

Lityum İyon Bataryaların Deşarj Durumu Davranışlarının Genetik İfade Programlama İle Kestirimi

Mehmet Sait AVGIN¹, Ahmet Serdar YILMAZ^{1,*}, Mehmet ÜNSAL²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET: Artış gösteren kişisel ve iş yaşamındaki enerji tüketimine bağlı olarak, batarya sektöründe daha gelişmiş teknolojilerin ortaya çıkmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada öncelikli olarak bir bataryadan beklenen, ihtiyaç duyulan enerjiyi, ihtiyaç duyulan zaman süresince sağlamasıdır. Bunun yanında şarj doluluk durumu bilgisinin doğru ve kesin olarak bilinmesi de batarya yönetim sisteminin en önemli unsurlarından biridir. Bu çalışmada, lityum-ion (Li-Ion) akü yönetim sisteminin en önemli unsurlarından birisi olan batarya doluluk durumunu için genetik ifade programlama algoritması ile kestirimi incelenmiştir. Kestirim çalışmasında giriş değerleri olarak atanan batarya akımı, batarya çıkış voltajı ve zaman değişkenleri ile çıkış değeri olarak batarya türlerine özel şarj doluluk durumu verileri elde edilmiştir. Lityum-İyon aküler için matematiksel deşarj denklemleri oluşturulmuş ve böylece pil türüne özel deşarj bilgileriyle daha doğru ve kesin SOC tahmini yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şarj Doluluk Durumu, SOC, Genetik Programlama, Genetik İfade Programlama, Genetik Algoritma.

Lithium-Ion Battery Discharge Status Of Genetic Expression Behavior And Prediction Of Programming

ABSTRACT: Due to continuous increase of energy consumption in personal and business life, the battery industry, the emergence of more advanced technologies are needed. In this respect, for a battery user, expected to be a priority, the energy needed, the duration of time needed to provide. However accurate and precise knowledge of the state-of-charge is one of the most important components of a battery management system. In this study, estimation of battery state of charge parameter using genetic expression programming is investigated. To estimate the state-of-charge, which is the most important component of battery management system, estimation methods and battery models in the literature are summarized. In the simulation, the variables of battery current, battery terminal voltage and the time are assigned as inputs. With this process, new specific state-of-charge data and are mathematical discharge equations are obtained for each Lithium-Ion, battery types. Hence, it is intended to reach an accurate and precise state-of-charge estimation due to battery types.

Keywords: State of Charge, SOC, Genetic Programming, Genetic Expression Programming, Genetic Algorithm

1. GİRİŞ

Bataryaların günümüzde kazandığı önem artışı yadsınamaz seviyededir. Taşınabilir elektronik cihazların (bilgisayarlar, cep telefonları, ses ve görüntü cihazları vb.) yaygın hale gelmesi, bataryalara olan ihtiyacı çok büyük miktarda artırmıştır. Endüstriyel ve ticari uygulamalarda, şebeke elektriğindeki kesintiler sırasında batarya destekli güç sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Uzun yıllar boyunca otomotiv sektöründe, içten yanmalı motora ilk hareketini sağlayan ve akümülatör olarak kullanılan bataryaların önemi, günümüzde hibrit veya tamamen elektrikli araçların geliştirilmesine yönelik çalışmaların

hızlanmasına bağlı olarak, artışını her geçen gün bir üst noktaya çıkarmaktadır.

Kullanım alanlarındaki çeşitlilikten dolayı, çok sayıda farklı tip ve özellikte bataryalar üretilmektedir. Günlük veya tek kullanımlı bataryalar, güç yoğunlukları ve kapasiteleri düşük olmasına karşın, küçük boyuttadırlar ve taşınabilirlik avantajına sahiptirler. Endüstri tipi uygulamalarda, kapasitesi ve güç yoğunluğu yüksek, genellikle büyük hacimli batarya tipleri kullanılmaktadır ve bu gruptaki bataryalar tekrar doldurulma özelliğine sahiptir. Tek kullanımlık bataryalar çoğu zaman günlük kullanımlarda tercih edilmesine karşın, zamanla yerlerini tekrar doldurulabilen bataryalara bırakmaktadır.

*Sorumlu Yazar: Ahmet Serdar YILMAZ, asyilmaz@ksu.edu.tr

Günümüzde hibrid elektrikli araçlarda daha yaygın olarak kullanılan bataryalar Ni-MH elektrokimyasal yapıdadır. Bununla birlikte Lityum iyon (Li-Ion) hücrelerde yaşanan güvenlik problemlerinin gelişmiş yönetim sistemleri ile birlikte daha da iyileştirilmesi pazarın yönünü bu teknolojiye çevirmiştir. Son zamanlarda, elektrikli araçlara duyulan ilginin ve eğilimin de artmasıyla farklı alanlarda birçok çalışma yapılmaya devam edilmektedir. Batarya, batarya bileşenleri, batarya yönetim sistemlerine verilen önem artmaktadır. Bunun nedeni ise teknoloji anlamında bataryanın gelişme çok açık olması olarak belirlenebilir. Öte yandan gelişen batarya ile birlikte batarya yönetim sistemleri de ilgili araç projelerine bağlı olarak stratejik beklentileri karşılamak durumundadır. Bu doğrultuda hem akademik hem endüstri anlamında araştırma-geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir. Tüm bu gelişmeler ışığında sisteme göre tasarlanmış bir BYS (Batarya Yönetim Sistemi) ile mevcut sistemi izlemek, parametrik hesaplar yapmak, yönetmek ve koruyucu bakım için verileri arşivlemek, gerek işletim güvenilirliği gerekse batarya ömrünün uzatılması açısından büyük önem kazanmaktadır. Batarya sağlık durumunun (State ofHealth, SOH) belirlenmesi de batarya yönetim sistemlerinin önemli bir konusunu oluşturmaktadır. Batarya sağlık durumu, bataryanın kullanılabilir maksimum kapasitesidir. Batarya kapasitesinin kestirimi, pilin beklenen performansın altında kaldığı veya üstüne çıktığı ile ilgili bilgilerin elde edilmesi işlemleridir. BYS algoritmalarında, şarj, sağlamlık ve işlevsellik durumlarının belirlenebilmesi çalışmalarında genel yaklaşım batarya iç direnci ve kapasitesi üzerine kurgulanmıştır. Batarya iç direncinin şarj durumuna göre değişiklik göstermesi, bataryanın yaşlanması ile birlikte, kapasite değerinin takibi ile sağlamlık durumunun belirlenmesi genel yaklaşımlardır. Bu makalede, kestirimi yapılacak olan batarya doluluk durumu (Battery State-of-Charge (SOC)), bataryada mevcut kullanılabilir elektrik enerjisi miktarını ifade eden bir kavramdır. Batarya doluluk durumunun doğru kestirimi, batarya performansını arttırmaktadır. Bu yüzden batarya doluluk durumunun belirlenmesi, batarya yönetim sistemlerinde kullanılan önemli bir özelliktir. Batarya doluluk durumunun doğru kestirimi ile, batarya ömrü uzamakta, bataryadan çekilen elektrik enerjisi miktarı optimum düzeyde sağlanmakta, daha düşük boyutta ve ağırlıkta bataryalar kullanılabilmekte ve bunun sonucu olarak da maliyet azalmaktadır. Batarya doluluk durumu kestirimi ile bataryada kalan elektrik enerjisi miktarı hakkında kullanıcı için bir ön uyarı sağlanmakta ve gereksiz sürpriz enerji kesintileri önlenmektedir. Bataryaların çalışma durumlarındaki SOC ve diğer parametrelerinin tahmin edilmesine yönelik literatürde çeşitli yöntemler denenmiştir. Kurşun asit aküler gibi ucuz ve yaygın akü türlerinin şarj durumlarının izlenmesi [1,2] özellikle telekomünikasyon tesisleri açısından önemli bir çalışma olarak yer almaktadır. Chiasson ve Vairamohan [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise elektrokimyasal piller için SOC nin şarj durumundaki değişiminin

kestirimi araştırılmıştır. Hibrid araçlar için kurşun asit [4] ve Nikel Metal Hidrit [5] bataryaların şarj ve sağlık durumları için Kalman esaslı kestirim yöntemleri ve Li-Ion akülerin çevrim içi şarj durumlarının kestiriminde yine Kalman filtrelerin kullanımı literatürde yapılmış başlıca çalışmalardandır [6].

Bu makalede elektrikli araçlar için yakın gelecekte yaygınlaşması tahmin edilen lityum-iyon (Li-Ion) bataryaların matematiksel eşdeğer devreleri ışığında simülasyon ortamında elde edilen deşarj durumuna ait akım, gerilim ve SOC parametreleri dikkate alınarak deşarj olurken SOC değişiminin kestirimine yönelik olarak genetik algoritmadan yola çıkılarak geliştirilen genetik ifade programlama yöntemi kullanılmıştır. Bu teknik ile aküler için deşarj durumlarına ait yüksek doğrulukla deşarj denklemleri ve yapılan kestirim sonuçları verilmiştir. Bu yöntem ile elektrikli araçlar için kullanılması yakın gelecekte daha da artacak olan Li-Ion bataryaların deşarj, ömür ve verimli kullanımında kestirim sonuçlarının kullanılabilmesi öngörülmektedir [7].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Bataryalar ve Türleri

Bataryalar kimyasal reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerjisi elektrik enerjisi olarak depolayabilen kimyasal devrelerdir. Birim hücrelerden oluşur ve bu hücreler elektrik enerjisine dönüşebilen kimyasal enerji içerirler. Bu elektrolitik hücrelerden bir ya da birden fazlası seri bağlanarak bataryayı oluşturur. Gruplanmış hücreler birbirlerine eklenerek batarya modülünü oluştururlar. Batarya takımı ise, elektronik sürücü sistemine enerji verebilmek için, seri ya da paralel kombinasyonlar şeklinde bağlanmış batarya modüllerinin bir araya gelmesinden oluşur [8]. Elektrokimyasal bataryalar elektrikselsel olarak şarj olabilme yeteneklerine göre birincil (şarj-edilemeyen) ve ikincil (şarj-edilebilir) bataryalar olmak üzere iki sınıfta incelenebilir [9].

2.1.1. Birincil (Şarj Edilemeyen) Bataryalar

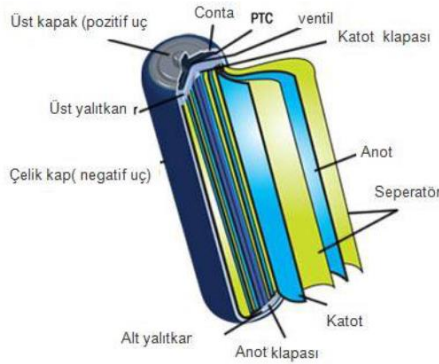
Şarj-edilemez (tek kullanımlık) bataryaların tekrar doldurulma özellikleri yoktur. Bu yüzden bir defa boşaldıklarında bir daha kullanılamazlar. Ucuz ve taşınabilecek ölçüde ufak boyutlara sahip olmalarından dolayı kullanım alanları çok yaygındır. Taşınabilir elektronik cihazlar, aydınlatma cihazları, oyuncaklar, saatler, fotoğraf makineleri, kameralar vb. gibi cihazların çalıştırılmasında günlük hayatta yaygın olarak kullanılırlar. Alkali piller olarak bilinen piller buna yaygın bir örnek olarak verilebilirler.

2.1.2. İkincil (Şarj Edilebilir) Bataryalar

Tekrar doldurulabilen bataryalar, tek kullanımlık bataryaların aksine, boşaldıktan sonra tekrar doldurulabilen bataryalardır. Batarya teknolojisinin gelişmesiyle kullanım alanları, kapasiteleri ve özellikleri farklılık gösteren birçok tekrar doldurulabilen batarya çeşidi ortaya çıkmıştır (Linden, 1995). Kurşun asit, Nikel Kadmiyum (Ni-Cd), Nikel Metal Hidrit (Ni-MH), Lityum-İyon (Li-Ion) ve Lityum Polimer (Li-Po) piller ikincil bataryalar grubu için yaygın kullanımı olan örneklerdir.

2.2. Lityum –İyon Bataryalar

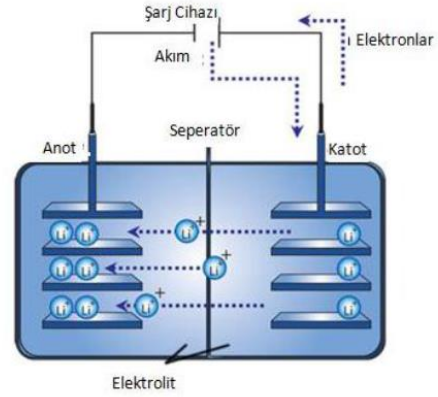
Lityum-iyon bataryayı elektrikli araç uygulamalarında kullanılacak maliyet ve özelliklere getirebilmek için çeşitli ülkelerde çalışmalar sürdürülmektedir. Lityum-iyon bataryalar yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrimlik derin deşarj çevrimine sahiptirler. Bu bataryalar, %80 şarj durumuna 1 saatten daha kısa sürede tekrar şarj edilebilmektedirler. Bu bataryalar yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle, elektrikli araç uygulamaları için en uygun potansiyele sahip bataryalar olarak günümüzde değerlendirilmektedir [10]. Gelecek 15-20 yıl içinde lityum-iyon bataryanın henüz yüksek olan maliyetlerinin düşürülerek elektrikli araçlarda kullanılacak ekonomik seviyeye indirilebileceği öngörülmektedir. Şekil 1.'te Lityum İyon pil kesiti gösterilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir Li-Ion Pilin Kesiti

Hibrit elektrikli araç uygulamalarında bataryalardan yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun ömre sahip olması beklenmektedir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını göstermektedir. Özgül güç ise yine enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilmektedir. Wh/kg seviyelerinin yüksek, uzun ömürlü ve düşük maliyetli gibi özelliklerin tümünü bir arada bulunduran mükemmel bir batarya bulunmamaktadır. Hibrit elektrikli araçta kullanılacak bataryalar, araçta kullanılan enerji yönetim sistemi ve araç yapısına bağlı

olarak seçilmelidir Şekil 2'de Lityum hücre çalışma prensibi görülmektedir.



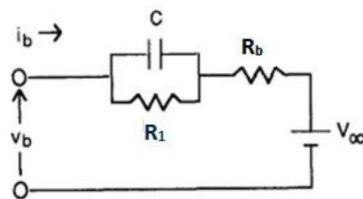
Şekil 2. Li-Ion Pillerin Çalışma Esası

2.3. Batarya Elektriksel Devre Modelleri

Bu modellerde, batarya parametreleri, elektriksel devre elemanlarının parametrik değerleri şeklinde modellenir ve bu parametreler batarya testlerinden elde edilir. Bazı devre modellerinde, devre parametrelerinin sabit olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte bu değerler sabit olmayıp batarya doluluk durumu, sıcaklık, batarya akımı, kapasite ve batarya ömrü gibi bataryanın iç dinamiklerine bağlıdır. Bazı devre modellerinde ise, devre parametreleri bu dinamiklerden bir yada birkaçı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Çok bilinen bazı eşdeğer devreler şu şekilde verilebilir.

2.3.1. Thevenin Eşdeğer Modeli

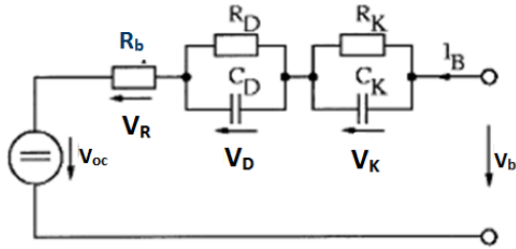
Diğer bir elektriksel devre modeli de Şekil 3'de gösterilen Thevenin devre modelidir. Burada devre elemanları sabit kabul edilmektedir. Bu bir dezavantajdır çünkü gerçekte bunlar, batarya doluluk durumu, batarya sıcaklığı gibi batarya dinamiklerinin fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu devre modelinde R_b , batarya direncini, R_1 geçici durum direncini, C ise geçici durum kapasitörünü ifade etmektedir. R_1 geçici durum direncine ve C geçici durum kapasitörüne bağlı olarak V_b batarya terminal geriliminin geçici durum (transient) özelliği modellenebilmektedir [11].



Şekil 3. Bataryalar için Thevenin Eşdeğer Devre Modeli

2.3.2. Dinamik Seri Devre Modeli

Şekil 4'te verilen dinamik seri devre modelinde RD direnci ve CD kapasitörü, elektrot yüzeyindeki etkileri göstermek için kullanılmaktadır ve bunlar bataryanın kısa süreli geçici durum özelliğini modellemektedir. RK direnci ve CK kapasitörü ise, elektrolitteki yayılımı modellemekte kullanılmaktadır. RK ve CK'nın çarpımından, bataryanın uzun süreli geçici durum zaman sabiti hesaplanır. Voc gerilim kaynağı, bataryanın açık devre gerilimini ifade eder. Rb direnci batarya iç direncidir. Dinamik seri devre modelinin parametre değerleri deneysel testlerden elde edilir [12].



Şekil 4. Dinamik seri devre modeli.

2.4. Genetik İfade Programlama (GİP)

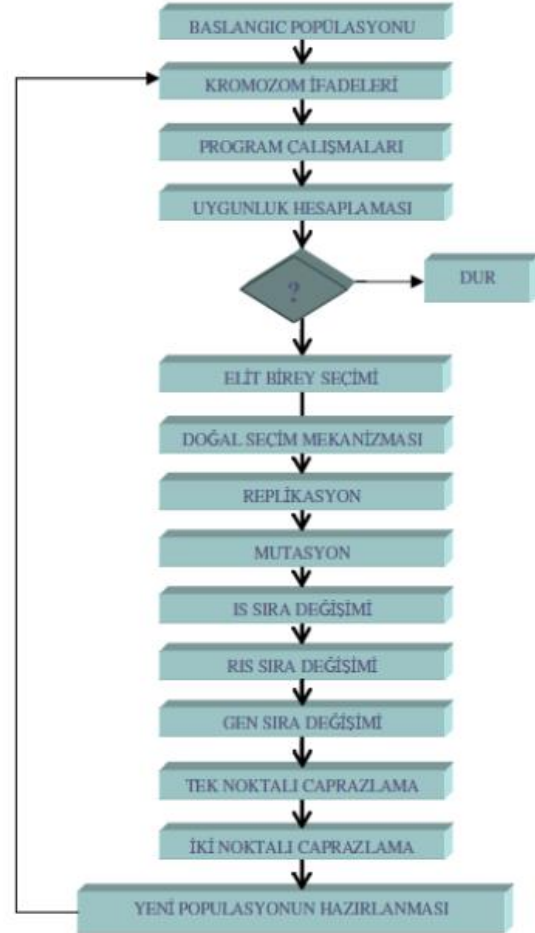
GİP, 1999 yılında Ferreira tarafından keşfedilmiştir. Genetik algoritma ve genetik programlamanın doğal gelişimidir. GİP genetik programlamada kullanılan şekil gösterim tiplerinin aynısını kullanır ama GİP tarafından üretilen kodlama genotip ifadesidir. Bundan dolayı, GİP ile ikinci evrimsel basamak olan fenotip basamağı atlanarak, evrimsel programlamaya yeni ve etkili bir çözüm sağlanmış olur. Böylece, GİP kavramı her hangi bir ağaç yapısını ifade etmeye müsait kromozomları keşfetmeyi oluşturmuştur. Bunun için Ferreira tarafından yeni bir dil olan Karva, GEP kromozomlarından bilgi okumak ve yazmak için geliştirilmiştir. Ayrıca, kromozom yapıları her biri bir alt ifade ağacı kodlaması olan çoklu gen oluşturmaya izin veren bir yapıdır. Genler baş ve kuyruk yapısı şeklinde organize edilmiştir. GEP genleri kromozomların nasıl değiştirildiğine bakılmaksızın yapısal ve fonksiyonel olarak her koşulda geçerli bir program oluşturulmasını garantilemektedir [13].

GEP bireylerinin fenotipi genetik programlamada kullanılan dallanma gösteren yapının benzer bir şeklini içerir. Ancak, bu kompleks yapılar sabit uzunluktaki doğrusal yapı ile daha basit bir şekilde kodlanır. Böylece GEP iki ana oyuncu ile ilgilenir; kromozomlar ve dallanma gösteren yapılar veya kural ağaçları. Genetik kod çok basit durumdadır: kromozom sembolleri ve ifade ettikleri terminal veya fonksiyonlar arasında bire bir ilişki şeklindedir. Kurallar da oldukça

basittir: kural ağacını içindeki fonksiyon ve terminalerin uzaysal organizasyonlarını ve çoklu gen sistemlerindeki alt kural ağaçları arasındaki etkileşim tipini belirler [14].

2.4.1. GEP Akış Diyagramı

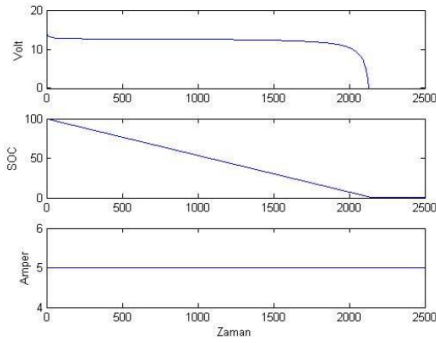
Süreç başlangıç popülasyonunun bireylerinin her birinin kromozom yapılarının rasgele üretilmesi ile başlar. Sonra kromozomlar ifadelere çevrilerek her bireyin uygunluğu değerlendirilir. Bireyler uygunluk değeri göz önünde bulundurularak seçilir ve modifikasyonlar ile farklı karakter ve davranışlarda çocuklar meydana getirirler. Yeni neslin bireyleri de aynı gelişim süreçlerine yani; genom ifadesi, seçim mekanizmasında seçilme, üreme ve değişime tabi tutulur. Süreç belirli bir nesil sayısına veya çözüm bulma koşulunun sağlanmasına kadar devam eder. Şekil 5.'te akış gösterilmiştir [13,14].



Şekil 5. Genetik İfade Programlama için Akış Şeması

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan modelleme ve benzetim çalışmalarında Li-Ion, bataryalara ait şarj doluluk durumu (SOC), batarya voltajı (V), batarya akımı (A) ve zaman (t) bilgilerinden oluşan yaklaşık 25.000 adet veriden, SOC çıkış, V, A ve t değerleri giriş olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle, model her batarya türü için spesifik parametreler içerdiğinden, kullanılan şarj-deşarj eşitlikleri bir anlamda batarya türleri için özelleşmiş hale getirilmektedir. Bu verilerden yaklaşık olarak 3600 adet optimize edilmiş yeni SOC verileri elde edilerek, Li-Ion, bataryalarına ait her bir batarya türüne özel matematikseldeşarj modelleri oluşturulmuştur. Li-Ion bataryasınındeşarj işlemi Şekil 6'daki gibi gerçekleşmiştir. Şarj doluluk durumu (SOC) 2100 saniye sonra 0 seviyesine ulaşmış yani batarya boş hale gelmiştir. Yine batarya çıkış voltajı da 13 V seviyelerinden önce yavaş azalışlarla 10 V seviyelerine, batarya boş hale gelmeden yaklaşık 100 saniye önce de hızlı azalışla 0 V seviyesine düşmüştür.



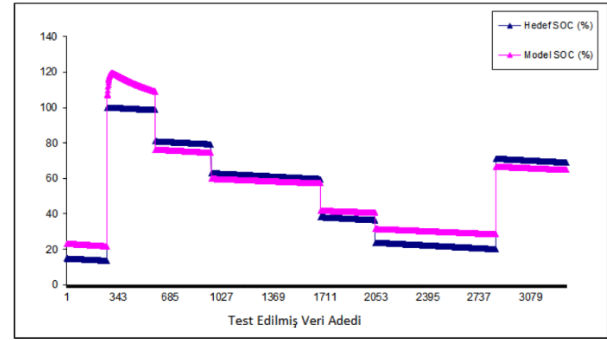
Şekil 6. Li-Ion Aküler için Deşarj Durumundaki Parametrelerin Değişimi

Modelleme ve benzetim çalışmalarında GeneXproTools 4.0 programı kullanılmıştır. Program çalıştırdıktan sonra elektrikseldeşarj denklemlerinin bulunabilmesi için fonksiyon seçeneği seçilmiştir. Train ve test veri dosyaları yüklenmiş ve programın çalışması ile ilgili çeşitli veriler seçilmiştir. Bunlar; gen sayısı, kromozom sayısı, uygun istatistiksel yöntem (MSE, RMSE gibi), matematiksel fonksiyonlar, işlem sırasındaki çalışmayla ilgili çeşitli kurallardır. GeneXprotools programı ile bulunacak formülün oluşturulmasında matematiksel fonksiyonların seçimi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenledeşarjın formül haline getirilmesi için kullanışlı ve basit fonksiyonlardan formül oluşturulmaya çalışılmıştır. Li-Ion batarya türüne ait matematikseldeşarj eşitliği aşağıda verilmiştir. Eşitlikteki V gerilim, A akım ve t ise zaman değişkenleridir. Regresyon sabiti 0.94 olarak hesaplanmıştır. Bu ise sonucun doğruluğu hakkında kuvvetli bir göstergedir. Regresyon sabiti, Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısının karesidir. Bu katsayı iki değişkenin kovaryansının, yine bu

değişkenlerin standart sapmalarının çarpımına bölünmesiyle elde edilir. R2 ifadesi iki veri seti arasında doğrusal bir ilişkinin boyutsuz bir ölçüde endeksini yansıtır. Bu ifade -1 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer, 1 sayısına yaklaştıkça uygulanan genetik programlamanın doğruluğu ve kesinliği de artmaktadır.

$$SOC = [\text{Arctan}(A * t)]^5 + \sqrt{V} - \sqrt{t} + [\sqrt{A + V} + \sqrt[3]{V^2}]^2 + [\text{Arctan}(A * t)]^5 + [\text{Arctan}V - \sqrt{t}] \quad (1)$$

Genetik programlama ile yapılan çalışmada programın bulduğu formüle göre hesapladığı SOC değerleri train ve test verileri olarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Li-Ion batarya türü için Şarj Doluluk Durumu kestirim sonuçlarından elde edilen veriler, GeneXproTools yazılımına uygulanan ilk veriler ile karşılaştırılarak, önerilen SOC kestirim yönteminin hedeflenen sonuçlar ile ilişkileri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 7. Simulasyonda Elde Edilen Test Sonuçları

Şekil 7'den görülebileceği gibi, elde edilen model ile hedef model arasında oldukça yüksek oranda bir yakınsama söz konusudur. Çok az bir kısımda sapma olsa bile genel olarak yüksek oranda bir başarı ile yakalanmıştır.

Bu çalışmada, simülasyona uygulanan verilerin sayısının problemin çözümüne olumlu yönde yaptığı katkı görülmüş, daha az sayıdaki jenerasyonda daha etkin sonuçlar çıkartmıştır. Fakat daha yavaş çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu, popülasyon büyüdükçe onlarla genetik operatörlerin islenmesi daha çok zaman aldığı nedeniyle açıklanabilir. Genel olarak GİP'in çözüm uzayı oldukça büyük ve karmaşık olan ve geleneksel optimizasyon yöntemleri ile çözülemeyen problemleri çözmek için büyük kolaylıklar sağladığı görülmüştür.

4. SONUÇ

Yapılan benzetim uygulaması sonucunda ortaya çıkan sonucun sade, kolay anlaşılır olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile türetilen yeni formüller yardımıyla yapılacak hesaplamalarla bataryaların şarj doluluk durumları üzerine etki edecek deneysel şartlar hesaba katılmış olacaktır.

Uzun süren deneysel çalışmalara kıyasla kısa zamanda ve istatistiksel olarak iyi yaklaşımlar sayesinde hesap yoluyla elde edilen değerler üzerinde yorum yapılabilecektir. Böylece hem zamandan kazanılmış hem de deneysel giderlerden tasarruf sağlanmış olacak ve bir anlamda deneysel şartlar bilgisayar ortamında oluşturulacaktır. Genetik Programlamanın önemli bir avantajı kolaylıkla programlanabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bir sonraki çalışmada bataryaların şarj doluluk durumlarına etkiyen sıcaklık değerlerinin ve diğer parametrelerin de formülde yer alabileceği yeni formülasyonlar türetilebilir. Batarya doluluk durumunun yanı sıra diğer fiziksel kavramların da deneysel sonuçlara bağımlılığını test edecek yeni çalışmalar yapılabilecektir.

5. KAYNAKLAR

- [1]. Casacca, M.A., Salameh, Z.M., 1992, Determination of lead-acid battery capacity via mathematical modeling techniques, IEEE Trans. Energy Conv., 7, 3, 442-446.
- [2]. Kutluay, K., Çadircı, Y., Özkazanç Y. and Çadircı I., 2005, A new online state-of-charge estimation and monitoring system for sealed lead-acid batteries in telecommunication power supplies, IEEE Trans. Industrial Electronics, 52, 5, 1315-1327.
- [3]. Chiasson J. and Vairamohan, B., 2005, Estimating the state of charge of a battery, IEEE Trans. Control Systems Technology, 13, 3, 465-470.
- [4]. Bhangu, B.S., Bently, P., Stone, D.A. and Bingham, C.M., 2005, Nonlinear observers for predicting state-of-charge and state-of-health of lead-acid batteries for hybrid-electric vehicles, IEEE Trans Vehicular Technol, 54,3, 783-794.
- [5]. Barbarisi, O., Vasca, F. and Glielmo, L., 2006, State of charge Kalman filter estimator for automotive batteries, Control Engineering Practice, 14, 267-275.
- [6]. Santhanagopalan, S., White, R.E., 2006, Online estimation of the state of charge of a lithium ion cell, J. Power Sources, 161, 1346-1355.
- [7]. Avgın, MS, 2012, Batarya Şarj Doluluk Durumu Model Parametresinin GEP ile Tahmin Edilmesi, KSÜ. Fen Bil. Ens., Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, 87 s.
- [8]. Dell, R.M., Rand D.J. , 2001, Understanding Batteries, Royal Society of Chemistry, UK.
- [9]. Linden, D., 1995, Handbook of Batteries, McGraw-Hill, New-York.
- [10]. Sauer, D. U., Karden, E, Fricke B., Holger Blanke, Marc Thele, Oliver Bohlen, Julia Schiffer, Jochen Bernhard Gerschler, Rudi Kaiser, —Charging performance of automotive batteries—An underestimated factor influencing lifetime and reliable battery operationl Journal of Power Sources Vol.168 22-30,(2007).
- [11]. Salameh, Z.M., Casacca, M.A. and Lynch, W.A., 1992, A mathematical model for lead-acid batteries, IEEE Trans. Energy Conversion, 7, 93-97.
- [12]. Schweighofer, B., Raab, K.M., and Brasseur, G., 2003. Modelling of highpower automotive batteries by the use of an automated test system.IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 52, 1087-1091.
- [13]. Ferreira, C., Gene Expression Programming in Problem Solving, WSC6 Tutorial, 2001.
- [14]. Ferreira, C., Analyzing The Founder Effect In Simulated Evolutionary Processes Using Gene Expression Programming, Soft Computing Systems: Design, Management And Applications, 153-163, IOS Pres, Netherlands, 2002