

# Lityum iyon pillerde bulanık kurallara dayalı optimum şarj stratejisi

Fatih KARA<sup>1\*</sup>, İbrahim YÜCEDAĞ<sup>2</sup>, M. Uğur DOĞAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi Artvin Meslek Yük. Bilgisayar Tek. Böl., Seyitler Yerleşkesi, Artvin

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi Müh. Fak. Bilgisayar Müh. Böl., Konuralp Yerleşkesi, Düzce

<sup>3</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bolu Tek. Bil. Meslek Yük. Elekt. ve Oto. Böl., Osb. Bolu

Geliş Tarihi (Received Date): 13.01.2021

Kabul Tarihi (Accepted Date): 11.12.2022

## Öz

Bataryalar elektrik enerjisini elektrokimyasal enerjiye dönüştürerek depolayabilen yapılardır. Şarj akımının ayarlanması bataryalarda önemli bir husustur. Yüksek akımla şarj bataryaların kısa sürede şarj olmasını sağlar. Batarya şarj kapasitesi sıcaklığa ve akıma bağlı olarak değişmektedir. Batarya şarj akım değerini ayarlayan birçok çalışma arasında bulanık mantık kullanan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmada, Lityum İyon pil şarjında bulanık mantığı kullanan bir yöntem önerilmektedir. Pil yüzey sıcaklığını ve ortam sıcaklığını giriş olarak alan ve çıkış akımını belirleyen bulanık bir denetleyici tasarlanmıştır. Panasonic NCR-18650B Lityum İyon pil üzerinde denemeler yapılmış ve sonuçlar bilgisayara ayarlanabilir akım gerilim cihazı ile aktarılmıştır. 5°C, 23°C ve 36°C ortam sıcaklığında test edilen pilin şarj kapasitesinde sırasıyla % 0,2; 2,5; 1,2 oranında kazanç sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bulanık kural, lityum iyon pil, şarj, sıcaklık

## Optimum charging strategy based on fuzzy rules for lithium-ion batteries

### Abstract

Batteries are structures that can store electrical energy by converting it to electrochemical energy. Adjusting the charging current is an important consideration in batteries. High current charging allows the batteries to be charged in a short time. Battery charge capacity varies depending on temperature and current. Among the many

\*Fatih KARA, fatihkara@artvin.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-7467-4169>

İbrahim YÜCEDAĞ, ibrahimyuicedag@duzce.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-2975-7392>

Muhsin Uğur DOĞAN, muhsinugurdogan@ibu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7341-1714>

*studies that adjust the battery charge current value, there are also studies using fuzzy logic. In this study, a method using fuzzy logic in Lithium Ion battery charging is proposed. A fuzzy controller is designed that takes the battery surface temperature and ambient temperature as input and determines the output current. Trials were made on Panasonic NCR-18650B Lithium Ion battery and the results were transferred to the computer with an adjustable current voltage device. Tested at ambient temperatures of 5°C, 23°C and 36°C, the battery's charging capacity gained % 0,2; 2,5; 1,2 respectively.*

**Keywords:** Fuzzy rule, lithium-ion battery, charging, temperature

## 1. Giriş

Lityum pillerin kullanıldığı alanlardan biri de elektrikli araçlardır. Pil şarjı araçlar için önemli bir problemdir. Pillerin ömürleri ısınmaya ve şarj süresine bağlı olmaktadır. Şarj istasyonlarının da verimliliği araç şarjını direkt etkilemektedir. Bu alanlarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çevremizde batarya içeren farklı sistemler mevcuttur. Elektrikle çalışan taşınabilir veya taşınmaz sistemlerde, otomobillerde, olumsuz şartlar nedeniyle elektriğin kesildiği yerlerde ve şebeke elektriğinin ulaşmadığı alanlarda bataryaların kullanıldığını görmekteyiz. Bataryalar enerji kapasitesine göre farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca ağırlık, batarya kalitesini ölçmek için yayın kullanılan bir parametredir. Çevrim sayısı üreticiler için bir rekabet alanı olmuştur. Bunların yanında bataryaların uzun şarj süreleri ve şarj esnasında sıcaklıklarının artması bu alanda karşılaşılan diğer zorluklardır. Şarj esnasında pil sıcaklığını takip ederek uygun bir şarj modeli için PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritmasını kullanan bir yöntem önerilmiştir [1]. Diğer bir çalışmada maliyeti en aza indirmek için şebeke stabil durumunun artırılmasını ve şarj programının optimizasyonu ile pil şarjı sağlayan bir yöntemden bahsedilmektedir [2]. Ayrıca bulanık kontrol için ara değerli bir FFT (Hızlı Fourier dönüşümü) algoritması denenmiştir. Pil şarjında yüksek güç kullanımının önemli sıcaklık artışına neden olacağı gösterilen bir çalışmada sıcaklık artışı bulanık sıcaklık kontrolü ile denetlenmiştir [3].

Bir bulanık sinir ağı denetleyicisi öneren, bununla voltaj regülasyonunda iyileştirme yapan ve kesintili şarj gibi problemlerin önüne geçen bir çalışma mevcuttur [4]. Lityum iyon pillerin mevcut performansını en üst düzeye çıkarmak için bulanık çıkarımla bir uygunluk değerlendiricisi (FDFE) ve çok aşamalı şarj akımını bulmak için PSO'ya dayalı bir arama stratejisi önerilmektedir [5]. Hibrit araçların geliş ve kalkış zamanlarını kilometre ile ilişkilendiren, bulanık kontrollü şarj ile ticari ve konut alanlarındaki ekonomik planlamayı sağlayan bir çalışma vardır [6]. İlk aşamada optimum güç elde edildiği ikinci aşamada bulanık bir denetimle bu gücün dağıtıldığı iki aşamalı bir şarj stratejisinden bahseden bir çalışma yapılmıştır [7]. Bir yöntemde elektrikli araçların şarj istasyonlarının şebekeler üzerinde meydana getirdiği aşırı yüklenme, yük artışı gibi problemlere çatı üstü güneş panelleri sistemiyle çoklu toplayıcı tabanlı çevrimiçi bulanık koordinasyon algoritması ile bir çözüm üretmektedir [8]. Diğer bir çalışmada maliyet fonksiyonuna dayalı optimum şarj süresi için bir arama algoritması önerilmektedir [9]. Elektrikli araçların artmasıyla şarj kaynaklarına olan talep artışı ve güç dağıtım sistemlerinin çalışma prensiplerinden bahsedilmektedir [10]. Aynı çalışmada güç akışı ve veri yolu voltaj kısıtlamalarının karşılandığı dağıtım sistemlerindeki birden fazla elektrikli araç şarj istasyonu için çevrimiçi bir optimum şarj stratejisi önerilmektedir.

Optimum şarj için toplam sistem enerji maliyetini en aza indirerek her araç için hareket saatinde tam şarjı garanti eden bulanık bir kurala göre her şarj istasyonunda park edilmiş elektrikli araçlara enerji yönetimi sağlayan bir çalışma yapılmıştır [11]. Bununla beraber otoparklarda toplam maliyetin en aza indirilmesi, şebeke yükünün azaltılması, frekans düzenleme ve dağıtım hatlarının aşırı yüklenmesinin önlenmesi konularında önerilen yöntemin faydalı olduğu belirtilmiştir. Lityum İyon piller elektrikli araçlarda ve birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzun ömürlü, güvenilir, yüksek enerjili ve verimli olmaları pil teknolojisinde önemli bir yer edinmelerini sağlamıştır. Elektrikli araçlarda pillerin pahalı olmaları ve şarj süreleri önemli bir problem olmaya devam etmektedir. Hızlı şarj veya yeterli olmayan şarj gibi durumlar hem pillerin verimli kullanımını hem de pil ömürlerini azaltmaktadır. Yetersiz şarj ve aşırı şarj koşulları bir pilin ömrünü etkiler [12]. Lityum iyon pillerin şarj süresini azaltmak için sabit akım- sabit voltaj (SA-SV), darbeli şarj, model tabanlı şarj gibi yöntemler geliştirilmiştir [13]. SA-SV yönteminin iki ana aşaması mevcuttur. İlki, batarya voltajı belirli bir değere ulaşınca kadar bataryaya sabit bir akım verilir. İkincisi, sabit voltaj ile pil akımı belirli bir küçük akım değerine gelinceye kadar şarj işlemine devam edilir [14]. Farklı bir çalışmada voltajların eşitleme süresini azaltan yöntem denenmiştir [15]. Bulanık mantık kullanan yöntemler de mevcuttur [16-20]. Pilin şarj verimliliğini artıran ancak şarj etmek için daha fazla zaman gerektiren bir yöntem önerilmiştir ve şarj süresini iyileştirmek için Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Bulanık mantık-kontrol tabanlı (FLC-tabanlı) beş aşamalı bir Li-ion pil şarj cihazı önerilmektedir [21]. Bu cihaz pilin sıcaklık artışını ve sıcaklık artış derecesini dikkate alarak şarj akımını ayarlamıştır. Lityum iyon pillerin şarj davranışını simüle etmek için şarj-polarizasyon-voltaj tabanlı direnç-kapasitans (RC) devre modeli için bir yöntem önerilmektedir [22]. Yöntem şarj süresini azaltmıştır. Şarj akımını ayarlamak için artımlı bir şarj akımı ile bulanık sıcaklık kontrolörü tasarlanmıştır [23]. Şarj süresince ortalama sıcaklık artışını %23,2 azaltmıştır. Pilin gerçek zamanlı iç direncine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen darbe genişliğinin bulanık mantıkla kontrol eden bir sistem tasarlanmıştır [24]. Böylece pilin uygun bir çalışma sıcaklığına hızla ulaşabilmesi sağlanmıştır. Düşük sıcaklıkların ve yüksek oranlı şarjın pil üzerinde olumsuz etkisi olması nedeniyle bulanık bir şarj kontrol yöntemi denenmiştir [25]. Geleneksel yöntemlere göre %14 oranında azalma olduğu belirtilmiştir. Üyelik fonksiyonlarının optimum değerlerini tespit eden bir yöntemde pilin şarj verimliliğini ve ortalama sıcaklık artışını yaklaşık %0,51 ve %17,5 oranında iyileştirmiştir [26]. Lityum iyon pillerde voltaj, akım ve sıcaklık bilgisi kullanılarak Takagi-Sugeo (TS) bulanık modelleme yaklaşımı ile bir model geliştirilmiştir [27]. Farklı bir çalışmada Lityum iyon batarya kapasitelerinin doğru bir şekilde tespit edebilmek amacıyla uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım modeli anlatılmıştır [28].

Lityum iyon pil paketi içinde yer alan bir pil hücrelerinin kapasitesinde meydana gelebilecek zayıflık tüm paketi etkilemektedir. Bu nedenle pillerin şarj işlemlerinde volt, akım değerlerinin dikkatli biçimde ayarlanması gerekmektedir. Bataryalar elektrikli araçlarda yüksek kapasiteli, uzun çevrim ömürlü kullanılabilmeleri için uygun yönetici sistemlere sahip olmalıdırlar.

Akım, gerilim ve sıcaklık parametreleri batarya yönetim sisteminin takip ettiği parametrelerdir. Bataryaların şarj ve sağlık durumu tahmini, elektrikli araçlarda uzun sürüşlerde daha da önemli hale gelmektedir. Bataryaların fiziksel olarak deformasyona uğramaması için batarya yönetim sistemleri devreye girmekte ve bataryalara üreticilerin bataryaların kataloglarına yazdığı ölçüde akım verilmektedir.

Bu çalışmada, bir lityum iyon pilin yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığını giriş üyelik değeri olarak alan bulanık bir kontrol sistemi denenmiştir. Şarj işleminde SA-SV yöntemi kullanılmıştır. SA-SV yöntemine ek olarak şarj işleminin ilk başladığı andaki akım değeri bulanık bir denetleyici ile belirlenmiştir. Şarj başlangıç akımı (ŞBA), şarj başlangıcında sisteme girildikten sonra SA aşamasında sabit kalan, sonra SV aşamasına azalan akımdır. Bulanık denetleyicinin belirlediği ŞBA ile yapılan şarj işlemi, düşük veya yüksek ŞBA değerleriyle yapılan şarjlarla karşılaştırılmıştır.

## 2. Bataryalar için temel bilgiler

Batarya hücreleri kimyasal enerjiden elektrik enerjisi elde edilmesini veya kimyasal enerjinin depolanmasını sağlarlar. Amper saat ise şarjın zamana göre ölçüsünü verir. Akım (Amper) ve zamanın (saat) çarpımı batarya kapasitesi hakkında bilgi verir. Bataryalarda C oranı şarj/deşarj oranını belirlemek için kullanılır. Pillerin kataloglarında nominal kapasite değeri yazar. Bu değer, 1C oranında pilin bir saatte verebileceği akımı gösterir.

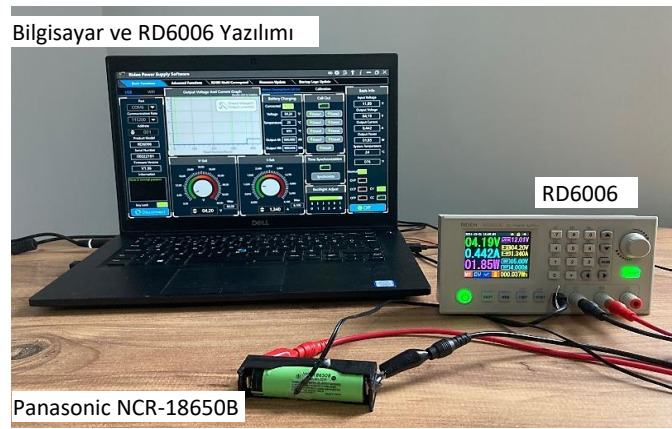
C oranının bataryada depolanan şarj kapasitesine etkisini inceleyen çalışmalar mevcuttur. SA-SV yöntemiyle NCR18650B pilin şarj edildiği bir çalışmada C oranı azaldıkça depolanan şarj kapasitesinin arttığı gösterilmiştir [29]. Lityum batarya üzerine farklı bir çalışmada ise 2C,3C ve 5C oranlarında yapılan şarjların sırasıyla şarj kapasite kayıpları % 6; 11; 23 olarak bulunmuştur [30].

Bataryalarda diğer bir önemli konu çalışma sıcaklığıdır. Çok yüksek veya çok düşük sıcaklıklarda bataryaların performansı değişmektedir [29]. Bataryaların sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için kataloglarında standart şarj akımı mevcuttur. Seri ve paralel hücre bağlantısıyla oluşan batarya paketlerinin güvenli çalışması için gerilim, akım ve kapasiteleri seri ve paralel bağlı hücre sayılarına göre belirlenmektedir. Seri ve paralel bağlı hücreler arasındaki koordinasyon batarya yönetim sisteminin üç ana görevini belirler. Bunlar veri izleme, hesaplama, korumadır. Veri izleme, batarya paketindeki yer alan hücrelerin voltaj, akım ve sıcaklık gibi değerlerinin gözlemlenmesiyle yapılır. Gözlemlenen değerler kullanılarak döngü sayısı, maksimum ve minimum şarj/deşarj akımı, pil doluluk oranı, maksimum ve minimum voltaj, pil sağlık durumu ve çalışma süresi gibi değerler hesaplanmaktadır.

## 3. Yöntem

Li-ion bataryaların şarj yöntemlerinin verimliliği önemli bir unsurdur [29]. İki periyotta şarj işlemine sahip SA-SV yönteminde önceden belirlenen bir gerilim seviyesine ulaşana kadar sabit akımla şarj işlemi başlar. Gerilim istenen değere ulaşıncaya kadar akım zamanla düşer. Bu çalışmada Panasonic NCR18650B pil ile denemeler yapılmıştır. Panasonic NCR18650B pillerin nominal kapasite değeri 3350mAh'dır. Bu çalışmada optimum şarj akımının dış ortam sıcaklığı ve pil yüzey sıcaklığına bağlı olarak belirlendiği bulanık mantık tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Şarj işlemi aşamaları iki adımdan oluşmaktadır. İlk aşama olan sabit akımda, pil sabit bir akımla şarj edilir. Bu çalışmada SA-SV yönteminin ilk aşaması olan SA kısmında uygulanacak akım değeri başlangıçta bulanık denetleyici ile ayarlanmıştır. Bu akım pil gerilimi 4.2V oluncaya kadar değişmemektedir. İkinci aşama olan sabit voltaj aşamasında pil gerilimi 4.2V değerinde iken şarj akımı küçük

bir değere (250mA) düşünceye kadar beklenmiştir. Panasonic NCR18650B katalogunda 1C oranı şarj akımı 3350mA olarak belirtilmektedir. SA-SV yönteminin kullanıldığı şarj işleminde ŞBA değerine müdahale edilerek akımın 1C yerine bulanık bir denetleyici ile belirlenen C oranında olması sağlanmıştır. Farklı ŞBA değerlerinde SA-SV metodu uygulanmıştır. ŞBA'nın denenen her değeri için SA-SV'nin ilk aşaması olan sabit akım ve ikinci aşaması olan sabit gerilim işlemi uygulanmıştır. Eğer C oranı düşükse o zaman düşük bir ŞBA ile şarja başlanarak SA-SV uygulanmıştır. Düşük ŞBA değeri SA-SV yönteminde belirlenen gerilim değerine (4.2V) ulaşma süresini artırır. Böylece pilin toplam şarj süresi artmış olur. Gerilim, akım ve pil yüzey sıcaklık değerleri Şekil 1'de gösterilen RD6006 Ayarlanabilir Güç Kaynağı ile izlenmiştir. Veriler cihazın kendi yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır ve bu değerler "cvs" uzantılı dosya olarak saklanmıştır. RD6006 ayrıca pil şarj etme özelliğine de sahiptir. Deney düzeneği RD6006, bilgisayar, cihaz yazılımı ve Panasonic NCR-18650B pil ile kurulmuştur. Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil1'de mevcuttur.



Şekil 1. Deney düzeneği.

### 3.1. Bulanık Mantık

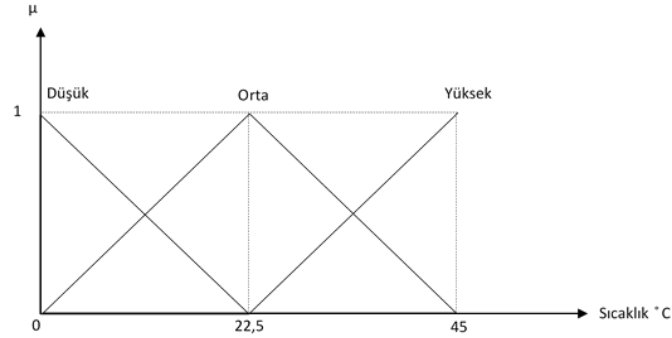
Bulanık mantıkta kesin olmayan, ikili olmayan bir durumdan söz edilmektedir [34]. İnsanların karar verme becerisine yakın bir mantığa sahiptir [35]. Çok parametrelili karar verme işlemleri için uygundur [36]. Bulanık mantıkta değerler çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun şeklinde insan mantığına yakın olacak şekilde tanımlanabilir [37]. Bulanık mantık gerçek durumları belirlemede daha kesin doğrular sunar [38].

Şekil 2'de sistemin genel çalışma yapısı verilmiştir. Bulanık giriş için üyelikler gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı ve pil yüzey sıcaklığı giriş akım değeri çıkış olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada tasarlanan bulanık denetleyici girdi olarak dış ortam sıcaklığını ve pil yüzey sıcaklığını almıştır. Buna göre çıkış akım değeri ayarlanmıştır.



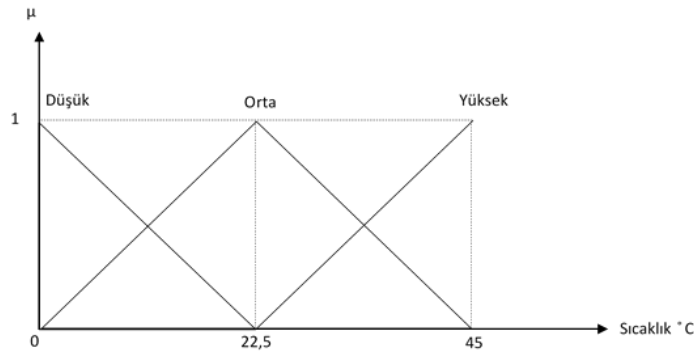
Şekil 2. Bulanık girişler ve çıkış.

Ortam sıcaklığı üç değerli bir üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Pil sıcaklık değeri bulanık sisteme üç değerli bir giriş ile tanımlanmıştır. Sıcaklık üyelik değerlikleri Şekil 3'te verilmiştir. Üyelik değerleri için  $0^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$  aralığı seçilmiştir.



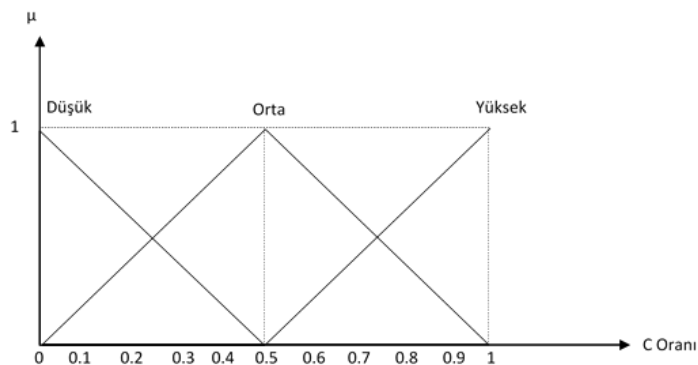
Şekil 3. Ortam sıcaklığı üyelik değerleri.

Pil sıcaklığı şarj esnasında artmaktadır. Bu artış ortam sıcaklığına ve şarj akımına göre farklı değerler alabilmektedir. Şarj işlemi pil yüzey sıcaklığı üç değerli bir giriş fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Çok yüksek veya düşük sıcaklıklar pilin şarj verimini düşürmektedir. Üyelikler Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Pil yüzey sıcaklığı üyelik değerleri.

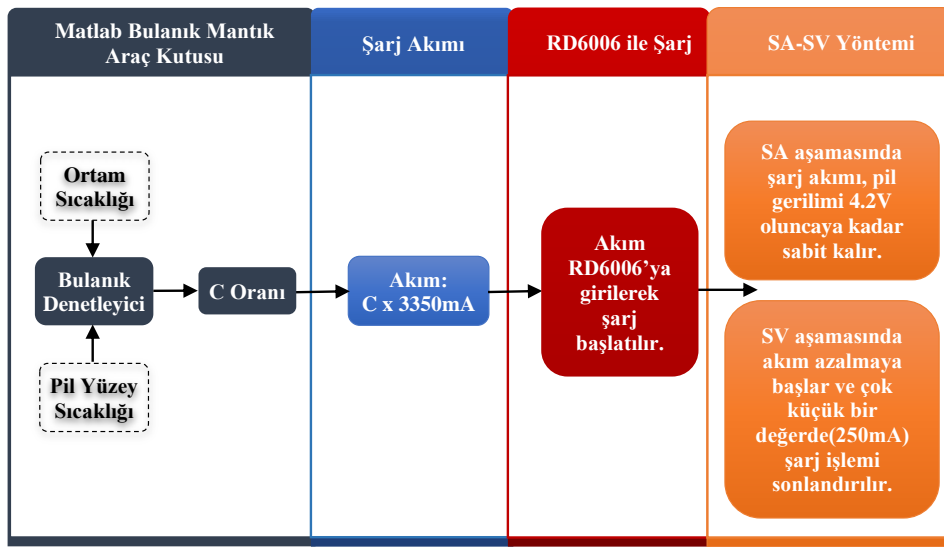
Sıcaklık değerlerine göre ayarlanabilen bulanık akım çıkış üyelikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Akım değeri C oranı ile belirlenmiştir. Panasonic NCR-18650B pilin C oranı 1 iken nominal kapasitesi olan 3350mAh kadar akımın çekilebileceği kastedilmektedir. Şarj başlangıç akımı çıkış değeri oranına göre belirlenmektedir.



Şekil 5. Bulanık çıkış üyelikleri.

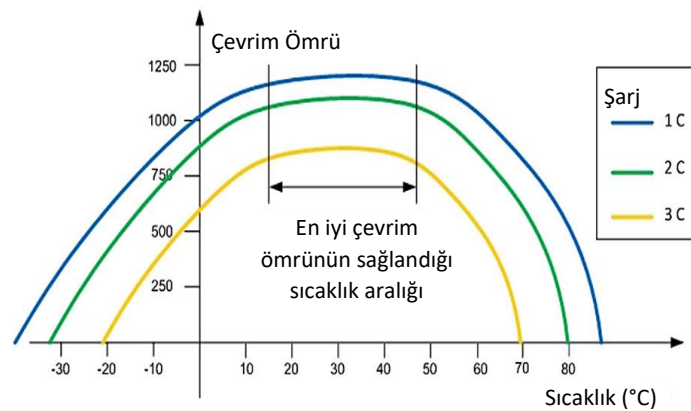
### 3.2. ŞBA'nın bulanık mantık denetleyici ile kontrolü

Lityum pillerin farklı ortam sıcaklıklarında farklı davranışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Panasonic NCR-18650B piller için  $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  aralığında ortam sıcaklığının şarj için uygundur. Lityum iyon pillerin şarj edilme sıcaklık aralığı  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  arasındadır ve bu aralık dışında yapılan şarj işlemi pilde termal kaçak oluşturmaktadır [31]. Nagasubramanian 2001 yılındaki çalışmasında Panasonic 18650 pillerin enerji yoğunluklarının  $25^{\circ}\text{C}$ 'de ve  $-40^{\circ}\text{C}$ 'deki ölçümlerinde sıcaklığın düşmesiyle %95 oranında bir kayıp olduğunu tespit etmiştir [32].  $-30^{\circ}\text{C}$ 'de piller 0,02C oranında şarj edilmelidir [33]. Bu çalışmada, ortam sıcaklığı ve pil yüzey sıcaklığı sisteme giriş olarak verilmekte ve kural tabanına göre çıkış akımı belirlenmektedir. Bulanık denetleyici Matlab R2020b Bulanık Mantık Araç Kutusu kullanılarak oluşturulmuştur. Farklı deneylerde ortam sıcaklığı sürekli izlenmiş ve şarj süresince sıcaklığın sabit olduğu şarjlar çalışmaya dahil edilmiştir. Yöntemin tüm aşamaları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Şarj işleminin tüm aşamaları.

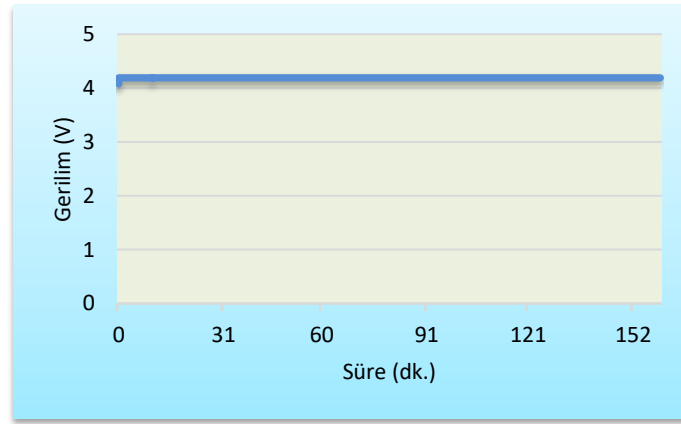
Bataryalar 1C oranında şarj edildiğinde en yüksek çevrim ömrüne sahip olmaktadır [39]. Şekil 7'de akımın 2C ve 3C oranlarında pil çevrim ömrünün azaldığı görülmektedir.



Şekil 7. Pillerin farklı C oranlarında ve farklı sıcaklıklarda çevrim ömürleri [39].

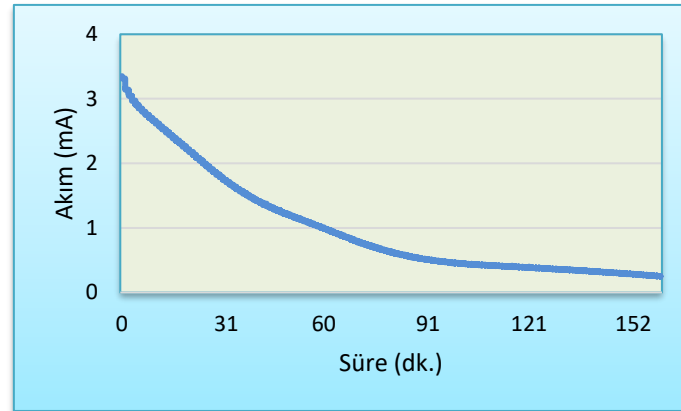
Şekil 7’de belirli bir sıcaklık aralığında pil ömrü açısından maksimum fayda elde edilebilmektedir. Sıcaklığın artması veya azalması durumunda pil ömrünün azaldığı görülmektedir. Pil ömrünün artırılabilmesi için düşük akımlarda şarja ihtiyaç vardır [40]. Bu çalışmada, bulanık kurallar yazılırken Şekil 7’deki yaşam döngüsü dikkate alınmıştır. Buna göre düşük ve yüksek sıcaklıklarda akım daha fazla azaltılmıştır.

Sabit akım sabit gerilim şarj yönteminde volt değeri 4.2V’ye yükseltilmiştir. Fakat akım yüksek olduğu için bu işlem çok hızlı gerçekleşmekte ve bundan sonra sadece akım azalmaktadır. Şarj başlangıç akımı 3350mA ve 5°C ortam sıcaklığında akımın zamanla değişim grafiği Şekil 8’de gösterilmektedir. Akım azalmaya başladıktan 158dk. sonra 250mA’ya kadar düşmüştür.



Şekil 8. Pili geriliminin zamanla değişim grafiği.

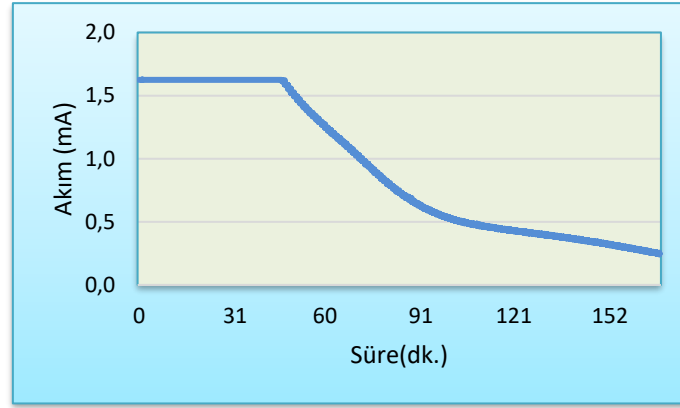
Şarj başlangıç akımı 3350mA ve ortam sıcaklığı 5°C iken akımın zamanla değişim grafiği Şekil 9’da gösterilmektedir.



Şekil 9. Akımın zamanla değişim grafiği.

Şekil 10’da sabit akım-sabit volt şarj yöntemine göre akım 1650mA ile başlamıştır. Akım sabit iken 40dk süre sonra gerilim 4.2V’ye ulaşmıştır. Bu aşamadan sonra gerilim değeri sabit kalıp akım azalmıştır.





Şekil 10. SA-SV yönteminde akımın zamanla değişim grafiği.

### 3.3. Şarj denemeleri

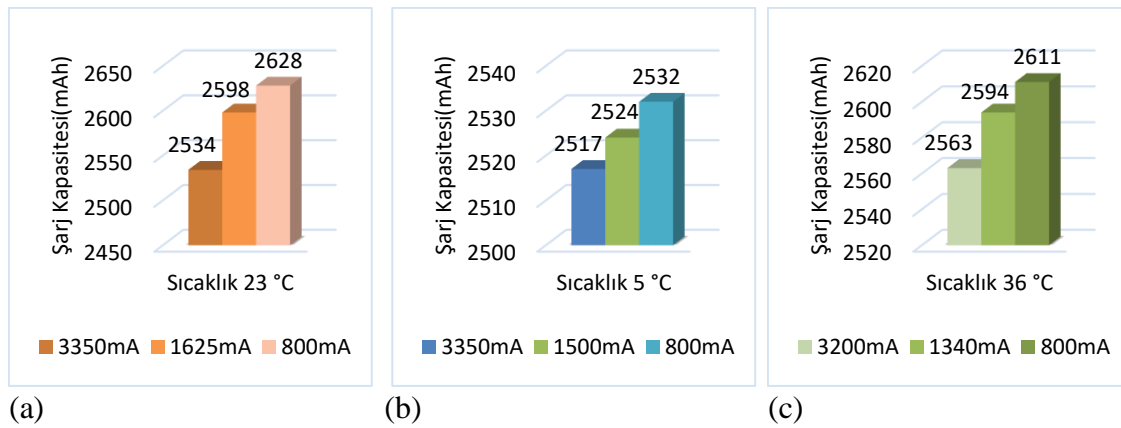
Tablo 1’de dokuz adet şarja ait veriler yer almaktadır. Her şarj işlemi öncesi pilin gerilim değeri okunmuştur. Bulanık denetleyici ile belirlenen ŞBA’ya göre başlanan şarjlar, 1C oranında (3350mA) ŞBA ile yapılan şarjlar ve 800mA ŞBA ile yapılan şarjlar Tablo1’de gösterilmektedir. Ortam ve pil yüzey sıcaklık değerleri Tablo 1’de yer almaktadır. Şarj işlemlerinin süreleri ve depolanan şarj kapasiteleri Tablo 1’e eklenmiştir.

3,33V gerilime sahip pile 3350mA akım verilerek şarja başlanmıştır. 3350mA başlangıç akımında bulanık denetim yoktur ve nominal akım kadar akım çekilmektedir. Şarj süresi 161dk. olmuş ve pil yüzey sıcaklığındaki değişim gözlemlenmiştir. 3,34V gerilime sahip pil bulanık kontrolle belirlenen 1350mA akım değeri ile şarja başlatılmış ve 23°C’lik bir ortamda şarj işlemi uygulanmıştır. Bulanık kontrol ile belirlenen akım şarj süresi 173dk. olmuştur. 23°C’lik bir ortamda 800mA ile başlanan şarj 230dk. zaman almıştır. 3350mA, 3200mA, 800mA ve bulanık kontrolle belirlenen akımlar 5°C ve 36°C’de uygulanmıştır. Tablo1’de görüldüğü üzere 5°C ortam sıcaklığında bulanık denetimle başlanan şarj işleminde depolanan şarj miktarı 2524mA olmaktadır. Bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile 5°C ortam sıcaklığında yapılan şarjın, 3350mA ŞBA ile yapılan şarja göre %0,2 daha fazla şarj kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Aynı ortam sıcaklığında bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarjda depolanan şarj kapasitesinin, 800mA ŞBA ile başlanan şarja göre %0,3 daha az olduğu tespit edilmiştir. 23°C ortam sıcaklığında bulanık denetimle başlanan şarj işleminde depolanan şarj miktarı 2598mAh’dır. Bulanık denetimin olduğu ŞBA ile 23°C ortam sıcaklığında yapılan şarjın, 3350mA ŞBA ile yapılan şarja göre %2,5 daha fazla şarj kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. 23°C ortam sıcaklığında bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarj esnasında depolanan şarj kapasitesinin, 800mA ŞBA ile başlanan şarja göre %1 daha az olduğu görülmektedir. Ortam sıcaklığının 36°C olduğu bulanık denetimle başlanan şarj işleminde ise depolanan şarj miktarı 2594mAh olmaktadır. Bulanık denetimin olduğu ŞBA ile 36°C ortam sıcaklığında yapılan şarjın, 3200mA ŞBA ile yapılan şarja göre %1,2 daha fazla şarj kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ortam sıcaklığının 36°C olduğu, bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarj esnasında depolanan şarj kapasitesinin, 800mA ŞBA ile başlanan şarja göre %0,6 daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Şarj işlemlerine ait veriler.

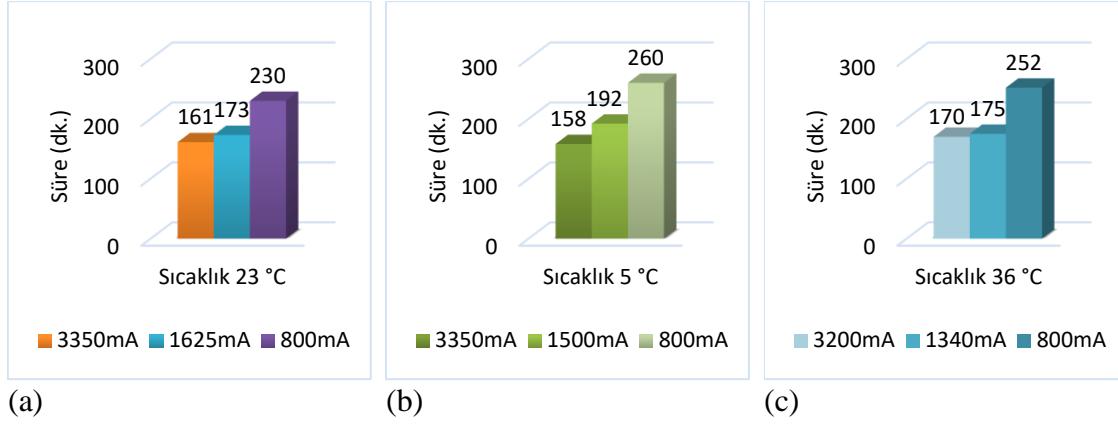
Bulanık Denetim	ŞBA (mA)	Şarj Öncesi Pil Gerilimi (V)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Şarj Başlangıç Pil Sıcaklığı (°C)	Pil Şarj Süresi (dk.)	Depolanan Şarj (mAh)
Yok	3350	3,33	23	28	161	2534
Var	1625	3,34		28	173	2598
Yok	800	3,33		25	230	2628
Yok	3350	3,33	5	7	158	2517
Var	1500	3,33		6	192	2524
Yok	800	3,33		7	260	2532
Yok	3200	3,33	36	39	170	2563
Var	1340	3,33		38	175	2594
Yok	800	3,33		38	252	2611

Farklı sıcaklıklarda farklı ŞBA değerleriyle şarjlar yapılarak depolanan şarj kapasiteleri ortaya çıkarılmıştır. 23°C ortam sıcaklığında 3350mA, 1625mA ve 800mA ŞBA değerleri ile yapılan şarj işlemlerinde şarj kapasiteleri sırasıyla 2534mAh, 2598mAh ve 2628mAh olmaktadır. 5°C ortam sıcaklığında 3350mA, 1500mA ve 800mA ŞBA değerleriyle yapılan şarj esnasında depolanan şarj kapasiteleri sırasıyla 2517mAh, 2524mAh ve 2532mAh olmuştur. 36°C ortam sıcaklığında 3200mA, 1340mA ve 800mA ŞBA değerleriyle yapılan şarjlarda sırasıyla şarj kapasite değerleri 2563mAh, 2594mAh ve 2611mAh olmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Ortam sıcaklıklarına göre farklı akım değerlerinde depolanan şarjlar.

Şarj işlemlerine ait sürelerin sıcaklığa göre değişimi Şekil 12’de verilmiştir. 23°C ortam sıcaklığında yapılan şarj işlemlerinin farklı başlangıç akımlarına göre süreleri Şekil 12(a)’da gösterilmektedir. Şekil 12(b)’de ise farklı başlangıç akımlarına göre şarj süreleri 5°C ortam sıcaklığında ölçülmüştür. 36°C ortam sıcaklığında şarj sürelerinin farklı başlangıç akımlarına göre farklı değerler aldığı Şekil 12(c)’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Ortam sıcaklıklarına göre pil şarj süreleri.

#### 4. Sonuç

Panasonic NCR-18650B Lityum iyon pilin farklı sıcaklıklarda şarj karakteristiği farklı olmaktadır. Bu çalışmada, pil yüzey sıcaklığına ve ortam sıcaklığına bağlı bulanık bir denetleyici ile farklı sıcaklıklarda şarj başlangıç akımı ayarlanmıştır. Böylece hem dış ortam sıcaklığı hem de pil yüzey sıcaklığı değerlendirilerek bulanık mantıkla optimum bir şarj başlangıç akımı bulunmuştur. Pil şarj esnasında belirli bir başlangıç akımı ile şarja başlamaktadır. Başlangıç akımının bulanık bir denetleyici ile kontrol edilmesi akımın azaltılmasını ve pillerin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Pillerin kullanıldığı elektrikli araçlarda veya farklı alanlarda değişebilecek dış ortam sıcaklığına göre uygun şarj akımı verilmesi önemlidir.

Tablo1’de 800mA şarj başlangıç akımı ile 23°C ortam sıcaklığında yapılan şarjın 5°C ve 36°C ortam sıcaklığında yapılan şarjlara göre daha kısa sürede tamamlandığı görülmektedir. Başlangıç akımının bulanık denetim olmadan belirlenen düşük bir değerle yapılması süre açısından dezavantaj oluşturmaktadır. 3200mA ve 3350mA akım ile başlanan şarj işlemlerinde şarj süresi, 800mA veya bulanık denetimle belirlenen akım ile başlanan şarjlara göre daha kısa olmaktadır. Farklı sıcaklıklarda yüksek akımlarla başlanan şarjın daha kısa sürdüğü görülmektedir. 800mA ile başlanan şarjlar ise diğerlerine göre daha uzun zaman almaktadır.

3350mA veya 3200mA ŞBA ile başlanan şarjlar, bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarjlara göre daha kısa sürmektedir. Bu nedenle bulanık denetim, şarj süresinde bir avantaj oluşturmamaktadır. Bulanık denetimin olduğu şarjlar, düşük ŞBA (800mA) ile yapılan şarjlara kıyaslanırsa süre avantajına sahip olduğu görülür. Bulanık denetimin 3350mA veya 3200mA ŞBA ile başlanan şarjlara göre avantajı, şarj esnasında depolanan kapasitede ortaya çıkmıştır. ŞBA’nın 3350mA veya 3200mA yerine, bulanık denetimle belirlenmesi depolanan şarj kapasitesinin artmasını sağlamıştır. Bu çalışmada bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile yapılan şarjlarda depolan şarj kapasitesinin, 1C (3350mA) oranında ŞBA ile yapılan şarjlarda depolanan şarj kapasitesine göre daha fazla olduğu gösterilmiştir. Bulanık denetimle belirlenen akımlar 23°C’de 1626mA, 5°C’de 1500mA ve 36°C’de 1340mA’dır. 23°C ortam sıcaklığında 1625mA başlangıç akımı ile yapılan şarj, 3350mA başlangıç akımı ile yapılan şarja göre %25 daha fazla zaman almıştır. 5°C ortam sıcaklığında 1500mA başlangıç akımı ile yapılan şarj, 3350mA başlangıç akımı ile yapılan şarja göre %17 daha uzun sürede tamamlanmıştır. 36°C ortam sıcaklığında ise

1340mA başlangıç akımı ile yapılan şarj, 3200mA başlangıç akımı ile yapılan şarja göre %3 daha uzun sürede tamamlanmıştır. Buna göre bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarjlar, kendinden daha yüksek ŞBA ile başlanan şarjlara göre uzun sürmektedir. Bulanık denetimle belirlenen akımla başlanan şarjlar, daha düşük ŞBA ile başlanana kıyasla daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Burada önerilen şarj yönteminin yüksek akımla başlanan hızlı şarj işleminden daha fazla şarj depolandığı gösterilmiştir. 5°C, 23°C ve 36°C ortam sıcaklıklarında bulanık denetimle belirlenen ŞBA ile başlanan şarjların, yüksek akımla başlanan şarjlara göre sırasıyla % 0,2; 2,5; 1,2 daha fazla şarj depolandığı tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Sun, J., Qian, M., Tang, C., Wang, T., Jiang, T. ve Tang, Y., Research on optimization of charging strategy control for aged batteries, **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 69, 12, 14141-14149, (2020).
- [2] Han, H., Xu, H. ve Yuan, Z., Research of interactive charging strategy for electrical vehicles in smart grids, **2011 International Conference on Electrical Machines and Systems, Beijing**, 1-6, (2011).
- [3] Wang, S. C., Chen, G. J. ve Liu, Y. H., Adaptive charging strategy with temperature rise mitigation and cycle life extension for li-ion batteries, **CPSS Transactions on Power Electronics and Applications**, 3, 3, 202-212, (2018).
- [4] Lin, F. J., Huang, M., Yeh, P. Y., Tsai, H. C. ve Kuan, C. H., DSP-Based probabilistic fuzzy neural network control for li-ion battery charger, **IEEE Transactions on Power Electronics**, 27, 8, 3782-3794, (2012).
- [5] Liu, C. L., Wang, S. C., Chiang, S. S., Liu, Y. H. ve Ho, C. H., PSO-based fuzzy logic optimization of dual performance characteristic indices for fast charging of lithium-ion batteries, **2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)**, 474-479, (2013).
- [6] Preethi, A. A., Nesamalar, J. J. D., Suganya, S. ve Raja, C., Economic scheduling of plug-in hybrid electric vehicle considering various travel patterns, **2018 National Power Engineering Conference (NPEC)**, 1-7, (2018).
- [7] Geng B., Mills J. K. ve Sun D., Two-stage charging strategy for plug-in electric vehicles at the residential transformer level, **IEEE Transactions on Smart Grid**, 4, 3, 1442-1452, (2013).
- [8] Ghorai, S., Majumdar, D., Jash, T. ve Ray, S., PV assisted fuzzy based ev charge scheduling for demand side energy management: a case study, **2020 IEEE Calcutta Conference (CALCON)**, 486-492, (2020).
- [9] Liu, C. L., Wang, S. C., Liu, Y. H. ve Tsai, M. C., An optimum fast charging pattern search for li-ion batteries using particle swarm optimization, **The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems**, 727-732, (2012).
- [10] Zheng, Y., Song, Y., Hill, D. J. ve Meng, K., Online distributed mpc-based optimal scheduling for ev charging stations in distribution systems, **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 15, 2, 638-649, (2019).
- [11] Mehta, R., Srinivasan, D. ve Trivedi, A., Optimal charging scheduling of plug-in electric vehicles for maximizing penetration within a workplace car park, **2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)**, 3646-3653, (2016).

- [12] Horiba, T., Lithium-ion battery systems, **Proceedings of the IEEE**, 102, 6, 939-950, (2014).
- [13] Hussein, A. A. H. ve Batarseh, I., A Review of charging algorithms for nickel and lithium battery chargers, **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 60, 3, 830-838, (2011).
- [14] Huang, J. W., Liu, Y. H., Wang, S. C. ve Yang, Z. Z., Fuzzy-control-based five-step li-ion battery charger, **International Conference on Power Electronics and Drive Systems**, 1547–1551, (2009).
- [15] Lee, Y. S. ve Cheng, M. W., Intelligent control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 52, 1297–1307, (2005).
- [16] Ho, Y. H., Huang, S. S., Liu, Y. H., Chiu, Y. S. ve Liu, C. L., Optimization of a fuzzy-logic-control-based five-stage battery charger using a fuzzy-based taguchi method, **Energies** 2013, 6, 3528–3547, (2013).
- [17] Lyn, C. E., Rahim, N. A. ve Mekhilef, S., Dsp-based fuzzy logic controller for a battery charger, **2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering TENCOM '02. Proceedings**, Beijing, China, 28–31, 1512–1515, (2002).
- [18] Hsieh, G. C., Chen, L. R. ve Huang, K. S., Fuzzy-controlled li-ion battery charge system with active state-of-charge controller, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 48, 585–593, (2001).
- [19] Lee, Y. S., Cheng, M. W. ve Yang, S. C., Fuzzy controlled individual cell equalizers for lithium-ion batteries, **IEICE TRANSACTIONS on Communications**, 91, 2380–2392, (2008).
- [20] Choi, Y., Ryu, S., Park, K. ve Kim, H., Machine learning-based lithium-ion battery capacity estimation exploiting multi-channel charging profiles, **IEEE Access**, 7, 75143-75152, (2009).
- [21] Liu, C. L., Chiu, Y. S., Liu, Y. H., Ho, Y. H. ve Huang, S. S., Optimization of a fuzzy-logic-control-based five-stage battery charger using a fuzzy-based taguchi method, **Energies**, 6, 1-20, (2013).
- [22] Jiang, J., Zhang, C., Wen, J., Zhang, W. ve Sharkh, S. M., An optimal charging method for li-ion batteries using a fuzzy-control approach based on polarization properties, **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 62, 7, 3000-3009, (2013).
- [23] Peng, B. R., Wang, S. C., Liu, Y. H. ve Yan S. H., A Li-ion battery charger based on remaining capacity with fuzzy temperature control, **2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)**, (2016).
- [24] Huang, Z., Gao, Z., Liu, Y., Guan, K., Liao, H., Wu, Y., Le, Y., Jiang, F. ve Peng, J., A fast energy-efficient pulse preheating strategy for li-ion battery at subzero temperatures., **2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)**, 4446-4451, (2020).
- [25] Min, H., Wang, B., Sun, W., Zhang, Z., Yu, Y. ve Zhang, Y., Research on the combined control strategy of low temperature charging and heating of lithium-ion power battery based on adaptive fuzzy control, **Energies**, 13, 1584, (2020).
- [26] Chen, J., Peng, B., Liu, Y. ve Yang, Z., Obtaining optimal membership functions using fuzzy-based taguchi method, **2014 International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY2014)**, 82-86, (2014).
- [27] Samadi, M. F. ve Saif, Mehrdad., Takagi-sugeno fuzzy model identification of li-ion battery systems, **World Automation Congress**, 421-426, (2014).

- [28] Chau, K.T., Wu, K.C. ve Chan, C. C., A new battery capacity indicator for lithium-ion battery powered electric vehicles using adaptive neuro-fuzzy inference system, **Energy Conversion and Management**, 45, 1681-1692, (2004).
- [29] Villuri, R.T., Singh, M., Beck, Y., Experimental analysis of electric vehicle's Li-ion battery with constant pulse and constant voltage charging method, **International Journal of Energy Research**, 1- 21, (2022).
- [30] Frankenberger, M., Singh, M., Dinter, A., Jankowsky, S., Schmidt, A. ve Pettinger, K.H., Laminated Lithium Ion Batteries with improved fast charging capability, **Journal of Electroanalytical Chemistry**, 837, 151-158, (2019).
- [31] Ma, S., Jiang, M., Tao, P., Song, C., Wu, J., Wang, J., Deng, T. ve Shang, W., Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review, **Progress in Natural Science: Materials International**, 28, 6, 653-666, (2018).
- [32] Nagasubramanian, G., Electrical characteristics of 18650 li-ion cells at low temperatures, **Journal of Applied Electrochemistry**, 31, 99-104, (2001).
- [33] <https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures>, (20.12.2021).
- [34] Güler, O. ve Yücedağ, İ., Fuzzy logic based approach to site selection problem of vocational secondary school students, **Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi-Hacettepe University Journal Of Education**, 32 (1), 111-122, (2017).
- [35] Bayrakdar, M. E., Bayrakdar, S., Yücedağ, İ. ve Çalhan, A., Bilişsel radyo kullanıcıları için bulanık mantık yardımıyla kanal kullanım olasılığı hesabında farklı bir yaklaşım, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 3, 88-99, (2015).
- [36] Biçen, M., Ş., Çalhan, A. ve Yücedağ, İ., Kablosuz heterojen algılayıcı ağlarda bulanık mantık tabanlı ağ geçidi seçimi, **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 4, 655-660, (2016).
- [37] Sabah, L., Yücedağ, İ. ve Yalcin, C., Earthquake hazard analysis for districts of düzce via ahp and fuzzy logic methods, **The Journal of Cognitive Systems**, 2 (1), 1-5, (2017).
- [38] Atagün, E., Korkmaz, M., Timuçin, T. ve Yücedağ, İ., Fuzzy logic based decision support system for broadcaster on twitch, **Proceedings of the International Technological Sciences And Design Symposium**, 27-29, (2018).
- [39] Rezvanizani, S. M., Liu, Z., Chen, Y. ve Lee, J., Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (ev) safety and mobility, **Journal of Power Sources**, 256, 110-124, (2014).
- [40] <https://www.apple.com/tr/batteries/why-lithium-ion/> (20.12.2021).