

BATARYA HÜCRELERİNDEKİ ELEKTROKİMYASAL GÜRÜLTÜLERİN İNCELENMESİ

Taner ÇARKIT^{1*}, Mustafa ALÇI²

¹ Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Türkiye

² Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Özet

Elektronik bileşenlerden ve batarya hücrelerinden kaynaklanan elektrokimyasal gürültü, batarya hücrelerinin çekirdeklerinde meydana gelen kimyasal tepkimeler ve/veya değişimler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Batarya pil hücrelerinden kaynaklanan bu bozucu dalgalanmalar, bataryaların çıkışındaki gerilimlerde değişimlere, korozyonlara neden olarak bataryadan elde edilecek olan verimin azalmasına sebep olmaktadır. Batarya pil hücrelerinden kaynaklanan bu gürültüler, batarya hücrelerinin temelinde kullanılan çeşitli kimyasal bileşenlerden dolayı farklılık göstermektedir. Elektrokimyasal bir enerji kaynağı olan bu hücreler kimyasal içyapılarındaki farklılıklardan dolayı olumlu veya olumsuz özelliklere sahiptirler. Pillerin ve pil bloklarından oluşan bataryaların kullanıldığı alanlarda (havacılık, uzay, haberleşme, askeri ve sivil sistemler vb.) değişiklik olmasının nedeni, farklı kimyasal yapıya sahip hücrelerin gösterdikleri farklı davranışlar ve sahip oldukları farklı özelliklerdir. Bu özelliklerden bir tanesi de gürültü bileşenidir. Bu çalışmada, literatürde çok az yer almış olan bataryaların ve batarya hücrelerinin oluşturdukları gürültüler üzerine yapılan test ve ölçümler araştırılarak birleştirilmiş ve yeni çıkarımlarda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, elektrokimyasal gürültü, bataryalardaki gürültü çeşitleri

* tanercarkit@gmail.com / tanercarkit@klu.edu.tr

INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL NOISES IN BATTERY CELLS

Abstract

Electrochemical noise arising from electronic components and battery cells arises as a result of chemical reactions or changes occurring in the base of battery cells. These disturbing fluctuations caused by the battery cells occasion the changes and electrochemical corrosion in the voltages at the output of the batteries and reduce the efficiency of the battery. This noise caused by the battery cells exhibits some differences because of the various chemical components that are used at the base of the batteries. The cells which are electrochemical energy source have positive or negative properties due to the differences in their chemical structure. The reason, why there are differences in the areas (aviation, space, communications, military and civil systems, etc.) where cells and battery blocks that are made of cells is that dissimilar cells which have distinct chemical structures, show diverse behaviors and characteristics. One of these features is the noise component. In this study, tests and measurements made on the noise produced by the batteries and battery cells, which are very rare in the literature, were investigated and combined, as a result new inferences have been found.

Key words: Noise, electrochemical noise, noise types in the battery cells

1. Giriş

Günümüz teknolojisinin ilerleyişi DC güç kaynaklarının önemini vurgularken, buna paralel olarak batarya teknolojisinin de önemini artırmaktadır. Bataryaların temelinde kimyasal hücreler ve bataryaların yönetiminin gerçekleştirildiği elektronik kontrol baskı devre kartları yer almaktadır. Bu hücreler, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürdükleri için “elektrokimyasal pil hücreleri” olarak isimlendirilirler. Bu hücrelerden oluşan piller elektriksel olarak şarj edilebilme durumlarına göre ikiye ayrılmaktadır; şarj edilebilen (sekonder) piller, şarj edilemeyen (primer) piller. Günlük hayatta primer piller çok sık karşımıza çıkarken, gelişen teknoloji ile önemli sistemlerde de sekonder piller oldukça geniş ölçekli yer kaplamaktadır. Günümüzde elektrikli araç teknolojilerinde, enerji depolama istemlerinde (EDS), havacılık araçlarında, önemli silah sistemlerinde, yenilenebilir enerji entegreli yeni nesil aydınlatma sistemlerinde elektrokimyasal enerji kaynağı olan pillerden oluşan bataryalar bir elektronik cihaz olarak kendilerini göstermektedirler. Elektronik cihazlar, istenen herhangi bir yerde, tasarlandıkları şekilleriyle görevlerini yapabilmelidirler [1]. Bataryalarda aynen elektronik cihazlar gibi yer aldıkları sistemlerde görevlerini yapabilmelidirler. Bataryaların farklı kullanım alanlarında tercih edilmelerini ve bataryaların performansını etkileyen önemli parametreler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Deşarj derinliği (DoD)
- Batarya sağlamlık durumu (SoH)
- Aşırı şarj ve deşarj kabiliyeti
- Hızlı şarj ve deşarj kabiliyeti
- Sarj durumu (SoC)
- Döngü sayısı
- Açık devre gerilimi (V)
- İç direnç (R)

Bu parametreler, bataryaların temelinde bulunan hücrelerin kimyalarına göre değişiklik gösterirken, bu hücreler ile birlikte kullanılan elektronik baskı devre kartlarının (PCB) ve bu kartlar üzerinde kullanılan elektronik bileşenlerin, batarya yönetim sistemlerinin (BMS) ve batarya koruma devrelerinin (BPC) özelliklerine, toleranslarına, geçirgenlik kapasitelerine göre

de değişiklik göstermektedir. Sıklıkla kullanılan ve özellikle dikkat edilen bu parametrelerin dışında göz ardı edilebilen ancak bazı kullanım yerlerinde hayati öneme sahip bir diğer parametre de gürültü parametresidir. Elektronik bileşenlerden ve batarya hücrelerinin iç kimyalarından kaynaklanan bu gürültü, elektrokimyasal gürültü olarak tanımlanmaktadır. Elektrokimyasal gürültü, pil hücrelerinin çekirdeklerinde meydana gelen kimyasal tepkimeler ve/veya değişimler sonucunda sunulan gerilimde dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bataryaların temelinde yer alan hücrelerden kaynaklanan bu bozucu dalgalanmalar, elektronik bileşenlerde meydana gelen bozucu etkilerle birleşerek, pil bloklarının ve elektronik kartların oluşturduğu, bir tür güç kaynağı olan bataryaların çıkışındaki gerilimlerde değişimlere, dalgalanmalara ve bozucu etkilere neden olarak bataryadan elde edilecek olan verimin düşmesine neden olabilmektedir. Gürültünün meydana getirdiği bu tür bozucu etkileri, gerilim korozyonu olarak tanımlamak mümkündür. Elektrokimyasal etkilerin sebep olduğu gerilim korozyonu; elektrik yük parçacıklarının pillerdeki anot materyalden ortam elektrolitine, ortam elektrolitinden sonra da katot materyale akma süreci olarak adlandırılan, bataryaların çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilen her türlü işaret üretim sürecidir. Gürültüden kaynaklanan söz konusu bu gerilim korozyonu, dikkat edilmediği takdirde çok sayıda hücreden oluşan bataryaların oluşturduğu enerji depolama sistemlerinde, elektrikli araç bataryalarında, havacılıkta kullanılan akü sistemlerinde telafisi güç olan olumsuz etkiler meydana getirebilecektir. Bu etkilerden bir tanesine örnek vermek gerekirse; 2000’li yılların başında New York’ta bulunan bir hava alanında, uçak içerisinde yer alan Li-Ion bataryaya sahip dizüstü bilgisayarın içerisinde meydana gelen elektronik, elektrokimyasal, elektromanyetik gürültülerin birleşmesi sonucunda oluşan korozyon etkisi, uçak iniş takımlarında hatalara sebep olmuştur [2]. Elektrokimyasal gürültü birçok kullanım alanında göz ardı edilirken, 2010’lu yılların başında gürültünün teşhis edilebilmesi için yapılan test ve ölçümlerin önemi yakıt hücrelerinde anlaşılmıştır. Literatürde, ticari bataryaların içerisinde kullanılan Li-Ion piller üzerinde yapılmış gürültü kestirimi araştırmaları ile pek fazla karşılaşmamaktadır. Bu eksikliğin nedeni Li-Ion pillerin düşük bozucu gürültü etkisine sahip olmalarıdır [3]. Li-Ion pil hücrelerinin dışında kullanılan farklı kimyalara sahip hücreler (NiCd, NiMH, LiFePO₄, LTO, NMC vb.) de kendilerine özgü gürültü oluşturabilmekte ve kullanım amaçlarına göre birbirlerine üstünlük sağlayabilmektedirler.

2. Batarya Sistemlerindeki Temel Gürültü Çeşitleri

Gürültü, zayıf işaretlerin, sinyallerin, gerilimlerin gerekli kuvvetlendirme işlemleri yapılarak, kullanılmak istenen yerlerde istenmeden ortaya çıkan, rahatsız edici, korozyon oluşturan etkilerin tümü olarak tanımlanmaktadır. Birçok elektronik sistemde ve cihazda, göz önüne alınması gereken birden fazla gürültü türü bulunmaktadır. Meydana gelen gürültünün değerlendirilebilmesi ve yorumlanabilmesi için bazı kavramlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu kavramlardan bir tanesi gürültü aralığıdır. Gürültü aralığı, işaret gücünün (P_S), gürültü gücüne (P_R) oranı olarak tanımlanırken, dB cinsinden ifade edilmektedir. P_R oranı arttıkça gürültünün bozucu etkileri artmaktadır. Bir direncin üzerinde meydana gelen ısı gürültünün matematiksel formlarla ifade edilerek sonucun gerilim (V) cinsinden gösterilmesi diğer bir kavram olan gürültü gerilimini vermektedir. Gürültü gerilimi $V_{gürültü}$ olarak Denk.1’de ifade edilmektedir.

$$V_{gürültü} = \sqrt{4kTRb} \quad (1)$$

$$F = \sigma_1 / \sigma_2 \quad (2)$$

Burada k, Boltzman sabitini ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K°), T, Kelvin cinsinden sıcaklığı, b, Hertz (Hz) cinsinden bant genişliğini, R Ohm cinsinden direnci ifade etmektedir. Elektronik cihazlarda ve sistemlerde gürültünün değerlendirilmesinde kullanılan önemli kavramlardan bir tanesi de Denk.2’de F ile ifade edilen gürültü katsayısıdır. Gürültü katsayısı, girişteki gürültü aralığının çıkıştaki gürültü aralığına olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Gürültü katsayısını dB cinsinden ifade etmek istendiğinde; $10 \log F$ formülü kullanılmaktadır. Batarya sistemleri bir nevi elektronik cihaz olarak düşünüldüğünde, bu elektronik sistemlerin temelinde üç tür gürültü ile karşılaşmaktadır. Bunlar;

- Termal gürültü (Johnson Noise)
- Atış/Vuruş gürültüsü (Shot Noise)
- Kırpışma gürültüsü (Flicker Noise)

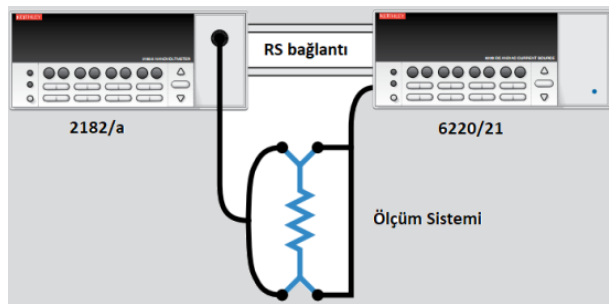
Johnson gürültüsü ($V_{gürültü}$ veya V_{jg}) olarak isimlendirilen gürültü, direnç üzerinde meydana gelen termal gürültünün gerilim cinsinden ifade edilmesidir. Denk.1’den de anlaşılacağı üzere, düşük frekanslarda Johnson gürültüsü sadece sıcaklığa ve dirence bağlıdır. Johnson gürültüsü formülünde akımın (I) yer almaması, bu gürültünün akıma bağlı olmadığını göstermektedir. Yine formülde frekans direkt olarak gösterilmemektedir, bunun yerine bant genişliği kullanılmaktadır. Johnson gürültüsü, bant genişliği dikkate alınarak frekans bandında belirli aralıklarda “beyaz

gürültü (White Noise)” olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir gürültü türü atış/vuruş gürültüsüdür (Shot Noise). Shot noise iki koşul oluştuğunda meydana gelmektedir. Bu koşullardan birincisi, yük taşıyıcıları sayısal olarak belirtildiğinde, ikincisi ise varış zamanının rastgele olduğu durumlardır [4]. Bu gürültünün olumsuz etkileri Denk.3’te verilmekte olan akım dalgalanmasına sebep olmaktadır.

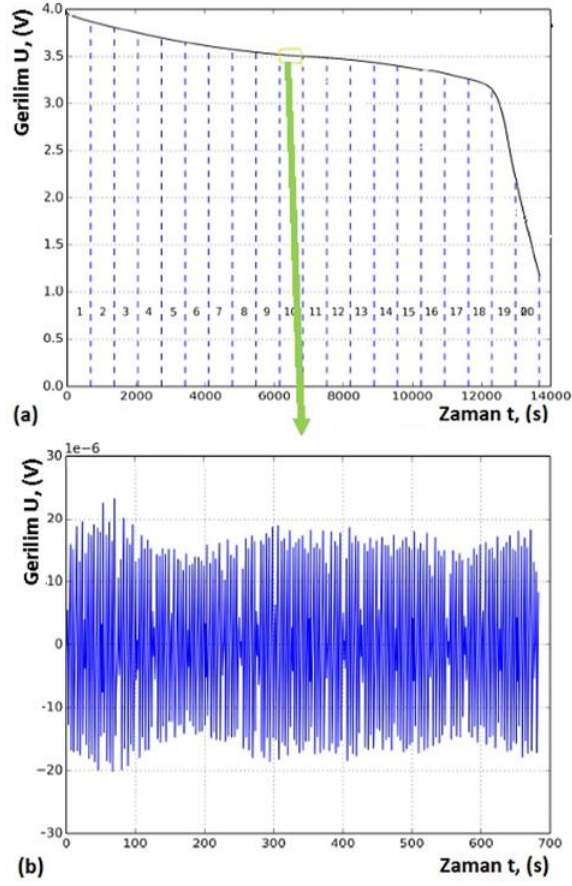
$$I_{\text{shot}} = \sqrt{2qIb} \quad (3)$$

Burada q, Coulomb cinsinden elektron yükünü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C), I, amper cinsinden kutup akımını, b, Hz cinsinden ölçülen bant genişliğini ifade etmektedir. Batarya sistemlerinde ortaya çıkan diğer bir gürültü çeşidi de kırpışma gürültüsüdür. Kırpışma gürültüsü (Flicker Noise) $1/f$ gürültüsü olarak isimlendirilmektedir [5]. Bu gürültü çeşidi, özellikle 100 Hz’den düşük frekanslarda kendini hissettirmektedir. Johnson gürültüsünün aksine frekansa bağlıdır, ancak frekansla ters orantılı olarak değişmektedir. Batarya sistemlerinin temelinde yer alan hücreler, elektrokimyasal birer enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile hücrelerin temel yapı taşlarını oluşturan farklı kimyalara sahip maddelerin oluşturduğu elektronik gürültü de elektrokimyasal gürültü olarak tanımlanmaktadır. Bu gürültünün temelinde yatan önemli sebeplerden bir tanesi; batarya hücrelerinin içyapısında bulunan elektrolitlerde meydana gelen türbülanslı dalgalanmalardır. Elektrokimyasal gürültüyü; elektrolitlerin türbülanslı dalgalanmalarından kaynaklanan sınırlayıcı difüzyon akımındaki korozyonlar olarak tanımlamak da mümkündür [3]. Bu tanımdan yararlanarak, elektrokimyasal akım gürültüsünü (ECN); aynı potansiyelde tutulan iki farklı veya aynı elektrot arasında meydana gelen anlık akım dalgalanmaları olarak tanımlamak mümkündür. Bu akım dalgalanmaları, iki farklı elektrot arasında veya aynı malzemedeki mikro yapısal farklılıklar içeren iki elektrot arasındaki bir galvanik aktiviteye bağlıdır. ECN genellikle Sıfır Direnç Ampermetresi (ZRA) kullanılarak ölçülmektedir. Elektrokimyasal potansiyel gürültüsü (EPN) olarak adlandırılan potansiyel dalgalanmalarını ölçmek için de çalışma elektrotları ile aynı materyalden bir referans elektrot veya bir zayıflama elektrodu kullanılmaktadır [6]. Batarya hücrelerinde, pil bloklarında, batarya sistemlerinde gürültü ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, çevresel etkilerden olabildiğince az etkilenmesi için küçük yüzey alanına sahip iletkenler kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen test ve ölçümler, dış ortamda mevcutta bulunan birçok gürültüden ve gürültü kaynağından izole edilmiş ünitelerde yapılmaktadır. Şekil 1’de verilmekte olan test ölçüm blok

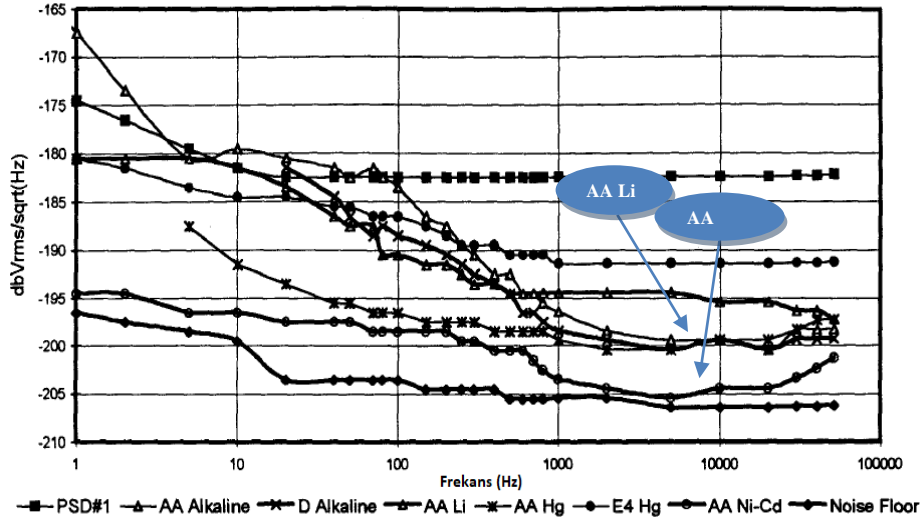
şeması ile bu veriler elde edilmektedir [7]. Pazarda en çok tercih edilen batarya hücrelerinden biri 18650 Li-Ion pilleridir. Bu hücrelerin nominal voltajları 3,6 V_{DC} mertebelerinde iken, akım kapasiteleri çeşitlilik gösterebilmektedir. Literatürde, silindirik tip 18650 batarya hücreleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen tecrübelerle göre, elektrokimyasal gürültülerden kaynaklanan voltaj dalgalanmalarının oranı Şekil 2’de görüldüğü üzere düşüktür [8]. Bu sistemlerin testlerinin gerçekleştirilmesinde hassas ölçüm yapabilen, düşük seviyeli voltaj gürültülerini ölçebilen, düşük seviyeli akım gürültülerini algılayabilen Keithley 6220/6221 AC/DC akım kaynağı ve Nanovoltmeter Keithley 2182/a gibi gerilim kaynakları kullanılmaktadır. 18650 silindirik tip Li-Ion batarya hücreleri üzerinde yapılan ölçümlerde elde edilen deşarj grafiği ve gürültü nedeniyle meydana gelen dalgalanma Şekil-2’de gösterilmektedir. Bu grafikte de görüldüğü üzere gerilim dalgalanmalarında olağan dışı pikler görülmemiştir. Bundan dolayı Li-Ion batarya hücrelerinin gerilimleri üzerinde gürültünün etkisi çok azdır. Başka bir çalışmadan elde edilen Şekil 3’teki verilere göre, 10 kHz frekansta AA Li hücrelerin elektrokimyasal gürültüsünün -195 dBV/Hz gibi düşük seviyelerde olduğu görülmektedir [4]. Çeşitli pil kimyalarına ve pil türlerine göre yapılan deneyler sonucunda birçok veri elde edilmiştir. Bu veriler çeşitli ölçüm cihazları ile elde edilmiş ve literatürde yerini almıştır. Gürültü ölçüm sistemlerinde sıklıkla tercih edilen yöntemler arasında Fourier analizi, Ters Fourier analizi, Hızlı Fourier analizi (FFT) gibi yöntemler yer almaktadır. 1995 yılında FFT ile yapılan çapraz korelasyon yöntemi neticesinde, farklı batarya hücrelerinin kimyalarına dair elde edilen voltaj gürültü ölçüm verileri Şekil 3’teki grafikte gösterilmektedir [4].



Şekil 1: Gürültü test ölçüm blok gösterimi



Şekil 2: (a) Li-Ion bataryanın deşarj grafiği, (b) Voltaj dalgalanması

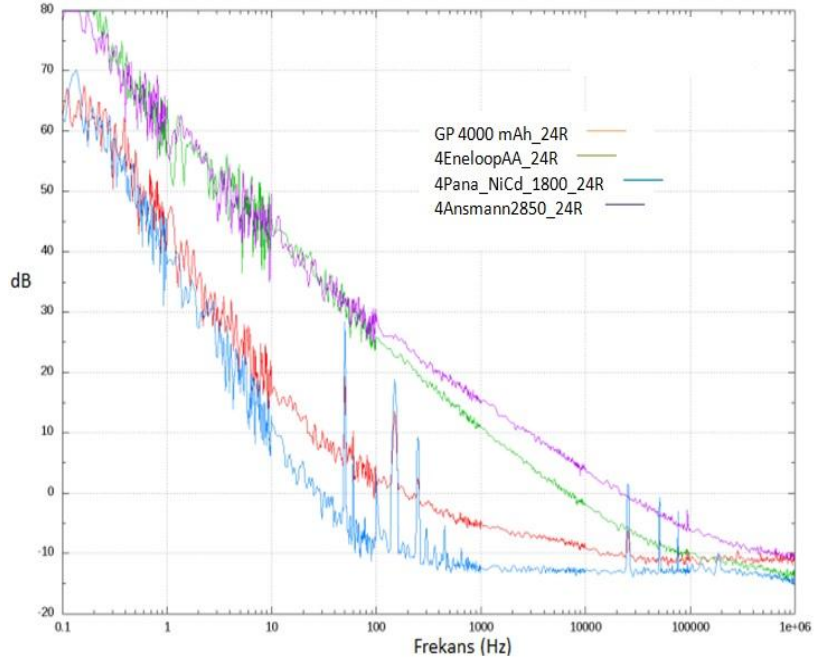


Şekil 3: Çeşitli batarya hücrelerinin kimyaları üzerinde yapılan gürültü test sonuçları

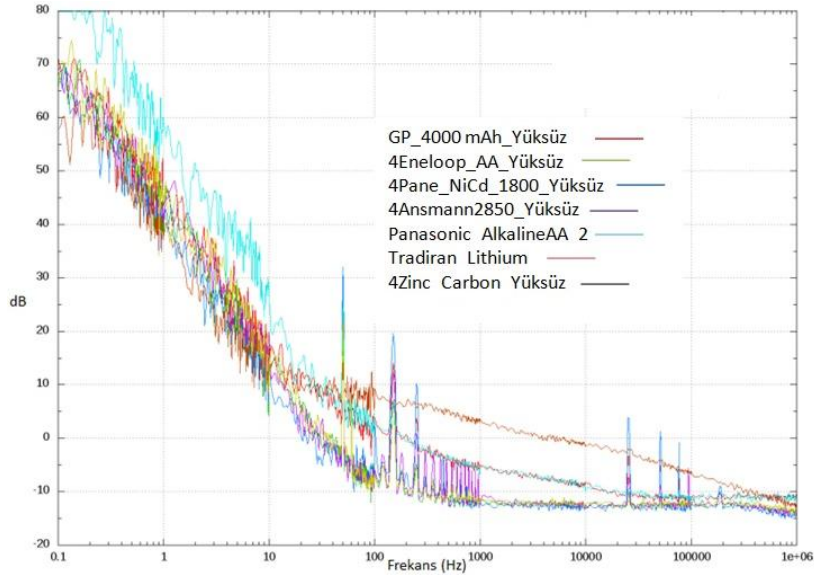
Fourier analizi yöntemine göre çalışan Agilent 89441A cihazı ile, Tablo 1’de gösterilen batarya hücre türleri yüksüz durumda ve yük üzerinden çıkış alınarak test edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda yük üzerinden elde edilen veriler Şekil-4’deki grafikte verilirken, çıkışta yük bulunmaksızın elde edilen sonuçlar ise Şekil-5’deki grafikte gösterilmektedir [9]. Test ve ölçümler göstermektedir ki NiCd kimyasına sahip piller, test sonuçlarını gösteren grafikten (Şekil 3) de anlaşılacağı üzere gürültü değerleri 10 kHz frekansta -205 dBV/Hz mertebelerindedir ve bundan dolayı diğer kimyalara nazaran en iyi gürültü performansına sahiptir. NiCd kimyasına sahip piller diğer kimyalara sahip pillere nazaran en iyi gürültü performansını göstermesine karşın, elde edilen grafiklerde anlık yükselişler görülmektedir. Şekil 3’teki gürültü analizini ve ölçümlerini ifade eden grafikte 10 Hz ile 1000 Hz arasındaki frekanslarda NiCd batarya hücrelerinin gürültülerin ileri frekanslardaki gürültü değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 1: Fourier analizi yöntemi yardımı ile test edilen farklı tür batarya hücreleri

Marka	Pil Kimyası	Gerilim (V)	Akım Kapasitesi (mAh)	Pil Tipi
Ansmann	NiMH	1.2	2850	Sekonder
Sanyo Eneloop	NiMH	1.2	2000	Sekonder
Panasonic/Sanyo Cadnica	NiCd	1.2	1800	Sekonder
Aerocell	Çinko Karbon	1.5	-	Primer AA
Panasonic	Alkalin	1.5	-	Primer AA
GP	NiMH	1.2	4000	Sekonder
Tadiran	Li-SOCl ₂	3.6	1500	Primer



Şekil 4: Dört farklı tür batarya hücresine ait yük üzerinden elde edilen gürültü etkenleri



Şekil 5: Yedi farklı tür batarya hücresine ait yük olmaksızın elde edilen gürültü etkenleri

Şekil 4'teki grafikte 10 Hz ile 1000 Hz arasındaki ve 10000 Hz ile 100000 Hz arasındaki frekanslarda NiCd batarya hücrelerinin yük üzerinden elde edilen gürültü değerlerinde anlık artışlar görülmektedir. Şekil 5'teki farklı tür batarya hücresine ait yük olmaksızın elde edilen gürültü grafiğinde de yine 10 Hz ile 1000 Hz arasındaki ve 10000 Hz ile 100000 Hz arasındaki

frekanslarda NiCd batarya hücrelerinin yük olmaksızın elde edilen gürültü değerlerinde anlık artışlar görülmektedir. Grafikler incelendiğinde aynı frekans aralıklarında GP marka NiMH kimyasına sahip 4000 mAh kapasiteli sekonder hücre ile Panasonic marka NiCd kimyasına sahip 1800 mAh kapasiteli sekonder hücrenin gürültü profillerinde, 10 Hz ile 1000 Hz arasındaki ve 10000 Hz ile 100000 Hz arasındaki frekanslarda anlık artış görülmektedir. Ancak, bu artış benzer kimyaya sahip Ansmen marka ve/veya Sanyo marka pillerde görülmemektedir. Farklı üreticiler tarafından kullanılan farklı üretim prosesleri neticesinde ileriki frekanslarda elektrot malzemesinin taneleri arasında korozyonlar meydana gelebilmektedir [10-11]. Gürültü profilinde meydana gelen bu ani artışlar, literatürde kenar yumuşatma filtresi (anti-aliasing filter) olarak tanımlanan özel bir filtre kullanılarak giderilebilmektedir. Gürültü profilindeki anlık artışlardaki frekans bant genişliği değeri olmadan, tepeden tepeye genliği bir anlam ifade etmemektedir [12].

3. Sonuç

Batarya teknolojisi hiç şüphesiz ki 2050’li yıllara kadar mevcuttaki önemini koruyacak ve ileriki çalışmalar neticesinde dünyanın vazgeçilmez teknolojileri arasında yer alacaktır. Ulaşım, haberleşme, enerji gibi birçok temel alanda bataryalar kullanılmakta ve kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Havacılıkta NiCd bataryaların ve kurşun asit akülerin kullanılması, denizaltı araçlarında kurşun asit ve yakıt pili teknolojisinin kullanılması, GPS/GPRS sistemlerinde lityum temelli bataryalar kullanılsa da tercihin nikel tabanlı pil bloklarından oluşan bataryaların yönünde olması gibi sonuçların sebebi hücre kimyalarından kaynaklanan avantaj ve dezavantajlardır. Bu avantaj ve dezavantajların yanı sıra, Li-Ion batarya hücresi üreticilerinin ürünlerinin, farklı oranlarda çevreye zarar verebilme olasılıkları, güvenlik sorunları, alınması gereken tedbirlerin maliyetleri kullanıcı tercihlerinin değişimini etkileyen önemli sebepler arasındadır. NiCd bataryaların gürültü performansının iyi olmasından dolayı, bu bataryalar havacılık araçlarında, haberleşme cihazlarında, gürültünün bozucu etkilerinin önem arz ettiği yerlerde tercih edilmektedir. NiCd kimyasına sahip batarya hücrelerinin gürültü verileri diğer kimyalara sahip pillerin gürültü verilerinden daha iyi performansa sahip olmasına karşın, içerisinde Ni kimyası bulunduran bazı batarya hücrelerinin gürültü profilinde farklı frekans aralıklarında anlık artışlar meydana gelmektedir. Ancak, bu artış benzer kimyaya sahip, farklı üreticiler tarafından üretilen pillerde görülmemektedir. Anlık bu değişimler üreticilerin kullanmış olduğu üretim

proseslerinden kaynaklanabilmektedir. Li-Ion batarya hücrelerinin enerji kapasitelerinden yararlanmak ve kullanım alanını genişletmek amacı ile yapılan teknolojik çalışmaların neticesinde, Li-Ion batarya hücrelerinin hava araçlarında, su üstü ve su altı deniz araçlarında, haberleşme sistemlerinde kullanımı için Ar-Ge çalışmaları devam etmekte ve farklı karakteristiklere sahip ürünler elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlardan çıkartılacak bir diğer önemli yorum ise; Denk.1’de de görüldüğü gibi düşük iç dirence sahip batarya hücrelerinin daha düşük voltaj gürültüsü ortaya çıkaracakları yönündedir. Bu çalışmanın ardından ileriki dönemde yapılması planlanan çalışmalar; enerji depolama sistemlerinin ulusal şebekeye paralel olarak bir kaynak gibi bağlanması durumunda veya seri bağlı köprülenen (bypass edilebilen) bir kaynak gibi bağlanması durumunda sistem kararlılığına etkisi olarak incelenecektir.

Kaynaklar

- [1] S. Özsoy, B.S. Yılbaş, M. Alçı, “Elektronik Cihazların Elektromagnetik Etkilerden Korunma Teknikleri”, II. Ulusal Üniversite ve Sanayi İşbirliği Sempozyumu, s:77-93, 1988
- [2] Maxim Integrated Inc., “Circuit Tradeoffs Minimize Noise in Battery-Input Power Supplies”, pp:1-8, 2001
- [3] S. Martemianov, F. Maillard, A. Thomas, P. Lagonotte, L. Madiler, “Noise Diagnosis of Commercial Li-Ion Batteries Using High Order Moments”, Russian Journal of Electrochemistry, Vol. 52, No. 12, pp: 1122-1130, 2016
- [4] C.K. Boggs, A.D. Doak, F.L. Walls, “Measurement of Voltage Noise in Chemical Batteries”, IEEE International Frequency Control Symposium, 1995
- [5] Texas Instruments, “Noise Analysis in Operational Amplifier”, 2007
- [6] Bio Logic Science Instruments, “Electrochemical Noise Measurements”, App. Note:39, pp:1-3, 2012
- [7] Keithley, “Model 2182 Nanovoltmeter User’s Manual”, 2016
- [8] A. Thomas, S. Martemianov, F. Maillard, P. Madier, “New Methodology of Electrochemical noise Analysis And Applications For Commercial Li-Ion Batteries”, Journal of Solid State Electrochemistry, Vol. 19, Issue 9, pp: 2803-2810, 2015
- [9] G. Hoffmann, “ Noise Measurements On Chemical Batteries”, pp:2-12, 2014
- [10] E. M. Lehockey, A. M. Brennenstuhl, G. Palumbo, P. Lin, “British Corrosion Journal”,



Vol:33, No:1, pp: 29-26, 1998

[11] V. Upadhyay, “Advanced Electrochemical Methods For Characterizing The Performance Of Organic Coatings”, North Dakota State University, ss:1-200, 2012

[12] S. Ritter, F. Huet, R. A. Cottis, “Guideline For An Assessment Of Electrochemical Noise Measurement Devices”, Material And corrosion, Vol:63, No: 4, 2012