

Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Zekâ Fotovoltaik Güç Dönüştürücü Sistem Tasarımı

Erhan ÖZKAN^{1*} 

Öz

Bu makalede güneş enerjisi potansiyelini değerlendirecek ve enerji maliyetlerini düşürecek bir sistemin tamamen yerli ve milli olanaklar ile sağlanmasına ilişkin çalışmalar anlatılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada güneş enerjisini kullanan güç dönüştürücü donanımının tasarımı, ikinci aşamada ise bu dönüştürücü sistemin verilerini değerlendirip, enerji maliyetinin kullanım oranına göre mukayesesini yapan ve minimum maliyetler ile enerji depolayan bulanık mantık tabanlı yapay zekâ yazılımlarına ait çalışmalar yer almaktadır. En iyileme algoritması Matlab ortamında geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında Gekko optimizasyonundan faydalanılmıştır. Tasarlanan güç dönüştürücü sistemi; tüketicinin fotovoltaik (PV) üretim ve tüketim bilgilerini bir veri tabanına kaydeden, kaydedilen bilgilere göre tüketicinin gelecekteki PV üretim ve tüketim profilini günlere/aylara/mevsimlere göre tahmin edebilmektedir. Akıllı şebekelere uyumlu olarak tasarlanan bu sistemin şebekeyle haberleşerek yaptığı tahminleri şebekeye iletmesi ve enerji talebiyle enerji üretiminin arasındaki farkın en aza indirilmesine yardımcı olması gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan sistem; enerji depolayarak gerekli görülen durumlarda güç öteleyebilecek, olası bir şebeke kesintisinde tüketici için kritik yükleri kesintisiz güç kaynağı gibi çalışarak depolanan enerjiden besleyebilecek şekilde geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Bulanık Mantık, Enerji Tasarrufu, Yerli Tasarım.

Fuzzy Logic Based Artificial Intelligence Photovoltaic Power Converter System Design

Abstract

In this article, studies on providing a system that would evaluate the solar energy potential and reduce energy costs were explained with completely domestic and national resources. The study consists of two stages. In the first stage, the design of the power converter hardware using solar energy, and in the second stage, studies on fuzzy logic-based artificial intelligence software that evaluates the data of this converter system, compares the energy cost according to the usage rate and stores energy with minimum costs were mentioned. The optimization algorithm was developed in Matlab environment. Gekko optimization was used in the application phase. Designed power converter system, that records the consumer's photovoltaic (PV) production and consumption information in a database and can predict the consumer's future PV production and consumption profile regarding to the days/months/seasons according to the recorded information. It has been realized that this system, designed in harmony with smart grids, communicates with the grid and transmits its forecasts to the grid, and helps to minimize the difference between energy demand and energy production. On the other hand, the system has been developed in such a way that it can store energy and transfer power when deemed necessary, and that it can feed critical loads for the consumer from the stored energy in case of a possible network interruption, working as an uninterruptible power supply.

Keywords: Photovoltaic Systems, Fuzzy Logic, Energy Saving, Domestic Design.

¹İzmir, Türkiye, erhanozkan81@icloud.com

¹<https://orcid.org/0000-0002-3849-6713>

1. Giriş

İlk olarak Becquerel tarafından 1893'te fotovoltaik sistemler (PV) gündeme getirilmiştir. Becquerel yaptığı çalışma ile bir elektroliz hücresinde elektrolit üzerindeki ışığa bağlı olarak elektrotlar arasındaki gerilimin değiştiğini gözlemlemiştir. (Erkul, 2010). Bu keşfin üzerinden uzun bir süre geçmiş olmasına rağmen konu hakkında çalışmalara çok ağırlık verilmemiş ancak 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi neticesinde enerji maliyetleri oldukça arttığından son çeyrek asırda PV çalışmalarına ağırlık verilmiştir. İlaveten fosil bazlı yakıtların kullanılması ile elde edilen elektrik enerjisi neticesinde küresel ısınma, çevre kirliliği, mevsimsel değişiklikler gibi çevresel sorunların ortaya çıktığı tespit edilmiş ve bu sebeple yenilenebilir enerji kaynakları için çalışmalara yönelim artmıştır.

Yüksek bir enerji potansiyeline sahip olan ve herhangi bir ücrete tabi olmayan güneş enerjisi bu özellikleri nedeniyle en yaygın olarak tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. PV sistemlerinin son çeyrek asırda artan potansiyeli yarı iletken malzemelerinin teknolojisinde meydana gelen gelişme ve iyileşmelerdir (Kıyanççek, 2013). Bu gelişme ve iyileşmeler paralelinde PV sistemlerin eskiye kıyasla daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile çalışması mümkün olabilmektedir (Özsoy, 2011; Abdelkader ve ark., 2010). 1974 yılında PV hücre maliyetleri 200 \$/Watt seviyelerinde iken 2000'li yılların başında bu değer 2 \$/Watt mertebelerine düşmüş ve günümüzde de düşmeye devam etmektedir. 1974 yılında çok sayıda küçük pil hücrelerinden oluşan PV modüller günümüzün gelişen yarı iletken teknolojisi ile tek parça halinde imal edilebilir hale gelmiştir ve neredeyse otuz yıl boyunca herhangi bir bakıma ihtiyaç duymadan kullanılmaya devam edilebilmektedir. Artan PV modül ömürleri neticesinde panellerin birim maliyetleri daha düşük seviyelere ulaşmıştır (Ghazali ve ark., 2012).

Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu itibariyle güneş enerjisi potansiyeli açısından diğer ülkelere göre daha avantajlı durumdadır. Enerji İşleri Enstitüsü'nün gerçekleştirmiş olduğu bir çalışma neticesinde ülkemizin toplam yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat olduğu tespit edilmiştir. Bu süre günlük 7,2 saate tekabül etmektedir. Günlük ortalama ışınım şiddeti 3,6 kWh/m²'dir, yıllık ise 1311 kWh/m²'dir (Bergmann ve ark., 2002).

Bu enerji potansiyelinden faydalanmak adına güç elektroniği uygulamaları büyük bir öneme sahiptir. Güç elektroniği gerek teori gerekse uygulama aşamalarını içeren ve sürekli artma eğiliminde olan bir çalışma sahasıdır. PV sistemlerinin güç elektroniği kısmında donanım olarak DC-DC çevirici, DC-AC eviriciler yer almaktadır. Bu donanıma gerekli olan yol haritasını verecek olan yazılım sistemleri ise gün geçtikçe ilerlemektedir. Güç elektroniği ile faaliyetlerini sürdüren firmalarda PSPICE, Matlab, EMTD ve Electronic Workbench gibi güçlü yazılımlar kullanılmaktadır

(Işık ve ark., 2004). Bu yazılımlar aracılığıyla donanımlardan elde edilen büyük veri kullanımı için geliştirilen yapay zekâ destekli sistemler ise oldukça popüler hale gelmiştir.

Son zamanlarda artık bir bilim dalı olarak da ele alınan yapay zekâ; bilişim teknolojileri birimleri tarafından salt bilgiyi rakamlar yerine semboller ile temsil edecek algoritmaları geliştirmek üzere tasarlanmış veri işleme metodudur (Copeland, 2017). Yapay zekâ tasarımı, bulgusal veya diğer araştırma metotlarını kullanarak olaylar ve kuralları anlamlı bir şekilde yorumlayıp sonuç üretme aşamalarından oluşmaktadır. Semboller üzerinden bir örüntü oluşturma ve bu örüntüyü tanımlama bu aşamaların temelini oluşturmaktadır İngilizce (pattern matching, recognition) terimleri ile ifade edilmektedir. Yapay zekâ, bu yaklaşımlar ile süreci anlamlandırma ve önerme konusunda muazzam bir çözüm noktasıdır (Reis, 2018).

İngiliz matematik ve mantık bilimcisi Alan Turing tarafından yapay zekâ felsefesi ilk defa 1950 yılında yayımladığı bir makale ile ortaya atılmıştır. Turing “Computing Machinery and Intelligence” isimli bu makalede, “Makineler düşünebilir mi?” sorusuyla tartışma yaratarak karşı görüşleri reddetmiştir. (Russel ve Norvig, 2003). Burada ağırlık verilmesi gereken konu aslında makinelerin anlamasını ve farkındalığını sorgulamak yerine makinelere karar mekanizmasının kazandırılıp kazandırılmayacağıdır. Günümüzdeki yapay zekâ çalışmaları bu konu üzerine yoğunlaşmıştır. (Tektaş ve ark., 2002).

Yapay zekânın işlemlerini sağlayan bulanık mantık ve bulanık mantık tabanlı uygulamalar son yıllarda üniversite ve üretim yapan firmaların yakından takip ettiği ve çalışmalarına yön verdiği bir konu haline gelmiştir (Janarthanan ve ark., 2021). Üniversitelerde konuya yönelik araştırma grupları oluşturulmuş, firmalar özel çalışma grupları kurmuşlardır (Rasheed ve ark., 2019). Klasik denetim sistemlerinin aksine; tasarımların matematiksel modellerine ihtiyaç duyulmadan, sadece veri girdisi ve çıktısına göre inşa edilen bulanık sistem, konusunda uzman bir bireyin sistemi denetlemesine benzer bir şekilde kontrollerini gerçekleştirir (Verma ve ark., 2020). Bu sistemler o kadar gelişmiştir ki günümüzde denetim sistemleri bulanık mantığın en fazla uygulandığı alan olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Sharma ve ark., 2020). Bulanık mantık, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde kullanılan alternatif bir yaklaşım olarak ait olmasını hak ettiği yeri almıştır. Uygulamada kullanılan sistemlerin neredeyse hiçbirisi doğrusal değildir. Bulanık sistem uygulamaları ile doğrusal olmayan bu sistemlerin denetiminin kolaylıkla yapılabilmesinin önü açılmıştır (Zhang ve ark., 2020).

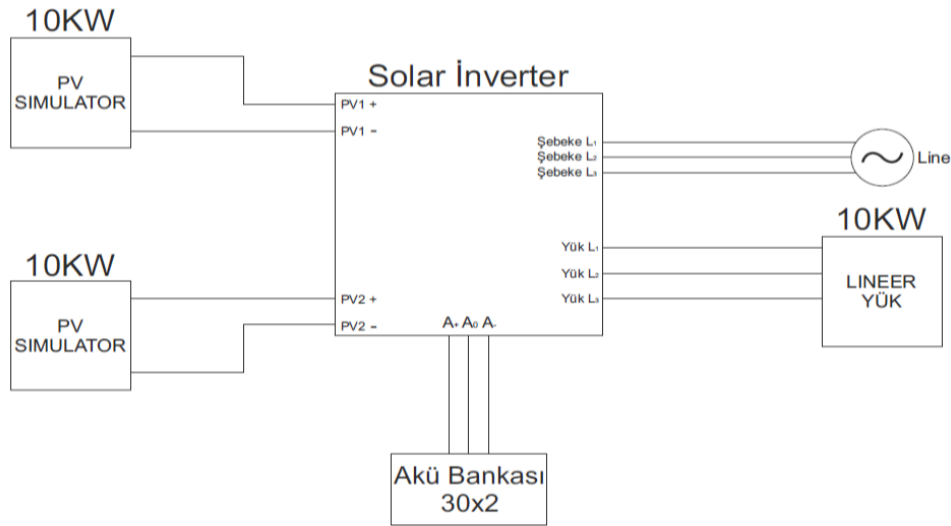
Bu çalışmada; PV depolama için gerekli olan donanımın tamamen yerli ve milli bir tasarımla sağlanması ile enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasına yardımcı olacak yapay zekâ uygulamalarının aktif bir hale gelebilmesi için bulanık mantık tabanlı yazılımının geliştirilmesine ait çalışmalar okuyuculara aktarılacak istenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında güç dönüştürücü sistemlerin tasarımı, bilgisayar destekli simülasyonu ile prototip üretimi aktarılırken ikinci kısmında akıllı tüketim ve akıllı şebeke uyumu için bulanık mantık tabanlı enerji yönetimi yazılımının

geliştirilmesine ait detaylar anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen yerli ve milli teknoloji ile dışa bağımlı olduğumuz bu konuda yenilikçi bir sistemin ülkemize kazandırılması sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

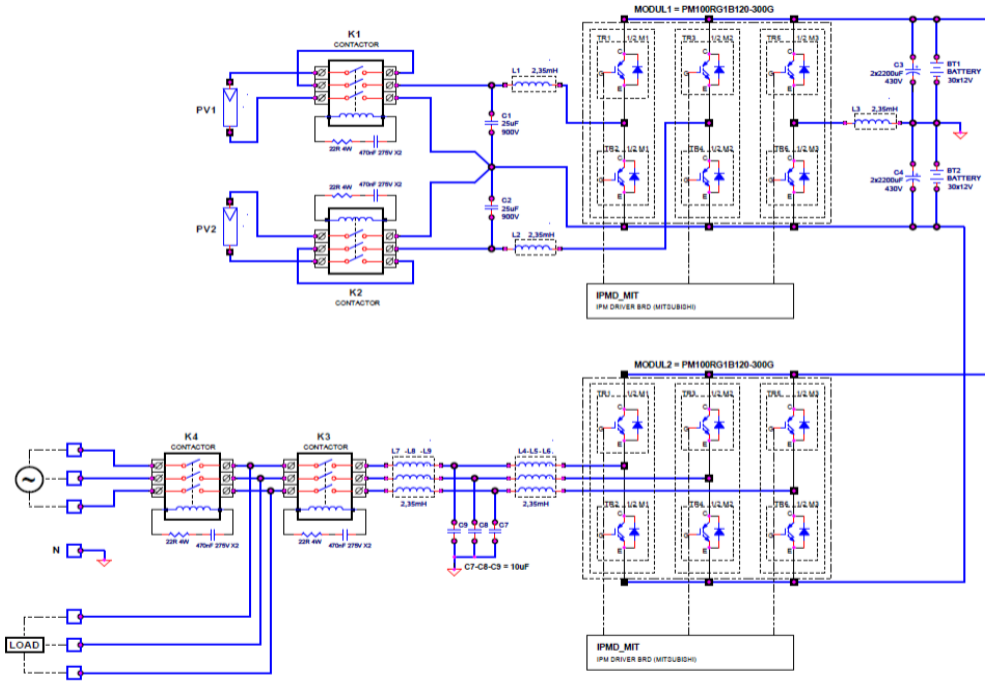
2.1. Güç Dönüştürücü Sistem Tasarımı

Şebeke ile haberleşen, tüketicinin PV üretim ve tüketim profilini günlere/aylara/mevsimlere göre bir veri tabanına kaydeden ve bu kayıtlardan yararlanarak tüketicinin hedeflediği amaç ölçütüne göre güç kaydırma, yük yönetimi, depolama, depodan çalışma kararını akıllı olarak alan 10 kW tek faz-üç faz modları yazılım ile değiştirilebilir bir güç dönüştürücü sistem tasarlanmıştır. Bu sistemin DC-DC çevirici modül modül blok şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



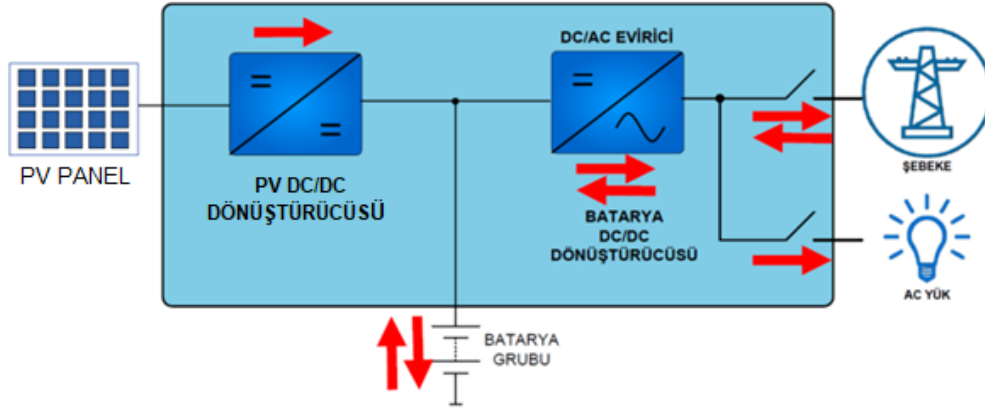
Şekil 1. DC-DC Çevirici Test Düzenegi Blok Şeması.

Depolanan enerjinin şebekeye aktarılması ve akıllı sistemler için enerji kaynağı oluşturabilmesi adına DC-AC evirici modül tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de DC-AC evirici elektronik şeması yer almaktadır.



Şekil 2. DC-AC Evirici Elektronik Şeması.

DC-AC evirici modülün tasarım çalışmalarını doğrulamak amacıyla bilgisayar tabanlı simülasyon ile DC-DC dönüştürücü, DC-AC evirici ve batarya DC/DC dönüştürücüsü ile entegre çalışması kontrol edilmiştir. Şekil 3'te bilgisayar tabanlı simülasyonun çalışması yer almaktadır.



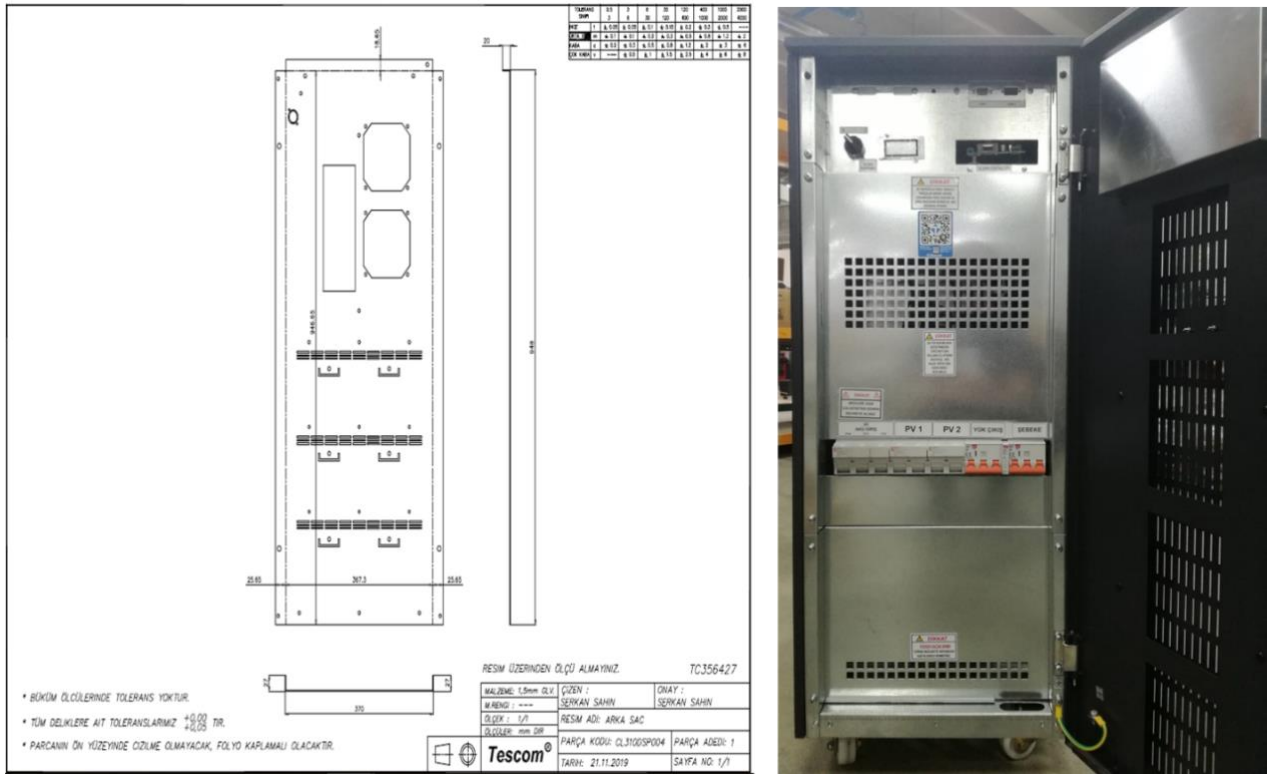
Şekil 3. Bilgisayar Tabanlı Simülasyon Çalışma Senaryosu.

Simülasyon çalışmaları neticesinde elde edilen verilere göre DC-AC evirici modülün nitelikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. DC-AC Evirici Modül Nitelikleri.

Evirici DC Bara Voltajı	$\pm 405\text{VDC}$
Evirici Çıkışı (3 Faz için)	380V
Evirici Çıkışı (Tek Faz için)	220V
THD	$< 3\%$
Çıkış Frekans Değeri	50-60Hz
Güç Faktörü	1.0
Verim	$\geq 95\%$

DC-DC çevirici ve DC-AC eviricilerin mekanik aksamları Solidworks tasarım simülasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Mekanik tasarımı gerçekleştirilen ürünlerin teknik resimleri ve prototip imalat şase resmi Şekil 4'te gösterilmiştir.

**Şekil 4.** DC-DC Çevirici ve DC-AC Evirici Şasi Tasarımı ve Prototip Üretimi.

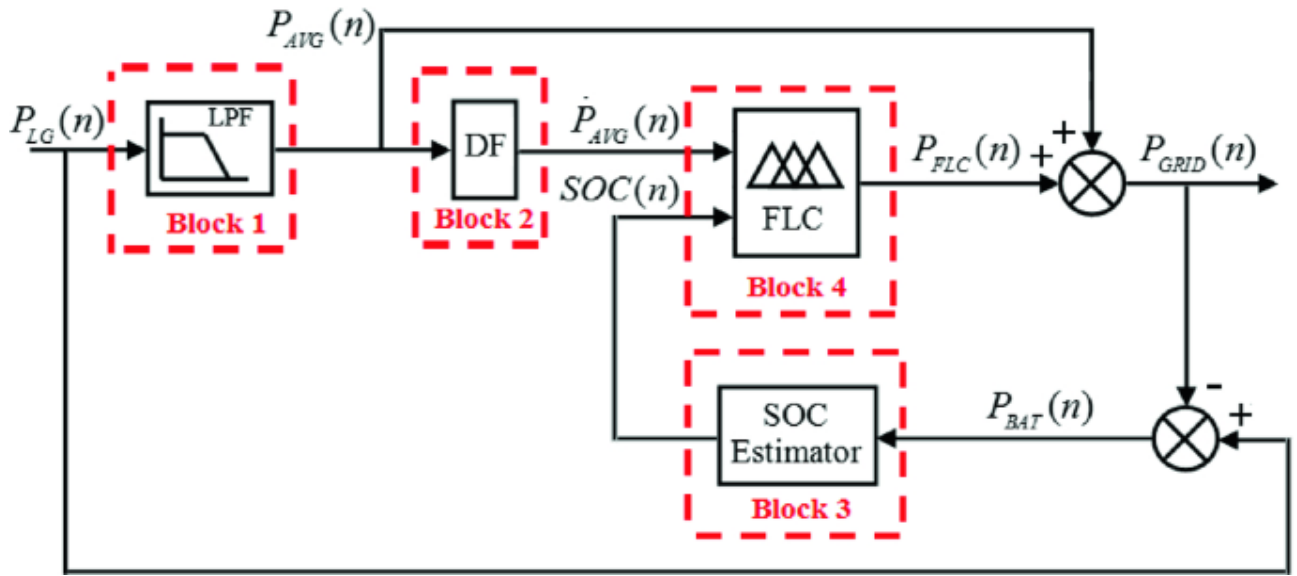
2.1. Akıllı Tüketim ve Akıllı Şebeke Uyumu İçin Yazılım Geliştirilmesi

2.2.1 Bulanık Mantık Tabanlı Yapay Zekâ Algoritma Tasarımı

Sistemin enerji üretimi ve tüketimi tabanlı kontrolünün alt görevi olarak güneş enerjisi ve batarya sisteminin veriminin artırılması ve şebekede oluşan harmoniklerin azaltılması amaçlanmıştır. Tasarlanan yapay zekâ algoritması tabanlı kontrol sistemi güç dönüştürücü biriminin doluluk oranını baz alarak optimize edilmektedir. Çalışma aralıkları belirlenirken verimin artırılması ve enerji

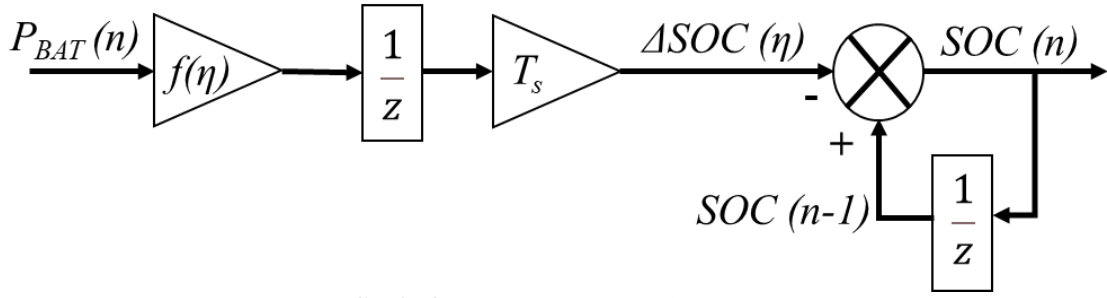
profilindeki dalgalanmaların azaltılması amaç fonksiyonu olarak belirlenmiş, güç kaynağı biriminin ömrünün uzatılmasını sağlayan sınır değerleri temel alınarak, yapay zekâ algoritması oluşturulmuştur (Arcos-Aviles, ve ark., 2016 ile Al Badwawi ve ark., 2019)

Tasarlanan kontrolde DC-DC çevirici ve DC-AC evirici biriminin verimli kullanılması ve oluşan harmoniklerin elimine edilmesinin sonucu olarak şebekeden çekilen ortalama enerjinin azalması hedeflenmektedir. Şekil 5'te verilen blok diyagram simülasyon ortamında oluşturulmuş olup, kalite parametrelerinin yeterli düzeye getirilmesi sağlanarak, gerçek zamanlı uygulanması planlanmıştır.



Şekil 5. Tasarlanan Blok Diyagram Gösterimi

Üretilen güç ile tüketilen gücün farkı (P_{LG}) belirli bir örnekleme zamanı (T_s) için oluşturulmuş alçak geçiren filtreden (Blok 1) geçirilip yüksek frekanslı bileşenleri elimine edilerek ortalama güç (P_{AVG}) bulunur. Elde edilen düşük frekansa sahip güç işaretinin filtre tabanlı türevi alınır (Blok 2), ortalama güç işaretinin türevine (P'_{AVG}) ulaşılır (Butz, 2015 ile Heong ve ark., 2005). Güç dönüştürücü biriminin anlık yük tahmini (Blok 3: $[soc]_n$) ile ortalama güç işaretinin türevi (P'_{AVG}) bulanık mantık denetleyicisini (Blok 4) sürerek (giriş olarak) güç dönüştürücü biriminden çekilecek ya da güç dönüştürücü birimine gönderilecek anlık güç miktarının (P_{FLC}) belirlenmesini sağlar. Ortalama güç ile bulanık mantık denetleyicisinin çıkışında hesaplanan gücün toplamı, şebekeden çekilmesi gereken (P_{GRID}) gücü verir. Şebekeden çekilen güç ile net gücün (P_{LG}) farkı (P_{BAT}) güç dönüştürücü biriminin yük durumunu kestiren algoritmanın çalışmasını sağlar. Net yükte (P_{LG}) mevcut olan enerjideki dalgalanmalar Şekil 6'da blok diyagramı verilen yük durumu kestirimcisi (Blok 3) yardımı ile güç dönüştürücü birimi kullanılarak elimine edilir.



Şekil 6. Yük Durumu Kestirimcisi

Şekil 6’da verilen batarya doluluk oranını veren fonksiyonlar Denklem 1 ve Denklem 2’de belirtilmiştir. Bu fonksiyonda bataryanın verimi ve değişken parametreler (şarj, deşarj oranı) ele alınarak batarya doluluk oranını tespit edilebilmektedir. Özetle bu fonksiyon; güç dönüştürücü/batarya biriminin şarj ya da deşarj olması durumunu, bataryanın verimi (η) yardımıyla oluşturulmuş ve kontrol edilebilir bir parametre olduğunu ifade etmektedir. Bu parametreler yardımıyla periyotlar ön görülebilir hale gelmekte ve $f(\eta)$ fonksiyonu kullanılarak bir periyodun önceki şarj durumuyla değişen şarj durumu mukayese edilmek suretiyle şimdiki şarj durumunun kestirilebilmesi sağlanmaktadır (Zhou ve ark., 2010 ile Arcos-Aviles ve ark. 2012). Denklemde ΔSOC (şarj durumu-state of change) örneklem süresi T_s boyunca SOC’deki değişimini ifade eder. η pil verimliliği, C_{BAT} ise pil anma kapasitesidir.

$$SOC_{(n)} = SOC_{(n-1)} - \Delta SOC_{(n)} \quad (1)$$

$$\Delta SOC_{(n)} = \frac{\eta}{C_{BAT}} P_{BAT}(n-1) T_s \quad (2)$$

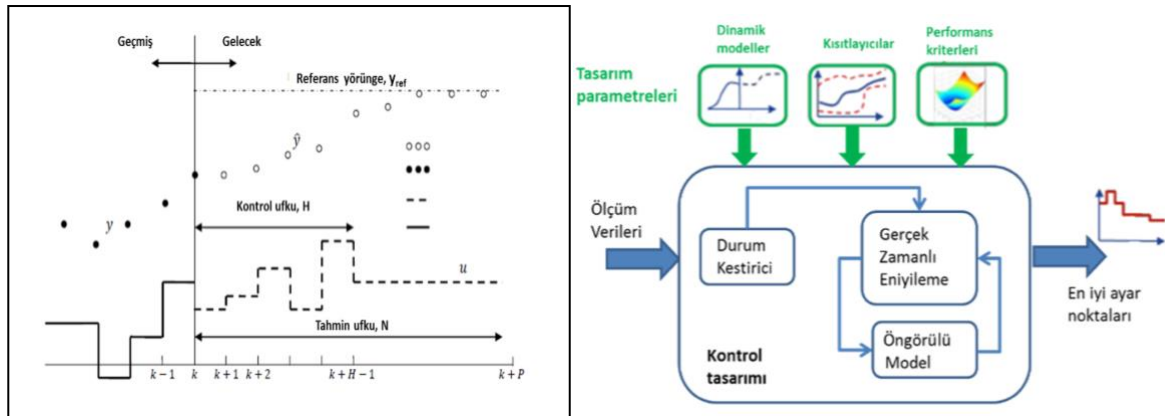
Çalışmanın bu aşamasında Bulanık Mantık tabanlı yapay zekâ algoritması kullanılmıştır. Kullanılan bulanık sistem iki girişli (P_AVG ve SOC) bir çıkışlı (P_FLC) Mamdani bulanık sistemdir. Bunun gereği olarak da ağırlık merkezi durulayıcı (center of gravity) kullanılmıştır. Yani çıkış üyelik fonksiyonlarının şekli dikkate alınmıştır. Bulanık sistemde üçgen tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Kural tabanı 25 adet kuraldan oluşturulmuştur. Bulanık mantık denetleyicisinde üyelik fonksiyonlarının giriş çıkış değerlerine göre haritalanması yapıldıktan sonra kullanılacak veri aralığına göre üyelik fonksiyonlarının başlangıç koşulları belirlenir. Gerekli optimizasyonlar yapıldıktan sonra P_FLC çıkışı oluşturulur.

2.2.2 Model Öngörülü Yapay Zekâ Algoritma Tasarımı

Bir sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını, beklenmedik dış etkilere karşı dayanıklı olmasını ve aynı zamanda yüksek başarı oranı sergilemesini sağlamak amacıyla sistemin tasarım aşamasında kontrol stratejileri büyük bir öneme sahiptir. Yaygın olarak kullanılmakta olan mantık devreleri ile

basit açma/kapatma gibi yöntemler reaktif kontrol olarak sınıflandırılmaktadır. Sistem beklenmedik bir dış etki ile karşılaştığı zaman ayar noktalarında sapmaları gözlemleyerek tepki verecek şekilde çalışmaktadır ancak ilerleyen zamanda gerçekleşmesi muhtemel etkilerin öngörülerini bütünlük bir kapsamda ele alamazlar. Bu çalışma kapsamında, bina enerji yönetim sisteminin başarımını eniyileyen bir MPC (Model Predictive Controller: Model Öngörülü Kontrolör) gerçekleştirilmiştir. Böylece, sistemin gerçek zamanlı kontrolü ile enerji ve maliyet tasarrufu sağlayan bir enerji yönetim sistemi elde edilmiştir. Bu amaçla, bina enerji sistemi için dinamik modeller oluşturulmuş ve bu modellerden faydalanarak belirli bir öngörü içerisinde sistemin elektriksel durumu dinamik olarak tahmin edilmiştir. Belirlenen başarı ölçütlerini eniyileyen kontrol komutları hesaplanmıştır.

MPC kontrol sistemine ait her bir kontrol adımında sistemdeki ölçüm cihazlarından alınan verilerin kullanılması ile sistemin son durumu tahmin edilir. Ardından matematiksel modelden faydalanarak sistemin dinamikleri göz önüne alınmasıyla sistemi kısıtlayan ve performans parametrelerini en iyi hale getiren ayar noktaları hesaplanabilmektedir. Kontrol stratejisinin tasarımına ait temel ilkeler Şekil 7’de açıklanmıştır.



Şekil 7. MPC Kontrol Sisteminin Temel Çalışma Prensibi

MPC kontrol yöntemi aşağıdaki aşamalar ile uygulanacak en uygun kontrol eylemlerini belirler:

- Herhangi bir k adımında, matematiksel model yardımıyla sistemin gelecekteki durumu tahmin edilir ve belirli bir başarıım ölçütü/amaç fonksiyonunu eniyilemek için bir ardışık kontrol hamle kümesi hesaplanır.
- Hesaplanan ardışık kontrol hamle kümesinin ilk hamlesi sisteme uygulanır, sonraki ($k+1$) adımında sistem durumu (Sensör ve benzeri ölçüm araçları ile.) gözlenerek geri bildirim elde edilir.
- Kayan ufukta, gelen yeni veriler ile MPC problemi yeniden çözülür. MPC sistem modeli yazılırken bir hata yapılması durumunda transfer fonksiyon modelleri hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple şebeke bağlantılı bir bina PV-batarya sistemi için MPC sistem modeli ve öngörüsü çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2.2.2.1. Şebeke Bağlantılı bir Bina PV-Batarya Sistemi için MPC Sistem Modeli Uygulaması

Bu uygulamada amaç, PV dizisi ve batarya bulunan bir binada üretim, yük ve elektrik tarife fiyatlarını göz önüne alarak sistemi teknik kısıtlar içerisinde en az maliyetle ve güvenli bir şekilde işletmektir. Bu amaçla, bataryaların en iyi şarj ve deşarj profillerini ve şebekeden enerji alım/satım miktarlarını hesaplayan bir kontrol sistemi tasarlanmıştır.

Sistem bileşenleri; PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşmaktadır. PV güç üretimi, binanın elektrik yükü ve şebeke elektrik enerjisi fiyat tahminleri bahsi geçen MPC sistem modeli girdileri olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerin ortak özelliği doğru sistem modelinin kullanılarak parametrelerin doğrudan kullanılması ve kontrol sistemlerinin belirli bir ölçüte göre minimum ve maksimum değerlerinin lede edilerek optimizasyonun sağlanmasıdır.

Aşağıda her bir bileşen için ayrıntıları sunulan matematiksel modelde;

ΔT : Örnekleme periyodu (sampling period) (örn. 30 dk)

NH: Tahmin ufku (prediction horizon) (örn. 24 saat \rightarrow NH = 24 saat/30dk = 48 adım)

NSE: Sistemde mevcut batarya adedi

NRES: Sistemde mevcut yenilenebilir enerji sistemi adedini belirtmektedir.

Batarya: Bu sistem modelinde PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan enerji yönetim sisteminin batarya bileşeni için değişkenler aşağıda verilmiştir (Özkurt ve ark., 2020 ile İnce ve ark. 2013).

Karar Değişkenleri:

$P_s^{SE-C}(k)$ = k anında batarya s'nin sistemden çektiği şarj yükü, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}, k \in \{1, 2, \dots, N_H\}$

$P_s^{SE-D}(k)$ = k anında batarya s'nin sisteme verdiği güç, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}, k \in \{1, 2, \dots, N_H\}$

$E_s^{SE}(k)$ = k anında batarya s'de depolu enerji, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}, k \in \{1, 2, \dots, N_H\}$

Girdi Parametreleri:

\underline{P}_s^{SE-C} = Batarya s'nin sistemden çekebileceği minimum güç miktarı, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

\overline{P}_s^{SE-C} = Batarya s'nin sistemden çekebileceği maksimum güç miktarı, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

\underline{P}_s^{SE-D} = Batarya s'nin sisteme verebileceği minimum güç miktarı, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

\overline{P}_s^{SE-D} = Batarya s'nin sisteme verebileceği maksimum güç miktarı, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

\underline{E}_s^{SE} = Batarya s'de depolanabilecek minimum enerji, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

\overline{E}_s^{SE} = Batarya s'de depolanabilecek maksimum enerji, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

η_s^{SE-C} = Batarya s'nin şarj verimi, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

η_s^{SE-D} = Batarya s'nin deşarj verimi, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

c_s^{SE-C} = Batarya s'nin şarj maliyeti, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

c_s^{SE-D} = Batarya s'nin deşarj maliyeti, $s \in \{0, 1, \dots, N_{SE}\}$

Elektrik Şebekesi: PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan enerji yönetim sisteminin elektrik şebekesi bileşenine ilişkin değişkenler aşıağıda verilmiştir.

Karar Değişkenleri:

$P^{EGR-AL}(k)$ = k anında elektrik şebekesinden alınan güç miktarı, $k \in \{0, 1, \dots, N_H\}$

$P^{EGR-SAT}(k)$ = k anında elektrik şebekesine satılan güç miktarı, $k \in \{0, 1, \dots, N_H\}$

Girdi Parametreleri:

AF_{GRID-E} = Elektrik şebekesinden yük alış fiyatı

SF_{GRID-E} = Elektrik şebekesine yük satış fiyatı

Elektrik Yükleri: PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan enerji yönetim sisteminin elektrik yükleri bileşenine ilişkin değişkenler aşıağıda verilmiştir.

Girdi Parametreleri:

$FP^{EL}(k)$ = k anında tahmin edilen elektrik yükü miktarı, $k \in \{1, 2, \dots, N_H\}$

PV Üretim: PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan enerji yönetim sisteminin PV dizisi bileşenine ilişkin değişkenler aşıağıda verilmiştir.

Girdi Parametreleri:

$FP_r^{RES}(k)$ = k anında yenilenebilir enerji kaynağı r'nin ürettiği güç miktarı, $k \in \{1, 2, \dots, N_H\}$

Kısıtlar: PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan enerji yönetim sisteminin farklı bileşenlerine ilişkin değişkenlerin sağlaması gereken işlemsel kısıtlar aşıağıda verilmiştir (Özkurt ve ark., 2020 ile İnce ve ark. 2013).

Elektrik Güç Dengesi:

$$P^{EGR-AL}(k) - P^{EGR-SAT}(k) + \sum_{s=1}^{N_{SE}} P_s^{SE-D}(k) - \sum_{s=1}^{N_{SE}} P_s^{SE-C}(k) + \sum_{r=1}^{N_{RES}} FP_r^{RES}(k) = FP^{EL}(k), \quad \forall k \quad (\text{K.1})$$

Batarya Enerji Dengesi:

$$\underline{P}_s^{SE-C} \leq P_s^{SE-C}(k) \leq \overline{P}_s^{SE-C} \quad \forall s, \forall k \quad (\text{K.2})$$

$$\underline{P}_s^{SE-D} \leq P_s^{SE-D}(k) \leq \overline{P}_s^{SE-D} \quad \forall s, \forall k \quad (\text{K.3})$$

$$\underline{E}_s^{SE} \leq E_s^{SE}(k+1) \leq \overline{E}_s^{SE} \quad \forall s, \forall k \quad (\text{K.4})$$

$$E_s^{SE}(k+1) = E_s^{SE}(k) + P_s^{SE-C}(k) \cdot \eta_s^{SE-C} \cdot \Delta T - \frac{P_s^{SE-D}(k)}{\eta_s^{SE-D}} \cdot \Delta T \quad \forall s, \forall k \quad (\text{K.5})$$

Yukarıda verilen Kısıt (K.1), sistemdeki elektrik güç dengesini sağlamaktadır. Kısıt (K.2) ve (K.3), sırasıyla, bataryanın sisteme verebileceği ve sistemden çekebileceği anlık güçlerin limitlerini,

Kısıt (K.4) ise bataryada depolu enerji limitlerini ifade eder. Kısıt (K.5) ise bataryada depolanan enerjinin, sistemden çektiği şarj yükü ve sisteme verebileceği güç miktarı ile olan ilişkisini belirtmektedir.

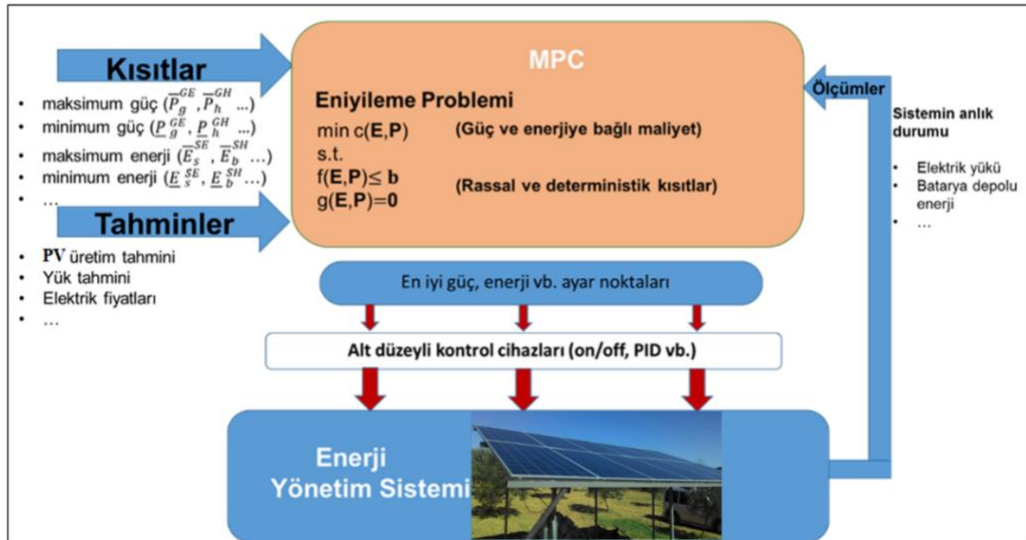
Amaç Fonksiyonu:

MPC kontrol yöntemi, kayan bir ufukta en uygun kontrolün bulunduğu bir en uygun kontrol yöntemidir. Bir ufukta en azlanacak amaç fonksiyonu, NH periyodu boyunca oluşacak toplam maliyeti vermektedir. Problem, kayan sonlu ufuk problemi olduğu için t bulunulan zamanı ifade etmektedir (Özkurt ve ark., 2020 ile İnce ve ark. 2013).

$$\min \sum_{k=t+1}^{t+N_H} \left(P^{EGR-AL}(k).AF_{GRID-E} - P^{EGR-SAT}(k).SF_{GRID-E} + \sum_{s=1}^{N_{SE}} c^{SE-C} P_s^{SE-C}(k) + \sum_{s=1}^{N_{SE}} c^{SE-D} P_s^{SE-D}(k) \right)$$

Amaç fonksiyonundaki maliyet terimleri incelenecek olursa, ilk terim şebekeden alınan elektrik gücünün toplam maliyetini göstermektedir. İkinci terim ise şebekelere satılan gücün toplam kârını ifade etmektedir. Bu terim kazancı simgelediği için, en azlanacak amaç ölçütüne negatif işaretlisi eklenmiştir. Üçüncü terim ise depolama birimlerinin şarj ve deşarj nedeniyle oluşan yıpranma maliyetini modellemektedir.

Yukarıda ayrıntıları verilen bina enerji yönetim sistemi için MPC yaklaşımının ana hatları Şekil 8'de açıklanmıştır. Her bir kontrol adımında, sistemin durumu hakkında (Yük, depolanan enerji ve benzeri.) bilgiler alınmaktadır. Ardından, sistemin matematiksel modeli yardımıyla sistem dinamikleri ve kısıtlayıcılar, tahmin ufku içerisinde hesaplanmaktadır. Bu süreçte, geliştirilen eniyileme modelleri, tanımlanan kısıtlar altında çözülerek sistem başarımlarını en iyileyen güç ayar noktaları hesaplanarak, alt düzeyli kontrol cihazlarına gönderilmektedir. Bir sonraki kontrol adımında bu süreç tekrarlanmaktadır.



Şekil 8. PV Dizisi, Binadaki Elektrik Yükleri, Batarya ve Elektrik Şebekesinden Oluşan Bina Enerji Yönetim Sisteminin MPC Yöntemi ile Kontrolünün Temel Öğeleri

Enerji üretim ve tüketim tahminlerinde kullanılan yöntemler;

ANN (Artificial Neural Network: Yapay Sinir Ağları.) modeli olan MLP (Multi-Layer Perceptron: Çok Katmanlı Algılayıcı)

SARIMA (Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average: Mevsimsel Öz-Bağlanımlı Tümlüşik Kayan Ortalama.)

LSTM (Long Short Term Memory.)

Ele alınan üretim ve tüketim verileri için; MLP, SARIMA ve LSTM modelleri arasında, anlamlı farklar görülmediği için akıllı tahmin yöntemi olarak makine öğrenimi alanında en yaygın olarak kullanılan MLP modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Üretim ve tüketim zaman serileri için tahmin problemi;

- 1) Zaman serisinin geçmiş ve o anki değerlerinden gelecek değerlerini ve
- 2) Zaman serisi üzerinden çıkartılan özniteliklerden zaman serisinin gelecek değerlerini veren cebrik işlevlerin yani regresörlerin (Bağlanım işlevlerinin.) bulunması problemi olarak formüle edilmiştir.

İki tür tahmin formülasyonu da makale kapsamında denenmiş ve sonuçları kıyaslanmıştır. MLP'nin giriş-çıkış örnek verileri üzerinden öğrenmesi, ortalama karesel çıkış (Tahmin) hatasının en az değerinin gradyen tabanlı bir enazlama algoritması olan LM (Levenberg-Marquardt) geriye yayılım algoritması ile gerçekleştirilmiştir. LM algoritmasının kullanılma nedeni, genelleme yeteneğini artırmak üzere enazlanması istenen MSE'ye (Ortalama Karesel Hata'ya.) toplamsal olarak bir düzenleme terimi eklenmeden, genelleme yeteneğini artıran düzenlemeyi bir tür Gradyen-Newton yöntemini uygulaması sayesinde sağlamasıdır.

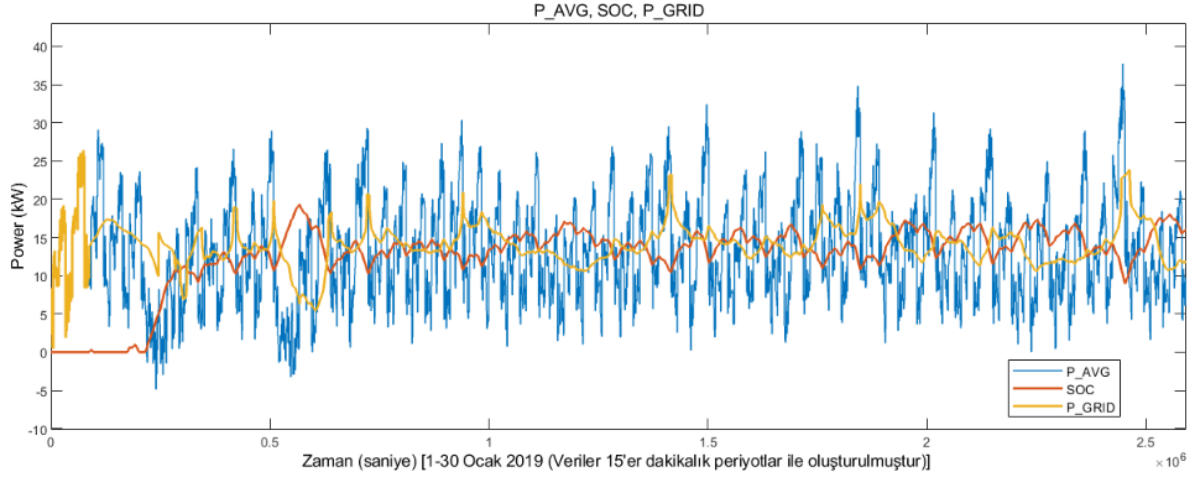
Tahmin çalışmaları iki farklı deneysel alanda sürdürülmüştür;

Proje kapsamında geliştirilen tasarımın PV elektrik üretim tesisi için kurmuş olduğu bir özel işletme (Kurum-1). Hava durumu (Sıcaklık, rüzgâr hızı ve ışınım.) verileri kaydedilmediği için, sadece kaydedilen üretim ve tüketim zaman serileri üzerinden tahmin yoluna gidilmiştir. Bu durumu daha iyi değerlendirebilmek adına Yaşar Üniversitesi'nin Avrupa Birliği projesi kapsamında kurumun bir binasının yüzeyinde kurulu olan BiPV (Building integrated PV) üzerinden yaklaşık 1,5 yıl boyunca kaydedilmiş elektrik üretimi verileri ile aynı zamanda kaydedilmiş hava durumu verileri de kullanılarak tahmin yapılmıştır. Hava durumu verilerinin kullanıldığı ve kullanılmadığı iki farklı durum için de çalışma yapılmış olup hava durumu verilerinin kullanılmasının tahmin başarımını önemli oranda artırdığı gözlenmiştir

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Bulanık Sistem Bulguları

Tasarlanan sistemin bilgisayar ortamında test edilmesi için örnek bir yaşam alanındaki 1 yıl süresince 07.00-18.45 aralığında 15'er dakikalık periyotlarla kaydedilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak yapılmıştır. Benzetim sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Gerçek Zamanlı Veri Üzerinden Benzetim Çalışması Sonuçları

Şekil 9'de verilen grafikte; yapay zekâ kontrol sisteminin kullanılmaması durumunda şebekeden çekilen güç (P_AVG) ile Bulanık Mantık tabanlı yapay zekâ algoritması ile oluşturulan kontrol sisteminin kullanılması durumunda şebekeden çekilen güç (P_GRID) ile ve güç dönüştürücü biriminden çekilen/iletilecek yük ise (SOC) gösterilmiştir.

Tablo 2'de YZ tabanlı kontrol kullanımının şebekeden çekilen güç üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2. YZ tabanlı algoritma kullanımının etkisi

Yöntem	Şebekeden Çekilen Toplam Güç (kW)
Yapay Zekâ Algoritması Kullanılmayan Kontrol	6.33×10^5
Yapay Zekâ Algoritması Tabanlı Kontrol	5.94×10^5

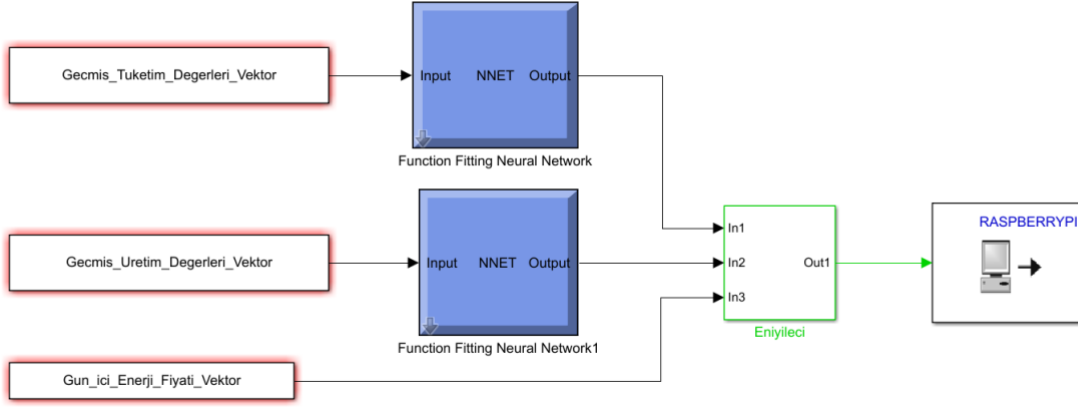
Şekil 9'da oluşturulan grafikte batarya bir miktar şarj olduktan sonra şebekeden çekilen gücün harmoniklerini azaltacak yönde şarj ve deşarj olarak şebekeden çekilen gücün azaltılması sağlanmıştır. Bu makalede söz konusu olan güç dönüştürücü sistemlerin bir diğer önemli özellikleri de harmoniklerin azaltılmasını sağlayarak gerektiğinde çok küçük güçlerde bile çalışabilir bir fonksiyona kavuşmasıdır. Kesintisiz güç kaynağı ve solar sistemlerin hibrit bir şekilde

kullanılmasının sebebi de giriş harmoniklerinin iyileştirilmesi düşük akım harmonik distorsiyonunun sağlanmasıdır (<3%)

3.2 Bulanık Sistem Gömülü Platformda Gerçeklenme

Eniyileme problemini çözerek en uygun kararların belirlenebilmesi için gömülü platform olarak “Raspberry Pi Model 3 B+” (kısaca Raspberry Pi olarak bahsedilecektir) uygun görülmüştür. Raspberry Pi, “ARM Compute Library” ve “Neon Instruction Set”i ile uygun olarak yazılmış olan programları çalıştırabilmektedir. Raspberry pi, MATLAB ile de haberleşebilmektedir. MATLAB ortamında yazılan kodlar Linuxte çalıştırılabilir şekilde derlenebilmektedir. Dolayısıyla MATLAB ortamında Yapay Sinir Ağları yöntemlerinden biri olan MLP (Multi-Layer Perceptron: Çok Katmanlı Algılayıcı) yöntemiyle gerçekleştirilen tahminleyici, Raspberry Pi üzerinde ARMV7 uyumlu “MATLAB Compiler Runtime” kullanılarak koşturulabilmektedir. MATLAB ortamında hazırlanmış Makine Öğrenmesi yapısını, Raspberry Pi üzerine aktarmanın başka yolları da vardır. Bunlardan bir tanesi MLP yapısı eğitildikten sonra ONNX (Open Neural Network Exchange) formatında kaydedilerek, Python ara bağlantısı olan Tensorflow, Caffe, Caffe2, Keras, PyTorch kütüphanelerine aktarmaktır.

Tanımlanan eniyileme problemini çözmek amacıyla kullanılacak, Raspberry pi için uygun 5 farklı çözücü incelenmiştir. Bunlar 1) SCIP, 2) PuLP, 3) Gekko, 4) Gurobi, 5) GLPK’dir. Dikkat etmek gerekirse, bu çözücülerin hiçbirisi Raspberry pi için özel olarak yazılmamıştır. Her biri büyük ölçekte problem çözebilen ve bazıları kendi aralarında ara bağlantı kurabilen güçlü çözücülerdir. Gömülü platformda gerçekleştirme, salt matematiksel bir problem çözümü olmayıp, aynı anda terminallerinden bilgi alan, bilgi veren ve kontrol fiziksel katmanı ile haberleşebilen alt yazılımları da içermektedir. Dolayısıyla, bu çözücüler arasında Raspberry Pi üzerinde kullanımının basit olması, daha az bug içermesi, topluluk desteğinin yüksek olması, Python sürümlerinin versiyonları ile uyumluluk ve iyi bir dokümantasyona sahip olması gibi özellikleri göz önüne alınarak en uygun çözücü olarak Gekko seçilmiştir. Şekil 10’da şematik diyagramı çizilen ve Raspberry Pi üzerinde koşan ana rutin, eniyileyici algoritması için gerekli girdileri (O ana kadarki geçmiş tüketim ve üretim değerleri ve gün için elektrik fiyatları) alan, eniyileyen ve Raspberry Pi haberleşme terminallerine (UDP veya GPIO) göndermekten sorumludur.



Şekil 10. Raspberry Pi Üzerinde Koşan Ana Rutin Diyagramı

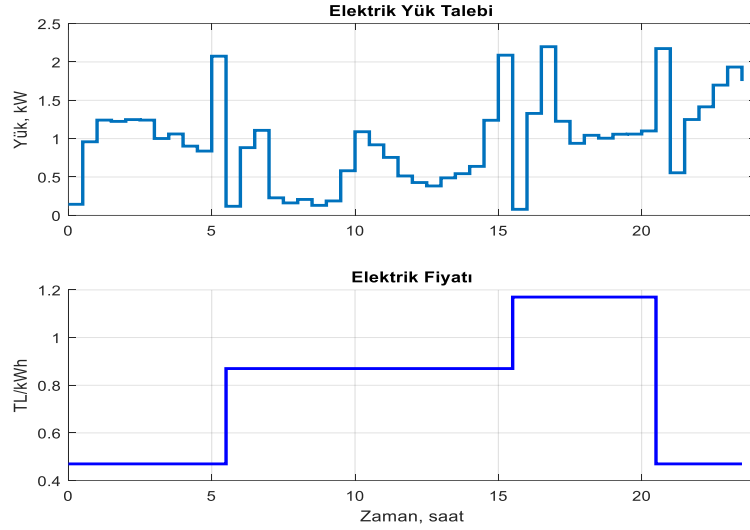
3.3 Model Öngörülü Sistem Gömülü Platformda Gerçeklenme

Kontrol sisteminin MATLAB benzetim ortamında başarımlı sonuçları aşağıda sunulmuştur. Kavramsal doğrulama amaçlı olarak ele alınan örnek kontrol probleminde, aşağıda Tablo 3'te verilen parametre değerleri kullanılmıştır. Adı geçen PV dizisi, binadaki elektrik yükleri, batarya ve elektrik şebekesinden oluşan bina enerji yönetim sistemi, 1 adet batarya, 1 adet PV enerji üretim sistemi, binanın elektrik yükleri ve ana şebekeden oluşmaktadır.

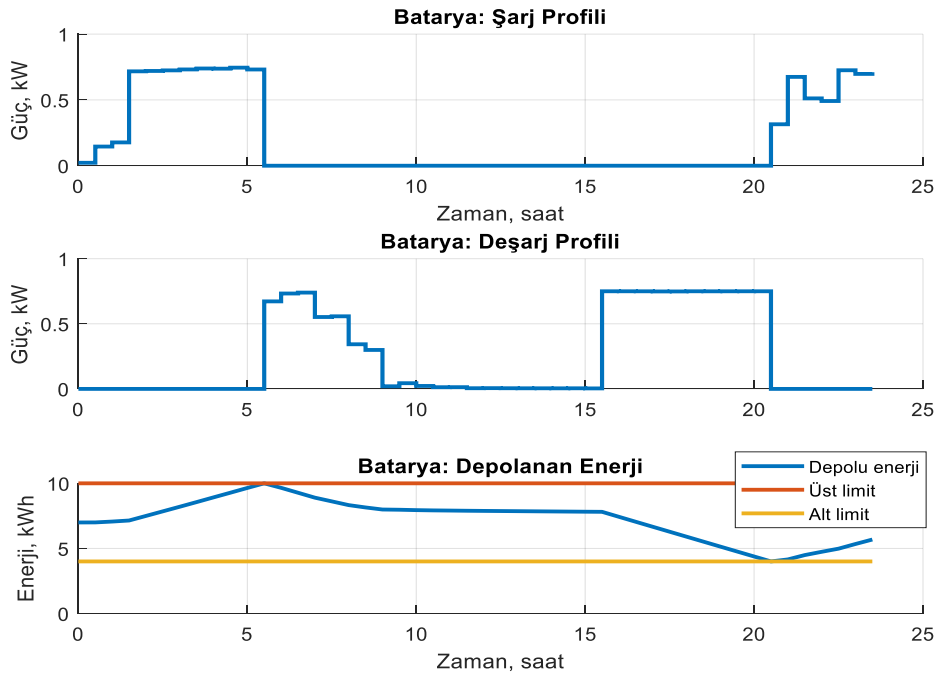
Tablo 3. MPC problem parametreleri

Parametre	Değer
ΔT	30 dk
N_H	24 saat = 48 adım
N_{RES}	1
N_{SE}	1
$AF_{GRID-E} = SF_{GRID-E}$	[0.47, 0.87, 1.17] TL/kWh
C^{SE-C}	0.1
C^{SE-D}	0.1
\underline{P}_s^{SE-C}	0
\overline{P}_s^{SE-C}	1.5 kW
\underline{P}_s^{SE-D}	0
\overline{P}_s^{SE-D}	1.5 kW
\underline{E}_s^{SE}	4 kWh
\overline{E}_s^{SE}	10 kWh
η_s^{SE-C}	0.9
η_s^{SE-D}	0.9

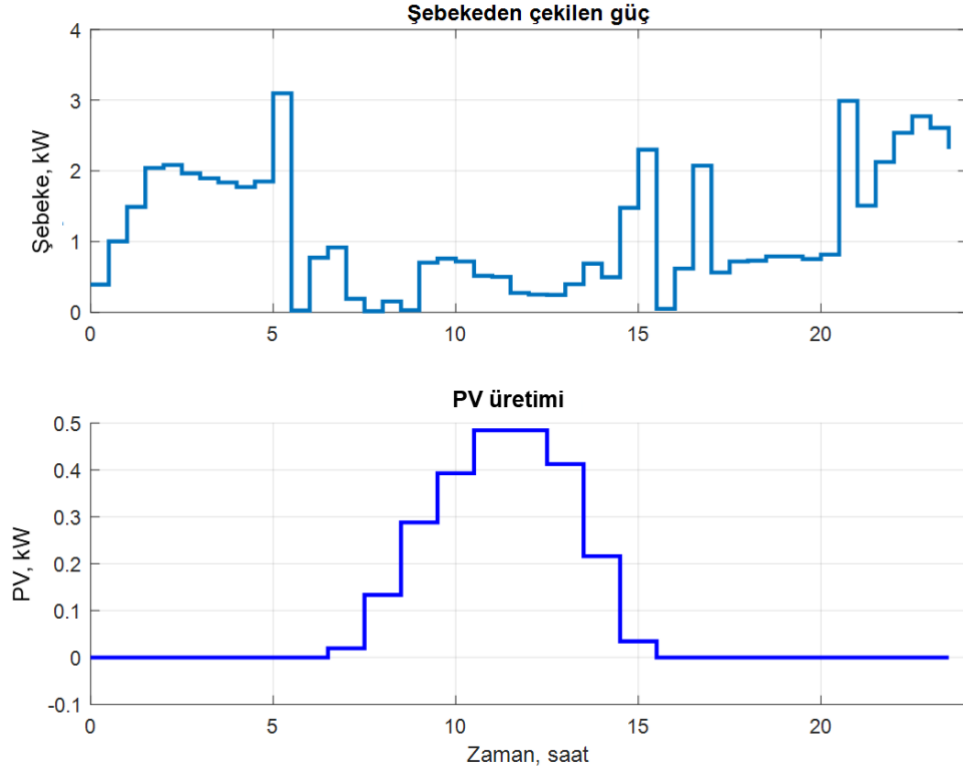
24 saatlik benzetim sonuçları aşağıdaki grafiklerde verildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 incelendiği zaman, MPC tabanlı kontrol sisteminin enerji fiyatlarının düşük olduğu dönemde bataryayı şarj ettiğini, yüksek fiyat döneminde ise deşarj ederek şebekeden çekilen enerji maliyetlerini azalttığı görülmektedir. MPC'nin sağladığı en uygun kontrolün, bataryanın enerji kapasitesi sınırlarına da uyduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 11.).



Şekil 11. MPC Tabanlı Kavramsal Doğrulama Amaçlı Ele Alınan PV Dizisi, Binadaki Elektrik Yükleri, Batarya ve Elektrik Şebekesinden Oluşan Bina Enerji Yönetim Sistemi İçin Örnek Elektrik Yük Talebi ve Elektrik Fiyat Değişimi

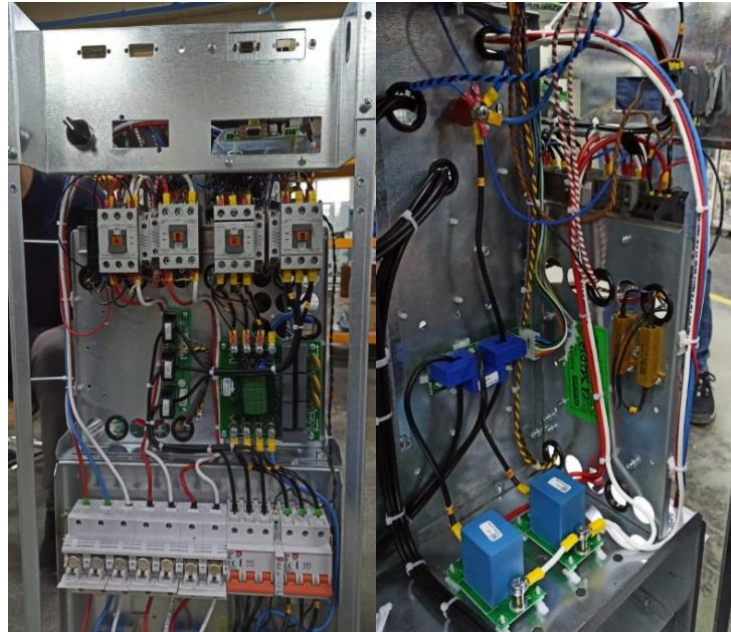


Şekil 12. Kavramsal Doğrulama Amaçlı Ele Alınan PV Dizisi, Binadaki Elektrik Yükleri, Batarya ve Elektrik Şebekesinden Oluşan Bina Enerji Yönetim Sistemi İçin Batarya Şarj ve Deşarj Profilleri ile MPC Uygulandığında Benzetim Sonucunda Elde Edilen Bataryada Depolanan Enerjinin Zamanla Değişimi



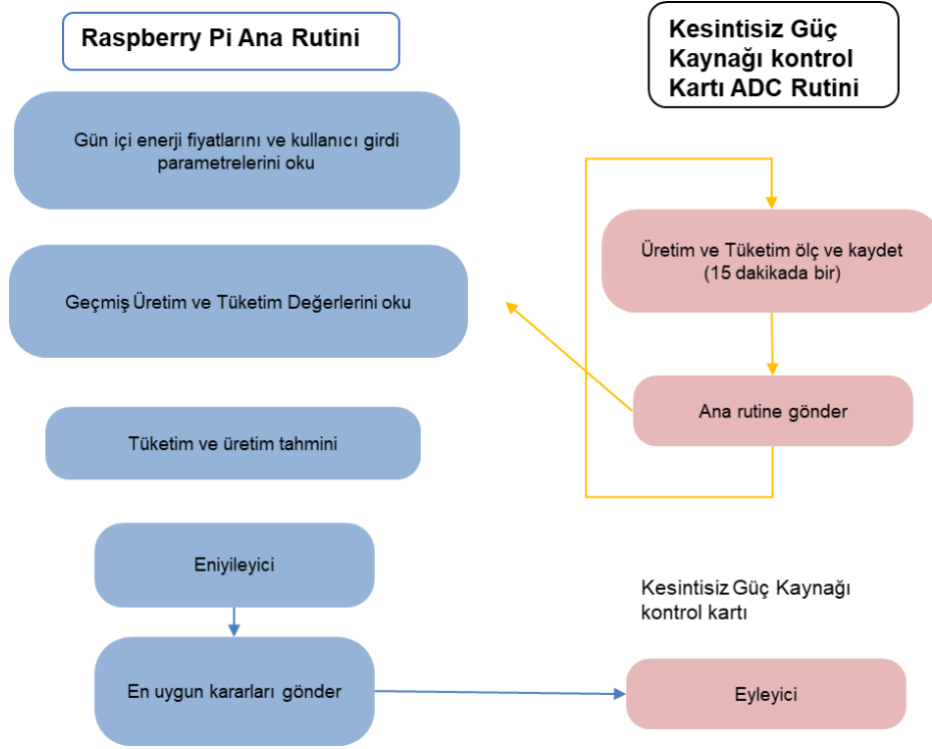
Şekil 13. Kavramsal Doğrulama Amaçlı Ele Alınan PV Dizisi, Binadaki Elektrik Yükleri, Batarya ve Elektrik Şebekesinden Oluşan Bina Enerji Yönetim Sistemi İçin, MPC Uygulandığında Alttaki Şekilde Verilen PV Elektrik Üretimi İçin Benzetim Sonucunda Elde Edilen Şebekeden Çekilen Gücün Zamanla Değişimi

Bulanık mantık tabanlı yapay zekâ yazılımı ile desteklenen şebekeler ile uyumlu, depolamalı ve minimum enerji sarfiyatı ile çalışacak şekilde tasarlanmış akıllı sistemin görüntüsü Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Sistem Entegrasyonu

Şekil 15’te Raspberry Pi üzerinde koşan ana rutin ve kesintisiz güç kaynağı kontrol kartı ile haberleşme kodunun şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 15. Ağ Sisteminin Optimizasyon Entegrasyon Şeması

Eniyileme (Optimizasyon) algoritması Matlab ortamında geliştirilmiştir. Uygulama aşamasında, GEKKO kullanılmıştır. Matlab ve Raspberry Pi'nin Gekko'da gerçekleştirilen gerçeklemlerin kıyaslanmasındaki örnek girdiler Tablo 4'te yer almaktadır. Tablo 4'teki örnek girdiler verilerde aynı üretim ve tüketim geçmişi için son 1 haftanın PV üretim ve tüketim değerleri ile eğitilmiş tahmin modelleri (üretim ve tüketim) için aynı tahmin modelleri kullanılmıştır. Amaç Fonksiyonu (Matlab, Optimization Toolbox) için 1.787749633789051, (Raspberry Pi, GEKKO Optimization Suite) için 1.7877490425109865 değerleri ele alınmıştır.

Tablo 4. Gekko örnek girdileri

Zaman (Saat)	Şebek Alış Fiyatları (Birim Fiyat)	Batarya Kapasitesi (kWh)	Başlangıçtaki Batarya Doluluk Oranı (%)
1	0.7	288	144
2	0.7	288	144
3	0.7	288	144
4	0.7	288	144
5	0.7	288	144
6	1.2	288	144
7	1.2	288	144
8	1.2	288	144
9	1.2	288	144
10	1.2	288	144
11	1.2	288	144
12	1.2	288	144

Tablo 5'te optimum kararlara ait veriler gösterilmiştir. Gekko optimizasyonu ile Matlab ve Raspberry Pi'nin eşleştiği kısımlar siyah, farklılığın başladığı kısımlar ise kırmızı renk ile belirtilmiştir.

Tablo 5. Optimum kararlar

Zaman Adım	Şarj Kararları		Deşarj Kararları	
	Matlab	Raspberry Pi	Matlab	Raspberry Pi
1	1.5764198303223	1.5764160156	0	0.0
2	6.6210975646973	6.6211013794	0	0.0
3	15.6122283935547	15.612239838	0	0.0
4	0.9489021301270	0.94890975952	0	0.0
5	0	0.0	0.6263427734375	0.62633895874
6	3.6370887756348	3.6370925903	0	0.0
7	0	0.0	8.5211830139160	8.5211715698
8	0	0.0	1.0739288330078	1.0739173889
9	3.2771644592285	3.2771720886	0	0.0
10	0	0.0	2.5821876525879	2.5821647644
11	18.2013149261475	18.201324463	0	0.0
12	23.5087127685547	23.508705139	0	0.0

Bu verilerin kıyaslanması, doğruluğun kontrolü, sistem optimizasyonu ve bulanık sistem tasarımı için senaryolar oluşturulmuştur. Elektrik ihtiyacı tahmini ve yenilenebilir enerji üretimi tahminlerinin farkı net yük olarak alınmış ve gelecek 12 saat için eniyileme sonuçları 6 farklı senaryo oluşturularak sunulmuştur. Senaryolarda kullanılan batarya özellikleri ve her bir senaryodaki başlangıç enerjileri tablolarda sunulmuştur.

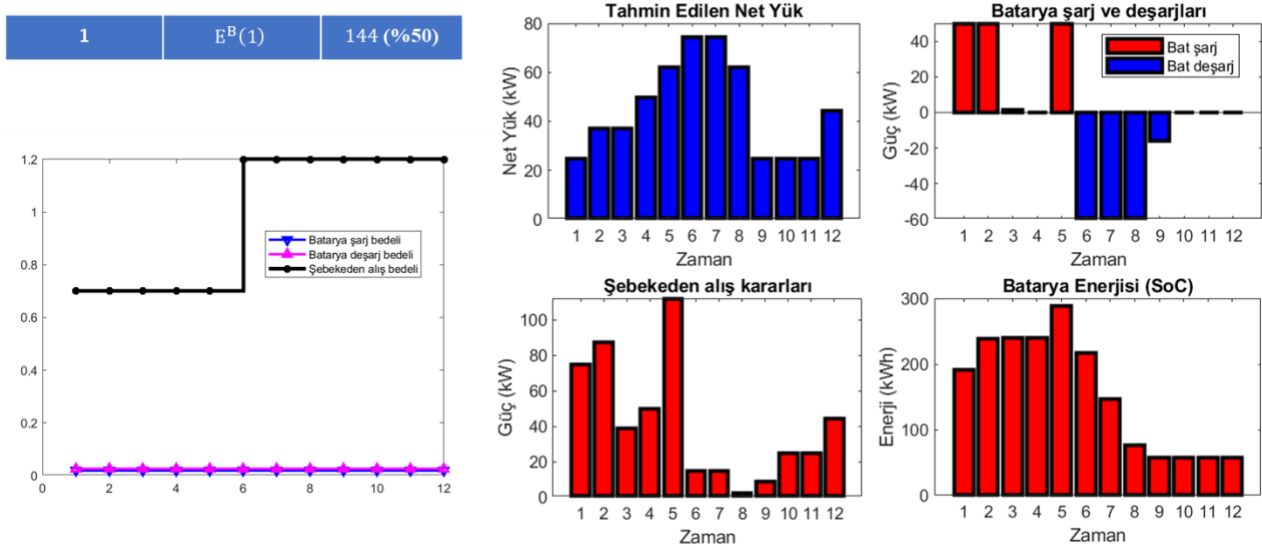
Tablo 6. Batarya limitleri ile şarj ve deşarj verimlilikleri

Değişken	Birim	Alt Sınır	Üst Sınır
$P_I^{BC} (k)$	kW	0	50
$P_I^{BD} (k)$	kW	0	60
$E_I^B (k)$	kWh	57.6	288
η_I^{BC}	%	-	0.95
η_I^{BD}	%	-	0.85

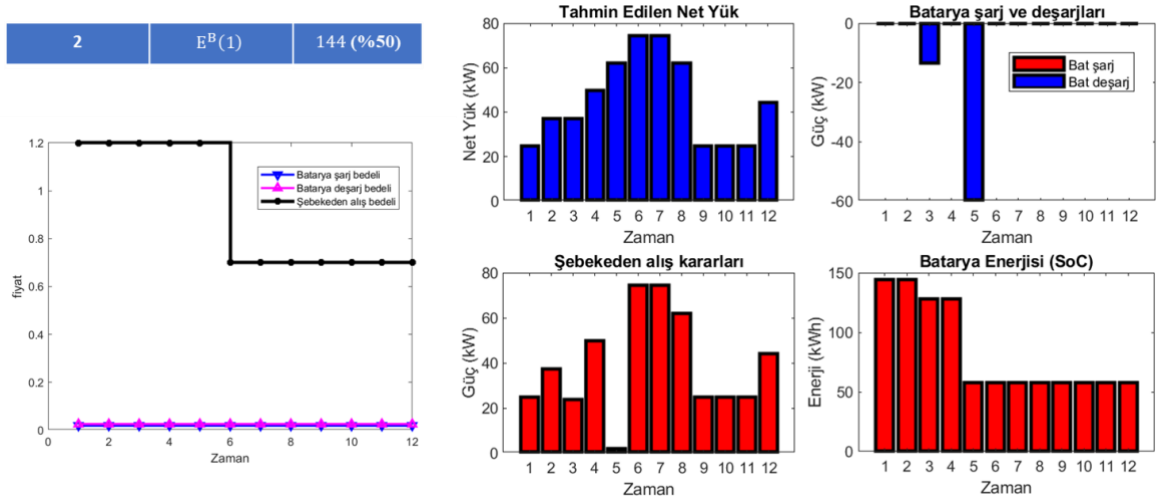
Tablo 7. Batarya limitleri ile şarj ve deşarj verimlilikleri

Senaryo	Değişken	Değer
1	$E^B (1)$	144 (%50)
2	$E^B (1)$	144 (%50)
3	$E^B (1)$	57.6 (%20)
4	$E^B (1)$	288 (%100)
5	$E^B (1)$	144 (%50)
6	$E^B (1)$	144 (%50)

Her bir senaryo için başlangıç seviyeleri verilen bataryaların, 12 saatlik ufuk boyunca batarya ve şebeke kararları grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tablo 6 ve Tablo 7'deki verilere göre oluşturulan ilk senaryoda şebeke alış fiyatları gün içerisinde yükselmektedir (Şekil 16).

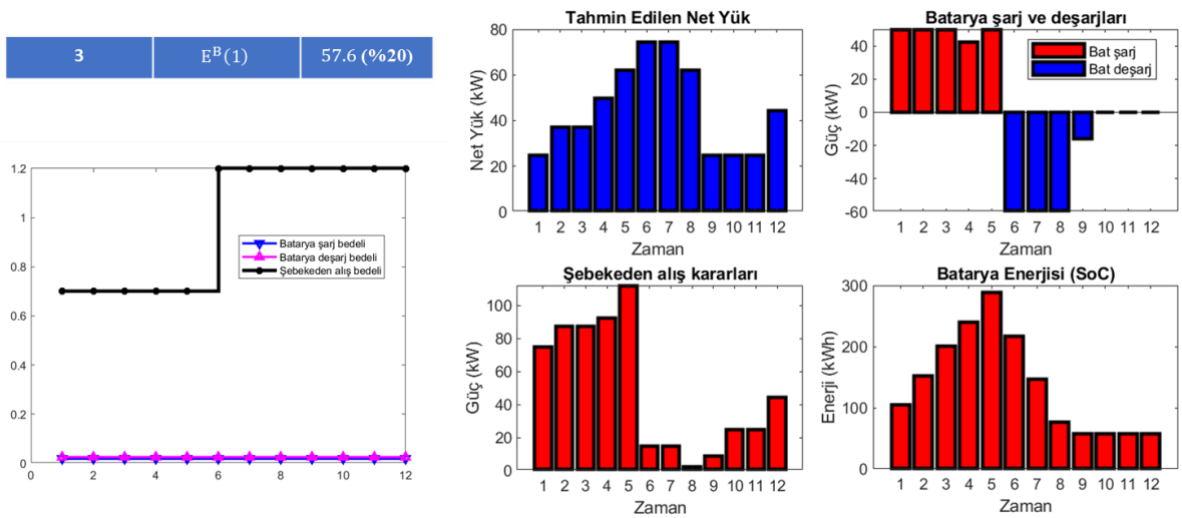
**Şekil 16.** Senaryo 1: Şebeke Alış Fiyatları Gün İçerisinde Yükselmektedir

İkinci senaryoda ise şebeke alış fiyatlarının gün içerisinde düşmesi ele alınmıştır. Şekil 17'de bu senaryoya ait veriler gösterilmektedir.



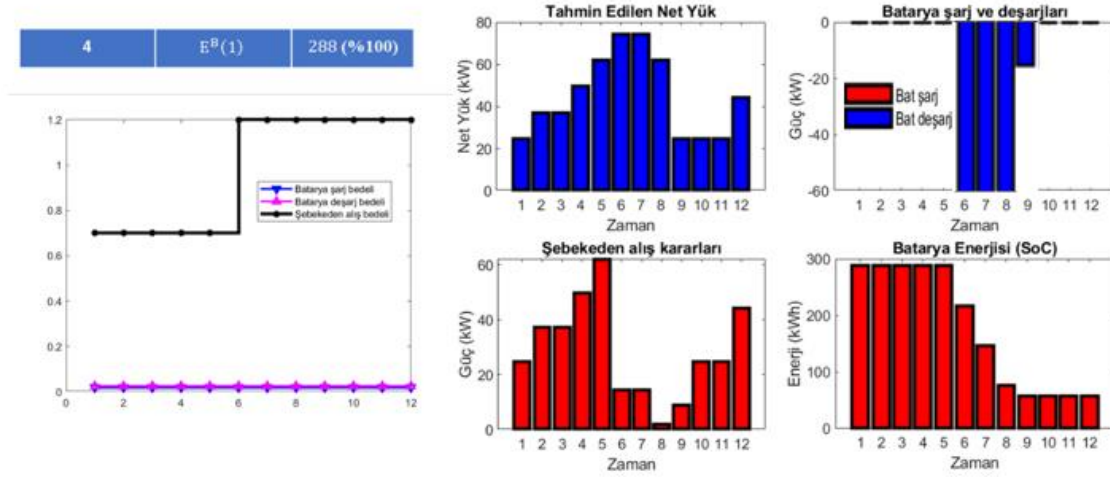
Şekil 17. Senaryo 2: Şebeke Alış Fiyatları Gün İçerisinde Düşmektedir

Üçüncü senaryoda ise birinci senaryoda alınan şebeke fiyatları geçerli olup, batarya başlangıçta minimum seviyede olması ele alınmıştır ve Şekil 18 bu detayları içermektedir.



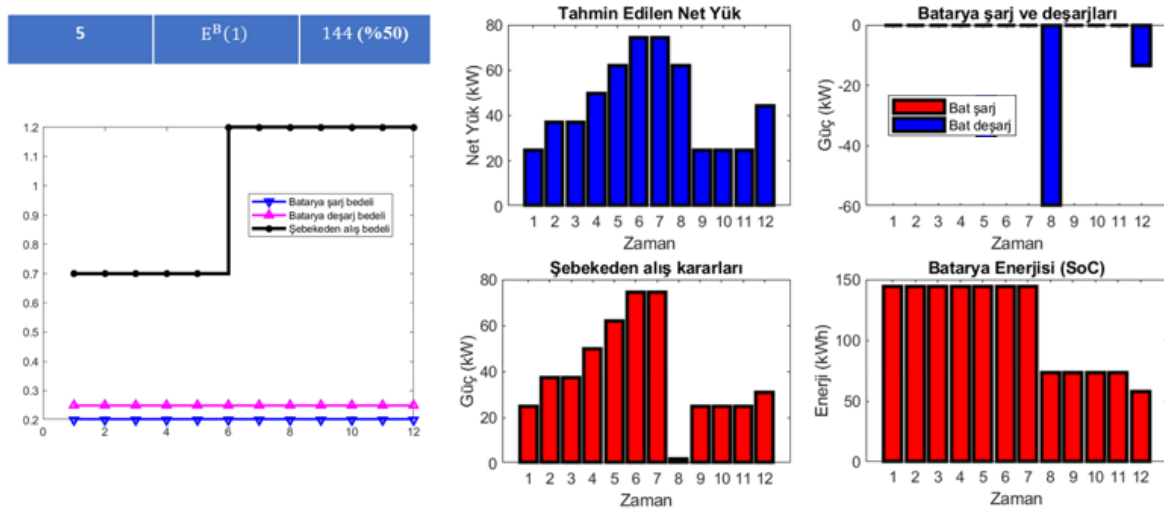
Şekil 18. Senaryo 3: 1. Senaryoda Alınan Şebeke Fiyatları Geçerli Olup, Batarya Başlangıçta Minimum Seviyededir.

Dördüncü senaryoda üçüncü senaryonun tam aksine birinci senaryodaki batarya başlangıçta maksimum seviyede olduğu ele alınmıştır. Şekil 19'da bu duruma ait görseller yer almaktadır.



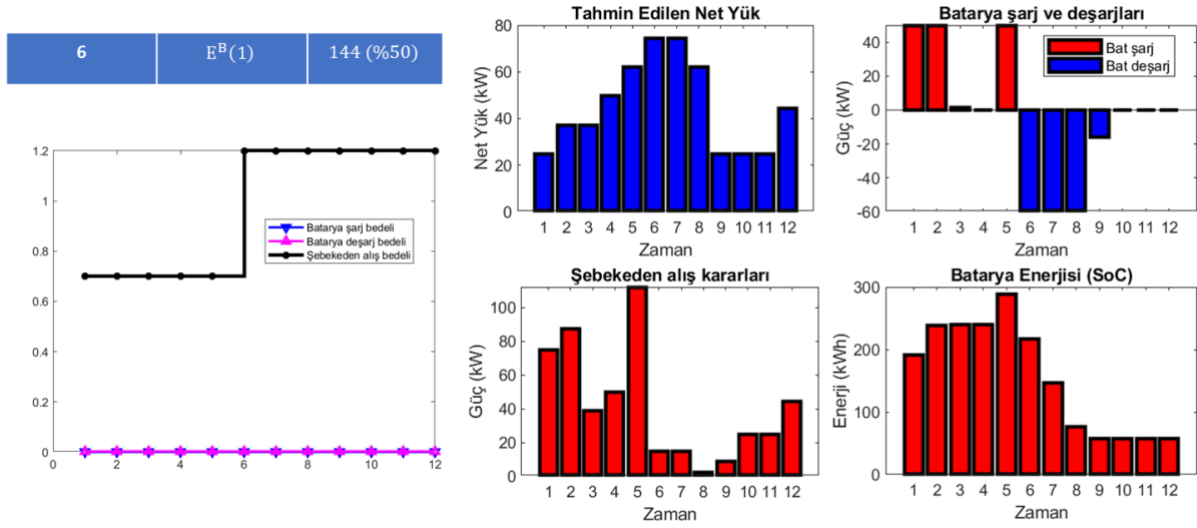
Şekil 19. Senaryo 4: 1. Senaryoda Alınan Şebeke Fiyatları Geçerli Olup, Batarya Başlangıçta Maksimum Seviyededir.

Senaryo 5’te daha karmaşık bir durum ele alınmıştır. Buna göre birinci senaryoda alınan şebeke fiyatları geçerli olup, batarya ömür maliyeti 3. ve 4. senaryodaki maliyetinin 10 katına eşittir. Bataryanın başlangıçtaki doluluk oranı %50’dir (Şekil 20)



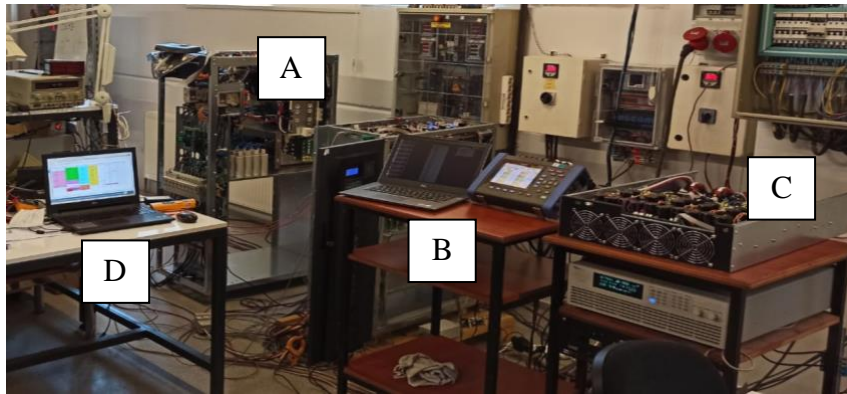
Şekil 20. Senaryo 5: 1. Senaryoda Alınan Şebeke Fiyatları Geçerli Olup, Batarya Ömür Maliyeti 3. Ve 4. Senaryodaki Maliyetinin 10 Katına Eşittir. Bataryanın Başlangıçtaki Doluluk Oranı %50’dir.

Senaryo 6’da ise, 1. Senaryoda alınan şebeke fiyatları geçerli olup, batarya ömür maliyeti 3. ve 4. senaryodaki maliyetinin 10’da biri seviyesindedir. Bataryanın başlangıçtaki doluluk oranı %50’dir. Şekil 21 bu duruma ilişkin görselleri içermektedir.



Şekil 21. Senaryo 6: 1. Senaryoda Alınan Şebeke Fiyatları Geçerli Olup, Batarya Ömür Maliyeti 3. Ve 4. Senaryodaki Maliyetinin 10'da Biri Seviyesindedir. Bataryanın Başlangıçtaki Doluluk Oranı %50'dir.

Bu senaryolara göre sistemin doğruluğunun kontrolü sağlanmış ve optimizasyon ile uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 22'de çalışan PV sistem simütatörü, geliştirilen güç dönüştürücü sistem ve sistemin uygulama örneğinin verilerini kayıt altına alan veri kaydedici yer almaktadır.



Şekil 22. Sistem Optimizasyonu, Bulanık Sistem Tasarımı ve Uygulama Alanı; A) Güç dönüştürücü, B) Veri kayıt cihazı, C) PV simütatör, D) Yazılım

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada akıllı güç dönüştürücü sistemlerinin donanımı ve bu donanımına destek verecek olan yazılımın tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada güç dönüştürücü tasarımında 10 kW tek faz ve üç faz dönüşümü dijital olarak ayarlanabilen, şebeke ile haberleşebilme yapısına sahip bir donanım geliştirilmiştir. 3 seviyeli eviricilerin $0,17 \text{ W/cm}^3$ olan güç yoğunluğu çalışma sonucu elde edilen tasarımla $0,40 \text{ W/cm}^3$ 'e çıkartılarak %135 gibi etkin bir artış gözlenmiştir. Donanım olarak geliştirilen DC-AC evirici modülde minimum %95 verim elde edilmiş olup, solar hibrit

sistemin devreye alınması ile %99 verim tespit edilmiştir. Güç dönüştürücü/batarya biriminin enerji profilindeki dalgalanmaların en aza indirilmesi konusunda destek verecek olan yazılımın tasarımı kapsamında bulanık mantık ile ilk faz gerçeklemiştir. Bu kapsamdaki başarı oranı, batarya kapasitesinin kurulu güç miktarı dikkate alınarak belirlenmesine bağlıdır. Böylece üretilen ve tüketilen enerjinin aynı seviyede tutulmasının sağlanması, bu durumun sonucu olarak da şebekeden çekilen gücün azaltılması sağlanmıştır. Model öngörülü yapay zekâ tasarımında ise; tüketilen güçten kaynaklı oluşan harmoniklerin şebekeye yansıtılmaması sağlanmıştır. Başka bir ifade ile temiz enerjinin gereklilikleri de göz önünde bulundurularak üretilen enerjinin verimli bir şekilde kullanımı sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmanın batarya ömrüne olumlu katkı yapacağı öngörülmekle birlikte enerji maliyetlerinin minimum seviyede enerji veriminin ise maksimumu seviyede olacak şekilde kullanımını sağlayan akıllı bir sistemin sektöre kazandırılması sağlanmıştır.

Makale sonucunda elde edilen tasarım paketi ile enerjinin verimli kullanılması, tüketiciye düşük karbon ayak izi sağlanması (dolayısıyla yeşil bina uygulamalarında kullanılabilir olması) ve tüketici maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çözümler elde edilmiştir. Bu sistemin sürüm olarak yaygınlaşması evsel kullanımlarda ve ofis kullanımlarında akıllı tüketim oranını artıracak, yapılacak olan tüketim tahminleriyle üretim ve tüketim arasındaki denge daha net bir şekilde sağlanacaktır. Bu çaplı fonksiyonlara sahip, yenilenebilir enerji ile akıllı şebeke uygulamalarını bünyesinde barındıran bir ürün henüz yurt içi ve yurt dışı pazarda bulunmamaktadır. Bu makale sonucu elde edilen ürünün ticarileşmesiyle ülke menfaatleri adına önemli bir Ar-Ge çalışması tamamlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde 1160459 Numaralı “1511 Öncelikli Alanlar Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Yenilik P.D.P. (Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı)” ile destek sağlayan TÜBİTAK’a teşekkürü borç bilirim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Abdelkader, M. R., Al-Salaymeh A., Al-Hamamre, Z. And Sharaf F.” A Comparative Analysis of The Performance of Monocrystalline and Multiocrystalline PV Cells in Semi-Arid Climate Conditions: The Case of Jordan “, Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering, Volume 4 Number 5, Pages 543-552, 2010.
- Al Badwawi, R., Issa, W. R., Mallick, T. K., &Abusara, M. (2019). Supervisory control for power management of an islanded AC microgrid using a frequency signaling-based Fuzzy Logic Controller. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 10(1), 94-104.
- Arcos-Aviles, D. et al. "Battery management fuzzy control for a grid-tied microgrid with renewable generation." *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2012.
- Arcos-Aviles, D., Pascual, J., Marroyo, L., Sanchis, P., Guinjoan, F., "Fuzzy Logic-Based Energy Management System Design for Residential Grid-Connected Microgrids," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. PP, no.99, pp.1-1 doi: 10.1109/TSG.2016. 2555245.
- Aslan, S. N., Uçar, A., and Güzeliş, C. (2020, October). Development of Deep Learning Algorithm for Humanoid Robots to Walk to the Target Using Semantic Segmentation and Deep Q Network. In *2020 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-6). IEEE.
- Bergmann, R.B., Berge, C., Rinke, T.J., Schmidt, J., Werner, J.H. “Advances In Monocrystalline Si Thin Film Solar Cells by Layer Transfer “*Solar Energy Materials &Solar Cells*, Volume 74 Issues 1-4, Pages 213-218, 2002.
- Copeland, B.J., Artificial intelligence (AI), *Encyclopedia Britannica*. (2017)
- Erkul, A., “Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi ve Aydınlatma Sistemi Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2010).
- Ghazali, A., Rahman, A.M. “The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device Under the Malaysian Climate Condition “*Energy and Environment Research*, Volume 2 Number 1, Pages 235-243, 2012.
- Ince, T., Vuruşkan, A., Bulgun, E., and Güzelis, C. (2013, April). Application of evolutionary algorithms to garment design. In *2013 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Janarthanan, R., et al. "Prediction of rainfall using fuzzy logic." *Materials Today: Proceedings* 37 (2021): 959-963.
- Kıyancıçek. E., “Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PSV2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, (2013).
- Kiam Heong, A., Chong, G., and Li, Y. "PID control system analysis, design, and technology." *IEEE transactions on control systems technology* 13.4 (2005): 559-576.
- Özkurt, Nalan, Hacer Şekerci Öztura, and Cüneyt Güzeliş. "24-hour electricity consumption forecasting for day ahead market with long short term memory deep learning model." *2020 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*. IEEE, 2020.
- Özsoy., M.F., “Hibrit Rüzgâr-Güneş Enerji Üretim Sistemi ile Bir Elektrik Laboratuvarının Genel Aydınlatma Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye, (2011).
- Rasheed, Mohammed, and Mohammed Abdelhadi Sarhan. "Characteristics of solar cell outdoor measurements using fuzzy logic method." *Insight-Mathematics* 1.1 (2019).
- Russel S., Norvig P., *Artificial Intelligence, A Modern Approach*, Prentice Hall, 2nd Edition, 2003.
- Sharma, Shubham, and Ahmed J. Obaid. "Mathematical modelling, analysis and design of fuzzy logic controller for the control of ventilation systems using MATLAB fuzzy logic toolbox." *Journal of Interdisciplinary Mathematics* 23.4 (2020): 843-849.
- T. Butz, *Fourier Transformation for Pedestrians*. Cham, New York, NY, USA: Springer, 2015.
- Tektaş M. vd., *Yapay Zekâ Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması Üzerine Bir İnceleme*, Marmara Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 2002.
- Verma, Akshay, et al. "Fuzzy logic based effective clustering of homogeneous wireless sensor networks for mobile sink." *IEEE Sensors Journal* 20.10 (2020): 5615-5623.
- Zhang, Ronggang, Sathishkumar VE, and R. Dinesh Jackson Samuel. "Fuzzy efficient energy smart home management system for renewable energy resources." *Sustainability* 12.8 (2020): 3115.

Zhou, Haihua, et al. "Composite energy storage system involving battery and ultra-capacitor with dynamic energy management in micro grid applications." IEEE transactions on power electronics 26.3 (2010): 923-930.