

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LİTYUM İYON BATARYALARIN FORKLİFT UYGULAMALARINDA
KULLANIMININ OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BAĞMANCI

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ŞUBAT 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LİTYUM İYON BATARYALARIN FORKLİFT UYGULAMALARINDA
KULLANIMININ OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatih BAĞMANCI
(301171014)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Neslihan YUCA DOĞDU

ŞUBAT 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**OPTIMIZATION OF THE USE OF LITHIUM-ION BATTERIES IN
ELECTRIC FORKLIFT APPLICATIONS**

M.Sc. THESIS

**Fatih BAĞMANCI
(301171014)**

Energy Science and Technology Division

Energy Science and Technology Programme

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Neslihan YUCA DOĞDU

FEBRUARY 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 301171014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih BAĞMANCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “LİTYUM İYON BATARYALARIN FORKLİFT UYGULAMALARINDA KULLANIMININ OPTİMİZASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Neslihan YUCA DOĞDU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Yasin KARAGÖZ**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr.Ü. Mustafa Berker YURTSEVEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Ocak 2025
Savunma Tarihi : 12 Şubat 2025





Eşime ve çocuklarıma,



ÖNSÖZ

Öğrenim hayatımda çok önemli bir yeri olan yüksek lisans tezimi tamamlamış olmamın gurur ve mutluluğu içerisindeyim. Bu süreci benimle birlikte paylaşan, aileme, öğretmenlerime ve kuruluşlara teşekkür etmek isterim.

Tez sürecimde bana akademik bilgi sağlayıp, tez sürecimdeki tüm sıkıntılarda bana destek olan ve yol gösteren değerli tez danışmanım Neslihan YUCA DOĞDU 'ya,

Tezi hazırlamam için gerekli olan gerçek verileri kullanmama izin veren şirketim Kastamonu Entegre 'ye,

Tez sürecimde gerekli olan teknik bilgi ve belgeleri bulmamda yardımcı olan Burak GÖKDEN 'e,

Her zor anımda yanımda olan ve bana güvenlerini hiç kaybetmeyip, sürekli destek olan annem, babam ve kardeşime,

Teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Hepiniz iyi ki varsınız...

Ocak 2025

Fatih BAĞMANCI
(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
2. FORKLİFTLER.....	5
2.1 Forkliftlerin Tarihçesi	6
2.2 Güç Kaynaklarına Göre Forkliftler	11
2.2.1 Benzinli forkliftler.....	11
2.2.2 Dizel forkliftler.....	12
2.2.3 LPG’li forkliftler	13
2.2.4 CNG’li forkliftler	13
2.2.5 Akülü forkliftler	14
2.2.6 Hidrojenli forkliftler.....	15
3. BATARYA	17
3.1 Batarya Sistemleri	17
3.1.1 Birincil batarya hücreleri.....	18
3.1.2 İkincil batarya hücreleri	19
3.2 Hücre Yapısı Türleri.....	19
3.2.1 Silindirik tip.....	20
3.2.2 Prizmatik tip	20
3.2.3 Torba (Pouch) tipi	21
3.3 Batarya Çeşitleri	21
3.3.1 Kurşun-asit batarya	21
3.3.2 Nikel kadmiyum (NiCd) batarya.....	24
3.3.3 Nikel metal hidrit (NiMH) batarya.....	26
3.3.4 Lityum iyon batarya	28
3.3.5 Lityum iyon polimer batarya.....	30
3.3.6 Lityum demir fosfat (LFP) batarya	32
4. LİTYUM İYON BATARYA HESAPLAMALARI	33
4.1 Elektrikli Forkliftlerin Güç Tüketim Hesaplamaları.....	33
4.2 Lityum İyon Batarya Seçimi Hesaplamaları	37
4.3 Lityum İyon Tasarımı Batarya Hücresi Seçimi.....	47
5. KURŞUN ASİT VE LİTYUM İYON BATARYA MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI.....	51
6. MODELLEME VE TERMAL ANALİZ	53

6.1 Performans Verilerinin Elde Edilmesi.....	53
6.2 Termal Modelin Oluşturulması	54
7. SONUÇ	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİş	65



KISALTMALAR

€	: Euro
BDS	: Battery Design Studio
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi
CCCV	: Sabit Akım Sabit Voltaj
CNG	: Sıkıştırılmış Doğalgaz
EF	: Elektrikli Forklift
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
LFP	: Lityum Demir Fosfat
LPG	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NPV	: Net Bugünkü Değer
SAS	: Aktif Denge Sistemi
SOA	: Güvenli Çalışma Alanı
SOC	: Şarj Durumu
SOH	: Sağlık Durumu
TCO	: Toplam Sahip Olma Maliyeti
USD	: Amerikan Doları



SEMBOLLER

kWh	: Kilowatt Saat
DC	: Doğru Akım
V	: Volt
CO²	: Karbondioksit
Kg	: Kilogram
PbO₂	: Kurşun oksit
H	: Hidrojen
H₂SO₄	: Sülfürik asit
e	: Elektron
PbSO₄	: Kurşun sülfat
H₂O	: Su
Pb	: Kurşun
Ni	: Nikel
Cd	: Kadmiyum
NiCd	: Nikel kadmiyum
NiO(OH)	: Nikel oksihidroksit
Ni(OH)₂	: Nikel hidroksit
OH	: Hidroksit
Cd(OH)₂	: Kadmiyum hidroksit
KOH	: Potasyum hidroksit
MH	: Metal hidrit
NiMH	: Nikel metal hidrit
Wh	: Watt-saat
g	: Gram
Li	: Lityum
Co	: Kobalt
LiCoO₂	: Lityum kobalt oksit
Li₂CoO₂	: Lityum kobalt oksit
LiC₆	: Lityum Grafit
C₆	: Grafit

<i>LiPo</i>	: Lityum polimer
<i>LiMO₂</i>	: Lityum metal oksit
<i>LFP</i>	: Lityum demir fosfat
<i>LiFePO₄</i>	: Lityum demir fosfat
<i>FePO₄</i>	: Demir fosfat
<i>A</i>	: Amper
<i>Ah</i>	: Amper-saat
<i>Cm</i>	: Santimetre
<i>°C</i>	: Santigrat
<i>kHz</i>	: Kiloherzt
<i>mΩ</i>	: Milihm
<i>mm</i>	: Milimetre

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Elektrikli forkliftlerin çekilen amperlerin ortalama yüzdeleri ve enerji tüketim tablosu.....	37
Çizelge 4.2 : Pomega hücre özellikleri.	39
Çizelge 4.3 : Hücrelerin kıyaslama çizelgesi.....	47
Çizelge 5.1 : Batarya maliyet kıyaslama çizelgesi	52





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Linde E80 / 900 elektrikli forklift.	5
Şekil 2.2 : Elektrikle çalışan ilk motorlu endüstriyel aracı	7
Şekil 2.3 : Forklift tarihinin kilometre taşları	11
Şekil 2.4 : Dizel forklift genel görünüşü	12
Şekil 2.5 : LPG’li forklift genel görünüşü	14
Şekil 2.6 : Akülü forklift genel görünüşü	15
Şekil 3.1 : Elektroliz şekli	18
Şekil 3.2 : Birincil batarya hücresi	19
Şekil 3.3 : Hücre yapısı türleri	20
Şekil 3.4 : Tepkime gösterimi	24
Şekil 3.5 : Ni-Cd batarya hücresi	26
Şekil 3.6 : Ni-Mh batarya hücresi	28
Şekil 3.7 : Lityum iyon bataryaların sabit akım sabit voltaj şarj grafiği	30
Şekil 4.1 : EF8-7 akım grafiği.	34
Şekil 4.2 : EF8-7 enerji tüketim grafiği.	34
Şekil 4.3 : EF8-6 akım grafiği.	35
Şekil 4.4 : EF8-6 enerji tüketim grafiği.	35
Şekil 4.5 : EF8-10 akım grafiği.	36
Şekil 4.6 : EF8-10 enerji tüketim grafiği.	36
Şekil 4.7 : Batarya bloğu.	38
Şekil 4.8 : Batarya blok etiketi.	38
Şekil 4.9 : PLFP-100’e göre oluşan akü bloğu	42
Şekil 4.10 : PLFP-150’ye göre oluşan akü bloğu	44
Şekil 4.11 : PLFP-302’ye göre oluşan akü bloğu	46
Şekil 4.12 : Alana en uygun akü blok tasarımı	49
Şekil 6.1 : Siemens Battery Design Studio programı veri giriş ekranı.	53
Şekil 6.2 : Siemens Battery Design Studio programında oluşturulan test prosedürü.	54
Şekil 6.3 : a) 150 Ah Hücre Kapasite-Voltaj Grafiği, b) 150 Ah Hücre farklı C hızlarında Voltaj-State of Charge grafiği.	54
Şekil 6.4 : Siemens SimCenter Star CCM programı veri giriş ekranı.	55
Şekil 6.5 : Simcenter StarCCM+ batarya fiziki koşulları.	55
Şekil 6.6 : Simcenter StarCCM+ hücre ve modül oluşturma ekranı	56
Şekil 6.7 : Simcenter StarCCM+ mesh oluşturma ekranı	56
Şekil 6.8 : Simcenter StarCCM+ ile oluşturan 150 Ah hücre mesh görüntüleri	56
Şekil 6.9 : Hücre hacimsel ısı dağılımı gösterimi	57
Şekil 6.10 : Hücre sıcaklık dağılımı	57
Şekil 6.11 : Hücre akım yoğunluğu dağılımı	58
Şekil 6.12 : Forkliftte kullanımı uygun görülen batarya bloğu	58



LİTYUM İYON BATARYALARIN FORKLİFT UYGULAMALARINDA KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

ÖZET

Gittikçe artan nüfus, sınırlı kaynakların hızlıca azalması ve kaynak paylaşımında oluşan dengesizliklerin, günden güne büyüdüğü dünyamızda, hepimizin yaşayabilmesi için gerekli olan çevremizi hem bugün hem de yarınlar için daha temiz, yaşanılabilir bırakmak için yapılan araştırmalar ve çalışmalar artmaktadır. Güneş, rüzgâr, hidro, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları, son zamanlarda birçok ortamda adlarını daha sık duymaya başladığımız, kurumsal şirketlerin “sürdürülebilirlik” prensibine en uygun enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynakları, tükenme riski olmayan ve doğadan sürekli olarak temin edilecek enerji kaynaklarımız olup, fosil yakıtlar gibi sınırlı enerji kaynakları değildir. Çevreye en az zarar veren enerji yöntemlerini sunmaktadırlar.

Küresel ısınmanın her geçen zamanda daha fazla arttığı ve yaşamlarımızı tehdit ettiği günümüzde, devletlerin verdiği teşviklerle, çok hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar hız kesmeden artmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimleri, diğer enerji kaynaklarından üretilen enerjiye kıyasla günden güne artmakta, hatta bazı ülkelerde en büyük üretim yüzdelik payını almaktadırlar.

En büyük enerji kaynağımız olan güneş, enerji talebinin artmasından ötürü en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olup, verilen teşvikler, bireysel kullanıcılarının konuya olan ilgi ve talebinin artmasından ötürü maliyetleri düşmüştür. Kullanılan malzemelerin uzun ömürlü olması ve amortisman süresinin oldukça azalmasından dolayı evlerimizde de kolaylıkla kullanılmaya başlamıştır. Buna ek olarak, tarihin en eski enerji kaynaklarından birisi olan rüzgar enerjisinin yine aynı şekilde maliyetlerin düşmesi ve amortisman sürelerinin azalmasından ötürü bir çok ülkede kullanımı hızla artmakta, çevresel kaygılardan dolayı dünya genelinde yaygınlaşmaktadır.

Yaşanan tüm bu gelişmelere kayıtsız kalmayan otomotiv ve iş makineleri üreticileri, getirilen yasal çerçevelere uygun olarak kademeli olarak karbon salınımının azaltılması ve en sonunda tamamen sıfırlanmasını hedefleyen çalışmalarına büyük bir ivme vermişlerdir. Otomotiv ve iş makineleri sektöründeki öncü firmalar, egzoz gazının içinde bulunduğu karbon monoksit gazının insanlara ve çevreye olan zararından ötürü doğa dostu teknolojileri geliştirmeye başlamışlardır. Bunun ilk adımı olarak, dizel motorlu araçların emisyon değerlerini düşüren Adblue sistemi tasarlanmış, bu sayede seçici katalitik indirgeme sistemine sahip olan araçlardaki egzoz gazında bulunan azot oksitini azaltılmasını hedeflemişlerdir. Motor odasındaki yanma işlemi sonunda oluşan egzoz gazının üzerine adblue sıvısı püskürtülerek, kimyasal tepkime sonucunda doğaya su ve azot salınır.

Emisyon standartları yönetmelikleri ile alınan kararlar çerçevesinde, Avrupa Birliği ülkeleri için adblue kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Yönetmeliklerden ötürü özellikle son yıllarda çıkan tüm dizel araçlarda adblue kullanımı zorunlu hale

getirilmiştir Adblue sıvısı içerisinde %32,5 temizlenmiş üre ve %67,5 saf su bulunmaktadır.

Emisyonu tamamen sıfırlamak isteyen üreticiler ve kullanıcılar, diğer gelişmeleri de yakından takip etmektedirler. Emisyonu sıfıra düşüren elektrikli araçlara oluşan ilgi her geçen gün artmaktadır. Elektrikli araçların, batarya gücü, bataryanın şarj süresinin uzunluğu ve pil ömründen ötürü yaşanan sorunların aşılması, gerekli olan malzemelerin fiyatlarındaki ciddi azalma ve kullanım sonrasında elde edilen yüksek karlılıktan ötürü hem bireysel kullanıcılar hem de kurumsal şirketlerin elektrikli araçlar ve iş makinelerine yönelmektedir.

Elektrik fiyatlarının, diğer petrol türü yakıtlara göre ucuz kalması, özellikle elektrikli forklift ve iş makinelerini kullanarak çalışan firmalar için en önemli geçiş sebeplerinden birisini oluşturmaktadır. Buna ek olarak, elektrikli forklift ve iş makinelerinin bakım maliyetlerinin, elektrikli olmayan araçlara göre güç kaynaklarına göre düşük kalması, kredi teşvikleri, ülkelerin bu konudaki hassasiyetlerinden ötürü bu süreç son yıllarda hızlanmıştır. Özellikle şarj süresinden dolayı sıkıntı yaşayabilecek firmalara özel hızlı şarj üniteleri ve yeni teknolojik batarya tipleri üretilmiş ve daha hızlı olacak şekilde çözümler üretilmeye devam etmektedirler. Fuchs ekskavatör firmasının son çıkarttığı bataryalı ekskavatörü, hem bataryalı olarak hem de elektrik prizine takılarak kullanılabildiği için çok dikkat çekmektedir. Bataryası bitse dahi elektrik fişine takılabildiği için çalışmasına devam etmekte, hem de çalışmasını devame derken bataryaları şarj olup, batarya şarj olma süresini beklemeye gerek kalmamaktadır.

İş makineleri ve forklift sektörünün en büyük fuarlarından birisi olan Bauma 2022’de, büyük tonajdaki iş makinelerinde lityum iyon aküleri tanıtılmış, şarj süresinin kısalması, akü ömrünün artması ve akü bloğunun şarj süresinin uzunluğundan dolayı bir diğer akü ile değişiminin ortadan kalkması dikkat çekici bulunmuştur. Elektrikli ve akülü iş makinelerine ek olarak hidrojenli iş makineleri de yer almaya başlamışlardır. Dolum süresinin çok hızlı ve hidrojen maliyetinin düşük olmasından ötürü şüphesiz ki gelecek 10 yılın en önemli tartışma konularından birisi, elektrikli/akülü araçlar mı yoksa hidrojenli araçlar mı tartışması olacaktır.

Tezin konusu olan elektrikli forkliftlerin piyasaya ilk çıktıkları dönemde, lityum iyon akülerin çok pahalı olması ve güvenlik tehlikelerinden dolayı traksiyonel akülerle piyasaya çıkmışlardır. Traksiyonel akülerin güvenlik riskleri, lityum iyon akülere kıyasla düşük olmasına karşın ekonomik ömürleri karşılaştırıldığında yetersiz kalmaktadırlar. Buna ek olarak, özellikle şarj süresinin uzunluğu, traksiyonel akülerin kullanımı için büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. 24 saat çalışan bir fabrikada, bir adet elektrikli forklift için iki adet yedek traksiyonel akü tutulmakta ve bu süre zarfında yedek aküler şarj edilerek, operasyon süreçleri devam ettirilmektedir. Akülerin değiştirilmesi hem zaman kaybı yaşatmakta hem de akü değişimi için şarj odasına gidip gelmek, aküyü çıkartıp, yeni akü koymak iş gücü kaybına sebep olmaktadır.

Lityum Demir Fosfast (LFP) hücrelerinin kullanımı ile beraber, lityum iyon akülerin maliyeti gün geçtikçe düşmekte ve güvenlik risklerinin azalmaktadır. LFP hücrelerinin kristal yapısındaki polimer bağı daha stabil ve parçalanmasının zor olması, aşırı şarj ve yüksek sıcaklıklarda dahi yapısal özelliklerini korudukları için güvenlik riskleri azalmıştır.

Çin menşeli elektrikli forkliftler ve iş makineleri, lityum iyon akülerle ülkemize gelmeye başlamışlardır. Ara şarjlarla uzun bir kullanım süresi sunmaları, ekonomik ömürlerinin traksiyonel akülerden çok fazla olması, akü değiştirmek için zaman

kaybedilmemesi ve iş gücüne olan olumlu katkılarından ötürü yoğun olarak talep edilmektedirler.

Bu durumdan yola çıkarak yapılan bu tezde, yaklaşık 9 yıldır traksiyonel akü kullanmış olan bir firmanın elektrikli forkliftlerinin, yeni alınacak akü satın almalarında, lityum iyon aküye geçişinin sonuçları ve maliyetleri teorik olarak incelenmiştir. Farklı alanlarda çalışıldığından ötürü her elektrikli forkliftin yıpranması ve güç tüketimi daha farklı olmaktadır. Dolayısıyla, genel olarak bir yük profili çıkartılabilmesi için değişik alanlarda çalışan 3 adet elektrikli forklift, normal vardiyalarındaki çalışma şekilleri aynı kalacak şekilde, yükleme, boşatma ve taşıma işlemleri yapmış, veriler gerçek zamanlı olarak alınmıştır. Bu veriler kullanılarak, yük profili çıkarılmış, bir vardiya boyunca harcadığı güç ile yapılan işlemlere göre akım çekiş oranlarını bulmak amaçlanmıştır. Bu verilerden yola çıkarak, olabilecek en uygun ve en ucuz maliyetli lityum iyon aküsü tasarlanması amaçlanmıştır.

Traksiyonel akü blok bilgileri ve çıkartılan yük profilinden yola çıkarak, Pomega firmasına ait üç farklı akü çeşidi tek tek incelenmiş ve hesaplanmıştır. Hem elektrikli forklifte yer alan akü blok alanına hem de elektrikli forkliftin kapasitesine en uygun akü çeşidi bulunmaya çalışılıp, gerekli olan voltaj değerinin sağlanması için hücreler seri bağlanmış, gerekli olan nominal kapasiteye ulaşılabilmesi için de hücreler paralel bağlanarak, akü hesaplamaları yapılmıştır.

Hesaplamalardan yapılırken, aküler tek katlı olarak akü blok alanına yerleşecek şekilde düşünülmüş, akü kapasitesi daha büyük talep edilirse, tekrar hesaplamalar yapılarak daha büyük kapasiteye sahip akü bloğu sağlanacaktır ancak bu durumda akü fiyatı ve akü şarj giriş nokta sayısının da artması gerekecektir.

Alana en uygun olacak lityum iyon akü bloğu seçildikten sonra traksiyonel akü ve lityum iyon akünün maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma yapılırken işletme giderleri ve bataryaların ömür bilgileri de girilmiş, piyasada yer alan güncel akü fiyatları temel alınarak hesaplanmıştır. İleriki yıllarda gelebilecek zamlardan ötürü hesaplanan kar yüzdesi artıp, azalabilir.

Yapılan hesaplamalardan sonra alana en uygun olan akü bloğunun, Siemens Battery Design Studio’da modelleme ve termal analizi yapılmıştır. En son bölümde yer alan sonuç kısmında, yapılan teze ek olarak lityum iyon akülerin güvenlik riskleri, alınan önlemler ve gelecek dönemlerde olabilecek araştırmalara konu olabilecek bazı bilgilere değinilmiştir. Traksiyonel aküler gibi lityum iyon akülerde dönüşüm yapılarak tekrar kullanılıp, çevreye zarar vermeyecek bir uygulama olacağı yönündeki görüşümüz ve umudumuz devam etmektedir.



OPTIMIZATION OF THE USE OF LITHIUM-ION BATTERIES IN ELECTRIC FORKLIFT APPLICATIONS

SUMMARY

In our rapidly evolving world, where the ever-growing population, the rapid depletion of limited resources, and the increasing imbalances in resource distribution continue to pose significant challenges, research and efforts aimed at ensuring a cleaner, more livable environment both for today and for future generations are becoming increasingly important. Renewable energy sources such as solar, wind, hydro, and geothermal have recently gained more recognition across various platforms and are regarded as the most suitable energy solutions for corporate entities committed to sustainability principles. These energy sources, unlike fossil fuels, are not finite but can be continuously replenished by nature, eliminating the risk of depletion. Moreover, they offer environmentally friendly energy solutions that cause minimal harm to the planet.

In today's world, where global warming is steadily increasing and posing a greater threat to our lives with each passing day, investments in rapidly growing renewable energy sources continue to rise at an accelerating pace, supported by government incentives. The production of energy from renewable sources is gradually surpassing that of traditional energy sources, and in some countries, it has even taken the largest share in energy generation.

As the most abundant energy source available to us, the sun has become one of the fastest-growing renewable energy sources due to the rising global energy demand. Government incentives, along with the increasing interest and demand from individual users, have significantly reduced the costs associated with solar energy. The durability of the materials used and the considerable reduction in payback periods have made solar energy more accessible and practical for residential use.

Additionally, wind energy one of the oldest energy sources in history has been experiencing rapid growth worldwide for similar reasons. With decreasing costs and shorter amortization periods, many countries have been increasingly adopting wind power, further driven by growing environmental concerns. As a result, wind energy has gained significant traction across the globe as a key component of the transition toward sustainable and eco-friendly energy solutions.

Automotive and heavy machinery manufacturers have not remained indifferent to these developments and have intensified their efforts to gradually reduce and ultimately eliminate carbon emissions in accordance with regulatory frameworks. Leading companies in these sectors have started developing environmentally friendly technologies to address the harmful effects of carbon monoxide emissions from exhaust gases on both humans and the environment. One of the first steps in this process was the development of the AdBlue system, designed to reduce the nitrogen oxide content in exhaust gases of vehicles equipped with selective catalytic reduction systems. In this system, AdBlue liquid is sprayed onto the exhaust gases resulting from

combustion in the engine chamber, triggering a chemical reaction that releases water and nitrogen into the atmosphere.

According to emissions regulations, the use of AdBlue has been made mandatory in European Union countries. Due to these regulations, AdBlue usage has become compulsory in all newly manufactured diesel vehicles in recent years. The AdBlue solution consists of 32.5% purified urea and 67.5% deionized water.

Turkey has also adapted to these changes by manufacturing heavy machinery and vehicles that comply with emission standards and incorporating AdBlue systems into all newly produced diesel vehicles. In recent years, vehicles lacking AdBlue systems have been denied entry at customs, and older engine models that do not support the system have faced significant regulatory challenges during importation.

Manufacturers and users aiming for zero emissions are closely following further developments. Interest in electric vehicles, which completely eliminate emissions, is growing rapidly. The challenges associated with battery power, long charging times, and battery life are gradually being overcome, and the significant decrease in material costs, combined with high profitability after use, has drawn increasing attention from both individual users and corporate entities toward electric vehicles and heavy machinery.

The fact that electricity prices remain lower compared to other petroleum-based fuels is one of the key reasons for the transition, especially for companies that operate using electric forklifts and construction machinery. Additionally, the lower maintenance costs of electric forklifts and construction machinery compared to non-electric vehicles, along with credit incentives and the increasing sensitivity of countries toward this issue, have accelerated this transition in recent years.

To address concerns about charging times, special fast-charging units and new technological battery types have been developed, and efforts continue to provide even faster solutions. The latest battery-powered excavator from Fuchs has gained significant attention because it can be used both on battery power and by plugging into an electric outlet. Even if its battery runs out, it can continue operating by being plugged in, allowing the machine to function while simultaneously charging its batteries, eliminating the need to wait for the charging process to complete.

At Bauma 2022, one of the largest trade fairs for construction machinery and forklifts, lithium-ion batteries for heavy machinery were introduced. The improvements in shorter charging times, longer battery life, and the elimination of the need to swap batteries due to their extended charge duration were particularly noteworthy. In addition to electric and battery-powered machinery, hydrogen-powered equipment has also begun to emerge. Given the rapid refueling time and low cost of hydrogen, a key debate in the next decade is likely to center around whether electric/battery-powered vehicles or hydrogen-powered vehicles will dominate the market.

Electric forklifts, the subject of this thesis, initially entered the market with traction batteries due to the high cost and safety concerns of lithium-ion batteries at the time. Although traction batteries have lower safety risks compared to lithium-ion batteries, they are insufficient in terms of economic lifespan. Moreover, their long charging times present a significant disadvantage. In a factory operating 24/7, two spare traction batteries are kept for a single electric forklift to ensure continuous operation. While the spare batteries are charged, operations continue. However, replacing batteries leads

to time loss, and moving back and forth to the charging room to swap batteries results in additional labor loss.

With the adoption of Lithium Iron Phosphate (LFP) cells, the cost of lithium-ion batteries has been steadily decreasing while safety risks have been mitigated. The polymer bond in the crystalline structure of LFP cells is more stable and difficult to break down, allowing them to maintain their structural integrity even under overcharging or high-temperature conditions, thereby reducing safety concerns.

Chinese-made electric forklifts and machinery equipped with lithium-ion batteries have started entering the domestic market. Due to their long usage time with intermediate charging, significantly longer economic lifespan compared to traction batteries, elimination of time loss from battery swaps, and positive contributions to labor efficiency, they are in high demand.

Based on this situation, this thesis examines the theoretical results and costs of transitioning to lithium-ion batteries for the electric forklifts of a company that has been using traction batteries for approximately nine years. Since the wear and power consumption of each electric forklift vary due to different working conditions, data was collected in real time from three electric forklifts operating in various environments. These forklifts performed loading, unloading, and transport tasks under their regular shift conditions. Using this data, a load profile was created, and the current draw rates were determined based on the tasks performed during a shift. The aim was to design the most suitable and cost-effective lithium-ion battery possible based on these findings.

Using the traction battery block information and the generated load profile, three different battery types from Pomega were examined and calculated. The goal was to identify the most suitable battery type for the forklift's battery compartment and capacity. To achieve the required voltage value, cells were connected in series, and to reach the required nominal capacity, cells were connected in parallel, and battery calculations were performed.

During the calculations, it was assumed that the batteries would be installed in a single layer within the battery compartment. If a larger capacity is required, recalculations will be made to provide a higher-capacity battery block. However, in this case, the battery price and the number of battery charge input points would also increase.

After selecting the most suitable lithium-ion battery block for the area, a cost comparison between traction batteries and lithium-ion batteries was conducted. Operating costs and battery lifespan were included in the comparison, and calculations were based on current battery prices in the market. Due to possible future price increases, the calculated profit margin may rise or fall.

Following these calculations, the most suitable battery block for the area was modeled and thermally analyzed using Siemens Battery Design Studio. In the conclusion section, additional information was provided about the safety risks of lithium-ion batteries, the precautions taken, and potential areas for future research. We remain optimistic that, like traction batteries, lithium-ion batteries can be recycled and repurposed to ensure environmentally friendly applications.



1. GİRİŞ

Forkliftler, fabrikalar, havaalanları, depolar gibi işletmelerin lojistik sisteminde önemli bir rol oynar. Ağır yükleri, paletler kullanarak gerekli alanlara taşır ve ayrıca IOS/TC110'da resmi olarak endüstriyel araç olarak tanımlanır. Forkliftler, endüstriyel ortamın bir parçasıdır ve herhangi bir üretim tesisi veya deponun genel verimliliğini doğrudan etkileyen kritik kaynaklardır. Bu nedenle, elektrikli forkliftler yaygın olarak kullanılmakta olup, bunların geliştirilmesi kesinlikle önemli bir araştırma konusudur. Yükün indirilmesi sırasındaki enerji tasarruf verimliliğinin %56 kadar ulaşabileceği tartışılmıştır [1, 2].

Son yıllarda, elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerjiyi teşvik etmeye yönelik politikalar dünya çapında benimsenmektedir [3]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artması, petrol ürünlerindeki dalgalanmalar ve Endüstri 4.0 gereksinimleri için düşük emisyon zorunluluğundan ötürü elektrikli forkliftler son birkaç yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır [4, 5]. Literatürde, elektrikli forkliftlerin hidrolik forkliftlere kıyasla % 46,72 daha fazla enerji tüketimi ve % 82,3 transfer verimliliği sağlamaktadır [6]. Elektrik motorları sayesinde çok yüksek tork, düşük hız ve sıfır gürültü kirliliği sağlarlar [5]. Elektrikli binek araçlarla karşılaştırıldığında, forkliftlerin elektrifikasyonu daha fazla avantaj sağlar. Menzil kaygısı elektrikli forkliftlerde yoktur çünkü çalışma koşulları neredeyse sabittir ve çalışma ortamlarında akülerini şarj etmeleri veya değiştirmeleri uygundur. Öte yandan, akülerin enerji yoğunluğu düşük olmasına rağmen, akü arkası kaldırma için bir karşı ağırlık görevi görebildiğinden aracın toplam ağırlığını arttırmazlar [7].

Intelligence Research Group tarafından yayımlanan analiz raporuna göre, 2020 yılında 4,1 milyon elektrikli forkliftin satıldığı ve yıllık artış oranının % 37,4 olduğunu gösterilmektedir. Aynı zamanda, satılan elektrikli forkliftlerin yaklaşık % 40,7'si, düşük maliyet ve yeterli uygulama deneyimi nedeniyle, güç kaynağı olarak kurşun asit aküler kullanmaktadır [8, 9, 10]. Bu teknoloji, akünün kullanım ömrü için kritik öneme sahip olan derin deşarj gibi bazı dezavantajlar sunar [11]. Dahası, kurşun-asit aküler lityum iyon akülerden daha ağırdır ancak forklift uygulamalarında karşı ağırlık

olarak kullanılırlar ve operasyonel kaldırma işlemleri sırasında ağırlık merkezini korumaya yardımcı olurlar. Kurşun-asit akülerin ömürleri kısa olup, çevre dostu aküler olarak bilinmemektedirler. Kurşun asit aküler hala popüler olsa da endüstriyel taşımacılık sektöründe ve otomobillerde lityum iyon akülere hızlı bir geçiş olmaktadır [12]. Lityum iyon akülerin fiyatı düşmektedir ve bu teknoloji enerji yoğunluğu, güç deşarjı, çevrim ömrü, verimlilik ve şarj işlemleri açısından hala kurşun asit akülerden daha iyi performans sunmaktadırlar [13, 14].

Jungheinrich veya EP Equipment gibi üreticiler, hızlı şarj süresine sahip lityum iyon akülerle donatılmış forkliftler sunmaktadırlar (kurşun asit akülerdeki şarj süresi 10 saat yerine 2, 5 saate düşer). İyi özellikleri nedeniyle, lityum iyon akülerde daha az bakım gerekir ve bu nedenle çok daha uzun ömürlüdürler. Fiyat kurşun-asit bataryalardan hala daha yüksek olsa da, lityum iyon bataryalar daha önce belirtilen özellikler sayesinde daha iyi bir toplam sahip olma maliyeti (TCO) sunar [15]. Dengeleme sorunu, batarya ağırlık özelliklerini karşılamak için bataryaların içine balastlar eklenerek kolayca çözülebilir [16].

Forkliftler, standart işlemler sırasında tekrar tekrar çalışır ve dururlar. Bu nedenle genellikle ısıya dönüştürülen büyük miktarda frenleme gücü üretirler [4]. Ek olarak, yük indirildiklerinde enerji üretebilirler. Bundan ötürü frenleme aşamaları ve indirme aşamaları sırasında geri kazanılan enerjiyi kullanarak aküyü yeniden şarj etmek ilk hedefler arasında olmalı ancak aküler bu tür uygulamalar için uygun değildir. Güç zirveleri genellikle aküyü ısıtır ve bu nedenle akü ömrünü azaltır.

Lityum iyon bataryalar, 2018'de 176 USD/kWh ortalama maliyet gösterirken [18], kurşun asitli bataryalar için bu maliyet 150 USD/kWh'dir [19]. Bununla birlikte, lityum iyon bataryaların maliyeti hala azalmakta, daha az bakım gerektirmekte ve çok daha uzun ömürlü olmaktadır [18]. Bu nedenle, bir lityum iyon forkliftin toplam sahip olma maliyetinin, klasik bir elektrikli forkliftten daha iyi olduğu varsayılabilir [19].

Hibrit enerji kaynakları başka bir seçenek olarak önerilebilir [20]. Özellikle, lityum iyon batarya grubu, süper kapasitör ve uygun çift yönlü DC-DC dönüştürücülerle birlikte ana barayı besleyebilir [21]. Süper kapasitörler, lityum iyon batarya takımının ömrünü uzatmak, istenmeyen hataları ve anormal durumları önlemek için batarya grubu yüksek akım zirvesinde destekleyebilir. [22].

Forkliftlerde, binek araçtaki gibi bir enerji kazanımı olmadığı için hibrit sistemlerin kullanmak daha mantıklı olacaktır. Lityum iyon ve süper kapasitör kullanılarak hazırlanan hibrit sistemde, yaklaşık 5 saat çalışılan bir fabrikada batarya hücrelerinin ömürlerinin uzadığı, % 21,03- % 30,48 oranında bir kazanç sağlandığı görülmüştür [23]. Süper kapasitör, son derece büyük bir kapasidansa sahip bir tür kapasitördür. Genellikle, voltaj 5 V'un altındadır ve kapasite birkaç yüz Faraddır. Şarj ve deşarj akımı tepkisi, hızlı şarj-hızlı deşarj, hızlı şarj-yavaş deşarj, yavaş şarj-hızlı deşarj gibi uygulamaya bağlı olarak farklı modlarda tasarlanabilir. Elektrikli araçların tasarımında, süper kapasitörler yardımcı güç rolünü oynar. Bu, yüksek akım sağlayabileceği veya yüksek akımı hızla geri kazanabileceği anlamına gelir [24, 25]. Lityum iyon aküler oldukça fazla sayıda seri ve paralel hücreden oluşur. Lityum iyon aküden en yüksek verimi alabilmek ve güvenli bir şekilde kullanabilmek için batarya yönetim sisteminin (BMS) önemli bir rolü vardır. Hücre voltajlarını, şarj ve deşarj akımlarını ve sıcaklıklarını kontrol ederek her bir hücrenin ömrünü uzatır. Batarya şarj (SOC) ve batarya sağlık durumunu (SOH) hesaplayarak, akünün güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Yüksek doğrulukla bir batarya yönetim sistemi, bataryanın yalnızca güvenli çalışma alanında (SOA) tutmakla kalmaz, aynı zamanda hesaplanan batarya parametreleri sayesinde hibrit sistemin daha iyi yönetilmesini de sağlar. Lityum iyon bataryaların kullanımının artmasıyla birlikte, BMS üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaktadır [26].

Toplam maliyet perspektifinden bakıldığında, lityum bataryaların fiyatı düşecek ve lityum bataryalarla donatılmış elektrikli forkliftlerin toplam maliyeti azalacaktır. Bildiğimiz kadarıyla da, bu batarya sistemleri gerçek bir forklift datası ile ülkemizde hiç karşılaştırılmamıştır. Bu nedenle bu tez, enerji verimliliği ve maliyet açısından performanslarını değerlendirmektedir.



2. FORKLİFTLER

Forkliftler, standart paletler üzerine konulan yükleri, çatalları vasıtasıyla kaldıran, taşıyan, herhangi bir araca veya rafa yükleme yapan iş makineleridir. İstif makinası veya çatallı istifleyici olarak da bilinmektedir. Forkliftin kelime anlamı kaldıraçtır. Kelime kökeni İngilizce olup, 2 ayrı hecenin birleşimiyle meydana gelmiştir. İlk hecesi olan “Fork” kelimesi İngilizce ’de çatal, ikinci hecesi olan “Lift” kelimesi ise kaldıraç anlamına gelmektedir. Dolayısıyla kelime anlamı itibariyle, Türkçe ’ye çevrildiğinde çatal kaldıraç, çatallı kaldıraç veya çatallı istifleyici şeklinde tanımlayabiliriz [27]. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi görünümüne sahiptirler.



Şekil 2.1 : Linde E80 / 900 elektrikli forklift.

2.1 Forkliftlerin Tarihçesi

Forkliftlerin ilk kez keşfedilip, kullanılmaya yani tarihçesinin oluşmaya başlamış olduğu zamanlar 18. ve 19. yüzyıllardaki sanayi devrimi ile karşımıza çıkmaktadır. 1800'li yıllarda yaşayan insanlar, teknolojinin varlığından bihaber şekilde yaşamış, yapmaları gereken ağır işlerini kendileri halletmeye çalışmışlardır. Sanayi devriminden sonra artan üretimle birlikte ortaya çıkan taşınması güç tonajlı yüklerin, bir noktadan başka bir noktaya daha kolay, daha hızlı, daha güvenli ve daha az güç harcayarak hareket ettirilebilme ihtiyacı ile birlikte keşif süreci başlamıştır.

Tasarımları bulunabilen ilk modeller, el araçları ve çuval taşıma araçları olmuştur. Bilinen bu ilk modelleri forklift öncüleri olarak kabul edebilir. Günümüzde hala tüp ve damacana su taşımaya devam etmektedirler. Bu araçlar görünüm itibarıyla bebek araçlarına benzemektedirler. Direklere sabitlenmiş bir el krankından oluşan çuval taşıma arabası, işçilerin tahıl çuvaları ve süt yayıkları gibi ağır eşyaları bir buçuk metre yüksekliğe kadar kaldırmasına olanak tanımıştır. Sürekli olarak değiştirilen bu çuval araçlarının özellikle kimya, gaz ve tarım gibi endüstriler için yararlı olduğu kanıtlanmıştır.

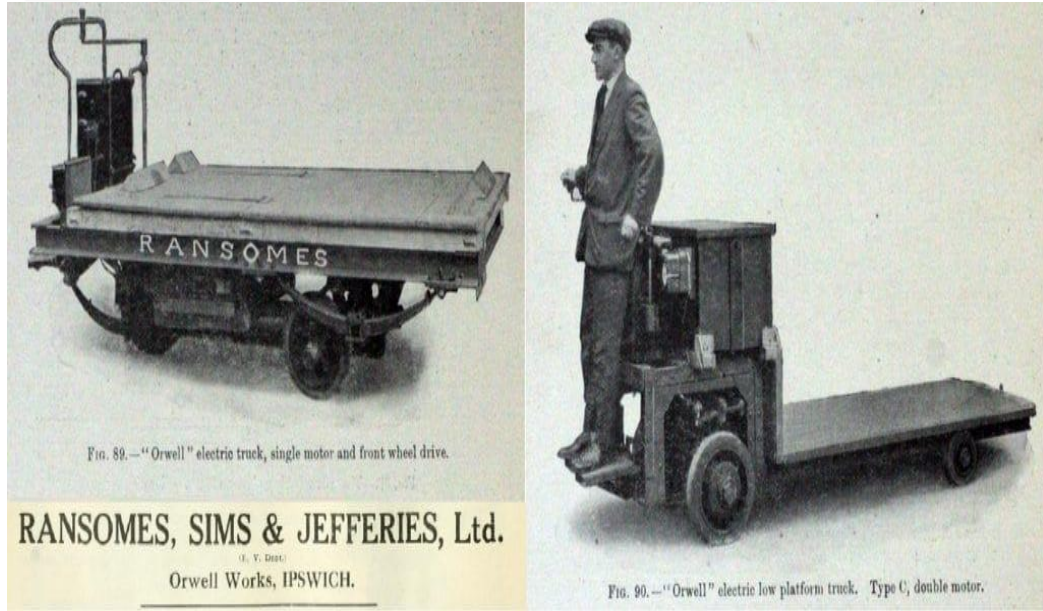
Rıhtımlar ve demiryollarında çalışan işçiler, vagonlara ve yük gemilerine hem mal taşımak hem de mal indirmek için bu araçları kullanmıştır. Bu sayede insan bedeniyle kaldırma işini azaltmışlardır. Hatta bazı araçlarda, yükleri birkaç metre yukarıya kaldırmaya yardımcı olan el krankları mevcut olmuştur. Tasarlanan bu yeni makineler, ağır yük taşıma sektörü üzerinde önemli bir kolaylık ve etki oluşturmuş ve buluşların ilerlemesi Sanayi Devrimi ile birlikte devam etmiştir. 19. yüzyılın ortalarında sanayi üretimi hızla bir şekilde artmıştır. Bu dönemde kullanılan forklift dışındaki malzeme taşıma ekipmanı türleri şunları içermişlerdir; zincirli ve vinçli vinçler, el gücüyle çalışan dört tekerlekli kamyonlar, ferforje akslı ve dökme demir tekerlekli römorklar ve damıtıcılar.

Van Sicklar, malzemeleri hem kaldırabilen hem de taşıyabilen 'Geliştirilmiş Asansör' olarak bilinen tasarım için 1867 yılında patent başvurusu yapmıştır. Cihaz basitti; dik bir çerçeve, bir vinç ve bir konsol platformundan oluşuyordu. Makine, platform ile birlikte kaldırma sistemini kullanarak yükleri kaldırmış, hareket ettirmiştir. Bu asansör, mağazalar ve depolar tarafından, dar bir alana yerleştirilmesi gereken dört veya beş parça kutunun indirilmesi ve üst üste istiflenmesi için özel olarak üretilmişti.

Bir kişi operasyonu gerçekleştirecek, diğerk kişi ise asansörün yardımıyla işi daha kısa sürede ve fazla çaba harcamadan yapabilmıştir. Buluş mağazalara ve depolara yönelik tasarlanmış ancak bu mekanizmaya bir arabaya takıldığında şantiyelerde de kullanılabilmış ve daha sonra çalışma sahalarına taşınabilmıştir. Bu buluşla işçiler artık malzemeleri önce fiziksel olarak kaldırmalarına gerek kalmadan yatay olarak hareket ettirebilmışlerdir.

Yirmi yıl sonra, 1867 yılında patenti alınan modelin gelişmiş hali olarak 1887’de "Taşınabilir asansör" olarak adlandırılan bir sonraki yeni modelin keşfi gerçekleşmiştir. Bir platformu ve yükleri dikey olarak kaldıran bir asansör mekanizmasından oluşmuş fakat yalnızca birkaç metre yüksekliğinde tasarlanmıştır. Bulunan bu iki asansör modern forkliftin temelini oluşturmuştur.

20. yüzyılın ilk yıllarında, demiryolu şirketleri uzun dört tekerlekli bagaj araçlarını insan gücü vasıtasıyla kullanmışlardır. 1906 yılına kadar bu araçlar insan gücüyle çalışmaya devam etmişlerdir. Pensilvanya Demiryolları, Altoona Tren İstasyonu’ndaki dört tekerlekli bagaj araçlarına, şekil 2.2’de görüldüğü gibi bir akü eklemiş ve insan gücü yerine elektrik gücüyle yükleri taşımaya başlamıştır. Bu önemli gelişme, dünyanın ilk motorlu endüstriyel aracı olarak bilinmeye başlanmıştır.



şekil 2.2 :Elektrikle alışan ilk motorlu endüstriyel aracı [28].

Bu buluş, insan gücüyle çalışan araçlardan, motorlu araçlara geçişin ilk başlangıcını da işaret etmiştir. İnsan gücü bırakılmış, elektrikli motor gücü kullanılmıştır. 1909 yılına gelindiğinde, tamamen elik endüstriyel araç bulunmuştur. Tamamen elik bir

çerçeveyi, yatay ve dikey kaldırma mekanizmalarıyla bir araya getirerek, kullanıcıların çok daha ağır yükleri kaldırabilmesine olanak sağlamıştır. Bu buluş, forkliftlerin ününe ün katmış, kullanımlarının yayılmasına ve birçok endüstrilerde yoğun bir şekilde talep edilmesine sebep olmuştur.

1913 yılında, William T. Harris tarafından patenti alınan hidrolik asansörün keşfi, forkliftlerin tarihini sonsuza dek değiştirecek yeni bir buluş olarak ortaya çıkmıştır. William T. Harris bu buluşa hidrolik kaldırıcı ismini vermişti. Ne yazık ki, bulundukları dönemin üretim kısıtlamaları, bu yeniliklerin uzun yıllar boyunca geniş çapta benimsenmesini engellemiştir. Keşfedilen yeniliklerin her biriyle, platformlu araçlar, daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

Birinci Dünya Savaşı, yeni forklift teknolojilerine daha fazla hız kazandırmıştır. Bunun temel sebebi, hükümetlerin savaş sözleşmelerini arttırmasıyla fabrikalarda daha fazla insan gücüne ihtiyaç duyulması olmuştur. İnsanları fabrikalarda kullanmak yerine askere almak zorunda kaldıkları için çok ciddi bir işgücü sıkıntısıyla karşılaşmışlardır. Bu faktörler, fabrikaların daha az el emeği gerektiren, daha verimli mal ve hammadde taşıma araçları talep etmelerine yol açmıştır. Yaşanan bu sıkıntılar, çeşitli malzeme taşıma makinelerinin icat edilmesine öncülük etmiştir. Bu icatların bir tanesi ise elektrikli forkliftler olmuştur. İlk olarak 1915 yılında Baker-Raulang şirketi tarafından geliştirilen bu araç, bomba taşıma vinci olarak tasarlanmıştı. Tam anlamıyla bir forklift gibi olmasa da, bu gelişme aşına olduğumuz forkliftlerin keşif yolunu açmıştır.

Birinci Dünya Savaşı ile İkinci Dünya Savaşı arasındaki dönem, platform tabanlı endüstriyel araçlardan, forkliftlere geçiş dönemleri olmuştur. İlk olarak, Kentucky'deki Clark Material Handling Company'de Eugene Clark, 1917 yılında, "Tructractor" adı verilen ilk oturma karşılığı ağırlıklı forklifti geliştirmiştir. Bugün sıklıkla keşfedilen ilk forklift olarak anılsa da bu modelin günümüz forkliftleri gibi çatalları bulunmamaktaydı.

Clark o dönemlerde daha çok ağır araç akslarıyla uğraşırken, Tructractor'u kendi fabrikasında hareket etmek üzere geliştirilmişti. Bu icat çok geçmeden fabrikaya gelen ziyaretçiler tarafından fark edilmiş ve kendi kullanımları için bu modelin çeşitlerini talep etmeye başlamışlardı. Yaklaşık iki yıl sonra Clark firması dış pazarlara ürününü satmaya başlamıştı. Müşteriler tarafından, malzemelerin üst üste istiflemesi yönüne de

yoğun bir talep oluştu. Bunun nedeni, depolarındaki dar alanlara daha fazla malzeme sığdırarak hem yerden kazanıp hem de daha fazla malzeme koyarak daha fazla para kazanmaya istekli olmuşlardır. Bu şekilde bir makina müşterilere çok fazla para tasarruf sağlamak istemişlerdir.

1920'li yıllarda, forkliftler teknolojik olarak gelişmeye başlamıştı. Forkliftleri daha güçlü hale getirip kullanmak için çok fazla talep ve ihtiyaç doğmuştur. Özellikle vinç takılı forkliftler için yüklerin kaldırılmasını daha da kolaylaştırmak için hidrolik parçalar eklenmiştir. Kullanma ve çalışmasını daha iyi hale getirmek için elektronik sistemler dâhil edilmeye başlanmıştır. Bu, forkliftlerin tarihinde daha önce hiç görülmemiş gelişmelerdendir. Forkliftlerin ilk versiyonları çok yavaş üretilmişti. Hız ve taşıma gücü eklemek için çok daha güçlü motorların kullanılması gerekmiştir.

1923'te Yale Üniversitesi mühendisleri, dikey bir direk ve konsol kullanan bir kaldırma mekanizması yaratmıştır. Yale, elektrikli forkliftiyle sahneye çıkmıştı. Forklift, çatalları kaldırmak ve direği yüklemek için elektrik gücünü kullanmıştır. Birçok kişi bu forklift versiyonunu, bilinen ilk gerçek forklift olarak kabul etmiş ancak bu forkliftin evrensel olarak kabul edilmesini engelleyen büyük bir sorun ortaya çıkartmıştır. Kaldırma paletleri her zaman çatallara tam oturtmuştur.

1924'te Clark, forklift teknolojisinde bir diğer büyük gelişmeye katkıda bulunmuştu. Bu, ilk içten yanmalı forklift olan Duat traktörüydü. Bu forklift, önceki tasarımlarda olduğu gibi devrilme platformu yerine mandal ve pinyon sistemi kullanılarak çalışmıştır. Bu, direğin ilk kez forklift yüksekliğinin üzerine çıkarılabilmesi adına atılmış çok önemli bir adımdı. Sonuç olarak müşterilerin talep ettiğini başarmıştı. Hem Yale hem de Clark forkliftlerinin tasarımları, günümüz forkliftlerine çok benzerdir. Bu nedenle ilk forklift olarak her iki firmanın forkliftini kabul edilebiliriz.

İkinci dünya savaşı ve savaş sonrası yıllarda, depolama konusundaki değişiklikler ve doğan yeni ihtiyaçlardan ötürü forkliftlerde yeni ve farklı tasarımlar gelişti. Yük elleçleme ihtiyacındaki büyük artışla birlikte fabrikalar, vardiya boyunca çalışabilecek forkliftlere ihtiyaç duymaktaydı. Bundan ötürü forklift üreticileri farklı yakıt türleriyle çalışan forkliftleri üretilip, denemeye başladı. 1940'lara kadar olan erken tarih, çeşitli benzinli-elektrikli hibrit motorlara sahip forkliftlere sahipti.

Bu tasarımlarda gaz, elektrik motorunu çalıştırıyordu. Daha sonra 1942'de Clark, "Carloader" adı verilen ilk aküyle çalışan forkliftini piyasaya çıkartmıştır. Bu forklift,

tek bir şarjla tüm vardiyayı tamamlayabilecek şekilde tasarlanmıştı. Birkaç yıl sonra 1947'de ilk dizel motorlu forkliftler piyasaya sürülmüştür. Bu gelişme de forkliftlerin gücünü, kaldırma kapasitesini ve kullanım alanlarını önemli ölçüde arttırmıştır.

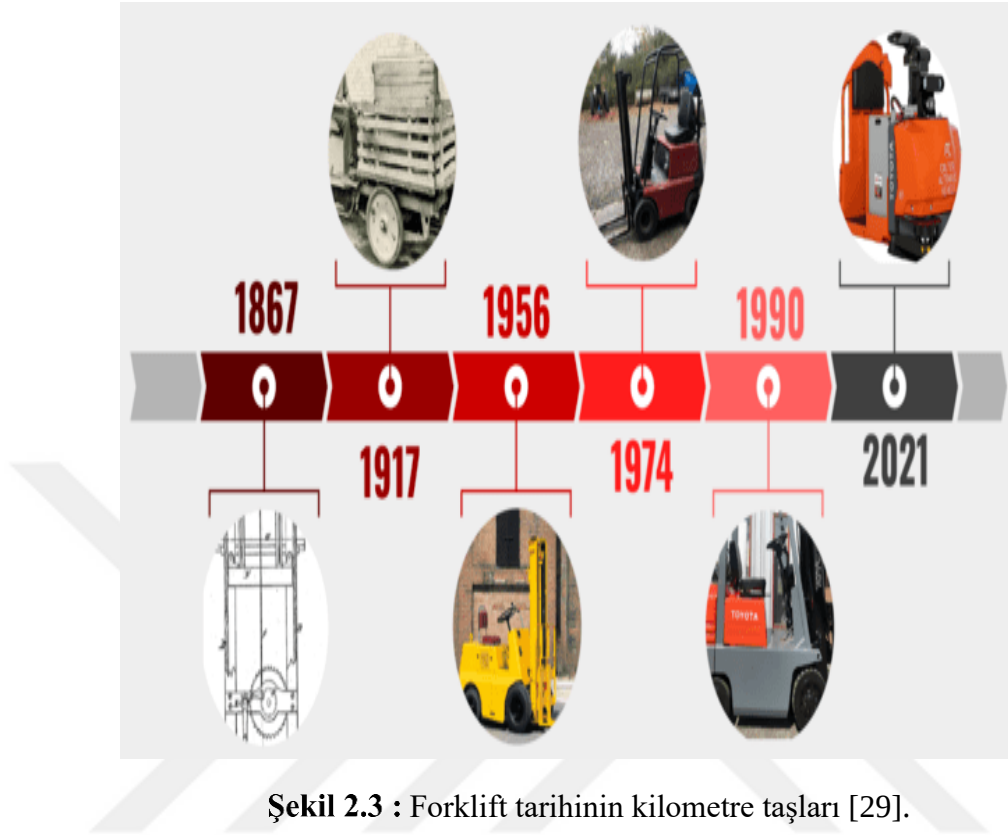
İkinci dünya savaşı sonrasında, depolama verimliliğini artırmanın yollarına yönelik oluşan talepler artmıştır. Bu dönemdeki forkliftler hâlâ büyük ve kullanımı hantaldır. Dar koridorlar ve daha yüksek tavan yüksekliğine sahip depolar kullanılmaya başlandıkça, forkliftlerin daha dar ve daha kolay manevra yapması zorunluluğu oluşmaya başlamıştı. Bunun için temel stratejilerden biri forklifti dışa doğru genişletmek ve dikey olarak genişlemiştir. Bunu yaparak depoların alanı daha iyi kullanabilmiştir. 1954 yılında İngiliz Lansing Bagnall Şirketi, bu sorunu çözecek dar koridorlara uygun olan elektrikli forklifti geliştirmesiyle, büyük bir atılım gerçekleştirmiştir. Bu forklift, 15 metrelik havaya kaldırmanın yanı sıra dar alanlarda da hareket edebiliyor ve depolama konusundaki birçok sorunu çözüm oluşturmuştur.

1960'lı yıllara gelindiğinde forkliftlerin kaldırma yüksekliği, ciddi güvenlik kaygılarını da beraberinde getirmiştir. 15 metreye kadar yüksekliğe konulan paletlerden düşebilecek parçaların olma ihtimali, operatörleri ciddi şekilde yaralayabilirdi. Önemli yeniliklerden birisi baş üstü korumaların ve yük arkalıklarının tasarlanmasıdır. Operatörler hem düşen yüklerden hem de devrilmelerden korunmuştur.

1980'li yıllarda forklift üreticileri, ergonomik tasarımlara ve operatör emniyet sistemlerine öncelik vermeye başlamıştır. Bunlar operatörün konforunu, güvenliğini ve verimliliğini artırmayı amaçmıştır. Bu yıllarda aynı zamanda emisyon kontrolü de şekillenmeye başlamıştır. 1999 yılına gelindiğinde Çevre Koruma Ajansı (EPA), motor emisyonlarını sınırlamak için Tier sistemini uygulamaya koymuştur. Emisyon kontrollerindeki ilerlemeler arasında batarya tasarımı ve şarjında iyileştirmeler yer almıştır. Bunlar, elektrikli forkliftlerin tehlikeli gaz yaymadan içten yanmalı modellerle rekabet edebilmesini sağlamıştır.

1990'lı yıllarda araçların devrilmesini önlemek için yük stabilite mekanizmaları geliştirilmiştir. 1999 yılında Toyota, Aktif Denge Sistemini (SAS) uygulamaya koymuştur. Toyota'nın Aktif Denge Sistemi (SAS), dengesizlik tespit ettiğinde arka aksı dengelemek için bir silindir kullanır ve forkliftin dik tutulmasını sağlamıştır. Bu mekanizmalar dengesizliği tespit edebilir ve forklifti sabit tutacak işlevleri sınırlar. Dengesizlik tespit edildiğinde ileri ve arka eğim hızını sınırlayarak devrilmeyi

önlemeye yardımcı olur [28,29]. Forklift tarihi, Şekil 2.3'te görüldüğü gibi özetlenebilir.



Şekil 2.3 : Forklift tarihinin kilometre taşları [29].

2.2 Güç Kaynaklarına Göre Forkliftler

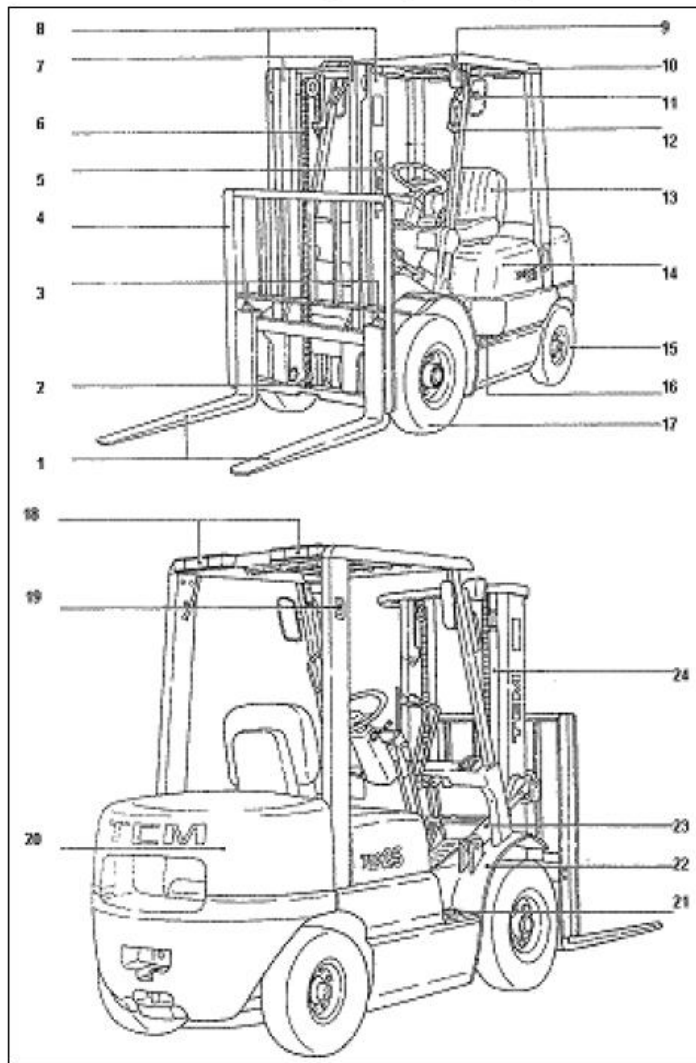
Forkliftler, güç kaynaklarına göre farklılık göstermektedirler. Bu farklılıkları Dizel, benzinli, sıvılaştırılmış petrol gazlı (LPG'li), sıkıştırılmış doğal gazlı (CNG'li), akülü ve hidrojenli forkliftler olarak gruplandırabilir. Yeni teknolojilerin gelişimiyle birlikte bu güç kaynakları çeşitlilik kazanmaya devam etmektedir.

2.2.1 Benzinli forkliftler

İçten yanmalı bir motor çeşidi olan benzin motorları ile tahrik edilen forkliftlerdir. 1876 yılında, Nikolaus Otto tarafından yakıt olarak kömür gazı ve havayı kullanan motoru yapmıştır. Bu durumdan ötürü dört zamanlı motorlar Otto çevrimli motor olarak bilinmektedirler. 1959 yılında Otto, kömür gazı yerine sıvı yakıtlar kullanmaya başladı. Sıvı yakıtlar kömür gazından çok daha fazla avantajlara sahipti. İki zamanlı motoru geliştirip, dört zamanlı motorun mucidi olmuştur. Otto çevrimi ile çalışan motorlar emme, sıkıştırma, patlama ve egzoz olarak bu çevrimi özetleyebiliriz. Forklift türlerine göre ekonomik olmadıkları için kullanım oranları oldukça düşmüştür.

2.2.2 Dizel forkliftler

Dizel forkliftler, dizel motorları vasıtasıyla tahrik edilir. Yüksek kaldırma kapasiteli forkliftler oldukları için tercih edilirler. Ekonomik forkliftler olmakla beraber gürültülü çalışmaları ve egzoz gaz emisyonları nedeniyle açık ortamlarda tercih edilirler. Son yıllarda özellikle çevre dostu forkliftlere oluşan talebin artması, karbondioksit (CO²)salınımının azaltılma çabalarından ötürü kullanım oranları azalmakta, yerini daha çevreci forklift türlerine bırakmaktadır. Konteynır taşımacılığında kullanılan forkliftlerin kaldırma kapasiteleri 60 tona kadar çıkar. Kaldırma yükseklikleri genellikle 3-4 metredir. Şekil 2.4.' de bir dizel forkliftin önden ve arkadan görünüşü verilmiştir.



1.Çatal 2.Çatal kilitleme vidası 3.Çatal ayar mandalları 4.Ayna 5.Direksiyon 6.Kaldırma zinciri 7.İç sütun 8.Dış sütun 9.Far 10.Rops (Korumalı kabin) 11.Dikiz aynası 12.Ön aydınlatma 13.Operator koltuğu 14.Kaput 15.Dönüş tekeri 16.Basamak 17.Tahrik tekeri 18.Arka aydınlatma 19.Hava girişi 20.Denge ağırlığı 21.Basamak 22.Çamurluk 23.Yatırma (tilt) silindiri 24.Kaldırma (lift)silindiri

Şekil 2.4 : Dizel forklift genel görünüşü [30].

2.2.3 LPG’li forkliftler

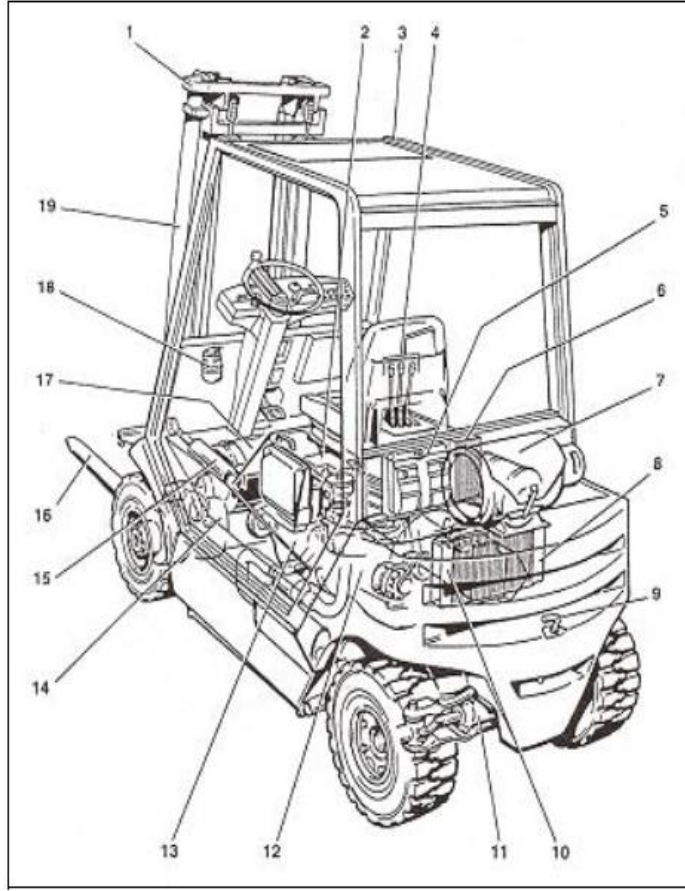
İçten yanmalı benzin motorlarının yakıt sistemlerindeki birtakım değişikliklerle sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanan motorlarla tahrik edilirler. LPG, petrolün rafine edilmesinde elde edilen bir yan üründür. Gaz halinde olup, bütan ve propan gazlarının belirli orandaki bir karışımı olarak bilinmektedir. Hem bütan hem de propan basınç altında sıvılaşır ve sıvı olarak depolanmaktadırlar. Basınç etkisi sona erdiğinde ise buharlaşır. Daha yüksek basınçlarda depolanan propan, çok düşük sıcaklıklarda (-20 santigrat dereceye kadar) gaz haline gelir ve çok daha yüksek bir buharlaşma oranına sahiptir.

LPG, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kuru gaz olarak sisteme girer ve havayla karışarak ideal bir yanıcı karışım olur. Oluşan karışım, değişik hava şartlarında tamamen buharlaşarak, motorun en iyi verimlilikte çalıştırmaktadır. Karışımın tamamen yanması egzoz gazlarındaki partiküllerin ve zararlı dumanları yok denecek kadar azaltmaktadır. Karbon birikintilerinin oluşumunu, motorun yağlama yağının seyrelemesini ve kirlenmesini engelleyerek, motor aşınmasını azaltmaktadır.

LPG’li forkliftlerin kaldırma kapasiteleri, dizel forkliftlere göre daha düşüktür. Dizel ve benzinli forkliftlere göre daha ekonomiktirler. Egzoz emisyonları düşük olduğu için daha çevreci forkliftler olarak bilinmektedirler. LPG tanklarının dolum ve değiştirilmeleri kolay olmadığı için ağır sanayi işlerinde kullanılmamaktadırlar. Şekil 2.5’ de LPG’li forklift ve kısımları verilmiştir.

2.2.4 CNG’li forkliftler

İçten yanmalı benzin motorlarının yakıt sistemlerindeki birtakım değişikliklerle sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) kullanan motorlarla tahrik edilirler. İlk kez 1950’li yıllarda kullanılmaya başlamışlardır. CNG tanklarının ağır olması, dolum ve değiştirilmeleri kolay olmadığı için birçok sektörde kullanılmamaktadırlar. CNG’li forkliftlerin kaldırma kapasiteleri, dizel forkliftlere göre daha düşüktür. Dizel ve benzinli forkliftlere göre egzoz emisyonları düşük olduğu için daha çevreci forkliftlerdir. Rusya-Ukrayna savaşı öncesi çok ekonomik olmasına rağmen savaştan sonra bu avantajını kaybetmişlerdir.



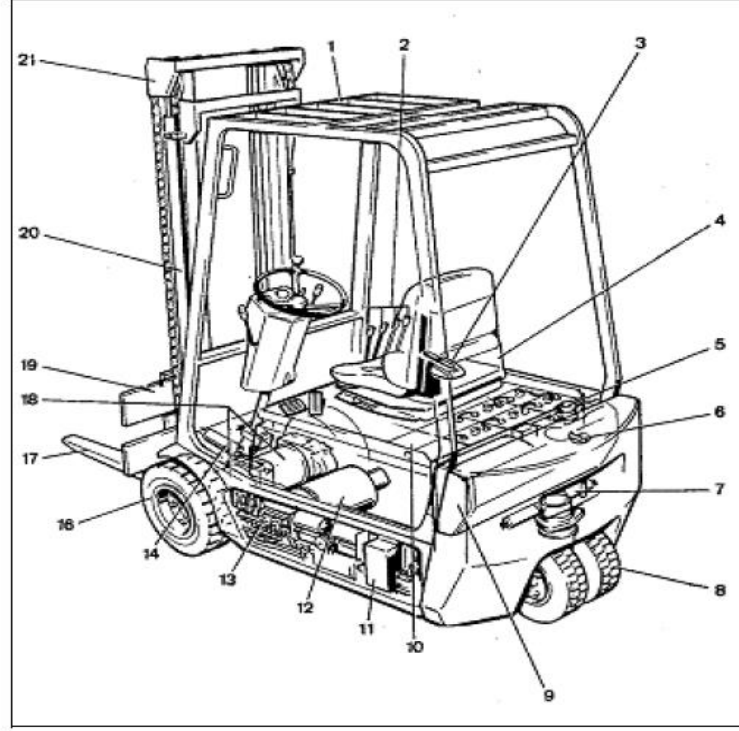
1. Asansör tertibatı 2. Akü 3. Operatör kabini 4. Kumanda kolları 5. Soğutma suyu haznesi 6. Soğutucu 7. LPG tankı 8. Radyatör 9. Çeki kancası 10. Hidrolik tankı 11. Dönüş dingili 12. Motor 13. Jeneratör 14. Tahrik dingili 15. Tilt silindiri 16. Çatal 17. Yürüyüş motoru 18. Fren yağı deposu 19. Kaldırma(lift) silindiri

Şekil 2.5 : LPG'li forklift genel görünüşü [30].

2.2.5 Akülü forkliftler

Şarj edilebilir akülerle çalışan, elektrik motorlarıyla tahrik edilen forkliftlerdir. Akü ile beslenen elektrik motorlarının dönmesiyle birlikte yürüyüş yapmaktadırlar. Elektrikli forkliftlerde yürüme işlemi, aküden alınan enerji ile hareket eden elektrik motorlarının tekerleri döndürmesiyle sağlanır. Elektrik motorları bu sayede elektrikli forklifti hareket ettirmektedir. Çok sessiz çalıştıkları ve egzoz gazı çıkarmadıkları için kapalı ortamlarda güvenle kullanılmaktadırlar. Özellikle forklift operatörleri tarafından tercih edilmektedirler. Son yıllarda oluşan talepten ötürü 8000 kg'a kadar olan kaldırma kapasiteleri, 16000 kg'a kadar çıkmıştır. Seçilen akünün kapasitesine göre çalışma saatleri değişmekle beraber, aralıksız tek aküyle çalışma saatleri 7-8 saattir. Kurşun asit aküler özellikle denge konusunda yardımcı oldukları için forkliftin

büyük bölümünü kaplamaktadırlar. Özellikle bakım masrafları çok düşük ve komponent ömürleri çok uzun olduğu için tercih edilmektedirler. Şekil 2.6’da Akülü forklift ve kısımları gösterilmiştir.



1. Operatör kabini 2. Kumanda kolları 3. Park fren kolu 4. Operatör koltuğu 5. Hidrolik yağ filtresi 6. Çeki kancası 7. Dönüş silindiri 8. Dönüş tekerleri 9. Hidrolik tank 10. Akü grubu 11. Elektronik kontrol kutusu 12. Hidrolik sistem elektrik motoru ve pompa 13. Elektrik motoru bağlantıları 14. Tilt silindiri 15. Tahrik tekeri 16. Çatal 17. Yürüyüş elektrik motoru 18. Çatal taşıyıcı (ayna) 19. Kaldırma silindiri 20. Asansör

Şekil 2.6 : Akülü forklift genel görünüşü [30].

2.2.6 Hidrojenli forkliftler

Hidrojenli forkliftler, özellikle son zamanlarda hızla yayılmaya başlayan ve forklift sektöründeki en yenisidir. Bu forkliftler, yakıt hücre teknolojisi kullanılmaktadır. Forkliftin üzerindeki yakıt hücresi hidrojen sistemi, yakıt hücreleri, 350 bar hidrojen deposu, fazla enerjiyi geçici olarak depolamak için küçük bir lityum iyon akü ve bir fanndan oluşmaktadır. Oksijen ve hidrojenin elektrokimyasal reaksiyonlarıyla elektrik enerjisi üretmesi esasına dayanmaktadır. Kimyasal reaksiyonlar sırasında elektrik enerjisi açığa çıkmakta; bu enerji toplanıp ve forkliftin kaldırma, tilt ve tahrik sistemlerine yetecek gücü sağlayan elektrik motorlarını çalıştırabilmek için kullanılmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucunda sadece su ve ısı ürettiği için çevreci forkliftlerdir. Yakıt hücrelerinin anot ve katot elektrotları, gerekli enerjiyi üretebilmek için yakıt moleküllerindeki elektronları ayırmaktadır [30].



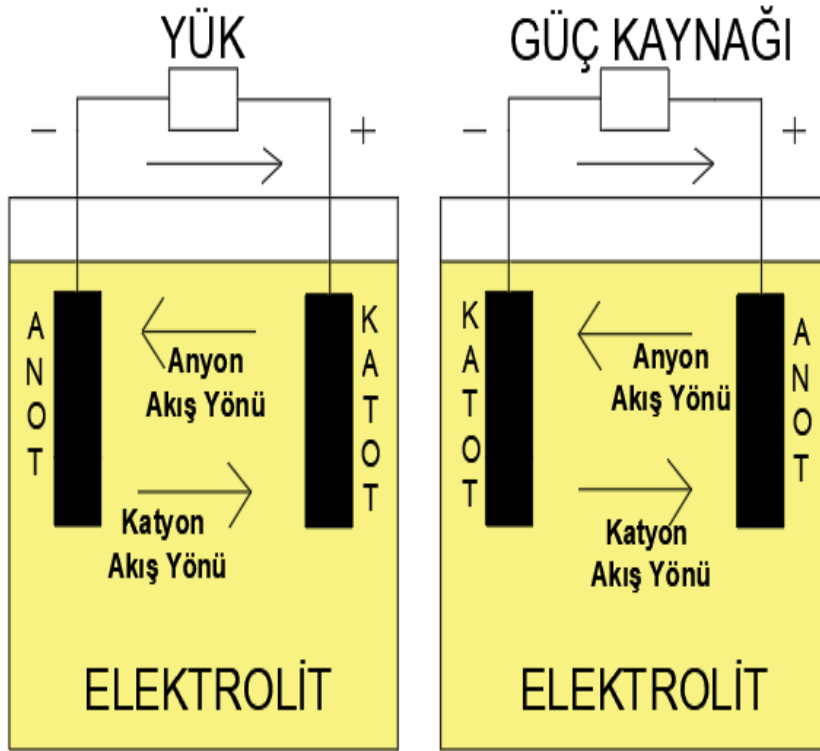
3. BATARYA

Bataryalar, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren, dönüştürdüğü enerjiyi depolayıp, bu enerjiyi istediğimiz cihazlarda ve zamanlarda kullanmamızı sağlayan sistemlerdir. Kullanılan elektrolit haline göre ıslak ve kuru olmak üzere ikiye ayrılırlar. Elektrolit sıvı ise ıslak hücreli, elektrolit jel veya pasta şeklinde ise kuru hücreli olarak adlandırılır.

3.1 Batarya Sistemleri

Şarj olma durumlarına göre Birincil sistemler (şarjsız veya tek kullanımlık) ve İkincil sistemler (şarjlı ve çok kullanımlık) olarak gruplandırılırlar. Birincil bataryalar tek kullanımlıktır, tekrar şarj edilmezler ve deşarj olduktan sonra kullanılmazlar. İkincil bataryalar çok kullanımlıktır, şarj edilebilir ve deşarj olduktan sonra şarj edilip, tekrar kullanılabilirler. Birincil bataryalar, uzun süre düzenli şarj ihtiyacı olmadan dayanabilen cihazlarda kullanılırken, ikincil bataryalar düzenli şarj gerektiren ve düzenli şarj ihtiyacı olan elektrikli araçlar, forkliftler gibi cihazlarda yoğun olarak kullanılırlar. Aynı ölçülere, kimyasal yapıya ve elektrik kapasitelerine sahip bataryalar bir araya getirilerek, batarya bloğu veya kısaca batarya olarak adlandırılan batarya grupları oluşturulabilir.

Bataryalar depo ettikleri kimyasal enerjiyi, elektrokimyasal redoks reaksiyonları aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürme prensibine göre çalışmaktadır. Redoks reaksiyonları bir elektrik devresi aracılığıyla elektronların bir maddeden diğerine aktarılmasıdır. Batarya sistemleri, paralel, seri veya hem seri hem paralel olarak bağlanan, bir veya birden çok hücreden oluşmaktadır. Bu bağlama şekillerinin seçimi, talep edilen kapasite ve gerilime göre değişmektedir. Her bir hücre için negatif elektrot olarak metal anot, pozitif elektrot olarak metal oksit bir katot kullanılmaktadır. Kimyasal reaksiyon, iki elektrot arasındaki elektrolit ile sağlanmaktadır. Elektroliz esnasında anot aşınırken, katotta iyonik değişimlerin yaşanmasından ötürü elektrik akımı oluşur. Şekil 3.1’de bu akış gösterilmiştir. Oluşan elektrik enerjisi, çeşitli aygıtlarda kullanılmaktadır [31].

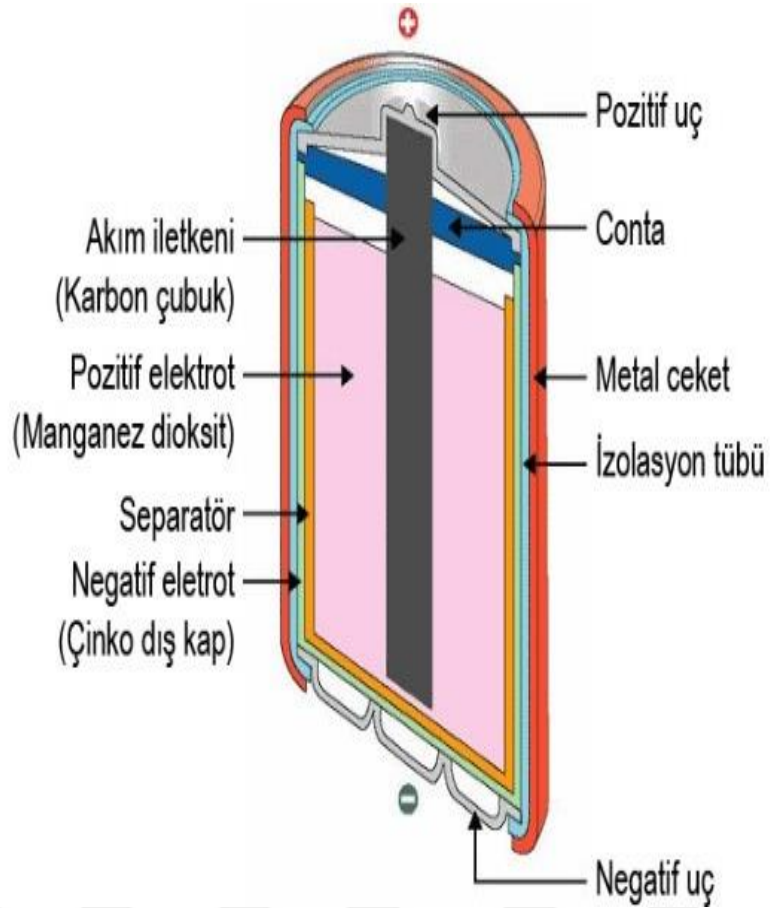


Şekil 3.1 : Elektroliz şekli [32].

3.1.1 Birincil batarya hücreleri

Birincil batarya hücrelerinde, reaksiyon hücre içerisinde gerçekleşir ve geri dönüştürülemezdir. Yani tek kullanımlık olup, İçerisindeki kimyasal enerji tükendiğinde şarj edilmezler. Bu bataryalara aynı zamanda kuru bataryalar da denilmektedir. Farklı kimyaya sahiptirler. İçerisinde alkalın, çinko ve lityum yer alır. İçerdikleri malzemeye göre isimlendirilirler. Tek kullanımlık olduklarından dolayı kendi kendine deşarjı küçük olacak şekilde üretilmişlerdir. Tarih öncesi çok eski dönemlerde dahi bulunmuş olsalar bile (Bağdat Bataryası gibi), kabul edilen en eski birincil batarya, 1859 yılında bulunan ve 1,5 V gerilime sahip olan çinko karbon bataryadır. Günümüzde televizyon kumandaları, cep fenerleri, radyolar gibi uzun süre dayanması gereken cihazlarda kullanılmaktadırlar.

Alkalın-manganez bataryalar, çinko-karbon bataryalara göre gelişmişlerdir. Uzun süre dayanması gereken uzaktan kumanda gibi uzun süre dayanması gereken aletlerde lityum içerikli hücreler kullanılmaktadır. Böylece daha düşük iç direnç, yüksek gerilim ve kapasitans elde edilir [33]. Şekil 3.2’de birincil batarya hücresi gösterilmiştir.



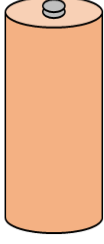
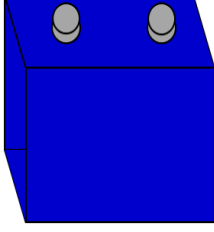
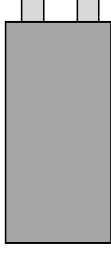
Şekil 3.2 : Birincil batarya hücresi [34].

3.1.2 İkincil batarya hücreleri

İkincil batarya hücreleri, kimyasal enerjiyi depolayan ve gerektiğinde bu enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Reaksiyonu geri dönüşümlü olan hücrelerdir. Şarj ve deşarj edilerek defalarca kullanılabilirler. Birincil batarya hücrelerine göre daha maliyetlidirler. Bunun nedeni, karmaşık bir elektrokimyasal yapıya ve hassas üretim tekniklerine sahiptirler. Yüksek enerji ve güç gerektiren işlemlerde kullanılırlar. Elektrikli forkliftlerde kullanılan kurşun asit bataryalar örnek olarak verilebilir.

3.2 Hücre Yapısı Türleri

Hücre yapı türleri, prizmatik, silindirik ve kese (pouch) olarak 3 türe ayrılmaktadırlar. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hücre yapısı türleri ve özellikleri belirtilmiştir. Farklı metotlarla üretilmelerine rağmen genel yapıları aynıdır. Prizmatik ve kese hücreler daha büyük kapasitelerde üretilirken, silindirik hücreler daha küçük kapasiteli üretilmektedirler.

Silindirik Hücre	Prizmatik Hücre	Kese Hücre
		
• Küçük boyut • Sert Muhafaza • Hücreye özgü düşük kapasite • Güvenlik özellikleri dahil edilmiş • Nispeten ucuz	• Sert Muhafaza • Büyük boyut • Hücreye özgü yüksek kapasite	• Büyük boyut • Yumuşak Muhafaza • Hücreye özgü yüksek kapasite • Güvenlik özellikleri dahil edilmiş • Şarj-deşarj esnasında geometrik deformasyon

Şekil 3.3 : Hücre yapısı türleri [35].

3.2.1 Silindirik tip

Silindirik hücreler ticari uygulamalarda birçok farklı ürün türünde kullanılmaktadır. Hem birincil hem de ikincil batarya hücrelerinde en sık kullanılan hücre tipidir. Bulunması en kolay hücreler olup, küçük kapasitelere sahiptirler. Yüksek kapasite gereken uygulamalarda paralel olarak bağlanılmaktadır. Boru şeklindeki silindir, deforme olmadan yüksek iç basınçlara dayanabilir. 18650 adı verilen bataryalar, en yaygın hücre paketlerinden biridir. El aletlerinden dizüstü bilgisayarlara, elektrikli bisikletlerden elektrikli araçlara kadar birçok ticari üründe kullanılmaktadırlar. İhtiyaç duyulan güç değerlerine ve farklı kimyalarda üretilmektedirler. Batarya içerisinde çok fazla sayıda hücre yer aldığı için termal olarak yönetilmesi daha kolaydır [36].

3.2.2 Prizmatik tip

Prizmatik hücreler düz ve dikdörtgen şekillere sahiptir. Dış yüzeylerinin sert olmasından ötürü daha istikrarlı mekanik dayanım sunarlar. Hücre içindeki tüm parçalar, katmanlar halinde sıkıştırılmış, çelik veya alüminyumla kaplanmış durumdadır. Kutunun dışını, yalıtımlı bir film kaplar. Ayrıca üzerlerinde yüksek basınç durumunda açılacak bir valf bulunur. Bazı hücrelerde direkler üzerinde bulunan vida sistemi sayesinde lazer kaynak, punta, ultrasonik kaynak gibi işlemlere gerek

kalmadan seri ve paralel olarak kolaylıkla bağlanabilmektedir. Yüksek kapasiteleri sayesinde aküdeki hücre sayısı daha azdır. Bundan dolayı elektrikli ve hibrit araçlarda tercih edilirler. Prizmatik hücrelerin şekli silindirik hücrelere kıyasla çok büyüktür.

Prizmatik hücreler, farklı boyutlarda üretilmektedir. Tüm üreticiler tarafından kabul edilen evrensel türleri olmadığı için özel olarak tasarlanabilirler. Evrensel format olarak kabul edilen 14650, 18650, 21700 ve 26500 gibi türleri vardır [37].

3.2.3 Torba (Pouch) tipi

Torba hücreler, 1995 yılındaki yeni tasarımlarından beri yüksek iletkenliği olan iki tırnaktan oluşan, hücre içindeki bileşenlerinin alüminyum kaplı plastik bir filmle çevrelendiği bir batarya tasarımıdır. Hücre bileşenleri, çoklu katmanlardan oluşan ve tekrarlanan yığınlar halinde düzenlenirler. Her yığında, katı tabaka üç kat, aktif malzeme iki kat olmakta ve bir de sıvı elektrolit içermektedir. Hücreyle direk temasa geçmesi daha kolay olduğu için ısıl yönetimleri prizmatik hücrelere göre daha kolaydır.

Torba hücreler, tasarım avantajları, yüksek enerji yoğunlukları ve güç performanslarından ötürü büyük kapasitelerden küçük kapasitelere kadar farklı şekillerde üretilmektedirler. Dış yüzeyleri daha ince olduğu için prizmatik hücrelere kıyasla daha küçük hacme sahiptirler.

Torba hücresi, alanını efektif olarak kullandığı için batarya paketleri arasında en fazla yüzde 90 ila 95 paketleme verimliliğine ulaşmaktadır. Tasarımından ötürü, metal bir mahfaza içermediği için ağırlığını azaltır ancak batarya bölmesinde bu mahfazaya alternatif bir destek kullanılmaktadır. Kısaca torba hücreleri, batarya tasarımına basit, esnek ve hafif bir çözüm sunmaktadır [38].

3.3 Batarya Çeşitleri

Bataryalar, kullanılan elektrot veya elektrolite göre; kurşun-asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit, lityum iyon, lityum sülfür, lityum polimer ve lityum demir fosfat bataryalar olarak sınıflandırılmaktadır.

3.3.1 Kurşun-asit batarya

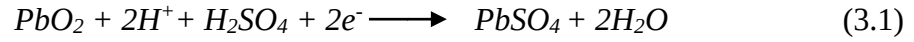
Kurşun-Asit bataryalar, Fransız fizikçi Gaston Plante tarafından 1859 yılında icat edilen, birçok uygulamada kullanılan, şarj edilebilir ve ticari olarak kullanılan ilk

batarya türüdür. Yıllarca yıl önce bulunmasına rağmen sürekli olarak geliştirilmektedir. Katot olarak kurşun, anot olarak kurşun dioksit ve elektrolit olarak sülfürik asit kullanılarak yapılmaktadırlar. İki elektrot arasındaki kimyasal reaksiyon, elektrolit vasıtasıyla oluşur. Bu reaksiyon sonucunda elektrik enerjisi serbest bırakılır veya şarj edilir. Bu reaksiyonun şarj veya deşarj edilmesi, elektrotların polaritesi değiştirilerek ayarlanır.

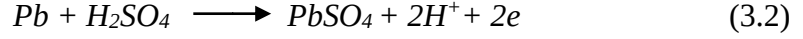
Temel olarak iki ana gruba ayrılan kurşun asit bataryalar, kuru yani diğer adıyla bakımsız ve sulu yani diğer adıyla bakımlı olarak adlandırılmaktadırlar. Kuru bataryaların bir diğer adı da emniyet supaplı akülerdir. Bu aküler, üretimlerinde kullanılan ana maddelerine göre Emici Cam Mikro-Fiber ve Jel olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Sulu tip bataryalarda, aşırı yüklenme durumlarında hidrojen ve oksijen oluşmaktadır. Ulaştırılmak istendiklerinde ise elektrolitte azalma gerçekleştiği için plakaların elektrolit karışımı ile temas ettiği alan azalır. Bundan ötürü şarj esnasında fazla ısı oluşmakta ve batarya verimliliği normal durumuna göre düşmektedir. Bu durumun engellenmesi için sürekli olarak kontrol edilip su eklenmelidir. Bundan dolayı bakımlı olarak adlandırılmaktadırlar. Sulu tip bataryaların aksine kuru tip bataryalarda, oluşan hidrojen ve oksijen, tek yönlü bir supap vasıtasıyla sistem içinde kalmaktadır. Pozitif plakada oluşan oksijen negatif plaka yönlendirilerek moleküler oksijen iyonuna indirgenir. Bu plakada üzerindeki elektrolitten dolayı açığa çıkan proton ile reaksiyona girerek su oluştururlar. Su sistemden eksilmediği için bu tip bataryalara bakımsız veya kuru tip bataryalar denilmektedir. Kuru tip bataryalara bakım gerekmediği ve sürekli su ekleme ihtiyacı olmadığından ötürü zaman geçtikçe bakımlı tip bataryaların kullanımı azalmaktadır.

Kurşun asit bazlı bir akünün, deşarj elektrokimyasal tepkimesi gerçekleşirken, pozitif plakada gözenekli kurşun dioksit yer alırken, negatif plakada ince bölünmüş, süngersi bir kurşun yer almaktadır. Elektrolit olarak seyreltik sulu sülfürik asit kullanılmaktadır. Deşarj esnasında pozitif plakada yani katotta kurşun dioksit kurşun sülfata dönüşürken, negatif plakada yani anotta yer alan kurşunda kurşun sülfata dönüşür. Reaksiyon esnasında sülfürik asidini kaybeden elektrolit ise su kazanmaktadır. Bu işlemler sonucunda, aküdeki kimyasal enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.1, 3.2 ve 3.3’de gösterilmektedir:

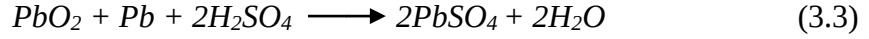
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Kurşun Asit Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



Kurşun asit akülerin nominal hücre voltajı 2V olarak kabul edilmektedir.

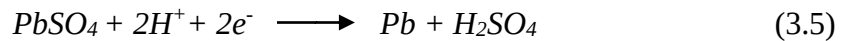
Deşarj tepkimesinde, sülfür iyonlarının katoda geçip, reaksiyona girmesi sonucunda kurşun sülfat ve H^+ iyonları, anotta ise kurşun dioksit ile elektrolit olan sülfürik asidin reaksiyona girmesiyle kurşun sülfat kristalleri ve su oluşur. Hem anot hem de katot elektrotları, kurşun sülfata deşarj edilir. Bu işlem devam ettikçe elektrolit seyreltilir.

Kurşun asit bazlı bir akünün, şarj elektrokimyasal tepkimesi gerçekleşirken, deşarj tepkimesinin tersi gerçekleşir. Elektrolitteki sülfat miktarı arttıkça, özgül ağırlığı da artmaya başlar. Elektrotlarda olan tepkimeler, denklemler 3.4, 3.5 ve 3.6'da gösterilmektedir:

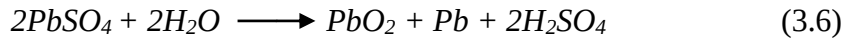
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



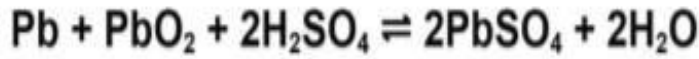
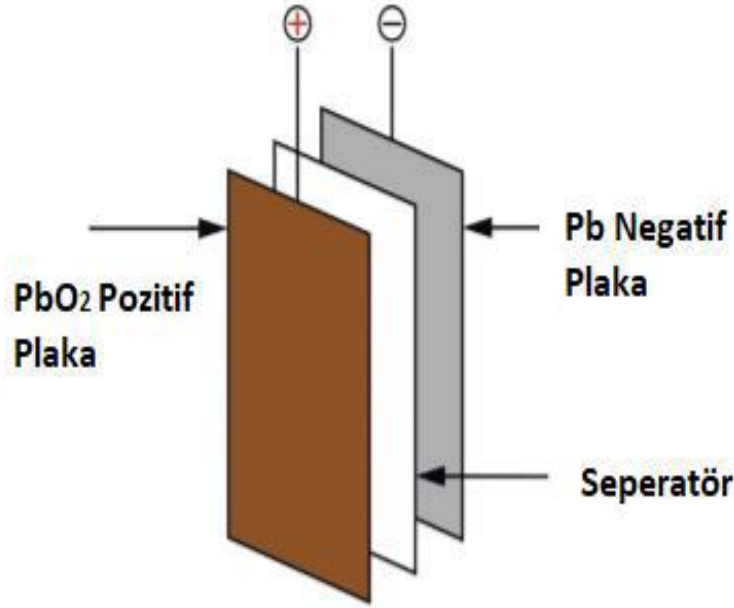
Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Kurşun Asit Akü Genel Şarj Tepkimesi:



Reaksiyona giren bu tepkime, kayıpsız değildir çünkü tekrar suyla birleşmesi gereken hidrojen gazı tepkimeye girmeyerek, elektrolite geri dönmemektedir. Hidrojen yanıcı olduğu ve birikmesi tehlike yaratacağını için buna önlem olarak gaz tahliyesinin yapıldığı delikler bulunmaktadır. Şarj ve deşarj tepkimeleri devam ettikçe ve ortamdaki hidrojen kaybedildiği için elektrolitte yer alan su azalmaya başlar. Akü üzerinde yer alan seviye göstergesi düzenli olarak takip edilerek, su seviyesi düştüğü zaman akünün kapağı açılıp, eksilen suyun tamamlanması gerekir. Şekil 3.4'te görüldüğü üzere tepkimeler gerçekleşmektedir.



Şekil 3.4 : Tepkime gösterimi [39].

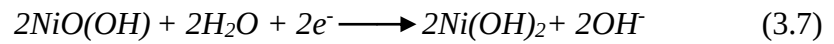
3.3.2 Nikel kadmiyum (NiCd) batarya

Nikel Kadmiyum (Ni-Cd) bataryalar, yaygın olarak kullanılan, nikelden ve kadmiyumdan yapılmış bir tür şarj edilebilir bataryadır. Ni-Cd bataryaları düşük iç dirence sahip oldukları için yüksek akım gerektiren işlemlerde kullanılan, uzun servis ömürlü bataryalardır. Taşınabilir cihazlar, ev aygıtları ve özellikle endüstriyel alanda kullanılırlar. Zararlı kimyasallar ve özellikle ağıt bir metal olan kadmiyum içerdiğinden ötürü çevreye olabilecek etkisinden dolayı kullanım alanları kısıtlanmıştır ancak güvenlik ve teknik avantajından ötürü havacılık sektörü için vazgeçilmezdir. Hafızaya etkisine sahip oldukları için bu bataryalar kullanılırken tamamen boşaltılmalı ve sonrasında şarj edilmelidir. Aksi takdirde kapasite kaybı yaşanacaktır. Şarj/deşarj yani çevrim süreleri uzundur ancak tam boşalmadan şarj edildiklerinde çevrim süreleri ve kapasiteleri düşmekte, kullanım ömürleri azalmaktadır.

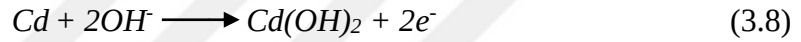
Nikel kadmiyum bataryalarda, pozitif elektrotta nikel oksihidroksiti bulunurken, negatif elektrot kadmiyum içermektedir. Elektrolit ise genellikle potasyum hidroksit çözeltisi kullanılmaktadır. Deşarj esnasında elektrotlar arasında kimyasal tepkimeler gerçekleşerek elektrik enerjisi açığa çıkartırlar. Katotta, nikel oksihidroksit, su ve

elektronlarla tepkimeye girer. Bu tepkimede, elektron alan nikel oksihidroksit, elektron alarak nikel (II) hidroksite indirgenirken, bu reaksiyon için kullanılan su sayesinde ise hidroksit iyonlarını açığa çıkartır. Anotta, kadmiyumla hidroksit iyonları birleşirler ve kadmiyum hidroksiti oluştururlar. Sonuç olarak elektronlar serbest bırakılırlar. Elektrolit içinde bulunan hidroksit iyonları, elektrotlar arasında hareket ederler. Anotta hidroksit iyonları harcanırken, katotta üretilirler. Bu sayede bataryanın elektrik enerjisi korunur. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.7, 3.8 ve 3.9'da gösterilmektedir:

Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:

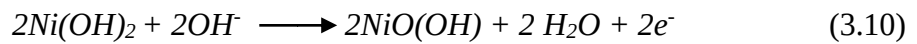


Ni-Cd Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



Nikel kadmiyum bataryaların nominal hücre voltajı 1,2 V olarak kabul edilmektedir. Şarj sırasında, dışarıdan verilen elektrik enerjisi ile batarya yeniden şarj edilmektedir. Deşarj esnasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler tam tersine dönerken, elektrotlar eski hallerine geri dönmektedirler. Bu esnada elektronlar dış devrede anota akmaktadırlar. Alkali elektrolit (KOH) bu tepkimelerde genellikle tüketilmez. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.10, 3.11 ve 3.12'de gösterilmektedir: aşağıda gösterilmektedir:

Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



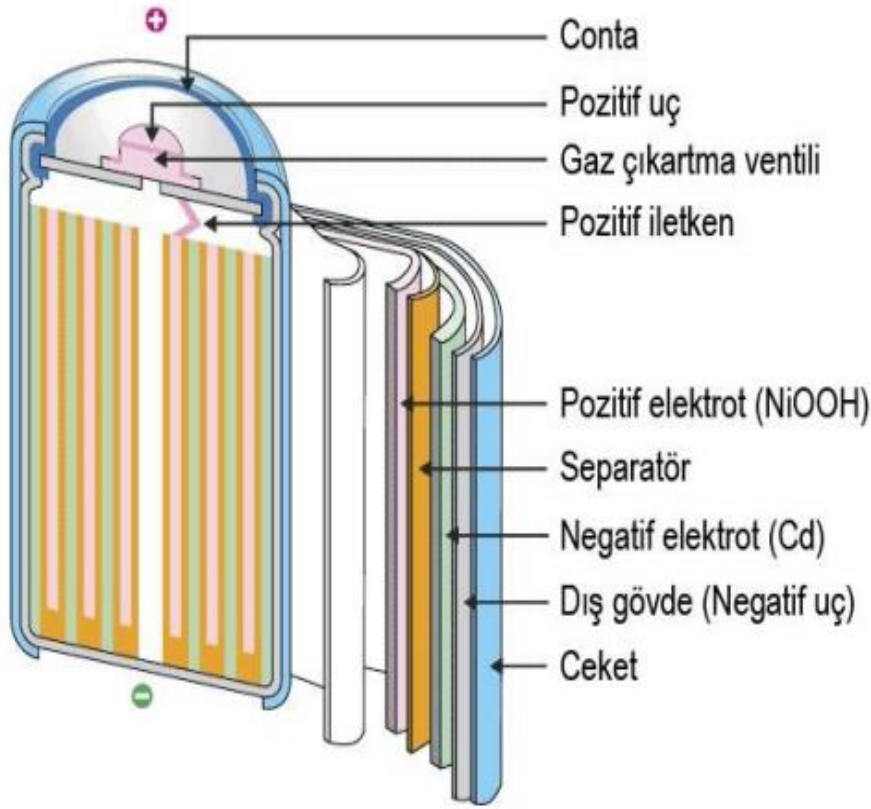
Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Ni-Cd Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



Şeklidedir. Bir Ni-Cd batarya hücresi işe aşağıdaki yer alan şekil 3.5'te gösterilmiştir:



Şekil 3.5 : Ni-Cd batarya hücresi [40].

3.3.3 Nikel metal hidrit (NiMH) batarya

Günümüzde Nikel metal hidrit (Ni-MH) bataryalar, bataryalı araçlar ve küçük ev elektroniği alanlarında kullanılmaktadır. NiMH bataryalar, ticari olarak 1989 yılında piyasaya çıktılar ve çoğunlukla taşınabilir kişisel bilgisayarlarda güç kaynağı olarak kullanıldılar. Günümüzde ise özellikle Toyota firması araçlarında NiMH bataryalar kullanmaya devam etmektedir. Diğer batarya çeşitlerine göre değişik avantajları vardır. Büyük enerji depolama özelliğine sahip olup, yüksek akım gereken işlemler kullanılmaktadırlar. En önemli özelliklerden bir diğeri de çok düşük sıcaklıklarda bile kullanılabilmesidir. Tamamen boşalmadan önce şarj edilmeleri gerekir. Kendi kendilerine deşarj olma süreleri çok kısadır. İçeriğinde yer alan elementler toksit olmadığı gibi yaşam döngüsü diğer batarya çeşitlerine göre avantajlıdır. Toksik olmadığı için çevreci bataryalar olarak isimlendirebiliriz. Bu faydalı avantajlarına karşın maliyetleri çok fazladır. Bu nedenle bataryalı veya hibrit araçlarda güç kaynağı olarak sınırlı olarak kullanılmaktadırlar.

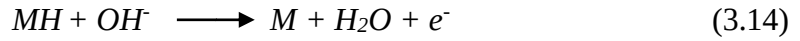
NiMH bataryaları, pozitif elektrotta oksit hidroksit, negatif elektrotta metal hidrit, elektrolitte ise genellikle alkalın bir elektrolit olan potasyum hidroksit kullanılmaktadır. Katotta, nikel hidroksit, hidrojen iyonları ve elektronlar olarak nikel

oksihidroksite indirgenmektedir. Bu esnada hidroksit iyonları salınır. Anotta ise, metal hidrit, hidroksit iyonlarıyla reaksiyona girerek metal ile su oluşturmakta ve elektronlar açığa çıkmaktadır Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.13, 3.14 ve 3.15’de gösterilmektedir:

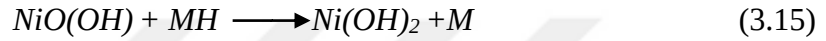
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



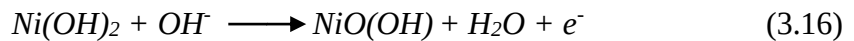
Ni-MH Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



Bir NiMH hücresinin özgül enerjisi yaklaşık 80 Wh/kg'dır; bu, neredeyse alkalın hücreninki kadar yüksektir ve NiCd bataryaninkinden iki katından fazladır. Nikel Metal Hidrit bataryaların nominal hücre voltajı 1,32 V olarak kabul edilmektedir. NiMH bataryalar aşırı şarja, aşırı ısınmaya, yanlış kutuplara ve ayrıca derin deşarja karşı hassastır. [41,42]

Şarj sırasında, dışarıdan verilen elektrik enerjisi ile batarya yeniden şarj edilmektedir. Deşarj esnasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler tam tersine dönerken, elektrotlar eski hallerine geri dönmektedirler. Bu esnada elektronlar dış devrede anota akmaktadırlar. Şarj işlemi sırasında bataryadaki reaksiyonlar, deşarj tepkimelerinin tersidir. Elektrik enerjisi, kimyasal enerjiye dönüştürülerek anottaki metal ve su, metal hidrit haline geri gelirken, katotta ise nikel hidroksit, nikel oksihidroksit haline geri dönmektedirler. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.16, 3.17 ve 3.18’de gösterilmektedir:

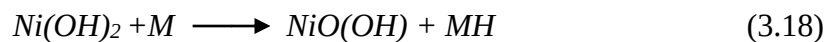
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



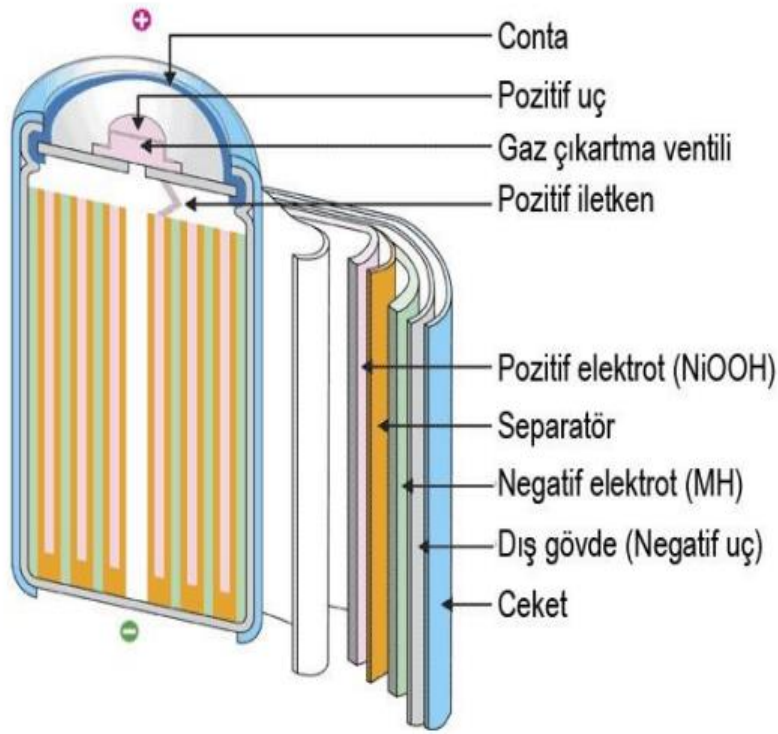
Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Ni-MH Akü Genel Şarj Tepkimesi:



Bir Ni-Cd batarya hücresi ise aşağıda yer alan şekil 3.6'da gösterilmektedir:



Şekil 3.6 : Ni-Mh batarya hücresi [40].

3.3.4 Lityum iyon batarya

Lityum iyon bataryalar, elektrikli araçlarda ve son yıllarda özellikle forklift sektöründe en çok kullanılan batarya türleri arasındadır. Çok yüksek performansa sahip bataryalardır. Birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğu ve voltaja sahip batarya türüdür. Hafif oldukları için çok avantaja sahiptirler. Hafıza etkisi olmaması ve kendi kendine deşarj süresi çok uzun olduğu için yüksek çevrim ömrüne sahiptirler. Çok geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler.

Lityum reaktif bir maddedir dolayısıyla patlama ve yanma riski mevcuttur. Lityum iyon bataryalar deşarj olduktan sonra şarj edildiklerinde aşırı şarj akımı çektikleri için sabit akım moduyla şarj edilmeleri gerekmektedir. Gerilim seviyesi belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra sabit voltaj moduna geçilir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi bu tür şarj işlemine sabit akım sabit voltaj (CCCV) şarj profili adı verilmektedir. Şarj işlemi maksimum değere kadar sabit akımda yapılmalıdır. Lityum iyon bataryalar, diğer bataryalarda olduğu gibi pozitif, negatif elektrot ve elektrolit olarak üç ana yapıdan oluşmaktadır. Hem anot hem de katot lityum iyonlarının geçişlerini engellemeyen mikro gözenekli polimer membran olan bir ayırıcı ile ayrılmaktadır. Katot çoğunlukla,

oluklu veya katmanlı bir yapıya sahip olan metal oksitlerden oluşmaktadır. Anot da katmanlı yapılardan oluşur. Bataryanın deşarj ve şarj olduğu anlarda lityum iyonları hem anot hem de katot arasında çift yönlü olarak hareket ederler. Bu çift yönlü hareketi sağlayan, anot ve katotun bu şekilsel yapılarıdır. Çift yönlü olarak gerçekleşen bu harekete, topotaktik tepkimesi olarak adlandırılır. Bu tepkimede yer alan aktif maddeler, pozitif ve negatif elektrotlar olarak, lityum için konaklama yeri görevi görmekteyken, lityum da anot ve katot arasında hareket halindedir. Şarj yapılırken, pozitif elektrottan kopan lityum iyonları, elektrolit sayesinde ayırıcıdan geçer ve sonrasında negatif elektrot ile bileşik oluştururlar. Benzer şekilde, pozitif elektrottan kopan elektronlar dış bir devre vasıtasıyla negatif elektrot tarafından yakalanır. [40] Lityum bataryaları, pozitif elektrotta lityum kobalt oksit, negatif elektrotta çoğunlukla grafit, elektrolitte ise sık olarak kullanılan bir lityum tuzu olan lityum hexafluorophosphate oluşmaktadır. Katotta, lityum kobalt oksit, lityum iyonlarını alır. Lityum ile doldurulmuş kobalt oksit meydana gelir. Anotta ise, lityum iyonları ve elektronlar grafit yapısından ayrılır. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.19, 3.20 ve 3.21’de gösterilmektedir:

Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



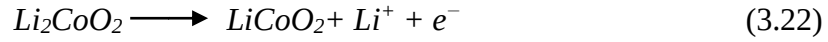
Lityum İyon Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



Lityum iyon bataryaların nominal hücre voltajı 2,5 V ile 4,2 V arasındadır.

Şarj sırasında, dışarıdan verilen elektrik enerjisi ile batarya yeniden şarj edilmektedir. Deşarj esnasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler tam tersine dönerken, elektrotlar eski hallerine geri dönmektedirler. Bu esnada elektronlar dış devrede anota akmaktadırlar. Şarj işlemi sırasında bataryadaki reaksiyonlar, deşarj tepkimelerinin tersidir. Elektrik enerjisi, kimyasal enerjiye dönüştürülerek katotta, lityum kobalt oksit, lityum iyonlarını kaybederken, anotta ise, lityum iyonları ve elektronlar, grafit anota geçer. Oluşan tepkimeler, denklemler 3.22, 3.23 ve 3.24’de gösterilmektedir:

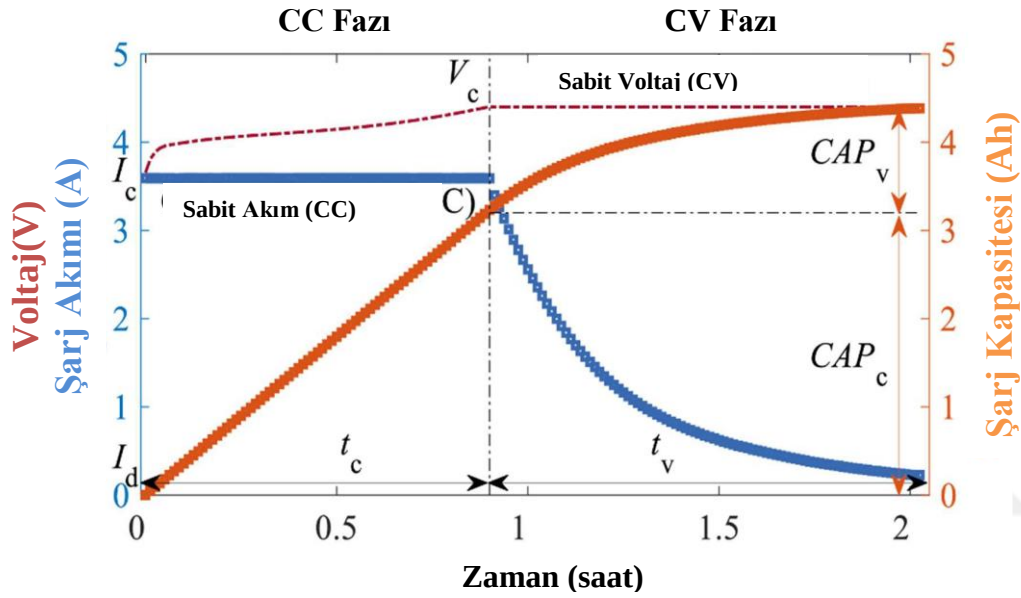
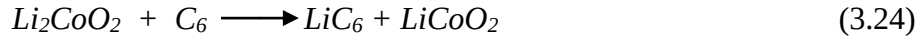
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Lityum İyon Akü Genel Şarj Tepkimesi:



Şekil 3.7 : Lityum iyon bataryaların sabit akım sabit voltaj şarj grafiği [43].

3.3.5 Lityum iyon polimer batarya

Lityum iyon polimer (LiPo) bataryalar, lityum iyon bataryaların bir türü olup, benzer özellikler gösterirler. En belirgin fark ise sıvı elektrolit yerine polimer elektrolit içermesidir. Polimer elektrolit, organik sıvıdan elektriksel olarak daha iyi bir iletken olduğundan ötürü lityum iyon polimer bataryaların hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlar. Sızıntı riski sıvı elektrolite göre daha düşüktür. Yüksek iletkenliğe sahip, düşük viskoziteli, kimyasal ve termal stabilizeyi sağlamaktadır. Yüksek güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Hafif ve esnek yapılarıyla bilinirler. Yüksek enerji depolayabilmeleri, düşük hafıza etkisi yani tam olarak boşalmadan şarj edilmelerinden ötürü performansları olumsuz etkilenmemektedirler. Aynı kapasiteye sahip lityum iyon bataryalarla karşılaştırıldıklarında daha hafif kalırlar. Genellikle kese tipinde üretilen LiPo bataryalar, güvenli olarak kullanılabilmesi için BMS veya koruma devreleriyle beraber kullanılmaktadırlar [44].

Lityum iyon polimer bataryalarında, pozitif elektrotta bir tabakalı lityum metal oksit, negatif elektrotta çoğunlukla grafit, elektrolitte ise polyethylene oxide gibi polimerlerden oluşmaktadır. Katotta, metal oksit, lityum iyonlarını alır. Lityum metal oksit meydana gelir. Anotta ise, lityum iyonları ve elektronlar grafit yapısından ayrılır ve serbest kalır. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.25, 3.26 ve 3.27’de gösterilmektedir:

Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



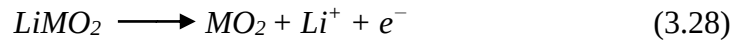
Lityum İyon Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



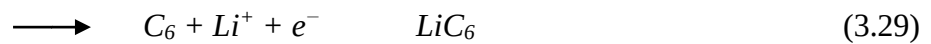
Lityum iyon polimer bataryaların nominal hücre voltajı 2,5 V ile 4,2 V arasındadır. Genellikle 3,7 V olarak kabul edilmektedir.

Şarj sırasında, dışarıdan verilen elektrik enerjisi ile batarya yeniden şarj edilmektedir. Deşarj esnasında gerçekleşen kimyasal tepkimeler tam tersine dönerken, elektrotlar eski hallerine geri dönmektedirler. Bu esnada elektronlar dış devrede anota akmaktadırlar. Şarj işlemi sırasında bataryadaki reaksiyonlar, deşarj tepkimelerinin tersidir. Elektrik enerjisi, kimyasal enerjiye dönüştürülerek katotta, lityum metal oksit, lityum iyonlarını kaybederken, anotta ise, lityum iyonları ve elektronlar, grafit anota geçer. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.28, 3.29 ve 3.30’da gösterilmektedir:

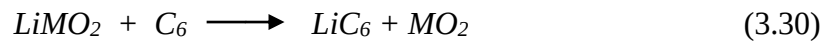
Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Lityum İyon Akü Genel Şarj Tepkimesi:

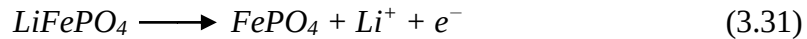


3.3.6 Lityum demir fosfat (LFP) batarya

Lityum iyon bataryalardan biri olan LFP batarya, adını katot olarak kullanıldığı LiFePO_4 'ten almaktadır. Uzun ömürlü, daha güvenli, diğer lityum bataryalara göre daha kararlıdır. Yüksek enerji yoğunluğuna ve termal stabilizeye sahip olduklarından ötürü aşırı ısınma ve yanma riski oldukça azdır [45]. Soğuk hava şartlarına sahip ortamlarda iyi bir verimlilik vermesine ve patlamaya karşı dirençli olmasından ötürü tercih edilmektedirler. Geri dönüştürülmesi kolay olduğu ve kobalt içermediğinden ötürü çevre dostu bataryalar olarak bilinmektedirler. Toksik olmayan malzemelerden üretildikleri, demir ve fosfatın hem ucuz hem de bol miktarda olmasından ötürü düşük maliyetler harcanarak üretilirler. Yüksek şarj/deşarj döngü kapasitesine sahip olmaları, diğer lityum iyon teknolojilerine göre daha dayanıklı kılmaktadır. Özel güvenlik önlemleri gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Örnek olarak, elektrikli araçlar ve güneş enerji sistemleri gösterilebilir [46].

LFP bataryaları, pozitif elektrotu olan lityum demir fosfat, negatif elektrotu genellikle karbon bazlı bir materyal olan grafitten oluşmakta olup, şarj edilebilir bir bataryadır. Elektrolitte ise lityum tuzu içeren bir organik çözelti ya da katı hâl elektroliti kullanılmaktadır. Örnek olarak yüksek iyonik iletkenlik sağlamadığı için lityum heksaflorofosfat verilebilir. Katotta, lityum demir fosfatın lityum iyonlarını serbest bırakır. Serbest kalan iyonlar, bataryanın elektroliti vasıtasıyla anota doğru ilerler. Benzer zamanda, elektronlar da harici bir devre üzerinden ilerler ve elektriksel güç sağlar. Bu esnada, hareket eden lityum iyonları ve elektronlar anot tarafında depolanır. Plakalarda oluşan tepkimeler, denklemler 3.31, 3.32 ve 3.33'de gösterilmektedir:

Pozitif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



Negatif Plaka Elektrokimyasal Tepkimesi:



LFP Akü Genel Deşarj Tepkimesi:



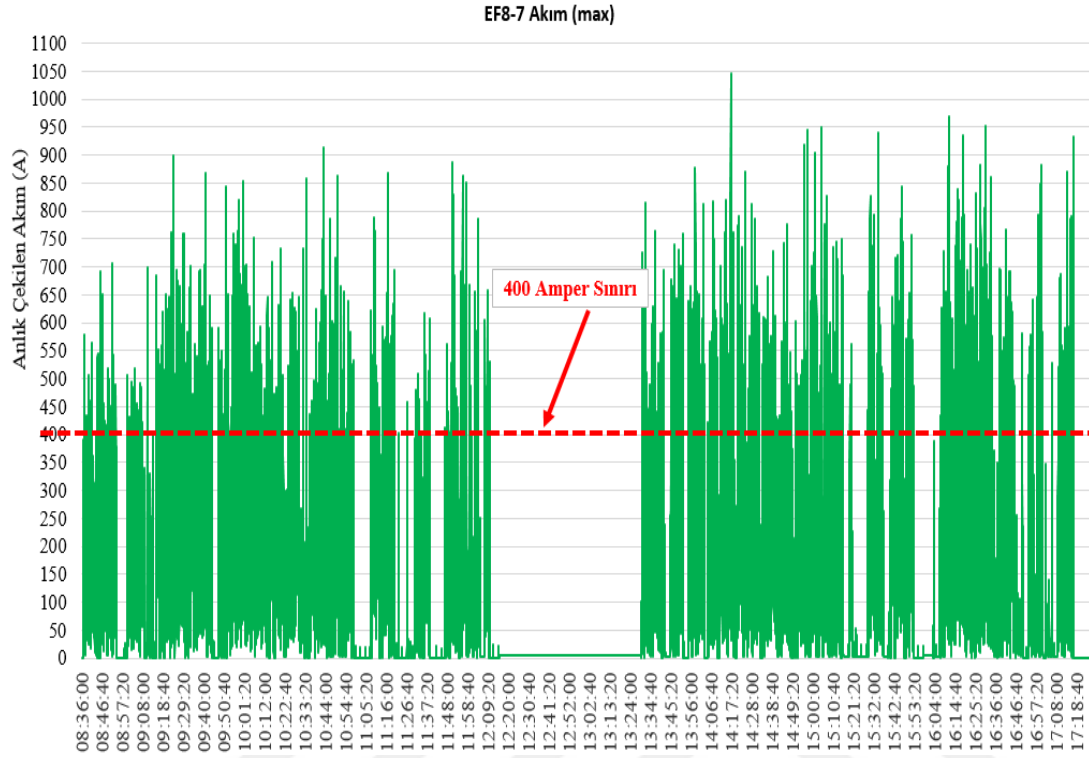
4. LİTYUM İYON BATARYA HESAPLAMALARI

Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, sektörde bilinen kısa adıyla KEAS şirketi, 1969 yılında kurulmuş, ahşap bazlı panel sektöründe faaliyet gösteren, yurtdışında İtalya, Rusya, Bulgaristan, Romanya’da, yurtiçinde Gebze, Kastamonu, Balıkesir, Adana, Samsun ve Tarsus’ta fabrikaları olan sektöründe lider bir firmadır. 2015 yılında, sektöründe ve dünyada öncü olarak, kullandığı 12 tonluk Kalmar DCE120 dizel forkliftler yerine, o zamanın şartlarında bulunan 8 tonluk Linde E80/900 elektrikli forkliftleri kullanmaya başlamıştır. Hem piyasa hem de elektrikli forkliftlerin alındığı dönemdeki batarya teknolojisinden ötürü öncelikli olarak traksiyonel aküler kullanılmıştır. Firma, yedi gün boyunca, yirmi dört saat çalışmaktadır. Üç vardiya çalıştığından ve forklift ihtiyacı sürekli olduğundan ötürü bir elektrikli forklift için iki adet traksiyonel akü olacak şekilde programlama yapılmıştır. Bundan ötürü, bir adet traksiyonel akü elektrikli forklifte kullanılırken, diğer akü bu sürede şarj olmaktadır. Traksiyonel akü ömürlerinden ötürü ortalama beş yılda değişim yapılması planlanmış, performans düşüşü ve sorunları olan traksiyonel aküler değiştirilmektedir.

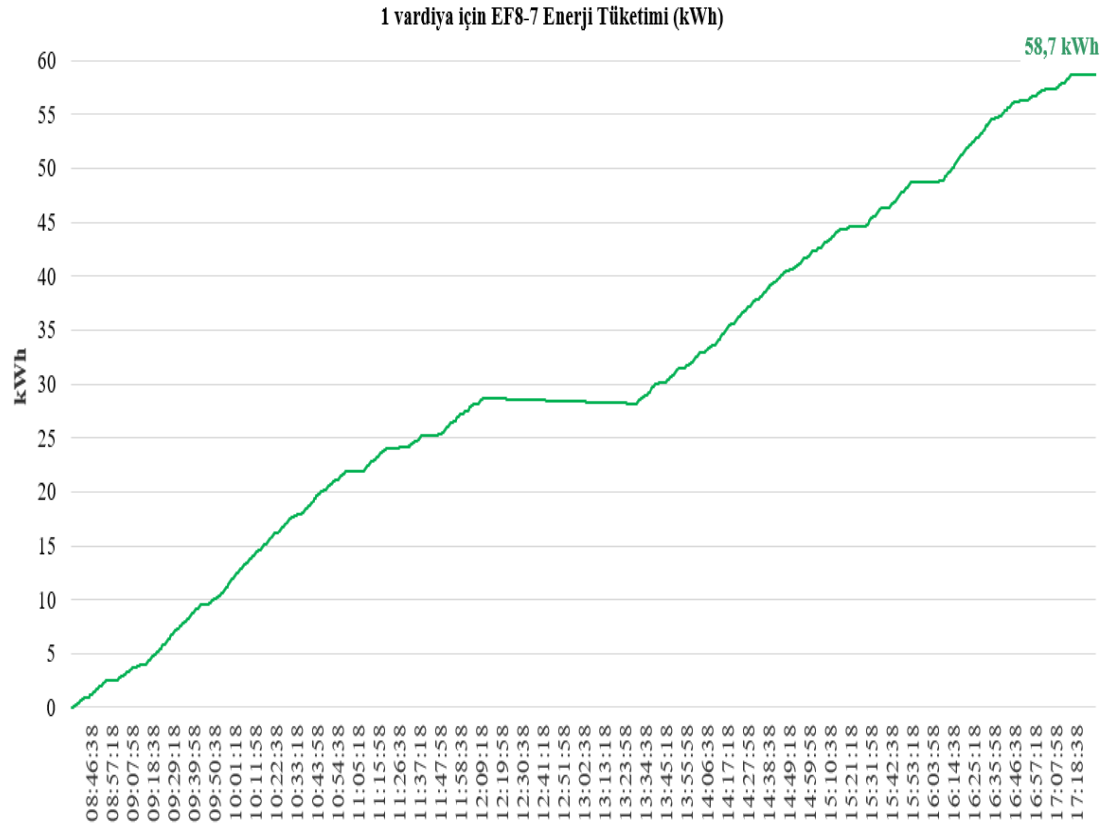
4.1 Elektrikli Forkliftlerin Güç Tüketim Hesaplamaları

Gebze KEAS fabrikasında, elektrikli forkliftlerin güç tüketimlerini görmek için yük profili çıkartma testi yapıldı. Bu testte, üç farklı bölgede çalışan üç adet forklift seçilip, bir vardiya boyunca harcadığı güç ile yapılan işlemlere göre akım çekiş oranlarını bulmak amaçlanmıştır. EF8-7 numaralı forklift Yonga Levha zımpara bölgesinden, EF8-6 numaralı forklift İhracat bölgesinden ve EF8-10 numaralı forklift ise Sevkiyat bölgesinden çekilmiştir. Yapılan testler sonucunda, elektrikli forkliftler farklı alanlarda, normal vardiyalarında çalıştıkları şekilde çalışıp, yükleme, boşatma ve taşıma işlemleri yapmışlardır. Vardiya sonunda elde edilen, elektrikli forkliftlere ait Anlık Çekilen Akım (A) ve 1 Vardiya İçin Enerji Tüketimi Grafikleri (kWh) ve diğer veriler kullanılarak özet bir tablo hazırlandı. 400 A Sınırı, ortalama akım değeri olarak belirlenip ve grafiklerde gösterilmiştir. Elektrikli forkliftlere ait Anlık Çekilen Akım

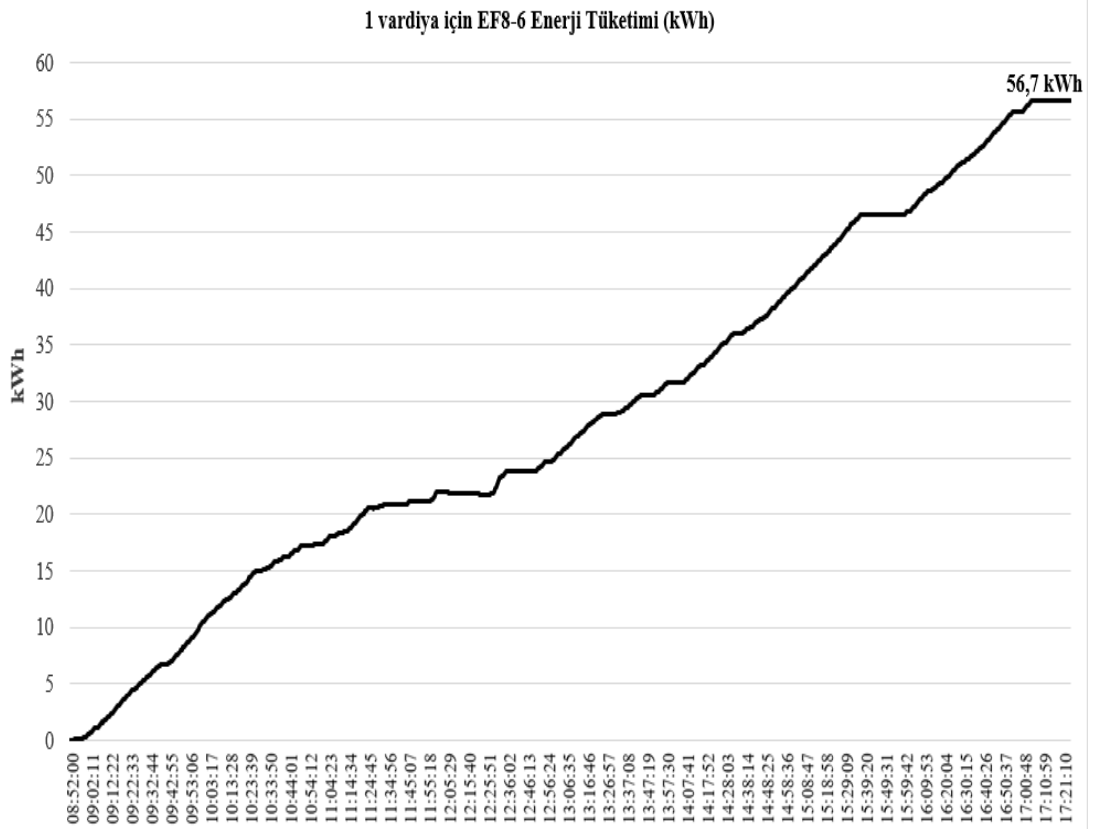
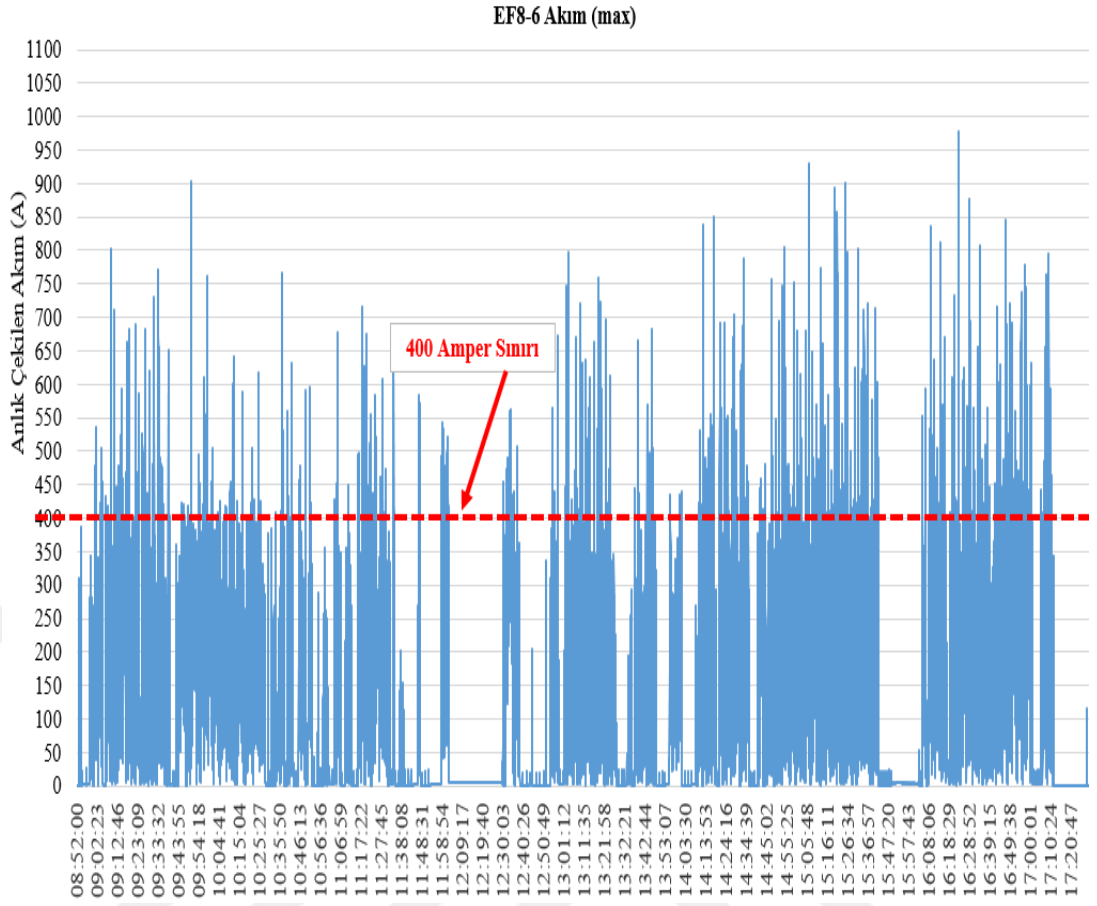
grafikleri Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'te, 1 Vardiya İçin Enerji Tüketimi Grafikleri (kWh) ise Şekil 4.2, Şekil 4.4 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

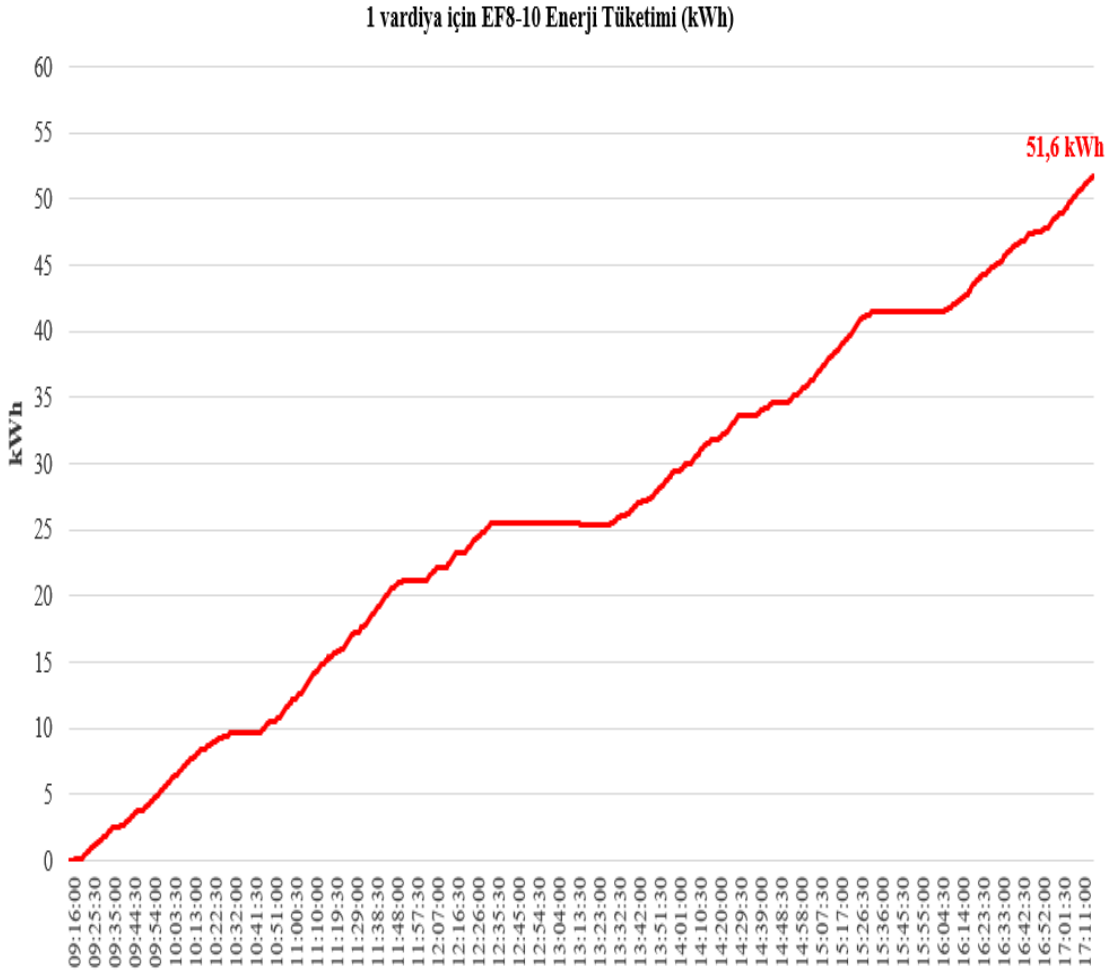
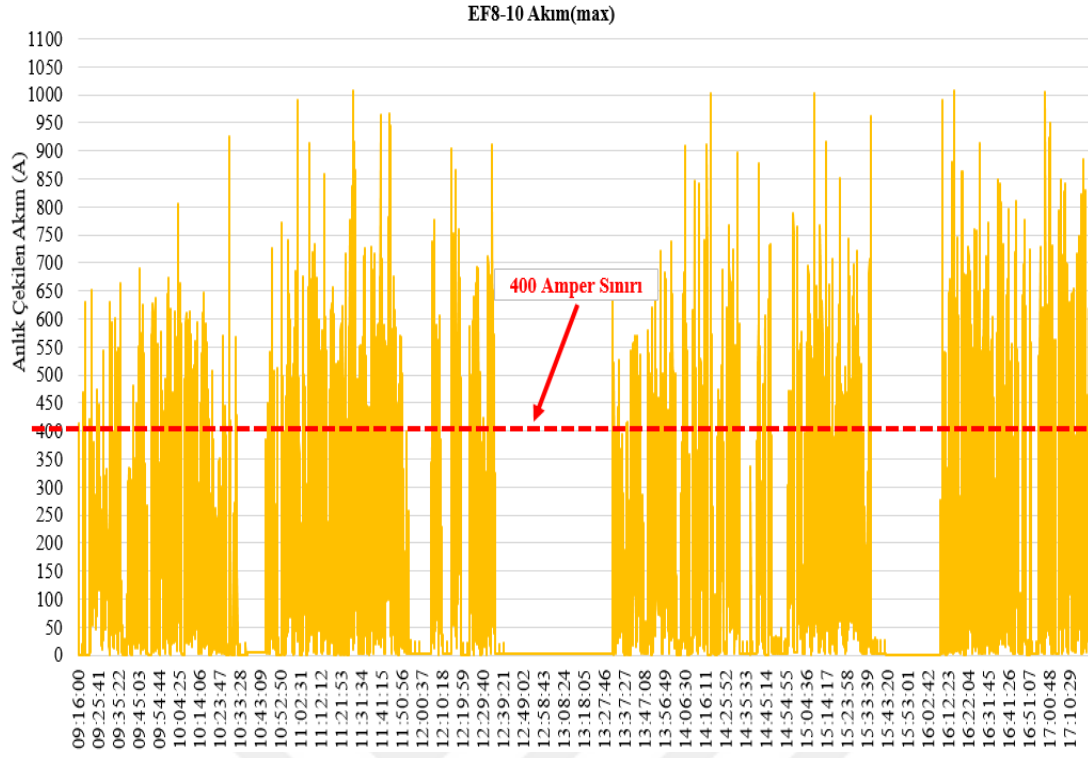


Şekil 4.1 : EF8-7 akım grafiği.



Şekil 4.2 : EF8-7 enerji tüketim grafiği.





şeklindedir. Bu elektrikli forkliftlere ait çekilen amperlerin ortalama yüzdeleri ve enerji tüketim özet tablosu Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Elektrikli forkliftlerin çekilen amperlerin ortalama yüzdeleri ve enerji tüketim tablosu.

		EF8-6	EF8-7	EF8-10
Deşarj Süresi	Saat	~8	~8	~8
250 Amper Üstü Akım Çekiş Oranı	%	20,7	23,2	21,2
400 Amper Üstü Akım Çekiş Oranı	%	4,9	10	10
600 Amper Üstü Akım Çekiş Oranı	%	1	2	2
800 Amper Üstü Akım Çekiş Oranı	%	0,08	0,2	0,02
Enerji Tüketimi	kWh	56,7	58,7	51,6

4.2 Lityum İyon Batarya Seçimi Hesaplamaları

Elektrikli forkliftler ilk alındığında, Şekil 4.8’de gösterilen etiketteki gibi Hawker firmasının, 80V, 1376 Ah ve C5 özelliklerine sahip 8PzQ1376 4P akü bloğu kullanılmıştır. Bu akü bloğu, 40 adet akü hücresinden oluşmaktadır. Her bir hücrenin boyutları; 15,5 cm uzunluk, 19,8 cm genişlik ve 75 cm yüksekliğe sahiptir.

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi hücrelerin tek tek yerleştirildiği akü bloğunun ölçüleri: 130 cm genişlik, 80 cm yükseklik ve 125 cm uzunluğa, 2992 Kg ağırlığa sahiptir. Akü bloğuna ve etiketine ait fotoğraflar aşağıda yer almaktadır:



Şekil 4.7 : Batarya bloğu.



Şekil 4.8 : Batarya blok etiketi.

Aküler bağlantı şekillerine göre seri ve paralel bağlama olarak ikiye ayrılmaktadır. Akü bloğunun voltajı arttırılmak istendiğinde hücreler seri, kapasitesi arttırmak istendiğinde ise paralel olarak bağlanırlar. Hücreleri seri bağlandığında akünün eksi ucu diğer akünün artı ucuna, paralel bağlanmak istenirse eksi ucu diğer akünün eksisine bağlanır. Fotoğraflarda görüldüğü üzere, 40 adet hücre, akü bloğunun voltajı arttırmak için seri bağlanmıştır.

Her bir hücrenin nominal voltajı;

Nominal Voltaj (V) = Akü Bloğu Nominal Voltajı (V) / Hücre adedi (adet) formülüyle bulunur.

Nominal Voltaj (V)= 80 V / 40 (adet) hesabı yapıldığında, 2 V/ adet olarak bulunur.

Akü blok kapasitesi 1376 Ah'dir. Akünün gücüyle;

Akü Gücü (kWh) = Akü Blok Kapasitesi (Ah) x Akü Nominal Voltajı (V) formülüyle bulunur.

Akü Gücü (kWh) = 1376 Ah x 80 V hesabı yapıldığında yaklaşık 110,1 kWh olarak hesaplanmaktadır. (Ah x V çarpımı bize, Watt saati vermektedir. 1000 Wh = 1 kWh)

Yapılan tezde, yukarıda özellikleri bahsedilen traksiyonel akü bloğuna alternatif olacak bir lityum iyon akü bloğu oluşturacak akü hücreleri aranmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, Pomega firmasının tasarladığı, PLFP-100, PLFP-150 ve PLFP-302 batarya hücreleri kullanılarak, hem güç hem de performans olarak bu aküye eşdeğer sayılabilecek lityum iyon akü blok tasarım hesaplaması, Çizelge 4.2’de gösterilen özellikler kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 4.2 : Pomega hücre özellikleri.

Model	PLFP-10	PLFP-150	PLFP-302
Nominal Kapasite	100 Ah	150 Ah	302 Ah
Nominal Potansiyel	3,2 V	3,2 V	3,2 V
Mak. Şarj Potansiyeli	3,65 V	3,65 V	3,65 V
Mak. Deşarj Potansiyeli (≤0°C)	2,50 V	2,50 V	2,50 V
Min. Deşarj Potansiyeli (≤0°C)	2,00 V	2,00 V	2,00 V
Deşarj Sıcaklığı	-15 ~ 50 °C	-15 ~ 50 °C	-15 ~ 50°C
Şarj Sıcaklığı	0 ~ 50 °C	0 ~ 50 °C	0 ~ 50 °C
Depolama Sıcaklığı	-10 ~ 60 °C	-10 ~ 60 °C	-10 ~ 60°C
Standart Deşarj Akımı (≤0°C)	0,5C / 0,5C	0,5C / 0,5C	0,5C / 0,5C
Mak. Sürekli Deşarj Akımı	1C / 1C	1C / 1C	0,5C / 1C
Mak. Kısa Süreli Deşarj Akımı	2C / 2C	1,5C(30S) / 2C(10S)	2C / 2C
ACR (25 °C, %15 SOC, 1 KHz)	≤0,6 mΩ	≤0,6 mΩ	≤0,3 mΩ

Çizelge 4.2 (devam): Pomega hücre özellikleri.

Model	PLFP-100	PLFP-150	PLFP-302
DCR (25 °C, %50 SOC, 100 A/10s)	$\leq 2,0\text{m}\Omega$	$\leq 2,0\text{m}\Omega$	$\leq 0,6\text{m}\Omega$
Kapasite Tutma (25°C,%100SOC,30 gün)	$\geq \% 95$	$\geq \% 95$	$\geq \% 95$
Kapasite Tutma (60°C, %100SOC, 7 gün)	$\geq \% 95$	$\geq \% 95$	$\geq \% 95$
Kapasite Kaybı	$\leq \%4 / \text{ay}$ (%50SOC,25°C)	$\leq \%4 / \text{ay}$ (%50SOC,25°C)	$\leq \%4 / \text{ay}$ (%50SOC,25°C)
Döngü Ömrü (*)	≥ 5000	≥ 5000	≥ 5000
Akü Ömrü	$\geq 10 \text{ Yıl}$	$\geq 10 \text{ Yıl}$	$\geq 10 \text{ Yıl}$
Ömür Sonu	$< \% 80$	$< \% 80$	$< \% 80$
Tavsiye Edilen SOC Aralığı	$\% 10\% - \% 90$	$\% 10 - \% 90$	$\% 10 - \% 90$
Mekanik Özellikler			
Nem Aralığı	0-% 85 RH	0-% 85 RH	0-%85 RH
Rakım	<4500m	<4500m	<4500m
Muhafaza	Prizmatik-Alüminyum	Prizmatik-Alüminyum	Prizmatik-Alüminyum
Uzunluk	$173,9 \pm 0,5 \text{ mm}$	$173,9 \pm 0,5 \text{ mm}$	$173,5 \pm 1,0 \text{ mm}$
Genişlik	$48,6 \pm 0,5 \text{ mm}$	$48,6 \pm 0,5 \text{ mm}$	$72,0 \pm 1,0 \text{ mm}$
Yükseklik (Kutup başları hariç)	$115,6 \pm 0,5 \text{ mm}$	$166,6 \pm 0,5 \text{ mm}$	$204,5 \pm 1,0 \text{ mm}$
Yükseklik (Kutup başları dahil)	$119,4 \pm 0,5 \text{ mm}$	$170,4 \pm 0,5 \text{ mm}$	$208,8 \pm 1 \text{ mm}$
Ağırlık	$2 \pm 0,1 \text{ kg}$	$2,9 \pm 0,1 \text{ kg}$	$5,49 \pm 0,3 \text{ kg}$

(*) Test Koşulları: 25°C, 80% DOD, 80% SOH, 0.5C Şarj/Deşarj

Çizelge 4.2’de özellikleri belirtilen PLFP-100 akü hücresinin, nominal potansiyeli 3,2 V, nominal kapasitesi ise 100 Ah’dır. Akü bloğu nominal voltajı 80 V olan akü bloğunu oluşturmak için kaç adet PFP-100 hücresinin seri bağlanması gerektiğinin hesap edilmesi gerekmektedir. Seri bağlanması gerekli hücre sayısının formülü:

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= Akü Blok Nominal Voltajı / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Potansiyeli

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= 80 V / 3,2 V hesabı yapıldığında, 25 olarak hesaplanmaktadır.

Akü bloğunun kapasitesi 1376 Ah olup, bu kapasiteyi erişmek için kaç adet PFP-100 hücresinin paralel bağlanması gerektiğinin formülü ise;

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı= Akü Blok Kapasitesi (Ah) / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Kapasitesi (Ah)

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı = 1376 Ah / 100 Ah hesabı yapıldığında, 13,6 olarak bulunur. Yaklaşık olarak 14 adet akü hücresinin paralel bağlanması yeterli olacaktır. Gerekli akü hücre sayısı formülü:

Gerekli Akü Hücre Sayısı = Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı x Paralel Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Gerekli Akü Hücre Sayısı = 25 x 14 hesabı yapıldığında, 350 adet hücre gerekli olacaktır. PLFP-100 akü hücresinin genişliği 173,9 mm, derinlik 48.6 mm’dir.

Akü bloğu genişliği = Seçilen Akü Hücresinin Genişliği x Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Akü Blok Genişliği = 173,9 mm x 14 hesabı yapıldığında, 2434,6 mm olmaktadır. Yaklaşık 2435 mm genişliğine sahip bir akü bloğu oluşacaktır.

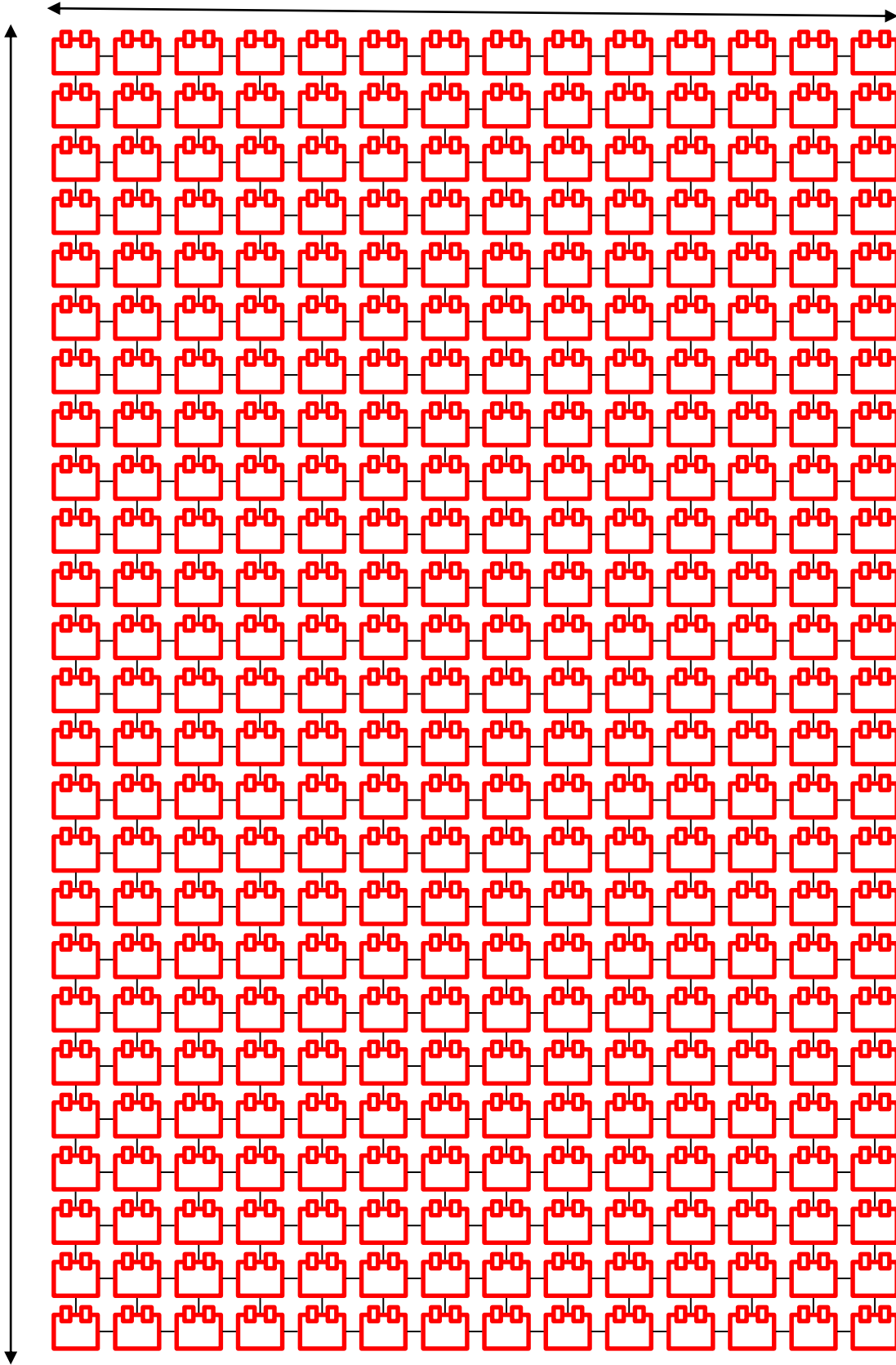
Akü Blok Derinliği = Seçilen Akü Hücresinin Derinliği x Paralel Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Akü Blok Derinliği = 48,6 mm x 25 = 1215 mm olmaktadır. Yaklaşık 1215 mm derinliğe sahip bir akü bloğu oluşmaktadır. Tek kat olacağı için akü bloğunun yüksekliği ise 119,4 mm olacaktır. Yapılan bu hesaplamalara göre oluşan akü bloğu, Şekil 4.9’da gösterilen çizime benzer şekilde olacaktır:

POMEGA-100

2435 mm

1215 mm



Şekil 4.9 : PLFP-100'e göre oluşan akü bloğu.

Çizelge 4.2’de özellikleri belirtilen PLFP-150 akü hücresinin, nominal potansiyeli 3,2 V, nominal kapasitesi ise 150 Ah’dır. Akü bloğu nominal voltajı 80 V olan akü bloğunu oluşturmak için kaç adet PFP-150 hücresinin seri bağlanması gerektiğinin hesap edilmesi gerekmektedir. Seri bağlanması gerekli hücre sayısının formülü:

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= Akü Blok Nominal Voltajı / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Potansiyeli formülüyle bulunur.

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= 80 V / 3,2 V hesabı yapıldığında, 25 olarak hesaplanmaktadır.

Akü bloğunun kapasitesi 1376 Ah olup, bu kapasiteyi erişmek için kaç adet PFP-150 hücresinin paralel bağlanması gerektiğinin formülü ise;

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı= Akü Blok Kapasitesi (Ah) / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Kapasitesi (Ah)

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı = 1376 Ah / 150 Ah hesabı yapıldığında, 9,17 olarak bulunur. Yaklaşık olarak 9 adet akü hücresinin paralel bağlanması alan durumundan dolayı yeterli olacaktır. Gerekli akü hücre sayısı formülü:

Gerekli Akü Hücre Sayısı = Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı x Paralel Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Gerekli Akü Hücre Sayısı = 25 x 9 hesabı yapıldığında, 225 adet hücre gerekli olacaktır.

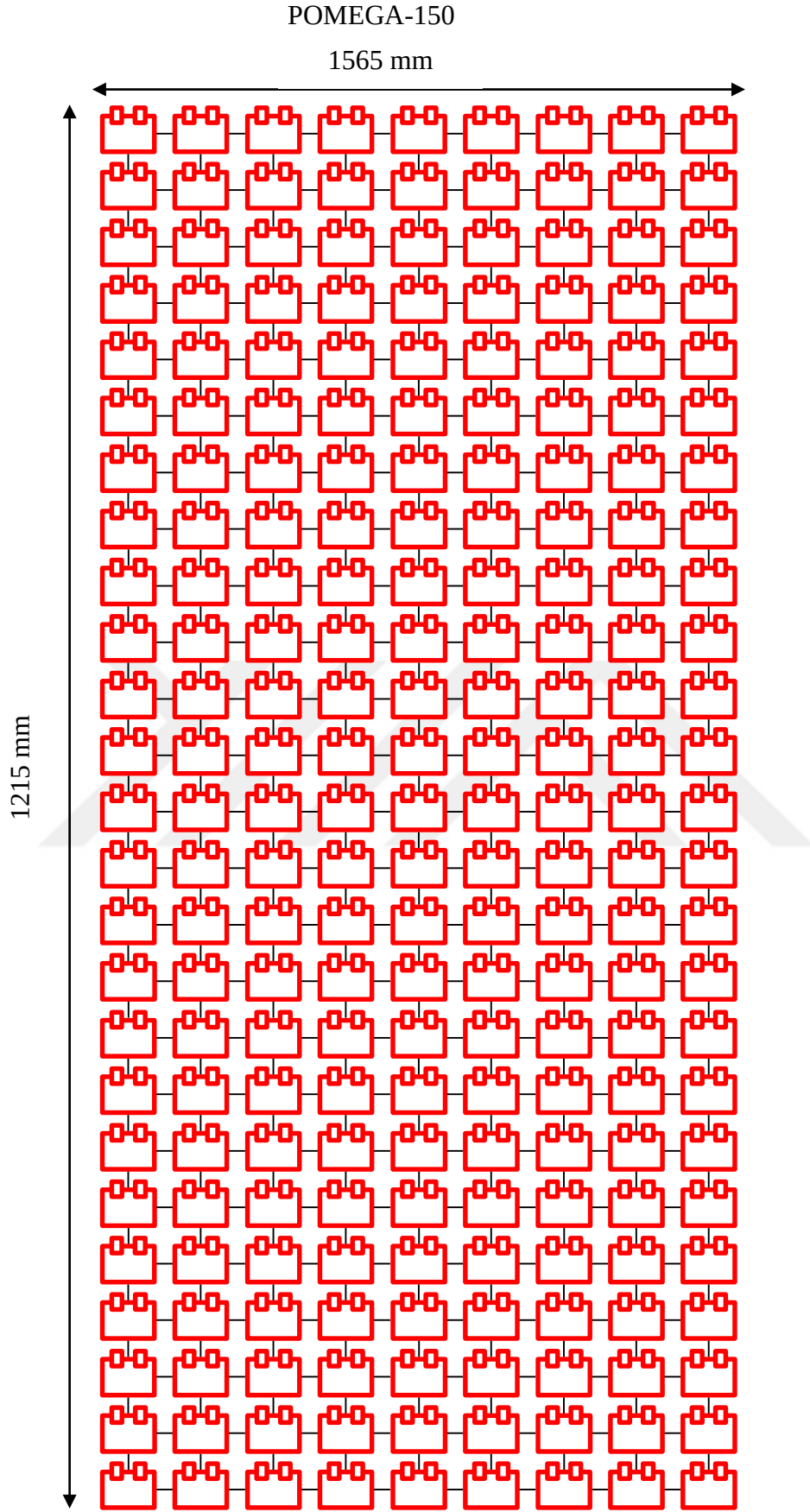
PLFP-150 akü hücresinin genişliği 173,9 mm, derinlik 48.6 mm’dir.

Akü bloğu genişliği = Seçilen Akü Hücresinin Genişliği x Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Akü Blok Genişliği = 173,9 mm x 9 hesabı yapıldığında, 1565,1 mm olmaktadır. Yaklaşık 1565 mm genişliğine sahip bir akü bloğu oluşacaktır.

Akü Blok Derinliği = 48,6 mm x 25 = 1215 mm olmaktadır. Yaklaşık 1215 mm derinliğe sahip bir akü bloğu oluşmaktadır.

Akü bloğu tek kat olacağı için akü bloğunun yüksekliği ise 170,4 mm olacaktır. Sonuç olarak, 1565,1mm genişliğinde, 1215 mm derinliğinde ve 170,4 mm yüksekliğinde bir batarya bloğu oluşacaktır. Yapılan bu hesaplamalara göre oluşan akü bloğu, Şekil 4.10’da gösterilen çizime benzer şekilde olacaktır:



Şekil 4.10 : PLFP-150'ye göre oluşan akü bloğu.

Çizelge 4.2’de özellikleri belirtilen PLFP-302 akü hücresinin, nominal potansiyeli 3,2 V, nominal kapasitesi ise 302 Ah’dır. Akü bloğu nominal voltajı 80 V olan akü bloğunu oluşturmak için kaç adet PFP-302 hücresinin seri bağlanması gerektiğinin hesap edilmesi gerekmektedir. Seri bağlanması gerekli hücre sayısının formülü:

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= Akü Blok Nominal Voltajı / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Potansiyeli

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= 80 V / 3,2 V hesabı yapıldığında, 25 olarak hesaplanmaktadır.

Akü bloğunun kapasitesi 1376 Ah olup, bu kapasiteyi erişmek için kaç adet PFP-302 hücresinin paralel bağlanması gerektiğinin formülü ise;

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı= Akü Blok Kapasitesi (Ah) / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Kapasitesi (Ah)

Hücre Paralel Bağlantı Sayısı = 1376 Ah / 302 Ah hesabı yapıldığında, 4,55 olarak bulunur. Yaklaşık olarak 5 adet akü hücresinin paralel bağlanması yeterli olacaktır. Gerekli akü hücre sayısı formülü:

Gerekli Akü Hücre Sayısı = Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı x Paralel Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Gerekli Akü Hücre Sayısı = 25 x 5 hesabı yapıldığında, 125 adet hücre gerekli olacaktır. PLFP-302 akü hücresinin genişliği 173,9 mm, derinlik 72 mm’dir.

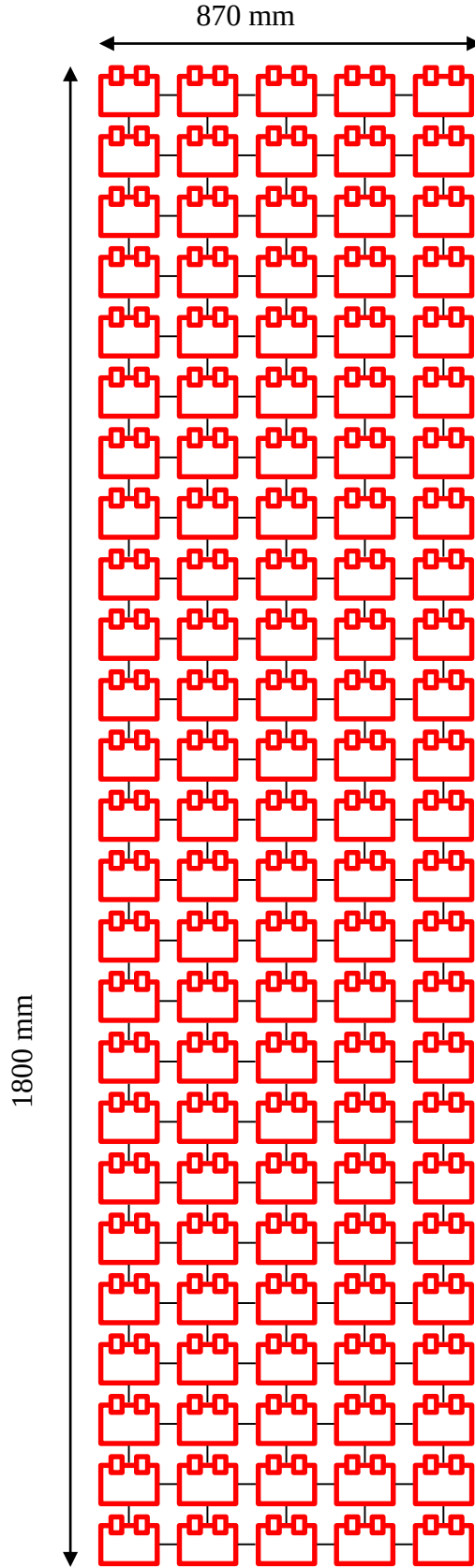
Akü bloğu genişliği = Seçilen Akü Hücresinin Genişliği x Seri Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Akü Blok Genişliği = 173,9 mm x 5 hesabı yapıldığında, 869,5 mm olmaktadır. Yaklaşık 870 mm genişliğine sahip bir akü bloğu oluşacaktır.

Akü Blok Derinliği = Seçilen Akü Hücresinin Derinliği x Paralel Bağlantı Yapılacak Hücre Sayısı

Akü Blok Derinliği = 25 x 72 mm = 1800 mm olmaktadır. Yaklaşık 1800 mm derinliğe sahip bir akü bloğu oluşmaktadır. Tek kat olacağı için akü bloğunun yüksekliği ise 208,8 mm olacaktır. Yapılan bu hesaplamalara göre oluşan akü bloğu, Şekil 4.11’de gösterilen çizime benzer şekilde olacaktır:

POMEGA-302



Şekil 4.11 : PLFP-302'ye göre oluşan akü bloğu.

Yukarıda belirtilen tüm bilgiler, Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3 : Hücrelerin kıyaslama çizelgesi.

	POMEGA-100	POMEGA-150	POMEGA-302
Nominal Potansiyel (V)	3,2	3,2	3,2
Nominal Kapasite (Ah)	100	150	302
Hücre Genişliği (mm)	173,9	173,9	173,9
Hücre Derinliği (mm)	48,6	48,6	72
Hücre Yüksekliği (mm)	119,4	170,4	208,8
Seri Bağlanacak Hücre Sayısı (Adet)	25	25	25
Paralel Bağlanacak Hücre Sayısı (Adet)	14	9	5
Gerekli Hücre Sayısı (Adet)	350	225	125
Akü Blok Genişliği (mm)	2435	1565	870
Akü Derinliği (mm)	1215	1215	1800
Akü Yüksekliği (mm)	119,4	170,4	208,8

4.3 Lityum İyon Tasarımı Batarya Hücresi Seçimi

Yapılan hesaplamalar sonucunda, üç farklı Pomega batarya hücresiyle traksiyonel akünün sağladığı kapasiteyi sağlamak için gereken batarya hücrelerinin, genişliklerinden dolayı alana sığmadığı görüldü. Traksiyonel aküler ortalama 5 saatte tam kapasiteli şarj edilmektedir. Lityum iyon aküler ise çok daha hızlı şarj olmaktadır. Bundan ötürü traksiyonel akülerden lityum iyon akülere geçilirken, her boş zamanda hızlı şarj edileceği için traksiyonel akünün yarı kapasitesinde aküler

tercih edilmektedir. Her vardiyada iki sefer, 15 dakikadan olmak üzere 30 dakika çay molası, 45 dakika yemek arası ve her vardiya değişiminde 30 dakika geçiş süresi bulunmaktadır. Bu boşluklarda yapılacak şarj ile lityum iyon aküleri sorunsuz kullanılabilecektir.

Alana en uygun ve akü kapasitesinin en fazla arttırılabileceği akü bloğu için PLFP-150 tercih edilmiştir. Bu batarya hücresinin tercih edilme sebebi, PLFP-100 batarya hücresiyle genişliğinin aynı olması ve PLFP-302 batarya hücresine göre derinliğinin daha az olmasıdır.

Alana en uygun olacak tasarım için gerekli batarya hücresi hesaplaması ise;

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= Akü Blok Nominal Voltajı / Seçilen Akü Hücresinin Nominal Potansiyeli

Hücre Seri Bağlantı Sayısı= 80 V / 3,2 V hesabı yapıldığında, 25 olarak hesaplanmaktadır. PLFP-150 akü hücresinin genişliği 173,9 mm, derinlik 48,6 mm idi. Bu ölçülere göre hesapladığında, bataryanın derinliği:

25 x 48,6 mm = 1215 mm olmaktadır. Yaklaşık 1215 mm derinliğe sahip bir akü bloğu oluşmaktadır. Tek kat olacağı için akü bloğunun yüksekliği ise 170,4 mm olacaktır.

Akü bloğunun genişliği, 1300 mm'dir. Bu alana sığabilecek en fazla PLFP-150 hesaplaması ise;

1300 / 173,9 = 7,47 olarak bulunur. Alana sığması için 7 adet akü hücresinin paralel bağlanması yeterli olacaktır. Bu durumda akünün kapasitesi etkilenecektir. Akü bloğu kapasitesi;

7 x 150 Ah = 1050 Ah olacaktır.

Akü gücü ise; 1050 Ah x 80 V= 84 kWh olarak hesaplanmaktadır.

7 hücre seri bağlandığında;

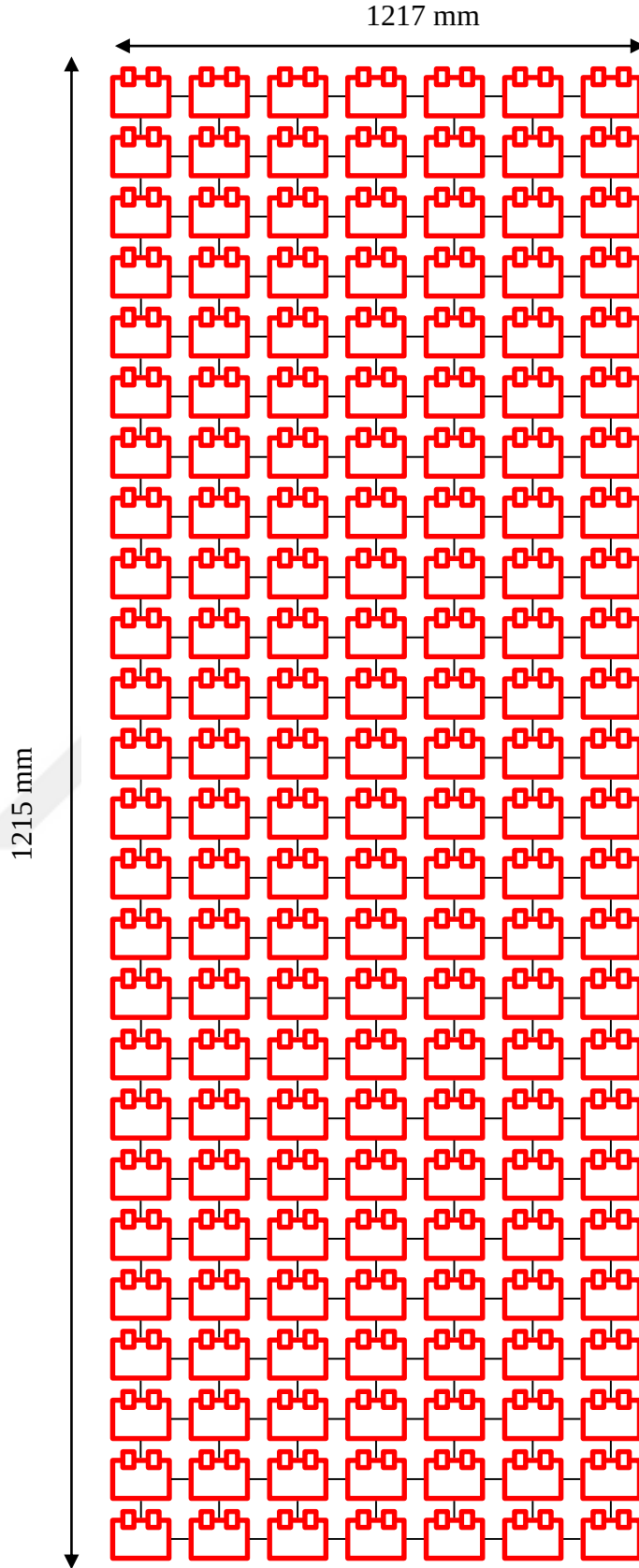
7 x 173,9 mm = 1217,3 mm olmaktadır. Yaklaşık 1217 mm genişliğine sahip bir akü bloğu oluşacaktır.

Gerekli akü hücre sayısı ise;

7 x 25 = 175 adet hücre gerekli olacaktır.

Bu hesaplamalara dayanarak oluşacak akü bloğu, Şekil 4.12'de gösterilen çizime benzer olacaktır

POMEGA-150



Şekil 4.12 : Alana en uygun akü blok tasarımı.



5. KURŞUN ASİT VE LİTYUM İYON BATARYA MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI

Maliyet hesabının yapılabilmesi ve daha doğru sonuca ulaşabilmek için sektördeki firmalardan alınan güncel fiyat listesi kullanılmıştır. Elektrikli forklift üreticileri, ilk 15 sene makinaya ait tüm yedek parça ve bakım hizmetini sağlamak zorunda olduğu için kıyaslama süresi 15 yıl olarak temel alınmış olup, tüm maliyetler 15 yıllık olarak hesaplanmıştır.

Kurşun asit bir akünün maliyeti, yaklaşık olarak 11000 Euro olmaktadır. Hem şarj süresi hem de forkliftlerin hiç durmadan çalışmasından ötürü yedek olarak iki adet akünün de şarj istasyonunda bulunması gerekmektedir. Bu zorunluluktan ötürü bir elektrikli forkliftin akü değişiminde, üç adet kurşun akü alınmaktadır. Bir kurşun asit akü verimli olarak sadece beş yıl çalışabilmektedir. Hesaplamayı 15 sene olarak aldığımız için bu sürede tam üç kere kurşun asit akülerin değiştirilmesi gerekmektedir. Hesaplamaları yaparken, Avrupa Birliği'nin gelecek 15 yıllık enflasyon ortalamasını %2 kabul edip, 15 yıllık tahvil getirisini % 2,67'den hesaplayarak, bugün ve gelecekteki harcanacak tüm giderler, Net Bugünkü Değer (NPV) hesabına göre yapılmıştır. Bu hesaba göre yapılması gereken formül:

$$Net\ Bugünkü\ Değer = R_t / ((1 + i) ^ t) \quad (5.1)$$

Formüldeki R_t , t zamanındaki net nakit akımı, i , indirim oranı, t nakit akış zamanıdır.

Buna ek olarak, yıllık olarak, akü odasının ortalama 250 €, personelin 750 €, ara bakım ve tamir hizmetleri toplamda 200 € maliyeti olmaktadır. Buda toplamda yıllık 1200 € tutmaktadır. Yine benzer şekilde, tüm harcamalar Net Bugünkü Değer hesabına göre hesaplanarak Çizelge 5.1'de gösterilmiştir. Lityum iyon demir fosfat akü için benzer hesaplama yapıldığında, 15 sene verimli çalışabileceği ve bakım yapma, yedek akü bulundurma gibi masraflar olmadığından ötürü sadece ilk alım maliyeti bulunmaktadır. İlk alım maliyeti ise bir lityum iyon demir fosfat aküde 50000 €'dur. Tüm bu hesaplamalardan yola çıkılarak, makine başı kar 54036 € olarak

hesaplanmaktadır. Buda %51,94 daha karlı bir operasyon olacak demektir. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi Net Bugünkü Değer formülüne göre giderler özetlenirse:

Çizelge 5.1 : Batarya maliyet kıyaslama çizelgesi

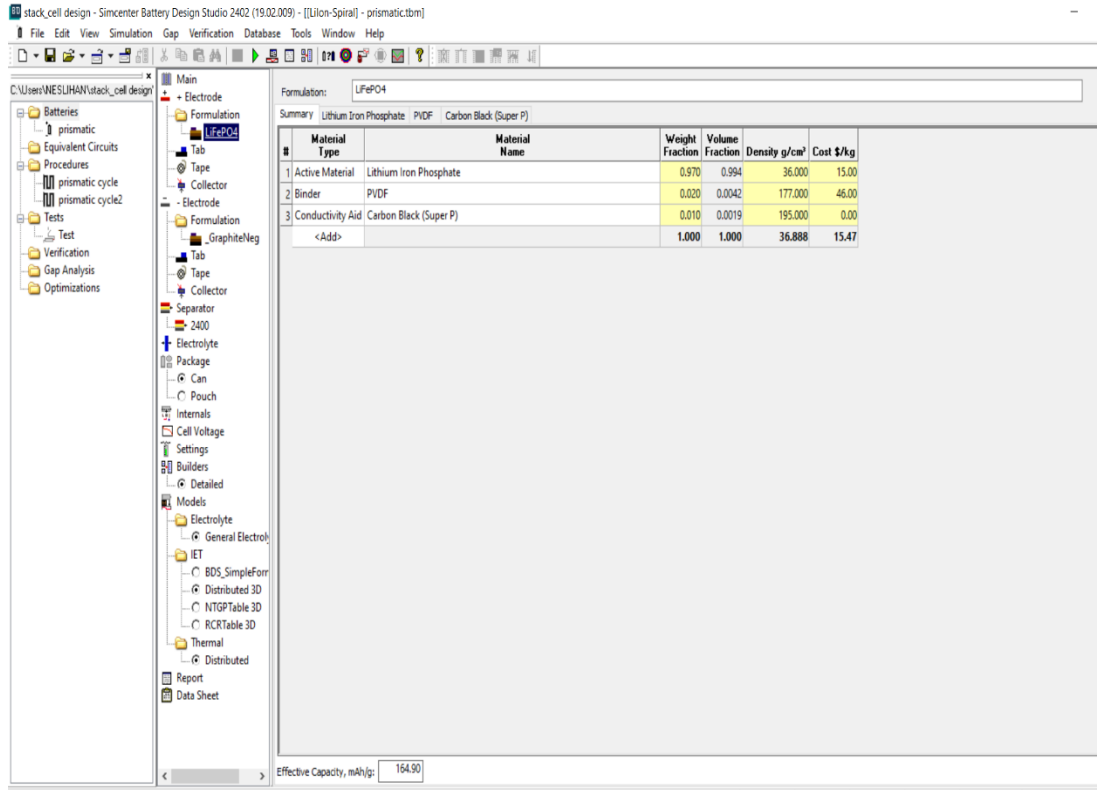
	Kurşun Asit	Lityum İyon
Güncel Akü Fiyatı (€)	11000	50000
Gerekli Akü (Adet)	3	1
Akü Ömrü (Yıl)	5	15
Akü Değişim Çevirimi	3	1
15 Yıllık Akü Odası NPV Gideri (€)	3490	0
15 Yıllık Personel NPV Gideri (€)	10471	0
15 Yıllık Bakım ve Tamir Hizmetleri NPV Gideri (€)	2792	0
Akülere Harcanacak NPV Tutarı (€)	87282	50000
15 Yıllık Akü Odası, Personel, Bakım ve Tamir Hizmetleri NPV Gideri (€)	16753	0
15 Yıllık Toplam Maliyet (€)	104036	50000
Kurşun Asit ve Lityum İyon Akü Maliyet Farkı (€)	54036	
Kar Yüzdesi (%)	51,94	

6. MODELLEME VE TERMAL ANALİZ

Tez kapsamında 100 Ah, 150 Ah ve 300 Ah LFP prizmatik hücreler ile değerlendirme yapılmış olup, kapasite ve batarya bloğu yerleşiminin en uygun hücre bloğu olarak 150 Ah'lık hücrelerin bulunduğu batarya bloğu seçilmiştir. Forklift içine yerleştirilen bloğun, Siemens Battery Design Studio ve StarCCM programları kullanılarak, performans ve termal analizleri simüle edilmeye çalışılmıştır.

6.1 Performans Verilerinin Elde Edilmesi

Battery Design Studio programında, Pomega 150 Ah LFP Prizmatik hücrenin verileri Şekil 6.1'de gösterilen ekranda açılan sekmelere veri olarak girilmiştir. “Batteries” sekmesi altında “prismatic” olarak adlandırılan hücrenin, anot ve katot elektrotlar ile ilgili, bileşim, oran, yoğunluk ve yükleme kapasiteleri gibi bilgiler verilmiştir. Hücrenin diğer komponentleri olan separatör, elektrolit ve dış kutu bilgileri de girilerek, test prosedürü oluşturma aşamasına geçilmiştir.



Şekil 6.1 : Siemens Battery Design Studio programı veri giriş ekranı.

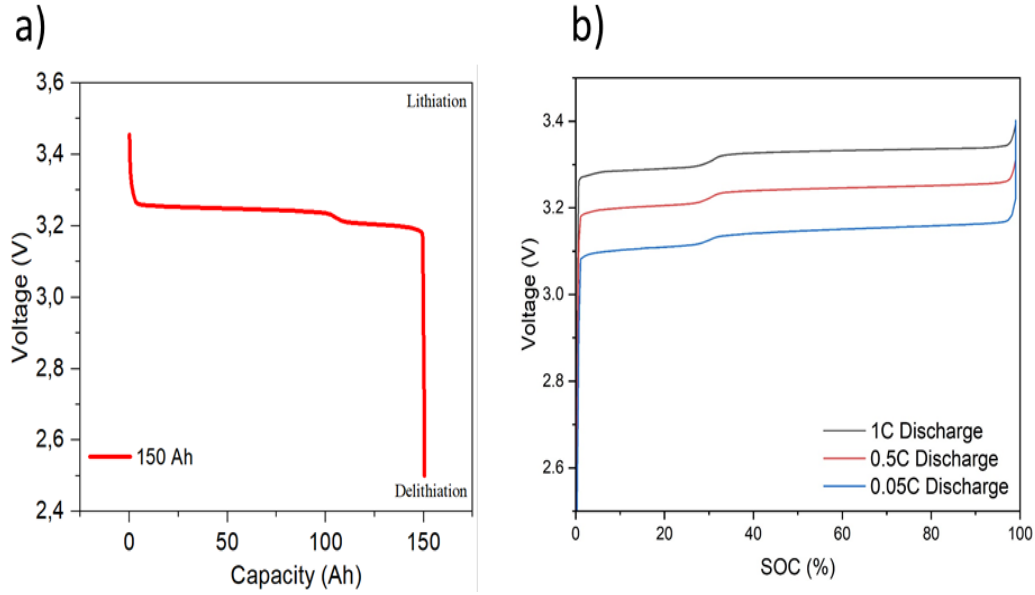
Şekil 6.2’de verildiği üzere, “prismatic” isimli hücre 2,7 - 4,2V aralığında 0,05C, 0,5C ve 1C hızlarında, “prismatic cycle2” olarak oluşturulan test prosedürü ile çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuç Şekil 6.3’te verilmiştir.

stack_cell design - Simcenter Battery Design Studio 2402 (19.02.009) - [prismatic cycle2]

Step	Type	Control Condition	Value	End Condition	Value	Limit Condition	Value	Report	Time
1	Rest			Time	10 s			0.01	1 min
2	Discharge	Current	50 A	Voltage <=	2.7 V			0.01	1 min
3	Rest			Time	10 s			0.01	1 min
4	Charge	Current	50 A	Voltage >=	4.2 V			0.01	1 min
5	Rest			Time	10 s			0.01	1 min
6	Goto 2			N Cycles	2				
7	End								

Şekil 6.2 : Siemens Battery Design Studio programında oluşturulan test prosedürü.

Şekil 6.3’te verildiği üzere, SimCenter StarCCM programında kullanılmak üzere, 150 Ah LFP prizmatik hücrelerin elektrokimyasal kimliği oluşturulmuş, voltaj grafikleri çıkarılmıştır.

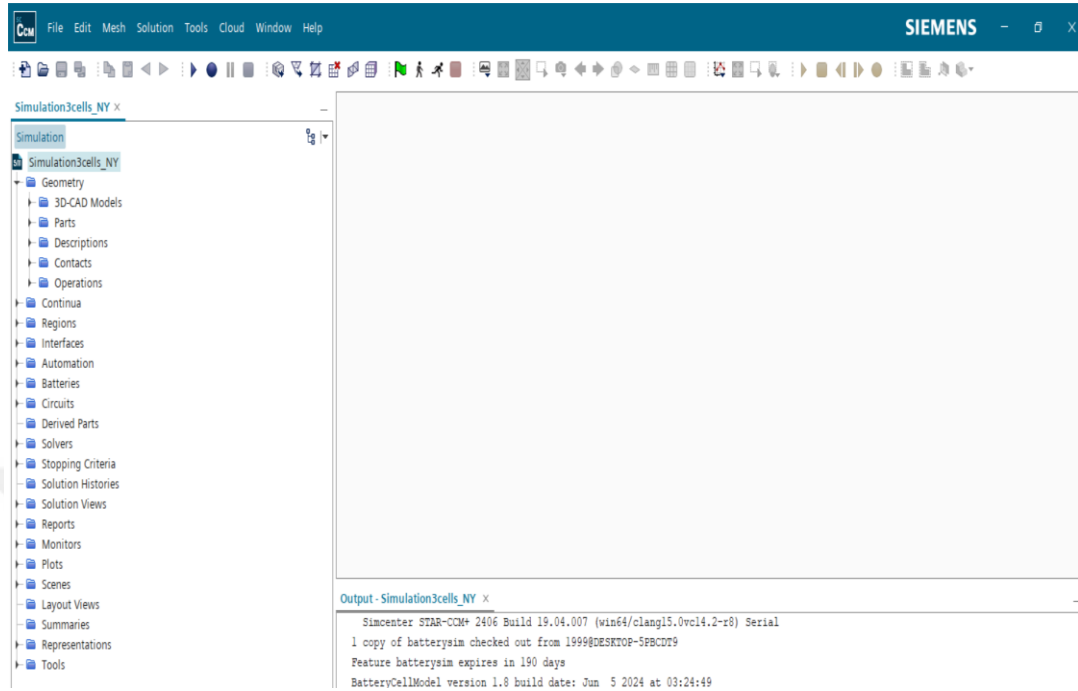


Şekil 6.3 : a) 150 Ah Hücre Kapasite-Voltaj Grafiği, b) 150 Ah Hücre farklı C hızlarında Voltaj-State of Charge grafiği.

6.2 Termal Modelin Oluşturulması

Siemens SimCenter Star CCM programında öncelikle tek hücre için model oluşturulmuştur. Şekil 6.4’te görülen ekrandaki alt başlıklara 150 Ah LFP prizmatik

hücreye göre veri girişi yapılmış aynı zamanda BDS’de hazırlanan performans verileri de çekilmiştir.



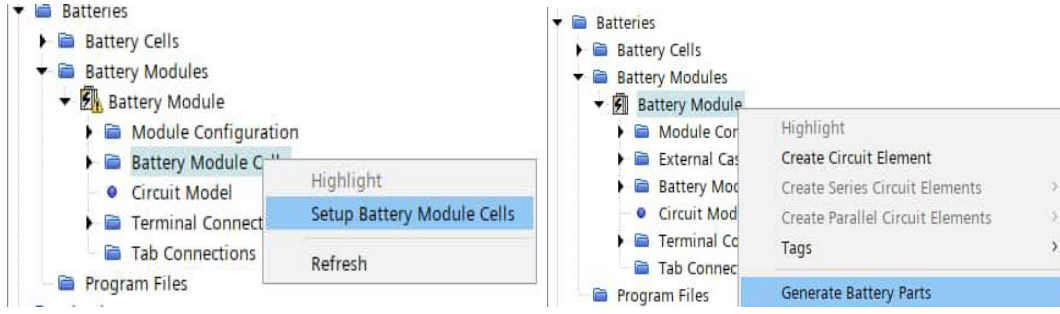
Şekil 6.4 : Siemens SimCenter Star CCM programı veri giriş ekranı.

Öncelikli olarak Şekil 6.5’de verilen Batarya Fiziği oluşturularak, BDS’de kurulan batarya dosyası “.tbm” uzantılı olarak Simcenter StarCCM+ programına aktarılır.

Group Box	Model
Space	Three-Dimensional
Time	Implicit Unsteady
Material	Solid
Optional Models	Battery Circuit Model (Selected automatically)
Energy	Segregated Solid Energy Gradients (Selected automatically)
Equation of State	Constant Density

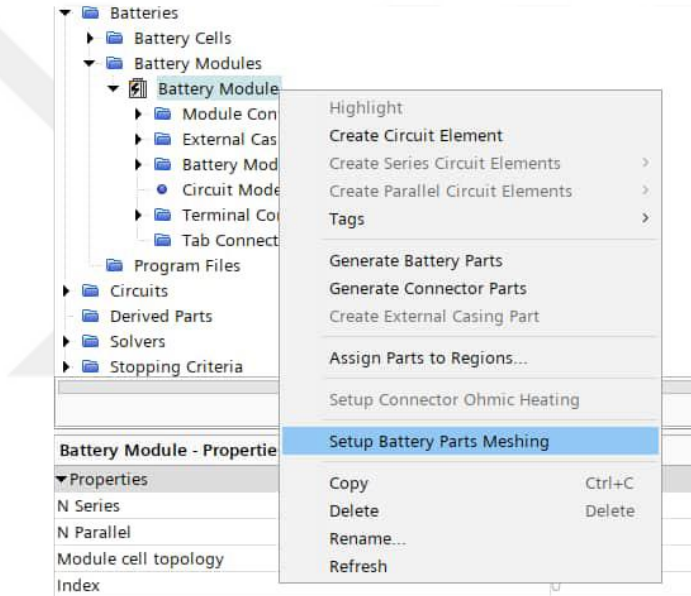
Şekil 6.5 : Simcenter StarCCM+ batarya fiziği koşulları.

Şekil 6.6’da gösterildiği gibi öncelikler hücre oluşturularak, Batarya hücrelerinin birbirine göre ofseti, hücre pozisyonu ve yönü tanımlanır. Daha sonra parçaların oluşturulmasını ve ardından bölgelerin oluşturulmasını içeren batarya modülü tanımlanır.

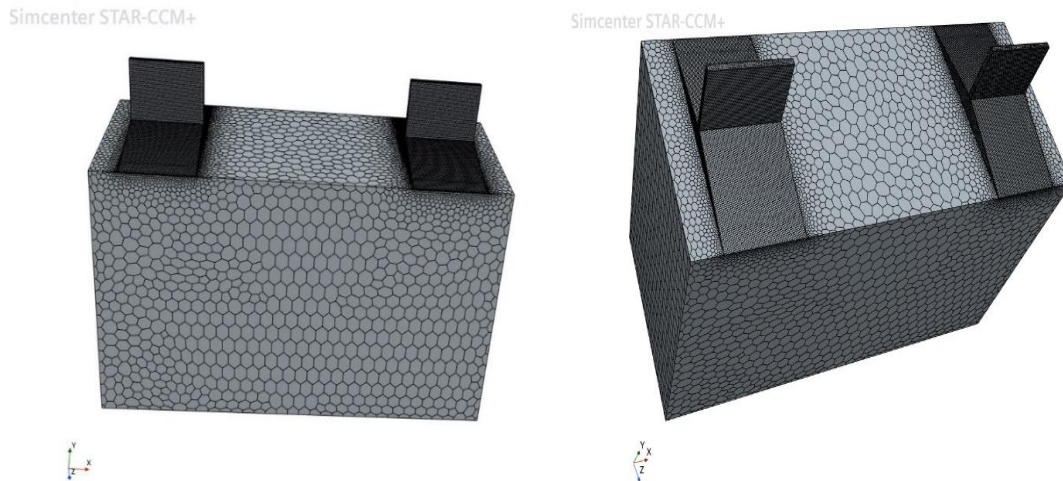


Şekil 6.6 : Simcenter StarCCM+ hücre ve modül oluşturma ekranı

Bir sonraki aşama ise mesh oluşturma basamağıdır. Şekil 6.7’de verilen ekrandan batarya mesh oluşturunca, tab sapları, tab kökleri ve yığınlarda termal mesh için ince bir mesh oluşturur ve ayrıca yığın üzerinde ayrı bir Kartezyen elektriksel ağ oluşturur. Şekil 6.8’de gösterildiği gibi oluşan mesh sayısı 103345’tir.

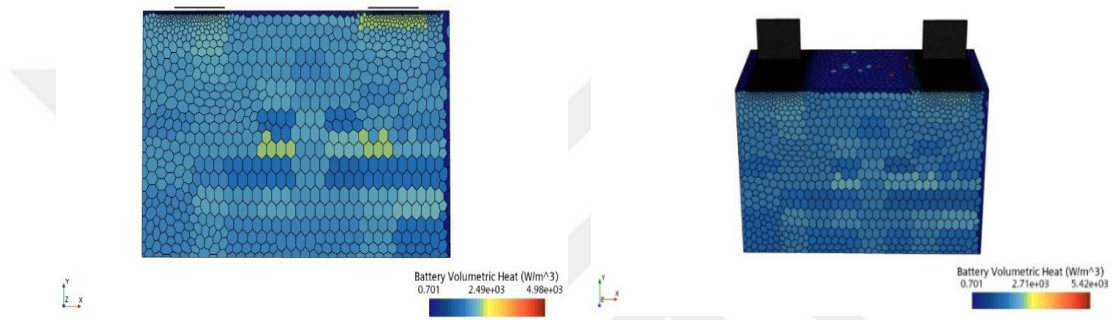


Şekil 6.7 : Simcenter StarCCM+ mesh oluşturma ekranı



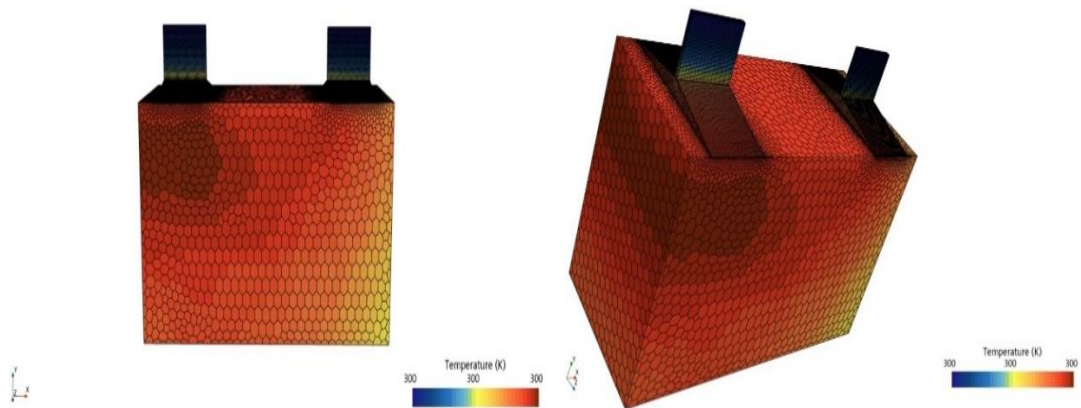
Şekil 6.8 : Simcenter StarCCM+ ile oluşturan 150 Ah hücre mesh görüntüleri

Şekil 6.8’de gösterildiği gibi 150 Ah LFP prizmatik hücre için mesh oluşturulduktan sonra BDS’de oluşturulan “.prg” uzantılı dosya StarCCM+’ a aktarılarak bataryanın yanıtını simüle edecek elektriksel yük bataryaya bir devre aracılığıyla bağlanmış olur. Daha sonrasında simülasyon sırasında bataryanın hacimsel ısını göstermek için bir skaler sahne ve Simülasyon süresince bataryanın voltajını göstermek için bir voltaj monitörü oluşturulur. Son olarak program parametreleri ve sonlandırma koşulları belirlenerek program çalıştırılır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, Şekil 6.9’da görüldüğü üzere, batarya ısısı üretiminin en yüksek yoğunluğunun, beklendiği gibi, batarya hücresindeki tab kökleri bölgesine yakın bir yerde gerçekleştiğini gösterir



Şekil 6.9 : Hücre hacimsel ısı dağılımı gösterimi

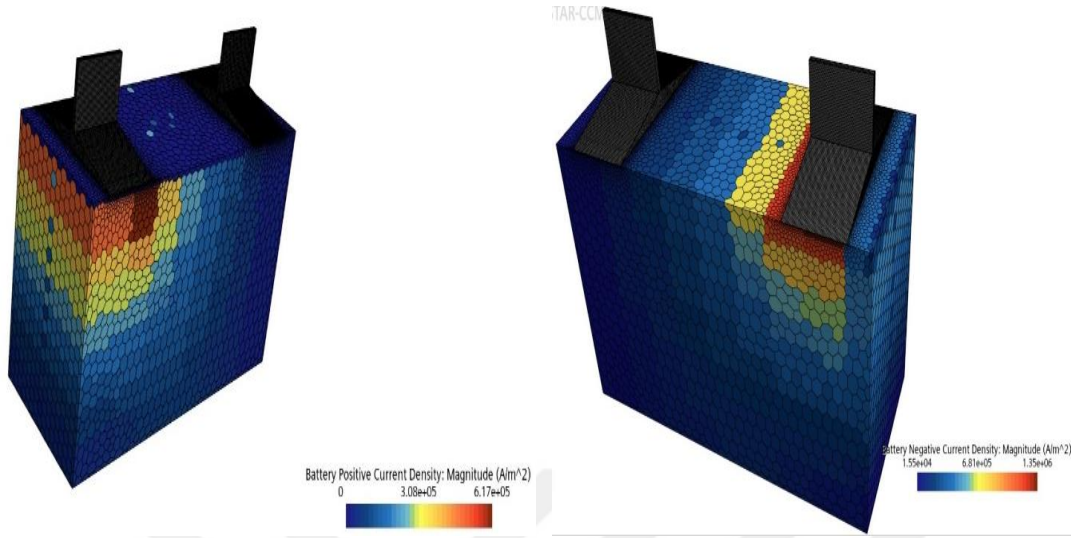
Simülasyondan elde edilen diğer bir sonuç ise termal dağılımın simüle edildiği sonuçlardır. Şekil 6.10’da görüldüğü üzere, C/2’de çalıştırılan 150 Ah LFP hücrenin sol tab bölgesine yakın bölgelerde yaklaşık 273-275 K yani -1-1,5 °C farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.10 : Hücre sıcaklık dağılımı

Simülasyonda elde edilen bir diğer çıktı ise akım yoğunluğu dağılımının simüle edilmesidir. Şekil 6.11’de görüldüğü gibi hücre pozitif tab bölgesinde daha yoğun

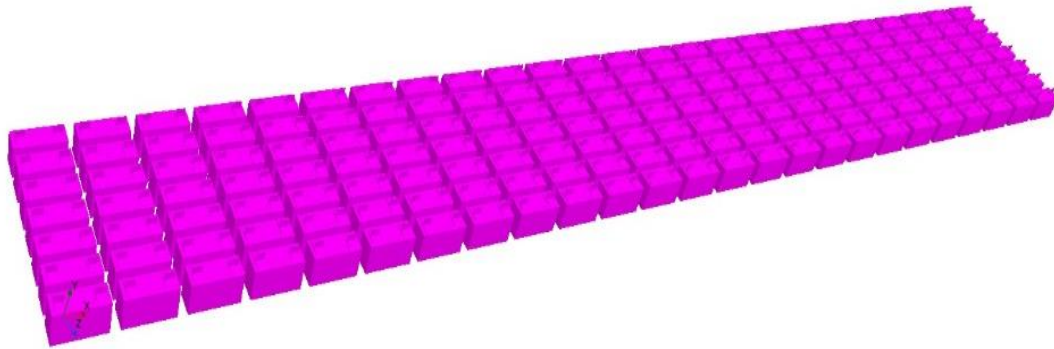
akım yoğunluğu oluştuğu ve buna bağlı olarak da hücre sıcaklığı ve hücre hacimsel ısı dağılımının bu bölgede daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



şekil 6.11 : Hücre akım yoğunluğu dağılımı

şekil 6.12’de, bu tezde üzerinde çalışılan forklifte kullanımı planlanan 150 Ah prizmatik LFP hücreler ile oluşturulan batarya bloğunun programda üretilen simülasyonu verilmiştir. Hücre için yapılan verilerden yola çıkılarak, oluşturulan batarya bloğunda pozitif tab tarafından bir soğutma sisteminin gerekliliği  n görülmektedir.

ncenter STAR-CCM+



şekil 6.12 : Forkliftte kullanımı uygun görülen batarya bloğu

7. SONUÇ

Yapılan tez, araştırmalar neticesinde görülen, gerçek elektrikli forklift çalışma verileri kullanılarak yapılmış ülkemizdeki ilk çalışmadır. Güncel hayatta birçok sektörde kullanılan iş makinaları ve elektrikli forkliftler üzerine yapılacak tez çalışmalarının sayısının artması amacıyla yapılmış olup, literatürdeki yerini alacaktır.

Tez sonucunda, E80/900 elektrikli forkliftinin kurşun asit özellikli traksiyonel aküsü yerine lityum iyon özellikli Lityum iyon demir fosfat akü tasarımı ve hesaplamaları yapılmıştır. Maliyet hesaplamalarında daha doğru sonuca ulaşabilmek için sektördeki firmalardan alınan güncel fiyat listesi ve maliyet bilgileri kullanılmıştır. Elektrikli forklift üreticileri, ilk 15 sene makinaya ait tüm yedek parça ve bakım hizmetini sağlamak zorunda olduğu için kıyaslama süresi 15 yıl olarak baz alınmış olup, tüm maliyetler 15 yıllık, Net Bugünkü Değer formülüne göre hesaplanmış, %51,94 gibi önemli bir kar tespiti yapılmıştır. İleride olabilecek tüm fiyat ve diğer düzenlemelerde, tekrar hesaplama yapılacaktır.

Lityum iyon demir fosfat akü blokları, traksiyonel akülere göre çok daha hızlı şarj olmaktadır. Traksiyonel akülerin tam kapasiteli şarj edilme zamanı ortalama 5 saat olmaktadır. Lityum iyon demir fosfat akü bloğuna geçildiğinde bu sürenin beklenmesi gerekmeyecek ve bundan ötürü yedek akü kullanılması ihtiyacı kalmayacaktır. Traksiyonel akülerde olmayan ara şarj özelliği ise lityum iyon aküler için harika bir avantaj olup, forklift operatörleri, her boş anında akülerini ara şarj edebileceklerdir. Hızlı şarj özelliği olduğundan dolayı ise traksiyonel akünün yarı kapasitesinde aküler dahi tercih edilebilecektir. Her vardiyada iki sefer, 15 dakikadan olmak üzere 30 dakika çay molası, 45 dakika yemek arası ve her vardiya değişiminde 30 dakika geçiş süresi bulunmaktadır. Bu boşluklarda yapılacak şarj ile lityum iyon demir fosfat aküleri vardiya sonuna kadar sorunsuz bir şekilde çalışabileceklerdir. Akü değişiminde kaybedilen zaman, aktif olarak çalışma süresinde kullanılıp, elektrikli forkliftin kullanım performansının artması hedeflenecek, gereksiz zaman kaybının önüne geçilecektir.

Lityum iyon demir fosfat akü firmalarının verdiği bilgilerde yer alan 15 sene verimli

alışabilme, bakım yapma ve yedek akü bulundurma gibi masraflarımız olmadığından ötürü sadece ilk alım maliyeti karşımıza çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, üç farklı Pomega batarya hücresiyle traksiyonel akünün sağladığı ak kapasitesini sağlamak için gereken batarya hücrelerinin, genişliklerinden dolayı alana sığmadığı sonucuna ulaşıldı. Alana en uygun ve ak kapasitesini karşılayabilecek ak bloğu için PLFP-150' tercih edildi. Bu batarya hücresinin tercih edilme sebebi, PLFP-100 batarya hücresiyle genişliğinin aynı olması ve PLFP-302 batarya hücresine göre derinliğinin daha az olmasında dolayı ak kapasitenin belirli alanda daha fazla kullanılabilir olmasındır. Bu blok tasarımındaki ak bloğu kapasitesi 1050 Ah, ak gücü 84 kWh olacaktır.

Lityum iyon akülerin güvenlik sorununa çözümler gelmeye devam etmektedir. Bilindiği gibi herhangi bir alevlenme anında lityum iyon aküleri yanmakta, soğutularak sndrlmelerine rağmen içerisindeki hücreler tamamen yanana kadar bu durum devam etmektedir. Bundan ötürü lityum iyon ak batarya üreticileri, lityum iyon aküler için kapalı bir blok tasarımı yapıp, herhangi bir alev alma durumunda alevlerin bu bloktan çıkamayacak şekilde saklanması çalışmalarına devam etmektedirler. Bu sayede herhangi bir alevlenme durumunda en azından sadece blok içerisindeki hücreler yanıp, makinalara zarar gelmeyecek şekilde koruyabileceklerdir.

Lityum iyon bataryalarının ömürleri sonunda tekrar kullanılması için çalışmalar devam etmektedir. Çevresel kirlenmeyi önlemek amacıyla çıkılan bu yolda, lityum iyon hücreleri tekrar tekrar kullanılarak herhangi bir batarya plğnn oluşması engellenip, tamamen dönüşebilir seviyeye ulaştığında ise daha temiz, karbon salınımının azaldığı ve gelecek kuşaklara daha iyi bir dünya bırakma hedefine daha fazla yaklaşılmış olacaktır. Bilinen durumda, evrendeki milyarlarca gezegen ve galaksiden sadece dünya yaşanabilir halde bulunmaktadır ve umut edilir ki öyle kalmaya tüm insanlığın çabalarıyla devam edecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Minav, T.A., Murashko, K., Laurila, L.** (2013); Pyrhonen, J. Forklift with a Lithium-Titanate Battery during a Lifting/Lowering Cycle: Analysis of the Recuperation Capability. *Autom. Constr.* 2013, 35, 275–284.
- [2] **Yu, Y.X., Ahn, K.K.** (2019). Energy Saving of an Electric Forklift with Hydraulic Accumulator. In *Proceedings of the 2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Jeju, Korea, 15–18 October 2019; pp. 408–411.
- [3] **ADEME** (2022). *Automobiles: Données 2020*. In Technical Report; ADEME: Angers, France
- [4] **Li, J., Lutzemberger, G.; Poli, D.; Scarpelli, C., Piazza, T** (2019). Simulation and experimental validation of a hybrid forklift truck. In *Proceedings of the 2019 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE)*, Torino, Italy
- [5] **Dezza, F.C., Musolino, V.; Piegari, L., Rizzo** (2019). R. Hybrid battery-supercapacitor system for full electric forklifts. *IET Electr. Syst. Transp.* 2019, 9, 16–23.
- [6] **P. Liu, Y., Wang.; Z. Zhang., O. Zhang., and F. Lun** (2020). “Research summary on energysaving technology of forklift lifting system,” *Proceedings - 2020 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation, ICECTT 2020*, pp. 62–65, doi: 10.1109/ICECTT50890.2020.00021.
- [7] **X Yuan, L Li., H Gou., T Dong** (2015). "Energy and environmental impact of battery electric vehicle range", *China Applied Energy*, vol. 157, pp. 75-84.
- [8] **Lakeman J B.** (1989) Real-time charge efficiency monitoring and on-charge gas evolution in tall lead acid traction cells[J]. *Journal of power sources*, 27(2): 155-165.
- [9] **Sharma S., Sarma P., Bordoloi S** (2015). et al. Estimation of coulombic efficiency of lead acid battery for range determination of electric vehicle[C]//2015 1st Conference on Power, Dielectric and Energy Management at NERIST (ICPDEN). IEEE: 1-6.
- [10] **Stevens J W., Corey G P.** (1996). A study of lead-acid battery efficiency near topof- charge and the impact on PV system design[C]//Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference-1996. IEEE, 1996: 1485-1488.

- [11] **Schaltz, E., Khaligh, A., Rasmussen** (2019). P.O. Influence of battery/ultracapacitor energy-storage sizing on battery lifetime in a fuel cell hybrid electric vehicle. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2009, 58,3882–3891.
- [12] **Théophile Paul., Tedjani Mesbahi.** (2019); Sylvain Durand.; Damien Flieller and Wilfried Uhring, “Sizing of Lithium-Ion Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System for Forklift Vehicle” // *IEEE Vehicular Power and Propulsion Conference*, Hanoi, Vietnam
- [13] **Hannan, M.A.** (2018). Member, S. State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations. *IEEE Access* 2018, 6, 19362–19378.
- [14] **Amrouche, S.O., Rekioua, D., Rekioua, T., Bacha, S.** (2016) Overview of energy storage in renewable energy systems. *Int. J. Hydrog. Energy* 2016, 41, 20914–20927.
- [15] **Babin, A., Rizoug, N., Mesbahi, T., Boscher D., Hamdoun, Z.** (2018) Total Cost of Ownership Improvement of Commercial Electric Vehicles Using Battery Sizing and Intelligent Charge Method. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2018, 54, 1691–1700.
- [16] **Lototskyy, M.V., Tolj, I., Parsons, A., Smith, F., Sita, C., Linkov** (2016). V. Performance of electric forklift with low-temperature polymer exchange membrane fuel cell power module and metal hydride hydrogen storage extension tank. *J. Power Sources* 2016, 316, 239–250.
- [17] **Url-1** <<https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [18] **Url-2** <<https://www.forbes.com/sites/rpapier/2019/10/13/lead-acid-batteries-are-on-a-path-to-extinction>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [19] **S. M. Cui., B. Xu, W., F. Pan., X. K. Liu., and F. Zhang** (2013). “The Matching Design and Performance Simulation of Transmission System Parameters of an Electric Forklift,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 278–280, pp. 328–331, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.328.
- [20] **A. al Mamun., Z. Liu., D. M. Rizzo., and S. Onori** (2019), “An integrated design and control optimization framework for hybrid military vehicle using lithium-ion battery and supercapacitor as energy storage devices,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 5, no. 1, pp. 239–251, doi:10.1109/TTE.2018.2869038.
- [21] **P. J. Kollmeyer et al.** (2019). “Real-time control of a full scale Li-Ion battery and Li-Ion capacitor hybrid energy storage system for a plug-in hybrid vehicle,” *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 55, no. 4, pp. 4204–4214, doi: 10.1109/TIA.2019.2911057.
- [22] **Wang Y, Sun Z, Li X, Yang X, Chen Z.** (2019). A comparative study of power allocation strategies used in fuel cell and ultracapacitor hybrid systems. *Energy* 2019;189:116142.

- [23] **Guentri, H., et al.** (2021). Power management and control of a photovoltaic system with hybridbattery-supercapacitor energy storage based on heuristics methods. *Journal of Energy Storage*, 39,102578. [https:// doi.org/ 10. 1016/j. est. 2021. 102578](https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102578)
- [24] **Shayeghi, H., et al.** (2021). Assessing hybrid supercapacitor-battery energy storage for active powermanagement in a wind-diesel system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*,125, 106391. [https:// doi.org/ 10. 1016/j. ijepes. 2020. 106391](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106391)
- [25] **Özcan, Muzaffer Anıl** (2023). Design of a battery management system for electric forklift, YOK
- [26] **Jiao, M., Pan, F., Huang, X.; Yuan** (2021). X. Evaluation on Total Cost of Ownership of Electric Forklifts with Lithium-Ion Battery. In *Proceedings of the 2021 IEEE 4th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, Wuhan, China; pp. 1–5.
- [27] **T.C. MEB**, (2011), Ulaştırma Hizmetleri, Forkliftler Transpaletler ve Vinçler, ANKARA.
- [28] **Url-3** <<https://www.conger.com/forklift-history/>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [29] **Url-4** <<https://anguslifttrucks.co.uk/about/>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [30] **T.C. MEB**, (2011), Motorlu Araç Teknolojileri, Forkliftler, ANKARA.
- [31] **Yılmaz, Hasan Emrah** (2014). Akülü Forkliftlerde Enerji Performansının İyileştirilmesinin Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi
- [32] **Efe, Ş. & Güngör, Z. A.** (2021). Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 947-955.
- [33] **B. Viswanathan** (2017). “Batteries,” *Energy Sources*, pp. 263–313, doi:10.1016/B978-0-444-56353-8.00012-5.
- [34] **Url-5** <<https://www.elektromarket.com.tr/blog/icerik/pil-nedir-cesitleri-nelerdir-sarj-edilebilen-ve-sarj-edilemeyen-piller>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [35] **M. F. R. Zwicker, M. Moghadam, W. Zhang, and C. v. Nielsen** (2020). “Automotive battery pack manufacturing – a review of battery to tab joining,” *Journal of Advanced Joining Processes*, vol. 1, p. 100017, Mar. 2020, doi:10.1016/J.JAJP.2020.100017.
- [36] **Özcan, Muzaffer Anıl** (2023). Design of a Battery Management system For Electric forklift, Okan Üniversitesi
- [37] **Url-6** <<https://blog.epectec.com/pros-and-cons-of-lithium-prismatic-cells-vs-cylindrical-cells>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [38] **Vamsi, A., Ansari, J.N., Krishnamoorthy S.M., Pany, C., John, B., Samridh, A., Devassia, M.T.** (2021) Structural design and testing of pouch cells. *Journal of Energy Systems*, 5(2), 80-91, DOI:10.30521/jes.815160
- [39] **Gündüz, Gürkan** (2022). Kurşun Asit Akü Sistemlerinin Li-İyon Bataryalar İle Dönüşümünün İncelenmesi, Okan Üniversitesi
- [40] **Sezer, K. C., Basmacı, G.** (2022). Şarj Edilebilir Pillere Genel Bakış, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 297-309.

- [41] **Sheng-Lun Lin., Kuo-Lin Huang., I-Ching Wang., I-Cheng Chou., Yi-MingKuo., Chung-Hsien Hung., & Chitsan Lin** (2016) Characterization of spent nickel–metal hydridebatteries and a preliminary economic evaluation of the recovery processes, *Journal of the Air &Waste Management Association*, 66:3, 296-306, DOI: 10.1080/10962247.2015.1131206
- [42] **Yong J. Y., Ramachandaramurthy V. K., Tan K. M., & Mithulananthan N.** (2015). “A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49. Elsevier Ltd, pp.365–385, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.130.
- [43] **H. Liu et al.** (2020). “An analytical model for the CC-CV charge of Li-ion batteries withapplication to degradation analysis,” *J Energy Storage*, vol. 29, p. 101342, doi: 10.1016/J.EST.2020.101342.
- [44] **Url-7** <<https://www.genstattu.com/bw/>>, erişim tarihi 02.01.2025.
- [45] **Nagaura, T., & Tozawa, K.** (1990). Lithium ion rechargeable battery. *Progress in Batteries & Battery Materials*, 9, 209-217.
- [46] **Hao, H., Wang, H., & Liu, Z.** (2015). Cycle life and safety performance of LiFePO4 batteries. *Journal of Power Sources*, 274, 799-805.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatih BAĞMANCI

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
- **Lisans** : 2017, Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2015 yılları arasında Okan Üniversitesi.
- 2015-2025 yılları arasında Kastamonu Entegre firmasında İş Makinaları Bakım Kıdemli Uzman Mühendisi

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Fatih Bagmanci**, Neslihan Yuca Dogdu, Comparison of Lead Acid and Li-Ion Batteries Energy Efficiency and Cost, 25th International Conference on Advances in Materials & Processing Technologies, AMPT2024, October 30-November 3 2024 İstanbul, Turkey