KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZALTILARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

TAHA ADIGÜZEL

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZALTILARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

TAHA ADIGÜZEL

Prof.Dr. Öğr. Üyesi Engin ÖZDEMİR **Danışman, Kocaeli Üniv.**	**.....**
Prof. Dr. Öğr. Üyesi Ercüment KARAKAŞ **Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**	**.....**
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR **Jüri Üyesi, Düzce Üniv.**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.01.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesinin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsünün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

[X] Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

[ ] Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Taha ADIGÜZEL

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesine verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Taha ADIGÜZEL

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünya genelinde ülke savunmalarında donanmaların önemli bir unsuru olan denizaltılar incelenmiştir. Konvansiyonel denizaltılar su altında kaldıkları sürece en önemli özellikleri olan gizliliklerini sürdürebilmektedirler.

Denizaltıların su altında gizliliklerini muhafaza edebilmelerini çeşitli parametreler etkilemektedir. Bu parametrelerin başında depoladıkları enerji miktarı başrol oynamaktadır.

Bu çalışmada, literatürde denizaltılarla ilgili derin bir araştırma yapılmış olup denizaltılardaki enerji depolama yöntemlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca denizaltılarda enerji depolama konusunda teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni tekniklerin uygulanabileceği açıklanmıştır.

Tez çalışması sürecinde desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR'e, teknik destek sağlayan amirim Elk. Y. Müh. A. Saygun SAYGI'ya, çalışma arkadaşlarım Mak. Müh. Dinçer UĞUZTEMUR ve Ed. Öğr. Muhammet BAYRAM'a, aileme, oğlum Aslan Ali ADIGÜZEL ve sevgili eşim Betül ADIGÜZEL'e teşekkür ederim.

Ocak - 2023 Taha ADIGÜZEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK BEYAN VE ARTAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
1. GİRİŞ 1
2. DENİZALTILAR 2
2.1. Denizaltıların Tarihçesi 2
2.1.1. Denizaltıların Harekat Durumları 3
2.1.2. Satik Dalma 4
2.1.3. Dinamik Dalma 5
2.1.4. Denizaltıların Ana Tahrik Kuvveti 6
2.2. Denizaltı Sistemleri 6
2.2.1. Denizaltı Şnorkel Sistemleri 7
2.2.2. Denizaltı Sonar Sistemleri 9
2.2.3. Denizaltı Radar Sistemleri 11
2.2.4. Denizaltı Harici Havalandırma Sistemleri 12
2.2.5. Denizaltı Dahili Havalandırma Sistemleri 13
2.2.6. Denizaltı Elektrik Sistemleri 15
3. DENİZALTI TAHRİK SİSTEMLERİ 19
3.1. Konvansiyonel Denizaltılarda Tahrik Sistemleri 20
3.2.1. Elektirik Motorlu Tahrik Sistemleri 20
3.2.2. Hibrit Tahrik Sistemleri 21
3.2.3.1. Walter Türbini Tahrik Sistemi 22
3.2.3.2. Kapalı Devre Dizel Tahrik Sistemleri 24
3.2.3.3. Stirling Motorlu Tahrik Sistemleri 25
3.2.3.4. Buhar Tirbünli Tahrik Sistemleri 26
3.2.3.5. Yakıt Pili Tahrik Sistemleri 27
3.3. Nükler Denizaltı Tahrik Sistemleri 29
4. DENİZALTILARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ 31
4.1. Bataryalar 31
4.1.1. Kurşun Asit Bataryalar 34
4.1.2. Nikel Kadminyum Bataryalar 40
4.1.3. Lityum Bataryalar 43
4.1.4. Katı Hal (Solid State) Bataryalar 51
4.1.5. Denizaltı Batarya Kapasitesi Hesaplama Yöntemi 54
4.2. Dizel Jeneratör Sistemi Yakıt Depolama 56
4.2.1. Dizel Yakıt Depolama 56
4.3. Yakıt Pili Sistemi 60
4.3.1. Hidrojen Depolama 64
4.3.2. Oksijen Depolama 71
4.4. Nükleer Denizaltıarda Kullanılan Enerji Depolama Yöntemleri 78

5. DÜNYADAKİ VE ÜLKEMİZDEKİ YENİ NESİL DENİZALTILAR 82
6. SONUÇ 88
KAYNAKLAR 91
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 96
ÖZGEÇMİŞ 97

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Denizaltının Statik Dalıştaki Hava Sarnıçlarının Durumu 4
Şekil 2.2. Denizaltı Baş ve Kıç Ufki Dümenler Kullanılarak Denizaltının Dalışı 5
Şekil 2.3. Denizaltı Sistemleri yerleşim Şekli 7
Şekil 2.4. Şnorkel Yükseltilmiş USS U-3008 (eski Alman denizaltısı U-3008) 8
Şekil 2.5. Aktif Sonar Yerleşim Şekli Gösterimi 10
Şekil 2.6. Pasif Sonar Çalışma Şekli 11
Şekil 2.7. Denizaltı Gemileri Radar Ekranı ve Radar Direği 12
Şekil 2.8. Denizaltı Havalandırma Sistemi Resmi 13
Şekil 2.9. Konvansiyonel Bir Denizaltının Havalandırma Sistemi 15
Şekil 2.10. Denizaltı Elektrik Sistemi Diyagramı 16
Şekil 2.11. Tipik Denizaltı Elektrik Sistemi Şeması 18
Şekil 3.1. Denizaltı Tahrik Sistemi Görseli 19
Şekil 3.2. Çift Armatürlü Denizaltı Motoru Kesiti 21
Şekil 3.3. Walter türbininin çalışma Diyagramı 23
Şekil 3.4. Alman U-1 Denizaltısına 1990'lardaki Modern KDD Sistemi 25
Şekil 3.5. Denizaltıda Kullanılan Stirling Motoru Resmi 26
Şekil 3.6. Buhar Tirbünli Tahrik Sistemi Diyagramı 27
Şekil 3.7. Yakıt Pili Kimyasal Reaksiyonu Diyagramı 28
Şekil 3.8. Siemens Fuel Cell Yakıt Pili 29
Şekil 3.9. Nükleer Reaktör Çalışma Diyagramı 30
Şekil 4.1. Farklı Batarya Çeşitlerinin Enerji Yoğunluğu Karşılaştırılması…. 33
Şekil 4.2. Kurşun Asit Denizaltı Bataryası 36
Şekil 4.3. Kurşun Asit Denizaltı Bataryasının Şarj Durum Karakteristiği 37
Şekil 4.4. Kurşun Asit Denizaltı Bataryasının Deşarj Akım Karakteristiği 38
Şekil 4.5. Kurşun Asit Bataryaların Çalışma Prensibi 39
Şekil 4.6. Ni/Cd Batarya Şarj Deşarj Karakteristik Eğrisi 41
Şekil 4.7. Ni/Cd Bataryaların Batarya Yapısı ve Kimyasal Reaksiyonu 42
Şekil 4.8. Lityum İyon Elementi 45
Şekil 4.9. Lityum İyon Hücre Yapısı 46
Şekil 4.10. Farklı Batarya Teknolojilerinin Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması 48
Şekil 4.11. Lityum Bataryanın Deşarj Kurşun Asit Bataryayla Karşılaştırılması 48
Şekil 4.12. GAIA Firmasının Denizaltı Lityum Batarya Hücresi 50
Şekil 4.13. Lityum Denizaltı Batarya Modülü 51
Şekil 4.14. Li-ion Batarya Diyagramı ve Katı Hal Batarya Diyagramı 53
Şekil 4.15. Örnek Denizaltı Batarya Odası 56
Şekil 4.16. Tipik Denizaltı Akaryakıt ve Balast Tankı 58
Şekil 4.17. Dizel Elektrik Tahrikli Denizaltı Tank Planı 60
Şekil 4.18. Dört AIP Sisteminin Oksijen Tüketim Oranları 62
Şekil 4.19. Bir PEMFC Yakıt Hücresi Çalışma Şeması 64
Şekil 4.20. Hidrojen Depolama Teknolojileri 65
Şekil 4.21. Hirojenin Metal Hidrid Şeklinde Depolanması 68
Şekil 4.22. Hirojenin Metal Hidrid Şeklinde Depolanmasının Gösterimi…….....68
Şekil 4.23. Çeşitli Yakıtların Hidrojen İçeriğinin Karşılaştırılması 70
Şekil 4.24. Oksijen (Kırmızı) ve Metanol (Sarı) Tanklarının Kesit Görünümü 72
Şekil 4.25. Denizaltılarda Yakıt ve Oksidan Depolama Gösterimi 73
Şekil 4.26. Alman 212 Denizaltısı LOX Tankı 73

Şekil 4.27. Torroidal Gazlı Oksijen Depolama Konsepti 74
Şekil 4.28. Denizaltıda (205 Sınıfı Alman Denizaltısı) Sıvı Oksijen Depolama 76
Şekil 4.29. 44 İnç UUV Oksijen Tedarik Konsepti 77
Şekil 4.30. Oksijen Depolama Metotlarının Karşılaştırılması 78
Şekil 4.31. ABD Ait Virginia Sınıfı Nükleer Denizaltı Genel Görünümü 80
Şekil 4.32. Rusya Devleti Typhoon Sınıfı Nükleer Denizaltısı Genel Görünümü 81
Şekil 5.1. Columbia Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü 83
Şekil 5.2. Bore II Denizaltısının Genel Görünümü 83
Şekil 5.3. Tip- 095 Sınıfı Denizaltısının Genel Görünümü 84
Şekil 5.4. Barracuda Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü 85
Şekil 5.5. Type 214 TN Reis Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü 87

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Denizaltılarda Örnek Güç Tipleri ve Elektrik Yükleri 17
Tablo 4.1. Denizaltılarda Kullanılan Batarya özellikleri 32
Tablo 4.2. Batarya Teknolojileri 32
Tablo 4.3. Kurşun Asit Bataryaların Denizaltılarda Avantaj ve Dezavantajları 39
Tablo 4.4. Aynı Güçteki Kurşun Asit ve Nic/Cd Bataryanın Karşılaştırması 40
Tablo 4.5. Ni/Cd Bataryaların Avantaj ve Dezavantajları 43
Tablo 4.6. Lityum İyon Bataryaların Avantaj ve Dezavantajları 47
Tablo 4.7. Katı Hal Pillerin Lityum İyon Piller İle Karşılaştırılması 53
Tablo 4.8. Çeşitli Yakıtların Hidrojen İçeriği Gösterilmiştir 71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

RPM	:	Revolutions Per Minute, (Dakikadaki Devir Sayısı)
ASW	:	Anti Submarine Warfare, (Denizaltı Savunma Harbi)
CO	:	Carbon Monoxide, (Karbonmonoksit)
ESM	:	Electronic Supplied Measurement, (Elektromanyetik Dalga Tespit Anteni)
H	:	Hidrojen
HBT	:	Havadan Bağımsız Tahrik
H2O	:	Su
KDBT	:	Kapalı Devre Buhar Türbini
KDD	:	Kapalı Devre Dizel
Li	:	Lityum
LOX	:	Liquid Oxygen, (Sıvı Oksijen)
Na	:	Sodyum
O	:	Oksijen
OH	:	Hidroksit
PEMFC	:	Proton Exchanged Membrane Fuel Cell, (Proton Değişimli Zar Yakıt Pili)
SOFC	:	Solid Oxide Fuel Cell, (Katı Oksit Yakıt Pili)
AIP	:	Air Independent Propulsion, (Havadan Bağımsız Sevk Sistemi)
DCN	:	Direction des Construction Navales, (Gemi İnşa Müdürlüğü)
FTDA	:	Fırçasız Tip Doğru Akım
MESMA	:	Module d'Energie Sous Marine - Autonome, (Otonom Denizaltı Enerji Modülü)
MIT	:	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü

DENİZALTILARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde denizaltılar ülkelerin deniz kuvvetlerinin önemli bir savaş unsurunu oluşturmaktadır. Dizel jeneratör tahrikli olan klasik denizaltılar dünya donanmalarının önemli bir kısmını oluşturur ve ülke savunmasında gerekli katkıyı sağlarlar. Dizel jeneratör tahrikli denizaltılar, denizaltıda bulunan dizellerin dizel makineye akuple şekilde bulunan jeneratörü tahrik ederek bünyesinde yer alan denizaltı bataryalarını şarj ederek enerji elde etme mantığına dayanır. Dizel jeneratör sistemi, denizaltıların bataryalarını şarj ederken denizaltı su yüzeyine çıkma ihtiyacı duyar ve bu durumda bataryalarını şarj eder. Denizaltının içinde bulunduğu bu duruma şnorkele çıkma durumu denir. Bu durum savaş gemileri olan denizaltılar için istenmeyen bir durumdur. Çünkü denizaltılar su yüzeyine çıkmadan ne kadar gizliliklerini korursa bu durum denizaltı için o kadar iyidir. Denizaltılar su altında gizliliklerini uzun süre muhafaza edebilmek için çeşitli kaynaklara ihtiyaç duyarlar. Bu kaynaklardan en önemlisi denizaltının ihtiyaçlarını karşılaması için enerji depolamasıdır. Bu husus bize denizaltılar için enerji depolamanın önemini gözler önüne sermektedir. Enerji depolama denizaltıların gizliliklerini korumalarında baş faktörü olduğundan bu tezde denizaltıların enerji depolama yöntemleri titizlikle irdelenmektedir. Denizaltılarda farklı şekilde enerji depolama yöntemleri bulunmaktadır. Ayrıca bahse konu tezde sualtı gemileri olan denizaltılarda kullanılan denizaltı batarya çeşitleri, havadan bağımsız tahrik sistemi, enerji depolama yöntemleri ve enerji depolamayla ilgili olan denizaltılarda kullanılan dizel jeneratörler, yakıt pilleri, nükleer denizaltılarda kullanılan depolama yöntemi ve bunlarla ilgili olan sistemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dizel jeneratör tahrikli denizaltılarda kullanılan en önemli enerji depolama yöntemlerinin bataryalar olduğu göz önünde bulundurulduğunda bataryaların gelişiminin denizaltılarda enerji depolama açısından büyük önem arz ettiği görülmektedir. Bu yüzden de bu tezde özellikle denizaltılarda kullanılan çeşitli batarya teknolojileri üzerinde önemle durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Batarya, Denizaltı, Depolama, Enerji, Teknoloji, Yakıt Pili.

INVESTIGATION OF ENERGY STORAGE METHODS IN SUBMARINES

ABSTRACT

Today, submarines constitute an important element of warfare in the naval forces of countries. Classical submarines with diesel generator drive constitute an important part of the world's navy and provide the necessary contribution to the defense of the country. Diesel generator driven submarines are based on the logic of obtaining energy by charging the submarine batteries within the submarine by driving the generator coupled to the diesel machine in the submarine. While the diesel generator system is charging the batteries of the submarines, the submarine needs to come to the surface of the water, in this case, it charges its batteries, and this situation that the submarine is in is called snorkeling. This situation is undesirable for submarines, which are warships. Because the more the submarines protect their privacy before they come to the water surface, the better for the submarine. Submarines need a variety of resources to keep their privacy underwater for a long time. One of them, even one of the most important resources, is energy storage to meet the needs of the submarine. This point shows us the importance of energy storage for submarines. Since energy storage is the main factor in protecting the privacy of submarines, the energy storage methods of submarines are meticulously examined in this thesis. There are different energy storage methods in submarines. In addition, in the aforementioned thesis, submarine battery types used in submarines that are underwater ships, air-independent propulsion system energy storage methods and diesel generators used in submarines related to energy storage, fuel cells, storage method used in nuclear submarines and related systems are examined in detail. Considering that batteries are the most important energy storage methods used in diesel generator driven submarines, it is seen that the development of batteries is of great importance in terms of energy storage in submarines. Therefore, in this thesis, various battery technologies used in submarines are emphasized.

Keywords: Battery, Energy, Fuel Cell, Storage, Submarine, Technology.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada denizaltılar deniz savaşlarında önemli bir caydırıcı güç haline gelmiştir. Bundan dolayıdır ki denizaltı dizaynı yapan kişiler, denizaltıların ülkelerin savaş gücüne olan etkisini düşünerek denizaltıların tasarımlarının geliştirilmesinde bu hususa önem vermişlerdir. Denizaltıların daha fazla su altında kalarak gizliliklerini korumaları için denizaltı tasarımcıları çalışmaktadır. Ancak dizel jeneratör tahrikli klasik denizaltılar bataryalarında depoladıkları elektrik enerjisi bittiğinde bataryalarını yeniden şarj etmek için su yüzeyine çıkar ve bu olay denizaltı dilinde şnorkel yapma olayıdır. Burada hem dizel makinenin çalışması için ihtiyaç duyulan hava temin edilir hem de dizel makineden dolayı çıkan egzoz gazı atılmış olur. Fakat denizaltılarda su altında kalmak için çeşitli enerji depolama yöntemleri geliştirilmiştir. Hali hazırda klasik dizel tahrikli denizaltıların su altında yaklaşık olarak bir hafta kalabildikleri bilinmektedir.

Hâlâ dünya donanmalarında kullanılan konvansiyonel denizaltılar mevcut tahrik sistemlerinde yer alan dizel jeneratörler ile bataryalarını şnorkel durumundayken şarj ettikten sonra dalış durumuna geçerler. Klasik bir denizaltı, dalmış durumdayken enerji ihtiyacını yalnızca bataryalarından sağlar. Denizaltının enerji ihtiyacını karşılayan bataryalar bitme seviyesine yakın bir seviyeye geldiğinde denizaltı tarafından tekrar şnorkele çıkma zorunluluğu meydana gelir. Fakat klasik denizaltılara nazaran yeni bir teknoloji olan ve denizaltılara uyarlanan havadan bağımsız yakıt pili sistemi, denizaltının daha fazla su altında kalarak su altında kalma süresini önemli ölçüde artırmıştır. Burada denizaltının ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi, denizaltıda özel şartlarda depolanmış olan hidrojen ve oksijenin yakıt pili kullanılarak elektrik enerjisi elde etme metodu ile elektrik enerjisi elde etmesidir. Bundan dolayı denizaltılar enerji depolamanın gelişimine bir basamak olarak da yakıt pili teknolojisi gösterilmektedir. Bu durum denizaltılarda farklı enerji depolama teknolojilerinin önemini ortaya koymaktadır. Denizaltılarda yakıt olarak dizel depolanmakla birlikte artık yakıt pili teknolojisine sahip denizaltılarda yakıt olarak hidrojen ve oksijende depolanmaktadır. Depolanan bu yakıtlar dizel jeneratör setleri ve yakıt pili sistemi tarafından elektriğe dönüştürülerek denizaltıların elektrik enerjisi depolama sistemi olan batarya sistemlerinde depolanırlar. Depolanan bu elektrik enerjisi denizaltıların ihtiyaç duyduğu itki gücünü sağlayan elektrik motorlarında kullanılır ve yardımcı sistemlerinin ihtiyaç duyduğu elektrik ihtiyacını karşılar.

2. DENİZALTILAR

2.1. Denizaltıların Tarihçesi

Dünyada deniz savaşlarında su altı savaş teknolojisinde denizaltılar önemli bir yere sahiptir. Denizaltıların ilerleyen süreçlerde nasıl bir teknolojik geleceğe sahip olacağını görmek için denizaltıların tarihine bakmakta fayda vardır. Denizaltılar Birinci Dünya Savaşı'nın kaderini önemli ölçüde etkileyen, İkinci Dünya Savaşı'nda gittikçe önem kazanan deniz harbinin vazgeçilmez unsurları haline gelmişlerdir. Soğuk Savaş süresince savaşın anahtarı konumundadırlar (Karau, 2003). Birinci Dünya Savaşı sırasında bazı ülke denizaltıları genellikle sivil gemilere, az da olsa askeri gemilere karşı kullanılmışlardır. Bundan dolayı denizaltı savunma harbi (ASW) meydana gelmiştir. Fakat İkinci Dünya Savaşı bitimine kadar denizaltıların ve denizaltı savunma gemilerinin savaş kabiliyetleri ve sayıları da az gelişme göstermiştir. Hızı yüksek olmayan, dalmış durumda çok kalamayan, en fazla bir iki gün durabilen, su üstündeyken telsiz ya da radar kullanarak iletişim yapabilen bu savaş gemileri su altında durabilir gemi (Submersible) olarak ifade edilmektedir (Johnson, 2020).

Savaş bölgesinde savaş süresince nerede ise zamanın tamamını su altında geçirebilen yeni nesil denizaltılar ise İkinci Dünya Savaşı'nın bitiminden sonra Soğuk Savaş'ın başlarında donanmaların envanterine girmiştir. Ana tahrik sistemleri göz önünde bulundurulduğunda denizaltılar "klasik veya konvansiyonel" ve "nükleer denizaltılar" olmak üzere iki gruba ayrılır. Klasik denizaltılar dizel-elektrik ve bataryalı tahrik sistemlerini bulundurmaktadır. Yakın dönemlerde yaklaşık 20-25 yılda gelişen yakıt pili, Stirling (Dıştan Yanmalı) Makinesi veya MESMA (Stim Çevrimi) gibi havadan bağımsız tahrik sistemleri (HBT) klasik denizaltıların su altında kalma sürelerini efektif ölçüde yükseltmiştir.

Denizaltıların geçmişine bakıldığında ilk denizaltı tasarımcılarının başında Leonardo Da Vinci'nin geldiği görülmektedir. Daha sonraları 1580 yılında William Bourne bir denizaltı tasarımı yaptı. Fakat William Bourne istediği başarıyı sağlayamadı. Daha sonraları 1620 yıllarında kendisi bir fizikçi olan Hollandalı bilim insanı Cornelius Van Drebbel, bir denizaltı tasarlamayı başarmıştır. Kendisi tarafından tasarlanan bu denizaltı, İngiltere'de bir nehrin içinde denendi ve bu denemenin sonucunda bahse konu denizaltı

tamamen olmasa bile kısmen başarılı oldu. Zira denizaltı nehirde yaklaşık olarak 5 metre kadar suya dalmayı gerçekleştirmişti. Türk denizaltıcılık tarihi açısından bakıldığında 1720 yıllarında Osmanlı Devleti'nde bulunan Türk mühendisler İstanbul'da bir denizaltı tecrübesi gerçekleştirdiler. Bu tecrübeyle denizaltı suyun altında 2 saat durabilmişti (Harris, 1997).

Haberleşme ve iletişim teknolojileri gibi radar sistemlerinin gelişmeye başlamasıyla denizaltılarda da büyük gelişmeler görülmeye başlandı. Başta Almanya, ABD ve Rusya gibi pek çok ülke su altında dalmış durumda uzun süre gizliliklerini koruyabilmek ve istihbarat toplamak amacıyla mevcut denizaltıları geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Almanlar 1902 yılında başarılı bir denizaltı yapmışlardır. Yapılan ilk dizel motorlu denizaltı 1904'te Fransa'da yapılan "Aigette" denizaltısıdır. Alman mühendisler 1943 yılında şnorkel sistemini dizayn ederek denizaltıların gelişimine önemli bir katkıda bulundular. Bu sistem denizaltıların sudaki görev sürelerinin uzatılmasında önemli bir katkı sağlamıştır. Fakat Amerikalı mühendisler tarafından 1954'de ilk nükleer denizaltı inşası gerçekleştirilmiş olup, USS Nautilus inşa edilerek, denizaltı tasarımında ve teknolojisinin gelişmesine farklı bir bakış açısı meydana getirmişlerdir. ABD tarafından yapılan USS Triton nükleer denizaltısı, daha sonraları su yüzeyine çıkmadan dünya çevresini gezmiştir (URL-1).

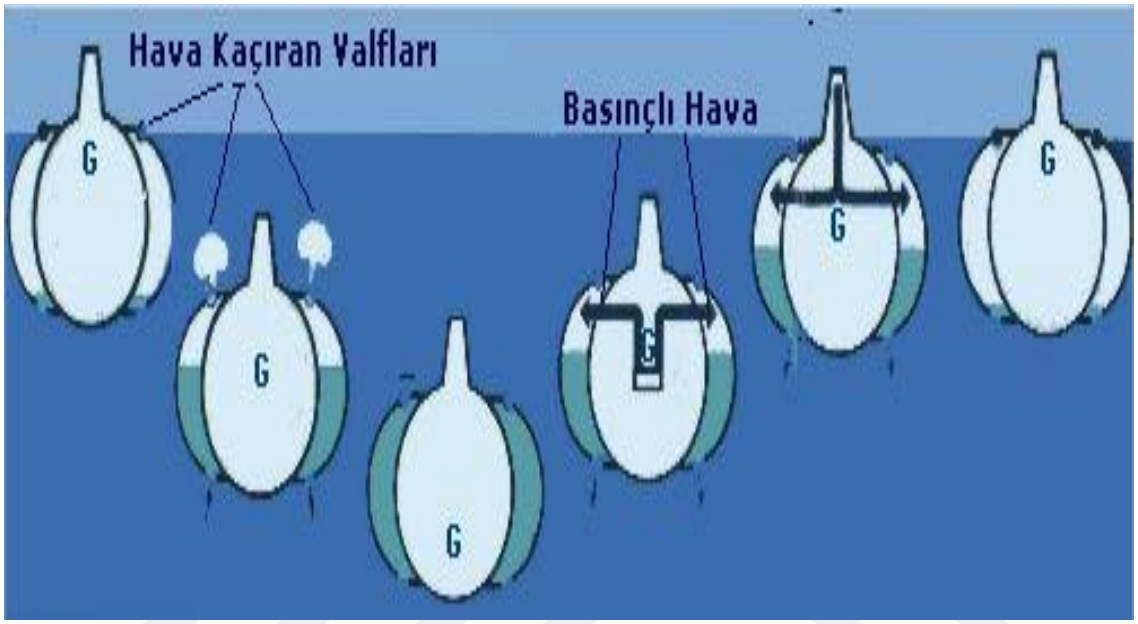
2.1.1. Denizaltıların Hareket Durumları

Denizaltıların suyun dibine dalış yapmaları veya su üstüne çıkarak seyir yapabilmeleri için bazı çevresel şartları göz önünde bulundurmaları önem arz eder. Bu hususlar; deniz suyunun sıcaklığı, deniz suyunun basıncı ve deniz suyunun tuzluluk yönünden yoğunluğudur. Denizaltılar yukarıda bahsedilen çevresel şartlara dikkat ederek statik ve dinamik dalışlarını yaparlar.

2.1.2. Statik Dalma

Denizaltılarda statik dalma durumunda denizaltının bünyesinde yer alan hava sarnıçlarındaki hava, denizaltıcı operatör personel tarafından ihtiyaç duyulan miktar kadar dışarı atılarak denizaltı dalış moduna geçirilir. Sarnıçlardan boşaltılan havanın yoğunluğu sarnıca giren suyun yoğunluğundan daha az olduğu için denizaltı aşağı yönlü

hareket ederek dalışa geçecektir. Bu durum denizaltının askıda kalacak şekildeki duruma gelene kadar operatörler tarafından kontrol edilerek sağlanacaktır. Denizaltının dalışı belli bir açıyla gerçekleşeceğinden denizaltıda bulunan kullanıcı personel bu durumdan minimum seviyede etkilenmiş olur. Denizaltıların statik dalışı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



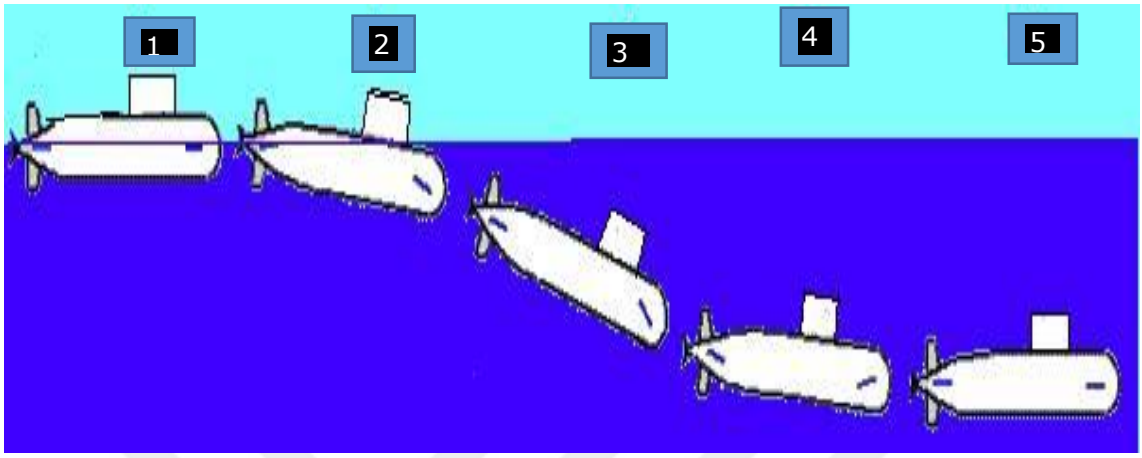
Şekil 2. 1. Denizaltının Statik Dalıştaki Hava Sarnıçlarının Durumu (URL-2).

Denizaltının sarnıçlarına alınan su fazla ise denizaltı dalmaya devam eder ve bu durum operatörün istemediği bir durumdur. Ancak denizaltı sarnıçlarına az su alınırsa bu seferde denizaltı operatörün istediği kadar dalmayacak ya da alınan su miktarının azlığına göre su üstünde kalmaya devam edecektir ve bu durumda operatör tarafından istenmeyen bir durumdur.

2.1.3. Dinamik Dalma

Denizaltı dinamik dalış durumunda bünyesinde yer alan denizaltı baş ve kıç dümenlerini çalıştırarak dalışa geçer. Denizaltının dinamik dalışını sağlayan dümenler, baş ufki ve kıç ufki dümenler olarak adlandırılır. Baş ufki dümenler denizaltı kullanıcı personel tarafından denizaltının hızı yükseltilerek çalıştırılınca, denizaltı dalma pozisyonuna geçerek dalmaya başlar; diğer taraftan kıç ufki dümenler ise denizaltının stabilitesini koruyarak sancak veya iskeleye doğru meylini korumasını sağlar. Böylelikle denizaltı

dalış yaparken aşağı yukarı yönlü ve sancak iskele yönlü hareketlerden minimum etkilenmiş olur. Bu da denizaltı personelinin güvenli bir şekilde dalışını yapmasında önemli bir rol oynamış olur. Denizaltı dinamik dalışı Şekil 2. 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Denizaltı Baş ve Kıç Ufki Dümenler Kullanılarak Denizaltının Dalış Durumu (URL-3).

Durum 1: Denizaltı su üstü seyrini gerçekleştirmektedir.

Durum 2: Denizaltı dalma sarnıçlarına ait hava kaçıran valflerini açarak sarnıçlardan hava boşaltılıp sarnıçlara deniz suyu dolar. (Statik dalış başlangıcı)

Durum 3: Denizaltıda kıç ufki dümenin meyillendirdiği denizaltı, suyla ve baş ufki dümenin etkisiyle dalışa geçiyor. (Dinamik dalış başlangıcı)

Durum 4: Denizaltı istenilen derinliğe ulaştığında kıç ufki dümen meyli düzeltip dalış işlemini sonlandırır.

Durum 5: Denizaltı için ağırlıklar eşitlenmiştir ve trimi ayarlanmış pozisyondur. Dümenler ilk durumuna gelerek dümenler sıfırlanmıştır.

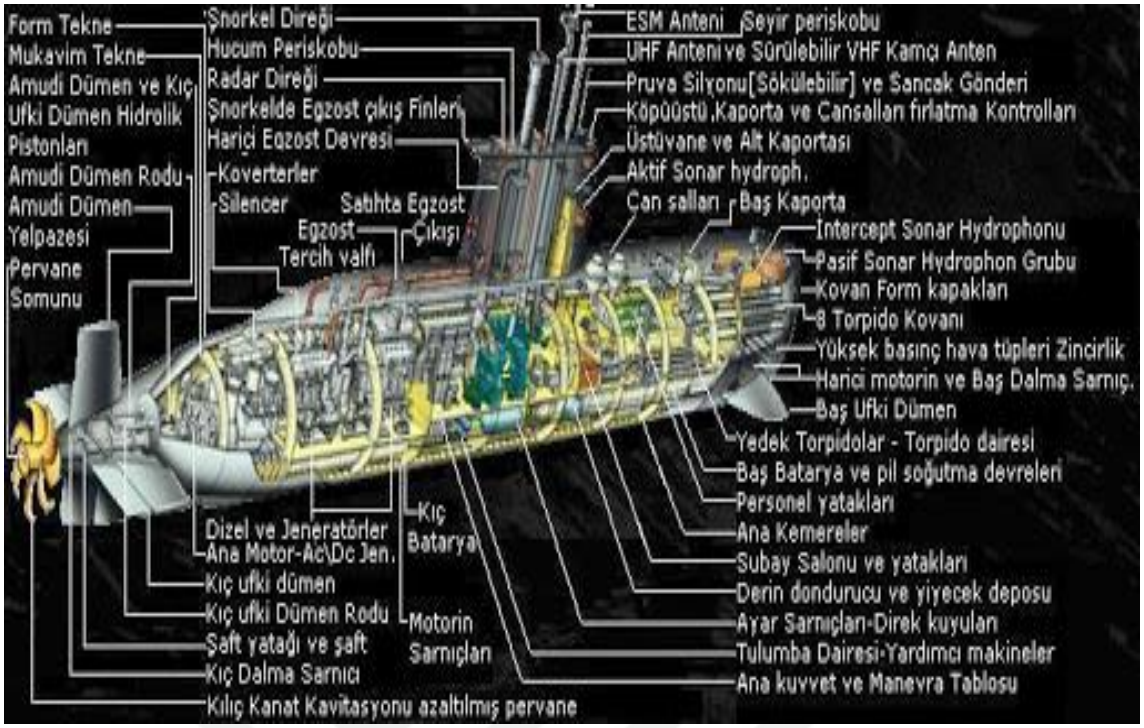
Denizaltının dalmış durumda su üstüne çıkması ise denizaltının dalmış durumunun tersi bir durum ile sağlanır. Dalma sarnıçlarına yüksek basınçlı hava verilerek denizaltının su üstüne belli bir açıyla çıkması sağlanır. Böylelikle denizaltı sorunsuz bir şekilde su yüzeyine çıkarak sualtı görevini icra etmiş olur. Denizaltıda hemen hemen her sistemin yedekli olması unutulmamalıdır. Sarnıçlara yüksek basınçlı havayı sağlayan sistemde yedeklidir.

2.1.4. Denizaltıların Ana Tahrik Kuvveti

Konvansiyonel denizaltılarda ana tahrik kuvvetinin oluşturulması dizel jeneratör setlerinin çalıştırılması ile oluşur. Denizaltı şnorkel durumundayken dizeller jeneratörleri tahrik ederek elektrik enerjisi oluşturur. Oluşturulan bu elektrik enerjisi denizaltının elektrik enerjisi depoladığı elektrik batarya grupları tarafından depolanır. Denizaltı dalmış duruma geçtiğinde ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi batarya grupları tarafından denizaltının ana tahrik kuvvetini oluşturan elektrikli ana motora verilir. Ana motor bir şafta bağlı olarak denizaltının hareketini sağlayacak kuvveti denizaltının pervanesine ulaştırarak denizaltının su altında hareketini sağlar. Bu hareket modeli 1890'lı yıllarda Ward- Leonard tarafından geliştirilen Dizel Motor-Jeneratör-DA sistem çalışma prensibine dayanır. Denizaltı tahrik kuvvetini denizaltı su üstündeyken dizel jeneratör setini çalıştırıp bataryalarını şarj ederek meydana getirir (Kalaycıoğlu, 2003).

2.2. Denizaltı Sistemleri

Denizaltılar, su altında seyir gerçekleştirdiğinden ve denizaltıların su altındaki gizliliği önemli olduğundan denizaltılar gelişmiş seyir sistemlerine sahip olmak zorundadırlar. Denizaltılarda verilen görevlerin başarıyla tamamlanması ve emniyetli bir şekilde geminin seyir yapması ve dost/düşman diğer deniz unsurlarının görülmesini ve bilinmesini ortaya çıkaran denizaltı sistemlerine denizaltı alıcıları denir. Denizaltıların en önemli kabiliyetlerinin başında gizlilik gelmektedir. Konvansiyonel denizaltılar, enerji kapasitesi bakımından nükleer denizaltılar gibi olmadığından ve karşı saldırı olduğu zaman süratle bulunduğu yeri terk edemediğinden gizlilik bu tarz denizaltılar için farklı bir önem arz eder. Bu nedenle aktif alıcılarını kullandığında daha dikkatli davranır. Fakat nükleer denizaltılar ise klasik denizaltılara göre daha süratli gidebildiğinden ve daha derine dalabildiğinden bu husus nükleer denizaltının aktif alıcılarını kullanması noktasında ona büyük bir avantaj oluşturur. Bundan dolayı nükleer denizaltılarda ses izi oluşturma riski konvansiyonel denizaltılara göre daha yüksektir. Örneğin nükleer denizaltılardaki reaktörü soğutmak için sürekli çalışmak durumunda olan pompalar yüksek gürültüye neden olur. Bu husus bir risk teşkil eder. Şekil 2.3'de konvansiyonel denizaltıların genel sistem yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Denizaltı Sistemleri yerleşim Şekli (URL-5)

2.2.1. Denizaltı Şnorkel Sistemleri

Denizaltı şnorkeli, denizaltıların su yüzeyinin üstünden hava almaya devam ederken suyun belirli bir derinliğinden denizaltının çalışmasına izin veren bir sistemdir. İngiliz Kraliyet Donanması personeli tarafından bu sisteme "sık sık homurtu" da denilmekteydi. Şnorkel sistemi denizaltılarda kullanılmaya başlanınca denizaltının dizel yakıtı olduğu sürece ve denizaltının şnorkeli ile dizel makineye hava sağladığı zamanlarda denizaltılar bünyelerindeki dizel jeneratör setleri ile bataryalarını denizde şarj edebilmekteydi. Bu husus denizaltının limana uğrayıp bataryalarını liman şarj etmesinin önünü keserek denizaltıya önemli bir avantaj sağlamış oldu. Böylece şnorkel gibi bir sistem denizaltıları bir adım daha ileriye götürerek denizaltı tasarımında mühendislere ileriye dönük büyük bir pencere aralamış oldu. Hollandalı mühendisler tarafından tasarlanan bir konsept, 2. Dünya Savaşı'nın sonuna doğru Alman U botlarında kullanıldı ve Almanlar tarafından bir Schnorchel olarak biliniyordu (Love ve Keegan, 1990). Şekil 2.4'de ise Almanlar tarafından tasarlanmış bir denizaltının şnorkeli yükseltilmiş bir şekilde gösterilmiştir. Bu sistem Alman denizaltısına kendi dönemine göre önemli bir avantaj sağlamıştır.



Şekil 2.4. Şnorkel yükseltilmiş USS U- 3008 (eski Alman denizaltısı *U-3008*) kumanda kulesi (Love ve Keegan, 1990).

Denizaltılarda şnorkeller denizaltıların dizel motorlarını su altındayken kullanmalarına izin verse de denizaltının kullanımına sınırlamalar getirebiliyordu.

Ancak şnorkel kullanımının neden olduğu en çarpıcı etki, denizaltılarda kısmen vakum oluşturmalarıydı. İlk yapılan şnorkellerde (deniz suyunun dalgaların dizel motorlara emilmesini önlemek için) sert havalarda şnorkelin kapanıp motorları teknenin içinden hızla hava çekmeye zorlayabilen otomatik bilyeli valfler mevcuttu. Basınçtaki ani düşüşler, denizaltıda bulunan personelin kulaklarında aşırı ağrı yaşamasına ve bazen kulak zarlarının yırtılmasına neden olmaktaydı. Atmosferik basınç daha sonra küresel vana valfini sıkıca kapalı tutacak ve tekneyi dizel motorlarını ve yüzeyini kapatmaya zorlayacaktır (Ireland, 2003). Denizaltıda, herhangi bir ani basınç düşüşü oluştuğunda suya dalmış denizaltının motorlarını kapatan yüksek vakumlu kesme sensörlerinin harekete geçmesi ile bu etki azaltılır. Benzer şekilde, gelişmiş şnorkellerin arıza korumalı bir tasarımı bulunmaktadır. Burada bulunan bir elektrik devresi, güçlü bir yayın çekişine karşı "baş valfini" açık tutan bir basınçlı hava sisteminin kontrolünü sağlar. Suyun dalgaları açıkta kalan kontaklara değindiğinde, kontrol devresi kırılır, basınçlı havayı boşaltır ve kafa valfinin çarparak kapanmasını sağlar. Vana ve kontaklar tekrar sudan arındırıldığında basınçlı hava ile hemen yeniden açılması sağlanır.

Şnorkeller gazları içeri çekmek ve havalandırmak için tasarlandığından, bir denizaltının dizel egzozu yüzeyde yaklaşık 4,5 km (2,8 mil) mesafeye kadar görülebiliyordu (Schull, 1961).

2.2.2. Denizaltı Sonar Sistemleri

Denizaltılarda Sonar (Sound Navigation and Ranging) sistemleri ses dalgalarını kullanarak cismin boyut, uzaklık ve diğer verilerini görmemize yarayan cihazlardır. Sesin su altında yayılmasını kullanarak su altında/üstünde gezmeyi, haberleşmeyi ve diğer cisimleri tespit etmeyi sağlayan bir sistemdir.

Sonar İngilizce "Sound Navigation and Ranging" ifadesinin kısaltımı olan, ses dalgalarıyla bir cismin uzaklığını, boyutunu ve diğer verileri hakkında bilgi almak için kullanılan cihazın ismidir. Sonar sistemi ilk önceleri denizaltılarda kullanılmak için tasarlanmışlardır. Ses dalgalarının su altında yayılması özelliğinden faydalanılarak, su altında/üstünde gezinmeyi, mesafe aralığını hesaplamayı, haberleşmeyi ve diğer unsurlar hakkında bilgi edinmeyi sağlayan sistemdir. Bazı canlılar sonar tekniğini kullanırlar. Örneğin; yunuslar iletişim için, yarasalar ise yön bulmada kullanır. Sonar sistem, aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif sonar, gemiler tarafından yapılan sesi dinlemektedir; aktif sonar, atış sesleri yayar ve yankıları dinleyerek etrafındaki unsurları tanır (Schulz ve Wiegand, 2018).

Aktif Sonar:

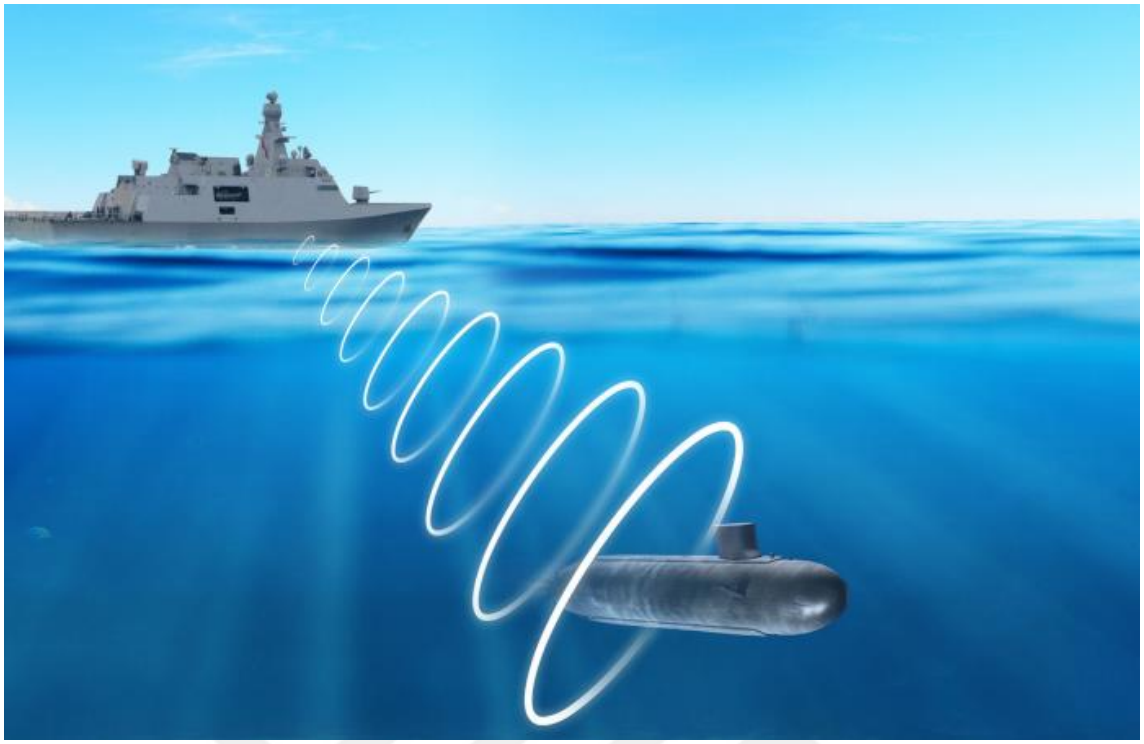
Aktif sonar, radarlarla aynı mantığa göre çalışan sonarlardır. Elektromanyetik dalgalar yaymak yerine ses dalgaları yayar. Yayılan ses dalgaları "Ping"in frekansı arttıkça ses dalgasının hedefe çarpıp dönme mesafesi kısalır. Bu frekansın "kesinliği" fazladır ve cihazları az yer kaplar. Marmara Denizi'ndeki gibi yoğunluk çeşitliliği fazla tabakaya sahip denizlerde yüksek frekansın etkinliği iyice azalır. Alçak frekans uzak mesafelere gidebilir fakat bu frekansın seçiciliği azdır ve cihazları çok yer kaplar. Klasik denizaltılarda önemle kullanılması gereken sistemlerdir. Denizaltı seyrinde "Ortam Şartlarına" bağlı olarak "Çok uzak mesafeler"den de işitilebilir (D'amico ve Pittenger, 2009). Şekil 2.5'de denizaltı sonar sistemleri yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Aktif Sonar Yerleşim Şekli Gösterimi (Jiang ve diğ., 2018).

Pasif Sonar:

Bu tür sonarlar, su altındaki her türlü sesi dinlemeye imkan ve kabiliyeti olan cihazlardır. Pasif sonar demek aslında bir nevi ortamdaki seslerin dinlenip analiz edilmesi durumudur. Bu durumda aslında denizaltı tarafından yapılan farklı bir bilgi toplama görevidir. Denizaltı veya gemilerin dışındaki Hydrophone denilen alıcılarına gelen ses titreşimlerinin düşük gerilimlerde elektrik enerjisine dönüşmesi yöntemi ile çalışırlar. Son dönemlere kadar operatörlerin kulak hassasiyeti ve tecrübesi ile etkili bir şekilde kullanılabilen bu sistemler, frekans bandının genişletilmesi ve kütüphanesine su altında duyulabilecek sesleri tanıma için karşılaştırma yapabileceği örnekler kaydedilmesi sayesinde kullanıcıya daha net analiz sonuçları vermektedir ve cismin tespit edilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Zarnich, 1999). Şekil 2.6'da denizaltı sonar çalışma şekli temsili olarak gösterilmiştir.



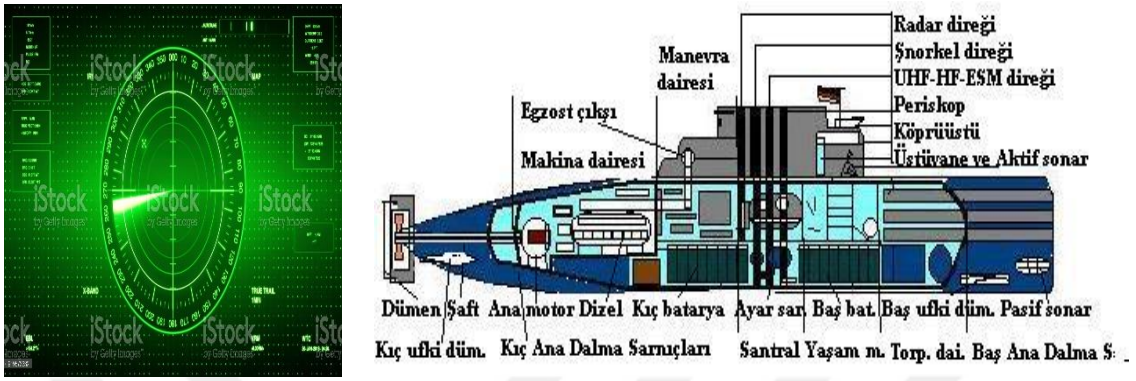
Şekil 2.6. Pasif Sonar Çalışma Şekli (URL-4)

2.2.3. Denizaltı Radar Sistemleri

Denizaltıların coğrafi konumlarının belirlemesinde veya denizaltıya hedef olabilecek cisimlerin konumunun tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Denizaltı tarafından belirlenen bir bölgeye dar bir açıda, çok kısa süre için elektromanyetik intişar yapar ve keser. Radar sistemi tarafından çevreden yansıyan dalgalar alınıp değerlendirilerek bölgenin keşfi yapılır. Çok sık olmasa da belirlenen bir hedefe torpido atışından önce hedefin rota-sürat-mesafe bilgilerinin kestirilmesinde kullanılmaktadır.

Denizaltıda radarlar, bir vericinin atmalar (SUPLE) halinde yaydığı radyo dalgalarının önündeki cisimlerden yansıyarak geri dönmesi ve bir alıcı tarafından yakalanması prensibiyle çalışmaktadır. Radarda bulunan alıcı, geri dönen yankıdan hedef cismin yönünü ve mesafesi gibi bilgileri hesaplar. Ayrıca iki yankı arasında geçen zamandan da hız parametresini hesaplar. Cisim doğrudan radara geliyorsa ya da radardan uzaklaşıyorsa Doppler etkisi ile cismin hız bilgisine ulaşılabilir. Radar atışları, düz bir hat üzerinden gittiğinden ufkun (Dünyanın eğiminin) ötesindeki hedefleri belirleyemezler. Bu sebeple savaş uçakları çok alçaktan uçarak radar sinyallerinin etkisinden sıyrılabilirler. Bazı savaş uçaklarında "hayalet" (stealth) uçakları gibi uçak tasarımında

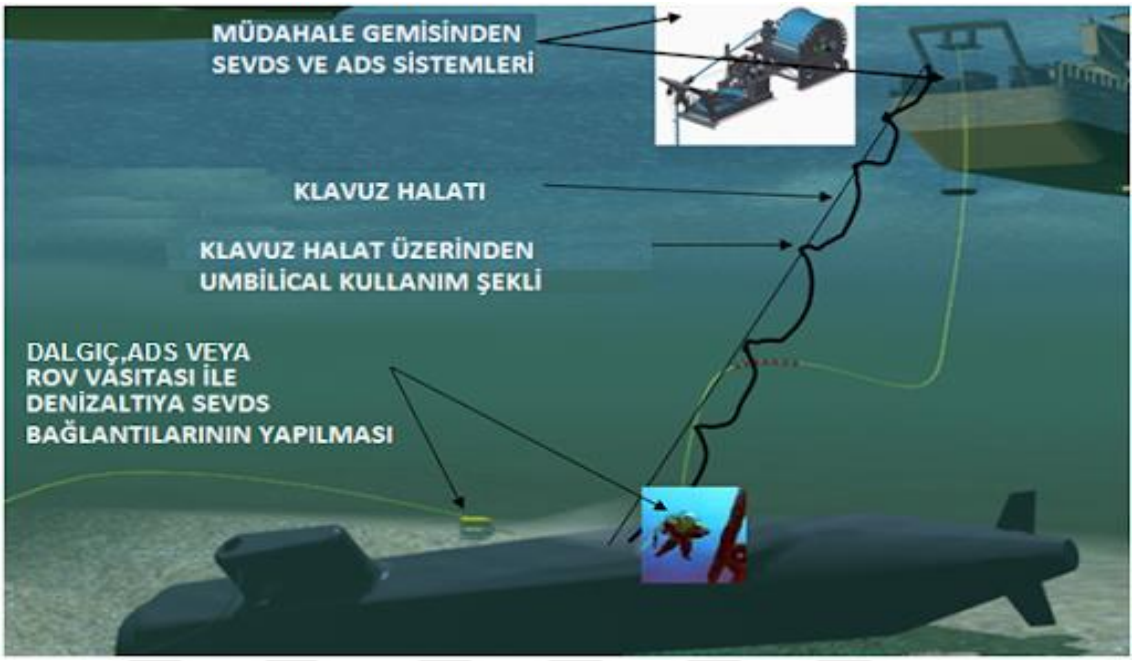
kullanılan bazı malzemeler radar sinyallerini soğurarak belirli oranda radara yakalanmayabilirler (D'amico ve Pittenger, 2009). Denizaltılarda kullanılan radar ekranı ve denizaltı radar direği yerleşimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Denizaltı Gemileri Radar Ekranı ve Radar Direği (URL-5)

2.2.4. Denizaltı Harici Havalandırma Sistemleri

Denizaltı Havalandırma Sistemi, içinde en az 50 personeli ile birlikte kazaya uğramış, 600 m'ye kadar olan derinliklerde (altı yüz metre dahil) bulunan, iç basıncı 5 atm basınca kadar olan ve kişi başı 1 atm basınçta en az 1,19 feet 3/dk'lık hava ihtiyacı olacağı öngörülen denizaltının en az 14 gün süreyle denizaltının hava ihtiyacını karşılayacak dışardan bir havalandırma sistemidir. Denizaltı Havalandırma Sistemi, NATO STANAG 1450 standardında bağlantı elemanlarına sahip denizaltı adaptör ünitelerine bağlanmaya uyumludur. Denizaltıdan egzoz yapan hortumlar 900 m uzunlukta oldukları için hava çıkışında basınç kayıpları yaşanır ve bu kayıplar dolayısı ile imla edilen hava denizaltının iç atmosferindeki basıncı yükseltir. NATO'nun yayınladığı ATP-57(B) The Submarine Search and Rescue Manual'e göre, denizaltının iç basıncının 1.7 bar(a) üzerine çıkması halinde, kazazedeler dekompresyon hastalığına yakalanma riski altına girerler. ATP-57(B) de belirtildiği üzere denizaltının iç basıncını 1.7 bar(a) değerinin altında tutmak amacı ile SEVDS sistemi içerisinde, hava tahliyesini yapmaya yardımcı olan, vakum pompaları ve vakum yapmaya uygun (dış basınca dayanıklı) hortumlar kullanılmaktadır. Denizaltı havalandırma sisteminin imla ve egzoz hortum uzantıları, NATO STANAG 1450'ye uyumlu bağlantı elemanına sahip denizaltının bulunduğu derinliğe göre dalgıçlar vasıtasıyla ya da sualtı araçları ROV operasyonu yapılarak denizaltıya gerekli bağlantıları yapmaktadır (URL-6). Denizaltı harici havalandırma sistemi Şekil 2.8'de sunulmuştur.



Şekil 2.8. Denizaltı Havalandırma Sistemi Resmi (URL-6).

2.2.5. Denizaltı Dahli Havalandırma Sistemleri

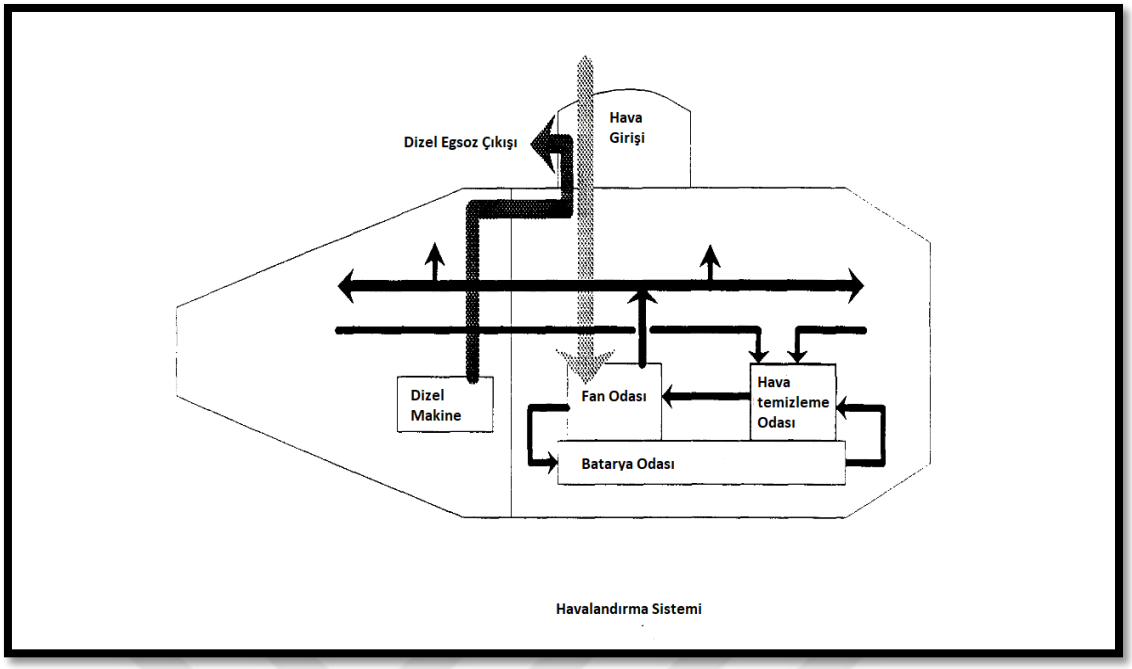
Denizaltılarda dahli havalandırma sistemi; denizaltının bünyesinde yer alan havalandırma sistemlerinde bulunan klimalar ve boru devlerinden, valflerden oluşur. Bu sistem denizaltılarda büyük bir önem taşır, zira gemi mürettebatının soluyacağı hava insan hayatını olumsuz etkilemeyecek düzeyde olmalıdır. Bu sistemde, denizaltıda bulunan fan ve borular yardımıyla tüm kabin içerisine temiz hava verilir ve kirlenmiş hava emilerek yeniden temiz bir şekilde yeniden sisteme gönderilir. Böylelikle denizaltı uzun süre su altında kalarak yüzeye çıkmadan mürettebat için gereken uygun atmosferik ortam meydana getirilir. Denizaltının ihtiyaç duyacağı oksijen denizaltıda depolanabildiği gibi elektroliz ile deniz suyu kullanılarak da sağlanabilmektedir. Konvansiyonel denizaltılar şnorkel yaptığı esnada denizaltı bünyesinde bulunan kirli havayı temiz hava ile değiştirerek denizaltının ihtiyacı olan havayı sağlamış olur. Nükleer denizaltılar ise şnorkel yapmadıkları için ihtiyaç olan havayı elektroliz yöntemiyle üretmektedir (URL-20). Denizaltılarda dahli havalandırma sistemi iki alt bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; oksijen üretme ve karbondioksit temizleme veya tutma olarak adlandırılırlar.

Oksijen üretme: Elektroliz yoluyla, depolanarak ya da oksijen kandilleriyle elde edilir. Elektroliz işlemi yüksek güç tüketimi nedeniyle genellikle nükleer denizaltılarda

kullanılır (URL-20). Konvansiyonel denizaltılarda oksijen depolanarak ihtiyaç karşılanır. Denizaltıda depolanmış oksijenin tüketilmesiyle yakın bir zamanda denizaltının şnorkel yapma ihtiyacı doğar. Şnorkel durumunda denizaltı bünyesinde bulunan kompresörleri çalıştırarak yeniden oksijen depolar. Ancak denizaltı bulunduğu durumdan şnorkel yapamayacak durumdaysa ve gizliliğini korumak gibi bazı nedenler ile su yüzeyine çıkamayacak durumda ise Klorit kandili olarak bilinen sistem denizaltının içinde bulunduğu durum ortadan kalkıncaya kadar oksijen üreterek gerekli ihtiyacı sağlar. Bahse konu sistemde sodyum klorit, demir ve baryum peroksit gibi kimyasalların reaksiyona girmesi ile oksijen meydana gelir.

Karbondioksit temizleme veya tutma: Denizaltı içerisinde bulunan havadaki karbondioksiti tutmak için mono-etanol amine (MEA) (NH2C2H4OH) kullanılır (Suoknuuti, 2021). Denizaltı dolaşımında olan hava MEA sisteminden geçirilerek karbondioksitten ayrıştırılır. MEA sistemi içerisinde depolanan karbondioksit ısıtılarak ve yüksek basınç altında denizaltı dışına atılır (URL-20).

Denizaltında bulunan havanın insan hayatına zarar vermeyecek seviyede solunabilir olması için karbonmonoksit ve hidrojenden de arındırılarak tekrar hava dolaşımına kazandırılması gerekir. Bundan dolayı karbonmonoksit ve hidrojen kontrollü bir şekilde yakılarak azaltılır. Gerçekleşen reaksiyon neticesinde karbondioksit ve su meydana gelir. Havadan ayrıştırılarak elde edilen Karbondioksit MEA tarafından denizaltı dışına atılır. Açığa çıkan su ise mürettebat tarafından kullanılır (URL-20). Şekil 2.9'da denizaltı dahili havalandırma sistemi genel görünümü sunulmuştur. Ayrıca şnorkel sisteminin havalandırma sistemi içindeki önemi de burada bir kez daha göze çarpmaktadır. Çünkü denizaltı şnorkel yaptığında hem dizelden gelen egzoz gazlarının atılmasını sağlar hem de denizaltıdaki kirli havanın dışarı atılarak içeriye taze hava girişini sağlamış olur. Böylelikle şnorkel sistemin kullanıldığı birkaç işlevde önemi ortaya çıkmış olur. Bu işlemle denizaltı bir nevi ortamdaki havasını tazeleyerek denizaltının nefes almasını sağlamış olur. Bu durum gösteriyor ki denizaltıdaki çoğu sistem birbirine bağlantılı bir şekilde çalışır.



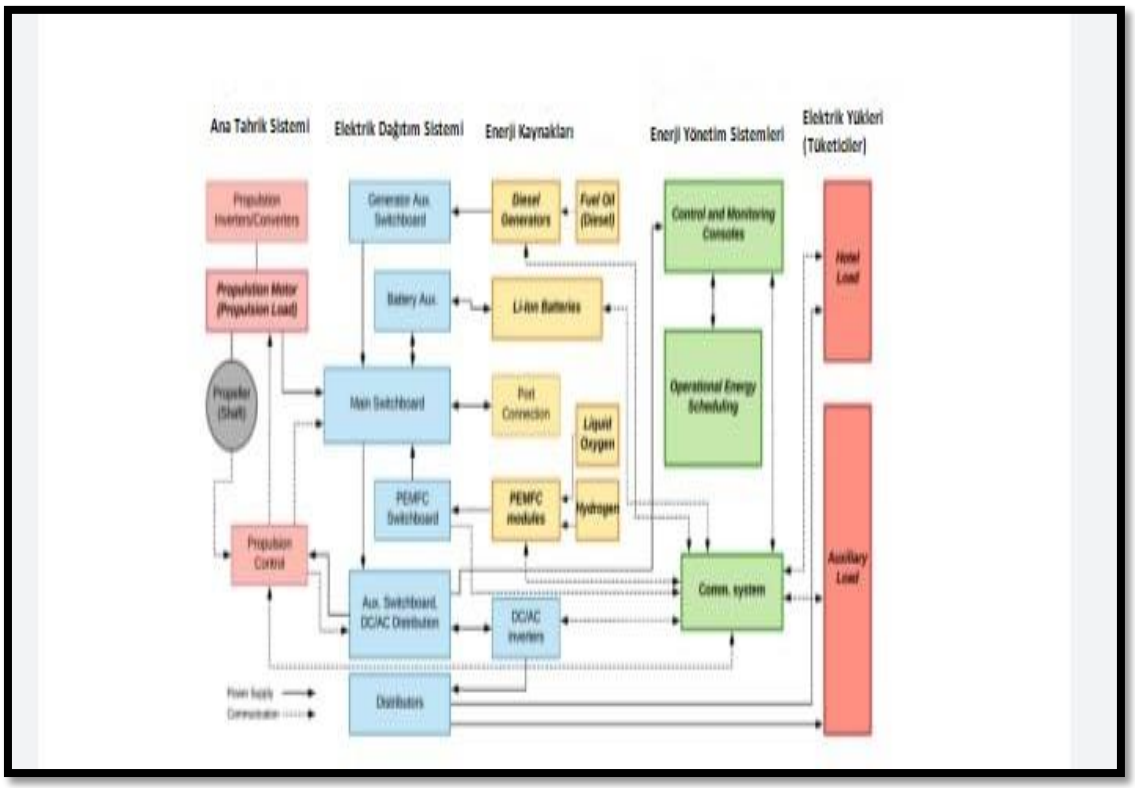
Şekil 2.9. Konvansiyonel Bir Denizaltının Havalandırma Sistemi (Thornton, 1994).

2.2.6. Denizaltı Elektrik Sistemleri

Denizaltılarda elektrik sistemleri; elektrik üretimi, elektrik dağıtımı ve elektrik tüketiminden oluşur. Elektrik üretimi, konvansiyonel yani dizel jeneratörlü denizaltılarda, şnorkel durumunda dizel jeneratör setlerinden elde edilerek denizaltılarda üretilir. Hibrit yani hem dizel jeneratör setlerine sahip hem de AIP havadan bağımsız tahrik sistemi olan yakıt pili sistemine sahip denizaltılarda elektrik üretimi, dizel jeneratör setlerinden veya yakıt pili modüllerinden üretilir. Yakıt pili modüllerinden üretilen elektrik için denizaltının ayrıca şnorkel yapmasına gerek yoktur. Üretilen elektrik enerjisi denizaltıda bulunan batarya grupları şarj edilerek depolanır ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyulduğunda buradan karşılanır.

Elektrik dağıtımı ise denizaltı tarafından üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere dağıtılmasıdır. Elektrik dağıtım sistemi; batarya şalterleri, ana dağıtım panosu ve yardımcı dağıtım panolarından oluşur. Denizaltıda üretilen elektrik enerjisi ana dağıtım panosu üzerinden tüketicilere gider ve burada en büyük tüketici olarak konvansiyonel denizaltılarda bulunan ana tahrik sisteminde yer alan elektrik motoru olur. Dağıtım sisteminde üretilen elektrik, ana panodan sonra yardımcı panolara giderek denizaltının diğer sistem ve tüketicilerinin elektrik ihtiyacını karşılar.

Denizaltı elektrik sisteminin tüketim kısmında çok çeşitli tüketiciler yer alır. Bunlar denizaltının tahrik sistemi, radar ve sonar sistemleri ve denizaltıda yer alan diğer bütün sistemlerdir. Şekil 2.10'da örnek bir denizaltı elektrik sistemi sunulmuştur.



Şekil 2.10. Denizaltı Elektrik Sistemi Diyagramı (Jeon ve Khorsand, 2020).

Elektrik sistemleri, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi sevk sistemi, elektrik dağıtımı, enerji kaynakları, elektrik yükleri ve EMS gibi her grup tarafından birleştirilir ve birbirine bağlanır (Jeon ve Khorsand, 2020).

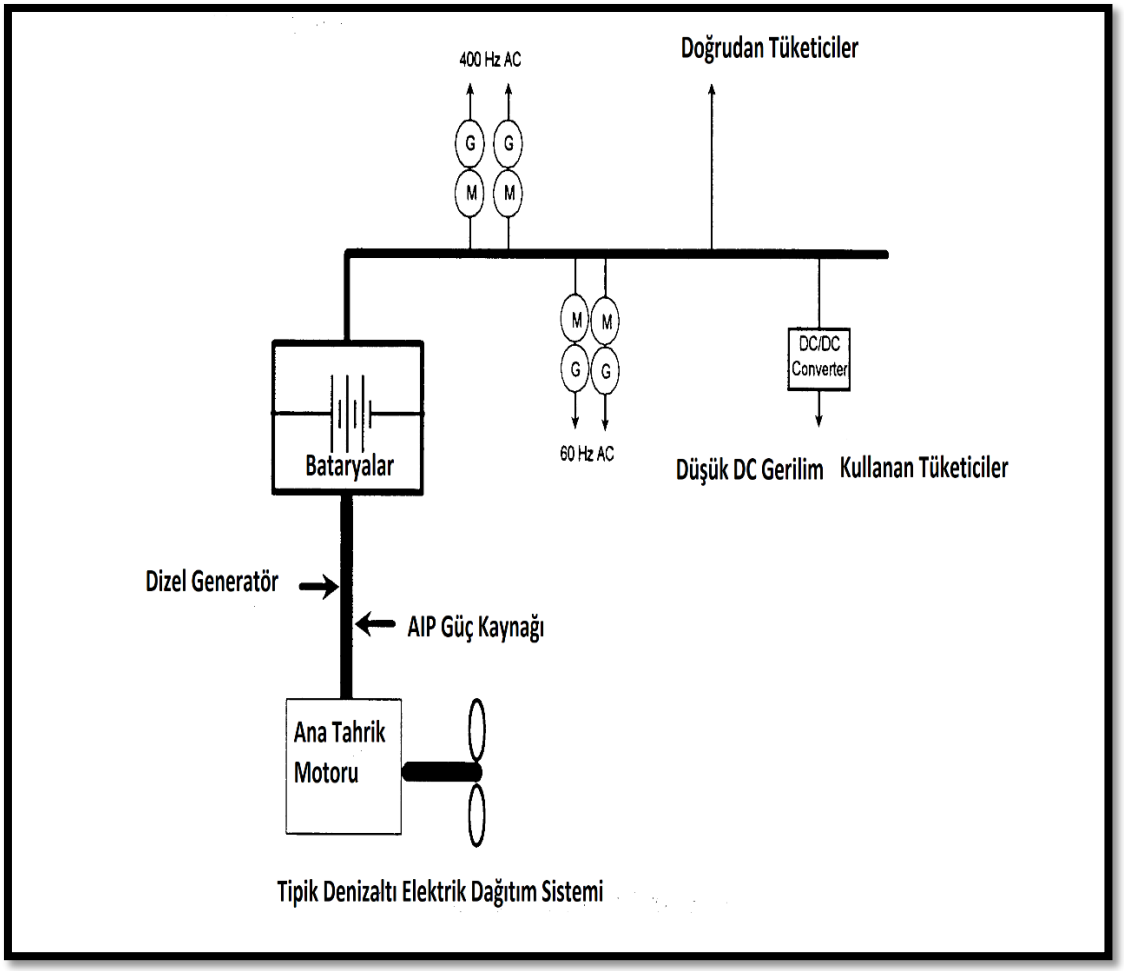
Elektrik enerjisi, iki tür güç üretim bileşeni tarafından üretilir ve doğrudan akü hücrelerine depolanabilir veya dağıtım sistemleri aracılığıyla sevk sistemlerine ve diğer tüm sistemlere iletilebilir. Bu zincirin en üstünde, EMS, enerji yönetim sistemi tüm sistemdeki tüm enerji akışlarını kontrol eden ve izleyen bir komuta kulesi olarak yer alır. Ayrıca her sisteme uzaktan erişerek EMS, operatörlerin komutlarına gerçek zamanlı olarak yanıt verebilir (Jeon ve Khorsand, 2020).

Ayrıca EMS, görev senaryolarına göre operasyonel enerji çizelgeleri üretir ve çıktılar, operatörlerin erişebilmesi ve değiştirebilmesi için konsollara iletilir.

Konvansiyonel denizaltılar genellikle DC güç kullanır. Bataryaya olan bağlantıları nedeniyle DC gücüne dayalıdır, dolayısıyla herhangi bir durumuna göre değişen bir DC gerilim kaynağında çalışamayan yükler, batarya çıkışından dönüştürülmelidir. Motor jeneratör setleri veya statik güç DC gücü gerekli forma dönüştürmek için invertörler kullanılır (Thornton, 1994). Denizaltılarda kullanılan örnek güç tipleri Çizelge 2.1.'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Denizaltılarda Örnek Güç Tipleri ve Elektrik Yükleri (Thornton, 1994).

Kullanılan Güç Tipi	Tipik Elektriksel Yükler
120 V AC, 60 Hz	Tulumba Pompaları, Aydınlatma, Havalandırma İzleme Ekipmanları, Uygulamaları
450 VAC, 60 Hz	Havalandırma Fanları, Hidrolik Pompalar, Hava Kompresörleri, Mutfak Ekipmanları
120 VAC, 400 Hz	Hasas Elektronik Cihazlar (Cayro, Radar, Silah Kontrol Sistemleri Vb.)
Yüksek DC Gerilim (Direkt Batarya Grupları Barasından Gelen Gerilim)	Trim Pompaları, Yağ Pompaları, Aydınlatmalar
Düşük DC Gerilim	Gemi Kontrol Sistemleri, Sonar Güç Ekipmanları

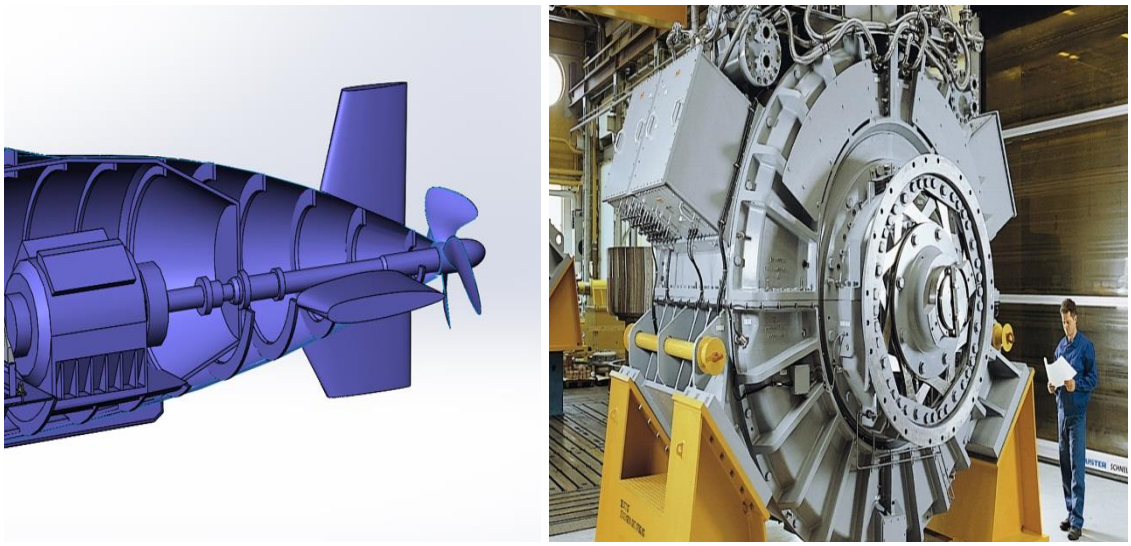


Şekil 2.11. Tipik Denizaltı Elektrik Sistemi Şeması (Thornton, 1994).

Şekil 2.11'de tipik bir denizaltı elektrik sisteminin basit bir tek hat şeması ile elektrik sistemi gösterilmiştir. Burada dizel jeneratör setlerinden ve AIP sisteminden üretilen elektrik enerjisi ana tahrik sistemine ve bataryaların şarj edilmesinde kullanılır. Daha sonra konverter ve invertörler vasıtasıyla farklı güç tiplerine dönüştürülerek farklı güç ihtiyaçları olan elektrik yüklerini beslerler. Bu işlemleri ana ve yardımcı dağıtım panoları üzerinde bulunan şalterlerin farklı kombinasyonları vasıtasıyla gerçekleştirirler. Ana dağıtım panosu üzerinden yüksek akım geçen şalterlerden oluşan bir panodur. Bu panoda yer alan şalterler 1000 Amper ile 4000 Amper aralığındaki kapasitesi bulunan şalterlerdir. Yardımcı panodaki şalterler ise ana panodaki şalterlere göre daha küçük kapasiteye sahip şalterlerdir. Ana panodaki şalterler ile denizaltıdaki ana tahrik motorunun ihtiyacı karşılanarak bahse konu motorun hızına kumanda eden devride bu şalterler üzerinden ayarlanır.

3. DENİZALTI TAHRİK SİSTEMLERİ

Denizaltıların savaş durumunda ne kadar caydırıcı oldukları İkinci Dünya Savaşı'ndaki savaş alanında gösterdikleri savaşa yön verebilme güçlerinin ortaya çıkmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu durum ülkelerin savunmasında gittikçe önem kazanmalarını sağlamıştır. Ancak denizaltıların sürekli su altında kalamayıp gizlilik durumlarını bozmaları ve su yüzeyine çıkıp bataryalarını şarj etme zorunluluğu, denizaltıların güvenilirliklerini tehlikeye atmaktaydı. Bu nedenle bu sorunun çözümü için İkinci Dünya Savaşı boyunca çalışmalar yapılmışsa da bu sorunun giderilmesi için istenen başarı sağlanamamıştır. Fakat 1950'lerde kullanılmaya başlanan atom enerjisi ve AIP adı verilen "Havadan Bağımsız Sistemler" denizaltı platformlarının suyun yüzeyine çıkmadan uzun süre suyun altında seyir yapabilmelerini sağlamıştır. AIP (Air İndependent Propulsion) olarak isimlendirilen bahse konu sistemler, oksijen gibi bir yakıcı gaza gereksinim duymayacak şekilde, dıştan yanmalı bir tür motor olan Stirling Motoru ile denizaltı gibi su altı platformlarına daha fazla su altında seyir yapma imkanı kazandırıp denizaltıların tahrik sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamış güç üretim sistemleridir. Walter türbinleriyle deneme-yanılma yöntemi ile başlayıp AIP ve nükleer reaktörlere kadar meydana gelen bu zaman diliminde güç ve tahrik sistemleri, tasarım ve teknolojilerin günümüzde geldiği noktaya önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Walter türbinlerinden nükleer enerji reaktörlerine değin oluşan bu süreç aşağıda detaylandırılmıştır. Şekil 3.1'de tipik bir denizaltı tahrik sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Denizaltı Tahrik Sistemi Görseli (URL-7).

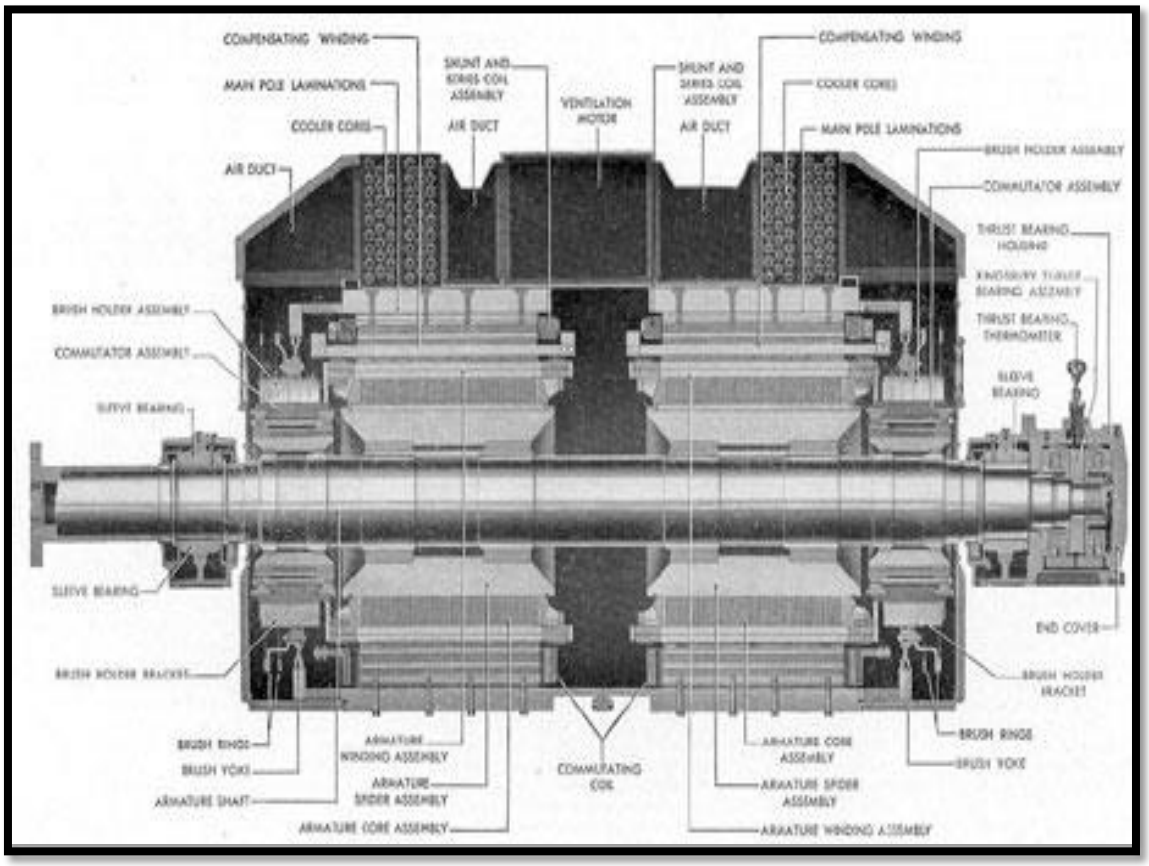
3.1. Konvansiyonel Denizaltılarda Tahrik Sistemleri

Konvansiyonel olarak denizaltı olarak tanımlanan denizaltılar, dizel jeneratör setlerinin denizaltının bataryalarını şarj ederek bataryalardan elektrik motoruna oradan da pervane şaftına ve pervaneye gerekli tahriği sağlayan sevk sistemidir.

3.2.1. Elektrik Motorlu Tahrik Sistemleri

Denizaltılar satıhtayken yani şnorkel yapma durumundayken atmosferden alınan hava ile denizaltıların dizel makinelerine gönderilen yakıt sıkıştırılarak yakılır. Dizel makine kendisine bağlı olan jeneratörü tahrik ederek jeneratörün elektrik enerjisi üretmesini sağlar. Böylelikle elde edilen elektrik enerjisi ile denizaltının bataryaları şarj edilerek bataryalarda depolanır. Bataryalardaki depolanmış elektrik enerjisi kullanılarak denizaltının seyir yapmasını sağlayan elektrik motorlarına verilir. Denizaltı dalmış durumdayken su altında dizel motorlarını çalıştıramadığından (dizel motorun çalışması için ihtiyaç duyulan hava yüzünden) bataryalardaki depolanan elektrik enerjisi ile elektrik motorları beslenir ve denizaltı için gerekli hareketin oluşması sağlanır. Denizaltılarda ana motorlar iki telli, d.c., şöntlü, seri, komütasyonlu ve kompanzasyon alan sargılı bileşik tiptedir. Şönt alanı için ayrı uyarım, her iki pilden de güç alan uyarı barası tarafından sağlanır. Ana motorlar kapalı keys içindedirler, alan çerçevesinin altında su geçirmez ve üstte su geçirmezdir. Soğutma işlemi, armatür miline bağlı olan ve su sirkülasyonu ile soğutulan göbekler boyunca havayı dolaştıran bir fan ile gerçekleştirilir. (URL-8). Armatür milinin her bir ucu, ayrık bir manşon yatağı üzerinde desteklenir. Yataklar, redüksiyon dişli ünitelerindeki yağ beslemesinden yağlanır. Ana motorlar seri veya paralel olarak çeşitli armatür kombinasyonları, ana kontrol kabini aracılığıyla yüzey veya dalmış durumda çalışma için seri olarak motorların tümünün bağlanmasıyla oluşturulabilir. Yüzey çalışması için motor hızı kontrolü, jeneratör hızı ve şönt alanı kontrol edilerek gerçekleştirilir; böylece sağlanan gerilim değiştirilir. Suya daldırıldığında motor şönt alanını değiştirerek veya motorları farklı seri ve paralel kombinasyonlarında bağlayarak hız kontrol edilir. Motorun tersine döndürülmesi işlemi ise motor armatür devresindeki akımın akış yönünün tersine çevrilmesiyle gerçekleştirilir(URL-8).

Şekil 3.2’de tek bir şaft üzerine yerleştirilmiş olan denizaltılar için DC iki adet elektrik motoru görülmektedir.



Şekil 3.2. Çift Armatürlü Denizaltı Motoru Kesiti (URL-8).

Denizaltılarda bulunan batarya gruplarının seri paralel bağlanmasıyla ana tahrik motorlarının beslendikleri gerilim değerleri değiştirilerek farklı rmp’lerdeki hız kombinasyonları elde edilebilmektedir.

3.2.2. Hibrit Tahrik Sistemleri

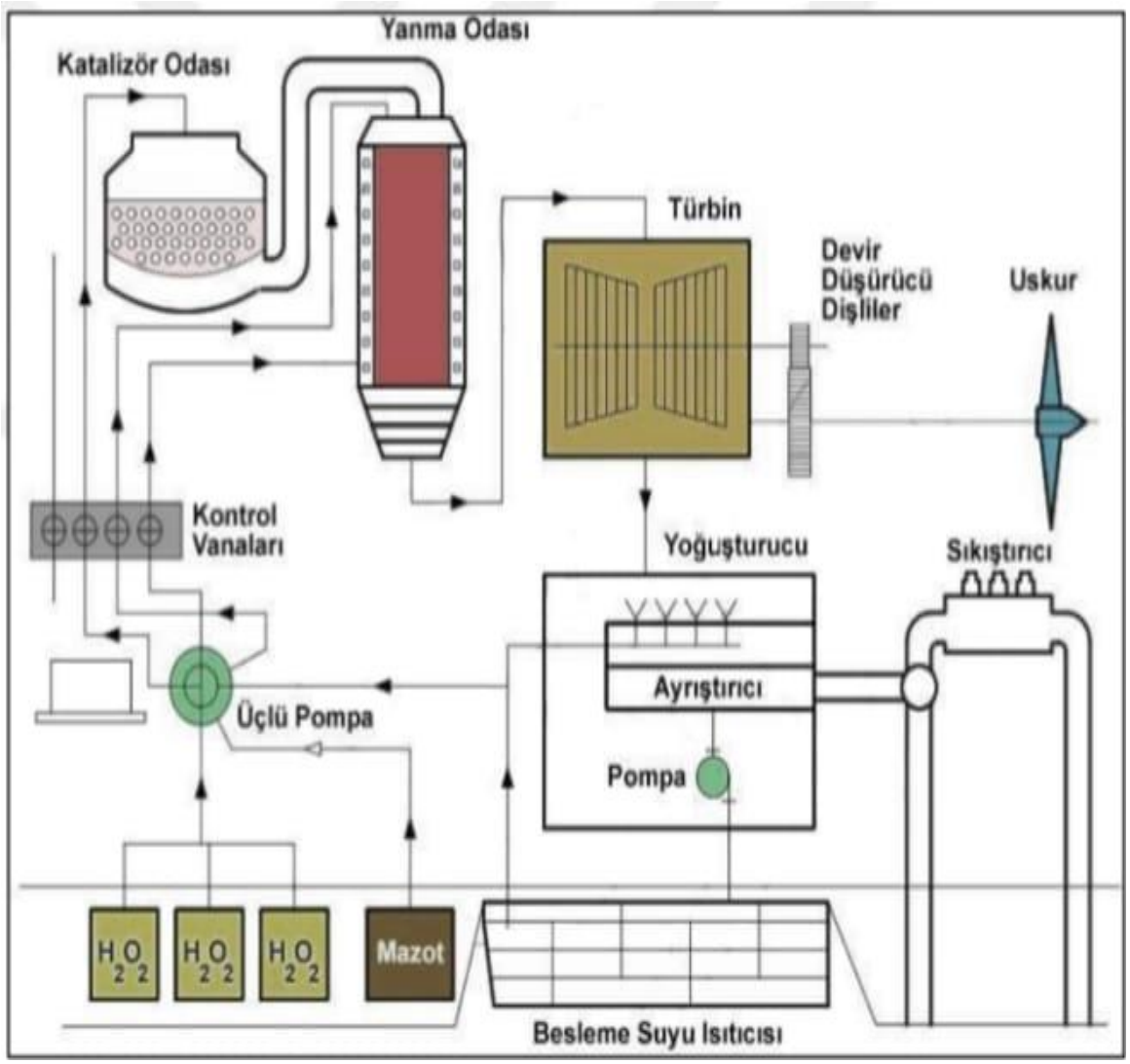
Konvansiyonel denizaltılara havadan bağımsız tahrik sistemlerinin eklenmesi ile hibrit dediğimiz farklı tahrik sistemlerini aynı denizaltı platformu üzerinde bulunduran yeni nesil denizaltılar ortaya çıkmıştır. Bu özellik denizaltıların su altındaki kalma sürelerini arttırarak denizaltıların en önemli özelliği olan su altında daha uzun süre kalarak gizliliklerini korumasına büyük katkı sağlamıştır. Böylelikle klasik denizaltılar tek bir elektrik enerjisi depolama yöntemine bağlı kalmayarak farklı bir sistemden de elektrik ihtiyacını karşılayabilmiştir. HBT sistemleri denizaltıların su altında 2-3 gün daha fazla

kalmasına imkan tanımıştır. Bu özelik sayesinde denizaltılar asli görevleri olan sualtında seyir yapabilme kabiliyetlerini geliştirerek sualtındaki gizlilik sürelerini arttırmışlardır.

3.2.3.1. Walter Türbini Tahrik Sistemi

Denizaltıcılık tasarımında önemli bir yeri olan Alman mühendislerin günümüze kadar gelen denizaltı sistem tasarımlarını geçmişten gelen sağlam bilgiler üzerine inşa ettikleri görülmektedir. Denizaltıların hava ile olan bağlarından ayrı olarak su altında uzun süre kalmaları için Alman bilim adamı Helmuth Walter tarafından önemli çalışmalar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda Alman Profesör Helmuth Walter, hidrojen peroksitten güç elde edilebilmesi için çalışmalar yapmıştır. Aynı dönemde Japonlar tarafından benzer motor teknolojisi ile bir motor kullanılmaktaydı. Japonlar tarafından tasarlanmış olan bu motor, torpillerin sevk sistemlerinde kullanılmaktaydı. Japon torpillerinden bilinenler ise İkinci Dünya Savaşı'nda da kullanılan Tip 93 torpilleridir. 1940 tarihlerinde Walter'in yaptığı çalışmalar neticesinde elde ettiği sonuçları uygulamaya geçirmek için Alman donanması bazı araştırma denizaltıları inşa ederek bu sistemi denemek istedi. Alman bilim insanı Walter'ın dizayn ettiği kimyasal motor, yüksek basınçlı buhar üretmek amacıyla kullanılan yanmayı sağlamak için havaya ihtiyaç bırakmamıştı. Oluşturulan buhar ise 7.500 hp gücündeki buhar türbinini çevirmek için kullanılmaktaydı. Walter'in kimyasal motoru yüksek saflıkta (%100'e yakın) hidrojen peroksitin - H_2O_2 (perhidrol veya htp -high test peroxide- olarak da adlandırılır) potasyum permanganat temelli bir katalizör üzerinden yüksek sıcaklık ve basınç altında hızla 2000°C sıcaklığında su buharı ve oksijen karışımına ayrışması prensibiyle çalışıyordu. Bu safhada yüksek sıcaklıkta bulunan ve serbest oksijen içeren sisteme verilen dizel yakıtıyla yüksek bir yanma olmakta ve bu da basıncı ve ısıyı daha da arttırmaktaydı. Yükselen sıcaklığı kontrol sınırları içerinde tutmak için motora ekstra su takviye edilmesiyle motorun ürettiği buhar miktarı da yükseliyordu. Bundan dolayı Walter türbini, buhar türbini olmakla birlikte aynı zamanda gaz türbini teknolojisini de içerisinde bulunduran hibrit bir türbin olmaktaydı. Bu sistem, oluşan buhar ve gaz karışımı yanma odasından türbine gönderilerek ve oradan çıkınca da yoğuşturucuda suya ve yanma sonucu meydana gelen karbondioksit ortaya çıkarak ayrıştırılır (Reader ve Hawley, 1989). Walter türbinin en büyük avantajı çalışması için havaya ihtiyaç duymamasıydı ancak türbinin yüksek sıcaklıkta çalışması da bir dezavantaj oluşturmakta olup, bahse konu sistemi riskli bir hale getirmektedir. Bu

durum sistemin ilerleyen dönemlerde kullanılmasına önemli bir engel olarak göze çarpmıştır. Şekil 3.3'de Walter türbini çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Walter Türbini Tek Hat Şeması Çalışma Prensibi (Reader ve Hawley, 1989).

Almanya Devleti tarafından üzerinde araştırma geliştirme çalışmaları yapılması için 3 farklı tipte; V-80 (80 ton), Tip17A (250 ton), Tip17B (310 ton) 8 denizaltı yapıldı. Bahse konu bu denizaltılarda silah bulunmayıp bu denizaltıların deneme testlerinin icra edilmesi için bu denizaltılar inşa edilmişti. Bu silahsız denizaltılar test ve tecrübe anında bazıları su altında 13,5m/s kadar hızlara erişebiliyorlardı. O tarihlerde dünyadaki donanmalarda bulunan denizaltıların erişebildikleri sualtı hızları 4m/s'yi geçememekteydi. Ancak bu hızlar dost ülkelerin DSH gemilerinden de 2,5m/s daha yüksek hızda gidebiliyorlardı.

Çünkü bu gemiler 11m/s'nin üstündeki hızlarda gemiye yerleştirilmiş olan sonar sistemlerini aktif hale getirememekteydiler. Bu durum sorun teşkil etmekteydi.

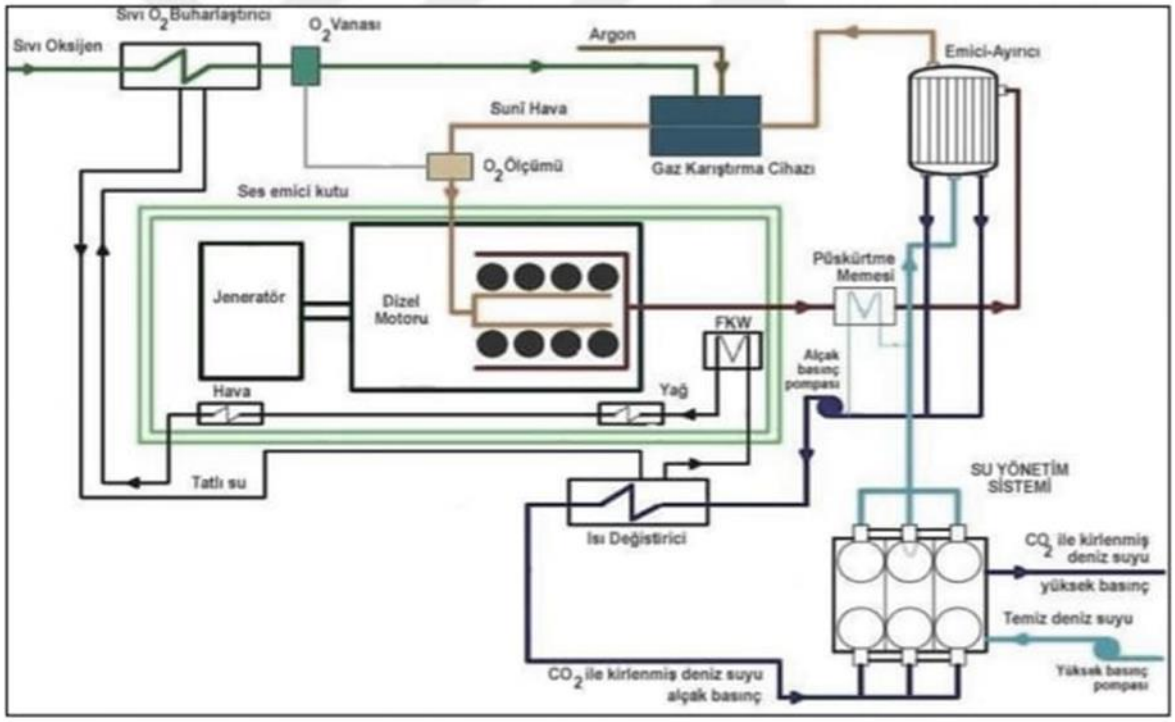
Deneme aşamasından çıkıp gerçek savaşlarda kullanılması için Tip 26'ların inşaları (inşası planlanan birkaç farklı Walter türbinli denizaltı tasarımı mevcuttu.) yukarıdaki bahsedilen problemler nedeniyle yapılamadı. Ancak buradan elde edilen bilgilerle başka projelerde kullanıldı. Savaşların sonunda Almanya'dan ele geçirilen bilgilerden faydalanarak farklı ülkeler Walter türbin sistemini daha da geliştirdiler. 1950'li yıllarda nükleer tahrik sistemlerin ortaya çıkmasıyla Walter türbinine olan ilgi giderek azaldı (URL-3).

3.2.3.2. Kapalı Devre Dizel Tahrik Sistemleri

İkinci Dünya Savaşı döneminde Sovyetler, denizaltılarında kapalı devre dizel sistemi işletmek için yoğun çalışmalar içerisine girmiştir. Ancak istenilen seviyeye ulaşamamışlardır. Kapalı devre dizel sisteminde karşılaşılan başlıca sorunlar; yeterli miktarda oksijen depolayamama, yeterli çalışma güvenliğini sağlayamama, motordan çıkan yanmış gazların ayrıştırılmasının güçlüğü, su altında özellikle derin suda egzoz gazlarının denizaltı dışına atılmasının güçlüğü gibi problemler olmuştur.

Kapalı devre dizel (KDD) sistemlerine sahip denizaltılar su üstüne çıkarak şnorkel yapma ihtiyacı duymazlar ve diğer denizaltılar için sorun olarak görülen bu durumu tam olarak ortadan kaldırmamış olsalar da şnorkel yapma ihtiyacını azaltmışlardır. Denizaltı su üstünde şnorkel yapma durumundayken bünyesinde hava depolar. Depolanan bu hava daha sonra dizel makinelerin çalışması için ihtiyaç duyulacak hava olarak kullanılır. Dalış durumunda ise denizaltıda sıvı olarak depolanan oksijen ile bir asal gaz (çoğunlukla argon, bazen helyum veya zenon) karışımının oluşturduğu yapay hava ile dizel makinenin çalışması için ihtiyaç duyduğu hava karşılanır. Denizaltının dizel makinesinin oluşturduğu yanma işleminden dolayı ortaya çıkan atık gazlar ise soğurulma ve ayrıştırılma işlemine tabi tutulur. Bu ayrıştırma sonunda argon tekrar kullanılmak üzere emiş devresine gönderilirken karbondioksit ile diğer atık gazlar suyla denizaltıdan dışarı verilir (Akbulut, 2018). Ancak denizaltının dalma derinliği artıkça oluşan egzoz gazının da dışarıya atılması güçleşmektedir. Bu durumun sebebi dalma derinliği artıkça oluşan yüksek dış basınçtandır. Buda sistemin önemli bir dezavantajı olarak görülebilir. Ayrıca

dizelin çalışması için oksijen depolama da başka bir sorun olarak ön plana çıkar. KDD sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.4'de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Alman U-1 Denizaltısına 1990'lardaki Modern KDD Sistemi (Akbulut, 2018).

3.2.3.3. Stirling Motorlu Tahrik Sistemleri

Havadan bağımsız tahrik sistemleri incelendiğinde bunlardan bir tanesinin de Stirling motoru yani dıştan yanmalı özelliğe sahip motor olduğu görülmektedir.

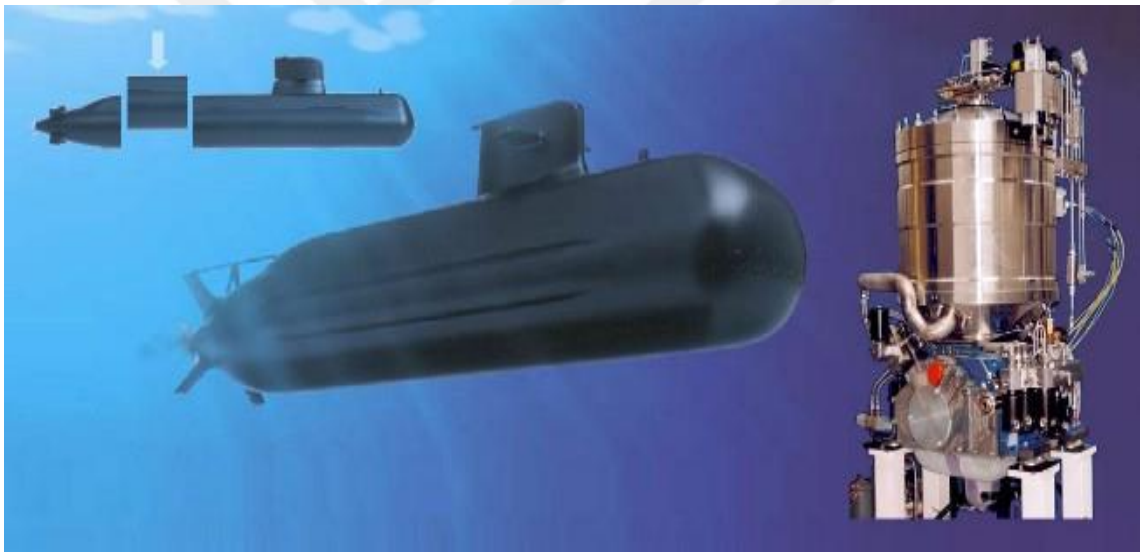
Çalışma prensibi dıştan yanmalı olarak adlandırılan bir motor olan Stirling motoru, dizel yakıtın yakılmasından dolayı meydana gelen ısıyı kullanarak çalışan dıştan yanmalı bir motor türüdür. Bu motor pistonlarına dışardan ısı verilerek pistonları genleştirilen ve daha sonra soğuyan ortamdan dolayı pistonlarının genleşmesinin geçerek pistonlarının hareket etmesiyle elektrik enerjisi elde edilir. Buradan elde edilen elektrik enerjisi ile denizaltının hareket etmesi için denizaltı pervanesi tahrik ettirilir ve denizaltı seyrine başlamış olur. (URL-9).

Stirling motorunun çalışma mantığında denizaltıda depolanmış olan dizel yakıtın denizaltıdaki depolanan sıvı oksijen ile yakılması sonucu oluşan ısı kullanılarak elektrik

enerjisi oluşturulur. Ayrıca dizel yakıtın yanması sonucunda oluşan atık gazlar filtre edilerek denize gönderilir. Stirling motoru sistemi kullanarak denizaltılar 14 güne kadar klasik dizel-elektrik denizaltılardan daha fazla dalmış pozisyonda kalabilmektedir.

Stirling motorlu diğer havadan bağımsız tahrik sistemlerine göre ucuz olmasına rağmen çok gürültülü ve titreşimli çalışması denizaltıya sessizlik bakımından dezavantaj oluşturmaktadır.

İsveçli Kockums şirketi, Stirling sistemli denizaltı tahrik sisteminin öncüsü konumundadır. İsveç Donanmasına ait Gotland ve Västergötland sınıfı, Çin Donanmasına ait Yuan sınıfı ve Japon Donanmasına ait Soryu sınıfı havadan bağımsız tahrikli dizel-elektrik denizaltılar, Stirling motorunu kullanmaktadır. (URL-9). Şekil 3.5'de İsveçli firmaya ait Stirling motorunun genel görünümü sunulmuştur.



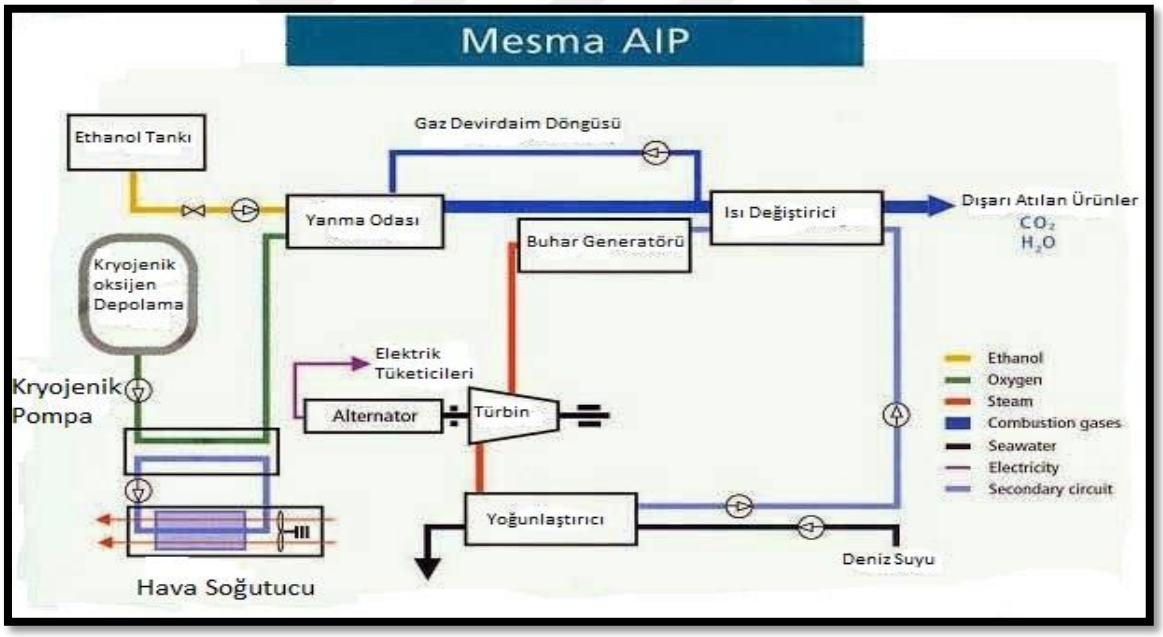
Şekil 3.5. İsveçli Kockums Şirketi Tasarımı Stirling Motoru (URL-10).

3.2.3.4. Buhar Türbinli Tahrik Sistemleri

Fransız hükümeti tarafından geliştirilen Mesma (Module d'Energie Sous-Marin Autonome) olarak bilinen tahrik sistemi, havadan bağımsız bir tahrik sistemidir. Kapalı devre bir yanma odasında buhar üretilmesi ve bu buharla türbinlerin çalıştırılması prensibi ile çalışır. Burada buhar üretmek için geleneksel bir brülör kullanılır (Kerros ve diğ., 1994).

MESMA sistemi Fransız Direction des Construction Navales (DCN) firmasının ticari olarak tasarladığı bir sistemdir. Söz konusu sistem temel olarak kapalı çevrim bir buhar türbini sistemi olan Rankine çevrimine bağlıdır. -185 C 'de depolanan sıvı oksijen önce gaz formuna dönüştürülür. Daha sonra yanma odasında etanol (C2H5OH) ile karıştırılarak yanma işlemi gerçekleştirilir. 60 atmosfer basınçta 700 C°'lik bir gaz oluşur. Birinci aşamada üretilen bu gaz, ikinci aşamada buhar türbininden geçen buharı oluşturmak için kullanılır. Böylece ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Buhar türbinine takılan alternatör, üretilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir ve elektrik üretilir. Yan ürün olarak oluşan egzoz gazının yüksek basıncının farklı bir sisteme ihtiyaç duymadan denize bırakılması sağlanmaktadır.

Buhar jeneratörünün ikinci devresi, tatlı su ile çalışan Rankine çevrimidir. Üretilen buhar tekrar buhar jeneratörüne gitmeden önce türbine daha sonra kondensere gider (Kerros ve diğ., 1994). Buhar türbinli tahrik sistemi diyagramı Şekil 3.6'da sunulmuştur.

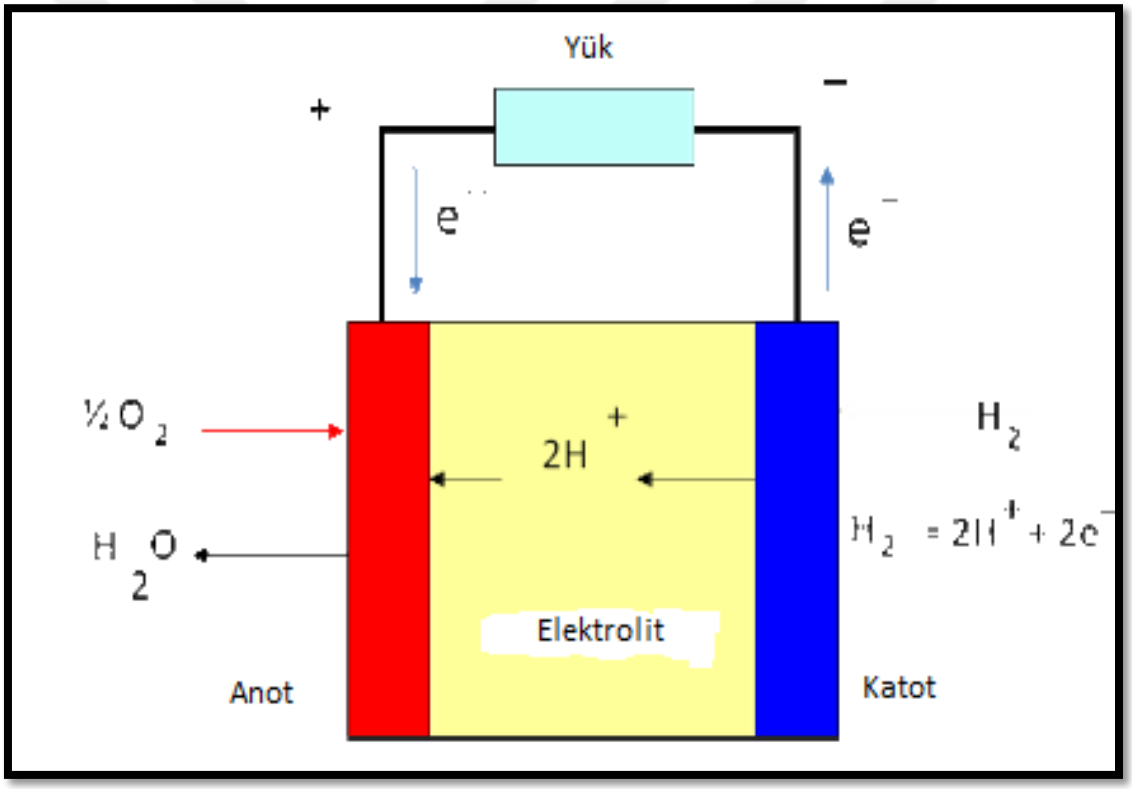


Şekil 3.6. Buhar Türbinli Tahrik Sistemi Diyagramı (Se ve Lus, 2001).

3.2.3.5. Yakıt Pili Tahrik Sistemleri

Günümüzde farklı sistemlerde kullanılan yakıt pilleri mevcuttur. Ancak yakıt pillerinin savaş gemilerine uygulanması denizaltılar için daha fazla su altında kalması açısından

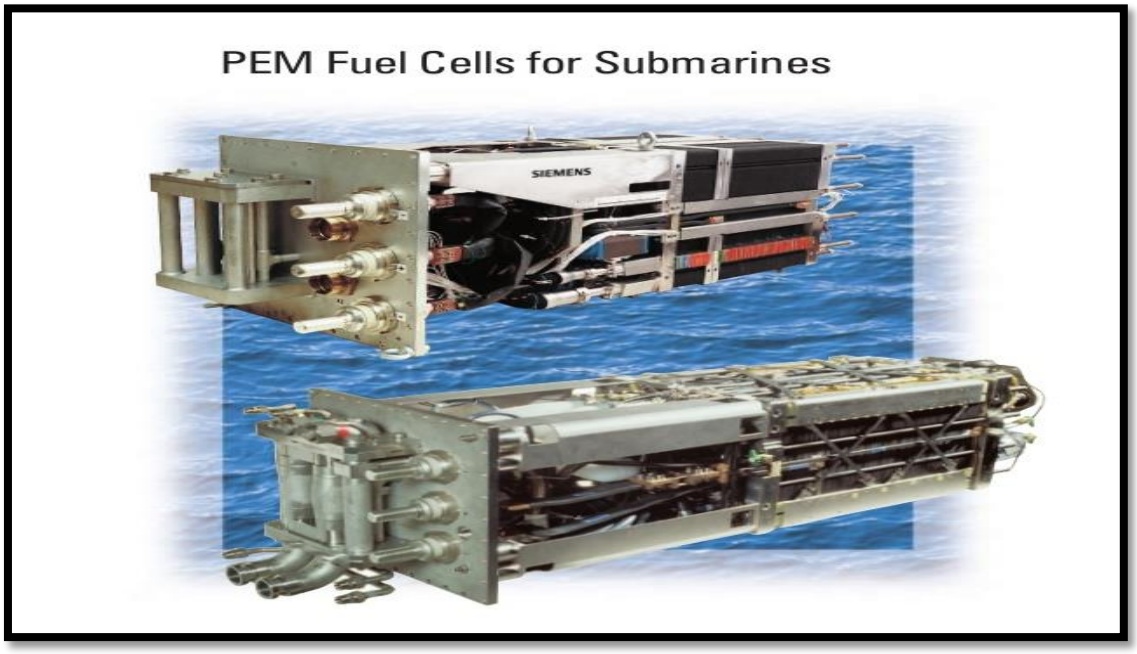
önem arz etmektedir. Bundan dolayıdır ki denizaltı platformlarında bulunan yakıt pili sevk sistemleri denizaltı platformlarının su yüzeyine çıkmadan su altında seyir yapmalarında büyük katkı sağlamaktadır. Denizaltılarda kullanılan ve denizaltının bünyesine depolanan oksijen ve hidrojen atomlarının yakıt pilinde kimyasal reaksiyona sokularak DC elektrik üretimini gerçekleştirmesiyle olur. Bahse konu kimyasal reaksiyondan atık olarak ısı ve su oluşur. Reaksiyon sonucu üretilen DC elektrik enerjisi bir DC/DC konvertere girerek buradan da denizaltının bataryalarını şarj edebilecek seviyeye getirilerek denizaltının bataryalarının şarj edilmesi sağlanır ve denizaltının sevk sistemine ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi verilerek denizaltının sevki sağlanır. Şekil 3.7'de yakıt pili reaksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yakıt Pili Kimyasal Reaksiyonu Diyagramı (Dixon, 2010).

Günümüzde Siemens firmasının dizayn ettiği PEMFC yakıt pilleri çeşitli denizaltı sınıflarında bulunmaktadır. Alman tasarımı olan Type 212 sınıfı denizaltılarında 34kW gücünde 9 adet olarak totalde 304 kW gücünde BZM 34 PEMFC denizaltının tahrik sisteminin güç ihtiyacını karşılayacak yakıt pili sistemi bulunmaktadır. Aynı şekilde

Alman dizaynı olan Type 214 denizaltılarında ise 2 adet 120 kW'lık olarak totalde 240 kW gücünde BZM 120 PEMFC denizaltının tahrik sisteminin güç ihtiyacını karşılayacak ve denizaltıların dalmış durumdaki vaziyetlerini daha uzun süre sağlayacak yakıt pili sistemi bulunmaktadır. Bahse konu yakıt pillerinin genel görünümü Şekil 3.8'de sunulmuştur. Fakat yakıt pillerinin sadece denizaltılarda değil çok çeşitli alanlarda kullanımları mevcuttur. Bunlar; trenler, otomobiller, denizaltılar vb. yerlerde kullanılmaktadırlar (Han ve diğ,. 2012).

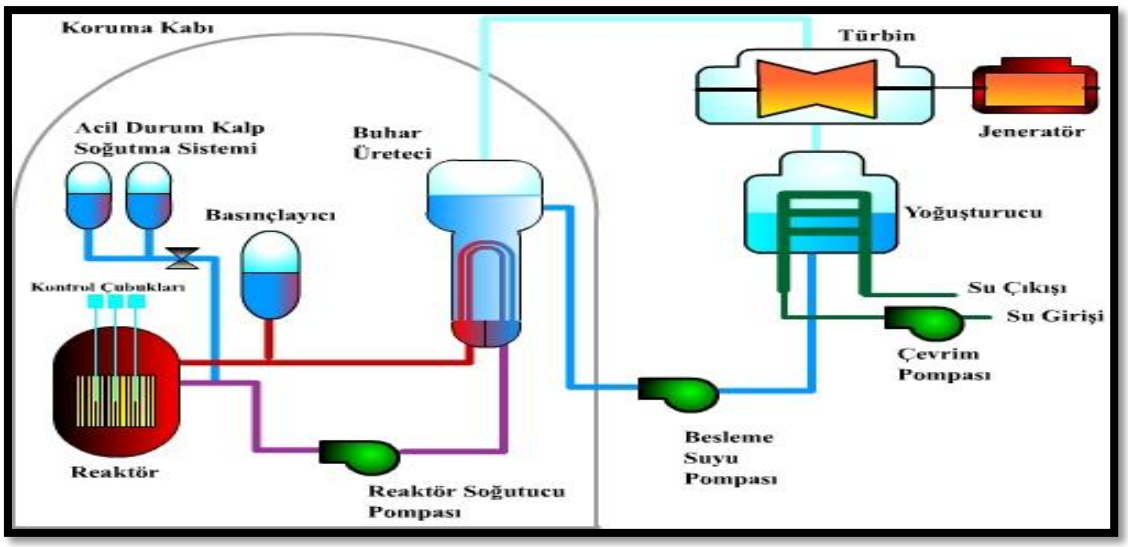


Şekil 3.8. Siemens Fuel Cell Yakıt Pili (Han ve diğ,. 2012).

3.3. Nükleer Denizaltı Tahrik Sistemleri

Nükleer denizaltı tahrik sistemleri; mukavemeti yüksek çelik reaktör keysi, ısı değiştirici olarak buhar jeneratörleri, pompalar, borular ve valflerden meydana gelir. Nükleer reaktörler yaydıkları radyasyondan dolayı yaklaşık 1000 ton kurşun zırhlarla kaplıdır. Denizaltılarda ısı üretimi için nükleer yakıtın füzyona uğradığı nükleer reaktör bulunur. Nükleer reaksiyondan sonra oluşan radyasyondan gemi personelini korumak için reaktörün etrafına kurşun zırh yerleştirilir. Bu zırh nükleer reaktörün oluşturduğu radyasyonla gemi personeli arasında bir izole görevi görerek radyoaktif tehlikeden gemi personelini korur. Böylelikle gemi personeli tehlikeli radyo aktif sahadan uzak durmuş olur.

Nükleer tahrik sistemi, iki sistemden oluşan basınçlı su reaktörü tasarımından meydana gelir. İlk sistem suyun dolaşmasını sağlayan boru devreleri, pompalar, buhar jeneratörü ve reaktörden meydana gelir. Reaktörde oluşturulan ısı, yüksek basınç altındaki suya aktarılarak suyun kaynaması engellenir. Buhar jeneratörlerine giden bu su, daha sonra tekrar ısıtılmak için reaktöre geri gelir. Buhar jeneratörlerinde ilk sistemden gelen sudan elde edilen ısı ikinci sisteme gönderilip buhar meydana getirilir. Bu iki sistem suların birbirine karışmaması için birbirinden ayrılır. Oluşan buhar, ikinci sistemde buhar türbin jeneratörlerini çalıştırabilmek için buhar jeneratörlerinden gelir. Buhar türbininden geçen buhar, yoğunlaşarak sıvı hale gelir ve yeniden buhar jeneratörlerine pompalanarak gönderilir. Nükleer denizaltılara, denizaltıda bulunan reaktörler enerji üretir. Bu reaktörler 20 yıla varan sürelerde yakıt ikmali yapmadan enerji üretebilir. Denizaltının tüm enerji ihtiyacını karşılar. Ancak yine de acil durumlar göz önünde bulundurularak hayati önem arz eden sistem ve cihazların elektrik ihtiyaçları için denizaltıda dizel jeneratörler de bulunur (URL-11). Denizaltılarda yapılan tercihlere göre farklı tasarımda nükleer reaktörler kullanılabilmektedir. Nükleer reaktörlerin denizaltılar için en büyük avantajı enerji ihtiyacını neredeyse tamamen karşılayabilmesidir. Bu husus denizaltıya çok büyük bir avantaj sağlamış olur. Denizaltıda enerji problemi sorunu yaşanmadan çoğu sistem rahatlıkla denizaltı tasarımına uygulanır. Böylelikle denizaltıdaki seçilen yardımcı sistemlerin tasarımsal açıdan ihtiyaç duydukları güç sınırları önemli bir sorun olmaktan çıkmış olur. Tipik nükleer reaktör çalışma prensibi Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Şekil 3.9. Nükleer Reaktör Çalışma Diyagramı (Akbulut, 2018).

4. DENİZALTILARDA ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Denizaltılarda enerji depolama olarak; oksijen, bataryalar, yakıt ve hidrojen depolanmaktadır. Denizaltıların kullanım alanları göz önünde bulundurulduğunda denizaltıların hareketini sağlamak için enerji ihtiyacı doğmaktadır. Denizaltılar enerji ihtiyacını ise bünyesinde depoladıkları farklı türdeki enerji depolama sistemlerinden karşılamaktadır. Denizaltılar ne kadar çok enerji depolayabilirlerse menzilleri buna paralel olarak uzamaktadır. Bu nedenle denizaltılarda farklı enerji depolama yöntemleri ortaya çıkmıştır.

4.1. Bataryalar

Günümüzde bataryalar genel anlamda iki şekilde sınıflandırılır. Bunlar; şarj edilebilen birincil bataryalar ve şarj edilmeyen sadece bir kullanımlık uygulamalar için olan ikincil tip bataryalardır. Denizaltılarda kullanılan bataryalar için maliyet ve ömür iki önemli parametredir. Hatta batarya ömrü dolaylı olarak maliyeti de etkilemektedir. Bu yüzden konvansiyonel denizaltılarda maliyet göz önünde bulundurulduğunda bataryaların bakımsız olmaları ve uzun ömürlü olmaları önemli bir etkendir.

Tablo 4.1. Denizaltılarda Kullanılan Batarya özellikleri (Thornton, 1994).

Sınıflama	Kurşun Asit	Alkaline	Alkalin	Yüksek Sıcaklık
Batarya Tipi	Kurşun asit	Ni/Cd	Ag/Zn	LAIS(Lithium-Aluminum/Iron Sulfide Batarya)
Olgunluk düzeyi	Olgun	Olgun	Olgun	Nerdeyse olgun
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	20-35	20-37	90	160-225
Güç Yoğunluğu (kW/kg)	0,02-0,175	0,1-0,6	0,2-0.4	0,19-0,36
Çevrim ömrü	200-2000	500-2000	100-2000	1000
Servis ömrü	3-10	5-10	3	-
İşletim kolaylığı	İyi	Çok iyi	Zayıf	Zayıf

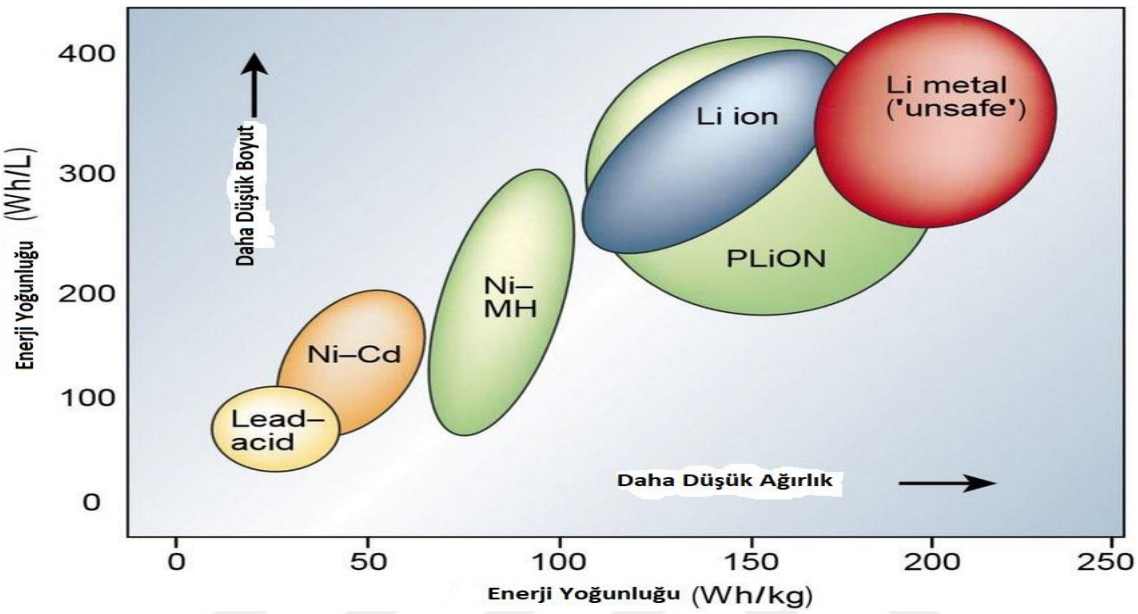
Zira bu parametreler, denizaltının bakım onarıma girme süresini etkilemektedir. İkincil bataryalar ise şarj edilebilen bataryalar olup bunlardan bir tanesi de kurşun asit bataryalardır ve yıllarca denizaltılarda başarıyla kullanılmışlardır. Hâlihazırda kullanılmaya devam edilmektedir. Bu tarz bataryalar, klasik dizel jeneratör denizaltılarda sualtında gitmek için kullanılan enerji depolama kaynağıdır. Ayrıca nükleer denizaltılarda ise acil durumlar için enerji depolama kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tablo 4.1. ve Tablo 4.2'de denizaltılarda kullanılan çeşitli bataryaların özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Batarya Teknolojileri (Buckingham ve diğ., 2008).

Tanım	Güç Yoğunluğu	Güç Yoğunluğu	Enerji Yoğunluğu	Enerji Yoğunluğu
	kW/litre	kW/kg	Wh/litre	Wh/kg
Kurşun asit	0,12	0,08	90	44
Zebra	0,24	0,16	167	114
Sodium Sulphide (NaS)	0,021	0,17	170	117
Lithium ion	0,22	0,11	270	120

Konvansiyonel denizaltıların enerji depolama geçmişleri incelendiğinde kurşun asit bataryaların birçok denizaltıda yıllardır kullanıldığı görülmektedir. (Hannan ve diğ., 2017). Ancak kurşun asit bataryaların gelişim açısından olgunluğa erişmesinden dolayı yeni nesil batarya türleri de gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkmaktadır (Szymborski, 2002). Nitekim gelişen batarya teknolojisi yeni bir batarya teknolojisi olan lityum iyon (Li-ion) bataryalarını da beraberinde getirmiştir. Bu bataryalar enerji yoğunluğu ve kapasite parametreleri göz önünde bulundurulduğunda ön plana çıkan batarya türleridir. Li-ion bataryalar, günümüzde pek çok alanda başarıyla kullanılmaktadır. Bu alanlar; elektrikli otomobiller, cep telefonları, bilgisayarlar, telsizler vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Deng, 2015). Lityum iyon bataryalarını kurşun asit bataryalara göre daha avantajlı kılan parametreler; enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, ömür ve maliyet gibi özelikleriyle kurşun asit bataryalara üstünlük sağlamasıdır.

Li-ion bataryalar kurşun asit bataryalarla kıyaslandığında, benzer durumlardaki şartlar oluşturulduğunda lityum iyon batarya kurşun asit bataryaya göre neredeyse iki kat daha uzun süre dayanır. Çeşitli batarya türlerinin enerji yoğunluğu bakımından kıyaslanması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı Batarya Çeşitlerinin Enerji Yoğunluğu Karşılaştırılması (Deng, 2015).

Denizaltılarda kullanılan bataryaların enerji yoğunluğunun yüksek olması istenir. Bunun sebebi daha az hacme daha fazla enerjinin depolanmasıdır. Bundan dolayı denizaltı gibi hacim açısından sınırlı bir parametreye sahip olan platformlar hacimden ne kadar artırırsa o kadar iyi bir iş yapmış olur. Denizaltıların daha yoğun güçteki bataryaları kullanmasıyla elde edeceği hacmi de başka sistemlerin denizaltıda kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar, denizaltıda daha fazla enerji depolanmasının önünü açarak denizaltının sualtında kalma süresini uzatır ve denizaltının gizlilik unsurunu kullanarak görevini başarıyla icra etme imkanını kazandırmış olur.

Bundan dolayı Li-ion bataryalar, boyut olarak kurşun-asit bataryalara göre daha az hacim kaplayacağından avantaj sağlar. Li-ion bataryalar, kurşun asit bataryalara göre farklı avantajlara sahiptir (Depetro ve diğ., 2021).

-Kurşun asit bataryaya göre daha fazla enerji depolama kapasitesine sahiptir.

-Batarya hücreleri gaz açığa çıkarmaz.

-Batarya gücü, şarj durumuna göre değerlendirilmez.

-Şnorkel durumunda etkin kapasitede %30-50 daha yüksek verim elde edilir.

-Düşük şarj olduğunda batarya hafıza etkisi olmadan daha iyi performans sağlar.

-Bakım onarım olarak daha etkindir. Daha az bakım ister.

Japonya Devleti tarafından ilk olarak 2018'de Li-ion bataryaya sahip ilk dizel elektrikli denizaltıyı kullanmak için çalışmalara başlandı (Karnozov, 2019). Mitsubishi Heavy Industries ve Kawasaki Shipbuilding Corporation firmaları tarafından 2020 yılında Japonya Deniz Kuvvetleri'ne kullanılması için verilmek üzere Soryu sınıfı denizaltılar üzerinde çalışmalar yapıyor. Soryu sınıfının ilk denizaltısı, 84 metre uzunluğunda ve yaklaşık 3.000 ton olup maksimum hızı 20 knot'dır (Karnozov, 2019). Soryu sınıfı denizaltıları; sualtında daha uzun dayanıklılık, azaltılmış şnorkel süresi, daha az akustik imza ve genişletilmiş menzil gibi gelişmiş hibrit tahrik performansına sahip olması için Li-ion batarya teknolojisini kullanan dizel-elektrik sistemini bulundurmaktadır. Bahse konu batarya türünün kullanılması bu denizaltılara çok büyük avantajlar sağlamasının yanında bazı dezavantajlı durumlarda oluşturmaktadır. Bu nedenle bahse konu batarya teknolojisinin faydası avantaj ve dezavantajları ölçüsünde ön plana çıkmaktadır.

4.1.1. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun asit bataryalar, olgunlaşmış bir teknolojiye sahip bataryalardır. Geçmişten günümüze kadar güvenle kullanılmış bataryalardır. Hali hazırda günümüzde de en çok kullanılan batarya türlerinden bir tanesidir. Ancak bu bataryalarında dezavantajları bulunmaktadır.

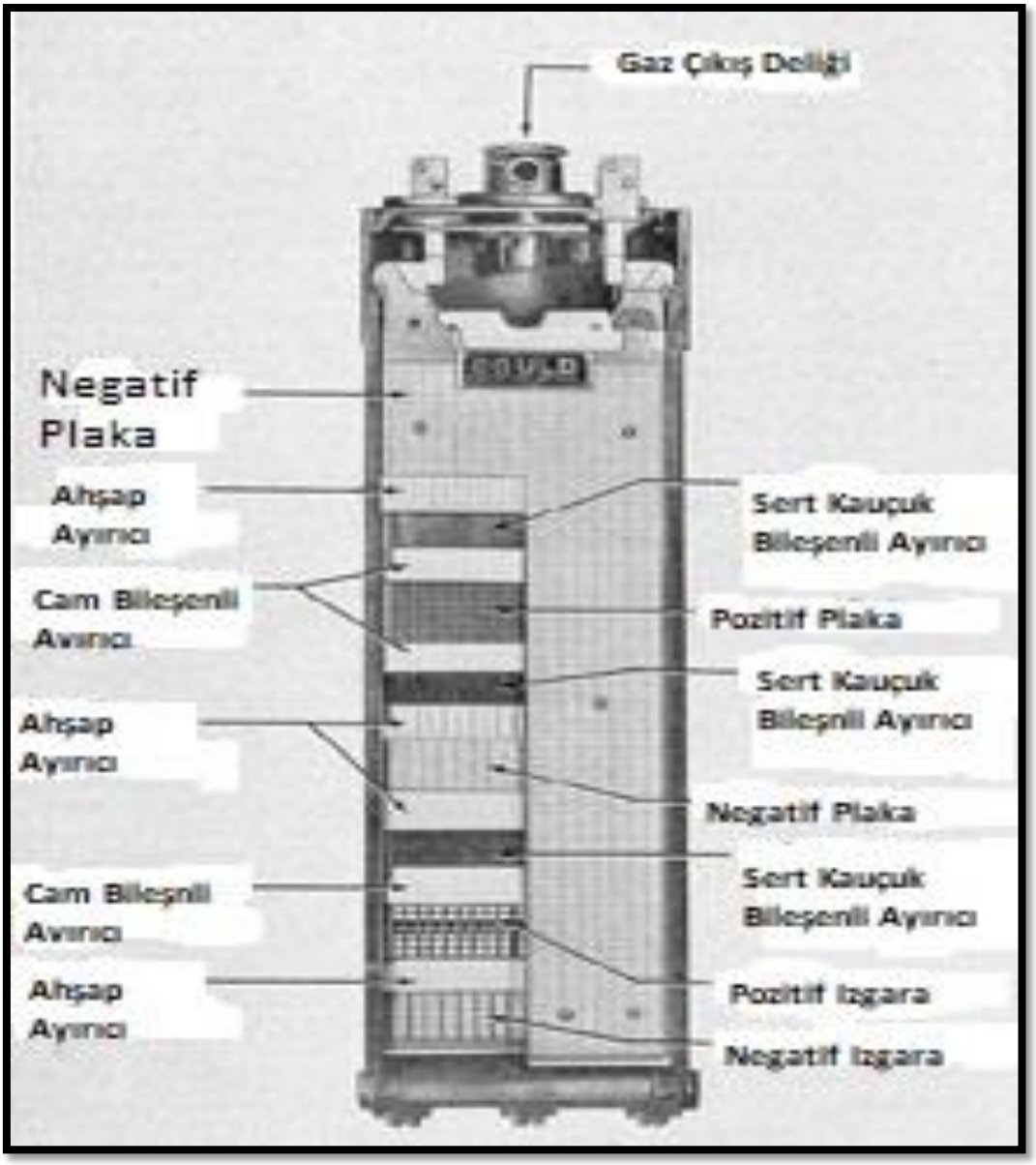
Aşağıda Şekil 4.2'de konvansiyonel denizaltılarda kullanılan tipik bir kurşun asit denizaltı bataryası gösterilmiştir. Kurşun asit bataryalar, negatif ve pozitif plakalar kullanılarak oluşturulur. Sırasıyla kurşun ve kurşun dioksitten oluşturulmuş plakalar, sülfürik asitte batırılarak ve elektrolit ile kauçuk bir asit sızdırmaz bir batarya kabına konularak batarya meydana getirilir. Bataryalar kullanımına göre şarj edildiğinde veya deşarj işlemi gerçekleştirildiğinde batarya plakalarındaki elektronlar bataryadaki elektrolitten geçerek plakalar arasındaki elektron akışını meydana getirir ve bu akımı oluşturur. Bundan dolayı bataryanın kutup başları arasında bir DC gerilim meydana gelir. Kurşun asit bataryalarda batarya gerilimi genellikle 2 Volt DC'dir. Kurşun asit

bataryalardan farklı değerdeki gerilimler elde edilmek istendiği zaman bataryalar seri ya da paralel bağlanarak batarya grupları oluşturularak farklı gerilim değerleri ve farklı batarya kapasitelerine sahip batarya grupları oluşturulabilir.

Kurşun asit bataryalar dağıtım şebekelerine bağlı olarak anlık gerilim değerine ve bataryaların şarj durumuna göre kendi kapasitelerinin yüze yirmisine kadar deşarj edilebilirler (McGuinness ve Benjamin, 2003).

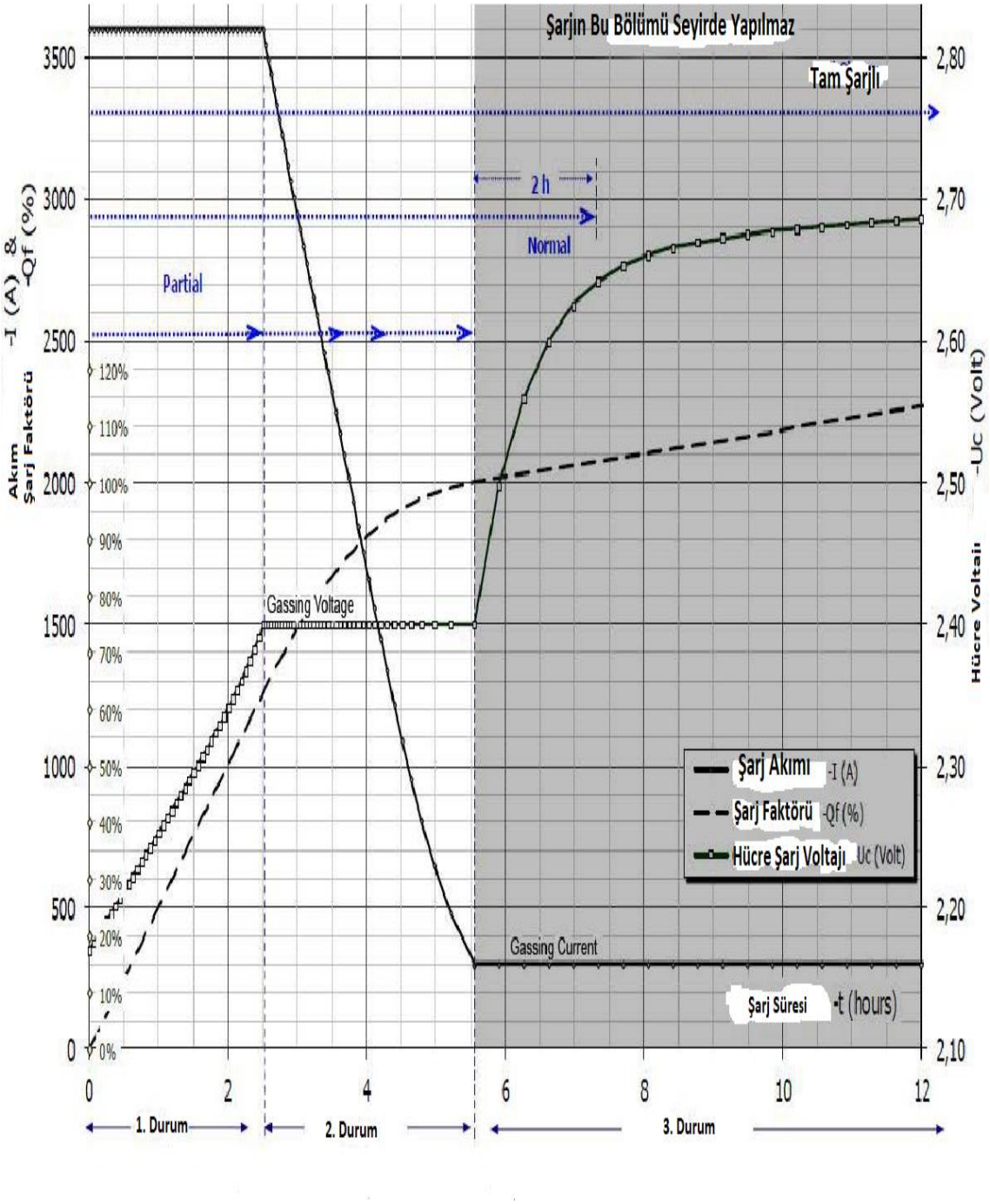
Kurşun asit bataryalarda şarj veya deşarj esnasında bataryada meydana gelen kimyasal reaksiyon her iki yönde de gerçekleşebildiğinden bataryanın toplamda enerji verme ve alma kabiliyeti ve reaksiyon oluşma hızı bataryadan düşük güçte güç talep edildiğinde batarya gerilimi daha uzun süre yüksek kalarak daha fazla enerji verilebilecektir. Ancak bataryadan yüksek güç taleplerinde bataryanın gerilimi uzun süre dayanmayıp daha çabuk düşmektedir. Denizaltılarda kullanılan kurşun asit bataryalardan maksimum verim elde edebilmek için yüksek sıcaklıktan etkilenen kurşun asit bataryalara batarya soğutma sistemleri takılarak, bataryalar kutup başlarından soğutularak bataryalar maksimum kapasitede kullanılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca bataryalardaki elektrolit sıvısının batarya içerisinde homojen olarak dağıtılmasıyla plakalar arasındaki elektron akışı maksimum seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Bunun için bataryaya hava üflenerek elektrolit sıvısı homojen olarak dağıtılır. Bu durumda bataryanın daha iyi performans ortaya koymasını sağlar. Zira batarya içerisindeki elektrolit sıvısı homojen dağılmadığı takdirde plakalardaki iyon geçişi yeterince sağlanmamış olur bu da bataryanın kapasitesinin altında çalışmasına neden olur.

Yukarıda değinilen hususlar kapsamında denizaltılarda kullanılan kurşun asit bataryaların ihtiyaç duyduğu kutup başlarının soğutulması ya da batarya içinde bulunan elektrolitin homojen dağıtılması için ihtiyaç duyulan yardımcı sistemlerden de söz edilmektedir. Bu sistemler hem fazladan maliyet hem de denizaltıdaki hacmi kullanarak bahse konu batarya için dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır. Çünkü denizaltı gibi sınırlı bir hacme sahip bir platformda ne kadar çok fazladan hacim kalırsa bu platformun ihtiyaç duyduğu diğer sistemlerin denizaltıya yerleştirmesine yardımcı olur. Böylelikle hacim acısından avantaj sağlanır.



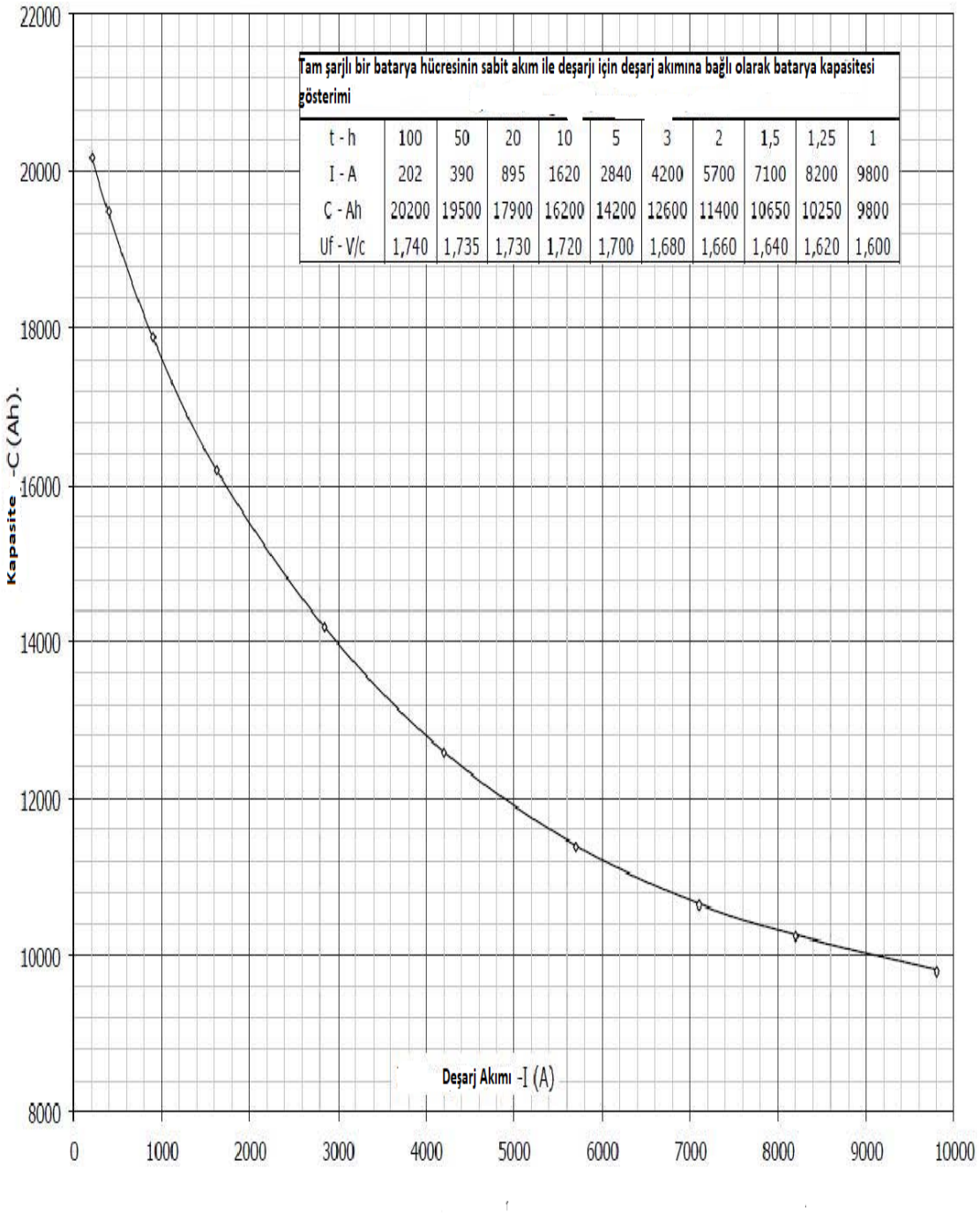
Şekil 4.2. Kurşun Asit Denizaltı Bataryası (URL-8).

Kurşun asit bataryalar şarj edilirken sürekli izlenmelidir. Kurşun asitli bataryalar şarj edilirken batarya gerilimleri, sıcaklıkları izlenmelidir. Ayrıca kurşun asit bataryalar şarj edilirken hidrojen gazı açığa çıkarma durumları da göz ardı edilmemelidir. Zira ortamdaki hidrojen belli bir seviyenin üstüne çıkarsa ortaya tehlikeli bir durum çıkar ve bu istenmeyen bir durumdur. Özelikle ortam sürekli havalandırılmalıdır. Şekil 4.3. ve Şekil 4.4'de bir kurşun asit denizaltı bataryasının şarj ve deşarj grafiği gösterilmiştir. Bataryaların şarj durumlarındaki gerilim ve akım hareketlerinin zamanla olan ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kurşun Asit Denizaltı Bataryasının Şarj Durum Karakteristiği. (Pilat ve diğ., 2017).

Şekil 4.3'te denizaltılarda kullanılan kurşun asit bataryalar şarj olurken üç aşama oluşturur. Bu şarj aşamaları bataryayı şarj edecek şarj jeneratörlerinin seçiminde de önemli bir teknik parametre olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi halde şarj edilen bataryalardan istenilen performans elde edilemeyecektir.



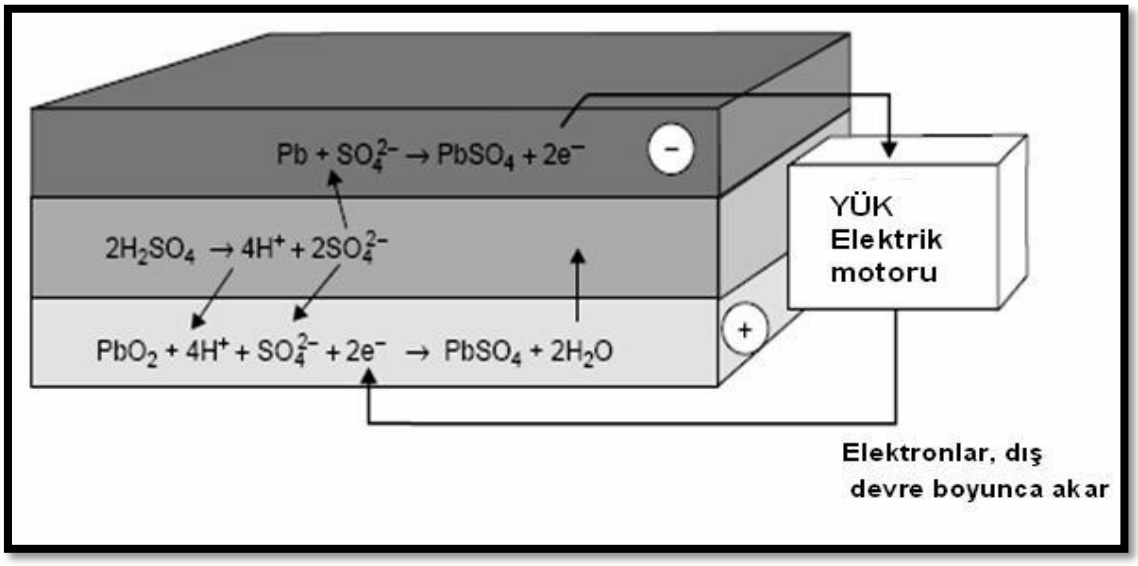
Şekil 4.4. Kurşun Asit Denizaltı Bataryasının Deşarj Akım Karakteristiği (Pilat ve diğ., 2017).

Tablo 4.3'te denizaltılarda kullanılan kurşun asit bataryalarının avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Bahse konu tabloda kurşun asit bataryaların önemli özelikleri göze çarpmaktadır. En önemli özelliği yıllardır denizaltılarda güvenle kullanılan bir batarya olmasıdır.

Tablo 4.3. Kurşun Asit Bataryaların Avantaj ve Dezavantajları (Thornton, 1994).

Avantaj	Dezavantaj
Uzun yıllarıdır kullanılan ve kendini kanıtlamış bir teknolojiye sahiptir.	Farklı türdeki bataryalara göre daha az enerji yoğunluğuna sahiptir.
Uzun batarya ömrüne sahiptir.	Şarj sırasında hidrojen üretir ve bu husus istenmeyen bir durumdur.
Son dönemlerde yapılan iyileştirmelerle daha iyi hale gelmiştir.	Şarj ve deşarj sırasında bataryanın gerilimi, sıcaklığı ve asit seviyesinin izlenmesi önem arz eder.

Kurşun-asit bataryanın çalışmalarını yaptığı ilke, sülfürik asit içindeki kurşun ve kurşun dioksitin elektrokimyasal reaksiyonlarına dayanır. Enerji, sülfürik asit ve kurşun oksit etkileşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Uzun zaman önce yapılan çalışmalar şu sonucu verdi: Bu bataryada (en azından) yaklaşık 60 reaksiyon meydana geldi ve bunların üçte biri elektrolit asidi olmadan gerçekleşti. Boşalma sırasında katotta kurşun oksidasyonu başlar ve kurşun dioksit azalır (sadece anotta). Şarj edildiğinde ters reaksiyonlar meydana gelir. Dolayısıyla kurşun asit batarya boşaldığında sülfürik asit akışa girer (elektrolit yoğunluğu düşer) (Pilat ve diğ., 2017). Şekil 4.5'te kurşun asit bataryanın çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kurşun Asit Bataryaların Çalışma Prensibi (McGuinness ve Benjamin, 2003).

4.1.2. Nikel Kadminyum Bataryalar

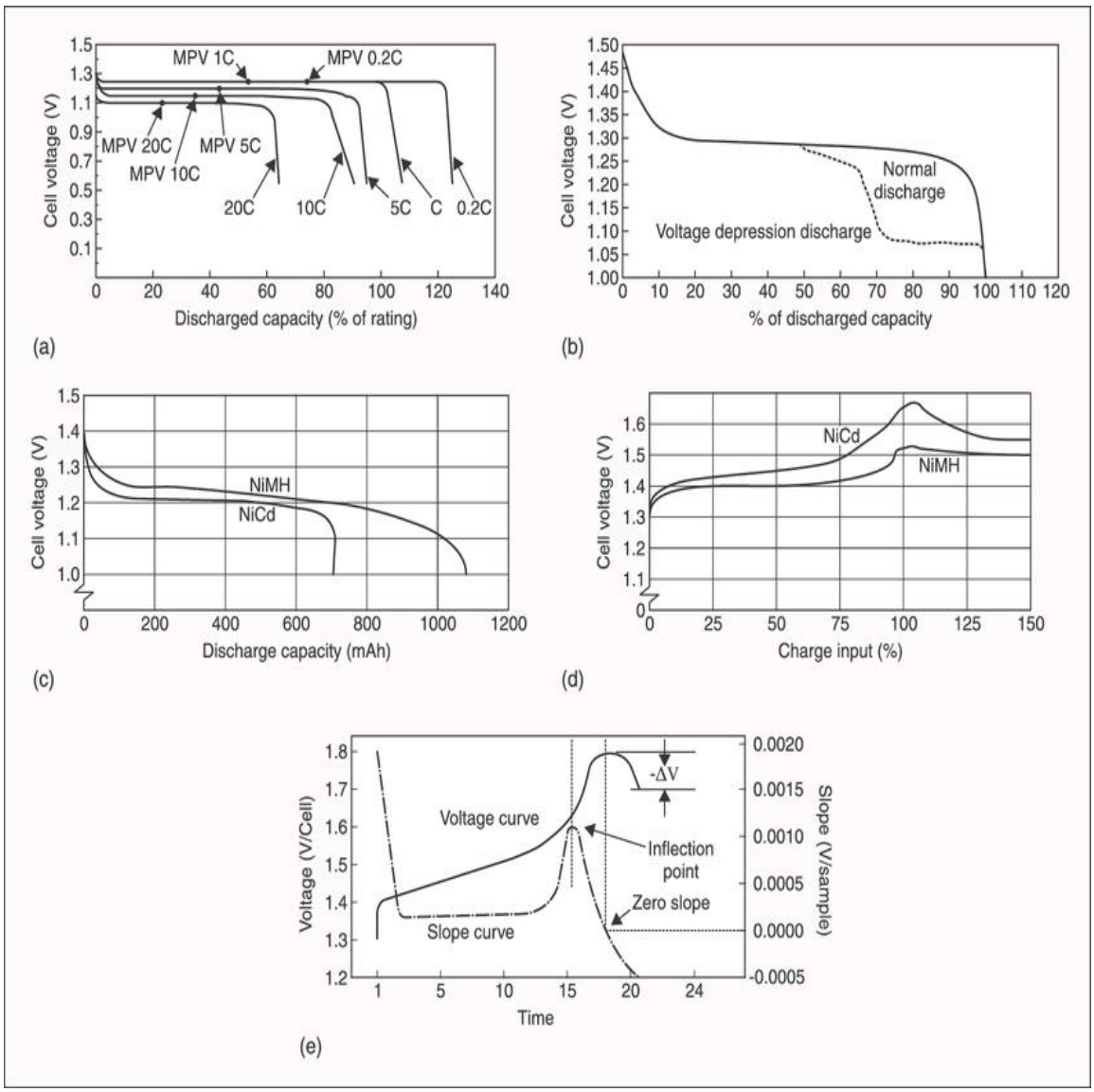
Nikel Kadmiyum (NiCd) bataryalar 1915'lerden beri birçok ticari alanda kullanılmaktadır. Bu piller, negatif elektrotta metalik kadmiyum ve pozitif elektrotta nikel oksihidroksit içerir. Nikel kadmiyum piller, kurşun asit pillere göre daha fazla döngü sayısı, daha fazla güç ve enerji yoğunluğu sağlar. Bu pillerin ömrü, 1500 ila 3000 devirlik derin deşarj aralığında kullanılan Ni/Cd pilin tipine bağlıdır (Mutarraf ve diğ., 2018). Bu tip piller daha düşük seviyelerde dahi çalışabilme özelliği ile ön plana çıkmaktadır. 20 C ile 40 C arasında değişen sıcaklık aralığında çalışabilir. Ayrıca kadmiyum toksisitesi nedeniyle Avrupa'da tüketici kullanımı yasak olan pillerdir (Mutarraf ve diğ., 2018). Bu pillerde en iyi performans, pil %20 ile %50 arasında boşaldığında elde edilir.

Nikel-kadmiyum bataryaların uygulama alanları genellikle ticari yönde olup denizaltı platformu gibi büyük batarya kapasitesi olan bataryalar kullanan gemiler için değil daha küçük kapasiteli bataryalar üretilerek küçük cihaz ve platformlara uygulanmaktadır. Küçük elektrikli cihazlar, cep telefonları, taşınabilir bilgisayarlar ve elektrikli otomobiller gibi çeşitli alanlarda Ni/Cd bataryalar kullanılır. Ni/Cd bataryalar çeşitli özellikleri yönünden kurşun asitli bataryalarla aynıdır. Ni/Cd bataryalar fazla enerji depolayabilme özellikleri yönünden ön plana çıkmaktadır. Tablo 4.4'de aynı güçteki kurşun asit batarya ile nikel kadmiyum batarya karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.4. Aynı Güçteki Kurşun Asit ve Nic-Cd Bataryanın Karşılaştırması (Thornton, 1994).

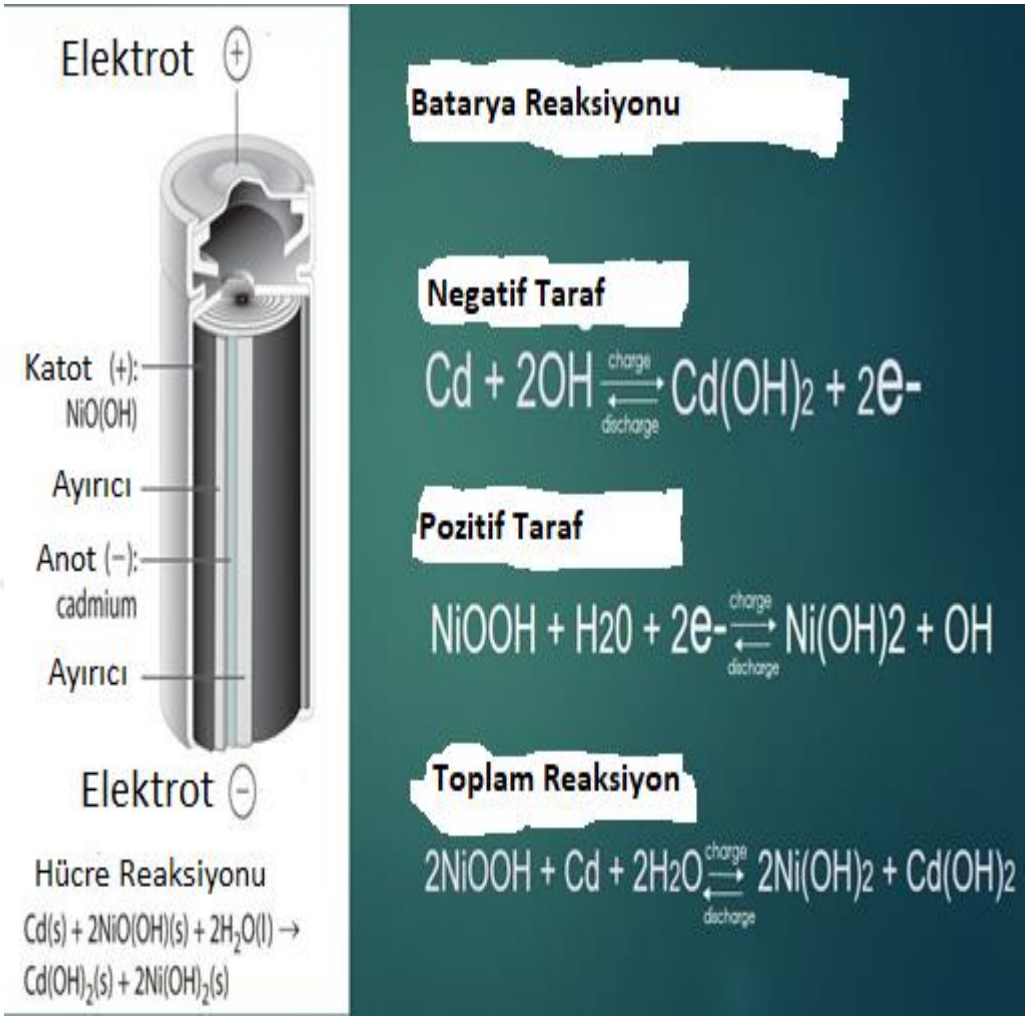
Özellik	Kurşun Asit (800 kW)	Ni/Cd (800 kW)
Ağırlık (ton):	48,8	26,7
Hacim (ft3):	520	390

Tablo 4.4.'den de anlaşılacağı üzere aynı güçteki Ni/Cd batarya ile kurşun asit batarya karşılaştırıldığında Ni/Cd bataryanın daha hafif ve hacim olarak da az olduğu görülmektedir. Bu husus önemli bir avantajdır. Şekil 4.6'da nikel kadmiyum bataryanın şarj deşarj karakteristik eğrileri sunulmuştur.



Şekil 4.6. Ni/Cd Batarya Şarj Deşarj Karakteristik Eğrisi (Kularatna, 2011).

Şekil 4.6'daki deşarj grafiğinden de anlaşılacağı üzere deşarj kapasitesinden sonra hücre gerilimi aniden düşmektedir. Bu bir dezavantajdır. Ancak yüksek enerji yoğunlukları çoğu uygulamada bu özelliği göz ardı etmektedir. Fakat denizaltı gibi bir platforma uygulandığı takdirde bu durum çok büyük bir dezavantaj haline gelebilmektedir.



Şekil 4.7. Ni/Cd Bataryaların Batarya Yapısı ve Kimyasal Reaksiyonu (Johnson ve diğ., 2019).

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere Nikel kadmiyum (Ni/Cd) bataryalar pozitif tarafında nikel hidroksit plaka, negatif tarafında kadmiyum plaka ve bu iki plaka arasında potasyum hidroksit elektrolit bulunur. Bu elektrolit kimyasal reaksiyonun oluşmasını sağlar. Ni/Cd bataryalar kimyasal reaksiyon sonunda gaz oluştururlar ve bundan dolayı bu bataryalarda havalandırma ihtiyacı meydana gelir. Bu husus bir dezavantaj oluşturur. Bataryanın deşarjı boyunca gerilimi sabit olur ancak deşarj sonunda aniden bataryanın gerilimi düşer ve bu da istenmeyen bir durumdur. Kullanıcılar tarafından istenilen gerilim seviyesini yakalamak için seri bağlanan batarya paketleri oluşturulmaktadır. Tablo 4.5'te nikel kadmiyum bataryanın avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Tablo 4.5. Ni/Cd Bataryaların Avantaj ve Dezavanjları (Johnson ve diğ., 2019).

Avantaj	Dezavantaj
Benzer batarya türlerine oranla daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir.	Batarya tamamen deşarj olduğunda gerilim aniden düşer.
Bataryanın kullanım ömrü açısından diğer bataryalara göre daha avantajlıdır.	Batarya hafıza (bellek) etkileri
Hızlı şarj yeteneği sayesinde daha hızlı şarj olur.	Fiyat açısından bakıldığında ucuz bir batarya değildir.
Fazla bakım gerektirmez.	

4.1.3. Lityum Bataryalar

Dünyada gelişen teknoloji ile denizaltı bataryaları da gelişim göstermiştir. Hali hazır da konvansiyonel denizaltılarda kullanılan batarya türü kurşun asit batarya olmasına rağmen lityum iyon batarya kullanımına yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Bunun en büyük nedenlerinden bir tanesi de kurşun asit batarya teknolojisinin olgunluk seviyesine ulaşmış olması olarak da görülebilir. Zira yeni nesil bataralar daha fazla enerji depolanabilmesi için ön plana çıkmaktadır. Bu husus denizaltılar için arzu edilen bir durumdur. Çünkü denizaltı ne kadar enerji depolarsa o kadar gizliliğini muhafaza etmiş olur. Denizaltının sualtındaki kalma süresini artıran bu tür batarya teknolojileri denizaltıların seyir menziline de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

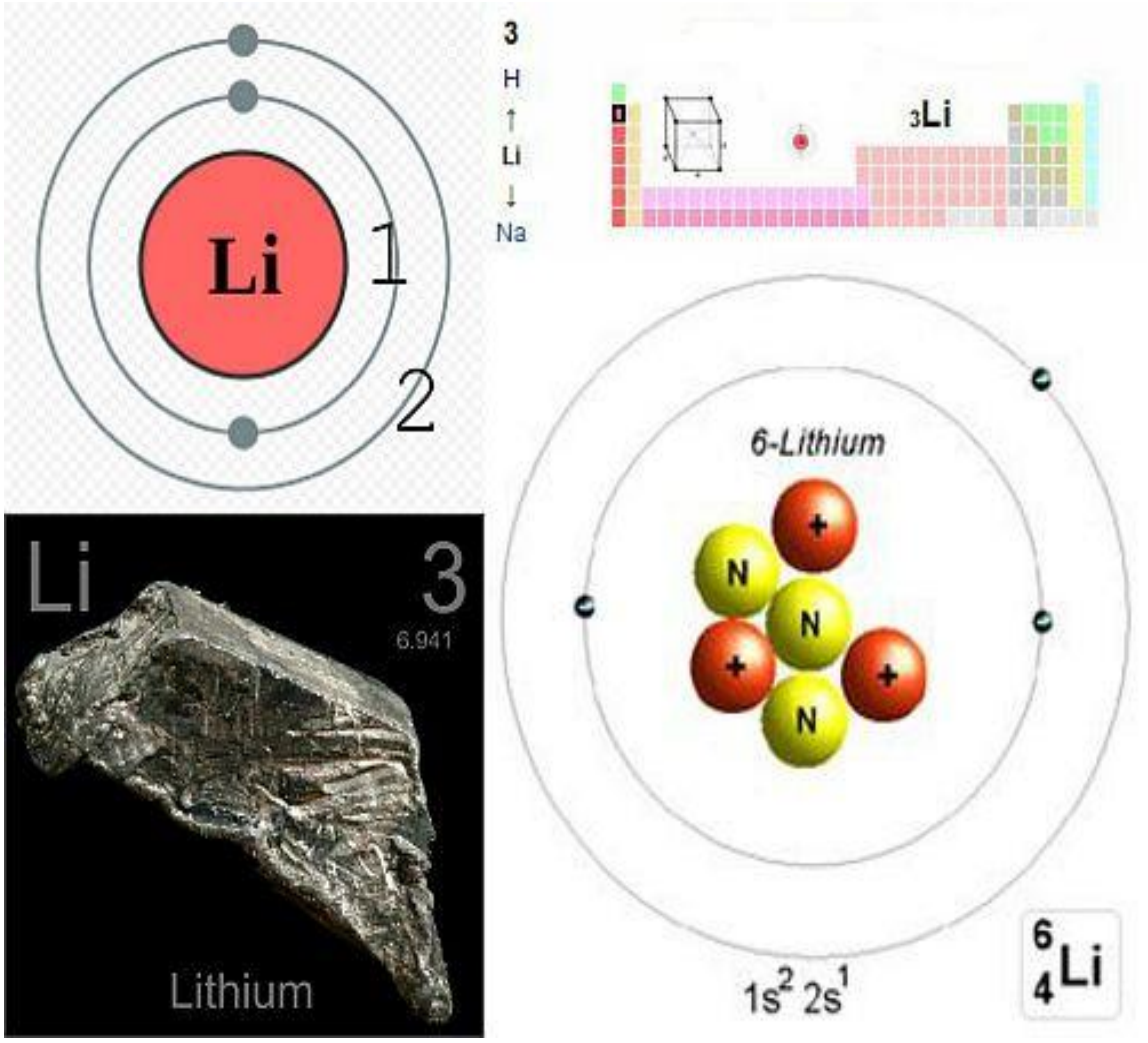
Lityum Elementi:

Lityum elementi büyük patlamanın ilk anlarında oluşmuş bir elementtir. İnsanların ilk olarak lityum elementinin varlığını keşfetmesi ise İsviçreli kimyagerler olan Johan August ve Jöns Jacop Berzelius'un Stocholm takımadalarında bulunan Utö Madeni'ndeki bir mineral numunesinden bir miktar saflaştırmalarıyla ortaya çıkmıştır. Bulunan bu yeni elemente Yunanca'da taş anlamına gelen "Lithos" kelimesi referans alınarak lityum ismi verilmiştir. Lityum elementinin adının taş anlamı taşımasına rağmen Lityum hafif bir katı elementtir (Ramanan, 2019). Şekil 4.8'de lityum elementi gösterilmiştir.

Lityum İyon bataryanın kimyasal yapısı incelendiğinde; lityum elementinin kararsız bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda lityum elementinin havayla temas etmemesi gerekir aksi takdirde yağın oluşturma riski doğabilir. Lityum elementinin tepkimeye girmeye karşı meyilli olması hem bir avantaj hem de bir dezavantaj olarak görülebilmektedir. Bataryaların temel çalışma prensipleri dikkatte alındığında elektronların annottan (eksi elektrottan) artı elektroda yani (anota) doğru akmalıdır. Bu yüzden anotla katot arasındaki elektron akışı ne kadar fazlaysa o kadar fazla akım oluşur. Lityum bünyesinde yer alan elektronları kolayca vermeye meyilli olduğundan bu durum lityumu avantajlı bir element haline getirmektedir. Başkaca batarya tipleri anotları ile katotları arasındaki elektron akışını çeşitli kimyasal tepkimeler kullanarak yavaş yapar. Lityum iyon, bataryalarda şarj edildiğinde veya deşarj edildiğinde lityumda bulunan iyonlar içinde bulunduğu ortamla etkileşmeden elektrotlar arasında akışı sağlar ve bu da bataryanın ömrünü uzatarak bataryanın daha uzun süre kullanılmasına imkan sağlar.

Ayrıca bataryanın ilk üretilirken ki performansını uzun süre koruyarak yüzlerce kez şarj edilmesine olanak sağlar. Bu durum lityumu cazip hale getirerek çeşitli alanlarda lityum bileşenli bataryaların kullanılmasına ortam hazırlayarak dünyadaki kullanılan batarya türlerine çeşitlilik kazandırılmasına olanak sağlar.

Lityum iyon bataryalarda şarj işlemi gerçekleştirildiğinde bataryadaki iyonlar çevreleriyle etkileşmeden elektrotlar arasında akmasından dolayı batarya daha uzun ömürlü olur ve bataryanın performansı düşmeden batarya yüzlerce kez şarj edilebilmektedir (Ramanan, 2019).

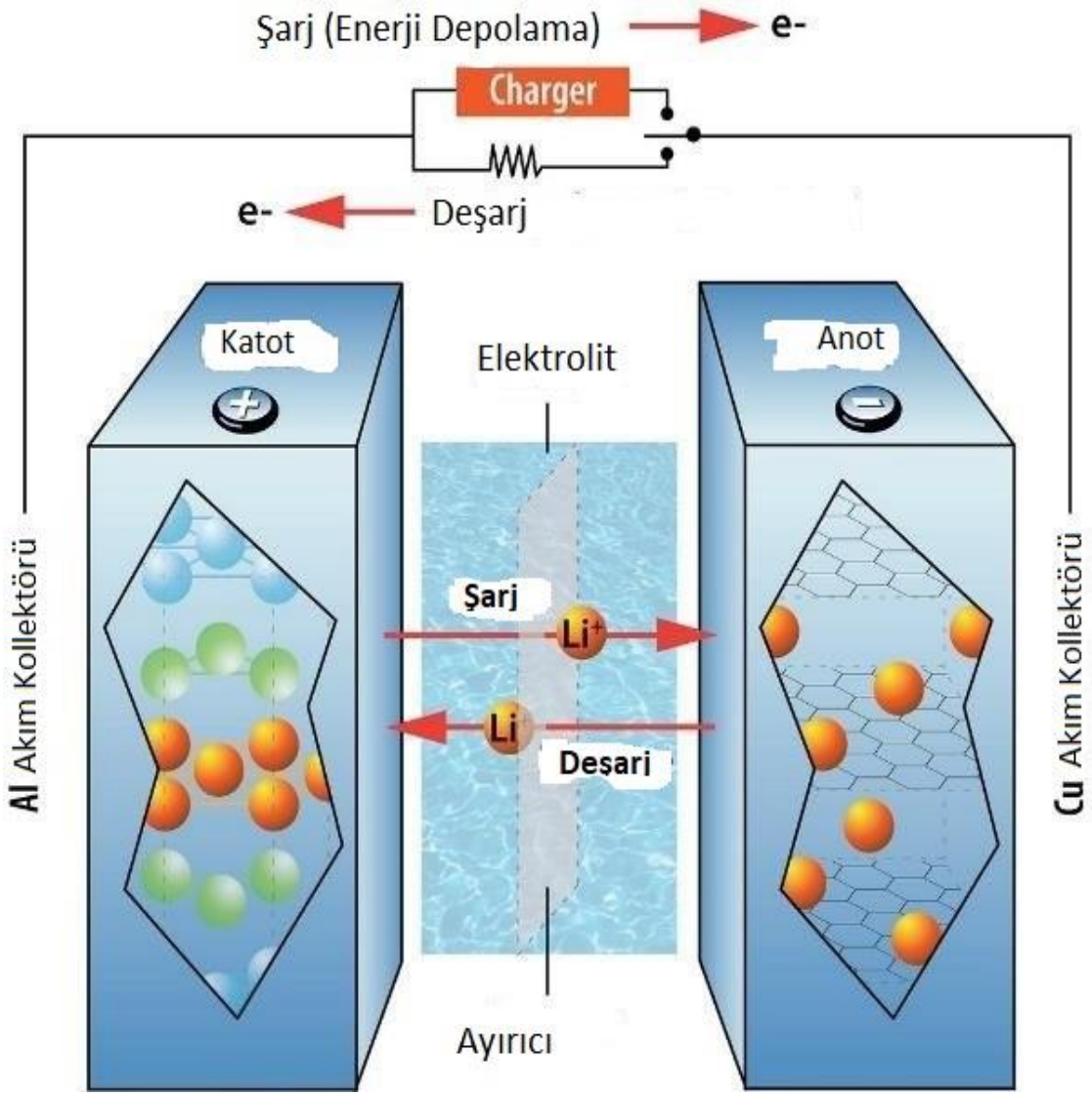


Şekil 4.8. Lityum İyon Elementi (Gray, 2012).

Bataryalar elektrokimyasal olarak enerjinin depolandığı taşınabilir sistemlerdir. Bir bataryada enerjiyi elektrokimyasal olarak depolamayı sağlayan temel bileşenler anot ve katot aktif maddeleridir. Birim hacim ve birim kütlede depolanan enerjinin miktarını arttırmak istenildiğinde, batarya içerisindeki anot ve katot aktif maddelerin enerji depolama kapasitesinin (mAh/g) iyileştirilmesi ve batarya içerisindeki miktarının artırılması gerekir. Bundan farklı olarak başka bir yöntem ise bataryanın çalışma geriliminin arttırılması olabilir. Bu da ancak istenen gerilimde kararlı bir şekilde çalışabilecek elektrolitin oluşturulması ile olabilir.

Lityum İyon Batarya Hücre Yapısı:

Lityum iyon bataryalar anot (negatif elektrot) ve katot (pozitif elektrot) olmak üzere iki elektrot ve gözenekli bir yapıda olan iki elektrotu ayıran bir seperatörden oluşmaktadır.

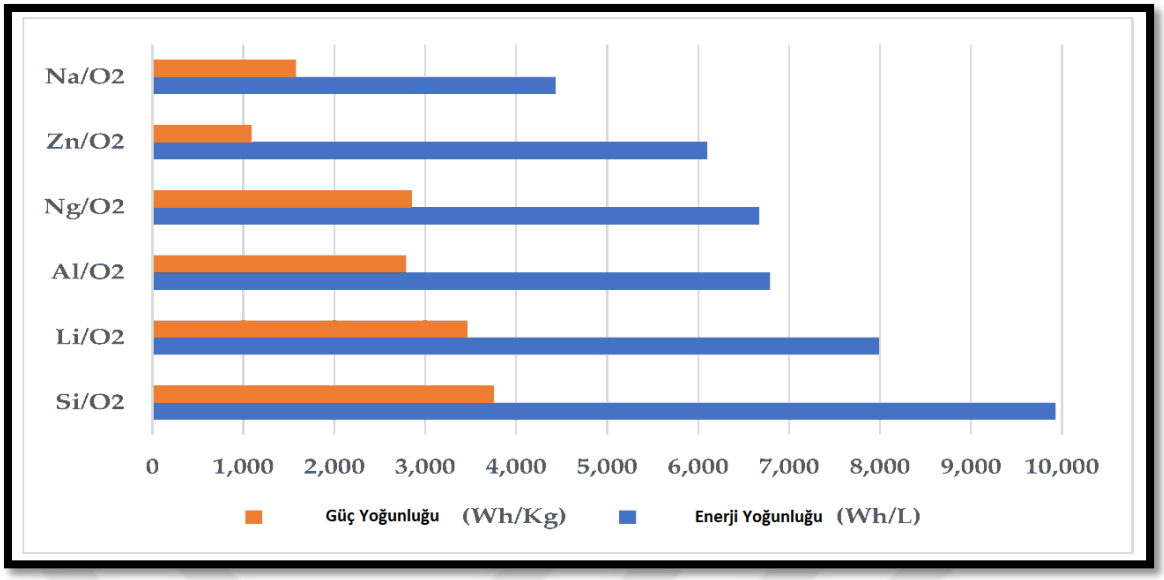


Şekil 4.9. Lityum İyon Hücre Yapısı (Kartini ve Genardy, 2020).

Şekil 4.9'da lityum iyon hücre yapısı gösterilmiştir. Hücre yapısında elektrotlarla beraber seperatör de bulunmaktadır. Seperatör, karşıt polariteye sahip elektrotlar arasına yerleştirilen, iyon akışına izin veren ve elektrotlar arasına yerleştirilen, iyon akışına izin veren ve elektrotlar arasında elektriksel olarak kısa devre oluşmasını engelleyen gözenekli geçirgen bir zardır. Seperatörler kimyasal ve elektrokimyasal olarak kararlı yapıda olmalıdırlar. Ayrıca mekanik olarak dayanıklı yapıda olmaları batarya üretim işlemleri sırasında maruz kalacakları işlemler açısından önem arz etmektedir. Lityum iyon batarya teknolojisi, kullanım ömrü olarak da diğer batarya türleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Tablo 4.6'da lityum iyon bataryanın avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

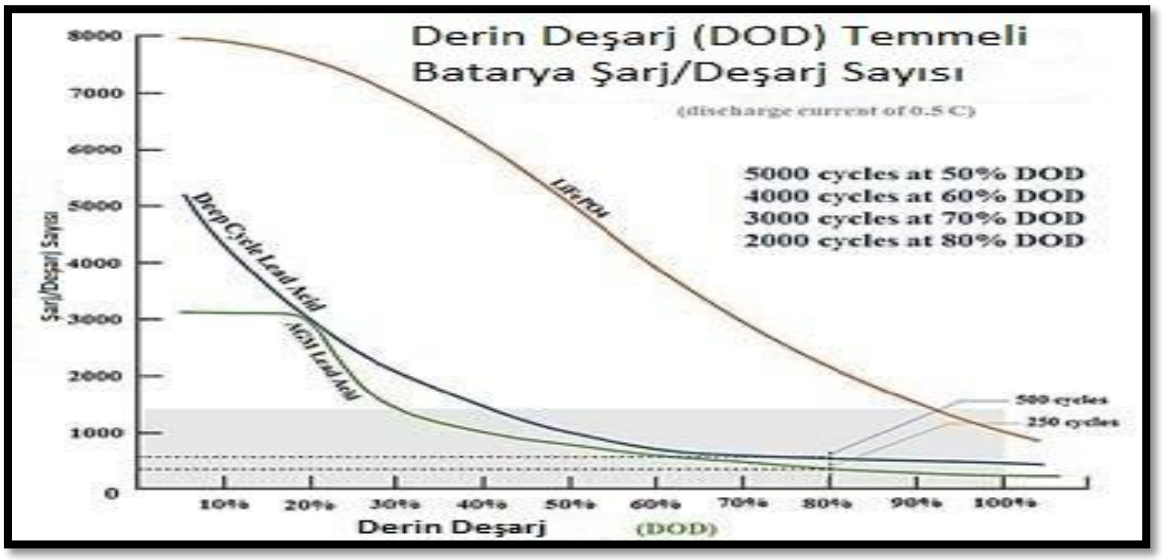
Tablo 4.6. Lityum İyon Bataryaların Avantaj ve Dezavantajları (Sharma ve diğ., 2020).

Avantajları	Dezavantajları
Hali hazırda lityum iyon bataryaların enerji yoğunluğu çeşitli bataryalara oranla daha fazladır.	Yüksek şarj ve yüksek deşarj halinde batarya olumsuz etkilenebilmektedir. Bu husus yangın oluşumuna neden olabilmektedir.
Lityum iyon bataryalar ani yüklenmelerde farklı batarya türlerine oranla daha yüksek enerji sağlamaktadır.	Bu tür bataryaların durumlarının izlenebilmesi için batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.
Ağırlık açısından farklı batarya türlerine oranla daha avantajlıdır.	Bataryada herhangi bir kısa devre oluşması halinde yangın riski meydana gelmektedir.
Diğer batarya türlerine göre daha fazla ömre sahiptir.	Lityum iyon bataryaların elektrokimyasal yapısı göz önünde bulundurulduğunda lityum bataryalarda oluşabilecek bir yangın bilinen yangın söndürücüler ile söndürülemeyebilir.
Bakım ihtiyacı olmayan kapalı tipteki bataryalardır.	Lityum yangını esnasında toksin gaz açığa çıkar.
Şarj esnasında atık olarak ortama herhangi bir gaz vermez.	Lityum bataryalarda oluşan kısa devre akımları yüksektir.
Batarya nem - sıcaklık gibi olumsuz çevre şartlarından korunmuştur.	Günümüzde lityum iyon bataryaların denizaltı platformlarına uygulanmaları yaygın değildir.
Batarya düşük sıcaklıklarda bile çalışabilmektedir.	



Şekil 4.10. Farklı Batarya Teknolojilerinin Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması (Olabi ve diğ., 2021).

Şekil 4.10. incelendiğinde enerji yoğunluğu olarak lityum iyon bataryaların diğer bataryalara göre daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Bu da denizaltıların daha fazla su altında kalmalarına imkan tanımaktadır. Ayrıca lityum iyon batarya, şarj deşarj sayısı açısından da kurşun asit bataryaya göre daha avantajlıdır. Şekil 4.11'de bu durum görülmektedir.



Şekil 4.11. Lityum Batarya Deşarj Durumunun Kurşun Asit Bataryayla Karşılaştırılması (Keshan ve diğ., 2016).

Lityum iyon bataryanın deşarj sırasında batarya gerilim seviyesindeki kararlılığı, kurşun asit bataryaya göre daha iyidir. Bu da daha uzun bir batarya kararlılığı sunar.

Lityum-iyon bataryaların diğer batarya türlerine göre sağladıkları avantajlar göz önünde bulundurulduğunda bu batarya teknolojisinin çeşitli ticari alanlar için büyük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ülkelerin savunma sanayileri de bu durumdan payını almıştır. Bu bataryaların çeşitli askeri sistemlerin ihtiyaçlarına cevap vermesi bu bataryaların batarya pazarındaki etkinliğini daha da arttıracaktır (URL-12).

Lityum-iyon bataryalar ülkelerin silahlı kuvvetlerinin farklı uygulamalarda uzun zamandır yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Bahse konu uygulama alanları taşınabilir özellikte olan cihazlar olan askeri telsizler, termal kameralar ve dizüstü bilgisayarları kapsamaktadır. Lityum iyon batarya teknolojisinin daha da gelişmesiyle bu bataryaların uygulama alanlarının, askeri arazi araçlarında, askeri botlarda, uçaklar, füzeler ve torpidolar gibi çeşitli alanlara yayılması öngörülmektedir.

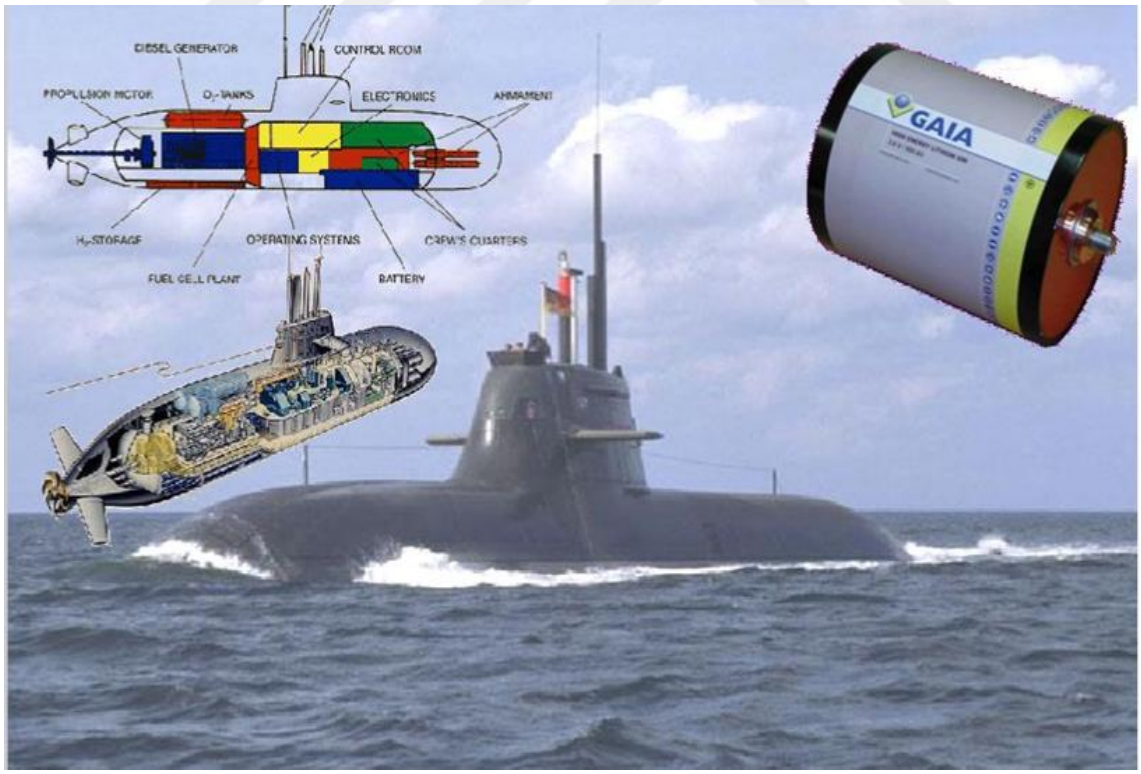
Askeri uygulamaların ihtiyaçlarına süratle cevap veren ve diğer batarya türlerine büyük avantajlar sağlayan lityum iyon bataryalar, günümüzde hala kullanılan ve olgunlaşmış bir teknolojiye sahip kurşun asit bataryalara oranla daha büyük avantajlar sağlar. Kullanım ömrü açısından yaklaşık olarak 10 yıllık bir kullanım süresi sunan ve bakıma ihtiyaç duymayan lityum iyon bataryalar, kurşun asit bataryalara oranla üç kat daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bundan dolayıdır ki Lityum-iyon bataryalar bu özellikleri sayesinde hali hazırda araçlarda kullanılan bataryaların neden olduğu yüksek maliyet saha lojistiğini de önemli ölçüde azaltacaktır.

Denizaltı uygulamalarında Lityum-iyon bataryalar önemli bir avantaj sağlayabilir. Çünkü denizaltı gibi savaş platformlarının su altında uzun süre kalarak hareket edebilme ihtiyaçları oldukları bilinmektedir. Bu ihtiyaçtan dolayı lityum iyon bataryaların bazı özellikleri göz önünde bulundurulduğunda denizaltıların görev profillerine önemli katkı sağlayacakları görülmektedir. Lityum-iyon bataryaların daha uzun süre dayanabilmesi, hızlı şarj olması ve sessiz çalışabilmesi bu bataryaların denizaltılara büyük avantaj sağlayabilecekleri özelliklerinin başında gelmektedir. Güney Kore Devleti, bu alanda yaptığı çalışmalarla lityum iyon bataryalarla denizaltıların su altında kalma sürelerini iki

katına çıkarabileceğini açıklarken, Japonya Devleti bazı denizaltıları ilk lityum-iyon bataryalarla donattığını açıklamıştır.

Lityum iyon bataryanın hammaddesi olan lityumun askeri alanda kullanılmasının bir başka hali de bahse konu hammaddenin yanıcı özelliği ile daha fazla ısı üretilerek termonükleer silahlar da dahil olmak üzere birçok gelişmiş savaş silahında kullanılmasıdır (URL-12).

Güney Kore donanması, en yeni denizaltılarında kurşun-asit pil kullananlara kıyasla çalışma saatlerini iki katına çıkarabileceklerini iddia ederek lityum iyon piller kullanacağını ifade etmektedir. Lityum iyon pillerin, beş araştırma kuruluşu ve Samsung SDI dahil altı şirket tarafından ülkenin yeni nesil saldırı denizaltıları (yeni bir sınıf FFX-III fırkateynleri) için 2020 ortalarında piyasaya sürülmesi beklenmektedir. Savunma Tedarik Programı İdaresi'ne (DAPA) göre, proje planlandığı gibi tamamlanırsa Deniz Kuvvetleri on yıl içinde yerli teknolojilerle donatılmış dokuz adet 3.000 tonluk denizaltıya sahip olacaktır (URL-13).



Şekil 4.12. GAIA firmasının Denizaltı Lityum batarya Hücresi (Romanovsky ve diğ., 2021).

Dünyada özellikle Almanya, İtalya, Güney Kore, Japonya başta olmak üzere farklı ülkelerin konvansiyonel denizaltılar için lityum iyon batarya geliştirme çabası bulunduğu bilinmesine rağmen Soryu sınıfı denizaltıların lityum denizaltı bataryası kullandığını dünyaya açıklaması Japonya'nın bu konudaki teknoloji geliştirme yarışı içerisinde önde yer alan ülkelerden biri olduğunu göstermektedir. Ayrıca Almanya'nın GAIA firması da konvansyonel denizaltılar için lityum batarya modülü için çalışmaktadır. Lityum batarya hücresi ve modülü görseli şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Lityum Denizaltı Batarya Modülü (Romanovsky ve diğ., 2021).

Şekilde denizaltılar için genel görünümü örnek verilen lityum iyon bataryaların en önemli güvenlik zaafiyeti; aşırı şarj, aşırı deşarj ve plakalar arası kısa devreye hassas yapıda olmaları nedeni ile yangın riski oluşturmalarıdır.

4.1.4. Katı Hal (Solid State) Bataryalar

Katı hal bataryalar batarya teknolojisinin gelişiminin devam ettiğine dair önemli bir adımdır. Katı hâl sürücüleri olan bu batarya teknolojisi (Solid State Drive SSD), veri depolamada da kullanılarak verilerin hızlı ve güvenilir bir şekilde insanların erişimine açılmasına imkan tanımıştır. Aynı şekilde bu bataryaların enerji depolamada kullanılmasının batarya teknolojisini daha ileri taşıyacağı düşünülmektedir. Katı hal

bataryaların önemli özelliklerinden biri, bu bataryaların ısınma problemi olmadığından oluşturabilecekleri yangın riski de sıfıra yakındır.

Ayrıca bu bataryalar kullanım süresi boyunca performansından bir şey kaybetmeden kullanılabilecek bir teknolojidir. Massachussets Institute of Technology (MIT) ve Samsung tarafından hali hazırda geliştirilmekte olan bir teknolojidir (Suoknuuti, 2021).

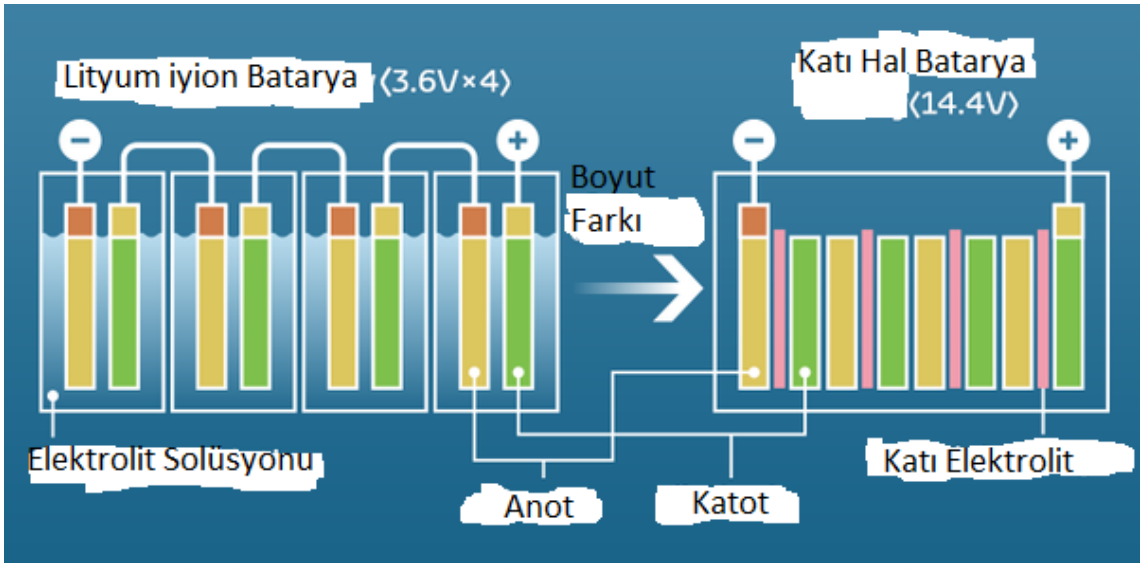
Samsung İleri Teknoloji Enstitüsü (Samsung Advanced Institute of Technology -SAIT) tarafından araştırmacıların bulgularıyla katı hal batarya teknolojisinin sunduğu enerji depolama teknolojisi, hali hazırda kullanılan elektrikli araçların menzillerini iki katına çıkarmayı hedeflemektedir.

Günümüzde elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların elektrolit yapısının sıvı kökenli olmasından dolayı ortaya çıkan problemleri katı elektrolitlerle aşmayı amaçlayan Samsung araştırmacıları, daha fazla enerji yoğunluğuna sahip ve güvenlik açısından daha iyi olan bir enerji depolama teknolojisi ortaya koymayı amaçlamaktadır. Seramik, cam, sülfat veya katı polimer bileşenlerden oluşabilen katı hâl bataryaları; ilerleyen dönemlerde Li-ion türevlerine nazaran 2 ila 10 kat daha yoğun enerji verme kapasitesine sahip olabilirler (Dinçer ve Ezan, 2020).

Son teknoloji ürünü lityum iyon hücreler; iki gözenekli elektrottan (anot ve katot) ve bir ayırıcı, Şekil 4.14'te gösterildiği gibi aktif malzemeden oluşan akım toplayıcı, iletken bağlayıcı bir malzemeden oluşur (Kartini ve Genardy, 2020).

Tüm katı hal pilleri, Li-İon pillerin aksine bileşenlerinde yanıcı organik bileşenlerin olmaması nedeniyle yalnızca daha güvenli olmakla kalmaz; aynı zamanda enerji yoğunluğunun önemli bir şekilde iyileştirilmesi için büyük bir potansiyel sunar. Bataryalar sıvı elektrolite batırılmış gözenekli bir ayırıcı yerine, elektrik yalıtkanı görevi gören katı bir elektrolit ve aynı anda iyonik iletkenden oluşan bir sıvı elektrolit gerektirir (Kartini ve Genardy, 2020).

Yukarıdaki bilgiler göz önüne alındığında katı hal bataryaların batarya teknolojisinde geleceğe damga vuracağı görülmektedir. Zira geliştirilmekte olan bu batarya teknolojisi bataryaların olumsuz yönlerini en aza indirerek bataryalardaki oluşacak riskleri minimize etmektedir. Gelecekte bu bataryanın birçok alanda kullanılması ön görülmektedir.



Şekil 4.14. Li-ion Batarya Diyagramı ve Katı Hal Batarya Diyagramı (Kartini ve Genardy, 2020).

Katı Hal bataryaların Lityum İyon bataryalara göre karşılaştırılması Tablo 4.7.'de sunulmuştur.

Tablo 4.7. Katı Hal Pillerin Lityum İyon Piller İle Karşılaştırılması.

Katı Hal Batarya	Li-İon Batarya
Avantajları	Dezavantajları
Katı Hal batarya yanıcı değildir.	Li-İon batarya yanıcıdır.
Katı hal piller, dendrit oluşumunu engelleyen katı elektrolit kullanımı nedeniyle bu durumu çözmüştür.	Lityum İyon pillerde katottan anoda akan iyonlar, pil üzerinde dendritler oluşturabilir. Sıvı elektrolitten ve anoda geçebilen katodun yüzeyi kısa devre oluşmasına neden olur.
Kısa devre riskini minimuma indirir.	Kısa devre durumunda yangın riski oluşmaktadır.
Batarya hücrelerinin doğrudan seri istiflenmesiyle elde edilebildiği için daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir.	Katı hal bataryaya göre daha az enerji yoğunluğuna sahiptir.
Batarya boyutu daha küçüktür.	Katı hal bataryaya göre batarya boyutu daha büyüktür.

Tablo 4.7. (Devam) Katı Hal Pillerin Lityum İyon Piller İle Karşılaştırılması.

Daha uzun ömürlüdür.	Katı hal bataryaya göre daha kısa ömürlüdür.
Daha yüksek kapasiteye sahiptir.	Katı Hal bataryaya göre daha düşük kapasiteye sahiptir.
Performans kaybı yaşamaz.	Performans kaybı yaşar.

Katı hal pillerin artıları göz önünde bulundurulduğunda bu batarya türünün gelecekte mevcut bataryaların yerini alacağı öngörülmektedir (Kartini ve Genardy, 2020). Bu bataryalar, sıvı elektrolit bazlı ticari lityum iyon bataryalara göre çok daha güvenli ve verimli olan geleceğin bataryası olmada önemli bir şekilde yol almaktadır. Bunun nedeni ise katı elektrolitin yüksek iyonikliğe sahip olmasıdır. Bu husus bataryanın iyi bir iletkenlik ve ayrıca yüksek erime noktasına sahip olmasını sağlar. Elektrikli araçlarda li-ion bataryanın yerini alacağı da öngörülmektedir (Kartini ve Genardy, 2020). Bunun bir sebebi de batarya için soğutma elemanlarına ihtiyaç duyulmadığından bataryayı hem boyut hem de ağırlık olarak daha avantajlı hale getirmektedir. Bahse konu batarya daha yüksek kapasiteye sahip olduğundan elektrikli araçlarda kullanılmasında aracın daha uzun bir menzile sahip olmasını sağlayacaktır. Katı hal bataryalar, henüz ticari olarak mevcut olmasa da ilerleyen teknolojik süreçte bu bataryanın mevcut lityum iyon bataryanın yerini alması beklenmektedir. Katı hal batarya teknolojisi düşünüldüğünde, hali hazırda denizaltılara li-ion batarya teknolojisi adapte edilmeye çalışılmaktadır. Ancak katı hal batarya teknolojisinin Li –ion bataryaya göre çok yüksek kapasiteye sahip olduğu dikkate alındığında gelecekte denizaltı bataryalarının yerini alacağı açıkça görülmektedir.

4.1.5. Denizaltı Batarya Kapasitesi Hesaplama Yöntemi

Denizaltılarda batarya kapasitesi hesabı yapılırken denizaltının bataryalarının konulacağı batarya odalarının hacminin bilinmesi gerekir. Böylelikle batarya odalarına koyulacak bataryaların hacmi göz önünde bulundurularak kaç adet bataryanın batarya odalarına sığabileceği durumu da görülmüş olunur. Ayrıca seçilen batarya türüne göre denizaltının ihtiyaç duyacağı elektrik kapasitesinin yanında denizaltının ana tahrik sisteminin çalışacağı gerilim büyüklüğü ve gerilim karakteristiği de dikkate alınmalıdır. Bu yüzden

denizaltılarda yapılacak olan batarya kapasitesi hesabı birden fazla parametreye bağlı olarak hesaplanmalıdır. Çünkü denizaltılarda hacim ve ağırlık açısından ileride dizayn problemlerine neden olabilmektedir. Denizaltı bataryalardaki toplam enerji kapasitesini bulmak için aşağıdaki formüllerden faydalanılacaktır (Karataş, 2019).

$$Eb = Ec * Nc\ [kW * saat] \tag{4.1}$$

Bu formülde Eb toplam batarya kapasitesini, Ec ise belli deşarj akımında bir batarya hücresinin enerji kapasitesini [kW*saat], Nc batarya sayısını göstermektedir.

Herhangi bir deşarj akımında bir batarya hücresinin enerji kapasitesi aşağıdaki ampirik formül ile hesaplanmaktadır (Karataş, 2019).

$$Ec = 23 * (0{,}3030 * (1 - e\ (-Td/26)\ ) + 0{,}2597 * (1 - e\ (-Td/2{,}7)\ ) + \tag{4.2}$$

$$0{,}2424 * (1 - e\ (-Td/0{,}41)\ ) + 0{,}1948 * (1 - e\ (-Td/0{,}05)\ ))\ [kW * saat]$$

Yukarıdaki formülde Td batarya deşarj süresini [saat] olarak ifade etmektedir. Batarya deşarj süresi aşağıda verilen ampirik formül ile hesaplanmaktadır (Karataş, 2019).

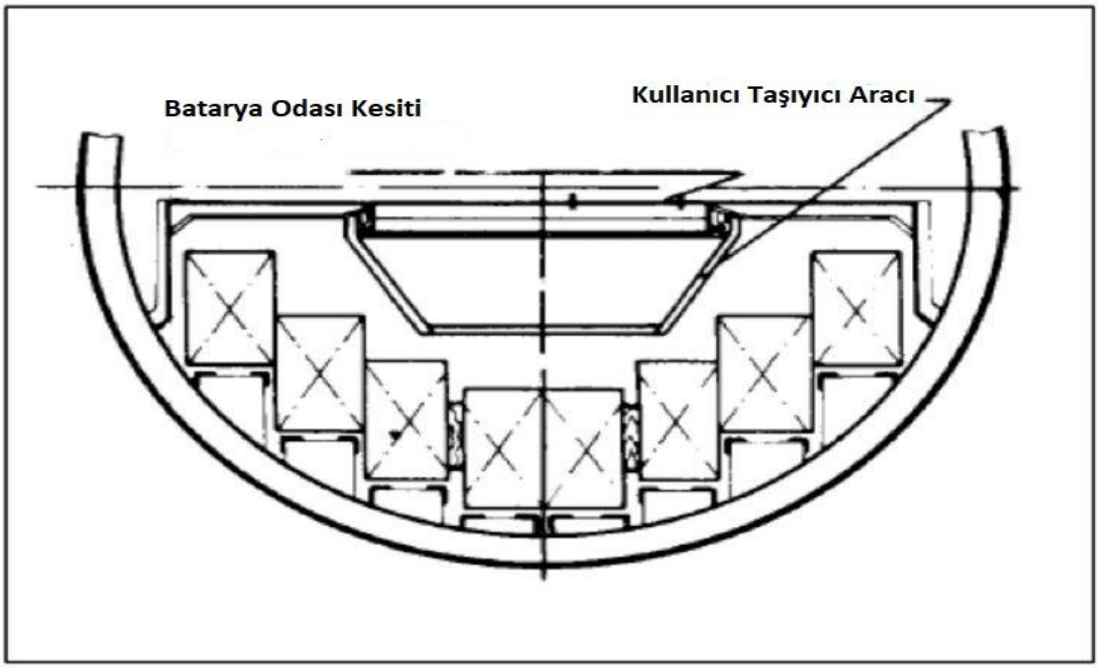
$$Td = \frac{DOD * Eb}{PD/1{,}3405 + Lh}\ [saat] \tag{4.3}$$

Burada DOD deşarj oranını, Lh sistem-yaşam yükünü [kW], Eb bataryalardaki toplam enerjiyi [kW*saat] ifade etmektedir. Deşarj oranı (DOD) %80 olarak verilmiştir.

Bu formülde PD şaft gücünü temsil etmekte olup denizaltının dizayn aşamasında şaft gücü gemi inşa mühendisleri tarafından hesaplanarak yukarıdaki formüle gerekli girdi sağlanır (Karataş, 2019).

Denizaltıların istenilen hızda hareket edebilmesi için gerekli olan etkin gücü karşılayacak kadar gücün denizaltı bünyesinde yer alması gerekir. Bu güç denizaltıda bulunan bataryalar veya diğer kaynaklar tarafından oluşturulur. Fakat bataryalar ve diğer kaynakların ürettiği gücün denizaltının hareketini sağlayacak itme kuvvetine dönüşmesi basamaklarında bazı kayıplar oluşur. Bu kayıplara bağlı olarak değişik güç ve verim ifadeleri tanımlanır (Karataş, 2019). Denizaltının v hızında yedekte çekilebilmesi için gerekli olan güce etkin güç (PE) denir. Şaft kovanından sonra pervanenin önünde ölçülen

ve pervaneye iletilen güce şaft gücü (PD) denir. Şekil 4.15'de örnek bir denizaltı batarya odası önden görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Örnek Denizaltı Batarya Odası (Karataş, 2019).

4.2. Dizel Jeneratör Sistemi Yakıt Depolama

Dünya genelindeki birçok donanmada dizel jeneratör sistemine sahip konvansiyonel denizaltılar kullanılmaktadır. Bu denizaltılarda şnorkel yapma durumunda bünyelerinde yer alan deniz tipi dizel makineler ve bu makinelerin tahrik ettiği jeneratörler bulunmaktadır. Denizaltı platformlarında yer alan dizel makinelerin çalışması için gerekli olan yakıt, denizaltı platformunda yer alan yakıt tanklarında depolanır. Bahse konu yakıt tanklarının boyutları, denizaltıların dizayn kısıtları ve harekat ihtiyaçları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Denizaltıda depolanan yakıt kapasitesi, aynı zamanda dizel makinelerin tahrik ettiği jeneratörler üzerinden üretilen elektrik enerjisi kapasitesiyle ve denizaltı bataryalarının ne kadar süre ile veya kaç kere şarj edilebileceği ile doğrudan ilişkilidir.

4.2.1. Dizel Yakıt Depolama

Denizaltı platformlarında çeşitli amaçlarla kullanılan birçok farklı özellikte tank bulunmaktadır. Bu tanklar içerisinde dizel yakıt tankı da bulunmaktadır.

Dizel yakıt kimyası incelendiğinde dizel yakıt yağları, daha genel olarak ham petrol olarak bilinen petrolden elde edilir. Tüm bu ham yağlar, hidrokarbonlar olarak bilinen karbon ve hidrojen bileşiklerinden oluşur. Yağın yapısı molekül adı verilen küçük parçacıklardan oluşur. Ham petrolde, bir molekül belirli sayıda karbon atomundan ve belirli sayıda hidrojen atomundan oluşur. Bir moleküldeki karbon ve hidrojen atomları arasındaki oran, ham petrolün doğasını belirler (URL-8).

Ham petrol, fraksiyonel damıtma olarak bilinen bir işlemle çeşitli ürünlere ayrılır. Genel olarak, her ürün damıtma işleminde kendi kaynama noktasında elde edilir (URL-8). Elde edilen ürünlerin damıtma sıcaklıklarına göre nispi sırası:

-Benzin-100 derece ile 430 derece F

-Gazyağı-300 derece ile 500 derece F

-Akaryakıt-400 derece ile 700 derece F

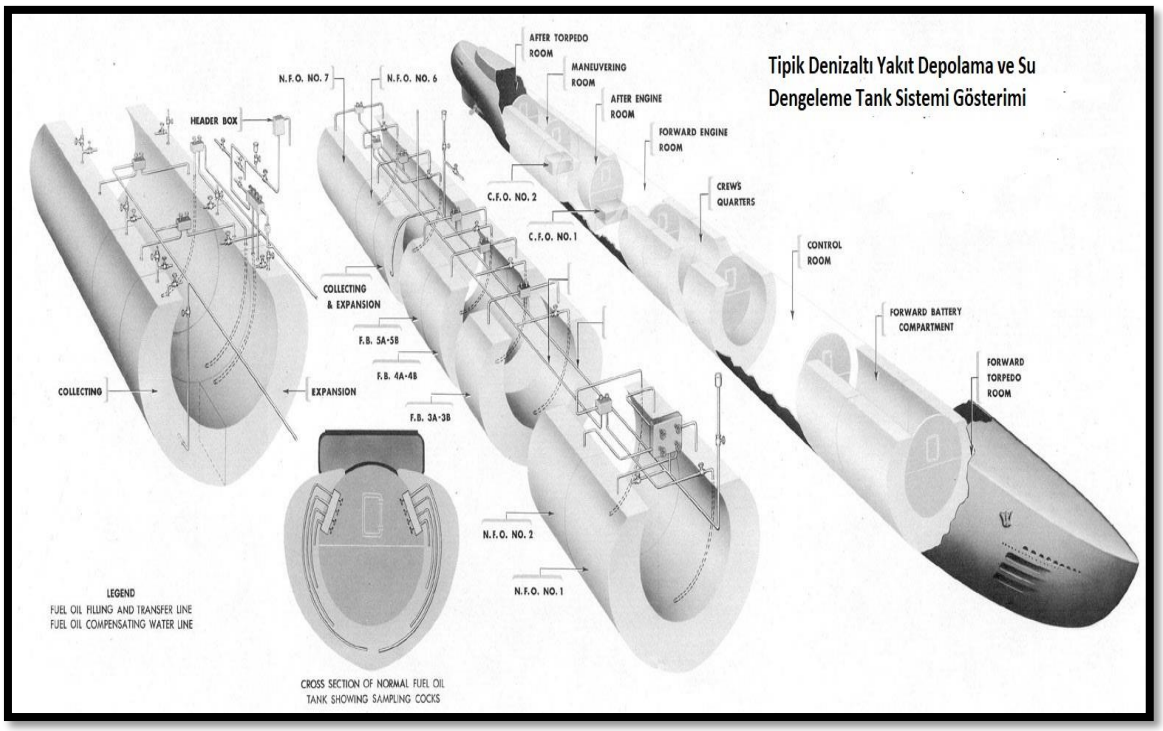
-Yağlama yağı-650 derece F

En çok istenen ürünler benzin ve fuel oil karışımları olarak kullanılabilen ürünlerdir.

Yüksek hızlı dizel motor çalışması için spesifikasyonları karşılayan akaryakıtlar, damıtılmış ve harmanlanmış olmak üzere iki tiptir. Ayrıştırma (Distilat) türü, yalnızca ham petrolün doğrudan damıtılmasıyla elde edilir. Harmanlanmış tip, ayrıştırma kırma imbiklerinden kalan ürünlerle karıştırılmasıyla elde edilir. Genel bir kural olarak damıtılmış akaryakıt; daha iyi ateşleme kalitesine sahip olması, daha düşük karbon içeriğine sahip olması ve daha az kirlilik içermesi nedeniyle yüksek hızlı dizel işletimi için harmanlanmış akaryakıttan daha üstündür (URL-8). Denizaltılarda kullanılan dizel makine yakıtları ise çeşitli askeri standartlara uygun olmak zorundadır.

Çoğu denizaltı filosu yakıt tankı tipi denizaltının kapasitesi yaklaşık 19.000 ila 25.000 galon arasında değişen üç yakıt balast tankına sahiptir (URL-8). Tipik bir kurulumda Şekil 4.16'da olduğu gibi yakıt balast tankları No. 3, No. 4 ve No. 5 olarak numaralandırılmıştır. Mevcut uygulama, tüm yakıt balast tankları akaryakıt ile doldurulmuş olarak savaş devriyesine çıkmaktır. İlk olarak 4 no.lu yakıt balast tankından yakıt kullanılır ve bu tank yakıt biter bitmez (tuzlu su ile doldurulur) ana balast tankına

dönüştürülür. Deniz suyu alıp ana balast tankına dönüşümden sonra tüm akaryakıtın tanktan çıkmasını sağlamak için tank birkaç kez yıkanır. 4 no.lu ana yakıt tankının ana balast tankına dönüştürülmesi, denizaltının dengesini arttırır ve yüzeydeyken gövdenin ıslak yüzeyinin miktarını azaltır.



Şekil 4.16. Tipik Denizaltı Akaryakıt ve Balast Tankı (URL-8).

Denizaltılar bünyesinde yer alan yakıt tanklarındaki yakıt, dizel makineler tarafından kullanıldıkça denizaltının kendi stabilitesini sağlamak için tanktan boşalan yakıtın yerine deniz suyu alınır. Bu durumda denizaltı personeli, geminin dengeli bir şekilde durması için tankları kontrol eder. Tankta bulunan dizel yakıtı, deniz suyuna oranla daha az yoğunluğa sahip olduğu için tanka giren deniz suyunun üzerinde yer alır. Yakıt tankından dizel makineye giden yakıt, öncelikle az da olsa deniz suyu karışmış olması ihtimaline karşı süzücü seperatörlerden geçirildikten sonra dizel makineye verilir. Böylelikle yakıtın içerisindeki yakıtı kirleten cisimler varsa onlardan da temizlenmiş olur. Böylece dizel makinede herhangi bir arızaya neden olmadan dizel makineye bağlı jeneratörlerden elektrik üretilerek denizaltının enerji ihtiyacı karşılanır.

Bir denizaltı daha derinlere daldığında yüzeydekinden farklı yoğunluğa sahip sulara girer. Deniz suyunun özgül ağırlığı genellikle derinlikle 1.008'den 1.028'e yükselir. Yoğunluk,

kaldırma kuvveti ile doğru orantılı olduğu için kaldırma kuvveti artar, dolayısıyla denizaltı pozitif olarak yüzer hale gelir. Nötr yüzdürme elde etmek için dengeleme tankı, ağırlık kaldırma kuvvetini iptal edene kadar denizden su alır (URL-14).

Ağırlık farklılıkları; erzak, fuel oil, tatlı su, yağlama yağı ve diğer katı depolar gibi depoların tüketiminden kaynaklanmaktadır. Etkiyi telafi etmek için tanka su alınır. Akaryakıt tüketimi durumunda ilginç bir şey olur. Denizaltılarda, akaryakıt tükendiğinde, akaryakıt deposundaki boş hacim otomatik olarak deniz suyuyla doldurulur ve akaryakıt her zaman deniz suyu üzerinde yüzer. Bu, serbest yüzey etkilerini önlemek için yapılır. Ancak tüketilen yakıtın hacmi su aldığı için denizaltının ağırlığı da buna bağlı olarak artar. Dengeleme tankı da ağırlıktaki bu değişikliği dengelemek için kullanılır. (URL-14).

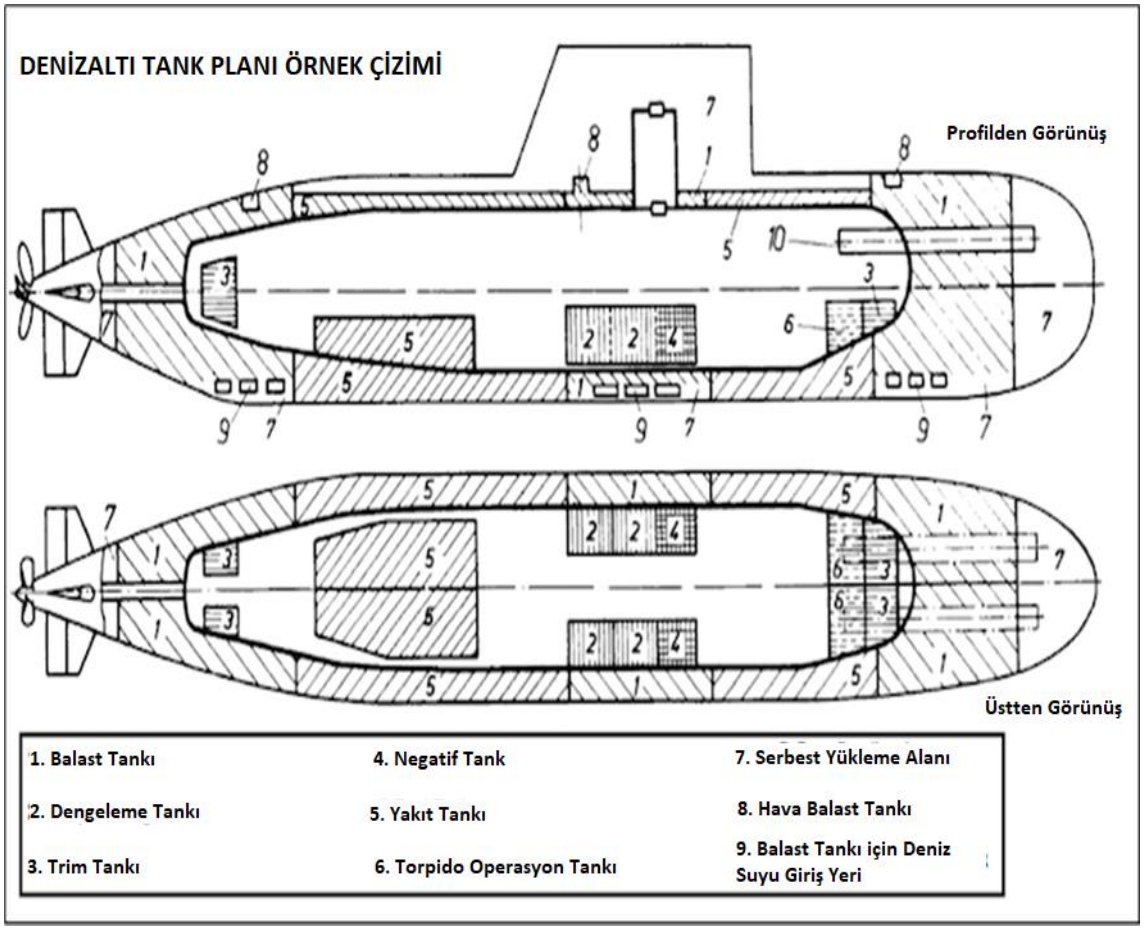
Daha derin derinliklerde, yüksek dış basınç, basınçlı teknenin sıkışmasına neden olur. Bu, denizaltının basınca dayanıklı hacmini azaltır ve bu da kaldırma kuvvetini azaltır. Kaybedilen kaldırma kuvveti, dengeleme tankından su salınarak telafi edilir. Genellikle maksimum dalış derinliği 200 ila 350 metre olan denizaltılar için, dengeleme tankında bu amaç için mevcut olan hacim, toplam basınçlı tekne hacminin yüzde 0,3 ila 0,4'ü arasında değişir (URL-14).

Bir denizaltı tasarımcısı, belirli bir tasarım için dengeleme tankının kapasitesini tahmin etmek için iki özel sınır yükleme koşulunu dikkate alır. Yükleme koşulları aşağıda listelenmiştir:

Yük Durumu 1: Deniz suyunda maksimum yoğunluğa sahip çok uzun, yavaş bir seyrin sonunda. Çok uzun ve yavaş bir seyir sonunda tatlı su, depolar, gıda gibi tüm sarf malzemeleri tükenir; ancak nispeten yeterli miktarda mazot kalır. Gemi maksimum yoğunluktaki deniz suyunda seyreder, bu da kaldırma kuvvetinin daha yüksek olduğu anlamına gelir. Her iki koşulda, dengeleme tankının maksimum kapasitesine kadar doldurulmasını gerektirir (URL-14).

Yük Durumu 2: Deniz suyunda minimum yoğunlukta çok kısa, hızlı bir seyir sonunda. Bu durumda sarf malzemeleri kısmen kullanılmış ve dizel yakıt tamamen tüketilmiştir. Deniz suyu yoğunluğu minimum olduğundan kaldırma kuvveti de minimumdur. Böyle bir durumda kompanzasyon tankında ihtiyaç duyulan su minimum olacaktır.

Gerçek durumda, bir denizaltı seyrine başladığında, dengeleme tankındaki su hacmi, iki sınır durumuna karşılık gelenler arasında bir yerdedir. Parametrik çalışmalarla dengeleme tanklarının genellikle denizaltının toplam basınca dayanıklı hacminin yüzde 2,5 ila 3'ü kadar bir hacme sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu veriler aynı zamanda tasarımcılar tarafından ön tasarım aşamalarında da kullanılmaktadır (URL-14). Şekil 4.17'de çift cidarlı bir dizel elektrik tahrikli konvansiyonel denizaltının tank planı gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Dizel Elektrik Tahrikli Denizaltı Tank Planı (URL-14).

4.3. Yakıt Pili Sistemi AIP

Konvansiyonel dizel jeneratör tahrikli denizaltılarda dizel makinenin kendisine bağlı bulunan jenaratörü çalıştırması için dizel makinenin içerisine havayla yakıtı sıkıştırarak içten yanmanın gerçekleşmesi gerekir. Bu yanma için esasen havadan ziyade oksijen gereklidir. Ve denizaltı ihtiyacı olan oksijeni, şnorkel yaparak dışardaki havadan almak mecburiyetindedir. Bu sorunun azaltılması veya gelecekte tamamen çözülmesi için denizaltıların su altında kalma kabiliyetlerini artırmak için farklı bir seçenek olan havadan

bağımsız tahrik (AIP) sistemleri geliştirilerek denizaltı platformlarına uygulanabilirlikleri gösterildi (Jeon ve Khorsand, 2020).

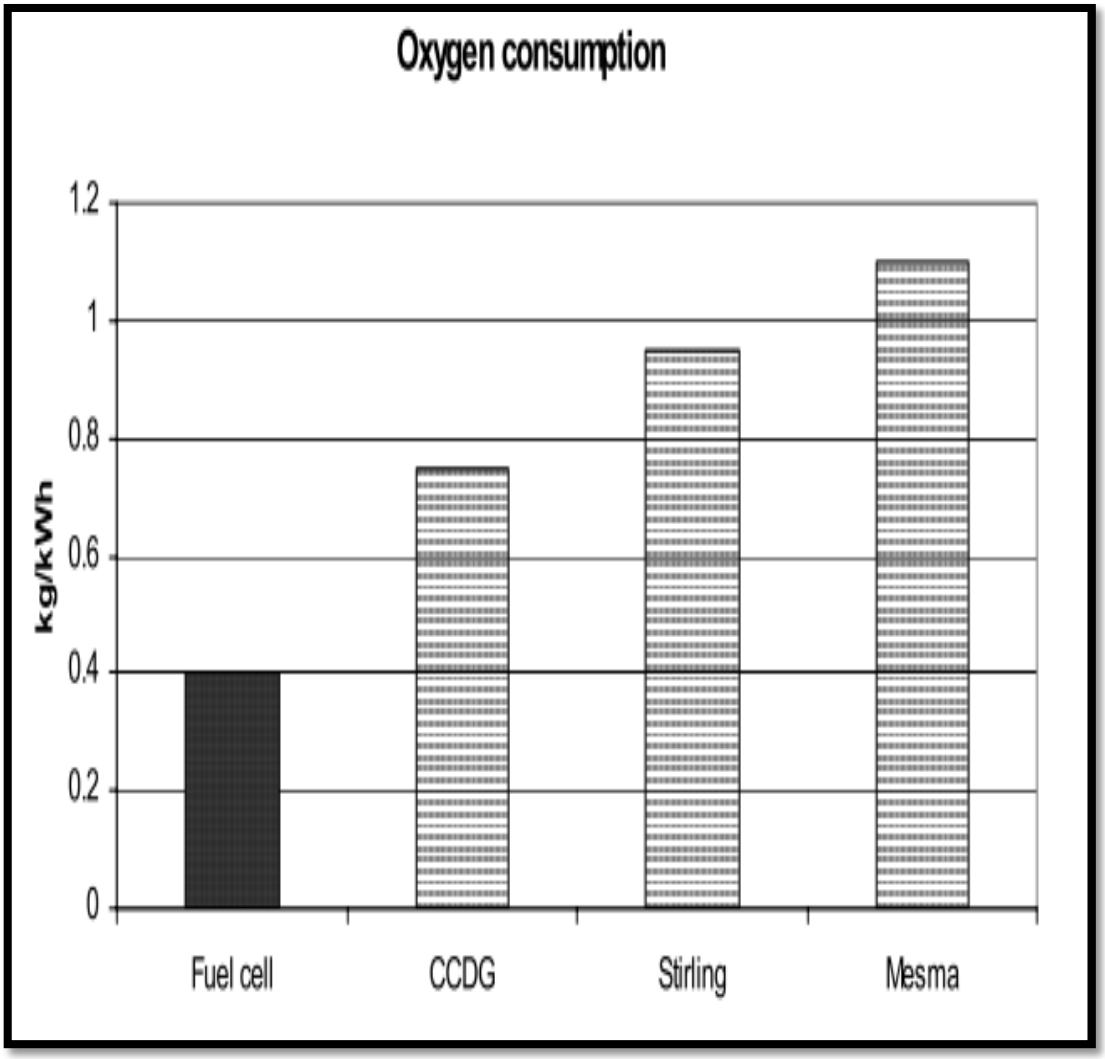
Farklı tipteki havadan bağımsız sistemleri için birkaç ülke, kapalı çevrim buhar türbinleri, Stirling çevrimli motorlar ve yakıt hücreleri gibi deniz denizaltıları için farklı tipte AIP sistemleri geliştirmektedir.

İlk durumda, Fransız tersanesi Direction des Constructions Navales Serices (DCNS), Agosta 90B'ye kurulan Module d'Energie Sous-Marine Autonome (MESMA) sistemini geliştirdi ve bir buhar türbini örneği olan Scorpene sınıfı denizaltılara güç verildi. Etanolün yanmasından çıkan buhar ve 60 atmosferik basınçta (atm) depolanmış oksijen ile bu durum gerçekleştirildi. Bu basınçlı yangın, egzoz kompresörü olmadan herhangi bir derinlikte karbondioksit emisyonlarının teknenin dışına salınmasına izin verir (Jeon ve Khorsand, 2020).

İkinci durumda, İsveç donanması için İsveç deniz şirketi Kockums tarafından yardımcı bir Stirling motoruna sahip üç Gotland sınıfı denizaltı yapıldı. Sıvı oksijen (LOX) ve dizel yakıt, tahrik veya aküleri şarj etmek için elektrik jeneratörlerini çalıştırmak için Stirling motorunda karıştırılır ve yakılır. Son zamanlarda yeni Japon Soryu sınıfı ve İsveç Blekinge sınıfı denizaltılar, su altı dayanıklılıklarını artırmak için Stirling motorları kullanılarak inşa edildi ve yapımlarına devam edilmektedir.

Üçüncü yöntem, kimyasal enerjinin yakıt hücreleri kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijen arasındaki reaksiyonu kolaylaştırarak herhangi bir emisyon olmaksızın yan ürünü olarak sadece su üreten elektrik üretir. Almanya'dan Siemens, Howaldswerke Deutsche Werft AG (HDW) Alman donanması için

Type 212A denizaltısıyla donatılmış yakıt hücresi ünitelerinin üretimini sağladı ve bu denizaltıları geliştirdi (Jeon ve Khorsand, 2020). Şekil 4.18’de dört AIP havadan bağımsız tahrik sisteminin oksijen tüketim oranları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Dört AIP Sisteminin Oksijen Tüketim Oranları (Jeon ve Khorsand, 2020).

Ancak AIP sistemleri; düşük gürültü seviyesi, deniz suyuna düşük ısı transferi, düşük manyetik izler ve daha uzun süre yüzeye çıkmadan çalışma gibi denizaltı operasyon ortamı için gerekli özelliklere sahiptirler (Jeon ve Khorsand, 2020).

Yakıt hücreleri hariç yukarıda bahsedilen tüm AIP sistemleri, nispeten daha düşük yakıt ve oksitleyici verimliliği ile gürültü çıkaran piston hareketini kullanan mekanik bileşenlere sahiptir. Oysa bir elektrokimyasal enerji dönüştürücüsü, yani yakıt hücreleri, hareketli parçalar içermediğinden daha az oksijen kullanarak ve nispeten düşük gürültü yaparak elektrik enerjisini daha verimli bir şekilde sağlayabilirler (Jeon ve Khorsand, 2020). Böylelikle AIP sistemi yakıt pili yeni nesil teknoloji olarak avantajlı olması, bu sistemin denizaltılarda kullanılmasını cazip hale getirmiştir.

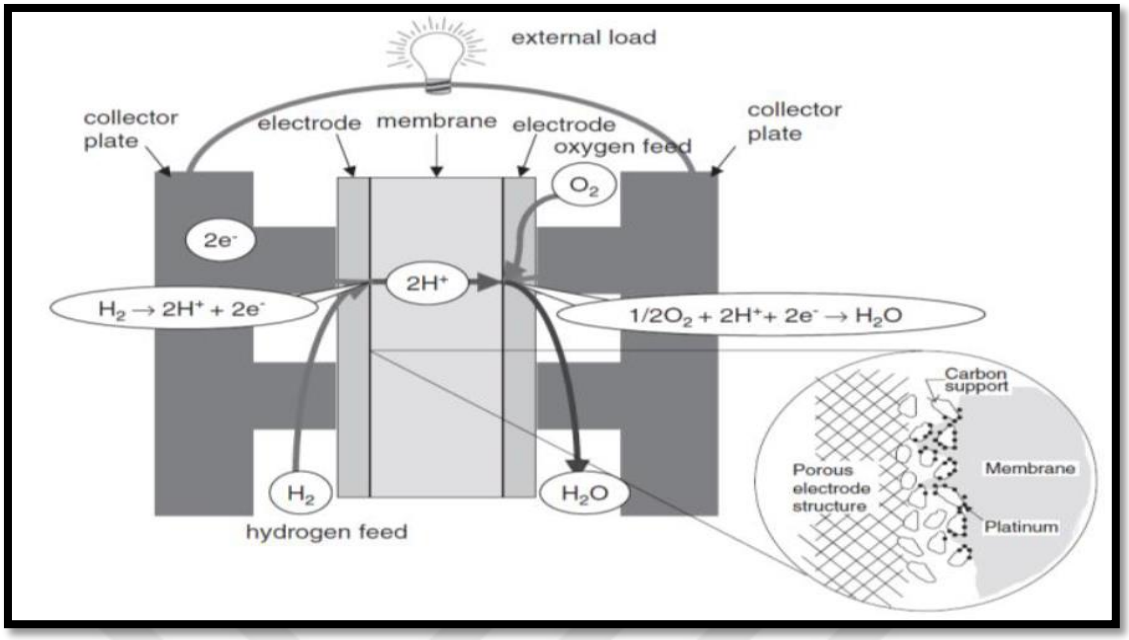
Havadan bağımsız tahrik sistemleri aşağıda sunulan özelliklerden dolayı dizel-elektrikli denizaltılar için en optimum AIP sistemidir: (Jeon ve Khorsand, 2020).

• %70'e kadar yüksek verimliliğe sahip olması, (H2/O2 çalışması).
• Sadece havadan bağımsız tahrik sistemi olan yakıt pili kullanılarak enerji elde etmesinin sessizce gerçekleştirilmesi,
• Yakıt pilinin kullanımı aşamasında herhangi bir derinliğe bağlı olmaması,
• İşletim kolaylığı ve iyi kontrol özelliklerine sahip olması,
• Yakıt pilinde gerçekleşen reaksiyondan sonra yan ürün olarak oluşan suyun denizaltıda kolayca dengeleme tankında depolanabilmesi,
Yakıt pili tipleri kullanılan elektrolite göre belirlenir ve çalışma sıcaklığı aralığında önemli ölçüde değişir. Katı oksit yakıt hücreleri, elektrolit ve elektrotlar için seramik malzemelerle 1382 ila 1832 °F (750 ila 1000 °C) arasında yüksek sıcaklık aralığına sahiptir.

Erimiş karbonat yakıt hücreleri 1202 °F (650 °C) civarında çalışır. Bu iki tip muhtemelen gelecekteki denizaltılar için dahili reformcular olarak kullanılabilir. Fosforik asit yakıt hücreleri 392 °F (200 °C) sıcaklıkta çalışır (URL-15). Denizaltıların izole ortamı ve düşük sıcaklıkta termal stabilitesi göz önüne alındığında, proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC), 176 °F (80 °C) sıcaklığa kadar çalıştığı için su altı gemileri için kullanılabilecek en uygun yakıt hücresi türüdür.

Ayrıca PEMFC, mevcut tüm yakıt hücresi teknolojileri arasında en yüksek gravimetrik ve hacimsel güç yoğunluğuna sahiptir (Jeon ve Khorsand, 2020). Çünkü PEMFC, bir filtre pres düzeneğinde ve her bir membran elektrot düzeneğinde iki kutuplu bir yığın olarak inşa edilmiştir.

Bu yığın; çok ince bir proton iletken polimer membran, karbon destekli platin katalizör tabakasına sahip bir elektrolit, bir anot ve bir katottan oluşur. Bipolar toplayıcı plakalar, Şekil 4.19'da gösterildiği gibi elektrik akımının depolanmasından ve reaktan gazların dağılımından sorumludur. Membran yakıt hücresinin kalbi olarak tarif edilebilir. Çünkü yakıt hücresinde elektrik üretiminin gerçekleştiği yer burası olmakla beraber elektron akışının sağlandığı yerde burasıdır. Bu sebeple yakıt hücresinin en önemli parçasının membran olduğu rahatlıkla ifade edilebilir.



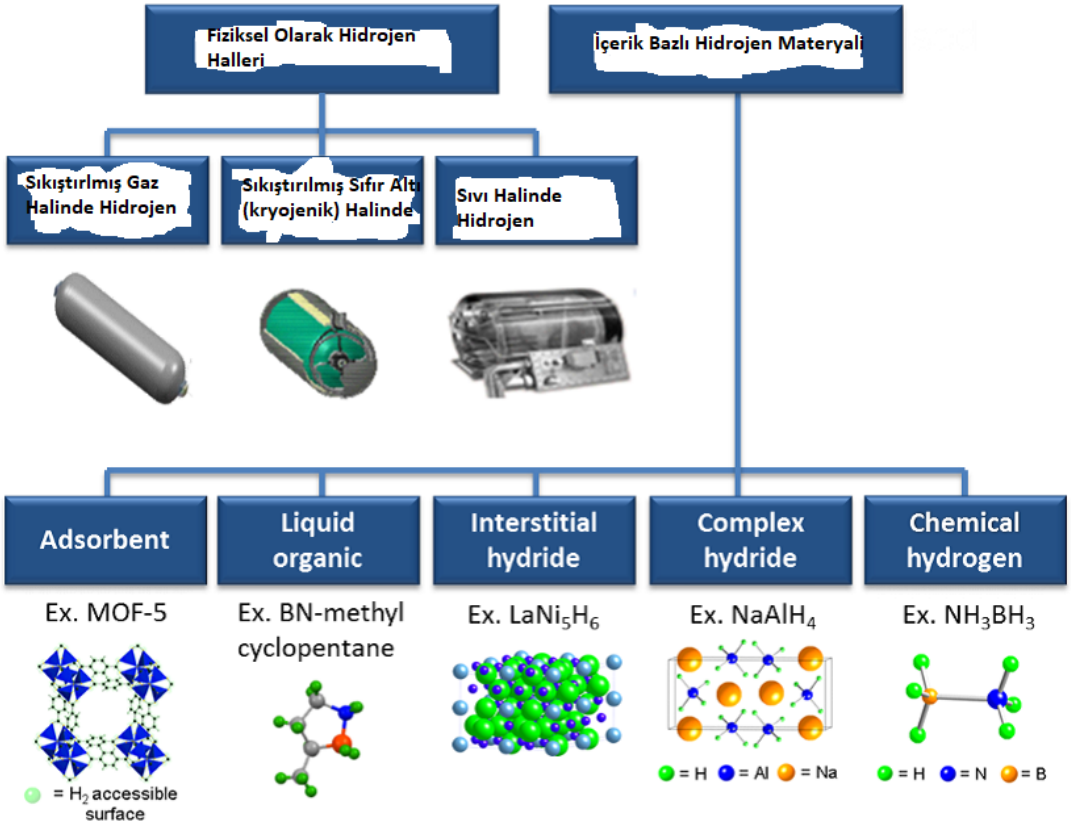
Şekil 4.19. PEMFC Yakıt Hücresi Çalışma Şeması (Jeon ve Khorsand, 2020).

4.3.1. Hidrojen Depolama

Denizaltı gibi su altı platformlarında kullanılan tüm yakıt hücresi sistemleri, reaksiyonun gerçekleşebilmesi için reaksiyonun elektrik üretmesi için tipik olarak hidrojene ve bir oksitleyiciye ve genellikle oksijene ihtiyaç duyar.

Bu gaz halindeki elementler bir şekilde gemide güvenli bir biçimde depolanmalıdır. Bununla birlikte, denizaltılarda hidrojen ve oksijen depolamanın birkaç yöntemi vardır. Hidrojen; sıkıştırılmış gaz formu, kriyojenik sıcaklıklarda sıvı form ve bazı hidritlerde katı formlar gibi çeşitli kimyasal durumlarda depolanabilir. Birçok çalışma, gaz halinde depolamanın en verimli yol olduğunu göstermiştir (Jeon ve Khorsand, 2020). Ancak güvenlik sorunları ve istikrarsızlık nedeniyle sıkıştırılmış gaz belki de ileriye dönük en iyi yol olarak görülmemektedir. Bu nedenle metal hidritler hidrojenin depolanması için en verimli yöntem değildir, ancak bu yöntem güvenlik açısından çok daha avantajlı olduğundan ve hidrojen depolamada kullanılan kaplar serbest gaz içermeyen metal hidritlerle doldurulduğundan bu yöntem hidrojeni depolamanın en güvenli yoludur. (Jeon ve Khorsand, 2020). Ancak gaz formunda depolanan hidrojenin belki de denizaltıya daha çok menzil kazandıracağı ortadadır. Fakat denizaltı gibi sualtında seyreden bir platformda

çok ciddi bir güvenlik sorununa yol açacağı unutulmamalıdır. Çeşitli hidrojen depolama yöntemleri Şekil 4.20'de sunulmuştur.



Şekil 4.20. Hidrojen Depolama Teknolojileri (Jeon ve Khorsand, 2020).

Hidrojen, tüm yakıtların temel yapı taşıdır. Ayrıca hidrojen doğada saf halde bulunur. Günümüzde kullanılan bütün yakıt hücrelerinin iç yapılarında gerçekleşen kimyasal süreçlerinde H_2 formu olmak zorundadır. Dünya atmosferinde bolca bulunan hidrojen elementi birkaç saf formdan birinde depolanabilir (Thornton, 1994).

Gaz Formunda Hidrojen Depolama:

Hidrojen gazının yoğunluğunun çok az olmasına rağmen bu yöntem, yani hidrojenin gaz şeklinde depolanması, küçük hacimli gazların taşınmasının gerekli olduğu endüstride yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bahse konu yöntemde gaz basıncının arttırılması, daha fazla H2'nin depolanmasına izin vermekte olup depolama silindirinin boyutunu ve ağırlığını da artırmaktadır. Bu kapsamda depolama için standart bir yüksek 6000 psi'de 42,5 litre olan basınç silindiri yalnızca 1,23 kg H2 içerirken; silindir artı H2, yüzde 0,87'lik bir H2 ağırlık yüzdesi için 138,8 kg ağırlığındadır. Bu yüksek basınçta

sıkıştırılmış gazın içerdiği enerji bir tankın yırtılması durumunda önemli bir tehlike oluşturur, bu nedenle bahse konu tankın basınçlı teknenin dışına yerleştirilmesine karar verilir. Kullanılan hidrojen depolama silindirlerinde özel malzemeler kullanılır, bu da silindirlerin maruz kalacağı yerleşik şoku karşılamasını sağlamaktadır (Thornton, 1994).

Hidrojenin - Kriyojenik (sıfır altı sıcaklıkta) olarak depolanması:

Bu tarz depolamalarda bir gazın sıvı olarak depolanmasının istenmesi, tamamen daha fazla gazın depolanarak gaz miktarının arttırılması hedefine yöneliktir. Bu durumda gazın sıvı olarak yani sıfırın altında düşük sıcaklıklarda depolanmasıdır. Bu şekilde depolamada gazlar daha az hacim kaplamaktadır. Fakat maddenin gaz olarak depolanması durumunda dahi belirli güvenlik önlemlerinin alınması kaçınılmazdır. Bahse konu bu güvenlik önlemleri, hidrojenin sıvı olarak depolanması durumunda daha büyük güvenlik tedbirlerinin alınmasını zorunlu hale getirmekle beraber daha yüksek depolama teknolojilerinin kullanılmasına yol açar. Sıfırın altında düşük sıcaklıklarda sıvıların depolanması, süper teknolojilerle kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

Yalıtılmış vakum şişesi (dewarlar), kabul edilen sıfırın altında düşük sıcaklıklarda depolama şeklidir. Bu senaryoda, sıvı hidrojenin (LH) tanka doldurulması özel güvenlik önlemleri gerektirir. Sıvı hidrojen tankına herhangi bir ısı iletimi gerçekleştiğinde ise hidrojenin kaynamasına neden olabilir. Bu kaynama noktası 200K olan LH için özellikle kritiktir. Ancak harici bir ısı kaynağıyla gaz haline gelmiş hidrojeni tekrar sıvı formuna getirmek için fazladan elektrik gücüne ihtiyaç olacaktır (Thornton, 1994). Bu gazın denize atılması da farklı riskler oluşturabilmektedir. Yeniden sıvılaştırma sistemi oluşturmak da elektrik gücü gerektirecektir. AIP'de bulunmayan bir lüks olan gerekli kompresörleri ve ekipmanı çalıştırmak denizaltıya ilave bir sistem yükü olacaktır.

Bu durum son derece düşük sıcaklıklar özel hususlar getirmektedir. Tankların belirli bir sıcaklıkta tutulması, valflerin sızdırmazlığı ve hidrojen tanklarda depolanacaksa özel bağlantılar ve özel olarak yalıtılmış tekne geçişleri basınçlı teknenin dışında olmalıdır. Bu husus güvenlik nedeniyle en olası konumlarından dolayı endişeler barındırır. Bu düşünceler ışığında, gaz halindeki hidrojende olduğu gibi bu sistemin kullanılmasında, denizaltı şok standartları da önemli bir etken oluşturacaktır. Ayrıca dikkate alınması gereken gemiye yakıt ikmali lojistiğidir. LH güvenli bir şekilde taşınabilirken

bulunabilirlik, diğer yakıtlar ve hatta sıvı oksijen kadar yaygın değildir, bu nedenle denizaşırı veya belirli bir limanın dışında ikmal zor olabilir (Thornton, 1994).

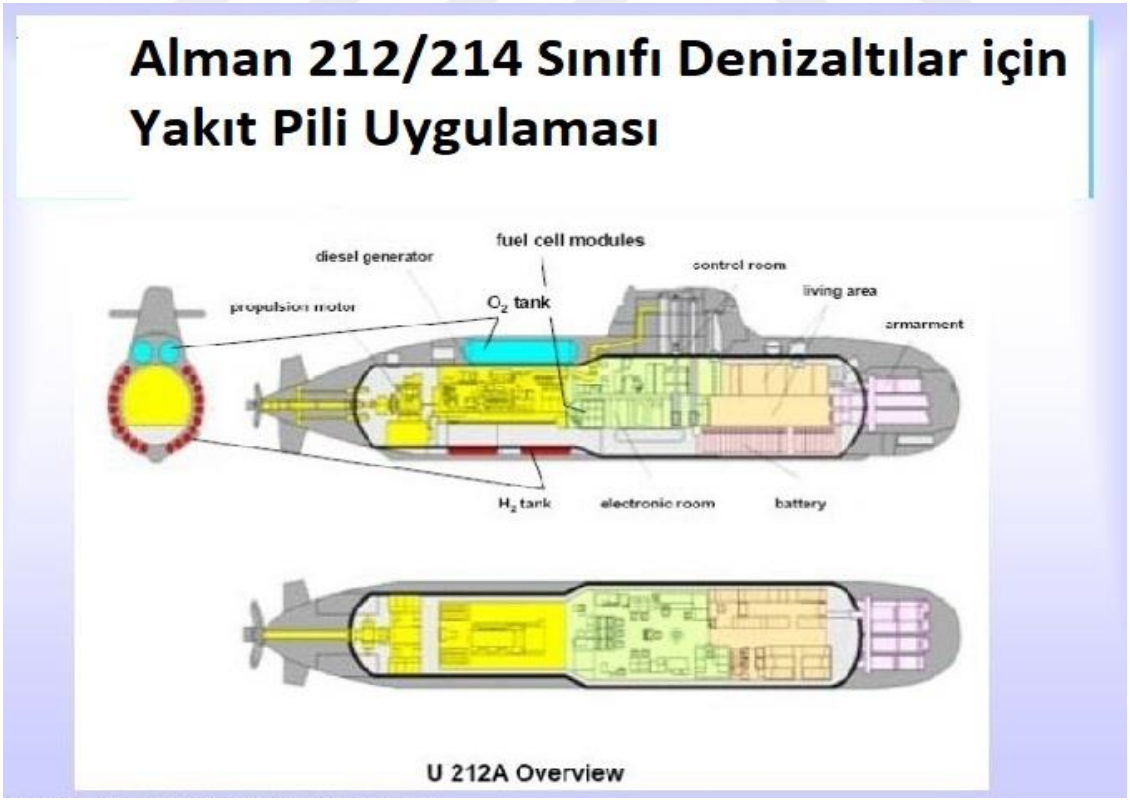
Hidrojenin - METAL HYDRIDE Formunda Depolanması:

Hidrojenin üç saf hidrojen depolama yönteminden Hidrojen-Metal Hidrür (hidrit) yöntemi denizde denenmiş tek yöntemdir. Almanya'da bir Tip 205 denizaltısında hidrit depolama sistemi kullanıldı. 1987'de yakıt hücresi testleri (Thornton, 1994). Bir hidritin çalışma prensibi, bir tür metal matrisin (bir demir titanyum) hidrojen gazı ile doyurulur ve hidrojen matrise bağlanır. Emilen hidrojen miktarı, ortamdaki sıcaklığa ve basınca bağlı matristir. Ve matris tipine göre değişir (Thornton, 1994). Bu hidrit şarj konsepti aşırı gaz basıncı denizaltıya yakıt ikmali yapmayı kolaylaştırır ve tüm hidrojen depolama yöntemlerinin en güvenlisi olarak kabul edilir. Enerji üretimi için hidrojen gerektiğinde hidrojen gazı basıncında bir azalma olur ve matrisin bazı biçimlerde ısıtılmasıyla birlikte hidrojen gazı enerji ihtiyacının karşılanması için serbest bırakılır. Bu hidrojen depolama yöntemi hacim açısından oldukça verimlidir, ancak beraberinde önemli bir ağırlık oluşturması gibi bir dezavantaj oluşturur. Ağırlık yoğunluğu (ağırlık türde kullanılan hidrit için hidrojenin toplam depolama sistemi ağırlığına oranı) 205 tipi denizaltılarda yüzde 1.5 ve en bilinen hidrit tipidirler. Hindistan'daki araştırmacılar tarafından ağırlık yoğunluğunun yüzde 6'ya kadar çıkabildiği belirtilmiştir (Thornton, 1994).

Diğer bir açıdan, düşük sıcaklık için hidrojen depolama yoğunluğunun iyileştirilmesini içerir. Hidritler ve uygun miktarı sağlayan saklama kaplarının boyutlandırılması gerektiğinde ısı transferi de göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdırlar. Hidrit ile ilişkili muazzam ağırlık nedeniyle özellikle bu ağırlığın gemiye yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Bu husus denizaltının suda yüzerlik ve istikrarı için önem arz eder. Eklenen büyük ağırlıklar uygun bir biçimde denizaltıya yerleştirilmelidir ve ağırlığı taşımak için ek yer değiştirmiş hacim gerektirir, ağırlık sınırlı bir tasarımdır. Bu ağırlığın bir kısmı, "stabilite kurşun" yerine kullanılarak dengelenebilir. Bu endişelerin her ikisi de Tip 205'de göz önünde bulundurularak ele alındı. Bir miktar kurşun, dışta bulunan hidritlerle çıkarıldığı için modifikasyon ve omurganın altında, denizaltıda yer alır (Thornton, 1994). Fuelcell sistemi çalışma prensibi şekil 4.21'de ve metal hidrid şişelerin denizaltıdaki gösterimi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Hirojenin Metal Hidrid Şeklinde Depolanması (URL-15).



Şekil 4.22. Hirojenin Metal Hidrid Şeklinde Depolanmasının Gösterimi (URL-15).

Hidrojenin – Reformasyon Yöntemi İle Depolanması:

Bu yöntem en popüler hidrojen depolama yöntemlerinden biridir ve araştırmacılar tarafından dikkatle incelenmektedir. Ağırlığı gözden geçirdikten sonra ve saf hidrojen depolaması ile ilişkili hacim kısıtları, burada yakıt saf hidrojen olmasa da yeterince yoğundur. Hangi yakıtın kullanılacağına ve nasıl reforme edileceğine karar verilir. Bir yakıtı hidrojene dönüştürmek için yüksek sıcaklıkta buhar (yaklaşık 8000F), yakıtla temas ettirilerek (metanol için) bir reaksiyona neden olur.

Örneğin: CH30H + H20 - C02 + 3H2

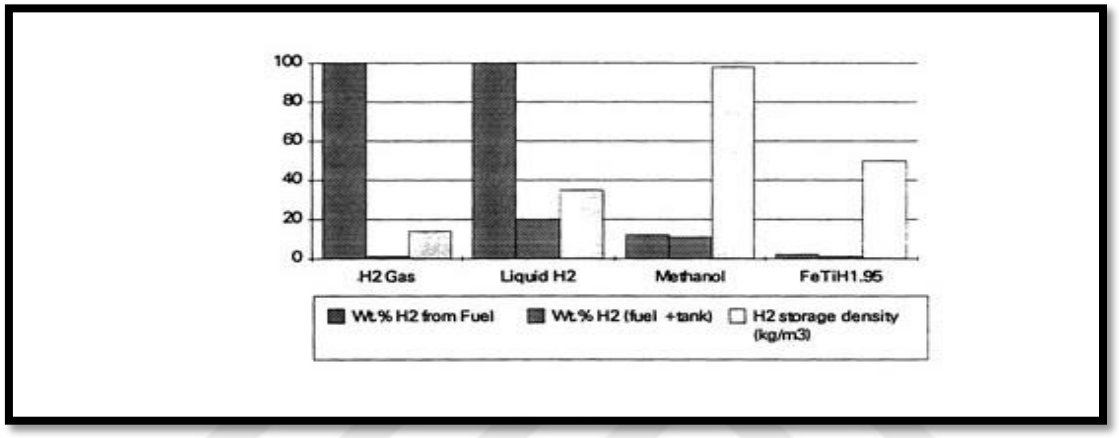
Sorun, reform için gerekli yüksek sıcaklığın nasıl üretileceğidir. Yüksek sıcaklıkta yakıt, bu işlemin harici olarak gerçekleştirilmesini gerektirir. Bir olası ısı kaynağı, reformatın kendisinin artık gazını yakmaktan gelir. Yakıttaki eksik reformasyon ve kirlilikler, diğer yakıtların oluşumuna yol açabilir.

Karbon monoksit, nitrojen ve metan gibi gazlar. Bu gazlardan, karbon monoksit, PEM hücresini zehirleyerek güç çıkışını ciddi şekilde azaltır. Karbon monoksitin ortadan kaldırılması reformcular için gelişimsel bir konudur (Thornton, 1994). Reformasyon için tipik aday yakıtlar arasında dizel yakıt, metanol ve etanol bulunur. Dizel yakıtın kullanımı kolaydır, denizaltı ile tam uyumludur ve dünya çapında kullanılabilir. Dizel yakıt için reform yöntemleri geliştirilmiştir, ancak karbonun ortadan kaldırılmasını sağlamak için ekstra işlemler, bu işlemi daha hantal hale getirir. Metanol ile karbon monoksit üretimini en aza indirirken reform yakıt molü başına daha fazla hidrojen gazı üretir (Thornton, 1994). Etanol reformasyonu süreci daha fazla su gerektirir ve daha fazla karbondioksit üretir. Metanol, bol miktarda tedarik edilen sentetik bir yakıttır.

Metanol suda karışmaz, kendi tankında veya deniz suyunda saklanmasını gerektirir ve yakıt ve suyu ayıran mesaneli kompanzasyonlu tanklardadır.

AIP uygulamaları için bir başka reform süreci önerilmiştir. Bir hidrokarbon yakıt formunun bir formdan diğerine dönüşümünü içerir, süreçte hidrojen gazı salınır. Kimyasalda kanıtlanmış bir teknoloji sanayi, reforme edilecek bir örnek yakıt sikloheksandır. C6H12, C6H6 + 3H2 reformcu 780 gram sikloheksan başına 56 gram hidrojen üretir (>%7 H2 ağırlık) (Thornton, 1994).

Yukarıda tartışılan hidrojen depolama yöntemlerinin özeti, Şekil 4.23'de çeşitli seçeneklerin bir karşılaştırmasını sunar. Bu grafikten gaz halindeki veya kriyojenik hidrojenin yüzde 100 hidrojen içerdiği görülmektedir. Depolanan hidrojenin yüzde ağırlığı, reforme edilmiş olandan daha düşüktür. Bir metal hidrit (FeTiH1.5) bile kübik başına daha fazla hidrojen depolar, ancak depolama ile karşılaştırıldığında bir hidrojen depolama ağırlığı yüzdesi ile yüzde 1'den daha az sistem, açıkça bir ağırlık kısıtı taşır. Şekil 4.23'de çeşitli yakıtların hidrojen içeriğinin karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Çeşitli Yakıtların Hidrojen İçeriğinin Karşılaştırılması (Thornton, 1994).

Yukarıda tartışılan hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırması Tablo – 4.8.'de sunulmuştur.

Tablo – 4.8. Çeşitli Yakıtların Hidrojen İçeriği Gösterilmiştir (Nour ve diğ., 2010).

Yakıt Tipi	Kimyasal Yapı Formülü	Yakıtın Durumu	Enerji/Kütle (Energy unit^{-1} mass (MJ kg^{-1})	Enerji/Hacim (Energy unit^{-1} volume (MJ m^{-3})
Gasoline	$C_{5\text{-}10}H_{10\text{-}22}$	Sıvı	47,4	34,900
LPG	$C_{3\text{-}4}H_{8\text{-}10}$	Sıvı	48,8	24,400
LNG	~ CH_4	Sıvı	50,0	~230,000
Methanol	CH_3OH	Sıvı	22,3	18,100
Ethanol	C_2H_5OH	Sıvı	29,9	23,600

Tablo – 4.8. (Devam) Çeşitli Yakıtların Hidrojen İçeriği Gösterilmiştir (Nour ve diğ., 2010).

Liquid Hidrojen	H_2	Sıvı	141,9	10,100
Hidrojen	H_2	Gaz	141,9	0,013
Natural Gas	~ CH_4	Gaz	50,0	0,040

Hidrojen düşük hacimsel yoğunluğa sahip olduğu için denizaltılarda kullanıllan AIP sistemi için önemli bir enerji girdisi olarak yerini alır ve kullanıma uygun halde denizaltılarda depolanır.

4.3.2. Oksijen Depolama

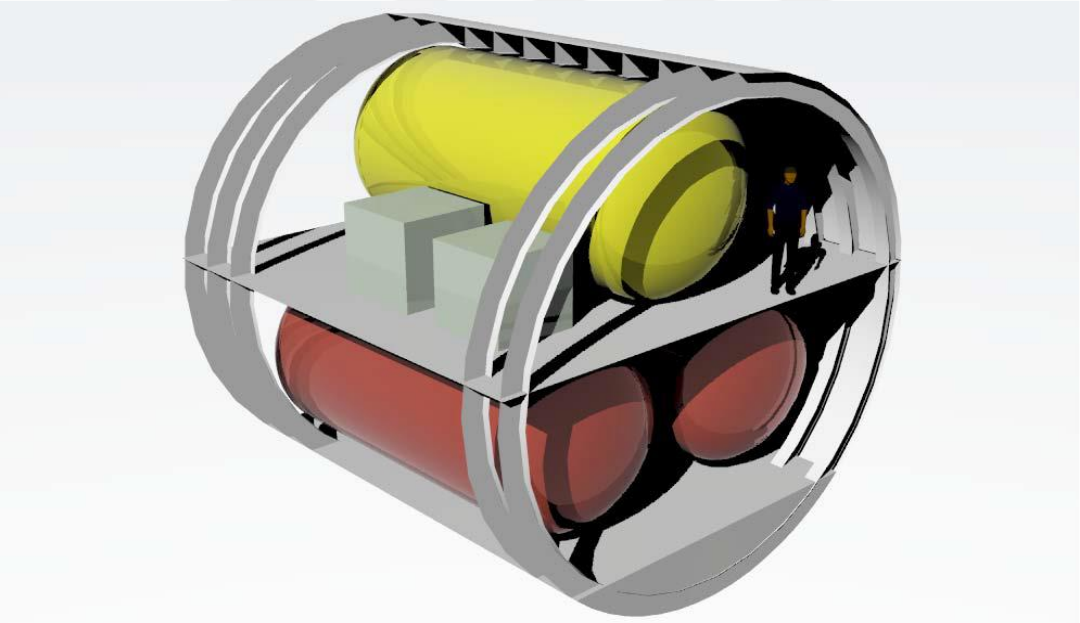
Oksijen için en yaygın depolama yöntemleri gaz halinde veya LOX şeklindedir. LOX, yüksek hacimsel ve gravimetrik yoğunluk nedeniyle oksijen depolamak için en verimli yöntemdir. Kriyojenik bir sistemle LOX depolaması, oksijeni çok düşük sıcaklıklarda ve yüksek basınçlarda kritik altı durumda tutabilir (Jeon ve Khorsand, 2020).

Hidrojen depolama ve LOX depolama sistemleri olarak metal hidritler, Almanya'dan HDW tarafından Tip 212A denizaltılarına ve Tip 214 denizaltılarına kurulmak üzere PEMFC'lerde kullanılmaktadır. Tip 212A denizaltılar, 1 MWh enerji ile birlikte her biri 1200 litre hacimli 4,4 ton ağırlığında 18 hidrit tankına sahiptir (Jeon ve Khorsand, 2020). Bakım gerektirmeyen 18 hidrit tankı, kütlesi büyük düşük frekanslı gürültünün deniz suyuna yayılmasını önleyebilmesi için basınçlı teknenin dışına ve etrafına yerleştirilmiştir. LOX depolaması için süper yalıtımlı tanklar, Tip 212A denizaltılar için basınçlı teknenin dışına ve Tip 214 denizaltılar için basınçlı teknenin içine kurulur. Tanklar; sızıntıya, şoka ve paslanmaya dayanmak için son derece düşük sıcaklıkta -292 °F (-180 °C) ve yüksek basınçta (50 bar) LOX'u yönetmek için son derece güvenilir güvenlik özellikleri gerektirir (Jeon ve Khorsand, 2020).

Güç üretimi tasarımı ne olursa olsun, her zaman şu veya bu biçimde depolanmış oksijene ihtiyaç olacaktır. HDW tersanesi yaklaşımı, denizaltı teknesinde tek bir şişe sıvı oksijen

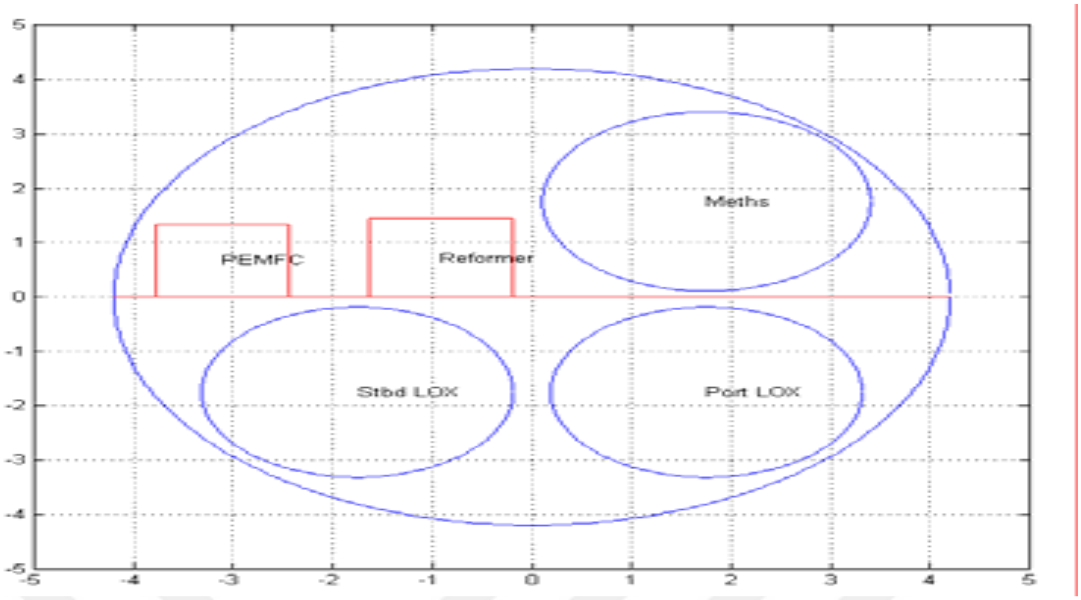
(LOX) bulundurmaktır. Bu şekilde, bir aksilik durumunda şişe izlenebilir ve kontrol altına alınabilir. Depolanan oksijenin ihtiyaca cevap vermesi için uygun şekilde ısıtılan ve AIP'ye beslenen oksijen, hijyen nedenleriyle boru tesisatının kısa tutulacağı şekildedir. (URL-15).

LOX'un 100K'ye yakın sıcaklıklarda kullanılması teorik olarak yüksek sıcaklık kullanımı ile etkileşime izin verir. Farklı depolama çözümleri ve LOX'un en pratik depolama çözümleri arasında olduğunu gösterdi. Basitlik ve rahatlık için, her biri bir PEMFC'ye tahsis edilmiş iki büyük LOX tankı yerleşik olacaktır. Depolanan birim oksijen miktarı, AIP'de dalmış operasyonlar için kısıt oluşturur. Ayrıca dikkate alınmalı ki LOX'un tükenmesi durumunda yedek olarak şişe havasının kullanılmasına izin verilmelidir. (URL-15). Şekil 4.24'de oksijen ve metanol tanklarının denizaltıdaki yerleşimi gösterilmiştir.

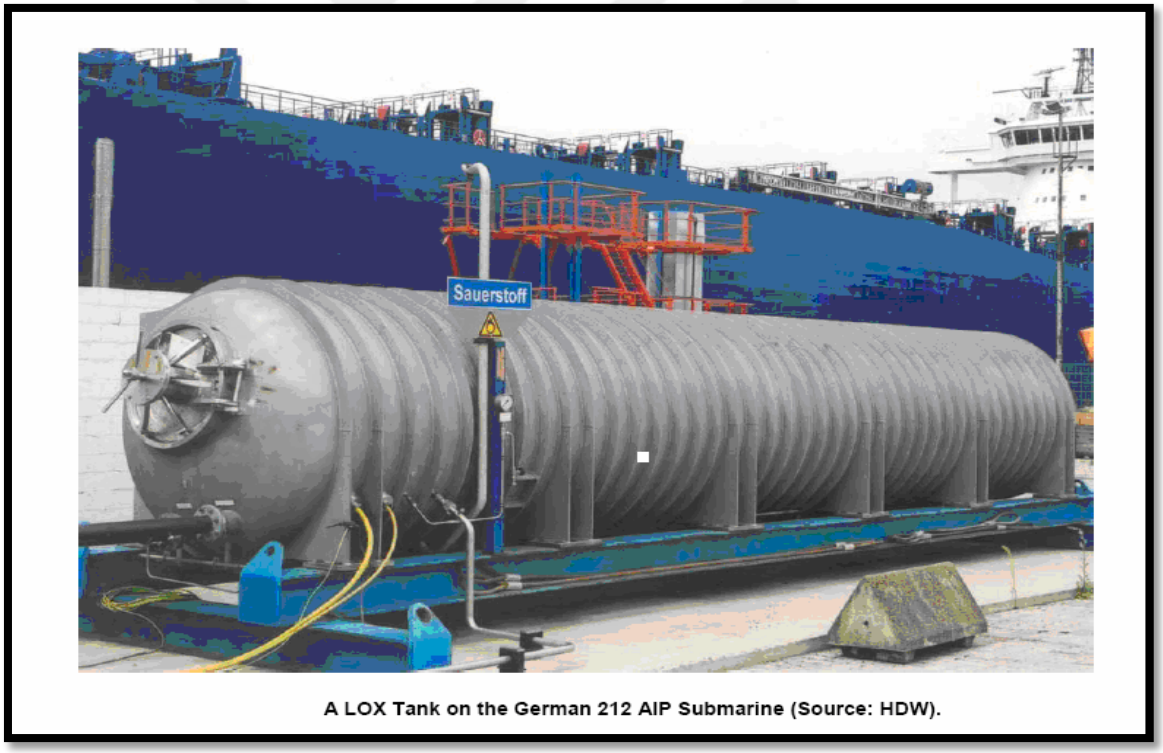


Şekil 4.24. Oksijen (Kırmızı) ve Metanol (Sarı) Tanklarının Kesit Görünümü (Buckingham ve diğ., 2008).

Hidrojenin yakın gelecekte metal hidritlerde depolanmaya devam edeceği öngörülmektedir. Ancak daha büyük enerji depolama ve gemiler mevcut düzenlemeleri ölçeklendirmekle ilgili sorunlar yaşayabilir (Buckingham ve diğ., 2008). Şekil 4.25'de örnek bir yerleşim ölçeklendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Denizaltılarda Yakıt ve Oksidan Depolama Gösterimi (Buckingham ve diğ., 2008).



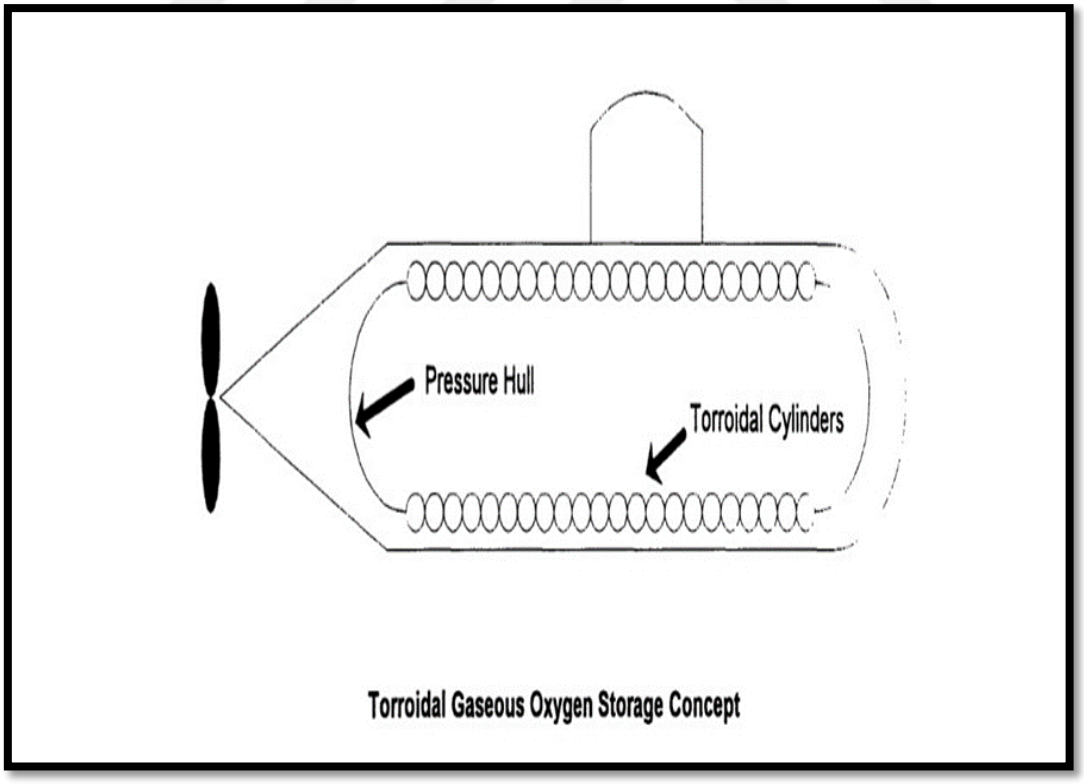
Şekilde 4.26. Alman 212 Denizaltısı LOX Tankı (Buckingham ve diğ., 2008).

AIP sisteminde elektrik enerjisi elde etmek için oksijen gereklidir. Oksijen çeşitli formlarda depolanabilmektedir. Şekilde 4.26'da örnek bir sıvı oksijen depolama tankı gösterilmiştir.

Oksijenin Gaz Formunda Depolanması:

Yüksek basınçlı kaplarda oksijen depolanması hacim ve ağırlık açısından çok verimsizdir. (Thornton, 1994). Örnek olarak, Newport News Shipbuilding'de yapılan bir araştırmada oksijen depolama yöntemlerini değerlendirdi. 100 MW-saat güç için oksijen depolamak amacıyla gaz halinde oksijen, toplamda 3000 psi'de 500 - 21 ft3 hacimde standart oksijen şişeleri gerekmektedir. 475 Itons ağırlık ve 13.400 ft3 hacim değerlerine karşılık gelmektedir. Aynı miktarda güç için sıvı oksijeni karşılaştırırsak bir sıvı oksijen sistem 109 Iton ağırlığında ve 3348 ft3' olacaktır (Thornton, 1994).

Yeni bir gaz halinde oksijen depolama yöntemi önerilmiştir. İtalyan şirketi Fincantieri, kaynaklı toroidal gaz silindirleri kullanmakta olup bu yöntemle basınca dayanıklı gövde oluşturmak amaçlanır. Bu yöntem, ağırlığı hafifletmeye yardımcı olur ve gemi yapısını değiştirir. Gaz halinde oksijen depolamanın hacim kısıtları oksijen silindirleridir. Silindirler oksijeni 4000 psi'de depolamak üzere tasarlanmıştır. (Thornton, 1994). Bu ilke Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Torroidal Gazlı Oksijen Depolama Konsepti (Thornton, 1994).

Bu tasarımla ilgili bariz endişe, bireysel torroidler silindirler şüphesiz sağlamdır ancak bu torroidleri birleştirme işlemi bir risk oluşturabilir. Bununla birlikte şoka dayanacak kadar güçlü bir basınçlı gövde oluşturur, ancak silindirler üzerindeki çatlaklar ve korozyon göz önünde bulundurularak silindirler bu hususlar kapsamında yeterince kontrol edilmelidir.

Oksijenin Kriyojenik (sıfır altı sıcaklıkta) Depolama Metodu:

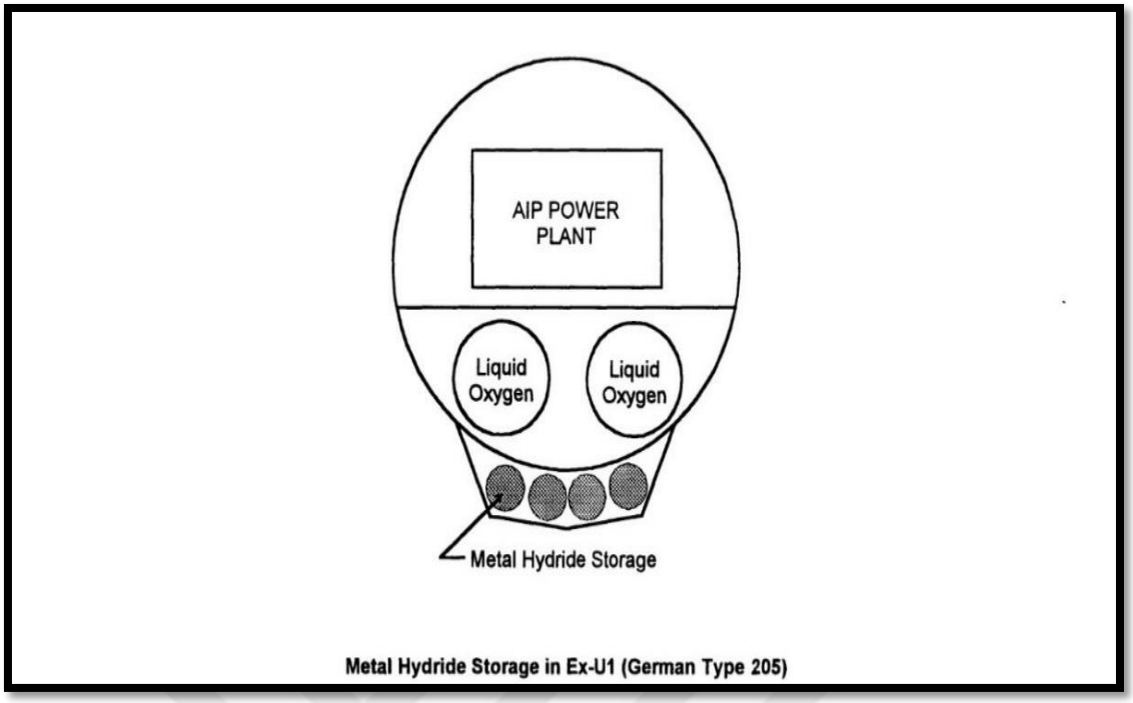
Bu yöntem, AIP sistemine sahip denizaltılarda depolama için en iyi seçenek olarak kabul edilir. (Thornton, 1994). Gazlı depolamadan daha verimli hacim, kapsamlı sıvı oksijenin (LOX) işlenmesi için deneyim tabanı mevcuttur. Depolama tankları tipik bir depolama ile süper yalıtımdan oluşmaktadır. Bu yalıtım 900K (-1830C) sıcaklık aralığına dayanmaktadır. Tipik tank düzenlemelerine göre, kaynama günlük hacmin yaklaşık yüzde biri olmaktadır. (Thornton, 1994).

Hidrojenin aksine bu kaynama, mürettebat için oksijen solunum olarak kullanılan buharlaştırılmış oksijen ile faydalıdır. LOX'un ısı emilimini azaltmak için büyük tanklar daha verimli, ancak denizaltıya yerleştirilmesi daha zor hale gelmiştir. Basınçlı tekne içinde LOX depolaması ile ilgili birçok güvenlik endişesi oluşmakta olup, bunlar:

- Tank arızası, gemiyi oksijenle doldurması (oksijen zehirlenmesi)
- Artan yangın potansiyeli
- Hassas malzemelerle (HY çelik gövde gibi) kriyojenik temastır. (Thornton, 1994).

İsveç NAECKEN'de kullanım için LOX depolamayı kullanmaya başladı. Bugüne kadar operasyonel olarak Şekilde 4.28'de gösterilene benzer izole edilmiş bir LOX içinde bulunan iki adet çift yalıtımlı LOX tankı ile izleme ekipmanı ve bir güverte üstü havalandırma ile donatılmış bölme, acil durumlar için oluşturulmuş bir sistem olarak kullanıldı.

Bu düzenlemede, tüm LOX boruları tamamen mürettebattan korunmalıdır. Böylelikle mürettebat oluşabilecek tehlike arz eden risklerden korunmuş olacaktır. Fakat yine de günümüzde denizaltılarda kullanılan oksijen tankları denizaltının mukavim teknesi içerisinde yer almaktadır. Bu durum elbette gemi personeli için risk teşkil etmektedir. Ancak tasarımcılar oksijen tankı tasarımında iç içe geçmiş tanklar tasarlayarak tankın mukavemetini arttırarak oluşabilecek riskleri minimize etmişlerdir.



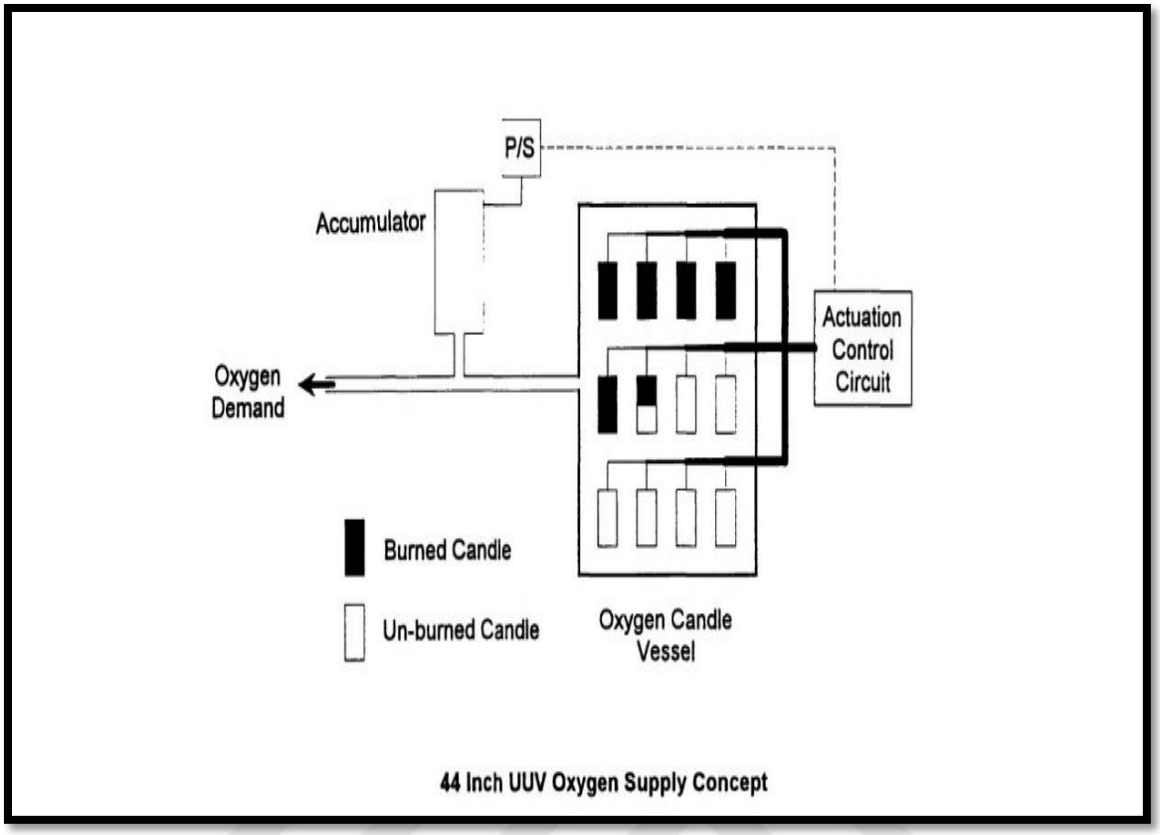
Şekil 4.28. Denizaltıda (205 Sınıfı Alman Denizaltısı) Sıvı Oksijen Depolama (Thornton, 1994).

Bu düzenlemede, tüm LOX boruları tamamen mürettebattan korunmalıdır. Böylelikle mürettebat oluşabilecek tehlike arz eden risklerden korunmuş olacaktır.

Oksijenin - Kimyasal Reformasyon Metodu İle Depolanması:

Oksijen üretebilen bir dizi kimyasal bileşik bulunmaktadır. Bu da kimyasal işlem sonucunda oksijen üretilebilmesine imkan tanır. Kimyasal reaksiyonun bir yan ürünü olarak kullanılan Sodyum Perklorat'tır (NaCIO04)

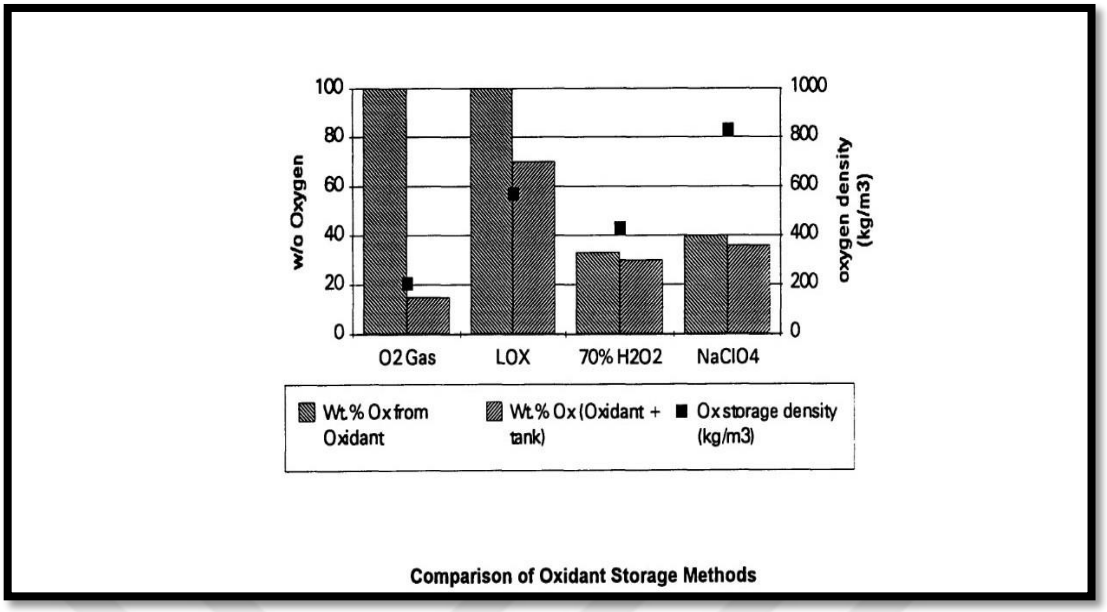
ABD donanmasının Oksijen Solunum Aparatı (OBA) birimleri için oksijen ve Sodyum Perklorat (NaCIO04) alüminyum-oksijen güç sisteminde bir oksijen kaynağı olarak kullanıldı. Bu konsept, Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Bu sistemde bulunan oksijen mumları büyük bir kapta belirli bir oksijen basıncını korumak için sırayla ateşlenir ve akümülatör, talep üzerine oksijen sağlar; sistem uzun süre hareketsiz kaldığında ise sistem içindeki oksijen kaynamaya başlar. Burada içerisinde oksijen elementi barındıran bileşiklerden belirli şartlar altında oksijen üretme yöntemine dayanmaktadır. Bahse konu durumda oksijenin üretilmesi için elbette enerjinin harcanması da göz ardı edilmemelidir.



Şekil 4.29. 44 İnç UUV Oksijen Tedarik Konsepti (Thornton, 1994).

Oksijenin Denizaltıda Dahli Üretim Metodu; denizaltılarda oksijen üretimi nükleer kadar yeni bir kavram değildir. Denizaltılar oksijen üretimini yıllardır "ters" bir yöntem ile yapmaktadır. 50 kW elektrik gücü gerektiren Alkali yakıt hücresi bir oksijen jeneratörü, başına 13.4 kg'a kadar oksijen üretebilir. Standart bir PEM hücresi ise 50 kW üretmek için yaklaşık 25 kg oksijene ihtiyaç duyar. Bu basit analize dayanarak oksijen üretimi için elektroliz uygun bir seçenek değildir. Diğer bir yerleşik üretim seçeneği, okyanusun kendisinde oksijenin çıkarılmasıdır.

Yapay solungaç teknolojisi, gözenekli bir zarın kullanımını içerir. Denizden çözünmüş oksijeni çıkarmak için sadece gaz moleküllerini geçer. Bu durum için kuzey enlemlerindeki okyanuslar gerekli oksijen konsantrasyonuna sahiptir. Bu teknolojinin başarılı olması için gerekli olan 4 ml/l'den fazla deniz suyudur (Thornton, 1994). Bu teknoloji için mevcut gelişme durumu, onun büyük ve hantal olması ve oksijeninin alabileceği elektriğin yaklaşık yüzde 30'unu harcamasıdır. Şekil 4.30'da çeşitli oksijen depolama yöntemleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.30. Oksijen Depolama Metotlarının Karşılaştırılması (Thornton, 1994).

4.4. Nükleer Denizaltılarda Kullanılan Enerji Depolama Yöntemleri

Bugün sadece Birleşik Krallık, ABD, Fransa, Rusya, Çin ve Hindistan'ın nükleer enerjili denizaltıları bulunmaktadır. Bu sayılan ülkelerin sadece ilk dördü onları nasıl inşa edeceklerini bilmektedir. (Çin ve Hindistan onları Rusya'dan satın aldı) (URL-16). Nükleer denizaltı inşa teknolojisi, bu teknolojiye sahip ülkelere muazzam bir avantaj sağlamaktadır. Çünkü geleneksel denizaltılar elektrik pilleriyle çalışır ve bu pilleri şarj etmek için oksijene ihtiyaç duyan bir dizel motor jeneratör setine ihtiyaç duyar. Bu durum denizaltının yüzeyden periskop derinliğinde kalması gerektiği anlamına gelir. (URL-16).

Ayrıca elektrik enerjisini kimyasal olarak depolayan sistemler olan batarya grupları, nükleer denizaltılarda acil durumlarda kullanılmak için yerleştirilirler. Depolayabildiği enerji miktarı bataryanın kapasitesini belirler. Seri, paralel ya da seri-paralel şekillerde bağlanarak ihtiyaç olan enerji elde edilir. Şarj edilebilen ve tek kullanımlık olarak iki türü vardır. Denizaltılarda şarj edilebilir bataryalar kullanılır. Bataryalar dalmış durumda konvansiyonel denizaltının tüm enerji ihtiyacını ve nükleer denizaltıların ise acil durum ihtiyaçlarını karşılayan enerji kaynaklarıdır. Nükleer denizaltılar ise konvansiyonel denizaltılara göre enerji bakımından daha bağımsızdırlar. Bu durum elbette nükleer enerjinin sağladığı enerjiden kaynaklanmaktadır.

Bataryalar aynı zamanda konvansiyonel denizaltıların menzilini de sınırlandırır ancak nükleer güçle çalışan bir denizaltının menzilinde herhangi bir kısıtlama yoktur; çünkü sadece 25 yılda bir yakıt ikmali yapar (URL-16).

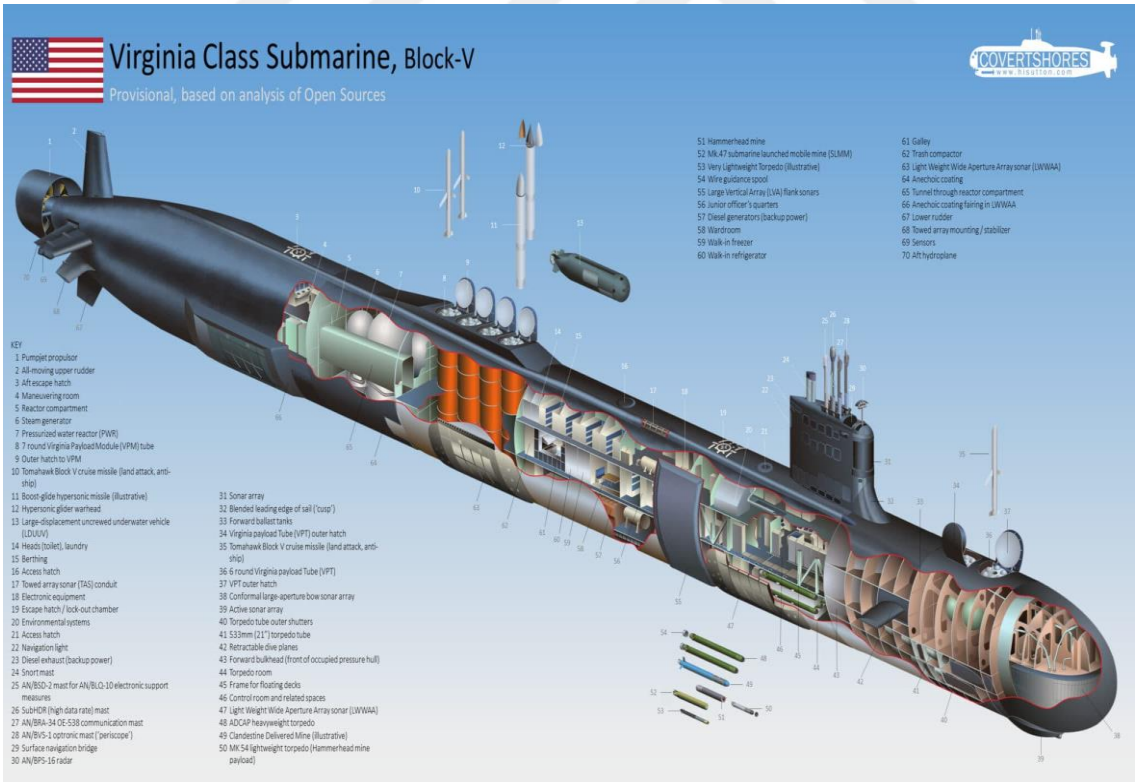
Nükleer denizaltılarda reaktör, yaklaşık olarak büyük bir kulübe büyüklüğünde olup güçlü bir çelik yapıdadır. Bu yapının içinde, içinde kontrol çubukları bulunan Uranium-235 bulunur. Bu kontrol çubukları kaldırıldığında uranyum atomları parçalanmaya ve enerji üretmeye başlar. Enerji, borularda taşınan suyu aşırı ısıtılmış buhar olarak ısıtır, bu da suyu ikincil bir boru sisteminde ısıtır. Pervanelere güç sağlayan türbinlere güç sağlamak için ikincil buhar kullanılır (URL-16).

Bir denizaltıdaki her şey gibi, bu süreç de son derece sessiz olması gerektiği için karmaşıktır. Reaktör sistemi, gemide sürekli olarak pompalanması gereken deniz suyu ile soğutulur. Pompaları sessiz tutmak için çeşitli önlemler alınır ve pompaların altına şok emici lastikler monte edilir ve oluşabilecek titreşimler sönümlenir. Aynı şey, tuvaleti sifonu çeken mekanizmanın yanı sıra deniz suyunu tatlı suya çeviren ve daha sonra bu tatlı suyun bir kısmını hava üretmek için kullanan sistem için de geçerlidir. Denizaltının sessiz olması çok önemlidir. Bazen denizaltı birkaç saat boyunca ultra sessiz modda çalışır, en büyük gürültü riskinin mürettebat olduğu zaman, diğer denizaltılar bir şey düşürürlerse veya basamaklarda tıkırdarlarsa onları duyabilirler, bu yüzden ranzalarına gönderilir ve koşmaları yasaktır. Bir denizaltının konumunu ele verebilecek başka faktörler de vardır. Denizaltıdaki karbondioksit yüzeyde kabarcıkların görülmemesi için bir difüzör vasıtasıyla denize boşaltılır. İngiltere'de inşa edilen denizaltılar, denizde hizmete başlamadan önce, ABD'deki Georgia'daki Kings Bay deniz üssüne gider ve burada manyetik imzasını azaltmak için büyük metal halkalardan geçer ve (inşaat sırasında metal işlere yapılan tüm darbelerden sonra, dev bir mıknatıs gibi) suya girer. Ve teknenin şekli, 12 saat sonra tespit edilip izlenebilen manyetik izini azaltmak için tasarlanır (URL-16).

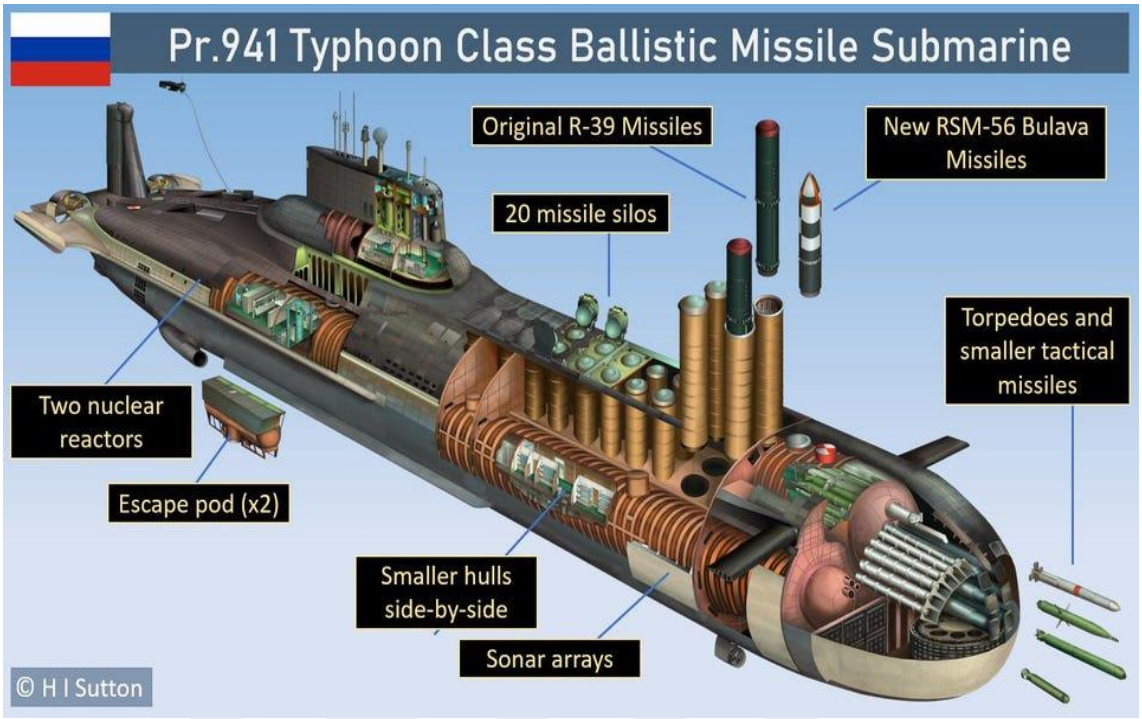
Günümüzde okyanuslarda görev yapabilecek modern askeri denizaltıların büyük çoğunluğu nükleer enerji kullanmaktadır. Nükleer reaktörün bulunduğu denizaltı tahrik sistemi çalışması, denizaltıda bulunan buhar türbinlerini döndürmek için nükleer reaktörlerden elde edilen ısı enerjisinden yüksek basınçlı buhar üreterek ve pervaneleri doğrudan veya bir elektrik motoru ile döndürerek çalışma prensibine dayanır. Aynı

prensiple denizaltının yardımcı sistemleri için de gerekli elektrik enerjisi sağlanabilmektedir. Denizaltı reaktörleri, yüzde 20'nin üzerinde bir oranda yüksek zengin nükleer yakıt kullanır. Bu sayede kara tesislerinde kullanılan reaktörlerden farklı olarak uzun süre yakıt ikmali yapmaya gerek kalmadan daha küçük bir reaktörden enerji sağlanabilmektedir. Bu denizaltılar nükleer yakıtlarını kullanarak 30 yıl boyunca yakıt ikmali yapmadan görevlerini icra edebilme kabiliyetine sahiptirler.

Nükleer denizaltıların iki büyük zayıflığı vardır. Nükleer reaktörün yaydığı ısının zaman zaman suya salınarak soğutulması gerekiyor. Bu, denizaltının etrafında bir ısı alanı oluşturarak yerini bulmayı kolaylaştırır. Termal uydu görüntüleri ve uçaklarla kolayca tespit edilebilmesi önemli bir risk faktörüdür. Reaktörün buhar türbinlerinin sürekli gürültüsü de sonar tarafından tespit edilebilir. Dizel-elektrikli denizaltıların su altındayken çok daha sessiz çalışması, bu alanda mahremiyeti artıracak teknolojik yatırımların yapılmasını zorlaştırmaktadır (URL-17). Nükleer denizaltılar için örnek şekiller Şekil 4.31. ve Şekil 4.32'de sunulmuştur.



Şekil 4.31. ABD Ait Virginia Sınıfı Nükleer Denizaltı Genel Görünümü (URL-18).



Şekil 4.32. Rusya Devleti Typhoon Sınıfı Nükleer Denizaltısı Genel Görünümü (URL-19).

Nükleer denizaltılarda enerji depolanması sadece acil durumlar için denizaltıda bulunan şarjlı bir batarya grubu ile yapılır. Diğer taraftan nükleer denizaltıda ihtiyaç duyulan enerjinin tamamı nükleer reaktörden karşılanır. Ve bu durum denizaltının yaklaşık olarak 25-30 yıl boyunca nükleer reaktörden faydalanarak enerji ihtiyacının karşılanmasının sağlar. Zaten denizaltıda bulunan hacim kısıtı nedeniyle enerji depolamak için boşalan hacim denizaltının başka ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılır.

5. DÜNYADAKİ VE ÜLKEMİZDEKİ YENİ NESİL DENİZALTILAR

Dünyada bulunan çoğu donanma su altı mücadelesinde üst seviyelerde yer almak için birçok çalışma yapmaktadır. Ülkeler, yeni denizaltı tahrik sistemleri, su altı platformlarının görev süresini ve sessizliği artıracak teknolojiler ve denizaltı robotlarının geliştirilmesi yönündeki projelere çok büyük yatırımlar yapmaktadır. Su altında rekabet edebilme yarışında denizaltı konusundaki teknolojilerin geliştirilmesine kaynak ayıran ülkeler aşağıda sunulmuştur.

ABD Yeni Nesil Denizaltıları:

ABD donanması yapımını düşündüğü SSN(X) sınıfı yeni nesil nükleer denizaltıları daha önceki denizaltı sınıflarına oranla daha büyük boyutlarda inşa etmeyi düşünmektedir. İleriye dönük kapsamı genişletilmiş görevlerde kullanılması için tasarlanmaktadır. Columbia sınıfı denizaltıların 13 metre genişliğinde ve 23,310 ton ağırlığında olması düşünülmektedir. Önceki sınıflara nazaran dizayn edilen tasarımda, daha fazla ses izolasyonu sağlanarak denizaltının tespit edilebilme olasılığının en az seviyeye indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte yeni tasarımda genişleyen iç hacim, ilave yeni gelecek teknolojilerin platforma entegre edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. (URL-17). Eski Ohio sınıfının yerine üretilecek olan Columbia sınıfı denizaltılar için donanma, 9.4 milyar dolar bütçe ayırmıştır. Bu bütçeyle en az iki denizaltı inşası planlanmıştır.

General Dynamics Electric Boat firmasıyla anlaşan ABD donanması ilk denizaltının 2031 yılında göreve çıkmasını planlamaktadır. Columbia sınıfının 2080 yılına kadar hizmet vermesi hedeflenmektedir (URL-17). Şekil 5.1'de Columbia sınıfı denizaltıların genel görünümü sunulmuştur.

ABD donanmasının Oksijen Solunum Aparatı (OBA) birimleri için oksijen ve Sodyum Perklorat (NaCIO04) alüminyum-oksijen güç sisteminde bir oksijen kaynağı olarak kullanıldı. Bu konsept, tez içerisinde gösterilmiştir. Bu sistemde bulunan oksijen mumları büyük bir kapta belirli bir oksijen basıncını korumak için sırayla ateşlenir ve akümülatör, talep üzerine oksijen sağlar; sistem uzun süre hareketsiz kaldığında ise sistem içindeki oksijen kaynamaya başlar.

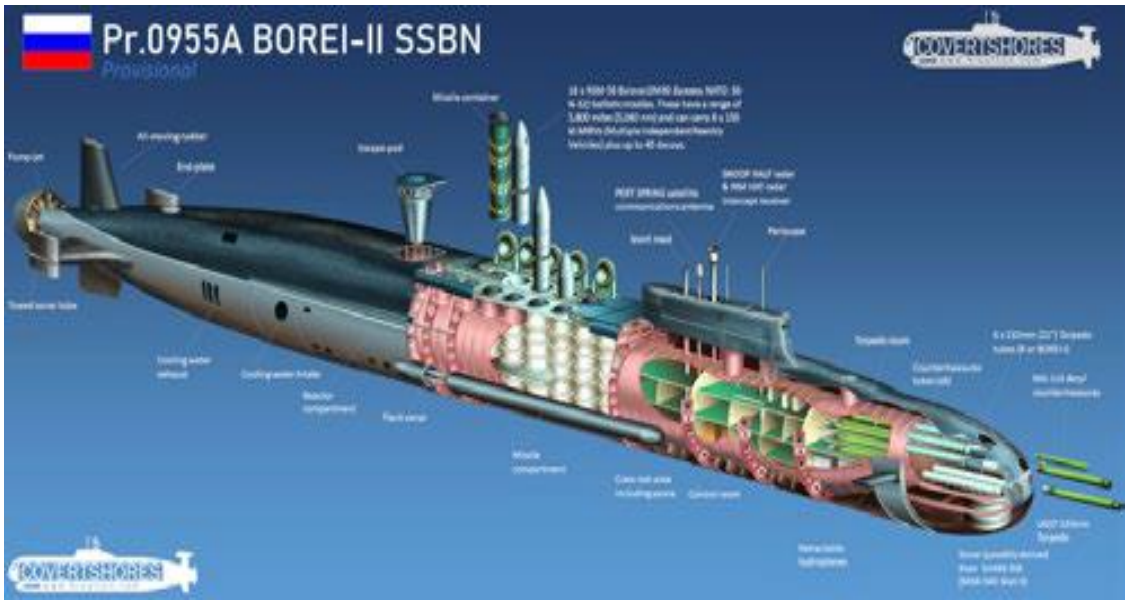


Şekil 5.1. Columbia Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü (URL-17).

Rusya'nın Yeni Nesil Denizaltıları:

ABD donanması su altı gücü için nükleer denizaltıları hedeflerken Rusya bu konuda farklı ilerlemektedir. Aynı anda altı ayrı denizaltı sınıfının geliştirme çalışmalarını yapan Rusya, donanmasının modern teknolojilere sahip olması için çalışmalarını yürütmektedir.

Rusya'nın sahip olduğu BoreII sınıfı nükleer denizaltılardır. Şekil 5.2'de BoreII denizaltısının genel görünümü sunulmuştur.

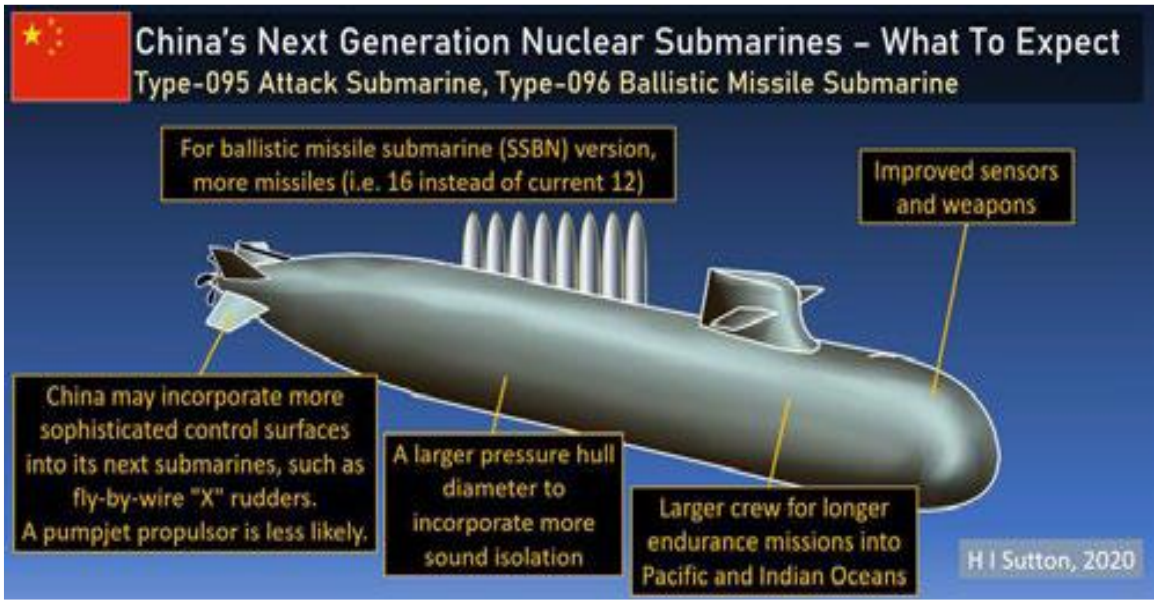


Şekil 5.2. Bore II Denizaltısının Genel Görünümü (URL-17).

Çin'in Yeni Nesil Denizaltıları:

Çin donanmasının (People's Liberation Army Navy-PLAN) 2020 yılında iki yeni Jin sınıfı nükleer denizaltıyı hizmete aldığı bilinmektedir (URL-18). Çin donanmasının yeni nesil nükleer denizaltıları Tip-095 Tang sınıfı olarak isimlendirilmektedir (URL-17).

Tip-096 sınıf yeni nesil denizaltı dizaynının ise daha büyük ebatlarda olacağı ve daha kapsamlı görevlerde yer alacağı düşünülmektedir. Şekil 5.3'te Çin Devleti'nin yeni nesil nükleer Tip- 095 sınıfı denizaltısının genel görünümü sunulmuştur.



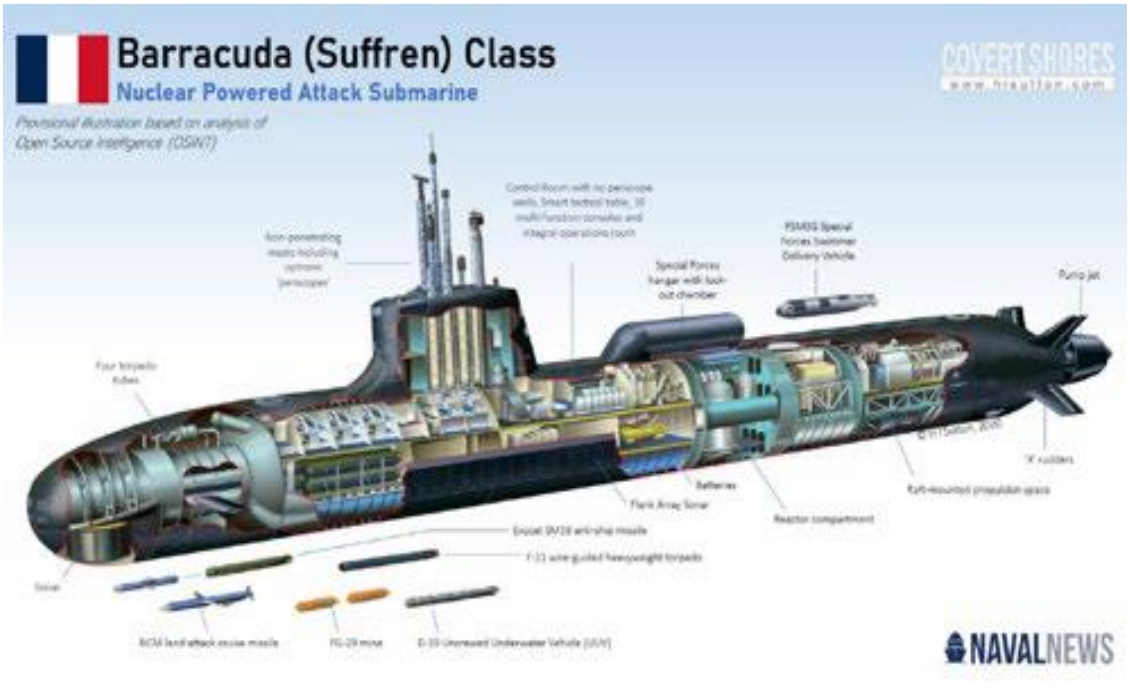
Şekil 5.3. Tip- 095 Sınıfı Denizaltısının Genel Görünümü (URL-17).

Fransa'nın Yeni Nesil Denizaltıları:

Fransa donanması, su altı gücünde üst sıralarda yer almak için dört adet yeni nesil nükleer denizaltı inşasına başlamıştır (URL-17).

2030 ile 2090 yılları arasında görev yapması düşünülen SSBN tipi balistik füze denizaltılarının ilkinin 2035 yılında göreve başlaması düşünülmektedir. Gelecek dönemde ise her beş yılda yeni bir denizaltının göreve başlaması amaçlanmıştır (URL-17). Bu durum Fransa'nın denizaltı inşa ve tasarımındaki yakaladığı teknolojik ilerlemenin göstergesi olarak görülebilir. Barracuda sınıfı denizaltılar bunun en büyük örneğidir.

Barracuda sınıfı olarak isimlendirilen yeni nesil nükleer denizaltıların 150 metre uzunluğunda ve 15.000 ton ağırlığında olması ve ayrıca 100 mürettebatla faaliyet göstermesi düşünülmektedir (URL-17). Şekil 5.4'te Barracuda sınıfı denizaltıların genel görünümü sunulmuştur.



Şekil 5.4. Barracuda Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü (URL-17).

Japonya'nın Yeni Nesil Denizaltıları:

Japonya donanması 2020'nin Mart ayında denizaltı bataryasında farklı bir bakış açısıyla ilk lityum-iyon batarya kullanan Soryu sınıfı denizaltısı olan Ouryu'yu göreve başlatmıştır. Bu sınıfta üretilecek yedi adet denizaltının ilki Ekim 2020'de filoya dahil edilmiştir. Bahse konu denizaltılar için Japonya deniz kuvvetleri denizaltı platformlarına lityum-iyon bataryaların uygulanması ile ilgili çalışmaları 2002 yılında başlatmıştır (URL-17).

Ouryu sınıfı denizaltılar, özellikleri bakımından düşük bakım periyotları, su üstünde 13 deniz mili ve su altında 20 deniz mili gibi yüksek hızlarda gösterdiği dayanıklılığı gibi özelliklerle ön plana çıkmaktadır. 84 metre uzunluğunda ve 7.100 ton ağırlığındadır (URL-17).

Güney Kore'nin Yeni Nesil Denizaltıları:

Güney Kore deniz kuvvetlerinin bünyesinde yer alan denizaltılarda kullanılacak lityum-iyon bataryaların 2026 yılında tamamlamak için çeşitli çalışmalar yaptığı görülmektedir. Jang Bogo-III sınıfı dizel-elektrik tahrikli denizaltıların batarya sistemlerini lityum iyon bataryalarla revize ederek 2020 yılına kadar bu denizaltılara lityum iyon bataryaların sağladığı avantajlarla hali hazırda prototip aşamasında olan bahse konu denizaltıların menzilini Güney Kore donanması yaklaşık olarak üç katına çıkarmayı hedeflemektedir. (URL-18).Yeni nesil lityum-iyon bataryaların mevcut Tip 214 yakıt hücresine oranla iki kat ve Tip 209 kurşun asit bataryalara oranla beş kat daha fazla güç yoğunluğu oluşturması hedeflenmektedir. (URL-17).

Türkiye'nin Yeni Nesil Denizaltıları:

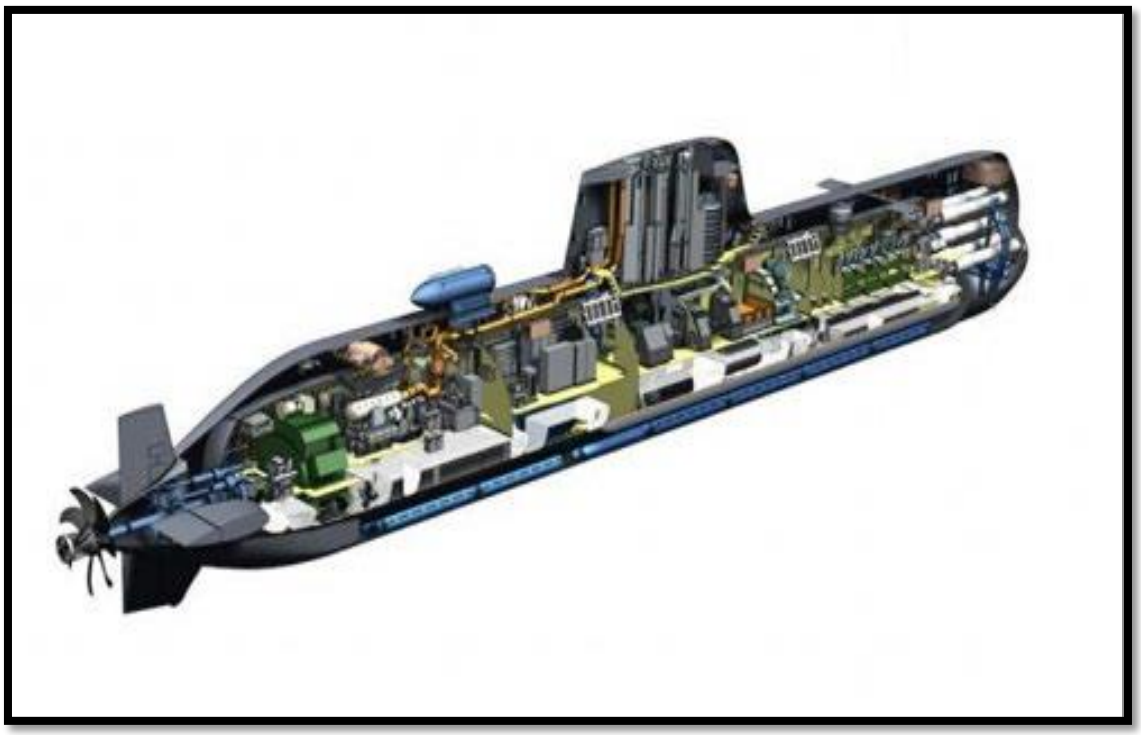
Türk donanmasında Alman "209" sınıfı denizaltıların farklı versiyonları bulunmaktadır. Bu denizaltılar üç farklı sınıfta toplam 12 denizaltı olarak yer almaktadır. "Ay" sınıfı denizaltıların ilk üçü Almanya'da üretilmiş ve ilki 1975 yılında hizmete girmiştir. Diğer Ay sınıfı denizaltıyla birlikte dört adet "Preveze" ve dört adet "Gür" sınıfı denizaltının tümü Alman HDW tersanesinden alınan tasarım ve malzeme paketleriyle Gölcük Tersanesi Komutanlığında üretilmiştir. Modernize edilerek ömrü uzatılan Ay sınıflarının 2020'li yıllarda da kullanılması amaçlanmaktadır (URL-17).

Preveze sınıfı denizaltılar 1994-2001 yıllarında, Türkiye'nin en gelişmiş denizaltı sınıfı olan Gür sınıfı denizaltılar ise 2004-2008 yıllarında hizmete girmiştir. Türkiye'nin yeni nesil denizaltı teknolojilerine sahip denizaltıları Reis sınıfı denizaltılar olup gelecek dönemde Türk donanmasında hizmet vermeleri hedeflenmektedir. Yeni Tip Denizaltı Tedarik Projesi kapsamında yakıt hücresi HBT özellikli Reis sınıfı denizaltılar üretilmeye başlanmıştır.

STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. (STM), ASELSAN, HAVELSAN, TÜBİTAK, Ayesaş, Milsoft ve Koç Sistem'in yerli tedarikçi olarak görev aldığı projedeki denizaltılarda yerlilik oranı yaklaşık yüzde 81'dir (URL-17).

Yerli ve milli su altı teknolojilerinin geliştirilmesi ülkenin su altı savunma sanayi teknolojilerinin ilerlemesine çok önemli katkıları sağlayacaktır. Reis sınıfı denizaltılar

bünyesinde bulundurdukları HBT sistemi ve modern silah donanımlarıyla daha derin sularda daha sesiz harekât özelliğine sahip olmaktadır. Böylelikle Türk donanması daha güçlü ve yeni nesil bir teknolojiye sahip olmaktadır. Şekil 5.5'te Type 214 TN Reis sınıfı denizaltıların genel görünümü sunulmuştur.



Şekil 5.5. Type 214 TN Reis Sınıfı Denizaltıların Genel Görünümü (URL-17).

6. SONUÇ

Denizaltılar dünya donanmalarının önemli bir savaş unsuru olarak yıllardan beri görevlerini yerine getirmektedir. Geçmişten günümüze kadar denizaltılar çok önemli görevler üstlenmişlerdir. Denizaltılar kullandıkları farklı enerji formlarıyla enerji ihtiyaçlarını karşılamışlardır. Konvansiyonel denizaltılar ve nükleer denizaltı olmak üzere iki ana başlık altında denizaltıların inşaları ve mevcut dünya donanmalarına katkıları olmuştur. Nükleer denizaltılarla konvansiyonel denizaltıların kendilerine göre enerji depolama yöntemleri olmuştur. Bu hususu enerji ihtiyaçları, enerji elde etme yöntemleri ve fiziksel hacimleri gibi unsurlar doğrudan etkilemiştir. Nükleer denizaltılarda kullanılan nükleer enerji, nükleer reaksiyon sonucunda elde edilerek nükleer denizaltının enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Denizaltı görev süresi boyunca bir kere enerji elde etmek için aldığı elementi nükleer reaksiyona sokarak yaklaşık 30 yıl boyunca bir daha yakıt ikmali yapmasına ihtiyaç kalmamaktadır. Bu yüzden de enerji depolanmasına çok ihtiyacı olmamakla beraber acil durumlar göz önünde bulundurularak denizaltının enerji üretim hattında herhangi bir sorun yaşandığında denizaltının acil durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak yedek bir batarya grubu bulundurulmaktadır. Bunun dışında ayrı bir enerji depolamasına ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca denizaltıyı enerji depolama yükünden veya denizaltıda enerji depolama sistemlerinin kaplayacağı hacmi başka sistemler için kullanarak denizaltıya büyük bir hacim avantajı kazandırmaktadır.

Konvansiyonel denizaltılarda, denizaltı sık sık yakıt ikmali yapmak zorundadır. Bu nedenle denizaltıda enerji depolama konusu hayati önem taşımakta ve denizaltının su altı seyrüsefer kabiliyetini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle denizaltılarda çeşitli depolama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu konuyu 3 grupta değerlendirirsek; sadece batarya sistemini kullanarak enerji depolayan, hem batarya sisteminden hem de yakıt hücresini kullanarak depolanan oksijen ve hidrojenden enerji elde eden, diğeri ise sadece yakıt kullanarak denizaltında depolanan hidrojen ve oksijenden enerji elde eden denizaltılardır. Denizaltılarda depolanan kimyasal enerjinin sadece batarya sistemi ile kullanılması, denizaltının enerjiyi ihtiyacını gidermek için ve yeniden enerji depolamak için şnorkel yapma durumunda kalması, bu hususun da denizaltının uzun süre su altında kalma halinin bozulmasına neden olması ve denizaltının gizliliğini bozarak su yüzeyine çıkması

denizaltının görev profili açısından büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak gelişen enerji depolama sistemleri göz önüne alındığında yeni geliştirilen lityum pil teknolojileri, denizaltıların daha fazla kimyasal enerji depolamasını sağlamakta ve bu da denizaltının daha fazla su altında kalmasına fırsat vermektedir. Bahse konu lityum içerikli pillerin denizaltı platformlarına uygulanması, lityumun sağladığı avantajların yanında oluşturacağı dezavantajlı durumları da göz önünde bulundurmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu dezavantajlı durumların başında denizaltında lityumun neden olabileceği yangın risklerine karşı denizaltılarda farklı önlemlerin alınmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu durum lityumun denizaltılarda kullanılmasında gemi emniyeti açısından büyük bir problemi de beraberinde getirmektedir.

İkinci bir durum olan hibrit denizaltı depolama sistemi diyebileceğimiz sistemde ise enerji, denizaltıda yer alan bataryalar vasıtası ile kimyasal olarak depolanmaktadır. Aynı zamanda denizaltında yer alan yakıt hücresinin yakıtı olarak bilinen hidrojen ve bu yakıtın yakılarak elektrik enerjisi elde etmek için ihtiyaç duyulan bir oksitleyici olarak genelde oksijenin kullanılması ve bu hidrojen ve oksijenin farklı formlarda denizaltıda depolanarak bunlardan enerji elde edilmesidir. Bu hibrit sistemde, farklı iki enerji üretim seçeneği olduğundan sadece enerjisini batarya gruplarından sağlayan denizaltılara nazaran daha az şnorkelle çıkma ihtiyacı doğmakta ve bu durum denizaltının, daha fazla su altında kalabilmesini ve su altında daha fazla kalarak mahremiyetini daha uzun süre koruyabilme imkanını sağlar. Bu özellik açısından denizaltı kendine, görev profili yönünden büyük bir avantaj sağlamış olur. Günümüzde bu tip hibrit enerji depolama sistemine sahip denizaltısı olan birçok donanma bulunmaktadır. Denizaltıların hibrit enerji üretim sistemlerine sahip olması bu tür denizaltıların donanmalar tarafından tercih edilme sebebi olarak değerlendirilmektedir.

Denizaltılarda kullanılan diğer bir denizaltı enerji depolama yöntemi ise sadece yakıt pili kullanılarak enerji elde etmek amacıyla enerjinin depolanmasıdır. Bu tür denizaltılarda enerji, yakıt olarak depolanan hidrojenden ve gireceği kimyasal reaksiyonda ihtiyaç duyduğu farklı oksijen formlarından elde edildiğinden ve denizaltı su altında daha uzun süre kaldığı için bu sistemlere sahip denizaltılar bu durumdan dolayı büyük bir avantaj kazanmış olur.

Konvansiyonel denizaltıların özelikleri göz önünde bulundurulduğunda ülkemiz donanmasında yer alan konvansiyonel denizaltıların bulunması ve yakın gelecekte envantere girecek hibrit enerji depolama sistemine sahip denizaltılar düşünüldüğünde, denizaltılarda enerji depolama yöntemlerinin ne kadar önemli bir husus olduğu görülmektedir. Ayrıca geçmişten günümüze denizaltı tarihçesine bakıldığında denizaltılarda enerji depolama teknolojilerinin gelişim açısından biraz yavaş ilerlediği ancak gelişen teknolojiyle birlikte bu durumun da büyük bir ivme kazanacağı aşikardır. Ayrıca denizaltıların su altındaki gizliliklerini korumak amacıyla yüksek miktarda enerji depolamaları gerektiği düşünüldüğünde denizaltılarda enerji depolamanın denizaltıların su altında kalmalarıyla doğrudan ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde denizaltılar için geliştirilen yeni enerji depolama sistemleri ile denizaltıların yeni sahil yakıt depolama sistemlerinin kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böylelikle liman yapan denizaltıların sahilden alacakları yakıtları sağlayan sistemlerde denizaltılara yeni konulmuş olan sistemlere uygun olarak revize edilmiş olur ve denizaltıların sahil ihtiyaçları da karşılanmış olur.

Sonuç olarak; dizel elektrik tahrikli denizaltılarda enerji depolama hususu dikkate alındığında hali hazırda denizaltılarda kurşun asit bataryalar kullanılmakta olup yakın zamanda bu bataryaların yerini Li-ion bataryaların alacağı görülmektedir. Hatta Japonya gibi bazı ülke donanmaları bu geçişi sağlamıştır. Ancak her ne kadar Li-ion batarya teknolojisi enerji depolamada denizaltılara uygulansa da Li-ion bataryaya göre daha avantajlı özelliklere sahip olan katı hal bataryaların da denizaltılara uygulanacağı ve enerji depolama ve güvenlik açısından denizaltılara çok büyük avantaj sağlayacağı düşünülürse bu bataryaların gelecekte denizaltıların enerji depolama konusunda vazgeçilmez enstrümanları haline geleceği görülmektedir. Çünkü bu batarya türü, denizaltıların mevcut batarya teknolojilerine oranla çok daha fazla su altında kalmalarını sağlayacaktır. Bahse konu bataryaların hali hazırda ticari bir ürün olarak piyasada bulunmamasına karşın yakın gelecekte olgunlaşacağı ve çeşitli denizaltı gibi platformlara uygulanacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Akbulut, E. (2018). Denizaltılardaki Havadan Bağımsız Tahrik Sistemlerinde Enerji Dönüşüm Uygulamalarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 521685.

Buckingham, J., Hodge, C., & Hardy, T. (2008). Submarine power and propulsion-trends and opportunities. *Proceeding of Pacific*.

Buckingham, J., Hodge, C., & Hardy, T. (2008). Submarine power and propulsion-application of technology to deliver customer benefit. *UDT Europe*.

D'amico, A., & Pittenger, R. (2009). *A brief history of active sonar*. SPACE AND NAVAL WARFARE SYSTEMS CENTER SAN DIEGO CA.

Deng, D. (2015). Li-ion batteries: basics, progress, and challenges. *Energy Science & Engineering*, *3*(5), 385-418.

Depetro, A., Gamble, G., & Moinuddin, K. (2021). Fire Safety Risk Analysis of Conventional Submarines. *Applied Sciences*, *11*(6), 2631.

Dixon, J. (2010, March). Energy storage for electric vehicles. In *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology* (pp. 20-26). IEEE.

Dinçer, İ., & Ezan, M. A. (2020). Tüba Enerji Depolama Teknolojileri Raporu. *Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları*.

Gray, T. (2012). *Elements: A visual exploration of every known atom in the universe*. Hachette UK.

Han, J., Charpentier, J. F., & Tang, T. (2012, May). State of the art of fuel cells for ship applications. In *2012 IEEE international symposium on industrial electronics* (pp. 1456-1461). IEEE.

Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A., & Mohamed, A. (2017). A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 834-854.

Harris, B. (1997). *Submarines: a Political, Social, and Military History. (*2nd Ed.). New York: Berkley Books,

Ireland, B. (2003). *War in the Mediterranean*. Pen and Sword.

Jeon, B., & Khorsand, M. (2020, June). Energy Management System in Naval Submarines. In *2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)* (pp. 802-808). IEEE.

Johnson, J. (2020). Artificial intelligence, drone swarming and escalation risks in future warfare. *The RUSI Journal*, *165*(2), 26-36.

Jiang, J., Wang, X., Duan, F., Li, C., Fu, X., Huang, T., ... & Sun, Z. (2018). Bio-inspired covert active sonar strategy. *Sensors*, *18*(8), 2436.

Johnson, S. C., Davidson, F. T., Rhodes, J. D., Coleman, J. L., Bragg-Sitton, S. M., Dufek, E. J., & Webber, M. E. (2019). Selecting favorable energy storage technologies for nuclear power. In *Storage and Hybridization of Nuclear Energy* (pp. 119-175). Academic Press.

Karau, M. D. (2003). Twisting the Dragonis Tail: The Zeebrugge and Ostend Raids of 1918. *The Journal of Military History*, *67*(2), 455-481.

Kalaycıoğlu, Ö. (2003) *Denizaltı ve Filomuz*. (1. Baskı). İstanbul: Deniz Basımevi,

Karataş, D. (2019). Denizaltılarda Yakıt Piline Dayalı Sevk Sistemi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,574951.

Karnozov, V. (2019). Developing an ecosystem for submarines-Pt 2. *Asia-Pacific Defence Reporter (2002)*, *45*(10), 36-38.

Kartini, E., & Genardy, C. T. (2020, September). The future of all solid state battery. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 924, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.

Kerros, P., Inizan, C., & Grousset, D. (1994, September). MESMA: AIP system for submarines. In *Proceedings of OCEANS'94* (Vol. 3, pp. III-457). IEEE.

Keshan, H., Thornburg, J., & Ustun, T. S. (2016). Comparison of lead-acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems.

Kularatna, N. (2011). Rechargeable batteries and their management. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, *14*(2), 20-33.

Love, R. W. (1990). John Keegan. *The Price of Admiralty: The Evolution of Naval Warfare*. New York: Viking. 1989. Pp. xii, 292. $21.95. *Albion*, *22*(2), 354-355.

McGuinness, M., & Benjamin, B. (2003). Submarine lead-acid battery performance. *Australian Submarine Corp*.

Mutarraf, M. U., Terriche, Y., Niazi, K. A. K., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2018). Energy storage systems for shipboard microgrids—A review. *Energies*, *11*(12), 3492.

Nour, U. M., Awad, S., Yusup, S., & Sufian, S. (2010). Technical Evaluation of Current Hydrogen Storage Technologies for Vehicles. *Journal of Applied Sciences*, *10*(12), 1200-1203.

Olabi, A. G., Sayed, E. T., Wilberforce, T., Jamal, A., Alami, A. H., Elsaid, K., ... & Abdelkareem, M. A. (2021). Metal-Air Batteries—A Review. *Energies*, *14*(21), 7373.

Piłat, T., Grzeczka, G., & Polak, A. (2017). Online assessment of the lead-ACID battery electrical capacity on submarines. *Diagnostyka*, *18*.

Ramanan, A. (2019). Nobel Prize in Chemistry 2019. *Resonance*, *24*(12), 1381-1395.

Reader, G. T., & Hawley, J. G. (1989, August). Problems associated with the use of synthetic atmosphere diesels in naval submarines. In *Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference* (pp. 2457-2466). IEEE.

Romanovsky, V., Nikiforov, B., & Avramenko, A. (2021, December). Improvement of lithium-ion rechargeable battery (LIRB) for Electric Ships. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2131, No. 4, p. 042100). IOP Publishing.

Se, C. D., & Lus, M. T. SUBMARINE HYBRID PROPULSION SYSTEMS.

Schull Joseph (1961). *Distant Ships.* Ottawa: Queen's Printer.

Schulz, F., & Wiegand, T. (2018, August). Underwater Acoustic Communications for Submarines-A Sonar Company's Perspective. In *2018 Fourth Underwater Communications and Networking Conference (UComms)* (pp. 1-5). IEEE.

Sharma, S., Panwar, A. K., & Tripathi, M. M. (2020). Storage technologies for electric vehicles. *Journal of traffic and transportation engineering (english edition)*, *7*(3), 340-361.

Suoknuuti, A. Mining and sustainability.

Szymborski, J. (2002, June). Lead-acid batteries for use in submarine applications. In *Proceedings of the 2002 Workshop on Autonomous Underwater Vehicles, 2002.* (pp. 11-17). IEEE.

Thornton, G. B. (1994). *A design tool for the evaluation of atmosphere independent propulsion in submarines*. MASSACHUSETTS INST OF TECH CAMBRIDGE DEPT OF OCEAN ENGINEERING.

URL-1: https://thinktech.stm.com.tr / uploads /docs/ 1608905890_stm-denizaltilar-ve gelecegin-su-alti-harp-konsepti.pdf?v=1651042293119 (Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2022)

URL-2: https://bilimgenc.tubitak.gov.tr / sites /default /files/deniz_altilar_nasil_suyun_ altina_dalar.jpg (Ziyaret Tarihi: 02 Haziran 2021).

URL-3: http://www.uboat.net (Ziyaret Tarihi: 02 Haziran 2021).

URL-4: https://www.defenceturk.net/fersah-karinaya-monteli-dsh-sonari (Ziyaret Tarihi: 02 Haziran 2021).

URL-5: http://www.denizaltici.com/ submarine- type- preveze.htm (Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2022).

URL-6: http://www.okseatech.com/page.php? ID=15 (Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2022).

URL-7: https://www.siemensenergy.com/electric- propulsion- and-drives.html (Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2022).

URL-8: https://maritime.org/doc/fleetsub/index.htm(Ziyaret Tarihi: 24 Nisan 2022).

URL-9: https://mavivatan.net/ denizaltılar -ve-tahrik-sistemleri- 2- havadan- bagimsiz-tahrikli-dizel-elektrik-denizaltilar/(Ziyaret Tarihi: 04 Haziran 2021).

URL-10: https:// sites.suffolk.edu/ maggieparker 2/ stirling - heat- engine- peltier device// (Ziyaret Tarihi: 04 Haziran 2021).

URL-11: https:// mavivatan.net/ denizaltilar - ve-tahrik- sistemleri-3-nukleer-tahrikli-denizaltilar//(Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2021).

URL-12:https://thinktech.stm.com.tr/tr/teknolojide-lityum-bagimliligi (Ziyaret Tarihi: 04 Temmuz 2021).

URL-13: https://defensetechconnect.com /2019/03/22/south-koreas-navy-to-use-lithium-ion-battery-in-new-submarines/(Ziyaret Tarihi: 04 Temmuz 2021).

URL-14: https://www.marineinsight.com/ naval- architecture/submarine-design-unique-tanks-submarine/(/(Ziyaret Tarihi: 27 Nisan 2022).

URL-15: https://slidetodoc.com/ hochschule-fr- angewandte -wissenschaften-hamburg-university-of-applied/(/(Ziyaret Tarihi: 17 Temmuz 2021).

URL-16: https://www.wired.co.uk/article/ nuclear - submarine-astute (Ziyaret Tarihi: 30 Temmuz 2021).

URL-17: https://thinktech.stm.com.tr /tr/ yeni-nesil-denizaltilarda- enerji-kaynaklari-ve-batarya-sistemleri (Ziyaret Tarihi: 04 Temmuz 2021).

URL-18: https://www.navalnews.com/ naval- news /2021/07/us-navys-virginia-class-submarines-get-more-tomahawk-missiles/(Ziyaret Tarihi: 30 Temmuz 2021).

URL-19: https://www.forbes.com/sites/hisutton /2020/08/23/ last-typhoon- can- the-worlds- largest_submarine-still-destroy-the-world/?sh=7d2d35706ec2 (Ziyaret Tarihi: 31 Temmuz 2021).

URL-20: https://www.slideshare.net / Mohammed Dayraki / submarines - atmosphere-control-and-air-treatment-65803423 (Ziyaret Tarihi: 18 Eylül 2021).

Zarnich, R. E. (1999). A fresh look at broadband passive sonar processing. *Proc. Seventh Annual ASAP*, *99*, 99-103.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Adıgüzel, T., & Özdemir, E., (2021). Denizaltılarda Enerji Depolama Teknolojileri, *7.İmascon Uluslararası Marmara Fen Sosyal Bilimler Kongresi,* Online, Kocaeli, Türkiye 10-11 Aralık 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Ağrı'da tamamladı. 2007 yılında girdiği Dicle Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2011-2013 yılları arasında Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.de Aydınlatma Şefi olarak çalıştı. 2013 yılından itibaren Milli Savunma Bakanlığında Mühendis olarak görev yapmaktadır.