

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ÖRNEK UYGULAMA:
22 KW AC ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA CANBULAT

TEZ DANIŐMANI
PROF. DR. AHMET FEVZİ SAVAŞ

BİLECİK, 2025

10685705

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİYEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANABİLİM DALI

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ÖRNEK UYGULAMA:
22 KW AC ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA CANBULAT

TEZ DANIŐMANI
PROF. DR. AHMET FEVZİ SAVAŞ

BİLECİK, 2025

10685705

BEYAN

Sürdürülebilir Endüstriyel Ürün Tasarımında Örnek Uygulama: 22 kW AC Elektrikli Araç Şarj İstasyonu adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	X	DESTEK ALINMAMIŞTIR	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum; Rudis F&E GmbH			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer; Elektronik komponent ve üretim desteği (EK-1).			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:	/.....	

MUSTAFA CANBULAT

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Lisans, Yüksek Lisans ve Tez sürecim boyunca akademik bilgileri, endüstri tecrübeleri ve hayat tecrübeleriyle yol gösteren kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ'a, Endüstriyel Sürdürülebilirlik alanındaki değerli bilgi birikimi ve çalışmaları ile vizyonumu geliştiren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Şenay BALBAY'a, Endüstriyel Tasarım eğitimime ve meslek hayatıma teknik ve felsefi dokunuşlarıyla yön veren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Nazife Aslı KAYA ÜÇOK'a, yalnızca lise danışman öğretmenim olmayıp aynı zamanda hayatın bir eğitim olduğunu bana gösteren ve bu yolculukta daima öğretmenim olan kıymetli hocam Sayın Lendagül AYHAN CENGİZ'e en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda ve endüstri ile ilişkilerimde değerli tecrübeleriyle yol gösterici olan başta Sayın Özgür YILMAZ olmak üzere kıymetli Rudis Forschung&Entwicklung GmbH ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Ve hayatımın her alanında, kararlarımın doğruluğunu sorgulamaksızın her koşulda arkamda olan kıymetli Aileme ve sevgili arkadaşım Şule BAKTİR'a en derin minnetlerimi sunarım.

Mustafa CANBULAT

2025

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ÖRNEK UYGULAMA: 22 kW AC ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONU

Endüstrileşmenin beraberinde getirdiği karbon emisyonları global ölçekte her geçen gün artmaktadır. Bu artış ile birlikte iklim krizi tetiklenmekte, beklenmeyen doğa olayları oluşmakta ve sürdürülebilirlik kavramı daha da önem kazanmaktadır. Ancak sürdürülebilirlik, farklı disiplinlerde farklı sektörlerde henüz gelişimini tamamlamamıştır. Söz konusu çalışma ise sürdürülebilir tasarım stratejilerinin araştırıldığı, endüstriyel tasarımda uygulandığı bir çalışma olmuştur.

Çalışma kapsamında üniversite ve sanayi iş birliği yapılarak bilim ve endüstri açısından uygulanabilir sonuçlar doğurmak hedeflenmiştir. İlk olarak sürdürülebilir tasarımla ilişkili stratejiler; AB Ecodesign, Beşikten Beşiğe (C2C) Tasarım, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Eco Label, CE Sertifikasyonu, Döngüsel Ekonomi başlıkları altında araştırılmıştır. Buna istinaden stratejilerin etki ve kapsam bakımından değerlendirmeleri gerçekleştirilerek ürünün hedef pazarına yönelik en etkin sürdürülebilir tasarım stratejisi belirlenmiştir. Sanayi iş birliği çerçevesinde tasarımı planlanmış 22 kW AC elektrikli araç şarj istasyonu için hedef pazar Almanya olarak belirlendiğinden AB Eko Tasarım stratejisinin en uygun strateji olduğu görülmüştür. Bununla birlikte endüstriyel ürün tasarım süreçlerinin kapsamlı bir uygulama oluşturması için sırasıyla; design thinking (tasarım odaklı düşünme) metodolojisi uygulanarak konsept tasarımlar geliştirilmiş, kalite evi metodolojisi uygulanarak sanayi iş birliği yapılan şirket tarafından konseptler puanlanmış, malzeme seçimleri kapsamında karışım kuralı metodolojisi uygulanarak karışımlar oluşturulmuş ve ardından mühendislik tasarımı tamamlanan parçalara statik stres analizleri uygulanarak güvenlik faktörü değerleri üzerinden en uygun malzeme karışımı belirlenmiştir.

Endüstriyel ürün tasarımı süreçlerinin tamamlanması ile birlikte ölçekli model oluşturularak şirket tarafından sağlanan elektronik parçalarla montaj gerçekleştirilmiştir. Doğru sürdürülebilir tasarım stratejisi belirlemenin ve uygulamanın sadece ürün tasarımı sürecinde %25 oranında karbon emisyonu düşürebildiği uygulamalı olarak görülmüştür. Endüstriyel tasarım kapsamında tasarlanan parçaların ham madde emisyonu 8.848 kg CO₂ olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Tasarım, Sürdürülebilir Tasarım, Eko Tasarım, Elektrikli Araç Şarj İstasyonu, Karbon Emisyonu

ABSTRACT

EXAMPLE APPLICATION IN SUSTAINABLE INDUSTRIAL PRODUCT DESIGN: 22 kW AC ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION

The carbon emissions brought about by industrialization are increasing globally with each passing day. This rise is triggering the climate crisis, causing unexpected natural events, and making the concept of sustainability even more important. However, sustainability has not yet fully developed across different disciplines and sectors. In this study, sustainable design strategies have been investigated and applied in industrial design.

The study aimed to produce applicable results for both science and industry through university-industry collaboration. Strategies related to sustainable design were investigated under the following headings: EU Ecodesign, Cradle to Cradle (C2C) Design, Life Cycle Assessment (LCA), Eco Label, CE Certification, and Circular Economy. The strategies were evaluated in terms of their impact and scope, and the most effective sustainable design strategy for the product's target market was determined. Within the framework of industry collaboration, the target market for the planned 22 kW AC electric vehicle charging station was identified as Germany, and it was found that the EU Ecodesign strategy was the most suitable. Furthermore, to create a comprehensive application of industrial product design processes, the following steps were taken: Concept designs were developed using the Design Thinking methodology, a concept was selected by the industrial partner using the Quality Function Deployment (QFD) methodology, material combinations were created through the Rule of Mixture methodology, and finally, static stress analyses were performed on the parts whose engineering design had been completed. The most suitable material combination was then determined based on the safety factor values.

Upon completion of the industrial product design processes, a scaled model was created, and assembly was carried out using the electronic components provided by the company. In this way, it was practically demonstrated that determining and applying the correct sustainable design strategy in terms of impact and scope can reduce carbon emissions by 25% during the product design process alone. The raw material emissions for the parts designed in industrial design amounted to 8.848 kg of CO₂.

Keywords: Industrial Design, Sustainable Design, Ecodesign, Electric Vehicle Charging Station, Carbon Emission

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
2.1. AB Ecodesign Stratejisi.....	6
2.2. Beşikten Beşiğe (C2C) Stratejisi.....	9
2.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) Stratejisi	10
2.4. Eco Label Stratejisi	12
2.5. CE Sertifikasyonunda Sürdürülebilirlik Stratejisi	13
2.6. Döngüsel Ekonomi Stratejisi	15
2.7. Stratejilerin Kapsam ve Etki Bakımından İncelenmesi.....	16
2.8. AC Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Kullanılan Malzemeler	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Sürdürülebilir Tasarım Stratejisi	24
3.2. Tasarım Odaklı Düşünme Metodolojisi ve Konsept Tasarım	25
3.3. Kalite Evi Metodolojisi ile Konsept Seçimi	26
3.4. Malzeme Seçimi, Karbon Emisyonları ve Karışım Kuralı Yaklaşımı.....	28
3.5. Güvenlik Faktörü ve Malzeme Tanımlanmış Parça Analizleri.....	30
4. BULGULAR.....	33

4.1. Sürdürülebilir Tasarım ve Tasarım Odaklı Düşünme Metodolojileri ile Oluşturulan Konsept Tasarımlar.....	33
4.2. Kalite Evi ve Konsept Seçimi.....	41
4.3. Uygun Malzeme Opsiyonlarının Oluşturulması.....	43
4.4. Malzemelerin Tanımlanması ve Parça Analizleri	47
4.5. Malzeme Seçimi ve Fiziksel Modelin Üretilmesi	51
5. SONUÇLAR.....	55
6. ÖNERİLER	58
KAYNAKÇA	59
EKLER.....	67

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Uygulanacak Ecodesign Stratejisi Çerçevesinde Parametreler	25
Tablo 3.2. Örnek Görsel Anlatımlı Kalite Evi Tablosu.....	27
Tablo 3.3. ANSYS Şirketinin Sağladığı ABS ve PC Malzemelerine Ait Özellikler	28
Tablo 3.4. EcoInvent Material Database Üzerinden ABS ve PC Malzeme Emisyon Değerleri	29
Tablo 4.1. 5N1K Soru ve Cevapları	34
Tablo 4.2. Kısıt Olarak Verilen Elektronik İç Parçalar, Kütle ve Ölçü Bilgileri	35
Tablo 4.3. Kalite Evi Metodolojisi ve Konsept Puanlama Sonuçları	41
Tablo 4.4. ABS/PC Karışımlarının Malzeme Özellikleri: Karışım Kuralına Göre Değerler ..	46
Tablo 4.5. Erkek Parça için Karışıma Göre Güvenlik Faktörü Değerleri	49
Tablo 4.6. Dişi Parça için Karışıma Göre Güvenlik Faktörü Değerleri	50
Tablo 4.7. Tasarlanan Ürün ve Rakip Ürünler için Temel Özellik Karşılaştırması	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Ekonomik Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi	1
Şekil 2.1. Stratejilerin Kapsamlarının Genişlik Bakımından İncelenmesi.....	17
Şekil 2.2. Stratejilerin AB Pazarı Üzerindeki Etkilerinin Büyüklük Bakımından İncelenmesi	18
Şekil 2.3. Schneider Charge Ürünü için Kütleye Göre Yüzdeler ve Parça Dağılımı	20
Şekil 3.1. Çalışma Kapsamındaki Süreçlere ait Akış Diyagramı	23
Şekil 3.2. Analiz Yazılımında Kuvvetlerin Uygulanma Yönleri	32
Şekil 4.1. Konsept -1'e ait Eskizler.....	36
Şekil 4.2. Konsept -2'ye ait Eskizler.....	37
Şekil 4.3. Konsept -3'e ait Eskizler.....	38
Şekil 4.4. Konsept -4'e ait Eskizler.....	39
Şekil 4.5. Konsept -5'e ait Eskizler.....	40
Şekil 4.6. Konsept -4 Ön Yüzey Desen Tasarımları	42
Şekil 4.7. Konsept -4 Renklendirme ve CAD Süreci Sonu Durumu	43
Şekil 4.8. Konsept -4 için Mühendislik Tasarımı ve Patlatılmış Perspektif	44
Şekil 4.9. Konsept -4 için Milimetrik Genel Ölçüler	45
Şekil 4.10. Autodesk Fusion360 Yazılımı Üzerinden Malzeme Tanımlama	47
Şekil 4.11. Autodesk Fusion360 Yazılımı Üzerinden Kuvvetlerin Tanımlanması.....	48
Şekil 4.12. Üretilen Modele Ait Ön Görünüm.....	52
Şekil 4.13. Üretilen Modele Ait Yan Görünüm	53
Şekil 4.14. Üretilen Modele Ait Perspektif Görünüm	53

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

GHG: Greenhouse Gas Emissions

CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism

SPD: Sustainable Product Design

AB: Avrupa Birliği

C2C: Cradle to Cradle

LCA: Life Cycle Assessment

HoQ: House of Quality

RoM: Rule of Mixture

SF: Safety Factor

CAE: Computer Aided Engineering

GD: Green Deal

PET: Polietilen Tereftalat

CE: Conformité Européenne

ISO: International Organization for Standardization

GEN: Global Eco Labelling Network

EMC: Electromagnetic Compatibility

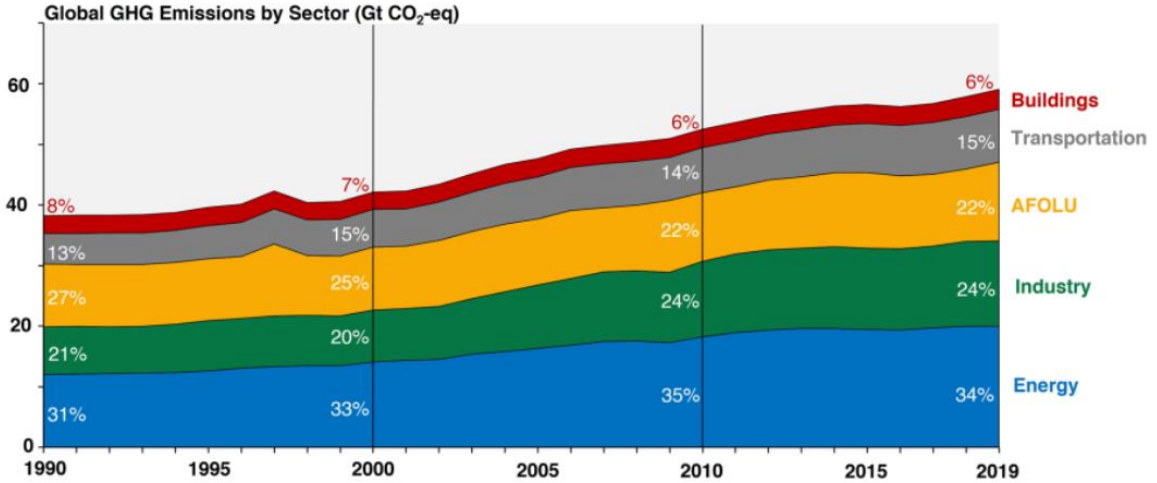
EV: Electric Vehicle

AC: Alternating Current

DC: Direct Current

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Endüstriyel Sürdürülebilirlik ve Endüstriyel Tasarım Bilimleri kapsamında günümüz sürdürülebilirlik ve sanayi problemlerine cevap verebilecek bir ürün geliştirmesinin nasıl yapılması gerektiği üzerine oluşturulmuştur. Sürdürülebilirlik kavramı, makineleşmenin ve seri üretimin arttığı her geçen gün oluşan lineer ekonominin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır (Herrmann vd., 2014). Bu sonuç, kaynakların tükenmesine, ekonomik paydaşların azalmasına, sanayideki sektörel değişimlerin tükenen kaynaklar neticesinde hızlanmasına sebep olmaktadır. Döngüsel ekonomi kavramı da tam olarak bu çerçevede önemini arttırarak literatürdeki yerini almıştır (Sariatli, 2017). Endüstrideki sınırsız üretimin doğaya ve kaynaklara verdiği yok edici zarar neticesinde iklim değişikliği ve küresel ısınma etkileri artmaya başlamıştır (Dietz vd., 2020). Artışlar, her sene tahmin edilmesi güç doğa olaylarına ve sürdürülemez kaynak yönetimine sebep olmaktadır. Bu durum ekonomik yükleri arttırmakta, sanayinin ve tedarik zincirinin sürekli değişmesine sebep olarak çeşitli zararları meydana getirmektedir. Tüm bunlar, lineer ekonomi anlayışının birer sonucu olarak adlandırılabilceği gibi, seri üretim artışı da beraberinde artan nüfus problemini getirmektedir (Herrmann vd., 2014). Doğaya en çok zarar veren sektörlerin aslında en çok bağılılık olan sektörler olduğu, yani enerji üretimi, ulaşım ve endüstri olduğu görülmektedir. Şekil 1.1.'de verilen dağılımlarda da bu durum görülmektedir.



Şekil 1.1. Ekonomik Sektörlere Göre Sera Gazı Emisyonlarının Yıllara Göre Değişimi

Kaynak: (United States Environmental Protection Agency)

Şekil 1.1.'de verilen görselde kırmızı ile ifade edilenler inşa edilen yapılardan kaynaklı emisyonları, gri ile ifade edilenler ulaşım kaynaklı emisyonları, sarı ile ifade edilenler tarım,

ormancılık ve diğere toprak kullanımlarını, yeşil ile ifade edilenler endüstriyi, mavi ile ifade edilenler enerji alanındaki sera gazı emisyonlarının Gt CO₂ ve eş değeri gazlar cinsinden yıllara göre değişimlerini göstermektedir. Endüstriyel Sürdürülebilirlik de bu durum karşısında günümüzdeki trend bilim dallarından birisi haline gelmiştir. Endüstriyel süreçlerin çevresel etkisini en aza indirmesi, kaynakları koruması, sosyal ve ekonomik refahı arttıracak şekilde tasarımın, üretimin gerçekleşmesi ve bu süreçlerin yönetilmesini içeren bilim dalı olarak karşımıza çıkmaktadır (Ny vd. 2005: 99). Enerji verimliliği, atıkların azaltılması, kaynakların korunması ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımı dahil olmak üzere geniş bir stratejik yelpazeyi kapsamaktadır (Graedel ve Allenby, 2003). Bu bilim dalının kritik bir yönü de, iklim değişikliği etkilerini arttıran sera gazları (GHG'ler) başta olmak üzere emisyonların hesaplanması ve azaltılmasıdır. Emisyon hesaplamaları, hammadde çıkarılmasından ürünün imhasına kadar endüstriyel faaliyetlerin karbon ayak izinin değerlendirilmesini ve bu emisyonları azaltacak önlemlerin uygulanmasını içermektedir.

Avrupa Birliği, Yeşil Mutabakat olarak adlandırdığı çerçevede gelişim ve ticaret alanında önemli uzlaşmalar sağlamıştır. Avrupa Yeşil Mutabakatı olarak da adlandırılan bu uzlaşmaya göre Avrupa Birliği'nin modern ve kaynak verimliliği çok yüksek bir yer olması amaçlanmıştır. 2050 yılına kadar net emisyonların sıfırlanması, kaynak kullanımından bağımsız olarak büyüme gibi önemli hedefleri bulunmaktadır (European Commission, 2020). Günümüzde ise, bu hedeflerin uygulanması ve kendi sınırları içerisinde faaliyet gösteren şirketlerin karbon emisyonu azaltmak için yapacağı yatırımlar ve altına gireceği mali yükler karşısında Avrupa Birliği içerisinde ithal edilen ürünlerin üreticisi olan şirketlerin de avantajlı duruma geçmemesi için Avrupa Sınırda Karbon Düzenlemesi'ni (CBAM) oluşturmuşlardır (Teevan vd., 2021). Bu mekanizmaya göre de Avrupa Birliği'ne yönelik ticari faaliyet gösteren tüm şirketler için benzer şartların oluşması sağlanacaktır. CBAM ile şirketlerin emisyonları kapsam-1 ve kapsam-2 bazında değerlendirilecek olup, henüz sistemin yeni olması sebebiyle kapsam-3 dahil edilmemiştir (Clora vd., 2023). Böylece hesaplanan emisyon değerleri üzerinden karbon vergilendirilmesi yapılacak, yüksek emisyonla sebep olanların yüksek vergiler ödemesi sağlanarak emisyonların azaltılması hedeflenmiştir. Burada belirtilen kapsam-1, 2 ve 3 değerleri ise emisyon hesaplamalarının çerçevelerini belirtmektedir. Kapsam-1, organizasyonun doğrudan sebep olduğu, kontrol edebildiği emisyonları, kapsam-2, organizasyonun dolaylı sebep olduğu ve satın aldığı emisyonları (doğal gaz, enerji gibi satın alınan emisyonlar), kapsam-3 ise organizasyonun kendisi tarafından üretilmeyen, tedarik zincirindeki paydaşların ve şirketlerin emisyonlarını ve kapsam-1 ve 2 dışında kalan tüm

emisyonları çevreleyen kapsamı oluşturmaktadır (National Grid, 2024). Bu durum, esasında sürdürülebilirlik, döngüsel ekonomi, sürdürülebilir ürün tasarımı, sera gazı emisyon hesaplamaları gibi kavramların uygulanması için yasal zorunlulukları beraberinde getirdiğinden söz konusu kavramların da gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Sürdürülebilir endüstriyel uygulamalar, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir ürün tasarımı (SPD) gibi çerçeveler tarafından yönlendirilmektedir. Döngüsel ekonomi, kaynakların sürekli olarak ekonomiye ve üretim süreçlerine geri döndürüldüğü, israfın azaltıldığı ve kaynak verimliliğinin teşvik edildiği kapalı döngü sistemleri oluşturmayı amaçlamaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2015). SPD, çevresel, sosyal ve ekonomik hususları ürün geliştirme sürecine entegre ederek ürünlerin dayanıklılık, geri dönüştürülebilirlik ve minimum çevresel etki için tasarlanmasını amaçlamaktadır (Bhamra ve Lofthouse, 2007).

Endüstriyel Tasarım, hem işlevsel hem de estetik açıdan rekabet edebilir ürünlerin tasarlanmasına ve geliştirilmesine odaklanan bir bilim dalıdır. Endüstriyel üretim tekniklerinin kullanıldığı tüm ürünlerin tasarım süreçlerine dahil olduğu söylenebilmektedir. Kullanıcı ihtiyaçlarını ve pazar taleplerini karşılayan ürünler tasarlamak için sanatı, mühendisliği ve işletmeyi birleştiren çok disiplinli bir yaklaşımı içermektedir (Canbulat ve Savaş, 2024). Endüstriyel tasarımcılar yenilikçi, verimli ve kullanıcı dostu ürünler oluşturmak için ergonomi, kullanılabilirlik, malzemeler, üretim süreçleri ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli faktörleri günümüz pazar ve endüstri şartlarında göz önünde bulundurmak zorundadır (Ulrich ve Eppinger, 2016). Endüstriyel tasarımın sürdürülebilirliği teşvik etmedeki rolü giderek daha fazla kabul görmektedir. Endüstriyel tasarımcılar, sürdürülebilir tasarım ilkelerini birleştirerek çevresel etkiyi en aza indiren, kaynak verimliliğini artıran ve sosyal refahı destekleyen ürünler yaratabilme potansiyeline sahiptirler. Bu, sürdürülebilir malzemelerin seçilmesini, uzun ömürlü ve onarılabilirlik özellikleri içeren tasarımlar yapılmasını ve ürünün tüm yaşam döngüsünün söz konusu şartlar altında planlanmasını da içermektedir (Berberoğlu, 2024).

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir tasarım stratejilerinin araştırılarak örnek bir uygulamasının yapılması ve bu uygulama ile yerel ve küresel endüstriye yol gösterici olabilmek olmuştur. Çalışma kapsamında küresel pazarın sürdürülebilirlik kavramı ile getirdiği tasarım stratejileri araştırılarak emisyon azaltılacağı gerekçesiyle elektrikli araçlara geçiş serüveninin bir parçası olan alternatif akım (AC) elektrikli araç şarj istasyonu ürünü baz alınarak endüstri iş birliği içerisinde sürdürülebilir tasarım örnek uygulaması gerçekleştirilecektir (Wang vd., 2021). Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı altında elektrikli

araçlara geçiş, fosil yakıt kullanımından kaçınmak gerekçesiyle hızlanmıştır (Sanguesa vd., 2021). Bu süreçte tasarım ve üretimi hız kazanmış bir ürün de elektrikli araç şarj istasyonları olmuştur. Bu ürünler, AC ve DC (direkt akım) olarak elektrikli araçları şarj etmeleri için üretilmekte olup, DC ürünlerde şarj süresi AC'lerden çok daha kısa olmaktadır (Savari vd., 2023). Maliyet ve kütle durumu incelendiğinde AC ürünlerin çok daha hafif ve evlerde kullanılabilir olduğu görülürken, DC ürünlerin elektrik şebekelerine bağlanarak yüksek voltajda çalıştığı ve kapasitelerine göre farklı hızlarda şarj işlemini gerçekleştirdikleri görülmektedir (Savari vd., 2023). Ancak sürdürülebilirlik altında fosil yakıttan kaçınıldığı ve elektrikli araç teknolojilerine geçiş yapıldığı gözlemlenirken, elektrikli araçların sıfırdan seri olarak üretildiği, araçların geri dönüştürülmesi yerine pazarda aynı araç sayısı kadar talep olduğu, ayrıca elektrikli araç şarj istasyonu tasarım ve üretimlerinin de bu talebe cevap verebilmek için hızlandığı gözlemlenmektedir. Bu şartlar altında küresel endüstri açısından sürdürülebilir ürün tasarlanmanın nasıl yapılması gerektiğine olan ihtiyaç önem kazanırken, ülkemizde de sürdürülebilir tasarım stratejilerinin neler olduğu konusundaki literatür açıklığı bu çalışmayı önemli hale getirmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir tasarım stratejileri üzerine kapsamlı literatür araştırmaları yapılarak en uygun tasarım stratejilerinin veya stratejisinin belirlenmesi, sanayi, üniversite işbirliği içerisinde bir Ar-Ge şirketi ile ürün tasarımı gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında literatür araştırması faaliyetleri AB Ekolojik Tasarım direktifleri, Beşikten Beşiğe (C2C), Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Eco Label, CE (Conformité Européenne) sertifikasyonunda sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi başlıkları çerçevesinde yapılmıştır.

Bölüm 2'de verilen literatür araştırması ile belirtilen stratejiler, kapsam, etki ve uygunluk bakımından detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sanayi iş birliğindeki hedefe göre kapsam ve etki çerçevesinde uygun tasarım stratejisi ile ilenlenmiştir. Bölüm 3'de kullanılacak metodolojilerin neler olduğu ve detayları şu şekildedir; tasarım stratejisi, tasarım odaklı düşünme (design thinking), kalite evi, karışım kuralı, güvenlik faktörü, kütle ve geometrik veriler üzerinden emisyon hesaplamalarıdır. Bölüm 4'de tasarım odaklı düşünme metodolojisi kullanılarak tasarım stratejisi çerçevesinde geliştirilen ürün konsept tasarımları, konsept değerlendirme için kalite evi (HoQ), malzeme seçimi için karışım kuralı (RoM), güvenlik faktörü (SF) analizi için bilgisayar destekli mühendislik (CAE) de dahil olmak üzere çeşitli metodolojilerin kullanıldığı sonuçlar yer almaktadır.

Tasarım odaklı düşünme ile kullanıcı ihtiyaçlarını anlama, yenilikçi fikirler üretme ve sürdürülebilirlik kavramının mecbur kılacağı özellikler kapsamında konsept tasarımlar

gerçekleşecektir (Arifin ve Mahmud, 2021). Konsept tasarım ile birlikte Kalite Evi metodolojisi uygulanarak puanlamanın sanayi işbirliği içerisindeki şirket yetkilileri tarafından yapılması sağlanacak ve seçilecek konsept ortaya çıkacaktır (Francis, 2016). Karışım kuralı, sürdürülebilir malzemelerin seçimine rehberlik edecek ve seçilen malzemelerin performans ve çevresel kriterleri karşılmasını sağlayacaktır (Chawla ve Chawla, 2013). Bilgisayar destekli mühendislikte güvenlik faktörü (SF) analizi, tasarımın yapısal bütünlüğünü ve malzeme seçimine karşılık ürün güvenilirliğini sağlayacaktır (Hutton, 2004). Tüm bu adımların uygulanması ile birlikte belirtilen sorulara cevap aranacaktır:

1. Sürdürülebilir tasarım nasıl uygulanmalıdır?
2. Tasarımda emisyon bakımından optimum malzeme seçimi nasıl yapılmalıdır?
3. Sürdürülebilir tasarım ile ürün emisyon değerleri üzerinde kontrol sağlanabilir mi?
4. Sürdürülebilir tasarım adında da belirtildiği gibi sürdürülebilir mi, doğaya faydası var mı?
5. Sürdürülebilir tasarımın ürün tasarım sürecine uygulanması üreticinin ekonomik durumuna nasıl etki eder?

Böylece örnek sürdürülebilir ürün tasarımı faaliyeti gerçekleştirilecek olup, sürdürülebilir ürün tasarımında akademi ve sanayi açısından yol gösterici sonuçlar oluşturması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sürdürülebilir tasarım, artan çevresel kaygılar ve regülasyon baskıları nedeniyle ürün geliştirmede kritik bir odak noktası haline gelmiştir. Bu çerçevede söz konusu literatür araştırması gerek politik gerek de küresel bilinirlik ve uygulanabilirlik açısından altı temel sürdürülebilir tasarım stratejisine odaklanmıştır. Bunlar; AB'nin Ekolojik Tasarım Direktifi (Ecodesign), Beşikten Beşiğe (C2C) Tasarım, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Sürdürülebilir Ürün Tasarımı (SPD) ve Döngüsel Ekonomidir (Peralta vd., 2021). Sürdürülebilir Ürün Tasarımı kapsamında Eco Label ve CE Sertifikasyonunda Sürdürülebilirlik olarak iki başlıkta ele alınmıştır. Her strateji, çevresel etkiyi en aza indirmek ve ürün tasarımında sürdürülebilirliği teşvik etmek için farklı yaklaşımlar ve metodolojiler sunmaktadır. Her strateji literatür taraması kapsamında incelenmiş olup, stratejilerin ahşap ve termoplastik ürünlerde ne tür kapsamları olduğu hedef ürün sebebiyle özel olarak araştırılmıştır.

2.1. AB Ecodesign Stratejisi

Eko Tasarım Direktifi (Direktif 2009/125/EC), daha önceki Direktif 2005/32/EC'nin yerini alarak 2009 yılında Avrupa Parlamentosu ve Konsey tarafından kabul edilmiş bir direktiftir. Direktifin temel amacı, enerji kullanan ve enerjiyle ilgili ürünler için zorunlu ekolojik gereklilikleri belirleyen bir çerçeve oluşturmaktır. Bu gereklilikler, enerji tüketimi, kaynak verimliliği ve atık üretimi gibi faktörleri dikkate alarak ürünlerin genel çevresel performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (European Commission, 2009). Direktif, AB'nin sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etme ve sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltmaya yönelik stratejisinin bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Avrupa'yı daha sürdürülebilir ve döngüsel bir ekonomiye dönüştürmeyi amaçlayan Döngüsel Ekonomi Eylem Planı ve Avrupa Yeşil Mutabakatı (GD) gibi diğer AB politikalarıyla uyumludur (European Commission, 2020).

Eko Tasarım Direktifi, farklı ürün kategorileri için sürdürülebilir gereklilikler belirleyen uygulama önlemlerinin oluşturulmasına yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Bu önlemler, geniş kapsamlı paydaş görüşmeleri, etki analizleri ve bilimsel araştırmalar içeren bir süreçle yürütülmektedir. Söz konusu gereklilikler, ürün tasarımının enerji verimliliği, malzeme kullanımı, geri dönüştürülebilirlik ve tehlikeli maddelerin varlığı gibi çeşitli yönlerini kapsamaktadır (Dalhammer vd., 2014). Örneğin, bir ürünün enerji verimliliğini artırırken, geri dönüşümü veya güvenli imhası zor olan malzemelerin kullanımından kaçınılmalıdır. Direktifin en belirgin özelliklerinden biri, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca

çevresel etkilerini göz önünde bulunduran "beşikten mezara" yaklaşımıdır. Bu yöntem, ürünün yaşam döngüsündeki bir aşamada yapılan iyileştirmelerin, diğer aşamalarda olumsuz sonuçlar doğurmasının önüne geçmektedir (Siemens, 2023). Örneğin, bir ürünün enerji verimliliğini artırmak amacıyla yapılan değişiklikler, geri dönüştürülmesi veya güvenli bir şekilde imha edilmesi zor malzemelerin kullanılmasına neden olmamalıdır. AB Eko Tasarım Direktifi Avrupa Birliği sınırları içerisindeki üretim ve tasarım faaliyetlerinde çok yüksek bir etkiye sahip olmuştur ve bu etki her geçen gün Avrupa pazarına ihracat ve ithalat yapmak isteyen şirketler üzerinden tüm dünyaya zorunluluk sebebiyle yayılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, bu strateji sayesinde emisyon düşüşü olduğu, ürünlerin tasarım stratejilerinde geri dönüşüm etkisinin arttığı ve lineer ekonomi anlayışının azaldığı görülmektedir. Bu nedenle de 2022 yılında AB Eko Tasarım Direktifi için yeni bir öneri verilerek elektrik enerjisi ile çalışan ve verimlilik sağlayabilen ürünlerin yanı sıra tüm iç marketteki ürünlere tanımlanabilmesi için çalışmalara başlanmıştır (Heinemann ve Arsenio, 2022).

Bu tasarım direktifinde ahşap ve termoplastik malzemelerin ürün geliştirmelerinde yaygın olarak kullanıldığı, örnek uygulamaları mevcut olmakla birlikte mobilya, otomotiv, tüketici elektroniklerinde kullanıldıkları görülmektedir. Direktifin gereklilikleri dolayısıyla malzeme seçimi, geri dönüştürülebilirlik için tasarım, ürün çevre performansı gibi faktörler bu tasarımlarda öne çıkmaktadır. Örneğin, termoplastik malzemelerle oluşturulacak ürünler birçok farklı sektörde yer almakta ve her sektörde çok ciddi bir ihtiyaç bulunmaktadır. Ancak termoplastik malzemelerin çevre etkisi, atık yönetiminin iyi yapılmadığı veya beşikten mezara süreçlerinin sürdürülebilir olarak yapılmadığında çok ciddi oranda artarak çevreye ciddi zararlar verdiği görülmektedir. Bu noktada Eko Tasarım Direktifi ile ürünlerin sürdürülebilir olarak tasarlanması için üretimden mezara süreçleri özel olarak planlanması zorunlu hale getirilmiş, geri dönüştürülebilirlik artırılarak çevreye verilen zararlar azaltılması hedeflenmiştir (Fenwick vd., 2023). Termoplastik kullanımının yaygın olmasında üreticileri cesaretlendiren en önemli unsurlardan birisi termoplastiklerin kolayca üretilebilir ve ürün yaşam döngüleri sonucunda kolayca geri dönüştürülebilir olması olmuştur. Ancak Eko Tasarım Direktifleri'ne uyum gerekliliği sebebiyle termoplastik malzeme seçiminde daha az farklı sayıda termoplastik malzeme karıştırılması ve katkı maddelerinden kaçınılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Buna ek olarak söz konusu direktifler sayesinde termoplastik malzeme kullanımında biyobozunur ve doğal plastiklerin kullanılmasını ön plana çıkararak pazardaki malzeme seçiminde yönlendirmelerde bulunmuştur (Bos vd., 2024). Ancak

araştırmalar göstermektedir ki termoplastiklerde geri dönüşüm sonsuz bir süreç olmamaktadır ve her geri dönüşüm ile ürün dayanıklılığının bir öncekinden daha az olduğunu göstermektedir (Gadhavve vd., 2022). Bu sebeple de termoplastiklerde geri dönüşüm aşamaları da sonlu bir döngü olmaktadır. Tekrarlı kullanım sayısı arttırılarak ürün başına düşen emisyon düşürülebilmektedir.

Termoplastik malzemelerin yanı sıra en önemli geri dönüşebilen malzemelerden birisi de ahşap malzemelerdir. Bu malzeme türü de Eko Tasarım Direktifleri çerçevesinde daha sürdürülebilir bir kullanıma tabii olmuştur. Ahşap malzeme doğal bir malzeme olduğu için diğer malzemelere göre çok daha düşük bir karbon ayak izine sahiptir. Ancak ahşap malzemelerinde sürdürülebilirlik ahşabın türüne, ahşap kullanımı için üzerinde kullanılan kimyasallara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu erevede Eko Tasarım Direktifi geri dönüştürülebilir ahşap kullanımını ön plana çıkarmakta ve ahşaplar üzerindeki zararlı kimyasal kullanımının azaltılmasını güçlendirmektedir (Swedish Forest Industries Federation, 2024). Ahşap kullanımındaki sürdürülebilirliğin temel noktalardan birisini de ahşabın üretildiği ormanın yönetimi ve bu süreçteki üretim emisyonları oluşturmaktadır. Çeşitli küresel sertifikasyonlar ile doğaya minimum zarar verilerek ahşabın üretildiği, ormandan elde edilen ahşabın ekolojik dengeye zarar vermediği gibi çeşitli sertifikasyonlar (PEFC, FSC) bu kapsamda bulunmaktadır (Mikulkov vd., 2015). Ayrıca AB Eko Tasarım Direktifi, ahşap kullanılarak üretilen ürünlerde de onarılabilirliği, dayanıklı ve uzun süreli kullanımı ön plana çıkarmaktadır. Bu durum ise yüksek kaliteli malzeme kullanımı ve uzun ömürlü olarak kullanılacak ürünlerin üretilmesini teşvik etmektedir. Ahşap parçaların kolayca sökülebilir olarak tasarlanması da geri dönüşümü arttıran, atık oluşumunu azaltan bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (Bovea ve Prez-Belis, 2012).

Yapılan araştırmalara göre Eko Tasarım Direktifi, rnlerin çevresel performansını iyileştirmek için geliştirilmiş bir reglasyondur. Direktif, termoplastik ve ahşap malzemedenden oluşan ürünlerde parça veya ürün bazlı geri dönüştürmeyi ve doğal kaynaklı malzemelerin kullanımını, sökülebilir/değiştirilebilir parçalara yönelik tasarımı ve zararlı kimyasalların azaltılmasını teşvik etmektedir. Tüm bunların yanı sıra uzun vadeli ve dayanıklı kullanımı ne çıkarmaktadır. Ancak direktifin uygulanmasında özellikle çevresel performansın maliyet, işlevsellik ve tüketiciler tercihleri gibi diğer faktörlerle dengelenmesi açısından zorluklar bulunmaktadır. Ek olarak, teknolojik gelişmelerin hızlı temposu ve değişen pazar dinamikleri, bunların geçerliliğini ve etkililiğini sağlamak için uygulama tedbirlerinin sürekli olarak güncellenmesini gerektirmektedir. Fakat Avrupa Birliği içerisinde ve bu bölgeye ürün ihracatı

yapan şirketler üzerinden küresel olarak yayılan Ekolojik Tasarım anlayışı, dünya emisyonunun ticari zorunluluk üzerinden azaltılması bakımından kritik öneme sahiptir (Staniszewska vd., 2020).

2.2. Beşikten Beşiğe (C2C) Stratejisi

Beşikten Beşiğe (C2C) olarak adlandırılan sürdürülebilir tasarım stratejisi, mimar William McDonough ve kimyager Michael Braungart tarafından “Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things” adlı eserleri ile ortaya çıkmıştır (McDonough ve Braungart, 2002). 2012 yılında kurdukları Cradle to Cradle Products Innovation Institute ile küresel olarak ürün sertifikasyonu yapan ve bu alanda ürünlerin sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen bir kurum haline gelmiştir. Kendi çevreleri ile başlayan ve çeşitli organizasyonlar tarafından da tanınır hale gelerek verdikleri sertifikasyonlar Avrupa ve Amerika başta olmak üzere çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından kabul görmektedir. Bu stratejide ürünlerin sürdürülebilir çalışmaları beş kategoride ele alınmıştır. Bunlar; malzeme sağlığı, ürün döngüselligi, temiz hava ve iklim koruması, su ve toprak yönetimi, sosyal adalettir (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2024).

Beşikten Beşiğe (C2C) stratejisinde malzeme sağlığı başlığı altında malzemenin üretiminde kullanılan kimyasallara bakılmaktadır. Bu kimyasalların insan sağlığına ve çevreye zararlı olmaması gerekmektedir. Ek olarak, uzun süreli kullanım dayanıklılıkları ve geri dönüştürülebilirlikleri bu başlık altında önem kazanmaktadır. Ürün döngüselligi başlığı ile ürünlerin bilinçli olarak yeniden dönüşebilecek şekilde tasarlanması, dönüştükten sonra da ne şekilde kullanılacağını içermektedir. Temiz hava ve iklim koruması başlığı altında ürünün üretilirken hava kalitesine zarar vermemesi, yenilenebilir enerji ve iklim değişikliğini tetikleyen sera gazlarını arttırmaması önem arz etmektedir. Su ve toprak yönetimi başlığı ile su ve toprak ekosistemlerinin korunması amaçlanmıştır. Bu noktada yaşayan tüm canlıların temiz ve güvenli su ve toprak erişimine odaklanılmıştır. Ekolojiye zarar vermemesi beklenmektedir. Sosyal adalet başlığı ile şirketlerin eşit, adil ve hakkaniyetli bir şekilde insan kaynaklarına değer vermesi beklenmektedir. C2C tasarım stratejisi, odaklandığı bu başlıklar ile güvenli ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımını, yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesini sağlayarak çevresel negatif etkileri azaltan bir strateji olmuştur. Yapılan araştırmalara göre C2C stratejisinin kullanımı sayesinde şirketlerin ürünlerini sürekli geri dönüştürerek ekonomik olarak kazançlar sağlayabileceğini, yeni iş olanakları oluşturmasına katkı sağlayarak şirketlerin sürdürülebilir bir şekilde faaliyetlerine devam edebileceklerini göstermektedir (Charter ve Tischner, 2001). Tasarımcılar açısından, C2C

stratejisi kullanımı sayesinde tasarımcıların daha farklı düşünmeye teşvik edildiği ve daha benzersiz, yaratıcı ürünlerin çıkarılmasının pozitif yönde etkilendiği düşünülmektedir (Bakker vd., 2010). C2C stratejisinin uygulanmasında çeşitli negatif ve pozitif yönler bulunmaktadır. Küresel pazardaki tanınırlığı açısından uzun yıllardır faaliyetine devam etmesi gerekçesiyle güven kazanmış bir sertifikasyona sahiptir. Sertifikasyon süreçlerinde yalnızca çevre etkilerine odaklanılmayarak sosyal etkilere de odaklanmaktadır, bu durum ekstra maliyetlere sebep olmaktadır. Uluslararası olması sebebiyle tercih sebebi olan bir sertifikasyondur (Minkov vd., 2018).

Çalışma kapsamında literatürdeki stratejilere odaklanıldığı gibi, bu stratejilerin ahşap ve termoplastik malzemeler üzerinde nasıl uygulandıkları da özel olarak araştırılmaktadır. Bu çerçevede C2C tasarım stratejisinde termoplastik malzeme seçiminde endüstri standardı yerine doğal, biyobozunur termoplastiklerin veya ürün döngüsellliği açısından geri dönüşebilen ürünlerin tercihi ön plana çıkması gerektiği anlaşılmaktadır. Örnek olarak geri dönüşmüş (performansı azalmış) termoplastik kullanımı için ürün tasarımının değiştirilmesi, PET (polietilen tereftalat) paketlemelerden geri dönüştürülen PET malzemeden PET şişe oluşturulması gibi (Hopewell vd., 2009). Ahşap malzeme kullanımında çevresel etkilerin minimum olması için ormanın kaynağına (toprak ekolojisi özel olarak bu stratejide başlık haline getirilmiş olup), malzeme sağlığı kapsamında ahşaptaki kimyasal maddelere ve ürünün kullanıldıktan sonra hayat döngüsü sonunda ne yapılacağı gibi parametrelerde incelenmektedir. Bu noktada Eko Tasarım Direktifi ile benzer olarak orman yönetimi yine bir anahtar noktayı oluşturmakta ve PEFC ve FSC sertifikasyonlarını gerektirmektedir. Genel anlamda incelendiğinde ise, bu strateji, bireylerin çabası ile kurumsallaşmış, kendi çevrelerinde başlayarak yaygınlaşan tanınırlık ağı Avrupa ve Amerika başta olmak üzere hemen hemen tüm ülkelerde kabul görmeye başlamış bir strateji ve sertifikasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Malzeme seçimi ve ürün döngüsellliği anahtar başlıkları üzerinden toplamda beş alt başlıkta detaylandırılmakta olup, küresel olarak market kabul edilebilirliği siyasi açıdan diğer bir strateji olan AB Eko Tasarıma göre zayıf kalmakla birlikte çevresel etkiler bakımından sürdürülebilirlik ve iş organizasyonları açısından son derece olumlu bir strateji olduğu görülebilmektedir.

2.3. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) Stratejisi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, ISO tarafından 2006 yılında ISO 14040 standardı altında yürürlüğe girmiş bir sürdürülebilirlik stratejisidir. Bu strateji dört başlık altında konuyu ele almaktadır. Bunlar; amaç ve kapsam tanımlama, envanter analizi, etki

değerlendirmesi, yorumlamadır (ISO, 2006). Bu başlıkları birer faz olarak tanımladığımızda, amaç ve kapsam tanımlama fazında; Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmasının amacını, sistemin sınırlarını, fonksiyonel birimleri tanımlamayı içermektedir. Fonksiyonel birim, incelenen sistemin fonksiyonunun bir ölçüsü olup, girdi ve çıktıların anlaşılması için bir referans sağlayıcı birimdir (Guinée, 2004). Envanter analizi fazında, sistemin ilgili girdi ve çıktılarının derlenmesi sağlanmaktadır. Bu durum ise ürün yaşam döngüsünün her aşamasıyla ilişkili enerji ve malzeme akışları, emisyonlar ve atıklarla ilgili verileri içermektedir (Demirer, 2011). Etki değerlendirme fazında, bir önceki fazdan elde edilen malzeme ve diğer veriler ışığında potansiyel çevresel etkilere dönüştürülmektedir. Söz konusu etkilerin küresel ısınma potansiyeli, asitleme potansiyeli ve kaynak tükenmesi gibi potansiyel etkileri kategorize edilerek ölçülmesi gerekmektedir. Son aşama olan yorumlama fazında sonuçlar ve öneriler ortaya çıkartılmaktadır. Sonuçların rasyonel bir şekilde analiz edilmesi, çevresel etkilerin belirlenmesi, veri kalitesinin değerlendirilmesi, sonuçların rasyonel oluşunun değerlendirilmesi bu aşamada gerçekleştirilir. LCA stratejisinde anahtar noktalar pazarın yönelimi ve tüketici davranışları olarak değerlendirilebilmektedir (Bergerson vd., 2020).

LCA stratejisi, bir ürünün çevresel etkilerine ilişkin bütünsel bir bakış sunarak tasarımcıların ve karar vericilerin iyileştirme fırsatlarını belirlemelerine ve bilinçli seçimler yapmalarına yardımcı olmaktadır. Ancak LCA'nın uygulanmasında da avantaj ve kısıtlayıcı unsurlar bulunmaktadır. Avantajlarına baktığımızda, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin kapsamlı analizlerini sunmaktadır. Diğer stratejilerin aksine, bu durumda çeşitli çevresel sorunların bulunup iyileştirilmesi sera gazı emisyonlarının ve çevreye verilen zararın şirketler bazında azaltılması noktasında oldukça önemlidir (Manzardo vd., 2018). Bu çerçevede çevresel etkilerin net anlaşılması; ürünün tasarımının, üretim politikalarının ve malzeme seçimlerinde bilinçli ve etkili kararlar alınmasının önünü açmaktadır (Sprefico, 2022). LCA stratejisini uygulayan endüstri kuruluşlarının ürünlerinin küresel pazarda kısıtlama olarak getirilebilecek (AB Eko Tasarım Direktifi gibi) standartlara kolay uyum sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle çevresel etkilerin araştırılması kapsamındaki rasyonel değerlendirmeleri bu stratejiyi olumlu yönde etkilemektedir. Kısıtlayıcılar incelendiğinde, malzeme ve enerji akışları, emisyonlar ve atıklar kapsamında detaylı veri toplanması yoğun ve maliyetli bir işlemi oluşturmaktadır. Metodolojinin karmaşık yapısı, KOBİ ölçeğindeki şirketlerin insan gücü ve kaynağı açısından kısıtlayıcı bir unsur olmaktadır. LCA sonuçları ise diğer kurum veya kuruluşlardan alınan sabit katsayıların değişiklik göstermesinden kaynaklı olarak köklü değişiklikler getirebilir. Örneğin elektrik emisyon katsayısı gibi kurumlardan

alınan katsayılar değiştiğinde tüm LCA sonuçları değişeceğinden, süreç için olumsuz bir parametre olmaktadır. Sosyal olarak etkilerin bu stratejiden çıkartılması veya anlaşılması oldukça zordur (Jørgensen vd., 2008). Bu da söz konusu strateji için negatif bir parametreyi oluşturmaktadır.

Önceki stratejilere benzer olarak bu stratejide de termoplastik veya ahşap ürünlerin sürdürülebilir olması için ahşap ürünlerde orman yönetimi, ekolojiye zarar vermeme gibi başlıklar yer alırken termoplastik malzemelerde de doğaya daha az zarar veren, karbon ayak izi daha az olan, çevre sağlığına zararsız malzemelerden oluşmasının önemi ön plana çıkmaktadır. Özetle LCA, ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerini değerlendirmek için sağlam ve kapsamlı bir metodoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu strateji termoplastik ve ahşap parçalara sahip ürünler için malzeme seçimi, işleme ve kullanım ömrü sonu yönetiminde iyileştirme fırsatlarının belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. LCA, çevresel etkilerin net bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak, ürün tasarımı ve üretiminde bilinçli karar almayı destekleyen kapsamlı bir stratejidir. Sürdürülebilir tasarımı teşvik etmektedir ve küresel pazar etkisi olarak ekolojiyi olumlu yönde destekleyen adımlar atılmasını sağlamaktadır. Emisyonların organizasyonlarca düşürülmesi doğayı pozitif yönde etkilemektedir.

2.4. Eco Label Stratejisi

Sürdürülebilir tasarımın önemli bir bileşeni Eco Label (eko-etiket) stratejilerinin uygulanmasıdır. Eco Label, tüketicileri çevre dostu ürünlere yönlendiren, üreticileri sürdürülebilir uygulamaları benimsemeye teşvik eden ve pazar odaklı çevresel iyileştirmeleri teşvik eden bir sertifikasyon türüdür (Delmas ve Grant, 2014). Eco Label, belirli çevresel performans kriterlerini karşılayan ürünlere verilen sertifikalardır. Bu kriterler tipik olarak bir ürünün yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarını ele alır; bunlar arasında ham madde, imalat, kullanım ve imha yer alır. Eco Label'in temel amacı, tüketicilere ürünlerin çevresel etkileri hakkında net ve güvenilir bilgiler sağlayarak bilinçli satın alma kararları vermelerini sağlamaktır (Scheer ve Rubik, 2005: 51).

Eco Label, günümüzde birçok kurum ve organizasyonlarda farklı isimler altında verilmektedir. Hepsinin adının da Eco Label olması, bir anlam kargaşasını beraberinde getirmektedir. Üçüncü taraf çevresel performans etiketleme kuruluşlarından oluşan, kar amacı gütmeyen uluslararası bir dernek, Global Eco Labelling Network (GEN) üyeleri, EU Ecolabel ve Nordic Swan gibi dünyanın önde gelen eko-etiketlerinden bazılarını işletmektedir. Avrupa Birliğinde ise, yaşam döngüleri boyunca belirli kısıtları karşılayan ürünlere verilen bir etiket

olarak karşımıza çıkmaktadır (European Commission, 2024). Alman Federal Çevre Ajansı tarafından tanınan Blue Angel ise Almanya'nın köklü bir Eco Label anlayışıdır (Blauer Engel, 2024). Bu çerçevede, Eco Label tanımının çok geniş olduğu, her ülke ve organizasyon tarafından kullanılarak aynı isim altında çeşitli akreditasyonlar ve çerçeveler ile Eco Label sertifikasyonu yapıldığı görülmektedir.

ISO standartlarına göre Eco Label Type I, 14024 olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada, ürün kategorilerinin seçimi, ürün çevre kriterleri ve ürünlerin işlevsel özellikleri de dahil olmak üzere Tip I çevre etiketleme programlarının geliştirilmesine yönelik ilke ve prosedürler belirtilmektedir (ISO, 2018). Type II ise 14021 altında, çevreyle ilgili beyan edilenler için terminoloji, semboller ve test ve doğrulama metodolojileri hakkında rehberlik sağlamaktadır (ISO, 2016). Type III olarak adlandırılan ve ISO 14025 altında bulunan kapsamda ise Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve çevresel performans verilerinin kullanımı da dahil olmak üzere, Tip III çevre beyanlarının geliştirilmesine yönelik ilkeleri ve prosedürleri belirtmektedir (ISO, 2006). Eco Label alınabilmesi için birçok kuruluşun ortak paydada bulunduğu gereklilikler ise, LCA, ürünlerin üretimine yönelik kaynak kullanımı ve bu kullanımlardan kaynaklanan emisyonlar, bağımsız bir üçüncü taraf değerlendirilmesi, verilerin kamuya açık olarak beyan edilmesidir. Bu gereklilikler sayesinde hem üretici hem de Eco Label sertifikasyon kuruluşları beyanlarını kamuya uygun bir şekilde yapabilmektedir.

Eco Label çok sayıda fayda sunarken, bazı zorlukları da devam etmektedir. Bunlar arasında tüketicilerin kafa karışıklığına neden olan; etiketlerin çoğalması, üreticiler için sertifikasyonun maliyeti ve karmaşıklığı yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek, etiket standartlarında sürekli iyileştirmeyi, paydaşlar arasında artan işbirliğini ve güçlü izleme ve uygulama mekanizmalarını gerektirmektedir. Bu zorluklara rağmen eko-etiketler sürdürülebilir tasarımın ilerletilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Üreticileri çevre dostu ürünler geliştirmeye, pazarda farklılaşmayı artırmaya ve tüketici güveni oluşturmaya teşvik ederek inovasyonu teşvik edebilmektedirler (Frankl vd., 2005). Sürdürülebilir ürünlere olan talep arttıkça, Eco Label hem tüketicileri hem de üreticileri daha sürdürülebilir seçimlere yönlendirmede giderek daha hayati bir rol oynamaktadır.

2.5. CE Sertifikasyonunda Sürdürülebilirlik Stratejisi

Bir ürünün Avrupa Birliği mevzuatına uygunluğunu belirten bir sembol olan CE işareti, ürünlerin çevre ve güvenlik standartlarını karşılamasını sağlayan sürdürülebilir tasarım açısından oldukça önemlidir (European Commission, 2021). CE, "Conformité Européenne" kelimelerinin bir kısaltması olarak ürünün Avrupa mevzuatlarına uygunluğu belirtmektedir

(International Trade Administration, 2022). Bu çerçevede de Avrupa Ekonomik Bölgesi'nde söz konusu işarete sahip ürünlerin serbest dolaşımı sağlanmaktadır. CE işaretinin kendisi bir sürdürülebilirlik sertifikası değildir. Ancak çevresel hususları içeren ve sürdürülebilir tasarımın genel hedeflerine katkıda bulunan direktifleri kapsamaktadır (Milovanović et al., 2011). Bu çerçevede sürdürülebilir tasarımda CE sertifikasyonunun rolü de ciddi bir öneme sahiptir. CE sertifikası, üreticilerin çevresel etkiyi azaltmak ve kaynak verimliliğini sağlamak gibi sürdürülebilirlik ilkelerine uyum sağlamasını teşvik eder. CE işareti, tamamı sürdürülebilir tasarım uygulamalarından önemli ölçüde fayda sağlayabilecek elektronik, makine ve inşaat malzemeleri de dahil olmak üzere geniş bir ürün yelpazesi için gereklidir.

CE sertifikası almak için önce geçerli direktifler belirlenmeli, ardından ürün gereksinimlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu adımdan sonra sırasıyla ürün uygunluk değerlendirmesi ve teknik dokümantasyon yapılması gerekmektedir. Son olarak CE işareti ürüne yerleştirilmesi ve uyumluluğun korunması gerekmektedir (Năsulea ve Năsulea, 2019). Söz konusu adımları daha detaylı incelediğimizde, geçerli direktifler ile kast edilen; ürün için hangi direktiflerin geçerli olduğunun belirlenmesidir. Ürünün tipine göre Düşük Voltaj Direktifi (LVD), Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) Direktifi, Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması (RoHS) Direktifi ve Eko Tasarım Direktifini içerebilmektedir (Hanson, 2005). Ürün gereksinimlerinin değerlendirilmesi ile tanımlanması istenilen durum, her ürün için karşılanması gereken özel direktiflerin olabileceğidir. Örneğin enerji verimliliği, malzeme kullanımı veya çevresel etkileri söz konusu olduğunda AB Ecodesign 2009/125/EC'ye uyulması gerektirir (European Commission, 2009). Uygunluk değerlendirmesi ile üreticinin dahili üretim kontrolü, kalite değerlendirmesini ve üçüncü taraflarca uygulanacak testleri içermektedir. Teknik dokümantasyon ise ürünün ilgili direktiflere uygunluğunu açık bir dille ifade eden dokümanlar olarak adlandırılmaktadır. Bu dokümantasyondaki belgeler, tasarım ve üretim ayrıntılarını, risk değerlendirmelerini ve test raporlarını içermektedir. Tüm bu gerekliliklerden sonra ürünün CE etiketi yapıştırılabilmektedir (Năsulea ve Năsulea, 2019).

Tehlikeli maddelerin kısıtlanması CE ile sürdürülebilirlik ilişkisinin en belirgin örneklerinden olmaktadır (Chancerel, 2010). Bunun yanı sıra CE sertifikasyonu için birçok direktif bulunmaktadır ve bunlar ürün grubuna göre değişim göstermektedir. Ancak, birçok üründe uyulması açısından karşımıza çıkan direktifler; Alçak Gerilim Direktifi (2014/35/EU), Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi (2014/30/EU), Makine Direktifi (2006/42/EC), Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Direktifi (2011/65/EU), Ekolojik Tasarım Direktifi (2009/125/EC) olmuştur (Hanson, 2005).

Avrupa Komisyonu'nda yer alan bilgilere göre CE için önemli bir bilgi verilmiştir. Buna göre, CE simgesini taşıyan ürünlerin AB veya başka bir otorite tarafından onaylanmış güvenli bir ürün olarak nitelendirilemeyeceği, ürünün menşei hakkında da bir bilgi vermeyeceği özel olarak belirtilmiştir (European Commission, 2021).

2.6. Döngüsel Ekonomi Stratejisi

Döngüsel ekonomi kavramı, lineer (doğrusal) ekonomi modelinin sürdürülemez sonuçlarının artması ile ortaya çıkmış bir sürdürülebilir stratejidir. Döngüsel ekonomi ile amaç, yapılan işin devam ettirilebilmesi için kaynakların tüketilmemesi, çevreye zarar vererek tahmin edilemez sonuçların oluşmaması ve iş akışının sürdürülebilir bir şekilde tekrarlanarak devam etmesidir (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Doğrusal ekonomi modelinde amaç amansızca büyümek ve daha çok para kazanmak olduğundan kaynakların tükenmesi ve sürecin sürdürülemez sonuçları bu tür sürdürülebilir stratejilerin doğmasında etkili olmuştur (Sariatli, 2017).

Döngüsel ekonomide birçok anahtar nokta bulunmaktadır. Çevresel etkiyi azaltan malzeme ve süreçlerin kullanımı ile kirliliği en aza indiren ürün ve süreçlerin tasarlanması, uzun ömürlü, onarılabilir, yeniden kullanılabilir, yeniden üretilebilir, geri dönüşüm yoluyla ürün ve malzemelerin mümkün olan en uzun şekilde kullanımda kalmasını sağlamak döngüsel ekonominin kapsamında yer almaktadır (Stahel, 2016). Değerli ve zor şartlarda yetişen besin maddelerinin yenilenmesi, doğaya geri kazandırılması ve biyolojik yaşamı tehdit etmek yerine destekleyici adımlar da bu strateji altında yer almaktadır (Geissdoerfer vd., 2017). Hizmet sektöründe ise ürünlerin geri alınması gibi döngüsel adımları teşvik etmektedir.

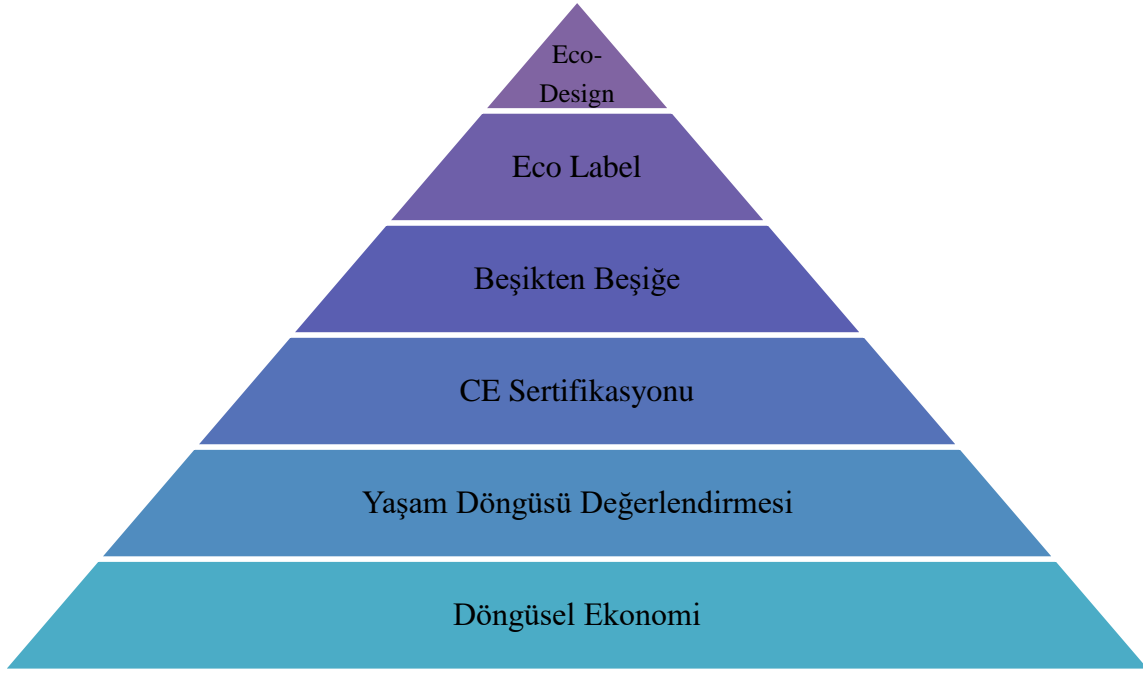
Bu stratejide verimli kaynak kullanımı teşvik edilerek, atıkların ve kirliliğin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Ghisellini vd., 2016). Böylece sera gazı emisyonlarında ve kaynak tükenmelerinde önemli azalışlara sebebiyet verecektir. Yenilik, yeni iş modelleri ve hammadde çıkarma ve atık imhasıyla ilgili maliyetlerin azaltılması yoluyla yeni ekonomik fırsatlar yaratabilme potansiyeline sahiptir. Ürün ve malzemeleri daha uzun süreli kullanımda tutarak kaynak güvenliğini arttırmakta ve sınırlı kaynaklara olan bağımlılığı azaltabilmektedir (Korhonen vd., 2018). Sosyal olarak adil işgücü dağılımını desteklemekte ve ürün güvenliğini iyileştirmektedir. Ancak döngüsel ekonomide de çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Tasarımcılar, üreticiler, politika yapıcılar ve tüketiciler arasındaki işbirliği gerektiğinden, değer zinciri boyunca sistematik bağlılık gerekmektedir (Bocken vd., 2016). Maliyetli ve zaman alıcı olabilecek geri dönüşüm, yeniden üretim ve atık yönetimi için ileri teknolojilere ve altyapıya ihtiyaç olmaktadır.

Özel olarak termoplastik ve ahşap malzeme kullanımında döngüsel ekonominin nasıl uygulandığı araştırıldığında ise, termoplastiklerin petrol kaynaklı yapısından ötürü çevreye çok zararlı olduğu bilinmektedir ve geri dönüşüm süreçlerinin iyi yönetilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda geri dönüştürülmüş ve biyo bazlı polimer kullanımı bu strateji altında önem kazanmaktadır (Hopewell vd., 2009). Tasarımcıların ve üreticilerin ürünleri geri dönüştürme ekseninde tasarımları ve geliştirmeleri gerekmektedir. Bu çerçevede geri dönüşen malzemenin de nerelerde kullanılacağı planlanmalıdır. Termoplastik malzemedan oluşan ürünlerin geri dönüştürülebilirlik için özel olarak tasarlanması, kolayca ayrılabilen ve geri dönüştürülebilir malzemelerin seçilmesi, geri dönüşümü engelleyen katkı maddelerinden kaçınılması ve kolay sökülebilecek şekilde tasarlanmasını içermektedir. Ahşap malzemelerde döngüsel ekonomi stratejisi ise, ahşap malzemeler doğal kaynaklı malzemeler olduğundan yenilenmesi daha kolay ve çevresel etkileri bakımından daha az zararlı malzemelerdir (Goldhahn vd., 2021). Ancak orman yönetimi ile ahşabın elde edilmesi süreçleri, biyolojik çeşitliliğin korunması, ahşap ürünlerde kullanılan kimyasallar ve oluşacak ürünün kullanım ömrü ahşap malzemelerin döngüsellliği açısından önemli noktaları oluşturmaktadır (González-García vd., 2009). Dayanıklı ve uzun ömürlülük açısından ahşap ürünler tasarlamak, yüksek kaliteli malzemeler gerektirmekte, fakat uzun vadede değiştirme ve üretim kaynaklı emisyonları azaltacağından bir sürdürülebilir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşımda parça bazlı sökülebilen tasarım faktörü son derece önemlidir. Yeniden ürünün alınması yerine hasarlı parçanın onarılabilme potansiyeli sağlaması gerekmektedir.

Bu çerçevede döngüsel ekonomi, verimli kaynak kullanımını teşvik eden, israfı azaltan ve çevresel etkileri minimize etmeyi amaçlayan bir sürdürülebilirlik stratejisidir. CE sertifikasyonu ve LCA analizleri ile döngüsel ekonomi yaklaşımı, sürdürülebilirlik bakış açısında kapsamlı bir yaklaşım sunabilmektedir.

2.7. Stratejilerin Kapsam ve Etki Bakımından İncelenmesi

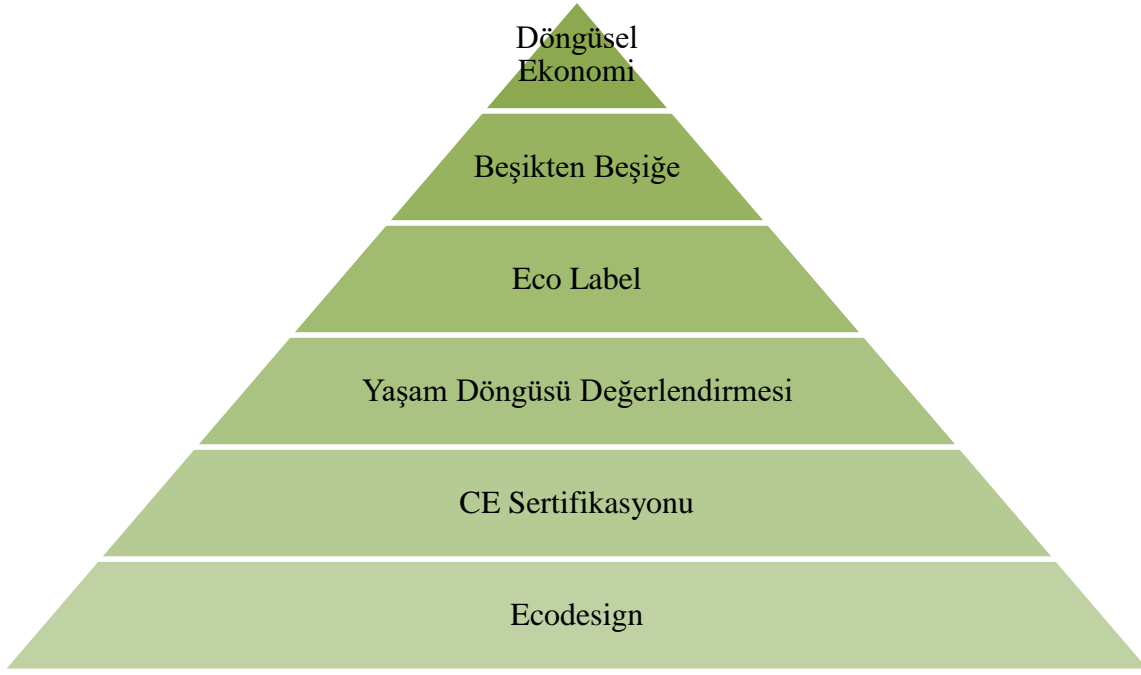
Literatür araştırılırken karşılaşılan başlıca sürdürülebilirlik stratejileri ele alınmış ve tek tek detaylarına inilmiştir. Bu stratejiler; AB Ecodesign, Beşikten Beşiğe, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Eco Label, CE Sertifikasyonundaki Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi başlıkları olmuştur. Söz konusu başlıkların detayları incelendiği gibi her başlığın belirli bir kapsamı ve etki alanı olduğu görülmüştür. Bu çerçevede, stratejilerin etki ve kapsam yönünden incelenmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.1. Stratejilerin Kapsamlarının Genişlik Bakımından İncelenmesi

İncelenen stratejilere göre, Şekil 2.1.'de verilen görsel ortaya çıkmıştır. Döngüsel ekonomi stratejisinin gerek sosyal, gerek fiziki ürünler gibi birçok konuda uygulanabilirliği olduğu için en geniş kapsama alanı bu stratejide bulunmaktadır (Börkey ve Laubinger, 2021). Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, her türlü fiziki üründe olması gerektiğinden ikinci aşamada verilmiştir. CE Sertifikasyonu AB'ye ihraç edilerek AB pazarında yer alması gereken ürünlerde olması istendiğinden ve en eski sertifikasyonlardan olduğu için üçüncü sırada verilmiştir. Ayrıca Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi de gerektirdiğinden kapsama alanı genişlemiştir. Beşikten Beşiğe stratejisi ise kendi özelinde ürünün malzeme sağlığından su, toprak yönetimi gibi konulara, sosyal eşitlik ve adalet gibi konulara değinmesi gerekçesiyle dördüncü sırada verilmiştir. Eco Label ise, Eko Tasarım kadar yeni olmayıp, köklü bir stratejiyi oluşturduğundan ve fiziksel ürünlerden yazılım içeren ürünlere birçok ürünü kapsadığından beşinci sırada verilmiştir. Ecodesign 2009 yılı direktiflerine göre yalnızca enerji ile çalışan ürünleri kapsadığından en az kapsama alanı bu stratejide olmuştur.

Etki bakımından stratejiler incelendiğinde, hedef pazar AB ve küresel olarak ikiye ayrılmaktadır. AB pazarının yeterince büyük olmasından kaynaklı olarak kendine özgü stratejileri ve sertifikasyon süreçleri olduğu literatürden de anlaşılmaktadır.



Şekil 2.2. Stratejilerin AB Pazarı Üzerindeki Etkilerinin Büyüklük Bakımından İncelenmesi

Avrupa Birliği içerisinde en etkili stratejilerin başında Eko Tasarım (Ecodesign) gelmektedir. Şekil 2.2.'de Avrupa pazarı üzerinden detaylı etki alanı büyükten küçüğe bir şekilde verilmiştir. AB regülasyonları çerçevesinde Eko Tasarım uyumluluğu bir zorunluluktur (Börkey ve Laubinger, 2021). Bu durum Eko Tasarım stratejisini en önemli hale getirmektedir. En etkili bir diğer strateji ise CE'dir. Bu sertifikasyon ise ürünün AB Pazarı içerisinde dolaşımını kolaylaştırmaktadır. CE alımı esnasında Ürün Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi de gerektiğinden sıradaki en önemli strateji olarak bulunmaktadır. Eco Label, AB'nin yazılımdan, fiziksel ürünlere, gıda sektöründen malzeme sektörüne kapsadığı bir stratejidir. İsteğe bağlı bir şekilde sertifikasyonu yapılarak ürünün pazar avantajı elde etmesi sağlanabilmektedir. Beşikten Beşiğe stratejisi ise kişisel çabalarla kurulmuş bir enstitünün stratejisidir. Burada belirli marka ve kurumların etkisiyle etki alanı genişletilmiştir. Döngüsel ekonomi ise genel bir kapsama alanına sahip olmakla birlikte bu isimle karşımıza çıkan doğrudan bir etki alanı bulunmamaktadır. Birçok stratejide gömülü olarak bulunmakta (Börkey ve Laubinger, 2021), fakat doğrudan döngüsel ekonomi etiketi veya sertifikasyonu olarak bulunmamaktadır.

2.8. AC Elektrikli Araç Şarj İstasyonları ve Kullanılan Malzemeler

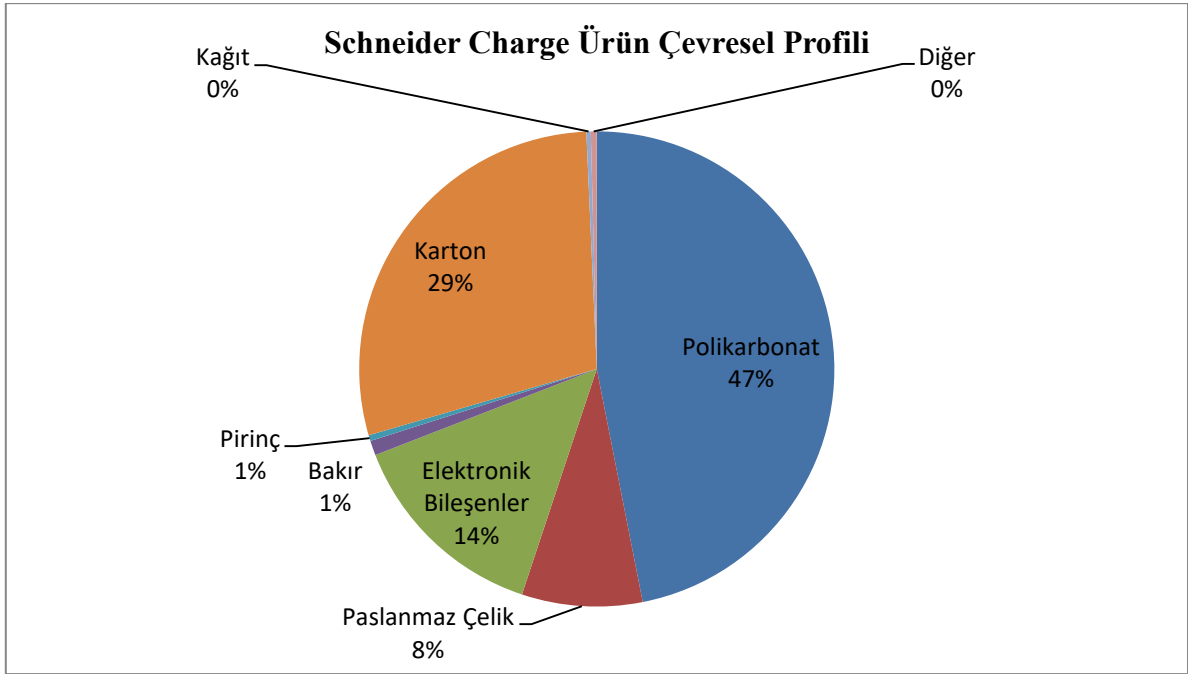
Elektrikli araç (EV) şarj istasyonları içerdikleri teknolojiye göre AC ve DC olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. AC ile ifade edilen alternatif akım teknolojisi, elektrik yükü akışında periyodik olarak yön değiştireni ifade etmektedir, bu nedenle de ev eşyaları gibi

gündelik hayatta kullanılan ürünler AC olmaktadır (LG Solar, 2019). DC ise direkt akımı ifade etmektedir, DC’de akış yönü değişmemektedir ve daha stabil bir gerilim sağlanmaktadır, bu nedenle yüksek gerilimle çalışan teknolojiler DC elektrik kaynağından güç almaktadır (LG Solar, 2019). Elektrikli araç şarj istasyonları teknolojisi de dolayısıyla AC ve DC olarak ikiye ayrılmaktadır. Hızlı şarj sağlayabilen ticari faaliyete tabii şarj istasyonları DC iken, ticari faaliyet veya ev elektriğine bağlı olarak kullanılabilen, genellikle yavaş şarj olarak adlandırılan şarj istasyonları da AC’dir (Savari vd., 2023). Bu çerçevede elektrikli araç şarj istasyonları kapasitelerine göre Seviye 1, 2 ve 3 olarak ayrılmaktadır. Seviye 1 ile ifade edilen, AC ve 120 volt kapasiteye kadar olan şarj istasyonlarını kapsamaktadır, genel bir ifadeyle, en yavaş şarj seviyesi olarak adlandırılmaktadır (U.S. Department of Transportation, 2023). Seviye 2, AC ve 240 volta kadar olan kapasiteleri ifade etmektedir, bu istasyon seviyesinde hızlı bir AC şarj işlemi (ortalama 4 saat) sağlanabilmektedir ve Seviye 3 ise DC şarj istasyonlarını kapsamaktadır (U.S. Department of Transportation, 2023). 20 dk ile 1 saat gibi kısa sürede şarj işlemi gerçekleştirebilen, yaygın adlandırılışı da hızlı şarj eden cihazlar olan şarj istasyonlarıdır.

Elektrikli Araç (EV) şarj istasyonları, özellikle AC şarj istasyonları, elektrikli mobiliteye geçişi destekleyen altyapının kritik bileşenleridir. Elektrikli araçların pazardaki önemi yaygınlaşan elektrikli araç kullanımına bağlı olarak artmaktadır. EV şarj istasyonlarının küresel endüstrideki önemi de pazardaki talebe bağlı olarak sürdürülebilir dünya açısından daha da önemli bir hale gelmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir tasarım stratejisi ile AC elektrikli araç istasyonu tasarımı örnek uygulaması gerçekleştirilirken Avrupa pazarında kullanılan şarj istasyonları ve bu şarj istasyonlarını oluşturan başlıca malzemeler araştırılması gereken kritik bir konuyu oluşturmaktadır.

Yapılan araştırmalar ile GridX organizasyonunun Charging Report 2024 yılı raporuna ulaşılmış, hedef pazarın Almanya olması sebebiyle de burada bulunan şarj işlemi bazındaki başlıca şarj istasyonu üreticileri görülmüştür. Bunlar; %5.1 ile EnBW, %3.6 ile E.ON Drive, %2.3 ile Tesla, %2.1 ile EWE GO ve %1.7 ile Lidl olmuştur (GridX, 2024). Sanayi iş birliği çerçevesinde örnek uygulamanın yapılacağı ürün grubu, Alman pazarındaki çeşitliliğinin az olması sebebiyle AC 22 kW şarj istasyonu olduğundan söz konusu markaların AC 22 kW ürünleri ve bu ürünlerin tasarımında kullanılan başlıca malzemeleri literatür araştırması kapsamında incelenmiştir. Bu özelliklere haiz EnBW markasının aktif olarak satışını yaptığı KEBA KeContact P30 c-series Wallbox ürününe dair direkt halka açık bir malzeme bilgisi bulunmamakla birlikte, ürünlerin sürdürülebilir ve karbon ayak izini düşürme hedefi

doğrultusunda üretildiği bilgisi yer almaktadır (KEBA, 2024). E.ON Drive, EWE GO ve Lidl şirketlerinin şarj istasyonu işleticileri olup kendi ürünlerini üretmedikleri, Tesla'nın da 11.5 kW'a kadar AC şarj istasyonu ürettiği literatür araştırmaları sonucunda görülmüştür. Bu durum, 22 kW AC şarj istasyonundaki pazar boşluğunu göstermekle birlikte, çalışmanın doğru hedefte yapıldığını da göstermektedir. Literatür araştırmalarında belirtilen şirketlerin malzeme verilerine ulaşılammış fakat Avrupa'nın en büyük elektronik şirketlerinden olan Schneider Electric'in ürünlerine ait detaylı malzeme bilgilerinin kamuya açık bir şekilde paylaşıldığı görülmüştür. Gerçek sürdürülebilirlik anlayışıyla ilişkili olan bu tür hamleler, şirket sürdürülebilirlik verilerinin şeffaf ve gerçekçi olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede Schneider Electric'in Schneider Charge ürününde kullanılan malzeme detaylarına ulaşılmıştır.



Şekil 2.3. Schneider Charge Ürünü için Kütleye Göre Yüzdeleri Malzeme ve Parça Dağılımı

Kaynak: (Schneider Electric, 2023)

Ulaşılan verilere göre, Schneider Charge ürünü, paketleme dahil ortalama 4780 gram kütleye sahiptir. Şekil 2.3.'de görüldüğü üzere yüzde malzeme dağılımları yapıldığında, ürün gövdesini oluşturmak için 2241.82 gram polikarbonat malzeme kullanıldığı, paketleme için 1376.64 gram karton malzeme kullanıldığı, 669.2 gramın iç elektroniklerin kütlesini oluşturduğu, 391.96 gramının paslanmaz çeliklerden oluştuğu, 47.8 gramının bakır malzeme olduğu, 19.12 gramının pirinç malzemeden oluştuğu, 14.34 gramının kağıt malzemeyi oluşturduğu ve kalan 19.12 gramının da çeşitli malzemelerden oluştuğu görülmüştür (Schneider Electric, 2023).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

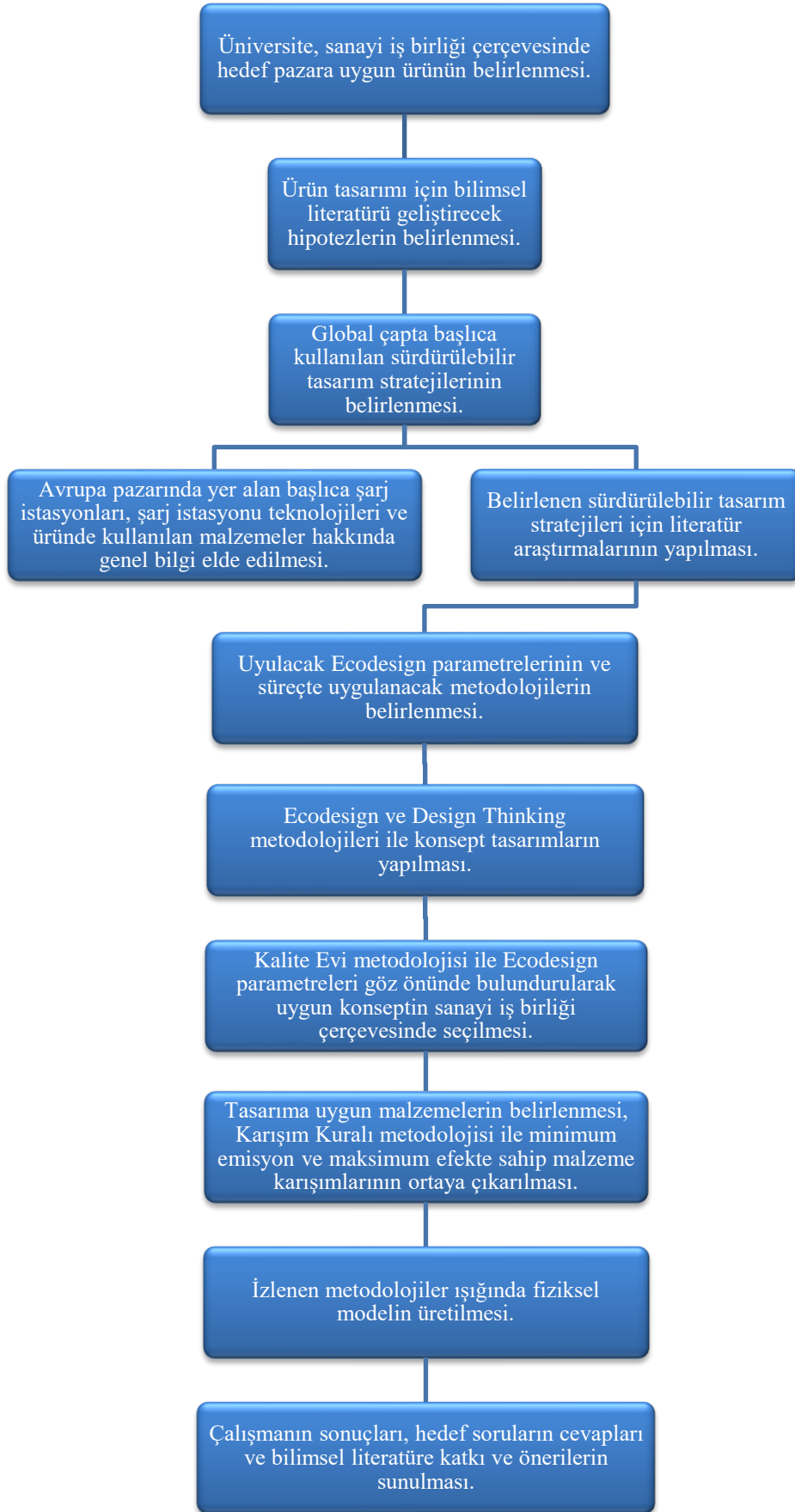
Küresel etki ve kapsamı bakımından sürdürülebilir tasarım stratejilerinin araştırıldığı bu çalışmada üniversite, sanayi iş birliği ortamı sağlanarak örnek sürdürülebilir ürün tasarımı gerçekleştirilmek istenmiştir. Alman pazarına yönelik olarak tasarımı gerçekleştirilecek 22 kW AC elektrikli araç şarj istasyonu tasarlanması için çeşitli metodolojiler uygulanacaktır. Ortaya çıkacak örnek uygulama ile ülkemiz içerisindeki şirketlere rehberlik etmek amaçlanırken, küresel literatürde de ürün tasarımı süreçlerindeki sürdürülebilirlik uygulamalarının hangi aşamalarında iyileştirmeler gerektiği gözler önüne serilecektir. Örnek uygulamada iç elektronik parçalar ve ürün dış ölçüleri birer kısıt olarak sanayi iş birliği çerçevesinde temin edilecek ve çalışmanın gerçekçi temellere dayanması sağlanacaktır.

Sürdürülebilir ürün tasarımı doğrultusunda ürün geliştirecek veya tasarlayacak tüm şirketlerin tasarım stratejisinin seçilmesi aşamasından başlaması beklenmektedir. Etki ve kapsamı bakımından ele alındığında bu stratejiler hedefe göre netleşmektedir. Ürün hedef pazarına göre elde edilecek sürdürülebilir tasarım stratejisi neticesinde örnek uygulamanın diğer adımlarına geçilebilecektir. Bu çalışmada, tasarım stratejisinin belirlenmesi ile birlikte çeşitli metodolojiler uygulanacaktır. Öncelikle, tasarım stratejisine göre tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulanarak konsept tasarımlar gerçekleştirilecektir. Ardından detaylı bir şekilde kalite evi uygulamaları yapılarak uygun konseptin seçilmesi sanayi iş birliği yapılan şirket eşliğinde tamamlanacaktır. Bu noktada konsept seçimleri, iş birliği yapılan şirkete bırakılacak ve sonuçların endüstri açısından daha gerçekçi olması beklenmektedir. Ürünün dış kabuk yapısını oluşturacak ana malzemenin seçilmesi için temel malzeme özellikleri araştırılacak, malzeme veya malzemelere ait mekanik, termal özellikler, fiyat gibi parametreler ortaya çıkarılacaktır. Bu parametrelere ek olarak malzemelere ait ham madde emisyon verileri de eklenecektir. Çalışmada konu odağının tasarım ve malzeme seçiminde kalması ve Türkiye’de bu alandaki literatürün henüz olgunlaşmamış olması sebebiyle boya, yüzey işlemleri ve izolasyon kimyasallarının emisyonları dahil edilmemiştir.

Optimum malzeme seçimi, gerek ürün mekanik ve termal performansı, gerek fiyat-performans eksenini gerek de ekolojik duyarlılık parametreleri eşliğinde sağlanacaktır. Bu noktada ana malzemelerin seçilmesi ve kıyaslanması için karışım kuralı metodu uygulanacaktır. Malzeme karışımlarının bilgisayar destekli analiz eşliğinde test edilmesi de uygulanacak bir diğer metodu ifade etmektedir. Belirtilen karışımların mekanik ve termal performanslarının ürün tasarım formunda ne kadar etkin olacağı ve ne derecede sağlıklı

sonuçlar doğuracağı da statik analiz eşliğinde güvenlik faktörü değerleri ile ortaya çıkarılacaktır. Böylece rn tasarımı için malzeme seçimi de gerek mekanik ve termal performanslar, gerek fiyat gerekse de ekolojik duyarlılık açısından seçilebilecektir. Bu sayede tasarlanan parçanın şekline, malzeme karışımlarının ekolojik ve performans açısından nasıl seçilmesi gerektiğine dair somut ve yol gösterici adımlar uygulamalı olarak ortaya çıkarılacaktır. Çalışmanın sonunda fiziksel olarak model üretimi yapılarak uygulanacak metodolojilerin ne derece sağlıklı bir sonuç vereceği de görülecektir.

rnek uygulama için belirtilen adımlar gerçekleştirilirken konsept tasarım aşamasında Blender yazılımı kullanılacaktır. Blender, açık kaynak bir 3D alışma yazılımıdır. Mühendislik tasarımı ve bilgisayar destekli analiz faaliyetlerinde Autodesk Fusion360 yazılımı kullanılacaktır. Bu yazılım akademik çalışmalar için ücretsiz ve endüstri için ücretli bir yazılımdır. Malzemelere ait karbon emisyon hesaplamaları için CCalc 2 yazılımı kullanılacak olup, bu yazılım üzerinden EcoInvent Material Database'e erişim sağlanacaktır. Malzeme zellikleri için ANSYS şirketinin eğitim için paylaştığı veri seti kullanılacaktır.



Şekil 3.1. Çalışma Kapsamındaki Süreçlere ait Akış Diyagramı

Şekil 3.1.'de verilen akış diyagramında da görüldüğü üzere, süreç literatür araştırmalarından önce küresel literatürde yer alan başlıca sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ile başlamıştır. Ardından bu literatür verilerinin araştırılması ile sürdürülebilir tasarım stratejilerinin etki ve kapsam bakımından genişlikleri ve hedef bölgeleri detaylı bir şekilde elde edilmiştir. Avrupa Birliği sınırları içinde en etkili stratejinin Eko Tasarım olduğu literatür araştırmaları sonucunda anlaşılmıştır. Kapsam bakımından en geniş ve kapsayıcı stratejinin de Döngüsel Ekonomi stratejisi olduğu görülmüştür. Avrupa pazarındaki ürünler incelendiğinde en detaylı malzeme verisine Schneider Charge ürününden ulaşılmıştır. Bu üründe 2241.82 gram polikarbonat malzeme kullanıldığı görülmüştür (Schneider Electric, 2023). Polikarbonat malzeme kullanılan bu ürünün Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Direktifi'ne (RoHS) uyduğu görülmüştür. Bu çerçevede, akış diyagramındaki aşamalar uygulanarak sürdürülebilir ürün tasarımı örnek uygulaması gerçekleştirilmek istenmiştir.

3.1. Sürdürülebilir Tasarım Stratejisi

Gelişen teknoloji ve sürdürülebilirlik literatürü ile birlikte sürdürülebilir tasarım stratejileri de her geçen artış göstermektedir. Çeşitli enstitü ve organizasyonlar tarafından farklı yaklaşımlar sunulmakta ve kamuoyunda popülaritelerini arttırmaktadırlar. Yapılacak çalışma için sürdürülebilir tasarım stratejilerinden etki ve kapsam bakımından en uygunu seçilerek örnek uygulama çalışmasında kullanılması gerekmektedir. Literatür araştırması çerçevesinde araştırılan stratejiler; Ecodesign, EcoLabel, Beşikten Beşiğe, Ürün Yaşam Değerlendirmesi, CE Sertifikasyonu ve Döngüsel Ekonomi olmuştur. Bunlara göre ürünün Almanya'da kullanılma hedefi ile yapılacak olması ve etki alanı bakımından yeni AB regülasyonları ile daha da güçlenmesi sebebiyle Eko Tasarım stratejisi ile çalışmaya devam edilmiştir.

Eko Tasarım stratejisi, ürünün enerji verimliliği sağlayarak kaynak kullanımını azaltmayı temel olarak oluşturulmuş bir strateji olup, günümüzde çeşitli güncellemelerle ürün tasarım stratejisinde daha derin kısıtlar içerir hale gelmiştir. Enerji verimliliği, kaynak verimliliği, sağlamlık, uzun ömürlü kullanım, döngüsel ekonomi ve geri dönüştürülebilirlik gibi kısıtlarla ürünlerin daha çevreci ve doğa dostu olmaları bu strateji kapsamında yer almaktadır (Dalhammer vd., 2014). Malzeme seçim aşamalarında zehirli madde içermeyen malzeme, yenilenebilir malzeme, düşük enerji içeren malzeme, geri dönüştürülmüş malzeme, geri dönüştürülebilir malzeme kullanımları gibi parametrelerle Eko Tasarım stratejisi ile daha uyumlu ürünler oluşturmak mümkün olmaktadır (Zbicinski vd., 2006). Ürün özellikleri bakımından Eko Tasarım stratejisinin getirdiği özellikler ise; ürün uzun ömürlü kullanımı,

tamir edilebilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve ürün yaşam sonrası yönetimi, malzeme verimliliği, geliştirilebilirlik (ürünü atmadan özelliklerini yükseltebilme) olmuştur.

Tablo 3.1. Uygulanacak Ecodesign Stratejisi Çerçevesinde Parametreler

Malzeme Bazlı Parametreler	Ürün Bazlı Parametreler
Zehirli Madde İçermeyen Malzeme	Uzun Ömürlülük
Yenilenebilir Malzeme	Tamir Edilebilirlik
Geri Dönüştürülmüş Malzeme	Geri Dönüştürülebilirlik
Geri Dönüştürülebilen Malzeme	Malzeme Verimliliği
	Geliştirilebilirlik (Modüler Yapı)

Uygulanması planlanan strateji çerçevesinde Tablo 3.1.'de verilen parametreler belirlenerek Eko Tasarım stratejisine uyum sağlanması hedeflenmektedir. Malzeme bazlı parametreler için en az birisine ve ürün bazlı parametreler için ise belirtilen tüm parametrelere uyulan bir tasarımın ortaya çıkarılması ile Eko Tasarım stratejisine uyum sağlanabilecektir.

3.2. Tasarım Odaklı Düşünme Metodolojisi ve Konsept Tasarım

Formun tasarlanması ve konseptlerin oluşturulması için tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulanacaktır. Bu çerçevede 5 adet konsept tasarım hazırlanacak, tasarımın gidiş yolu belirlenecektir. Bu aşama, formun tasarlanması için kritik bir öneme sahiptir. Yaratıcılık, işlevsellik gibi ürün özelliklerinin tasarıma tanımlandığı evreyi oluşturmaktadır. Tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulanırken farklı adımlar izlense de genellikle ana başlıklar; araştırma, fikirleştirme ve prototipleme olmaktadır (Vianna vd., 2012). Araştırma evresinde problemin boyutu derinlemesine incelenmektedir. 5N1K olarak adlandırılan ne, nerede, nasıl, niçin, ne zaman, kim sorularına cevap aranmaktadır (Yang vd., 2019). Tasarım kısıtları belirtilmekte ve tasarımın gidişatına bu aşamada yön verilmektedir. Araştırma sonucunda ulaşılan cevaplar birer parametre olarak ele alınmakta ve fikirleştirme fazında konsept çizimlere başlanmaktadır. Bu parametreler tasarımın yeni kısıtları haline geldiğinden konseptlerin de buna uygun olarak yapılması gerekmektedir. Ardından oluşacak konsept tasarımlar prototipleme fazıyla fiziksel model olarak üretilmekte ve tasarımların gerçek bir şekilde görülmesi sağlanmaktadır (Björklund, 2019). Gerekli olması durumunda konsept tasarımlarda revize aşamasına bu model üretiminden sonra geçilmektedir. Böylece tasarımın kısıtlara uyup uymadığı, tasarımın ve çizgilerin kalitesi gibi cevaplara fiziksel model üretimiyle ulaşılabilmektedir. Ancak yapılacak bu örnek uygulamada tasarım odaklı düşünme metodolojisinin prototipleme fazındaki fiziksel üretim uygulanmayacaktır. Konsept

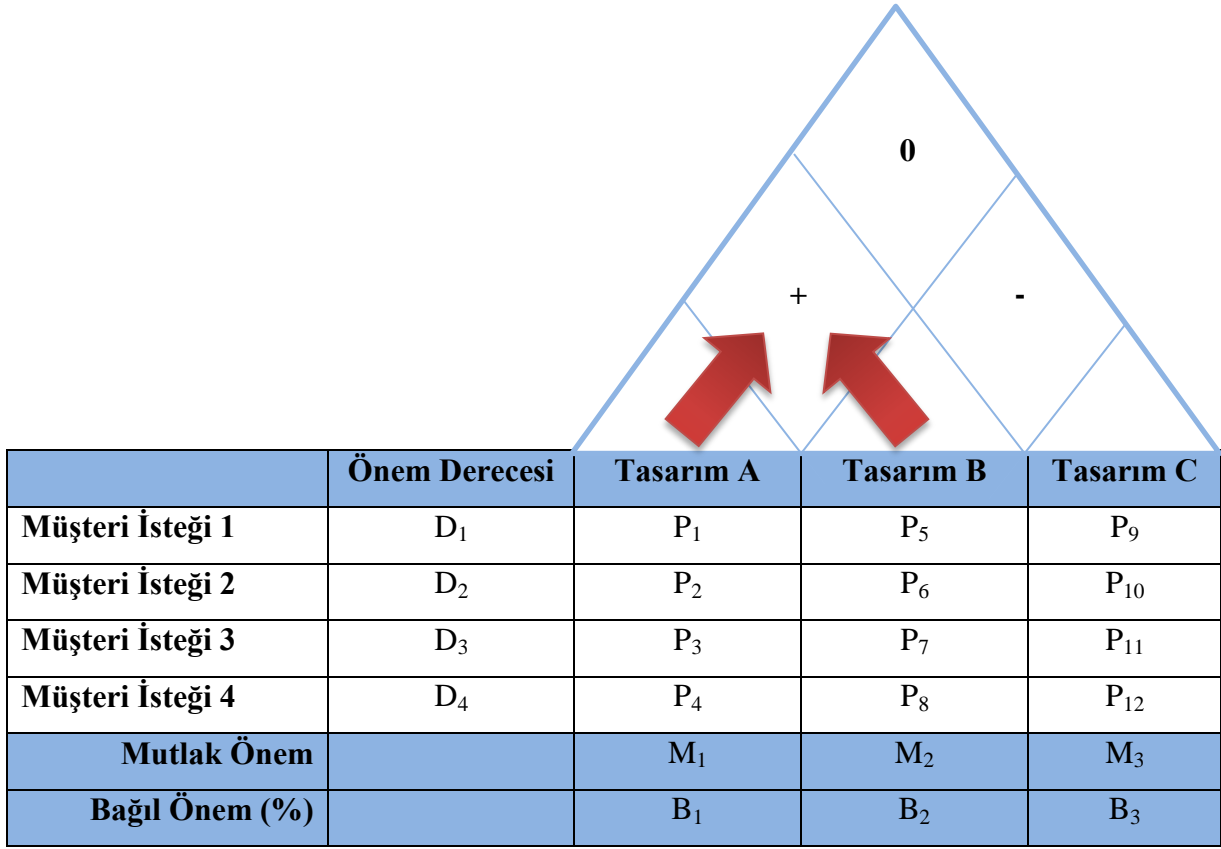
tasarımların 2 boyuttan 3 boyuta bilgisayar destekli tasarım ortamında aktarılması ile tasarımların serbest uzayda görüntülenmesi sağlanacak ve böylece fiziksel üretime konsept tasarım aşamasında girilmeyerek plastik kullanımı ve üretimden kaynaklı emisyonlar azaltılacaktır.

Metodolojinin uygulanması için araştırma fazında storyboarding yani hikayeleme tekniği uygulanacak, sorular ve cevaplar bir panoya yapıştırılarak konsept tasarımların da bu panoya bakılarak tasarlanması sağlanacaktır. Konsepti tasarlanacak farklı form anlayışlarının sayısının beş olması bir kısıt veya tasarım odaklı düşünme metodolojisinin bir parçası olmayıp, bu çalışmayı örnek alarak uygulayacak kurum veya kişilerin imkan, kabiliyet ve uzman personel sayıları gibi parametreler eşliğinde sayıyı arttırıp azaltabilmeleri mümkün olmaktadır. Farklı form anlayışı sayısının artması mükemmele yaklaşılabileceği anlamı taşıırken, bu sayının azalması çalışmayı sınırlayacaktır.

3.3. Kalite Evi Metodolojisi ile Konsept Seçimi

Konseptlerin tasarlanması ile birlikte en uygun konseptin rasyonel bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim için kalite evi metodolojisi olarak adlandırılan bir metot uygulanacaktır. Sonuçların sanayi bakış açısını yansıtmaları için sanayi iş birliği yapılan şirket tarafından konseptlerin kalite evi üzerinden puanlanması istenecektir. Kalite evi, kalite fonksiyonu geliştirmenin bir parçası olarak günümüzde rasyonel ağırlıklandırma ve seçimler yapabilmek için kullanılmaktadır, pazar araştırması tekniklerinin bir parçası olarak literatürde yer almaktadır (Hauser, 1993). Uygulanışına bakıldığında, ne ve nasıl sorularından oluşan satır ve sütundaki özellikler birbirleri ile çaprazlanmakta, ilişki, 1-10, 1-5 gibi değerler üzerinden puanlanmaktadır (Manchulenko, 2001). Genellikle satırlar ne sorusuna ve sütunlar nasıl sorusuna cevap veren parametreler olmakta, Tablo 3.2.'de bulunan üçgen çatı kısım ise birbirleri ile arasındaki ilişkileri (pozitif, negatif, nötr) ifade etmektedir. Farklı bir perspektif olan müşteri ihtiyaçları ve teknik ihtiyaçlar olarak bakıldığında satırlar ne sorusuna yani müşteri ihtiyaçlarını, sütunlar ise nasıl sorusunu yani teknik ihtiyaçları ifade ederek öne çıkan özellik seçimi için kullanılabilen bir metodolojiyi oluşturmaktadır. Ancak bu çalışmada özellik seçimi için değil, tasarım seçimi için kullanılacağından nasıl sorusu yerini tasarımlar, ne sorusu yerini ise teknik kriterler alacaktır. Bu nedenle de Tablo 3.2.'de görülen çatı kısım çalışmada uygulanmayacak olup, tasarımlar arasında ilişki yönü olması gereken bir veriyi ifade etmeyecektir ve ayrıca 'Müşteri İsteği' yazan satırlar yerini teknik kriterlere bırakacaktır.

Tablo 3.2. Örnek Görsel Anlatımlı Kalite Evi Tablosu



	Önem Derecesi	Tasarım A	Tasarım B	Tasarım C
Müşteri İsteği 1	D ₁	P ₁	P ₅	P ₉
Müşteri İsteği 2	D ₂	P ₂	P ₆	P ₁₀
Müşteri İsteği 3	D ₃	P ₃	P ₇	P ₁₁
Müşteri İsteği 4	D ₄	P ₄	P ₈	P ₁₂
Mutlak Önem		M ₁	M ₂	M ₃
Bağlı Önem (%)		B ₁	B ₂	B ₃

Tablo 3.2.'de görülen çatı kısmın ayakları, ok yönündeki sütun kutucuklarını göstererek birbirleri arasındaki ilişkiyi pozitif (+), negatif (-) veya nötr (o) olarak ifade etmektedir. İlişkilere göre teknik olarak satır ve sütunlar çaprazlanmakta ve toplam değerler en alt satıra yazılmaktadır.

Bu çalışmada önem derecesi olarak adlandırılan kısımdaki puanlamalar yani 'D' ile ifade edilen değerler ve Tasarım A, B, C gibi sütunların 'P' olarak ifade edilen değerleri sanayi iş birliği içerisindeki şirket tarafından, oluşturulacak konsept tasarımlara istinaden verilecektir. Puanlamalar 1-10 arasında değer alacak olup, 'M' ile toplam sütun değerleri, 'B' ile toplam çalışma içindeki tasarımın yüzdece ağırlığı görülecektir. Örnek olarak M₂ değeri,

$$\sum M_2 = (P_5 \times D_1) + (P_6 \times D_2) + (P_7 \times D_3) + (P_8 \times D_4) \quad (3.1)$$

denklem 3.1'de ifade edilen şekilde hesaplanarak mutlak önem puanı belirlenmektedir. Bağlı önem yani B₃ gibi bir değer hesaplanırken önce toplam M,

$$\sum M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (3.2)$$

denklem 3.2'de ifade edilen şekilde bulunur. Ardından,

$$B_3 \text{ yüzdesi için } \frac{M_3}{\Sigma M} \times 100 \quad (3.3)$$

denklem 3.3’de ifade edilen hesaplamalar uygulanarak bağıl önem değerleri hesaplanmaktadır (Güllü ve Ulçay, 2002). Bu şartlar altında kalite evi metodolojisi uygulanarak en uygun tasarımın seçilmesi, içerisindeki parametrelerin puanlama ile ağırlıklandırılmasına göre seçilebilmektedir.

3.4. Malzeme Seçimi, Karbon Emisyonları ve Karışım Kuralı Yaklaşımı

Konsept seçim aşamasıyla birlikte çalışmanın kritik aşaması olan malzeme seçimine geçilecektir. Malzeme seçimi için literatürde görülen elektrikli araç şarj istasyonlarının birçoğunun ana malzemesinin akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) ve polikarbonat (PC) olduğu, gerek atmosferik şartlara dayanımı gerekse de maliyet-performans açısından seçilmesinin uygun olduğu görülmektedir (Canbulat & Savaş, 2023; Mura vd., 2018). Ancak malzeme seçimi için uygulanacak metodoloji olan karışım kuralı metodolojisi ile direkt olarak %100 ABS veya PC kullanılıp kullanılmayacağına yönelik olarak karışım oranları belirlenecektir. Bilgisayar destekli tasarım ve analiz sistemlerinde kullanılmak üzere ANSYS şirketinin akademik amaçlı paylaştığı malzeme veri seti eşliğinde çalışma ilerleyecektir.

Tablo 3.3. ANSYS Şirketinin Sağladığı ABS ve PC Malzemelerine Ait Özellikler

Mekanik Özellikler	Yoğunluk (kg/m ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Young’s Modulus (GPa)	Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})	Fiyat (US Dolar/ kg)
ABS	1100	41.5	35	2	1.2 - 4.3	2.55
PC	1150	66	64.5	2.2	2.1 - 4.6	4.85
Termal Özellikler	T _g (°C)	Özgül Isı (J/kg.°C)	T İletkenliği (W/m/K)	T Genişlemesi (10 ⁻⁶ /°C)	Direnç (µohm.cm)	Dielektrik Sabiti (-)
ABS	88 - 130	1650	0.265	85 - 230	3.3 x10 ²¹ - 30 x10 ²¹	3
PC	140 - 200	1550	0.205	120 - 140	100 x10 ¹⁸ - 1 x10 ²¹	3.2
Çevresel Özellikler		Enerji (MJ/kg)		Karbon (kg/kg)		Su (L/kg)
ABS		95		3.8		180
PC		105		6.05		175

Tablo 3.3.'de ANSYS şirketinin paylaştığı veri seti bulunmaktadır (Ashby, 2021). Veri setinde, çalışmada kullanılması planlanan ana malzemelere ait mekanik, termal, çevresel özellikler ve fiyat gibi verilere ulaşılmıştır. Bu noktadan sonra, ABS ve PC malzemeleri için söz konusu özelliklerin Autodesk Fusion360'a gerekli tanımlamaları yapılacaktır.

CCaLC 2 yazılımı üzerinden EcoInvent Material Database'e erişildiğinde ise ABS ve PC malzemeleri için daha kapsamlı karbon verilerine ulaşılmıştır.

Tablo 3.4. EcoInvent Material Database Üzerinden ABS ve PC Malzeme Emisyon Değerleri

Ham Madde	Miktar (kg)	CO ₂ eş değeri faktörü (kg/kg ham madde)	CO ₂ eşdeğeri (kg)
ABS	1000	4.40	4403
PC	1000	7.79	7788
Toplam:	2000	Toplam:	12191

Tablo 3.4.'de görülen emisyon değerlerine bakıldığında, ANSYS verilerinin aksine yalnızca karbon değeri verilmemiş olup, CO₂ eş değeri ile diğer sera gazlarını da içeren bir birim kullanılmıştır. Bu durum, karbon emisyonu yanında hesaplanan diğer sera gazlarının boyutu açısından bilgi verici olmuştur. Tablo 3.4.'de Toplam CO₂ eşdeğeri verisi hesaplanırken,

$$\sum CO_2eşd. = Miktar \times CO_2eşd. \quad (3.4)$$

denklemi kullanılmış olup, CO₂eşd. ile ifade edilen değer ise CO₂ eş değeri faktörü olmuştur (Canbulat & Savaş, 2023). Böylece malzemeye ait emisyon değeri katsayısı ve kullanılan miktar çarpılarak toplam emisyon miktarı CO₂ ve eş değeri gazlar bakımından hesaplanabilmektedir.

Malzeme seçim metodolojisinde karışım oranlarına göre çeşitli malzeme özelliklerine ulaşılabilmesi ve bu çeşitli özelliklerin de bilgisayar destekli analiz üzerinden analiz edilebilmesi için karışım kuralı metodolojisi kullanılacaktır. Karışım kuralı metodolojisine göre malzemenin karıştırılma oranına (pellet halinde karıştırılma) göre eşit oranda özellikler de artmakta veya azalmaktadır. Bu durum, %10 ABS ve %90 PC malzemesi karıştırılma durumlarında 1 ve 9 oranında mekanik, termal, çevresel ve fiyat özelliklerini de hesaplamanın yolunu açmaktadır. 1/10 oranında ABS çekme dayanımı ve 9/10 oranında PC çekme dayanımının toplanarak yeni çekme dayanımı elde edilmesi, bu metodolojinin temel mantığını ifade etmektedir. Denklem olarak ifade edildiğinde ise,

$$\sigma = (\sigma_A \times V_A) + (\sigma_B \times V_B) \quad (3.5)$$

3.5’de görülen denklem uygulanmakta, σ_A ifadesi ile A malzemesinde tahmin edilmek istenen özellik V_A ile çarpılmakta (yüzdece değer örneğin; 40/100) yani karışım oranı ile A malzemesinin özelliği çarpılarak o malzemeden ne kadar değer aldığı belirtilmektedir, σ ifadesi de karışımı yapılmış malzeme için hesaplanan özelliğin değerini göstermektedir (You vd., 2017). B ile ifade edilenler de karışımdaki diğer malzemeyi göstermektedir. Ancak karışım kuralı metodolojisinin bir problemi bulunmaktadır. Karışım kuralı malzeme özelliklerini karıştırmadan tahmin etmek üzerine kurgulanmış bir metodolojidir ve her özelliğin tahmin edilmesi sadece karışım oranına bağlı değildir. Bu nedenle karışım kuralı metodolojisi uygulanarak karıştırılacak iki farklı granül halde termoplastik malzemede Tablo 3.3.’e göre şu özelliklerin tahmin edilmesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır; yoğunluk, çekme dayanımı, akma dayanımı, young’s modulus, fiyat, sera gazı emisyonu (You vd., 2017; de Gortari vd., 2020; Zare & Rhee, 2018).

3.5. Güvenlik Faktörü ve Malzeme Tanımlanmış Parça Analizleri

Karışım kuralı metodolojisi ile malzeme karışımlarına ait özellikler belirlendikten sonra bilgisayar destekli analiz veya bir diğer adıyla bilgisayar destekli mühendislik aşamasına geçilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, Autodesk Fusion360 yazılımı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilmiş parçaya statik stres analizleri uygulanacaktır. Analizlerin uygulanması sürecinde karışım kuralı metodolojisi kullanılarak oluşturulan malzeme varyantları ve özellikleri yeni malzeme tanımlama ekranından yazılıma tanımlanacaktır. Malzeme varyantları belirlenirken karışım kuralı metodolojisi yüzde 10’luk değişimlerle oluşturulacak ve analiz sonucunda çok yakın sonuç değerleri bulunması durumunda yüzde 5 ve yüzde 1 gibi değişimler ile daha net hesaplamalara gidilmesi sağlanacaktır. Böylece en etkin karışım oranı ortaya çıkarılacaktır.

Güvenlik faktörü olarak adlandırılan katsayı, statik stres analizinde de ortaya çıkabilen bir veri olup, analiz edilen parça veya parçaların tanımlanmış yük altında ne tür bir durumda olduğunu gösteren bir derecelendirmeyi ifade etmektedir. Bu derecelendirmede 1 ve altında değer alan kısımlar parçanın zayıf noktalarını, 1-3 arasında değer alan kısımlar kabul edilebilir fakat tam performans göstermeyecek kısımları, 3-6 arasında değer alan kısımlar en etkin sağlamlığı göstereceği, 6 ve üzerinde değer alan kısımların da gereğinden fazla iyi olduğunu göstermektedir (Fiedler, 2018). Güvenlik faktörü,

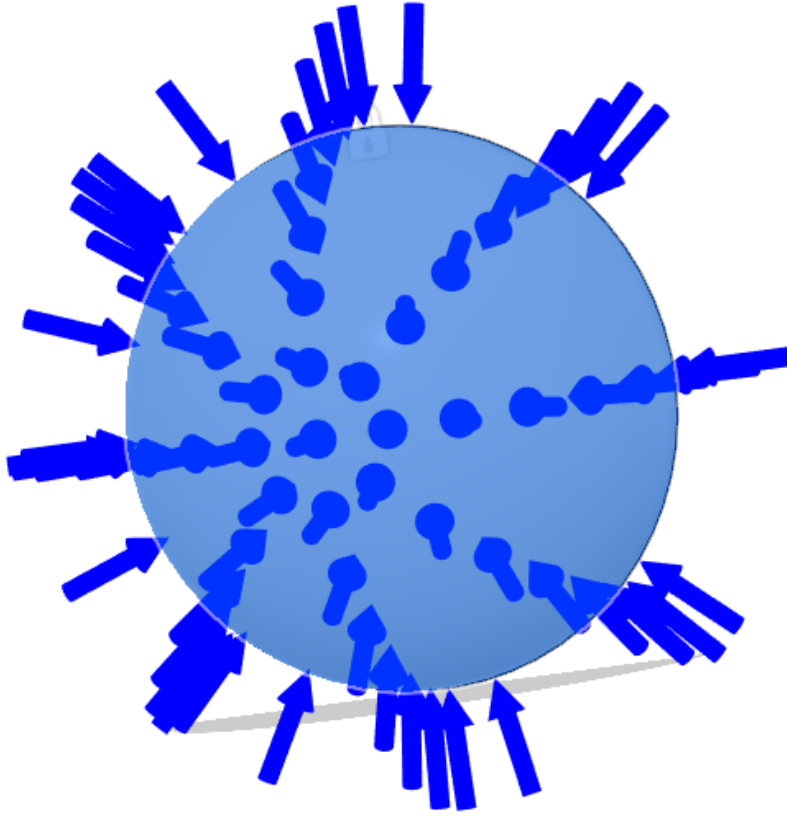
$$GF = \frac{MS}{AS} \quad (3.6)$$

denklem 3.6'da ifade edilen şekilde hesaplanabilmektedir, burada GF ile gösterilen değer güvenlik faktörünü, MS ile gösterilen değer malzeme gücünü, AS ile gösterilen değer ise tanımlanmış stresi göstermektedir. Buradaki hesaplamada MS ile gösterilen değer, malzemenin akma dayanımı değerini alacak ve böylece belirtilen stres altında malzemenin plastik şekil değiştirmeye uğrayacağı veya kırılacağı durumları gözler önüne serecektir (Rizki vd., 2024). Bilgisayar destekli analizler yapılırken parçanın kütlesi de tanımlanacak malzeme varyantlarına oranla sürekli değişecektir, malzeme yoğunlukları karışım kuralı metodolojisi kapsamında sürekli değişim gösterecek olup, parça boyutu sabit olmasına rağmen kütle değişecektir. Bu durumu ifade eden denklem ise,

$$m = V \times d \quad (3.7)$$

3.7'de gösterilmiştir, buradaki m değeri kütleyi, V değeri hacmi ve d değeri yoğunluğu göstermektedir (Hawkes, 2004). Belirtilen ifadedeki şekliyle parça boyutu yani V sabit iken d değerindeki değişimler parça kütlesini yani m değerini değiştirecektir.

Bilgisayar destekli analiz uygulamalarında kritik noktalardan birisini de tanımlanacak olan analiz kısıtlamaları oluşturmaktadır. Oluşacak strese göre güvenlik faktörü değeri belirleneceğinden analiz kısıtlarının neler olduğu ve nasıl olduğu büyük bir önem taşımaktadır. Ürünün kullanım şekline göre duvara monte edildiği kısım analizlerde sabit nokta olarak tanımlanacak ve gerek olması durumunda analizler referans oda sıcaklığı değeri olan 25 °C'da gerçekleştirilecektir (Shackelford, 2014). Yer çekimi tanımlamaları analizde de yapılacak olup değeri 9.807 m / s² olacaktır. Analizlerde ürüne uygulanacak kuvvet yönü, her yönden yani X, Y, Z eksenleri boyunca + ve – yüzeyleri olmak üzere uygulanacak ve sabit kısımdan kuvvet uygulanmayacaktır. Kuvvet büyüklüklerine bakıldığında ise söz konusu yönlerden toplam olarak 1000 N değerinde uygulanacaktır.



Şekil 3.2. Analiz Yazılımında Kuvvetlerin Uygulanma Yönleri

Şekil 3.2.'de görülen ok yönlerinde kuvvetler uygulanacaktır. Arka kısım sabitleme yeri olduğundan o yönden kuvvet uygulanmayacaktır.

4. BULGULAR

Belirlenen yöntemler ve şekil 3.2.'de yer alan akış diyagramına göre izlenecek metodolojiler halihazırda belirlenmiştir. Bu bölümde, metodolojilerin sırayla uygulandığı ve çalışmanın örnek uygulama boyutunun tamamlandığı görülecektir. Etki ve kapsamı bakımından uygulanması gereken strateji olan Eko Tasarım stratejisi ile tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulanmış, ürüne ait 5 farklı konsept ortaya konulmuştur. Sanayi iş birliği içerisindeki şirketin görüşleri doğrultusunda kalite evi metodolojisi ile konsept seçimi gerçekleştirilmiş ve bu noktada önerilere göre seçilen konseptin son hali belirlenmiştir. Ardından malzeme opsiyonlarına yönelik veri seti oluşturulmuş, son hali geliştirilen tasarım üzerinden analizler uygulanmıştır. Önceliklere göre malzeme seçimleri gerçekleştirilmiş, ürünün direkt olarak endüstriyel tasarımı üzerinden emisyonlarının nasıl değiştirilebileceği gözler önüne serilmiştir. Yapılan seçimlere göre fiziksel model üretilmiş, örnek uygulama tamamlanmıştır.

4.1. Sürdürülebilir Tasarım ve Tasarım Odaklı Düşünme Metodolojileri ile Oluşturulan Konsept Tasarımlar

Örnek uygulamanın temel tasarım stratejisi için belirlenen Eko Tasarım stratejisi, ürünün uzun ömürlü olmasını, tamir edilebilir yapıda olmasını, geri dönüştürülebilir olmasını, malzeme verimliliği açısından etkin olmasını, modüler bir yapıda üretilerek sonradan geliştirilebilir olmasını, yani dış tasarımın aynı olduğu ve iç elektronik parçaların farklı özelliklerde entegre edilebildiği modüler bir yapı gerektirmektedir. Dolayısıyla söz konusu parametreler göz önünde bulundurularak konsept seçimi gerçekleştirilecek ve böylece Eko tasarım gerekliliklerine uyum sağlanacaktır. Bu nedenle, kalite evi kapsamında yapılacak puanlamalara Eko Tasarım stratejisi gerekliliği için söz konusu parametreler tanımlanarak konseptlerin seçilmesi sağlanacaktır. Sürdürülebilir tasarım stratejisinin uygulanması yönündeki bir diğer husus ise, zehirli madde içermeyen, yenilenebilir, geri dönüştürülebilir, geri dönüştürülmüş malzeme olması olmuştur. Çalışma kapsamının endüstriyel tasarım ve sürdürülebilir tasarım disiplinleri ile sınırlı olması, malzeme bazlı Eko Tasarım parametrelerinin göz ardı edilmesini sağlamaktadır. Bu noktada ABS ve PC malzemeleri, elektronik ve mühendislik kısıtlardan dolayı belirlenen ürün için bir endüstri standardı olarak karşımıza çıkmakta ve sanayi iş birliği yapılan şirketin üretilebilirlik taleplerinden dolayı da çalışmanın bir kısıtı olmaktadır. AB Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması (RoHS) Direktifi'ne uyumlu ABS ve PC malzemelerin de literatürde var olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle

çalışmadaki konsept seçiminde Eko Tasarım stratejisinin Tablo 3.1.'de belirtilen ürün bazı parametreleri ele alınarak seçimler gerçekleştirilmiştir.

Tasarım odaklı düşünme metodolojisi, tasarımın çeşitli parametrelerle yönlendirildiği ve ortaya çıkarıldığı bir metodoloji olmuştur. Bu çalışmadaki tasarım odaklı düşünme metodolojisinin uygulanışı ise araştırma ve fikirleştirme aşamalarını ele alarak gerçekleşmiştir. Araştırma aşamasında 5N1K olarak soruların cevapları belirlenmiştir. Bu sorulara verilen cevapların dışında çalışmanın kısıtları olan bazı unsurlar da bulunmaktadır. Sanayi iş birliği gerçekleştirilen şirket ile üretilebilir somut bir çalışma olması için belirlenmiş çalışma kısıtları; elektronik iç parçalar, ürün ölçüleri, ABS ve PC malzeme kullanım gerekliliği, plastik enjeksiyon kalıplama ile üretilebilirlik, Almanya ahşap evleriyle uyumlu tasarım, tasarımda doğa dostu ürün algısı, kabuk yapının azami kütesinin ortalama 2240 gram olması olmuştur.

Tablo 4.1. 5N1K Soru ve Cevapları

Sorular	Cevaplar
Ne?	<ul style="list-style-type: none">• 22 kW Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
Nerede?	<ul style="list-style-type: none">• Dış mekan veya garajlarda• Almanya kırsal bölgeleri ile uyumlu (tarihi yapısal formda ahşap evler)
Nasıl?	<ul style="list-style-type: none">• Alternatif akım• Type 2 Girişli
Niçin?	<ul style="list-style-type: none">• Elektrikli araçların yaygınlaşması ve şarj sürelerinin uzun olması, bireysel olarak evde şarj aleti kullanımını tetiklemektedir.
Ne Zaman?	<ul style="list-style-type: none">• Şarj işlemi 4 mevsim, 24 saat gerekebilen bir işlemdir. Bu nedenle ürünün çeşitli şartlarda çalışabilmesi gerekmektedir.
Kim?	<ul style="list-style-type: none">• Kullanıcılar; her yaştan yetişkinler, her cinsiyetten, her meslek grubundan olabilmektedir.• Bireysel kullanıcılara yönelik

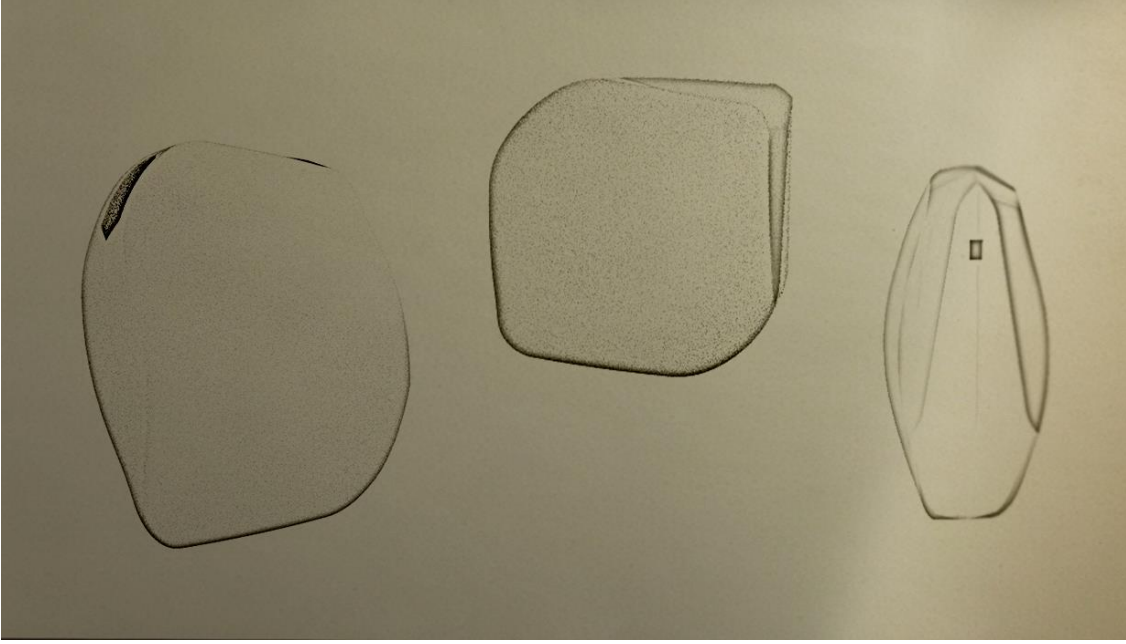
Tasarım odaklı düşünme metodolojisinin araştırma aşaması için sorulan 5N1K sorularına ait cevaplar Tablo 4.1.'de verilmiştir. Bu cevaplar, fikirleştirme aşamasında tasarımın şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Tablo 4.2. Kısıt Olarak Verilen Elektronik İç Parçalar, Kütle ve Ölçü Bilgileri

Parça Adı	Kütle (gram)	Ölçüler (en x boy x yükseklik)
Ana elektronik parçalar	1798	210 x 210 x 95 mm
Ana elektronikleri koruyucu polikarbonat levha	55	180 x 85 x 3 mm
Type 2 şarj kablosu	2000	Çap 10 mm, uzunluk 2.5 m
Elektrik bağlantı kablosu	355	Çap 10 mm, uzunluk 75 cm

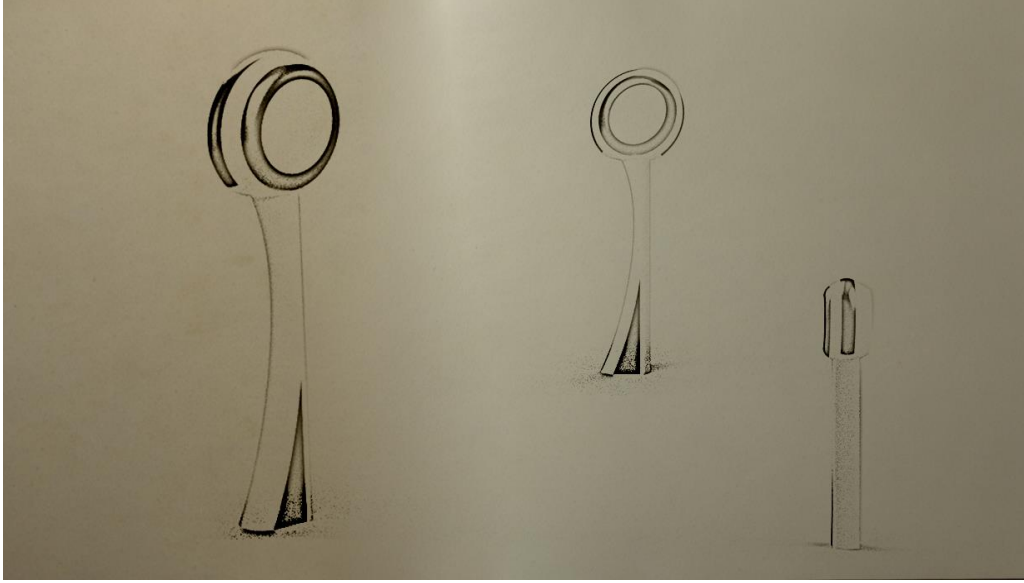
Örnek uygulamanın üretilebilir bir şekilde yapılabilmesi için sanayi iş birliği yapılan şirket tarafından sağlanan elektronik parçalara ait teknik bilgiler Tablo 4.2.'de verilmiştir. Bu bilgiler eşliğinde konsept tasarımların mühendislik tasarımları oluşturulacaktır. Söz konusu bilgilere uyum sağlanması mecburi bir durum olduğundan, kısıt olarak tanımlanmaktadır.

Tasarım odaklı düşünme metodolojisinin fikirleştirme aşaması kapsamında 5 adet konsept tasarım gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.'de verilen bilgiler eşliğinde yapılan konsept tasarım çalışmalarından en uygunu, Eko Tasarım stratejisinin getirdiği parametreler ve üretilebilirlik kapsamında iş birliği yapılan şirket görüşleri ile kalite evi metodolojisi üzerinden seçilmektedir. Tasarım odaklı düşünme metodolojisi kapsamında kullanıcı araştırmaları yapılmamış olup, iş birliği yapılan şirket tarafından varsayımsal kullanıcı olarak veriler sağlanmıştır. Buna göre varsayımsal kullanıcı tanımlamaları; 18-60 yaş aralığı, kadın ve erkek, orta ve üst gelir düzeyi, lise ve üzeri eğitim seviyesi, şehir veya şehir yakınlarında yaşayan, elektrikli araç sahibi, elektrikli araçlarını evlerinde kolayca şarj etmek isteyen, ürünün uzun ömürlü, güvenilir, dayanıklı ve tamir edilebilir olmasını bekleyen, sürdürülebilirliğe ve geri dönüşüme önem veren şeklinde yapılmıştır. Tüm konseptler bu varsayımsal kullanıcıya göre tasarlanmıştır.



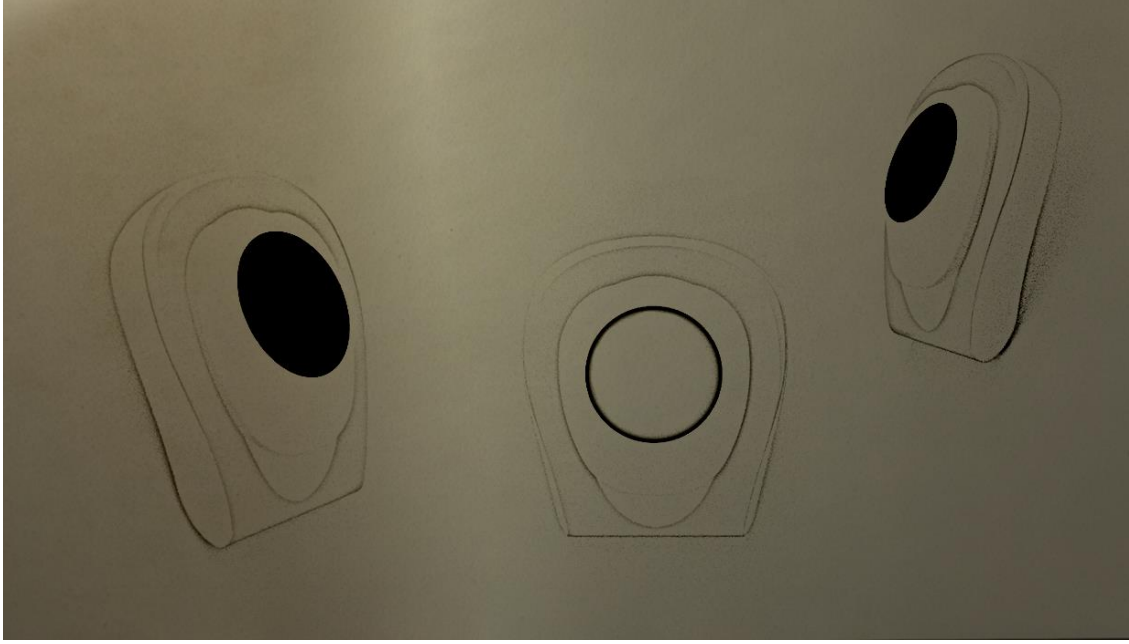
Şekil 4.1. Konsept -1'e ait Eskizler

Elektronik parçaların formun merkezinde toplandığı bir gövde yapısı tasarımı Şekil 4.1.'de gösterilmektedir. Bu konsept, geleneksel Alman evlerinin keskin hatlarının ve geometrik formlarının aksine daha organik ve doğal bir kontrast oluşturmaktadır. Bu kontrast, ürünün dikkat çekmesini sağlarken, aynı zamanda doğa ile uyumlu bir yaklaşımı da vurgulamaktadır. Varsayımsal kullanıcımızın estetik beklentilerini karşılamak için organik bir formda tasarlanmıştır. Formdaki organik hatlar, iç elektronik parçaların dizilimi için daha esnek ve geniş alan sağlamaktadır. Elektronik parçaların merkezde özel bir alana konularak kullanıcı güvenliği sağlanması beklenmektedir. Belirli noktalarda parça kalınlığı arttığından sağlam ve modüler bir tasarıma sahip olması düşünülmüştür. Modülerlik olarak, iç alan kullanımındaki genişlik daha düşük güçte şarj edebilen AC şarj istasyonlarını da kapsayan tek bir dış kabuk yapı tasarımını ifade etmektedir. Ayrıca, modülerlik ve tamir edilebilirlik ilişkisi bağlamında parçaların tamamen mekanik olarak birbirleri ile birleştirileceği, bu sebeple de kırılan parçaların veya elektronik parçaların hasar alması durumunda sökme işlemi gerçekleştirilerek hasarlı parçalar değiştirilebilecektir. Aynı zamanda diğer AC şarj istasyonu kapasitelerini de içereceğinden, tamir işlemi dış kabuk için tüm ürün gruplarında aynı olacaktır. Tasarımın temel şekillendiricisi, nerede sorusu olan Alman geleneksel evleri ile uyumluluk olmuştur. Geri dönüştürülmüş termoplastik malzeme kullanılarak üretilmesi ile Eko Tasarım stratejisine daha çok uyum sağlayabileceği düşünülmüştür.



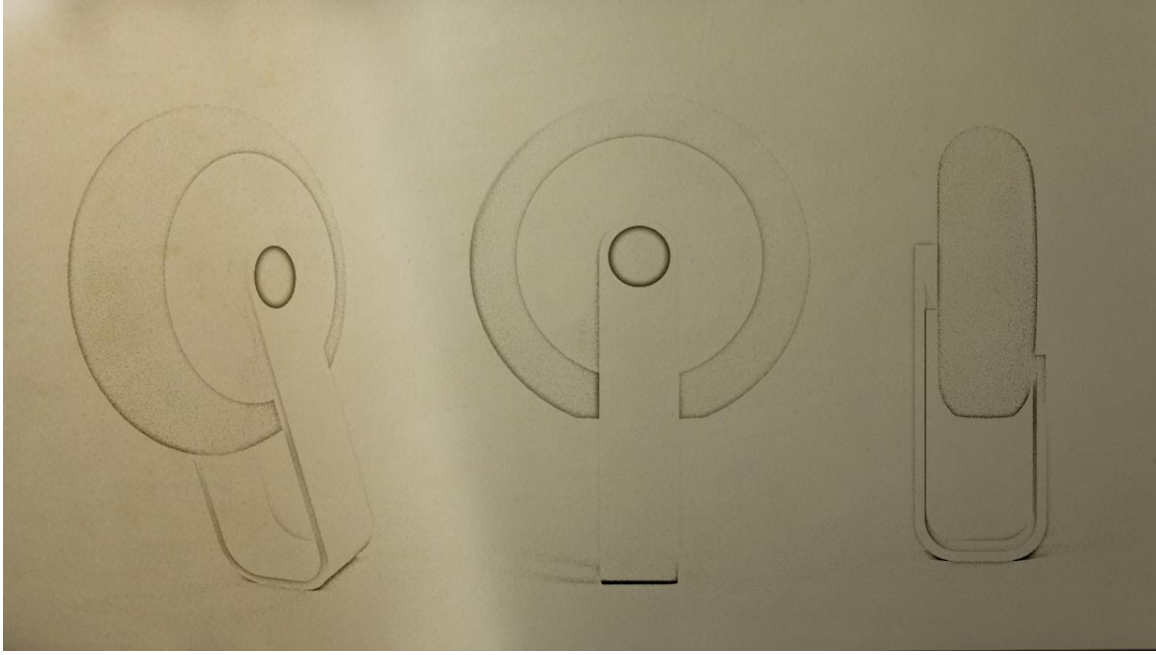
Şekil 4.2. Konsept -2'ye ait Eskizler

Ahşap evlerin birbirleri ile sıralı mahalli yapısı düşüncesi üzerinden postmodernist bir tasarım yaklaşımıyla gerçekleştirilen tasarıma ait görsel Şekil 4.2.'de verilmiştir. Ahşap evlerin çitleri ve dış mekanlardaki asılı tabelaların birbirleri arasındaki asimetrik uyumuna atıf yapılarak postmodernist bir yaklaşımla konsept tasarlanmıştır. Ürüne tanımlanacak renkler ile ürünün Orta Çağ, Rönesans atmosferine veya modern ortamlara uyum sağlayabileceği düşünülmüştür. Nerede ve kim soruları bu tasarımın şekillenmesinde etkili sorular olmuştur. Alman geleneksel evlerine yönelik ve yetişkin yaş gruplarında eski aletler ile teknolojiyi uyumlu bir şekilde iç içe görmek isteyen insan kitlesi için etkili bir tasarım olmuştur. Metal kullanımı bu tasarımında bir mecburiyet olacaktır, aksi durumda strüktürel dayanımda problemler oluşması beklenmektedir. Metal malzeme ve termoplastik malzemelerin birlikte kullanılarak konseptin üretilebileceği, metal malzeme tarafında geri dönüştürülmüş metallerin tercih edilebileceği düşünülmüştür. Metal ayak, erkek ve dişi parçalardan oluşan termoplastik baş kısmıyla birlikte üç parçadan oluşması planlanmıştır. Tüm parçaların birbirleri ile mekanik olarak birleştirilmesi sayesinde tamir edilebilirliğinde bir problem olmayacağı düşünülmüştür. Ancak, modülerlik bu konseptte çok verimli olmamış olup, iç parçaların kütlesine göre ayak parçasının da dayanımı artması gerekeceğinden en büyük kütleye sahip iç parçalarda en iyi performansı gösterecek ve uzun ömürlü olarak kullanılacak malzemeler seçilmesi gerekecektir. Bu durum, emisyon ve maliyetleri arttıracaktır. Varsayımsal kullanımımızın uzun ömürlü ve güvenilir bir ürün beklentisine cevap verebilmek için bu konsept tasarlanmıştır.



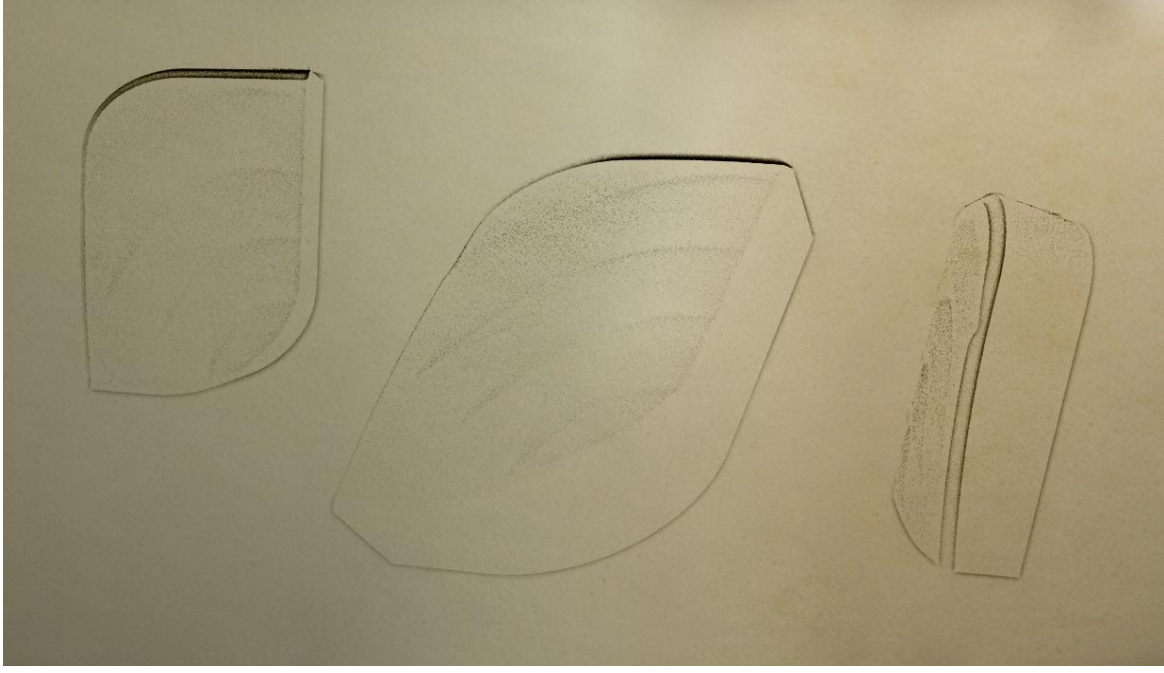
Şekil 4.3. Konsept -3'e ait Eskizler

Yumuşak hatlarla fütürist bir görünümün arandığı bir diğer konseptte ait eskizler ise Şekil 4.3.'te verilmiştir. Bu tasarımda ön yüzeyde dairesel bir ekran bulunmaktadır. Bu ekrandan kaynaklı olarak teknolojik bir form algısı verilmiştir. Düzgün geometriler ve bükümlü form yapısı birleştiğinde ileri teknoloji ürün algısını öne çıkartmakta ve ürünün plastik veya metal olduğunu hissettirmektedir. Bu nedenle söz konusu tasarımda fütürist yaklaşım ağırlığı fazla olmuştur. Kim, nasıl ve niçin soruları, bu tasarımın esas yönlendiricileridir. Yetişkin kişilerin kullanımı kolay ve ergonomik bir şekilde araçlarını şarj etme ihtiyacı doğrultusunda tasarım şekillenmiştir. Kompakt yapı, ürünün sağlamlığını ve modülerliğini öne çıkarmaktadır. Diğer konseptlerin aksine, erkek ve dişi parçanın birleştirilmesi değil, katman katman üç parçanın üst üste montajından ürün ortaya çıkacaktır. Mekanik birleştirme teknikleri uygulanacak olan bu konseptte sağlamlık ve teknoloji ön planda olmuştur. Tamir edilebilirlik olarak bakıldığında kabuk strüktürü oluşturan parça sayısının fazla olması ve parçaların daha küçük hacimlerde olması tamir kaynaklı yedek parça emisyonlarını da düşürecektir. Tek gövdede alt kapasite AC şarj teknolojilerini de içerebileceğinden modülerlik ile uyumluluğu bu noktada vurgulanmıştır. Konseptin genel hatları itibariyle termoplastik malzeme kullanılması planlanmıştır. Varsayımsal kullanımımızın farklı ihtiyaçlarına kolayca adapte olabilmek amacıyla, bu modüler tasarımda farklı teknolojiler ve arayüzler entegre edilebilmektedir. Geri dönüştürülmüş termoplastiklerin kullanılması bu konseptte mümkün bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Konsept -4'e ait Eskizler

Asimetrik yapının aksine simetrik ve sade bir tasarım yaklaşımının tercih edildiği konseptte ait eskizler Şekil 4.4.'te verilmiştir. Alman geleneksel evlerinin doğal görünümünü bozmayacak minimal bir yaklaşım sunulmaya çalışılırken bir o kadar da dikkat çekici bir form sunulmuştur. Bu çerçevede tasarımın temel şekillendiricisi nerede sorusu olmuştur. Kollu yapısının ahşap doku ve ana gövdenin beyaz tonları gibi sade renkler tercih edildiği durumlarda ürünün doğa dostu bir ürün olduğu algısı öne çıkarılabilecektir. Farklı renk tonları ve dairesel forma eklenecek ışık desenleri ile ürünü fütürist hale getirmek de mümkün görünmektedir. Formun minimalistliği, iç parçaların yerleşimi için rahat bir alan sağlamaktadır. Konseptin üç gövde parçasından oluşması planlanmıştır. Bunlar; gövde için kabuk strüktürde erkek ve dişi parça olup, kol için dolu strüktür tek parça düşünülmüştür. Tasarımın hasar alacağı parçanın taşıyıcı kol kısmı olacağı öngörüldüğünden ahşap parçanın değiştirilmesi ile emisyonların önüne geçilerek tamir işleminin gerçekleşeceği düşünülmüştür. Diğer AC şarj kapasitelerindeki teknolojiler için de tek gövde kullanılacağından modüler bir tasarım bu konseptte de ön plandadır. Gövde için termoplastik, kol kısmında ahşap malzeme kullanılması düşünülmüştür. Varsayımsal kullanıcımızın estetik beklentilerini karşılamak için bu tasarım, sade ve minimalist bir formda tasarlanmıştır. Düzgün geometriler ve minimal tasarım, geri dönüştürülmüş/performansı azalmış termoplastik kullanımını destekleyen bir tasarım sunmuştur. Performansı azalan malzemelerin iç tasarımda dayanıklılığı destekleyici bir şekilde miktarı artırılarak ürün dayanımı artırılabilir.



Şekil 4.5. Konsept -5'e ait Eskizler

Organik, akışkan ve dinamik bir form kullanılarak kullanıcıyı yönlendiren konseptte ait görsel Şekil 4.5.'te verilmiştir. Yaprak veya bir kaya parçasını andıran bu tasarım, doğayla uyumlu bir görünüm hedeflemektedir. Farklı açılardan bakıldığında çeşitli formlar sunan bu tasarım, dinamik bir yapıya sahiptir. Tasarımın ana hatları, kullanıcılara doğal ve modern bir his sunarken, aynı zamanda dikkat çekici bir estetik sunmayı da amaçlamaktadır. Nerede ve ne zaman soruları tasarımın ana yönlendiricileri olmuştur. Alman geleneksel evleri ve ormanları vurgulanırken Almanya'nın ormanlarının fazla oluşundan kaynaklı bahar yaprakları göndermesi ile tasarım ortaya çıkmıştır. Ana gövdede beyaz, gri tonları, kenarlıklarda yeşil gibi kendini öne çıkaran renk tonları ile farklı kombinasyonlar sağlanarak hem modern hem de tarihi yerlere uygun bir ürün olabilecektir. Akışkan formun ürünün mekanik performansını arttıracığı düşünülmüştür. Elektronik parçalarla uyumluluğun üst düzeyde olacağı bir gövde tasarımına sahiptir. Varsayımsal kullanımımızın çevreye duyarlılığı göz önünde bulundurularak, geri dönüştürülmüş termoplastik malzeme kullanımına uygun bir tasarımdır. Modülerlik, diğer AC şarj kapasitelerindeki teknolojilerle uyumluluktan kaynaklı tek gövde anlayışı ile sağlanmaktadır. Parçaların erkek ve dişi olmak üzere kabuk strüktürde iki parçadan oluşacağı düşünülmüştür. Mekanik birleştirme dışında bir birleştirme yöntemi kullanılmayacak olup, tamir edilebilirlik bu konseptte de desteklenmektedir. Elektronik veya mekanik parçaların hasar alması durumunda mekanik birleştirme noktalarından demonte işlemi gerçekleştirilerek tamir sağlanabilecektir. Mekanik parçalarda diğer kapasitelerdeki ürün gruplarıyla aynı tasarım uygulanacağından süreç daha az maddi gider oluşturacaktır.

Genel ürün hatları itibariyle geri dönüştürülmüş termoplastik malzeme kullanılabileceği düşünülmüştür.

Tasarlanan konseptlerde gerek hedef bölge kısıtları gerek de ürün grubunun fütürist olmasından kaynaklı eskiyi anımsatan, kontrast oluşturan tasarımlar üzerinden mekan ile uyum arayışına gidilmiştir. Pazardaki diğer rakiplerin de genel çizgide fütürist ürünler çıkarıyor olması, organik formların kontrast oluşturmamasından kaynaklı olarak tercih edilebilirliği arttırdığı düşünülerek bu tür tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Eski ve yeni arasında köprü olacak yumuşak hatlara sahip tasarımlar üzerinden konsept geliştirme aşaması tamamlanmıştır.

4.2. Kalite Evi ve Konsept Seçimi

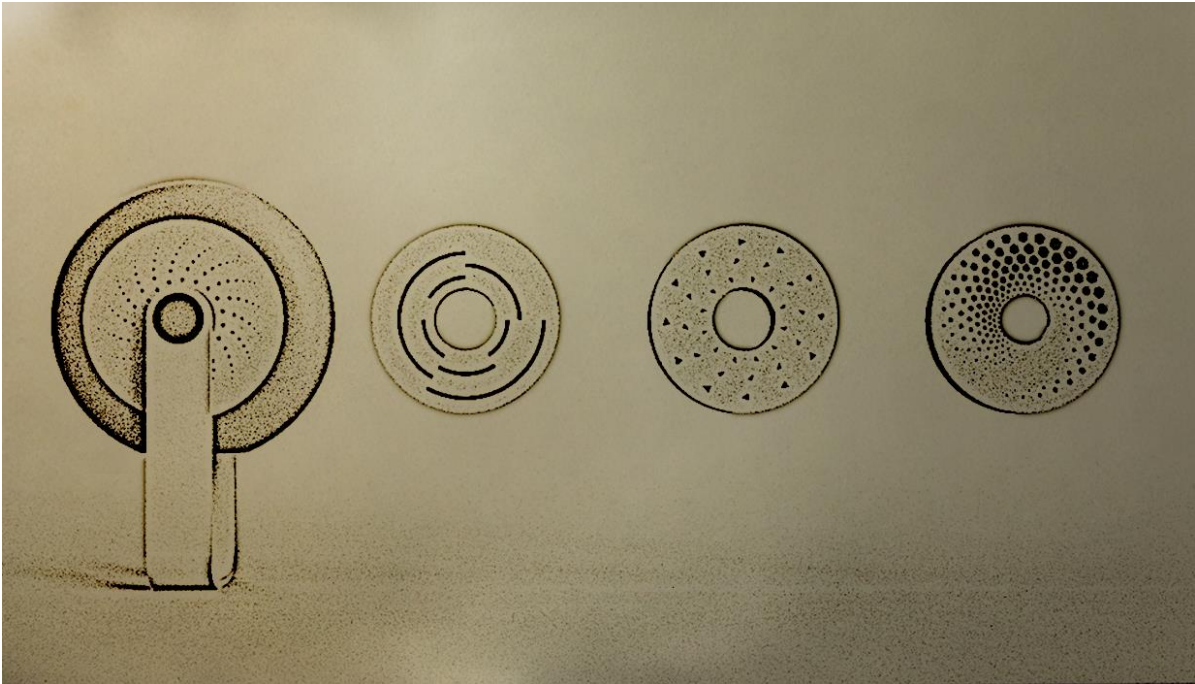
Tasarlanan 5 adet konseptin belirlenen kriterlere göre seçilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ise kalite evi metodolojisi uygulanmıştır. Konseptlerle istenen çalışma uyumluluğu arasındaki ilişkilerin belirlenebilmesi için belirlenen teknik parametreler sırasıyla; geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir malzeme kullanımı, uzun ömürlü kullanım, tamir edilebilirlik, geri dönüştürülebilirlik, minimal tasarım ile daha az malzeme kullanımı, modülerlik özelliği içermesi, elektronik parçalarla uyumluluk olmuştur. Her parametreye bir önem derecesi verilmiştir. Belirtilen sıraya göre parametrelerin önem dereceleri; 15, 10, 10, 10, 20, 20, 15'tir. Tüm bu parametreler konsept 1'den 5'e kadar sanayi iş birliği yapılan şirket tarafından puanlanmış ve sanayi açısından uygulanabilirliği puanlamaların temeli olarak baz alınmıştır.

Tablo 4.3. Kalite Evi Metodolojisi ve Konsept Puanlama Sonuçları

Teknik Parametreler	Önem Derecesi	Konsept -1	Konsept -2	Konsept -3	Konsept -4	Konsept -5
Geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir malzeme kullanımı.	15	12	10	12	13	11
Uzun ömürlü kullanım.	10	7	5	7	7	7
Tamir edilebilirlik.	10	7	6	8	8	7
Geri dönüştürülebilirlik.	10	8	6	8	8	6
Minimal tasarım ile daha az malzeme kullanımı.	20	16	12	15	18	13
Modülerlik özelliği içermesi.	20	16	15	18	18	15
Elektronik parçalarla uyumluluk.	15	13	13	13	14	12
Mutlak Önem		1235	1055	1265	1355	1105
Bağıl Önem (%)		20.532	17.539	21.030	22.527	18.370

Tablo 4.3.'de verilen puanlamalara bakıldığında konseptlerin mutlak önem ve bağıl önem (%) değerleri görülmektedir. Mutlak önem, konseptlerin toplam puanlarını ifade ederken, bağıl önem ise tüm konseptler içerisindeki yüzdece önemini ifade etmektedir. Bu şartlar altında, seçilmesi planlanan konseptin, 4 numaralı konsept olduğu görülmektedir. Minimal tasarım ile daha az malzeme kullanımı, modülerlik özelliği içermesi, elektronik parçalarla uyumluluğu ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı açısından söz konusu konseptin diğerlerine kıyasla ön plana çıktığı anlaşılmaktadır.

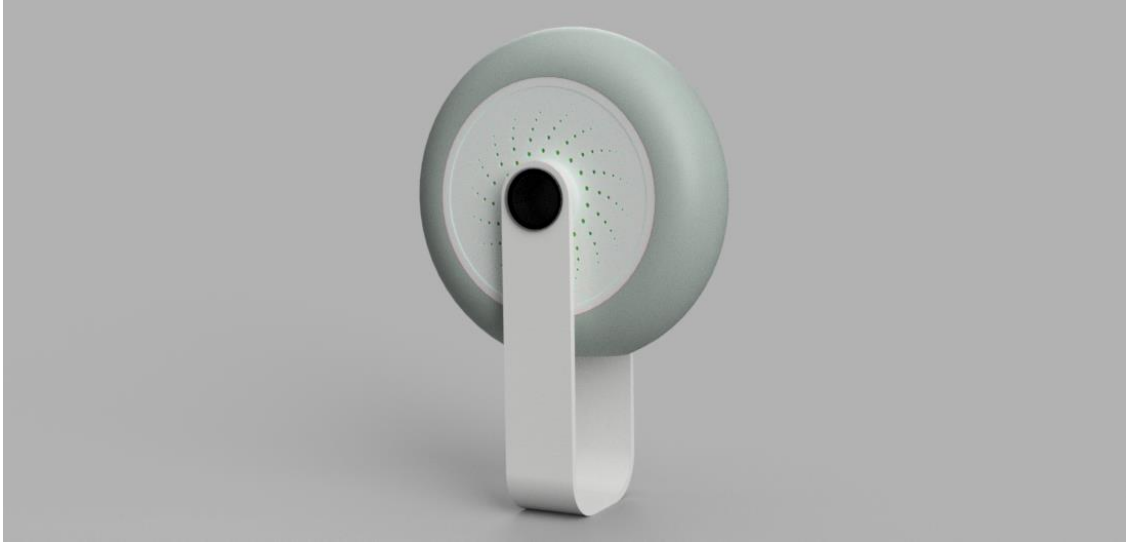
Yapılan konsept çalışmaları kapsamında konsept 4'ün seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Ancak konseptin mühendislik tasarımı evresine geçilmeden önce var ise revizelerin yapılması ve endüstriyel tasarımın tamamlanması gerekmektedir. Bu ara evrede yapılan görüşmeler üzerine konsept-4 tasarım formu üzerinde iyileştirmelere gidilmiştir. Şekil 4.4.'de görülen ön yüzeyin fazla boş kaldığı, cihaz içerisindeki elektronik aydınlatmaların kullanıcıya da etki etmesi gerektiği fikri üzerine tasarımın ön yüzeyi için farklı desenler tasarlanmıştır. Böylece, kullanıcıya gerek renklerle dinamik ve tasarlanan desenlerle interaktif bir yapı katılmak istenmiştir. Sanayi iş birliği içerisindeki şirketin talepleri doğrultusunda tasarlanan desenler içerisinde en başta verilen desen tasarımı seçilmiştir.



Şekil 4.6. Konsept -4 Ön Yüzey Desen Tasarımları

Konsept 4'e ait söz konusu desen tasarımları, Şekil 4.6.'da verilmiştir. Şirketin bu noktada inisiyatif kullanması, endüstriyel ürün tasarımı süreçlerindeki çalışılan şirketin önemini de vurgulayan bir durumu oluşturmuştur. Şirketlerin bilgi, tecrübe ve kalitesi gibi parametreler,

standartlaşan tasarım süreçlerine ek olarak inisiyatif alınan süreçlerde ürünün kalitesini yukarı veya aşağı çekebildiğini göstermiştir. Bu noktada, talep edilen revize doğrultusunda tasarım daha dinamik ve etkileyici bir hale bürünmüş, birinci ve dördüncü desenin kullanımlarının uygun olacağı görüşü savunulmuştur. Ancak, maliyete etkisi bakımından birinci desen tercih edilerek endüstriyel tasarımda form tamamlanmıştır.



Şekil 4.7. Konsept -4 Renklendirme ve CAD Süreci Sonu Durumu

Şekil 4.7.'de konsept-4'ün tamamlanmış endüstriyel tasarım formu verilmiştir. Burada CAD yani bilgisayar destekli tasarımın tamamlandığı ve renklerin tanımlandığı bir görüntü olarak verilmiştir. Bu noktadan sonra, çalışmanın malzeme seçimi ve mühendislik tasarımı süreçleri ile ilerlenecek ve ardından sürdürülebilir tasarım uygulaması son adımı olarak ölçekli model üretimi ile örnek uygulama tamamlanacaktır.

4.3. Uygun Malzeme Opsiyonlarının Oluşturulması

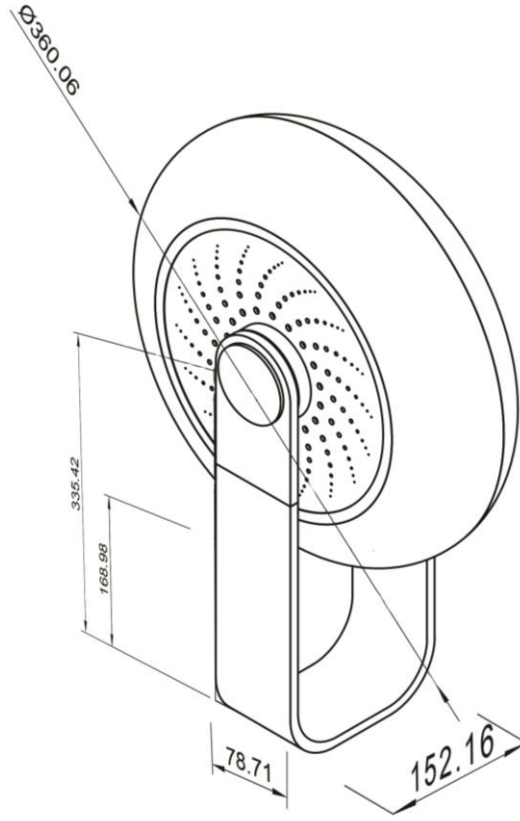
Sürdürülebilir tasarımın en önemli noktalarından birisini malzemeler oluşturmaktadır. Tasarlanan üründe kullanılacak malzeme, seri üretimle birlikte milyonlarca tonluk emisyonun temel sebebi haline gelmektedir. Bu çerçevede geliştirilen konsept-4'ün en önemli özelliklerinden birisi ise, ürün güvenliği ve estetik açıdan sorun oluşturmayacak şekilde doğal malzeme içermesidir. Ürün tasarımında yalnızca termoplastik malzeme kullanılmamış olup, elektronik parçaların elektrik yalıtkanlığı gibi faktörlerin olmadığı kısımda ahşap malzeme kullanılmıştır. Bu durum, termoplastik kullanımını ve dolayısıyla emisyonu büyük bir oranda azaltmıştır.

Mühendislik tasarımı ile birlikte parçaların montaj delikleri ve mukavemet artırma kısımları ürüne tanımlanmıştır. Böylece ürünü oluşturan üç temel parça olduğu görülmüştür. Bunlar; gövde bileşeni olan erkek ve dişi parça ile kablonun sarılacağı kol parçası olmuştur.



Şekil 4.8. Konsept -4 için Mühendislik Tasarımı ve Patlatılmış Perspektif

Şekil 4.8.'de görülen parçalara göre kol parçası için hacim değeri 481.052 cm^3 , dişi parça için hacim değeri 626.387 cm^3 , erkek parça için hacim değeri 589.082 cm^3 olmuştur. Kol parçasının tamamen ahşap olmasından kaynaklı olarak rakip ürünlere kıyasla ortalama üçte bir oranında emisyon düşüşünün bu adımda sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.9. Konsept -4 için Milimetrik Genel Ölçüler

Söz konusu hacim verileri eşliğinde Şekil 4.9’da verilen genel ölçü değerleri, hacmin nerelerde yoğunlaştığını ifade etmektedir. Ancak kullanılması planlanan malzeme verileri ile değerler hesaplandığında, özkütle değeri de aynı şekilde değiştiğinden kütlede nereden arttığını belirtmek malzeme seçimi öncesi zor bir hal almaktadır. Kol parçası için malzeme seçimi ahşap olarak uygulandığında, Autodesk Fusion360 malzeme kütüphanesine göre özkütle 0.570 gr/cm^3 ve emisyon değeri malzemenin yenilenebilir ve doğada biyobozulur olmasından kaynaklı olarak 0 alınmıştır. Ancak bu değerler, seri üretim ve tedarik edilen orman şartlarında değişiklik gösterecektir. Bu şartlar altında kol parçasının kütlesi;

$$\text{Kol Parçası Kütlesi (gr)} = 0.570 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 481.052 \text{ cm}^3 \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’de gösterildiği şekilde 274.199 gram değerini almaktadır.

Erkek ve dişi gövde parçaları için tanımlanacak malzeme kapsamında ise ABS ve PC malzemelerin yüzde 10’ar değişkenlik gösterecek şekilde karışım kuralı metodolojisi uygulanarak seçilebilecek malzeme opsiyonları ve bu malzeme karışımlarının mekanik, termal özelliklerine ait değerler belirlenmiştir. Metodolojinin yaklaşık vereceği değerler olan

yoğunluk, çekme dayanımı, akma dayanımı, young's modulus, fiyat, sera gazı emisyonu üzerinden karışım hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.3.'de verilen ANSYS şirketinin malzeme verilerine göre karışım değerleri Tablo 4.4.'de belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

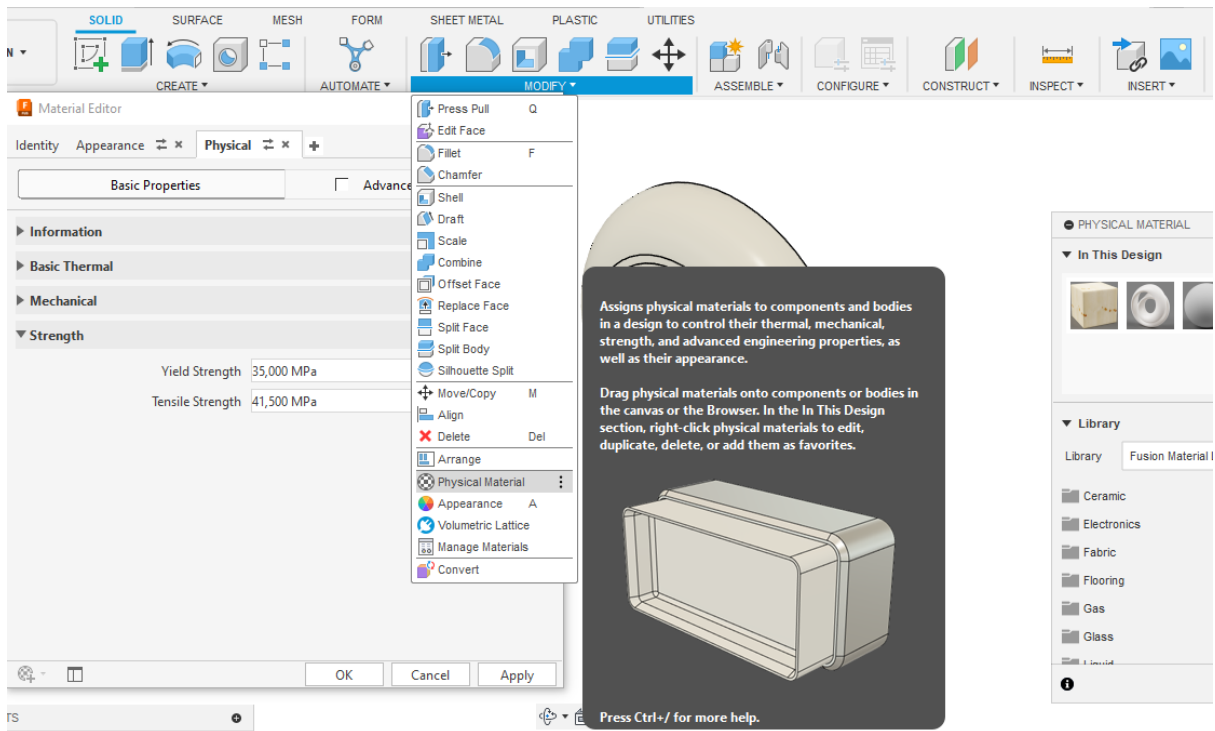
Tablo 4.4. ABS/PC Karışımlarının Malzeme Özellikleri: Karışım Kuralına Göre Değerler

Karışım Oranları (%100)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Fiyat (USD/Kg)	Sera Gazı Emisyonu (kg CO ₂)
ABS:100 + PC:0	1.1	41.5	35	2	2.55	3.8
ABS:90 + PC:10	1.105	43.95	37.95	2.02	2.78	4.025
ABS: 80 + PC:20	1.11	46.4	40.9	2.04	3.01	4.25
ABS:70 + PC:30	1.115	48.85	43.85	2.06	3.24	4.475
ABS:60 + PC:40	1.12	51.3	46.8	2.08	3.47	4.7
ABS:50 + PC:50	1.125	53.75	49.75	2.1	3.7	4.925
ABS:40 + PC:60	1.13	56.2	52.7	2.12	3.93	5.15
ABS:30 + PC:70	1.135	58.65	55.65	2.14	4.16	5.375
ABS:20 + PC:80	1.14	61.1	58.6	2.16	4.39	5.60
ABS: 10 + PC:90	1.145	63.55	61.55	2.18	4.62	5.825
ABS:0 + PC:100	1.15	66	64.5	2.2	4.85	6.05

ABS ve PC malzemelerinden oluşacak karışımın 10'ar puan değişimle yapılması durumunda ortaya çıkacak malzemenin temel mekanik ve termal özellikleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 4.4.'de verilmiştir. Söz konusu karışımlar erkek ve dişi parçalar için uygulanacaktır.

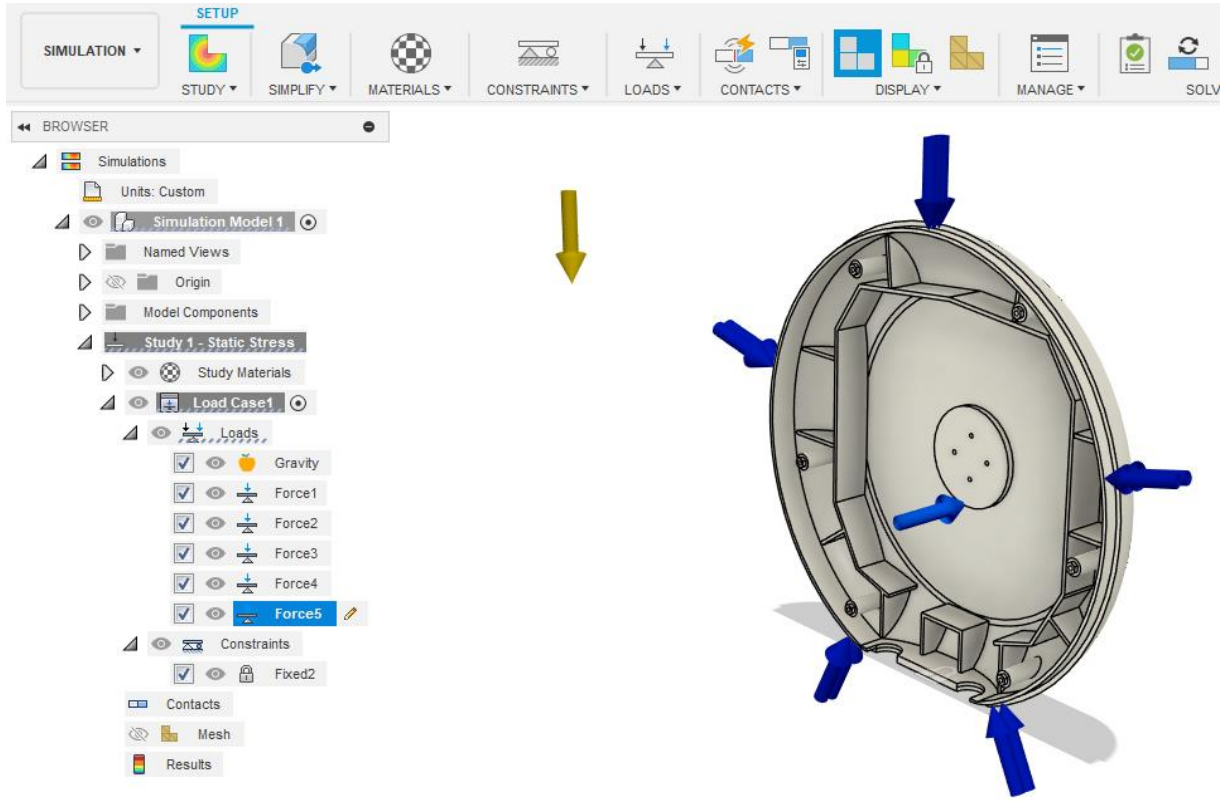
4.4. Malzemelerin Tanımlanması ve Parça Analizleri

Gövde parçasını oluşturan erkek ve dişi parçaların termoplastik malzemeden oluşması, içerisindeki elektronik parçalar ve küresel standartlardan ötürü bir kısıt haline gelmiştir. Bu şartlar altında kullanılacak ABS ve PC karışımının seçilebilmesi için erkek ve dişi parçalar için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Autodesk Fusion360 yazılımı üzerinden açılacak statik stres analizinde erkek ve dişi parça ayrı ayrı olarak yüklenmiş ve Tablo 4.4.'de belirtilen 11 karışım için malzeme tanımlamaları sağlanarak analizler başlatılmıştır. Her analiz, 25°C oda sıcaklığında, Şekil 3.2.de belirtilen yönlerden toplam olarak 1000N değerinde uygulanmıştır.



Şekil 4.10. Autodesk Fusion360 Yazılımı Üzerinden Malzeme Tanımlama

Autodesk Fusion360 yazılımı üzerinden statik stres analizi yapılmadan önce ilk etapta malzeme tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.10'da gösterildiği şekilde Physical Material bölümüne tıklandığında, sağ kısımda görünen Physical Material bölümü açılmaktadır. Sürükle bırak yöntemiyle seçilen malzeme parça üzerine bırakılarak parçaya malzeme tanımlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Farklı bir malzeme tanımlanmak istenmesi durumunda malzemeye sağ tıklanarak "edit" seçeneği seçilmeli ve solda açılan Material Editor üzerinden malzeme değerleri manuel olarak girilebilmektedir. Ayrıca malzemeye yeni bir isim verilebilmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere ANSYS şirketinin ABS malzeme verileri Autodesk Fusion360 yazılımına manuel olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.11. Autodesk Fusion360 Yazılımı Üzerinden Kuvvetlerin Tanımlanması

Tanımlamalar gerçekleştirilirken 6 eksene göre kuvvet uygulanmış olup, ürünün yere bağlandığı noktadan kuvvet uygulanmamıştır. Yerçekimi dahil edilen hesaplamalarda kuvvet yönleri erkek parça için Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Ürünün arka tarafından da sabitlenmesi mümkün iken bu noktadan sabitleme baz alınmamıştır. Bu noktadan yapılan sabitlemeler daha büyük bir yüzey alanını kapsayacağından daha yüksek mukavemetli analiz sonuçları doğuracaktır. Bu nedenle kırılmaların daha net görülebilmesi ve analiz hassasiyetinin fazla olması amacıyla alt noktadan sabitleme baz alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Güvenlik faktörü değerleri statik analizde malzeme seçimi için önemli bir dayanak oluşturmaktadır. 1-3 arasında olan güvenlik faktörü değerleri durumun kritik olduğunu, kırılabilme ihtimalinin de fazla olduğunu ifade ederken, 1 ve altındaki değerler ürünün kırılacağını kesin olarak ifade etmektedir. 3-6 arası değerler, ürünün ideal sağlamlıkta olduğunu vurgularken 6 ve üzeri değerlerin, ürünün fazla iyi olduğunu, maliyetlerin düşürülmesi için malzemelerin kalitesinin azaltılması ve tasarımın ucuzlaştırılması gibi önerilerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu şartlar altında erkek ve dişi parça için ayrı ayrı yapılan statik stres analizleri sonucu güvenlik faktörleri Tablo 4.5.'de erkek parça için, Tablo 4.6.'da dişi parça için verilmiştir.

Tablo 4.5. Erkek Parça için Karışıma Göre Güvenlik Faktörü Değerleri

	Yoğunluk (gr/cm ³)	Parça Kütle (gr)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Fiyat (USD/Kg)	Sera Gazı Emisyonu (kg CO ₂)	Min. Güvenlik Faktörü
ABS:100 + PC:0	1.1	647. 99	41.5	35	2.55	3.8	1.80
ABS:90 + PC:10	1.105	650. 936	43.95	37.95	2.78	4.025	1.948
ABS: 80 + PC:20	1.11	653. 881	46.4	40.9	3.01	4.25	2.10
ABS:70 + PC:30	1.115	656. 826	48.85	43.85	3.24	4.475	2.251
ABS:60 + PC:40	1.12	659. 772	51.3	46.8	3.47	4.7	2.40
ABS:50 + PC:50	1.125	662. 719	53.75	49.75	3.7	4.925	2.554
ABS:40 + PC:60	1.13	665. 663	56.2	52.7	3.93	5.15	2.705
ABS:30 + PC:70	1.135	668. 608	58.65	55.65	4.16	5.375	2.857
ABS:20 + PC:80	1.14	671. 553	61.1	58.6	4.39	5.60	3.01
ABS: 10 + PC:90	1.145	674. 499	63.55	61.55	4.62	5.825	3.16
ABS:0 + PC:100	1.15	677. 444	66	64.5	4.85	6.05	3.31

Tablo 4.5.'de görüldüğü üzere karışım kuralı metodolojisi uygulandığında her karışım oranı için farklı mekanik ve termal özellikler hesaplanmış, her karışım oranına göre belirtilen şartlar altında statik stres analizleri uygulanarak güvenlik faktörü sonuçları ve bu malzemeye göre parça kütlesi ortaya çıkarılmıştır. Güvenlik faktörü değerleri itibarıyla 2,5 ve 3 arasındaki değerler zorunluluktan tercih edilebilir olarak adlandırılmış, 3 ve üzerindeki değere sahip karışımlar ise optimum olanlar olarak ifade edilmiştir. %20 ABS ve %80 PC karışımı her iki parça için de optimum sonuç verdiği için fiyat/performans açısından tercih edilebilirliğini göstermiştir.

Tablo 4.6. Diş Parça için Karışıma Göre Güvenlik Faktörü Değerleri

	Yoğunluk (gr/cm ³)	Parça Kütle (gr)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Fiyat (USD/Kg)	Sera Gazı Emisyonu (kg CO ₂)	Min. Güvenlik Faktörü
ABS:100 + PC:0	1.1	876. 38	41.5	35	2.55	3.8	1.84
ABS:90 + PC:10	1.105	880. 665	43.95	37.95	2.78	4.025	1.998
ABS: 80 + PC:20	1.11	884. 65	46.4	40.9	3.01	4.25	2.154
ABS:70 + PC:30	1.115	888. 635	48.85	43.85	3.24	4.475	2.309
ABS:60 + PC:40	1.12	892. 62	51.3	46.8	3.47	4.7	2.464
ABS:50 + PC:50	1.125	896. 604	53.75	49.75	3.7	4.925	2.62
ABS:40 + PC:60	1.13	900. 589	56.2	52.7	3.93	5.15	2.775
ABS:30 + PC:70	1.135	904. 574	58.65	55.65	4.16	5.375	2.93
ABS:20 + PC:80	1.14	908. 559	61.1	58.6	4.39	5.60	3.09
ABS: 10 + PC:90	1.145	912. 544	63.55	61.55	4.62	5.825	3.24
ABS:0 + PC:100	1.15	916. 529	66	64.5	4.85	6.05	3.397

Tablo 4.6.'da da görüldüğü üzere en ekonomik ve en optimum sağlamlık değerine sahip olan karışım %20 ABS ve %80 PC olmuştur. Tamamen PC olduğu durumda karbon emisyon değeri çok yükselmekte iken, fiyat kriteri bakımından da %20 ABS %80 PC olan karışım tercih sebebi olmaktadır. Bu noktada farklı şartlara tabii olacak tasarımlar, örneğin; minimum 60 MPa akma değeri istenmesi gibi durumlarda daha çok eleme kriteri tablo üzerinden uygulanabilecek, böylece gerek sürdürülebilirlik gerek fiyat/performans açısından malzeme seçimleri belirtilen yöntemle daha etkin sonuçlar oluşturabilecektir. Söz konusu tabloların

oluşturulması ile analiz sonuçları sonrasında hangi malzemenin seçileceği başarıyla ortaya çıkarılmıştır.

4.5. Malzeme Seçimi ve Fiziksel Modelin Üretilmesi

Yapılan statik stres analizleri sonucunda güvenlik faktörü değerleri, her iki termoplastikten oluşacak gövde parçaları için de %20 ABS %80 PC karışımının optimum olduğunu göstermiştir. Bu şartlar altında söz konusu iki parçanın toplam kütlesi,

$$\sum \text{Gövde Kütlesi (gr)} = 908.559 + 671.553 \quad (4.2)$$

denklem 4.2’de görüldüğü şekilde hesaplanarak toplam 1580.112 gram değerini almaktadır. Dolayısıyla, kütle değeri üzerinden fiyat hesabı yapıldığında,

$$\text{Toplam (USD)} = 1.580 \text{ kg} \times 4.39 \text{ USD (kg başına)} \quad (4.3)$$

denklem 4.3’de verilen şekilde hesaplama gerçekleştirilmekte ve ürün başına 6.93 USD’lik termoplastik malzeme kullanımı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ürün kütlesinden yola çıkılarak hesaplanacak karbon emisyon verisi için,

$$\sum \text{Karbon (kg)} = 1.580 \text{ kg} \times 5.60 \text{ kg CO}_2 \quad (4.4)$$

denklem 4.4’de gösterilen hesaplama uygulanmakta, 8.848 kg CO₂ emisyon değeri elde edilmektedir. Bu hesaplamalar ürün kütlesine göre yapıldığından üretim yönteminden kaynaklı malzeme kayıpları, CO₂ emisyonunun eşleniği cinsinden hesaplanan diğer sera gazları dahil edilmemiştir. Seri üretim kaynaklı emisyonlar, tedarik zinciri, boya kaynaklı emisyonlar çalışmanın kapsamına girmemektedir. Bu hesaplamalar seri üretim için hazırlanan bir ürünün temel olarak hangi hesaplamaları gerçekleştirilmesiyle sürdürülebilir bir ürün geliştirilebileceğine yönelik örnek adımları ifade etmektedir.

Ahşap malzeme kullanılan kol parçası sayesinde;

$$\sum \text{KolParçası (gr)} = 481.052 \text{ cm}^3 \times 1.14 \text{ gr/cm}^3 \quad (4.5)$$

denklem 4.5’te görülen şekilde termoplastik parça kütlesi hesaplanmamış ve 548.399 gram kütleyle sahip fazladan bir termoplastik parça üretilmekten kaçınılmıştır. Bu sayede;

$$\sum \text{Karbon.kolparçası (kg)} = 0.548 \text{ kg} \times 5.60 \text{ kg CO}_2 \quad (4.6)$$

denklem 4.6’daki hesaplamaların sonucu olan 3.06 kg karbon emisyonuna sebep olunmaktan kaçınılmıştır.

%20 ABS ve %80 PC malzemenin tanımlandığı elektrikli araç şarj istasyonu tasarımı sonucunda ürünün kütlesini;1580.112 gramla gövde termoplastik parçaları, 275 gramla kol

parçası, 1798 gramla ana elektronik parçalar, 55 gramla ana elektronikleri koruyucu polikarbonat parçalar, 355 gramla elektrik bağlantı kablosu, 2000 gram ile type 2 şarj bağlantı kablosu oluşturmuştur. Toplamda beklenen ürün kütlesi 6063.112 gram olmuştur. Bu şartlar altında fiziksel ve 1:1 ölçekli üretilecek modele malzeme tanımlamaları gerçekleştirilerek model üretilmiştir.



Şekil 4.12. Üretilen Modele Ait Ön Görünüm

Tasarımı gerçekleştirilen ürün iç izolasyon parçaları ve civatalar sebebiyle %5 sapma olacak şekilde toplam ürün kütlesini yakalamıştır. Şekil 4.12’de üretilen konsept-4 modelinin iç elektronik parçalarla montajının gerçekleştirildiği duruma ait ön görünüm görseli bulunmaktadır. Bu noktada ürünün kolay montajı dikkatleri çekmiş ve kalite evi kriterlerinde de belirtildiği üzere modüler yapı sayesinde kolay tamir edilebilirlik sağlanmış, parça değişiminin kolay olması sayesinde ürün atılmak yerine yenilenerek uzun ömürlü kullanım özelliklerini içermiştir. Minimalist ve yumuşak hatlarıyla malzemeleri verimli ve az kullanan bu tasarım ile malzemelerin emisyonları bakımından çeşitli avantajlar elde edildiği görülmüştür. Gerek ürün genel kütlesi üzerinden gerek de ahşap malzeme kullanılarak üçte bir oranında karbon emisyonundan kaçınılan bu üründe sürdürülebilir tasarım prensiplerine uygunluk tasarımda gözler önüne serilmiştir. Farklı renk opsiyonları ile ahşap kısım beyaz renk yerine ağaç rengi ve dokusu ile de kullanıcıların dikkatini çekebilen opsiyonlara sahiptir.



Şekil 4.13. Üretilen Modele Ait Yan Görünüm

Üretilen konsept-4 modelinin et kalınlığı bakımından yan görünümüne ait görsel Şekil 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Üretilen Modele Ait Perspektif Görünüm

Sürdürülebilir tasarım prensipleriyle tasarlanmış AC 22 kW elektrikli araç şarj istasyonunun son halini perspektif açıdan içeren görsel Şekil 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Tasarlanan Ürün ve Rakip Ürünler için Temel Özellik Karşılaştırması

Ürün/Parametreler	Kullanım Yeri ile Uyum	Modülerlik	Tamir Edilebilirlik	Gövde Malzemesi	Ürün Kütlesi (Kablo Dahil)
Schneider Charge	Kurumsal bir görünüme sahip olduğundan ticari yerler ile uyumlu.	22 kW'a kadar tüm kapasiteler için aynı gövde tasarımı.	Tamire uygun gövde tasarımı.	Termoplastik	5.2 kg
Keba KeContact P30 C Series	Modern mimariyle uyumlu, konut tipi şarj istasyonu.	22 kW'a kadar tüm kapasiteler için aynı gövde tasarımı.	Tamire uygun gövde tasarımı.	Termoplastik	7.8 kg
Tesla Home Charging	Minimalist ve modern tasarımı ile birçok modern ve tarihi yapıya uygun.	11.5 kW'a kadar tüm kapasiteler için aynı gövde tasarımı.	Tamire uygun gövde tasarımı.	Termoplastik	5.7 kg
Geliştirilen Konsept 4	Alman geleneksel mimarisine uygun, sade ve minimal bir tasarıma sahip, hem kırsal hem de şehir içi ortamlara uyumlu.	22 kW'a kadar tüm kapasiteler için aynı gövde tasarımı.	Tamire uygun gövde tasarımı.	Termoplastik ve Ahşap	6.06 kg

Tablo 4.7.'de, tasarlanan konsept ve rakip ürünlere ait karşılaştırmalara yer verilmiştir. Tüm ürünlerde benzer teknik özellikler mevcut olup, termoplastik kullanımları ürünlerin geri dönüştürülebilirliğe yatkınlıklarını ifade etmektedir. Tasarlanan ürünün ahşap parça dahil kütlelerinin ortalama seviyelerde olması emisyon bakımından diğerlerinden öne çıkarmaktadır. Tasarlanan ürünün ayrışması gereken noktanın da kullanım yeri ile uyumluluğu ve kullanılan malzemelerce geri dönüştürülebilirlik ve yenilenebilir malzeme kullanımı olduğu görülmektedir. Uzun ömürlülük, tamir edilebilirlik, modülerlik gibi teknik parametrelerde rakiplerden geriye düşülmemesi gerekmektedir.

5. SONUÇLAR

Sürdürülebilir tasarım prensiplerinin uygulandığı endüstriyel ürün tasarımı çalışması örnek uygulama olarak tamamlanmıştır. Çalışma, giriş aşamasından sonuca kadar endüstri için ürün geliştirecek sanayi kuruluşlarının ve ürün geliştirme süreçlerinin içinde olan disiplinlerin odağı içinde yer aldığı kesin olarak görülmüştür. Çalışma sonunda üretilen ürün, ürünün birinci prototip versiyonu olarak hazırlanmış ve saha geri bildirimleri neticesinde tasarım revizeleri ile seri üretime hazır hale getirilmesi planlanmıştır. Yapılan çalışmalar çerçevesinde, öncelikle literatürdeki sürdürülebilir tasarım stratejilerinin neler olduğunu bilmenin hedef pazar kapsamı ve etkisi bakımından oldukça önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında incelenen sürdürülebilir tasarım stratejileri etki ve kapsamı bakımından incelenmiş, bu doğrultuda sürdürülebilir tasarım stratejisi seçilerek doğru bir ilerleme sağlanmıştır. Sürdürülebilirlik anlayışı tüm stratejilerde farklı olduğundan, ürünün gireceği pazara yönelik olarak strateji seçmenin önemi görülmüştür. Aksi durumda istenenler sağlanamayacak, zaman ve iş gücü kaybı oluşacaktır. Çalışmada hedef pazar Almanya olduğundan etki ve kapsam bakımından en uygun sürdürülebilir tasarım stratejisi AB Eko Tasarım olarak seçilmiştir. Seçilen tasarım stratejisinin içerdiği özelliklere göre tasarımın malzeme ve ürün boyutunda belirli özellikler içermesi gerektiği görülmüştür. Malzeme boyutunda; doğal malzeme kullanımına yönelmesi, zehirli/toksik malzemelerden kaçınılması, yenilenebilir malzeme seçimi, geri dönüştürülebilir malzeme seçimi, geri dönüştürülmüş malzeme seçimi gibi parametrelere uyulması gerektiği anlaşılmıştır. Ürün boyutunda; uzun ömürlü kullanım, tamir edilebilirlik, iç parçalar için modüler yapı içermesi, malzeme verimliliği gibi özellikler içermesi gerektiği anlaşılmıştır. Böylece seçilen sürdürülebilir tasarım stratejisine göre birincil tasarım kısıtları ortaya çıkarılmıştır.

Süreç, akademi ve sanayi iş birliği içerisinde gerçekleştirilerek sonuçların hem pazar hem de literatür açısından gerçekçi sonuçlar doğurabilmesi için endüstriyel ürün tasarımı aşamaları ile doğrudan uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, tasarım stratejisinden elde edilen tasarım kısıtları ile üretime ve ür-ge faaliyetlerine destek olacak şirketin kısıtları dikkate alınarak tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulanmıştır. Bu sayede hedef pazara uygun olarak konsept tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Kalite evi metodolojisi uygulanarak konsept tasarımlar iş birliği yapılan şirket kısıtlarına yönelik olarak puanlanmış ve en uygun tasarım seçilerek endüstriyel tasarım faaliyeti tamamlanmıştır. Yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzeme oranının üründe arttırılabilmesi, karışım kuralı metodolojisinin de gövde parçaları için en optimumunun belirlenebilmesi maksadıyla

tasarımda elektrik izolasyonunu bozmayacak parçalar özel olarak incelenmiştir. Bu çerçevede, ana elektronik parçaların olduğu gövde kısım ile kabloların tutulacağı kol parçası malzeme bakımından ayrıştırılmıştır. Yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzeme kapsamında kol parçası çam ağacından elde edilen ahşaptan yapılmasına karar verilmiş, gövdeyi oluşturan erkek ve dişi parça için ise karışım kuralı metodolojisi uygulanarak bu alandaki standartlaşmış malzemeler olan ABS ve PC arasında seçime gidilmiştir. Karışım kuralı metodolojisi ile belirlenmiş malzeme karışımları statik stres analizlerine tabii tutularak erkek ve dişi parça için en iyi fiyat/performans değerlerini veren ve bu çerçevede de en uygun karbon emisyonuna sebep olan karışım belirlenmiştir. Bu şartlar altında; erkek ve dişi parça için %20 ABS %80 PC karışımlı malzemenin seçilmesi gerektiği görülmüştür. Söz konusu parçalar toplam 1580.112 gram kütle değerini oluşturmuştur. Çam ağacı ahşabından oluşturulacak kol parçası ise yine bu karışım ile üretilecek olsa idi kütle değeri 548.399 gram olacaktı ve ham madde karbon emisyon değeri bakımından 3.06 kg karbon emisyonuna sebep olacaktı. 1580.112 gram değerindeki gövde parçalarının 8.848 kg değerinde ham madde karbon emisyonu var olduğundan ek olarak 3.06 kg emisyonla sürdürülebilir tasarım stratejisi ile kaçınılması mümkün olmuştur. Bu durum yaklaşık %25'lik bir emisyon düşüşünü ürün tasarımı aşamasında oluşturmuştur. Şarj kablosu, iç elektronik parçalar ve güç kablosu ile birlikte montajı gerçekleştirilen ürünün toplam kütlesi 6063.112 gram olmuştur.

Çalışmanın hedefinde belirlenen sorulara bulgular ve sonuç kısmında ulaşılan bilgiler ile birlikte şu cevaplar ortaya çıkmıştır:

1. Sürdürülebilir tasarım uygulanması için sürdürülebilir tasarım stratejileri etki ve pazar bakımından incelenmeli, ürün hedefine uygun olan strateji seçilerek stratejinin içerdiği tasarım özellikleri tasarım kısıtları olarak baz alınmalıdır. Ardından tasarım odaklı düşünme gibi metodolojilerle konseptler oluşturulmalıdır. Malzeme seçim aşamasında karışım kuralı metodolojisi uygulanabilen ürünler için emisyon değerini de içeren tablolar karışım oranlarına göre oluşturulmalıdır. Statik stres analizlerindeki güvenlik faktörü değerleri ile en uygun malzeme seçimi için fiyat/performans ve emisyon gibi parametrelere göre seçim yapılarak tasarım süreci tamamlanmalıdır.
2. Optimum malzeme seçimi için karışımı yapılabilecek malzemeler karışım kuralı metodolojisine göre karıştırılmakta, yeni malzeme ve özellikler tablo haline getirilmektedir. Malzeme emisyonları karışım kuralı kapsamında uygulanarak tablo içeriğini geliştirmektedir. Parçalar için güvenlik faktörü değerleri ortaya

- çıkarılmakta, istenen parametreye göre elemeler gerçekleştirilmektedir. Seçim, emisyonla göre veya öne çıkarılacak bir diğere parametreye göre yapılabilmektedir.
3. Sürdürülebilir tasarım stratejisi ürün emisyon değeri üzerinde doğrudan kontrole sahiptir. Malzemenin az kullanılacağı minimal tasarımlar, doğal malzeme tercih edilebilirliği gibi tasarım evresinde oluşacak kriterler ürün emisyonunu da doğrudan etkilemektedir.
 4. Sürdürülebilir tasarımda stratejilerin doğru uygulanmasıyla karbon emisyonlarının azaltılmasından kaynaklı olarak doğaya daha az zarar verileceği görülmüştür. Çalışmadan da anlaşıldığı üzere ürün emisyonları sadece tasarım süreçleri ile yaklaşık %25 düşüş göstermiştir.
 5. Sürdürülebilir tasarımın üreticinin ekonomik durumuna çeşitli şekillerde etki ettiği görülmüştür. Kaliteli ve uzun ömürlü ürünler, yüksek maliyetleri beraberinde getirmiştir. Aynı şekilde doğal malzeme kullanımı da takviye malzeme gereksinimlerini arttırmış olup, maliyet üzerinde negatif etkiler oluşturmuştur. Ancak minimalist tasarımlar gibi faktörler ise kullanılacak malzemeyi doğrudan azalttığından üretici ekonomisine pozitif etki de oluşturmaktadır. Bu nedenle, ürün grubuna ve seçilen tasarım stratejisine bağlı olarak sürdürülebilir tasarımın üreticiye maliyet bakımından pozitif ve negatif etkiler oluşturabildiği görülmüştür.

Yapılan örnek uygulama çalışması sürdürülebilir tasarım stratejisi seçimi, tasarım odaklı düşünme metodolojisi uygulaması, kalite evi metodolojisi ile konsept seçimi, karışım kuralı metodolojisi ile malzeme opsiyonlarının belirlenmesi, farklı malzeme karışımlarının statik stres analizi üzerinden güvenlik faktörlerinin karşılaştırılması gibi çeşitli metodolojileri içermiş ve yol gösterici bir çalışma olmuştur. Uygulaması yapılan sürdürülebilir ürün geliştirme çalışmalarının ülkemiz ve küresel bazda arttığı bu dönemlerde, benzeri çalışmalarla endüstrinin ve literatürün gelişmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Örnek uygulama, doğa, bilim ve endüstri açısından karbon emisyonlarını azaltmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak, yapılan çalışmanın sadece endüstriyel ürün tasarımı bazında emisyon düşüşü için yapıldığı gözden kaçırılmamalıdır. Ürünün üretileceği üretim tesislerinin verimliliği ve emisyonları, malzeme ve diğer tedarikçilerin oluşturacağı emisyonlar, ürünün kullanım sonrası geri dönüştürüleceği tesisler veya geri dönüştürülebilir ürünler, ürün ömrü sonrası ne yapılacağı gibi ürün yaşam döngüsünün tüm basamakları ve paydaşları disiplinlerarası bir şekilde, sürdürülebilir bir ürün için şeffaf, koordineli ve kapsamlı olarak çalışmalıdır.

6. ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışması ile bilim ve endüstri dünyası için öneriler oluşmuştur. Bilim dünyası açısından bakıldığında,

- Sürdürülebilirlik alanında uygulamalı çalışmaların disiplinlerarası olarak yapılması gerektiği görülmüş ve bu alandaki tez ve araştırma makalesi gibi çalışmaların farklı disiplinlerden öğrencilerle bir arada ve endüstri iş birliği içerisinde yapılması gerektiği,
- Her disiplinin kendi içerisinde sürdürülebilirlik kapsamında hareket alanı olduğu görülmüş (tasarımda, üretimde, ulaşımda, ekonomide, eğitimde, sağlıkta sürdürülebilirlik vb. gibi) ve bu nedenle de disiplinlerin de kendi içerisinde gelişim göstermesi gerektiği,
- Ülkemiz şartlarına uygun sürdürülebilir ürün tasarım stratejilerinin oluşturulması,
- Bilimsel çalışmaların emisyon verilerini şeffaf olarak hesaplayan ve paylaşan ülkelerle koordineli ve ortak çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Endüstri açısından bakıldığında,

- Emisyonlar açısından sadece enerji, kimya, malzeme teknolojileri gibi başlıklara odaklanılmaması gerektiği, tüm sektörlerde fiziksel ürünlerin kullanıldığı (analizden üretime) ve bu fiziksel ürünlerin birer tasarım sürecinden geçtiğinin hatırlanarak sürdürülebilir tasarıma aynı ağırlığın verilmesi durumunda emisyonların dolaylı düşüşe uğrayacağı,
- Bilim dünyası ile iç içe ve uluslararası çalışmalar yaparak farklı yaklaşımların takip edilmesi gerektiği,
- Hedef ürün ve pazara yönelik sürdürülebilir ürün tasarımı stratejilerinin doğru belirlenmesinin önemi, aksi durumda getireceği maddi kayıpların doğru analiz edilmesi,
- İç işleyişteki tüm süreçlerde etkin ve verimli sürdürülebilirlik uygulamalarının oluşturulmasıyla birlikte atık duruma düşecek veya arızalanabilecek/kırılacak parçaların geri dönüştürülebilirlik farklı ürün üretim parkurlarında farklı ürünlerin üretilebileceğinin tasarlanması ve planlanması,
- Sürdürülebilirlik verilerinin şeffaf ve güvenilir olmadığı durumlardaki hesaplamaların anı kurtarmaktan öteye geçmeyeceği, kurum kültürünün bu yönde oluşturulmasının küresel pazar için etkili olacağı önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Arifin, N. R. & Mahmud, S. N. D.** (2021). A Systematic Literature Review of Design Thinking Application in STEM Integration. *Creative Education*, 12, 1558-1571.
- Ashby, M.** (2021). Material Property Data for Engineering Materials. ANSYS, Inc.
- Bakker, C. A., Wever, R., Teoh, C. & De Clercq, S.** (2010). Designing Cradle to Cradle products; a reality check. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3(1), 2-8.
- Berberoğlu, H. M. D.** (2024). Designing for Sustainability: The Role of Industrial Design and Designers in Creating a Culture of Sustainability. *Artium*, 12(1), 31-43.
- Bergerson, J., Brandt, A., Cresko, J., Carbajales-Dale, M., MacLean, H. L., Matthews, H. S., McCoy, S., McManus, M., Miller, S. A., Morrow III, W. R., Posen, I. D., Seager, T., Skone, T. & Sleep, S.** (2020). Life cycle assessment of emerging technologies, Evaluation techniques at different stages of market and technical maturity. *Journal of Industrial Ecology*, 24, 11-25.
- Bhamra, T. & Lofthouse, V.** (2007). *Design for Sustainability: A Practical Approach*. Gower Publishing.
- Björklund, T.** (2019). The foundations of design thinking. T. Björklund, T. Keipi (Ed.), *Design+Organizational renewal and innovation through design*, Aalto University, s. 18-45.
- Blauer Engel.** (2024). Blue Angel – Good for me. Good for the environment. [Erişim: 06.08.2024, <https://www.blauer-engel.de/en/blue-angel/our-label-environment>]
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C. & van der Grinten, B.** (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.
- Bos, P., Ritzen, L., Dam, S. V., Balkenende, R. & Bakker, C.** (2024). Bio-Based Plastics in Product Design: The State of the Art and Challenges to Overcome. *Sustainability*, 16(8), 3295.
- Bovea, M. D. & Pérez-Belis, V.** (2012). A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. *Journal of Cleaner Production*, 20(1), 61-71.
- Börkey, P. & Laubinger, F.** (2021). Labelling and Information Schemes for the Circular Economy. *OECD Environment Working Papers* No. 183.

- Canbulat, M. & Savaş, A. F.** (2024). Sürdürülebilir Ürün Tasarım Stratejisi: M113 Üzerine Karşılaştırmalı Analiz. *Savunma ve Savaş Araştırmaları Dergisi*, 34(1), 179-198.
- Canbulat, M. & Savaş, A. F.** (2023). Sürdürülebilir Tasarım ve Elektrikli Araç Şarj İstasyonları. A. Bilgiç, Ş. Balbay (Ed.), *Endüstriyel Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi Uygulamaları: Dünyadan ve Türkiye'den Yeşil Dönüşüm Örnekleri*, Detay Yayıncılık, s. 1-16.
- Carter, M. & Tischner, U.** (2001). *Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future*. Greenleaf Publishing.
- Chancerel, P.** (2010). *Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment, An assessment of the recovery of gold and palladium*. (Doktora Tezi). ITU-Schriftenreihe, Institut für Technischen Umweltschutz ISSN 1864-5984.
- Chawla, N. & Chawla, K. K.** (2013). *Metal Matrix Composites, 2th Edition*. Springer.
- Clora, F., Yu, W. & Corong, E.** (2023). Alternative carbon border adjustment mechanisms in the European Union and international responses: Aggregate and within-coalition results. *Energy Policy*, 174, 113454.
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute.** (2024). Cradle to Cradle Certified. [Erişim: 05.08.2024, <https://c2ccertified.org/the-standard>]
- Dalhammar, C., Machacek, E., Bundgaard, A., Zacho, K. O. & Remmen, A.** (2014). *Addressing resource efficiency through the Ecodesign Directive: A Review of Opportunities and Barriers*. Nordic Council of Ministers 2014.
- Delmas, M. A. & Grant, L. E.** (2014). Eco-Labeling Strategies and Price-Premium: The Wine Industry Puzzle. *Business & Society*, 53(1), 6-44.
- Demirer, G. N.** (2011). *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – I, Yaşam Döngüsü Analizi*. Bölgesel Çevre Merkezi- REC Türkiye.
- De Gortari, M. G., Rodriguez-Urbe, A., Misra, M. & Mohanty, A.K.** (2020). Insights on the structure-performance relationship of polyphthalamide (PPA) composites reinforced with high-temperature produced biocarbon. *The Royal Society of Chemistry*, 10, 26917.
- Dietz, T., Shwom, R. L. & Whitley, C. T.** (2020). Climate Change and Society. *Annual Review of Sociology*, 46, 135-158.

- Ellen MacArthur Foundation.** (2015). Towards A Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition. [Erişim: 01.08.2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>]
- European Commission.** (2024). EU Ecolabel facts and figures. [Erişim: 06.08.2024, https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/eu-ecolabel/business/ecolabel-facts-and-figures_en]
- European Commission.** (2021). CE Marking. [Erişim: 07.08.2024, https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/ce-marking_en]
- European Commission.** (2020). The European Green Deal. [Erişim: 03.08.2024, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en]
- European Commission.** (2009). Ecodesign and Energy Labelling. [Erişim: 03.08.2024, https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/european-standards/harmonised-standards/ecodesign_en]
- Fenwick, C., Mayers, K., Lee, J. & Murphy, R.** (2023). Recycling plastics from waste: Implications for effective eco-design. *Journal of Industrial Ecology*, 27, 1370-1388.
- Fiedler, M.** (2018). Understanding and Improving Your Results in Fusion 360 Simulation. Autodesk University.
- Francis, F.** (2016). Engineering Approach with Quality Function Deployment for an ABET Accredited Program: A Case Study. *American Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 65-70.
- Frankl, P., Petroni, L., Montcada, E. & Rubik, F.** (2005). Conclusions, F. Rubik & P. Frankl (Ed.), *The Future of Eco-labelling, Making Environmental Product Information Systems Effective*, Greenleaf Publishing, Sheffield, s. 236-290.
- Gadhve, R. V., Gadhve, C. R. & Dhawale, P. V.** (2022). Plastic-Free Bioactive Paper Coatings, Way to Next-Generation Sustainable Paper Packaging Application: A Review. *Green and Sustainable Chemistry*, 12, 9-27.
- Geissdoerfer, M., Paulo, S., Bocken, N. M. P. & Hultink, E. J.** (2017). The Circular Economy - A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.

- Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S.** (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32.
- Goldhahn, C., Cabane, E. & Chanana, M.** (2021). Sustainability in wood materials science: an opinion about current material development techniques and the end of lifetime perspectives. *Philosophical Transactions Royal Society*, A379, 20200339.
- González-García, S., Berg, S., Moreira, M. T. & Feijoo, G.** (2009). Evaluation of forest operations in Spanish eucalypt plantations under a life cycle assessment perspective. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24, 160-172.
- Graedel, T. E. & Allenby, B. R.** (2003). *Industrial Ecology*. Prentice Hall.
- GridX.** (2024). Charging Report 2024. [Erişim: 15.08.2024, <https://www.gridx.ai/resources/european-ev-charging-report-2024>]
- Guinée, J. B. (Ed.).** (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Güllü, E. & Ulcay, Y.** (2002). Kalite Fonksiyonu Yayılımı ve Bir Uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 71-91.
- Hanson, D.** (2005). *CE Marking, Product Standards and World Trade*. Edward Elgar Publishing.
- Hauser, J. R.** (1993). How Puritan-Bennet Used The House of Quality. *Sloan Management Review*, 34(3), 61-70.
- Hawkes, S. J.** (2004). The Concept of Density. *Journal of Chemical Education*, 81 (1), 14.
- Heinemann, C. & Arsenio, F.** (2022). New EU eco-design proposals: Case studies to illustrate their potential impact. European Environmental Bureau. [Erişim: 15.07.2024, <https://eeb.org/wp-content/uploads/2022/12/Impact-of-EU-ecodesign-regs.pdf>]
- Herrmann, C., Schmidt, C., Kurle, D., Blume, S. & Thiede, S.** (2014). Sustainability in Manufacturing and Factories of the Future. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 1(4), 283-292.
- Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior, E.** (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364, 2115-2126.

- Hutton, D. V.** (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis*. McGraw-Hill.
- ISO.** (2018). ISO 14024:2018, Environmental labels and declarations - Type I environmental labelling - Principles and procedures. [Erişim: 06.08.2024, <https://www.iso.org/standard/72458.html>]
- International Trade Administration.** (2022). Certifying Your Product with CE Marking. [Erişim: 08.08.2024, <https://www.trade.gov/ce-marking>]
- ISO.** (2016). ISO 14021:2016, Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling). [Erişim: 06.08.2024, <https://www.iso.org/standard/66652.html>]
- ISO.** (2006). ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. [Erişim: 05.08.2024, <https://www.iso.org/standard/37456.html>]
- ISO.** (2006). ISO 14025:2006, Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures. [Erişim: 06.08.2024, <https://www.iso.org/standard/38131.html>]
- Jørgensen, A., Bocq, A. L., Nazarkina, L. & Hauschild, M.** (2008). Methodologies for Social Life Cycle Assessment. *Int J LCA*, 13 (2), 96–103.
- KEBA.** (2024). The Climate-Friendly Charging Solution. [Erişim: 15.08.2024, <https://www.keba.com/de/emobility/products/green-edition/>]
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A. & Birkie, S. E.** (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552.
- LG Solar.** (2019). AC vs. DC: What's the difference? [Erişim: 18.08.2024, https://www.lg.com/us/solar/solar/files/resources/AC-vs-DC-1-Page_Ver05_11252019.pdf]
- Manchulenko, N. G.** (2001). Applying axiomatic design principles to the House of Quality. *Electronic Theses and Dissertations*. 1204.
- Manzardo, A., Loss, A., Niero, M., Vianello, C. & Scipioni, A.** (2018). Organizational Life Cycle Assessment: the introduction of the production allocation burden. *25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, s. 429-434.
- McDonough, W. & Braungart, M.** (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

- Mikulková, A., Hájek, M., Štěpánková, M. & Ševčík, M.** (2015). Forest certification as a tool to support sustainable development in forest management. *Journal of Forest Science*, 61(8), 359–368.
- Milovanović, K. K., Arsovski, S., Arsić, A. K., Pavlović, A. & Ćurčić, S.** (2011). The Impact of CE Marking on the Competitiveness of Enterprises. *Strojarstvo*, 53(6), 445-453.
- Minkov, N., Bach, V. & Finkbeiner, M.** (2018). Characterization of the Cradle to Cradle Certified™ Products Program in the Context of Eco-labels and Environmental Declarations. *Sustainability*, 10(3), 738.
- Mura, A., Ricci, A. & Canavese, G.** (2018). Investigation of Fatigue Behavior of ABS and PC-ABS Polymers at Different Temperatures. *Materials*, 11, 1818.
- Năsulea, C. & Năsulea, D.** (2019). The Burden of CE Marking. *IREF Working Paper Series*, Paper No 201903.
- National Grid.** (2024). What are scope 1, 2 and 3 carbon emissions? [Erişim: 18.08.2024, <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-scope-1-2-3-carbon-emissions>]
- Ny, H., Haraldsson, H. V., Sverdrup, H. U. & Robèrt, K. H.** (2005). System Dynamic Modelling within Sustainability Constraints, *3rd International Conference, Industrial Ecology for a Sustainable Future*, 12-15 Haziran, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Peralta, M. E., Alcalá, N. & Soltero, V. M.** (2021). Weighting with Life Cycle Assessment and Cradle to Cradle: A Methodology for Global Sustainability Design. *Applied Sciences*, 11(19), 9042.
- Rizki, M., Gamayel, A. & Zaenudin, M.** (2024). Simulation on the influence of the shape of the carabiner as a hanging accessory on stress distribution using Autodesk Fusion 360. *Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(1), 33-40.
- Sariatli, F.** (2017). Linear Economy Versus Circular Economy: A Comparative And Analyzer Study For Optimization Of Economy For Sustainability. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1), 31-34.
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J. & Marquez-Barja, J. M.** (2021). A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*, 4, 372–404.

Savari, G. F., Sathik, M. J., Raman, L. A., El-Shahat, A., Hasanien, H. M., Almakhles, D., Aleem, S. H. E. A. & Omar, A. I. (2023). Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 14, 101938.

Scheer, D. & Rubik, F. (2005). Environmental product information schemes: an overview, F. Rubik & P. Frankl (Ed.), *The Future of Eco-labelling, Making Environmental Product Information Systems Effective*, Greenleaf Publishing, Sheffield, s. 46-91.

Schneider Electric. (2023). Product Environmental Profile, Schneider Charge 7,4/11/22KW 1P+N/3P+N 16/32A T2S TIC. [Erişim: 15.08.2024, https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Environmental+Disclosure&p_Doc_Ref=ENVPEP2310034_V1]

Shackelford, J. F. (2014). *Introduction to Materials Science for Engineers, 8th Edition*. Pearson.

Siemens. (2023). Ecodesign: Multiplying impact, shaping the world. [Erişim: 01.08.2024, <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f7d929ad-971f-44df-ac51-7783cc28dac7/Ecodesign-WP.pdf>]

Spreafico, C. (2022). An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 180.

Stahel, W. R. (2016). The Circular Economy. *Nature*, 531, 435-438.

Staniszewska, E., Klimecka-Tatar, D. & Obrecht M. (2020). Eco-design processes in the automotive industry. *Production Engineering Archives*, 26(4), 131-137.

Swedish Forest Industries Federation. (2024). Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). [Erişim: 03.08.2024, <https://www.forestindustries.se/current-issues/sustainable-products/SPI/>]

Teevan, C., Medinilla, A. & Sergejeff, K. (2021). *The Green Deal in EU foreign and development policy, Briefing Note No. 131*. The European Centre for Development Policy Management.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development, 6th Edition*. McGraw-Hill Education.

United States Environmental Protection Agency. (2024). Global Greenhouse Gas Overview. [Erişim: 05.08.2024, <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-overview>]

U.S. Department of Transportation. (2023). Charger Types and Speeds. [Erişim: 18.08.2024, <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/charging-speeds>]

Vianna, M., Vianna, Y., Adler, I.K., Lucena, B. & Russo, B. (2012). Design thinking: business innovation. MJV Press.

Wang, L., Qin, Z., Slangen, T., Bauer, P. & van Wijk, T. (2021). Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures - An Overview. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 2, 56-74.

Yang, C.M., Liu, T.H. & Zheng, Y.Y. (2019). A Study on Design Thinking Based Creative Product Design Process in a Design Project. *International Journal of Systematic Innovation*, 5(3), 62-71.

You, Y.J., Kim, J.H.J., Park, K. T., Seo, D. W. & Lee, T.H. (2017). Modification of Rule of Mixtures for Tensile Strength Estimation of Circular GFRP Rebars. *Polymers*, 9, 682.

Zare, Y. & Rhee, K.Y. (2018). A multistep methodology for calculation of the tensile modulus in polymer/carbon nanotube nanocomposites above the percolation threshold based on the modified rule of mixtures. *The Royal Society of Chemistry*, 8, 30986–30993.

Zbicinski, I., Stavenuiter, J., Kozłowska, B. & van de Coevering, H. P. M. (2006). *Product Design and Life Cycle Assessment, Book 3 in a series on Environmental Management*. The Baltic University Press.

EKLER

EK-1: İŞ BİRLİĞİ BEYANI

KOOPERATIONSSCHREIBEN

Frankfurt, 30.12.2024

Sehr geehrte Damen und Herren,

Betreff: Masterarbeit mit dem Titel „EXAMPLE APPLICATION IN SUSTAINABLE INDUSTRIAL PRODUCT DESIGN: 22 kW AC ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION“

Als Unternehmen Rudis Forschung & Entwicklung GmbH mit Sitz in Frankfurt, Deutschland, haben wir die Masterarbeit mit dem Titel „EXAMPLE APPLICATION IN SUSTAINABLE INDUSTRIAL PRODUCT DESIGN: 22 kW AC ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION“ unterstützt. Die Masterarbeit wurde im Rahmen des Masterprogramms für Industrielle Nachhaltigkeit an der Bilecik Şeyh Edebali Universität in der Türkei von Mustafa CANBULAT unter der Betreuung von Prof. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ entwickelt. Unsere Unterstützung erfolgte von Februar 2024 bis Januar 2025 und umfasste technische Ausstattungen, elektronische Bauteile sowie technische Informationen.

Wir hoffen, auch in Zukunft solche internationalen Kooperationen und erfolgreiche Ergebnisse erzielen zu können.

Mit freundlichen Grüßen,

OZGUR YILMAZ

Geschäftsentwicklung Manager

Rudis Forschung & Entwicklung GmbH