

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

ÜRETİM YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

BÜTÜNLEŞİK KANO MODELİ VE KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YÖNTEMİYLE
DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI: PVC SEKTÖRÜ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye ÇEBİ KUDAL

KASIM - 2024

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI

ÜRETİM YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

BÜTÜNLEŞİK KANO MODELİ VE KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YÖNTEMİYLE
DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI: PVC SEKTÖRÜ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye ÇEBİ KUDAL

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Birdoğan BAKİ

KASIM - 2024

TRABZON

ONAY

Sümeyye ÇEBİ KUDAL tarafından hazırlanan “Bütünleşik Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı Yöntemiyle Döngüsel Ürün Tasarımı: PVC Sektörü Uygulaması” adlı Çalışma 13.12.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oybirliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı’nda **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi		Karar		İmza
Unvanı - Adı ve Soyadı	Görevi	Kabul	Ret	
Prof. Dr. Yiğit KAZANÇOĞLU	Başkan	☐	☐	
Prof. Dr. Birdoğan BAKİ	Üye	☐	☐	
Doç. Dr. Pelin ŞENTÜRK	Üye	☐	☐	

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım.

Prof. Dr. Haydar AKYAZI
Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca KTÜ-Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanan bu Çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını aksinin ortaya çıkması durumunda her tür yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Sümeyye ÇEBİ KUDAL

24.11.2024

ÖNSÖZ

Artan çevre sorunları, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve atıkların etkili şekilde yönetilememesi, üretim ve tüketim alışkanlıklarımızda değişiklik yapmamız gerektiğini göstermektedir. Döngüsel ekonomi, atık oluşumunu önlemeyi, ürünlerin ömrünü uzatmayı ve doğayı korumayı hedefler. Bu yaklaşımın bir parçası olan döngüsel ürün tasarımı ise, ürünlerin çevreye zararını en aza indirmek ve kaynakları daha verimli kullanmak için tasarım aşamasında alınan kritik kararları içerir. Buradan hareketle, bu çalışmada döngüsel ürün tasarımı PVC sektöründe kapı ve pencere üretimi için müşteri odaklı bir perspektifle ele alarak, ürün tasarım süreçlerini iyileştirmek ve bunu yaparken de döngüsellik stratejilerini dikkate alarak çevresel sürdürülebilirliği artırmaya yönelik yenilikçi bir yaklaşım geliştirmek hedeflenmiştir.

Çalışmada ilk olarak hem çalışma hayatımda hem de yüksek lisans sürecimde her konuda yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, beni yönlendiren ve bilgilendiren, her türlü sorunda varlığıyla güven hissettiren, yalnızca akademik anlamda değil, hayatımın her alanında bana büyük katkı sağlayan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Birdoğan BAKİ'ye, teşekkürü en içten saygılarımla arz ederim. Çalışmanın uygulama kısmında her türlü katkı ve desteği sağlayan Uzay Plastik A.Ş. yöneticileri Ali Baştürk ve Taner Baştürk'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında, sabır ve desteklerini esirgmeden daima yanımda olan, beni her zaman cesaretlendiren sevgili annem Mehtap Çebi'ye, babam Cevat Çebi'ye ve biricik kız kardeşim İrem Çebi'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Zamana en çok ihtiyaç duyduğum bu dönemde, hep yanımda olan ve bana güç ile motivasyon veren sevgili hayat arkadaşım Mert Osman Kudal'a ise sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı ifade ederim.

Kasım, 2024

Sümeyye ÇEBİ KUDAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	VII
ABSTRACT	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
GRAFİKLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1-2

BİRİNCİ BÖLÜM

1. DÖNGÜSEL EKONOMİ VE DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI	3-25
1.1. Döngüsel Ekonomi.....	3
1.1.1. Döngüsel Ekonomi ile İlgili Temel Kavramlar	5
1.1.2. Döngüsel Ekonomi Stratejileri.....	9
1.1.3. Döngüsel Ekonominin Faydaları	11
1.1.4. Döngüsel Ekonominin Uygulanmasındaki Engeller	12
1.2. Yeni Ürün Geliştirme ve Döngüsel Ürün Geliştirme.....	14
1.3. Döngüsel Ürün Tasarımı	15
1.3.1. Eko-Tasarım.....	16
1.3.2. Döngüsel Ürün Tasarımına İlişkin Kavramlar	18
1.3.3. Döngüsel Ekonomiyi Destekleyen Ürün Tasarım Stratejileri.....	19
1.3.4. Döngüsel Ürün Tasarımının Önündeki Engeller.....	23

İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	26-46
2.1. Döngüsel Ekonomi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	26
2.2. Döngüsel Ürün Tasarımı ile Yapılmış Çalışmalar	31
2.2.1. Teorik Çalışmalar.....	32
2.2.2. Uygulamaya Yönelik Çalışmalar	35

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. PVC SEKTÖRÜNDE KANO MODELİ VE KALİTE FONKSİYON YAYILIMI KULLANARAK DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI.....	47-72
3.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı	47
3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler	49
3.2.1. Kano Modeli	49
3.2.2. Kalite Fonksiyon Yayılımı.....	51
3.2.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	54
3.3. Uygulama	55
3.3.1. Müşteri Gereksinimlerinin Belirlenmesi.....	57
3.3.2.1. Kano Anketinin Uygulanması	58
3.3.2.2. Müşteri Gereksinimlerinin Sınıflandırılması	59
3.3.3. Kalite Fonksiyon Yayılımı.....	61
3.3.3.1. Müşteri Gereksinimlerinin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	61
3.3.3.2. Teknik Gereksinimlerin Belirlenmesi.....	62
3.3.3.3. Müşteri Gereksinimleri ile Teknik Gereksinimler Arasındaki İlişki Matrisinin Oluşturulması.....	63
3.3.3.4. Teknik Gereksinimler Arasındaki Korelasyon Matrisinin Oluşturulması	64
3.3.3.5. Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Teknik Gereksinimlerin Önem Sıralamalarının Belirlenmesi	64
3.3.3.6. Duyarlılık Analizi	67
3.4. Tartışma	68
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKÇA	73
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	104

ÖZET

Firmaların döngüsel ekonomi ilkelerine uygun hareket etmesi, sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından stratejik bir zorunluluk haline gelmektedir. Ürün tasarımı, kaynakların etkin kullanımı, atıkların azaltılması ve ürün ömrünün uzatılmasıyla bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır. İlgili literatür incelendiğinde müşteri odaklı ürün tasarımının döngüsellik stratejileri dikkate alınarak üzerine yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buradan hareketle bu çalışmanın amacı; Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemlerini bütünleşik bir şekilde kullanarak döngüsel ürün tasarımı sürecinde müşteri gereksinimlerini belirleyip bu gereksinimlerin firma tarafından nasıl karşılanabileceğini analiz etmektir. Uygulama, Trabzon ilinde PVC kapı ve pencere üretimi yapan bir firmada (Uzay Plastik A.Ş.) gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla üç aşamalı bir uygulama süreci izlenmiştir. İlk aşamada PVC kapı ve pencere ürünleri için döngüsel ürün tasarımı özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada döngüsel ürün tasarımında müşterilerin (tüketicilerin) istekleri, Kano modeline göre sınıflandırılmıştır. Bu amaçla kolayda örnekleme yöntemiyle seçilen toplam 409 müşteriye anket uygulanmıştır. Daha sonra ise üçüncü aşamaya geçilerek, müşteri isteklerinin firma tarafından teknik olarak nasıl karşılanacağını belirlemek amacıyla Uzay Plastik A.Ş.'de firmasında QFD uygulaması yapılmıştır. Bu aşamada ilk adımda müşteri özelliklerinin önem ağırlıkları hesaplanmış ve teknik gereksinimler belirlenmiştir. Daha sonraki adımda, Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemiyle müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkileri belirlemek için bulanık dilsel ifadeler yardımıyla ilişki matrisi oluşturulmuş, teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonlar belirlenmiş ve Bulanık TOPSIS yöntemiyle teknik gereksinimler sıralanmıştır. Son adımda ise duyarlılık analizi yapılmıştır.

Kano Modeli kullanarak elde edilen bulgulara göre müşteri isteklerinin 2 adeti heyecan verici özellik olmak üzere üç farklı kategoride sınıflandırılmıştır. Daha sonra bu özelliklerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bunun sonucunda en yüksek öneme sahip ürün özelliği *güvenilirlik* olarak belirlenmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemiyle teknik gereksinimlerin önem sıralamalarının belirlendiği analiz sonucunda; *ürün tasarımının modüler şekilde yapılması* en yüksek önceliğe sahip teknik gereksinim olarak ilk sırada bulunmuştur. Yapılan duyarlılık analizi sonucunda, farklı senaryoların teknik gereksinimlerin önem sıralamasını değiştirmedeği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Döngüsel Ürün Tasarımı, Kano Modeli, Kalite Fonksiyon Yayılımı, Bulanık TOPSIS

ABSTRACT

The strategic imperative for firms to align with circular economy principles has become crucial for sustainability and resource efficiency. Product design plays a critical role in this process by ensuring efficient resource utilization, reducing waste, and extending product lifespan. A review of the related literature reveals a lack of studies focusing on customer-oriented product design within the context of circularity strategies. Building on this gap, the objective of this study is to analyze how customer requirements can be identified and addressed by firms in the circular product design process using an integrated approach that combines the Kano Model and Quality Function Deployment (QFD) methodology. The application was carried out in a PVC door and window manufacturing company, Uzay Plastik A.Ş., located in Trabzon, Turkey.

A three-phase implementation process was followed for this purpose. In the first phase, circular product design features for PVC door and window products were identified. In the second phase, customer demands in circular product design were classified using the Kano Model. For this, a survey was conducted with a total of 409 customers selected through a convenience sampling method. The third phase involved applying QFD at Uzay Plastik A.Ş. to determine how customer requirements could be technically addressed by the firm. In this phase, the importance weights of customer requirements were calculated, and technical requirements were identified. Subsequently, a relationship matrix was developed using fuzzy linguistic expressions to link customer requirements with technical requirements through the Quality Function Deployment method. Correlations among technical requirements were identified, and the technical requirements were prioritized using the Fuzzy TOPSIS method. Finally, a sensitivity analysis was conducted.

Findings obtained using the Kano Model classified customer requirements into three different categories, including two attractive features. The weights of these features were calculated, with reliability emerging as the most important product feature. According to the analysis results, where technical requirements were prioritized using the Fuzzy TOPSIS method, modular product design was identified as the top priority technical requirement. Sensitivity analysis indicated that different scenarios did not alter the importance rankings of the technical requirements.

Keywords: Circular Economy, Circular Product Design, Kano Model, Quality Function Deployment, Fuzzy TOPSIS

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo Nr.	Tablo Adı	Sayfa Nr.
1	Döngüsel Ekonominin Çeşitli Tanımları	3
2	Kano Modeli Anketi Değerlendirme Tablosu	51
3	Döngüsel Ürün Tasarım Özellikleri.....	57
4	Kano Anketi Katılımcı Bilgileri	59
5	Özelliklere Ait Kano Sıklık Değerleri	59
6	Özelliklere Ait Kano Kategorileri	60
7	Müşteri Gereksinimlerinin Ağırlık Değerleri	62
8	Teknik Gereksinimler Listesi	62
9	Bulanık Dilsel Terim Kümeleri	64
10	Teknik Gereksinimlerin İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralanması	65
11	Duyarlılık Analizi Sonuçları.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil Nr.	Şekil Adı	Sayfa Nr.
1	Döngüsel Ekonomi Stratejileri	9
2	Kano Modeli Müşteri Memnuniyeti Grafiği.....	50
3	Kalite Evi.....	53
4	Uygulama Adımları	56
5	Uygulama Sonucunda Oluşturulan Kalite Evi.....	66
6	Duyarlılık Analizi Sonuçlarının Grafik Olarak Gösterilmesi	68

KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	: Analytical Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
AGV	: Automated Guided Vehicle
CE	: Circular Economy
CEIP	: Circular Economy Indicator Prototype
CET	: Circular Economy Toolkit
CFD	: Circularity Function Deployment
CPI	: Circularity Potential Indicator
CPR	: Circular Product Readiness
CPD Toolkit	: Circular Product Design Toolkit
DfCD	: Design for Circularity and Durability
DfPC	: Desing for Product Circularity
DfX	: Desing for X
IoT	: Internet of Things
MCI	: Material Circularity Indicator
Mİ	: Müşteri İstekleri
MOO	: Multi-Objective Optimization
NSGA-II	: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II
PVC	: Poli Vinil Clorür
QFD	: Quality Function Deployment
SOO	: Single-Objective Optimization
TG	: Teknik Gereksinim
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TRIZ	: Teorijz Rezhenija İzobretatel'skich Zadach

GİRİŞ

Sürdürülebilirlik, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kapasitesini tehlikeye atmadan çevresel, ekonomik ve sosyal dengeyi korumayı amaçlar (Kuhlman ve Farrington, 2010: 3438). Birleşmiş Milletler, sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla 17 başlıktan oluşan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri belirlemiştir. Bu hedeflerden on ikincisi olan sorumlu üretim ve tüketim hedefi, firmaların döngüsel ekonomiyi destekleyerek üretimdeki katı atık miktarını önemli ölçüde azaltmak için önleme, azaltma, geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi konuları benimsemeleri gerektiğini vurgular. Diğer taraftan, 12. Kalkınma planında da döngüsel ekonomi ve üretim kavramına yer verilmiştir.

Döngüsel ekonomi, kaynakları daha verimli kullanarak, malzemeleri yeniden kullanarak ve geri dönüştürerek sürdürülebilir kalkınmayı destekler (Korhonen vd., 2018: 547). Ürün tasarım süreçlerinde döngüsel ekonomi prensiplerinin erken aşamalarda entegre edilmesi büyük önem taşır, çünkü ilerleyen aşamalarda değişiklikler yapılması oldukça zor hale gelir (Bocken vd., 2016: 310). Bu bağlamda, modern işletmelerin ürün geliştirme süreçlerinde sürdürülebilirliği ve döngüsellliği öncelikli bir yaklaşım olarak benimsemeleri kaçınılmazdır (Chiu ve Chu, 2012: 1259).

En yaygın kullanılan plastik türlerinden biri olan PVC, su ve ateşe karşı direnci, kolay bakımı, uzun ömrü, esnekliği, sertliği ve renk çeşitliliği gibi özellikleriyle çok yönlü özellikleriyle inşaat ve yapı, elektrik sistemleri ve tüketici ürünleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılsa da çevresel risklere yol açan atık üretimi nedeniyle önemli çevresel zorluklar taşımaktadır (Ait-Touchente vd., 2024: 2). Öte yandan, Lu vd., (2023: 245) etkili bir yönetim stratejisi uygulanmazsa, plastik atıkların 2050 yılına kadar ciddi bir ekolojik kriz riski ortaya çıkarabileceğini ileri sürmüşlerdir.

İlgili literatür incelendiğinde; yukarıda belirtilen bu çevresel sorunlara, ürün tasarımı bağlamında çözüm geliştirmek amacıyla müşteri odaklı döngüsel ürün tasarımı Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemleri ile bütünleşik bir şekilde ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca müşteriler tarafından belirlenen döngüsel ürün tasarımı özelliklerinin firmalar tarafından nasıl karşılanacağını gösteren teknik gereksinimler Bulanık TOPSIS yöntemiyle sıralayan bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışma PVC kapı ve pencere ürünlerinin tasarlanırken döngüsel özelliklerin dikkate alınıp hangi teknik gereksinimlerle karşılanacağına karar vermeyi hedefleyen bir yaklaşım sunmayı amaçlamıştır.

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada PVC kapı ve pencere ürünleri için döngüsel ürün tasarımı özellikleri belirlenmiş, belirlenen müşteri özellikleri Kano Modeli yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Ardından Kano dönüşümü ile özelliklerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemi ile müşteri özellikleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler oluşturularak Bulanık TOPSIS yöntemi ile teknik gereksinimlerin önem sıraları bulunmuştur.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde, döngüsel ekonomi ve döngüsel ürün tasarımı ile ilgili bilgiler verilmiş, eko-tasarım, döngüsel ürün geliştirme, döngüsel ürün tasarımı ile ilişkili kavramlar ve ürün tasarımında kullanılan döngüsellik stratejilerinden bahsedilmiş son olarak da döngüsel ürün tasarımının önündeki engellere değinilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde döngüsel ekonomi ve özellikle de döngüsel ürün tasarımı konularında teorik ve uygulamalı çalışmaların incelendiği literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, çalışmanın amacı ve önemi ele alınmış, ayrıca kullanılan yöntemler ve izlenen aşamalar detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra, döngüsel ürün tasarımı sürecinde müşteri gereksinimlerini belirleyerek, bu gereksinimlerin nasıl karşılanabileceğinin analiz edilmesi amacıyla yapılan uygulamaya yer verilmiştir.

Çalışmanın sonunda elde edilen bulgular detaylı bir şekilde değerlendirilmiş ve gelecekte gerçekleştirilebilecek çalışmalara yönelik öneriler sunulularak çalışma tamamlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. DÖNGÜSEL EKONOMİ VE DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI

1.1. Döngüsel Ekonomi

Sanayileşme süreciyle birlikte, kâr elde etmek doğrusal ekonominin temel amacı haline gelerek pazarlara birçok ürün sunulmuş ve artan taleple birlikte ekonomik büyüme, doğrusal ekonominin ana ilkesi olan tüketim ve atık üretimini teşvik etmiştir (Morseletto, 2023: 1). Bu dönemde, çok sayıda ürün için doğrusal ekonomi modeli benimsenmiş ve ürünlerin genellikle yeniden kullanım veya onarımı mümkün olmamıştır (Morseletto, 2023: 1). Doğrusal ekonomi, kaynakların çıkarıldığı, ürünlere dönüştürüldüğü, kullanıldığı ve daha sonra yakıldığı veya depolandığı "al, üret, at" yaklaşımına dayanmaktadır (Sillanpää vd., 2019: 1).

Diğer taraftan hammadde israfı, atık sorunları ve çevresel riskler doğrusal ekonominin ana zorluklarıdır ve bu nedenle döngüsel ekonomi (Circular Economy: CE) gibi daha sürdürülebilir bir modelin gerekliliği ortaya çıkmıştır (Sharma vd., 2021: 1803-1804).

Doğrusal ekonominin alternatifi olan döngüsel ekonomi, sürdürülebilirliği esas alarak kaynakların daha etkin kullanılmasını ve atıkların azaltılmasını amaçlayarak, malzemelerin sürekli olarak dönüştürülmesiyle ekonomik faaliyetlerin çevresel etkilerini en aza indirger, böylece doğrusal tüketim modelinden farklı bir yaklaşım sunar (Sauvé vd, 2015: 53). Döngüsel ekonominin literatürde çeşitli tanımları mevcut olup bunlardan bazıları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Döngüsel Ekonominin Çeşitli Tanımları

Yazar	Tanım
Ellen MacArthur Foundation (2013)	Yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmeyi, zararlı toksik kimyasalların kullanımını azaltmayı ve malzemeler, ürünler ve sistem tasarımıyla atıkları minimize etmeyi hedefleyen endüstriyel bir sistemdir.
European Commission (2015)	Ürünlerin, malzemelerin ve kaynakların değerinin ekonomide olabildiğince uzun süre korunmasını ve minimum düzeyde atık oluşmasını hedefleyen bir ekonomi modelidir.
Lieder vd. (2016: 37)	Doğal kaynak tüketimini azaltmayı, atık oluşumunu minimize etmeyi ve kaynakları verimli bir şekilde kullanmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu model, geleneksel doğrusal ekonominin aksine, kaynakları döngüsel olarak kullanarak atık oluşumunu azaltmayı ve endüstrilerin atıkları kaynak olarak görerek ekonomik kazanç elde etmeyi amaçlar. Böylece, çevresel sürdürülebilirlikle ekonomik büyümeyi birleştirerek doğal kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar.
Sauvé vd. (2016 :53)	Malzemelerin kapalı döngüsel akışları aracılığıyla üretilip tüketildiği süreçte çevresel dışsallıkları içselleştiren bir üretim ve tüketim modelini ifade eder. Bu modelde, doğal kaynaklardan oluşan atıkların ve çevre kirliliği gibi çevresel etkilerin içselleştirilmesi, malzeme döngüsünün temelini oluşturur.

Tablo 1: (Devamı)

Yazar	Tanım
Geissdoerfer vd. (2017: 759)	Kaynak kullanımını en aza indiren, atık, emisyon ve enerji kayıplarını azaltan malzeme ve enerji döngülerini yavaşlatmayı, kapatmayı ve daraltmayı içeren yenilenebilir bir sistem olup bunu uzun ömürlü tasarım, bakım, onarım, tekrar kullanım, yeniden üretim, restore etme ve geri dönüşüm gibi yöntemlerle yapmaktadır.
Kirchherr vd. (2017: 229)	Ürünlerin, şirketlerin ve tüketicilerin katıldığı mikro düzeyden başlayarak, ekolojik endüstriyel parklar gibi orta ölçekli alanlara (mezo düzey) ve şehirlerden uluslararası seviyeye kadar geniş bir ölçekte (makro düzey) faaliyet gösteren bir ekonomik sistemdir. 'End-of-life: ömrün sonu' kavramını ortadan kaldırarak malzemelerin azaltılması, yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi ve geri kazanılmasına dayanan iş modelleri üzerine kurulmuştur. Temel hedefi; sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak ve çevresel kalite, ekonomik refah ve sosyal adaleti günümüz nesilleri ve gelecek nesiller için geliştirmektir.
Murray vd. (2017: 377)	Planlama, kaynak sağlama, tedarik, üretim ve yeniden işleme süreçlerinin hem süreç hem de çıktı olarak tasarlandığı ve yönetildiği bir ekonomi modelidir. Döngüsel ekonomi, insanlar, onların faaliyetleri ve çevreleri arasındaki ilişkiyi merkeze alan bir yaklaşım benimser.
Homrich vd. (2018: 534)	Kaynak kıtlığı ve atıkların bertaraf edilmesi gibi zorlukların üstesinden gelmek için geliştirilmiş, ekonomik ve değer odaklı kazan-kazan yaklaşımına sahip, geleneksel açık sistemlere karşı bir stratejidir.
Morseletto vd., (2020: 1)	Kaynakların verimli kullanımını, atık azaltımını, uzun vadeli değer korunmasını, birincil kaynakların azaltılmasını ve ürünlerin, ürün parçalarının ve malzemelerin çevresel koruma sınırları içinde, ekolojik ve sosyo-ekonomik faydaları gözeterek kapalı döngülerde kullanılmasını amaçlayan bir ekonomik modeldir.

Bu tanımlar, döngüsel ekonominin temel prensiplerini vurgulamaktadır. Ortak noktaları, kaynakların verimli kullanımıyla atıkların azaltılması ve doğal kaynakların döngüsel olarak kullanılmasıdır. Ayrıca, çevresel sürdürülebilirlikle ekonomik büyümeyi birleştirmeyi hedeflemektedir. Ürünlerin ömrünün uzatılması, geri dönüşüm ve tekrar kullanım gibi yöntemlerle malzeme ve enerji döngülerinin optimize edilmesi bu yaklaşımların temelini oluşturmaktadır. Doğal kaynakların korunması, çevresel kalite, ekonomik refah ve sosyal adalet gibi değerler bu modellerin odak noktasını oluşturmaktadır. Tüm bu tanımlar, daha etkin kaynak kullanımıyla atıkları azaltmayı, çevresel etkileri en aza indirmeyi ve ekonomik kazancı sürdürülebilirlikle birleştirmeyi amaçlayan sürdürülebilir bir yaklaşımı yansıtmaktadır.

Doğal kaynakların daha etkin kullanımı ve israfın önlenmesi, az miktarda malzemeyle maksimum fayda sağlamayı amaçlayarak dışa bağımlılığı azaltırken, enerji ve su tüketimini düşürmeyi hedeflemektedir (Reichel vd., 2016:11). Döngüsel ekonomi, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynaklara öncelik vererek emisyonu azaltmayı, temiz malzeme döngüleriyle çevresel kirliliği en aza indirmeyi ve kaynakların daha verimli kullanılmasıyla atık miktarını minimize etmeyi amaçlar (Reichel vd., 2016:11).

Döngüsel ekonomi mikro, mezo (orta) ve makro şeklinde farklı seviyelerde gerçekleşmektedir (Ghisellini vd., 2016: 12).

Döngüsel ekonominin mikro seviyedeki (firma ve tüketici düzeyinde) uygulamaları; üretim sektöründe eko-tasarım ve temiz üretim, tüketim sektöründe ise tüketicilerin sorumluluğu ve yeşil kamu alımları, atık yönetiminde kaynakların geri kazanımı ve çevresel etkinin azaltılması gibi

eylemleri kapsamaktadır (Ghisellini vd., 2016: 18). Son yıllarda, mikro seviyede döngüsel iş modellerine yönelik artan bir ilgi gözlemlenmiş olup, bu kapsamda şirketler geri dönüşüm, yeniden kullanım ve kaynakların azaltılmasına yönelik faaliyetlere odaklanmakta ve bu seviyede firmalar, yenilenebilir enerji süreçlerini benimseyerek malzeme döngüsünü kapatma, kaynak tüketimini azaltma ve daraltma hedeflerini desteklemektedir (Nikolaou vd., 2021: 601). Şirketlerin ve ürünlerin çevresel, ekonomik ve sosyal performanslarını değerlendirmek amacıyla mikro seviyede kullanılan göstergeler; kaynak tüketimi, üretim süreçleri, hizmetler, katma değer, iş gücü, Ar-Ge, atık yönetimi ve hava emisyonları gibi unsurlardan oluşmaktadır (Ahmed vd., 2022: 707).

Mezo seviyede (eko-endüstriyel parklar), endüstriyel ekoloji ve döngüsel ekonomi arasındaki ilişkiye ve atık malzemelerin iş birliği yoluyla bir firmanın çıktısı diğer bir firma tarafından hammadde olarak kullanılabilmesi Endüstriyel Simbiyoz kavramına odaklanılmaktadır (Nikolaou vd., 2021:601). Ayrıca bu seviyedeki eylemler, endüstriyel parkların, Endüstriyel Simbiyoz bölgelerinin ve ağlarının ve üretim ağlarının diğer ilgili alanlarının geliştirilmesi dahil olmak üzere yalnızca üretim tarafıyla ilgilidir (Ghisellini vd.,2016: 20). Bu seviyede belirli bir sektörün veya endüstriyel parkın performansını değerlendirmek için kullanılan göstergeler; birincil kaynak tüketimi (hammadde), ikincil kaynak tüketimi (geri dönüştürülmüş malzemeler), kaynakların kullanımı, atık bertarafı veya işlemi, hava emisyonları şeklindedir (Ahmed vd., 2022: 707).

Makro seviyede; şehirlerde, bölgelerde ve ülkelerde döngüsel ekonominin uygulanması endüstriyel sistemlerde yapılan altyapı hizmetlerinde (ulaşım, iletişim, su geri dönüşümü, temiz enerji gibi hizmetlerde), kültürel ve sosyal sistemlerde entegrasyon ve yeniden tasarımı içeren işbirlikçi tüketim modelleri, ekolojik şehirler, yenilikçi atık yönetimi ve sıfır atık programları gibi uygulamalarla gerçekleştirilmektedir (Ghisellini vd.,2016: 22). Bu seviyede uluslararası ticarete malzemelerin ve ürünlerin değişimine odaklanılmaktadır (Ahmed vd., 2022: 707). Bu seviyedeki performans göstergeleri; birincil (hammadde), ikincil (geri dönüştürülmüş malzemeler), imal edilmiş ürünler, kullanılmış (ikinci el veya yenilenmiş) ürünler, atık ve hurda gibi unsurları içermekte ve ulusal ölçekte ise, kaynak çıkarımı, tüketimi, kullanımı, atık bertarafı veya işlenmesi ve hava emisyonları gibi alanlarda değerlendirmeler yapılmaktadır (Ahmed vd., 2022: 707).

1.1.1. Döngüsel Ekonomi ile İlgili Temel Kavramlar

Döngüsel ekonomiyi tam olarak anlamak için çeşitli temel kavramların incelenmesi gerekmektedir. Aşağıda, döngüsel ekonomi ile ilgili bu kavramlar açıklanmaktadır.

Beşikten Beşiğe

Beşikten Beşiğe (Cradle-to-Cradle) yaklaşımı, atıkları yeniden kullanılabilir kaynaklar olarak değerlendiren ve hem biyolojik hem de teknik döngülerde malzeme akışlarının sürekli olarak sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini, enerji gereksinimlerinin yenilenebilir kaynaklarla

karşılanmasını ve ekolojik, ekonomik ve kültürel çeşitliliği teşvik ederek sistemlerin dayanıklılığını artırmayı amaçlayan, çevresel etkileri en aza indirmek yerine pozitif katkılar sağlamayı hedeflemektedir (Toxopeus vd., 2015: 384-385). Bu yaklaşım, biyolojik sistemlerin doğal döngülerinden esinlenerek ürünlerin bileşenlerini ve malzemelerini döngüsel bir teknik metabolizma içinde düşünmeyi ve tasarlamayı amaçlamaktadır, böylelikle ürünlerin ömrünün sonunda geri dönüşümünü kolaylaştırırken kaynakların verimli kullanımını teşvik etmekte, aynı zamanda çeşitliliği vurgulamakta, sağlıklı ekosistemlerin oluşumunu sağlamakta ve sertifikasyon mekanizmaları aracılığıyla uygulanabilirliğini ve standartlarını desteklemektedir (Geisendorf ve Pietrulla, 2018: 773-774).

Temiz Üretim

Temiz Üretim, ürünlerin üretiminde ve hizmetlerin sunumunda sürekli olarak uygulanan bütünsel bir önleyici strateji olup üretim süreçlerinde hammadde ve enerji korunmasını, toksik hammaddelerin eliminasyonunu, emisyon ve atık miktarıyla toksisitesinin süreç içinde azaltılmasını amaçlamaktadır (Yi, 2003: 1). Temiz üretim, bir yandan atık miktarını azaltarak maliyetleri düşürürken diğer yandan da şirketlere çevresel ve ekonomik faydalar sağlamaktadır; ancak, benimsenmesi ve izlenmesi, süreçlerde, ürünlerde ve hizmetlerde uygulanacak olması nedeniyle çeşitli zorluklar barındırmaktadır (Ghisellini vd.,2016: 25). Temiz Üretim, işlemlerde enerji ve hammadde tasarrufu sağlayarak, toksik maddelerin kullanımını azaltma ve atık/emisyon miktarının azaltılması gibi önleyici adımlarla ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmakta; bu da Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin etkili bir şekilde hayata geçirilmesine destek olmaktadır (Giannetti vd., 2020: 2).

Endüstriyel Simbiyoz

Endüstriyel Simbiyoz (Industrial Symbiosis), geleneksel olarak farklı işletmelerin veya sektörlerin, malzemeler, enerji, su ve yan ürünlerin paylaşımını, dönüşümünü ve karşılıklı fayda sağlayan ilişkileri içeren bir bütüncül yaklaşımı ifade etmekte olup; bu yaklaşım, atıkları en aza indirerek ve kaynakları daha verimli kullanarak sektörler arası iş birliğini teşvik etmekte, ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar elde etmeyi amaçlamaktadır (Neves vd., 2019: 1-2). Endüstriyel Simbiyoz bölgelerinin gelişimi, uzun vadeli planlamadan bağımsız olarak geliştirilen, şirketler arasında malzeme alışverişi, enerji akışları veya hizmet değişimine dayanan belirli anlaşmalar üzerine kurulu "alttan yukarıya" bir yaklaşıma dayanmaktadır (Scafà vd., 2018: 1187). Endüstriyel Simbiyoz ağlarında, kâğıt ve selüloz, enerji üretimi, metal, madencilik sektörleri birincil sektörlerdir bunların yanı sıra atık yönetimi, su yönetimi ve geri dönüşüm gibi faaliyetler de çeşitlilik ve iş birliği potansiyeli oluşturan önemli unsurlardır (Domenech vd., 2019: 82).

Biyomimikri

Biyomimikri (Biomimicry), doğadan esinlenerek farklı disiplinlerin iş birliğiyle, insanların tasarım ve teknoloji sorunlarına sürdürülebilir çözümler bulmalarını hedefleyen bir alan olarak

doğanın döngüsel kaynak kullanımı ve enerji tasarrufu gibi özelliklerinden ilham alarak daha etkili tasarımların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Verbrugghe vd., 2023: 1). Doğadaki organizmaların yapılarından, işlevlerinden ve süreçlerinden esinlenerek endüstriyel tasarım ve teknoloji geliştirmeyi amaçlayan bir disiplin olup, kaynakların etkin kullanımı, çevrenin korunması ve toplumsal ihtiyaçların karşılanması gibi sürdürülebilirlik ve ekolojik dengeyi sağlama çabalarında önemli bir rol oynamaktadır (Wamane vd., 2023: 10).

Kapatma Döngüsü

Kapatma döngüsü (Closing Loop), geri dönüşümle, kullanım sonrası atıkların yeniden üretim sürecine dahil edilerek kaynakların döngüsel bir şekilde sürekli olarak kullanılmasıdır. (Bocken vd., 2016:309). İleri lojistik (tedarik, üretim ve dağıtım) ve ters lojistik faaliyetlerini birleştirerek, kaynak kullanımını azaltmayı ve atık oluşumunu önlemeyi hedefleyen bir lojistik sistemi olup atıkları yeniden kullanım için dönüştürür veya ürünlerin dayanıklılığını artırarak daha uzun süre kullanılmasını sağlamaktadır (Sehne vd., 2019: 785). Kapatma döngüsü; kullanılmış ürünleri, bileşenleri ve malzemeleri çöpe atmak yerine, onları diğer üretim zincirlerinde değer oluşturacak şekilde yeniden yönlendirmektedir, bu şekilde kaynakların verimli kullanılmasını teşvik etmekte ve atık miktarını minimize etmeye yardımcı olmaktadır (Sehne vd., 2019: 785). Kapatma döngüsü, teknolojik döngüde tasarımın malzemelerin sürekli geri dönüştürülmesini sağlaması, biyolojik döngüde doğada ayrışabilen malzemelerle yeni döngüler oluşturması ve sökme ile yeniden montajda ürün parçalarının kolayca ayrılmasını mümkün kılmasıyla desteklenmektedir (Bocken vd., 2016: 311).

Yavaşlatma Döngüsü

Yavaşlatma döngüsü (Slowing Loop), uzun ömürlü ürün tasarımı ve ürün ömrünü uzatma stratejilerini ifade eder; bu yaklaşım, ürünlerin kullanım sürelerini artırarak kaynak akışını yavaşlatmakta ve böylece toplam ürün talebini azaltmaktadır (Bocken vd., 2019: 164). Uzun ömürlü ürün tasarımı ve ömür uzatma stratejileri, malzemelerin uzun vadeli kullanımını ve yeniden kullanımını teşvik etmektedir (Bocken vd., 2016:309). Ek olarak, ekonomik sistem içerisinde ürün ve bileşenlerin değerini maksimum düzeye çıkarmayı amaçlayarak, yeniden kullanım, onarım, bakım, yenileme, yeniden üretim ve paylaşım süreçlerini kapsamaktadır (Konietzko vd., 2019: 436).

Daraltma Döngüsü

Daraltma döngüsü (Narrowing Loop), tasarım ve üretim aşamalarında ürünlerin, bileşenlerin, malzemelerin ve enerjinin daha az kullanılmasını ve aynı şekilde teslimat, kullanım ve geri kazanım süreçlerinde de daha az kaynağın tüketilmesini ifade eder (Konietzko vd., 2020: 4). Kaynak verimliliği kavramıyla yakından ilişkilidir ve doğrusal bir iş modeli içerisinde de etkin bir şekilde uygulanan bu yaklaşım tüketicilere en azından aynı performans seviyesini sunarken daha düşük bir çevresel etki sağlayan ürün ve hizmetlerin tasarlanmasını hedeflemektedir (Jensen, 2018:3). Bu

döngüler, ürün akış hızını etkilemez ve tamir gibi hizmet döngülerini içermemektedir (Bocken vd., 2016: 310).

Bilgilendirme Döngüsü

Bilgilendirme (Informing loop), döngüsel ekonomiyi desteklemek için bilgi teknolojisinin kullanılmasıdır, bu strateji, yapay zekâ, nesnelerin interneti, büyük veri ve çevrimiçi platformlar gibi teknolojilerin döngüsel ekonomi için önemini vurgulamaktadır (Konietzko vd., 2020:6). Ancak bilgi teknolojisinin kullanımı enerji kullanımı gibi olumsuz etkilere de yol açabileceğinden dolayı, bilgi teknolojisi döngüsellliği sağlamak için değil, bir araç olarak kullanılması gerekmektedir (Konietzko vd., 2020:6).

Yenileyici Tasarım

Yenileyici tasarım (Regenerative Design) ürün ve hizmetlerin tasarımında yenilenebilir kaynaklara dayanarak kapalı döngü bir model oluşturmayı, biyomimikri ilkeleriyle atıksız bir sistemi teşvik etmeyi ve yerel kaynakları koruyarak gereksiz taşımacılığı azaltmayı amaçlayan bir yaklaşımdır (Geisendorf ve Pietrulla, 2018: 774).

Ürün -Hizmet Sistemleri

Ürün-Hizmet Sistemi (Product- Service Systems), tüketici işlevselliğini artırırken çevresel etkiyi azaltmayı amaçlayan, ürünler ve hizmetlerin entegre edildiği bir yaklaşımdır (Beuren vd., 2013: 223-224). Ürün-Hizmet Sistemi, sürdürülebilirlik açısından önemli olmasına rağmen son yıllarda daha çok ekonomik faydalara odaklanmıştır; ürün ömrünü uzatma ve kaynak verimliliğini artırma potansiyeline sahip olan bu sistemler (ürün odaklı, kullanım odaklı ve sonuç odaklı) kaynak azaltımında kesin bir garanti sağlamamaktadır (Kjaer vd., 2019: 24). Sürdürülebilir Ürün-Hizmet Sistemi, yenilikçi yöntemlerle müşteri memnuniyetini artırmayı, kaynak kullanımını optimize etmeyi ve çevresel, toplumsal ve ekonomik değerler yaratmayı hedefler ayrıca bu sistemler, ekonomik farklılaşma, sosyal iş birlikleri ve çevresel verimlilik sağlarken, atık üretimini azaltma ve ürün yaşam döngülerini uzatma gibi çeşitli faydalar sunmaktadır. (Hernandez, 2019: 3).

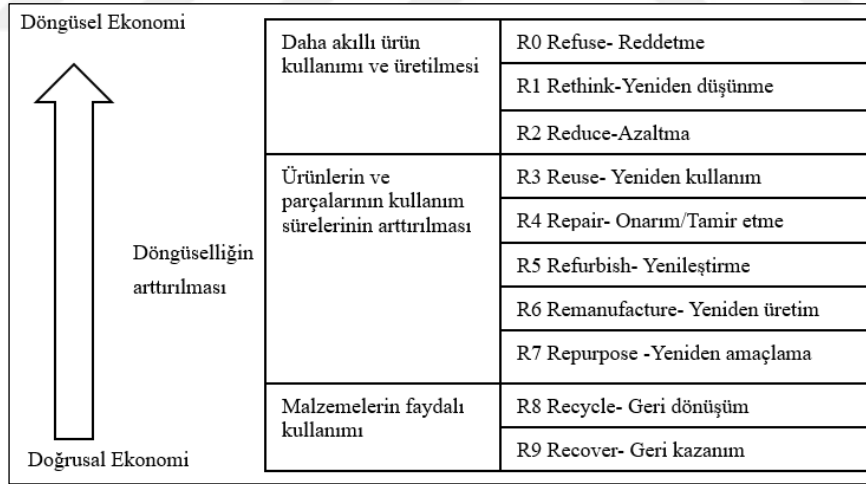
Ürün Yaşam Döngüsü

Ürün yaşam döngüsü (Life Cycle Assessment), hammadde temininden üretim, kullanım ve atık yönetimi aşamalarına kadar olan süreçlerdeki potansiyel çevresel etkileri ve kaynak kullanımını değerlendiren, doğal çevre, insan sağlığı ve kaynakları dikkate alarak her aşamadaki sorunları önlemeye yönelik kapsamlı bir yöntemdir (Finnveden vd., 2009: 1-2). Bu yaklaşım, döngüsel ekonomi stratejilerinin sürdürülebilir performansını değerlendirmek ve geliştirmek için kritik bir metodolojidir. Bu bağlamda, malzeme verimliliği, ürün ömrü ve enerji verimliliği gibi alanlarda en iyi seçeneklerin belirlenmesine önemli katkılarda bulunur (Peña vd., 2021: 217-218).

1.1.2. Döngüsel Ekonomi Stratejileri

Döngüsel ekonomi stratejileri, literatürde “3R” denilen üç ana konu (Reduce, reuse ve recycle; azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşüm) üzerinden incelenerek zamanla genişlemiştir (Ghisellini vd., 2016: 15). Azaltma; üretim ve tüketim süreçlerinde daha verimli yöntemlerle enerji, ham madde ve atık miktarını en aza indirmeyi hedeflerken, yeniden kullanım kaynakların daha az tükenmesini sağlayarak çevresel etkiyi azaltmaktadır, geri dönüşüm ise atıkların tekrar kullanılabilir kaynaklara dönüştürülerek atık miktarını ve çevresel etkiyi azaltmaktadır (Ghisellini vd., 2016: 15-16). Bununla birlikte Jawahir ve Bradley (2016), sürdürülebilir üretimin daha geniş ve yenilikçi bir perspektiften ele alınması gerektiğini belirterek, döngüsel ekonominin teknolojik bileşenlerini tanımlamışlardır. Bu tanımlama, “geri kazanım, yeniden tasarım ve yeniden üretim” olarak ifade edilen “recover, redesign ve remanufacture” prensiplerini içermekte olup bu prensipler, ekonomi, toplum ve çevre için sürdürülebilir değer yaratmanın temelini oluşturmaktadır (Jawahir ve Bradley, 2016: 2). Daha sonra Potting vd. (2017) “refuse, rethink, repair, refurbish ve repurpose; reddetme, yeniden düşünme, onarım/tamir etme, yenileştirme ve başka bir amaçla kullanma” prensiplerini ekleyerek kavramı genişletmişlerdir. Potting vd. (2017: 5) tarafından önerilen döngüsel ekonomi stratejileri ve açıklamaları Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1: Döngüsel Ekonomi Stratejileri



Kaynak: Potting vd., 2017:5

Reddetme (Refuse); bir ürünün işlevini terk ederek veya aynı işlevi farklı bir ürünle sunarak onu gereksiz hale getirmeyi ifade eder; bu süreç, geri dönüştürülemeyen veya yeniden kullanılamayan malzemeler içeren ürünlerin kullanımını reddetmeyi ve tek kullanımlık ürün ile çevreye zarar vermeyen alternatiflerin tercih edilmesini kapsamaktadır (Morsetto vd., 2020: 8).

Yeniden Düşünme (Rethink); bir ürünün kullanımını arttırmayı ve bu süreçte fikirlerin, süreçlerin ve ürünün kullanımıyla ilgili yeniden değerlendirmeyi ifade ederken, aynı zamanda madde niteliklerinin kaybolmasını (demateryalizasyonu) içererek, ürünleri aynı düzeyde işlevsellik sağlayacak şekilde daha az malzeme kullanılan alternatiflerle değiştirmeyi mümkün kılmaktadır; bu durum, döngüsel ekonominin temelinde, bir şeyin döngüsellikliğini artırmak için yeniden değerlendirmenin gerekliliği üzerine odaklanmaktadır (Morseletto vd., 2020: 8).

Azaltma (Reduce); çoğunlukla atık oluşumunu azaltma üzerine odaklanmakta olup bu durum üretim sürecinde malzeme kullanımının azaltılması veya ürün tasarımında azaltma adımlarının gerçekleştirilmesinin yanı sıra, tüketicilerin ürünleri daha az sıklıkta kullanma, daha dikkatli kullanma veya ömrünü uzatmak için tamir gibi eylemleri de içermektedir (Reike vd., 2018: 255).

Yeniden Kullanım (Reuse); ürünlerin işlevsel ömürlerini uzatarak atık malzemelerin ekonomik değer kazanması ve çöplüklere gitmek yerine yeni gelir kaynakları oluşturarak kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını hedeflemektedir (Goyal vd., 2018: 733).

Onarım/Tamir etme (Repair); bir ürünün bozuk parçalarını onararak veya değiştirerek orijinal işlevine geri döndürme sürecidir (Morseletto vd., 2020: 6).

Yenileştirme (Refurbish); bir ürünün genel yapısını koruyarak bazı bileşenlerinin değiştirilmesi veya onarılmasıyla yapılan bir yenileme sürecini ifade etmekte olup yenileme sonucunda, daha gelişmiş bileşenlerle ürünün belirli bir kalite standardına getirilmesi amaçlanmaktadır (Reike vd., 2018: 255-256).

Yeniden Üretim (Remanufacturing); çok bileşenli bir ürünün tüm yapısının sökülüp incelendiği, temizlendiği ve gerektiğinde endüstriyel bir süreçte yeniden değiştirildiği veya onarıldığı bir süreç olup elden geçirme, yeniden işleme veya restorasyon olarak da adlandırılmaktadır (Reike vd., 2018: 256).

Yeniden Amaçlama (Repurpose); kullanılmış ürünlerin veya parçalarının farklı bir işlevde yeni bir ürün oluşturmak için kullanılması ve bir ürünün alternatif bir amaç için tekrar kullanılmasını ifade eder ve orijinal ürünler veya parçalar farklı kimlikler ve işlevler kazanarak diğer stratejilerden ayrılmaktadır (Morseletto vd., 2020: 6).

Geri Dönüşüm (Recycle); kaynakların sürdürülebilirliği için kritik bir rol oynayarak atık ürünleri yeni kaynaklara dönüştürülmesi olup, kapalı döngüde atıkların özelliklerini koruyarak yeni ürünler oluşturmayı, açık döngüde ise geri kazanılan malzemelerden daha düşük değerli ürünler üreterek kaynakları tekrar kullanmayı ve böylece ekonomik değeri maksimize ederken çevresel etkileri minimize etmeyi amaçlamaktadır (Goyal vd., 2018: 736).

Geri Kazanım (Recover); genellikle kullanılmış ürünlerin toplanması, ayrıştırılması ve temizlenerek tekrar kullanılması gibi çeşitli bağlamlarda kullanılan bir terimdir, bununla birlikte atıklardaki enerjinin geri kazanılması, biyokütle kullanımı gibi süreçleri de içerebilmektedir, atıkların yeniden değerlendirilmesi ve farklı şekillerde kullanılması anlamlarına da gelmektedir (Reike vd., 2018: 257).

1.1.3. Döngüsel Ekonominin Faydaları

Döngüsel ekonomi, sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar sunmaktadır. Sosyal faydalar, yerel topluluklara önemli istihdam olanakları sağlayarak ekonomik katılımı artırmakta ve çevresel bilinçliliği geliştirmektedir, ayrıca halk sağlığına yönelik olumlu etkiler sunmakta ve çevre dostu ürünlerin tercih edilmesini teşvik ederek genel sağlık bilincini artırmaktadır (Kumar vd., 2019: 1072). Döngüsel ekonominin sosyal faydaları arasında, kuşaklar arası ve kuşak içi toplumsal adaletin, eşitliğin artırılması ve sosyal eşitsizliklerin azaltılması da yer almaktadır (Sehnem vd., 2019: 793-794).

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde; döngüsel ekonomi yeni pazarlar oluşturarak ekonomik büyümeyi desteklemekte, geri dönüşüm ve yeniden kazanım süreçleriyle, işletmelerin ek kazanç elde etmesine ve maliyetleri azaltmasına olanak tanımakta olup atık yönetimi üzerinden ekonomik getiri elde edilmekte ve malzemeleri daha verimli kullanarak ekonomik sürdürülebilirlik sağlamaktadır (Kumar vd., 2019: 1072). Döngüsel ekonomiye geçiş, maliyetleri düşürebilecek unsurları içerir; azalan marjinal maliyetler, yeni malzemelerin maliyetinin düşmesi, atık bertaraf maliyetlerinin azalması veya çevresel vergilerin indirilmesi gibi faktörler genel maliyetleri azaltmada katkı sağlayabilmekte ayrıca, atıkların başka sektörler için girdi olarak satılması ve atıklardan enerji üretilmesi, gelir artışına yönelik potansiyeli beraberinde getirmekte ve kapatma döngülerinde pazar payının artması ve risklerin azalması gibi avantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır (Sehnem vd., 2019: 792).

Çevresel açıdan, döngüsel ekonomi bir yandan doğal kaynakların korunmasına ve kaynak verimliliğinin artmasına katkıda bulunmakta ve diğer yandan da atık süreçlerinin etkin kullanımıyla, enerji ve kaynak tasarrufu sağlayarak sera gazı emisyonlarını ve çevresel etkileri azaltmaktadır (Kumar vd., 2019: 1072). Döngüsel ekonomi atık miktarını minimize etmeyi hedeflemektedir, atıkların azaltılmasıyla çevresel etkiyi düşürmekte ve çöp depolama alanlarının gereksinimini azaltabilmektedir, bunların yanı sıra enerji kullanımının verimliliğini artırmakta, su kalitesi ve su kullanımını olumlu etkilemektedir (Sehnem vd., 2019: 791).

Ayrıca döngüsel ekonomi, müşteri odaklılık ve rekabet avantajı da sağlamaktadır, müşteri taleplerini daha iyi anlama ve karşılamayı desteklerken, maliyetleri azaltarak işletmelerin karlılığını artırmakta, üstelik çevre dostu ürünlere olan talebi artırarak inovasyonu teşvik etmekte ve

işletmelerin sürdürülebilirlik odaklı stratejiler geliştirmesine yardımcı olmaktadır (Kumar vd., 2019: 1071-1072). Tersine lojistik ve döngüsel üretim, stok yönetiminde daha iyi kontrol sağlayarak işletmelerin kaynakları daha etkin kullanmasına ve müşteri hizmet seviyelerini artırmalarına imkân tanımaktadır böylece döngüsel ekonomi modelleri aynı zamanda ürünlerin kalitesini arttırarak ve yeniliğini teşvik ederek tüketici beklentilerine cevap verebilmektedir (Sehne vd., 2019: 793).

1.1.4. Döngüsel Ekonominin Uygulanmasındaki Engeller

Döngüsel ekonominin benimsenmesini engelleyen faktörler oldukça fazladır ve bu engeller genellikle birbiriyle etkileşim halinde olmaktadır.

Govindan ve Hasanagic (2018: 300) yaptıkları literatür çalışmasında döngüsel ekonominin otuz dokuz adet engelini belirlemişlerdir. Bunları devlet, ekonomik, teknolojik, yönetsel, bilgi ve beceri, döngüsel ekonomi çerçeve konuları, kültürel ve sosyal, pazar engelleri olarak kümelemişlerdir.

Galvão vd. (2018: 82) döngüsel ekonomi engellerini teknolojik, politik ve düzenleyici, finansal/ekonomik, yönetsel, performans göstergeleri, müşteri ve sosyal engeller şeklinde sınıflandırmışlardır.

Jaeger ve Upadhyay (2020: 733) imalat sektöründe karşılaşılan engelleri; yüksek başlangıç maliyetleri, karmaşık tedarik zincirleri, B2B (Business-to-Business; İşletmeden işletmeye) işbirliğinin zorluğu, inovasyon yayılma zorlukları, yapısal ve bağlamsal faktörler, kültürel düşünceler, kısıtlı tedarik zincirleri, Endüstriyel Simbiyoz eksikliği, lojistik sorunlar, ürün tasarımı ve üretimi konusundaki bilgi eksikliği, geri kazanma ve geri dönüşüm zorlukları, teknik beceri eksikliği, kaliteden ödün verme, ürünlerin zaman alıcı ve pahalı sökülmesi, döngüsel ekonominin çevresel faydaları konusundaki belirsizlikler, kalite güvencesi endişeleri, döngüsel ekonomi prensiplerine uygun olmaya tasarım ve hijyen sorunları olarak tespit etmişlerdir.

Kumar vd. (2019: 1072-1075) döngüsel ekonominin engellerini sosyo-politik, ekonomik ve çevresel engeller olarak üç ana başlıkta belirtmişlerdir:

- Sosyo-politik engeller; tüketicilerde düşük seviyede farkındalık, döngüsel ekonomi prensiplerine yönelik anlayış eksikliği, döngüsel ekonomi konusunda nitelikli personel eksikliği, yerel yönetimlerin zayıf sorumluluk alması ve yetersiz hukuki sistemdir.
- Ekonomik engeller; uzun vadeli ekonomik getirisi olan önemli bir başlangıç yatırımının gerekliliği, finansal destek mekanizmaları ve vergi teşviklerinin eksikliği, tedarik

zincirlerinde uygun ortakların eksikliği, çevresel zincirlerin kurulmasının yüksek maliyetidir.

- Çevresel engeller; devlet kurumları ve akademik kurumlarda çevre yönetimi programlarının eksikliği ve tesislerin yetersizliği, çöp depolama ve yakma faaliyetlerini gerçekleştiren birçok bölgenin yeterli teknoloji eksikliği, atık kaynak yönetim sistemlerinin genellikle düşük teknolojiye sahip olması ve geri kazanılan malzemelerin kullanımını sınırlaması, çöp depolama ve yakma faaliyetlerinde kullanılan yetersiz teknolojilerin büyük, geri dönülemez çevresel kayıplara neden olmasıdır.

Grafstrom ve Aasma (2021: 6-8) yapmış oldukları çalışmada engelleri aşağıdaki gibi sınıflandırmışlardır:

- Kurumsal, yasal ve düzenleyici engeller: Kurumlar, mevcut doğrusal ekonomiye alışmış durumdadırlar. İlave olarak yeni döngüsel ekonomi modeline geçiş, yönetim seviyelerindeki direnç, kurumsal yapıların bu değişime uyum sağlamakta zorlanması bu alandaki engeller olabilmektedir. Bazı durumlarda, yöneticilerin, döngüsel ekonomiye geçişin kendileri için teşvik edici olmaması veya mevcut teşvik sistemleriyle uyumsuz olması da bir engel olabilmektedir. Atık yönetimi politikalarındaki tutarsızlık, yetersiz düzenlemeler, atık süreçlerinin raporlanmasının yüksek maliyeti ve mevcut politikaların etkili bir şekilde uygulanmaması, döngüsel ekonominin gelişmesini zorlaştırmaktadır, bu tür yasal ve düzenleyici belirsizlikler, işletmelerin yeni uygulamalara geçişine engel olabilmektedir.
- Teknolojik engeller: Döngüsel ekonominin gerektirdiği teknolojilerin eksikliği/yetersizliği, özellikle atık yönetimi, geri dönüşüm teknolojileri ve malzeme döngüsü konusunda yaşanan teknolojik zorluklar bu modele geçişi zorlaştırabilmektedir. Mevcut işletmelerin sahip olduğu altyapının döngüsel ekonomiye uygun olmaması da engel oluşturmaktadır.
- Ekonomik engeller: Döngüsel ekonomiye geçiş, genellikle yüksek başlangıç yatırım maliyetleri gerektirmektedir. Bu durum işletmelerin bu değişime karşı çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca, finansmanın döngüsel ekonomi iş modelleri için sınırlı olması, benimsenmeyi zorlaştırmakta olup bu noktada, ham madde fiyatlarının düşük olması da geri dönüşüm veya atık yönetimi gibi döngüsel ekonomi uygulamalarının ekonomik olarak avantajlı olmasını engellemektedir.
- Sosyal ve kültürel engeller: Tüketicilerin döngüsel ekonomiye ilişkin farkındalığının düşük olması, tüketicinin ürüne karşı oluşturduğu güçlü sahiplenme durumu, tüketim alışkanlıkları ve kültürel normlar, bu modele geçişi engelleyen önemli faktörlerdir. Ayrıca, iş birliği eksikliği ve tedarik zincirindeki zayıf koordinasyon, bu alandaki önemli engeller arasındadır.

1.2. Yeni Ürün Geliştirme ve Döngüsel Ürün Geliştirme

Ürün tasarımı, müşteri taleplerinin analiz edilerek, malzeme seçimi, teknoloji entegrasyonu ve estetik değerlerin bir araya getirilerek gerçek ürünlere dönüştürüldüğü, işletmenin çeşitli fonksiyonları arasında kritik bağlantılar sağlayan önemli bir süreçtir (Kağrıçioğlu vd., 2021: 14). Ürün tasarımı süreci; çizimler, prototipler ve modellerle şekillendirilir ve üretim, lojistik ve pazarlama gibi aşamaları içerir, bu sürecin aşamalarında ürün planlama, kavram geliştirme ve ürün geliştirmenin yanı sıra detaylı tasarım yer almaktadır (Vere vd., 2010: 34). Ürün tasarımı, şirketler için rekabet avantajı sağlayan, müşteri sadakatini artırarak performansı iyileştirebilen önemli bir unsurdur; çünkü rakip ürünlerin teknoloji, fiyat ve performans açısından benzer olduğu bir ortamda, tasarımın farklılaşmayı sağladığı kabul edilmektedir (Homburg vd., 2015: 41).

Yeni ürün geliştirme süreci, firmaların yeni ürünleri geliştirirken ve piyasaya sürerken uyguladığı kapsamlı bir inovasyon sürecidir, bu süreç, ürünün bir konsept veya fikirle ortaya çıkmasıyla başlar; değerlendirilmesi, geliştirilmesi, test edilmesi ve nihayet piyasaya sürülmesi aşamalarını içerir ve sektöre veya firmaya göre farklılık gösterebilir (Bhuiyan, 2011: 748). Müşteri taleplerini, teknolojik faktörleri ve pazar fırsatlarını sistematik olarak değerlendirerek, mevcut ürün portföyünü yenileme, genişletme ve yeniden konumlandırma amacıyla uygulanan bir inovasyon sürecidir (Ayber ve Erginel, 2023:580). Yeni ürün geliştirme, bir pazar fırsatının ve bir ürün teknolojisi hakkında bir dizi varsayımın bir ürüne dönüşmesini, çapraz fonksiyonel entegrasyonu ve hızlı geliştirme döngülerini içerir, bu da içsel ve dışsal etkileşim ile iş birliğini gerektirir (Gmelin ve Seuring, 2014:2).

Kotler ve Armstrong (2010:247), yeni ürün geliştirme sürecinin sekiz ana aşamadan oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu aşamalar; fikir üretimi, fikir eleme, kavram geliştirme ve test etme, pazarlama stratejisi geliştirme, iş analizi, ürün geliştirme, pazar testi ve ticarileştirme. Bu aşamalar, yeni bir ürünün başlangıç fikrinden pazara sunulmasına kadar olan süreçte izlenmesi gereken adımları kapsamaktadır.

Geleneksel yeni ürün geliştirme süreci, genellikle ürünün fikir aşamasından başlayarak planlama, tasarım, geliştirme ve son olarak pazarlama ve dağıtım aşamalarını içerir; bu süreçte, araştırma ve geliştirme genellikle ürünün pazara sunulmadan önce yoğunlaşır (Mesa, 2023:454). Döngüsel ürün geliştirme, döngüsel modellere dayanan ve tasarım ile yeni ürün geliştirme süreçlerine uygulanan, sürdürülebilirlik için tasarım ve eko-tasarımdan farklı olarak değer, malzemelerin dolaşımındaki kalite ve döngüsel iş modellerine odaklanan, ürün seviyesinde dayanıklılık, modülerlik, yeniden üretim ve geri dönüşümlü tasarım gibi unsurları içeren bir yaklaşımdır (Aguiar vd., 2022:302). Bununla birlikte, döngüsel ürün geliştirme yaklaşımı, ürün yaşam döngüsü boyunca döngüsellliği en üst düzeye çıkarmayı hedefler ve bu nedenle, ürünün sadece başlangıç aşamalarında değil, aynı zamanda ürün pazara sunulduktan sonra da sürekli olarak odaklanması gereken bir süreci

işaret eder (Mesa, 2023:454). Ayrıca bu yaklaşım, ürünün tasarımından başlayarak, kullanımı ve son kullanım sonrası döneme kadar olan tüm süreçleri içerir ve bu nedenle döngüsellliği ölçmek için farklı performans göstergelerine ve değerlendirme araçlarına odaklanır, bu noktada geleneksel yeni ürün geliştirme sürecinden farklıdır (Mesa, 2023: 454). Döngüsel ürün geliştirme yaklaşımı, yeni ürün geliştirme sürecinin ilk aşamaları olan planlama ve kavramsal geliştirme aşamaları üzerinde yoğunlaşmıştır (Aguiar vd., 2022:316). Bununla birlikte günümüz müşteri odaklı ve planlı eskimeye (planned obsolescence) dayalı tasarım yaklaşımları kaynak kaybına yol açarken; döngüsel ürün tasarımı, geri dönüştürülebilirlik ve ürün bütünlüğünün korunması yoluyla kaynakların sistemde daha uzun süreli olarak tutulmasını amaçlamaktadır (Wang vd., 2022: 12-13).

1.3. Döngüsel Ürün Tasarımı

Mevcut ürün tasarımı yaklaşımlarının odak noktası, genellikle müşteri ihtiyaçları ve ürün ömrünü kısaltacak planlı eskime stratejileri olmuştur, ancak bu durum ürünlerde var olan kaynakların, atıklarda kaybolmasına ve kullanılmamasına sebep olmaktadır (Wang vd., 2022: 5). Döngüsel ürün tasarımı, atık sorununu çözerek ürünlerin ekonomik ve çevresel değerlerini korumayı aynı zamanda ürünlerin dayanıklılığını artırmayı, uzun süreli kullanımı teşvik etmeyi ve geri dönüşüme uygun hale getirmeyi hedeflemektedir (Wang vd., 2022: 13). Ürün tasarımı, döngüsel ekonomi vizyonunu gerçekleştirmede kritik bir rol oynamakta olup, ürünlerin demonte edilmesi, bakımı, onarımı ve yeniden imal edilebilirliği gibi süreçleri belirleyerek ürünlerin yaşam döngüsü boyunca istenilen kullanım şekillerini ve işlevselliklerini kolaylaştırmaktadır (Boorsma vd., 2022: 2). Döngüsel ürün tasarımı sınırlı kaynakların tüketiminden değer yaratmaya odaklanan bir yaklaşımı temsil etmekte olup, ürünlerin uzun ömürlü olmasını, doğal kaynakların daha etkili bir biçimde kullanılmasını ve geri dönüşüm süreçlerinin teşvik edilmesini amaçlamaktadır (Shahbazi ve Jönbrink, 2020: 1). Ürünün sürdürülebilirliği, genellikle erken tasarım aşamalarında belirlenmekte ve bu nedenle, malzeme seçimi, enerji tüketimi, atık yönetimi gibi çevresel ve döngüsel faktörler erken bir biçimde tasarım aşamalarında dikkate alınması gerekmektedir (Shahbazi ve Jönbrink, 2020: 1).

Ürün tasarım sürecine döngüsel ekonomi prensiplerinin erken aşamalarda entegrasyonu, ilerleyen aşamalarda yapılan değişikliklerin genellikle sınırlı veya zor olmasından dolayı önem arz etmektedir ve kaynak döngülerini yavaşlatma veya kapatma stratejilerinin uygulanması bu entegrasyonu sağlamaya fayda sağlamaktadır (Bocken vd., 2016:310). Kaynak döngülerini yavaşlatma stratejileri, dayanıklı ve güvenilir ürünler tasarlayarak ürünlerin kullanım ömrünü uzatmayı ve bakım, onarım, yükseltme gibi hizmet döngüleri oluşturmayı teşvik ederken, kapatma stratejileri ise teknolojik ve biyolojik döngüler için geri dönüşüm ile biyolojik bozunma ve kompostlama süreçlerini hedeflemektedir (Bocken vd., 2016: 310-311). Ürünlerin biyolojik veya teknolojik döngülerde etkin bir şekilde yer alabilmesi için tasarımlarının, kullanım ömrü tamamlandıktan sonra bu döngülere uyum sağlayacak şekilde önceden planlanması gerekmektedir

özellikle teknolojik döngülerde odaklanılan ürünler, kolayca onarılabilecek, bakımı yapılabilir ve bileşenleri ayrıştırılabilir modüler yapılarla tasarlanmalıdır (Ellen MacArthur Foundation, 2022a). Bu tür bir yaklaşım, ürünlerin uzun ömürlü olmasını ve parçalarının yeniden kullanılabilir olmasını sağlayarak kaynakların verimli kullanımını teşvik etmekte, ayrıca, geri dönüştürülebilir malzemelerin tercih edilmesi, ürünlerin atık olma sürecini minimize ederek çevresel etkinin artmasına yardımcı olmaktadır (Ellen MacArthur Foundation, 2022a).

Döngüsel ürün tasarımında geri dönüşüm, bakım ve onarım kolaylığı, yeniden kullanım, sökme, dayanıklılık ve yeniden üretim gibi stratejiler öne çıkarken, Endüstri 4.0 teknolojilerinin desteklediği paylaşım ekonomisi, hizmet kiralama ve ürün hizmet sistemleri gibi alternatifler, döngüsel ürünlerin piyasada talep görmesine katkı sağlayabilmektedir (Aguar vd., 2022:315). Ancak, bu geçişte teknolojik, finansal, tüketici davranışı ve organizasyonel yapı, özellikle yeni teknolojilerin uygulanması, yüksek maliyetler, tüketici alışkanlıkları ve şirket kültürü gibi faktörler, döngüsel ürün tasarımının benimsenmesini zorlaştırmaktadır (Aguar vd., 2022:315).

Döngüsel ürün tasarımında karşılaşılan engellerin üstesinden gelmek adına, makro düzeyde hükümetlerin yasal düzenlemeler ve ekonomik teşviklerle destek sağlaması; atık yönetimi altyapısını güçlendirmesi ve eğitim kurumlarıyla iş birliği yaparak kültürel dönüşümü teşvik etmesi gerekmektedir (Wang vd., 2022:12). Mezo (Orta) düzeyinde, Endüstriyel Simbiyozun kurulması ve firmaların döngüsel ürün tasarım yeteneklerini geliştirmesi için tedarik zincirlerini yeniden yapılandırması önem arz etmektedir (Wang vd., 2022:12). Ayrıca, mikro düzeyde firmalar, hükümetten destek talep ederek tüketicilere döngüsel ürünlerin çevresel faydaları hakkında eğitim verebilir, böylelikle ürünlerin ve malzemelerin etkili bir biçimde döngüsel akışı sağlanabilir (Wang vd., 2022:12).

1.3.1. Eko-Tasarım

Tasarım sürecinde genellikle göz ardı edilen çevresel etkileri ele almak amacıyla geliştirilen eko-tasarım (Knight ve Jenkins, 2009:550), döngüsel ürün tasarımıyla zaman zaman aynı anlamda kullanılmasına karşın aralarında bazı farklılıklar söz konusudur. Eko- tasarım, çevresel etkileri yaşam döngüsü boyunca en aza indirerek ürün geliştirme ve ilgili süreçleri ileriye yönelik olarak birleştiren, aynı zamanda performans, işlevsellik, kalite ve maliyet gibi kritik faktörlerde taviz vermeden sürdürülebilir çevre yönetimi sağlayan bir yaklaşımdır (Pigosso vd., 2013:160).

Eko-tasarım; sürdürülebilir çözümler geliştirerek ekonomik, çevresel, sosyal ve etik etkileri azaltıp, olumlu etkileri arttırmayı amaçlayan bir tasarım düşüncesidir (Karlsson ve Luttrupp, 2006:1291). Ayrıca bireylerin ihtiyaçlarına, taleplere ve beklentilere uygun çözümler geliştirme odaklıdır ve doğal kaynakların etkili kullanımı, atık azaltma, çevre dostu malzemelerin kullanımı,

sosyal etkilerin göz önünde bulundurulması gibi prensipleri benimsemektedir (Karlsson ve Luttröpp, 2006:1291).

Döngüsel ürün tasarımı ve eko-tasarım arasındaki temel farklar; odak noktası, yaklaşım, atık kavramına bakış açısı ve kapsam açısından Den Hollender vd. (2017:518-519) tarafından aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

Odak noktası

Eko-tasarım: Çevre üzerindeki etkilerin azaltılmasını, doğal kaynak kullanımının en aza indirilmesini, atıkların önlenmesini ve çevreye zararlı maddelerin kullanımının engellenmesini hedefler. Ürünlerin kullanım ömrü boyunca çevresel etkilerin en aza indirgenmesi sağlanmaya çalışılır.

Döngüsel ürün tasarımı: Ürünlerin yaşam döngüsü sonunda atık olmaması amaçlanır. Ürünlerin geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yeniden üretim gibi süreçlerle ekonomiye kazandırılması hedeflenerek sürekli bir malzeme döngüsü oluşturulur.

Yaklaşım

Eko-tasarım: Atık hiyerarşisine dayanır ve önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm gibi adımları öncelik sırasına koyar. Ürünün çevre dostu bir yapıda tasarlanması hedeflenir.

Döngüsel ürün tasarımı: Eylemsizlik ilkesi (Walter Stahel'in Eylemsizlik İlkesi: Bozuk olan bir şeyi tamir etmeyin, tamir edilebilecek bir şeyi üretmeyin, yeniden üretilebilecek bir ürünü geri dönüştürmeyin, mevcut sistemlerin ekonomik değerini korumak için yalnızca mümkün olan en az parçayı değiştirin) ile hareket eder; mümkünse ürünü tamir etmeyi, ardından yeniden üretmeyi ve en son olarak geri dönüştürmeyi tercih eder. Ürün bütünlüğünün korunması ve en az müdahaleyle değer kaybının önlenmesi amaçlanır.

Atık kavramına bakış

Eko-tasarım: Atığı kaçınılmaz bir sonuç olarak görür ve bunun azaltılması, geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanılması yollarını araştırır.

Döngüsel ürün tasarımı: Atığı tamamen ortadan kaldırmayı hedefler. Ürünün tasarım aşamasında; atık oluşturmada yeniden kullanılabilir, onarılabilir veya yeniden üretilebilir şekilde yapılandırılması sağlanır.

Kapsam

Eko-tasarım: Ürünün tüm yaşam döngüsünde çevresel etkilerin azaltılmasına odaklanır; ancak döngüselligi tam olarak sağlama garantisi vermez.

Döngüsel ürün tasarımı: Ürünün tamamen döngüsel bir yapı içinde sürekli kullanılabilir kalmasını hedefler, böylece ürün veya malzeme israfı önlenir.

1.3.2. Döngüsel Ürün Tasarımına İlişkin Kavramlar

Ürün ömrü, yalnızca işlevselliğiyle değil, aynı zamanda kullanıcının ürünü değersiz veya gereksiz görmesiyle de belirlenebilmektedir. Bu tanımlamalar, Den Hollender ve diğerleri (2017: 519) tarafından aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

- Ürün kullanım döngüsü (Product use cycle): Bir ürünün imalattan sonra kullanıma sunulduğu anda başlayıp, eskimeye başladığı anda sona eren süreçtir.
- Ürün ömrü (Product lifetime): Bir ürünün imalattan sonra kullanıma sunulduğu anda başlayıp, ürünün ürün düzeyinde geri dönüşü olmayacak şekilde eskimeye başladığı anda sona eren süreci ifade etmektedir.
- Geri kazanım (Recovery): Eskimiş bir ürünün veya malzemenin değerlendirilerek tekrar kullanılabilir hale getirilmesi sürecini ifade etmektedir.

Aşağıdaki terimler, Den Hollender vd. (2017:520) tarafından döngüsel ekonomi kavramında kaynakların dolaşımı, geri kazanım süreçleri ve atık yönetimi gibi konuları açıklamak için kullanılmaktadır.

- Ön kaynak (Presource): Bu terim, geri kazanımı bekleyen eskimiş ürünler için kullanılmakta olup bu ürünlerin parçaları veya malzemeleri arasında ayırım yapmamaktadır. Geri kazanım için kullanılan yöntemlere bağlı olarak, ön kaynak ürünlere, bileşenlere veya malzemelere dönüştürülebilir.
- Sızıntı (Leakage): Döngüsel ekonomik sistemden doğaya akan ve şu anda geri kazanılamayan ürünlerin veya bileşenlerin tanımlandığı bir terim olup genellikle geri dönüşüm veya yeniden kullanımı zor veya imkânsız olan kayıpları ifade etmektedir.
- Geri kazanım ufku (Recovery horizon): Bu terim, şu anda geri kazanılamayan ürünlerin veya bileşenlerinin sınırlı bir zaman dilimi içinde tanımlandığı bir terimdir. Zaman içinde geri kazanım yöntemleri ve teknolojileri geliştikçe, bugün sızıntı olarak kabul edilen şeylerin gelecekte geri kazanılabilir hale gelebileceğini önermektedir.

Ürünlerin ömrünü uzatmayı ve kaynakları en verimli şekilde kullanmayı amaçlayan yaklaşımlar da Den Hollender vd. (2017:521-522) tarafından aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

- Eskimeye direnme (Resisting obsolescence): Ürünlerin eskime/yıpranma süreçlerine karşı direnmesinde iki temel kavram ortaya çıkmaktadır. İlk olarak fiziksel dayanıklılık, ürünün

zaman içinde performansının benzer ürünlere göre daha az bozulmasıdır. İkincisi duygusal dayanıklılık ise, ürünle olan bağlantıyı ve kullanıcıların değiştirme kararlarını etkileyen faktörlerle ilgilidir.

- Eskimeyi erteleme (Postponing obsolescence): Ürünleri eskime/yıpranma sürecinden uzaklaştırmak için bakım/onarım ve yükseltme(güncelleme) önemlidir. Bakım, ürünün işlevselliğini ve görüntüsünü korumayı hedeflemektedir, yükseltme ise ürünün yeteneklerini, kullanım şekli değiştiğinde iyileştirmeyi sağlamaktadır.
- Eskimeyi tersine çevirme (Reversing obsolescence): Ürünlerin eskime/yıpranma sürecini tersine çevirmek için dört tasarım yaklaşımı tanımlanmaktadır. Bunlar yeniden anlamlandırma, onarım, yenileme ve yeniden üretimdir. Yeniden anlamlandırma, ürünü orijinal tasarlanan rolünün dışında kullanmayı ifade etmektedir. Onarım, belirli kusurların düzeltilmesidir. Yenileme ise ürünü çalışır ve/veya görünüş olarak tatmin edici bir duruma getirme sürecini oluştururken, yeniden üretim ise eski ürünlerin bileşenlerine ayrılması ve bu bileşenlerin yeni ürünlerin üretiminde kullanılmasıdır.

1.3.3. Döngüsel Ekonomiye Destekleyen Ürün Tasarım Stratejileri

Ürün geliştirme sürecinin erken aşamalarında; malzeme, enerji, atık minimizasyonu, sıfır toksik atık ve emisyonlar ile diğer çevresel etkilerin azaltılması gibi döngüsellik ile ilgili unsurlara karar verilmesi önemlidir, aksi takdirde tasarım konsepti belirlendikten sonra döngüsellik performansını artırmanın zaman alıcı yinelemeler gerektireceği dikkate alındığında, ürünün yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim veya geri dönüşümünün kolay olması için bu unsurların tasarım sürecinin başlangıcında düşünülmesi ve hangi döngüsel stratejiye odaklanılacağına belirlenmesi gerekmektedir (Guidelines for circular product design and development (t.y.), <https://circuitnord.com/wp-content/uploads/2020/04/Guidelines-for-circular-product-design-and-development.pdf>).

Döngüsel ekonomiye destekleyen ürün tasarım stratejileri farklı yazarlar tarafından farklı şekillerde ifade edilmiştir.

Bocken vd. (2016: 310-311) bu bağlamda stratejileri, döngüleri yavaşlatma ve kapatma stratejileri olarak aşağıdaki gibi özetlemiştir:

1. Kaynak döngülerini yavaşlatma için tasarım stratejileri

- Uzun ömürlü ürünler tasarlama
 - Bağlılık ve güven için tasarım: Ürünlerin benimsenmesini ve güvenilir olmasını sağlamaktır.
 - Dayanıklılık için tasarım: Fiziksel dayanıklılığı artmasıdır.
 - Güvenilirlik için tasarım: Ürünün belirli bir süre sorunsuz çalışmasıdır.

- Ürün ömrü uzatma için tasarım
 - Bakım ve onarım için tasarım: Ürünlerin düzenli bakım ve onarımlarına imkân vermektir.
 - Güncellenebilirlik (Yükseltilebilirlik): Gelecekteki değişimlere izin vermektir.
 - Standartlaştırma ve uyumluluk için tasarım: Parçaların diğer ürünlerle uyumlu olmasıdır.
 - Ayırıştırma ve yeniden montaj için tasarım: Malzemelerin farklı döngülere girebilmesi için ürünlerin ayrıştırılabilir/sökülebilir olmasıdır.
- 2. Kaynak döngülerini kapatma için tasarım stratejileri
 - Teknolojik döngü için tasarım
 - Hizmet üreten sistemler için uygundur. Malzemelerin sürekli ve güvenli bir şekilde geri dönüştürülmesini amaçlamaktadır.
 - Üçüncül geri dönüşüm (malzemelerin kimyasal bileşenlerine ayrıştırılarak yeniden yapılandırılması yoluyla orijinal malzeme ile benzer özelliklere sahip yeni malzemelerin elde edilmesi) veya birincil geri dönüşüm (atık malzemelerin eşdeğer özelliklere sahip yeni ürünler haline getirilmesi) gerektirmektedir.
 - Biyolojik döngü için tasarım
 - Tüketim ürünleri için uygundur.
 - Ürünler, kullanım sırasında doğal sistemlere zarar vermeyecek malzemelerle tasarlanmalıdır.
 - Malzemeler, biyolojik olarak parçalanabilir ve yeni bir döngü başlatılabilir.
 - Ayırıştırma ve yeniden montaj için tasarım
 - Malzemelerin kolayca sökülmesini ve tekrar monte edilmesini sağlamaktadır.
 - Farklı döngülere girecek malzemelerin ayrılmasını desteklemektedir.

Mestre ve Cooper (2017: 1624-1625) iki ana seviyede, *Teknolojik döngü için tasarım* ve *Biyolojik döngü için tasarım* üzerine odaklanan ve her seviyede iki alt strateji sunarak toplamda dört strateji önermektedir. Stratejiler ve özellikleri aşağıda belirtilmektedir:

1. Teknolojik döngü için tasarım
 - Döngüyü yavaşlatma stratejileri
 - Temiz, yenilenebilir, düşük enerjili ve geri dönüştürülebilir malzemelerin seçimi,
 - Malzeme kullanımının (ağırlık, miktar olarak) azaltılması,
 - Üretim tekniklerinin optimizasyonu ve enerji verimliliği,
 - Dağıtım sistemlerinin azaltılmış ambalaj, enerji verimli taşımayla iyileştirilmesi.
 - Döngüyü kapatma stratejileri
 - Kullanım sırasındaki etkinin azaltılması ve temiz enerji kaynakları,
 - Ürünlerin dayanıklılığının artırılması, bakım kolaylığı ve onarım stratejileri,

- Atık yönetimi için ürünlerin tekrar kullanımı, geri dönüştürülmesi, yeniden üretilmesi,
- Yenilikçi kavramların geliştirilmesi (malzeme azaltma, paylaşılan kullanım, fonksiyonel bütünleşme).

2. Biyolojik döngü için tasarım

- Biyolojik taklit stratejileri
 - Biyolojik malzemelerin, geri dönüştürülebilir ve temiz malzemelerin seçimi,
 - Biyomimetik ve biyonik yaklaşımlarla malzeme kullanımının azaltılması,
 - Biyolojik üretim tekniklerinin, enerji tasarrufu ve optimizasyonu,
 - Biyomalzeme içeren ambalaj, enerji tasarrufu sağlayan taşıma gibi stratejiler.
- Biyolojik Tabanlı Döngü Stratejileri
 - Temiz enerji kaynakları, temiz kullanılan ve az kullanılan ürünler için kullanım sırasındaki etkinin azaltılması,
 - Ürün başlangıç ömrünün biyolojik özelliklere uygun hale getirilmesi,
 - Biyobozunurluk, tekrar kullanım ve amaç değiştirme stratejileriyle ürünün yaşam sonu döngüsünün optimize edilmesi,
 - Yeni kavramların geliştirilmesi (biyobozunurluk, alternatif biyolojik üretim, paylaşılan kültürasyon).

Bakker vd. (2019:180-183) yapmış oldukları çalışmada ürün tasarımında kritik malzeme kullanımına yönelik stratejileri ele almıştır. Tasarım süreçlerinde kritik malzemelerin etkili bir şekilde yönetilebilmesi için aşağıdaki dört temel strateji ve özellikleri tespit etmişlerdir.

1. Kritik malzeme kullanımından kaçınma stratejisi
 - Ürün performansını etkilemeyen alternatif malzemelerin belirlenmesi,
 - Malzeme değişikliğinin istenmeyen etkilerini minimize etmek için malzeme bilimcileri ve mühendisleriyle iş birliği.
2. Kritik malzeme kullanımını en aza indirme stratejisi
 - Süreç tasarımı yoluyla kritik malzemelere olan bağımlılığı azaltma,
 - İş birliği, süreç iyileştirmeleri ve temel teknoloji değişiklikleri üzerine odaklanma.
3. Uzun süreli kullanım ve tekrar kullanım için tasarım stratejisi
 - Ürünlerin onarılabilir, yeniden düzenlenebilir ve tekrar üretilbilir olmasını sağlamak,
 - Malzeme bilimi mühendisliği alanlarında uzmanlarla iş birliği yaparak ürün ömrünü uzatma stratejilerine odaklanma.
4. Geri dönüşüm için tasarım stratejisi
 - Ürünlerin yaşam sonu (EoF: End-of-life) aşamasında malzeme geri kazanımını hedefleme,
 - Geri dönüşüm süreçlerine uygun malzemelerin kullanılmasını sağlama,

- Kritik malzemelerin geri dönüşümüne odaklanan literatürdeki eksiklikleri belirleme ve bu konuda ileri araştırmaların yapılması gerekliliğini vurgulama.

Tasarım stratejileri, ürünlerin çevresel etkilerini azaltmayı ve döngüsel ekonomi ilkelerini desteklemeyi amaçlayan yöntemlerdir. Spreafico (2022:4-5) çalışmasında döngüsel ekonomiye yönelik çeşitli tasarım stratejilerini şu şekilde ele almaktadır.

- Atığı azaltma için tasarım (Design for reducing wastes): Ürün tasarımında yapısal ve işlevsel değişikliklerle atık miktarını azaltmayı hedeflemektedir.
- Yenilenebilir enerjilerin kullanımı için tasarım (Design for using renewable energies): Ürünün işlevselliğini yenilenebilir enerji teknolojileriyle artırmayı amaçlamaktadır.
- Yeniden kullanım için tasarım (Design for reuse): Ürünlerin ve malzemelerin kullanım ömrünü uzatarak tekrar kullanılabilir hale getirmeyi hedeflemektedir.
- Yeniden üretim için tasarım (Design for remanufacturing): Ürünün kullanım ömrünün sonunda tekrar işlevsel hale getirilmesini veya farklı amaçlar için kullanılmasını sağlamaktadır.
- Geri dönüşüm için tasarım (Design for recycling): Geri dönüştürülebilir malzemeler kullanarak ürünlerin geri dönüşümünü teşvik etmektedir.
- Enerji geri kazanımı için tasarım (Design for energy recovery): Ürünlerden kaybedilen enerjiyi azaltmak için enerji geri kazanım teknolojilerini bütünleştirmeyi amaçlamaktadır.
- Biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler kullanarak tasarım (Design for disposal using biodegradable materials): Çevresel etkileri azaltmak için biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin kullanımını teşvik etmektedir.
- Atıktan enerji geri kazanımı için tasarım (Design for recovering energy from waste): Atık bertarafından elde edilebilecek enerjiyi geri kazanmayı hedeflemektedir.

X için tasarım; toplam maliyeti, üretimi, hizmeti, performansı, güvenliği, tedarik zincirini ve çevresel etkiyi en iyi düzeye çıkarmayı amaçlayan bir yaklaşımdır (Huang, 1996: 12). Bu bağlamda Aguiar vd. (2022: 307-310) yaptıkları çalışmada döngüsel ürün tasarımı için kullanılan stratejileri aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

- Kaynak döngülerini yavaşlatma için tasarım
- Kaynakların geri kazanımı için tasarım
- Ürün ömrünün uzatılması için tasarım
- Ürünlerin az hammadde kullanımı ya da yeniden amaçlanması için tasarım
- Kaynak korunması için tasarım
- Kaynak tüketimini azaltma için tasarım
- Kaynak döngülerinin kapatılması için tasarım

- Sistem değişikliği için tasarım
- Yenilenebilir sistemler için tasarım

Spreafico ve Landi (2022: 6-7) alışmalarında belirlemiş oldukları 9 tasarım stratejisini aşağıdaki gibi özetlenmektedir.

- Malzemelerin değiştirilmesi stratejisi, ürün bileşenlerinin daha iyi özelliklere sahip malzemelerle değiştirilmesini içermektedir.
- Enerji kaynağı/teknolojisinin değiştirilmesi stratejisi ise daha etkili ve evre dostu kaynaklara geçişi ifade etmektedir.
- rn yapısının optimize edilmesi stratejisi, ürünün miktarını azaltırken özelliklerini koruma amacı gütmektedir.
- Tasarımın kullanıcı deneyimini göz önünde bulundurma stratejisi ürünün kullanılabilirliğini artırmak için odak noktasını değiştirmektedir.
- rn bileşenlerinin azaltılması stratejisi, işlevini yerine getirebilen başka bir malzemeyle değiştirilmesini içermektedir.
- rn parçalarının bileşenlere ayrılması ve dinamik hale getirilmesi stratejisi, ürünün çevresel ihtiyaçlara daha iyi uyum sağlamasını ve esnekliği artırmasını hedeflemektedir.
- Modülerlik kullanım stratejisi, standart bileşenlerin kullanımıyla üretim maliyetlerini düşürmeyi ve üretimi evre dostu hale getirmeyi amaçlamaktadır.
- Kaynakların kullanımı ve enerji geri kazanımı stratejisi, atık ve enerji tüketimini azaltmayı ve potansiyel kaynakları etkin bir şekilde kullanmayı içermektedir.
- Zamansız bir tasarım stratejisi, ürünlerin kullanım ömrünü uzatmayı ve yeniden kullanılabilirliğini artırmayı hedeflemektedir.

Bu stratejilerin kullanılmasıyla ürünlerin çevresel etkileri azaltılarak döngüsel ekonomi prensiplerine daha uygun ürünler geliştirilebilir.

1.3.4. Döngüsel rn Tasarımının nndeki Engeller

Wang vd. (2022: 3-4) yaptığı çalışmaya göre döngüsel ürün tasarımını benimseyen firmaların karşılaştığı birtakım engeller bulunmaktadır. Bu engeller; finansal, altyapısal, yönetimsel ve küresel düzenlemeler bağlamında çeşitli zorlukları içermektedir. Finansal engeller; artan malzeme maliyetleri, düşük kar marjları ve sertifikasyon/etiketleme maliyetleri gibi faktörlerden kaynaklanan ekonomik sıkıntıları içermektedir. Bu durum, yenilikçi malzemelerin geliştirilmesi için gereken yatırımları ve döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyen firmaların maliyet etkinliğini sınırlamaktadır. Altyapısal zorluklar, mevcut tedarik zinciri tasarımlarının döngüsel akışları etkin bir şekilde yönetmeye uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, ürün iadelerinin düşük

toplama oranları, kısıtlı geri kazanım hizmetleri ve eksik altyapı gibi operasyonel zorluklara neden olmaktadır. İşbirliklerinin genellikle yatay düzeyde sınırlı kalması, döngüsel ürün tasarımı sürekli olarak geliştirmek için gerekli olan veri toplama ve analiz süreçlerini engellemektedir. Yönetimin eylem planının olmaması, döngüsel ekonominin geçişinde önemli bir engel oluşturmaktadır. Firmalar, mevcut politika ve düzenlemelerin döngüsel ekonomi girişimlerini teşvik etme konusunda yetersiz olduğunu ve hükümetin daha çok zorlayıcı güçlere odaklandığını belirtmiştir. Bu durum, döngüsel ekonominin benimsenmesi için gereken destek mekanizmalarının eksikliğini vurgulamaktadır. Küresel pazar engelleri; ülkeler arasındaki farklı sürdürülebilirlik politikaları ve düzenlemelerin ürün tasarımı standartlaştırmayı zorlaştırdığı bir durumu yansıtmaktadır. Bu durum, döngüsel ürün tasarımı yönelik küresel bir stratejinin uygulama zorluklarını artırır ve pazarlara girişin karmaşıklığını artırır. Bu engellerin aşılması için, firmaların sürdürülebilir ve döngüsel ürün tasarımı benimsemesini teşvik eden politikaların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, hükümetlerin döngüsel ekonomiye geçiş sürecinde aktif bir rol alması ve iş birliklerini desteklemesi de önemlidir. Bu şekilde, döngüsel ürün tasarımının benimsenmesi süreci daha etkili ve sürdürülebilir hale gelebilir.

Schögl vd. (2024: 3) döngüsel ürün tasarımının uygulanmasındaki engelleri; dışsal engeller, stratejik engeller, operasyonel engeller, kişisel düzeydeki engeller ve araçla ilgili engeller olarak beş ana kategoride sınıflandırmıştır. Dışsal engeller; küresel yasal düzenlemelerdeki çeşitlilik, müşteri talebinin eksikliği ve değer zinciri aktörlerini entegre etme zorluklarıdır. Stratejik engeller; üst yönetim desteğinin eksikliği, döngüsel tasarımı kurumsal stratejiye entegre etme zorlukları ve kârın ne olacağına dair belirsizlik şeklinde sıralanabilir. Operasyonel engeller; sürdürülebilirliği uygulamakta zorluklar, diğer gereksinimlerle ilişkilendirme zorlukları ve finansal kaynak ve insan kaynakları açısından yüksek maliyetleri içermektedir. Kişisel düzeydeki engeller; çalışanların sürdürülebilirlik odaklı uygulamalara karşı direnci, döngüsel tasarımın gerektirdiği özel bilgi eksikliği ve çok disiplinli ve çok departmanlı yaklaşımın kurulmasındaki zorlukları içerir. Araçlarla (tools) ilgili engeller ise mevcut döngüsel tasarım araçlarının eksiklikleri, yeni araç eksikliği ve çevresel ve sosyal etkiyle performans verilerinin eksikliği olarak belirlenmiştir.

Jugend vd. (2024a: 4826-4828) döngüsel ürün tasarımının önündeki engelleri; finansal, teknolojik, tedarik zinciri, tüketici, organizasyonel ve devlet ve düzenleyici olmak üzere altı ana kategoride ele almaktadır. Finansal engeller; yüksek hammadde maliyetleri, düşük kâr marjları, sertifikasyon maliyetleri ve teknoloji yatırımlarında karşılaşılan belirsizlikleri içermektedir. Teknolojik engeller; döngüsel ekonomi ilkelerini ürün tasarımı entegre etmek için gerekli bilgi ve teknolojinin eksikliğine işaret etmektedir. Tedarik zinciri engelleri; tedarik zincirlerinin döngüsel ekonomi gereksinimlerini karşılamada yaşadığı zorluklar ve tersine lojistik sistemlerinin yetersizliği ile ilgilidir. Tüketici engelleri; tüketicilerin döngüsel iş modellerine yönelik ilgisizliğini, ürün kalitesi ile ilgili endişelerini ve dayanıklılık hakkında bilgi eksikliğini kapsamaktadır. Organizasyonel engeller; çalışanlar ve yöneticiler arasında döngüsel ekonomi anlayışının yeterince

benimsenmemesiyle ilişkilidir. Devlet ve düzenleyici engeller ise döngüsel ekonomiyi teşvik edecek devlet desteği ve teşviklerin yetersizliği ile yasaların belirsizliğine dikkat çekmektedir.



İKİNCİ BÖLÜM

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu başlıktaki çalışmalar, döngüsel ekonomi ve döngüsel ürün tasarımıyla ilgili yapılan çalışmaları içerecek şekilde iki grupta ele alınmıştır.

2.1. Döngüsel Ekonomi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Döngüsel ekonomi, son yıllarda önemli bir kavram haline gelmiş ve çeşitli disiplinlerde yapılan çalışmalarda geniş bir ilgi odağı haline gelmiştir. Döngüsel ekonomi ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

Ghisellini vd. (2016) döngüsel ekonominin, mevcut sürekli büyüme tabanlı üretim ve tüketim modellerine alternatif olarak çevresel etkileri azaltma potansiyelini incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, son yirmi yılın literatürünü kapsamlı bir şekilde inceleyerek CE'nin kökenlerini, temel prensiplerini, avantajlarını ve dezavantajlarını, uygulama modellerini ve dünya genelinde farklı seviyelerde (mikro, mezo ve makro) nasıl uygulandığını analiz etmişlerdir. Yazarlar, CE'nin ekolojik ekonomi ve endüstriyel ekoloji disiplinleriyle sıkı bir şekilde ilişkilendirildiğini ve temiz teknolojiyle geri dönüşüm konularına odaklandığını vurgularken, gelecekteki ekonomik modellerin, çevresel koruma hedefleri doğrultusunda CE'nin prensiplerini benimsemesinin önemini vurgulamışlardır.

Lieder ve Rashid (2016) CE kavramını; kaynak sıkıntısı, atık oluşturma ve ekonomik avantajlar gibi çeşitli zorluklara bir çözüm olarak araştırmayı amaçlamışlardır. Çalışma, geçmişte ortaya konan döngüsellikle ilgili fikirlerin ve kavramların incelemesini sunarak bir literatür taraması yapmışlardır. Ayrıca, çevre, kaynaklar ve ekonomik faydaların bütünlük bir perspektifini vurgulayan kapsamlı bir döngüsel ekonomi çerçevesi ve bu çerçeve temelinde yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı uygulama stratejilerini önermiştir.

Sauvé vd. (2016) döngüsel ekonomi kavramını tanıtmayı ve bu modele geçişin neden önemli olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel doğrusal ekonomi modelinin sürdürülebilirlik açısından sınırlarını ve çevresel etkilerini vurgulayarak, döngüsel ekonominin bu sorunlara nasıl bir çözüm sunabileceğini açıklamışlardır. Çalışma, döngüsel ekonominin sadece çevre için değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal açıdan da sürdürülebilir olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, döngüsel ekonominin

iş dünyası, politika yapıcılar ve eğitimciler arasında artan ilgi gördüğünü ve bu kavramın sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunabileceğini belirtilmiştir.

Geissdoerfer vd. (2017) döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik kavramları arasındaki benzerlikleri, farklılıkları ve ilişkileri anlamayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, kapsamlı bir literatür incelemesi gerçekleştirilerek, bu iki kavramın tanımlarını ve özelliklerini analiz etmişlerdir. Döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki türlerini belirlemiş ve bu ilişkilerin önemini vurgulamışlardır. Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi kavramları; çevresel taahhütler, küresel perspektif, paydaş iş birliği, düzenleme, teşvik ve teknolojik kullanım gibi temel benzerliklere sahip olup, ancak kökenler, hedefler, zaman çerçevesi, sorumluluk algısı ve paydaşların rolü gibi önemli farklılıklar içermektedir. Çalışma, bu kavramlar arasındaki etkileşimleri anlamak ve daha sürdürülebilir iş modelleri ve stratejileri geliştirmek isteyen akademisyenlere, politika yapıcılara ve yöneticilere rehberlik sağlamıştır.

Kirchherr vd. (2017) döngüsel ekonominin farklı insanlar arasında farklı anlamlar taşıdığı eleştirilerine daha fazla kanıt sunmayı amaçlamışlardır. 114 döngüsel ekonomi tanımını inceleyerek bu tanımları bir kodlama çerçevesi üzerinden sistematik olarak analiz ederek mevcut döngüsel ekonomi anlayışlarına açıklık getirmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışma, döngüsel ekonomi kavramının farklı yorumlarının yarattığı karmaşıklığı açığa çıkarmayı amaçlarken, döngüsel ekonominin bütünlüğünü sağlamayı ve kavramsal tutarlılığını artırmayı hedeflemiştir. Çalışma sonucunda yazarlar CE'yi “*atık hiyerarşisinin yerine üretim ve tüketim süreçlerinde malzemelerin azaltılması, alternatif olarak tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi ve kazanılmasıyla çalışan bir ekonomik sistem*” olarak tanımlamışlardır.

Murray vd. (2017) döngüsel ekonomi kavramını geniş bir kitleye tanıtarak teorik gelişime katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, Çin'in döngüsel ekonomi kavramını benimseyen ve uygulayan ülkelerden biri olmasının detaylı bir analizi yapılmıştır. Çin'in döngüsel ekonomiyi sürdürülebilir kalkınma stratejisinin bir parçası olarak benimsemesi, bu doğrultuda oluşturduğu politikalar, yasal düzenlemeler ve pilot projeler incelenmiştir. Ayrıca, çalışma Avrupa'da ve özellikle Birleşik Krallık'ta döngüsel ekonominin benimsenmesi ve politika düzeyinde desteklenmesi konularına da odaklanmıştır. Yazarlar, döngüsel ekonominin daha etkili bir şekilde tanımlanması gerektiğini belirterek CE'ye, “*planlama, kaynak sağlama, tedarik, üretim ve yeniden işleme süreçlerinin hem süreç hem de çıktı olarak tasarlandığı ve yönetildiği ayrıca, ekosistem işlevselliğini ve insan refahını maksimize etmeyi amaçlayan bir ekonomik modeldir*” şeklinde bir tanım önermişlerdir.

Homrich vd. (2018) döngüsel ekonomi konusundaki literatürün eğilimlerini ve boşluklarını araştırmışlardır. Yazarlar, döngüsel ekonomi terimine dair literatürde bir uzlaşma eksikliği olduğunu ve konuya dair farklı terminolojilerin ve tanımlamaların bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle,

semantik analize dayanarak bir döngüsel ekonomi tanımı önermişlerdir. Araştırmada ilk olarak, döngüsel ekonomi literatüründeki terimlerin ve tanımların eksikliğini vurgulayıp CE için “*geleneksel açık sistemlere bir alternatif olan, kaynak kütüğü ve atıkların bertaraf edilmesi gibi zorlukları aşmak için geliştirilen, ekonomik ve değer odaklı bir kazan-kazan yaklaşımına sahip stratejidir*” şeklinde bir tanım önermişlerdir. İkinci olarak, literatürde iki ana küme tespit etmişlerdir. Birinci küme olarak; eko parklar ile Endüstriyel Simbiyoz konularına odaklanmıştır. İkinci küme olarak ise tedarik zincirleri, kapalı malzeme döngüler ve iş modelleriyle ilgilenmiştir.

Ramadoss vd. (2018) döngüsel ekonominin karmaşıklıklarını ve uygulanabilirliğini analiz etmeyi amaçlamışlardır. Döngüsel ekonominin zorluklarını ve avantajlarını ele alarak, bu yaklaşımın benimsenmesi için davranışsal değişikliklerin, yasal düzenlemelerin ve dijital teknolojilerin rolünü vurgulamışlardır. IoT, Blokzincir, Yapay Zekâ ve Büyük Veri gibi unsurların, döngüsel ekonomiye sağladığı katkıları detaylı bir şekilde inceleyerek, bu teknolojilerin varlık yönetimi, ürün takibi, üretim optimizasyonu ve atık yönetimi gibi kritik alanlarda nasıl kullanılarak daha sürdürülebilir ve verimli iş modellerinin oluşturulmasına önemli katkılarda bulunduğunu örneklerle açıklamışlardır.

Moraga vd. (2019) döngüsel ekonomi kavramını ve bu kavramı değerlendirmek için kullanılan göstergeleri daha iyi anlamayı hedeflemişlerdir. İncelenen göstergeler arasında geri dönüşüm oranları, ikincil hammadde ticareti, ham madde erişiminde bağımsızlık, geri dönüşümle ilgili patent sayısı, özel yatırımlar, istihdam ve katma değer yer almaktadır. Bir sınıflandırma çerçevesi sunarak göstergeleri, döngüsel ekonomi stratejilerine ve ölçüm yaklaşımlarına göre sınıflandırmışlardır. Aynı zamanda, Avrupa Birliği'nin döngüsel ekonomi izleme çerçevesi önerisini analiz ederek, döngüsel ekonomi ilerlemesini değerlendirmek için kullanılan göstergelerin özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma, döngüsel ekonominin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle ilişkisini anlamayı ve daha etkili döngüsel ekonomi göstergeleri geliştirmeyi amaçlayan bir çerçeve sunmuştur.

Camón Luis ve Celma (2020) döngüsel ekonomi alanındaki araştırmaları bibliyometrik analiz yaparak, konunun tematik yapısını, gelişimini ve önemli yayınları ortaya koymayı amaçlamışlardır. Yazarlar, Web of Science ve Scimago Journal & Country Rank gibi platformlardan elde edilen verileri kullanarak, döngüsel ekonomi konusundaki yayınların başlıca tematik eğilimlerini performans, çevre ve atık olarak belirlemiş ve geleneksel çevre bilimleri perspektifinin yanı sıra işletme yönetimi açısından da ele alındığını vurgulamışlardır. Çalışma aynı zamanda döngüsel ekonominin işletme yönetimi alanındaki gelecekteki etkilerini ve sonuçlarını da tartışmıştır.

Morseletto (2020) döngüsel ekonomi stratejilerini ele alarak, bilim insanları ve karar alıcılar için kapsamlı bir analiz sunmuşlardır. Literatür taraması ve yeni hedeflerin belirlenmesine odaklanarak, 10R çerçevesini kullanarak on farklı stratejiyi sistematik bir şekilde incelemiş ve bu stratejilere yönelik hedeflerin döngüsel ekonominin amaçlarına nasıl katkı sağlayabileceğini araştırmıştır. Yazar, her bir strateji altında önerilen hedefleri detaylı bir şekilde analiz ederken,

mevcut hedeflerin genellikle atık yönetimi ve kaynak koruma odaklı olduğunu, ancak bu hedeflerin döngüsel ekonomiyi her zaman teşvik etmediğini vurgulamıştır. Özellikle, geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin ürün bütünlüğünü zayıflattığına ve ürünlerin ekonomide kalmasına yardımcı olmadığına vurgu yapmıştır. Yeni önerilen hedeflerin, özellikle yeniden kullanım, tamir, yenileme, yeniden üretim gibi stratejiler altında, ürün ömürlerini uzatma ve ekonomide dolaşımı artırma potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Bu hedeflerin döngüsel ekonomiye daha fazla katkı sağlayabileceğini ve geçiş sürecini hızlandırabileceğini vurgulamıştır. Sonuç olarak, hedeflerin döngüsel ekonomiye geçişte yönlendirici bir rol oynayabileceğini ve bu hedeflerin dikkatlice planlanmış ve karar alıcı faaliyetleriyle uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Shennib ve Schmitt (2021) atık yönetimi ve döngüsel ekonomi alanlarındaki zorlukları ele alarak, veri odaklı teknolojilerin ve yapay zekâ yöntemlerinin bu alanlarda nasıl kullanılabileceğini incelemişlerdir. Ayrıca, bu teknolojilerin döngüsel ekonomi ve atık yönetimi konularında daha anlaşılır veri üretimine ve katılımcı verilere katkı sağlayabileceği üzerine önerilerde bulunmuşlardır. Yazarlar, Concordia Üniversitesi'nin kampüslerinde "Atığı Dijitalleştirmek" başlığı altında veri odaklı, döngüsel ekonomi yaşam laboratuvarı deneylerinin geliştirilmesini önermişlerdir.

Wilts vd. (2021) belediye katı atıklarının sınıflandırılmasında yapay zekâ ve robotların potansiyel katkısını değerlendirmişlerdir. Barselona yakınlarındaki bir atık sınıflama tesisinde yapılan pilot çalışmada, araştırmacılar yapay zekâ tabanlı bir robotun atık sınıflandırma üzerindeki etkisini test etmiş ve sonuçları analiz etmişlerdir. Çalışma; robotun sınıflama kalitesi, malzeme saflığı ve geri kazanım verimliliği gibi önemli faktörleri değerlendirerek, yapay zekâ temelli sistemlerin döngüsel ekonomiye geçişteki potansiyelini vurgulamıştır.

Khan vd. (2022) döngüsel ekonomi uygulamalarındaki gelişmeleri sistematik literatür taraması yapmışlardır. Scopus veri tabanındaki akademik dergilerde yayınlanan 91 çalışma üzerinden yapılan analiz, farklı sınıflandırmalar altında döngüsel ekonominin durumunu değerlendirmiştir. Bulgular, son on yılda kavramsal çalışmaların artış gösterdiğini, çalışmaların mikro düzeyden mezo düzeye doğru yönlendiğini, döngüsel ekonomiye dijital teknolojilerin entegrasyonunun arttığını ve döngüsel ekonomiyle ilgili çalışma konularının sürekli bir değişim içinde olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar işletmelerin sürdürülebilirlik ve finansal performanslarını geliştirmek adına döngüsel ekonomiye geçiş eğiliminde olduklarını ve çeşitli paydaşlara hizmet etme amacı taşıdıklarını göstermiştir.

Corvellec vd. (2022) Avrupa'nın döngüsel ekonomi yaklaşımına ve ilgili işletme modellerine getirilen eleştirileri akademik araştırmacılar ve uygulayıcıların perspektifinden inceleyerek, döngüsel geçişin gözden kaçan varsayımlarını ve zayıf noktalarını ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Döngüsel ekonominin biyofiziksel, sosyal ve çevresel boyutları dikkate alınarak sürdürülebilir

kalkınma hedeflerini yetersiz şekilde ele aldığına işaret ederek ve daha kapsayıcı, disiplinler arası bir yaklaşım gerektiğini önermişlerdir.

Wilson vd. (2022) döngüsel ekonominin bir bileşeni olan tersine lojistik sürecinde yapay zekânın potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar, döngüsel ekonominin temel amacı olan kaynakları mümkün olduğunca uzun süre koruma ve atığı en aza indirme hedefine odaklanarak, tersine lojistik fonksiyonlarını incelemiş ve bu sürecin farklı yönlerine nasıl katkıda bulunabileceğini tartışmışlardır. Mekanik yapay zekâ uygulamalarının ürünlerin sınıflandırılması ve incelemesinde; analitik yapay zekânın geri dönüşüm seçeneklerini değerlendirmek, ürün iadelerini sınıflandırmak ve en uygun işleme yöntemini seçmek gibi karmaşık kararlar almakta; ürünlerin alternatif kullanım seçeneklerini değerlendirmek, sökme hattı(demontaj) tasarımını optimize etmek ve yeniden imalat süreçlerinde kararlar almak gibi karmaşık görevlerde sezgisel yapay zekâ kullanıldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca girişimcilik ekosistemi içinde yapay zekânın önemini ve döngüsel ekonomi bağlamında yapay zekâ uygulamalarının rolünü vurgulamışlardır.

Oluleye vd. (2023) inşaat sektöründe dijital döngüsel ekonominin gerekliliği doğrultusunda, yapay zekâ modellerinin kullanımını araştırmayı amaçlamışlardır. Yazarlar, PRISMA protokolünü kullanarak 2018 ile 2022 yılları arasında yayınlanan otuz çalışmayı sistematik bir şekilde incelemişlerdir. İnceleme sonucunda; bina ürün yaşam döngüsü boyunca inşaat malzemeleri ve atık döngüsellikini tahmin etmek, modellemek, simüle etmek ve optimize etmek için uygun çeşitli yapay zekâ modellerinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu yapay zekâ modellerinin çeşitli uygulama alanları ayrıntılı olarak tartışılarak, döngüsel ekonomi çözümleri bağlamında güçlü ve zayıf yönleri analiz edilmiştir.

Pathan vd. (2023) döngüsel ekonominin benimsenmesinde yapay zekâ tekniklerinin rolünü incelemişlerdir. Geleneksel doğrusal ekonomi modelinin sürdürülemezliğini vurgulayarak ve döngüsel ekonominin sürdürülebilir, restoratif ve rejeneratif bir alternatif olarak öne çıktığını belirtmişlerdir. Yazarlar, döngüsel ekonominin prensiplerinin benimsenmesini teşvik etmek amacıyla yapay zekânın kullanımına yönelik devlet destekli girişimleri tartışmakta ve İrlanda hükümetinin döngüsel ekonominin ilkelerini benimsemek için attığı adımlara dikkat çekmiştir. Ayrıca, yapay zekânın döngüsel ekonomi uygulamalarında oynadığı rolü somut örneklerle incelemiş ve dijitalleşmenin döngüsel ekonomiye potansiyel katkılarını vurgulamışlardır.

Carlos vd. (2024) dijital teknolojilerin (IoT, büyük veri ve block zinciri) döngüsel ekonomi uygulamalarına katkısını incelemeyi ve bu teknolojilerin döngüsel iş modelleri ile entegrasyonunun, kaynak yönetimi, izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkı sağladığını analiz etmişlerdir. Araştırmada, iki şirket üzerinde yarı yapılandırılmış mülakatlar gerçekleştirilmiş ve veri toplama süreci, şirket belgeleri ile desteklenmiştir. Analiz sonuçları, dijital teknolojilerin döngüsel ekonomi uygulamalarındaki sağladığı avantajları ortaya koymaktadır. IoT, izlenebilirlik ve geri

dönüşüm süreçlerini desteklerken; Blokzinciri, güvenlik ve doğrulama işlevi görmektedir. Ayrıca, büyük veri, veri işleme ve karar alma süreçlerini hızlandırmaktadır. Bulgular, bu teknolojilerin atık yönetimi, geri kazanım ve kaynak optimizasyonu gibi süreçleri iyileştirerek döngüsel ekonomi uygulamalarına önemli katkılarda bulunduğunu göstermektedir.

Jugend vd. (2024b) çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek amacıyla döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesinde Endüstri 4.0 teknolojileri ve kurumsal baskıların firma performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Brezilya’da faaliyet gösteren 248 şirketten anket yoluyla toplanan verilerle gerçekleştirilen çalışmada, Yapısal Eşitlik Modeli kullanılarak geliştirilen model test edilmiştir. Bulgular, normatif ve zorlayıcı baskıların döngüsel ekonominin benimsenmesini desteklediğini, ancak taklitçi baskıların bu süreçte etkili olmadığını göstermektedir. Çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ekonomi prensiplerinin benimsenmesini kolaylaştırarak firmaların çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmalarını sağladığını ve aynı zamanda satış artışı, karlılık ve operasyonel verimlilik gibi performans göstergelerini iyileştirdiğini ortaya koymaktadır.

Rodrigo vd. (2024) inşaat sektöründe döngüsel ekonomiyi teşvik etmek amacıyla dijital teknolojilerin kullanımını ve bu teknolojilerin uygulanmasında karşılaşılan zorlukları belirlemeyi amaçlamışlardır. Bibliyometrik analiz, metin madenciliği ve içerik analizi yöntemleriyle 365 yayını incelendiği çalışmada, dijitalleşme ve ileri teknolojiler (makine öğrenimi, yapay zekâ, derin öğrenme, büyük veri analitiği vb.) ile sürdürülebilir teknolojileri (IoT, blok zinciri, yapı bilgi teknolojileri vb.) olmak üzere iki ana teknoloji kümesi belirlenmiştir. İlk grup atık yönetimini iyileştirerek döngüsel ekonomiye katkı sağlarken, ikinci grup kaynak kullanımını optimize ederek sürdürülebilirliği artırmayı hedeflemektedir. Sonuçlar, dijital teknolojilerin döngüsel ekonomiye geçişi destekleme potansiyeline sahip olduğunu ancak bu geçişte bazı zorlukların da bulunduğunu ortaya koymuştur.

2.2. Döngüsel Ürün Tasarımı ile Yapılmış Çalışmalar

Döngüsel ürün tasarımı, son dönemlerde birçok araştırmacı ve akademisyenin ilgi odağı haline gelmiş güncel bir konudur. Bu çalışmada, döngüsel ürün tasarımına ilişkin literatürde yer alan önceki çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmalara, Emerald, Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, SpringerLink, Taylor & Francis Online, TRDizin, YÖK Tez Tarama gibi veri tabanları ile hakemli dergiler ve konferans metinleri üzerinden ulaşılmıştır. Literatür taraması sırasında “circular product design”, “circular design”, “product design and circular economy” ifadeleri ile bu terimlerin Türkçe karşılıkları, başlık, özet ve anahtar kelimelerde kullanılmıştır.

Yapılan literatür taraması ile toplamda 52 adet çalışmanın olduğu tespit edilmiş olup çalışmalar teorik ve uygulamalı olarak iki grupta incelenmiştir. İncelenen çalışmalar kaynaklarına göre değerlendirildiğinde; 47 tane makale, 5 tane konferans metni olduğu tespit edilmiştir. Tarama

sonucunda konuyla ilgisiz olduğu düşünölen çalışmalar değerdendirmeye alınmamıştır. Öte yandan, TRDizin veri tabanında konuya ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2.1. Teorik Çalışmalar

Van den Berg ve Bakker (2015) döngösel ekonomi yaklaşımını ürün tasarımına odaklayarak, ürün tasarımı, malzeme seçimi ve ürün tasarımındaki iyileştirmeleri içeren bir tanım sunmuşlardır. Bu tanım, ürün tasarımında geleceğe uygun, demontaj, bakım, tekrar yapma ve geri dönüşüm gibi beş ana konuya odaklanmıştır. Çalışma, ürün tasarımcılarına döngösel ürün tasarımı uygulamalarına yardımcı olacak bir dizi örümcek haritası (spider map) gibi araçlar geliştirmiştir. Çalışma, Philips tasarımcıları ve mühendisleriyle iş birliği içinde gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Philips'in iç aydınlatma ürünleri üzerine bir vaka çalışması kullanılarak araçlar uygulamada değerdendirilmiştir. Çalışma, ürün tasarımcılarının enerji kaynaklarını sınırlı bir şekilde kontrol edebildiğini belirtirken, geri dönüşümün zorunlu bir gereklilik olduğunu vurgulamıştır.

Bocken vd. (2016) mevcut ürün tasarımı ve iş modeli stratejilerini döngösel ekonomiye geçiş için kullanma amacıyla "Yavaşlatma, kapatma ve daraltma" kavramlarını kullanarak stratejileri sınıflandırmış ve döngösel ekonomiye geçişin tasarım ve iş modeli stratejilerinin birlikte uygulanmasını vurgulamışlardır. Çeşitli işletmeleri inceleyerek, işletmelerin döngösel ekonomiye geçişte "döngösellik" odaklı bir vizyon benimsemesi gerektiğini ifade ederek, bir çerçeve önermişlerdir. Bu çerçevenin tasarımcılar, yenilikçiler ve işletme karar vericileri için bir rehber olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Moreno vd. (2016) döngösel tasarımın gelişimi için katkı sağlayan en son teknoloji ilkelerini tanımlamışlardır. Ardından, döngösel iş modellerini güncel teknoloji sınıflandırmasına dahil ederek, "Sürdürülebilirlik için Tasarım (Design for X)" alanında yapılan literatür çalışmalarını sistematik olarak analiz ederek, döngösel ekonomi tasarım stratejileri için bir kavramsal çerçeve geliştirmeyi amaçlamışlardır. Geliştirilen kavramsal çerçeve, tasarımcıların döngösel bir ekonomi içinde tasarımın bütönsel sonuçlarını tam olarak göz önünde bulundurmalarını sağlayacak öneriler içermektedir. Öneriler arasında sistem değışikliği için tasarım yapma, tasarlanan ürün/hizmetin döngösel iş modelini belirleme, yenilikçi düşünceyle tasarım yapma, yaşam döngülerini düşünme ve değerd zincirindeki tüm katılımcıları dikkate alma gibi stratejik yaklaşımlar yer almıştır. Bu şekilde, döngösel tasarım sürecinde daha iyi kararlar alınarak, sürdürülebilirliği destekleyen ve çevresel etkileri minimize eden çözümler elde edilmesini hedeflemiştir.

Medkova ve Fifield (2016) döngösel ekonomi tasarımı çerçevesinde kaynak verimliliğini artırmayı ve ürün yaşam döngüsünü uzatarak çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, döngösel ekonomi modellerini analiz ederek sektör uygulamalarını değerdendirmiş ve literatüre dayalı olarak altı temel tasarım stratejisi geliştirmişlerdir:

Ürün güveni ve bağlılığı, dayanıklılık, standartlaştırma ve uyumluluk, bakım ve onarım kolaylığı, yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik, sökme ve yeniden montaj kolaylığı. Analiz sürecinde Miele, Bugaboo Projesi gibi döngüsel ekonomi uygulamalarını inceleyerek, bu stratejilerin kaynak verimliliği ve atık azaltma üzerindeki katkılarını değerlendirmişlerdir. Döngüsel tasarım stratejilerinin ürün ömrünü uzatarak kaynak kullanımını optimize ettiğini ve çevresel etkileri azaltmada etkin bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca döngüsel ekonomi odaklı bir sistemin yalnızca bireysel uygulamalarla sınırlı kalmayıp, üreticilerden tüketicilere ve politika yapıcılara kadar tüm paydaşların iş birliği yapılması gerektirdiğini vurgulamışlardır.

Den Hollander vd. (2017) döngüsel ekonomi bağlamında ürün tasarımıyla ilgili ana kavramlar ve terimler için bir sınıflandırma geliştirmişlerdir. Döngüsel ürün tasarımının temel ilkeleri ve hedefleri vurgulanmıştır. Bu ilkeler arasında dayanıklılık, tamir edilebilirlik, geri dönüştürülebilirlik, paylaşımlı ekonomi ve hizmet tabanlı yaklaşımlar yer almıştır. Yazarlar bu temel ilkelerin, ürün tasarımı süreçlerinde uygulanması gerektiğini ve ürünlerin yaşam döngüsü boyunca göz önünde bulundurulmasını önermişlerdir.

Bakker vd. (2019) çalışmalarında ürün tasarımı alanındaki profesyonellere malzeme kısıtlılığına karşı farkındalık oluşturmaya ve döngüsel ekonomi prensiplerini tasarım uygulamalarıyla entegre etmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar, geleneksel kaynak bolluğu anlayışından kaynak kısıtlılığına geçişin, ürün tasarımcıları için yeni tasarım stratejilerini gerektirdiğini belirtip, kritik malzemelerin etkili bir şekilde ele alınabilmesi için dört ana ürün tasarım stratejisi önermişlerdir. Ayrıca, döngüsel ürün tasarımını, ürün bütünlüğü için tasarım ve geri dönüşüm için tasarım olmak üzere iki ana kategoriye ayırarak tasarımcılara rehberlik etmeyi amaçlamışlar ve bu stratejilerin uygulanmasıyla birlikte ürün ve malzeme bütünlüğünü koruyarak çevresel etkiyi en aza indirme hedefini benimsemişlerdir.

Hapuwatte ve Jawahir (2021) sürdürülebilir ürün tasarımı alanında bir çerçeve sunarak, tasarımcıların müşteri, üretici ve geniş topluluk (şirket veya kuruluşla doğrudan ilişkisi olmayan geniş kitleler, yani hem çalışanlar hem de daha geniş halk) perspektifinden değerlendirme yapmalarına olanak tanıyan Birincil Paydaş Değeri yaklaşımını ele almışlardır. Toplam yaşam döngüsü ve CE prensiplerini bütünleştiren bu metodolojiyle, sürdürülebilir ürün tasarımını müşteri memnuniyeti, üretici karlılığı ve genel toplumsal fayda açısından değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Metrik tabanlı bir çerçeve kullanılarak önerilen yöntem, müşteri, üretici ve geniş topluluk olmak üzere üç paydaş kategorisini içeren 13 metrik kümesini kullanarak tasarımcılara sürdürülebilir tasarım alternatiflerini değerlendirme olanağı sunmuştur.

Dahmani vd. (2021) yalın tasarım, eko-tasarım ve Endüstri 4.0 teknolojilerini birleştirerek üreticilere daha sürdürülebilir ürünler tasarlamalarına yardımcı olmak için bir çerçeve önermişlerdir. Bu çerçeve, üreticilere israfı azaltmak, verimliliği artırmak ve ürünlerinin çevresel etkisini azaltmak

için yardımcı olabilecek yöntemsel bir yaklaşımdır. Çalışma sonuçları yalın tasarım, eko-tasarım ve Endüstri 4.0 stratejilerini entegre etmenin bu stratejileri ayrı ayrı kullanmaktan daha etkili olduğunu göstermiştir.

Dumée (2022) sürdürülebilir üretim ve geri dönüşüm süreçlerinde döngüsel malzemeler ve tasarımın kritik rolünü inceleyerek, döngüsel ekonomiye geçişte karşılaşılan başlıca engelleri ekonomik, teknik, toplumsal ve kurumsal düzeylerde ele almıştır. Yüksek maliyetler, karmaşık malzemelerin geri dönüştürülememesi, tüketici farkındalığının yetersizliği ve kurumların uzun vadeli stratejik plan eksiklikleri gibi faktörler döngüsel tasarımın benimsenmesini zorlaştırmaktadır. Çalışma, yerel kaynak yönetimi ve geri dönüşüm altyapısının güçlendirilmesinin önemini vurgularken, COVID-19 pandemisinin küresel tedarik zincirinde yarattığı kırılmaların yerel üretim ve sürdürülebilir kaynak kullanımına geçişin aciliyetini gösterdiğini savunmaktadır. Bu bağlamda, döngüsel ekonomiye geçişin yalnızca çevresel sürdürülebilirlik değil, ekonomik büyüme için de bir fırsat sunduğu sonucuna varılmıştır.

Aguiar vd. (2022) döngüsel ürün tasarımı stratejilerini, karşılaşılan zorlukları ve yeni ürün geliştirme süreçleriyle olan ilişkilerini derinlemesine incelemek amacıyla sistematik literatür araştırması yapmışlardır. Karşılaşılan zorluklar arasında teknolojik sınırlamalar, şirket kültürü ve yasal uyumluluk, finansal faktörler ve tüketici ve paydaş eğitimi ihtiyacının olduğunu belirlemişlerdir. Bu zorlukların üstesinden gelmek, tasarımcılar, üreticiler, politika yapıcılar ve tüketiciler dahil olmak üzere çeşitli paydaşlar arasında ortak çaba gerektirdiğini vurgulamışlardır.

Rexfelt ve Selvefors (2024) şirketlerin döngüsel ekonomiye geçişini destekleyecek döngüsel tasarım araçlarını belirlemelerini kolaylaştırmayı amaçlayarak, 2017-2023 yılları arasında çeşitli kaynaklardan toplanan yaklaşık 300 döngüsel tasarım aracını incelemişlerdir. Bu araçlar, döngüsel tasarıma odaklanma düzeyi, sağladığı destek türü, hedef kitle ve tasarım nesnesi bakımından belirli kriterlere göre 65 araca indirgenmiş ve beş ana kategori altında sınıflandırılmıştır: Döngüsel aktivatörler, döngüsel başlatıcılar, döngüsel analistler ve danışmanlar, döngüsel akış görselleştiriciler ve döngüsel tasarım zenginleştiriciler. Bu sınıflandırma, şirketlerin döngüsel tasarım araçları arasında ihtiyaçlarına uygun seçimler yapmalarını kolaylaştırmayı hedeflemiştir.

Roberts vd. (2024) yapay zekâ teknolojisinin döngüsel ekonomi ilkelerine uygun ürün ve iş geliştirme süreçlerinde nasıl kullanılabileceğini ve bu kullanımın etik sonuçlarını incelemişlerdir. Yapay zekânın döngüsel ürünlerin tasarımını, geliştirilmesini ve bakımını destekleyebileceği ve döngüsel iş modellerinin oluşturulmasına yardımcı olabileceği belirtilmiştir. Yazarlar ayrıca, yapay zekâ kullanımının potansiyel etik risklerini ve bu risklerin nasıl azaltılabileceğini değerlendirmişlerdir. Çalışma, yapay zekânın döngüsel ekonomi hedeflerine ulaşmak için nasıl kullanılabileceği konusunda stratejiler sunmasının yanı sıra, bu teknolojinin etik açıdan sorumlu bir şekilde benimsenmesini sağlamayı amaçlayan önerileri de içermektedir.

Van den Berg vd. (2024) inşaat sektöründe döngüsel tasarım süreçlerini tasarımcıların perspektifinden anlamayı ve deneyimlerini paylaşmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, Hollandalı on öncü tasarımcıyla yapılandırılmamış görüşmeler yaparak döngüsel tasarımı fenomenolojik analizle incelemişlerdir. Çalışmada döngüsel tasarım, dört ana tema altında ele alınmıştır: Çevresel sorumluluk, geleceğe yönelik çözümler, zorluklarla başa çıkma ve iş birliğine dayalı bir tasarım ekosistemini yönlendirme. Sonuçlar, döngüsel tasarımın başarısında çevresel sorumluluğun, süreçlerin karmaşıklığının ve iş birliği odaklı bir ekosistemin kritik önemde olduğunu göstermektedir.

Dervishaj ve Gudmundsson (2024) döngüsel ekonomi ve bina tasarımında kullanılan dijital araçların etkinliğini, eksikliklerini ve geliştirme alanlarını incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, bibliyometrik analiz ve literatür taraması yöntemleri kullanılarak döngüsel ekonomi ile dijital araçların kesişim noktası analiz edilmiştir. Bu kapsamda, VOSviewer yazılımı ile anahtar kelimeler ve ülkeler arasındaki iş birlikleri görselleştirilmiştir. Veriler, Web of Science, Scopus gibi veri tabanlarından elde edilmiş ve döngüsel ekonomiyi destekleyen bilgisayar destekli tasarım, yapı bilgi teknolojileri ve parametrik tasarım yazılımları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, dijital araçların döngüsel ekonomi stratejilerine katkı sağladığı, ancak daha fazla veri entegrasyonu ve karşılaştırmalı analize ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Yazarlar, döngüsel tasarım stratejilerini destekleyecek yeni nesil araçların geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır.

2.2.2. Uygulamaya Yönelik Çalışmalar

Atlason vd. (2017) kullanıcıların elektrikli ve elektronik ev aletleri için yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi farklı ömrün sonu (End of Life:EoL) senaryolarına dair algılarını anlamayı ve bu senaryoların ürün tasarımına nasıl entegre edileceğini araştırmışlardır. Kano modeli kullanılarak yapılan ankette 146 katılımcıdan elde edilen verilerle, kullanıcıların bu özelliklere dair memnuniyeti ve demografik farklılıkları analiz etmişlerdir. Sonuçlar, yeniden kullanımın en çekici ömrün sonu senaryosu olduğunu, geri dönüşümün ise en az tercih edilen senaryo olarak görüldüğünü ortaya koymuştur. Ayrıca, kadın kullanıcıların çevresel olarak sürdürülebilir ürünlere daha fazla değer verdiği ve bu tür ürünler için ek ödeme yapmaya daha istekli oldukları tespit edilmiştir.

Mestre ve Cooper (2017) "Çoklu Döngüler Yaşam Çevrimi Tasarımı (Multiple Loops Life Cycle Design)" adı verilen bir yaklaşımı inceleyerek ürünlerin döngüsel tasarımını teşvik etmek için kullanılan yaklaşımın avantajlarını ve dört farklı stratejisini (döngüleri yavaşlatan tasarım, döngüleri kapatan tasarım, doğadan ilham alan döngüler için tasarım ve biyotabanlı döngüler için tasarım) açıklamışlardır. Bu yaklaşım, ürünlerin tamamını veya bileşenlerini geri dönüştürülebilir hale getirerek malzemelerin yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü teşvik etmek amacıyla geliştirilmiştir. Farklı ürün gruplarıyla stratejilerini yürüten firmalar arasında, Fairphone 2'nin

döngüleri yavaşlatma, Nike Considered Boot'un döngüleri kapatma, C2C Kahve Fincanı'nın biyobazlı döngüler ve Mercedes-Benz Biyonik Araba'nın biyolojik döngüler stratejileri öne çıkmıştır.

Van Dam vd. (2017) şirketlerin döngüsel tasarım stratejileri belirlemesine rehberlik eden *Circular Pathfinder* aracının bilimsel geçerliliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, altı temel karar verme değişkeni ele alınarak (parça veya malzemelerin toplanabilirliği, ürünün elden çıkarılma nedeni, ürünün yeniden kullanılabilirliği, parçaların (yeniden) kullanılabilirliği, kullanıcıların ikinci el ürüne ilgisi ve yeniden kullanılmış ürünler için garanti talebi) literatürdeki karar değişkenleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada yaklaşık 40 vaka incelenmiş ve Orijinal Ekipman Üreticileri ile yapılan iş birliklerinden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kullanıcı dostu olması için *Circular Pathfinder* aracı döngüsel tasarım karar süreçlerini basitleştirmiştir; ancak, bu basitleştirmenin eksik değişkenler ve terminoloji belirsizlikleri nedeniyle aracın doğruluğunu etkileyebileceği saptanmıştır.

Bovea ve Pérez-Belis (2018) döngüsel ekonomi yönergelerine uygunluğu değerlendirmek ve artırmak amacıyla bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu metodoloji, döngüsel tasarım ilkelerini belirlemek için literatür taraması yaparak bir tasarım kılavuzu oluşturmayı içermektedir. Tasarım kılavuzu, ürünlerin geri dönüşüm, yeniden kullanım, ürün ömrünün uzatılması ve sıfır atık gibi döngüsel tasarım ilkelerine uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Değerlendirme süreci, İyileştirme marjı ve Relevans değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. İyileştirme marjı, belirli döngüsel tasarım ilkelerini ne kadar etkili bir şekilde karşıladığını ölçmektedir. Relevans değerlendirmesi ise, belirli bir döngüsel tasarım yönergelerinin, değerlendirilen ürün kategorisi için ne kadar önemli olduğunu belirlemiştir. İyileştirme marjı düşüklüğü, döngüsel tasarımın başarılı bir şekilde uygulandığını gösterirken; Relevans değerlendirmesi, ilgili döngüsel tasarım yönerge gruplarının (Circular design guidelines group) temel önem derecelerini belirlemiştir. Döngüsel tasarım yönerge grubunun döngüsellik düzeyi, her bir yönergenin İyileştirme marjı derecesi ile Relevans derecesinin çarpımıyla hesaplanmıştır. Bu kılavuz, küçük ev aletleri üreten bir işletmede uygulanmıştır. Toplamda; 10 farklı alet grubundan 127 ürün, detaylı bir inceleme sürecine tabi tutularak döngüsellik düzeyleri belirlenerek analiz edilmiştir.

Wastling vd. (2018) döngüsel ekonominin bir parçası olarak ürünlerin ve hizmetlerin tasarımında tüketici davranışlarının önemini ve bu davranışların döngüsel işletme modelleri üzerindeki etkilerini ele almışlardır. Yazarlar, döngüsel ekonominin önemli bir unsuru olan tüketicilerin davranışlarının, ürünlerin tasarımı ve işletme modelleri üzerindeki etkilerini daha derinlemesine incelemek için bir çerçeve geliştirmişlerdir. Literatür taraması, vaka çalışması analizi ve uygulayıcı görüşmelerini içeren üç aşamalı bir yaklaşım izlenmiştir. Böylece, döngüsel davranış modeli ve döngüsel davranışları teşvik etmek için tasarım süreci gibi iki ana çıktı oluşturmuşlardır. Model, döngüsel işletme modellerini işletmek için istenen kullanıcı davranışlarını açıklamakta ve tasarım süreci ise davranış değişikliği literatürü ve işletmelerin davranışları nasıl teşvik etmeye

çalıştığı üzerine bulguları birleştirmiştir. Döngüsel ekonominin sürdürülebilirliği ve etkinliği için tüketici davranışlarının önemini vurgulamışlardır.

Happonen ve Ghoreishi (2019) çalışmalarını üç farklı firma üzerinde gerçekleştirilen görüşmelere dayandırmışlardır. Bu görüşmelerin odak noktası, söz konusu firmaların döngüsel ekonomi alanındaki faaliyetleridir. Özellikle ürün tasarımının döngüsellikle ilişkilendirilen faaliyetler detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu süreçte belirlenen üç temel döngüsel stratejinin (ürün ömrünü uzatma, geri dönüşüm verimliliğini artırma ve malzeme verimliliğini artırma) tasarım sürecinde nasıl kullanıldığını analiz etmişlerdir. Ayrıca, yapay zekâ uygulamalarının döngüsel ekonomideki rolü üzerine odaklanmak adına söz konusu firmalardaki yapay zekâ kullanımları da detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen veriler sentezlenerek, döngüsel ekonomi için yapay zekânın kolaylaştırıcı unsurları belirlenmiş ve bu unsurların döngüsel stratejilerle ürün tasarımındaki rolü vurgulanmıştır.

Ghoreishi ve Happonen (2020) döngüsel ürün tasarımında özellikle yapay zekâ gibi dijital teknolojilerin önemini göstermişlerdir. Çalışma; malzeme verimliliği, geri dönüşüm ve ürün ömrü uzatma gibi döngüsellik özellikleri göz önünde bulundurarak malzemeleri, ürünleri ve bileşenleri üretme çabalarında tasarım ekiplerinin takip edebileceği bir döngüsel ürün tasarım aracını içermektedir. Ayrıca, akıllı teknolojilerin hızlı prototipleme ve gelişmiş test gibi süreçleri kullanarak tasarım kaynaklarını daha etkili kullanarak döngüsellikle artıracaklarını vurgulamıştır. Bu bağlamda, iş modellerine yenilikçi yapay zekâ uygulamalarını entegre etmenin, döngüsellikle desteklemek ve rekabet için temel bir gereklilik olduğunu öne sürmüşlerdir.

Saidani vd. (2020) döngüsel ekonomi uygulamalarının ürün tasarım ve geliştirme süreçlerine entegrasyonunu anlamak ve desteklemek amacıyla geliştirilen, dört döngüsel performans göstergesini -Malzeme Döngüsellik Göstergesi (Material Circularity Indicator: MCI), Döngüsellik Potansiyeli Göstergesi (Circularity Potential Indicator: CPI), Döngüsel Ekonomi Aracı (Circular Economy Toolkit: CET) ve Döngüsel Ekonomi Göstergesi Prototipi (Circular Economy Indicator Prototype: CEIP)- incelemişlerdir. Yazarlar, bu göstergelerin endüstriyel bir ürün üzerinde nasıl deneysel olarak kullanılabileceğini değerlendirmek ve ürün tasarım sürecinde rehberlik etmek amacıyla grup çalışmaları düzenlemiş ve bu çalışmalarıyla ilgili sonuçları tartışmışlardır.

Shahbazi ve Jönbrink (2020) döngüsel ekonominin iş dünyasına nasıl entegre edilebileceği konusunda kılavuzlar ve öneriler sunarak, endüstriyel süreçlerin sürdürülebilir ve döngüsel hale getirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamışlardır. Çalışma, Nordic ülkelerinde sürdürülebilirlik ve rekabetçilik amacıyla gerçekleştirilen CIRCit projesinin bir parçası olarak yürütülen bir araştırmaya dayandırılmıştır. Yazarlar, oluşturdukları kılavuzları değerlendirmek amacıyla dört farklı firma örneği üzerinden döngüsel ekonomi stratejilerini, bu stratejilere uygun tasarım ilkelerinin

uygulanmasını ve firmaların döngüsel ekonomiye geçiş süreçlerinde karşılaştıkları zorlukları, benimsedikleri stratejileri ve bu stratejilerin ürün tasarımına etkilerini açıklamışlardır.

Desing vd. (2021) çevresel etkiyi en aza indirmeyi amaçlayan "kaynak baskısı (resource pressure)" adını verdikleri bir döngüsel tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, ürün kütlesi, ürün ömrü, üretim kayıpları, birincil malzeme içeriği, geri dönüştürülebilirlik ve kademelendirilebilirlik olmak üzere altı ana parametre üzerinden kaynak baskısını hesaplayarak tasarım sürecinde çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için bir model sunar. Bir çamaşır makinesi ısı değiştiricisinin üzerinde bu yöntemi uygulayarak, yöntemin döngüsel ekonomiye geçişte etkili bir araç olduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, ürün ömrünü uzatmanın ve doğru malzeme seçimlerinin döngüsel ekonomi stratejilerine geçişte oynadığı önemli rolü vurgulamışlardır.

Joustra vd. (2021) kompozit malzemelerden üretilen ürünlerin döngüsel ekonomi ilkelerine uygun tasarımını teşvik etmeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmayı, geri kazanımı kolaylaştırmayı ve kaynak kullanımını azaltmayı hedefleyen stratejiler geliştirmişlerdir. Veriler; kapsamlı bir literatür taraması ve otomotiv, inşaat ve mobilya sektörlerinde kompozit ürünlerin döngüsel tasarımı üzerine çalışan 47 uzmanın katıldığı odak grup oturumları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kompozit ürünler için uzun ömür, kullanım ömrü uzatma, ürün geri kazanımı, yapısal yeniden kullanım ve geri dönüşüm stratejileri tanımlanarak özellikle yeniden kullanım stratejisi vurgulanmıştır.

Shahbazi vd. (2021) yeniden üretim süreçlerinin, ürün tasarımı ve otomasyonun döngüsel ekonomiye nasıl katkı sağlayabileceğini incelemişlerdir. Elektrikli ve elektronik ekipman üreten ve yeniden üretim yapan üç firmada mülakatlar ve gözlemler yapıp literatürden aldıkları tasarım kılavuzlarıyla sonuçları değerlendirmişlerdir. Örneklerle birlikte, otomasyonun yeniden üretim süreçlerindeki rolü, iş ortamı, verimlilik ve kalite gibi faktörlerle ilişkilendirilerek açıklamışlardır. Mevcut ürünlerin ve bileşenlerin genellikle yeniden üretim için tasarlanmadığını belirtip, özellikle sökme (demontaj), temizleme ve montaj gibi adımlar, endüstriyel robotlar veya insan-robot işbirliği kullanılarak otomatikleştirilmesi gerektiği sonuçlarına ulaşmışlardır.

Rexfelt ve Selvefors (2021) döngüsel ekonomi tasarımında kullanıcı perspektifini merkeze alan bir yaklaşımı teşvik etmek amacıyla *Use2Use Design Toolkit* adlı araç setini geliştirmiştir. Çalışma, araç setinin geliştirilmesi ve test edilmesini içeren iki ayrı araştırma projesine dayanmaktadır. İlk projede, araçlar 2016-2019 yılları arasında 400'den fazla profesyonel ve 300'den fazla öğrencinin katıldığı atölyelerde denenmiştir. Katılımcılar, araç setini kullanarak döngüsel süreçleri keşfetmiş ve yeni tasarım fikirleri üretmiştir. İkinci projede ise araç seti, gerçek tasarım projelerinde uygulanarak kullanıcıların ihtiyaçlarını belirleme, zorlukları analiz etme ve yenilikçi çözümler geliştirme süreçlerinde kullanılmıştır. Sonuçlar, *Use2Use Design Toolkit*'in kullanıcı perspektifini anlamada

etkili olduğunu, katılımcıların aracı ilham verici ve eğitici bulduğunu, ancak iş süreçlerine daha iyi entegre edilmesi için ek bir rehberlik hizmeti gerektiğini göstermektedir.

Vimal vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma, temel olarak döngüsel ekonomi prensiplerini ürün tasarımıyla bütünleştirme amacına yöneliktir. Bu amaç doğrultusunda, Hindistan'da faaliyet gösteren bir firmayla iş birliği yapılmış ve mevcut diş fırçası tasarımının döngüsellik performansını değerlendirme ve iyileştirme süreçleriyle plastik kirliliğine çözüm odaklı sürdürülebilir bir diş fırçası tasarımı oluşturmayı amaçlayan bir metodoloji geliştirilmiştir. Literatür taraması yaparak döngüsellik metrikleri belirlenmiş ve müşteri gereksinimlerini anlamak amacıyla 15 müşteriyle görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, firmanın tasarım uzmanlarından oluşan bir ekip de aktif olarak iş birliği içerisinde yer almıştır. Geliştirilen yaklaşıma, Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment: QFD) yaklaşımını döngüsel tasarım prensipleriyle birleştiren Döngüsellik Fonksiyon Yayılımı (Circularity Function Deployment: CFD) adını vermişlerdir. CFD, ürün gereksinimlerinin toplanması, tasarım stratejilerinin döngüsellik metrikleriyle ilişkilendirilmesi, ürün bileşenlerinin değerlendirilmesi ve tasarımın iyileştirilmesini içermektedir. Sonuç olarak, mevcut diş fırçası için önerilen yeni tasarımın müşteri memnuniyetini ve çevresel sürdürülebilirliği artırdığı gözlemlenmiştir.

Diaz vd. (2022) döngüsel ürün tasarımının sadece bir ürünün fiziksel özellikleri değil, aynı zamanda stratejik bir süreç olduğunu vurgulayıp organizasyonların bu stratejik süreci nasıl benimsediğini ve uyguladığını incelemişlerdir. Morfolojik analiz kullanarak stratejik içerik, operasyonel süreç gibi çeşitli faktörlerin organizasyon içindeki etkileşimlerini görselleştirmişlerdir. Bu çerçevede, birincil veri kaynakları olarak uzman görüşmeleri kullanılmış ve bu görüşmelerde döngüsel stratejilerin ürün geliştirme süreçlerini 24 farklı durum üzerinden analiz ederek, organizasyonları benimsedikleri stratejiye göre kümelemişlerdir. Genişletilmiş metin analizi yaparak kategorik değerler belirlenmiş ve bir ürün geliştirme ekibiyle iş birliği yapılarak süreç parametreleri ile süreç konfigürasyonları tanımlanmıştır. Sonuç olarak, döngüsel ürün tasarımının stratejik bir bakış açısıyla değerlendirilmesine yönelik bir çerçeve sunarak organizasyonların bu çerçeve üzerinden kendi döngüsel tasarım stratejilerini belirleme ve geliştirme süreçlerini anlamalarını amaçlamışlardır.

Spreafico (2022), döngüsel ekonomi uygulamalarında kullanılan tasarım stratejilerinin çevresel sürdürülebilirlik açısından etkilerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, 156 farklı karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi çalışmasını inceleyerek, belirli döngüsel tasarım stratejilerinin çevresel etkileri nasıl azalttığı ortaya çıkarmaya çalışmıştır. Çalışma, çevresel etkileri literatürden belirleyerek döngüsel tasarım stratejilerini sekiz ana kategoriye (Atıkları azaltma odaklı tasarım, yenilenebilir enerjiler kullanma odaklı tasarım, yeniden kullanım için tasarım, yeniden üretim için tasarım, geri dönüşüm için tasarım, enerji geri kazanımı için tasarım, bertaraf için tasarım -biyolojik olarak parçalanabilir malzemeler kullanarak-, atıktan enerji geri kazanımı için

tasarım) ayırmıştır. Her bir strateji için çevresel etki kategorilerinin her birinden elde edilen azalmaların ortalamaları alınarak genel çevresel etki performansı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, tasarım stratejilerinin genel çevresel etki azaltma performansını değerlendirmekte ve bu değerlendirme sonucunda en etkili stratejinin yeniden üretim için tasarım olduğunu göstermiştir. Farklı çevresel etki kategorilerinde elde edilen sonuçlar, tasarım stratejilerinin belirli uygulama alanlarına bağlı olarak farklı performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

Aguiar ve Jugend (2022) tarafından yapılan çalışmada, yeni ürün geliştirmeyi dögüsel ekonomiye geçiş perspektifinden değerlendirmeyi ve firmalara, ürünlerini dögüsel ekonomi ilkelerine uygun hale getirmek için bir çerçeve sunmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla, "X için Tasarım" yaklaşımlarını kapsayan tasarım stratejilerinden oluşan 11 boyut ve 5 olgunluk düzeyi (hareketsiz, bilgili, uygulanan, izlenen ve optimize edilen) içeren bir matris geliştirmişlerdir. Matrisin oluşturulmasına yönelik süreç, ilk olarak sistematik bir literatür taramasıyla başlamıştır. Ardından, matrisin geliştirilmesi için konuyla ilgili uzmanlarla görüşmeler yapılarak değerlendirilmiştir. Daha da geliştirilmesi için, matris firma düzeyinde uygulanarak test edilmiştir. Bu matris, firmaların yeni ürün geliştirme süreçlerini dögüsel ekonomi ilkelerine göre değerlendirmelerine ve tasarımlarını daha sürdürülebilir hale getirmelerine yardımcı olacak önemli bir araç olarak öne çıkmıştır.

Boorsma vd. (2022) mevcut dögüsel tasarım göstergelerinin eksikliklerini ele almak ve tasarımcılara özel bir değerlendirme aracı sağlamak amacıyla Dögüsel Ürün Hazırlığı (Circular Product Readiness: CPR) yöntemini geliştirmişlerdir. CPR yöntemi geliştirme süreci, literatür incelemesi, dögüsel tasarım uzmanlarıyla çevrimiçi toplantılar yapılarak bilgi elde edilmesi ve beyaz eşya ve otomotiv endüstrilerinde faaliyet gösteren iki çok uluslu firmayla yapılan firma değerlendirmelerini içermektedir.

Pinherio vd. (2022) dögüsel ekonominin çevresel sürdürülebilirliği teşvik etme yaklaşımını incelemeyi ve bu yaklaşımı benimsemenin ürün geliştirmedeki rolünü anlamayı amaçlamışlardır. Brezilya'da elektronik ürünler üreten 142 firma seçilmiş ve gerekli bilgiler firmada çalışan üst düzey çalışanlardan anket yöntemiyle toplanmıştır. Dögüsel ürün tasarımı kavramını kullanarak Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve paydaş baskısının dögüsel ürün tasarımına etkisini Yapısal Eşitlik Modeliyle analiz etmişlerdir. Bu bağlamda, özellikle yapay zekâ ve büyük veri kullanımının dögüsel ürün tasarımını nasıl desteklediğini inceleyerek ürün tasarım süreçlerini optimize etme, veri analizi, simülasyon ve çeşitli inovasyon alanlarında etkili bir şekilde kullanıldığını tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, dögüsel ürün tasarımının pazar performansı ve çevresel performans üzerinde olumlu etkiler yarattığını ve aynı zamanda paydaşlar ile yapay zekânın bu süreçteki etkileşiminin çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik fayda ve paydaş memnuniyeti gibi çoklu boyutlarda olduğunu göstermiştir.

Wang vd. (2022) döngüsel ürün tasarımıyla karşılaşılacak engelleri belirleyerek bunları aşmak için kullanılabilecek stratejileri incelemişlerdir. Bu çalışma, Yeni Zelanda'da deneyimli 15 sektör yöneticisi ve akademisyenle yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla toplanan verileri tematik analiz ve kodlama yöntemiyle değerlendirmiştir. Yazarlar, firmaların eğitim ve öğretim programlarına yatırım yaparak, uygun araç ve yöntemlere erişim sağlayarak, destekleyici iş modellerini benimseyerek ve paydaşları tasarım sürecine dahil ederek bu engellerin üstesinden gelebileceğini öne sürmüştür.

Burke vd. (2023) döngüsel ekonomiye geçiş için ürün tasarımı ve tedarik zinciri yönetimi kararlarının entegrasyonunu incelemişlerdir. Yeni Zelanda'da deneyimli 15 sektör yöneticisi ve akademisyenle yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla toplanan verileri tematik analiz ve kodlama yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, bu analiz sayesinde, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik alanlarında uzmanlaşmış katılımcıların görüşlerini ve deneyimlerini belirleyerek ürün tasarımıyla tedarik zinciri yönetimi kararlarının nasıl entegre edilebileceği konusunda önemli sonuçlar elde etmiştir. Sonuçlar, döngüsel ekonomiye geçişin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için stratejik adımların ve iş birliğinin önemini vurgulanmış ve işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için nasıl bütünleşik bir yaklaşım benimsenebileceği konusunda faydalı ipuçları sunmuştur.

Kazançoğlu vd. (2023) gıda ambalaj tasarımının sürdürülebilirliğe etkisini ve döngüsel ekonomiyle ilişkisini inceleyerek, sürdürülebilirliğe aykırı tasarım özelliklerini azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmada, literatüre dayalı olarak belirlenen 29 müşteri beklentisi ve 34 teknik gereksinim Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Veriler, gıda ambalaj sektöründeki 12 uzmandan çevrim içi görüşmeler ve e-posta yoluyla toplanmıştır. Bulgular, en önemli müşteri beklentisinin “Ürünün tanımlanması” olduğunu ve sürdürülebilir döngüsel tasarıma katkı sağlamak için kompostlanabilir, biyolojik olarak parçalanabilir tek katmanlı malzemelerin kullanımının etkili olduğunu göstermektedir.

Mesa (2023) döngüsel ürün tasarımı eksik veya genellikle göz ardı edilen tasarım kurallarını belirlemeyi amaçlamıştır. Ayrıca DfX (Design for X) yaklaşımlarını literatürden elde ederek, bu yaklaşımları döngüsel ekonomi stratejileriyle ilişkilendirmekte ve döngüsel ürünlerin tasarımına yönelik özgün bir rehber olan Döngüsellik ve Dayanıklılık İçin Tasarım (Design for Circularity and Durability: DFCD) kılavuzu önermiştir. Ayrıca tasarımın farklı aşamalarında uygulanabilecek, CE'nin yükseltme, onarım ve bakım, yeniden kullanım, yenileme, yeniden üretim, yeniden amaçlandırma ve geri dönüşüm gibi stratejilerine odaklanan 51 tasarım kuralını belirlemiştir. Uygulama kısmında ise bu rehberin bir bisiklet tasarımı üzerinde nasıl uygulayabileceğini göstermiştir.

Nayal vd. (2023) Endüstri 4.0'ın etkin olduğu dinamik pazarlama yeteneği, sürdürülebilir insan kaynakları yönetimi ve döngüsel ürün tasarımının pazar performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Literatür taraması ve uzman görüşlerine dayanarak, anket ve görüşmeler yoluyla Yapısal Eşitlik Modeli ile analiz etmişlerdir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir insan kaynakları yönetiminin Endüstri 4.0 destekli dinamik pazarlama yeteneğini artırdığını göstermiştir. Ayrıca, bu unsurların döngüsel ürün tasarım stratejilerinin benimsenmesine katkı sağladığı ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar, döngüsel ürün tasarımının Endüstri 4.0 destekli dinamik pazarlama aracılığıyla pazar performansını genişletmede kolaylık sağlayacağını öngörmüşlerdir. Ancak, dinamik pazarlama yeteneklerinin tek başına pazar performansını önemli ölçüde artırmak için yeterli olmadığı sonucuna varılmış, buna karşın döngüsel ürün tasarımı ve sürdürülebilir insan kaynakları yönetiminin pazar performansı üzerinde olumlu etkileri olduğunu saptamışlardır.

Aher vd. (2023) ürün tasarımındaki değişikliklerin döngüsel ekonomi üzerindeki etkilerini anlamak için bir çerçeve geliştirmişlerdir. Bu çerçeveye kaynakları etkin bir şekilde kullanımını ölçen göstergeleri, ürünlerin yaşam döngüsü simülasyonlarıyla entegre ederek, tasarımcılara ürünlerin döngüsel performansını analiz etme ve geliştirme olanağı sunmayı amaçlamışlardır. Çalışma, farklı tasarım seçeneklerinin, malzeme tercihlerinin ve ürün geometrisinin döngüsel ekonomiye olan etkisini anlamak amacıyla üç ayrı vaka çalışması üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu vaka çalışmaları, belirtilen çerçevenin tasarımcılara nasıl rehberlik ettiğini ve döngüsel ekonomi göstergeleri üzerindeki etkilerini derinlemesine ortaya koymuştur. Bu yaklaşım sayesinde, tasarımcılar farklı tasarım ve malzeme seçeneklerini simüle ederek ürünlerin döngüsel performansını objektif bir biçimde değerlendirmesine ve iyileştirmesine imkân vermişlerdir.

Chen ve Rau (2023) elektronik ve elektrikli atık ekipmanlarının döngüsel tasarım derecelerini değerlendirmek amacıyla, ürün yaşam döngüsüne dayalı beş ana döngüsel tasarım kriteri (geri dönüşüm, yeniden üretim, demontaj, yeniden kullanım, onarım-bakım) ve bu kriterlere bağlı 40 öğeyi içeren bir değerlendirme çerçevesi geliştirmiştir. Çalışmada, bu kriter ve öğelere yönelik ağırlıklandırma Bulanık Analitik Ağ Süreci (Bulanık ANP) yöntemi ile yapılarak kriterler arasındaki iç bağımlılıklar belirlenmiştir. Ayrıca, TRIZ (Teorijz Rezhenija İzobretatel'skich Zadach) yenilik prensipleri kullanılarak tasarım unsurlarının güçlendirilmesi hedeflenmiş ve ürün özelliklerinin gelişim trendleri ile patent analizleri üzerinden yeni fikirler geliştirilmiştir. Bulgular, özellikle geri dönüşülebilirlik alanında zayıf performans olduğunu ve iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ortner ve Tay (2023) döngüsel ekonomi tasarım problemlerine yönelik otomatik optimizasyon iş akışları geliştirerek, bu iş akışlarının döngüsel ekonomi ilkelerine uygun tasarım süreçlerinde nasıl bir rehberlik sağlayabileceğini araştırmışlardır. Çalışmada, döngüsel ekonomi prensiplerine göre tasarlanmış bir mobilya örneği üzerinden tek hedefli optimizasyon (Single-Objective Optimization: SOO) ve çok hedefli optimizasyon (Multi-Objective Optimization: MOO) yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yazarlar, NSGA-II algoritması (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

II: Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması-II) ve K-means kümelenme yöntemini kullanarak, farklı döngüsel ekonomi hedeflerine göre optimal performans gösteren çözüm türlerini belirleyen bir optimizasyon süreci tasarlamışlardır. Bu kapsamda, üretim atığının azaltılması, malzeme hafifliği, yapısal dayanıklılık ve gömülü karbon emisyonunun düşürülmesi gibi döngüsel ekonomi hedeflerini optimize etmişlerdir. R-NSGA-II ve Makine Öğrenmesi destekli kümelenme yönteminin, döngüsel ekonomi tasarımında karmaşıklığı azaltarak dengeli ve çeşitli çözümler sunduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Shevchenko ve Cluzel (2023) döngüsel ürün tasarımının değerlendirilmesi ve geliştirilmesine odaklanarak *Circular Product Design Toolkit (CPD Toolkit)* adlı bir aracı geliştirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, döngüsel metrikler ve tasarım araçlarına yönelik mevcut bilgileri derleyip yarı sistematik bir literatür taraması ve kavramsal analiz kullanarak bir yöntem oluşturmuşlardır. *CPD Toolkit*'in uygulanabilirliğini göstermek için üç farklı markanın kot pantolonlarının üretimine odaklanan bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu aracın kullanılmasıyla firmaların ürünlerini döngüsel ekonomi ilkelerine uygun hale getirmelerine yönelik rehberlik edilmesi hedeflenmiştir. *CPD Toolkit*'in, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca daha sürdürülebilir ve çevre dostu olmalarını teşvik etme amacını taşıdığı vurgulanmıştır.

Brusa vd. (2024) ürünlerin kullanım ömrünü uzatmak, yeniden kullanım ve geri dönüşüm süreçlerini desteklemek ve bu yolla doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunmak amacıyla model tabanlı sistem mühendisliği (model-based systems engineering) ile döngüsel tasarım yaklaşımlarını entegre etmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, döngüsel ekonomi ilkelerinin sistem mühendisliği süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini araştırarak, üç adımlı bir yol haritası geliştirmişlerdir. Çalışmada, Otomatik Yönlendirmeli Araç (Automated Guided Vehicle, AGV) bir örnek vaka olarak ele alınmış ve bu süreçte yaşam döngüsü değerlendirmesi, yaşam döngüsü maliyet analizi, güvenilirlik, kullanılabilirlik, bakım kolaylığı ve güvenlik analizleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, önerilen entegre yaklaşımın ürün geliştirme süresini %40 oranında kısalttığı ve sürdürülebilirlik hedeflerine daha etkin bir biçimde ulaşmayı sağladığı görülmüştür.

Diaz ve Baumgartner (2024) döngüsel ekonomi stratejilerinin ürün planlama süreçlerine entegrasyonunu kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir yönetsel yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışmada, döngüsel ekonomi stratejilerini yapılandırma süreci ve strateji değerlendirme desteği adına iki araç tanıtılmış ve bunların döngüsel ürün tasarımında stratejik kararları desteklemesi amaçlanmıştır. Büyük ölçekli şirketlerde en az üç yıl deneyime sahip sürdürülebilir ürün geliştirme uzmanlarıyla yapılan 15 görüşmede elde edilen veriler kullanılarak toplam 24 strateji uygulama örneği üzerinden döngüsel ekonomi yapı taşları incelenmiştir. Veriler, MA/Carma™ yazılımıyla analiz edilerek strateji bileşenleri arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş; yapılandırma süreci ve değerlendirme desteği, stratejik yapı taşlarının görselleştirilmesini ve ürün kalitesi ile tasarım özelliklerinin döngüsel ekonomi ilkelerine uygun olarak sistematik bir şekilde ele alınmasını

sağlamıştır. Bu araçların, döngüsel ekonomi stratejilerinin uygulanmasını detaylandırarak kaynak kullanımını azaltma ve döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırma konusunda şirketlere destek sunduğu görülmüştür.

Jugend vd. (2024a) döngüsel ürün tasarımının önündeki engelleri belirlemek ve analiz etmek için Brezilya'da yedi uzmanla yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirmiş ve elde edilen verileri Bulanık AHP yöntemiyle analiz etmişlerdir. Sürdürülebilirlik, pazarlama ve Ar-Ge alanlarındaki uzmanların görüşleri doğrultusunda finansal, teknolojik, tedarik zinciri, tüketici, organizasyonel ve devlet-düzenleyici olmak üzere altı ana kategoride engeller tespit edilmiştir: Bunlar arasında tedarik zincirinin döngüsel ekonomi gereksinimlerini karşılamadaki yetersizlikleri, düşük tüketici ilgisi ve bilgi/teknoloji eksiklikleri öne çıkmıştır. Araştırmanın sonuçları, özellikle tersine lojistik ve tüketici ilgisizliği gibi tedarik zinciri zorluklarının döngüsel ürün tasarımının uygulamasını zorlaştırdığını göstermektedir. Ayrıca, bu engellerin aşılması gerektiği ve döngüsel ekonomi modellerine geçişi kolaylaştırmak için stratejilerin geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Köpman ve Majava (2024) elektrik ve elektronik ürünlerin döngüsel ekonomi içindeki geliştirme süreçlerini inceleyerek, döngüsel ekonomi gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmış ürünlerin öncelikli süreçlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Literatür taramasına dayanarak, ürünlerin teknolojik olgunluk düzeyi ve ömrüne göre döngüsel ekonomi süreçlerine öncelik veren "Minimum Entropi Tasarım Öncelik Modeli"ni önermişlerdir. Çalışmada, yeniden üretim ve yenileme süreçlerinin yeterince ele alınmadığı, geri dönüşüm ve parçalara ayırma odaklı tasarımın ise kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Tasarımda bir döngüsel ekonomi sürecine odaklanmanın, diğer süreçleri olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır.

Sareh (2024) tasarım estetiği ve döngüsel tasarım ilkelerine dayanarak, tasarımcıların şekil (estetiği) ile fonksiyon (döngüsel tasarım ilkeleri) arasındaki uyumu sağlamaya yönelik bir model geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda, endüstriyel tasarım estetiği ile döngüsel tasarım ilkeleri (atık azaltma, ürün ömrünü uzatma, doğaya uyum sağlama) birleştirilerek, sürdürülebilir bir tasarım çerçevesi oluşturulmuştur. Bisiklet gibi yaygın bir üründen örnek verilerek, fonksiyonun şekil üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analiz, tasarımın çoğunlukla yapısal ve mekanik gereksinimlere dayandığını, ancak estetik unsurların da sıklıkla göz ardı edildiğini ortaya koymuştur. Önerilen model, endüstriyel tasarımcılara estetik teorisi ile döngüsel tasarım ilkelerinin entegrasyonunu sağlayarak, daha sürdürülebilir ve verimli tasarım süreçlerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır.

Schöggel vd. (2024) sürdürülebilir ve döngüsel ürün geliştirmeye yönelik engelleri belirlemeyi ve önceliklendirmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar, literatür taraması ve bir uzman çalıştay düzenleyerek 40 engeli 15'e indirmiş ve bunları dışsal, stratejik, operasyonel, kişisel ve araçla ilgili engeller olarak beş kategoriye ayırmışlardır. Daha sonra ise Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

kullanılarak önceliklendirme yapılmış ve stratejik engellerin en önemli, araçla ilgili engellerin ise en az önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Shevchenko vd. (2024) işletmelerin döngüsel ekonomi iş modelleri uygulamalarını desteklemek amacıyla "Design for Product Circularity (DfPC) Toolkit" çerçevesi oluşturmuşlardır. Bu çerçeve, ürünleri yeniden tasarlamak için dört boyutlu bir model olan "Kapatma-Yavaşılatma-Gelecek-Geçmiş"i kullanarak döngüsel ekonomiyle ilgili ürün kategorilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çerçeve, ürünlerin döngüsellik potansiyelini dört farklı boyutta nasıl değerlendirebileceğini açıklar. Yazarlar, bu çerçevenin etkinliğini bir santrifüj pompa montajı vakasıyla göstermiş ve firmalara ürünlerinin döngüsellik performansını artırmak için nasıl kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Pei vd. (2024) Avrupa mobilya sektöründe döngüsel ekonomi uygulamalarını teşvik eden döngüsel tasarım stratejilerini incelemiştir. Çalışma; malzeme verimliliği ve ürün ömrünü uzatma odaklı mevcut döngüsel ekonomi uygulamalarını analiz etmektedir. Çoklu vaka çalışması yöntemiyle, son on yılda Avrupa'daki örnek olaylardan toplanan veriler, döngüsel girişimlerin çoğunlukla malzeme ve ürün düzeyinde yoğunlaştığını, kullanıcı katılımı gibi alanların ise geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Başlıca döngüsel tasarım stratejilerini arasında kaynak döngüsünü daraltma, ürün ömrünü uzatma ve geri dönüşüm için tasarım olarak sıralamışlardır. Yazarlar, döngüsel ekonomi uygulamalarının iş modeli ve ekosistem düzeyinde de ele alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Dagilienė vd. (2024) döngüsel ekonomi prensiplerini ürün ve hizmet tasarımına entegre etmek amacıyla bir döngüsel tasarım çerçevesi (Circular Design Framework) ve döngüsel tasarım öz değerlendirme aracı (Circular Design Tool) geliştirmişlerdir. Bu çerçeve; döngüsel zorluklar, iş modeli, üretim, dijital üretim teknolojileri, malzemeler, marka ve iletişim, ambalajlama, lojistik, kullanıcı, kullanım ve kullanım sonrası olmak üzere 10 ana boyutu kapsamaktadır. Çerçevenin oluşturulma sürecinde mevcut literatür incelenmiş ve döngüsel tasarımın temel bileşenleri belirlenmiştir. Farklı disiplinlerden uzmanlarla düzenli olarak gerçekleştirilen toplantılar aracılığıyla bu boyutlar detaylandırılmış ve çerçevenin kapsamı genişletilmiştir. Geçerlilik ve kullanılabilirlik testleri için 10 uzmandan geri bildirim alınmış ve her bir boyut, 10 puanlık bir ölçekle değerlendirilmiştir. Uzman geri bildirimleri doğrultusunda güncellenen çerçeve, döngüsel tasarım süreçlerine rehberlik eden pratik bir araç olarak ürün geliştiricilere sunulmuştur.

Tan vd. (2024) ürün tasarımında döngüsellığı teşvik eden sürdürülebilir bir yeniden tasarım çerçevesi geliştirmiş ve bunu hibrit bir USB bellek-kartvizit ürününün yeniden tasarımında uygulamışlardır. Çerçeve, dört temel ilkeye (azalt, yeniden kullan, geri kazan, yeniden düşün) dayalı stratejilerle, malzeme tüketimini azaltma, dayanıklılığı artırma, geri kazanımı kolaylaştırma ve tasarımı yeniden yapılandırma odaklı değişiklikler yapmayı amaçlamaktadır. Yeniden tasarlanan her

bir ürün çeşidinin çevresel etkileri, yaşam döngüsü değerlendirmesi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, "Yeniden düşün" stratejisi diğer tasarım yaklaşımlarına kıyasla en büyük çevresel sürdürülebilirlik iyileştirmesini göstermiştir.

Döngüsel ekonomi üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- Döngüsel ekonominin tanımında farklı görüşlerin bulunduğu belirlenmiştir.
- Çalışmalar ağırlıklı olarak teorik konulara odaklanmakta olup, uygulamaya dönük araştırmalar sınırlı kalmaktadır.
- Literatür taraması şeklinde çok sayıda çalışmanın yapıldığı gözlenmiştir.
- Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma hedeflerine vurgu yapılmıştır.
- Dijital teknolojilerin (büyük veri, IoT, blokzincir vb.) döngüsel ekonomi ile olan ilişkisi analiz edilmiştir. Ayrıca, döngüsel ekonomide yapay zekâ uygulamalarına odaklanılmıştır.

Döngüsel ürün tasarımı üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular ise şu şekilde özetlenebilir:

- Teorik çalışmaların büyük kısmında tasarım çerçeveleri veya tasarım kılavuzları/yönergeleri önerilmektedir. Ayrıca, literatür araştırması şeklinde de birçok çalışmaya rastlanmıştır. Diğer taraftan, çalışmaların bazılarında döngüsel ürün tasarımı ile ilgili araçlar (tools) geliştirildiği görülmektedir. Öte yandan, bu çalışmalarda dijital teknolojiler ve yapay zekânın ürün tasarımıındaki önemi vurgulanmıştır.
- Uygulamalı çalışmaların sayıca fazla olduğu görülmektedir. Bu çalışmaların çoğunlukla vaka analizlerine dayalı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, bu çalışmalarda istatistiksel teknikler, matematiksel programlama modelleri, çok kriterli karar verme yöntemleri, sezgisel modeller, meta-sezgisel modeller ve yapay zekâ uygulamalarının (makine öğrenmesi vb) çok sınırlı olarak çalışmalarda kullanıldığı belirlenmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. PVC SEKTÖRÜNDE KANO MODELİ VE KALİTE FONKSİYON YAYILIMI KULLANARAK DÖNGÜSEL ÜRÜN TASARIMI

Çalışmanın üçüncü bölümü, çalışmanın önemi ve amacı, çalışmada kullanılan yöntemler ve uygulama olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

3.1. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Sürdürülebilirlik, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken geleceğin olanaklarını tehlikeye atmadan ekonomi, çevre ve toplumu dengeleyen bir çerçeve sunarak nesiller arası adalet ve çevresel sorumluluğu hedefleyen bir yaklaşımdır (Geissdoerfer vd., 2017). Birleşmiş Milletler'in hazırladığı Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, sürdürülebilirliğin desteklenmesine yönelik olarak 17 kalkınma hedefinden oluşan küresel bir çerçeve sunmaktadır. Bu hedeflerden biri olan 12. Kalkınma hedefinde (sorumlu üretim ve tüketim); önleme, azaltma, geri dönüşüm ve tekrar kullanma yollarıyla üretimdeki katı atık miktarının önemli ölçüde azaltılması gerektiğine işaret ederek döngüsel ekonomiyi desteklemektedir. Ayrıca aynı hedefte atıkların ve zararlı kimyasalların çevreye ve insan sağlığına etkisinin azaltılması gerektiği de vurgulanmıştır.

Döngüsel ekonomi; iklim değişikliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, atık ve kirlilik gibi küresel sorunlara çözüm sunmak için tasarım odaklı olarak atık ve kirliliği ortadan kaldıran, ürünleri ve malzemeleri mümkün olan en uzun süre kullanımda tutan ve doğayı yenileyen bir sistemdir (Ellen MacArthur Foundation, 2022b). Bu bağlamda döngüsel ekonomi, geri dönüşüm, atık yönetimi gibi uygulamalarla sürdürülebilir kalkınmayı güçlendirmektedir (Schroeder vd., 2019: 92). Döngüsel ürün tasarımı ise, ürünlerin atık sorununun bir parçası olmaktan ziyade, yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi stratejilerle kaynakların uzun süreli dolaşımında kalmasını sağlamak amacıyla tasarlanan, sürdürülebilir bir kaynak yönetimi yaklaşımıdır (Wang vd., 2022: 5). Öte yandan, 12. Kalkınma Planı'nın (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023) Yeşil Dönüşüm kapsamında aşağıda belirtilen 35. maddesinde ürün tasarımında ve üretim süreçlerinde döngüsellik prensiplerine vurgu yapılmaktadır:

Kaynakları tüketirken oluşan atıkların değerlendirilerek yeniden kullanımını esas alan döngüsel ekonomi uygulamaları uluslararası ölçekte benimsenmekte ve yaygınlaşmaktadır. Buna yönelik, üretim süreçlerinin ve ürün tasarımının döngüsel prensiplere uygun hale getirilmesine odaklanılmakta, ürünlerin geri dönüştürülebilir, onarılabılır ve tekrar kullanılabilir olması için önlemler alınmaktadır.

Plastikler için kullanım sonrası işleyen bir ekonomi oluşturmak, toplama ve geri kazanım altyapısını kurmaya ekonomik teşvik sağlarken ürünlerin tasarımını iyileştirerek, yeniden kullanım ve malzeme kullanımını azaltma gibi araçlarla piyasaya sürülen plastik miktarını ve dolayısıyla atığı orantılı olarak azaltmayı sağlar (Ellen MacArthur Foundation, 2016).

Plastik atık sorununa yönelik olarak, dögüsel ekonomi modelinin uygulanması; plastiklerin kapalı döngüde tutulması, geri dönüştürülmesi, yeniden tasarım, alternatif malzeme kullanımı ve sürdürülebilir kaynak sağlama gibi yenilikçi önlemlerin küresel ve bölgesel düzeyde teşvik edilmesiyle mevcut üretim-tüketim modellerine sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Maione vd., 2022: 78). Öte yandan, 1 ton plastik geri dönüşümü, 41 kg sera gazı azaltımı, 5774 kWh enerji tasarrufu sağlamaktadır (Plastik Atık (t,y), <https://www.sifiratik.gov.tr/plastik-atik>).

Plastics Europe (Plastics Europe, 2024), raporunda, 2022 yılında plastik tüketiminin en fazla olduğu sektör inşaat ve yapı sektörü olduğu belirtilmiştir. Yine aynı rapora göre geri dönüştürülmüş içerik kullanan sektörler arasında inşaat ve yapı sektörü ikinci sıradadır. Polivinil klorür (PVC), çok yönlülüğü, performans avantajları, düşük maliyeti, enerji verimliliği, geniş bulunabilirliği ve uzun kullanım ömrü ile dünya çapında son kullanıcıların yaşam kalitesini artıran çeşitli uygulamalar için ideal bir bileşendir (Cappucci, 2009:22). Ayrıca hafifliği, dayanıklılığı ve güçlü yapısı ile PVC, 10 yıldan uzun ömre sahip ürünleriyle, özellikle inşaat ve yapı sektöründe en fazla kullanılan bileşenlerdendir (Miliute-Plepiene vd.,2021: 1). Öte yandan, PVC'nin yapısında sürdürülebilirlik özellikler bulunur ve %57'si yaygın kaya tuzundan, %43'ü ise petrol türevi hidrokarbonlardan oluşur; bu da diğer plastiklere kıyasla daha düşük karbon ayak izi oluşturur (The European Council of Vinyl Manufacturers, 2017).

Yaygın kullanımı ve faydalarına rağmen, PVC çevresel riskler oluşturan atıkların üretimine neden olur ve bu zorlukları aşmak için etkili yöntemleri gereklidir (Ait-Touchente vd., 2024: 2).

Bu noktada, bu çalışmada dögüsel ürün tasarımı uygulaması için PVC sektöründe kapı ve pencere ürünleri üreten bir firma seçilmiştir. Firma, yaklaşık 40 yıldır Trabzon Arsin Organize Sanayi'nde faaliyet göstermektedir. Hem yurtiçi hem de yurtdışı pazarlarda hizmet vermekte olup PVC kapı ve pencere profilleri gibi ürünleri üretmektedir. Firma, sürdürülebilirlik ve dögüsellik prensiplerini benimseyerek, çevre dostu bir yaklaşıma sahip olup bu prensipleri üretim süreçlerinde uygulamaya isteklidir.

Buradan hareketle hazırlanan bu çalışmanın amacı, dögüsel ürün tasarımını gerçekleştirirken müşteri isteklerini (gereksinimlerini) belirleyerek sınıflandırmak ve bu isteklerin firma tarafından nasıl gerçekleştirileceğini belirlemek amacıyla bütünselik bir yaklaşım önermektir. Bu amaçla Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Bu yaklaşımla, ürün

tasarım süreçlerini iyileştirmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hedefleyen, döngüsel ekonomi prensiplerine dayalı bir karar çerçevesi oluşturmak amaçlanmaktadır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

3.2.1. Kano Modeli

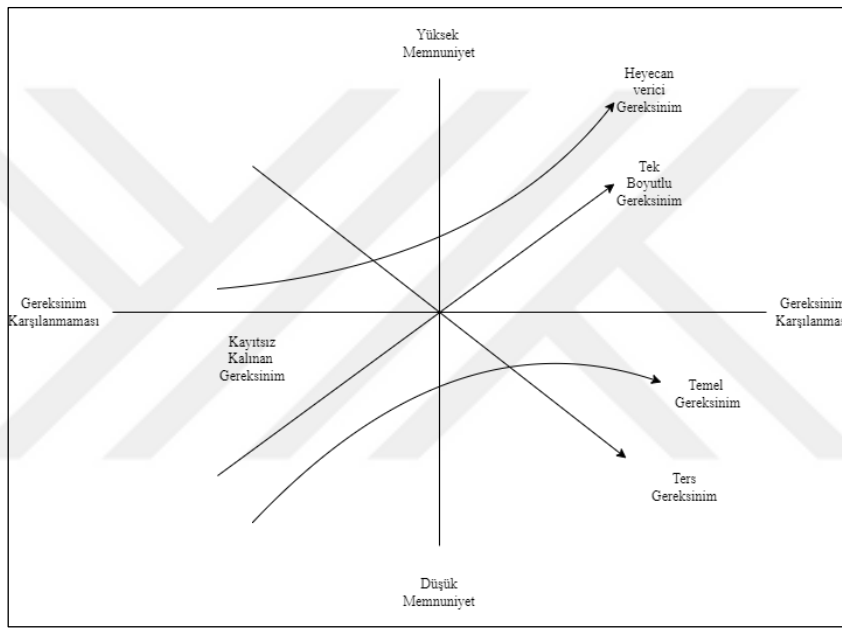
Küresel pazarda rekabet eden şirketler, sadece yüksek miktarlı ve düşük maliyetli üretime dayalı stratejilerle sürdürülebilir başarı elde edememektedir (Wang ve Ji, 2010:173). Bu nedenle, müşteri isteklerini karşılayarak müşteri memnuniyetini artırmak giderek öncelikli hale gelmiş olup bu bağlamda, müşteri beklentilerini anlamak ve memnuniyete etkisini değerlendirmek için en yaygın kullanılan araçlardan biri Kano Modeli olmuştur (Wang ve Ji, 2010:173). Bir ürün veya hizmetin planlama sürecinde, müşteri gereksinimlerini belirlemek amacıyla müşteriden geri bildirim alınması çok önemlidir (Walden, 1993:3). Kano verilerinin analizi ise, müşteri gereksinimlerinin daha iyi anlaşılmasını, geliştirme önceliklerinin belirlenmesini, pazar bölümlerinin özelliklerinin ayırt edilmesini ve tasarım kararlarına rehberlik edilmesini sağlamaktadır (Walden, 1993:11). Kano Modeli 1984 yılında, müşteri gereksinimlerini ve bir ürünün veya hizmetin özelliklerinden kaynaklanan müşteri memnuniyetinin düzeyini inceleyen iki boyutlu bir kalite modeli olarak Kano tarafından önerilmiştir (Jain ve Singh, 2017:50). Kano modeline göre ürün gereksinimleri 6 grupta sınıflandırmıştır (Sireli vd., 2007):

1. Temel (Must Be: M): Bu gereksinimler, bir ürünün temel özellikleridir ve karşılanmadıklarında müşterilerin son derece memnuniyetsiz olacağı kabul edilir. Ancak, bu gereksinimlerin karşılanması memnuniyeti artırmaz çünkü müşteriler bunları temel özellik olarak kabul ederler.
2. Tek Boyutlu (One- Dimensional: O): Bu gereksinimler, karşılanması durumunda müşteri memnuniyetinin artacağı, karşılanmadığında ise memnuniyetsizlik yaratacağı özelliklerdir. Karşılanma düzeyi arttıkça müşteri memnuniyeti de artar.
3. Heyecan Verici (Attractive: A): Bu gereksinimler, müşteri memnuniyetini en çok etkileyen özelliklerdir. Müşteriler, bunları beklemezler ancak karşılanmaları memnuniyeti önemli ölçüde artırır.
4. Kayıtsız Kalınan (Indifferent: I): Bu gereksinimler, müşterinin ürün özelliğine ilgisiz olduğu ve var olup olmasına pek önem vermediği kriterlerdir.
5. Karşıt (Reverse: R): Bu gereksinimler, müşterilerin istemediği ve aksine tersini beklediği özelliklerdir.
6. Şüpheli (Questionable: Q): Bu değerlendirme, sorunun yanlış formüle edilmiş olmasından müşterinin soruyu yanlış anlamış olmasından veya mantıksız bir yanıt vermiş olmasından kaynaklanır.

Tatmin edici bir düzeye ulaşmış temel gereksinimlerde performans iyileştirmesi sağlamak, tek boyutlu ya da heyecan verici gereksinimlerde yapılacak iyileştirmelere kıyasla daha az verimli olmaktadır; bu nedenle, müşteri gereksinimlerinin hangi sınıfa girdiğinin anlaşılması, önemli olan üzerinde odaklanmayı kolaylaştırabilir (Walden, 1993:7).

Şekil 2’de Kano Modeli müşteri memnuniyeti grafiği gösterilmiştir. Müşteri isteklerinin yerine getirilmesinin müşteri memnuniyeti üzerindeki farklı etkilerini yatay eksen, memnuniyeti dikey eksen konumlandırarak göstermektedir (Lo vd., 2017:1590-1591).

Şekil 2: Kano Modeli Müşteri Memnuniyeti Grafiği



Kaynak: Lo vd., 2017: 1590

Tablo 2’de ise müşteri gereksinimlerinin yukarıda belirtilen altı gruptan hangisine girdiğini belirlemek amacıyla yapılan Kano Modeli değerlendirme tablosu gösterilmiştir. Burada her soru çifti bir özelliğin yerine getirilmesi durumunda tüketicinin hislerini değerlendiren (olumlu soru) ve aynı özelliğin yerine getirilmemesi durumunda hislerini sorgulayan (olumsuz soru) bir sorudan oluşmakta; veriler, değerlendirme tablosu aracılığıyla analiz edilerek özelliklerin uygun kategorilerde sınıflandırılmasını sağlamaktadır (Barrios vd., 2024:3).

Tablo 2: Kano Modeli Anketi Değerlendirme Tablosu

Müşteri İstekleri		Olumsuz soruya verilen cevaplar				
		Hoşlanırım	Öyle olmalı	Fark etmez	Katlanabilirim	Hoşlanmam
Olumlu soruya verilen cevaplar	Hoşlanırım	Q	A	A	A	O
	Öyle olmalı	R	I	I	I	M
	Fark etmez	R	I	I	I	M
	Katlanabilirim	R	I	I	I	M
	Hoşlanmam	R	R	R	R	Q

Kaynak: Lo vd., 2017: 1591

3.2.2. Kalite Fonksiyon Yayılımı

Kalite Fonksiyon Yayılımı (Quality Function Deployment: QFD), müşteri beklentilerini sistematik olarak ürün geliştirme sürecine entegre ederek kaliteyi tasarım aşamasında yapılandırmayı ve böylece müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarmayı amaçlayan proaktif bir kalite yönetim metodolojisi (Chan ve Wu, 2002: 24). Chan ve Wu (2002) çalışmalarında, 6 aşamadan oluşan kalite evinin (Şekil 3) detaylarını aşağıda gibi açıklamıştır (Chan ve Wu, 2002: 27-32).

A. Müşteri Gereksinimleri (What's: Ne'ler)

Kalite Fonksiyon Yayılımı, ürünün müşterilerinin tanımlanması, müşteri ihtiyaçlarının (gereksinimlerinin) toplanması, bu ihtiyaçların gerekli görüldüğü durumlarda bir ağaç yapısında organize edilmesi ve müşteriler tarafından algılanan göreceli önemlerinin belirlenmesidir. Bu aşamada müşteri gereksinimleri (What's: Ne'ler) belirlenir.

- Müşterilerin belirlenmesi: Müşteriler, ürünün doğasına göre belirlenmektedir. İç, ara ve nihai müşteriler olmak üzere üç ana müşteri türü bulunmaktadır.
- Müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi: Müşteri ihtiyaçları, müşterilerin ifadeleriyle belirlenmekte ve çeşitli yöntemlerle toplanmaktadır. Anketler, odak grupları, bireysel görüşmeler ve ürün kullanım gözlemleri bu yöntemlere örnek olarak verilmektedir.
- Müşteri ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi: Müşteri ihtiyaçlarının önem dereceleri belirlenmekte ve en önemli ihtiyaçlar üzerinde çalışılmaktadır. Farklı puan ölçekleri kullanılarak önceliklendirme yapılabilmektedir.

B. Planlama Matrisi

Planlama matrisi, müşteri ihtiyaçlarının firmanın ve rakiplerinin ürün performansı ile karşılaştırıldığı bir aşamadır. Bu matris, şirketin stratejik hedeflerini belirlemesine yardımcı olmaktadır.

- Rakiplerin belirlenmesi: Firma, rakiplerini belirlemekte ve müşteri değerlendirmeleri aracılığıyla ürünlerin karşılaştırmasını yapmaktadır.
- Hedef belirleme: Firma, müşteri ihtiyaçlarına göre hedefler belirlemektedir.
- Satış noktaları belirleme: Firma, müşteri ihtiyaçlarına yönelik satış noktalarını tespit etmektedir.
- Nihai önem derecelerinin hesaplanması: Müşteri ihtiyaçları için nihai stratejik önem dereceleri hesaplanmakta ve bu hesaplamalar formüllerle yapılmaktadır.

C. Teknik Gereksinimler (How's: Nasıl'lar)

Bu aşamada müşteri ihtiyaçları, teknik gereksinimlere (How's: Nasıl'lar) dönüştürülmektedir. Bu gereksinimler, mühendislik çözümlerine yol açmaktadır.

- Teknik gereksinimlerin belirlenmesi: Müşteri ihtiyaçları, teknik gereksinimlerle ifade edilmekte ve organize edilmektedir.
- Gereksinimlerin birimi ve yönünün belirlenmesi: Her teknik gereksinim için birim ve iyileştirme yönü belirlenmektedir.
- İyileştirme yönlerinin belirlenmesi: Teknik gereksinimlerin iyileştirme yönleri "ne kadar çok, o kadar iyi", "ne kadar az, o kadar iyi" ve "hedef en iyisi" şeklinde tanımlanmaktadır.

D. İlişki Matrisi

Bu matris, müşteri ihtiyaçları ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkileri tanımlamakta ve ürün geliştirme süreci için önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Genellikle dört ilişki seviyesi (güçlü, orta, zayıf ve ilişkisiz) kullanılmaktadır.

E. Teknik Korelasyon Matrisi

Teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler bu matrisle değerlendirilmektedir. Olumlu veya olumsuz etkiler belirlenmekte ve bu etkilere göre planlamalar yapılmaktadır.

F. Teknik Matris

Teknik Matris, müşteri ihtiyaçları ile teknik özellikleri ilişkilendirerek geniş kapsamlı teknik bilgiler sunmaktadır. Bu matriste, teknik ölçütlerin göreceli önem sıralaması yapılmakta ve şirketin performansı rakipleriyle kıyaslanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, "Nasıl"lar üzerine yapılan rekabetçi teknik değerlendirmeler sonucunda, teknik performans hedefleri belirlenmekte ve bu hedeflere ulaşma olasılıkları ya da teknik zorluklar tespit edilmektedir. Nihayetinde, "Nasıl"ların stratejik

- Teknik gereksinimlerin önceliklendirilmesi: Teknik gereksinimlerin göreceli önem dereceleri hesaplanmaktadır.
- Rekabetçi teknik değerlendirmeler: Şirketin ve rakiplerin teknik performansları değerlendirilmekte ve karşılaştırılmaktadır.
- Performans hedeflerinin belirlenmesi: Her teknik gereksinim için performans hedefleri belirlenmektedir.
- Teknik satış noktalarının belirlenmesi: Teknik gereksinimler için satış noktaları tespit edilmektedir.
- Hedeflere ulaşma olasılığı: Hedeflere ulaşma olasılığı değerlendirilmektedir.
- Nihai teknik öncelikler: Teknik gereksinimlerin nihai öncelikleri hesaplanmaktadır.

Şekil 3: Kalite Evi



Kaynak: Chan ve Wu, 2002: 26

3.2.3. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Klasik TOPSIS yöntemini bulanık bir ortama uyarlayarak grup karar verme problemlerinde, kriter ağırlıkları ve alternatif değerlendirmelerindeki belirsizlikleri ele almayı amaçlayan bir metodoloji geliştirmiş ve bu doğrultuda aşağıdaki adımları sunmuştur (Chen, 2000: 5-7).

- Bütünleşik Bulanık Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar vericilerin değerlendirmeleri toplanır ve bulanık sayı olarak birleştirilir.
- Normalleştirilmiş Karar Matrisi Oluşturulması: Normalizasyon işlemi, kriterlerin farklı ölçeklerini uyumlu hale getirmek için uygulanır. Bu şekilde, normalize edilmiş bulanık karar matrisi $\widetilde{R}$ elde edilebilir:

$$\widetilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (1)$$

$$\tilde{r}_{ij} = (\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*}), j \in B \quad (2)$$

$$\tilde{r}_{ij} = (\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}}), j \in C \quad (3)$$

$$c_j^* = \max c_{ij}, \text{ eğer } j \in B$$

$$a_j^- = \min a_{ij}, \text{ eğer } j \in C$$

Burada B ve C, sırasıyla fayda ve maliyet kriterleri kümesini ifade etmektedir.

- Ağırlıklı Normalleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi Oluşturulması: Normalleştirilmiş karar matrisi, kriter ağırlıkları ($\widetilde{w}$) ile çarpılarak ağırlıklı hale getirilir.

$$D = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \dots & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \widetilde{w} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n) \quad (4)$$

$$= \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{x}_{11} & \tilde{w}_1 \tilde{x}_{12} & \dots & \dots & \dots & \tilde{w}_1 \tilde{x}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{w}_n \tilde{x}_{m1} & \tilde{w}_n \tilde{x}_{m2} & \dots & \dots & \dots & \tilde{w}_n \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

- Bulanık Pozitif İdeal Çözüm A^* (FPIS) ve Negatif İdeal Çözüm A^- (FNIS) Belirlenmesi: FPIS ve FNIS'i belirlemek için eşitlik (6) ve (7) kullanılır. FPIS, tüm alternatiflerin

mümkün olan enyüksek değerlere sahip olduğu ideal çözümü temsil ederken, FNIS en düşük değerlere sahip çözümü temsil eder. Burada $\tilde{v}_j^* = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$, ($j = 1, 2, \dots, n$) olarak tanımlanır.

$$A^* = \{ \tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^* \} = \{ \{ (\max_i \tilde{v}_j^* | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n \} \} \quad (6)$$

$$A^- = \{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^- \} = \{ \{ (\min_i \tilde{v}_j^- | i = 1, 2, \dots, m), j = 1, 2, \dots, n \} \} \quad (7)$$

- Pozitif-İdeal ve Negatif-İdeal Çözümünden Uzaklıklarının Hesaplanması: Her alternatifin (teknik gereksinim) A^* ve A^- 'ye olan mesafesi sırasıyla d_j^* ve d_j^- olarak eşitlik (8) ve (9) ile hesaplanır. Bu mesafeler, alternatiflerin ideal çözüme yakınlığını değerlendirmek için kullanılır.

$$d_j^* = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), (i = 1, 2, \dots, m) \text{ ve } (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$d_j^- = \sum_{i=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), (i = 1, 2, \dots, m) \text{ ve } (j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

- İdeal Çözüme Göre Yakınlık Katsayılarının Hesaplanması: Alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlık katsayısı (CC_i^*) eşitlik (10) kullanılarak hesaplanır.

$$CC_i^* = \frac{d_j^-}{d_j^* + d_j^-}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

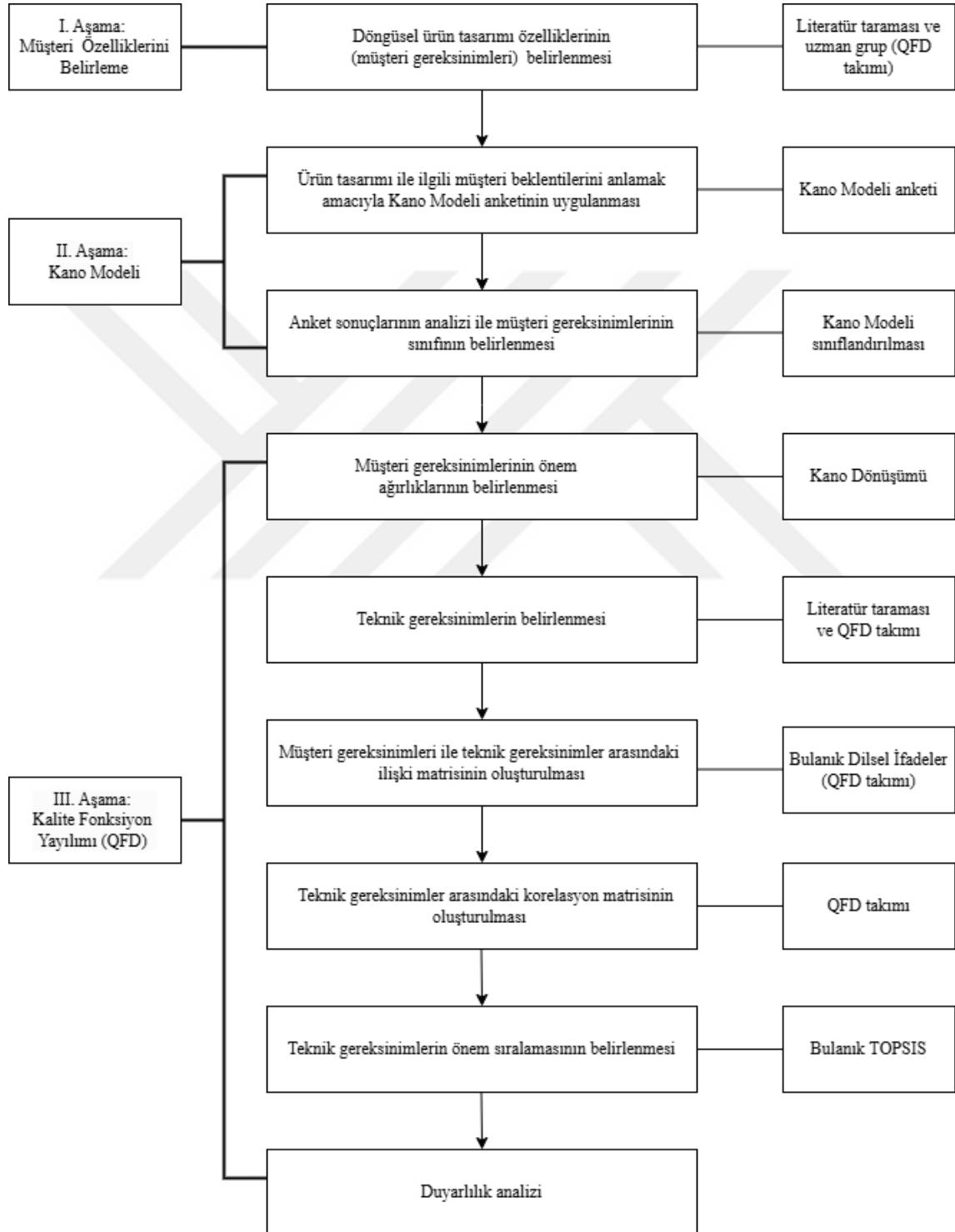
- Alternatiflerin Sıralanması ve En İyi Seçimin Belirlenmesi: Yakınlık katsayısı 1'e en yakın olan alternatif en iyi seçim olarak belirlenir.

3.3. Uygulama

Bu çalışmada üç aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Birinci aşamada döngüsel ürün tasarım özellikleri belirlenmiştir. İki adımdan oluşan ikinci aşamada, müşteri beklentilerini anlamak amacıyla ilk adımda Kano anketi uygulanmış ve daha sonra döngüsel ürün tasarım özellikleri sınıflandırılmıştır. Üçüncü aşama ise altı adımdan oluşmaktadır. Birinci adımda Kano dönüşümü ile müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri hesaplanmış, ikinci adımda literatür taraması ve QFD takımının görüşleriyle birlikte teknik gereksinimler belirlenmiştir. Üçüncü adımda müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi belirlemek için QFD takımına dilsel ölçekle bir anket uygulanarak, elde edilen dilsel ifadelerle ilişki matrisi oluşturmuştur. Dördüncü adımda ise, teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonu incelemek amacıyla da bir anket gerçekleştirilmiştir.

Beşinci adımda Bulanık TOPSIS yöntemi ile teknik gereksinimlerin önem sıralamaları yapılmıştır. Son adımda ise duyarlılık analizi yapılarak kriter ağırlıklarının değişmesi durumunda sonuçların değişip değişmediği test edilmiştir. Şekil 4'te uygulama süreci adımları gösterilmiştir.

Şekil 4: Uygulama Adımları



3.3.1. Müşteri Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, literatür taraması sonucunda döngüsel ürün tasarımına yönelik özellikler (16 adet) tespit edilmiştir. Döngüsel ürün tasarımında öne çıkan bu özellikler, müşteri gereksinimleri temel alınarak belirlenmiştir. Bu gereksinimlerin PVC kapı ve pencere üretimine uygun olup olmadığı uzman grupla tartışılmış ve onlar tarafından da uygun bulunmuştur. Öte yandan, literatürdeki çok sınırlı kullanımları nedeniyle "İyi ergonomi" ve "Üretim kolaylığı için tasarım" özellikleri çalışma kapsamından çıkarılarak nihai olarak belirlenen 14 özellik Tablo 3'teki gibi listelenmiştir.

Tablo 3: Döngüsel Ürün Tasarım Özellikleri

	Özellik	Açıklama	Kaynak
Mİ1	Geri dönüşüm (Recycling)	Atık malzemelerin işlenerek aynı veya daha düşük kalitede yeniden kullanılabilir hale getirilmesidir.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Bocken vd., 2016; Atlason vd., 2017; Den Hollander vd., 2017; Mestre ve Cooper, 2017; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Boorsma vd., 2022
Mİ2	Kolay bakım ve onarım (Easy maintenance and repair)	Bir ürünün fonksiyonunu sürdürmek amacıyla düzenli aralıklarla gerçekleştirilen denetimlerdir.	Bocken vd., 2016; Medkova ve Fifield, 2016; Den Hollander vd., 2017; Mestre ve Cooper, 2017; Bakker vd., 2019; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Boorsma vd., 2022; Ruiz-Pastor vd., 2023
Mİ3	Dayanıklılık/Uzun ömür (Durability/longevity)	Bir ürünün belirli bir süre boyunca bozulmadan kullanılabilir kalma süresidir.	Bocken vd., 2016; Medkova ve Fifield, 2016; Hollander vd., 2017; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022; Boorsma vd., 2022; Diaz vd., 2022; Mesa vd., 2023; Ruiz-Pastor vd., 2023
Mİ4	Ürünün yeniden kullanımı (Reusing)	Atıkları azaltma ve doğal kaynakları koruma amacıyla ürün veya malzemelerin aynı veya benzer amaçlar için kullanılmasıdır.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Bocken vd., 2016; Atlason vd., 2017; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022; Spreafico, 2022
Mİ5	Sökülebilir olma (Demontaj/Disassembly)	Ürünün ömrünü uzatmak veya malzemelerin yeni bir yerde kullanılması amacıyla bir ürünün parçalara ayrılmasıdır.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Medkova ve Fifield, 2016; Mestre ve Cooper, 2017; Vimal vd., 2021; Aguiar ve Jugend, 2022; Boorsma vd., 2022; Diaz vd., 2022
Mİ6	Yeniden imal edilebilme (Remanufacturing)	Kullanılmış ürünlerin parçalarının, detaylı analiz ve kalite değerlendirmesinin ardından, gerekli onarımların gerçekleştirilmesi ve yeniden kullanılabilir bir duruma getirilmesidir.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Atlason vd., 2017; Den Hollander vd., 2017; Mestre ve Cooper, 2017; Shahbazi vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022; Boorsma vd., 2022; Shevchenko vd., 2024
Mİ7	Yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik (Upgradeability and adaptability)	Bir ürünün mevcut işlevselliğini ve fiziksel yapısını geliştirerek, değişen kullanıcı ihtiyaçlarına, teknolojik gelişmelere ve pazar trendlerine uyum sağlama kapasitesidir.	Khan vd., 2018; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022; Shevchenko vd., 2024; Royo vd., 2024
Mİ8	Modülerlik (Modularity)	Bir ürün veya sürecin yapısının, bağımsız olarak tasarlanabilen ve değiştirilebilen modüllerden oluşmasıdır.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Mestre ve Cooper, 2017; Mesa vd., 2019; Machado ve Morioka, 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022
Mİ9	Güvenilirlik (Reliability)	Bir ürünün belirli bir süre boyunca üretici talimatlarına uygun bakım yapıldığında bir arıza olmadan çalışma olasılığının yüksek olmasıdır.	Van den Berg ve Bakker, 2015; Bocken vd., 2016; Mestre ve Cooper, 2017; Vimal vd., 2021; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022

Tablo 3: (Devamı)

	Özellik	Açıklama	Kaynak
Mİ10	Biyobozunurluk (Biodegradability)	“Biyolojik olarak parçalanabilir olma”, yani bakteriler veya mantarlar gibi mikroorganizmaların biyolojik hareketiyle doğal ortamda özümserken ürünün parçalanmasıdır.	Bocken vd., 2016; Mestre ve Cooper, 2017; Aguiar vd., 2022; Aguiar ve Jugend, 2022; Spreafico, 2022; Shevchenko vd., 2024
Mİ11	Malzeme azaltılması (Material reduction)	Üretim sürecinde malzeme kullanımının azaltılmasıdır.	Morseletto, 2020; Aguiar vd., 2022; Spreafico, 2022
Mİ12	Atığın azaltılması (Waste reduction)	Ürün tasarımında yapısal ve işlevsel değişiklikler yapılarak ürün atık miktarını azaltmaktır.	Cayzer vd., 2017; Spreafico, 2022
Mİ13	Enerjinin geri kazanımı/azaltma (Energy recovery) /energy reduction	Bir ürün/sistemde kullanılan enerjinin kaybolması yerine geri kazanılması veya yeniden kullanılması amacıyla yapılan tasarım sürecidir. Ayrıca enerji tüketimini azaltacak ürün tasarımını kapsamaktadır.	Bonvoisin vd., 2010; Spreafico, 2022
Mİ14	Standardizasyon ve uyumluluk (Standardization and compatibility)	Ürünlerin belirli standartlara uygun olarak tasarlanması ve diğer ürünlerle uyumlu olacak şekilde parçaların veya arayüzlerin tasarlanmasıdır.	Bocken vd., 2016; Mesa vd., 2019; Vimal vd., 2021; Aguiar ve Jugend, 2022; Boorsma vd., 2022

3.3.2. Kano Anketi Uygulanması ve Müşteri Gereksinimlerinin Sınıflandırılması

Bu aşama iki adımdan oluşmaktadır. İlk adım Kano modeli anketinin hazırlanıp uygulanması, ikinci adım ise anket sonuçlarına göre özelliklerin Kano sınıflandırmasının yapılmasıdır.

3.3.2.1. Kano Anketinin Uygulanması

İlk adımda veri toplama amacıyla oluşturulan anket için çevrimiçi Google Forms platformu (<https://forms.gle/MkiHykmKpLoswJ4A8>) tercih edilmiştir. Anket, iki temel bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, katılımcıların demografik bilgilerini elde etmek amacıyla üç soru ile döngüsel ekonomi konusundaki bilgi düzeylerini ölçmeye yönelik bir soru yer almaktadır. İkinci bölümde ise döngüsel ürün tasarımına ilişkin 14 farklı özellik değerlendirilmiştir. Her bir özellik için, katılımcıların memnuniyet düzeyini ölçmek ve tercihlerini belirlemek amacıyla olumlu ve olumsuz durumları kapsayan iki ayrı soru grubu sorulmuştur. Bu bölümde toplamda 28 soru bulunmaktadır.

Araştırmanın örneklemi, çeşitli meslek gruplarından kolayda örnekleme yöntemiyle rastgele seçilen bireylerden oluşmaktadır. Kano Anketi, 425 katılımcının yanıtlarıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda, 16 anketin geçersiz olduğu belirlenmiş ve bu nedenle analiz kapsamına alınmamıştır. Toplamda 409 geçerli anket elde edilmiştir. Tablo 4’te katılımcılara ait bilgiler verilmiştir. Öte yandan Ek 1 ve Ek 2’de söz konusu anket ve ankete ait etik kurul belgesi verilmiştir.

Tablo 4: Kano Anketi Katılımcı Bilgileri

		Frekans	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kadın	164	40,10
	Erkek	245	59,90
Eğitim Durumu	İlkokul ve ortaokul	6	1,47
	Lise	61	14,91
	Ön lisans	40	9,78
	Lisans	193	47,19
	Yüksek lisans	72	17,60
	Doktora	37	9,05
Yaş	0-20	5	1,22
	20-30	122	29,83
	30-40	93	22,74
	40-50	70	17,11
	50-60	93	22,74
	60 ve üzeri	26	6,36
Döngüsel Ekonomi Bilgi Düzeyi	Çok az	19	4,65
	Az	49	11,98
	Orta	132	32,27
	Çok	115	28,12
	Çok fazla	94	22,98

3.3.2.2. Müşteri Gereksinimlerinin Sınıflandırılması

Anket sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen müşteri gereksinimlerinin sınıflandırılması Tablo 5’te yer almaktadır.

Tablo 5: Özelliklere Ait Kano Sıklık Değerleri

	Özellik	A	O	I	M	R	Q	Toplam
1	Geri dönüşüm	105	77	139	50	12	26	409
2	Kolay bakım ve onarım	76	149	67	68	7	42	409
3	Dayanıklılık/uzun ömür	49	183	43	95	6	33	409
4	Ürünün yeniden kullanımı	88	115	116	49	10	31	409
5	Sökülebilir olma	114	112	105	49	0	29	409
6	Yeniden imal edilebilme	100	121	105	50	4	29	409
7	Yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik	112	132	80	58	1	26	409
8	Modülerlik	125	118	84	47	4	31	409
9	Güvenilirlik	36	220	41	88	4	20	409
10	Biyobozunurluk	78	135	92	83	1	20	409
11	Malzeme azaltılması	79	86	163	52	4	25	409
12	Atığın azaltılması	88	133	99	61	4	24	409
13	Enerjinin geri kazanımı /azaltma	78	131	116	52	2	30	409
14	Standardizasyon ve uyumluluk	88	139	92	63	3	24	409

Kano anketi sonuçları; geleneksel Kano, Timko yöntemi (Daha iyi daha kötü) (Walden, 1993:18) ve Blauth yöntemi (Walden, 1993:13) olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmiştir.

Geleneksel Kano yönteminde sınıflandırma, müşteri geri bildirimlerinin cevap sıklığına (frekansına) dayanmaktadır. Timko yöntemi ise, memnuniyet ve memnuniyetsizlik değerlerine odaklanarak sınıflandırma yapar. Bu bağlamda, Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) kullanılarak memnuniyet ve memnuniyetsizlik dereceleri hesaplanır; eğer her iki değer de 0,5'ten küçükse, gereksinim I olarak değerlendirilir, eğer sadece memnuniyetsizlik değeri 0,5'ten küçükse, gereksinim A olarak sınıflandırılır, sadece memnuniyet değeri 0,5'ten küçükse, gereksinim M kategorisine alınır. Son olarak, her iki değer de 0,5'ten büyükse, gereksinim O olarak kabul edilir (Walden, 1993:18). Blauth yönteminde ise $(A+O+M) \geq (I+R+Q)$ koşulunun sağlanması durumunda, üyelik dereceleri arasında maksimum değere sahip olan A, O veya M sınıfı seçilir; buna karşın, $(A+O+M) < (I+R+Q)$ koşulunda ise maksimum üyelik derecesine sahip I, R veya Q sınıfı tercih edilmektedir (Walden, 1993:13).

Her üç yöneme göre özelliklerin Kano sınıfları belirlendikten sonra, hangi Kano sınıfı çoğunluk olarak belirlenmişse, ilgili özellik o sınıfa atanmıştır. Örneğin *geri dönüşüm* özelliği geleneksel Kano ve Timko yöntemlerinde I sınıfında olarak çıkarken, Blauth yönteminde A sınıfı çıkmıştır. Bu durumda, nihai olarak I sınıfında değerlendirilmiştir. Aşağıda Tablo 6'da müşteri gereksinimlerinin tüm yöntemlerdeki ve nihai Kano sınıflandırması gösterilmiştir.

Tablo 6: Özelliklere Ait Kano Kategorileri

	Özellik	Geleneksel Kano	Timko Yöntemi	Blauth Yöntemi	NİHAİ Kategori
1	Geri dönüşüm	I	I	A	I
2	Kolay bakım ve onarım	O	A	O	O
3	Dayanıklılık/uzun ömür	O	A	O	O
4	Ürünün yeniden kullanımı	I	A	O	O
5	Sökülebilir olma	A	A	A	A
6	Yeniden imal edilebilme	O	A	O	O
7	Yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik	O	A	O	O
8	Modülerlik	A	A	A	A
9	Güvenilirlik	O	A	O	O
10	Biyobozunurluk	O	A	O	O
11	Malzeme azaltılması	I	I	O	I
12	Atığın azaltılması	O	A	O	O
13	Enerjinin geri kazanımı /azaltma	O	A	O	O
14	Standardizasyon ve uyumluluk	O	A	O	O

Tabloya bakıldığında A sınıfında iki özellik (*Sökülebilir olma* ve *Modülerlik*) bulunmaktadır. Diğer taraftan, I sınıfında ise iki özellik vardır: *Geri dönüşüm* ve *Malzeme azaltılması*. O sınıfı ise çoğunluktadır ve müşteri özelliklerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. *Kolay bakım ve onarım*, *dayanıklılık*, *biyobozunurluk* ve *enerji geri kazanımı* gibi özellikler bu sınıfa girmiştir.

3.3.3. Kalite Fonksiyon Yayılımı

Bu aşama altı adımdan oluşmaktadır. İlk ve ikinci adımda sırasıyla Kano dönüşümü kullanılarak müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri belirlenmiş ve daha sonra teknik gereksinimler tespit edilmiştir. Üçüncü adımda, müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler dilsel ifadelerle değerlendirilerek bir ilişki matrisi oluşturulmuştur. Dördüncü adımda, QFD takımıyla birlikte teknik gereksinimler arasındaki korelasyonlar saptanmıştır. Beşinci adımda Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak teknik gereksinimlerin önem sıralamaları hesaplanmıştır. Son adımda ise duyarlılık analizi yapılmıştır.

Bu süreçte oluşturulan QFD takımı 8 uzman kişiden oluşmaktadır. Bu kişiler döngüsel ekonomi alanında yayınları olan beş profesör (bir tanesi kamu politikalarını belirleyici ve uygulayıcı konumunda) ile döngüsel üretim konusunda bilgi sahibi olan, firmanın genel müdürü, yönetim kurulu başkan yardımcısı ve satın alma ve lojistik sorumlusundan oluşan üç kişilik bir ekibi içermektedir.

3.3.3.1. Müşteri Gereksinimlerinin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

Müşteri memnuniyetinin sağlanması ve QFD'nin uygulamasını gerçekleştirmek amacıyla QFD ile Kano modeli arasında bir entegrasyonun yapılması gerekmektedir (Tan ve Shen, 2000:1143). Bu amaçla Tontini (2007:606), memnuniyet ve memnuniyetsizlik indekslerinin (Satisfaction Index: SI ve Dissatisfaction Index: DI) mutlak değerlerinden yüksek olanın dikkate alındığı bir ayarlama faktörü geliştirmiştir (Eşitlik 11-13). Bu yaklaşım sayesinde, daha yüksek memnuniyet veya memnuniyetsizlik etkisi yaratan müşteri gereksinimlerine daha fazla ağırlık verilmekte ve değerlendirme süreci, öznel yargılardan ziyade daha nesnel bir temel üzerine inşa edilmektedir. Bu sayede, geçmiş deneyimlerin yanıltıcı etkilerinden uzak bir şekilde, müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri daha tutarlı bir biçimde belirlenmektedir.

Kano modeline dayalı olarak hesaplanan ağırlıklar, müşteri isteklerinin önem ağırlıklarını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, her bir gereksinimin nispi ağırlığı, ilgili gereksinime ait ayarlama faktörünün tüm ayarlama faktörlerinin toplamına oranlanmasıyla elde edilir.

$$\text{Ayarlama Faktörü} = \text{Maks}(|SI|, |DI|) \quad (11)$$

$$\text{Memnuniyet İndeksi (SI)} = \frac{A+O}{A+O+I+M} \quad (12)$$

$$\text{Memnuniyetsizlik İndeksi (DI)} = -1 * \frac{O+M}{A+O+I+M} \quad (13)$$

Yukarıda belirtilen açıklamalar ışığında müşteri gereksinim ağırlıkları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7: Müşteri Gereksinimlerinin Ağırlık Değerleri

	Özellik	Memnuniyet (SI)	Memnuniyetsizlik (DI)	M (maks ((SI, DI)))	Önem Ağırlığı
Mİ1	Geri dönüşüm	0,4906	-0,3423	0,4906	0,0583
Mİ 2	Kolay bakım ve onarım	0,6250	-0,6028	0,6250	0,0743
Mİ3	Dayanıklılık/Uzun ömür	0,6270	-0,7514	0,7514	0,0893
Mİ4	Ürünün yeniden kullanımı	0,5516	-0,4457	0,5516	0,0656
Mİ5	Sökülebilir olma	0,5947	-0,4237	0,5947	0,0707
Mİ6	Yeniden imal edilebilme	0,5878	-0,4548	0,5878	0,0699
Mİ7	Yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik	0,6387	-0,4974	0,6387	0,0759
Mİ8	Modülerlik	0,6497	-0,4412	0,6497	0,0772
Mİ9	Güvenilirlik	0,6649	-0,8000	0,8000	0,0951
Mİ10	Biyobozunurluk	0,5490	-0,5619	0,5619	0,0668
Mİ11	Malzeme azaltılması	0,4342	-0,3632	0,4342	0,0516
Mİ12	Atığın azaltılması	0,5801	-0,5092	0,5801	0,0689
Mİ13	Enerjinin geri kazanımı /azaltma	0,5544	-0,4854	0,5544	0,0659
Mİ14	Standardizasyon ve uyumluluk	0,5942	-0,5288	0,5942	0,0706

Tabloya bakıldığında müşteri gereksinimlerinin en yüksek öneme sahip iki özelliği *güvenilirlik (0,0951)* ve *dayanıklılık/uzun ömür (0,0893)* özellikleridir. Bu durum, güvenilirliğin ve modülerliğin müşteri memnuniyeti için en kritik faktörlerden olduğunu göstermektedir. *Malzeme azaltılması (0,0516)* özelliği ise en düşük önem ağırlığına sahip olup bu özelliğin müşteri memnuniyeti üzerindeki etkisi diğer özelliklere göre daha sınırlı olduğu söylenebilir.

3.3.3.2. Teknik Gereksinimlerin Belirlenmesi

Kapsamlı bir literatür taraması sonucunda, müşteri taleplerini etkin bir biçimde karşılayabilmek amacıyla ürün tasarımı ve üretim süreçlerinde dikkate alınması gereken 14 teknik gereksinim tespit edilmiştir (Tablo 8). Bu gereksinimler QFD takımıyla tartışılmış ve onlar tarafından da uygun bulunmuştur.

Tablo 8: Teknik Gereksinimler Listesi

	Özellik	Açıklama	Kaynak
TG1	Ürün tasarımında 3D yazıcı/ Eklenebilir imalat teknolojisinin kullanımı	Atığı ve kirliliği minimize ederken, tasarım esnekliği sağlayarak ürünlerin dayanıklılığını artırması	Dahmani vd., 2021; Ertz vd., 2022
TG2	Ürün tasarımında büyük veri kullanımı	Ürün tasarımını ve stratejilerini optimize ederek, kullanıcı davranışını anlama, geri kazanım stratejilerini belirleme ve yeniden üretim parametrelerini tespit edilmesi	Ertz vd. (2022); Chou (2024)
TG3	Ürün tasarımında Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanımı	Kullanıcı alışkanlıklarına göre ürün tasarımını optimize edip, bakım ve geri dönüşüm gibi faaliyetlerin takip edilip izlenmesi	Shahbazi ve Jönbrink (2020); Ertz vd. (2022)
TG4	Ürün tasarımında hafif malzemelerin kullanımı	Arızalı parçaların çıkarılmasını ve demontajını kolaylaştırmak için hafif bileşenler kullanarak, daha az malzeme ve enerji tüketen hafif ürünler tasarlanması	Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)

Tablo 8: (Devamı)

	Özellik	Açıklama	Kaynak
TG5	Ürün tasarımının enerji ihtiyacını azaltacak şekilde yapılması	Ürünlerin kullanım aşamasında enerji tasarrufunu ön planda tutarak tasarlanması.	Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022)
TG6	Ürün tasarımının modüler biçimde yapılması	Değiştirilebilir ve uyarlanabilir modüllere ayrılacak şekilde ürünlerin tasarlanması	Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)
TG7	Ürün tasarımının fiziksel olarak dayanıklı olarak yapılması	Aşınma ve yıpranmaya karşı dayanıklı, ikame ürünlere kıyasla daha yavaş bozulan ürünler tasarlanması	Bocken vd. (2016); Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)
TG 8	Ürün tasarımının piyasa koşullarına uygun olarak güncellenebilir biçimde olması	Yeni piyasa taleplerine yanıt verecek şekilde güncellenebilen ürünler tasarlanması	Bovea ve Perez-Belis (2018); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022)
TG9	Ürün tasarımının arıza olmasını önleyecek şekilde yapılması	Teknik arızalar olmadan çalışma olasılığı yüksek olan ürünler tasarlanması	Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)
TG10	Ürün tasarımının yeniden kullanım amacıyla yapılması	Ürünün ilk kullanımından sonra yeniden kullanılacak şekilde ürünler tasarlanması	Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022)
TG11	Ürün tasarımında geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması	Ürünlerden veya bileşenlerden geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımını göz önünde bulundurarak ürünler tasarlanması	Bovea ve Perez-Belis (2018); Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)
TG12	Ürün tasarımının kolay parçalanabilir (sökülebilir) şekilde olması	Ürünü oluşturan parçaların/bileşenlerin kolay sökülmesini hedefleyen ürünler tasarlanması	Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023)
TG13	Ürün tasarımının karbon salınımını azaltacak şekilde yapılması	Ürün yaşam döngüsünde ham maddeden başlayıp, üretim, kullanım ve geri dönüşüm aşamalarına kadar uzanan tüm süreçlerde karbon emisyonlarını azaltmayı amaçlayan ürünler tasarlanması	Lu vd. (2017); He ve Yu (2021)
TG14	Ürün tasarımında standartlaştırılmış parçaların kullanımı	Ürünlerin ve bileşenlerin/parçaların diğer ürünler ve bileşenlerle/parçalarla uyumlu olacak şekilde tasarlanması	Shahbazi ve Jönbrink (2020); Aguiar vd. (2022); Aguiar ve Jugend (2022); Mesa (2023); Shevchenko vd. (2024)

3.3.3.3. Müşteri Gereksinimleri ile Teknik Gereksinimler Arasındaki İlişki Matrisinin Oluşturulması

Müşteri gereksinimleri (istekleri/özellikleri) ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi belirlemek için QFD takımına bir anket uygulanmış ve ilişkiler kurulurken dilsel ifadelerle değerlendirilme yapmaları istenmiştir. Öte yandan, ilişki matrisiyle ilgili anket formu ve etik kurul belgesi Ek 3 ve Ek 4'te sunulmuştur.

Özelliklerin ve teknik gereksinimlerin birbirine olan yakınlığı nedeniyle karşılaştırmalar yapılırken elde yeterli bilgi ve nicel veriler olmadığı için karar vericiler tercihlerinde belirsizlik yaşayabilirler. Bu çalışmada bu belirsizliği daha iyi yönetmek amacıyla ilişki matrisi oluşturulurken bulanık mantık ve dolayısıyla bulanık dilsel ifadeler kullanılmıştır. Tablo 9’da bu çalışmada kullanılan dilsel ifadeler gösterilmektedir.

Tablo 9: Bulanık Dilsel Terim Kümeleri

Dilsel İfadeler	Kısaltma	Bulanık Üçgensel Sayılar
Kesinlikle Düşük	KD	(0,0,1)
Çok Düşük	ÇD	(0,1,3)
Düşük	D	(1,3,5)
Orta	O	(3,4,5)
Yüksek	Y	(5,7,9)
Çok Yüksek	ÇY	(7,9,9)
Kesinlikle Yüksek	KY	(9,10,10)

Kaynak: Chen, 2000:5

QFD takımından elde edilen dilsel ifadeler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Her üçgensel sayının ortalama değeri alınarak tüm değerlendirmeler birleştirilmiş ve tek bir ilişki matrisi oluşturulmuştur. Buradaki ilişki matrisi, aynı zamanda teknik gereksinimlerin önem sıralamasını belirlemek amacıyla kullanılan Bulanık TOPSIS yönteminin ilk aşamasındaki başlangıç karar matrisidir. İlişki matrisinin son hali Ek 5’te gösterilmiştir.

3.3.3.4. Teknik Gereksinimler Arasındaki Korelasyon Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada, QFD ekibi tarafından teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonları belirlemek amacıyla bir korelasyon matrisi oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6’daki kalite evinde gösterilmiştir. Bu matris, gereksinimlerin birbirlerini hangi yönde etkilediğini analiz etmeye olanak tanır. Güçlü bir ilişki “ $\oplus$ ” sembolüyle, orta dereceli bir ilişki “+” ile, zayıf bir ilişki ise “-” ile gösterilir; herhangi bir ilişkinin bulunmadığı durumlar ise boş bırakılır (Dai vd., 2012: 5483). Teknik gereksinimler arasındaki korelasyonu gösteren anket ve etik kurul belgesi sırasıyla Ek 3 ve Ek 4’te sunulmuştur.

3.3.3.5. Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Teknik Gereksinimlerin Önem Sıralamalarının Belirlenmesi

TOPSIS yöntemi, seçilen alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olması ilkesine dayanırken, bulanık TOPSIS yöntemi, kesin verilerin yetersiz kaldığı durumlarda kriter ağırlıkları ve alternatif değerlendirmelerini bulanık sayılarla ifade ederek gerçek

yaşam karar problemlerine daha esnek ve kapsamlı bir çözüm sunar (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008: 786). Teknik gereksinimlerin sıralamanın belirlenebilmesi amacıyla QFD takımındaki her bir uzmandan elde edilen veriler dikkate alınarak Ek 5'te yer alan karar matrisi (ilişki matrisi) oluşturulmuş ve aşağıda belirtilen adımlar doğrultusunda bulanık TOPSIS ile sonuçlar elde edilmiştir.

- Tüm kriterlerin ve ölçümlerde kullanılan dilsel ifadelerin aynı birime sahip olduğundan, normalizasyon işlemi yapılmamıştır.
- Kano dönüşümünden elde edilen kriter ağırlıkları kesin (crisp) değerlerden oluşmakta olup bütünleşik matris ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi elde edilmiştir. Sonuçlar Ek 6'da verilmiştir.
- Bulanık FPIS ve FNIS, sırasıyla $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ ve $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$ olarak belirlenmiştir. Her bir teknik gereksinim için bu ideal çözümlere uzaklıklar Vertex yöntemiyle hesaplanmış ve sonuçlar Ek 7 ve Ek 8'de gösterilmiştir.

Vertex metodu, $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$ ve $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$ iki üçgen bulanık sayı olsun aralarındaki mesafeyi hesaplamak için şu şekilde tanımlanır (Chen, 2000: 4):

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]} \quad (14)$$

- Daha sonra her bir teknik gereksinim için yakınlık katsayısı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10'daki değerlendirme sonuçları ile teknik gereksinimlerin sıralaması görülmektedir. Bu sonuçlara göre, TG6 (*Ürün tasarımın modüler biçimde yapılması*) teknik gereksiniminin (0,550) ilk sırada yer aldığı, TG13 (*Ürün tasarımının karbon salınımını azaltacak şekilde yapılması*) teknik gereksinimin ise (0,300) son sırada yer aldığı görülmektedir.

Tablo 10: Teknik Gereksinimlerin İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık Değerleri ve Sıralanması

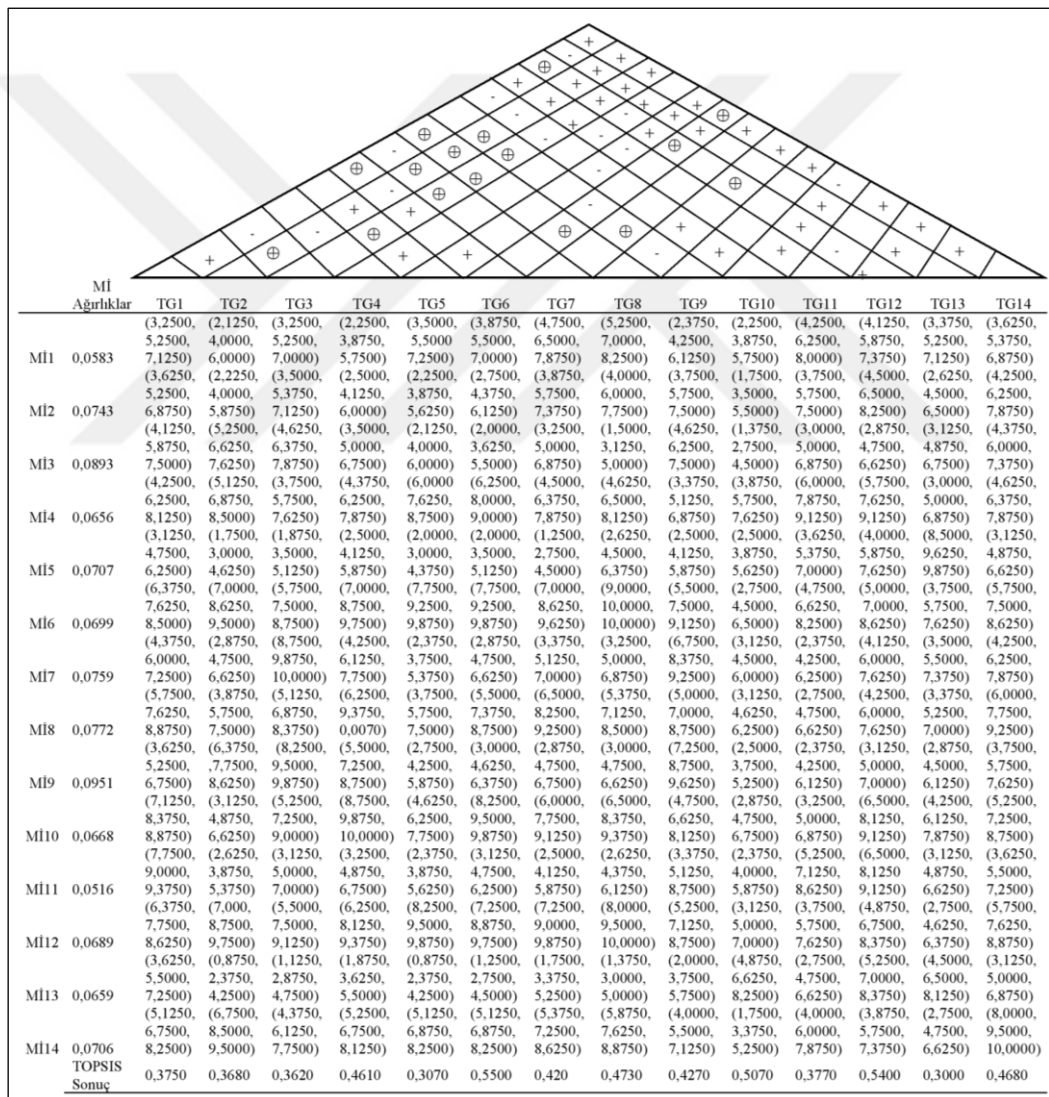
Teknik Gereksinimler	Yakınlık Katsayısı (CC_i^*)	Sıra
TG1	0,375	10
TG2	0,368	11
TG3	0,362	12
TG4	0,461	6
TG5	0,307	13
TG6	0,550	1
TG7	0,420	8
TG8	0,473	4
TG9	0,427	7

Tablo 10: (Devamı)

Teknik Gereksinimler	Yakınlık Katsayısı (CC_i^*)	Sıra
TG10	0,507	3
TG11	0,377	9
TG12	0,540	2
TG13	0,300	14
TG14	0,468	5

Sonuç olarak, elde edilen kalite evi Şekil 5'te gösterilmiştir.

Şekil 5: Uygulama Sonucunda Oluşturulan Kalite Evi



3.3.3.6. Duyarlılık Analizi

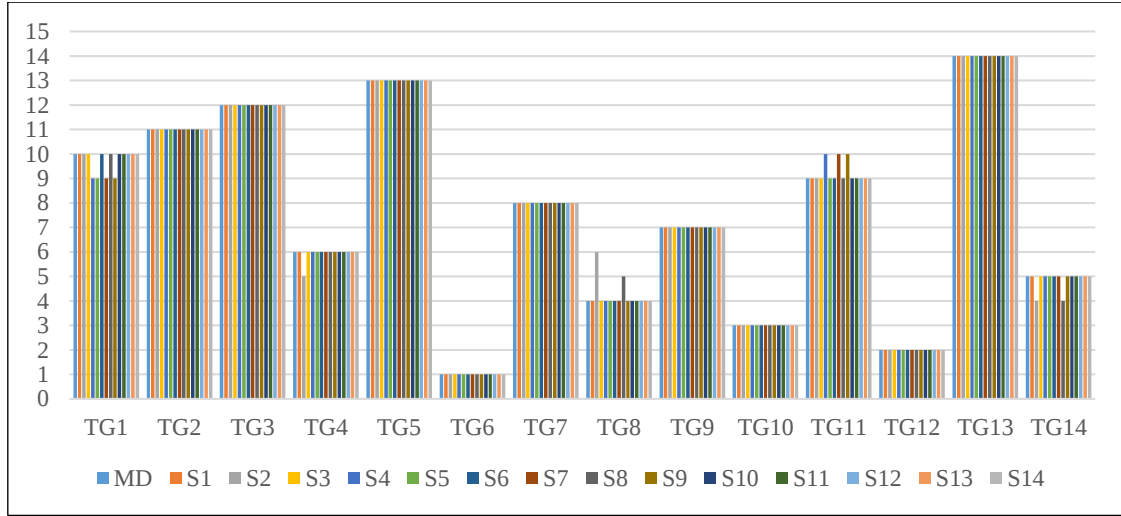
Bu bölümde, çalışmada Kano dönüşümü yöntemiyle belirlenen müşteri istekleri ağırlıklarının yer değiştirilmesiyle teknik gereksinimlerin sıralamasında oluşabilecek farklılıkların incelenmesi amacıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, mevcut durum (MD) hariç toplamda 14 farklı senaryo oluşturulmuştur. Buradan hareketle, bütün kriterlerin eşit ağırlıkta değerlendirildiği Senaryo 1 (S1) ve en yüksek ağırlığa sahip kriterle en düşük ağırlığa sahip kriter ağırlıklarının değiştirilerek değerlendirildiği Senaryo 2 (S2) alternatifleri söz konusudur. Öte yandan, en yüksek ağırlığa sahip kriterin, sırasıyla daha düşük ağırlıklara sahip kriterlerle yer değiştirdiği diğer 12 senaryo (örneğin, en yüksek ağırlık ile ikinci en yüksek ağırlığın değiştirilmesi ve bu sürecin sistematik olarak sürdürülmesi) değerlendirilmiştir. Toplamda 14 senaryonun ağırlıkları değiştirilerek elde edilen yakınlık katsayıları, Tablo 11’de verilmiştir. Teknik gereksinimlerin tüm senaryolardaki sıralamaları Şekil 6’da görselleştirilmiştir.

Tablo 11: Duyarlılık Analizi Sonuçları

	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9	TG10	TG11	TG12	TG13	TG14
MD	0,375	0,368	0,362	0,461	0,307	0,550	0,420	0,473	0,427	0,507	0,377	0,540	0,300	0,468
S1	0,376	0,367	0,359	0,466	0,312	0,547	0,410	0,471	0,416	0,508	0,384	0,537	0,306	0,467
S2	0,380	0,369	0,359	0,469	0,311	0,547	0,409	0,467	0,415	0,503	0,383	0,536	0,303	0,469
S3	0,375	0,368	0,362	0,462	0,307	0,550	0,421	0,473	0,427	0,508	0,377	0,540	0,300	0,468
S4	0,378	0,369	0,359	0,463	0,308	0,553	0,416	0,473	0,423	0,509	0,376	0,542	0,300	0,470
S5	0,378	0,368	0,361	0,463	0,306	0,551	0,416	0,475	0,422	0,509	0,376	0,542	0,300	0,469
S6	0,375	0,366	0,363	0,464	0,306	0,551	0,415	0,472	0,426	0,505	0,376	0,542	0,299	0,471
S7	0,378	0,366	0,359	0,467	0,306	0,554	0,413	0,472	0,421	0,508	0,376	0,546	0,298	0,471
S8	0,375	0,365	0,362	0,465	0,311	0,551	0,407	0,471	0,417	0,508	0,381	0,540	0,300	0,472
S9	0,377	0,366	0,358	0,466	0,306	0,552	0,414	0,474	0,421	0,512	0,376	0,543	0,299	0,470
S10	0,378	0,370	0,360	0,465	0,310	0,549	0,416	0,472	0,421	0,510	0,382	0,539	0,306	0,468
S11	0,374	0,364	0,356	0,463	0,307	0,545	0,413	0,469	0,418	0,504	0,375	0,536	0,306	0,464
S12	0,370	0,360	0,353	0,455	0,304	0,541	0,408	0,464	0,414	0,500	0,370	0,531	0,296	0,461
S13	0,379	0,371	0,367	0,469	0,313	0,558	0,423	0,483	0,432	0,521	0,383	0,547	0,306	0,476
S14	0,377	0,367	0,362	0,464	0,309	0,550	0,415	0,475	0,419	0,512	0,386	0,542	0,304	0,470

Tablodaki bulgular değerlendirildiğinde, tüm senaryolarda TG6 (Ürün tasarımın modüler biçimde yapılması) teknik gereksinimi ilk sırada yer almıştır. Buna karşılık, TG13 (Ürün tasarımının karbon salınımını azaltacak şekilde yapılması) teknik gereksinimin ise tüm durumlarda son sırada yer almıştır.

Şekil 6: Duyarlılık Analizi Sonuçlarının Grafik Olarak Gösterilmesi



3.4. Tartışma

PVC sektöründe kapı ve pencere üretimi yapan bir firmada uygulaması yapılan bu çalışma döngüsel ürün tasarımı literatürüne çeşitli katkılar sağlamaktadır. İlk olarak, döngüsel ürün tasarımında müşterilerin (tüketicilerin) isteklerini Kano modeline göre sınıflandırarak (tek boyutlu, heyecan verici ve kayıtsız kalınan), tasarım sürecine yenilikçi bir bakış açısı kazandırmıştır. Bu sınıflandırmayla, ilk olarak müşterilerin önem verdiği özelliklerin (gereksinimlerin) hangi sınıfa girdiği belirlenerek firmaların bu özelliklere daha fazla odaklanması sağlanabilir. İkinci olarak, PVC sektöründe döngüsel ürün tasarımı ilkelerini (özelliklerini) müşteri perspektifinden değerlendirerek Kano dönüşümü ile ürün tasarım özelliklerinin öncelik değerleri belirlenmiştir. Böylece, hangi ürün özelliğine müşterilerin daha fazla önem verdiği anlaşılmaktadır. Üçüncü olarak, müşteriler tarafından belirlenen döngüsel ürün tasarımı özelliklerinin firmalar tarafından nasıl karşılanacağını gösteren teknik gereksinimlerin öncelik sıralaması Bulanık TOPSIS yöntemiyle yapılmıştır. Böylece, müşteri odaklı döngüsel ürün tasarımı yapmak isteyen firmaların hangi teknik gereksinimlere odaklanması gerektiği tespit edilmiştir.

Kano modeli ile müşteri istekleri sınıflandırıldığında; A sınıfında (heyecan verici) iki özellik bulunmaktadır: *Sökülebilir olma* ve *Modülerlik*. Bu özellikler, doğrudan gerekli olmamakla birlikte üründe yer almaları durumunda müşteri memnuniyetini önemli ölçüde artırabilir. Bu nedenle, söz konusu özelliklerin ürüne eklenmesi firmalara rekabet avantajı sağlayabilir. Bu özellikler, yalnızca müşteri memnuniyetini değil, aynı zamanda döngüsel ekonomi hedeflerini de desteklemektedir. Örneğin; modüler yapı, ürün parçalarının kolayca yenilenmesini veya yeniden kullanılmasını sağlar. Sökülebilirlik ise, taşınabilirlik ve uyarlanabilirlik açısından müşterilere büyük bir esneklik sunar. Öte yandan, Endüstri 4.0 teknolojileri, bu özelliklerin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Örneğin,

eklemeli imalat ile modüler parçaların hızlı ve düşük maliyetle üretilmesi mümkün olurken, IoT sensörleriyle bu parçaların performansı izlenerek bakım süreçleri optimize edilebilir.

Diğer taraftan, I sınıfında ise iki özellik vardır: *Geri dönüşüm* ve *Malzeme azaltılması*. Bu özellikler müşteriler tarafından kayıtsız kalınmış özelliklerdir. Dolayısıyla, bu tür özelliklerin üründe bulunup bulunmamasının müşteri memnuniyeti üzerinde belirgin bir etkisi olmayabilir. Geri dönüşüm, döngüsel ekonomi bağlamında kritik bir öneme sahip olup atık miktarını ve yeni malzeme ihtiyacını azaltmaktadır. Aguiar vd. (2022) benzer şekilde geri dönüşümün en çok kullanılan tasarım stratejisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan, malzeme azaltımı, kaynak verimliliğini artırırken üretim maliyetlerini düşürmekte ve çevresel etkiyi azaltmaktadır. Ancak çalışmada bu iki özelliğin müşteri önem düzeyi ve farkındalığı düşük olduğundan, firmalar çevresel faydaları vurgulayan bilgilendirme kampanyaları ile bu algıyı değiştirmelidir. Pazarlama stratejilerinde ürünlerin geri dönüştürülebilir malzemelerden üretildiğinin belirtilmesi ve çevresel katkılarının görselleştirilmesi, müşterilerin bu özellikleri daha fazla takdir etmesini sağlayabilir.

O sınıfı (tek boyutlu) ise çoğunluktadır ve müşteri özelliklerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. *Kolay bakım ve onarım*, *biyobozunurluk* ve *enerji geri kazanımı* gibi özellikler bu sınıfa girer ve doğrudan müşteri memnuniyeti ile ilişkilidir. Bu özelliklerin iyileştirilmesi müşteri memnuniyetini doğrudan artıracığından, ürün geliştirme sürecinde bu sınıfa öncelik verilmelidir. Kolay bakım ve onarım özelliği, ürünlerin bakımını basit ve kullanıcı dostu hale getirerek, müşterilerin ürünü kolayca temizlemesi ve bakımını rahat bir şekilde yapabilmesini sağlar, bu da müşteri memnuniyetine önemli bir katkı yapar. Aynı zamanda, bu özellik bir ürünün işlevselliğini ve kullanım ömrünü doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Döngüsel ekonomi bağlamında, kolay bakım ve onarım, ürünlerin daha uzun süre kullanılmasını ve daha az atık üretmesini teşvik eder. Bakım süreçlerinin iyileştirilmesi, ürünlerin daha verimli çalışmasını ve performanslarının korunmasını sağlayarak çevresel etkilerini azaltır, böylece sürdürülebilirliği destekler. Biyobozunurluk ise ürünlerin çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir özellik olmasına rağmen, müşteriler tarafından tek boyutlu bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, biyobozunur ürünlerin çevreye duyarlı tüketiciler için önemli olmasına karşın, doğrudan müşteri memnuniyetini artırmada anahtar bir rol oynamadığını göstermektedir. Yani, biyobozunurluk, ürünlerin temel işlevselliğini etkilemeyebilir; ancak çevresel etkilerin farkında olan tüketiciler için uzun vadede değerli bir özellik olarak öne çıkabilir. Bu bağlamda, firmaların biyobozunur malzeme kullanımının çevresel faydalarını doğru bir şekilde müşterilere ileterek, müşteri beklentilerini karşılamaları kritik önem taşır. Öte yandan tek boyutlu bir diğer özellik olan enerji kazanımı, PVC kapı ile pencere üretim sistemlerinde enerji verimliliği sağlar, bu da müşteri memnuniyetini artırır ve çevre dostu bir çözüm sunar. Enerji verimli ürünler, daha az enerji tüketimi ile çevresel etkiyi azaltırken, uzun ömürlü olmaları nedeniyle döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu hale gelir, çünkü bu ürünler daha az kaynak tüketir ve yaşam döngüleri boyunca sürdürülebilir bir etki yaratır.

Müşteri özelliklerinin sınıflandırılmasından sonra yapılan Kano dönüşümüyle özelliklerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Müşteri gereksinimlerinin en yüksek öneme sahip iki özelliği *Güvenilirlik (% 9,51)* ve *Dayanıklılık/Uzun ömür (%8,93)* özellikleridir. Bu durum, güvenilirliğin müşteri memnuniyeti için en kritik faktörlerden olduğunu göstermektedir. Güvenilirlik, bir ürünün uzun süreli performansının sürekliliği ve arızasız çalışmasıyla doğrudan ilgilidir, bu da özellikle kapı ve pencere gibi dış mekân ürünlerinde kritik bir rol oynar. Müşteriler açısından ürünün güvenilirliği ne kadar yüksek olursa, ürünün tercih edilme olasılığı artarak tüketicinin güveni kazanılır ve müşteri memnuniyeti sağlanır. Ayrıca, güvenilirlik, ürünün arıza risklerini azaltarak, bakım ve onarım masraflarını da düşürür, bu da kullanıcılar için ekonomik bir avantaj sağlar. Döngüsel ekonomi bağlamında ise, güvenilirlik, dayanıklı ürünlerin daha az sıklıkla değiştirilmesini ve onarım süreçleriyle yeniden kullanılmasını mümkün kılar. Bu da atık miktarını azaltarak kaynak kullanımını optimize eder, çevresel etkileri minimize eder ve sürdürülebilir bir yaşam döngüsü sağlar. Dayanıklılık/Uzun ömür, güvenilirlikle doğrudan ilişkilidir, ancak daha çok ürünün fiziksel dayanıklılığı ve uzun süreli kullanımını ifade eder. Dayanıklı ve uzun ömürlü ürünler, müşterilerin ürünlerini daha uzun süre kullanmalarına olanak tanır, bu da tüketicilerin aynı ürünü değiştirmeye gerek duymadan uzun süre kullanabilmelerini sağlar. Mesa vd. (2023) yaptıkları çalışmada, ürün tasarımında dayanıklılığın ürün ömrünü uzatarak kaynak tüketimini azaltmada ve döngüsel ekonomi stratejilerinin uygulanmasında kritik bir faktör olduğunu belirtmişlerdir. Dayanıklılık, PVC kapı pencere ürünleri gibi özellikle çevresel faktörlere (yağmur, rüzgâr, güneş ışığı vb.) maruz kalan ürünlerde kritik bir rol oynar. Bu tür ürünler, dış etkenlere karşı direnç göstererek uzun süre performans kaybı yaşamazlar. Ayrıca, dayanıklı ve uzun ömürlü ürünler, bakım ve onarım gereksinimlerini de azaltarak tüketiciye zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

Malzeme azaltılması (% 5,16) en düşük önem ağırlığına sahip olup diğer özelliklere göre müşteri memnuniyeti üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğu söylenebilir. Malzeme azaltımı, üretim süreçlerinde kullanılan kaynakların verimli bir şekilde azaltılmasını hedeflese de tüketiciler bu özelliği genellikle ürünlerin performansı üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı için yüksek öncelikli olarak görmemiş olabilir. Ancak, bu özellik, daha az malzeme kullanımıyla, kaynakların korunmasını sağladığı ve çevresel etkileri azalttığı için döngüsel ekonomi önemlidir.

Daha sonra müşteri istekleri (gereksinimleri) ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler dilsel ifadelerle değerlendirilip Kalite Fonksiyon Yayılımı ilişki matrisi oluşturulmuştur. Müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkileri değerlendirirken, genellikle terimler birbirine yakın anlamlar taşıyan ve kesin olmayan değerlendirmeler içerir. Yani bu değerlendirmeler belirsizlikler içerebileceğinden bulanık dilsel ifadeler kullanılmıştır. Daha sonra ise Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak teknik gereksinimlerin önem sıralamaları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda *Ürün tasarımın modüler biçimde yapılması* teknik gereksiniminin ilk sırada yer aldığı, *Ürün tasarımının karbon salınımını azaltacak şekilde yapılması* teknik gereksinimin ise son sırada yer aldığı görülmektedir.

Ürün tasarımının modüler biçimde yapılması gereksiniminin, teknik gereksinimler arasında en önemli çıkması, müşterilerin ürünlerin esnekliği, bakım kolaylığı ve özelleştirilebilirliğine büyük önem verdiğini gösterir. Modüler tasarım, ürünlerin farklı parçalarından sadece gerekli olan kısımların değiştirilmesine olanak tanır ve bu durum hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük avantajlar sağlar. Böylece, yeniden üretim ve geri dönüşüm süreçlerini kolaylaştırarak kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayıp ürünlerin çevresel etkilerini azaltarak, döngüsel ekonomi prensiplerinin daha etkin bir şekilde uygulanmasına olanak tanır. Bu noktada benzer şekilde Sonogo vd. (2018), modüler tasarımın ürün yaşam döngüsünde sürdürülebilirlik açısından birçok fayda sağladığını belirtmiştir. Yine aynı çalışmada Modüler tasarımın, üretim aşamasında malzeme kullanımı optimizasyonu, daha az malzeme çeşitliliği, üretim süreçlerinde esneklik, ekipman kullanımının optimize edilmesi, envanter gereksinimlerinin azaltılması ve test süreçlerinin kolaylaştırılması gibi avantajlar sunduğunu vurgulamışlardır, kullanım aşamasında ise bakım ve onarımın kolaylaştırılması, ürün ömrünün uzatılması, yükseltme (upgrade) olanaklarının artırılması ve modülerlik sayesinde kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlanması gibi faydalar sağladığını ifade etmişlerdir ayrıca atık yönetimi aşamasında ise kolay sökülebilirlik, geri dönüşüm ve yeniden kullanımın teşvik edilmesi ile yeniden üretim (remanufacturing) süreçlerinin kolaylaştırıldığını belirtmişlerdir.

Ürün tasarımının karbon salınımını azaltacak şekilde yapılması gereksiniminin en düşük önceliğe sahip çıkması, müşterilerin ürün seçiminde çevresel faktörlere daha az odaklandığını, daha çok işlevsellik, kalite ve fiyat gibi somut özelliklerin öne çıktığı şeklinde yorumlanabilir. Ancak döngüsel ekonomi bağlamında, karbon salınımını azaltmanın çevresel sürdürülebilirliği destekleyen kritik bir tasarım unsuru olduğu unutulmamalıdır. Zomer vd. (2022) de yaptıkları çalışmada firmaların karbon salınımını azaltma hedeflerine ulaşmak için döngüsel ekonomi prensipleri ve ürün tasarımını benimsemelerinin kritik olduğunu vurgulamaktadır. Firmaların, enerji verimliliğini artırarak, malzeme kullanımını azaltarak ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanarak karbon emisyonlarını düşürebildiğini belirtmiştir. Ayrıca, ürünlerin uzun ömürlü, dayanıklı ve geri dönüştürülebilir olmasının kaynak kullanımını ve emisyonları azaltmaya yardımcı olduğunu vurgulamıştır.

Ürün tasarımında dijital teknolojilerin kullanılması son derece önemlidir. Bu noktada, *ürün tasarımında 3D yazıcı (eklemeli imalat) teknolojisinin kullanımı, büyük veri kullanımı ve Nesnelerin İnterneti (IoT) kullanımı* teknik gereksinimlerinin ilk sıralarda çıkması beklenirken son sıralarda (sırasıyla 10,11 ve 12) çıkması ilginç bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Bunun sebebinin ilgili teknolojileri ürün tasarıma entegre etmenin alt yapı gerektirmesi ve yüksek maliyetli olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ertz vd. (2022) çalışmalarında Endüstri 4.0 teknolojilerinin, döngüsel ürünlere geçişte ürün tasarımı için önemli avantajlar sunduğunu belirtmişlerdir. Modüler tasarım için ihtiyaç duyulan parçalar, eklemeli imalat veya 3D yazıcı ile düşük maliyetle ve hızlı prototipleme ile üretim süreçlerini kısaltabilir. Büyük veri, müşteri gereksinimlerinin tahmini ve

trendlerin belirlenmesinde kullanabilir. IoT sensörleri, ürünlerin kullanım ömrünü ve performansını izleyebilir. Ürünlerin ne zaman bakım gerektirdiği hakkında tüketicileri bilgilendirerek arızaların erken tespit edilmesiyle bakım süreçlerini optimize edebilir. Ayrıca, geri dönüşüm veya yenileme gereken parçalar hakkında da bilgi sağlayarak döngüsellliği destekleyebilir. Sauerwein vd. (2017) yaptıkları çalışma sonucunda eklemeli imalat teknolojisinin, “bakım ve onarım kolaylığı” ve “yükseltilebilirlik ve uyarlanabilirlik” için tasarım stratejilerini desteklediğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan, yapay zekâ, tasarım süreçlerinin tüm aşamalarında fikir verme, konsept geliştirme, optimizasyon ve karar verme işlevlerini destekleyecek şekilde ürün tasarımında kullanılabilir (Chou, 2024: 6). Yapay zekâ, hangi malzemelerin daha dayanıklı ve çevre dostu olacağını analiz ederek tasarım önerileri sunabilir. Simülasyonlar sayesinde, tasarım simülasyonları ve yaşam döngüsü analizi ile ürünlerin çevresel etkileri ve dayanıklılığı dijital ortamda test edilebilir. Benzer şekilde Pinherio vd. (2022) çalışmalarında yapay zekâ, büyük veri analitiği, IoT gibi Endüstri 4.0 teknolojilerinin döngüsel ürün tasarımını önemli ölçüde desteklediğini belirlemiştir. Bu teknolojiler, bir yandan ürünlerin çevresel etkilerini izlemek, atıkları azaltmak ve geri dönüşüm süreçlerini optimize etmek için kullanılırken, aynı zamanda akıllı ürünlerin geliştirilmesini de teşvik eder. Kısacası bu teknolojiler üretim sistemlerini daha esnek ve çevre dostu bir yapıya dönüştürerek, döngüsel ekonomi stratejilerinin etkili bir şekilde ürün tasarımında uygulanmasına imkân verir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Hızla değişen çevresel ve ekonomik koşullar, üretim süreçlerinde sürdürülebilirliği ön planda tutan yeni yaklaşımları zorunlu hale getirmektedir. Ayrıca, ekonomik krizler, kaynak kıtlığı ve çevre kirliliği gibi artan baskılar, firmaları iş stratejilerinde köklü değişiklikler yapmaya yönlendirmektedir. Bu çerçevede, döngüsel ekonomi modeli öne çıkmaktadır. Atıkları ve çevresel olumsuzlukları en aza indirerek doğal kaynakların korunmasını hedefleyen bu yenilikçi ve sürdürülebilir model, ekonomik ve ekolojik dengeyi sağlamak için firmalar açısından önemli bir çözüm sunmaktadır. Bu doğrultuda çevresel olumsuzluklara çözüm üretmek amacıyla, ürün tasarımında müşteri odaklı ve döngüsel yaklaşımlar geliştirmek zaruri hale gelmiştir.

Literatür incelendiğinde döngüsel ürün tasarım konusunda uygulamaya yönelik çalışmaların az olduğu dikkat çekmektedir. Benzer şekilde ilgili literatür incelendiğinde döngüsel ürün tasarımını Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı ile bütünleşik bir şekilde ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktadan hareketle hazırlanan çalışmayla bütünleşik Kano modeli ve QFD yöntemi kullanılarak PVC kapı ve pencere ürünleri için döngüsel ürün tasarımına yönelik bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla üç aşamalı bir süreç izlenmiştir. İlk aşamada, müşteri gereksinimlerinin neler olduğu literatürden belirlenmiş ve QFD takımıyla tartışılarak nihai hali verilmiştir. Daha sonra, tüketicilerle anket yapılarak müşterilerin üründen beklentileri Kano modeline göre sınıflandırılmıştır. Son olarak, müşterilerin bu beklentilerinin teknik olarak nasıl karşılanacağını belirlemek amacıyla QFD yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak literatür ve uzman görüşlerine (QFD takımı) dayalı olarak 14 adet döngüsel ürün tasarım özelliği belirlenmiştir. Kano modeliyle yapılan sınıflandırmada ise *Modülerlik* ve *Sökülebilir olma* özellikleri heyecan verici özellik olarak çıkmıştır. Daha sonra Kano dönüşümü yapılmasıyla birlikte *Güvenilirlik* özelliğinin en önemli ağırlığa sahip özellik olduğu tespit edilmiştir. Son olarak QFD uygulamasının sonucunda en önemli üç teknik gereksinim; *ürün tasarımının modüler biçimde yapılması*, *ürün tasarımının kolay parçalanabilir (sökülebilir) şekilde olması* ve *ürün tasarımının yeniden kullanım amacıyla yapılması* olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan duyarlılık analizi sonucunda teknik gereksinimlerin sıralamasında bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma, akademik olarak döngüsel ekonomi ilkelerinin PVC kapı ve pencere sektöründeki ürün tasarımı süreçlerine entegrasyonu konusunda literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmuş, müşteri gereksinimlerini döngüsellik stratejileriyle ilişkilendirerek yenilikçi bir ürün tasarımı yaklaşımı sunmuştur. PVC sektörü için önerilen yaklaşım, uyarlama yapılarak diğer sektörler için de

kullanılabilir. Kano Modeli ve Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminin bütünleşik kullanımıyla müşteri talepleri teknik gereksinimlere uyarlanmış, teknik gereksinimleri önceliklendirmek için Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Geliştirilen metodolojiyle literatürde teorik olarak belirtilen döngüsellik stratejilerinin ürün tasarımı süreçlerine entegrasyonu yapılmıştır. Çalışma, müşteri odaklı döngüsel ürün tasarımı konusunda firmalara rehberlik ederek çevre dostu, uzun ömürlü ve özelleştirilebilir tasarımlar ile rekabet avantajı sağlamanın yollarını da ortaya koymaktadır. Eklemeli imalat, IoT ve büyük veri gibi (her ne kadar bu çalışmada son sıralarda çıkmasına karşın) Endüstri 4.0 teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde, tasarım süreçlerinin daha esnek, müşteri odaklı ve sürdürülebilir hale gelebileceğine de vurgu yapılmıştır. Bu kapsamda, döngüsel ürün tasarımı alanında hem teorik hem de uygulama düzeyde önemli katkılar sunarak, akademik literatür ve sektörel uygulamalar için yaklaşım sunmaktadır.

Her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. İlk olarak, çalışmada kullanılan müşteri anketlerinin tüm ülkeyi kapsamakla birlikte çoğunluğunun Trabzon ilinden toplanması nedeniyle, sonucun genelleştirilmesini sınırlayabilir. Bu noktadan hareketle gelecekte yapılacak çalışmalarda ülkemizdeki her bölgeyi kapsayan daha fazla sayıda müşterilerle yapılabilir. İkinci olarak, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik gibi kavramlara yönelik müşteri farkındalığının düşük olması, müşteri gereksinimlerinin önceliklendirilmesini etkilemiş olabilir. Bu noktada, döngüsel ekonomi konusunda bilgi düzeyi çok yüksek olan müşteriler çalışmaya dahil edilebilir. Üçüncü olarak, bazı müşteri gereksinimlerinin zamanla değişebilir olmasının veya pazardaki hızlı değişimlerin Kano Modelindeki sınıflandırmayı değiştirebileceği de göz önüne alınmalıdır. Son olarak, çevresel etkiler (karbon salınımı, enerji azaltılması gibi) gibi bazı teknik gereksinimlerde nicel ölçümlerinin eksikliği, döngüsel ekonomi stratejilerinin faydalarını tam olarak ortaya koymayı zorlaştırabilir. Bu noktada teknik gereksinimler nitel olarak değil çeşitli nicel değerler içeren metriklerle belirlenebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda hem müşteri özellikleri ve hem de teknik gereksinimler bu çalışmada ele alınanlardan farklılaştırılabilir. Ayrıca, müşteri ağırlıkları belirlenirken AHP, ANP, Bulanık AHP, Bulanık ANP gibi yöntemler kullanılabilir. Diğer taraftan, müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasında kurulan ilişkilerde tereddütlü bulanık veya sezgisel bulanık ifadeler tercih edilebilir. Öte yandan, çalışmalarda teknik gereksinimlerin sıralaması çok kriterli karar verme veya bulanık çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Son olarak, cinsiyet, yaş ve eğitim düzeyi gibi demografik değişkenler bakımından müşterilerin gereksinimlerinin Kano sınıflandırmasında ve teknik gereksinimlerin sıralamalarında farklılık olup olmadığı analiz edilebilir.

KAYNAKÇA

- Aguiar, Marina Fernandes ve Jugend, Daniel (2022), “Circular Product Design Maturity Matrix: A Guideline to Evaluate New Product Development in Light of The Circular Economy Transition”, **Journal of Cleaner Production**, 365, 132732, 1-14.
- Aguiar, Marina Fernandes vd. (2022), “Circular Product design: Strategies, Challenges and Relationships With New Product Development”, **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 33(2), 300-329.
- Aher, Gaurav (2023) “Towards Simulation-Based Circular Product Design”, **Procedia CIRP**, New Jersey ,690-695.
- Ahmed, Aser Alaa vd. (2022), “A Comprehensive Multi-Level Circular Economy Assessment Framework”, **Sustainable Production and Consumption**, 32, 700-717.
- Ait-Touchente, Zouhair vd. (2024), “Recent Advances in Polyvinyl Chloride (PVC) Recycling”, **Polymers for Advanced Technologies**, 35(1), 1-27.
- Atlason, Reynir Smari vd. (2017), “Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances”, **Journal of Cleaner Production**, 168, 1059-1069.
- Ayber, Sezen ve Erginel, Nihal (2023), “New Product Development Methodology With Using Sustainability Driven QFD and Neutrosophic Sets: A Case Study of The Aircraft Stabilizer”, Kahraman, Cengiz vd. (Ed.), **Intelligent and Fuzzy Systems**, Springer Cham, 575-583.
- Bakker, Conny vd. (2019), “Circular product design: Addressing critical materials through design”, Chapter 9 (179-192), **Critical Materials: Underlying Causes and Sustainable Mitigation Strategies**, Singapur.
- Barrios-Ipenza, Rossoi, vd. (2024), “Quality Assessment of Graduate Services: Kano Model Application to A Peruvian University”, **Quality in Higher Education**, 1-22.
- Beuren, Fernanda Hänsch vd. (2013), “Product-Service Systems: A Literature Review on Integrated Products And Services”, **Journal of Cleaner Production**, 47, 222-231.
- Bhuiyan, Nadia (2011), “A Framework for Successful New Product Development”, **Journal of Industrial Engineering and Management**, 4(4), 746-770.
- Bocken, Nancy vd. (2016), “Product Design and Business Model Strategies for A Circular Economy”, **Journal of Industrial and Production Engineering**, 33(5), 308-320.

- Bocken, Nancy vd. (2019), "Slowing Resource Loops in The Circular Economy: An Experimentation Approach in Fashion Retail", **Sustainable Design and Manufacturing 2018**, Dao, D., Howlett, R., Setchi, R., Vlacic, L. (Ed), Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, 164-173.
- Bonvoisin, Jérémy vd. (2010), "Design for energy efficiency: proposition of a guidelines-based tool", **International Design Conference-DESIGN 10**, Dubrovnik, 1-11.
- Boorsma, Nina vd. (2022), "Development of The Circular Product Readiness Method in Circular Design", **Sustainability**, 14(15), 9288, 1-30.
- Bovea, María ve Pérez-Belis, Victoria (2018), "Identifying Design Guidelines To Meet The Circular Economy Principles: A Case Study on Electric and Electronic Equipment", **Journal of Environmental Management**, 228, 483-494.
- Brusa, Eugenio vd. (2024), "A Roadmap to the Integration Between Systems Engineering and Circular Design To Develop Sustainable Industrial Product", **IEEE Systems Journal**, 1693-1704.
- Burke, Haydn vd. (2023), "Integrating Product Design and Supply Chain Management for A Circular economy", **Production Planning & Control**, 34(11), 1097-1113.
- Camón Luis, Enric ve Celma, Dolors (2020), "Circular Economy. A Review and Bibliometric Analysis", **Sustainability**, 12(16), 6381, 1-25.
- Cappucci, Louis (2009), "PVC: A vital and Sustainable Resource", **Plastics, Additives and Compounding**, 11(2), 22-23.
- Carlos, Ricardo Luiz vd. (2024), "Enhancing Circular Economy Practices Through The Adoption of Digital Technologies", **Business Strategy & Development**, 7(1), e330,1-13.
- Cayzer, Steve vd. (2017), "Design of Indicators for Measuring Product Performance in The Circular Economy", **International Journal of Sustainable Engineering**, 10(4-5), 289-298.
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2002), "Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods", **Quality Engineering**, 15(1), 23-35.
- Chen, Chen-Tung (2000), "Extensions of The TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment", **Fuzzy Sets and Systems**, 114(1), 1-9.
- Chen, Wan Chiao ve Rau, Hsin (2023), "A Product Evaluation and Innovation Process Based on The Circular Design Degree and Patents Evolution", **Journal of Cleaner Production**, 405, 136888, 1-17.
- Chiu, Ming-Chuan ve Chu, Chih-Hsing (2012), "Review of Sustainable Product Design From Life Cycle Perspectives", **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, 13, 1259-1272.

- Chou, Jyh-Rong (2024), “An Integrative Review Exploring The Development of Sustainable Product Design in The Technological Context of Industry 4.0”, **Advanced Engineering Informatics**, 62, 102689, 1-21.
- Corvellec, Hervé vd. (2022), “Critiques of The Circular Economy”, **Journal of Industrial Ecology**, 26(2), 421-432.
- Dagilienė, Lina vd. (2024), “Developing A Circular Design Framework: Co-creation and Validation of a Circular Product and Service Design Tool”, **Journal of Industrial Ecology**, 28(4), 783-799.
- Dahmani, Noureddine vd. (2021), “Smart circular Product Design Strategies Towards Eco-Effective Production Systems: A Lean Eco-Design Industry 4.0 Framework”, **Journal of Cleaner Production**, 320, 128847, 1-15.
- Dai, Jing ve Blackhurst, Jennifer (2012), “A Four-phase AHP–QFD Approach for Supplier Assessment: A Sustainability Perspective”, **International Journal of Production Research**, 50(19), 5474-5490.
- Den Hollander, Marcel C. vd. (2017), “Product Design in A Circular Economy: Development of A Typology of Key Concepts and Terms”, **Journal of Industrial Ecology**, 21(3), 517-525.
- Desing, Harald vd. (2021), “Resource Pressure—A Circular Design Method”, **Resources, Conservation and Recycling**, 164, 105179, 1-11.
- Dervishaj, Arlind ve Kjartan Gudmundsson (2024), “From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment”, **Resources, Conservation and Recycling**, 200, 107291, 1-19.
- Diaz, Anna vd. (2022), “Implementing Circular Economy Strategies During Product Development”, **Resources, Conservation and Recycling**, 184, 106344, 1-18.
- Diaz, Anna ve Baumgartner, Rupert J. (2024), “A Managerial Approach To Product Planning for A Circular Economy: Strategy Implementation and Evaluation Support”, **Journal of Cleaner Production**, 442, 140829, 1-21.
- Domenech, Teresa vd. (2019), “Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of Networks, Characteristics, Performance and Contribution To The Circular Economy”, **Resources, Conservation and Recycling**, 141, 76-98.
- Dumée, Ludovic F. (2022), “Circular Materials and Circular Design—Review on Challenges Towards Sustainable Manufacturing and Recycling”, **Circular Economy and Sustainability**, 2(1), 9-23.
- Ellen MacArthur Foundation (2013), “Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition”, <https://www.ellenmacarthurfoundation>.

org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an
(22.01.2024).

Ellen MacArthur Foundation (2016), “The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics”,
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials> (20.11.2024).

Ellen MacArthur Foundation (2022a), “Circulate products and materials”,
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>(16.02.2024).

Ellen MacArthur Foundation (2022b), “From better products to a better society: designing for the
circular economy”, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/from-better-products-to-a-better-society-designing-for-the-circular-economy>(20.11.2024).

Ertuğrul, İrfan ve Karakaşoğlu, Nilsen (2008), “Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS
Methods for Facility Location Selection”. **The International Journal of Advanced
Manufacturing Technology**, 39, 783-795.

Ertz, Myriam vd. (2022), “How Transitioning To Industry 4.0 Promotes Circular Product
Lifetimes”. **Industrial Marketing Management**, 101, 125-140.

European Commission (2015), “An EU action plan for the circular economy”, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b701aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF. (24.01.2024).

Finnveden, Göran vd. (2009), “Recent Developments in Life Cycle Assessment”, **Journal of
Environmental Management**, 91(1), 1-21.

Galvão, Graziela Darla Araujo vd. (2018), “Circular Economy: Overview of Barriers”, **10th CIRP
Conference on Industrial Product-Service Systems**, Linköping, 79-85.

Geisendorf, Sylvie ve Pietrulla, Felicitas (2018), “The Circular Economy And Circular Economic
Concepts—A Literature Analysis and Redefinition”, **Thunderbird International Business
Review**, 60(5), 771-782.

Geissdoerfer, Martin vd. (2017), “The Circular Economy—A New Sustainability
Paradigm?”, **Journal of Cleaner Production**, 143, 757-768.

Ghisellini, Patrizia vd. (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.

Ghoreishi, Malahat ve Happonen, Ari (2020), “New promises AI brings into circular economy
accelerated product design: a review on supporting literature”, **E3S Web of Conferences**,
International Conference on Environment Pollution and Prevention, Melbourne, 1-10.

Giannetti, Biagio vd. (2020), “Cleaner Production for Achieving The Sustainable Development
Goals”, **Journal of Cleaner Production**, 271, 122127, 1-11.

- Gmelin, Harald ve Seuring, Stefan (2014), “Determinants of A Sustainable New Product Development”, **Journal of Cleaner Production**, 69, 1-9.
- Govindan, Kannan ve Hasanagic, Mia (2018), “A Systematic Review on Drivers, Barriers and Practices Towards Circular Economy: A Supply Chain Perspective”, **International Journal of Production Research**, 56(1-2), 278-311.
- Goyal, Sandeep vd. (2018), “Circular Economy Business Models in Developing Economies: Lessons From India on Reduce, Recycle and Reuse Paradigms”, **Thunderbird International Business Review**, 60(5), 729-740.
- Grafström, Jonas ve Aasma, Siri (2021), “Breaking Circular Economy Barriers”, **Journal of Cleaner Production**, 292, 126002, 1-14.
- Happonen, Ari ve Ghoreishi, Malahat (2019), “Key Enablers for Deploying Artificial Intelligence for Circular Economy Embracing Sustainable Product Design: Three Case Studies”, **AIP Conference Proceedings**, 13th International Engineering Research Conference, Selangor, 1-19.
- Hapuwatte, Buddhika ve Jawahir, I. S. (2021), “Closed-loop Sustainable Product Design for Circular Economy”, **Journal of Industrial Ecology**, 25(6), 1430-1446.
- He, Bin ve Qianyi, Yu (2021), “Product sustainable design for carbon footprint during product life cycle”, **Journal of Engineering Design**, 32(9), 478-495.
- Hernandez, Ricardo (2019), “Sustainable product-service systems and circular economies”, **Sustainability**, 11(19), 5383, 1-11.
- Homburg, Christian vd. (2015), “New Product Design: Concept, Measurement and Consequences”, **Journal of Marketing**, 79(3), 41-56.
- Homrich, Aline Sacchi vd. (2018), “The Circular Economy Umbrella: Trends and Gaps on Integrating Pathways”, **Journal of Cleaner Production**, 175, 525-543.
- Huang, George. (1996), **Design For X- Concurrent Engineering Imperatives**, Huang, George (Ed.), Springer, Cornwall.
- Jaeger, Bjoern ve Upadhyay, Arvind (2020), “Understanding Barriers To Circular Economy: Cases From The Manufacturing Industry”, **Journal of Enterprise Information Management**, 33(4), 729-745.
- Jain, Naveen ve A. R. Singh (2017), “Fuzzy Kano Integrated MCDM Approach for Supplier Selection Based on Must Be Criteria”, **International Journal of Supply Chain Management**, 6(2), 49-59.
- Jawahir, I. S., ve Bradley, Ryan (2016), “Technological Elements of Circular Economy and The Principles of 6R-based Closed-Loop Material Flow in Sustainable Manufacturing”, **Procedia**

CIRP, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing- Decoupling Growth from Resource Use ,40, Binh Duong New City,103-108.

Jensen, Jonas Pagh (2018), **Narrowing, slowing and closing the resource loops: Circular economy in the wind industry**, Doktora Tezi, Aalborg University, Technical Faculty of IT and Design.

Joustra, Jelle vd. (2021), “Circular Design of Composite Products: A Framework Based on Insights From Literature and Industry”, **Sustainability**, 13(13), 7223, 1-23.

Jugend, Daniel vd. (2024a), “Circular Product Design Challenges: An Exploratory Study on Critical Barriers”, **Business Strategy and the Environment**, 33(5), 4825-4842.

Jugend, Daniel vd. (2024b), “Industry 4.0 Technologies for The Adoption of The Circular Economy: An Analysis of Institutional Pressures and The Effects on Firm Performance”, **Journal of Environmental Management**, 370, 122260, 1-13.

Kağnıcıoğlu, Celal Hakan vd. (2021), **Üretim Yönetimi**, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2992, Eskişehir.

Karlsson, Reine ve Luttrupp, Conrad (2006), “Ecodesign: What's Happening? An overview of The Subject Area of Ecodesign and of The Papers in This Special Issue”, **Journal of Cleaner Production**, 14(15-16), 1291-1298.

Kazancoglu, Yiğit vd. (2023), “In The Nexus of Sustainability, Circular Economy and Food Industry: Circular Food Package Design”, **Journal of Cleaner Production**, 415, 137778, 1-12.

Khan, Muztoba Ahmad, vd. (2018), “Review on Upgradability–A Product Lifetime Extension Strategy in The Context of Product Service Systems”, **Journal of Cleaner Production**, 204, 1154-1168.

Khan, Syed Abdul Rehman vd. (2022), “Digital Technology and Circular Economy Practices: Future of Supply Chains”, **Operations Management Research**, 15(3), 676-688.

Kirchherr, Julian vd. (2017), “Conceptualizing The Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions”, **Resources, Conservation and Recycling**, 127, 221-232.

Kjaer, Louise Laumann vd. (2019), “Product/service-systems for A Circular Economy: The Route To Decoupling Economic Growth From Resource Consumption?”, **Journal of Industrial Ecology**, 23(1), 22-35.

Knight, Paul ve James O. Jenkins (2009), “Adopting and Applying Eco-Design Techniques: A Practitioners Perspective”, **Journal of Cleaner Production**, 17(5), 549-558.

Konietzko, Jan vd. (2019), “Online Platforms and The Circular Economy”, **Innovation for Sustainability: Business Transformations Towards A Better World** (435-450), Springer Nature.

- Konietzko, Jan vd. (2020), “A Tool To Analyze, Ideate and Develop Circular Innovation Ecosystems”, **Sustainability**, 12(1), 417, 1-39.
- Korhonen, Jouni vd. (2018), “Circular Economy As An Essentially Contested Concept”, **Journal of Cleaner Production**, 175, 544-552.
- Kotler, Philip ve Armstrong, Gary (2014), **Principles of Marketing**, Pearson Education Limited, Australia.
- Köpman, Juhoantti ve Majava, Jukka (2024), “The Role of Product Design in Advancing The Circular Economy of Electric and Electronic Equipment”, **Resources, Conservation & Recycling Advances**, 200207, 1-14.
- Kuhlman, Tom ve Farrington, John (2010), “What Is Sustainability?”, **Sustainability**, 2(11), 3436-3448.
- Kumar, Vikas vd. (2019), “Circular Economy in The Manufacturing Sector: Benefits, Opportunities and Barriers”, **Management Decision**, 57(4), 1067-1086.
- Lieder, Michael & Rashid, Amir (2016), “Towards Circular Economy Implementation: A Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry”, **Journal of Cleaner Production**, 115, 36-51.
- Lo, Sonia vd. (2017), “An Integrated Approach To Project Management Using The Kano Model And QFD: An Empirical Case Study”, **Total Quality Management & Business Excellence**, 28(13-14), 1584-1608.
- Lu, Qi vd. (2017), “A Carbon Emissions Allocation Method Based on Temperature Field for Products in The Usage Stage”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 91, 917-929.
- Lu, Lihui vd. (2023), “Chemical Recycling Technologies for PVC Waste and PVC-containing Plastic Waste: A Review”, **Waste Management**, 166, 245-258.
- Machado, Natália ve Sandra Naomi Morioka (2021), “Contributions of Modularity To The Circular Economy: A Systematic Review of Literature”, **Journal of Building Engineering**, 44, 103322, 1-11.
- Maione, Carol vd. (2022), “Towards A Circular Economy for The Plastic Packaging Sector: Insights From The Italian Case”, **Sustainable Production and Consumption**, 34, 78-89.
- Medkova, Katerina ve Fifield, Brett (2016), “Circular Design-Design for Circular Economy”, **Lahti Cleantech Annual Review**, 1. Baskı içinde (32-47), Lahti University of Applied Sciences, Lahti.

- Mesa, Jaime vd. (2019), "Trends and Perspectives of Sustainable Product Design for Open Architecture Products: Facing The Circular Economy Model", **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, 6,377-391.
- Mesa, Jaime (2023), "Design for Circularity and Durability: An Integrated Approach from DFX Guidelines", **Research in Engineering Design**, 34(4), 443-460.
- Mestre, Ana ve Cooper, Tim (2017), "Circular product design. A multiple loops life cycle design approach for the circular economy", **The Design Journal**, 1620-1635.
- Miliute- Jurate Miliute vd. (2021), "Overview of Polyvinyl Chloride (PVC) Waste Management Practices in The Nordic Countries", **Cleaner Engineering and Technology**, 4, 100246, 1-14.
- Moraga, Gustavo vd. (2019), "Circular Economy Indicators: What Do They Measure?", **Resources, Conservation and Recycling**, 146, 452-461.
- Moreno, Mariale vd. (2016), "A Conceptual Framework for Circular Design", **Sustainability**, 8(9), 937, 1-15.
- Morseletto, Piero (2020), "Targets for A Circular Economy", **Resources, Conservation and Recycling**, 153, 104553, 1-12.
- Morseletto, Piero (2023), "Sometimes Linear, Sometimes Circular: States of The Economy and Transitions To The Future", **Journal of Cleaner Production**, 390, 136138, 1-9.
- Murray, Alan vd. (2017), "The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of The Concept and Application in A Global Context", **Journal of Business Ethics**, 140, 369-380.
- Nayal, Kirti vd. (2023), "Achieving Market Performance Via Industry 4.0 Enabled Dynamic Marketing Capability, Sustainable Human Resource Management and Circular Product Design", **Industrial Marketing Management**, 115, 86-98.
- Neves, Angela vd. (2019), "The potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers To Its Implementation", **Sustainability**, 11(24), 7095, 1-68.
- Nikolaou, Ioannis ve Tsagarakis, Konstantinos (2021), "An Introduction To Circular Economy and Sustainability: Some Existing Lessons and Future Directions", **Sustainable Production and Consumption**, 28, 600-609.
- Oluleye, Benjamin vd. (2023), "Adopting Artificial Intelligence for Enhancing The Implementation of Systemic Circularity in The Construction industry: A Critical Review", **Sustainable Production and Consumption**, 35, 509-524.
- Ortner, F. Peter ve Tay, Jing (2023), "Exploring A Circular Economy Solution Space A Comparative Study To Develop Automated Optimisation Workflows Supported by Machine Learning for Circular Design Problems", **International Journal of Architectural Computing**, 21(3), 404-420.

- Pathan, Muhammad Salman vd. (2023), “The Role of Artificial Intelligence Within Circular Economy Activities—A View From Ireland”, **Sustainability**, 15(12), 9451, 1-18.
- Pei, Xue vd. (2024), “Enhancing Circular Economy Practices in the Furniture Industry through Circular Design Strategies”, **Sustainability**, 16(15), 6544, 1-31.
- Peña, Claudia vd. (2021), “Using Life Cycle Assessment To Achieve A Circular Economy”, **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 26, 215-220.
- Pigosso, Daniela vd. (2013), “Ecodesign Maturity Model: A Management Framework To Support Ecodesign Implementation into Manufacturing Companies”, **Journal of Cleaner Production**, 59, 160-173.
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., & Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 483-499.
- Plastic Europe, “European Plastics Manufacturers Quarterly Report/2024”, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/quarterly-report-q1-2024/> (20.11.2024).
- Potting, José vd. (2017), “Circular Economy: Measuring Innovation in The Product Chain”, **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Policy Report**, 1-46, Lahey.
- Ramados, Tamil Selvan vd. (2018), “Artificial Intelligence And Internet of Things Enabled Circular Economy”, **The International Journal of Engineering and Science**, 7(9), 55-63.
- Reichel, Almut vd. (2016), Circular Economy in Europe: Developing The Knowledge Base (1-42), **European Environment Agency Report**, Kopenhag.
- Reike, Denise vd. (2018), “The Circular Economy: New or Refurbished As CE 3.0? —Exploring Controversies in The Conceptualization of The Circular Economy Through A Focus on History and Resource Value Retention Options”, **Resources, Conservation and Recycling**, 135, 246-264.
- Rexfelt, Oskar ve Selvefors, Anneli (2021), “The Use2Use Design Toolkit—Tools For User-Centred Circular Design”, **Sustainability**, 13(10), 5397, 1-18.
- Rexfelt, Oskar ve Selvefors, Anneli (2024), “Mapping The Landscape of Circular Design Tools”, **Resources, Conservation and Recycling**, 209, 107783, 1-20.
- Roberts, Huw vd. (2024), “Artificial Intelligence in Support of The Circular Economy: Ethical Considerations and A Path Forward”, **AI & SOCIETY**, 39(3), 1451-1464.
- Rodrigo, Navodana vd. (2024). “Leveraging Digital Technologies for Circular Economy in Construction Industry: A Way Forward”, **Smart and Sustainable Built Environment**, 13(1), 85-116.

- Royo, Marta, vd. (2024), "A metric for assessing the upgradability and adaptability of circular concepts", **Resources, Conservation and Recycling**, 205, 107512, 1-10.
- Ruiz-Pastor, Laura, vd. (2023), "Bio-inspired Design As A Solution To Generate Creative and Circular Product Concepts", **International Journal of Design Creativity and Innovation**, 11(1), 42-61.
- Saidani, Michael vd. (2020), "Product Circularity Indicators: What Contributions in Designing for A Circular Economy?", **Proceedings of the Design Society:DESIGN Conference**, Cambridge University Press, 2129-2138.
- Sareh, Pooya (2024), "The Aesthetics of Sustainable Industrial Design: Form and Function in The Circular Design Process", **Sustainable Development**, 32(1), 1310-1320.
- Sauerwein, Mariet vd. (2017), "Additive Manufacturing for Circular Product Design: A Literature Review From A Design Perspective", Conny Bakker ve Ruth Mugge (Ed.), **Plate Product Lifetimes and The Environment**, IOS Press, Delft, 358-364.
- Sauvé, Sébastien vd. (2016), "Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts For Trans-Disciplinary Research", **Environmental Development**, 17, 48-56.
- Scafà, M vd. (2018). A critical review of industrial symbiosis models. **Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry 4.0**, 1184-1193.
- Schögggl, Josef-Peter vd. (2024), "Barriers To Sustainable And Circular Product Design—A Theoretical and Empirical Prioritisation in The European Automotive Industry", **Journal of Cleaner Production**, 434, 140250, 1-15.
- Schroeder, Patrick vd. (2019), "The Relevance of Circular Economy Practices To The Sustainable Development Goals", **Journal of Industrial Ecology**, 23(1), 77-95.
- Sehnem, Simone vd. (2019), "Circular Economy: Benefits, Impacts and Overlapping", **Supply Chain Management: An International Journal**, 24(6), 784-804.
- Shahbazi, Sasha ve Jönbrink, Anna Karin (2020), "Design Guidelines To Develop Circular Products: Action Research on Nordic Industry", **Sustainability**, 12(9), 3679, 1-14.
- Shahbazi, Sasha vd. (2021), "Product Design for Automated Remanufacturing—A Case Study of Electric and Electronic Equipment in Sweden", **Sustainability**, 13(16), 9039, 1-20.
- Sharma, Nagendra Kumar vd. (2021), "The transition from linear economy to circular economy for sustainability among SMEs: A study on prospects, impediments, and prerequisites", **Business Strategy and the Environment**, 30(4), 1803-1822.

- Shennib, Faisal ve Schmitt, Ketra (2021), “Data-Driven Technologies And Artificial Intelligence İn Circular Economy and Waste Management Systems: A Review”, **EEE International Symposium on Technology and Society**, Ontario, 1-5.
- Shevchenko, Tetiana ve Cluzel, Francois (2023), “A circular product design toolkit: methodological background, basic principles and building blocks”, **Proceedings of the Design Society**, International Conference on Engineering Design, Bordeaux, 59-68.
- Shevchenko, Tetiana vd. (2024), “Completing The Design for Product Circularity Toolkit With Hierarchical Computation of Circularity Maturity Diagram and Redesign Circular Strategies”, **Journal of Cleaner Production**, 437, 140742, 1-19.
- Sillanpää, Mika ve Ncibi, Chaker (2019), **The Circular Economy: Case Studies About The Transition From The Linear Economy**, Academic Press, Oxford.
- Sireli, Yeşim vd. (2007), “Integration of Kano's Model into QFD for Multiple Product Design”, **IEEE Transactions on Engineering Management**, 54(2), 380-390.
- Sonego, Monique vd. (2018), “The Role of Modularity in Sustainable Design: A Systematic Review”, **Journal of Cleaner Production**, 176, 196-209.
- Spreafico, Christian (2022), “An Analysis of Design Strategies for Circular Economy Through Life Cycle Assessment”, **Environmental Monitoring and Assessment**, 194(3), 180, 1-33.
- Spreafico, Christian ve Landi, Daniele (2022), “Using Product Design Strategies To Implement Circular Economy: Differences Between Students and Professional Designers”, **Sustainability**, 14(3), 1122, 1-19.
- Tan, K. C. ve Shen, X. X. (2000), “Integrating Kano's Model in The Planning Matrix of Quality Function Deployment”, **Total Quality Management**, 11(8), 1141-1151.
- Tan, Esmonde vd. (2024), “Design for Circularity: A Framework for Sustainable Product Redesign”, **Procedia CIRP**, 31st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Turin, 122, 479-484.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023), “On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)”, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/12/On-Ikinci-Kalkinma-Plani_2024-2028_11122023.pdf (21.11.2024).
- Tontini, Gérson (2007), “Integrating The Kano Model and QFD for Designing New Products”, **Total Quality Management**, 18(6), 599-612.
- The European Council of Vinyl Manufacturers (2017), “PVC recycling Technologies”, https://vinylplus.eu/wp-content/uploads/2017/02/VinylPlus_PVC_recycling_tech_20092017.pdf (20.11.2024).

- Toxopeus, Marten vd. (2015), “Cradle To Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice?”, **Procedia CIRP**, The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering, Sydney, 29, 384-389.
- URL, “Guidelines for circular product design and development” (t,y), <https://circuitnord.com/wpcontent/uploads/2020/04/Guidelines-for-circular-product-design-and-development.pdf> (17.04.20234).
- URL, “Plastik Atık” (t,y), <https://www.sifiratik.gov.tr/plastik-atik> (21.11.2024).
- Van Dam, Sonja vd. (2017), “The circular pathfinder: development and evaluation of a practice-based tool for selecting circular design strategies”, **Plate Product Lifetimes and The Environment**, IOS Press, Delft, 102-107.
- Van den Berg, M. R. ve Bakker, Conny (2015), “A Product Design Framework for A Circular Economy”, **Plate Product Lifetimes and The Environment**, Plate Conference, Nottingham, 365-379.
- Van den Berg, Marc, vd. (2024), “Materializing Responsible Futures: An Interpretative Phenomenological Analysis of Circular Design Experiences in Construction”, **Sustainable Production and Consumption**, 51, 92-104.
- Verbrugghe, Nathalie vd. (2023), “Biomimicry in Architecture: A Review of Definitions, Case Studies and Design Methods”, **Biomimetics**, 8(1), 107, 1-29.
- Vere, Ian de vd. (2010), “Product Design Engineering – A Global Education Trend in Multidisciplinary Training for Creative Product Design”, **European Journal of Engineering Education**, 35, 33-43.
- Vimal, K. E. K. vd. (2021), “Circular Function Deployment: A Novel Mathematical Model To Identify Design Factors for Circular Economy”, **Environment, Development and Sustainability**, 9068-9101.
- Walden, David (1993), “Kano’s Methods for Understanding Customer-defined Quality”, **Center for Quality of Management Journal**, 1-37.
- Wamane, Gopal Vasudeo (2023), “A “New Deal” for A Sustainable Future: Enhancing Circular Economy by Employing ESG Principles And Biomimicry for Efficiency”, **Management of Environmental Quality**, 1-18.
- Wang, Jason X. vd. (2022), “Overcoming Barriers To Circular Product Design”, **International Journal of Production Economics**, 243, 108346, 1-16.
- Wang, Ting ve Ping Ji (2010), “Understanding Customer Needs Through Quantitative Analysis of Kano's Model”, **International Journal of Quality & Reliability Management**, 27(2), 173-184.

- Wastling, Thomas vd. (2018), “Design for Circular Behaviour: Considering Users in A Circular Economy”, **Sustainability**, 10(6), 1743., 1-22.
- Wilson, Matthew vd. (2022), “The Circular Economy Meets Artificial Intelligence (AI): Understanding The Opportunities of AI for Reverse Logistics”, **Management of Environmental Quality**, 33(1), 9-25.
- Wilts, Henning vd. (2021), “Artificial Intelligence in The Sorting of Municipal Waste As An Enabler of The Circular Economy”, **Resources**, 10(4), 28, 1-9.
- Yi, Qian (2003), “Cleaner Production and Circular Economy-----New Strategy for Environment And Development in China”, **Northeast Asia Economic Forum**, 1-7.
- Zomer, Thayla vd. (2022), “To What Extent Is Circular Product Design Supporting Carbon Reduction Strategies? An Analysis of Nordic Manufacturing Firms Within The Science-Based Targets Initiative”, **Proceedings of the Design Society**, 2, 1189-1198.



EKLER

Ek 1. Kano Anketi

Değerli Katılımcı,

Bu anket, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme-Üretim Yönetimi Yüksek Lisans Programında Prof.Dr. Birdoğan BAKİ danışmanlığında yürütülen “Döngüsel Ürün Tasarımı: PVC sektöründe bir Uygulama” adlı tez çalışmasının bir parçasıdır. Anketin amacı; döngüsel ürün tasarımının özelliklerini gruplandırmaktır. Kano anketi, yeni ürün geliştirme ve müşteri memnuniyeti alanında kullanılan bir veri toplama aracıdır. Müşterilerin beklentilerini ve memnuniyetini anlamak için kullanılmaktadır. Kano anketinde, her gereksinim (beklenti) için iki farklı soru türü sorulmaktadır. 14 özelliğin her biri için toplamda 28 soru bulunmaktadır. Anketin araştırmamıza katkı sağlayabilmesi için istenen bilgileri eksiksiz, tarafsız ve doğru bir şekilde doldurmanız gerekmektedir.

Anket sorularına vereceğiniz yanıtlar 6698 sayılı “Kişisel Verilerin Korunması Hakkında Kanun” temelinde gizli tutulacak ve yalnızca araştırma amaçlı kullanılacaktır. Bu bilgiler hiçbir suretle, katılımcıların kimliğini/firma bilgilerini sunacak şekilde kullanılmayacak ve herhangi bir kurumla paylaşılmayacaktır. Anketi cevaplarırken ad-soyad gibi kişisel bilgilerin belirtilmesine gerek olmayacaktır. Bu ankete katılım gönüllülük esasında olup istediğiniz zaman ankettten geri çekilme hakkına sahipsiniz. Verdiğiniz cevaplar tablolara dönüştürülecek ve araştırmacılar tarafından incelenecektir. Göstermiş olduğunuz ilgi ve desteğinizden dolayı teşekkür eder, iyi çalışmalar dileriz. Daha fazla bilgilendirme durumunda iletişim bilgilerimiz aşağıdaki gibidir.

Anketi PVC kapı veya pencere ürününü düşünüp doldurunuz. Prof.

Dr. Birdoğan BAKİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi İşletme Bölümü 61080 TRABZON

Arş. Gör. Sümeyye ÇEBİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi İşletme Bölümü 61080 TRABZON

1. **Yaşınız?**

- ☐ 0-20
- ☐ 20-30
- ☐ 30-40
- ☐ 40-50
- ☐ 50-60
- ☐ 60 ve üstü

2. **Cinsiyetiniz?**

- ☐ Kadın
- ☐ Erkek

3. **Eğitim durumunuz?**

- ☐ İlkokul
- ☐ Ortaokul
- ☐ Lise
- ☐ Önlisans
- ☐ Lisans
- ☐ Yüksek Lisans
- ☐ Doktora

4. **Mesleğiniz?**

5. **Gelir düzeyiniz?**

- ☐ 0-20.000
- ☐ 20.000-40.000
- ☐ 40.000-60.000
- ☐ 60.000 ve üstü

6. **Döngüsel ekonomi hakkında bilgi düzeyiniz nedir? (1-5 arasında derecelendirme)**

Çok az (1) Az (2) Orta (3) Çok (4) Çok Fazla (5)

Ek 1: (Devamı)

Kano Anketi Soruları

1a. Satın aldığınız ürünün **geri dönüştürülebilir** şekilde tasarlanmış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

1b. Satın aldığınız ürünün **geri dönüştürülebilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

2a. Satın aldığınız ürünün **kolay bakım yapılabilir ve onarılabilir** şekilde tasarlanmış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

2b. Satın aldığınız ürünün **kolay bakım yapılabilir ve onarılabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

3a. Satın aldığınız ürünün **uzun ömürlü ve dayanıklı** şekilde tasarlanmış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

3b. Satın aldığınız ürünün **uzun ömürlü ve dayanıklı** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

4a. Satın aldığınız ürünün **tekrar aynı amaç için kullanılabilir** şekilde tasarlanmış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı

Ek 1: (Devamı)

- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

4b. Satın aldığınız ürünün **tekrar aynı amaç için kullanılabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

5a. Satın aldığınız ürünün **parçalarının kolayca sökülüp başka bir yerde kullanılabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

5b. Satın aldığınız ürünün **parçalarının kolayca sökülüp başka bir yerde kullanılabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

6a. Satın aldığınız ürünün **kullanıldıktan sonra gerekli onarımlarla yeniden üretilebilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

6b. Satın aldığınız ürünün **kullanıldıktan sonra gerekli onarımlarla yeniden üretilebilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

7a. Satın aldığınız ürünün **değişen teknoloji ve trendlere uyum sağlayabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez

Ek 1: (Devamı)

- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

7b. Satın aldığınız ürünün **değişen teknoloji ve trendlere uyum sağlayabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

8a. Satın aldığınız ürünün **modüler yapıda olup, parçalarının takılıp sökülebilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

8b. Satın aldığınız ürünün **modüler yapıda olup, parçalarının takılıp sökülebilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

9a. Satın aldığınız ürünün **arızalanmadan uzun süre çalışabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

9b. Satın aldığınız ürünün **arızalanmadan uzun süre çalışabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

10a. Satın aldığınız ürünün **doğada bakteriler veya mantarlar tarafından parçalanabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

- **Ek 1: (Devamı)**

10b. Satın aldığınız ürünün **doğada bakteriler veya mantarlar tarafından parçalanabilir** şekilde tasarlanmamış olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

11a. Satın aldığınız ürünün **üretiminde daha az malzeme kullanılarak üretilmiş** olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

11b. Satın aldığınız ürünün **üretiminde daha az malzeme kullanılarak üretilmiş** olmaması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

12a. Satın aldığınız ürünün **üretim sürecinde atık miktarını azaltacak şekilde tasarlanmış** olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

12b. Satın aldığınız ürünün **üretim sürecinde atık miktarını azaltacak şekilde tasarlanmış** olmaması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

13a. Satın aldığınız ürünün **üretiminde daha az enerji harcanmasını veya enerjinin geri kazanılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış** olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

Ek 1: (Devamı)

13b. Satın aldığınız ürünün **üretiminde daha az enerji harcanmasını veya enerjinin geri kazanılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmış** olmaması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

14a. Satın aldığınız ürünün **belirli standartlara uygun ve diğer ürünlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmış** olması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

14b. Satın aldığınız ürünün **belirli standartlara uygun ve diğer ürünlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmış** olmaması sizi nasıl hissettirir?

- Hoşlanırım
- Öyle olmalı
- Fark etmez
- Katlanabilirim
- Hoşlanmam

Ek 2. Kano Anketi Etik Kurul Kararı



HİZMETE ÖZEL

T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu

02.10.2024 16:14
E-26014373-050.01.04-566958
04883661



Sayı : E-26014373-050.01.04-566958
Konu : Sümeyye ÇEBİ'nin Etik Kurul Kararı

02.10.2024

REKTÖRLÜK MAKAMINA
Hukuk Müşavirliği

İlgi : 26.09.2024 tarihli ve E-91349926-929-13077 sayılı yazı.

KTÜ – Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Birdoğan BAKİ'nin akademik danışmanlığında, Üretim Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi 423556 numaralı Sümeyye ÇEBİ'nin yürüttüğü "Döngüsel Ürün Tasarımı: PVC Sektöründe Bir Uygulama" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında "Etik Kurul Belgesi" ile ilgili olarak kurulumuza yaptığı başvuru değerlendirilerek uygun bulunmuş ve sonucu Ek'te gönderilmiştir.

İlgili öğrencinin bilgilendirilmesi hususunda gereğini arz ederim.

Prof. Dr. Abdülkadir PEHLİVAN
Başkan

Ek: Toplantı Tutanağı (3 Sayfa)

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: AF58BD12-3F05-4CA7-AB16-7E8CE23EDE12 Doğrulama Adres: <https://www.turkiye.gov.tr/karadeniz-teknik-universitesi-ebys>

61080 – Trabzon /
TÜRKİYE
Tel: 0 (462) 377 43 36

Faks: 0 (462) 325 32 05

www.ktu.edu.tr

Ayrıntılı Bilgi İçin İrtibat
Nurcan ŞAHİN
genelsekreterlik@ktu.edu.tr

Sayfa
1 / 1



Ek 3: İlişki ve Korelasyon Matrisi Anketi

Değerli Katılımcı,

Bu anket, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme-Üretim Yönetimi Yüksek Lisans Programında Prof. Dr. Birdoğan BAKİ danışmanlığında yürütülen “Döngüsel Ürün Tasarımı: PVC Sektöründe Bir Uygulama” adlı tez çalışmasının bir parçasıdır. Anketin amacı; müşteri talepleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler ile teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonunun sistematik bir şekilde analiz edilmesidir. Bu aşamada ilişki matrisi için müşteri özellikleri yine literatürden belirlenen teknik gereksinimler arasındaki ilişkilerin dilsel ölçekle değerlendirilecektir. Anketin araştırmamıza katkı sağlayaması amacıyla istenen bilgileri eksiksiz, tarafsız ve doğru bir şekilde cevaplamanız önemlidir.

Anket sorularına vereceğiniz cevaplar 6698 sayılı “Kişisel Verilerin Korunması Hakkında Kanun” dayalı olarak gizli tutulacak ve araştırma amaçlı kullanılacaktır. Bu bilgiler hiçbir şekilde, katılımcıların kimliğini/firma bilgilerini ortaya açığa çıkaracak şekilde kullanılmayacak ve kesinlikle kurumlarla paylaşılmayacaktır. Anketi yanıtlarlarken ad-soyad gibi kişisel bilgileri vermeniz gerekmemektedir. Katılımın gönüllü olduğu bu anketten vazgeçme hakkına sahipsiniz. Verilen yanıtlar tablolar haline dönüştürülecek ve araştırmacılar tarafından incelenecektir. Göstermiş olduğunuz ilgi ve desteklerinizden dolayı teşekkür eder iyi çalışmalar dileriz. Daha fazla bilgiye ihtiyacınız olması durumunda iletişim bilgilerimiz aşağıda verilmiştir.

Anketi PVC kapı veya pencere ürününü düşünüp doldurunuz.

Prof.Dr. Birdoğan BAKİ
Karadeniz Teknik Üniversitesi İşletme Bölümü 61080 TRABZON
Arş.Gör. Sümeyye ÇEBİ
Karadeniz Teknik Üniversitesi İşletme Bölümü 61080 TRABZON

İsminiz:

Mezun olduğunuz bölüm:

Mesleğiniz:

Deneyim süreniz:

[illegible]

Ek 4: İlişki ve Korelasyon Matrisi Anketi Etik Kurul Belgesi

20.11.2024 14:25
E:26014373-050.01.04-586877
04969267
04969267



HİZMETE ÖZEL

T.C.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Sosyal ve Beşeri Bilimler Etik Kurulu



Sayı : E-26014373-050.01.04-586877
Konu : Sümeyye ÇEBİ KUDAL'ın Etik Kurul
Kararı

20.11.2024

REKTÖRLÜK MAKAMINA
Hukuk Müşavirliği

İlgi : 01.11.2024 tarihli ve E-91349926-929-13588 sayılı yazı.

KTÜ – Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Birdoğan BAKI'nın akademik danışmanlığında, Üretim Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi 423556 numaralı Arş. Gör. Sümeyye ÇEBİ KUDAL'ın yürüttüğü "Döngüsel Ürün Tasarımı: PVC Sektöründe Bir Uygulama" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında "Etik Kurul Belgesi" ile ilgili olarak kurulumuza yaptığı başvuru değerlendirilerek uygun bulunmuş ve sonucu Ek'te gönderilmiştir. İlgili öğretim elemanının bilgilendirilmesi hususunda gereğini arz ederim.

Prof. Dr. Abdülkadir PEHLİVAN
Başkan

Ek: Toplantı Tutanağı (3 Sayfa)

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kod: 0040666C-57A5-4E57-B052-D93B577B70B6

HİZMETE ÖZEL

Doğrulama Adres: <https://www.turkiye.gov.tr/karadeniz-teknik-universitesi-ebys>

61080 - Trabzon /
TÜRKİYE
Tel: 0 (462) 377 43 36

Faks: 0 (462) 325 32 05

www.ktu.edu.tr

Ayrıntılı Bilgi İçin İrtibat
Nurcan ŞAHİN
genelsekreterlik@ktu.edu.tr

Sayfa
1 / 1



Ek 5. Bütünleştirilmiş Karar Matrisi (QFD İlişki Matrisi)

	Mİ1	Mİ2	Mİ3	Mİ4	Mİ5	Mİ6	Mİ7	Mİ8	Mİ9	Mİ10	Mİ11	Mİ12	Mİ13	Mİ14
TG1	(3,2500, 5,2500, 7,1250)	(2,1250, 4,0000, 6,0000)	(3,2500, 5,2500, 7,0000)	(2,2500, 3,8750, 5,7500)	(3,5000, 5,5000, 7,2500)	(3,8750, 5,5000, 7,0000)	(4,7500, 6,5000, 7,8750)	(5,2500, 7,0000, 8,2500)	(2,3750, 4,2500, 6,1250)	(2,2500, 3,8750, 5,7500)	(4,2500, 6,2500, 8,0000)	(4,1250, 5,8750, 7,3750)	(3,3750, 5,2500, 7,1250)	(3,6250, 5,3750, 6,8750)
TG2	(3,6250, 5,2500, 6,8750)	(2,2250, 4,0000, 5,8750)	(3,5000, 5,3750, 7,1250)	(2,5000, 4,1250, 6,0000)	(2,2500, 3,8750, 5,6250)	(2,7500, 4,3750, 6,1250)	(3,8750, 5,7500, 7,3750)	(4,0000, 6,0000, 7,7500)	(3,7500, 5,7500, 7,5000)	(1,7500, 3,5000, 5,5000)	(3,7500, 5,7500, 7,5000)	(4,5000, 6,5000, 8,2500)	(2,6250, 4,5000, 6,5000)	(4,2500, 6,2500, 7,8750)
TG3	(4,1250, 5,8750, 7,5000)	(5,2500, 6,6250, 7,6250)	(4,6250, 6,3750, 7,8750)	(3,5000, 5,0000, 6,7500)	(2,1250, 4,0000, 6,0000)	(2,0000, 3,6250, 5,5000)	(3,2500, 5,0000, 6,8750)	(1,5000, 3,1250, 5,0000)	(4,6250, 6,2500, 7,5000)	(1,3750, 2,7500, 4,5000)	(3,0000, 5,0000, 6,8750)	(2,8750, 4,7500, 6,6250)	(3,1250, 4,8750, 6,7500)	(4,3750, 6,0000, 7,3750)
TG4	(4,2500, 6,2500, 8,1250)	(5,1250, 6,8750, 8,5000)	(3,7500, 5,7500, 7,6250)	(4,3750, 6,2500, 7,8750)	(6,0000, 7,6250, 8,7500)	(6,2500, 8,0000, 9,0000)	(4,5000, 6,3750, 7,8750)	(4,6250, 6,5000, 8,1250)	(3,3750, 5,1250, 6,8750)	(3,8750, 5,7500, 7,6250)	(6,0000, 7,8750, 9,1250)	(5,7500, 7,6250, 9,1250)	(3,0000, 5,0000, 6,8750)	(4,6250, 6,3750, 7,8750)
TG5	(3,1250, 4,7500, 6,2500)	(1,7500, 3,0000, 4,6250)	(1,8750, 3,5000, 5,1250)	(2,5000, 4,1250, 5,8750)	(2,0000, 3,0000, 4,3750)	(2,0000, 3,5000, 5,1250)	(1,2500, 2,7500, 4,5000)	(2,6250, 4,5000, 6,3750)	(2,5000, 4,1250, 5,8750)	(2,5000, 3,8750, 5,6250)	(3,6250, 5,3750, 7,0000)	(3,1250, 5,8750, 7,6250)	(8,5000, 9,6250, 9,8750)	(3,1250, 4,8750, 6,6250)
TG6	(6,3750, 7,6250, 8,5000)	(7,0000, 8,6250, 9,5000)	(5,7500, 7,5000, 8,7500)	(7,0000, 8,7500, 9,7500)	(7,7500, 9,2500, 9,8750)	(7,7500, 9,2500, 9,8750)	(7,0000, 8,6250, 9,6250)	(9,0000, 10,0000, 10,0000)	(5,5000, 7,5000, 9,1250)	(2,7500, 4,5000, 6,5000)	(4,7500, 6,6250, 8,2500)	(5,0000, 7,0000, 8,6250)	(3,7500, 5,7500, 7,6250)	(5,7500, 7,5000, 8,6250)
TG7	(4,3750, 6,0000, 7,2500)	(2,8750, 4,7500, 6,6250)	(8,7500, 9,8750, 10,0000)	(4,2500, 6,1250, 7,7500)	(2,3750, 3,7500, 5,3750)	(2,8750, 4,7500, 6,6250)	(3,3750, 5,1250, 7,0000)	(3,2500, 5,0000, 6,8750)	(6,7500, 8,3750, 9,2500)	(3,1250, 4,5000, 6,0000)	(2,3750, 4,2500, 6,2500)	(4,1250, 6,0000, 7,6250)	(3,5000, 5,5000, 7,3750)	(4,2500, 6,2500, 7,8750)
TG8	(5,7500, 7,6250, 8,8750)	(3,8750, 5,7500, 7,5000)	(5,1250, 6,8750, 8,3750)	(6,2500, 9,3750, 0,0070)	(3,7500, 5,7500, 7,5000)	(5,5000, 7,3750, 8,7500)	(6,5000, 8,2500, 9,2500)	(5,3750, 7,1250, 8,5000)	(5,0000, 7,0000, 8,7500)	(3,1250, 4,6250, 6,2500)	(2,7500, 4,7500, 6,6250)	(4,2500, 5,2500, 7,6250)	(3,3750, 5,2500, 7,0000)	(6,0000, 7,7500, 9,2500)
TG9	(3,6250, 5,2500, 6,7500)	(6,3750, 7,7500, 8,6250)	(8,2500, 9,5000, 9,8750)	(5,5000, 7,2500, 8,7500)	(2,7500, 4,2500, 5,8750)	(3,0000, 4,6250, 6,3750)	(2,8750, 4,7500, 6,7500)	(3,0000, 4,7500, 6,6250)	(7,2500, 8,7500, 9,6250)	(2,5000, 3,7500, 5,2500)	(2,3750, 4,2500, 6,1250)	(3,1250, 5,0000, 7,0000)	(2,8750, 4,5000, 6,1250)	(3,7500, 5,7500, 7,6250)
TG10	(7,1250, 8,3750, 8,8750)	(3,1250, 4,8750, 6,6250)	(5,2500, 7,2500, 9,0000)	(8,7500, 9,8750, 10,0000)	(4,6250, 6,2500, 7,7500)	(8,2500, 9,5000, 9,8750)	(6,0000, 7,7500, 9,1250)	(6,5000, 8,3750, 9,3750)	(4,7500, 6,6250, 8,1250)	(2,8750, 4,7500, 6,7500)	(3,2500, 5,0000, 6,8750)	(6,5000, 8,1250, 9,1250)	(4,2500, 6,1250, 7,8750)	(5,2500, 7,2500, 8,7500)
TG11	(7,7500, 9,0000, 9,3750)	(2,6250, 3,8750, 5,3750)	(3,1250, 5,0000, 7,0000)	(3,2500, 4,8750, 6,7500)	(2,3750, 3,8750, 5,6250)	(3,1250, 4,7500, 6,2500)	(2,5000, 4,1250, 5,8750)	(2,6250, 4,3750, 6,1250)	(3,3750, 5,1250, 8,7500)	(2,3750, 4,0000, 5,8750)	(5,2500, 7,1250, 8,6250)	(6,5000, 8,1250, 9,1250)	(3,1250, 6,6250, 6,6250)	(3,6250, 5,5000, 7,2500)
TG12	(6,3750, 7,7500, 8,6250)	(7,0000, 8,7500, 9,7500)	(5,5000, 7,5000, 9,1250)	(6,2500, 8,1250, 9,3750)	(8,2500, 9,5000, 9,8750)	(7,2500, 8,8750, 9,7500)	(7,2500, 9,0000, 9,8750)	(8,0000, 9,5000, 10,0000)	(5,2500, 7,1250, 8,7500)	(3,1250, 5,0000, 7,0000)	(3,7500, 5,7500, 7,6250)	(4,8750, 6,7500, 8,3750)	(2,7500, 4,6250, 6,3750)	(5,7500, 7,6250, 8,8750)
TG13	(3,6250, 5,5000, 7,2500)	(0,8750, 2,3750, 4,2500)	(1,1250, 2,8750, 4,7500)	(1,8750, 3,6250, 5,5000)	(0,8750, 2,3750, 4,2500)	(1,2500, 2,7500, 4,5000)	(1,7500, 3,3750, 5,2500)	(1,3750, 3,0000, 5,0000)	(2,0000, 3,7500, 5,7500)	(4,8750, 6,6250, 8,2500)	(2,7500, 4,7500, 6,6250)	(5,2500, 7,0000, 8,3750)	(4,5000, 6,5000, 8,1250)	(3,1250, 5,0000, 6,8750)
TG14	(5,1250, 6,7500, 8,2500)	(6,7500, 8,5000, 9,5000)	(4,3750, 6,1250, 7,7500)	(5,2500, 6,7500, 8,1250)	(5,1250, 6,8750, 8,2500)	(5,1250, 6,8750, 8,2500)	(5,3750, 7,2500, 8,6250)	(5,8750, 7,6250, 8,8750)	(4,0000, 5,5000, 7,1250)	(1,7500, 3,3750, 5,2500)	(4,0000, 6,0000, 7,8750)	(3,8750, 4,7500, 7,3750)	(2,7500, 5,7500, 6,6250)	(8,0000, 9,5000, 10,0000)

Ek 6. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

	Mİ1	Mİ2	Mİ3	Mİ4	Mİ5	Mİ6	Mİ7	Mİ8	Mİ9	Mİ10	Mİ11	Mİ12	Mİ13	Mİ14
TG1	(0,1895, 0,3061, 0,4154)	(0,1578, 0,2971, 0,4457)	(0,2902, 0,4688, 0,6251)	(0,1475, 0,2540, 0,3770)	(0,2474, 0,3888, 0,5124)	(0,2707, 0,3842, 0,4890)	(0,3606, 0,4934, 0,5978)	(0,4054, 0,5405, 0,6370)	(0,2258, 0,4041, 0,5823)	(0,1502, 0,2588, 0,3840)	(0,2193, 0,3225, 0,4128)	(0,2844, 0,4050, 0,5084)	(0,2224, 0,3459, 0,4694)	(0,2560, 0,3796, 0,4855)
TG2	(0,2113, 0,3061, 0,4008)	(0,1671, 0,2971, 0,4364)	(0,3125, 0,4800, 0,6362)	(0,1639, 0,2704, 0,3934)	(0,1590, 0,2739, 0,3976)	(0,1921, 0,3056, 0,4279)	(0,2942, 0,4365, 0,5599)	(0,3089, 0,4633, 0,5984)	(0,3565, 0,5467, 0,7131)	(0,1169, 0,2337, 0,3673)	(0,1935, 0,2967, 0,3870)	(0,3102, 0,4481, 0,5687)	(0,1729, 0,2965, 0,4283)	(0,3001, 0,4414, 0,5562)
TG3	(0,2405, 0,3425, 0,4373)	(0,3900, 0,4921, 0,5664)	(0,4130, 0,5693, 0,7032)	(0,2295, 0,3278, 0,4425)	(0,1502, 0,2827, 0,4241)	(0,1397, 0,2532, 0,3842)	(0,2467, 0,3796, 0,5219)	(0,1158, 0,2413, 0,3861)	(0,4397, 0,5942, 0,7131)	(0,0918, 0,1836, 0,3005)	(0,1548, 0,2580, 0,3548)	(0,1982, 0,3274, 0,4567)	(0,2059, 0,3212, 0,4447)	(0,3090, 0,4237, 0,5208)
TG4	(0,2478, 0,3644, 0,4737)	(0,3807, 0,5107, 0,6314)	(0,3349, 0,5134, 0,6809)	(0,2868, 0,4097, 0,5163)	(0,4241, 0,5390, 0,6185)	(0,4366, 0,5588, 0,6287)	(0,3416, 0,4839, 0,5978)	(0,3571, 0,5019, 0,6274)	(0,3209, 0,4873, 0,6537)	(0,2588, 0,3840, 0,5092)	(0,3096, 0,4064, 0,4709)	(0,3964, 0,5256, 0,6290)	(0,1977, 0,3294, 0,4530)	(0,3266, 0,4502, 0,5562)
TG5	(0,1822, 0,2769, 0,3644)	(0,1300, 0,2228, 0,3435)	(0,1674, 0,3125, 0,4576)	(0,1639, 0,2704, 0,3852)	(0,1414, 0,2120, 0,3092)	(0,1397, 0,2445, 0,3580)	(0,0949, 0,2088, 0,3416)	(0,2027, 0,3475, 0,4923)	(0,2377, 0,3922, 0,5586)	(0,1669, 0,2588, 0,3756)	(0,1871, 0,2774, 0,3612)	(0,2757, 0,4050, 0,5256)	(0,5600, 0,6341, 0,6506)	(0,2207, 0,3443, 0,4679)
TG6	(0,3717, 0,4446, 0,4956)	(0,5200, 0,6407, 0,7056)	(0,5134, 0,6697, 0,7813)	(0,4589, 0,5736, 0,6392)	(0,5478, 0,6538, 0,6980)	(0,5414, 0,6461, 0,6898)	(0,5314, 0,6547, 0,7307)	(0,6950, 0,7722, 0,8676)	(0,5229, 0,7131, 0,8676)	(0,1836, 0,3005, 0,4340)	(0,2451, 0,3419, 0,4257)	(0,3447, 0,4826, 0,5946)	(0,2471, 0,3788, 0,5024)	(0,4061, 0,5297, 0,6091)
TG7	(0,2551, 0,3498, 0,4227)	(0,2136, 0,3528, 0,4921)	(0,7813, 0,8818, 0,8929)	(0,2786, 0,4015, 0,5081)	(0,1679, 0,2651, 0,3799)	(0,2008, 0,3318, 0,4628)	(0,2562, 0,3890, 0,5314)	(0,2510, 0,3861, 0,5309)	(0,6418, 0,7963, 0,8795)	(0,2087, 0,3005, 0,4006)	(0,1226, 0,2193, 0,3225)	(0,2844, 0,4136, 0,5256)	(0,2306, 0,3624, 0,4859)	(0,3001, 0,4414, 0,5562)
TG8	(0,3352, 0,4446, 0,5174)	(0,2878, 0,4271, 0,5571)	(0,4576, 0,6139, 0,7478)	(0,4097, 0,5327, 0,6146)	(0,2651, 0,4064, 0,5301)	(0,3842, 0,5152, 0,6112)	(0,4934, 0,6263, 0,7022)	(0,4150, 0,5502, 0,6564)	(0,4754, 0,6655, 0,8319)	(0,2087, 0,3088, 0,4173)	(0,1419, 0,2451, 0,3419)	(0,2930, 0,4136, 0,5256)	(0,2224, 0,3459, 0,4612)	(0,4237, 0,5473, 0,6533)
TG9	(0,2113, 0,3061, 0,3935)	(0,4735, 0,5757, 0,6407)	(0,7367, 0,8483, 0,8818)	(0,3606, 0,4753, 0,5736)	(0,1944, 0,3004, 0,4153)	(0,2096, 0,3231, 0,4453)	(0,2182, 0,3606, 0,5124)	(0,2317, 0,3668, 0,5116)	(0,6893, 0,8319, 0,9151)	(0,1669, 0,2504, 0,3506)	(0,1226, 0,2193, 0,3161)	(0,2154, 0,3447, 0,4826)	(0,1894, 0,2965, 0,4035)	(0,2648, 0,4061, 0,5385)
TG10	(0,4154, 0,4883, 0,5174)	(0,2321, 0,3621, 0,4921)	(0,4688, 0,6474, 0,8037)	(0,5736, 0,6474, 0,6556)	(0,3269, 0,4418, 0,5478)	(0,5763, 0,6636, 0,6898)	(0,4555, 0,5883, 0,6927)	(0,5019, 0,6467, 0,7239)	(0,4516, 0,6299, 0,7725)	(0,1920, 0,3172, 0,4507)	(0,1677, 0,2580, 0,3548)	(0,4481, 0,5601, 0,6290)	(0,2800, 0,4035, 0,5188)	(0,3708, 0,5120, 0,6180)
TG11	(0,4518, 0,5247, 0,5466)	(0,1950, 0,2878, 0,3992)	(0,2790, 0,4465, 0,6251)	(0,2131, 0,3196, 0,4425)	(0,1679, 0,2739, 0,3976)	(0,2183, 0,3318, 0,4366)	(0,1898, 0,3131, 0,4460)	(0,2027, 0,3378, 0,4730)	(0,3209, 0,4873, 0,6418)	(0,1586, 0,2671, 0,3923)	(0,2709, 0,3677, 0,4451)	(0,4481, 0,5601, 0,6290)	(0,2059, 0,3212, 0,4365)	(0,2560, 0,3884, 0,5120)
TG12	(0,3717, 0,4518, 0,5029)	(0,5200, 0,6499, 0,7242)	(0,4911, 0,6697, 0,8148)	(0,4097, 0,5327, 0,6146)	(0,5831, 0,6715, 0,6980)	(0,5064, 0,6200, 0,6811)	(0,5504, 0,6832, 0,7496)	(0,6177, 0,7336, 0,7722)	(0,4992, 0,6774, 0,8319)	(0,2087, 0,3339, 0,4674)	(0,1935, 0,2967, 0,3935)	(0,3361, 0,4653, 0,5773)	(0,1812, 0,3047, 0,4200)	(0,4061, 0,5385, 0,6268)
TG13	(0,2113, 0,3207, 0,4227)	(0,0650, 0,1764, 0,3157)	(0,1005, 0,2567, 0,4242)	(0,1229, 0,2377, 0,3606)	(0,0618, 0,1679, 0,3004)	(0,0873, 0,1921, 0,3143)	(0,1328, 0,2562, 0,3985)	(0,1062, 0,2317, 0,3861)	(0,1902, 0,3565, 0,5467)	(0,3255, 0,4424, 0,5509)	(0,1419, 0,2451, 0,3419)	(0,3619, 0,4826, 0,5773)	(0,2965, 0,4283, 0,5353)	(0,2207, 0,3531, 0,4855)
TG14	(0,2988, 0,3935, 0,4810)	(0,5014, 0,6314, 0,7056)	(0,3907, 0,5469, 0,6920)	(0,3360, 0,4425, 0,5327)	(0,3622, 0,4859, 0,5831)	(0,3580, 0,4802, 0,5763)	(0,4080, 0,5504, 0,6547)	(0,4537, 0,5888, 0,6853)	(0,3803, 0,5229, 0,6774)	(0,1169, 0,2254, 0,3506)	(0,2064, 0,3096, 0,4064)	(0,2671, 0,3964, 0,5084)	(0,1812, 0,3130, 0,4365)	(0,5650, 0,6709, 0,7062)

Ek 7. Pozitif İdeal Çözümünden Uzaklıklar

	Mİ1	Mİ2	Mİ3	Mİ4	Mİ5	Mİ6	Mİ7	Mİ8	Mİ9	Mİ10	Mİ11	Mİ12	Mİ13	Mİ14	Toplam
TG1	0,693	0,700	0,614	0,738	0,615	0,613	0,510	0,465	0,665	0,739	0,676	0,595	0,651	0,621	8,895
TG2	0,688	0,699	0,600	0,721	0,721	0,688	0,567	0,542	0,552	0,765	0,695	0,554	0,699	0,563	9,055
TG3	0,654	0,507	0,526	0,662	0,714	0,740	0,616	0,753	0,509	0,811	0,740	0,671	0,673	0,575	9,148
TG4	0,633	0,487	0,573	0,590	0,463	0,448	0,521	0,501	0,593	0,621	0,595	0,476	0,671	0,549	7,722
TG5	0,720	0,765	0,738	0,724	0,775	0,750	0,785	0,652	0,669	0,735	0,719	0,594	0,367	0,653	9,647
TG6	0,551	0,366	0,445	0,431	0,352	0,359	0,350	0,232	0,416	0,699	0,656	0,521	0,621	0,476	6,473
TG7	0,650	0,646	0,269	0,599	0,726	0,666	0,606	0,609	0,347	0,698	0,776	0,587	0,638	0,563	8,380
TG8	0,559	0,573	0,488	0,472	0,597	0,489	0,383	0,453	0,453	0,691	0,754	0,584	0,653	0,451	7,598
TG9	0,690	0,424	0,296	0,522	0,693	0,671	0,636	0,629	0,313	0,745	0,778	0,651	0,699	0,595	8,342
TG10	0,512	0,635	0,463	0,356	0,554	0,339	0,414	0,367	0,483	0,685	0,735	0,443	0,594	0,494	7,076
TG11	0,477	0,701	0,624	0,671	0,717	0,667	0,682	0,661	0,596	0,731	0,631	0,443	0,675	0,611	8,887
TG12	0,546	0,358	0,447	0,472	0,331	0,385	0,328	0,277	0,441	0,669	0,701	0,535	0,695	0,468	6,652
TG13	0,677	0,815	0,784	0,758	0,824	0,801	0,737	0,760	0,698	0,564	0,754	0,518	0,575	0,645	9,910
TG14	0,601	0,377	0,542	0,555	0,515	0,521	0,456	0,417	0,557	0,773	0,687	0,605	0,688	0,337	7,631

Ek 8. Negatif İdeal Çözümünden Uzaklıklar

	Mİ1	Mİ2	Mİ3	Mİ4	Mİ5	Mİ6	Mİ7	Mİ8	Mİ9	Mİ10	Mİ11	Mİ12	Mİ13	Mİ14	Toplam
TG1	0,328	0,333	0,415	0,285	0,411	0,405	0,510	0,554	0,369	0,284	0,339	0,423	0,309	0,398	5,363
TG2	0,326	0,330	0,426	0,301	0,303	0,334	0,458	0,488	0,479	0,263	0,325	0,470	0,300	0,460	5,264
TG3	0,361	0,505	0,495	0,356	0,317	0,287	0,412	0,280	0,509	0,212	0,278	0,356	0,341	0,441	5,150
TG4	0,386	0,535	0,456	0,429	0,551	0,565	0,502	0,525	0,435	0,401	0,415	0,543	0,468	0,469	6,680
TG5	0,294	0,256	0,288	0,297	0,239	0,272	0,245	0,379	0,358	0,283	0,294	0,429	0,293	0,371	4,300
TG6	0,455	0,648	0,573	0,581	0,658	0,650	0,666	0,772	0,614	0,326	0,357	0,501	0,608	0,539	7,947
TG7	0,361	0,383	0,736	0,421	0,294	0,360	0,422	0,419	0,669	0,316	0,244	0,434	0,399	0,460	5,918
TG8	0,454	0,453	0,533	0,543	0,429	0,529	0,634	0,568	0,579	0,326	0,265	0,436	0,510	0,568	6,826
TG9	0,323	0,586	0,711	0,494	0,327	0,351	0,396	0,400	0,702	0,269	0,241	0,376	0,459	0,432	6,069
TG10	0,492	0,390	0,564	0,648	0,463	0,667	0,607	0,652	0,543	0,340	0,280	0,569	0,583	0,527	7,325
TG11	0,526	0,316	0,407	0,350	0,305	0,352	0,344	0,367	0,430	0,292	0,381	0,569	0,341	0,413	5,393
TG12	0,460	0,658	0,579	0,543	0,675	0,627	0,689	0,735	0,587	0,356	0,316	0,486	0,597	0,549	7,857
TG13	0,341	0,219	0,252	0,268	0,209	0,226	0,294	0,276	0,337	0,453	0,265	0,498	0,260	0,382	4,280
TG14	0,411	0,639	0,480	0,459	0,502	0,496	0,565	0,603	0,464	0,252	0,329	0,416	0,466	0,672	6,757

Ek 9. Yakınlık Katsayıları

Teknik Gereksinimler	Yakınlık Katsayısı (CC_i^*)
TG1	0,375
TG2	0,368
TG3	0,362
TG4	0,461
TG5	0,307
TG6	0,550
TG7	0,420
TG8	0,473
TG9	0,427
TG10	0,507
TG11	0,377
TG12	0,540
TG13	0,300
TG14	0,468

ÖZGEÇMİŞ

Sümeyye ÇEBİ KUDAL, 2010 yılında Yılmaz Çebi İlköğretim Okulu'nu; 2014 yılında Rize TOBB Fen Lisesi'ni; 2020 yılında da Hacettepe Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü lisans programını bitirdi. 2021 yılında Hacettepe Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 Şubat ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı'na yatay geçiş yaptı. 2021 Aralık ayında Trabzon Karadeniz Teknik Üniversitesi- İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi kadrosuna atanmış ve halen bu göreve devam etmektedir.

ÇEBİ KUDAL, evli olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.