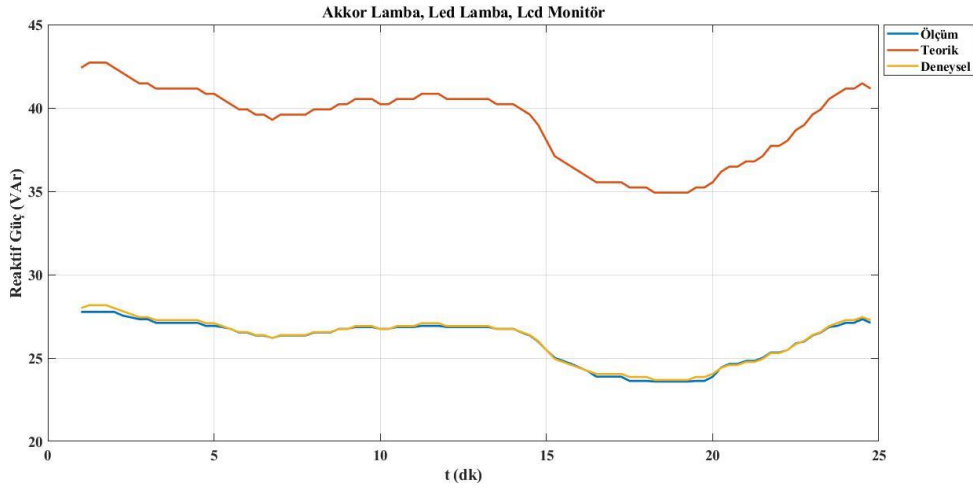
Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 4.30’da gösterilmektedir. Ölçüm sonucunda teorik olarak 220 V gerilimde 70.6 W aktif güç tükettiği ve deneysel olarak 70.2 W baz alınarak modeller oluşturulmuştur. Buna göre birlikte çalışması durumu için ölçüm sonucuna deneysel modelin teorik modele göre yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.30. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.

Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 4.31’de gösterilmektedir. Ölçüm sonucunda teorik olarak 220 V gerilimde 38.04 Var reaktif güç tükettiği ve deneysel olarak 25.48 VAr baz alınarak

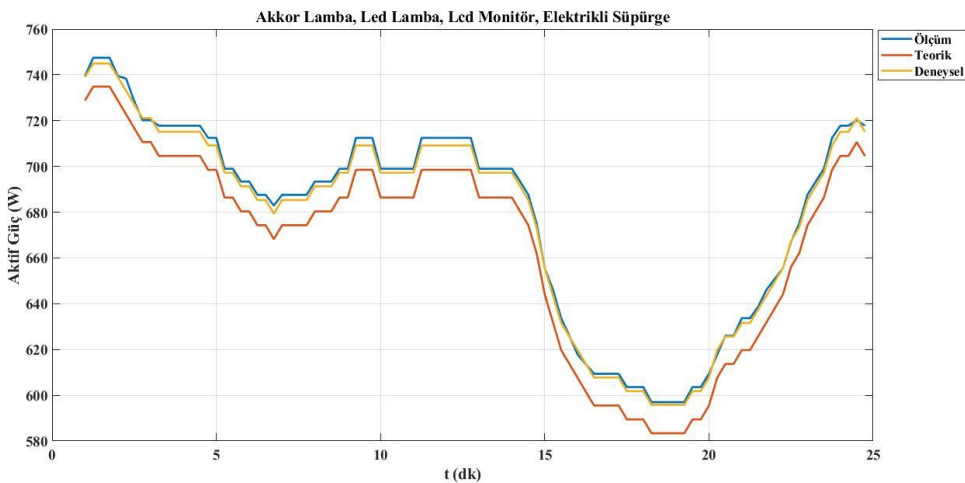
modeller oluşturulmuştur. Buna göre birlikte çalışması durumu için ölçüm sonucuna deneysel modelin çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31. Akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.

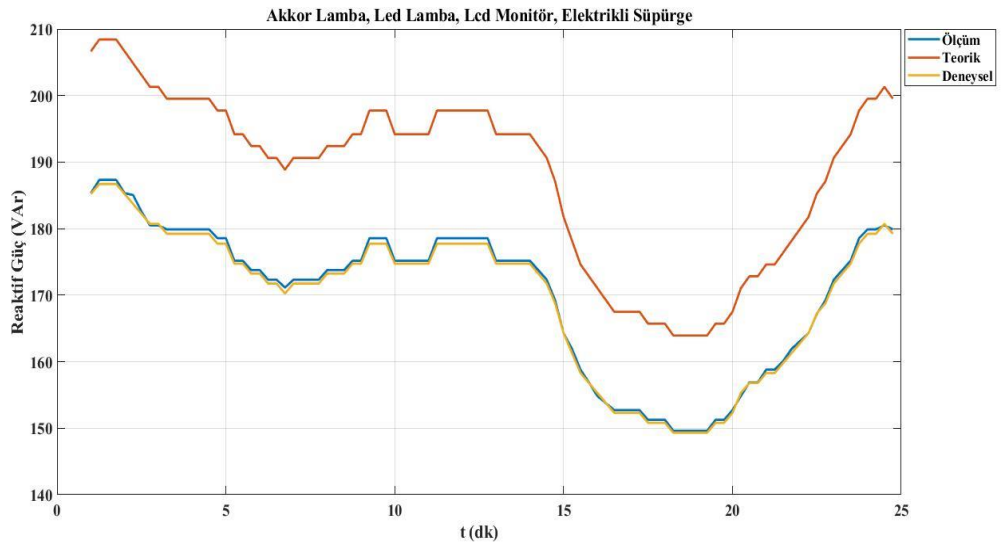
4.4.3. Üçüncü durum

Son çalışma durumu olarak LED ve akkor lamba, elektrikli süpürge ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – aktif güç eğrisi Şekil 4.32’de yer almaktadır. Ölçüm sonucunda teorik olarak 220 V gerilimde 644 W aktif güç tükettiği ve deneysel olarak 720.6 W baz alınarak modeller oluşturulmuştur. Buna göre birlikte çalışması durumu için ölçüm sonucuna deneysel modelin teorik modele göre yakın olduğu, teorik modelin bu modellerden düşük seviyede tahmin edildiği görülmektedir.



Şekil 4.32. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge birlikte çalışma durumları için tahmini aktif güç tüketimi.

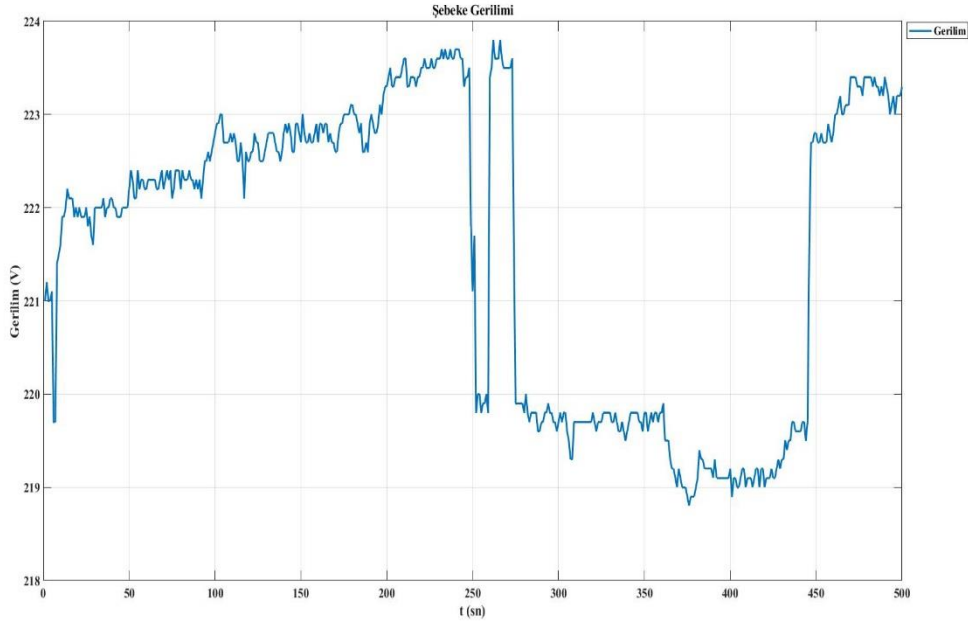
Son çalışma durumu olarak LED ve akkor lamba, elektrikli süpürge ve LCD monitörün birlikte çalışması durumu için gerilim – reaktif güç eğrisi Şekil 4.33'te yer almaktadır. Ölçüm sonucunda teorik olarak 220 V gerilimde 181.74 VAr reaktif güç tükettiği ve deneysel olarak 180.59 VAr reaktif güç tükettiği baz alınarak modeller oluşturulmuştur. Buna göre birlikte çalışması durumu için ölçüm sonucuna deneysel modelin çok yakın olduğu, teorik modelin ise bu modellerin üzerinde sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.33. Akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge birlikte çalışma durumları için tahmini reaktif güç tüketimi.

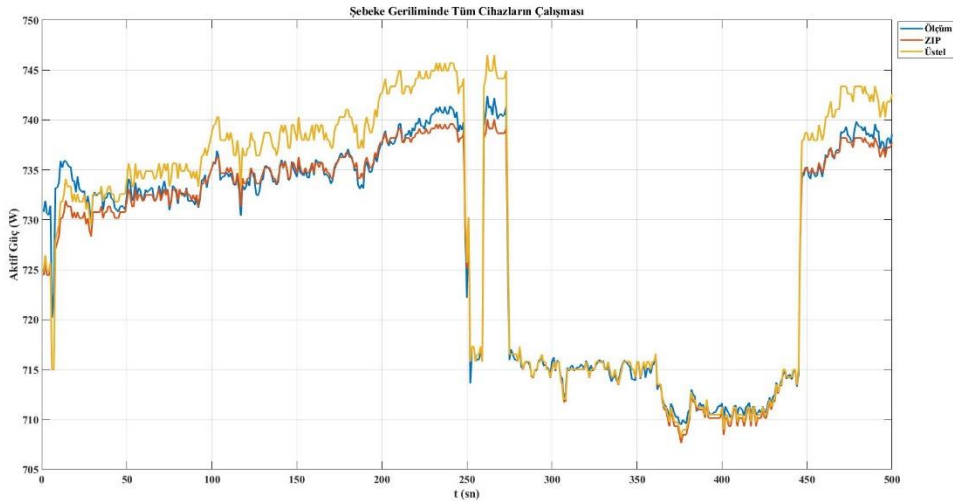
4.5. Gerçek Şebeke Gerilimde Uygulama

Son kısım olarak tüm cihazların şebeke geriliminde ve yaklaşık 207 V'ta azaltılmış ölçümleri yapıldı. Amaç şebeke geriliminden elde edilen veriler ile Z, I, P katsayılarını elde etmek ve bu katsayılar ile 207 V gerilimde tahmini gücü elde etmektir. 500 sn'lik yapılan ölçümler şebeke gerilimin değişimi Şekil 4.34'te yer almaktadır.



Şekil 4.34. Şebeke geriliminin zamana değişimi.

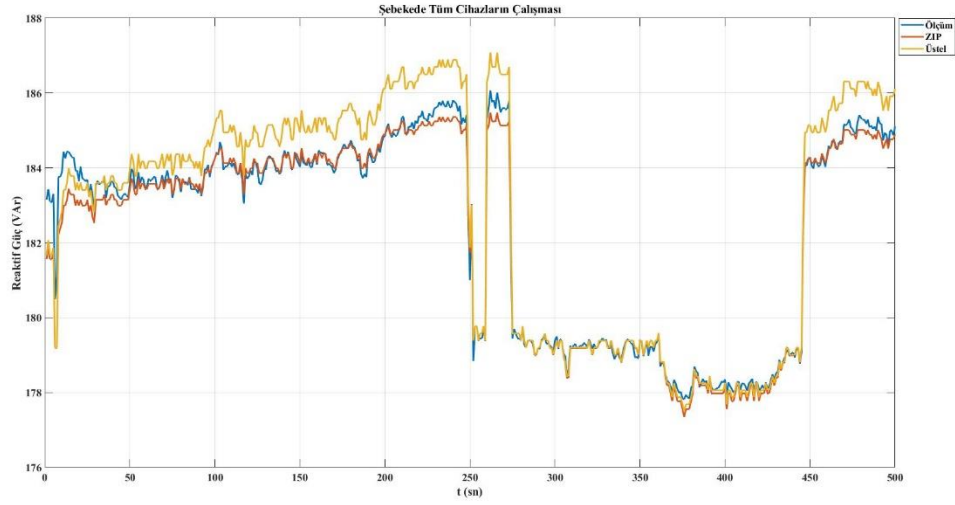
Nominal gerilimin 220 V, nominal aktif güç değerinin 720.6 W alınan modelde ölçüm, ZIP ve üstel yük modeli Şekil 4.35'te yer almaktadır. Buna göre ZIP yük modelinin üstel yük modeliyle birlikte gerçek sonuçlara yakın değerler aldığı görülmektedir. Aktif güce ait Z, I, P katsayıları ise sırasıyla -28.1351, 58.3148, -29.1750'dir.



Şekil 4.35. Şebeke geriliminde aktif güç için yük modelleri.

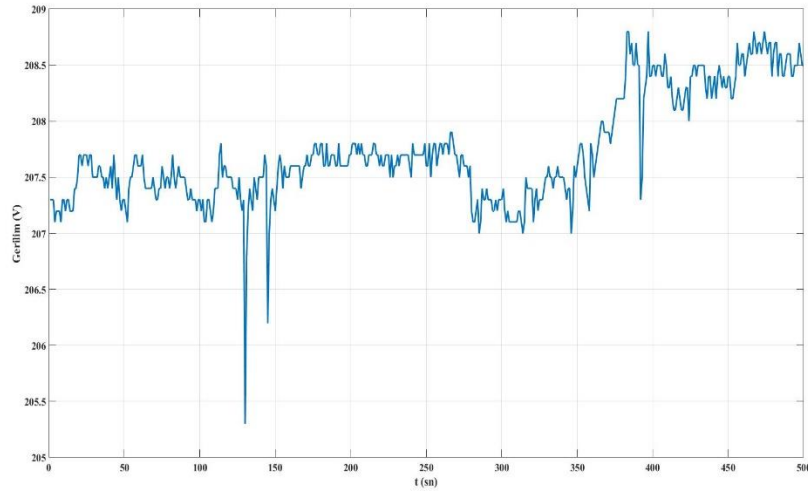
Nominal gerilimin 220 V, nominal reaktif gücün 180.59 VAR olarak hesaplandığı modelde ölçüm ve yük modelleri Şekil 4.36'da yer almaktadır. Buna göre ZIP yük modelinin üstel yük modeliyle birlikte gerçek sonuçlara yakın değerler aldığı

görülmektedir. Reaktif güce ait Z, I, P katsayıları ise sırasıyla -28.1351, 58.3148, -29.1750'dir.



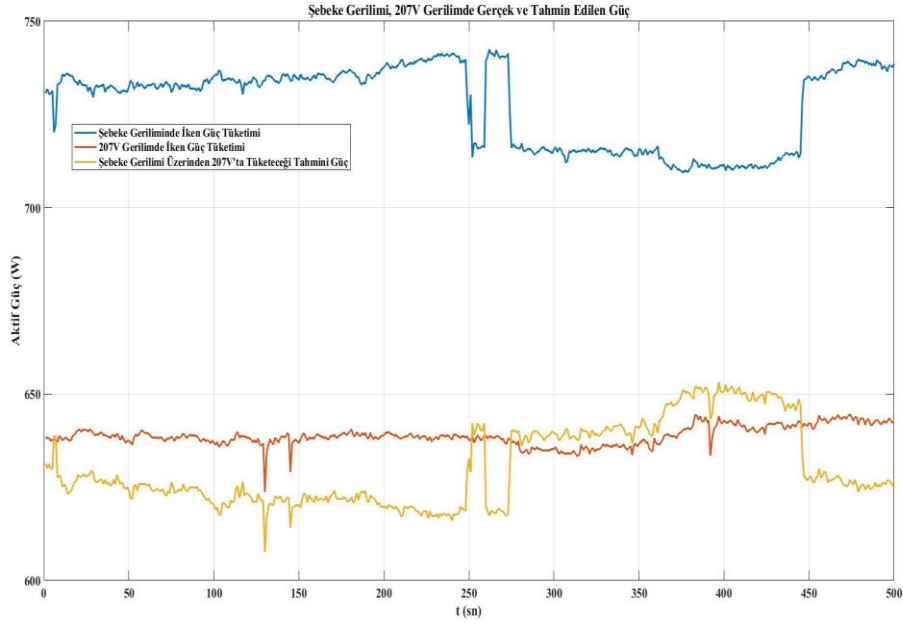
Şekil 4.36. Şebeke geriliminde reaktif güç için yük modelleri.

Şebeke gerilimi varyak yardımı ile 207 - 208 V civarı azaltma uygulandı ve bu sıradaki gerilimin zamana göre değişimi Şekil 4.37'da yer almaktadır..



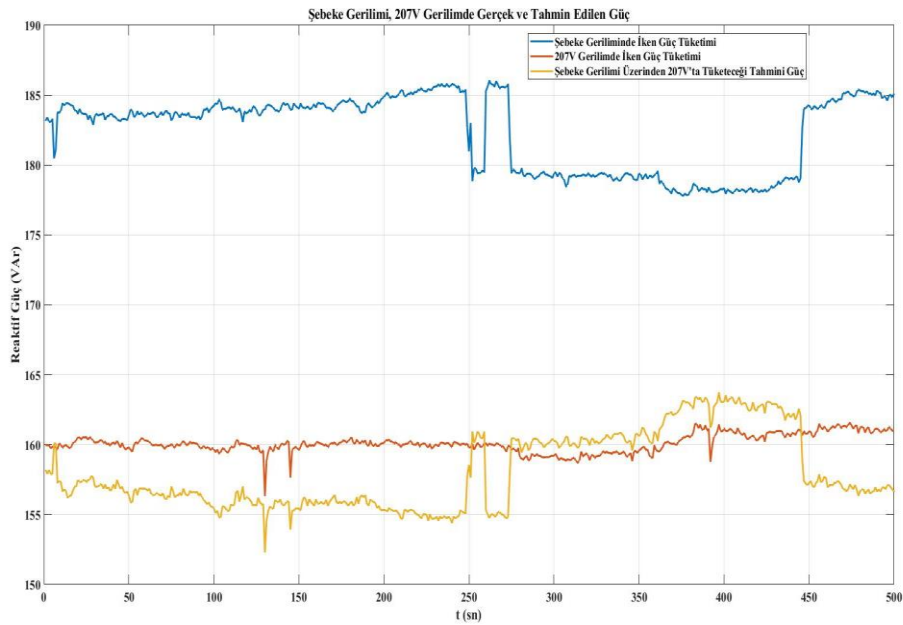
Şekil 4.37. Varyak yardımı ile şebeke geriliminin azaltılması.

Şekil 4.38'de tüm cihazların şebeke gerilimde çalışması, 207 - 208 V arasındaki çalışma ve şebeke geriliminden elde edilen Z, I, P katsayılarından tahmin edilmiş aktif güç grafiği yer almaktadır. Mavi renk şebeke gerilimindeki tüm cihazların gücünü temsil etmektedir. Kırmızı renk 207 - 208 V aralığındaki tüm cihazların gücünü, sarı renk ise tahmin edilen gücü temsil etmektedir.



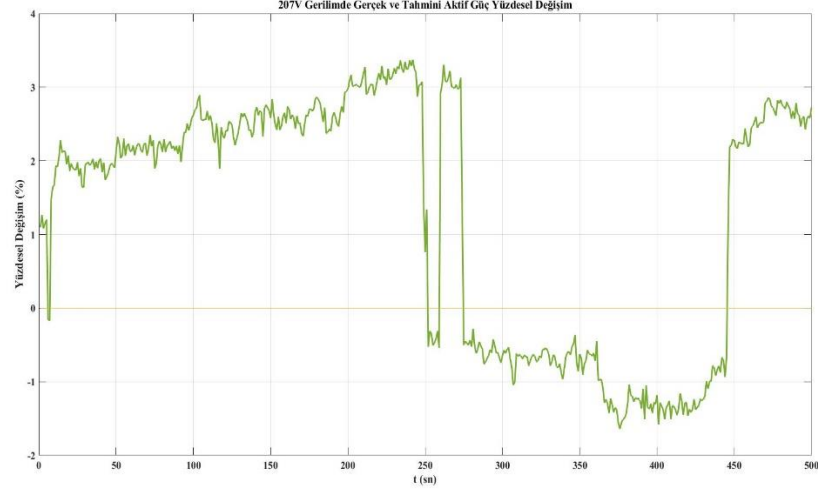
Şekil 4.38. Şebeke geriliminden elde edilen tahmini aktif güç.

Şekil 4.39'da tüm cihazların şebeke gerilimde çalışması, 207 - 208 V arasındaki çalışma ve şebeke geriliminden elde edilen Z, I, P katsayılarından tahmin edilmiş reaktif güç grafiği yer almaktadır.



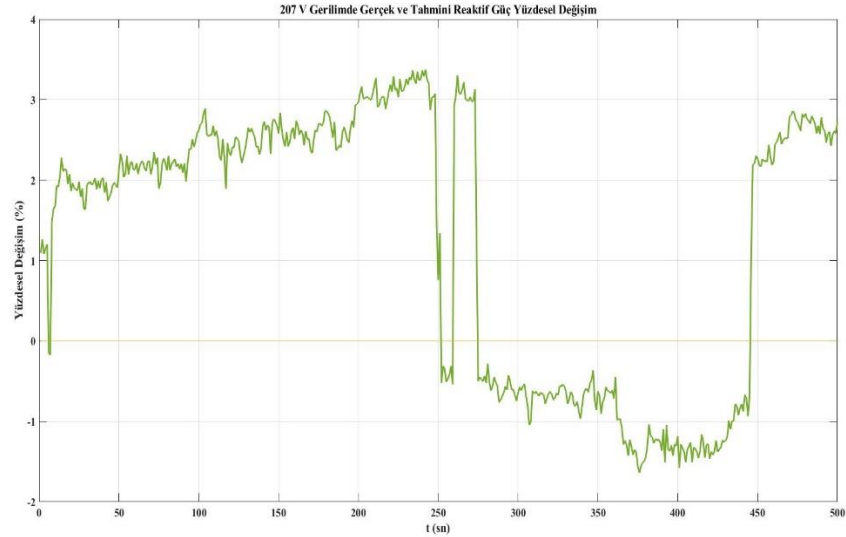
Şekil 4.39. Şebeke geriliminden elde edilen tahmini reaktif güç.

Şekil 4.40'ta 207 - 208 V esnasında tüketilen aktif güç ile tahmin edilen güç arasındaki farkın yüzdesel olarak değişimi yer almaktadır. Buna göre aradaki maksimum fark %3.37 olmaktadır.



Şekil 4.40. Azaltılmış gerilimde gerçek ve tahmini aktif güç yüzdesel değişim.

Şekil 4.41'de 207 - 208 V esnasında tüketilen reaktif güç ile tahmin edilen güç arasındaki farkın yüzdesel olarak değişimi yer almaktadır. Buna göre aradaki maksimum fark %3.37 olmaktadır.



Şekil 4.41. Azaltılmış gerilimde gerçek ve tahmini reaktif güç yüzdesel değişim.

Gerilim azaltımı yapılmadan önce saatte 727.55 Wh enerji tüketimi olmaktadır. Gerilim azaltımı yapıldıktan sonra saatte 638.78 Wh enerji tüketimi ile başlangıca göre %12.20 azalma olmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, elektriksel cihazların güç sistemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Gerilimin belirli seviyelerde azaltılması sonucunda cihazların ZIP yük modeli ve üstel yük modeli katsayılarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Test sürecinde, gerilimi azaltarak ve kademeli olarak cihazların güç tüketimlerinin belirlenmesi için kullanılan Arduino Uno ve PZEM-004T modülleriyle birlikte parametreler kaydedilmiştir. Elde edilen bu veriler MATLAB programına aktardıktan sonra En Küçük Kareler yöntemi kullanılarak ZIP yük modeline ait katsayılar bulunmuştur. Ayrıca, bu katsayılar ile üstel yük modeli katsayıları da hesaplanmıştır. Sonuç olarak, elde edilen eğriler cihazların güç tüketimlerinin tahminini yapmak için kullanılabilir. Ayrıca, bu süreçte CVR faktörü de hesaplanmıştır ve cihazların tahmini güç tüketimi ZIP yük modeli katsayılarına dayanarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, bireysel cihazlar için ZIP ve üstel yük modelleri incelenmiştir. Sonuçlar akkor lamba ve elektrikli süpürge için her iki yük modelinin uygun sonuçlar verdiğini, LED lamba için polinomal yük modelinin daha uygun olduğunu, elektrikli süpürge için ise her iki yük modelinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tahmin edilen güç miktarı, gerçek gücün altında bulunmuştur akkor lamba ve elektrikli süpürge için, ancak LED lamba ve LCD monitör için gerçek gücün üzerinde bir değere ulaşmıştır.

Birlikte çalışması durumu için ZIP ve üstel yük modeli her bir durum için incelenmiş olup akkor lamba ve LED lamba için ZIP yük modelinin uygun sonuçlar ürettiği; akkor lamba, LED lamba ve LCD monitör için ZIP yük modelinin daha uygun olduğu; akkor lamba, LED lamba, LCD monitör ve elektrikli süpürge için her iki modelin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Birlikte çalışması durumunda tahmin edilen aktif güç, reaktif güce göre çok yakın sonuçlar vermiştir.

Şebeke geriliminde yapılan ölçümlerde ise ZIP yük modeli ile üstel yük modeli benzer sonuçlar vermiştir. Tahmin edilen aktif ve reaktif güçler ise ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma, evler, apartman/siteler ve bölgesel düzeyde seçilen cihazların birlikte çalışma durumlarının incelenmesine yöneliktir. Sonuçlar, güç dağıtım merkezlerinde gerilim düzenlemesi yapılmasına yardımcı olacaktır. Geliştirilen bu çalışma, son kullanıcıda bulunan elektriksel cihazların kapanmaması veya arıza olmaması için nominal gerilim düzeylerinden düşük seviyelerde çalıştırılmasını sağlayacaktır. İlgili ZIP yük parametrelerine dayanarak tahmini güç tüketimi de hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma ile, seçili elektriksel cihazlar için ZIP ve üstel yük modeli katsayıları belirlendi. Bu sonuçlar, gerilim değişimi üzerinden müşterilerin yük profilini ve talepten gerçek talep (P ve Q) tahmini yapmak için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] 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>
- [2] Quilumba, F. L., Lee, W. J., & Jativa-Ibarra, J. (2014). Load models for flat-panel TVs. IEEE Transactions on Industry Applications, 50(6), 4171–4178. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2313660>
- [3] 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, 1–7. <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666712>
- [4] Schneider, K. P., & Fuller, J. C. (2010). Detailed end use load modeling for distribution system analysis. IEEE PES General Meeting, PES 2010, 1–7. <https://doi.org/10.1109/PES.2010.5588151>
- [5] 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.
- [6] Li, Y., Chiang, H., Choi, B., Chen, Y., Huang, D. and Lauby, M., (2007). ‘‘Representative Static Load Models for Transient Stability Analysis: Development and Examination’’, IET Gener. Transm. Distrib., 1(3):422–431.
- [7] 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>
- [8] P. Kundur, ‘‘Power system stability and control’’, EPRI series, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [9] Elgerd Olle I., ‘‘Electric Energy Systems Theory’’, Mc Graw-Hill, Inc., 3 rd Printing, 1985.
- [10] Geçkinli Emel A., Metalografi, İTÜ Kütüphanesi Sayı 1391, Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul 1989
- [11] 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>
- [12] 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>

- [13] 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>
- [14] 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>
- [15] C. Cresswell, “Steady State Load Models for Power System Analysis,” p. 321.
- [16] A. J. Collin, “Advanced Load Modelling for Power System Studies,” p. 300.
- [17] F. L. Quilumba, W.-J. Lee, and J. Jativa-Ibarra, “Load models for flat panel TVs,” in 2013 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Lake Buena Vista, FL, USA, Oct. 2013, pp. 1–7, doi: 10.1109/IAS.2013.6682580.
- [18] F. S. Chassin, E. T. Mayhorn, M. A. Elizondo, and S. Lu, “Load modeling and calibration techniques for power system studies,” in 2011 North American Power Symposium, pp. 1–7, IEEE, 2011.
- [19] A. del Pilar Rios, K. Agbossou, and A. Cardenas, “Taylor series approximation of ZIP model for on-line estimation of residential loads’ parameters,” in 2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, Mar. 2017, pp. 632–637, doi: 10.1109/ICIT.2017.7915432.
- [20] M. E.-N. Jahromi and M. T. Ameli, “Measurement-based modelling of composite load using genetic algorithm,” *Electric Power Systems Research*, vol. 158, pp. 82–91, 2018.
- [21] 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>
- [22] L. Korunovic, D. Stojanovic and J. V. Milanovic, ”Identification of static load characteristics based on measurements in medium-voltage distribution Network,” *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 2, no. 2, pp. 227-234, Mar. 2008.
- [23] W. Xu, E. Vaahedi, Y. Mansour and J. Tamby, ”Voltage stability load parameter determination from field tests on BC Hydro’s system,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 1290-1297, Aug. 1997.
- [24] Sandraz J. P. A., Macwan R., Diaz-Aguiló M., McClelland J., De León F., Czarkowski D., Comack C., Energy and economic impacts of the application of CVR in heavily meshed secondary distribution networks, *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 4, pp. 1692–1700, 2014
- [25] 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, 1, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2014.6816382>
- [26] Wilson T. L., Measurement and verification of distribution voltage optimization results for the IEEE power & energy society, *IEEE PES Gen. Meet. PES 2010*, pp. 1–9, 2010.

- [27] 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-Janua, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2017.8274490>
- [28] Emiroğlu, S. (2017). Dağıtık üretimli elektrik enerji sistemlerinde gerilim azaltım yöntemi ile enerji optimizasyonu. <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/76382>
- [29] V. Dabic, Cheong Siew, J. Peralta, and D. Acebedo, “BC Hydro’s experience on Voltage VAR Optimization in distribution system,” in IEEE PES T&D 2010, New Orleans, LA, USA, 2010, pp. 1–7, doi: 10.1109/TDC.2010.5484276.
- [30] Z. Wang and J. Wang, “Review on implementation and assessment of conservation voltage reduction,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 29, no. 3, pp. 1306–1315, 2013.
- [31] Regresyon, A., Kullanılan, 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.
- [32] Sadeghi, M., & Abdollahi Sarvi, G. (2009). Determination of ZIP parameters with least squares optimization method. 2009 IEEE Electrical Power and Energy Conference, EPEC 2009, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EPEC.2009.5420883>
- [33] Ş. Ç. Yener ve R. Mutlu , "On the equivalent ZIP parameter extraction of desktop computer cases and LCD monitors connected in parallel", International Advanced Researches and Engineering Journal, c. 3, sayı. 3, ss. 164-169, Ara. 2019, doi:10.35860/iarej.614997
- [34] 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, 6. <https://doi.org/10.1109/PTC.2017.7981230>
- [35] Find minimum of constrained nonlinear multivariable function - MATLAB fmincon. (n.d.). Retrieved September 22, 2022, from <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/fmincon.html#d124e94060>
- [36] Anas Alkrch, M. (n.d.). LED ZIP Model Development. Retrieved October 11, 2022, from <https://digitalcommons.unl.edu/archengdiss/64>
- [37] 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, 9(12), 8–22. <https://doi.org/10.3390/en9121074>
- [38] 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>
- [39] Test varyak - Regülatörler, Varyak, Transformatörler. (n.d.). Retrieved September 22, 2022, from <https://www.guvenisregulator.com.tr/p88-test-varyak>

- [40] Test_varyak_kutulu_11.png (284×400). (n.d.). Retrieved September 22, 2022, from https://www.guvenisregulator.com.tr/userfiles/images/test_varyak_kutulu_11.png
- [41] 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>
- [42] pr_01_2173.jpg (817×570). (n.d.). Retrieved September 14, 2022, from https://st2.myideasoft.com/shop/dr/21/myassets/products/173/pr_01_2173.jpg?revision=1445079759
- [43] PZEM-004T-3-0-TTL-Modbus-Electric-Kwh-Energy-Meter-Wattmeter-Voltmeter-Ammeter-Volt-Amp-Power.png (800×800). (n.d.). Retrieved September 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>
- [44] PZEM-004T V3 Module | Arduino & NodeMCU Code, Circuit, Pinout And Library. (n.d.). Retrieved September 14, 2022, from <https://innovatorsguru.com/pzem-004t-v3/>
- [45] What is Data Streamer? (n.d.). Retrieved September 14, 2022, from <https://support.microsoft.com/en-us/office/what-is-data-streamer-1d52ffce-261c-4d7b-8017-89e8ee2b806f>

EKLER

Matlab Programında Katsayıların Bulunması ve Grafik İşlemleri

```
Vi=[]; % Excel dosyasından import data ile aktarılan gerilim degerleri
Pi=[]; % Excel dosyasından import data ile aktarılan guc degerleri
Vo=; % Her cihaz icin nominal gerilim degeri
Po=; % Her cihaz icin nominal guc degeri
A=zeros(3,3);
n=length(Pi);
i=1:n;
A(1,1)=sum((Vi(i)/Vo).^4);
A(1,2)=sum((Vi(i)/Vo).^3);
A(1,3)=sum((Vi(i)/Vo).^2);
A(2,1)=sum((Vi(i)/Vo).^3);
A(2,2)=sum((Vi(i)/Vo).^2);
A(2,3)=sum((Vi(i)/Vo));
A(3,1)=sum((Vi(i)/Vo).^2);
A(3,2)=sum((Vi(i)/Vo));
A(3,3)=n;
B=zeros(3,1);
B(1,1)=sum((Pi(i)/Po).*(Vi(i)/Vo).^2);
B(2,1)=sum((Pi(i)/Po).*(Vi(i)/Vo));
B(3,1)=sum((Pi(i)/Po));
X=inv(A)*B;
Z=round(X(1,1),2);
I=round(X(2,1),2);
P=round(X(3,1),2);
Z+I+P
P_zip=Po.*(Z.*(Vi/Vo).^2+I.*(Vi/Vo)+P);
P_exp=(Po)*(Vi/Vo).^((2*X(1))+X(2));
plot(Vi,Pi)
hold on
plot(Vi,P_zip)
hold on
plot(Vi,P_exp)
```

Arduino Uno ve Pzem – 004t Modülü Kodu

```
#include <PZEM004Tv30.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
PZEM004Tv30 pzem(2, 3);

void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop() {
  float voltage = pzem.voltage();
  if(voltage != NAN){
    // Serial.print("Voltage: ");
    Serial.print(voltage); Serial.print(",");
    // Serial.println("V");
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("V= ");
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.print(voltage);
  } else {
    Serial.println("Error reading voltage");
  }

  float current = pzem.current();
  if(current != NAN){
    //Serial.print("Current: ");
    Serial.print(current); Serial.print(",");
    // Serial.println("A");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("A= ");
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(current);
  } else {
    Serial.println("Error reading current");
  }

  float power = pzem.power();
  if(current != NAN){
    //Serial.print("Power: ");
    Serial.print(power); Serial.print(",");
    // Serial.println("W");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("W= ");
    lcd.setCursor(11,1);
    lcd.print(power);
  } else {
    Serial.println("Error reading power");
  }

  /* float energy = pzem.energy();
  if(current != NAN){
    //Serial.print("Energy: "); Serial.print(",");
    Serial.print(energy,3);
    // Serial.println("kWh");
  }

```

```

    } else {
        Serial.println("Error reading energy");
    }*/

    float pf = pzem.pf();
    if(current != NAN){
        // Serial.print("Power Factor: ");
        Serial.println(pf);
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print("PF=");
        lcd.setCursor(3,1);
        lcd.print((power)/(voltage*current));
    } else {
        Serial.println("Error reading power factor");
    }

    // Serial.println();
    delay(2000);
}

```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ramazan BAYRAM

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2022 yılları arasında Furkan Elektrik firmasında çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- R. Bayram ve S. Emiroglu , "Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı. 42, ss. 26-39, Eki. 2022, doi:10.31590/ejosat.1189150 (Makale Örneği)
- Bayram, R., & EMİROĞLU, S. (2022). Konutsal Yüklerin Parametre ve Güç Tüketimi Tahmini. Presented at the 2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, Konya. (Özet Bildiri)