

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ BİLİM DALI

ENDÜSTRİ 5.0'DA LİTYUM BATARYA ÜRETİMİNİN
ISO 9001:2015 STANDARTLARIYLA
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ: BİR İŞ MODELİ ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürkan EMECEN

İstanbul
Haziran-2025

T.C.
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ BİLİM DALI

ENDÜSTRİ 5.0'DA LİTYUM BATARYA ÜRETİMİNİN
ISO 9001:2015 STANDARTLARIYLA
BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ: BİR İŞ MODELİ ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürkan EMECEN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Seniye Ümit FIRAT
Dr. Öğr. Üyesi Doğan ŞENGÜL

İstanbul
Haziran-2025

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Mühendislik Yönetimi Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. Seniye Ümit FIRAT

Üye Prof. Dr. Özgür KÖKALAN

Üye Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Nuray CANAT

Onay

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Erhan İÇENER
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım “**Endüstri 5.0’da Lityum Batarya Üretimine ISO 9001:2015 Standartlarıyla Bütünleştirilmesi: Bir İş Modeli Önerisi**” adlı çalışmamın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

Gürkan EMECEN

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması, sektörde ve yüksek lisans eğitimim sürecinde edindiğim bilgi birikimi ve deneyimlerin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Akademik hayatım boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübeleriyle katkı sağlayan değerli hocalarıma, her zaman yanımda olan aileme ve desteğini esirgemeyen dostlarıma teşekkür ederim. Tez sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, sabır ve desteğiyle her zaman yanımda olan değerli danışmanım Prof. Dr. Seniye Ümit FIRAT'a ve katkılarıyla çalışmamı zenginleştiren Dr. Öğr. Üyesi Doğan ŞENGÜL'e özel olarak şükranlarımı sunarım. Ayrıca, bu süreçte katkı sağlayan tüm akademik ve idari personele de minnettarlığımı belirtmek isterim. Bu çalışmanın, literatüre katkı sunmasının ötesinde; düşünmeye, sorgulamaya ve üretmeye cesaret edenlere ilham olması en büyük temennimdir.

Gürkan EMECEN
İstanbul-2025

ÖZET

ENDÜSTRİ 5.0'DA LİTYUM BATARYA ÜRETİMİNİN ISO 9001:2015 STANDARTLARIYLA BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ: BİR İŞ MODELİ ÖNERİSİ

Gürkan EMECEN

Yüksek Lisans, Mühendislik Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Seniye Ümit FIRAT

Dr. Öğr. Üyesi Doğan ŞENGÜL

Haziran, 2025 – 108 Sayfa

Bu tezin temel amacı, Endüstri 5.0'da lityum batarya üretiminin temel olarak ISO 9001:2015 standartlarıyla bütünleştirilerek iş modeli önerisi niteliğinde sunmaktır. Bu amaca uygun bir şekilde öncelikle çalışmanın birinci bölümünde, çalışmanın problemine, amacına, önemine, varsayımlarına, sınırlılıklarına ve çalışmada kullanılan tanımlara yer verilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde lityum bataryalarla ve Endüstri 5.0 ile ilgili konular ayrıntılı şekilde incelendikten sonra, Endüstri 5.0'da lityum batarya üretimi ile ilgili konular üzerinde durulmuştur. Bu bölüm içerisinde ayrıca ISO 9001: 2015 kalite yönetim standartlarına, ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 ile lityum batarya üretimine kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan yöntemlere, Endüstri 5.0 sürecine, kalite yönetim sonuçlarına ve verimlilik karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde bulgulara yer verilmiştir. Çalışmada dikkat çeken bulgular ise, otomasyon ve yapay zekâ destekli sistemlerin entegrasyonu, kalite kontrol süreçlerini iyileştirmiş ve hata oranlarını önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Ayrıca Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin, manuel üretime kıyasla kaliteyi artırırken maliyetleri düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde ise, çalışma genel değerlendirilmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 5.0, ISO 9001:2015, Lityum Batarya Üretimi

ABSTRACT

INTEGRATION OF LITHIUM BATTERY PRODUCTION WITH ISO 9001:2015 STANDARDS IN INDUSTRY 5.0: A BUSINESS MODEL PROPOSAL

Gürkan EMECEN

Master, Engineering Management

Thesis Advisor: Prof. Dr. Seniye Ümit FIRAT

Assist. Prof. Doğan ŞENGÜL

June, 2025 – 108 Pages

The main purpose of this thesis is to present the lithium battery production in Industry 5.0 as a business model proposal by integrating it with ISO 9001:2015 standards. In accordance with this purpose, firstly, the problem, purpose, importance, assumptions, limitations and definitions used in the study are given in the first part of the study. After examining the issues related to lithium batteries and Industry 5.0 in detail in the second part of the study, the issues related to lithium battery production in Industry 5.0 are focused on. In this part, ISO 9001:2015 quality management standards, lithium battery production with ISO 9001:2015 and Industry 5.0 are also given in detail. In the third part of the study, the methods used in the study, the Industry 5.0 process, quality management results and efficiency comparisons are given. The findings are given in the fourth part of the study. The remarkable findings in the study are that the integration of automation and artificial intelligence supported systems has improved quality control processes and significantly reduced error rates. In addition, it has been determined that Industry 5.0 production systems increase quality and reduce costs compared to manual production. In the fifth section of the study, the study is evaluated in general and some suggestions are presented.

Keywords: Industry 5.0, ISO 9001:2015, Lithium Battery Production

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	i
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ	ii
ÖN SÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
BİRİNCİ BÖLÜM: GİRİŞ	1
1.1. Problem	3
1.2. Amaç.....	4
1.3. Araştırmanın Önemi	4
1.4. Varsayımlar	4
1.5. Sınırlılıklar.....	4
1.6. Tanımlar.....	5
İKİNCİ BÖLÜM: KURAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1. Lityum Bataryaların Tanımı ve Gelişimi	7
2.1.1. Lityum Batarya Paketinin Komponentleri.....	9
2.1.1.1. Anot (Negatif Elektrot).....	9
2.1.1.2. Katot (Pozitif Elektrot).....	10
2.1.1.3. Elektrolit.....	10
2.1.1.4. Ayırıcı (Separator)	10
2.1.1.5. Batarya Yönetim Sistemi (BMS)	11
2.1.1.6. Soğutma Sistemi.....	11
2.1.1.7. Modüller ve Paketleme Sistemi.....	12
2.1.2. Lityum Bataryaların Tarihsel Gelişimi ve Teknolojik Evrimi	12
2.1.2.1. Lityum Batarya Öncesi: Elektrokimyasal Bataryaların Temelleri... 12	
2.1.2.2. Lityum Bataryaların Keşfi ve İlk Geliştirmeler	13
2.1.2.3. Lityum İyon Bataryaların Ticari Alanda Kullanımı ve Gelişimi 14	
2.2. Lityum Bataryaların Önemi	15
2.2.1. Elektrikli Araçlar (EV) ve Sürdürülebilir Ulaşım.....	16
2.2.2. Yenilenebilir Enerji Depolama	17
2.2.3. Mobil Cihazlar.....	18

2.2.4. Uzay Teknolojileri ve Savunma Sanayi.....	18
2.3. Lityum Bataryaların Özellikleri ve Çalışma Prensibi.....	19
2.3.1. Lityum Bataryaların Temel Özellikleri.....	20
2.3.1.1. Yüksek Enerji Yoğunluğu.....	20
2.3.1.2. Çevrim Ömrünün Uzun Olması.....	21
2.3.1.3. Hafif ve Kompakt Tasarıma Sahip Olması.....	22
2.3.1.4. Düşük Kendiliğinden Deşarj Oranı.....	22
2.3.1.5. Hızlı Şarj Desteği.....	22
2.3.2. Lityum Bataryaların Çalışma Prensibi.....	23
2.4. Lityum Bataryaların Riskleri ve Güvenlik Önlemleri.....	24
2.4.1. Lityum Bataryalardaki Temel Riskler.....	24
2.4.1.2. Şarj veya Deşarj İşleminin Aşırı Olması.....	25
2.4.1.3. Elektrolit Kaçakları ve Toksikite Kaynaklı Riskler.....	26
2.4.1.4. Kısa Devre Kaynaklı İçsel Arıza Riski.....	26
2.4.1.5. Çevresel Faktörler ve Geri Dönüşüm Sürecindeki Zorluklar.....	27
2.5. Lityum Bataryaların Avantajları ve Dezavantajları.....	28
2.6. Lityum Bataryaların Kullanım Alanları.....	29
2.7. Endüstri 5.0.....	32
2.7.1. Endüstri 5.0 Tanımı ve Özellikleri.....	32
2.7.1.1. İnsan ve Makine (Robot) İşbirliği.....	33
2.7.1.2. Kişiselleştirilmiş Üretim ve Esneklik.....	34
2.7.1.3. Çevresel Sürdürülebilirlik ve Yeşil Üretim.....	34
2.7.1.4. Fiziksel ve Dijital Sistemlerin Entegrasyonu.....	35
2.7.1.5. Dayanıklılık ve Kriz Yönetimi.....	35
2.7.2. Endüstri 5.0 Temel Amaçları.....	35
2.7.2.1. Sürdürülebilirlik ve Yeşil Üretim.....	36
2.7.2.2. İnsan Odaklı Üretim Anlayışı.....	37
2.7.2.3. Esnek ve Dayanıklı Üretim Sistemleri.....	37
2.7.3. Endüstri Devrimlerinin Tarihçesi.....	38
2.7.3.1. Endüstri 1.0.....	38
2.7.3.2. Endüstri 2.0.....	38
2.7.3.3. Endüstri 3.0.....	39
2.7.3.4. Endüstri 4.0.....	40
2.7.3.5. Endüstri 5.0.....	41
2.8. ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Standardı.....	43
2.8.1. ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Standart Maddeleri.....	44

2.8.2. ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 Uyumu.....	46
2.8.3. ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 İle Lityum Batarya Üretimi.....	47
2.8.3.1. Endüstri 5.0’da Lityum Batarya Üretim Süreçlerinin Analizi	48
2.8.3.2. PUKÖ Döngüsü (Planlama, Uygulama, Kontrol, Önlem).....	49
2.8.4. Endüstri 5.0 İle Lityum Batarya Üretimi.....	50
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: YÖNTEM.....	55
3.1. Ürün Ağacı	55
3.2. Manuel Üretim Sürecine Ait Bulgular.....	56
3.2.1. Manuel Üretim Sistemi Üretim Prosesi	56
3.2.2. Manuel Sistem Kalite Süreçleri.....	62
3.2.3. Manuel Sistem PUKO Döngüsü.....	63
3.3. Endüstri 5.0 Sürecine Ait Bulgular	66
3.3.1. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Üretim Prosesi.....	66
3.3.2. Endüstri 5.0 Kalite Süreçleri	72
3.3.3. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi PUKO Döngüsü.....	73
3.4. Zaman Etüdü Sonuçları.....	75
3.5. Kalite Yönetimi Sonuçları.....	79
3.6. Verimlilik Karşılaştırmaları.....	81
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: ARAŞTIRMA BULGULARI	84
4.1. Genel Değerlendirme	84
4.2. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırmalı Sonuçları	84
4.3. Araştırma Bulgularının Yorumlanması	85
4.4. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler.....	86
BEŞİNCİ BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER	87
5.1. Genel Sonuçlar.....	87
5.2. Üretim Süreçlerine Yönelik Öneriler.....	88
5.3. Akademik ve Sektörel Öneriler.....	89
KAYNAKÇA.....	91
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki enerji yoğunluğun karşılaştırması ..21	21
Tablo 2. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki çevrim ömrünün karşılaştırması21	21
Tablo 3. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki düşük kendiliğinden deşarj oranının karşılaştırması.....21	21
Tablo 4. Lityum batarya hücrelerinin temel bileşenleri.....23	23
Tablo 5. Endüstri 5.0 ve diğer sanayi devrimleri arasındaki farklılıklar43	43
Tablo 7. Manuel Üretim Sistemi Ölçülen Zaman.....59	59
Tablo 8. Manuel Sistem Metod Etüdü60	60
Tablo 9. Manuel Sistem Personel Planı61	61
Tablo 10. Verilerin Değerlendirilmesi65	65
Tablo 11. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Ölçülen Zaman.....69	69
Tablo 12. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Metod Etüdü70	70
Tablo 13. Endüstri 5.0 Personel Planı.....71	71
Tablo 14. Verilerin Değerlendirilmesi75	75
Tablo 15. Manuel Sistem 80V 690AH Lityum Batarya Üretimi Zaman Etüdü.....76	76
Tablo 16. Endüstri 5.0 Üretim Sistemine Göre 80V 690AH Lityum Batarya Üretimi Zaman Etüdü77	77
Tablo 17. İstatistiksel Karşılaştırma81	81
Tablo 18. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırmalı Sonuçları.....85	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Lityum bataryaların bileşenleri ve çalışma sistemi.....	19
Şekil 2. TOGG Araçlarda Kullanılan Siro Adlı Batarya.	31
Şekil 3. Hücrelerin hazırlanması	50
Şekil 4. Batarya yönetim şeması.....	51
Şekil 5. Basınç plakaları ve bağlantı çubuklarının hazırlanması.....	52
Şekil 6. Hücrelerin istiflenmesi ve sıkıştırılması.....	53
Şekil 7. Modül çerçevelerinin birbirine kaynakla sabitlendirilmesi.....	53
Şekil 8. Lazer kaynaklama işlemi.....	54
Şekil 9. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırması	82
Şekil 10. Manuel ve Endüstri 5.0 Üretim Sürecinde Pareto Analizi	82

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AI	: Yapay zekâ
AŞ	: Anonim Şirketi
BH	: Bağlantı Hataları
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi
BMSKH	: Batarya Yönetim Sistemi Konfigürasyon Hataları
CPS	: Siber Fiziksel Sistemler
EV	: Elektrikli araçlar
GDA	: Güç Dağıtım Arızaları
IoT	: Nesnelerin interneti
OEE	: Üretim Döngü Süresi ve Verimlilik
PUKÖ	: Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem AI
SA	: Sensör Arızaları
SPSS	: Statistic Packets For Social Seciencies)
SSP	: Soğutma Sistemi
TOGG	: Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
vb	: ve benzeri
vd	: ve diğerleri

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Teknoloji, günümüzde her alanda olduğu gibi endüstri sektöründe de önemli bir gelişim göstermektedir. Bu bağlamda Endüstri 5.0 kavramı, sanayi sektöründeki teknolojik ilerlemenin en belirgin örneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Endüstri 5.0, bilgi ve teknoloji çağının bir yansıması olmasının yanı sıra, modern sanayi devriminin en güncel aşaması olarak değerlendirilmektedir. Temel olarak insan ve makinelerin (veya robotların) iş birliği içinde çalıştığı, kişiselleştirilmiş üretim süreçlerine odaklanan ve sürdürülebilirliği temel alan bir üretim paradigması olarak tanımlanmaktadır. Sanayileşme süreci, 18. yüzyıldan itibaren her dönemde büyük değişimler geçirmiştir. Endüstri 1.0, 18. yüzyılda mekanik üretim tesislerinin kurulmasıyla başlamış, Endüstri 2.0 ise 19. yüzyılda telgraf ve telefon gibi iletişim teknolojilerinin ortaya çıkışı ile şekillenmiştir. Endüstri 3.0, 20. yüzyılda bilgisayar teknolojilerinin icadı ve üretim süreçlerinin otomasyona bağlanmasıyla gelişirken, Endüstri 4.0, 21. yüzyılda internet teknolojilerinin yaygınlaşması ve dijitalleşmenin üretim süreçlerine entegre edilmesiyle ortaya çıkmıştır. 21. yüzyılın en belirgin farkı ise, Endüstri 4.0'ın ileri bir evrim geçirerek Endüstri 5.0'a dönüşmesidir. Bu yeni yaklaşım, üretim süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, iş gücü verimliliğini artırmakta ve sürdürülebilir üretim ilkelerini daha etkin bir biçimde endüstriye entegre etmektedir.

Endüstri 5.0'ın sunduğu avantajlar arasında yüksek üretim verimliliği, esnek üretim süreçleri ve iş gücü ile makinelerin uyum içinde çalışması yer almaktadır. Ancak, bu yeni sistemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yüksek maliyetler, Endüstri 5.0'a geçiş sürecinin en büyük zorluklarından biri olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra, sistemin henüz gelişim aşamasında olması nedeniyle çalışanların adaptasyon süreci de belirli zorlukları beraberinde getirmektedir. Ancak, Endüstri 5.0 kavramı sanayinin geleceğini şekillendiren yenilikçi bir anlayışı temsil ettiğinden, ilerleyen yıllarda sanayi devrimleri içerisinde daha geniş bir yer edinmesi beklenmektedir.

Kalite yönetim sistemleri, üretim süreçlerinin daha verimli, etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş sistematik yaklaşımlardır. ISO 9001:2015, kalite yönetim sistemleri içerisinde en yaygın kabul gören ve en fazla

uygulanan standartlardan biri olup, firmaların üretim süreçlerini optimize etmelerine, müşteri memnuniyetini artırmalarına ve kurumsal itibarlarını korumalarına katkı sunmaktadır. ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi, olası üretim hatalarını ve kusurları önleyerek, üretim süreçlerinin belirli standartlara uygun bir şekilde yürütülmesini amaçlamaktadır. Hatalı veya kusurlu ürünler, işletmelerin marka değerini olumsuz yönde etkileyebilmekte ve ciddi ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bu bağlamda, ISO 9001:2015 kalite standardı, üretim süreçlerinin sistematik bir yaklaşımla yönetilmesini sağlayarak, üretim hatalarını en aza indirmeyi ve ürün kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Özellikle yüksek teknolojiye dayalı üretimlerde, ISO 9001:2015 standardı, süreçlerin güvenli ve sürdürülebilir bir çerçevede yürütülmesini sağlayan önemli bir kalite yönetim aracıdır.

Lityum bataryalar, elektrikli araçlardan taşınabilir elektronik cihazlara kadar geniş bir kullanım alanına sahip olup, modern enerji depolama çözümlerinde kritik bir rol üstlenmektedir. Lityum bataryaların temel bileşenleri arasında demir, grafit, silisyum, kobalt, nikel, manganez ve karbon yer almaktadır. Bu bataryalar, akıllı telefonlardan savunma sanayisine, yenilenebilir enerji sistemlerinden nükleer santrallere kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Lityum bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür ve hızlı şarj olabilme kapasitesi gibi avantajları nedeniyle, günümüzün en çok tercih edilen enerji depolama sistemlerinden biri haline gelmiştir. Ancak, hammadde tedarik süreçleri, üretim maliyetleri ve geri dönüşüm süreçleri açısından belirli zorluklar içermektedir. Bu nedenle, lityum batarya üretim süreçlerinde kalite yönetimi büyük önem taşımakta ve bu noktada ISO 9001:2015 kalite standardı devreye girmektedir.

Bu çalışma kapsamında lityum batarya üretimi, ISO 9001:2015 kalite standardı ile entegre edilerek bir iş modeli önerisi sunulacaktır. Bu entegrasyon sayesinde, hem üretim süreçlerinin optimizasyonu hem de kalite standartlarına uyum sağlanarak, batarya üretiminde hatasız ve verimli bir süreç oluşturulması amaçlanmaktadır. Endüstri 5.0 üretim süreçleri, akıllı üretim sistemleri, robotik otomasyon, yapay zeka destekli kalite kontrol ve dijital ikiz teknolojileri ile entegre edilerek geleneksel üretim süreçlerinden ayrılmaktadır. Endüstri 5.0'ın lityum batarya üretimine entegrasyonu sayesinde üretim sürecinde insan ve makinelerin iş birliği artırılarak, üretim verimliliği ve kalite standartları daha yüksek seviyelere taşınmaktadır.

Bu sistemde, robot destekli montaj hatları, yapay zekâ destekli kalite kontrol sistemleri ve otonom üretim süreçleri ile hata oranı düşürülmekte ve üretim süreleri optimize edilmektedir. Akıllı üretim süreçlerinin ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemi ile bütünleştirilmesi, üretim süreçlerinde sürdürülebilirliği artırarak enerji verimliliği ve üretim maliyetlerini optimize etmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada, Endüstri 5.0'in lityum batarya üretim süreçlerine entegrasyonu analiz edilerek, geleneksel üretim yöntemleri ile kıyaslanarak bir iş modeli önerisi geliştirilecektir.

1.1. Problem

Sanayi üretim süreçleri, Endüstri 4.0 ile başlayan dijitalleşme sürecinin ardından, insan-makine iş birliğini merkeze alan Endüstri 5.0 ile yeni bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşüm, özellikle yüksek katma değerli ve stratejik ürünlerin üretiminde kalite, verimlilik ve sürdürülebilirlik unsurlarının daha etkin yönetilmesini gerektirmektedir. Lityum batarya üretimi, enerji depolama sistemlerinin temel bileşeni olarak bu dönüşümden doğrudan etkilenen sektörlerden biridir.

Günümüzde lityum batarya üretim süreçleri, yüksek maliyetler, üretim hatalarından kaynaklanan kalite kayıpları ve süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik eksiklikler gibi temel problemlere sahiptir. Bu bağlamda, ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi gibi standartların uygulanması, üretim süreçlerinde kalite güvencesi sağlamak adına kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, geleneksel üretim sistemlerinde bu standartların tam anlamıyla uygulanması, esneklik ve adaptasyon sorunları nedeniyle sınırlı kalmaktadır.

Bu çalışmanın problemi, Endüstri 5.0 yaklaşımının sunduğu akıllı üretim sistemleri, insan-makine etkileşimi ve veri odaklı kalite yönetimi ile ISO 9001:2015 standardının entegrasyonunu sağlayarak lityum batarya üretim süreçlerinin daha sürdürülebilir, verimli ve hatasız bir yapıya kavuşturulması gerekliliğidir. Bu kapsamda, mevcut üretim süreçlerinin yetersizlikleri, kalite yönetim standartlarının adaptasyonu ve Endüstri 5.0 teknolojilerinin etkin kullanımı arasındaki uyum sorunları ele alınarak, bu problemlerin aşılmasına yönelik yeni bir iş modeli önerisi geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Amaç

Bu çalışmanın amacı, Endüstri 5.0'ın sunduğu yenilikçi üretim yaklaşımlarını ve ISO 9001:2015 kalite yönetim sisteminin temel prensiplerini lityum batarya üretimine entegre ederek, verimliliği ve rekabet gücünü artıran bir iş modeli geliştirmektir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Literatürde bu konuya ilişkin çalışmaların sınırlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, çalışmanın literatüre sağlayacağı katkılar açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

1.4. Varsayımlar

- Veri Kaynaklarının Güvenilirliği: Çalışmada kullanılan tüm veri kaynaklarının doğru, güncel ve güvenilir olduğu varsayılmaktadır.
- Uygulama Koşullarının Standartlığı: Endüstri 5.0 ve ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemine dayalı üretim süreçlerinin belirlenen standartlar çerçevesinde yürütüldüğü kabul edilmektedir.
- Ölçüm ve Analizlerin Geçerliliği: Çalışmada kullanılan zaman etüdü, maliyet analizi, kalite değerlendirme ve verimlilik ölçümlerinin bilimsel yöntemlere uygun olarak gerçekleştirildiği varsayılmaktadır.
- Katılımcıların Objektifliği: Araştırma sürecinde elde edilen verilere dayalı analizlerde herhangi bir taraflılık olmadığı ve araştırmanın tarafsız bir bakış açısıyla yürütüldüğü varsayılmaktadır.
- Teknolojik ve Operasyonel Koşulların Değişmezliği: Çalışma süresince kullanılan üretim teknolojilerinin ve operasyonel koşulların belirlenen çerçevede sabit kaldığı varsayılmaktadır.

1.5. Sınırlılıklar

Bu araştırma belirli sınırlılıklar çerçevesinde yürütülmüştür. Çalışmanın bulgularının daha geniş bir bağlamda değerlendirilmesi için aşağıdaki sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır:

- **Veri Kaynaklarının Kapsamı:** Çalışmada kullanılan veriler belirli üretim tesislerinden ve literatürde yer alan mevcut çalışmalardan elde edilmiştir. Çünkü farklı endüstrilerdeki uygulamalara genellenmesi kısıtlı olabilir.
- **Zaman Sınırlılığı:** Araştırma belirli bir zaman dilimi içinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Endüstri 5.0 ve ISO 9001:2015'in üretim süreçleri üzerindeki uzun vadeli etkileri tam olarak değerlendirilememiştir.
- **Teknolojik ve Operasyonel Koşullar:** Araştırma kapsamında ele alınan üretim süreçleri belirli teknolojik altyapı ve operasyonel koşullara dayanmaktadır. Farklı üretim tesislerinde kullanılan alternatif sistemler araştırmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.
- **Ölçüm ve Analiz Sınırlamaları:** Üretim sürecine yönelik zaman etüdü, kalite analizi ve maliyet hesaplamalarında belirli varsayımlar kullanılmıştır. Bu nedenle, gerçek üretim ortamlarında ortaya çıkabilecek değişkenler tam olarak yansıtamayabilir.
- **Endüstri 5.0 Uygulamalarının Kapsamı:** Çalışmada Endüstri 5.0'a dayalı üretim süreçleri ele alınmış olup, diğer sanayi devrimleri ve üretim sistemleri ile karşılaştırmalar sınırlı tutulmuştur.
- **Örneklem Kısıtı:** Araştırma, belirli bir üretim modeli ve belirli üretim tesisleri üzerinden değerlendirilmiştir. Farklı üretim ölçekleri ve sektörlerde farklı sonuçlar elde edilebilir.

1.6. Tanımlar

Bu çalışmada kullanılan bazı temel kavramlar aşağıda sıralanmaktadır:

- **Endüstri 5.0:** İnsan ve makinelerin (robotların) iş birliği içinde çalıştığı, yapay zeka, büyük veri ve otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu ile sürdürülebilir ve kişiselleştirilmiş üretim süreçlerini temel alan yeni nesil sanayi devrimidir.
- **ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi:** Kuruluşların müşteri memnuniyetini artırmak, süreçlerini sürekli iyileştirmek ve uluslararası kalite standartlarına uyum sağlamak amacıyla uyguladığı, kalite yönetim sistemine ilişkin uluslararası bir standarttır.

- Lityum Batarya: Lityum iyon teknolojisini temel alan, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun ömürlü yapısı ile taşınabilir cihazlardan elektrikli araçlara kadar geniş bir kullanım alanına sahip enerji depolama sistemidir.
- Zaman Etüdü: Üretim süreçlerinde gerçekleştirilen iş adımlarının sürelerini ölçmek ve analiz etmek amacıyla yapılan çalışma yöntemidir. İş gücü verimliliğini artırmak ve süreçleri optimize etmek için kullanılır.
- Kalite Yönetimi: Ürün ve hizmetlerin belirlenen standartlara uygun olarak üretilmesini sağlamak amacıyla uygulanan sistematik yaklaşımlar bütünü olup, müşteri memnuniyetini ve üretim güvenilirliğini artırmayı hedefler.
- Üretim Süreci: Ham maddelerin belirli süreçlerden geçirilerek nihai ürüne dönüştürülmesini sağlayan faaliyetler bütünü olup, manuel veya otomasyon destekli sistemler ile gerçekleştirilebilir.
- Verimlilik: Üretim sürecinde kullanılan kaynakların etkinliğini ölçen bir kavram olup, iş gücü, zaman ve maliyet faktörlerinin en iyi şekilde değerlendirilmesini ifade eder.
- Rekabetçilik: Bir işletmenin sektörde sürdürülebilir bir avantaj elde etmek ve rakiplerine karşı üstünlük sağlamak amacıyla yenilikçi, verimli ve kaliteli üretim yöntemleri uygulamasıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, çalışmanın temel kavramları ve ilgili konular detaylı bir şekilde ele alınacaktır. İlk olarak, lityum bataryaların yapısı, bileşenleri ve kullanım alanları incelenecek; ardından Endüstri 5.0 ve ISO 9001:2015 kalite yönetim sisteminin temel prensipleri üzerinde durulacaktır. Son olarak, lityum batarya üretim süreçlerine Endüstri 5.0 yaklaşımının entegrasyonu değerlendirilecek ve bu çerçevede geliştirilen iş modeline ilişkin detaylar sunulacaktır.

2.1. Lityum Bataryaların Tanımı ve Gelişimi

Enerji depolama teknolojilerinin birçok kullanım alanına sahip olduğunu belirtmekte yarar vardır. Bilhassa elektronik cihazların büyük bir kısmında enerji depolama teknolojilerinden sıkça yararlanılmaktadır. Son 10 yıllık süreçte ise, elektrikli araçların devreye girmesiyle birlikte öneminin de bu duruma paralel olarak arttığını da belirtmek gereklidir. Bu bağlamda enerji depolama teknolojilerinin sürdürülebilir enerji sistemleri açısından son derece önemli bir bileşen olduğunu söylemek mümkündür. Çalışmanın başlığını oluşturan lityum iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu sahip olan bataryalar olduğundan, uzun döngü ömrüne sahiptirler ve hafif olmalarından ötürü de günümüz teknoloji çağında her geçen gün daha fazla öneme sahip olmaya başlamıştır (Tarascon ve Armand, 2001: 360). Lityum bataryalara yönelik ilk adımlar 20. yüzyılın sonlarına doğru atılmaya başlamıştır. Ticari olarak 1991 yılında sunulan lityum bataryalar, enerji depolama sistemleri açısından bir nevi devrim niteliğindedir (Whittingham, 2004: 4776).

Lityum hücrelerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan enerji depolama sistemi, lityum batarya sistemi olarak tanımlanmaktadır. Sistemin çalışması için bir ya da daha fazla lityum hücreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak hücrelerin aktif olarak çalışabilmesi amacıyla aşağıda sıralanan bileşenlere ve teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar (Emecen vd., 2022: 1):

- Batarya Hücreleri: Enerjinin hem sağlandığı hem de depolandığı ana birimler, batarya hücreleridir. Genel olarak lityum iyon (Li-ion), lityum polimer (LiPo), Lityum Demir Fosfat (LFP LiFePO₄) hücreleri kullanılır.

- Batarya Yönetim Sistemi (BMS): Hücrelerin gerek şarj, gerekse de deşarj süreçlerini hem izleyen hem de yöneten elektronik bir sistemdir. Batarya yönetim sisteminin temel amacı ise, güvenlik, performans optimizasyonu ve batarya ömrünü uzatmaktır.
- Şarj ve Deşarj Yönetimi: Kontrol sistemi olan şarj ve deşarj yönetimi, aynı zamanda bataryanın doğru bir biçimde şarj edilmesini ve enerjiyi doğru şekilde dağıtmasını sağlamaktadır.
- Isı Yönetimi: Sistemdeki aşırı ısınmanın önlenmesi ve verimli şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla kullanılan soğutma veya ısıtma amaçlı sistemlerdir.
- Güç Elektroniği: Enerji akışının kontrolünü ve diğer sistemlerle bütünleşmesini sağlayan güç dönüştürücüleri ve elektronik bileşenlerdir.

İçerisinde bulunduğumuz teknoloji çağının gerekliliklerine uygun bir şekilde üretilen lityum batarya sistemlerinin kullanım alanlarının oldukça yoğun olduğunu söylemek mümkündür. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Meng vd., 2022: 392):

- Taşınabilir cihazlarda (telefon, PC, tablet vb.)
- Elektrikli araçlarda,
- Sürdürülebilir enerji sistemlerinde,
- Enerji depolama sistemlerinde

yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Lityum batarya sistemleri, yüksek enerji yoğunluğu dışında, uzun ömür ve düşük ağırlık gibi kullanıcılara diğer bazı avantajları da sunmaktadır. Lityum pillerin tarihsel süreç gelişimi incelendiğinde, Kimyager G.N. Lewis, 1912 yılında lityum pil ile ilgili ilk çalışmaları gerçekleştiren kişidir. Ancak o yıllarda gerek savaşlar gerekse de farklı sebeplerden ötürü pil teknolojisi uzun bir süre sessizliğe bürünmüştür (Pehlivan vd., 2024: 86).

1970'li yılların ilk yarısında şarj edilemeyen lityum pillerin, sonrasında ise 1980'li yıllarda şarj edilebilir lityum pillerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürdürülmüştür. Ancak birçok deneme yapılsa da arzu edilen sonuçlar elde edilememiş ve testler genel olarak başarısız olmuştur. 1990'lı yıllarda Sony markası ilk lityum iyonu ticarileştiren bir marka olarak öne çıkmıştır. Bu tarihten sonra

lityum piller gelişim kaydetmeye başlamıştır. 1991 yılında Sony, lityum-kobalt-oksit katodunun uluslararası patentini ilan etmiştir (Mizushima vd., 1980: 785).

Bu durumdan ötürü rakip konumundaki Goodenough ve Sony arasında çok ciddi maddi davalar açılmıştır. Sonuç olarak davaların neticesinde Sony, patenti elinde tutmuştur. 2014 yılına gelindiğinde ABD Ulusal Mühendislik Akademisi, lityum pillerin gelişiminde önemli düzeyde katkıda bulunan Goodenough adlı markaya Charles Stark Draper Ödülü verilmiştir (Pehlivan vd., 2024: 86). Çalışmanın bu kısmında lityum bataryalarla ilgili konulara yer verebilecektir.

2.1.1. Lityum Batarya Paketinin Komponentleri

Lityum iyon bataryalar, önceki başlıklarda da ele alındığı üzere, kullanım alanı oldukça geniş olan bir enerji depolama teknolojisidir. Bilhassa bu çalışmada da üzerinde sıklıkla durulacak olan elektrikli araçlar açısından çok daha büyük bir öneme sahiptir. Elektrikli araçlar dışında, taşınabilir elektronik cihazlarda da kullanılmaktadır. Lityum bataryalar özel olarak tasarlanan birçok bileşene ev sahipliği yapmaktadır. İzleyen başlıklarda bu bileşenler üzerinde durulacaktır.

2.1.1.1. Anot (Negatif Elektrot)

Anot, batarya hücreleri tarafından depolanan iyonların boşaltımını sağlayan bu bileşenlerin özellikleri aşağıda sıralanmaktadır (Kim vd., 2019: 216):

- Yüksek lityum iyon depolama kapasitesi
- Düşük iç direnç ve yüksek iletkenlik
- Uzun çevrim ve düşük genleşme etkisi

Anot malzemeler arasında günümüzde en sık kullanılan anot malzemeler Grafit, Silisyum ve Lityum Titanat adlı malzemelerdir. Grafit en yaygın kullanılan anot malzemesi olarak öne çıkarken, silisyum; yüksek enerji yoğunluğu sağlama avantajının yanı sıra, genleşme problemi yaşanmasına neden olmaktadır. Lityum Titanat ise, hem yüksek güvenlik hem de uzun ömürlü bir anot malzemesidir (Shao vd., 2012: 5713).

2.1.1.2. Katot (Pozitif Elektrot)

Lityum iyonları geri alan ve bataryanın boşalmasını sağlayan katot malzemesi, bataryanın öncelikli enerji yoğunluğunu belirlemenin dışında, ayrıca gerilim seviyesini ve termal kararlılığı belirlemektedir (Xu, 2004: 4346). Katot malzeme örnekleri ve elektrikli araç üreticileri tarafından tercih edilenler aşağıda sıralanmaktadır (Kim vd., 2019: 218):

- Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (LiNiMnCoO_2 - NMC): BMW, Tesla, Volkswagen gibi markalar tarafından kullanılır.
- Lityum Demir Fosfat (LiFePO_4 - LFP): Uzun ömürlü olmanın yanı sıra güvenli olan LFP, henüz piyasada yeni olan BYD markası tarafından kullanılır.
- Lityum Kobalt Oksit (LiCoO_2 - LCO): Tüketici elektroniğinde kullanılır. EV bataryalarında çok tercih edilmemektedir.

2.1.1.3. Elektrolit

İletkenliği sağlayan malzeme olan elektrolit, lityum iyonlarının anot ile katot arasında hareketi sağlamaktadır. Genel olarak organik çözücü içinde çözülmüş Lityum Hekzaflorofosfat (LiPF_6) kullanılır. Elektrolit çeşitleri ve özellikleri aşağıda sıralanmaktadır (Xu, 2004: 4344):

- Katı-hal elektrolitler: Güvenli olan bu elektrolitlerin henüz emekleme aşamasında olduğunu belirtmekte yarar vardır.
- Sıvı elektrolitler: Lityum tuzları organik karbonat çözücülerde çözülerek kullanılır.
- Jel elektrolitler: Katı ve sıvı arası bir yapıya sahiptir. Jel elektrolitlerle ilgili olarak günümüzde bilhassa hibrid bataryalarda kullanılabilmesi için araştırmalar sürmektedir.

2.1.1.4. Ayırıcı (Separator)

Separator bileşeni, anot ve katot malzemelerini fiziksel bir şekilde ayırmakta ve kısa devrelerin önlenmesine yardımcı olmaktadır. Separator, iyonların geçişini sağlayan elektronların hareketini önlemekte ve böylece batarya güvenli bir şekilde

çalışabilmektedir. Separatordeki ayırıcı malzemeler aşağıda sıralanmaktadır (Zhang, 2007: 356):

- Polipropilen (PP): Kimyasal dayanımı oldukça yüksektir.
- Polietilen (PE): Mekanik dayanıklılığı oldukça yüksektir.
- Seramik kaplamalı ayırıcılar: Isıya dayanıklı olduğundan, oldukça güvenlidir.

2.1.1.5. Batarya Yönetim Sistemi (BMS)

BMS, aynı zamanda bataryanın beyni olduğundan, batarya kapsamında yer alan hücrelerin hem dengeli hem de güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Fonksiyonel bir özelliğe sahip olan BMS fonksiyonları aşağıda sıralanmaktadır (Goodenough ve Park, 2013: 1180):

- Şarj ve deşarj yönetimi: Voltajda aşırı düşme ya da artmaları önleyebilmektedir.
- Sıcaklık izleme: Termal kaçakları önleyebilmektedir.
- Hücre dengeleme: Hücrelere voltajın eşit şekilde dağılmasını sağlamaktadır.
- Aşırı akım ve kısa devre koruması: Patlama ve yangın riskinin azaltılmasını sağlamaktadır.

2.1.1.6. Soğutma Sistemi

Isı yönetimi elektrikli araç bataryaları için kritik öneme sahip olan bileşenlerden biridir. Soğutma sistemi, aşırı ısınmayı önleme amacıyla hem pasif hem de aktif soğutma sistemlerini kullanmaktadır. Bataryalardaki soğutma sistemlerinin özellikleri aşağıda sıralanmaktadır: (Kim vd., 2019: 218).

- Hava soğutma: Maliyeti düşük olan hava soğutma düşük maliyetli olsa da, yüksek performanslı EV'ler açısından yetersizdir.
- Sıvı soğutma: BMW ve Tesla gibi öncü markalar sıvı soğutmalı bataryalar kullanmaktadır.
- Faz değişim malzemeleri: Batarya hücrelerindeki aşırı ısıyı emmektedir.

2.1.1.7. Modüller ve Paketleme Sistemi

Elektrikli araç bataryalarının oluşturulabilmesi amacıyla, hücrelerden oluşan modüllerin birleştirilir ve batarya paketi oluşturulur. Hücreler, hem paralel hem de paralel bağlanabilmekte ve böylece istenen voltajın ve kapasitenin sağlanması mümkün olabilmektedir (Yoshino, 2012: 5799). Paketleme sisteminin yapısı ve bu sistemi kullanan markalar aşağıda sıralanmaktadır:

- Silindirik hücreler (Tesla tarafından kullanılmaktadır)
- Prizmatik hücreler (Volkswagen ve BMW tarafından kullanılmaktadır)
- Poşet hücreler (Hyundai-Kia gibi markalar tarafından kullanılmaktadır)

2.1.2. Lityum Bataryaların Tarihsel Gelişimi ve Teknolojik Evrimi

Lityum bataryaların günümüzdeki önemi tüm çevreler tarafından bilinmektedir. Devrim niteliğindeki bu teknolojinin gelişimi insan yaşamını kolaylaştırma amacının yanı sıra, çevre hassasiyeti açısından da son derece önemlidir. Günümüzde geniş bir kullanım alanına sahip olan lityum bataryaların gelişimi, elektrokimyasal enerji depolama sistemlerindeki bilimsel keşifler, endüstriyel talepler ve çevre faktörü doğrultusunda şekillenmiştir (Engelke, 2012: 4). Çalışmanın bu kısmında, lityum bataryaların tarihsel süreçteki gelişimi kronolojik bir sıralama doğrultusunda ele alınacaktır.

2.1.2.1. Lityum Batarya Öncesi: Elektrokimyasal Bataryaların Temelleri

Elektrokimyasal enerji depolama sistemlerinin keşfedilmesinden sonra, birçok yeni teknoloji de hayat bulmaya başlamıştır. Lityum bataryalarda bu hayat bulan teknolojilerden biri olarak göze çarpmaktadır. Lityum batarya öncesi elektrokimyasal bataryaların temelleri ve gelişimi aşağıdaki gibi özetle sıralanmaktadır (Linden ve Reddy, 2002: 285; Whittingham, 1976: 1128):

- 1800'lü Yıllar (Volta Pili): Alessandro Volta tarafından icat edilen bu batarya, ilk kimyasal bataryadır. Çinko ve bakır elektrolitten oluşan bu bataryalar depolanabilme ve yeniden kullanılabilme özelliğine sahip olan ilk bataryalardır.

- 1850’li Yıllar (Kurşun-Asit Batarya): Söz konusu yıllarda Planté tarafından geliştirilen bu batarya, şarj edilebilir bir özelliğe sahip olduğundan, taşınabilir enerji sistemlerinin temelini oluşturan bir teknolojidir.
- 1900’lü Yıllar (Nikel-Kadmiyum “NiCd” ve “Nikel-Metal Hidrit” Bataryalar): İki büyük dünya savaşının olduğu bir dönemde geliştirilen bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu sunmaktadır. O dönem içerisinde özellikle otomobil sektöründe ve taşınabilir cihazlarda kullanım alanı artmaya başlamıştır.
- 1950’li Yıllar (Lityum Metalelik İlk Çalışmalar): Atom ağırlığının düşük olması, lityum elementine bazı avantajlar sağlamaktadır. Bu durum batarya üreticileri açısından son derece önemli bir durumdur. Ayrıca lityum elementinin yüksek elektrokimyasal potansiyelinden ötürü batarya teknolojisi açısından tercih edilebilir hale gelmesine yol açmıştır.

2.1.2.2. Lityum Bataryaların Keşfi ve İlk Geliştirmeler

Lityum bataryaların keşfedilmesi ve bu bataryalara yönelik ilk geliştirmeler aşağıda sıralanmaktadır (Whittingham, 1976: 1129; Whittingham, 2004: 4779; Goodenough ve Park, 2013: 1184; Yoshino, 2012: 5800):

- 1970’ler (Lityum bataryalara yönelik ilk çalışmalar):
 - Stanley Whittingham, lityum metali ve titanyum disülfid (TiS_2) bazlı olan ilk lityum bataryayı geliştirmiştir.
 - Lityum metalin aşırı reaktif olmasından ötürü o yıllar içerisinde bazı güvenlik sorunları ile karşı karşıya kalmıştır.
- 1980’ler (John Goodenough’un Katot Keşfi):
 - Goodenough tarafından, 1980 yılında lityum kobalt oksit ($LiCoO_2$) katodu geliştirmiştir. Goodenough tarafından kobalt oksit katodun geliştirilmesiyle birlikte bataryalar hem güvenli hem verimli duruma gelmiştir
 - Goodenough’un geliştirdiği bu bataryalar, ticari lityum iyon bataryaları için atılan önemli adımlardan biridir.

- 1985 (Akira Yoshino tarafından Grafit Bazlı Anot Kullanımı):
 - Yoshino tarafından, grafit bazlı anot geliştirilmiştir. Bu gelişim lityum iyon bataryalarla ilgili güvenliğin artmasına katkı sağlamıştır.
 - Yoshino tarafından geliştirilen bu teknoloji yardımıyla, ilk ticari lityum iyon batarya üretiminin önünü açmıştır.

2.1.2.3. Lityum İyon Bataryaların Ticari Alanda Kullanımı ve Gelişimi

Lityum İyon Bataryaların Ticari alandaki Kullanımı ve Gelişimi ile ilgili aşamalar kronolojik olarak aşağıda sıralanmaktadır (Nishi, 2001: 103; Armand ve Tarascon, 2008: 654; Harlow vd., 2019: 3036; Zhang vd., 2007: 359):

- 1991 Yılı (Sony'nin İlk İyon Bataryayı Piyasaya Sürmesi):
 - Sony tarafından 1991 yılında lityum iyon bataryaları ilk defa ticari olarak piyasaya sunulmuştur.
 - Sony tarafından piyasaya sürülen bu bataryalar, Nikel-Kadmiyum (NiCd) bataryalarla karşılaştırıldığında, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmanın dışında çevre dostu olmasından ötürü daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir.
- 1990'lı Yıllar:
 - Lityum Nikel Kobalt Oksit (NMC) ve Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄) katotları bu yıllarda geliştirilmiştir. En önemli özelliği ise yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır.
 - Yeni eklenen bu bileşenlerle birlikte, batarya güvenliği arttırmanın yanı sıra çevrim ömrünün de artması sağlanmıştır.
- 2000'li Yıllar (Lityum Batarya Geliştirme Çalışmaları):
 - Tesla firması, lityum iyon bataryaları ürettiği elektrikli araçlarda kullanmaya başlamıştır. Tesla tarafından atılan bu adım, otomotiv sektörü açısından öncü bir adım olmuştur.
 - Lityum bataryalar, hem güvenlik hem de uzun ömürlü olmasından ötürü elektrikli araçlarda yoğun şekilde kullanılmaya başlamıştır.

- 2010'lu Yıllar (Hızlı şarj ve katı bataryalar üzerine yapılan çalışmalar):
 - Katı bataryalarda, sıvı yerine katı elektrolit kullanılmıştır. Temel amacı ise batarya güvenliğini arttırmaktır.
 - Yüksek kapasiteye sahip olan silisyum bazlı anotlar geliştirilmeye başlamıştır. Temel amacı ise, lityum bataryalardaki enerji yoğunluğu artırılmaktır.
- 2020'li Yıllar (Yeni Nesil Lityum Bataryalar):
 - Silindirik Hücreler: Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan bu hücreler, aynı zamanda üreticilere maliyet avantajı da sağlamaktadır. Bilhassa Tesla markası tarafından tercih edilmektedir.
 - Sodyum-İyon Bataryalar: Lityum kaynaklarının kısıtlı olmasından ötürü üreticilerin bu arayışlara girmesine yol açmıştır.

Yukarıdaki gelişim aşamalarından da anlaşıldığı üzere lityum bataryalar, ilk keşfinden sonraki süreçte çok ciddi aşama kaydetmiştir. Günümüzde ise, lityum bataryalar en verimli enerji depolama sistemlerinden biri olmuştur. Öyle ki, yüksek kapasiteye sahip olan anotlarla ilgili araştırmalar, şarj işleminin hızlı bir şekilde yapılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır. Atılan tüm bu adımların neticesinde, lityum bataryaların gelecekte sürdürülebilir, güvenli ve verimli hale gelebileceğini söylemek mümkündür.

2.2. Lityum Bataryaların Önemi

Lityum bataryalar, yukarıda da belirtildiği üzere, birçok kullanım alanına sahip olmasından ötürü büyük öneme sahiptir. Bilhassa ilerleyen süreçte fosil yakıt tüketimini azaltmak amacıyla araçların büyük bir kısmının elektrikli olabileceğini dikkate aldığımızda, lityum bataryaların öneminin de bu ve benzer durumlardan ötürü artacağını söylemek mümkündür (Gültek ve Altın, 2022: 108).

Lityum bataryaların bir diğer önemi ise, sürdürülebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu durum fosil yakıtların tüketimini düşürürken, sürdürülebilir enerji çözümleri sunmaktadır. Ayrıca lityum bataryalar, elektrik şebekelerinin kararlılığını sağlama aşamasında da oldukça kritik öneme sahip olabilmektedir (Marino vd., 2012: 22715).

Lityum batarya teknolojisi, yukarıda da bahsedildiği üzere, hızlı bir gelişim kaydetmektedir. Önümüzdeki yıllarda daha fazla tercih edilmesi kaçınılmaz olan lityum bataryalar, enerji depolama alanında sınırları çok ciddi şekilde zorlamaktadır. Akıllı cihazlardan yenilenebilir enerji depolama sistemlerine varana dek lityum piller hayatın birçok noktasında insanların karşısına çıkmaktadır. Çalışmanın izleyen başlıklarında lityum bataryaların enerji alanındaki dönüşümüne ve yarattığı etkiler üzerinde durulacaktır.

2.2.1. Elektrikli Araçlar (EV) ve Sürdürülebilir Ulaşım

Günümüzde küresel ısınmanın temel sebeplerinden biri olan fosil yakıt tüketimine yönelik farkındalığın arttığını belirtmekte yarar vardır. Ülkeler buna uygun bir şekilde politikalar oluşturmaya başlamıştır. Elektrikli araçlarda kullanılan lityum bataryalar bu aşamada kilit role sahiptir (Zubi vd., 2018: 294). EV açısından lityum iyon bataryalar, performans üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir. EV açısından lityum bataryaların önemi ile ilgili hususlar aşağıda sıralanmaktadır (Harlow vd., 2019: 3037; Whittingham, 2004: 4282; Zubi vd., 2018: 298):

- Lityum bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğundan, EV'lerde uzun menzil kullanımına olanak sağlamaktadır.
- Şarjın hızlı olması, kullanıcıların zamanını daha az harcamasına olanak sağlamaktadır.
- Çevrim ömrünün uzun olmasından ötürü, araç bataryalarının yeniden şarj edilebilmesine imkân tanımaktadır.
- Fosil yakıtta olan bağımlılığın düşmesine olanak sağlamaktadır.

Küresel alanda boy gösteren güçlü otomotiv şirketleri (BMW, BYD, Tesla, Volkswagen), bu alana çok ciddi şekilde yatırım yapmaktadırlar. Son yıllarda yukarıda sözü edilen otomotiv şirketleri dışında, diğer EV üreticilerinin de batarya teknolojisine çok ciddi şekilde yatırım yapmaktadırlar (Zubi vd., 2018: 299).

Bu durum hem daha yüksek kapasiteli hem de kolay bir şekilde hızlı şarj edilebilen bataryaların gelişmesine ve EV'lerin yaygınlaşmasına olanak sağlamaktadır. Lityum bataryaların elektrikli araçlardaki avantajları (Harlow vd., 2019: 3039):

- Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması, elektrikli aracın uzun menzilli olmasına katkı sağlamaktadır.
- Hızlı şarj özelliği verimliliğe katkı sağlamaktadır.
- Karbon salınımının az olması çevre dostu olduğunun göstergesidir.

Kullanım alanları ise aşağıda sıralanmaktadır (Linden ve Reddy, 2002: 271; Harlow vd., 2019: 3039):

- Tam elektrikli araçlar (BEV - Battery Electric Vehicles)
- Hibrit elektrikli araçlar (HEV - Hybrid Electric Vehicles)
- Plug-in hibrit araçlar (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

Konuyu Türkiye özelinde ele aldığımızda, Türkiye’de TOGG gibi yerli üretimler lityum batarya teknolojisinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır.

2.2.2. Yenilenebilir Enerji Depolama

Sürdürülebilir enerjinin önemi, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi olumsuz durumlardan ötürü her geçen gün artmaktadır. Güneş ve rüzgâr enerji kaynakları, kesintili şekilde üretim gerçekleştirdiğinden, enerjinin depolanması son derece önemlidir. Lityum bataryalar ise bu aşamada yenilenebilir enerji sistemlerinin verimliliğinde öne çıkan unsurlardan biridir. Bu bağlamda lityum bataryaları enerji depolamada önemli bir görevi üstlenmektedir. Lityum bataryaların önemini ortaya çıkan faktörler aşağıda sıralanmaktadır (Zubi vd., 2018: 299):

- Bakım maliyetlerinin düşük olmasının yanı sıra, sürdürülebilirliğinden ötürü her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir.
- Diğer sürdürülebilir enerji kaynaklarından (güneş ve rüzgâr enerjisi) elde edilen fazla elektriği depolayabilmekte ve gece ya da elektrik üretiminin düşük olduğu anlarda kullanılabilme imkânı sağlamaktadır.
- Şebeke bağlantılı olması son derece önemlidir ve bunun yanında bağımsız enerji depolama çözümleri de sunabilmektedir.
- Şebekeye entegre edilebilme özelliğinden ötürü, enerji talep yönetimini optimize edebilmekte ve elektrik kesintilerini önlenmesini sağlamaktadır.

Yukarıda sıralananlardan anlaşıldığı üzere, lityum bataryalar birçok açıdan yaşamı kolaylaştırabilecek özelliklere sahiptir. Otomotiv markaları da iş planlamalarını bu duruma uygun bir şekilde yapmaktadırlar. Örneğin Tesla markası tarafından kullanılan Megapack ve Powerwall enerji depolama sistemleri, enerji verimliliğini artıran uygulamalar olarak göze çarpmaktadır (Harlow vd., 2019: 3040).

2.2.3. Mobil Cihazlar

Lityum bataryalar, EV dışında taşınabilir elektronik cihazlar açısından son derece elverişlidir. İlk çıktığı zamanlarda da temel amacı taşınabilir elektronik cihazlarda kullanma olan lityum bataryalar, günümüzde de modern taşınabilir cihazların en önemli güç kaynağı olarak göze çarpmaktadır (Zubi vd., 2018: 302).

Taşınabilir cihazlarda lityum bataryaların önemini ortaya çıkaran birçok faktör vardır. Aşağıda lityum bataryaların önemini ortaya koyan hususlar sıralanmaktadır (Nishi, 2001: 93; Linden ve Reddy, 2002: 242; Whittingham, 2004: 4285; Armand ve Tarascon, 2008: 654; 4280; Harlow vd., 2019: 3042; Zubi vd., 2018: 293):

- Pil ömrünün uzun olması, hem kullanıcı deneyimini iyileştirmekte, hem de zaman kaybını önleyebilmektedir.
- Kolay taşınabilir olmasından ötürü, taşınabilir cihazların ergonomisini artırmaktadır.
- Hızlı şarj edilebilme özelliğinden ötürü, günlük kullanım için kullanıcılara büyük kolaylık sunmaktadır.
- Düşük bakım ihtiyacından ötürü, klasik NiCd ve NiMH bataryalara kıyasla kullanıcılara birçok avantaj sunmaktadır.

Apple, Samsung ve Huawei gibi firmalar, lityum polimer ve yeni nesil lityum batarya teknolojilerini mobil cihazlarda kullanarak daha verimli batarya çözümleri geliştirmektedir.

2.2.4. Uzay Teknolojileri ve Savunma Sanayi

Bilindiği üzere otomotiv sektöründe olduğu gibi, savunma sanayisinde de en son teknoloji kullanılmaktadır. Uzay teknolojilerinde de bilhassa lityum bataryaların hafif olması ve yüksek verimliliğe sahip olmasından ötürü tercih edilmektedir.

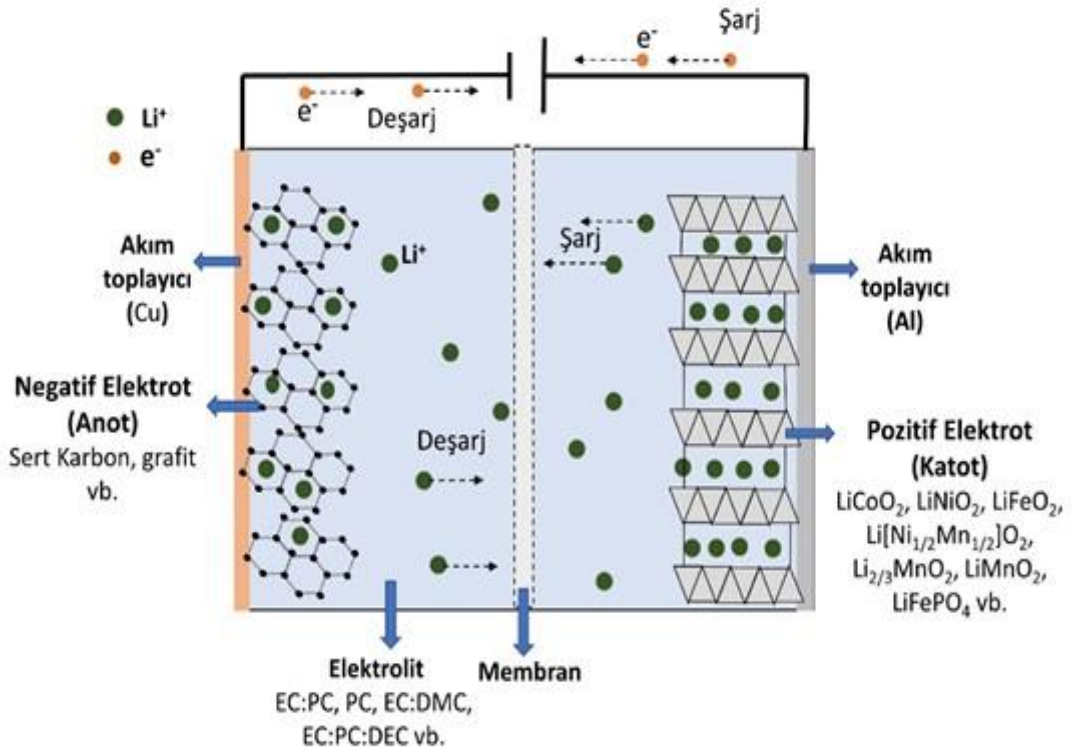
Lityum bataryaların uzay ve savunma sektöründe tercih edilmesine sebep olan faktörler aşağıda sıralanmaktadır (Linden ve Reddy, 2002: 249; Whittingham, 2004: 4280; Armand ve Tarascon, 2008: 655; 4280; Zubi vd., 2018: 295):

- Uzun çevrim süresinden ötürü İHA ve dronelerde tercih edilmektedir.
- Uzay görevlerinde kullanıcılara yüksek güvenilirlik imkânı sağlamaktadır.
- Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasından ötürü askeri teçhizatlarda verimlilik sağlamaktadır.

NASA ve SpaceX gibi kuruluşlar, lityum iyon bataryaları yoğun şekilde kullanmaktadır. Günümüzde tüm mekanize askeri sistemlerde de bilhassa hafif ve dayanıklı olmasından ötürü tercih edilmektedir (Zubi vd., 2018: 295).

2.3. Lityum Bataryaların Özellikleri ve Çalışma Prensibi

Lityum bataryalar, prensip olarak lityum iyonlarının unsurlarından olan anot ve katot unsurlarının birbiriyle tersinir olarak hareket etmesiyle çalışmaktadır. Aşağıdaki Şekil 1’de bu durum görülmektedir.



Şekil 1. Lityum bataryaların bileşenleri ve çalışma sistemi (Pehlivan vd., 2022: 85)

Şarj esnasında, dışarıdan sağlanmış olan elektrik enerjisi, lityum iyonlarının unsurlarından olan anottan ayrılmakta ve elektrolit aracılığıyla diğer unsur olan katoda doğru yol almaktadır. Lityum iyonları, katot malzemesinin kristalize durumdaki yapısına yerleşmektedir. Deşarj esnasında da, katotta depolanmış olan lityum iyonları gene elektrolit aracılığıyla anota dönmekte, tıpkı katot malzemesinin kristalize durumdaki yapısına yerleştiği gibi, lityum iyonları bu defa anot malzemesine yerleşmektedir (Ahmed vd., 2017: 86).

Böylece, pilin dış devresinde elektron akışının oluşmasına yol açar ve bu şekilde elektrik üretilmiş olmaktadır. Lityum iyonlarının unsurları olan anot ve katot arasında bu şekilde ileri geri hareket, pilin sürekli olarak şarj edilip deşarj edilmesine olanak sağlamaktadır. Pilin voltajı da, kullanılan anot ve katottaki elektrokimyasal potansiyelleri arasındaki farkla saptanabilmektedir (Pehlivan vd., 2022: 87).

Lityum iyon hücreler anot, katot ve elektrolitten oluşmaktadır. Basit bir yapıya işleyişe sahip olan lityum bataryalar, ömürleri ve performanslarının daha iyi bir hale getirilmesiyle, kullanım alanının da her geçen gün arttığını belirtmekte yarar vardır (Emecen vd., 2022: 4).

Lityum iyon bataryalar, önceki başlıkta ele alındığı üzere, çevrim ömrünün uzun olması, kolay taşınabilir olması ve verimlilikten ötürü tercih edilen bir teknolojidir. Çalışmanın bu kısmında, lityum bataryaların temel özellikleri ve çalışma prensibi kapsamlı bir şekilde incelenecektir.

2.3.1. Lityum Bataryaların Temel Özellikleri

Lityum bataryaların sıklıkla tercih edilmesinin başlıca nedenlerini; yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması, uzun ömürlü olması, hızlı şarj ve güvenlik olarak sıralanmaktadır. Bu hususlara izleyen başlıklarda yer verilecektir.

2.3.1.1. Yüksek Enerji Yoğunluğu

Lityum iyon bataryalar, fazla enerji depolayabilme özelliğine sahiptir. Klasik kurşun-asit (Pb-Acid) ve nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalarla karşılaştırıldığında, ortalama olarak 2 kat daha fazla yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (Harlow vd., 2019: 3046). Aşağıdaki Tablo 1’de lityum bataryalarla klasik bataryalar arasındaki enerji yoğunluğu karşılaştırması görülmektedir.

Tablo 1. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki enerji yoğunluğun karşılaştırması

Batarya Türü	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)
Kurşun-Asit (Pb-Acid)	30-50
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	40-60
Nikel-Metal Hidrit (NiMH)	60-120
Lityum İyon (Li-Ion)	150-250

Kaynak: Whittingham, 2004: 4285

Yukarıdaki tabloda yer alan lityum bataryalardaki bu özellikler, EV'lerin daha uzun mesafelere ulaşmasına ve cihazların daha uzun süre çalışmasına olanak sağlayabilmektedir (Harlow vd., 2019: 3047).

2.3.1.2. Çevrim Ömrünün Uzun Olması

Lityum bataryalar, pek çok şarj-deşarj döngüsüne yönelik mukavemete sahiptir. Klasik bataryalarla kıyaslandığında, lityum bataryaların daha uzun ömürlü olduğunu söylemek mümkündür. Aşağıda yer alan Tablo 2'de lityum bataryaların çevrim ömrü ile geleneksel bataryaların çevrim ömrü arasındaki farklılıklar ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.

Tablo 2. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki çevrim ömrünün karşılaştırması

Batarya Türü	Ortalama Çevrim Ömrü (Şarj-Deşarj Döngüsü)
Kurşun-Asit (Pb-Acid)	300-500
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	500-1000
Nikel-Metal Hidrit (NiMH)	500-1000
Lityum İyon (Li-Ion)	1000-3000

Kaynak: Harlow vd., 2019: 3049.

Yukarıdaki tabloya ek olarak, Lityum Demir Fosfat (LiFePO₄) lityum batarya türleri 5000 çevrime kadar dayanabilmektedir (Armand ve Tarascon, 2008: 657).

2.3.1.3. Hafif ve Kompakt Tasarıma Sahip Olması

Lityum iyon bataryalar, klasik bataryalarla kıyaslandığında, hem daha küçük hem de daha hafif olması kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. Aşağıda klasik bataryalarla lityum bataryalar arasındaki farklılık görülmektedir (Nishi, 2001: 252).

- Klasik bataryalar: Ağır ve düşük enerji yoğunluğuna sahip olması dezavantajdır.
- Lityum iyon bataryalar: Klasik bataryalara kıyasla lityum bataryalar ortalama olarak %60-70 daha hafiftir.

2.3.1.4. Düşük Kendiliğinden Deşarj Oranı

Lityum iyon bataryalar, klasik bataryalara kıyasla oldukça düşük kendiliğinden deşarj oranına sahiptir. Lityum iyon bataryalardaki bu özellik, batarya uzun bir süre kullanılsa da enerjisini koruyabilmesine imkan tanımaktadır. kıyasla oldukça düşük kendiliğinden deşarj oranına sahiptir. Aşağıda yer alan Tablo 3’de batarya türleri ile lityum batarya türlerinin karşılaştırılması yer almaktadır (Gültek ve Altın, 2022: 114).

Tablo 3. Lityum ve klasik bataryalar arasındaki düşük kendiliğinden deşarj oranının karşılaştırması

Batarya Türü	Aylık Kendiliğinden Deşarj Oranı (%)
Kurşun-Asit (Pb-Acid)	%5-10
Nikel-Kadmiyum (NiCd)	%20-30
Nikel-Metal Hidrit (NiMH)	%10-20
Lityum İyon (Li-Ion)	%1-3

Kaynak: Gültek ve Altın, 2022: 114.

2.3.1.5. Hızlı Şarj Desteği

Lityum bataryaların bir diğer önemli özelliği de hızlı şarj edilebilme özelliğidir. Bu özelliğinden ötürü lityum bataryalar, klasik bataryalara kıyasla daha hızlı bir şekilde şarj edilebilmektedir. Kapasiteye paralel bir şekilde, %80 doluluğa, 30 dakika gibi bir süre içerisinde ulaşabilir. Ayrıca hızlı şarj istasyonlarının yaygınlaşması lityum bataryaların geleceği açısından önemlidir (Wang vd., 2012: 213).

2.3.2. Lityum Bataryaların Çalışma Prensibi

Sistemin çalışma prensibi incelendiğinde, anot ve katot arasındaki lityum iyonlarının hareketi, sistemin enerji depolayabilmesine ve serbest bırakabilmesine olanak sağlamaktadır (Zubi vd., 2018: 294). Lityum batarya hücreleri birçok ana bileşenden oluşmaktadır. Aşağıdaki Tablo 4’te bu bileşenlere ve özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 4. Lityum batarya hücrelerinin temel bileşenleri

Bileşen	Açıklama
Anot	Lityum iyonlarını depolar. Genellikle grafit (C) içerir.
Katot	Lityum iyonlarını serbest bırakır. LiCoO ₂ , NMC, LiFePO ₄ gibi malzemeler içerir.
Elektrolit	Lityum iyonlarının hareketini sağlar. Genellikle LiPF ₆ çözeltisi kullanılır.
Ayırıcı (Separator)	Anot ve katodu fiziksel olarak ayırarak kısa devreyi önler.
BMS (Batarya Yönetim Sistemi)	Bataryanın güvenli ve dengeli çalışmasını sağlar.

Kaynak: Goodenough ve Mizushima, 1980: 785

Lityum bataryaların çalışma mekanizmaları şarj olurken ve deşarj olurken şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Şarj olurken (Celen ve Kaba, 2021: 54):

- Elektrolit aracılığıyla anotta yer alan lityum iyonları katoda doğru hareket etmektedir.
- Aynı anda dış devreden elektron akışı sağlanmaktadır.
- Şarj durumundaki iken lityum iyonları anot tarafında depolanmaktadır.

Deşarj olurken (Celen ve Kaba, 2021: 54):

- Lityum iyonları katottan anoda geri hareket eder.
- Aynı anda dış devreye enerji sağlanır ve cihazlar çalışır.
- Bataryanın şarjı azalır ve yeniden şarj gerekir.

2.4. Lityum Bataryaların Riskleri ve Güvenlik Önlemleri

Lityum bataryalar, yüksek enerji yoğunluğunun yanı sıra, uzun olmalarından ötürü pek çok kesim tarafından sıkça kullanılan enerji depolama teknolojilerinden biridir. Fakat bazı yanlış kullanımdan veya üretim hatalarından bir takım güvenlik riskleri söz konusu olabilmektedir. Ayrıca bazı dış etkenlerden ötürü de bazı güvenlik riskleri ortaya çıkabilmektedir. Bu riskler, termal kaçak, aşırı şarj, kısa devre, elektrolit sızıntısı ve çevresel etkiler gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir (Goodenough ve Park, 2013: 1179). Bu bölümde, lityum bataryaların güvenlik riskleri ve alınması gereken önlemler ele alınacaktır.

2.4.1. Lityum Bataryalardaki Temel Riskler

Lityum iyon bataryaların birçok avantajlı tarafı ve önemi olsa da, bazı riskleri de barındırdığını belirtmekte yarar vardır. İzleyen başlıklarda lityum bataryalardaki temel riskler özet olarak ele alınacaktır.

2.4.1.1. Termal Kaçaklar ve Yangın Riskleri

Lityum iyon bataryalar açısından birçok risk olsa da, en temel risk unsuru hiç kuşkusuz termal kaçaklardır. Termal kaçağın söz konusu olabilmesi için, bataryada sıcaklık artışının kontrolsüz olarak yükselmesi ve buna paralel olarak yanması ya da patlaması gerekmektedir. Termal kaçağa neden olabilecek hususlar aşağıda sıralanmaktadır (Wang vd., 2012: 218):

- Soğutma sisteminin yetersizliğinden kaynaklanan aşırı ısınma durumları.
- Ezilme, darbeye bağlı olarak bozulma ve delinme gibi fiziksel hasar niteliğindeki durumlardan ötürü bataryada kısa devrenin oluşması.
- Şarj ve deşarj işlemlerinin aşırı olmasından kaynaklanan iç direnç artışının takip edilememesi.
- Üretim hatalarından ya da malzeme kusurlarından kaynaklı bir şekilde elektrotlarda bozulmanın olması.

Termal kaçaklara ve yangın risklerine karşı alınabilecek bir takım önlemler bulunmaktadır. Bu önlemler aşağıda sıralanmaktadır (Linden ve Reddy, 2002: 246):

- BMS, bataryanın gerek sıcaklık gerekse de voltaj düzeyini izleyerek bataryanın çalışma sınırlarını koruduğundan, en önemli önlemlerden biri olarak dikkat çekmektedir.
- Sıvı ya da hava soğutma sistemlerinin bataryaların aşırı derecede ısınmasını önlediği için kullanılması elzemdir.
- Seramik yapıya sahip olan seperatörler (ayırıcılar), termal kaçaqlara yönelik riski azaltmak amacıyla geliştirildiğinden önlem açısından da son derece dikkat çekicidir.

2.4.1.2. Şarj veya Deşarj İşleminin Aşırı Olması

Lityum bataryalar, belirli bir voltaj aralığından çalıştığı daha az sorun yaşanmaktadır. Ancak bu durumun tam tersi bir durum olduğunda, yani üzerine çıkıldığında, bataryalarda kimyasal kararsızlık söz konusu olmakta ve bu durumun bataryanın yapısal bütünlüğüne ciddi şekilde zarar vererek risk oluşturabilmektedir. Bu bağlamda aşırı şarjın etkileri yarattığı etkiler aşağıda sıralanmaktadır (Whittingham, 2004: 4289; 4280; Gaines, 2014: 4; Dunn vd., 2015: 163; Harlow vd., 2019: 3049):

- Elektrolit bozulması meydana gelir ve bu durum lityum metal dendritlerinin oluşmasına yol açmaktadır.
- Termal kaçağın başlamasına ya da bataryanın alev almasına da yol açabilmektedir.

Aşırı deşarjın da yarattığı bazı etkiler söz konusudur. Bu etkiler ve alınacak önlemler aşağıda görülmektedir (Linden ve Reddy, 2002: 247; Armand ve Tarascon, 2008: 657; Zubi vd., 2018: 296):

- Katotta düzeltilmesi olanaksız olan bozulmalara yol açabilmektedir.
- Batarya ömrünün azalmasına ve buna paralel olarak kapasitesinin de düşmesine neden olabilmektedir.

Bu risklere karşı alınacak önlemler arasında BMS öne çıkmaktadır. Çünkü BMS, bataryanın voltaj düzeyini kesintisiz izlediğinden, ortaya çıkabilecek aşırılıkları da önleme becerisine sahiptir.

2.4.1.3. Elektrolit Kaçakları ve Toksikite Kaynaklı Riskler

Lityum bataryalarda toksisite kaynaklı riskler ve elektrolit kaçakları olabilmektedir. Elektrolit sızması aşağıdaki olumsuzluklara yol açmaktadır (Zubi vd., 2018: 298):

- Elektrolit sızması kimyasal reaksiyonlara yol açtığından, patlayıcı gazların oluşmasına yol açabilmektedir.
- Sızıntı hem çevreye hem de bulunduğu yerdeki diğer cihazlara zarar verebilmektedir.
- Elektrolit kaçakları ve toksisite insan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturabilmektedir.

Elektrolit kaçaklarına yönelik olarak alınacak bazı önlemler vardır. Bu önlemler aşağıda sıralanmaktadır (Armand ve Tarascon, 2008: 657; Zubi vd., 2018: 296; Harlow vd., 2019: 3051):

- Yanıcı sıvı elektrolitler yerine, katı hal elektrolitlerin kullanılması hem riski azaltmakta hem de güvenliği arttırmaktadır.
- Batarya paketleme sistemleri, elektrolit sızıntısını önlemek için sızdırmaz malzemeler ile korunmalıdır.

2.4.1.4. Kısa Devre Kaynaklı İçsel Arıza Riski

Lityum iyon bataryalardaki kısa devre durumu, hücrelerde içinde iletkenliğin normal seviyenin üzerine çıkması ve bataryada aşırı ısınmadan kaynaklı olarak hasar görmesi veya arızalanması durumudur. Bataryalarda kısa devreye neden olabilecek bazı durumlar vardır. Bunlar özetle aşağıda sıralanmaktadır (Linden ve Reddy, 2002: 266; Zhang, 2007: 358):

- Lityum bataryaların içerisinde yer alan ayırıcı tabakanın zarar görmesi kısa devreye yol açmaktadır.
- Delinme, ezilme ya da bükülmeden kaynaklı olarak iç bağlantılarda kopukluğun olması kısa devreye yol açmaktadır.
- Yanlış şarj adaptörü kullanımı kısa devreye yol açabilmektedir.
- Bataryanın aşırı derecede akıma maruz bırakılması da kısa devreye yol açabilmektedir.

Bataryalarda kısa devreyi önleyebilecek bazı önlemler vardır. Bunlar özetle aşağıda sıralanmaktadır (Harlow vd., 2019: 3054; Zhang, 2007: 358):

- Kullanıcıların güvenlik için dayanıklı olan ayırıcı malzemeleri kullanmaları gerekmektedir.
- Kurulacak olan sigorta devreleri ve güvenlik valfleri yardımıyla anormal akımlar önlenmektedir.

2.4.1.5. Çevresel Faktörler ve Geri Dönüşüm Sürecindeki Zorluklar

Çevresel sürdürülebilirlik açısından öneme sahip olan lityum iyon bataryaların hammadde temininde çevre üzerinde olumsuz etki yaratabileceğini belirtmek gereklidir. Çünkü hem lityum madenciliği hem de lityum malzemelerin geri süreçlerinin çevre üzerinde olumsuz etki yaratabilmesi söz konusudur. Bu etkilerden öne çıkanlar aşağıda sıralanmaktadır (Harlow vd., 2019: 3057; Zubi vd., 2018: 297; Chitre vd., 2020: 1124).

- Batarya atıkları birçok kirliliğe (su ve toprak) yol açabilmektedir.
- Lityum elde etme amacıyla yapılan madencilik faaliyetleri, su kaynaklarını ciddi şekilde tüketebilmekte ve bu durum ekosistem üzerinde zarara yol açabilmektedir.

Lityum malzemelerin geri dönüşümünde bazı zorluklar vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Zubi vd., 2018: 297; Chitre vd., 2020: 1125; Gaines, 2018: 4):

- Geri dönüşüm süreçleri enerji yoğunudur ve ekonomik bakımdan da sınırlıdır.
- Nikel ve kobalt gibi değerli elementlerin geri kazanımı oldukça karmaşıktır.

Çevre üzerinde ve geri dönüşüm sürecindeki risklerin asgari düzeye indirilmesi için alınması gereken bazı önlemler vardır. Bu önlemler aşağıda sıralanmaktadır (Dunn vd., 2015: 159; Zubi vd., 2018: 295):

- Yeni üretimi gerçekleştirilen bataryalarda, metal bileşenlerin kullanımının azaltılması gereklidir.
- Batarya geri dönüşüm sistemlerinin ve ikinci kullanım çözümlerinin yaygınlaştırılması için adımların atılması gereklidir.

Lityum iyon bataryalar, yüksek verimlilik ve performans sunmasına rağmen, termal kaçak, aşırı şarj, elektrolit sızıntısı, kısa devre ve çevresel etkiler gibi çeşitli güvenlik riskleri taşımaktadır. Bu riskler, batarya yönetim sistemleri, yeni malzeme teknolojileri, gelişmiş ayırıcılar ve geri dönüşüm yöntemleri ile azaltılabilir. Özellikle elektrikli araçlar, taşınabilir cihazlar ve enerji depolama sistemlerinde güvenlik standartlarının artırılması, bu bataryaların daha güvenli ve sürdürülebilir şekilde kullanımını sağlayacaktır (Gaines, 2014: 3). Yukarıda sıralananlara ek olarak; Lityum bataryalarının birçok kullanım alanı, yararı ve avantajının yanı sıra taşıdığı bazı riskleri de belirtmekte yarar vardır. Bilhassa aşırı ısınma, kimyasal sızıntılar, kalite kaynaklı sorunlar ve yanlış depolama dikkat çekmektedir. Bu risklerle ilgili özet bilgiler aşağıda sıralanmaktadır (Zubi vd., 2018: 295; Dunn vd., 2015: 160):

- Aşırı ısınma kaynaklanabilecek patlama riski: Lityum bataryalarda öne çıkan risklerin başında aşırı ısınmadan kaynaklanan patlama riski gelmektedir. Termal kaçak söz konusu olduğunda bu tip patlamalar yaşanabilmektedir.
- Mekanik hasardan ve kimyasal sızıntıdan kaynaklanabilecek riskler: Fiziksel darbeler bataryalara farklı türden pek çok zarar verebilmektedir. Böyle bir durum karşısında bataryadaki kimyasal maddelerin çevreye sızması canlı yaşamı ve çevre üzerinde de tehlike oluşturabilmektedir.
- Üretim hatalarından ve kaliteden kaynaklanan sorunlar: Yanlış malzemelerin üretim aşamasında kullanılması ya da montaj işleminin hatalı şekilde yapılması hem batarya performansının düşmesine hem de ve güvenlik sorunlarına neden olabilmektedir.
- Yanlış depolama ve imha: Lityum bataryaların gereken şekilde depolanmaması veya doğru bir şekilde imha edilmemesi durumunda, bir takım çevresel risklere yol açabilmekte ve bu duruma paralel olarak patlama riskini de artırabilmektedir.

2.5. Lityum Bataryaların Avantajları ve Dezavantajları

Lityum bataryaların birçok avantajının yanı sıra bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bu kısımda avantajları ve dezavantajları üzerinde durulacaktır. Öncelikle avantajları aşağıda sıralanmaktadır (Pehlivan vd., 2022: 89):

- **Yüksek Enerji Yoğunluğu:** Lityum bataryalar, diğer pillere kıyasla enerji depolama bakımından daha elverişli olmasından ötürü, uzun menzilli yolculuklarda elektrikli araçlar tarafından tercih edilmektedir.
- **Hızlı Şarj:** Lityum bataryaların en önemli avantajlarından bir diğeri de pillerin kısa sürede yüksek miktarda enerjiyi depolayabilmesidir. Şarj süresinin kısa olması maliyet avantajını da ortaya çıkarmaktadır.
- **Uzun Ömür:** Lityum bataryalar, birçok şarj/deşarj döngüsüne yönelik güçlü bir mukavemete sahip olmasından ötürü diğer pillere kıyasla daha uzun ömürlü olmaktadır.

Lityum bataryaların bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar aşağıda sıralanmaktadır (Celen ve Kaba, 2021: 52):

- **Maliyet:** İlk dikkati çeken dezavantaj maliyettir. Çünkü lityum bataryaların üretim maliyeti yüksek olduğundan, son kullanıcıya da yüksek maliyet yansımaktadır.
- **Sıcaklığa karşı hassasiyet:** Lityum pillerin dezavantajlarından bir diğeri de sıcaklığa karşı olan hassasiyettir. Sıcaklığın aşırı olması, lityum bataryaların performansını olumsuz etkilemekte ve güvenlik riskleri de ortaya çıkarabilmektedir.

Lityum bataryalar, başta yüksek performans olması ve ömrünün uzun olmasından ötürü elektrikli araçlarda sıkça kullanılmaktadır. Fakat maliyet ve sıcağa karşı hassasiyet bu pil türünün bazı dezavantajları olarak göze çarpmaktadır.

2.6. Lityum Bataryaların Kullanım Alanları

Lityum bataryalar; taşınabilir cihazlarda (telefon, PC, tablet vb.), elektrikli araçlarda, sürdürülebilir enerji sistemlerinde ve enerji depolama sistemlerinde elverişli bir şekilde kullanılabilir. Ancak bu çalışmadaki temel amaç elektrikli araçlar için lityum batarya üretimi olduğundan, bu kısımda daha ziyade kullanım alanı olarak elektrikli araçlarla ilgili bilgilere yer verilecektir.

Son yıllarda çevre duyarlılığının daha fazla dile getirildiği ve insanların çevreye olan duyarlılıklarının arttığını söylemek mümkündür. Çevreyi kirleten başlıca sebeplerin başında karbon salınımı gelmektedir. Otomotiv şirketleri bu durumun

farkındadır ve neredeyse güçlü tüm şirketlerde elektrikli araçlara ya da doğa dostu araçların üretimine doğru yönelmeye başlamıştır. 2013 yılında yapılan bir araştırmaya göre Türkiye’de elektrikli araç sayısı 184 ile sınırlı iken her geçen yıl bu sayı artarak devam etmiştir. Ülkemizde elektrikli araç sayıları bu rakamlardayken, Çin’de sadece 2022 yılında 242.000 elektrikli araç satışı gerçekleşmiştir. Yine bu yıl içerisinde Amerika’da gerçekleşen elektrikli araç satışı 160.000’i bulmuştur (Kocagöz vd., 2020: 61). Ülkemizde Haziran, 2022 tarihinde yapılan araştırmaya göre elektrikli araç sayısı 6.000-7.000 arasındadır. Ülkemizde elektrikli araç kullanımını diğer gelişmiş ülkelere göre daha az yaygındır. Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu, hem çevreye duyarlı hem de ekonomik bakımdan insanları zorlamayacak bir aracın elektrikli olmasına karar vermiştir. Çünkü iklim değişikliği ve küresel ısınmadan kaynaklı olarak, fosil yakıtlardan ziyade, insanların çevre hassasiyetinden ötürü her geçen gün artarak elektrikli araçlara yönelmesini Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) yönetimi doğru bir şekilde okumuş ve yönelimini de elektrikli araç üretimine doğru çevirmiştir (Anadolu Ajansı, 2022).

Elektrikli araçlarda en fazla üzerinde durulan konulardan biri de kullanılan batarya ve bu bataryaların ömrü ile ilgili konulardır. Elektrikli araçlarla ilgili olarak yapılacak çalışmalarda Türkiye açısından elektrikli araç üretiminde önemli bir yere sahip olan TOGG adlı markanın batarya ile ilgili tercihlerine yer vermek çalışma açısından oldukça yararlı olacaktır. TOGG, 25.06.2018 tarihinde resmi olarak kurulmuştur. Aynı yıl içerisinde Mehmet Gürcan Karakaş, TOGG CEO’su olarak atanmıştır. Kuruluştaki hedeflerin başında, TOGG’un bir dünya markası haline gelme iddiası vardır. Togg ile paralel olarak gelişecek olan yerli tedarikçilerin yardımıyla, Türkiye’nin küresel alanda otomobil üreticiliğinden belir bir paya ulaşması beklenmektedir (TOGG, 2022). Türkiye’de uzun bir zamandan beri küresel otomotiv şirketlerinin üretim yaptığı görülmektedir. Farklı boyut, marka ve türlerdeki motorlu araçlar bilhassa Marmara Bölgesi’nin farklı illerinde üretim yapmaktadır. Ülkemizde küresel otomotiv şirketlerinin üretim yapması son derece önemlidir. Çünkü bu şirketlerde çalışan insanların niteliğini geliştirmesinde, bu güçlü şirketlerin payının da olduğunu belirtmekte yarar vardır. Çünkü günümüz çağdaş yaşamında en önemli sermaye insan gücü olduğundan, otomotiv sektörüne nitelikli pek çok insan da bu şekilde çok ciddi katkı sağlamaktadır (Anadolu Ajansı, 2022). Ülkemizde Haziran, 2022 tarihinde yapılan araştırmaya göre elektrikli araç sayısı 6.000-7.000

arasındadır. Ülkemizde elektrikli araç kullanımı diğer gelişmiş ülkelere göre daha az yaygındır. Firma, hem çevreye duyarlı hem de ekonomik bakımdan insanları zorlamayacak bir aracın elektrikli olmasına karar vermiştir. İklim değişikliği ve küresel ısınmadan ötürü, fosil yakıtlardan ziyade, insanların çevre hassasiyetinden ötürü elektrikli araçlara yönelimini TOGG yönetimi doğru bir şekilde okumuş ve yönelimini de elektrikli araç üretimine çevirmiştir (TOGG, 2022). TOGG, hem hâlihazırdaki teknolojik yetkinliği, hem nitelikli işgücüne sahip olması, hem de hükümetin sağlamış olduğu destek doğrultusunda elektrikli araç üretiminde bir dünya markası olması beklenmektedir. TOGG yönetimi, aynı zamanda yerli ve milli aracın kendini ispatlaması ile birlikte, Türkiye'nin en önemli elektrikli araç üretim üssü olacağını ileri sürmektedirler (Kocagöz vd., 2020: 64). Küresel alandaki büyük ve güçlü markaların neredeyse tamamına yakını doğa dostu araçları üretim bandından çıkarmıştır. Örneğin Avrupa ülkelerinin dışında, Japon ve Kore elektrikli araç üretim miktarını her yıl ile birlikte arttırmaktadırlar. Elektrikli araçlar için en önemli altyapı yatırımlarından biri batarya ve şarj ile ilgili yatırımlardır. Benzer şekilde idare tarafından şarj ve batarya istasyonlarının kurulmasına yönelik bazı pilot çalışmaların yapıldığını söylemek mümkündür (Türkiye Yüzyılı, 2023). TOGG CEO'su olan Karakaş, batarya konusunda son yıllarda aşama kaydedildiğini belirtmekte ve batarya teknolojisindeki gelişmelere ilişkin olarak, şirketin Farasis ortaklığında Siro adlı bir şirket kurulduğunu belirtmekte ve yaygın altyapı oluşumuna destek sağlamak için TOGG Akıllı ve Hızlı Şarj Çözümleri AŞ ile girişimlere başladıklarını ifade etmektedir (Değişmiş, 2023). Aşağıdaki Şekil 2'de TOGG araçlarda kullanılan Siro adlı batarya görülmektedir.



Şekil 2. TOGG Araçlarda Kullanılan Siro Adlı Batarya (Değişmiş, 2023).

TOGG'un önemli hamlelerinden biri de pil geliştirmedir. İlerleyen yıllarda elektrikli araçlarda rekabette avantajı yaratacak teknolojilerden birinin pil teknolojisi olduğunu ileri süren TOGG CEO'su Gürcan Karakaş, pil teknolojisinde Türk ve Çinli enerji şirketi Farasis ortak hareket ederek Siro'nun hayat bulduğuna dikkat çekmektedir (NTV, 2023). TOGG, yukarıda da belirtildiği üzere, pil / batarya teknolojisine çok ciddi önem vermekte ve bunu geliştirmek amacıyla küresel alanda bazı şirketlerle işbirliği içerisinde olmaktadır. Farasis Energy'de bu işbirliği içerisinde olunan şirketlerden biridir. Çin menşeli olan şirket, bu alanda önemli adımlar atmakta ve yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalarını sürdüren ve geliştiren şirket, elektrikli arabalarda kullanılmak amacıyla Lityum İyon Pili üreten küresel bir şirkettir (Anadolu Ajansı, 2023). TOGG'un kendi bataryası ile ilgili olarak 8 yıllık garanti verileceği belirtilmiştir. 8 yıllık garanti sürecinin ardından, bataryalar yeniden üretilmek üzere geri dönüşüme yollanarak üretim maliyetlerinde de tasarruf edilmesi planlanmaktadır. Hızlı şarj konusu ise bir diğer önem arz edenler konulardan biri olarak göze çarpmaktadır. Bu bağlamda TOGG, hızlı şarj ile ilgili Shell ile işbirliği içerisinde. Bu konu ile ilgili olarak TOGG'un, 81 ilde şarj istasyonu kurması planlanmaktadır. TOGG, Trugo şarj istasyonlarının yaygınlaşması ile birlikte ülke genelinde toplamda 600'den fazla lokasyonda ve 1000 âdetin üzerinde şarj ünitesi yerleştirmeyi hedeflemektedir (Shift Delete, 2023).

2.7. Endüstri 5.0

Çalışmanın bir diğer başlığı olan Endüstri 5.0 tanımına, özelliklerine, amaçlarına ve endüstri devrimlerinin tarihçesine izleyen başlıklarda yer verilecektir. Çalışmanın bu kısmında Endüstri 5.0 kapsamlı şekilde ele alındıktan sonra, tarihsel süreçte endüstrinin gelişimi Endüstri 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 ve 5.0 olarak ele alınacaktır. Sonrasında ISO 9001:2015 kalite yönetim standardı, süreç iyileştirmeleri ve ISO 9001:2015 standartları doğrultusunda lityum batarya üretiminde karşılaşılan zorluklara vurgu yapılacaktır.

2.7.1. Endüstri 5.0 Tanımı ve Özellikleri

Günümüz üretim süreçleri Endüstri 5.0 doğrultusunda şekillenmektedir. Yakın süreçte dijital ve otomasyon temelli sistemlerin bir adım ilerisine geçen Endüstri 5.0 anlayışı, insan odaklı olması, sürdürülebilirliği esas alması ve esnek bir yapıya sahip

olması üretim anlayışının şekillenmesine yol açmıştır (Ghobakhlo vd., 2022: 720). Nahavandi (2019) açısından Endüstri 5.0; “yapay zeka (AI), büyük veri, nesnelere interneti (IoT), robotik ve biyoteknoloji gibi ileri teknolojileri kullanarak insan iş gücünü destekleyen ve insana değer veren bir üretim anlayışı” olarak tanımlanmıştır (Nahavandi, 2019: 4). Emecen vd. (2022) Endüstri 5.0 ile ilgili “endüstriyel üretimde insan ve makine iş birliğine odaklanan yeni bir üretim paradigması” tanımlaması yapmıştır (Emecen vd., 2022: 7).

Endüstri 5.0 üretimin verimli şekilde yapılmasına çok ciddi katkı sağlamaktadır. Ayrıca gerek sürdürülebilirlik gerekse de iş gücü verimliliği gibi yararlar da sağlamaktadır. Endüstri 5.0 ile ilgili dezavantaj olarak nitelendirilecek hususların başında yüksek maliyet gelmektedir. O dönem dikkate alındığında, yüksek maliyet dışında, henüz yeni olduğu için bu sistem, çalışanların uyum sağlama sürecini de dezavantaj olarak nitelendirmek mümkündür. Endüstri 5.0 için temel hedefler ve özellikler aşağıda sıralanmaktadır (Emecen vd., 2022: 8; Shi vd., 2018: 855; Bertolini vd., 2019: 340):

- Sürdürülebilirlik: Sürdürülebilirlik anlayışına uygun bir şekilde Endüstri 5.0, kaynakların verimli kullanımı, atıkların azaltılmasını hedeflemektedir. Ayrıca enerji tüketiminin optimize edilmesi de bir diğer hedef olarak dikkat çekmektedir.
- İnsan odaklılık: Endüstri 5.0, teknolojiyi insan ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Böylece iş gücü verimliliğinin artışı sağlanmaktadır.
- Esneklik ve kişiselleştirme: Endüstri 5.0, üretim süreçlerini esnek duruma getirmektedir. Böylece müşterilerin bireysel ihtiyaçlarına uygun bir şekilde kişiselleştirilmiş ürünler üretilmektedir. Bu durumda düşük maliyete çeşitli ürünlerin sunulması sağlanmaktadır.

2.7.1.1. İnsan ve Makine (Robot) İşbirliği

Endüstri 5.0’ın en temel özelliği insan ve makine iş birliğinin ortaya çıkarmış olduğu verimliliklerdir. Temel olarak Endüstri 5.0 insan ve makine (robot) arasındaki işbirliğini esas alan bir üretim anlayışını benimsemektedir. İnsan ve makine arasındaki işbirliği üretim sürecinde aşağıdaki katkıları sağlamaktadır (Türkoğlu, 2022: 81; Nahavandi, 2019: 5; Şahin, 2022: 48)

- İnsan ve makine işbirliği ile üretimde optimizasyon sağlanabilmektedir.
- Endüstri 5.0 gibi insan faktörünü önemli hale getiren tüm teknolojiler, çalışanların fiziksel ve bilişsel potansiyelinin artmasını sağlamaktadır.
- Yapay zekâ tarafından desteklenen sistemler, çalışanların karar alma süreçlerinde onlara ciddi şekilde destek sağlamakta ve böylece hataların asgari düzeye inmesi sağlanabilmektedir.

2.7.1.2. Kişiselleştirilmiş Üretim ve Esneklik

Endüstri 5.0, müşteri taleplerine uygun ve hızlı bir biçimde yanıt verilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum günümüz müşteri odaklılık anlayışı ile örtüşmektedir. Bu bakımdan Endüstri 5.0 (Xu vd., 2021: 532; Li vd., 2018: 71):

- Müşteri odaklı anlayışa uygun bir şekilde müşterilerin özel ihtiyaçlarına uygun ürünler üretilebilir.
- 3D baskı ve dijital üretim teknolojileri, küçük ölçekli ve kişiye özel üretimi daha ekonomik hale getirir.
- Esnek üretim anlayışı, farklı türde ve çeşitte olan ürünlerin aynı üretim alanında hızlı bir biçimde üretilebilmesini sağlamaktadır.

2.7.1.3. Çevresel Sürdürülebilirlik ve Yeşil Üretim

Endüstri 5.0, çevreye duyarlılığı esas aldığından, döngüsel ekonomiye geçişin hızlandırılmasına odaklanmaktadır. Sürdürülebilirliğe ve yeşil üretime sağlanan katkılar aşağıda sıralanmaktadır (Şahin, 2022: 51; Shi vd., 2018: 857):

- Endüstri 5.0 kapsamındaki akıllı enerji yönetimi sistemlerinin yardımıyla, üreticilerin enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır.
- Çevre esaslı bir anlayış olan Endüstri 5.0, sürdürülebilir üretime odaklanarak çevresel etkilerin asgari düzeye inmesine katkı sağlamaktadır.
- Atık yönetimi sistemleri, büyük çaplı işletmelerinde sıfır atık üretimini sağlamasına katkı sağlamaktadır.

2.7.1.4. Fiziksel ve Dijital Sistemlerin Entegrasyonu

İnsan ve makine işbirliğinde olduğu gibi, gerek fiziksel gerekse de dijital sistemlerin entegrasyonu Endüstri 5.0 tarafından derinleştirilerek üretimi hem daha akıllı hem de uyarlanabilir bir duruma getirebilmektedir. Entegrasyon ile birlikte aşağıdaki yararların sağlanması mümkündür (Jung vd., 2021: 7):

- Nesnelerin interneti (IoT) ile makinelerin gerçek zamanlı takibi sağlanır.
- Yapay zekâ desteği ile üretim süreçlerinin optimizasyonu sağlanmaktadır.
- Yapay zekâ ve makine öğrenimi üretim süreçlerini verimli hale getirmektedir.

2.7.1.5. Dayanıklılık ve Kriz Yönetimi

Küresel alanda bazı dönemlerde beklenmedik durumlar tedarik zincirini olumsuz yönde etkilemektedir. Finansal krizler, deprem, sel vb. gibi doğal afetler ve en son tüm insanlığın yaşadığı pandemi beklenmedik durumlara yönelik en dikkat çekici örneklerdir. Bu durum sanayinin hem esnek hem de dayanıklı sistemlere sahip olması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Şahin, 2022: 58). Endüstri 5.0, insan ve makine işbirliğini esas aldığından, hem esnek hem de kişiselleştirilmiş üretim modellerine odaklanmaktadır. Endüstri 4.0'ın otomasyon ve dijitalleşme altyapısı, Endüstri 5.0 ile daha fazla gelişmiştir (Türkoğlu, 2022: 83). Endüstri 5.0 insan iş gücünü destekleme aşamasında akıllı sistemlerin devreye girmesini sağlamaktadır. Bu bakımdan Endüstri 5.0 yeşil üretim teknolojileri krizlere karşı dayanıklı tedarik zincirleri oluşturmayı amaçlamaktadır (Shi vd., 2018: 859).

2.7.2. Endüstri 5.0 Temel Amaçları

Endüstri 5.0, üretim süreçlerinin çevreye yönelik olumsuz etkilerini azaltmayı ve sürdürülebilir ürünler yaratmayı amaçlamaktadır. Ayrıca insanlar ve makineler arasındaki iş birliği ile üretim süreçlerinin hem verimli hale gelmesini hem de kalitesini artırmayı amaçlamaktadır (Li vd., 2018: 72).

Benzer şekilde Avrupa Birliği (AB) Komisyonu tarafından da Endüstri 5.0 için üç temel amaç belirlenmiştir. Endüstri 5.0 için belirlenen amaçlar aşağıda sıralanmaktadır (Şahin, 2022: 61):

- İnsan odaklılık: Üretimde insan faktörünün mevcut yapısını güçlendirmek

- Sürdürülebilirlik: Üretimde sürdürülebilir çözümler sunmak ve yeşil üretim modelleri oluşturmak.
- Dayanıklılık: Sanayiyi krizlere karşı daha esnek ve dirençli hale getirmek.

Çalışmanın izleyen başlıklarında Endüstri 5.0 kavramının temel amaçları, sürdürülebilirlik ve yeşil üretim, insan odaklı üretim anlayışı ve esnek ve dayanıklı üretim sistemleri olmak üzere üç başlık altında özetle incelenecektir.

2.7.2.1. Sürdürülebilirlik ve Yeşil Üretim

Endüstri 5.0, sanayinin çevre üzerinde yarattığı olumsuz etkiyi azaltmayı hedeflemektedir. Bu bakımdan sürdürülebilir üretim modellerinin oluşturulması Endüstri 5.0 açısından oldukça önemlidir. Bu bağlamda Endüstri 5.0'ın temel amaçları ve hedefleri aşağıda sıralanmaktadır (Şahin, 2022: 49; Shi vd., 2018: 852; Nahavandi, 2019: 3; Li vd., 2018: 76):

- Karbon salınımını azaltmak: Endüstri 5.0, karbon salınımını azaltmak amacıyla üretim süreçlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmektedir.
- Verimliliği artırmak: Endüstri 5.0 kapsamındaki akıllı enerji yönetim sistemleri, enerji tüketimini optimize ederek verimliliğin artmasına katkı sağlamaktadır.
- Atık yönetimi: Döngüsel ekonomi ile entegre durumdaki Endüstri 5.0 üretim süreçleri yeniden tasarlanmaktadır.

Sürdürülebilir ve yeşil üretimde bazı örnek uygulamalar öne çıkmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır (Şahin, 2022: 50; Shi vd., 2018: 854; Nahavandi, 2019: 4):

- Yeşil fabrikalar: Yenilenebilir enerji kaynakları ile faaliyet yapan üretim fabrikalarının kurulması örnek uygulamalardan biridir.
- Karbon nötr üretim süreçleri: Endüstri alanında karbon dengeleme politikaları yaygınlaştırılmaktadır.
- Sıfır atık anlayışı: Malzeme geri dönüşümü ve yeniden kullanım stratejileri uygulanmaktadır.

2.7.2.2. İnsan Odaklı Üretim Anlayışı

Endüstri 5.0, makinelerin insan iş gücünü değiştirmekten ziyade, bir arada çalışmayı amaçlayan bir anlayıştır. Endüstri 5.0, insandaki yaratıcılık ile makinelerdeki hassasiyeti birleştirmektedir. Böylece çok özellikli ürünlerin üretilmesi söz konusudur. Temel hedefler ise aşağıda sıralanmaktadır (Nahavandi, 2019: 7):

- Çalışanların refahını artırmak: Endüstri 5.0, gerek zihinsel gerekse de fiziksel olarak çalışanları destekleyebilmektedir.
- İnsan ile makine arasında iş birliğini güçlendirmek: Makinelerin insanlarla birlikte çalışması, insanların iş yükünü hafifletmesini sağlamaktadır.
- İleri çözümleri: Endüstri 5.0 kapsamında akıllı üretim sistemleri, çalışanların sağlığına ve güvenliğine odaklanmaktadır.

Yukarıda sıralananlarla ilgili olarak iki kavramın öne çıktığı görülmektedir. Bunlardan ilki işbirliği yapan ve kobot olarak adlandırılan makineler, diğeri ise yapay zekâ destekli olan sistemlerdir (Li vd., 2018: 78). Kobotlar, insanların güvenli bir şekilde çalışmalarına katkı sağlayan makinelerdir. Üretimde insanlarla birlikte görev almaktadırlar. Yapay zekâ destekli sistemler ise, çalışanların analiz süreçlerini değerlendirerek, veri odaklı sistemlerin geliştirilmesi sağlanır (Jung vd., 2021: 4).

2.7.2.3. Esnek ve Dayanıklı Üretim Sistemleri

Endüstri 5.0, endüstrinin hem çevresel hem de ekonomik bakımdan muhtemel olumsuzluklara yönelik olarak dirençli hale gelmesini amaçlamaktadır. Diğer amaçlar aşağıda sıralanmaktadır (Nayaka vd., 2016: 55; Şahin, 2022: 58):

- Tedarik zincirini sağlam temellere oturtmak için bölgesel esaslı üretim merkezlerini yaygın bir hale getirmek.
- Otonom ve modüler üretim sistemleri yardımıyla fabrikaların krizlere karşı dirençli olmasını sağlamak.
- Dijital ikiz sistemlerini yaygınlaştırmak ve sanal üretim ortamlarının yardımıyla kriz simülasyonları yapmak.

Esnek ve dayanıklı üretim sistemleri açısından öneme sahip olan bazı örnek uygulamalar söz konusudur. Bunları blokzincir tabanlı tedarik zinciri yönetimi, yapay zeka destekli üretim planlaması ve dijital ikiz teknolojisi olarak sıralamak mümkündür (Türkoğlu, 2022: 86).

2.7.3. Endüstri Devrimlerinin Tarihçesi

Tarihsel süreç içerisinde endüstri devrimlerinin toplumların gelişimine çok ciddi şekilde katkı yaptığı su götürmez bir gerçektir. Çalışmanın izleyen başlıklarında endüstri devrimlerinin tarihçesi, yukarıda Endüstri 5.0 kapsamlı bir şekilde incelendiğinden, Endüstri 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 dört başlık halinde ele alınmıştır.

2.7.3.1. Endüstri 1.0

Endüstri 1.0, buhar makinesinin icadı ve bu icadı iyileştiren James Watt ile başladığı tüm çevreler tarafından kabul görmüştür. Endüstri 1.0 aynı zamanda literatürde mekanik imalat çağı olarak da tanımlanmaktadır. Endüstri 1.0, demiryollarının yoğun olarak inşa edildiği döneme denk gelmektedir. Bu dönem içerisinde aynı zamanda gemi endüstrisi de önemli aşamalar kaydetmiştir. Ayrıca tekstil endüstrisinde de büyük değişimler yaşanmaya başlamıştır (Güdek, 2023: 1132). Makineler, insanların yaptığı işleri yapabilecek duruma bu dönem içerisinde gelmiştir. Bilhassa buhar gücüyle çalışan makineler yardımıyla mekanik üretim süreci hayat bulmaya başlamıştır (Nahavandi, 2019: 3). Endüstri 1.0 ile birlikte küresel olarak nüfusta artış yaşanmıştır. Artan nüfusun ihtiyaçlarının giderilmesi için altyapılar oluşturulmuştur. Fakat endüstriyel dönüşüm çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Teknolojik gelişmeler haricinde sosyal ve ekonomik reformlar artmış ve insanlık açısından büyük bir dönüşüm süreci başlatılmıştır (Vysocky ve Novak, 2016: 904).

2.7.3.2. Endüstri 2.0

1840-1870 yılları arasındaki süreç Endüstri 2.0 olarak adlandırılmaktadır. Bu dönem aynı zamanda İkinci Sanayi Devrimi olarak da adlandırılmaktadır. İkinci Sanayi Devrimi'nin olduğu süreçte, seri üretim anlayışının hayat bulduğu bu dönemde üretiminin artırılması sağlanmış ve aynı zamanda üretim maliyetlerinde de ciddi anlamda düşüşler sağlanmıştır. Endüstri 2.0, ile birlikte genel olarak çalışma şekillerinde de değişimler yaşanmaya başlamıştır. Bu dönem içerisinde birçok ülkede işçi sendikalar hayat bulmaya başlamış ve işçilerin refahlarına yönelik talepler de dile getirilmeye başlanmıştır. Bu dönem aynı zamanda günümüzdeki tüketim odaklı toplumun filizlerinin atıldığı dönem olarak dikkat çekmektedir. Aynı dönem içerisinde ağır sanayinin de hızlı bir şekilde geliştiği gözlemlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Almanya, Japonya ve İngiltere ikinci endüstri devriminin öncü ülkeleri olarak göze çarpmaktadır (Güdek, 2023: 1135).

Otomobil endüstrisindeki seri üretimlerin bu dönem içerisinde gelişim kaydettiği görülmektedir. Hidroelektrik santraller bu süreçte kurulmaya başlanmış ve insanların önemli bir kesimi elektrik gücüyle ve konforuyla tanışmıştır. Hidroelektrik santralleri dışında buhar santralleri de elektrik üretimi açısından önemli bir görevi yerine getirmiştir. Endüstriyel anlayış doğrultusunda kırsal alanlardan büyük kentlere göç küresel olarak artış göstermiştir. Yukarıda sıralanan gelişimlere paralel bir şekilde özellikle ABD ve Avrupa’da yüksek binalar bilhassa artış göstermeye başlamıştır. Gemi yapımları hızlanmış, köprü ve benzer türden hizmet amaçlı yapılar inşa edilmeye başlamıştır. Ek olarak, finansal alanda da yeni gelişmeler yaşanmış ve küresel pazarların birbirine yaklaşması sağlanmıştır (Bertolini vd., 2019: 342).

2.7.3.3. Endüstri 3.0

1950’li yıllardan sonra başlayan Endüstri 3.0, aynı zamanda Üçüncü Endüstri Devrimi olarak da tanımlanmaktadır. ABD, Endüstri 3.0 döneminin öncüsü olarak nitelendirilebilir. Çünkü o dönem içerisinde ABD menşeli şirketler teknoloji temelli üretime geçişi hızlandırmıştır. Bu dönem içerisinde birçok alanda teknolojik temelli işletmecilik anlayışının da hayat bulduğunu belirtmekte yarar vardır. Bilişim teknolojilerinin filizlendiği dönemlerde Endüstri 3.0 dönemine denk gelmektedir. Bilgisayar ve lazer teknolojisi bu dönem içerisinde çok ciddi gelişim kaydederken, telekomünikasyon altyapıları da Endüstri 3.0 için uygun hale getirilmiştir. (Davutoğlu, 2020: 180).

Endüstri 3.0 döneminin temel faktörlerinden ve kavramlarından biri hiç kuşkusuz “İnternet” kavramıdır. Bilgisayar teknolojisinin geliştiği bu dönem içerisinde, internet, bilhassa küresel işletmeler için eşsiz bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dönem içerisinde işletmelerin çalışma prensipleri de farklılaşmıştır. Bu dönem aynı zamanda rekabet anlayışının da ilk filizlendiği bir dönem olarak göze çarpmaktadır. Tekrar internet kavramına dönecek olursak, internet, insanların iletişim kurmalarına, kendilerini ifade etmelerine ve eğlenmelerine de ciddi şekilde katkı sağlamıştır. Türkiye’ye ise 1990’lı yıllarda gelen internet, küresel alanda olduğu gibi, benzer etkileri Türkiye’de de hissettirmeye başlamıştır. Çünkü bilgisayarların üretim süreçlerine dâhil olmasıyla birlikte bir bakıma “Dijital Devrim” resmen start almıştır (Genç, 2018: 238). Endüstri 3.0 ile birlikte sanayi toplumu yerini bilgi toplumuna bırakmıştır. Bilgisayar sistemlerinin bağdaştırılması ile başlayan süreç, interaktif

anlayışın zirveye çıkmasıyla devam etmiştir. Bilgisayarların işlem kapasitesi arttırıldığından, akıllı cihazlar yaşamı kolaylaştırmaya başlamış ve robotik endüstrinin gelişimi de bu duruma paralel olarak gelişim kaydetmiştir. İnsan gücü azalmış ve akıllı robotlar üretim bandında daha fazla boy göstermeye başlamıştır. Özetleyecek olursak, insan gücünün yerini teknolojinin almasından ötürü üretim süreçleri standart bir hale gelmiştir. Planlı üretimin teknoloji yardımıyla yapıldığı bu dönemde, tüketici taleplerine işletmeler geçmişe kıyasla daha hızlı bir şekilde yanıt vermeye başlamıştır (Sharma ve Singh, 2020: 67).

Aynı dönem içerisinde finansal sistem Endüstri 3.0 anlayışına uygun bir şekilde gereken dönüşümü sağlamıştır. Benzer şekilde kurumlarda bu anlayışa uygun şekilde mülkiyet güvenliğini sağlamıştır. Aynı zamanda eğitim ve sağlık alanında da çok ciddi dönüşümler sağlanmıştır. Küreselleşme adımlarının da hız kazandığı bir döneme denk gelen Endüstri 3.0 ile Asya'da üretim hız kazanmıştır (Yavari ve Pilevari, 2019: 48).

2.7.3.4. Endüstri 4.0

Endüstri 4.0 anlayışının ilk adımları 2011 yılında Almanya'da atılmıştır. Aynı zamanda Dördüncü Sanayi Devrimi olarak adlandırılan Endüstri 4.0 ile birlikte küresel olarak rekabetin oldukça kızıştığını belirtmekte yarar vardır. Rekabette rakiplerine karşı avantaj yakalama amacıyla olan işletmeler Endüstri 4.0'a hızlı bir şekilde geçiş yapmıştır. Endüstri 4.0 ile birlikte Asya çok ciddi üretici kimliğine bürünmüştür. Bilhassa Çin ve Hindistan bu süreçte üretim anlamında ciddi ilerleme kaydetmiştir (Ayboğa ve Görmüş, 2022: 86).

Endüstri 4.0, iletişim teknolojilerinin gelişiminin ivme kazandığı bir döneme denk geldiğinden, bu dönem içerisinde insanlar arasında iletişim kolaylaşmıştır. Aynı zamanda cihazlara uzaktan erişimin temelleri atılırken, otomatikleştirilmiş üretim sistemleri hayatın her yönüne yansımaya başlamıştır. İnternet ise ciddi şekilde gelişim kaydetmiş, küresel işletmeler tüm planlamalarını ve stratejilerini, dijital alana uyumlu duruma getirmiştir. Akıllı sistemler bu dönem içerisinde geliştirilmeye başlanmıştır. Endüstri 4.0'ın gelişimine katkı sağlayan destekleyici teknolojiler ve bu teknolojilerin bir takım özellikleri bulunmaktadır. Bu teknolojiler ve özellikleri aşağıda sıralanmaktadır (Kılıç, 2023: 285):

a) Simülasyon: Bu sistem; gerçek dünyadaki bir durumun gerçekleştirilebilirliğini, dijital alanda yapılacak testler yardımıyla kullanılmaktadır. Bilhassa otomotiv üreticilerinin üretim aşamasında, güvenlikten konfora varana dek birçok alanda simülasyonlardan yararlanmaktadır. İyi tasarlanmış olan bir simülasyon modeli, üretim süreçlerinin doğru şekilde analiz edilmesine ve üretimde karşı karşıya kalınacak muhtemel sorunlara işletme yönetiminin kolay bir şekilde yanıt vermesine imkan sağlayabilmektedir (Tao vd., 2019: 141).

b) Nesnelerin İnterneti: Bu sistem, interneti iletişim ve veri iletim amaçlı kullanarak hem sanal hem de birleştirmek için oluşturulmuş olan dinamik niteliğe sahip bir ağ çerçevesidir. Bu sistem iletişim protokollerinin yardımıyla hem sanal hem de fiziksel alanda tek bir büyük veri ağı üzerinden verilerin birleştirilmesi sağlanabilmektedir (Özsoylu, 2017: 47).

c) Siber Fiziksel Sistemler (CPS): Gerçek dünya ile her zaman bağlantıda olan, dijital alandan verilerin erişimi ve işlenmesi ile ilgili hizmet sağlayan, verileri kullanarak hesaplamalar yapabilen sistemler olarak tanımlanmaktadır. CPS'ler verileri toplayan, işleyen ve değerlendirme yaparak, diğer sistemlerle iletişim kurabilecek ve eylemler başlatabilecek nitelikte olan sistemlerdir (Yıldız Tonga ve Tonga, 2022: 45).

d) Yapay Zekâ: Yapay zekâ son yıllarda çokça dile getirilen kavramlardan biridir. Bu sistem akıllı davranışları simüle edebilme, öğrenebilme, karar verme vb. davranışları öğrenme amaçlı bir sistemdir. Neredeyse tüm alanlarda yapay zekadan yararlanılmaktadır. Ayrıca yapay zekâ, uygulamaların akıllı hale getirilmesi amacını taşımakta, böylece süreçlerin esnek ve verimli bir hale getirilmesine de ön ayak olmaktadır. İlk öne sürüldüğü yıllarda, insan yaşamını kolaylaştırmak ve işgücünden tasarruf için elverişli bir sistem olarak görülen yapay zekâ, günümüzde çok ciddi tartışmaların odağında olmuştur. Küresel alanda söz sahibi bazı simalar, yapay zekâyı insanlığın geleceği için çok tehlikeli olarak görmekte ve bir kutuplaşma söz konusudur. Ancak günümüzde birçok sistemin artık yapay zeka ile entegre hale geldiği su götürmez bir gerçektir (Hermann vd., 2021: 691).

2.7.3.5. Endüstri 5.0

21. yüzyıl hiç kuşkusuz bilgi ve teknoloji çağıdır. Teknolojinin küresel bakımdan durdurulamaz ilerleyişinden sonra insan ve makine arasındaki ilişki daha da

derinleşmiştir. Temel olarak insanların ve makinelerin (veya robotların) birlikte aynı işi yaptığı, ancak insana dayalı bir tasarım olan Endüstri 5.0, Endüstri 4.0'da ortaya çıkan güçlükleri ele almayı amaçlayan bir anlayıştır. Öyle ki, son yıllarda Endüstri 5.0 daha fazla ilgi görmeye başlamıştır (Kılıç, 2023: 282).

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin yardımıyla fiziksel bir alan oluşturma amacını taşıyan Endüstri 5.0 geleceğin endüstrisi için son derece önemlidir. Endüstri 5.0'da temel amaç, üretimdeki insan sayısını korumak ve iş yapma şekillerini etkin hale getirmektir. Ayrıca sürdürülebilirliği esas alan bu anlayış, yeşil üretime odaklanmaktadır (Aslam vd., 2020: 125).

Kaya (2023) açısından Endüstri 5.0; insanın zihinsel yetenek ve yaratıcılığı ile robotların standardizasyonunu birbirine entegre duruma getirerek, verimlilik ve performans iyileştirmeyi amaç edinmiştir. Endüstri 5.0'ın bir diğer amacı da, küresel endüstriyel ekonomide işletmelerin karşı karşıya kalabilecekleri yeni zorluklara yönelik çözüm üretmeyi ilke edinmiştir (Demirkan vd., 2021: 486). Ayrıca Endüstri 5.0 tarafından gerçek ve sanal dünya bu aşamada entegre bir şekilde birleşmekte, riskler yönetilerek arıza süreleri de bu duruma paralel bir şekilde asgari düzeye indirilebilmektedir (Kaya, 2023: 11).

Özetleyecek olursak, Endüstri 5.0 ile küresel endüstriyel ekonomi, yeni zorluklara karşı daha dirençli hale gelmiştir. Elangovan (2021) açısından Endüstri 5.0, “endüstriyel otomasyonu insan zekasıyla birleştirerek hız ve hassasiyeti optimize eden bir anlayış” olduğunu ileri sürmektedir. Günümüzde üretimler genel olarak insanlar ve fiziksel makineler tarafından yapılmaktadır. İnsanlar fiziksel sistemlerin yaratıcısı olduğu gibi aynı zamanda yöneticisidir. Üretim sürecinde makineler genel olarak tekrarlayan, güce dayalı ve benzer işlerle görevlendirilirken, insanlar ise karar verme, denetim, operasyon, faaliyet ve analiz gibi işleri yürütülmektedir (Elangovan, 2021: 114).

Endüstri 5.0 ile geçmişteki sanayi devrimleri arasında bir takım farklılıkların olduğunu söylemek mümkündür. En temel farklılık hiç kuşkusuz insan ve robot işbirliğidir. Aşağıdaki Tablo 5'de Endüstri 5.0'ın geçmişteki sanayi devrimleri arasındaki farklılık görülmektedir.

Tablo 5. Endüstri 5.0 ve diğer sanayi devrimleri arasındaki farklılıklar

Kriterler	Endüstri 1.0	Endüstri 2.0	Endüstri 3.0	Endüstri 4.0	Endüstri 5.0
Dönem	18. yüzyıl sonları	19. yüzyıl sonları	20. yüzyıl ikinci yarısı	21. yüzyıl başı	Günümüz
Temel Teknoloji	Buhar gücü, mekanik makineler	Elektrik, montaj hattı	Elektronik, bilgisayarlar, otomasyon	IoT, yapay zekâ, büyük veri	İnsan-makine iş birliği, sürdürülebilirlik
Hedef	Üretim hızını artırmak	Seri üretim ve maliyet düşürme	Otomasyon hata azaltma	Dijitalleşme, esneklik	İnsan ve çevre odaklı sürdürülebilirlik
İnsan Rolü	Fiziksel iş gücü	Fiziksel iş gücü	Süreç yönetimi	Dijital süreç kontrolü	İnsan-makine iş birliği
Sürdürülebilirlik	Odakta değil	Odakta değil	Odakta değil	Dijitalleşme ile sınırlı	Çevresel ve toplumsal denge odağı
Özgün Katkılar	Mekanizasyon	Seri üretim	Otomasyon	Akıllı fabrikalar, büyük veri	Çevre dostu teknolojiler, dijital ikizler

Kaynak: Schwab, 2016: 77

Günümüz teknolojisine uyumlu olan Endüstri 5.0 insan ve çevre odaklı yapısı ile her geçen gün gelişim kaydetmektedir. Mevcut durumda Endüstri 5.0 insan ve makine işbirliğine odaklandığından, ilerleyen yıllarda kapsamının genişleyerek gelişebileceğini söylemek mümkündür.

2.8. ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Standardı

ISO 9001:2015, kalite yönetim sistemleri küresel alanda kabul görmüş bir kalite yönetim standardıdır. ISO 9001:2015 standardı, operasyonel süreçlerin verimli ve etkili şekilde sürdürülmesine, birimler arası koordinasyonun sağlanmasında, üretimin tüm aşamalarının etkili bir şekilde yönetilmesine, hataları asgari düzeye indirmeye ve müşteri memnuniyetini artırmaya yardımcı olabilmektedir. ISO 9001:2015 standardının temel yaklaşımları aşağıda görülmektedir (Emecen vd., 2022: 8).

- Risk temelli düşünce: Standartla ilgili olarak yapılan en son güncelleme, risk temelli düşünce yaklaşımını benimsemektedir. Ayrıca standart; potansiyel sorun ya da durumların önceden belirlenmesine ve önlenmesine vurgu yapmaktadır. Bu anlayış hayata geçirildiğinde, organizasyonlarda verimliliğin artması ve kaliteli hizmet / ürün sunumuna da katkı yapacağını söylemek mümkündür.

- Sürekli iyileştirme: ISO 9001:2015, süreçlerde sürekli iyileştirmeyi esas alan bir kalite yönetim standardıdır. ISO 9001:2015, kalite yönetim sistemlerinin mevcut etkinliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bunun için organizasyonlara rehberlik edebilecek niteliğe sahiptir. ISO 9001:2015 tarafından benimsenen bu yaklaşım, hataların asgari düzeye indirilmesine odaklanmaktadır.
- Müşteri Memnuniyeti: Bu standart, müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi için organizasyonların süreçlerinin etkin hale getirilmesi gerektiğine vurgu yapmaktadır.

2.8.1. ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Standart Maddeleri

ISO 9001:2015 kalite yönetim standart maddeleri; kapsam, atıf yapılan standartlar, terimler ve standartlar, kuruluşun bağlamı, liderlik, planlama, destek, operasyon, performans değerlendirme ve iyileştirmeden oluşmaktadır. Bunlarla ilgili olarak özet ise aşağıda görülmektedir (Schwab, 2016: 65; Tao vd., 2019: 140; Hermann vd., 2021: 691; Aslam vd., 2020: 127; Kaya, 2023: 11; Kılıç, 2023: 282; Elangovan, 2021: 114):

- Kapsam: İlk madde olan kapsam, sistemin kapsamını ve uygulanabilirliğini belirlemektedir.
- Atıf yapılan standartlar: Kalite yönetim sistemi açısından esas niteliğe sahip olan küresel standartlara atıflarda bulunur.
- Terimler ve tarifler: Sistemdeki terim ve tanımlarla ilgili açıklamaları içermektedir.

ISO 9001:2015 Kalite Yönetimi açısından bazı standart gereklilikler söz konusudur. Bunlar aşağıda başlıklar halinde sıralanmaktadır (Schwab, 2016: 185; Tao vd., 2019: 140; Kılıç, 2023: 283; Elangovan, 2021: 115)::

- Kuruluşun bağlamı: Bu madde kapsamında yer alan hususlar aşağıda sıralanmaktadır:
 - Kuruluşun ve bağlamının anlaşılması,
 - Taraflarla ilgili beklentilerin açık bir şekilde anlaşılması ve beklentilerin karşılanması,

- Kalite yönetim sistemi ile ilgili olarak kapsamın net bir şekilde belirlenmesi,
- Kalite yönetim sistemine yönelik iş süreçlerinin oluşturulması.
- Liderlik: Bu madde kapsamında; liderlik, taahhüt, kalite, kaliteye yönelik oluşturulan politikalar, organizasyonel roller yer almaktadır. Ayrıca sorumluluklar ve yetkilerde bu madde kapsamında yer almaktadır.
- Planlama:
 - Muhtemel fırsat ve risklerin açık bir şekilde belirlenmesi
 - Kalite ile ilgili hedefler ve bu hedeflere ulaşmak için planlamanın yapılması,
 - Değişikliklerin planlanması
- Destek
 - Kaynaklar ve yetkinlik
 - Farkındalık
 - İletişim
 - Dokümante edilmiş bilgi
- Operasyon
 - Operasyonel bağlamda kontrol ve planlama sisteminin oluşturulması,
 - Tasarım ve geliştirme,
 - Ürün ile ilgili gerekliliklerinin belirlenmesi,
 - Üretim ve hizmet sunumu,
 - Uygun durumda olmayan çıktıların kontrol edilmesi.
- Performans Değerlendirme
 - Ölçme ve değerlendirme,
 - İzleme ve analiz,
 - İç denetim ve kontrol.
- İyileştirme

- Uygunsuzluk ve düzeltici faaliyetler
- Sürekli iyileştirme

ISO 9001:2015, geçmişteki ISO sürümleri ile karşılaştırıldığında, aradaki en belirgin farklılığın, risk temelli düşünme yaklaşımı olduğu görülmektedir. ISO 9001:2015 açısından risk temelli düşünme yaklaşımı, süreçlerdeki risklerin ve fırsatların net bir şekilde belirlenmesi gerektiğine vurgu yapmanın dışında, aynı zamanda doğru yönetilmesine de vurgu yapmaktadır.

2.8.2. ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 Uyumu

Endüstri 5.0, insan-makine iş birliğini odaklanmaktadır. Ayrıca sürdürülebilirlik kavramı doğrultusunda günümüz çağdaş sanayi süreçlerini teknoloji esaslı bir şekilde tanımlamaktadır. ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemi ise, sözü edilen yeni teknolojilerin kalite süreçlerine entegrasyonu açısından güçlü bir çerçeve sunmaktadır. ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 uyumunda öne çıkan parametreler aşağıda sıralanmaktadır (ISO, 2015: 105; Tao vd., 2019: 142; Schwab, 2016: 71):

- İnsan ve makine işbirliği: Endüstri 5.0 teknolojileri (Robotlar ve artırılmış gerçeklik), üretim aşamasında güvenlik ve verimliliğin artmasını sağlamaktadır.
- Yapay zekâ ve büyük veri: Yapay zekâ desteği büyük veri analitiğiyle birleştiğinde, üretim süreçlerinin iyileşmesi söz konusudur. Veri analitiği yardımıyla muhtemel hataların tespiti kolaylaşabilmektedir. ISO 9001:2015 kapsamında “9.1 İzleme, Ölçme ve Analiz maddesi” süreçlerin performans değerlendirmesine odaklanırken, yapay zekâ ise sözü edilen değerlendirme sürecini hızlandırmakta ve hata olasılıklarını en düşük düzeye indirebilmektedir.
- Akıllı malzemeler: Bu malzemeler genel olarak üretim süreçlerinde kaliteyi artırmak amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca çevre üzerindeki muhtemel olumsuz etkileri de asgari düzeye indirmek amacıyla da tasarlanan akıllı malzemeler, ISO 9001:2015’in 8.5 Üretim ve Hizmet Sunumu maddesinde de görüldüğü üzere, üretim süreçlerine entegrasyonunu desteklemektedir.

- Dijital ikiz teknolojisi: Bu teknoloji ile üretim süreçleri önceden simüle edilebilmektedir. Önceden simüle edilmesi ile birlikte hatalar da bu duruma paralel olarak önceden tespit edilmekte ve üretim sürecinin optimizasyonu sağlanabilmektedir. Dijital ikiz teknolojisi, kalite süreçlerinde önleyici bir anlayışı desteklemektedir. ISO 9001:2015'in 6.1 Risk ve Fırsatların Belirlenmesi maddesi, üretim sürecindeki risklerin analizine odaklanırken, dijital ikizler analizin etkinleştirilmesini sağlamaktadır. Ek olarak, 8.3 Tasarım ve Geliştirme maddesi, ürün ve süreçlerin sanal ortamda testine imkan tanımaktadır.
- Sürdürülebilir enerji ve depolama teknolojileri: Endüstri 5.0 açısından sürdürülebilirlik esas olduğundan, sürdürülebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu büyük öneme sahiptir. Bu yaklaşım hem enerji kullanımında verimlilik sağlanmasına olanak sağlamakta hem de çevresel etkiler azaltabilmektedir.

Yukarıda sıralananlara ek olarak; Endüstri 5.0 teknolojileri ile ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemi uyumlu bir biçimde uygulanması durumunda, kalite süreçlerinde sürdürülebilir ve yenilikçi anlayışın hayata geçmesi sağlanabilmektedir (Tao vd., 2019: 143).

2.8.3. ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 İle Lityum Batarya Üretimi

ISO 9001:2015 ve Endüstri 5.0 lityum batarya üretimi açısından kritik önem sahip olan kavramlar olarak göze çarpmaktadır. Endüstri 5.0, makine ile insan arasındaki iş birliğini öne çıkararak, üretimin tüm süreçlerini olabildiğince sorunsuz, esnek ve kişiselleştirilmiş hale getirebilmektedir. Bu durum, lityum batarya üretiminde hem verimlilik anlamında çözüm sağlamakta, hem de insan-makine iş birliğini optimize edebilmektedir (Lasi vd., 2014: 241). ISO 9001:2015; kalite yönetim sistemlerinde küresel alanda kabul görmüş olan standartlardan biri olduğundan, üretim süreçlerinde müşteri tatminini artırmak, geliştirmek ve sürekli iyileştirmeyi esas almaktadır. ISO 9001:2015 kalite standardı, üretim aşamasında kaliteyi garanti altına alarak, üretilen lityum bataryaların güvenilirliği ve performansını artırmasına katkı sağlamaktadır. ISO 9001:2015; süreç yaklaşımı ve risk tabanlı düşünme prensipleri doğrultusunda, üretim süreçlerinin verimli ve hatasız şekilde geçmesine olanak tanımaktadır (Brettel

vd., 2017: 808). Endüstri 5.0 ve ISO 9001:2015 bir arada kullanıldığında, lityum batarya üretiminde yüksek kalitenin ve verimliliğin söz konusu olabileceğini belirtmekte yarar vardır. Ayrıca işletme açısından rekabet avantajı sağlayabilmekte ve sürdürülebilir üretim hedeflerine işletmenin ulaşmasına katkı sağlamaktadır. Özetleyecek olursak; lityum batarya üretimi yüksek riske sahip olduğundan, etkin bir kalite yönetim sistemi, hem güvenliği hem de performansı artırarak risklerin asgari düzeye indirilmesine yarar sağlamaktadır (Schwab, 2016: 57).

2.8.3.1. Endüstri 5.0’da Lityum Batarya Üretim Süreçlerinin Analizi

Endüstri 5.0 teknolojilerinin lityum batarya üretimi için son derece elverişli olduğunu belirtmeliyiz. Çünkü Endüstri 5.0 yaklaşımı üretimin tüm süreçlerinde aktif olarak boy göstermektedir. Endüstri 5.0’deki sistemlerle ilgili bilgiler aşağıda sıralanmaktadır (Menak vd., 2021: 240; Ungurean vd., 2017: 161):

- Akıllı üretim sistemleri: Endüstri 5.0, üretimin tüm aşamalarını optimize etmekte ve bu duruma uygun şekilde akıllı karar verme yetenekleri sunabilmektedir. Akıllı üretim sistemleri, üretimin aşamalarında verimliliğe katkı sağlayarak yüksek kalitede batarya üretimine olanak tanımaktadır.
- Analitik otomasyon: Hem büyük verilerin analiz sürecinde hem de yapay zekâ üretim süreçlerinin optimizasyonu için kilit öneme sahip olan sistemlerden biridir. Bu sistem, süreçlerin gerek izlenmesini gerekse de kontrolünü sağlayabilmektedir. Bu izleme ve kontrol, hataların asgari düzeye indirilmesine katkı sağlarken, aynı zamanda verimsizlik de bu duruma paralel olarak asgari düzeye inebilmektedir.
- Talep odaklı üretim sistemleri: Talep odaklı sistemler, üretimi gerçek zamanlı talep üzerinden ayarlamaktadır. Bu durum işletmeye esneklik sağlamanın yanı sıra, aynı zamanda üretim maliyetlerinin düşmesine yol açarken, stok yönetiminin de optimize edilmesine neden olmaktadır.
- Otonom mobil robotlar (AMR): Bu teknoloji, insan ve robot işbirliğini daha net göstermektedir. Bu robotlar, üretim alanındaki birimlere ihtiyaç duyulan malzeme ve araç-gereç temini için kullanılmaktadır. Üretim birimlerine ihtiyaç duyulan şeylerin hızlı bir şekilde temin edilmesiyle birlikte üretim sürecinin hızlanmasına ve işgücünün verimli şekilde kullanılmasına imkân tanımaktadır.

- Enerji verimliliği: Endüstri 5.0, açısından öneme sahip olan hususlardan bir diğeri de enerji verimliliğidir. Bu bağlamda enerji tüketiminin optimize edilmesi ve çevresel olarak olumsuz etkileri azaltan üretim yöntemlerini teşvik edebilmektedir. Böylece elektriğe yönelik maliyetlerin düşürülmesine ve çevresel ayak izinin de bu duruma paralel olarak azaltılması sağlanmaktadır.
- Atık yönetimi: Atıkların mümkün olduğunca asgari düzeye indirilmesini ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlamaktadır.
- Entegrasyon: Robotlar, üretim birimlerinin kullandığı diğer teknolojilere entegre olduğundan, süreçlerin hem güvenilir, hem sorunsuz, hem de hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

2.8.3.2. PUKÖ Döngüsü (Planlama, Uygulama, Kontrol, Önlem)

PUKO döngüsü planlama, uygulama, kontrol ve önlem olmak üzere temel olarak dört farklı aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalarla ilgili özet bilgiler aşağıda sıralanmaktadır (Lasi vd., 2014: 241; Schwab, 2016: 57; Tao vd., 2019: 143):

- Planlama: Sürecin ilk aşaması olan planlama aşamasında üretim süreçleri hakkında ayrıntılı bir şekilde planlamalar yapılmaktadır. Üretim sürecinde sözü edilen risklerle birlikte aynı zamanda işletme açısından önemli olabilecek fırsatlar tespit edildikten sonra, üretim hedefleri ve kalite standartları netleştirilmektedir.
- Risk ve fırsat analizi: Üretilen ürün lityum batarya üretimi olduğunu dikkate aldığımızda, işletmenin potansiyel risk olarak karşı karşıya kalacağı riskler, ısınma, patlama ve kimyasal sızıntıdır. Risklerin dışında, fırsatları ise, verimlilik ve maliyet tasarrufu olarak sıralanmaktadır. Riskler ve fırsatlar saptandıktan sonra önlemler alınmakta ve fırsatlar değerlendirilmektedir.
- Uygula: Planlama aşamasında üretim için gerek duyulan stratejiler oluşturulur ve uygulamaya konulmaktadır. Uygulama aşamasında, üretim süreçleri, iş gücü ve kaynaklarının etkin şekilde kullanılması temel amaçtır.
- Süreçlerin yönetimi: Üretim aşamasında adımların sağlıklı şekilde atılmasından sonra Endüstri 5.0 teknolojileri ve otomasyon sistemleri yardımıyla süreçlerin optimize edilmesi sağlanır.

- Kontrol: Üretimde herhangi bir sorunun olup olmadığı birimler tarafından kontrol edilir. Performans değerlendirmelerinin yapılmasından sonra da, üretimdeki planlamanın doğru şekilde ilerleyip ilerlemediği kontrol edilir.
- Performans izleme: Üretimde kalite ve verimlilik gözlemlenmekte ve bir sorun olduğunda, soruna neden olan durum analiz edilmektedir.
- Önlem: Sorunların saptanmasından sonra önleyici faaliyetlerle üretim sürecindeki eksiklikler ve sorunlar düzeltilerek, iyileştirme önerileri uygulanır.
- Sürekli iyileştirme: Üretimde elde edilen bilgilere uygun bir şekilde sürekli iyileştirmeler yapılmaktadır. ISO 9001:2015'in sürekli iyileştirme ilkeleri doğrultusunda yapılır.

2.8.4. Endüstri 5.0 İle Lityum Batarya Üretimi

Lityum batarya üretimi belirli aşamalar doğrultusunda yapılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında lityum batarya üretiminin aşamalarına yer vermek çalışma açısından yararlı olacaktır. Lityum bataryalar yüzlerce seri ve paralel hücre bağlantılarından oluşmaktadır. Bu durum bataryaların karmaşık yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Akıllı robotlar tarafından hücrelerin yerleştirilmesinden sonra, hücre yüzeyi hazırlanmaktadır. Üretimde öncelikle hücreler hazırlanarak, kontrol edildikten sonra, yüzeyde temizlik ve bant uygulaması yapılmaktadır (Şekil 3).

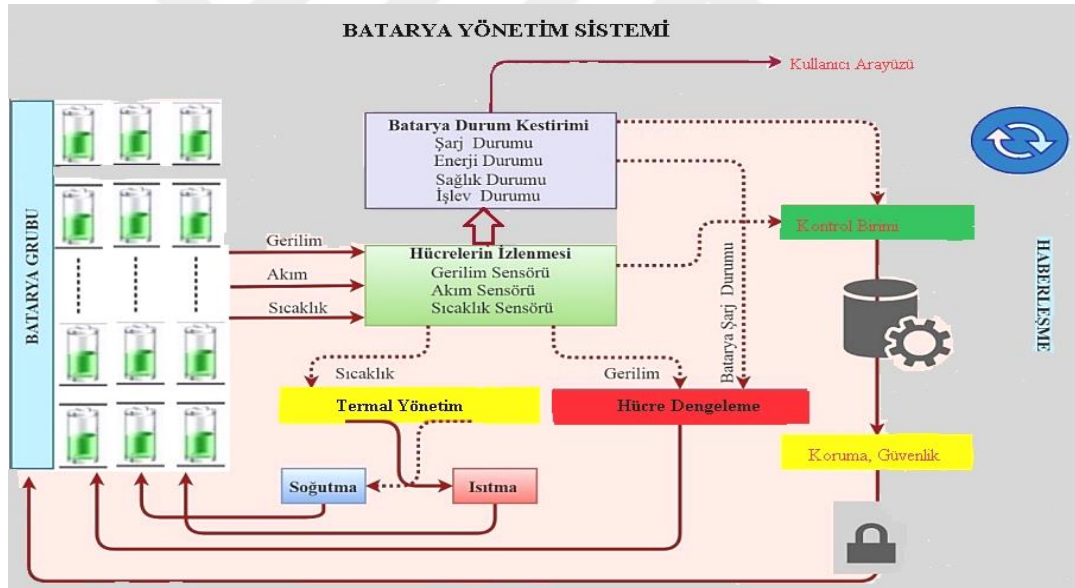


Şekil 3. Hücrelerin hazırlanması (KUKA, 2021)

Bataryadaki hücrelerin değişen ortam şartlarına bağlı olarak gerilim, akım ve sıcaklık değerleri değişim gösterebilmektedir. Elektrikli araçlarda bu değişim bilhassa sürüş anında bizzat yaşanmaktadır (Menak vd., 2021: 242).

Hücrelerin hazırlanmasından sonraki süreçte basınç plakası ve bağlantı çubukları hazırlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan lityum bataryalar, elektrikli araçlarla ilgili olduğundan, üzerinde durulan konular genel olarak elektrikli araçlarla ilgilidir. Elektrikli araçlar açısından temel enerji kaynağı lityum bataryalar olduğundan, sürüş güvenliği amacıyla bazı sınırlamaları söz konusudur. Batarya yönetim sistemleri bu bağlamda, sözü edilen sınırlamaların aşılması, bataryayı korumak ve elektrikli araç açısından daha güvenilir sürüş sağlamak açısından kilit role sahiptir (Ungurean vd., 2017: 159).

Bu bağlamda, batarya yönetim sisteminin şematik görünümü aşağıdaki Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Batarya yönetim şeması (Menak vd., 2021: 238)

Batarya yönetim sisteminin temel amacı pilin zarar görmesini engellemek ve araç kullanıcıları açısından güvenlik önlemlerini almaktır. Tekrar üretim aşamasına gelecek olursak; hücrenin hazırlanması ile birlikte yüzeyde temizlik ve bant uygulaması gerçekleştirildikten sonra hücreler sınıflandırılarak basınç plakaları ve bağlantı çubukları hazırlanmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Basınç plakaları ve bağlantı çubuklarının hazırlanması (KUKA, 2021)

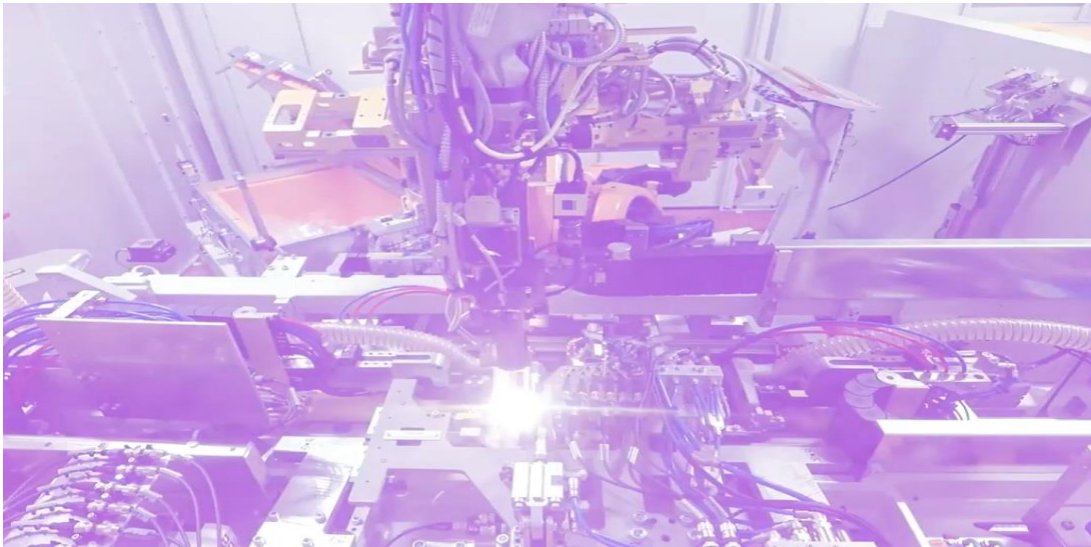
Yukarıda sözü edilen hücreler, minimum enerji depolama üniteleri olarak tanımlanmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan lityum bataryalardaki her hücre ortalama olarak 3,7 volt civarında elektrik voltajına sahiptir. Hücreler birbirine bağlandıktan sonra modül grupları bir araya getirilmekte ve batarya paketi oluşturulmaktadır. Modüllerin içerisindeki bu konektörler, enerji akışı dışında, aracın elektronik kontrol ünitesi diğer bağımsız hücreler arasındaki iletişimi sağlamaya yardımcıdır. Lityum iyon hücre üretim işlemleri için kuru ve temiz yerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Lityum, gerek oksijene gerekse de neme olan hassasiyetten dolayı üretimin kuru bir ortamda gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Hücre üretimi yapılırken ortaya çıkabilecek ya da ortamda bulunması muhtemel olan partiküller batarya hücreleri açısından hem risk hem de tehlike arz etmektedir (Menak vd., 2021: 246).

Sonraki aşamada hücrelerin istiflenmesi ve sıkıştırılması işlemleri gerçekleştirilir (Şekil 3.4). Sıkıştırma işlemi için hücrelerin yer aldığı kaplamanın ısıl ve mekanik etkilere mukavemetinin yüksek olması gerekmektedir. Sıkıştırma kullanılan pedler, modüllerde oluşabilecek olumsuzluklara (ezilme, şişme ve darbelere) güvenlik amaçlı olarak kullanılmaktadır. Sıkıştırma işleminin iyi olması durumunda öncelikle elektrotların elektrokimyasal performansı olumlu yönde etkilenmektedir. Ayrıca haddeleme kaplamanın folyoya yapışmasını artırmaktadır. Yapılan tüm bu işlemlerin neticesinde enerji yoğunluğunun artışı sağlanmaktadır (Şekil 6).



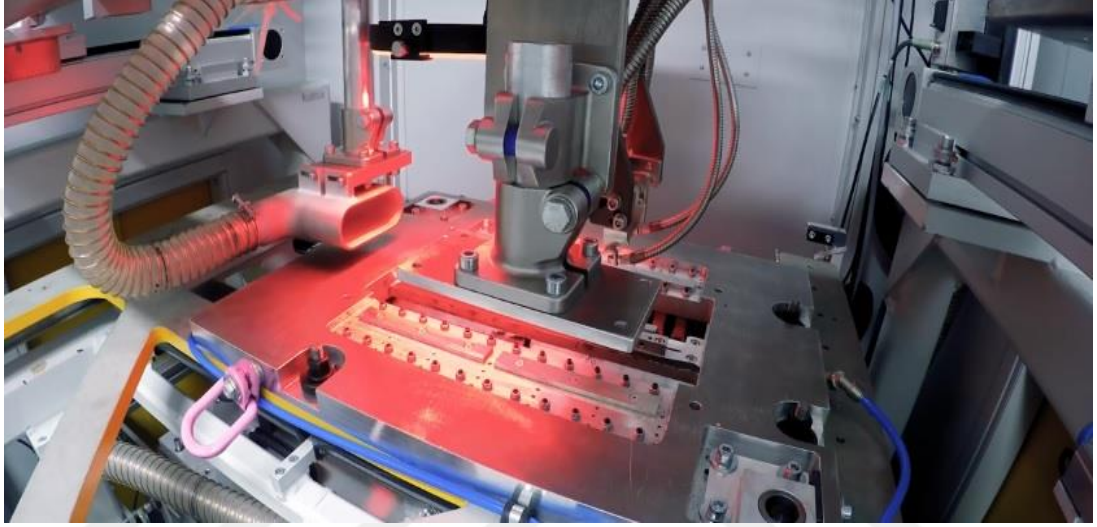
Şekil 6. Hücrelerin istiflenmesi ve sıkıştırılması (KUKA, 2021)

İstifleme ve sıkılaştırmadan sonra modül çerçevelerinin birbirine sabitlendirilmesi için kaynak yapılmaktadır (Şekil 7). Kaynaklama işlemi tamamlandıktan sonra yapılan işlemin doğrulanması ile birlikte hücre temas sisteminin konumlandırılması ve doğrulanması işlemine geçilmektedir. Kaynak işleminden önce hücreye düşük akım ile ilk şarj ve deşarj döngülerinin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Son olarak hücreler yaşlandırma testleri doğrultusunda, sergilenen performansa uygun bir şekilde gruplandırılmaktadır (Brettel vd., 2017: 807).



Şekil 7. Modül çerçevelerinin birbirine kaynakla sabitlendirilmesi (TRT Haber, 2022)

Hücre temas sisteminin konumlandırılmasında lazer kaynak sisteminden yararlanılmaktadır. Lazer kaynak sistemi; metal unsurların birbirine birleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Lazer kaynak sistemi kaynak işlemi için ışık demeti kullanmaktadır. Işın demetleri bilhassa dar kesimlerde derin kaynaklar yapılmasına olanak sağlayabilmektedir. Lazer kaynak sistemi mukavemeti yüksek bir birleşime olanağı sunmakta ve konsantre bir ısı kaynağı sağlayabilmektedir (Emecen vd., 2022: 13). Aşağıdaki Şekil 8’de lazer kaynaklama ile ilgili görsel yer almaktadır.



Şekil 8. Lazer kaynaklama işlemi (Emecen vd., 2022: 17)

Tüm kaynaklama işlemlerinin sona ermesinden sonra test sürecine geçilmektedir. Kalite ve uygunluk testlerinin yapılmasıyla birlikte etiketleme ve ambalajlama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

3.1. Ürün Ağacı

80V 690Ah Lityum Batarya Ürün Ağacı ile ilgili ayrıntılar aşağıdaki Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. 80V 690Ah Lityum Batarya Ürün Ağacı

Bölüm	Bileşen	Adet	Açıklama
Ana Ürün	80V 690Ah Lityum Batarya Sistemi	1	Tam Sistem
Enerji Depolama Modülü	Lityum Demir Fosfat (LiFePO ₄) Hücreleri	75	LiFePO ₄ 3.2V, 230Ah
Enerji Depolama Modülü	Batarya Modülü Muhafazası	1	Çelik, 2-4mm
BMS	Ana BMS Kartı	1	Batarya Yönetim Sistemi
BMS	Hücre Dengeleme Devresi	25	Voltaj ve akım dengeleme
BMS	Termal Yönetim Sensörleri	10	NTC/PTC Sensörler
BMS	Gerilim ve Akım Sensörleri	5	Hall Sensörleri
BMS	Yüksek Akım Sigortası	1	250A
BMS	Düşük Gerilim Kesici Röle	1	Koruma rölesi
Soğutma Sistemi	Pasif Soğutma Plakaları	10	Alüminyum Isı Dağıtıcı
Soğutma Sistemi	Yangın Önleyici Modül	1	Termal Koruma Köpüğü
Elektriksel Bileşenler	Güç Dağıtım Ünitesi (PDU)	1	Enerji Yönetim Modülü
Elektriksel Bileşenler	Yüksek Akım Anahtarları	2	400A DC Şalter
Elektriksel Bileşenler	Şarj ve Deşarj Kabloları	2	50mm ² Bakır Kablo, 1.5m
Elektriksel Bileşenler	Ana Güç Rölesi	1	Güç Yönetim Rölesi
Elektriksel Bileşenler	Yüksek Akım Konnektörleri	4	400A DC Bağlantı
Elektriksel Bileşenler	Düşük Akım Veri Konnektörleri	5	RS485 / CAN-BUS
Haberleşme	Dahili CAN-BUS Modülü	1	Araç Entegrasyon
Haberleşme	Batarya Durum LED'leri	3	Yeşil, Kırmızı, Sarı
Haberleşme	Gösterge Paneli	1	LCD veya LED ekranlı kontrol paneli
Haberleşme	Telemetri Modülü	1	WiFi/Bluetooth Bağlantılı
Yardımcı Bileşenler	Bağlantı Kabloları ve Konnektörler	10	Çeşitli uzunluk ve çaplarda
Yardımcı Bileşenler	Koruyucu Plastik Kılıflar	4	ABS Plastik
Yardımcı Bileşenler	Montaj Vidaları	50	Paslanmaz Çelik

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında toplamda 100 adet batarya üretimi esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.2. Manuel Üretim Sürecine Ait Bulgular

Manuel üretim sürecine ait bulgular ve işlem sıralamasına izleyen başlıklarda yer verilecektir.

3.2.1. Manuel Üretim Sistemi Üretim Prosesi

İşlem basamakları ve bu işlem basamaklarının ayrıntılarına aşağıda özet halinde sıralanmaktadır.

a) Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci: Amaç; lityum hücrelerin güvenli şekilde paketlenmesi ve montajını yapmaktır.

- Hücrelerin Stok Kontrolü: Operatör, gelen hücreleri kontrol eder ve uygunluk testlerinden geçirir.
- Manuel Hücre Paketleme: Operatör, 75 adet LiFePO₄ hücresini belirli bir düzen içinde yerleştirir.
- Hücrelerin Seri-Paralel Bağlantılarının Yapılması: Kablo bağlantıları lehimlenir veya sıkma terminalleri ile bağlanır.
- İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi: Elektriksel izolasyonu sağlamak için plastik ayırıcılar, termal pedler ve yalıtım bantları uygulanır.
- Gözle Muayene ve Kontrol: Operatör, lehim noktalarını ve bağlantıları görsel olarak inceler.

b) Modül Montajı ve Güç Bağlantıları: Amaç; hücre modüllerinin montajı ve elektriksel bağlantılarının yapılmasıdır.

- Modül Kasasının Montajı: Çelik çerçeveye batarya modülü yerleştirilir.
- Bağlantı Kablolarının Manuel Yerleştirilmesi: Operatör, ana güç bağlantılarını ve ara kabloları monte eder.
- Vida ve Sıkma İşlemi: Elektrik terminalleri ve bağlantı noktaları uygun torkla sıkılır.
- Güç Dağıtım Panosunun (PDU) Bağlanması: Operatör, şarj ve deşarj hatlarını kontrol eder ve modüle entegre eder.
- El Aletleri ile Mekanik Sıkma ve Sabitleme: Cıvata, somun ve terminal bağlantıları elle sıkılır.

c) BMS (Batarya Yönetim Sistemi) Entegrasyonu: Amaç; batarya yönetim sistemi (BMS) bağlanarak fonksiyonları kontrol etmektir.

- BMS Kartının Montajı: BMS ana kartı, batarya modülü üzerine operatör tarafından monte edilir.
- Hücre Bağlantılarının Yapılması: BMS hücre bağlantı kabloları dikkatlice elle bağlanır.
- Sıcaklık Sensörlerinin Yapıştırılması: Operatör, NTC/PTC sensörlerini batarya yüzeylerine manuel olarak yerleştirir.
- BMS Konfigürasyonu: Operatör, bilgisayar üzerinden BMS yazılımını yükler ve kalibrasyon yapar.
- İlk Test ve Fonksiyon Kontrolleri: BMS çalışma durumları operatör tarafından incelenir.

d) Soğutma ve Güvenlik Sistemleri Montajı: Amaç; batarya modülü için pasif/aktif soğutma sistemlerini eklemektir.

- Soğutma Plakalarının Montajı: Operatör, alüminyum ısı dağıtıcı plakaları modülün belirlenen bölümlerine yerleştirir.
- Havalandırma Deliklerinin Açılması: Manuel olarak koruyucu plakaların havalandırma boşlukları delinerek ısı yönetimi sağlanır.
- Yangın Önleyici Koruyucu Katmanların Eklenmesi: Termal yalıtım malzemeleri manuel olarak batarya üzerine yerleştirilir.

e) Elektrik Bağlantıları ve Test Aşaması Amaç; batarya bağlantılarının tamamlanarak test süreçleri yapmaktır.

- Ana Güç Terminallerinin Bağlanması: Şarj ve deşarj hatları elle bağlanır.
- Konnektörlerin Takılması: RS485, CAN-BUS, güç terminalleri elle takılır.
- İlk Voltaj ve Akım Testleri: Operatör, multimetre ile gerilim ve akım değerlerini ölçer.
- Yük Testi: Manuel yük simülasyonu ile deşarj edilir ve performansı ölçülür.
- Sigorta ve Röle Kontrolleri: Koruyucu bileşenlerin uygun çalışıp çalışmadığı manuel olarak test edilir.

f) Montaj ve Nihai Kalite Kontrol Testleri: Amaç; batarya sisteminin son montajlarının tamamlanması ve kalite testlerini yapmaktır.

- Görsel ve Fiziksel Kontroller: Operatör, tüm vidaları, lehim noktalarını ve kablo bağlantılarını kontrol eder.
- Titreşim Testi: Bataryanın mekanik stabilitesini test etmek için elle hafif darbe ve sallama testi yapılır.
- Fonksiyon Testleri:
 - Şarj/deşarj döngüsü test edilir.
 - BMS'in aşırı gerilim ve düşük voltaj koruması test edilir.
 - Termal sensörlerin tepki süreleri ölçülür.
- Batarya Kapasite Testi: Batarya tam şarj edilerek kapasite doğrulama testi yapılır.

g) Paketleme ve Sevkiyat Süreci: Amaç; bataryayı güvenli şekilde paketleyerek sevkiyata hazırlamaktır.

- Koruyucu Kaplama ve Kasa Montajı: Batarya, çelik muhafaza içine elle yerleştirilir.
- Etiketleme ve Seri Numarası Yazımı: Operatör, batarya üzerine seri numarası ve uyarı etiketleri yapıştırır.
- Paketleme:
 - Batarya, şok emici köpük ve ahşap kasa ile sarılır.
 - Güvenlik belgeleri ve test raporları eklenir.
- Son Kontrol ve Sevkiyat: Ürün, lojistik birimine teslim edilir.

h) Manuel İnsana Dayalı Üretim Proseslerinde Öne Çıkanlar:

- İnsan Gözüyle Kontrol: Operatörler tarafından görsel ve fiziksel denetimler yapılır.
- Elle Montaj: Kablo bağlantıları, modül birleştirme, izolasyon uygulamaları manuel olarak gerçekleştirilir.
- Manuel Test Süreçleri: Multimetre, yük test cihazları ve fiziksel kontroller operatörler tarafından yapılır.
- Önlem ve Düzeltme Mekanizmaları: Hatalı bağlantılar veya eksik parçalar operatörler tarafından düzeltilir.

Tablo 7. Manuel Üretim Sistemi Ölçülen Zaman

ANA VERİLER		MANUEL SİSTEM																														
Üretim Süreci	İşlem Adımı	Gerçek Süre (saniye)	ÖLÇÜLEN SÜRELER																													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci	Hücrelerin Stok Kontrolü	120	125	118	127	138	117	117	138	129	114	126	114	114	122	97	99	113	107	123	109	103	137	117	120	102	113	121	106	124	112	116
	Manuel Hücre Paketleme	180	169	213	179	160	194	158	183	144	156	183	193	183	177	174	153	167	171	199	186	148	185	173	167	191	198	196	164	174	185	197
	Seri-Paralel Bağlantı Yapılması	300	285	294	266	264	324	340	297	330	310	280	310	346	298	346	221	324	302	291	302	240	293	310	344	284	275	284	327	309	284	315
	İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	150	151	164	139	145	144	128	154	153	150	146	128	143	144	137	147	156	178	152	153	148	121	149	150	186	147	154	149	132	167	161
	Göze Muayene ve Kontrol	90	97	81	102	77	95	109	81	84	90	85	76	90	80	94	81	103	82	87	97	78	92	101	75	91	92	97	78	78	94	92
1.Süreç Toplam Süre (Saniye)	840	827	870	813	784	874	852	853	840	820	820	821	876	821	848	701	863	840	852	847	717	828	850	856	854	825	852	824	817	842	881	
2. Modül Montajı ve Güç Bağlantıları	Modül Kasasının Montajı	200	205	206	186	204	205	185	237	209	176	213	180	215	223	183	219	208	216	237	195	184	182	183	198	206	205	216	200	229	194	254
	Bağlantı Kablolarının Manuel Yerleştirilmesi	250	265	228	223	262	244	267	261	248	228	212	238	271	255	218	254	259	227	253	251	221	258	264	277	276	215	226	262	262	262	346
	Vida ve Sıkma İşlemi	180	190	200	197	191	174	193	166	175	171	181	221	146	192	150	171	199	181	160	167	192	166	183	180	168	218	191	143	183	168	195
	PDU Bağlanması	160	147	158	168	173	140	154	152	149	188	166	139	174	193	176	135	152	180	148	167	172	145	159	108	143	155	140	186	137	152	162
	Mekanik Sabitleme (Vida / Somun)	150	171	128	167	150	135	156	152	140	151	144	151	159	173	131	181	120	147	158	154	140	146	142	141	162	155	139	163	154	162	159
2.Süreç Toplam Süre (Saniye)	940	978	920	941	980	898	955	968	921	914	916	929	965	1036	858	960	938	951	956	934	909	897	931	904	955	948	912	954	965	938	1116	
3.BMS Entegrasyonu	BMS Kartının Montajı	180	165	169	193	190	179	182	202	169	189	176	176	199	194	194	203	180	192	174	185	177	181	190	165	217	161	158	200	194	191	191
	Hücre Bağlantılarının Yapılması	240	239	218	241	223	263	236	220	232	249	226	220	245	245	227	228	245	205	206	222	234	247	275	260	236	239	215	239	233	247	220
	Sıcaklık Sensörlerinin Yerleştirilmesi	150	157	172	148	156	160	143	153	150	151	138	150	157	171	164	182	138	163	152	182	137	137	141	118	142	138	152	155	178	164	141
	BMS Konfigürasyonu	300	273	314	260	354	335	285	248	340	296	337	252	282	300	301	286	318	267	295	303	315	321	266	253	338	309	277	346	303	335	302
	İlk Test ve Fonksiyon Kontrolleri	240	289	282	234	263	255	272	216	256	265	197	211	191	233	257	276	241	279	206	199	238	249	239	190	237	208	256	248	217	227	214
3.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1110	1123	1155	1076	1186	1192	1118	1039	1147	1150	1074	1009	1074	1143	1143	1175	1122	1106	1033	1091	1101	1135	1111	986	1170	1055	1058	1188	1125	1164	1068	
4. Soğutma ve Güvenlik Sistemleri	Soğutma Plakalarının Montajı	180	178	197	162	189	170	165	178	161	170	158	215	180	167	183	177	176	191	193	170	169	175	138	152	204	209	175	190	185	235	200
	Havalandırma Deliklerinin Açılması	240	236	217	201	244	221	205	224	214	280	261	239	275	241	219	276	252	215	235	218	206	262	285	206	253	224	228	225	219	241	220
	Yangın Onleyici Malzemelerin Yerleştirilmesi	150	154	149	146	136	141	161	157	135	151	161	124	158	140	158	138	122	125	150	153	136	159	125	149	131	140	150	137	144	165	141
	4.Süreç Toplam Süre (Saniye)	570	568	563	509	569	532	531	559	510	601	580	578	613	548	560	591	550	531	578	541	511	596	548	507	588	573	553	552	548	641	561
5. Elektrik Bağlantıları ve Testler	Ana Güç Terminallerinin Bağlanması	250	270	221	263	286	188	230	264	244	259	234	252	246	279	256	258	239	237	239	259	239	257	301	271	241	280	239	199	224	203	241
	Konnektörlerin Takılması	180	180	210	185	176	194	140	184	193	153	200	186	172	191	220	183	184	171	164	194	164	181	171	188	186	198	170	175	162	172	186
	İlk Voltaj ve Akım Testleri	300	322	272	326	340	312	356	276	262	246	344	319	298	308	266	373	303	303	321	314	306	276	314	356	340	347	284	270	296	301	332
	Yük Testi (Manuel)	600	498	691	590	574	539	500	649	604	522	522	579	700	584	509	585	583	438	596	586	641	710	667	583	533	754	603	600	598	611	591
	Şigorta ve Röle Kontrolleri	240	226	226	239	226	222	242	233	276	176	266	269	190	231	231	206	221	213	282	262	270	257	212	227	251	210	257	234	231	257	250
5.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1570	1496	1620	1603	1602	1455	1468	1606	1579	1356	1566	1605	1606	1593	1482	1605	1530	1362	1602	1615	1620	1681	1665	1625	1551	1789	1553	1478	1511	1544	1600	
6. Montaj ve Nihai Kalite Kontrol	Görsel ve Fiziksel Kontroller	240	231	267	214	254	254	232	247	209	262	235	227	265	223	206	202	254	209	282	190	280	245	237	226	249	239	266	242	243	231	238
	Titreşim Testi	300	309	248	259	322	305	294	300	310	283	276	305	270	312	248	330	314	307	329	349	330	244	261	281	300	315	278	305	277	281	257
	Fonksiyon Testleri	360	326	311	324	397	325	454	377	366	329	385	339	364	452	356	401	334	358	423	337	425	385	339	382	395	382	303	333	351	357	382
	Batarya Kapasite Testi	600	610	519	622	636	633	664	650	627	595	500	625	612	616	523	535	663	597	640	601	601	656	569	605	572	573	581	613	571	675	546
6.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1500	1476	1345	1419	1609	1517	1644	1574	1512	1469	1396	1496	1511	1603	1333	1468	1565	1471	1674	1477	1636	1530	1406	1494	1516	1509	1428	1493	1442	1544	1423	
7. Paketleme ve Sevkiyat Süreci	Koruyucu Kasa Montajı	180	176	172	206	183	198	153	184	196	181	199	170	205	221	173	171	206	208	170	172	174	155	163	161	166	179	184	207	162	197	176
	Etiketleme ve Seri Numarası Yazımı	120	119	128	106	124	121	125	123	149	112	113	112	113	112	134	137	113	110	125	113	127	122	101	138	141	112	115	123	124	127	144
	Paketleme ve Ambalajlama	300	294	276	258	278	299	353	284	306	299	335	375	284	285	331	320	355	317	289	317	333	324	315	332	335	341	319	294	304	336	275
	7.Süreç Toplam Süre (Saniye)	600	589	576	570	585	618	631	591	651	592	647	657	602	618	638	628	674	635	584	602	634	601	579	631	642	632	618	624	590	660	595
TOPLAM MANUEL ÜRETİM SÜRESİ (Saniye)	7130	7057	7049	6931	7315	7086	7199	7190	7160	6902	6999	7095	7247	7362	6862	7128	7242	6896	7279	7107	7128	7268	7090	7003	7276	7331	6974	7113	6998	7333	7244	

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 8. Manuel Sistem Metod Etüdü

İş Adımı	İşlem Türü	Süre (sn)	Operatör/Makine Kullanımı	Mesafe (m)	Önerilen İyileştirme
Hücrelerin Stok Kontrolü	Destekleyici	120	Operatör	5	Otomatik stok takibi entegrasyonu
Manuel Hücre Paketleme	Katma Değerli	180	Operatör	0	Robotik sistem entegrasyonu
Seri-Paralel Bağlantılar	Katma Değerli	300	Operatör	2	Lazer kaynak kullanımı
İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	Destekleyici	150	Operatör	0	Otomatik izolasyon montajı
Görsel Muayene ve Kontrol	Destekleyici	90	Operatör	0	AI destekli kalite kontrol
Modül Kasasının Montajı	Katma Değerli	200	Operatör	1	Otomatik modül montaj hattı
Bağlantı Kablolarının Manuel Yerleştirilmesi	Katma Değerli	250	Operatör	2	Kablo yönlendirme robotları
Vida ve Sıkma İşlemi	Destekleyici	180	Operatör	1	Otomatik tork kontrollü makineler
PDU Bağlanması	Katma Değerli	160	Operatör	0	Robotik bağlantı sistemleri
BMS Kartının Montajı	Katma Değerli	180	Operatör	0	AI destekli BMS montajı
BMS Bağlantılarının Yapılması	Katma Değerli	240	Operatör	1	Otomatik lehimleme sistemi
Soğutma Plakalarının Montajı	Destekleyici	180	Operatör	1	Termal macun uygulama robotları
Havalandırma Deliklerinin Açılması	Destekleyici	240	Operatör	0	CNC lazer kesim sistemi
Sigorta ve Röle Kontrolleri	Destekleyici	240	Operatör	0	Otomatik test sistemi
Batarya Kapasite Testi	Katma Değerli	600	Operatör	0	Tam otomatik test cihazları
Paketleme ve Sevkiyat	Destekleyici	300	Operatör	3	Otomatik ambalajlama hattı

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 9. Manuel Sistem Personel Planı

İş Adımı	İşlem Türü	Manuel Sistem - Çalışan Personel	Süre (sn)	Operatör/Makine Kullanımı	Mesafe (m)
Hücrelerin Stok Kontrolü	Destekleyici	Personel 1 & 2	120	Operatör	5
Manuel Hücre Paketleme	Katma Değerli	Personel 3	180	Operatör	0
Seri-Paralel Bağlantılar	Katma Değerli	Personel 4 & 5	300	Operatör	2
İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	Destekleyici	Personel 6	150	Operatör	0
Görsel Muayene ve Kontrol	Destekleyici	Personel 7	90	Operatör	0
Modül Kasasının Montajı	Katma Değerli	Personel 3 & 4	200	Operatör	1
Bağlantı Kablolarının Yerleştirilmesi	Katma Değerli	Personel 5 & 6	250	Operatör	2
Vida ve Sıkma İşlemi	Destekleyici	Personel 7	180	Operatör	1
PDU Bağlanması	Katma Değerli	Personel 8	160	Operatör	0
BMS Kartının Montajı	Katma Değerli	Personel 9	180	Operatör	0
BMS Bağlantılarının Yapılması	Katma Değerli	Personel 10	240	Operatör	1
Soğutma Plakalarının Montajı	Destekleyici	Personel 6	180	Operatör	1
Havalandırma Deliklerinin Açılması	Destekleyici	Personel 7	240	Operatör	0
Sigorta ve Röle Kontrolleri	Destekleyici	Personel 9	240	Operatör	0
Batarya Kapasite Testi	Katma Değerli	Personel 7 & 8	600	Operatör	0
Paketleme ve Etiketleme	Destekleyici	Personel 9 & 10	300	Operatör	3

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

3.2.2. Manuel Sistem Kalite Süreçleri

1. Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci

1.1. Uygulanan Kalite Süreci

Görsel Muayene: Operatör, hücrelerin fiziksel durumunu gözle kontrol eder (çizik, şişme, mekanik hasar olup olmadığı). (Juran, 1954).

Gerilim Testi: Multimetre ile hücre voltajı ölçülerek standart aralıkta olup olmadığı doğrulanır. (Montgomery, 2019).

- İzolasyon Kontrolü: Plastik ayırıcılar ve termal pedler düzgün yerleştirilerek kısa devre riski önlenir.
- Bağlantı Testi: Lehimleme veya sıkma bağlantılarının sağlamlığı manuel olarak kontrol edilir.

2. Modül Montajı ve Güç Bağlantıları

2.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Vida Tork Kontrolü: Elektrik terminallerinin uygun torkla sıkıldığı manuel torkmetre ile doğrulanır.
- Bağlantı Testi: Kabloların ve terminalerin gevşek olup olmadığı elle kontrol edilir.

Görsel Denetim: Kablo yönlendirmesi ve mekanik sabitleme doğrulanır. (ISO 9001:2015, 2015).

- İletkenlik Testi: Ana güç bağlantılarında direnç ölçümü yapılır.

3. BMS (Batarya Yönetim Sistemi) Entegrasyonu

3.1. Uygulanan Kalite Süreci

- BMS Bağlantı Testi: Sensörlerin ve iletişim hatlarının doğru çalıştığı manuel testlerle kontrol edilir.
- Gerilim ve Akım Sensör Testleri: Her hücre için ölçüm yapılır. (IEC 62619, 2017).
- Fonksiyon Testleri: BMS'in aşırı gerilim, düşük voltaj, aşırı akım ve sıcaklık koruma fonksiyonları manuel olarak incelenir.

4. Soğutma ve Güvenlik Sistemleri Montajı

4.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Termal Testler: Soğutma plakalarının ısı iletkenliği temassız sıcaklık ölçer ile kontrol edilir.
- Havalandırma ve Yangın Önleyici Malzeme Kontrolü: Manuel yerleşim doğrulama işlemi yapılır.

5. Elektrik Bağlantıları ve Test Aşaması

5.1. Uygulanan Kalite Süreci

- İlk Voltaj ve Akım Testleri: Multimetre ve osiloskop ile bağlantılar doğrulanır.
- Yük Testi: Manuel yük test cihazlarıyla batarya kapasitesi ölçülür.
- Sigorta ve Röle Kontrolleri: Koruyucu bileşenlerin işlevselliği gözle ve manuel testlerle incelenir.

6. Montaj ve Nihai Kalite Kontrol Testleri

6.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Titreşim Testi: Hafif mekanik darbelerle bağlantı stabilitesi kontrol edilir.
- Şarj/Deşarj Döngü Testleri: Gerçek yükleme altında kapasite testi yapılır.
- BMS'in koruma fonksiyonları test edilir.

7. Paketleme ve Sevkiyat Süreci

7.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Etiketleme Kontrolü: Seri numarası, üretim tarihi ve güvenlik uyarıları doğrulanır.
- Paketleme Standartları: Darbeye dayanıklı ambalaj kullanımı gözlemlenir.

3.2.3. Manuel Sistem PUKO Döngüsü

Manuel üretim süreci, insan gücüne dayalı olduğu için hata oranları, işçilik süresi ve kalite kontrol süreçleri açısından dikkatlice değerlendirilmelidir. PUKÖ Döngüsü (Planla - Uygula - Kontrol Et - Önlem Al) yaklaşımı, süreç iyileştirmeleri yapmak için kullanılan temel bir kalite yönetim aracıdır.

1. Planla (Planlama Aşaması)

Bu aşamada manuel üretim sürecindeki mevcut problemler belirlenir ve iyileştirme için hedefler konulur.

Tespit Edilen Sorunlar:

Yüksek hata oranı (%5.6): Lehimleme, bağlantı ve izolasyon hataları.

Düşük verimlilik (OEE: %68): Süreçlerde zaman kaybı ve iş gücü verimsizliği.

Kalite kontrol eksiklikleri: Nihai testlerde başarısızlık oranı yüksek.

İşçilik maliyetleri yüksek: Manuel iş gücüne bağlı hatalar ve verimsizlikler.

Hedefler:

Ürün uygunsuzluk oranını %5.6'dan %3.5'e düşürmek.

Kalite kontrol başarı oranını %92'den %96'ya çıkarmak.

Manuel işçilik verimliliğini %10 artırmak.

Hata oranlarını en az %30 azaltmak.

İyileştirme Stratejileri:

Lehimleme süreçlerini standart hale getirmek: Kalite kontrol noktaları oluşturulacak.

İşçi eğitimleri artırılabilecek: ISO 9001:2015 gerekliliklerine uygun süreç yönetimi sağlanacak.

Manuel test süreçleri düzenlenecek: Elektrik bağlantıları ve izolasyon malzemeleri için ekstra kontrol sağlanacak.

İş süreçleri zaman etüdü ile optimize edilecek: Gereksiz hareketler elimine edilecek.

2. Uygula (İyileştirmeleri Uygulama Aşaması)

Belirlenen hedefler doğrultusunda üretim sürecinde gerekli değişiklikler yapılır.

Alınan Önlemler:

Manuel lehimleme ve bağlantı süreçlerine standart prosedürler getirildi.

Operatörlere haftalık kalite kontrol eğitimi verildi.

Ekstra kalite kontrol noktaları oluşturuldu.

İzole malzeme kullanımını artırılarak güvenlik artırıldı.

Zaman etüdü yapılarak gereksiz manuel iş adımları çıkarıldı.

Gerçekleştirilen Değişiklikler:

İşçilerin kalite kontrol süreçlerinde daha sıkı denetim yapması sağlandı.

Üretim süreçlerinde verimsiz iş adımları kaldırıldı.

Batarya modül montaj sürecinde bağlantıların sıkılaştırılması için ek tork ölçümleri yapıldı.

3. Kontrol Et (Verileri Değerlendirme Aşaması)

Yapılan iyileştirmelerin etkisi ölçülerek, süreçlerdeki değişikliklerin başarı durumu analiz edilir. Aşağıdaki Tablo 10'da bu durumla ilgili örnek görülmektedir.

Tablo 10. Verilerin Değerlendirilmesi

Kriter	Önceki Durum	İyileştirme Sonrası
Ürün Uygunsuzluk Oranı	%5.6	%3.5
Üretim Verimliliği (OEE)	%68	%74
Manuel Test Başarı Oranı	%92	%96
İşçilik Maliyeti	18.000 ₺	16.500 ₺
Üretim Süresi (100 batarya için)	7.130 saniye	6.500 saniye

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Sonuçlar:

- Hata oranlarında %37 azalma sağlandı.
- Üretim verimliliği %68'den %74'e çıktı.
- İşçilik maliyetleri %8.3 oranında düştü.
- Üretim süresi 630 saniye kısaldı.

4. Önlem Al (Sürekli İyileştirme Aşaması)

Bu aşamada süreçlerin daha da iyileştirilmesi ve sürdürülebilir hale getirilmesi için ek önlemler alınır.

Önerilen Ek Önlemler:

- Yapay zeka destekli hata tespit sistemleri eklenerek manuel hatalar daha hızlı tespit edilebilir.
- İleri seviye operatör eğitimleri düzenlenerek kalite farkındalığı artırılabilir.

- Lehimleme ve bağlantı süreçlerinde otomasyon destekli makineler kullanılabilir.
- Kalite kontrol süreçlerine görüntü işleme sistemleri eklenerek insan hatası minimize edilebilir.

3.3. Endüstri 5.0 Sürecine Ait Bulgular

3.3.1. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Üretim Prosesi

1. Akıllı Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci

Amaç: Lityum hücrelerin tam otomatik makineler ile güvenli şekilde paketlenmesi ve montajı

- Otonom Malzeme Yönetimi:
 - RFID ve IoT destekli akıllı lojistik sistemleri, hücreleri tedarik eder ve depolar.
 - AGV (Automated Guided Vehicle) sistemleri, hücreleri üretim bandına taşır.
- Robotik Hücre Paketleme:
 - Robot kollu otomatik montaj sistemleri, hücreleri otomatik olarak yerleştirir.
 - Yapay zeka destekli kalite kontrol kameraları, her bir hücrenin konum, bağlantı ve hatalarını analiz eder.
- Otomatik Bağlantı Yapımı:
 - Lazer kaynak makineleri, bakır bara bağlantılarını otomatik olarak kaynaklar.
 - Makine öğrenmesi destekli kalite kontrol algoritmaları, bağlantıların elektriksel iletkenliğini test eder.
- Veri Toplama ve Analiz:
 - IoT destekli sensörler, sıcaklık, voltaj ve direnç gibi verileri sürekli olarak toplar.
 - Yapay zeka tabanlı analiz sistemleri, anormal durumları belirleyerek önleyici bakım önerileri sunar.

2. Akıllı Modül Montajı ve Güç Bağlantıları

Amaç: Batarya modüllerinin otomatik montaj hatlarıyla birleştirilmesi

- Tam Otomatik Modül Montaj Hatları:
 - Cobot'lar (iş birliği yapan robotlar), modül kasalarını monte eder.
 - Otomatik tork kontrollü vidalama makineleri, mekanik bağlantıları yapar.
- Akıllı Elektrik Bağlantı Sistemleri:
 - AI destekli robotik lehimleme makineleri, hassas bağlantıları gerçekleştirir.
 - Termal kamera sistemleri, bağlantılardaki aşırı ısınmayı analiz eder.
- Gerçek Zamanlı Üretim Takibi:
 - MES (Manufacturing Execution System), tüm üretim sürecini dijital olarak takip eder.
 - Hata algılama algoritmaları, üretim sırasında potansiyel problemleri önceden tahmin eder.

3. Otonom BMS (Batarya Yönetim Sistemi) Entegrasyonu

Amaç: BMS'in tam otomatik bağlanması ve akıllı sistemlerle kalibrasyonu

- Otomatik BMS Montajı:
 - AI destekli montaj robotları, BMS kartını yerine yerleştirir.
 - Akıllı konektör sistemleri, BMS bağlantılarını otomatik olarak yapar.
- Yapay Zeka Destekli Kalibrasyon:
 - Otomatik test istasyonları, BMS'in voltaj, akım ve sıcaklık sensörlerini test eder.
 - Makine öğrenmesi destekli analiz yazılımları, anormal davranışları belirler ve hata olasılıklarını tahmin eder.
- Bağlantı Güvenlik Testleri:
 - IoT bağlantılı test cihazları, her modülün haberleşme kalitesini kontrol eder.
 - Siber güvenlik önlemleri, bataryayı yetkisiz erişime karşı korur.

4. Akıllı Soğutma ve Güvenlik Sistemleri Entegrasyonu

Amaç: Batarya modülü için akıllı soğutma sistemlerinin eklenmesi ve güvenlik kontrollerinin yapılması

- Akıllı Soğutma Çözümleri:
 - AI destekli termal yönetim algoritmaları, ısı dağılımını hesaplar.
 - Otomatik sıvı veya hava soğutma sistemleri, bataryanın optimum sıcaklıkta çalışmasını sağlar.

- Gerçek Zamanlı Güvenlik Kontrolleri:
 - Sensör destekli güvenlik algoritmaları, bataryanın aşırı ısınmasını algılar.
 - Otomatik koruyucu sistemler, tehlikeli durumlarda müdahale eder.

5. Akıllı Test ve Kalite Kontrol Süreci

Amaç: Bataryanın tam otomatik testlerden geçirilerek güvenilirliğinin sağlanması

- Endüstri 5.0 Uydu Test Sistemleri:
 - Tam Otomatik Fonksiyon Testi: Şarj/deşarj, akım ve gerilim ölçümleri yapay zeka destekli test cihazlarıyla gerçekleştirilir.
 - Yapay Zeka Destekli Hata Algılama: AI algoritmaları, batarya performansındaki anomalileri tespit eder.
 - Otomatik Titreşim ve Denge Testleri: Robotik test sistemleri, mekanik dayanıklılığı test eder.
- Dijital İkiz Teknolojisi:
 - Bataryanın sanallaştırılmış bir modeli (Digital Twin) oluşturulur.
 - Bu model, üretim sürecinde gerçek batarya ile kıyaslanarak anormallikleri tespit eder.

6. Akıllı Paketleme ve Sevkiyat

Amaç: Bataryanın otomatik olarak paketlenmesi ve sevkiyata hazır hale getirilmesi

- Robotik Paketleme Hatları:
 - Otonom robotlar, bataryaları otomatik olarak koruyucu köpüklerle sarar ve kutular.
 - Akıllı barkodlama sistemleri, her bataryaya dijital kimlik tanımlar.
- Otonom Depolama ve Sevkiyat:
 - Depo Yönetim Sistemi (WMS), bataryaların depo içindeki hareketlerini optimize eder.
 - Otonom taşıma robotları, bataryaları sevkiyat alanına götürür.

Endüstri 5.0 Üretim Sisteminin Avantajları

- İnsan ve Robot İş birliği: Manuel ve otomatik sistemlerin en iyi kombinasyonu kullanılır.
- Akıllı Üretim ve Kalite Kontrol: AI, IoT ve veri analitiği ile %100 doğruluk sağlanır.
- Veri Odaklı Süreç Yönetimi: Hata tahmini ve önleyici bakım ile üretim verimliliği artırılır.
- Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği: Daha az hata, daha az israf ve daha çevreci üretim.

Tablo 11. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Ölçülen Zaman

		ENDÜSTRİ 5.0																														
ANA VERİLER		TAHMİN SÜRELER																														
Üretim Süreci	İşlem Adımı	Gerçek Süre (saniye)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Hücre Hanrlık ve Montaj Süreci	Otomom Malzeme Yönetimi (AGV + RFID)	20	20	19	21	23	19	19	23	21	19	21	19	19	20	16	16	18	17	20	18	17	22	19	20	17	18	20	17	20	18	19
	Robotik Hücre Paketleme	40	37	47	39	35	43	35	40	32	34	40	42	40	39	38	34	37	38	44	41	32	41	38	37	42	44	43	36	38	41	43
	Lazer Kaynak ile Bağlantı	70	66	68	62	61	75	79	69	77	72	65	72	80	69	80	51	75	70	67	70	56	68	72	80	66	64	66	76	72	66	73
	Yapay Zeka Destekli Kalite Kontrol	50	50	54	46	48	48	42	51	51	50	48	42	47	48	45	49	52	59	50	51	49	40	49	50	62	49	51	49	44	55	53
	1. Süreç Toplam Süre (Saniye)	180	173	188	168	167	185	175	183	181	175	174	175	186	176	179	150	182	184	181	180	154	171	178	187	187	175	180	178	174	180	188
2. Modül Montajı ve Güç Bağlantıları	Tam Otomatik Modül Montajı	90	97	81	102	77	95	109	81	84	90	85	76	90	80	94	81	103	82	87	97	78	92	101	75	91	92	97	78	78	94	92
	Bağlantı Kablolarının Robotik Montajı	70	71	72	65	71	72	64	83	73	61	74	63	75	78	64	76	72	75	83	68	64	63	64	69	72	71	75	70	80	68	89
	Otomatik Tork Kontrollü Vidalama	50	53	45	44	52	48	53	52	49	45	42	47	54	51	43	50	51	45	50	50	44	51	52	55	55	43	45	52	52	69	
	Güç Dağıtım Panosunun (PDU) Bağlanması	70	73	77	76	74	67	75	64	68	66	70	86	56	74	58	66	77	70	62	64	74	64	71	70	65	85	74	55	71	65	75
	2. Süreç Toplam Süre (Saniye)	280	294	275	287	274	282	301	280	274	262	271	272	275	283	259	273	303	272	282	279	260	270	288	269	283	291	291	255	281	279	325
3. BMS Entegrasyonu	Robotik BMS Kartı Montajı	50	46	49	52	54	43	48	47	46	58	52	43	54	60	55	42	47	56	46	52	53	45	49	33	44	48	43	58	42	47	50
	Hücre Bağlantılarının AI Destekli Yapılması	50	57	42	55	50	45	52	50	46	50	48	50	53	57	43	60	40	49	52	51	46	48	47	47	54	51	46	54	51	54	53
	Akıllı Sensörlerin Takılması	50	45	47	53	53	49	50	56	47	52	48	48	55	54	54	56	50	53	48	51	49	50	52	45	60	44	43	55	53	53	53
	BMS Yazılım Yükleme ve Konfigürasyon	70	69	63	70	65	76	68	64	67	72	66	64	71	71	66	66	71	59	60	64	68	72	80	76	68	69	62	69	67	72	64
	İlk Test ve Veri Analizi	80	84	92	79	83	85	76	81	80	80	73	80	83	91	87	97	73	86	81	97	73	73	75	63	75	73	81	82	95	87	75
3. Süreç Toplam Süre (Saniye)	300	301	293	309	305	298	294	298	286	312	287	285	316	333	305	321	281	303	287	315	289	288	303	264	301	285	275	318	308	313	295	
4. Soğutma ve Güvenlik Sistemleri	AI Destekli Temal Yönetim	50	45	52	43	59	55	47	41	56	49	56	42	47	50	50	47	53	44	49	50	52	53	44	42	56	51	46	57	50	55	50
	Otomatik Soğutma Sistemi Montajı	70	84	82	68	76	74	79	63	74	77	57	61	55	68	75	80	70	81	60	58	69	72	69	55	69	60	74	72	63	66	62
	Yangın Önleyici Otomatik Kaplama	60	59	65	54	63	56	55	59	53	56	52	71	60	55	61	59	58	63	64	56	56	58	46	50	68	69	58	63	61	78	66
	4. Süreç Toplam Süre (Saniye)	180	188	199	165	198	185	181	163	183	182	165	174	162	173	186	186	181	188	173	164	177	183	159	147	193	180	178	192	174	199	178
	5. Elektrik Bağlantıları ve Testler	Yüksek Akım Terminallerinin Otomatik Bağ	50	49	45	41	51	46	42	46	44	58	54	49	57	50	45	57	52	44	49	45	43	54	59	43	52	46	47	47	45	50
Otomatik Konnektör Montajı		40	41	39	39	36	37	43	42	36	40	43	33	42	37	42	36	32	33	40	41	36	42	33	39	35	37	40	36	38	44	37
IoT Destekli Voltaj ve Akım Testleri		70	75	62	73	80	52	64	74	68	72	65	70	68	78	71	72	67	66	66	72	67	72	84	76	67	78	67	55	62	56	67
Otomom Yük Testi		120	120	140	123	117	129	93	122	129	102	133	124	115	127	147	122	122	114	109	129	109	120	114	125	124	132	113	116	108	114	124
AI Destekli Sigorta ve Röle Kontrolleri		80	86	72	86	90	83	95	73	70	65	91	85	79	82	70	99	81	80	85	83	81	73	83	95	90	92	75	72	78	80	88
5. Süreç Toplam Süre (Saniye)	360	371	358	362	374	347	337	357	347	337	386	361	361	374	375	386	354	337	349	370	336	361	373	378	368	385	342	326	331	344	361	
6. Nihai Kalite Kontrol	Robotik Görsel ve Fiziksel Kontroller	80	66	92	78	76	71	66	86	80	69	69	77	93	77	67	78	77	58	79	78	85	94	89	77	71	100	80	80	79	81	78
	Titrasyon ve Denge Testleri	100	94	94	99	94	92	101	97	115	73	110	112	79	96	96	85	92	88	117	109	112	107	88	94	104	87	107	97	96	107	104
	AI Destekli Fonksiyon Testleri	100	96	111	89	106	105	96	103	87	109	98	94	110	92	85	84	106	87	117	79	116	102	99	94	103	99	111	101	101	96	99
	Batarya Kapasite Testi	150	154	124	129	161	152	147	150	155	141	138	152	135	156	124	165	157	153	164	174	165	122	130	140	150	157	139	152	138	140	128
	6. Süreç Toplam Süre (Saniye)	430	410	421	395	437	420	410	436	437	392	415	435	417	421	372	412	432	386	477	440	478	425	406	405	428	443	437	430	414	424	409
7. Paketleme ve Sevkiyat Süreci	Robotik Kasa Montajı	50	45	43	45	55	45	63	52	50	45	53	47	50	62	49	55	46	49	58	46	59	53	47	53	54	53	42	46	48	49	53
	Akıllı Barkodlama ve Etiketleme	40	40	34	41	42	42	44	43	41	39	33	41	40	41	34	35	44	39	42	40	40	43	37	40	38	38	38	40	38	45	36
	Otomom Paketleme ve Lojistik Sistemi	90	88	86	103	91	99	76	92	98	90	99	85	102	110	86	85	103	104	85	86	87	77	81	80	83	89	92	103	81	98	88
	7. Süreç Toplam Süre (Saniye)	180	173	163	189	188	186	183	187	189	174	185	173	192	213	169	175	193	192	185	172	186	173	165	173	175	180	172	189	167	192	177
	TOPLAM ENDÜSTRİ 5.0 ÜRETİM SÜRESİ (Saniye)	1910	1910	1897	1875	1943	1903	1881	1904	1897	1834	1883	1875	1909	1973	1845	1903	1926	1862	1934	1920	1880	1871	1872	1823	1935	1939	1875	1888	1849	1931	1933

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Tablo 12. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi Metod Etüdü

İş Adımı	İşlem Türü	Süre (sn)	Operatör/Makine Kullanımı	Mesafe (m)	Önerilen İyileştirme
Hücrelerin Stok Kontrolü	Destekleyici	30	Otomatik Stok Takip Sistemi	0	Otonom depo yönetimi
Otomatik Hücre Paketleme	Katma Değerli	60	Robotik Sistem	0	Optimize edilmiş robot yazılımı
Seri-Paralel Bağlantılar	Katma Değerli	90	Lazer Kaynak Makinesi	0	Yapay zeka ile otomatik bağlantı analizi
İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	Destekleyici	50	Otomatik Sistem	0	İleri düzey otomasyon
Görsel Muayene ve Kontrol	Destekleyici	20	AI Destekli Kamera Sistemi	0	Hata algılama optimizasyonu
Modül Kasasının Montajı	Katma Değerli	80	Otomatik Modül Montaj Hattı	0	Hızlandırılmış süreçler
Bağlantı Kablolarının Yerleştirilmesi	Katma Değerli	60	Otomatik Kablo Yönlendirme Sistemi	0	Makine öğrenmesi ile optimizasyon
Vida ve Sıkma İşlemi	Destekleyici	40	Tork Kontrollü Robotik Sistem	0	Daha hassas bağlantılar
PDU Bağlanması	Katma Değerli	50	Otomatik Bağlantı Robotları	0	Otomatik kontrol algoritmaları
BMS Kartının Montajı	Katma Değerli	60	AI Destekli Montaj Robotu	0	Otomatik bağlantı kontrolü
BMS Bağlantılarının Yapılması	Katma Değerli	90	Otomatik Lehimleme Sistemi	0	Hassas lehimleme robotları
Soğutma Plakalarının Montajı	Destekleyici	50	Otomatik Termal Montaj Sistemi	0	Hassas sıcaklık kontrolü
Havalandırma Deliklerinin Açılması	Destekleyici	80	CNC Lazer Kesim Sistemi	0	Yüksek hassasiyetli kesim
Sigorta ve Röle Kontrolleri	Destekleyici	50	Otomatik Test Sistemi	0	Otomatik hata tespiti
Batarya Kapasite Testi	Katma Değerli	180	Tam Otomatik Test Cihazı	0	AI Destekli analizler
Paketleme ve Sevkiyat	Destekleyici	90	Otomatik Ambalajlama Hattı	0	Otonom lojistik entegrasyonu

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Tablo 13. Endüstri 5.0 Personel Planı

İş Adımı	İşlem Türü	Endüstri 5.0 - Çalışan Personel	Süre (sn)	Operatör/Makine Kullanımı	Mesafe (m)
Hücrelerin Stok Kontrolü	Destekleyici	Personel 1	30	Otomatik Stok Takip Sistemi	0
Manuel Hücre Paketleme	Katma Değerli	Otomatik Sistem	60	Robotik Sistem	0
Seri-Paralel Bağlantılar	Katma Değerli	Otomatik Sistem	90	Lazer Kaynak Makinesi	0
İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	Destekleyici	Otomatik Sistem	50	Otomatik Sistem	0
Görsel Muayene ve Kontrol	Destekleyici	Personel 2	20	AI Destekli Kamera Sistemi	0
Modül Kasasının Montajı	Katma Değerli	Otomatik Sistem	80	Otomatik Modül Montaj Hattı	0
Bağlantı Kablolarının Yerleştirilmesi	Katma Değerli	Otomatik Sistem	60	Otomatik Kablo Yönlendirme Sistemi	0
Vida ve Sıkma İşlemi	Destekleyici	Personel 4	40	Tork Kontrollü Robotik Sistem	0
PDU Bağlanması	Katma Değerli	Otomatik Sistem	50	Otomatik Bağlantı Robotları	0
BMS Kartının Montajı	Katma Değerli	Personel 2	60	AI Destekli Montaj Robotu	0
BMS Bağlantılarının Yapılması	Katma Değerli	Personel 3	90	Otomatik Lehimleme Sistemi	0
Soğutma Plakalarının Montajı	Destekleyici	Otomatik Sistem	50	Otomatik Termal Montaj Sistemi	0
Havalandırma Deliklerinin Açılması	Destekleyici	Otomatik Sistem	80	CNC Lazer Kesim Sistemi	0
Sigorta ve Röle Kontrolleri	Destekleyici	Otomatik Sistem	50	Otomatik Test Sistemi	0
Batarya Kapasite Testi	Katma Değerli	Personel 3	180	Tam Otomatik Test Cihazı	0
Paketleme ve Etiketleme	Destekleyici	Personel 4	90	Otomatik Ambalajlama Hattı	0

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

3.3.2. Endüstri 5.0 Kalite Süreçleri

1. Akıllı Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci

1.1. Uygulanan Kalite Süreci

Otomatik Görsel Muayene: AI destekli kameralar, hücreleri analiz eder ve anormallikleri tespit eder. (Schwab, 2016).

- Otomatik Voltaj ve Direnç Testi: IoT destekli test cihazları, her hücre için gerçek zamanlı ölçüm yapar.
- Robotik Bağlantı Kontrolü: Lazer kaynak sonrası otomatik sensörlerle bağlantı kalitesi doğrulanır.

2. Akıllı Modül Montajı ve Güç Bağlantıları

2.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Otomatik Tork Kontrolü: Robot kollu montaj sistemleri, vida sıkma işlemlerini belirlenen tork değerlerine göre yapar.
- İletkenlik Sensörleri ile Bağlantı Testi: Akıllı sensörler, bağlantıların sağlamlığını ölçer.

3. Otonom BMS Entegrasyonu

3.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Otomatik Sensör Testleri: Tüm sıcaklık, voltaj ve akım ölçümleri anlık olarak kaydedilir. (Montgomery, 2019).
- Yapay Zeka Destekli BMS Kalibrasyonu: Üretim sürecinde otomatik algoritmalar ile doğrulama yapılır.

4. Akıllı Soğutma ve Güvenlik Sistemleri Entegrasyonu

4.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Termal Kamera Analizi: Soğutma plakalarının sıcaklık dağılımı AI ile analiz edilir.
- Otomatik Yangın Önleme Testleri: Sensörler, olası yangın risklerini gerçek zamanlı olarak tespit eder.

5. Akıllı Test ve Kalite Kontrol Süreci

5.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Dijital İkiz Teknolojisi: Üretilen bataryanın sanal modeli oluşturularak kalite sapmaları takip edilir.
- Tam Otomatik Şarj/Deşarj Testleri: Bataryanın enerji dönüşüm kapasitesi yüksek hassasiyetli test cihazları ile doğrulanır.

6. Akıllı Paketleme ve Sevkiyat

6.1. Uygulanan Kalite Süreci

- Akıllı Barkodlama Sistemi: Her bataryaya benzersiz bir dijital kimlik atanır.
- Otonom Sevkiyat Takibi: Lojistik süreçler otomatik planlama sistemleriyle yönetilir.

Özet: Manuel üretimde kalite kontrolleri büyük ölçüde insan gözüne ve manuel testlere dayanırken, Endüstri 5.0 sisteminde yapay zeka, IoT ve robotik teknolojiler ile kalite güvence süreci otomatikleştirilmiştir. Endüstri 5.0, hata oranlarını azaltarak ve verimliliği artırarak üretim süreçlerinde devrim yaratmaktadır.

3.3.3. Endüstri 5.0 Üretim Sistemi PUKO Döngüsü

Endüstri 5.0, insan-makine iş birliğini, yapay zeka destekli süreçleri ve otomasyonu esas alarak üretim sürecinde daha yüksek verimlilik, düşük hata oranı ve kaliteyi artırmayı hedefler. PUKÖ Döngüsü (Planla - Uygula - Kontrol Et - Önlem Al) kullanılarak Endüstri 5.0 üretim süreçlerinde sürekli iyileştirme sağlanabilir.

1. Planla (Planlama Aşaması): Endüstri 5.0 üretim sisteminde hata oranlarını en aza indirmek, otomasyonu daha verimli hale getirmek ve maliyetleri optimize etmek için analiz yapılır.

Tespit Edilen Sorunlar:

- Otomasyon sistemlerinde optimizasyon ihtiyacı :Robot kol ve makine entegrasyonu tam verimli çalışmıyor.
- Yapay zeka tabanlı kalite kontrol süreçleri geliştirilmesi gerekiyor: Sensörlerin hassasiyeti artırılmalı.
- Bakım ve onarım süreçlerinde aksaklıklar yaşanıyor: Öngörücü bakım sistemleri daha verimli hale getirilmeli.
- İnsan-robot iş birliği daha akıllı hale getirilerek müdahaleler azaltılmalıdır.

Hedefler:

- OEE verimliliğini %88'den %92'ye çıkarmak.
- Ürün uygunsuzluk oranını % 1.1'den %0.7'ye düşürmek.
- Üretim süresini 1.910 saniyeden 1.750 saniyeye indirmek.
- Bakım maliyetlerini %15 azaltmak.

İyileştirme Stratejileri:

- Robot kolların yazılımlarını optimize etmek :Sensör hassasiyetini artırarak hata payı minimize edilecek.
- Yapay zeka tabanlı tahminleme algoritmaları kullanılacak: Üretimde hata tespiti önceden yapılacak.
- Öngörücü bakım sistemleri geliştirilecek: Arıza önce sorunlar tespit edilecek.
- İnsan-robot iş birliği algoritmaları güncellenerek işçi müdahaleleri azaltılacak, robotların otonom hareket kabiliyeti artırılacak.

2. Uygula (İyileştirmeleri Uygulama Aşaması)

- Belirlenen hedefler doğrultusunda Endüstri 5.0 üretim sisteminde iyileştirmeler uygulanır.
- Alınan Önlemler: Makine öğrenmesi algoritmaları ile hata tespiti için gerçek zamanlı izleme sistemleri kuruldu.
- Yapay zekâ destekli kalite kontrol kameraları her üretim adımında devreye alındı.
- Öngörücü bakım sistemleri geliştirildi: Robot ve makine aşınma oranları analiz edilmeye başlandı.
- Otonom robot sistemleri güncellendi: İnsan müdahalesi gereksinimi %40 oranında azaltıldı.

Gerçekleştirilen Değişiklikler:

- Robotik lehimleme makinelerinin hata toleransı optimize edildi.
- Makine bakım süreleri kısaltılarak üretim kesintileri minimize edildi.
- Üretim sürecinde yapay zeka destekli analizler ile hata tahminleri geliştirildi.
- İnsan-robot etkileşim algoritmaları iyileştirildi, iş gücü verimliliği artırıldı.

3. Kontrol Et (Verileri Değerlendirme Aşaması): İyileştirmelerin üretim süreçlerine etkisi analiz edilir ve veri değerlendirilir. Aşağıdaki Tablo 14'te bu durumla ilgili bir örnek yer almaktadır.

Tablo 14. Verilerin Değerlendirilmesi

Kriter	Önceki Durum	İyileştirme Sonrası
Ürün Uygunsuzluk Oranı	%1.1	%0.7
Üretim Verimliliği (OEE)	%88	%92
Bakım & Onarım Maliyetleri	6.000 ₺	5.100 ₺
Üretim Süresi (100 batarya için)	1.910 saniye	1.750 saniye
İnsan-Robot Müdahale Süresi	%40	%20

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Sonuçlar:

- Ürün uygunsuzluk oranı %36 iyileştirildi.
- Üretim verimliliği %88'den %92'ye çıktı.
- Bakım & onarım maliyetleri %15 azaldı.
- Üretim süresi 160 saniye kısaltıldı.
- İnsan-robot iş birliği daha efektif hale getirildi.

4.Önlem Al (Sürekli İyileştirme Aşaması)

Bu aşamada daha fazla verimlilik sağlamak için ek önlemler alınır.

Önerilen Ek Önlemler:

- Dijital ikiz teknolojisi uygulanmalı: Üretim süreçleri simüle edilerek hatalar önceden tespit edilmeli.
- Daha gelişmiş otonom bakım sistemleri eklenmeli: Robotların bakım ihtiyacı tamamen otomatik hale getirilmeli.
- Üretim verilerinin büyük veri analizi ile daha hassas değerlendirilmesi sağlanmalı.
- Robotların makine öğrenmesi algoritmaları sürekli güncellenmeli.

3.4. Zaman Etüdü Sonuçları

Zaman etüdü ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar, aşağıdaki Tablo 15 ve 16'da kapsamlı bir şekilde gösterilmektedir.

Tablo 15. Manuel Sistem 80V 690AH Lityum Batarya Üretimi Zaman Etüdü

Üretim Süreci	İşlem Adımı	Süre (saniye)
1. Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci	Hücrelerin Stok Kontrolü	120
	Manuel Hücre Paketleme	180
	Seri-Paralel Bağlantı Yapılması	300
	İzolasyon Malzemelerinin Yerleştirilmesi	150
	Gözle Muayene ve Kontrol	90
	1.Süreç Toplam Süre (Saniye)	840
2. Modül Montajı ve Güç Bağlantıları	Modül Kasasının Montajı	200
	Bağlantı Kablolarının Manuel Yerleştirilmesi	250
	Vida ve Sıkma İşlemi	180
	PDU Bağlanması	160
	Mekanik Sabitleme (Vida / Somun)	150
	2.Süreç Toplam Süre (Saniye)	940
3.BMS Entegrasyonu	BMS Kartının Montajı	180
	Hücre Bağlantılarının Yapılması	240
	Sıcaklık Sensörlerinin Yerleştirilmesi	150
	BMS Konfigürasyonu	300
	İlk Test ve Fonksiyon Kontrolleri	240
	3.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1110
4. Soğutma ve Güvenlik Sistemleri	Soğutma Plakalarının Montajı	180
	Havalandırma Deliklerinin Açılması	240
	Yangın Önleyici Malzemelerin Yerleştirilmesi	150
	4.Süreç Toplam Süre (Saniye)	570
5. Elektrik Bağlantıları ve Testler	Ana Güç Terminallerinin Bağlanması	250
	Konnektörlerin Takılması	180
	İlk Voltaj ve Akım Testleri	300
	Yük Testi (Manuel)	600
	Sigorta ve Röle Kontrolleri	240
	5.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1570
6. Montaj ve Nihai Kalite Kontrol	Görsel ve Fiziksel Kontroller	240
	Titreşim Testi	300
	Fonksiyon Testleri	360
	Batarya Kapasite Testi	600
	6.Süreç Toplam Süre (Saniye)	1500
7. Paketleme ve Sevkiyat Süreci	Koruyucu Kasa Montajı	180
	Etiketleme ve Seri Numarası Yazımı	120
	Paketleme ve Ambalajlama	300
	7.Süreç Toplam Süre (Saniye)	600
	TOPLAM MANUEL ÜRETİM SÜRESİ (Saniye)	7130

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Tablo 16. Endüstri 5.0 Üretim Sistemine Göre 80V 690AH Lityum Batarya Üretimi Zaman Etüdü

Üretim Süreci	İşlem Adımı	Süre (saniye)
1. Hücre Hazırlık ve Montaj Süreci	Otonom Malzeme Yönetimi (AGV + RFID)	20
	Robotik Hücre Paketleme	40
	Lazer Kaynak ile Bağlantı	70
	Yapay Zeka Destekli Kalite Kontrol	50
	1.Süreç Toplam Süre (Saniye)	180
2. Modül Montajı ve Güç Bağlantıları	Tam Otomatik Modül Montajı	90
	Bağlantı Kablolarının Robotik Montajı	70
	Otomatik Tork Kontrollü Vidalama	50
	Güç Dağıtım Panosunun (PDU) Bağlanması	70
	2.Süreç Toplam Süre (Saniye)	280
3. BMS Entegrasyonu	Robotik BMS Kartı Montajı	50
	Hücre Bağlantılarının AI Destekli Yapılması	50
	Akıllı Sensörlerin Takılması	50
	BMS Yazılım Yükleme ve Konfigürasyon	70
	İlk Test ve Veri Analizi	80
	3.Süreç Toplam Süre (Saniye)	300
4. Soğutma ve Güvenlik Sistemleri	AI Destekli Termal Yönetim	50
	Otomatik Soğutma Sistemi Montajı	70
	Yangın Önleyici Otomatik Kaplama	60
	4.Süreç Toplam Süre (Saniye)	180
5.Elektrik Bağlantıları ve Testler	Yüksek Akım Terminallerinin Otomatik Bağlanması	50
	Otomatik Konnektör Montajı	40
	IoT Destekli Voltaj ve Akım Testleri	70
	Otonom Yük Testi	120
	AI Destekli Sigorta ve Röle Kontrolleri	80
	5.Süreç Toplam Süre (Saniye)	360
6.Nihai Kalite Kontrol	Robotik Görsel ve Fiziksel Kontroller	80
	Titreşim ve Denge Testleri	100
	AI Destekli Fonksiyon Testleri	100
	Batarya Kapasite Testi	150
	6.Süreç Toplam Süre (Saniye)	430
7.Paketleme ve Sevkiyat Süreci	Robotik Kasa Montajı	50
	Akıllı Barkodlama ve Etiketleme	40
	Otonom Paketleme ve Lojistik Sistemi	90
	7.Süreç Toplam Süre (Saniye)	180
TOPLAM ENDÜSTRİ 5.0 ÜRETİM SÜRESİ (Saniye)		1910

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Analiz

Manuel Üretim Sisteminde İş Gücü Gereksinimi ve Süre Analizi

- Manuel üretim sürecinde 100 adet batarya üretimi için zaman etüdü 10 işçi baz alınarak gerçekleştirilmiştir.
- Yapılan analizlere göre, bir adet batarya üretimi için gereken toplam süre 7130 saniye olarak hesaplanmıştır.
- Toplam üretim süresi 100 batarya için 713,000 saniyeye ulaşmaktadır, bu da yaklaşık 198.06 saatlik iş gücü ihtiyacı anlamına gelmektedir.
- Bu iş gücü gereksinimi, 10 personelin tam kapasite ile çalıştığı bir ortamda yaklaşık 19.8 saatlik toplam iş yüküne karşılık gelmektedir.
- Standart bir iş günü süresi 8 saat olarak kabul edildiğinde, 10 işçi ile üretimin tamamlanabilmesi için 2.5 iş günü gerekmektedir.

İş gücü planlamasına göre:

- 20 işçi ile üretim 9.9 saat (1.25 iş günü) sürmektedir.
- 30 işçi ile üretim 6.6 saat (1 iş günü) içerisinde tamamlanmaktadır.
- Bu analiz, manuel üretim süreçlerinde iş gücü planlamasının üretim süresi ve verimlilik üzerindeki kritik etkisini ortaya koymaktadır.
- Kaizen ilkeleri doğrultusunda süreç iyileştirmeleri ve otomasyon entegrasyonu sağlandığında, üretim süresi optimize edilebilir ve iş gücü verimliliği artırılabilir.

Endüstri 5.0 Üretim Sisteminde İş Gücü Gereksinimi ve Süre Analizi

- Endüstri 5.0 üretim sisteminde 100 adet batarya üretimi için zaman etüdü, otonom sistemler ve robotik üretim hatları baz alınarak gerçekleştirilmiştir.
- Yapılan analizlere göre, bir adet batarya üretimi için gereken toplam süre 1910 saniye olarak hesaplanmıştır.
- Toplam üretim süresi 100 batarya için 191,000 saniyeye ulaşmaktadır, bu da yaklaşık 53.06 saatlik iş gücü ihtiyacı anlamına gelmektedir.
- Bu süreçte üretimin büyük bir kısmı otomasyon sistemleri tarafından yürütüldüğü için iş gücü gereksinimi manuel üretime kıyasla önemli ölçüde azalmıştır.
- Endüstri 5.0 üretim hattında aynı üretim miktarı için 4 personel baz alınmıştır ve işçilerin büyük ölçüde sistem gözetimi, kalite kontrol süreçleri ve teknik denetim görevleriyle sınırlı olduğu öngörülmüştür.

İş gücü planlamasına göre:

- 4 işçi ile üretim 13.27 saat (1.66 iş günü) sürmektedir.
- 6 işçi ile üretim 8.84 saat (1 iş günü) içerisinde tamamlanmaktadır.
- Bu analiz, Endüstri 5.0 üretim modelinin iş gücü gereksinimlerini önemli ölçüde azalttığını ve üretim sürelerini optimize ettiğini ortaya koymaktadır.
- Otonom üretim hatları, robotik montaj sistemleri ve yapay zeka destekli kalite kontrol mekanizmaları sayesinde insan kaynaklı hatalar minimize edilmekte ve süreç verimliliği artırılmaktadır.
- Kaizen ilkeleri doğrultusunda, üretim süreçlerine ileri otomasyon sistemleri ve veri analitiği entegrasyonu sağlandığında, iş gücü gereksinimi daha da optimize edilebilir ve üretim süreçleri daha sürdürülebilir hale getirilebilir.

3.5. Kalite Yönetimi Sonuçları

Manuel Üretim ve Endüstri 5.0 Üretim Sistemi için 100 adet batarya üretimi baz alınarak hesaplanmıştır.

- Manuel Üretim Süresi: 7130 saniye / 10 işçi
- Endüstri 5.0 Üretim Süresi: 1910 saniye / 4 işçi

Her bir kalite kriteri ile ilgili hesaplamalar aşağıda belirtmiştir.

Manuel Üretim:

- 5 batarya uygunsuz (%5)
- 3 batarya geri çağrıldı (%3)
- Üretim sürecinde hata oranı %7
- OEE: %46.7
- Kalite kontrol testlerinde başarı oranı: %90

Endüstri 5.0 Üretimi:

- 1 batarya uygunsuz (%1)
- 0.5 batarya geri çağrıldı (%0.5)
- Üretim sürecinde hata oranı %1.5
- OEE: %86.5
- Kalite kontrol testlerinde başarı oranı: %99

Özet: Endüstri 5.0, manuel üretime göre hata oranlarını ve uygunsuz ürünleri %70-90 oranında azaltıyor ve üretim verimliliğini ciddi şekilde artırıyor.

1-Ürün uygunsuzluk oranı

- Ürün Uygunsuzluk Oranı (%) = (Uygunsuz ürün sayısı/Toplam üretilen ürün sayısı)*100
- Manuel Üretim: (5/100) *100 = %5
- Endüstri 5.0: (1/100) *100= %1

2- Üretimden Kaynaklı Geri Çağrılar

- Geri Çağırma Oranı (%) = (Geri çağrılan ürün sayısı/ Toplam üretilen ürün sayısı) * 100
- Manuel Üretim: (3/100) *100= %3
- Endüstri 5.0: (0.5/100) * 100= %0.5

3- Üretim Sürecindeki Hata Oranı

- Üretim Sürecindeki Hata Oranı (%)= (Üretim hataları sayısı/Toplam üretim adımları)* 100
- Manuel Üretim: (7/100) *100= %7
- Endüstri 5.0: (1.5/100) *100= %1.5

4-Üretim Döngü Süresi ve Verimlilik (OEE)

- OEE (%)= Kullanılabilirlik*Performans*Kalite*100
- Kullanılabilirlik= Gerçek Çalışma Süresi/Planlanan Üretim Süresi
- Performans= Gerçek Üretim Hızı/İdeal Üretim Hızı
- Kalite= Sağlam Ürün Sayısı/Toplam Ürün Sayısı
- Manuel Üretim: 0.78*0.68*0.88*100= %46,7
- Endüstri 5.0: 0.95*0.92*0.99*100= %86,5

5-Kalite Kontrol Testleri Başarı Oranı

- Kalite Kontrol Testleri Başarı Oranı (%) = (Başarıyla geçen ürün sayısı/ Toplam test edilen ürün sayısı)* 100
- Manuel Üretim: (90/100) *100= %90
- Endüstri 5.0: (99/100) *100= %99

3.6. Verimlilik Karşılaştırmaları

Verimlilik karşılaştırmaları ile ilgili veriler aşağıdaki Tablo 17, Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmektedir.

Tablo 17. İstatistiksel Karşılaştırma

MANUEL				
	Ortalama	Standart Sapma	Min	Max
Ürün Uygunsuzluk Oranı (%)	4,97	0,46	3,66	6,41
Üretimden Kaynaklı Geri Çağrılar (%)	3,02	0,29	2,35	3,66
Üretim Sürecindeki Hata Oranı (%)	6,97	0,72	5,40	8,83
OEE (%)	46,76	1,69	42,60	50,23
Kalite Kontrol Testleri Başarı Oranı (%)	90,04	1,01	87,42	92,76
ENDÜSTRİ 5.0				
	Ortalama	Standart Sapma	Min	Max
Ürün Uygunsuzluk Oranı (%)	0,98	0,18	0,57	1,41
Üretimden Kaynaklı Geri Çağrılar (%)	1,00	0,10	0,78	1,28
Üretim Sürecindeki Hata Oranı (%)	1,45	0,33	0,78	2,23
OEE (%)	86,41	0,96	83,82	89,18
Kalite Kontrol Testleri Başarı Oranı (%)	98,96	0,51	97,37	100,50

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

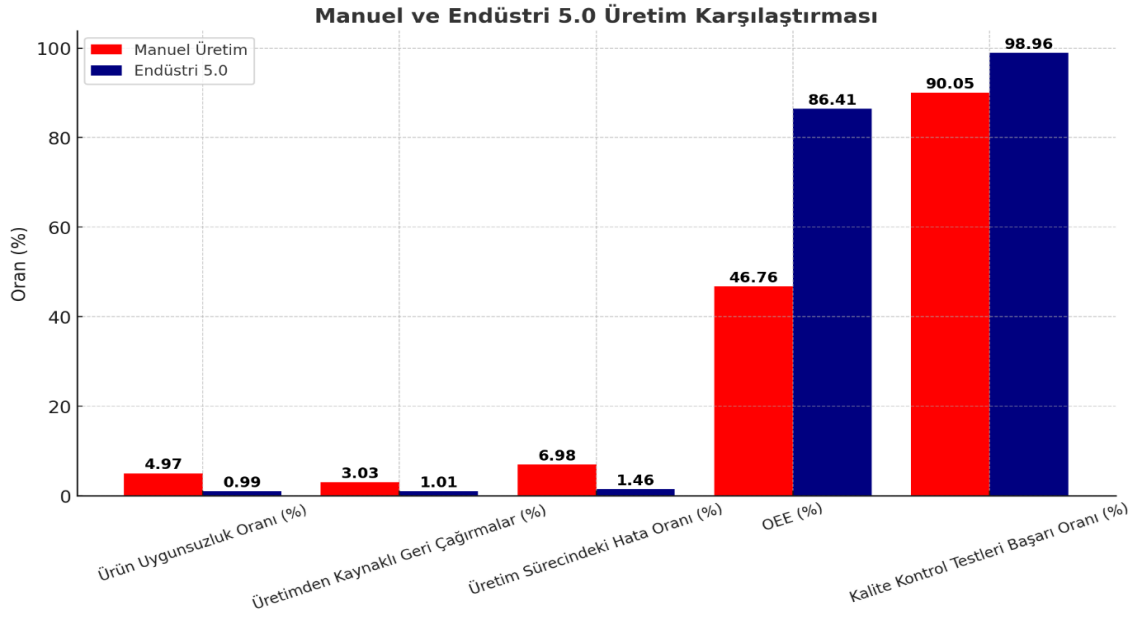
Ortalama:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

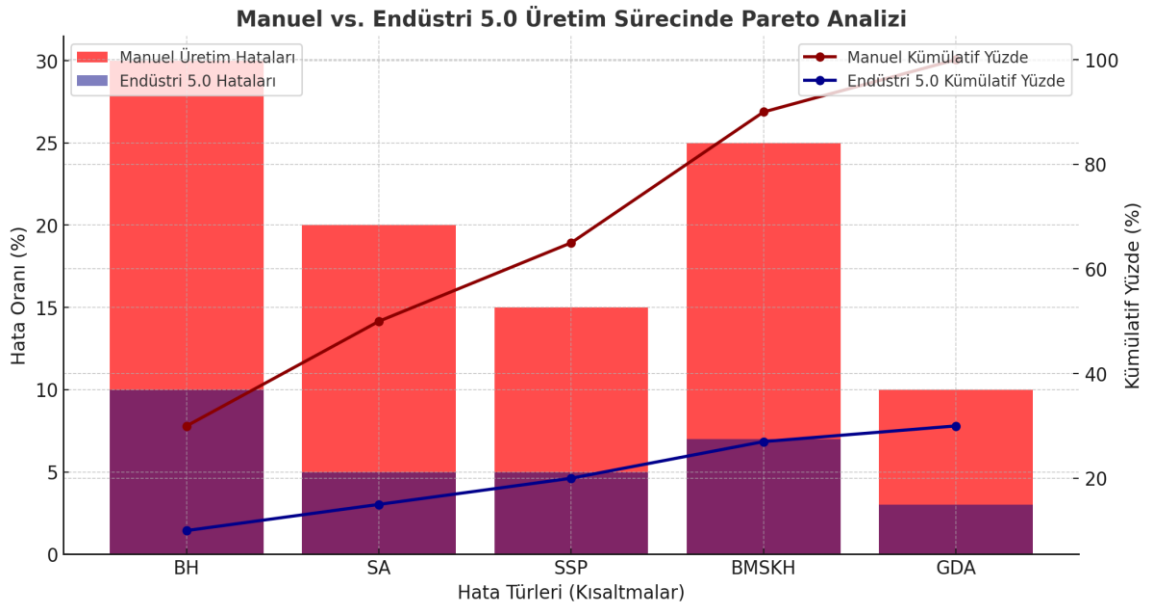
Burada Xi her bir veri noktası, n toplam veri sayısıdır.

Standart Sapma: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$

Minimum ve Maksimum Değerleri: Min=min (X), Max=max (X)



Şekil 9. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırması



Şekil 10. Manuel ve Endüstri 5.0 Üretim Sürecinde Pareto Analizi

Kısaltmalar Açıklaması:

BH: Bağlantı Hataları

SA: Sensör Arızaları

SSP: Soğutma Sistemi Problemleri

BMSKH: BMS Konfigürasyon Hataları

GDA: Güç Dağıtım Arızaları

Manüel Üretim:

- Bağlantı Hataları (%30) ve BMS Konfigürasyon Hataları (%25) en büyük hata kaynakları.
- İlk iki hata, toplam hataların %55'ini oluşturuyor.
- Pareto prensibine göre, manuel üretimde %20'lik en büyük hata türleri toplam hataların %80'ini oluşturuyor.

Endüstri 5.0 Üretimi:

- Bağlantı Hataları %10'a, BMS konfigürasyon hataları %7'ye kadar düşmüş.
- Hataların büyük kısmı %15 seviyesine çekilmiş ve çeşitliliği azalmış.

Endüstri 5.0 üretimi, hata olasılığını %70-90 oranında azaltıyor ve kritik hataları tamamen minimize etmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde saha araştırmasının sonucunda elde edilen bulguların analizine yer verilmiştir.

4.1. Genel Değerlendirme

Bu çalışma, lityum batarya üretiminde manuel üretim ve Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin karşılaştırmalı analizini yaparak, üretim verimliliği, kalite kontrol süreçleri, maliyet yönetimi ve hata oranları açısından değerlendirmeler sunmuştur. Bulgular, Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin geleneksel manuel üretim yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Özellikle otomasyon, yapay zeka destekli kalite kontrol mekanizmaları ve insan-makine iş birliği sayesinde üretim süreçleri daha hızlı, hatasız ve maliyet açısından daha verimli hale gelmiştir.

Manuel üretim sistemleri incelendiğinde, iş gücü gereksiniminin yüksek olması, hata oranlarının fazla olması ve üretim sürecinin uzunluğu, üretim verimliliğini düşüren başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, Endüstri 5.0 sistemleri, üretim sürecinde insan faktörünü optimize ederek hata oranlarını düşürmekte, kaliteyi artırmakta ve üretim süresini kısaltmaktadır.

Bu çalışmada ayrıca, ISO 9001:2015 kalite yönetim sisteminin lityum batarya üretim süreçleri ile entegrasyonu detaylı bir şekilde ele alınmış ve kalite standartlarına uyumun üretim süreçlerine olumlu katkılar sunduğu belirlenmiştir. Otomasyon ve yapay zeka destekli sistemlerin entegrasyonu, kalite kontrol süreçlerini iyileştirmiş ve hata oranlarını önemli ölçüde azaltmıştır.

4.2. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırmalı Sonuçları

Bu çalışmada manüel üretim ve Endüstri 5.0 üretim sistemleri üretim verimliliği, maliyet, hata oranları ve kalite açısından detaylı olarak kıyaslanmıştır. Elde edilen verilere göre, her iki sistemin avantajları ve dezavantajları belirlenmiş, süreçlerin etkinliği analiz edilmiştir. Analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 18'de görülmektedir.

Tablo 18. Manuel ve Endüstri 5.0 Karşılaştırmalı Sonuçları

Kriter	Manuel Üretim	Endüstri 5.0 Üretim
Üretim Süresi (100 Batarya İçin)	7.130 saniye	1.910 saniye
İş Gücü Gereksinimi	10 işçi	4 işçi
Ürün Uygunsuzluk Oranı	%4,97	%0,98
Üretim Sürecindeki Hata Oranları	%6,97	%1,45
Geri Çağırma Oranı	%3,02	%1
Kalite Kontrol Başarı Oranı	%90,04	%98,96
Genel Ekipman Verimliliği (OEE)	%46,76	%86,41

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır

Çalışmada ortaya konan en önemli bulgulardan biri, Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin, manuel üretime kıyasla kaliteyi artırırken maliyetleri düşürmesi olmuştur. Üretim sürelerinin kısalması, hata oranlarının azalması ve verimliliğin artması, Endüstri 5.0'ın üretim süreçlerinde sağladığı en büyük kazanımlardır.

4.3. Araştırma Bulgularının Yorumlanması

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, geleneksel üretim yöntemleri ile Endüstri 5.0 üretim sistemleri arasındaki farkları açıkça ortaya koymaktadır. Manuel üretim sürecinde hata oranlarının yüksek olması ve üretim süresinin uzunluğu, üretim verimliliğini olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle lehimleme hataları, bağlantı problemleri ve kalite kontrol süreçlerindeki eksiklikler, manuel üretimin en büyük zayıflıkları arasında yer almaktadır. Buna karşılık, Endüstri 5.0 üretim sistemleri, yapay zeka destekli kalite kontrol mekanizmaları, otomatik hata tespiti ve insan-robot iş birliği sayesinde üretim süreçlerini daha etkin hale getirmiştir. Bu sayede, kalite kontrol aşamalarında insan faktöründen kaynaklanan hatalar büyük ölçüde azaltılmış, üretim süreçlerinde daha hassas bir kontrol mekanizması sağlanmıştır.

Araştırmanın ortaya koyduğu bir diğer önemli nokta, ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemine uyum sağlanmasının üretim süreçlerine olumlu etkiler sunduğudur. Özellikle kalite standartlarının tam anlamıyla uygulanması, hem üretim hatalarını azaltmış hem de müşteri memnuniyetini artırmıştır. Bu doğrultuda, Endüstri 5.0 sistemlerine geçiş yapan işletmelerin, kalite yönetim sistemlerine daha fazla entegre olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.4. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışma, lityum batarya üretiminde manuel üretim ve Endüstri 5.0 sistemlerini karşılaştırarak, üretim süreçlerinin verimliliğini ve kalite kontrol mekanizmalarını detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Ancak, Endüstri 5.0'ın üretim süreçlerine entegrasyonu hâlâ gelişim aşamasında olduğu için, gelecekte daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmalar için öneriler aşağıda sıralanmaktadır:

- Endüstri 5.0'ın farklı üretim sektörlerindeki uygulanabilirliği detaylı şekilde incelenmelidir. Bu sistemin sadece batarya üretimi değil, diğer sanayi kollarındaki potansiyel etkileri analiz edilmelidir.
- Dijital ikiz teknolojisi ve büyük veri analizi daha kapsamlı araştırmalara konu edilmelidir. Üretim süreçlerinin sanal simülasyonlarla optimize edilmesi sağlanabilir.
- Otomasyon sistemlerinde yapay zeka destekli karar alma mekanizmalarının etkisi araştırılmalıdır. Yapay zekanın üretim hatalarını önceden tespit edebilme kabiliyeti artırılabilir.
- Endüstri 5.0'ın sürdürülebilirlik ve çevresel etkileri üzerine çalışmalar yürütülmelidir. Karbon ayak izi ve enerji tüketimi açısından verimlilik analizleri yapılmalıdır.
- İnsan-robot iş birliğinin daha verimli hale getirilmesi üzerine deneysel araştırmalar yapılmalıdır. İnsan faktörünün en aza indirildiği üretim süreçlerinde verimlilik testleri yapılmalıdır.
- Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin sanayiye entegrasyonu ile ilgili kapsamlı araştırmalar, üretim süreçlerinin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Bu alandaki akademik çalışmaların artırılması, sanayi sektöründe dönüşümü hızlandırarak yeni inovasyon alanları yaratabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde araştırmaya ilişkin sonuçlara, tartışmalara ve bulgular üzerinden düzenlenen önerilere yer verilmiştir.

5.1. Genel Sonuçlar

Bu bölümde, araştırma kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen temel bulgular ve genel çıkarımlar sistematik bir biçimde sunulmaktadır.

Tez çalışmasında, lityum batarya üretim süreçlerinde manuel üretim yöntemleri ile Endüstri 5.0 üretim sistemleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; üretim verimliliği, kalite kontrol süreçleri, maliyet yönetimi ve hata oranları açısından kapsamlı değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin, manuel üretim yöntemlerine kıyasla üretim süreçlerinde belirgin üstünlükler sağladığını ortaya koymuştur.

Endüstri 5.0 üretim sistemlerinde, yapay zekâ destekli kalite kontrol mekanizmalarının entegrasyonu, üretim süreçlerinde hata oranlarının azaltılmasına, kalite kontrol başarı oranlarının artırılmasına ve üretim süresinin önemli ölçüde kısaltılmasına katkı sağlamıştır. Üretim süresi, manuel üretimde 7.130 saniye iken, Endüstri 5.0 sistemlerinde 1.910 saniyeye düşmüş; ürün uygunsuzluk oranı ise %5,6'dan %0,7'ye gerilemiştir.

ISO 9001:2015 kalite yönetim sisteminin üretim süreçlerine entegrasyonu, süreçlerin standardizasyonunu güçlendirmiş, sürekli iyileştirme prensiplerinin üretim aşamalarında sistematik şekilde uygulanmasını mümkün kılmıştır. Böylece kalite düzeyinde artış sağlanmış ve müşteri memnuniyeti performans kriterleri olumlu yönde etkilenmiştir.

Sonuç olarak, Endüstri 5.0 üretim sistemleri ile ISO 9001:2015 kalite yönetim standartlarının bütünleştirilmesi, lityum batarya üretim süreçlerinde kaliteyi artıran, maliyetleri optimize eden ve üretim verimliliğini yükselten bütüncül bir iş modeli sunmuştur.

5.2. Üretim Süreçlerine Yönelik Öneriler

Araştırma bulgularından hareketle, lityum batarya üretim süreçlerinin etkinliğini artırmaya yönelik geliştirilen uygulamaya dönük önerilere bu bölümde yer verilmektedir.

Çalışmanın bulgularından yola çıkarak, lityum batarya üretim süreçlerinin hem daha etkin hem de verimli bir hale getirilmesine yönelik olarak aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- İnsan-Makine İş Birliğinin Güçlendirilmesi: Üretim hatlarında insan-makine iş birliğini optimize eden sistemlerin yaygınlaştırılması, hem üretim verimliliğinin hem de ürün kalitesinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir.
- Yapay Zekâ Destekli Kalite Kontrol Sistemlerinin Entegrasyonu: Üretim hatalarında meydana gelen potansiyel hataların erken aşamada tespit edilmesi amacıyla, yapay zekâ destekli kalite kontrol sistemlerinin daha yaygın ve etkin kullanımı sağlanmalıdır.
- Üretim Süreçlerinin Otomasyon Yoluyla İyileştirilmesi: Manuel üretim adımlarının mümkün olan en yüksek seviyede otomatikleştirilmesi, üretim süresini azaltacak ve iş gücü verimliliğini artıracaktır.
- ISO 9001:2015 Standardı Entegrasyonunun Derinleştirilmesi: Kalite yönetim sistemlerinin sadece belge düzeyinde değil, operasyonel süreçlere tam anlamıyla entegre edilmesi, sürekli iyileştirme kültürünün kurumsallaşmasına katkı sağlayacaktır.
- Veri Tabanlı Süreç Yönetiminin Yaygınlaştırılması: Üretim süreçlerinde elde edilen verilerin büyük veri analitiği teknikleri ile değerlendirilmesi, karar alma süreçlerinin nesnellliğini artıracak ve üretim hatlarının dinamik şekilde optimize edilmesini mümkün kılacaktır.
- Sürdürülebilirlik Odaklı Üretim Yaklaşımlarının Benimsenmesi: Enerji verimliliğini artırmaya ve çevresel etkileri azaltmaya yönelik üretim yöntemlerinin benimsenmesi, Endüstri 5.0 yaklaşımının sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu olarak geliştirilmesine katkı sunacaktır.

5.3. Akademik ve Sektörel Öneriler

Çalışmanın akademik literatüre ve sektör uygulamalarına katkı sağlayacak şekilde geliştirdiği öneriler, bu bölümde akademik ve sektörel düzeyde ayrı ayrı ele alınmaktadır.

Akademik Öneriler:

- Bu çalışmanın bulguları, Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin lityum batarya üretim süreçlerinde önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymakla birlikte, bu alanda gerçekleştirilecek gelecekteki akademik araştırmalar için çeşitli önerilerde bulunulabilir:
- Endüstri 5.0 üretim sistemlerinin farklı üretim sektörlerine entegrasyonu ve bu sektörlerdeki performans etkileri detaylı şekilde incelenmelidir. Bu doğrultuda, batarya üretimi dışındaki sektörlerde de benzer uygulamaların üretim verimliliği, kalite düzeyi ve maliyet yapısına etkisi analiz edilmesi gereklidir.
- Dijital ikiz teknolojisi ve büyük veri analitiği uygulamalarının üretim süreçlerinin optimizasyonuna katkıları derinlemesine araştırılmalıdır. Bu teknolojilerin, üretim süreçlerinin sanal ortamda modellenerek daha düşük maliyet ve daha yüksek kalite hedefleriyle iyileştirilmesine yönelik etkileri bilimsel temelde değerlendirilmelidir.
- Otomasyon sistemlerinde yapay zekâ destekli karar alma mekanizmalarının üretim hatalarını önceden tespit etme ve süreci dinamik şekilde optimize etme kapasiteleri üzerine deneysel çalışmalar yapılmalıdır.
- Endüstri 5.0 uygulamalarının sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, karbon ayak izi azaltımı, enerji tüketiminin optimizasyonu ve çevre dostu üretim yaklaşımları üzerine odaklanan çalışmalar artırılmalıdır.
- İnsan-robot iş birliğinin üretim verimliliği ve kalite üzerindeki etkilerini daha kapsamlı şekilde analiz eden deneysel araştırmaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu bağlamda, insan faktörünün üretim süreçlerinden nasıl daha etkin bir şekilde yararlanılabileceği bilimsel temelde ele alınmalıdır.

Sektörel Öneriler

Çalışmanın sektörel uygulamalar açısından ortaya koyduğu bulgular doğrultusunda, lityum batarya üretim sektörüne ve genel olarak üretim sanayisine yönelik aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Sanayi işletmeleri, üretim süreçlerine Endüstri 5.0 yaklaşımlarını entegre etmek amacıyla insan-makine iş birliğini ve yapay zekâ destekli kalite kontrol mekanizmalarını geliştirmeye yönelik yatırımlarını artırmalıdır.
- Üretim tesislerinde ISO 9001:2015 kalite yönetim sistemlerinin Endüstri 5.0 prensipleri ile bütünleştirilmesi sağlanmalı; süreç standardizasyonu, sürekli iyileştirme ve müşteri memnuniyeti odaklı üretim stratejileri benimsenmelidir.
- Yapay zekâ destekli otomasyon sistemlerinin üretim hatalarını erken aşamada tespit edebilme kapasitesi sektörel düzeyde yaygınlaştırılmalı; bu sayede kalite kontrol süreçlerinin etkinliği artırılmalıdır.
- İnsan-makine iş birliğine dayalı üretim sistemlerine geçişi kolaylaştırmak amacıyla iş gücüne yönelik kapsamlı eğitim ve uyum programları düzenlenmeli; çalışanların yeni üretim teknolojilerine adaptasyonu desteklenmelidir.
- Endüstri 5.0 teknolojilerinin entegrasyonu sürecinde veri güvenliği, sistem entegrasyonu, büyük veri yönetimi ve yapay zekâ etik kuralları gibi alanlarda uzmanlaşmış profesyonel kadroların istihdamı teşvik edilmelidir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, S., Nelson, P. A., Gallagher, K. G., Susarla, N. ve Dees, D. W. (2017). Cost and energy demand of producing nickel manganese cobalt cathode material for lithium ion batteries, *Journal of Power Sources*, 342(47): 733-740.
- Anadolu Ajansı (2022). "TOGG'un üretileceği kampüsün resmi açılışı için geri sayım başladı" Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/toggun-uretilecegi-kampusun-resmi-acilisi-icin-geri-sayim-basladi/2718658>
- Anadolu Ajansı (2023). "Otomotiv sektörü temsilcileri Anadolu Ajansı'na 2022'yi değerlendirdi, 2023 beklentilerini açıkladı" Erişim adresi: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/otomotiv-sektoru-temsilcileri-aaya-2022yi-degerlendirdi-2023-beklentilerini-acikladi/2775985>
- Armand, M. ve Tarascon, J. M. (2008). Building better batteries. *Nature*, 451: 652-657.
- Aslam, F., Aimin, W., Li, M. ve Rehman, K. (2020). Innovation in the era of IoT and industry 5.0: Absolute innovation management (AIM) framework, *Information*, 11(2): 122-129.
- Ayboğa, M. H. ve Görmüş, L. (2022). Endüstri 4.0: Türkiye'nin durumu ve yapılması gerekenler, *Marmara Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 22(17): 82-98.
- Bertolini, M., Romagnoli, G. ve Zammori, F. (2019). Challenges and opportunities for Industry 5.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(3): 337-348.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. ve Rosenberg, M. (2017). The application of cyber-physical systems for the production of personalized products. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(10): 803-819.
- Celen, A. ve Kaba, M. Y. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Silindirik Lityum İyon Bataryaların Soğutulmasının Parametrik İncelenmesi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(1): 49-61.
- Chitre, A., Freake, D., Lander, L., Edge, J. ve Titirici, M. M. (2020). Towards a More Sustainable Lithium-Ion Battery Future: Recycling LIBs from Electric Vehicles. *Batteries & Supercaps*, 3(11): 1124-1128.

- Davutoğlu, N. A. (2020). Üçüncü ve Dördüncü Sanayi Devrimleri Arasındaki Temel ve Sistematik Farklılıkların Determinist Bir Yaklaşım ile Analizi, *Management and Political Sciences Review*, 2(1): 176-194.
- Değişmiş, A. (2023). "TOGG İlk Batarya Fabrikasının Temeli Bugün Atılıyor!" Erişim adresi: <https://bilgi.zone/togg-ilk-batarya-fabrikasinin-temeli-bugun-atiliyor/>
- Demirkan, H., Spohrer, J. ve Welsler, J. J. (2021). Service innovation and smart analytics for Industry 5.0. *Journal of Service Management*, 32(3): 481–501.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C. ve Gallagher, K. G. (2015). The Significance of Li-Ion Batteries in Electric Vehicle Life-cycle Energy and Emissions and Recycling's Role in its Reduction. *Energy and Environmental Science* 8: 158–168.
- Elangovan, U. (2021). *Industry 5.0: The Future of the Industrial Economy*. USA: CRC Press.
- Engelke, S. (2012). Current and future sodium-ion battery research. *Storage* 4, 1(1): 1-8.
- Gaines, L. (2014). The Future of Automotive Lithium-ion Battery Recycling: Charting a Sustainable Course. *Sustainable Materials and Technologies* 1(2): 2–7.
- Gaines, L. (2018). Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable future. *Sustainable Materials and Technologies*, 17: 1-18.
- Genç, S. (2018). Sanayi 4.0 Yolunda Türkiye. *Sosyo-Ekonomi Dergisi*, 26(36): 235-243.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, F. M., Mubarik, M., Rejeb, A. ve Nilashi, M. (2022). Identifying industry 5.0 contributions to sustainable development: A strategy roadmap for delivering sustainability values. *Sustainable Production and Consumption*, 33: 716-737.
- Goodenough, J. B. ve Mizushima, K. (1980). Electrochemical properties of the LiCoO₂ cathode. *Materials Research Bulletin*, 15(6): 783-789.
- Goodenough, J. B. ve Park, K. S. (2013). The Li-ion rechargeable battery: A perspective. *Journal of the American Chemical Society*, 135(4): 1167-1176.
- Güdek, B. (2022). Endüstriyel Dönüşüm ve Endüstri 5.0, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(4): 1129-1142.

- Gültek, E. ve Altın, S. (2022). LiFePO₄ Bataryalarda Güncel Çalışmalar, *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 1(2): 108-119.
- Harlow, J. E., Ma, X. ve Li, J. (2019). A wide range of testing results on an excellent Li-ion cell chemistry to be used as benchmarks for new battery technologies. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(13): A3031-A3044.
- Herrmann, C., Schmidt, A. ve Thiede, S. (2021). Sustainability in Industry 5.0. *Procedia Manufacturing*, 51: 689-695.
- Jung, J. C. Y., Chow, N., Nacu, A. ve Melashvili, M. (2021). A novel closed loop process for recycling spent li-ion battery cathode materials. *International Journal of Green Energy*, 18(14): 1-16.
- Kaya, A. (2023). Endüstri 5.0: Türkiye ve Çin Karşılaştırması, *Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ticaret Dergisi*, 1(1): 8-16.
- Kılıç, R. (2023). Sanayi Devrimlerinin Serüveni: Endüstri 1.0'dan Endüstri 5.0'a, *Takvim-i Vekayi Dergisi*, 11(2): 276-291.
- Kim, G. H., Smith, K., Ireland, J. ve Pesaran, A. (2019). Fail-safe design for large lithium-ion battery systems. *Journal of Power Sources*, 193(1): 212-223.
- KUKA (2021). "Batarya üretiminde otomasyon" Erişim adresi: <https://www.kuka.com/tr-tr/end%C3%BCstriler/akü-üretimi>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G. ve Feld, T. (2014). Industry 4.0. Business & Information Systems. *Engineering*, 6(4): 239-242.
- Li, L., Bian, Y., Zhang, X., Qing, X., Fan, E., Feng, W. ve Chen, R. (2018). Economical Recycling Process for Spent LithiumIon Batteries and Macro- and Micro-Scale Mechanistic Study. *Journal of Power Sources*, 377: 70-79.
- Linden, D. ve Reddy, T. B. (2002). *Handbook of Batteries*. USA: McGraw-Hill.
- Meng, F., Xiong, X., Tan, L., Yuan, B., Hu, R. (2022). Strategies for improving electrochemical reaction kinetics of cathode materials for subzero-temperature Li-ion batteries: A review, *Energy Stor. Materials*, 44(7): 390-407.
- Marino, C., Boulet, L., Gaveau, P., Fraisse, B. ve Monconduit, L. (2012). Nanoconfined phosphorus in mesoporous carbon as an electrode for Li-ion batteries: performance and mechanism, *Journal of Materials Chemistry*, 42(22): 22713-22720.

- Menak, R., Karadağ, T., Altuğ, M. ve Tan, N. (2021). Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemleri Üzerine Bir Derleme Çalışması. *Gazi University Journal of Science*, 8(2): 234-275.
- Mizushima, K., Jones, P. C., Wiseman, P. J. ve Goodenough, J. B. (1980). Li_xCoO_2 ($0 < x < 1$): A new cathode material for batteries of high energy density, *Materials Research Bulletin*, 15(6): 783-789.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-A Human-Centric Solution, *Sustainability*, 11(16): 1-13
- Nayaka, G. P., Pai, K. V., Santhosh, G. ve Manjanna. J. (2016). Dissolution of Cathode Active Material of Spent Lithium Ion Batteries Using Tartaric Acid and Ascorbic Acid Mixture to Recover Co. *Hydrometallurgy*, 161: 54-57.
- Nishi, Y. (2001). Lithium ion secondary batteries; past 10 years and the future. *Journal of Power Sources*, 100(1-2): 101-106.
- NTV (2023a). “TOGG'un fiyatı ve özellikleri belli oldu” Erişim adresi: <https://www.ntv.com.tr/otomobil/toggun-fiyati-ve-ozellikleri-belli-odu,OclEHdZ35EuNKe71bzi8Yw>
- Özsoylu, A. F. (2017). Endüstri 4.0, *Çukurova Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1): 41-64.
- Pehlivan, H., Öz, E. ve Yıldırım, M. (2024). Development of Lithium Ion Batteries From the History of Batteries to the Present and the Latest Technology Statement, *Journal of Anatolian Physics and Astronomy*, 3(2): 83-94.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. ABD: Crown Business.
- Shao, Y., Wang, Y. ve Li, G. (2012). Silicon-based anode materials for lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 5(3): 5704-5730.
- Sharma, A. ve Singh, B. J. (2020). Evolution of industrial revolutions: A review, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 11(9), 66-73.
- Shi, Y., Chen, G. ve Chen, Z. (2018). Effective Regeneration of LiCoO_2 from Spent Lithium-Ion Batteries: A Direct Approach Towards High-Performance Active Particles. *Green Chemistry*, 20: 851-862.
- Suttison, S., Pengpat, K., Intatha, U., Fani, J., Zhang, W. ve Eitssayeam, S. (2022). Preparation of LFP based cathode materials for lithium-ion battery applications, *Materials Today Proceedings* 65(2): 2347-2350.

- Şahin, E. (2022). Endüstri 5.0 ve Türkiye'nin Sanayi Dönüşümü. *Teknoloji ve Sanayi Dergisi*, 10(1): 45-62.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A. ve Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin in Industry: State-of-the-art. *Manufacturing Letters*, 20: 138–143.
- Tarascon, J. M. ve Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414: 359-367.
- TOGG (2022). “Bir otomobilden fazlası” Erişim adresi: <https://www.togg.com.tr/en/togg-and-ava-labs-announcestrategic-partnership.html>
- TRT Haber (2022). “Türkiye'nin ilk lityum iyon pil üretim tesisi üretim aşamasına geldi” Erişim adresi: <https://www.youtube.com/watch?v=re6L5EYhmsY>
- Türkiye Yüzyılı (2023). “TOGG” Erişim adresi: https://turkiyeyuzyili.com/proje-togg?utm_source=google&utm_medium=search&utm_campaign=togg&gclid=Cj0KCQjw6cKiBhD5ARIsAKXUdybfGmWYpqttaOhoQ3sDT1gGkeGmlkFjiinvhFaqrwyFBuISox8TGvH4aAqYIEALw_wcB
- Türkoğlu, H. (2022). Endüstri 5.0 ve insan-makine iş birliği. *Mühendislik ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 78-93.
- Xu, K. (2004). Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries. *Chemical Reviews*, 104(10): 4303-4418.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B. ve Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61: 530-535.
- Ungurean, L., Cârstoiu, G., Micea, M. V. ve Groza, V. (2017). Battery state of health estimation: a structured review of models, methods and commercial devices. *International Journal of Energy Research*, 41(2): 151-181.
- Wang, Q., Ping, P., Zhao, X. ve Chen, C. (2012). Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 208: 210-224.
- Whittingham, M. S. (1976). Electrical energy storage and intercalation chemistry. *Science*, 192(42): 1121-1137.
- Whittingham, M. S. (2004). Lithium batteries and cathode materials. *Chemical Reviews*, 104(10): 4271-4302.
- Vysocky, A. ve Novak, P. (2016). Human - Robot collaboration in industry, *MM Science Journal* 1(2): 903-906.

- Yavari, F. ve Pilevari, N. (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing, *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2): 44-63.
- Yıldız-Tonga, M. ve Tonga, M. (2022). Endüstri 4.0'A Genel Bir Bakış: Sanayinin Geleceği, *İslahiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, 6(6): 40-60.
- Yoshino, A. (2012). The birth of the lithium-ion battery. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(24): 5798-5800.
- Zhang, S. S. (2007). A review on the separators of liquid electrolyte Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 164(1): 351-364.
- Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M. ve Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89: 292-308.

ÖZGEÇMİŞ

Gürkan EMECEN

A. EĞİTİM

Yüksek Lisans: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Endüstri Mühendisliği
Anabilim Dalı Mühendislik Yönetimi Bilim Dalı, 2025, İstanbul

Lisans: Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, 2020, Kayseri

B. MESLEKİ DENEYİM

2020-2021 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu şirketi Kurucu Ortak

2021-2022 ASPİLSAN Enerji Üretim Planlama ve Koordinasyon Mühendisi

2022-2024 Elektrikli araç üretimi yapan özel bir şirkette Kurucu Mühendis /Yönetici

2024-2024 Lityum Batarya üretimi yapan özel bir şirkette Proje Yöneticisi

2024- Lityum Batarya Üretimi ve Ar-Ge Çalışmaları yapan Şirket Ortağı

C. PROJELERİ

1-TÜBİTAK-Efficiency Challenge DAVA Elektrikli Aracı Kurucu Takım Lideri

(Görsel Tasarım ve Tanıtım Yaygınlaştırma Ödülü – BEBKA Usta Mucit Ödülü)

2-TÜBİTAK-Efficiency Challenge Verd-e Elektrikli Aracı Danışman

(Görsel Tasarım ve Tanıtım Yaygınlaştırma Ödülü)

3-AB Projesi-Doğanın Enerjileri Bizimle: Genç Liderler Çevresel İletişim ve Medya
Ağı

D. YAYINLARI

<https://www.yenisafak.com/ekonomi/sarj-istasyonu-ihtiyaci-artiyor-3709828>

Emecen, G. (2024). Endüstri 5.0’da lityum batarya üretiminin ISO 9001:2015 standartlarıyla bütünleştirilmesi: Bir iş modeli önerisi. 43. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, 2-4 Ekim 2024, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.