

Li-İon Batarya Standartlarının Denizaltı Ana Tahrik Sistemine Uyarlanması

Adaptation of Li-Ion Battery Standards to Submarine Main Propulsion System

Nilay Baygın¹, Erdal Mustafa Yeğın², Korhan Karaarslan²

¹Türk Loydu Uygunluk Değerlendirme Hizmetleri A.Ş., İstanbul, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

* Corresponding author: korhan.karaarslan@kocaeli.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 21.12.2023
Kabul Tarihi / Accepted: 15.02.2024

Derleme Makalesi/Review Article
DOI: 10.5281/zenodo.11530999

ÖZET

Teknolojik gelişmelere paralel olarak denizaltılarda kullanılan sistem ve cihazların enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Enerji ihtiyacı, dalmış durumda olan denizaltılarda enerji depolama sistemleri tarafından karşılanmaktadır. Bununla beraber, denizaltıların su altında kalma süresinin uzun olması, düşmana gözükmeden operasyonlarını icra edebilmesi, düşmandan hızlı kaçabilmesi ve su üstünde iken batarya şarj süresinin daha kısa olması gibi denizaltılarda aranan önemli yeterlilikler enerji yoğunluğu yüksek batarya teknolojileri kullanılarak sağlanabilir. Bu çalışmada, farklı batarya teknolojileri ve Li-İon batarya teknolojisi enerji, güç, verim ve yatırım maliyeti gibi karakteristik parametreler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Denizaltılarda enerji depolama amaçlı kullanılan kurşun asit bataryalara son yıllarda alternatif oluşturan enerji yoğunluğu yüksek Li-İon batarya teknolojisi denizaltıların su altında kalma süresinin arttırılması, bakım gereksinimlerinin azaltılması ve uzun yaşam ömrü gibi avantajları da sağlamaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu, denizaltı gibi bir ortamda yüksek standartta güvenlik gereksinimlerinin alınmasını gerektirmektedir. Bu amaçla, mevcut endüstriyel uygulamalarda kullanılan ulusal Li-İon batarya standartları (TS EN IEC 62619, TS EN 62620), ulusal/uluslararası yönergeler ve teknik dokümanlar (VG 96932-120, NAVSEA S9310-AQ-SAF-010, Türk Loydu ve DNV) ele alınarak denizaltı ana tahrik sistemine uygun güvenlik test yöntemleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Li-İon batarya, enerji depolama, denizaltı, güvenlik standartları

ABSTRACT

In parallel with technological developments, the energy demand of systems and devices used in submarines are increasing. Energy needs are met by energy storage systems in submerged submarines. However, important required features in submarines, such as having a long-submerged range, being able to carry out their operational duties without being seen by the enemy, being able to escape quickly from the enemy, and having a shorter battery charging time while at the surface, can be achieved by using battery technologies with high energy density. In this article, different battery technologies are compared with Li-Ion battery technology using characteristic parameters such as energy, power, efficiency and investment cost. High energy density Li-Ion battery technology, which is an alternative to lead acid batteries used to store energy in submarines in recent years, also provides advantages such as increasing the submersion time of submarines, reducing maintenance requirements and extending its lifespan. High energy density requires high standards of safety requirements in an environment such as a submarine. For this purpose, national Li-Ion battery standards used in current industrial applications (TS EN IEC 62619, TS EN 62620), national/international directives and technical documents (VG 96932-120, NAVSEA S9310-AQ-

SAF-010, Türk Loydu and DNV) and safety test methods suitable for the submarine main propulsion system are determined.

Keywords: Li-Ion battery, energy storage, submarine, safety standards.

1. GİRİŞ

Enerji depolama sistemleri, verimlilik ve güç kalitesinin yanı sıra, enerji şebekesine bağlı doğru akım ve alternatif akım sistemlerde, yenilenebilir enerji kaynakları uygulamalarında ve güvenilirlik konularının iyileştirilmesinde uygun çözümler sunar. Uçak aktarma organlarının, gemideki güç sistemlerinin, elektrikli araçların ve hibrit elektrikli araçların gerekli pik yüklerini karşılamak için kullanılan enerji depolama sistemleri ekonomik olmakla beraber, sistem güvenilirliği ve verimliliğini de arttırmaktadır (Farhadi, 2016).

Volanlar, süper-kapasitörler, yakıt pilleri ve şarj edilebilir piller gibi teknolojiler enerji depolama uygulamaları için farklı seçenekler sunmaktadır. Günümüzdeki enerji depolama ihtiyacından pay alma yarışında tüm bu teknolojiler yer almaktadır. Her teknolojinin, uygulamaya özgü çeşitli faktörlere dayanan avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Geçmişten günümüze denizaltılarda kullanılan enerji depolama sistemleri yakıt pilleri, kurşun asit bataryalar ve lityum-ion (Li-İon) bataryalardır. Denizaltılarda kullanılan enerji depolama sistemlerinin çeşitliliği kısıtlı olmakla beraber, bu çalışmada enerji depolama sistemlerinden olan Li-İon bataryalar, diğer batarya teknolojileri ile karşılaştırılacaktır.

Yakıt pilleri ile bataryalar birbirlerinin yerine kullanılabilen enerji depolama sistemleri olmalarına rağmen, denizaltı uygulamalarında bu durum farklılık göstermektedir. Bataryaların kullanım amacı, kısa sürede yüksek enerji vererek, denizaltının düşmandan ya da bir torpidodan kaçmasını sağlamaktır. Kurşun asit bataryaların yerine aynı hacimde daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip Li-İon bataryalar kullanılması ile seyir hızının uzaması ve indiskrasyon oranının azaltılması mümkündür (Los,2017). Bununla beraber, denizaltılarda kullanılan yakıt pilleri ancak yardımcı enerji depolama sistemi olarak görülebilir.

Denizaltı gibi basınçlı mukavvim bir tekne içerisinde kullanılacak olan Li-İon bataryaların bakım gerektirmeyen yapıları ve daha uzun mesafelere gidebilmeyi sağlamaları avantaj olarak görünse de daha önemli olan güvenilirlik hususunun sağlanması gerekmektedir. Denizaltı uygulamalarında, özellikle de askeri uygulamalarda, tahrik amaçlı kullanılacak olan Li-İon bataryaların dizayn kriterlerinin, kapasite ve güvenlik testlerinin belirlenmesi ve standartlarının oluşturulması gerekmektedir.

Elektrikli araçlarda kullanılan Li-İon bataryaların ısınmasının ana kaynağı olan elektrot malzemeleri ve elektrolitlerin batarya ömrünü ve kapasitesini arttırmak amacıyla farklı soğutma yöntemlerinde performansları incelenmiştir (Miao vd.,2017).

Yangın riski ve soğutma gereksinimi konularında güvenlik etkisinin daha iyi olmasından dolayı su üstü ve su altı uygulamalarında Li-İon bataryalar diğer batarya türlerine göre daha sık tercih edilmiştir (Verma vd.,2019). Enerji yoğunluğu, uzun ömür ve bakım gerektirmeyen yapı gibi avantajlar bu tercihin temel nedenleridir.

Donanma gereksinimlerine uygun olarak yürütülen bataryaların güvenlik kriterlerini ve prosedürlerini içeren teknik dokümana göre üç farklı Li-İon batarya tasarımına odaklanılmıştır (Govar vd.,2002).

Yapılan literatür taraması sonucunda, denizaltılarda kullanılacak olan Li-İon bataryaların hangi standartlarda üretilmesi gerektiği ile ilgili çalışmalara değinilmediği belirlenmiştir. Bu kapsamda, çalışmada enerji depolama sistemlerinden olan Li-İon bataryalar, kurşun asit ve nikel-kadmiyum

(Ni-Cd) bataryalar ile karşılaştırılmıştır. Denizaltı tahrik sistemi için Li-İon bataryaların seçim kriterleri ile ilgili değerlendirme yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda kullanılan mevcut ulusal Li-İon batarya standartları, uluslararası yönergeler ve teknik dokümanlar ele alınarak denizaltı tahrik sistemine uygun test yöntemleri belirlenmiştir.

2. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Kara tesislerinde kullanılan enerji depolama sistemleri, son yıllarda deniz platformlarında da tercih edilmeye başlanmıştır. Ulaşımında, özellikle deniz taşıtlarında fosil yakıt tüketiminin artması sonucunda çevre kirliliği endişeleri ciddi oranda artmış göstermiştir. Uluslararası Denizcilik Örgütü'ne (IMO) göre, 2012 yılında küresel alanda SO_x ve NO_x emisyonlarının sırası ile %13'lük ve %15'lik kısmı nakliye amacı ile kullanan deniz platformlarından kaynaklanmıştır. Bu durum, ticari ve askeri gemilerde güç sağlamak için enerji depolama sistemlerine eğilimi arttırmıştır. Ayrıca, Avrupa Komisyonu'nun yeni iklim anlaşmasında (Paris Protokolü), 2050 yılına kadar küresel emisyonları 2010 yılı seviyelerine kıyasla %60'a kadar azaltma hedefi belirlemiş olması da enerji depolama sistemlerinin deniz platformlarında tercih edilmesini sağlamıştır (Verma vd.,2019).

Günümüzde, enerji depolama sistemlerinin çeşitliliği düşünüldüğünde denizaltıda kullanılabilecek en uygun enerji depolama teknolojisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

2.1. Enerji Depolama Sistemlerinin Karşılaştırılması

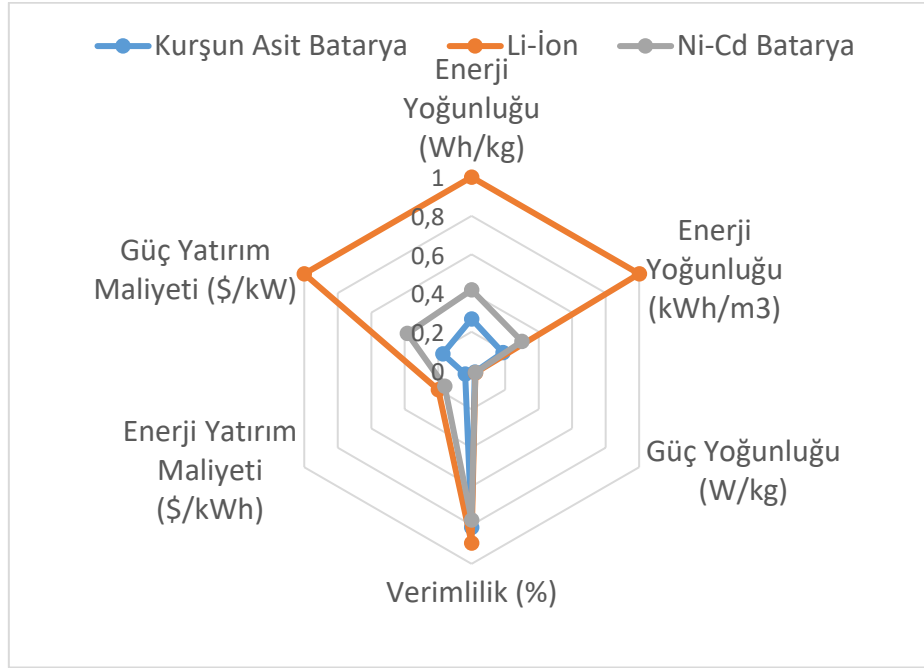
En uygun enerji depolama sistemini bulabilmek için farklı teknoloji ve kimyalar ile üretilen enerji depolama sistemleri; enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, verimlilik, enerji yatırım maliyeti ve güç yatırım maliyeti gibi kriterlere göre karşılaştırılmıştır. Tablo 1'de verilen kurşun asit batarya, Li-İon batarya, Ni-Cd batarya teknolojilerinden hangisinin kullanılacağına sistem sorumlusu tarafından karar verilmesi uygun olacaktır.

Tablo 1'de yer alan batarya grupları elektrokimyasal olarak enerji depolayan, diğer enerji depolama sistemlerine göre kompakt, kullanımı kolay, ekonomik ve hem bataryadan şebekeye hem de şebekeden bataryaya enerji akışında neredeyse anında tepki vermesi gibi özelliklerinden dolayı kullanımı en yaygın olan enerji depolama sistemleridir (Govar vd.,2002). Avantajlarından dolayı, bu çalışmada enerji depolama sistemlerinden olan bataryalar karşılaştırmaya konu edinilmiştir.

Tablo 1. Batarya Teknolojilerinin Karşılaştırılması (Kumar,2018; Farhadi, 2016; Söderström, 2016)

Enerji Depolama Sistemleri	Kurşun Asit Batarya	Li-İon Batarya	Ni-Cd Batarya
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	30-50	100-200	50-80
Enerji Yoğunluğu (kWh/m ³)	50-80	200-500	60-150
Güç Yoğunluğu (W/kg)	75-300	150-315	150-300
Verimlilik (%)	70-80	75-90	60-83
Enerji Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	200-400	600-2500	500-2000
Güç Yatırım Maliyeti (\$/kW)	300-600	1200-4000	500-1500

Şekil 1’de batarya teknolojilerini karşılaştıran ortalama normalleştirilmiş grafikte Li-İyon bataryaların diğer batarya türlerine göre yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Dezavantaj gibi duran bu özellik yanında Li-İyon bataryaların enerji yoğunluğu ve verimi de yüksektir (Kumar,2018; Farhadi, 2016; Söderström, 2016). Bu özelliği, Li-İyon bataryaları denizaltı ana tahrik sistemi gibi yüksek enerji yoğunluğuna sahip batarya sistemine ihtiyaç duyan uygulamalar için en uygun seçim yapmaktadır.



Şekil 1. Batarya teknolojilerin Tablo 1’de verilen güç, enerji ve maliyet bilgileri kullanılarak oluşturulan ortalama normalleştirilmiş grafik

Tüm enerji depolama sistemleri arasında Li-İyon bataryalar kWh/m³ ve Wh/kg cinsinden en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Enerji yoğunluğu, enerji depolama sisteminin seçiminde önemli parametreler arasında yer almasına rağmen, denizaltı Li-İyon batarya uygulamaları özelinde şarj/deşarj süreleri ve güvenlik konularının da değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.2. Denizaltı Uygulamalarında Kurşun Asit ve Li-İyon Batarya

Geleneksel denizaltıların ana güç kaynağı bataryalardır. Denizaltılar su üstündeyken (sath) dizel makineler motorini oksijen ile yakarak dönüş enerjisi üretirler. Bu dönüş gücü alternatörler aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilir. Elde edilen elektrik enerjisi, bir yandan pervane ile denizaltıyı hareket ettirmek diğer yandan bataryaları şarj etmek için kullanılır. Batarya şarj işlemi sırasında gemi kolay bir hedef haline gelir, bu süre zarfında denizaltı bulunması zor özelliğini kaybetmiş olur (Pilat vd.,2017). Havayla teması kesilen denizaltı su altındayken, önceden şarj edilmiş bataryalardaki elektrik enerjisi ile hareket eder. Bataryalar, aynı zamanda denizaltıda gerekli diğer sistemlere de enerji sağlar (Psallians,2003).

Denizaltıların birinci hedefi uzun süre dalmış durumda düşman gemilerine görünmeden belirli bir hızda uzun menzillere gidebilmesidir. Dayanıklılık ve ani güç değişikliklerine hızlı cevap verebilmesinin tek yolu bataryalarının enerji/güç yoğunlukları ile şarj/deşarj performansının yüksek olmasıdır.

Denizaltının görünmez bir şekilde uzun süre su altında kalma süresi bataryanın deşarj süresi ile ilişkilidir. Su altındaki hız, deniz akıntıları, yapılan manevraların yörüngesi gibi etkenler de deşarj süresini etkilemektedir.

Birçok çalışmada odak noktası seçilen Li-İyon bataryalar kurşun asit bataryaya göre yüksek deşarj kapasitesi, çalışma sıcaklık aralığının geniş olması, uzun ömrü, kapalı hücre yapısı, bakım gerektirmemesi, yüksek enerji verimi, raf ömrünün uzun olması, hızlı şarj kabiliyeti, yüksek spesifik enerji yoğunluğu ve hafıza etkisinin olmayışı gibi avantajlı özellikleri ele alınarak incelenmiştir (Buckingham vd.,2008; Los,2017)

Denizaltı tahriki için Li-İyon pilin şarj/deşarj karakteristiklerini ve güvenliğini inceleyen deneysel bir çalışmada Li-İyon batarya kullanılarak oluşturulmuş modül ile kurşun asit batarya karşılaştırılmıştır (Kim vd.2021). Yapılan şarj/deşarj deneylerinde ve güvenlik testlerinde Kore Otomobil Standardı KMVSS 18-3'de geçen güvenlik standartlarının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir.

Kurşun asit bataryalar kimyası gereği şarj ve deşarj sırasında hidrojen gazı, kükürt dioksit ve oksijen gazı üretmektedir. Denizaltı gibi kapalı bir alanda, bu tür gaz çıkışlarının takip edilmesi, ortam havasının temizlenmesi ve elektrolitin yoğunluğunu ayarlamak için sensörler, eliminasyon cihazları ve sülfirik asit karıştırıcılar bulunmaktadır. Buna karşılık, Li-İyon batarya sisteminde asit karıştırıcı sistemlere ihtiyaç yoktur.

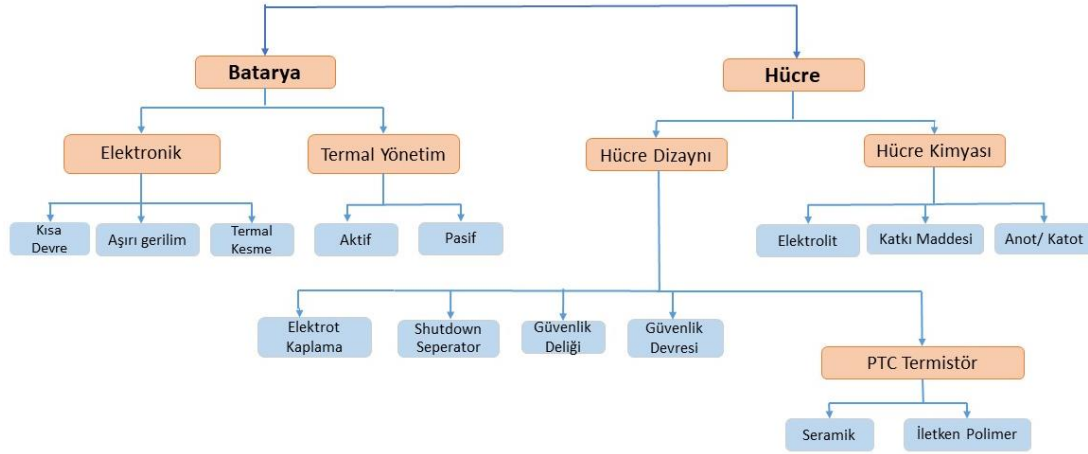
Li-İyon bataryanın deşarj karakteristiğine bakıldığında zamana bağlı kapasitedeki azalma oranı, kurşun asit bataryanın kapasitesindeki azalma oranından oldukça düşüktür. Özellikle bu sebepten, birçok ülke son yıllarda denizaltıların seyir süresini uzatmak amacıyla geleneksel denizaltılarda dalmış durumda kullanılan kurşun asit bataryalar yerine Li-İyon bataryaların kullanılmasını araştırmaktadır.

2.3. Denizaltı Uygulamalarında Li-İyon Batarya Yönetim Sistemi

Li-İyon bataryaların şarj/deşarj özellikleri ve enerji yoğunluğunun yüksek olması gibi nedenlerden dolayı denizaltılarda ana tahrik sistemi için kullanılması cazip görünmesine rağmen, güvenlik ile ilgili konuların da Li-İyon batarya özelinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Li-İyon bataryaların aşırı ısındığı zamanlarda, elektrolit alevlenebilir ve tehlikeli dumanlar açığa çıkabilir. Bu olay termal ısıl sürüklenme (runaway) diye isimlendirilir. Denizaltı gibi bir ortamda yüksek enerji depolayan Li-İyon batarya sisteminin termal sürüklenmeye girme olasılığı, küçük hacimde depolanan sisteme göre daha yüksektir ve sonuçlarının yıkıcı etkisi de büyük olacaktır. Kısa devre ve aşırı ısınma gibi tetikleyici olayları önlemek için Şekil 2'de gösterilen batarya ve çoklu batarya güvenlik önlemleri alınır (Albright vd.,2012). Li-İyon batarya yönetim sistemi kullanılması ile karşılaşılacak riskler en aza indirilecektir. Li-İyon batarya yönetim sistemi sayesinde güvenlik, veri işleme, haberleşme, ölçme, görüntüleme ve batarya dengesizlikleri gibi hususlar denetim altında tutulmaktadır.

Şekil 2'de verilen Li-İyon batarya sistemi koruma mimarisinde; kısa devre ve aşırı ısınma gibi bataryayı termal sürüklenmeye götürecek olayların önlenmesi için en küçük hücrede bile önlemlerin alınması gerektiği görülmektedir. Koruma mimarisinin oluşturulması için, denizaltıda Li-İyon batarya yönetim sistemi kurulmalı, ölçülen parametrelerin sınır değerleri belirlenerek, oluşabilecek senaryolar için risk analizi yapılmalıdır.



Şekil 2. Li-İyon Batarya Koruma Mimarisi (Albright vd.,2012)

Batarya yönetim sisteminin kontrol edemeyeceği, ısıl sürüklenme dışında karşılaşılabilecek riskler; bataryanın su geçirgenliği, çıkan tehlikeli gazlardan kaynaklanabilecek patlama, güvensiz şarj/deşarj karakteristikleri, soğutma sistemine ait sıvı sızıntısı şeklinde sıralanabilir. Batarya yönetim sisteminin ve diğer yardımcı sistemlerinin yetersiz kalacağı durumlar göz önüne alındığında; her zaman vuruş gücüne hazır, tamamen kapalı ve kaçış ihtimali olmayan denizaltılarda tahrik sisteminde kullanılacak olan Li-İyon bataryaların dizayn kriterlerinin ve kapasite/güvenlik testlerinin doğru çevresel şartlarda yapılması gerekmektedir. Li-İyon bataryaların şok, vibrasyon, sıcaklık ve batarya yönetim sistemi gibi başlıklar altında da incelenmesi sistem güvenliği için önem arz etmektedir.

3. Lİ-İON BATARYA STANDARTLAR/YÖNERGELER/TEKNİK DOKÜMANLAR

Li-İyon bataryaların küçük ev aletlerinden araçlara, dizüstü bilgisayarlarından kameralara ve enerji depolama sistemlerine kadar uzanan yaygın bir kullanım alanı vardır. Endüstriyel uygulamalar için elektriksel, mekanik ve çevre gibi kategorilere ayrılmış testler içeren birçok Li-İyon batarya standardı olmasına rağmen, denizaltı uygulamaları için henüz oluşturulmuş spesifik bir standart yoktur.

Dünya genelinde; Li-İyon bataryaların çeşitli alanlarda, farklı kapasite ve boyutlarda kullanılması durumunda dizayn kriterleri, güvenlik (çevresel, elektrik, mekanik) testleri, kapasite testleri ve taşıma kuralları gibi konuları içeren çeşitli standart, yönerge ve teknik dokümanlar bulunmaktadır.

Endüstriyel uygulamalarda, gemilerde ve denizaltılarda kullanılan Li-İyon bataryalar için standart/yönerge/teknik dokümanlar bu bölümde irdelenmiştir.

Ulusal standartların en çok bilineni, alkalın veya diğer asit olmayan elektrolitler içeren ikincil hücreler ve pillerin endüstriyel uygulamalarda kullanımı için güvenlik gereksinimlerini ve standartlarını bünyesinde barındıran TS EN IEC 62619 ve TS EN 62620 standartlarıdır (TS EN IEC 62619,2022; TS EN 62620,2023). Aynı zamanda, son dönemlerde tümü elektrikli su üstü platformlarında görülen Li-İyon batarya uygulamaları için Türk Loydu tarafından “Lityum Pillerin Sertifikasyonu, Kurulumu ve Test Edilmesi” isimli doküman yayımlanmıştır.

Uluslararası Akredite ve Sınıflandırma Kuruluşu (DNV) tarafından ise, su üstü gemilerinde ve denizaltılarda ana tahrik sisteminde kullanılacak Li-İyon bataryaların testleri için bazı kriterler belirlenmiştir.

Bunların dışında, denizaltılarda bulunan kendinden tahrikli torpidoların güç ihtiyacı son dönemlerde gümüş çinko-oksit bataryalar yerine Li-İyon bataryalar ile karşılanmaktadır. Atlas Elektronik firması

tarafından üretilen DM2A4 (Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından da kullanılan Seahake Mod4) torpidosundaki gümüş çinko oksit bataryalar yerine VG 96932-120 standardına sahip Li-İyon bataryalar kullanılabilir (Torpedo, 2017; VG 96932-120, 2015).

ABD Donanma Deniz Sistemleri Komutanlığı (NAVSEA) tarafından yayımlanan teknik dokümanda ise su üstü gemilerinde kullanılan bataryaların güvenlik kriterlerine değinilmiştir (S9310-AQ-SAF-010, 2004).

Tamamen kapalı bir platform olan denizaltıların tahrik sistemi için kullanılacak olan Li-İyon bataryaların, özellikle güvenlik kurallarının karşılaşılabilecek risklere karşı, net bir şekilde belirlenmiş olması gerekir.

Yukarıda bahsedilen standart/yönerge/teknik dokümanlar incelenerek, denizaltıda tahrik amaçlı kullanılacak olan Li-İyon batarya standardında olması gereken kriterlerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

3.1. TS EN IEC 62619

Kapsamı, endüstriyel uygulamalarda sabit enerji depolama sistemlerinde kullanılan lityum hücre ve bataryaların güvenlik çalışmaları için test şartlarıdır. Bu standardın, İtalya Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından yeni nesil denizaltı projesi kapsamında tip U212 Todaro sınıfı denizaltılardaki Li-İyon bataryalar için kullanılması planlanmıştır (U212NFS, 2019). Hücre, batarya, batarya sistemi ve batarya yönetim sistemi gibi tanımlamalarda bulunmaktadır. Standartta numune olarak alınan bataryalara uygulanacak testler belirlenmiştir. Test içeriklerinin elektrik, mekanik, üretim güvenlik testleri (hücre ve batarya sisteminin güvenliği), fonksiyonel güvenlik testi başlıkları altında toplandığı oluşturulduğu görülmektedir. Testler, hücreye ve batarya sistemine uygulanacak olan testler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Alt başlıklarda ise dış kısa devre, darbe, düşme, termal, aşırı şarj, zorlanmış deşarj, iç kısa devre testleri ve üretim güvenlik testleri bulunmaktadır. Aşırı şarjda voltaj kontrolü, aşırı şarjda akım kontrolü ve aşırı sıcaklık kontrolü testleri fonksiyonel güvenlik testleri başlığı altına alınmıştır. Bu testlerin batarya sistemine uygulanması gerektiği belirtilmiştir. Batarya sisteminde uygulanacak testlerde amaç, batarya yönetim sisteminin karşılaşılabileceği problemler karşısında vereceği tepkileri izlemektir.

3.2. TS EN 62620

Bu standardın da kapsamı TS EN IEC 62619 standardı ile neredeyse aynıdır. Endüstriyel uygulamalar için kullanılacak lityum hücre ve bataryalara uygulanacak olan testler belirlenmiştir. TS EN IEC 62619 standardından farklı olarak piller 25°C sıcaklıkta deşarj sürelerine göre kategorize edilmiştir.

Deşarj tiplerine göre uygulanacak olan deşarj performansı, düşük sıcaklıkta deşarj performansı, yüksek akımda deşarj, kapasite tutma ve kurtarma, AC iç direnç, DC iç direnç, dayanıklılık, sabit voltajda depolamada dayanıklılık testleri belirlenmiştir. Standartta batarya yönetim sisteminin test edilmesi ile ilgili herhangi bir test adımı bulunmamaktadır. TS EN IEC 62619 standardında olduğu gibi elektrik ve mekanik testler kendi içinde alt başlıklara ayrılmaktadır.

3.3. Türk Loydu Lityum Pillerin Sertifikasyonu, Kurulumu ve Testi için Yönergeler

Türk Loydu (TL) tarafından hazırlanan bu kurallar, lityum bataryaların tahrik ve/veya elektrik güç kaynağı amacıyla kullanıldığı gemilerde (su üstü) lityum batarya kurulumuna uygulanır (Türk Loydu, 2019).

Gemide kullanılan bataryaların, TS EN 62620'ye göre veya TL tarafından tanınan diğer eşdeğer ulusal veya uluslararası standartlara göre işlevsellik ve güvenlik testlerine tabi tutulması istenmektedir. Gemilerde tahrik ve elektrik kaynağı olarak kullanılan lityum bataryalara TL tarafından notasyon sınıflandırmasının verilebilmesi için TL sorveyleri tarafından görsel inceleme, operasyonel testler, tüm alarmların ve ilgili fonksiyonların çalışma testleri, şarj/deşarj kapasiteleri, acil kapatma işlemi,

parametrelerdeki değişikliklerin simülasyonu ve sensör arızasının simülasyonu dahil olmak üzere sensörlerin çalışmasının kontrolü, haberleşme hatası simülasyonu, izolasyon direnci testi, varsa havalandırma, soğutma, gaz algılama sistemi, yangın algılama sistemi ve yangın söndürme sistemi başlıklarında kontrollerin gerçekleştirilmesi gerektiğine değinilmektedir. TL yönergesinde, bataryaların tek başlarına herhangi bir kontrolden geçirilmesi göz ardı edilmiş, bunun yerine bataryalar sistem parçası olması dolayısıyla sistemin genelde koruma fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğinin kontrolüne odaklanılmıştır. Ayrıca, sistem son olarak seyir tecrübesinden geçerek TL notasyonu alabilmektedir.

3.4. DNV- Denizaltıda Kullanılacak Li-İyon Batarya ve Batarya Yönetim Sistemi Testlerinin Sertifikasyonu

DNV (eski adıyla DNV-GL) merkezi Norveç'te bulunan uluslararası akredite bir kayıt ve sınıflandırma kuruluşudur (DNV, 2023). DNV tarafından hazırlanan ve dünyada sadece denizaltı ana tahrik sisteminde kullanılacak olan Li-İyon bataryalara hangi testlerin uygulanması gerektiği bu kılavuzda yer almaktadır.

Kılavuzun denizaltılar bölümünde yer alan Li-İyon bataryalar için istenilen dış kısa devre, darbe, ısı sürüklenme, aşırı şarj, zorlanmış deşarj, yayılma ve iç termal, aşırı şarj ile gerilim, aşırı şarj ile akım, aşırı ısı kontrolü, kapasite doğrulama ve alevlendirme geciktirici testlerinin IEC 62619, IEC 62133, IEC 62620 ve IEC 60092-101 standartlarına göre yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Bunların dışındaki sensör hataları, hücre dengeleme, şarj durumunu doğrulama, güvenlik fonksiyonu, yalıtıklık, izolasyon, soğutma sistemi basıncı, vibrasyon, kuru ısı, nemli ısı, soğuk, korozyon ve EMC testlerinin de bir kısmının DNV kurallarına göre, bir kısmının ise ürünün teknik özelliklerinin belirlendiği şartnameye göre yapılması gerektiğine değinilmektedir (DNV,2023).

Denizaltılarda tahrik amaçlı kullanılan Li-İyon bataryalar için tek kılavuz olma niteliğindeki dokümanın test içeriklerinin özgün olmadığı ve IEC standartlarından yararlanılarak oluşturulduğu görülmektedir.

3.5. VG 96932-120 Denizaltı Uygulamalarında Kullanılan Şarj Edilebilir 3,2 V 120 Ah Li-İyon (LiFePO₄) Batarya Teknolojisi

Bu standart denizaltı torpido uygulamalarında kullanılan lityum bataryaların test adımlarını ve uygun şekilde test edilmesini kapsamaktadır. Standartta geçen LiFePO₄ (lityum demir fosfat) teknolojisi ile üretilen 3,2V 120 Ah batarya, DM2A3 ve DM2A4 tipindeki denizaltı torpidoları tarafından kullanılmaktadır. Standartın test adımlarından olan şok testinin MIL-STD-810-G (ABD Savunma Standardı, çevresel gereklilikler ve ilgili test yöntemleri) standardına göre yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Bu standart içerisinde numunelere uygulanacak olan gözle kontrol, ağırlık ve boyut kontrolü, etiket kontrolü, vibrasyon testi, şok testi, sıcaklık değişimi, iç direnç ölçümü, kapasite, deşarj testi, kendi kendine deşarj test adımları bulunmaktadır.

Denizaltı torpidoları içinde bulunan Li-İyon bataryalar, sabit bir enerji sistemine göre kullanımı daha kolaydır. Güvenlik konusunda karşılaşılabilecek problemler, denizaltının tüm bölgesine yayılmadan önce torpidolar denizaltından uzaklaştırılarak savuşturulabilir.

3.6.S9310-AQ-SAF-010 Donanmada Kullanılan Li-İyon Bataryaların Güvenlik Kriterleri ve Prosedürlerini İçeren Doküman

Amerika Donanma Deniz Sistemleri Komutanlığı (NAVSEA) tarafından oluşturulmuş olan bu teknik dokümanın içeriğinde; tüm donanma tesisleri, denizaltılar, gemiler ve uçaklar tarafından kullanılan lityum batarya ile çalışan cihazlar için güvenlik kuralları, seçimi, tasarımı, testler, değerlendirme, kullanım, paketleme, depolama, lityum bataryaların taşınması ve bertarafı konuları bulunmaktadır (S9310-AQ-SAF-010, 2004). İtalya Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından yeni nesil denizaltı

projesi kapsamında tip U212 Todaro sınıfı denizaltılardaki lityum iyon bataryalar için bu standardın da kullanılması planlanmıştır (U212NFS, 2019).

4. SONUÇ

Deniz platformlarında özellikle de askeri denizaltı uygulamalarında tahrik amaçlı kullanılacak olan Li-İyon bataryaların dizayn kriterlerinin, güvenlik testlerinin ve kapasite testlerinin belirlenmesi ve standartlarının oluşturulması gerekmektedir. Denizaltı gibi basınçlı bir mukavim tekne içerisinde kullanılacak olan Li-İyon bataryaların her ne kadar daha uzun mesafelere gidebilmeyi sağlaması ve bakım gereksiniminin olmaması bir avantaj olarak ifade edilse de daha önemlisi olan Li-İyon bataryalar için uygulamaya özgü güvenlik konularında dokümantasyon oluşturulması gerekliliğidir.

İtalya Deniz Kuvvetleri'nin denizaltı Li-İyon batarya uygulamalarında, endüstriyel uygulamalarda kullanılan standartları kullandığı görülmüştür. Askeri denizaltı uygulamalarına yönelik çevresel şartların ilgili standartta yer almadığı tespit edilmiştir (U212NFS, 2019). Türk Loydu tarafından hazırlanan Li-İyon batarya kılavuzu sadece su üstü gemi uygulamalarını kapsadığından, denizaltı için uygulanması mümkün değildir.

DNV kurallarında denizaltılarda tahrik amaçlı kullanılan Li-İyon bataryalara uygulanması gereken testler belirlenmiştir. Batarya testlerinin çoğunun endüstriyel standartlardan alındığı sonucuna varılmıştır. Özellikle, askeri denizaltılarda kullanılan Li-İyon bataryaların testlerinde bu dokümanın kullanılmasının doğru olmayacağını ifade etmek gerekir.

VG 96932-120 standardında yer alan Li-İyon bataryalar, askeri denizaltıdan atılabilen su üstü ve denizaltı platformlarını hedef alan torpidoların bir parçasıdır. Standartta Li-İyon bataryanın gerilim ve akım değeri sabit olarak verilmiştir. Askeri denizaltılarda kullanılacak olan Li-İyon bataryaların standartlarının oluşturulmasında kullanılabilir bir standart gibi görünse de sabit gerilim ve akım değerlerine sahip olan bir batarya özelinde oluşturulduğu görülmüştür. Tahrik amaçlı kullanılacak olan Li-İyon bataryalar için uygun gözükmemektedir.

NAVSEA tarafından hazırlanan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı birliklerinde kullanılan cihazlardaki Li-İyon bataryalara yönelik hazırlanan kılavuzun içeriği de tahrik sistemi için kullanılacak olan bataryalar için yetersiz kalmaktadır. İçerik olarak askeri uygulamaları referans aldığı için kullanılması mümkün görülmektedir. Fakat, çeşitli platformlardaki cihazların içerisinde bulunan küçük güçteki Li-İyon bataryaların büyük güçteki depolama sistem isteklerini karşılayamayacağından ve depolama sistemlerinin tek bataryadan ziyade sistem olarak da düşünülmesi gerektiğinden bu teknik dokümanın da değiştirilmeden kullanılması uygun gözükmemektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde ise, denizaltı tahrik sistemi için oluşturulan Li-İyon bataryaların testlerinin, Kore Otomobil Standardı KMVSS 18-3'de geçen güvenlik standartları kullanılarak gerçekleştirildiği görülmüştür (Kim vd.2021). Otomobil ile denizaltının güvenlik hususlarının tamamen birbirinden farklı olduğu düşünüldüğünde güvenlik standartlarının da ayrı olması gerektiği sonucuna kolaylıkla varılabilir.

Askeri denizaltılarda tahrik amaçlı kullanılacak Li-İyon bataryalara ait standartların oluşturulması için incelenen ilgili tüm dokümanlarda karşılaşılan eksiklikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- ❖ Suyu daldırma testi,
- ❖ Hücre ve bataryaların gaz çıkışı testleri,
- ❖ Hücre bazında kullanılacak olan koruma elemanlarının testi,
- ❖ Zamana göre şarj, deşarj ve kapasite eğrilerinin sınır değerleri testi,
- ❖ Sistemde bulunan gaz algılama, gaz tahliyesi, batarya soğutma sistemi, soğutma suyu sızıntısının kontrol testleri,

- ❖ Batarya yönetim sisteminin, batarya koruma mimarisine uygunluğunun kontrolünün yapılması,
- ❖ Bataryalara çevresel MIL-STD- 810 G, şok dayanımı MIL-S-901D, titreşim dayanımı MIL-STD-167-1A, gürültü seviyesi MIL-STD-740-2 testleri uygulanması,
- ❖ TS 3033 EN 60529 standardına uygun IP seviyesinin belirlenmesi

Bu çalışma ile denizaltı tahrik sisteminde kullanılacak olan Li-İyon batarya standartlarının sadece hücre veya bataryaya özgü değil, Li-İyon batarya sistemi olarak değerlendirilip, tüm riskleri en aza indirecek şekilde oluşturulmasına büyük katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Albright, G., Edie, J., Al-Hallaj, S., (2012) “A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications” Published by AllCell Technologies.

Anonim (2023). <https://www.dnv.com/>. Erişim tarihi :10 Kasım 2023.

Buckingham, J., Hodge, C., and Hardy, T., (2008). “Submarine Power and Propulsion-Trends and Opportunities”, Pacific Conference, BMT Defence Services Ltd, Bath, United Kingdom.

Buckingham, J., Hodge, C., and Hardy, T., (2008). “Submarine Power and Propulsion-Application of Technology to Deliver Customer Benefit”, UDT Europe in Glasgow.

DNV (2023). Kısım 6 Ek Klas Notasyonları, Bölüm 2 Tahrik, Güç Üretimi ve Yardımcı Sistemler.

Farhadi, M., and Mohammed, O., (2016). “Energy Storage Technologies for High-Power Applications”, IEEE Transactions On Industry Applications,52 (3),1953-1961.

Govar, C.J., Banner, J.A., (2002). “Safety Testing of Batteries for Navy Devices Using Lithium Ion Technology” Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances, Long Beach, CA, USA.

Kim, B., Sohn S. H., Kang S. (2021). “An Experimental Study on the Charging/Discharging Characteristics and Safety of Lithium-Ion Battery System forSubmarine Propulsion”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 2021.8, (225-233).

Kumar, B.A., Chandrasekar, M., Chelliah, T.R., Ramesh U.S. (2018). “Fuel Minimization in Diesel-Electirc Tugboat Considering Flywheel Energy Storage System”, IEEE International Transportation Electrification Conference & EXPO Asia-Pacific.

Los, S.A., (2017). *Concept Design And Feasibility Study Of An Entirely Battery Powered Naval Submarine* (Yüksek Lisans Tezi). Available from Delft University of Technology Theses database.

Miao, Y., Hynan, P., Jouanne, A., and Yokochi, A., (2019). “Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements”, Energies 2019, 12 (6), (2-20).

McGuinness, M., Benjamin, B. (2003). “Submarine Lead-Acid Battery Performance” University of South Australia, Adelaide.

Pilat, T., Grzeczka, G., Polak, A. (2017). Online Assessment of The Lead-Acid Battery Electrical Capacity on Submarines, *Diagnostyka*, 2017;18(3):69-75.

Psallians, K., (2003). *Forecasting the System-Level Impact of Technology Infusion on Conventional Submarine Design* (Master's thesis). Available from Massachusetts Institute Of Technology Theses database.

Söderström, F. (2016). “Energy Storage Technology Comparison From a Swedish. Perspective” (Master's thesis)., KTH School of Industrial Engineering and Management,İsveç.

S9310-AQ-SAF-010 (2004). Donanmada Kullanılan Li-İon Bataryaların Güvenlik Kriterleri ve Prosedürlerini İçeren Doküman

Torpedo (2017). SeaHake mod4 Heavy Weight Torpedo Technical Document, Atlas Elektronik.

TS EN IEC 62619 (2022). İkincil hücreler ve alkalın veya asit dışı elektrolitler içeren piller-Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, ikincil lityum piller ve bataryalar için güvenlik kuralları

TS EN 62620 (2023). Alkalın veya diğer asidik olmayan elektrolit içeren sekonder hücreler ve piller-Endüstriyel uygulamalarda kullanım için sekonder lityum hücreler ve piller

Türk Loydu (2019). Lityum Pillerin Sertifikasyonu, Kurulumu ve Testi için Yönergeler.

U212NFS (2019). Lithium-Ion Battery System For U212NFS Italian Directorate of Naval Armaments Submarine Support Division. Undersea Defence Technology Sweden.

Verma, J., Kumar, D., (2021) “Recent Developments in Energy Storage Systems for Marine Environment”, Royal Society of Chemistry, 2 ,6800–6815.

VG 96932-120 (2015). Denizaltı Uygulamalarında Kullanılan Şarj Edilebilir 3,2 V 120 Ah Li-İon (LiFePO₄) Batarya Teknolojisi