
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

# ENDÜSTRİYEL TASARIM SÜRECİNDE ÜRETKEN TASARIM YAKLAŞIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Saygın YÜCEKULE**

**DOKTORA TEZİ**
**ENDÜSTRİYEL TASARIM ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2025**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Saygın YÜCEKULE

25/07/2025

# ENDÜSTRİYEL TASARIM SÜRECİNDE ÜRETKEN TASARIM YAKLAŞIMININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Saygın YÜCEKULE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2025

## ÖZET

Üretken tasarım, tasarımcı tarafından tanımlanan malzeme özellikleri, üretim yöntemleri, uygulanan yükler ve tasarlanacak nesnenin desteklendiği veya sabitlendiği noktalar gibi sınırlamalar doğrultusunda, algoritmalar aracılığıyla kısa sürede çok sayıda optimize edilmiş tasarım alternatifinin oluşturulmasına olanak tanıyan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, sınırlı zaman içinde geleneksel süreçlerle elde edilmesi zor olan biçimsel çeşitliliği sağlayarak, özellikle organik formlara dayalı yenilikçi çözümler sunar ve endüstriyel tasarım süreçlerine farklı bir boyut kazandırır. Çalışma kapsamında, tasarım süreçlerine entegrasyonu gün geçtikçe yaygınlaşan üretken tasarımın, endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkileri ve farklı ürün yapılarına göre uygulanabilirliği çok yönlü biçimde ele alınmıştır. Bu doğrultuda, nitel araştırma yaklaşımının ağırlıkta olduğu karma araştırma yöntemine dayalı, uygulamalı bir araştırma süreci kurgulanmıştır. Geleneksel ve üretken tasarım yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak uygulandığı araştırmada, önce farklı yapısal özelliklere sahip ürünler üzerinden uygulamalar gerçekleştirilmiş, ardından aynı ürün türü temel alınarak üç farklı proje tanımıyla tasarım süreçleri yürütülmüştür. Katılımcı gözlemleri, görüşmeler, süreç tutanakları ve üç boyutlu dijital model çıktıları, nitel analiz teknikleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, üretken tasarımın hangi ürün yapılarıyla daha etkili biçimde örtüştüğünü belirlemeye yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) temelli, genellenebilir bir karar modeli önerilmiştir. Bu modele ek olarak geliştirilen uygulama kılavuzu ise tasarımcıların süreç boyunca yönlendirici kararlar alabilmesini destekleyen bir araç işlevi görmektedir. Yapılan analizler, üretken tasarımın her ürün türü ve yapısı üzerinde benzer düzeyde avantaj sunmadığını ortaya koymuştur. Bulgular, üretken tasarımın zaman yönetimi, biçimsel alternatiflerin keşfi ve tasarım çeşitliliği açısından avantajlar sunduğunu; buna karşılık üretime uygunluk ve teknik bilgi gereksinimi gibi açılardan belirli sınırlılıklar taşıdığını göstermektedir. Sonuç olarak çalışma, yalnızca üretken tasarımın süreç üzerindeki etkilerini ortaya koymakla kalmayıp, ürün türlerine göre farklılaşan etkileşim potansiyelini de görünür kılan, uyarlanabilir bir sınıflandırma modeli ve tasarımcılar için yol gösterici bir uygulama kılavuzu sunmaktadır.

| | | |
|---|---|---|
| Bilim Kodu | : | 81010 |
| Anahtar Kelimeler | : | Üretken tasarım, endüstriyel tasarım süreci, ürün geliştirme süreci, tasarım sürecinde optimizasyon, dijitalleşme |
| Sayfa Adedi | : | 214 |
| Danışman | : | Prof. Dr. Hüseyin Güçlü YAVUZCAN |

# INVESTIGATION THE EFFECT OF GENERATIVE DESIGN APPROACH IN THE INDUSTRIAL DESIGN PROCESS

(Ph. D. Thesis)

Saygın YÜCEKULE

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2025

## ABSTRACT

Generative design is an approach that enables the creation of numerous optimized design alternatives in a short time through algorithms, based on constraints such as material properties, manufacturing methods, applied loads, and the support or fixation points of the object to be designed, as defined by the designer. This approach provides a level of formal diversity that is difficult to achieve through conventional processes within a limited time, offering innovative solutions particularly based on organic forms and adding a new dimension to industrial design processes. Within the scope of the study, the effects of generative design—which is increasingly integrated into design processes–on the industrial design process, as well as its applicability to different product structures, were examined from a multifaceted perspective. Accordingly, an applied research process was designed based on mixed research method in which the qualitative approach is predominant. In the study, where conventional and generative design methods were comparatively implemented, initial applications were conducted on products with different structural characteristics, followed by the execution of design processes for a single product type using three distinct project definitions. Participant observations, interviews, process logs, and three-dimensional digital model outputs were evaluated using qualitative analysis techniques. Additionally, a generalizable decision-making model based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) was proposed to determine which product structures align more effectively with generative design. In addition to this model, practical guideline was developed to support designers in making informed decisions throughout the process. The analyses revealed that generative design does not offer the same level of advantage across all product types and structures. The findings indicate that generative design provides advantages in terms of time management, the exploration of formal alternatives, and design diversity; however, it also presents certain limitations regarding manufacturability and the requirement for technical knowledge. As a result, the study not only reveals the effects of generative design on the design process but also presents an adaptable classification model and a practical guideline for designers that makes visible the varying interaction potential across product types.

| | | |
|---|---|---|
| Science Code | : | 81010 |
| Key Words | : | Generative design, industrial design process, product development process, optimization in the design process, digitalization |
| Page Number | : | 214 |
| Supervisor | : | Prof. Dr. Hüseyin Güçlü YAVUZCAN |

# TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yanımda olan, güven veren ve anlayış dolu yaklaşımıyla, bilgi birikimini ve deneyimini benimle paylaşarak, akademik yolculuğumdaki en önemli destekçim olan danışmanım Prof. Dr. H. Güçlü YAVUZCAN hocama içtenlikle teşekkür ederim. Hocam, tez sürecindeki desteğinin yanı sıra, ulusal ve uluslararası akademik toplantılara katılmamı, yeni araştırma çevreleriyle tanışmamı ve farklı bakış açıları kazanmamı sağlayarak ufkumu genişletmiş ve akademik hayatıma unutulmaz katkılar sunmuştur.

Tez izleme komitemde yer alan Prof. Dr. Aydın ŞIK hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Aydın hocam, her zaman gerçek bir eğitimci tutumuyla yaklaşmış; detaylara verdiği önem, yol göstericiliği ve bilgi dolu katkılarıyla çalışmalarımda ilerlememi sağlamıştır. Akademik yolculuğum boyunca kapısını her daim çalabildiğim, anlayışla ve dikkatle dinleyen, yönlendirmeleriyle tezimin daha güçlü bir zemine oturmasına katkı sunan değerli hocama tüm emekleri için teşekkür ederim.

Tez izleme komitemde yer alan Doç. Dr. Seçil TOROS hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Seçil hocam, özellikle araştırma yöntemleri konusunda beni sürekli sorgulamaya yönelterek, çalışmamın bilimsel temellerini güçlendirmiş; ayrıntılı ve derinlikli düşünmem için yaptığı yönlendirmelerle, akademik gelişimime çok önemli katkılar sağlamıştır. Tez süreci boyunca gösterdiği yapıcı tavır ve teşvik edici desteğiyle bana güç veren hocama tüm emekleri için teşekkür ederim.

Kıymetli katkıları ve yapıcı yönlendirmeleri ile çalışmamın bilimsel niteliğini güçlendiren ve akademik gelişimime katkı sağlayan tez jüri üyelerim Prof. Dr. Adnan AKKURT ve Dr. Öğr. Üyesi Sedef SÜNER PLA CERDA hocalarıma gönülden teşekkür ederim.

Her adımımda bana destek veren, fedakarlıklarıyla ve varlıklarıyla hayatıma anlam katan, ailenin koşulsuz sevgisinin ne kadar büyük bir şans olduğunu bana daima hissettiren değerli annem Leyla YÜCEL'e, ablam Gözde YÜCEKULE GÜNGÖR'e, kardeşim Özge YÜCEKULE KOÇ'a, yeğenlerim Zeynep GÜNGÖR ve Demir Erdem KOÇ'a içtenlikle teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimimin ilk yılında kaybettiğim babam Eyüp Han YÜCEKULE'ye, bana öğrettiği her şey ve hayata karşı duruşumu şekillendiren tüm öğütleri için minnettarım. Teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

ÖZET ..... iv

ABSTRACT ..... v

TEŞEKKÜR ..... vi

İÇİNDEKİLER ..... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ..... xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... xiii

RESİMLERİN LİSTESİ ..... xv

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... xvi

1. GİRİŞ ..... 1

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE ..... 7

2.1. Endüstriyel Tasarım ..... 7

2.2. Endüstriyel Tasarım Süreci ..... 10

2.3. Ürün Geliştirme Süreçleri ..... 21

2.3.1.Ürün geliştirme süreçlerine ilişkin modeller ..... 22

2.3.2. Endüstriyel tasarımın ürün geliştirme sürecindeki rolü ..... 29

2.4. Üretken Tasarımın Kavramsal Çerçevesi ve Tanımı ..... 32

2.4.1. Üretken tasarım süreci ..... 38

2.4.2. Üretken tasarımın sınırları, fırsatları ve uygulama örnekleri ..... 42

2.5. Kriter Geliştirme Sürecine Temel Oluşturan Sınıflandırmalar ..... 49

2.5.1. Biçim temelli sınıflandırma örneği ..... 50

2.5.2. Kullanıcı türü ve kullanım amacına dayalı ürün sınıflandırması ..... 53

2.5.3. Endüstri ürünleri tasarımında strüktür türlerine göre sınıflandırma ..... 54

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ ..... 59

**Sayfa**

3.1. Araştırmanın Amacı ve Araştırma Soruları ..... 59

3.2. Araştırma Yaklaşımı ..... 60

3.3. Araştırma Deseni ..... 61

3.3.1. Genel tanım ve araştırma kurgusu ..... 61

3.3.2. Araştırma süreci ve aşamalar ..... 61

3.3.3. Ön hazırlık süreci ve ürün sınıflandırma ..... 63

3.4. AHP Yöntemi ile Ürün Yapılarının Değerlendirilmesi ..... 70

3.4.1. Amacın tanımlanması ve hiyerarşik modelin oluşturulması ..... 71

3.4.2. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ..... 72

3.4.3. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması ..... 76

3.4.4. Tutarlılık oranlarının hesaplanması ..... 78

3.4.5. Alternatiflerin alt kriterlere göre puanlanması ve nihai AHP hesapları ..... 81

3.4.6. AHP sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması ..... 85

3.5. Pilot Uygulama ..... 86

3.5.1. Pilot uygulamanın amacı ve kapsamı ..... 86

3.5.2. Katılımcı seçimi ve gerekçeler ..... 88

3.5.3. Pilot uygulama tasarımı ve uygulama süreci ..... 89

3.5.4. Pilot uygulamada kullanılan veri toplama araçları ..... 92

3.5.5. Pilot uygulamada elde edilen nitel verilerin analizi ..... 94

3.6. Ana Çalışma ..... 95

3.6.1. Ana çalışmanın amacı ..... 95

3.6.2. Pilot uygulamanın ana çalışmanın kurgusuna etkisi ..... 96

3.6.3. Ana çalışma için katılımcı seçimi ve gerekçeler ..... 97

3.6.4. Geleneksel tasarım süreciyle yürütülen uygulama akışının gerekçeleri ..... 98

**Sayfa**

3.6.5. Geleneksel tasarım süreciyle yürütülen uygulama akışının gerekçeleri ... 101

3.6.6. Ana çalışmanın tasarımı ve uygulama süreci ..... 104

3.6.7. Ana çalışmada kullanılan veri toplama araçları ..... 107

3.6.8. Ana çalışmada veri analizi..... 107

4. BULGULAR ..... 109

4.1. AHP Karar Modeli Sonuçları ..... 109

4.1.1. Kriter ağırlıkları ve alternatif sıralamaları ..... 110

4.1.2. AHP'ye yönelik katılımcı görüşleri ve geçerlik değerlendirmesi..... 111

4.2. Pilot Uygulama Bulguları ..... 114

4.2.1. Süreç gözlemleri ve uygulama koşulları ..... 114

4.2.2. Katılımcı görüşleri ve betimsel analiz bulguları ..... 115

4.2.3. 3B Tasarım çıktılarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi..... 118

4.3. Ana Uygulama Bulguları ..... 127

4.3.1. Süreç gözlemleri ve katılımcıların yaklaşımları ..... 128

4.3.2. Katılımcı görüşleri ve tematik analiz bulguları..... 136

4.3.3. Ana uygulama kapsamındaki 3B tasarım çıktılarının değerlendirilmesi .. 154

4.4. Ürün Yapılarının Sınıflandırılması ve AHP üzerinden değerlendirilmesi ..... 175

4.5. AHP Yöntemine Dayalı Üretken Tasarım Uygulama Kılavuzu ..... 178

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 183

KAYNAKLAR ..... 191

EKLER..... 199

EK-1. Pilot uygulama görüşme soruları..... 200

EK-2. Ana uygulama görüşme soruları ..... 202

EK-3. Ana uygulamada alternatif sonuç ve süreç ilişkisine yönelik çizelge..... 210

**Sayfa**

EK-4. Geometri tanımlama ve iterasyon sürecine yönelik görseller ..... 212

EK-5. Etik komisyonu onay belgesi ..... 213

ÖZGEÇMİŞ ..... 214

# ÇİZELGELERİN LİSTESİ

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 2.1. Agudelo ve diğerlerinin önerdiği biçim sınıflandırması ..... 52

Çizelge 2.1. Tüketici ürünleri türleri ..... 53

Çizelge 3.1. Saaty'nin temel ölçek tablosu ..... 73

Çizelge 3.2. Ana kriterler arası karşılaştırma matrisi ..... 74

Çizelge 3.3. Strüktür türleri arası karşılaştırma matrisi ..... 74

Çizelge 3.4. Bileşen sayısına ilişkin karşılaştırma matrisi ..... 76

Çizelge 3.5. 1-9 ölçeğine göre uygunluk düzeyi puanları ..... 82

Çizelge 3.6. Kaşık alternatifi için nihai skor hesaplaması ..... 83

Çizelge 3.7. Sandalye alternatifi için nihai skor hesaplaması ..... 84

Çizelge 3.8. Elektrikli cezve alternatifi için nihai skor hesaplaması ..... 85

Çizelge 3.9. Pilot uygulama süreci ..... 90

Çizelge 3.10. Geleneksel tasarım uygulaması için literatüre dayalı karşılaştırmalı süreç matrisi ..... 99

Çizelge 3.11. Üretken tasarım uygulaması için literatüre dayalı karşılaştırmalı süreç matrisi ..... 102

Çizelge 3.12.Tasarım süreçlerinin karşılaştırılması ..... 105

Çizelge 4.1. Nihai AHP skorlarına ilişkin bütünleşik tablo ..... 111

Çizelge 4.2. Katılımcıların AHP modeli ve kriterlere ilişkin değerlendirmelerinin özeti ..... 112

Çizelge 4.3. Betimsel analize dayalı görüşme bulguları matrisi ..... 117

Çizelge 4.4. K1PU kaşık tasarımı karşılaştırması ..... 119

Çizelge 4.5. K2PU kaşık tasarımı karşılaştırması ..... 121

Çizelge 4.6. K1PU sandalye tasarımı karşılaştırması ..... 122

Çizelge 4.7. K2PU sandalye tasarımı karşılaştırması ..... 123

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 4.8. K1PU ve K2PU için elektrikli cezve tasarımı karşılaştırması ..... 124

Çizelge 4.9. K2PU tarafından yapılan deneme kabuk strüktür denemeleri ..... 126

Çizelge 4.10. Gözlem ve süreç tutanaklarına dayalı geleneksel ve üretken tasarım süreçlerine ilişkin tema karşılaştırması ..... 131

Çizelge 4.11. Oturum 1 karşılaştırma çizelgesi 1 ..... 155

Çizelge 4.12. Oturum 1 karşılaştırma çizelgesi 2 ..... 156

Çizelge 4.13. Oturum 2 karşılaştırma çizelgesi 1 ..... 158

Çizelge 4.14. Oturum 2 kabuk strüktür karşılaştırma çizelgesi ..... 159

Çizelge 4.15. Oturum 2 karşılaştırma çizelgesi 2 ..... 160

Çizelge 4.16. Oturum 2 kabuk strüktür karşılaştırma çizelgesi 2 ..... 161

Çizelge 4.17. Oturum 3 karşılaştırma çizelgesi 1 ..... 163

Çizelge 4.18. Oturum 3 karşılaştırma çizelgesi 2 ..... 164

Çizelge 4.19. Üç oturumun karşılaştırılmasına ilişkin çizelge ..... 165

Çizelge 4.20. Biçimsel çeşitlilik temasının üç oturum kapsamında karşılaştırılması..... 167

Çizelge 4.21. Yapısal özellikler temasının üç oturum kapsamında karşılaştırılması ..... 168

Çizelge 4.22. Oturumların farklı temalara göre karşılaştırılmasına yönelik çizelge ..... 170

Çizelge 4.23. Zaman yönetimi üzerindeki etkiler ..... 173

Çizelge 4.24. Yaratıcılık ve yaratıcı sürece olan etkiler ..... 173

Çizelge 4.25. Teknik bilgi ve program hakimiyetine ilişkin etkiler ..... 175

Çizelge 4.26. Üretken tasarım süreci için tasarımcıya yönelik rehber sorular ..... 178

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 2.1. Cross tasarım süreci ..... 11

Şekil 2.2. Hirsch tasarım süreci ..... 12

Şekil 2.3. Çift elmas tasarım süreci modeli ..... 13

Şekil 2.4. Ulrich ve diğerlerinin endüstriyel tasarım süreç modeli ..... 15

Şekil 2.5. Self'in endüstriyel tasarım süreci ..... 18

Şekil 2.6. Sinclair ve diğerlerinin endüstriyel tasarım süreci modeli ..... 20

Şekil 2.7. Ürün geliştirmede kar zaman grafiği ..... 22

Şekil 2.8. Genel ürün geliştirme modeli ..... 24

Şekil 2.9. Ullman ürün geliştirme süreci modeli ..... 26

Şekil 2.10. PDMA Tasarım odaklı ürün geliştirme modeli ..... 28

Şekil 2.11. İki ürün türü için endüstriyel tasarım sürecinin zamanlaması ..... 30

Şekil 2.12. Hesaplamalı tasarım türleri ..... 34

Şekil 2.13. Üretken tasarım süreç akışı ..... 39

Şekil 2.14. Üretken tasarım metodunun akış diyagramı ..... 41

Şekil 2.15. Agudelo ve diğerlerinin önerdiği biçim sınıflandırmasının görsel ifadesi ..... 52

Şekil 2.16. Strüktür türleri ..... 55

Şekil 3.1. Araştırma süreci aşamaları ..... 62

Şekil 3.2. Ürün sınıflandırma genel çerçevesi ..... 68

Şekil 3.3. İki sürecin çift elmas modeli üzerinden karşılaştırılması ..... 103

Şekil 4.1. Gözlem ve süreç notlarına ilişkin bulguların süreçle ilişkilendirilmesi ..... 133

Şekil 4.2. Üretken tasarım sürecinde tasarımcı ve algoritmanın aktiflik durumu ..... 135

Şekil 4.3. Görüşme verilerine ilişkin temalar ..... 137

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 4.4. Yaratıcılığa etki teması ..... 138

Şekil 4.5. İki farklı sürecin karşılaştırılmasına ilişkin tema..... 142

Şekil 4.6. Ekip içi iletişime etki teması..... 147

Şekil 4.7. Tasarım eğitimi ve profesyonel tasarım pratiğine yansımalar teması ..... 150

Şekil 4.8. Üretken tasarımın ürün türlerine uyarlanabilirliğine ilişkin sınıflandırma modeli ..... 177

Şekil 4.9. Üretken tasarımın ön yönlendirme karar şeması ..... 181

# RESİMLERİN LİSTESİ

**Resim** **Sayfa**

Resim 2.1. Airbus için üretken tasarımla oluşturulan bölme örneği..... 43

Resim 2.2. Kartell için yapay zeka ile üretilen sandalyenin iterasyon süreci..... 44

Resim 2.3. Emniyet kemeri braketinin üretken tasarımla dönüşümü ..... 45

Resim 2.4. Emniyet kemeri braketi için alternatifler..... 45

Resim 2.5. Üretken tasarımın otomotiv sektöründe bir uygulama örneği ..... 46

Resim 2.6. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 1 ..... 47

Resim 2.7. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 2 ..... 48

Resim 2.8. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 3 ..... 48

Resim 2.9. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 4 ..... 49

Resim 3.1. Autodesk Fusion 360 yazılımının arayüzüne ilişkin görsel 1..... 64

Resim 3.2. Autodesk Fusion 360 yazılımının arayüzüne ilişkin görsel 2..... 65

Resim 3.3. Üretken tasarım geometri tanımları ve alternatif formlar..... 65

# SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **Gi** | İ kriterinin geometrik ortalaması |
| **kg** | Kilogram |
| **m** | Metre |
| **n** | Kriter sayısı |
| **Wi** | İ kriterinin göreli ağırlığı |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **AHP** | Analytic Hierarchy Process |
| **CAD** | Computer-Aided Design |
| **K1PU** | Pilot Uygulama- Katılımcı 1 |
| **K2PU** | Pilot Uygulama- Katılımcı 2 |
| **K1AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 1 |
| **K2AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 2 |
| **K3AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 3 |
| **K4AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 4 |
| **K5AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 5 |
| **K6AU** | Ana Uygulama- Katılımcı 6 |
| **PDMA** | Product Development and Management Association |
| **2B** | İki Boyutlu |
| **3B** | Üç Boyutlu |

# 1. GİRİŞ

Endüstriyel tasarım, dijital teknolojilerdeki ilerlemeler, hesaplamalı yaklaşımlar ve yapay zeka destekli tasarım araçlarının giderek yaygınlaşmasıyla birlikte önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir (Cheng, 2023). Bu dönüşüm, dijital araçların kullanım biçimleriyle sınırlı kalmamıştır. Problem çözme stratejilerine, ürün geliştirme süreçlerinin yapısına ve çok disiplinli geliştirme ekiplerinin içindeki etkileşim şekline de yansımaktadır. Endüstriyel tasarım, kullanıcı ihtiyaçları ve üretim teknolojileri arasındaki işlevsel konumuyla, yeni ürün geliştirme süreçlerinde yönlendirme etkisi olan bir rol üstlenmektedir (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Bu durum, geliştirme sürecine endüstriyel tasarımcıların dahil edilmesini kullanılabilirlik, kullanıcı memnuniyeti, daha ilgi çekici ürünler geliştirme ve rekabet avantajı sağlama açısından kritik hale getirmektedir (Thomas, 2015). Endüstriyel tasarımın geliştirme sürecindeki rolü, ürünün pazardaki konumunu ve kullanıcıyla kurduğu ilişkiyi ve dolayısıyla ürünün başarısını etkilemektedir.

Literatürde endüstriyel tasarımın, geliştirme ve tasarım süreçlerindeki etkilerini, tasarımcının rolleri üzerinden farklı bakış açılarıyla ele alan çalışmalar bulunmaktadır. Kim ve Lee (2016), endüstriyel tasarımcının görevini ürünün dış formu, ürün kullanıcı etkileşimi ve arayüz tasarımı ile tanımlarken, Eder (2013), tasarımcının estetik ve ergonomi bilgisinin etkisini vurgulamaktadır. Tasarımcının rolleri bu örneklerle sınırlı değildir. Çünkü tasarımın etkisi ve rolleri, içinde bulunduğu sürecin gerekliliklerine, hedeflere, geliştirme ekibinin dinamiklerine ve daha pek çok faktöre göre değişebilir. Örneğin Verganti (2009), tasarımın fiziksel işlevlere ek olarak sembolik ve kültürel anlamlar açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ifade eder. Bu görüşler endüstriyel tasarımın etkisini ve kapsamını anlamak açısından kıymetlidir. Zira tasarımın duygusal ve sembolik düzeyde de anlam taşıdığı birçok çalışmada vurgulanmaktadır (Heskett, 2002; Norman, 2004; Micheli, Jaina, Goffin, Lemke ve Verganti, 2012). Endüstriyel tasarım sürecinin yalnızca rasyonel veriye dayalı yürütülecek ya da tek boyutlu olarak değerlendirilecek kadar sınırlı olmadığı görülmektedir. Bu çok yönlü yaklaşım, endüstriyel tasarımın yeni ürün geliştirme süreçlerindeki konumunu da açıklar niteliktedir.

Endüstriyel tasarımcılar, geliştirme sürecinin yapısı gereği pek çok farklı disiplinle etkileşim içerisinde çalışmaktadır. Makine ve elektronik mühendisleri, grafik tasarımcılar, üreticiler, müşteriler ve diğer pek çok paydaşı kapsayan çeşitli alanlardan uzmanlarla çok disiplinli

ekiplerin bir parçası olarak çalışırlar (Tammisto, 2025). Kim ve Lee (2016) ise mühendislik ve endüstriyel tasarım disiplinlerinin bütünleşik şekilde çalışmasının başarılı ürün geliştirme açısından vazgeçilmez olduğunu vurgulamaktadır. Ancak mühendislik ve endüstriyel tasarımın önemli derecede farklı uygulamalara ve bazı noktalarda birbirine tamamen zıt yaklaşımlara sahip olduğu vurgulanmaktadır (Kim ve Lee, 2016). Mühendisliğin, endüstriyel tasarımcılarının oluşturduğu tasarım konseptlerinin uygulanmasında ve ürünün güvenilir, işlevsel ve üretilebilir olması için katkı sunduğuna dikkat çekilir (Pahl, Wallace, Blessing, 2007; Hubka ve Eder, 2012; Kim ve Lee, 2016). Başarılı ürün geliştirebilmek için dikkat çekilen mühendislik ve tasarım iş birliğinin sağlıklı şekilde yürütülebilmesi, önemli bir faktördür. Daha açık bir ifadeyle, yaklaşım farklılıkları ve endüstriyel tasarımın çok yönlü doğası, farklı disiplinlerden gelen uzmanların oluşturduğu ekiplerle yürütülen geliştirme süreçlerinde bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Micheli ve diğerleri (2012), geliştirme ekipleri içinde farklı disiplinlerden gelen uzmanların süreçteki hedeflerinin ve uzmanlıklarına ilişkin terminoloji farklılıklarının, iletişimde gerilim yaratabileceğini vurgulamaktadır. İletişim açısından yaşanan bu uyumsuzluk, geliştirme sürecinin verimliliğini etkileyebilmektedir. Dolayısıyla başarılı süreç yönetimi ve sağlıklı bir işleyiş için ekibin iş birliği içerisinde doğru şekilde iletişim kurması önemlidir.

Endüstriyel tasarımın dahil olduğu ürün geliştirme sürecine ilişkin üst üste yapılan ifade vurguları, ürün geliştirme süreci ve endüstriyel tasarım süreci arasındaki kapsam farklılığının bir göstergesi kabul edilebilir. Ulrich ve diğerleri (2020), endüstriyel tasarım sürecinin, ürün geliştirme sürecinin bir alt başlığı olduğunun unutulmaması gerektiğini vurgulamaktadır. Endüstriyel tasarımın, geliştirme sürecine konu olan ürünün türüne göre farklı aşamalarda ürün geliştirme sürecine dahil olabileceği belirtilmektedir (Ulrich, Epginger ve Yang, 2020). Endüstriyel tasarım sürecinin kapsamına ilişkin bu vurguyu yapan yazarlar, ürünleri teknoloji ve kullanıcı odaklı ürünler olarak ikiye ayırmış, kullanıcıyı merkezine alan ürünlerde endüstriyel tasarımın neredeyse tüm ürün geliştirme sürecinde aktif rol oynayacağını belirtmişlerdir (Ulrich, Epginger ve Yang, 2020). Teknoloji odaklı ürünlerde ise yenilik unsuru teknolojiye bağlı olduğu için endüstriyel tasarımın daha geç aşamalarda sürece dahil edilmesinin mümkün olacağını ortaya koymuşlardır. Endüstriyel tasarım süreç içerisindeki kapsamı ve dahil olması ve beklenen aşamalarda ürün türleri önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla ürün türünün, süreç temelli değerlendirmeler için ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Endüstriyel tasarımın süreçler ve nihai çıktılar üzerindeki çok yönlü etkisi, şirketlerin piyasa başarısını da etkilemektedir. Goffin ve Micheli (2010), iyi tasarımın nihai ürün performansına olan etkisine ek olarak, firmanın başarısına da katkı sunduğunu belirtmektedir. Özellikle ürün geliştirme süreçlerinde zamanın kritik bir rekabet unsuru haline geldiği vurgulanmaktadır. Schlattmann ve Seibel (2021), ürün geliştirme sürelerinin bazı sektörlerde ürün ömründen daha uzun hale geldiğine dikkat çekerken, bu bağlamda zaman kazandırıcı araç ve yöntemlerin gerekliliğine işaret etmektedir. Dean ve Loy (2020), bu açıdan tasarım disiplinin dijital dönüşümle birlikte yeniden yapılandığını ve ürün tasarımcılarının dijital üretim olanaklarına uyum sağlayarak daha hızlı çözümler sunabileceğini belirtmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, CAD tabanlı tasarım yazılımlarının gelişmiş analiz ve simülasyon yetenekleriyle donatılması önemli bir aşama olmuştur. Dean ve Loy (2020), geleneksel CAD sistemlerine entegre edilen topoloji optimizasyonu, sonlu elemanlar analizi ve simülasyon modellerinin, tasarımcılara çok daha kapsamlı bir tasarım değerlendirme süreci sunduğunu ifade eder. Üretken tasarım, bu dönüşümün en kritik eşiklerinden biri olarak öne çıkar. Özellikle Fusion 360 gibi yazılımlarda kullanılabilen üretken tasarım modülleri, parametrik ve veri odaklı geometri üretimi aracılığıyla tasarımcıların kısa sürede çok sayıda alternatif oluşturmasına imkan vermektedir.

Üretken tasarım, hesaplamalı sistemler aracılığıyla çok sayıda çözüm alternatifi üretebilen algoritma tabanlı bir yaklaşımdır (Chazsar ve Joyce, 2016; Caetano, Santos ve Leitao, 2020). Geleneksel tasarım yöntemleriyle erişilmesi oldukça zaman alabilecek organik ve karmaşık formları, daha kısa sürede keşfetmeye olanak tanımaktadır (Oxman, 2008). Shea, Aish ve Gourtovaia (2005), üretken tasarımı, mevcut hesaplama ve üretim teknolojilerinden yararlanarak, yeni ve üretilebilir tasarımlar geliştirmeyi amaçlayan süreçler olarak tanımlamaktadır. Autodesk (Url-1) ise üretken tasarımı, bazı durumlarda yapay zeka destekli olarak etkinleştirilen, mühendisler veya tasarımcılar tarafından belirlenen kriterler doğrultusunda algoritmalara dayalı çok sayıda alternatif çözümün üretildiği bir süreç olarak tanımlamaktadır.

Üretken tasarımın uygulama alanları ve örnekleri giderek çeşitlenmektedir. Örneğin Airbus, A320 tipi uçaklarda üretken tasarım aracılığıyla geliştirdiği kabin bölmesinde %45'lik bir hafifleme sağlayarak karbon salınımı ve yakıt tüketiminde ciddi oranda bir düşüş elde etmiştir (Url-2). General Motors ise benzer şekilde otomotiv parçalarında ağırlık ve dayanıma yönelik optimizasyonu üretken tasarımla gerçekleştirmiştir (Url-3). Özellikle

havacılık, uzay ve otomobil endüstrisinde uygulama örnekleri bulunan üretken tasarımın, endüstriyel ölçekteki somut etkileri bu örneklerle ortaya konmaktadır. Fakat üretken tasarım araçlarının tasarımcılar tarafından ne şekilde kullanıldığı, bu araçların tasarım sürecinin hangi aşamalarında devreye girdiği gibi konular literatürde hala netlik kazanmış değildir (Gyory, Song, Cagan, McComb, 2021; Saadi, 2024). Peckham, Hicks ve Goudswaard (2024), üretken araçların kullanımı yaygınlaştıkça, bu araçların tasarımcıların çalışma akışlarına nasıl katkı sunduğuna ilişkin bazı noktaların hala net olmadığını söylemişlerdir. Bu sebeple üretken tasarımın katkı sağladığı süreç aşamalarının ve ürün türlerinin daha sistematik biçimde ele alınması gerekmektedir. Buna ek olarak, son yıllarda üretken tasarım konusuna olan ilginin arttığı görülmektedir. 2017 yılında yalnızca 80 yayında geçen "generative design" teriminin, 2022 yılında 288 yayında geçtiği belirlenmiştir (Peckham, Hicks ve Goudswaard, 2024). Bu ilgi, üretken tasarımdaki gelişme potansiyelini de ortaya koymaktadır.

Bu tez üretken tasarım yaklaşımının endüstriyel tasarım süreçleri ve çıktıları üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma bireysel tasarım uygulamaları üzerinden üretken tasarımın potansiyel katkılarını ve sınırlılıklarını değerlendirmeyi, biçimsel ve yapısal ürün özelliklerine göre üretken tasarımın daha uygun olduğu ürün türlerini belirlemeye yönelik bir sınıflandırma modeli geliştirmeyi hedeflemektedir. Üretken tasarıma ilişkin birçok farklı araç bulunmaktadır. Bu çeşitlilik ve üretken araçların çoğuna erişimin sınırlı olması sebebiyle, bu çalışmadan elde edilen bulguların tüm üretken araçlara genellenebilmesi sınırlanmıştır. Ancak, tezde kullanılacak üretken aracın özelliklerini ve işleyiş biçimini barındıran diğer üretken araçlar için uygulanabilir ve uyarlanabilir bulgular elde edilmiştir. Bu kapsamda, Autodesk Fuison 360 Generative Design aracı temel alınarak yürütülen uygulama çalışmaları üzerinden hem süreç analizi hem de ürün karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının literatüre en önemli katkılarından biri, üretken tasarımın etkilerini teknik çıktı performanslarıyla sınırlamayıp, bu etkileri tasarım sürecinin deneyimsel ve yapısal boyutlarıyla birlikte ele almasıdır. Mevcut çalışmaların büyük bölümü, üretken tasarımı mühendislik odaklı optimizasyon çerçevesinde değerlendirirken, bu araştırma, süreci deneyimleyen tasarımcılardan elde edilen nitel verilerle, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerini çok yönlü olarak incelemektedir. Özellikle ürün türlerinin biçimsel ve yapısal özelliklerine dayalı geliştirilen sınıflandırma modeli, üretken

tasarım araçlarının farklı ürün senaryolarındaki potansiyel katkılarını genellenebilir bir yapıda değerlendirme imkanı sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma hem literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmakta hem de tasarımcıların üretken sistemleri süreçlerine entegre edebilmeleri için uygulamaya dönük içgörüler sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, üretken tasarım yaklaşımının endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerini çok boyutlu olarak incelemektir. Araştırma, üretken tasarımın süreç işleyişine ve tasarım çıktılarına olan katkılarını; farklı ürün türlerine göre avantaj düzeyinin değişip değişmediğini değerlendirmeyi hedeflemektedir. Özellikle biçimsel ve yapısal ürün özelliklerine dayalı bir sınıflandırma modeli geliştirme yoluyla, üretken tasarım araçlarının hangi tür ürünlerde daha verimli sonuçlar üretebileceği ortaya konmaya çalışılmaktadır. Bu kapsamda araştırma şu sorulara yanıt aramaktadır:

1. Üretken tasarım yaklaşımı endüstriyel tasarım süreçlerinin işleyişini ve tasarım çıktılarını nasıl etkilemektedir?

1.1. Üretken tasarımın, endüstriyel tasarım süreci içerisindeki yeri ve üstlendiği roller hangi açılardan tanımlanabilir?

2. Üretken tasarım yaklaşımının sağladığı avantajların düzeyi, farklı biçimsel ve yapısal özelliklere sahip ürünlerin tasarım süreçlerinde benzerlik göstermekte midir?

2.1. Üretken tasarımın etkili olduğu ürün türlerini belirlemede biçimsel ve yapısal özellikler nasıl bir rol oynamaktadır?

Araştırma, büyük geliştirme ekiplerinden ziyade, bireysel tasarımcıların süreç deneyimlerine odaklanmaktadır. Bu nedenle, ulaşılan bulguların doğrudan büyük ölçekli projelere genellenmesi hedeflenmemektedir. Ancak bireysel deneyimlerden hareketle çok disiplinli yürütülen geliştirme süreçlerine ilişkin anlamlı çıkarımlar yapılabileceği öngörülmektedir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yönteminin etkisiyle nitel ağırlıklı karma yöntemin benimsendiği çalışma kapsamında, tasarım sürecinin farklı aşamalarında gözlem, görüşme, katılımcı tutanakları ve 3B (üç boyutlu) dijital modellemelere dayanan veri toplama yöntemleri kullanılmıştır. Bu tez çalışması, beş ana bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölüm, araştırma bağlamı, çalışmanın amacı, araştırma soruları ve araştırmanın literatüre sağladığı özgün değeri sunmaktadır. Kavramsal çerçevenin incelendiği ikinci bölümde, üretken tasarım yaklaşımıyla karşılaştırmalı analiz için referans olarak kullanılan

geleneksel tasarım sürecine ilişkin modeller ele alınmaktadır. Geleneksel tasarım süreci, literatürde yaygın kabul gören tasarım süreci modellerinin ortak noktalarına dayalı olarak yapılandırılmıştır. Bu modeller; tasarım süreci, endüstriyel tasarım süreci ve ürün geliştirme süreci modellerini içermektedir. Özellikle yöntem ve bulgular bölümünde daha sık geçecek olan geleneksel tasarım süreci, dışsal değişkenleri sabit tutmak adına sınırlandırılan ve sadece belirli aşamaları içeren endüstriyel tasarım sürecini ifade etmektedir. Araştırma sınırlılıkları ve amacı gereği, endüstriyel tasarım sürecinin tüm aşamaları uygulama sürecine dahil edilmediği için üretken tasarım sürecinin karşılaştırılacağı ve etkisinin ölçüleceği süreç, geleneksel tasarım süreci olarak ifade edilmiştir. Bu doğrultuda ikinci bölümde, tasarım süreçlerine ilişkin teorik modeller ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Buna ek olarak bu bölümde ele alınan biçimsel ve yapısal ürün özellikleri, çalışmada geliştirilen sınıflandırma modeline temel oluşturmuş ve bu kapsamda kullanılan AHP kriterlerinin belirlenmesinde de etkili olmuştur.

Yöntemin açıklandığı üçüncü bölümde, araştırmanın yaklaşımı, kullanılan veri toplama ve analiz teknikleri, uygulama sürecinin yapısı ve AHP yönteminin nasıl ve neden kullanıldığı açıklanmaktadır. Ayrıca pilot ve ana uygulama aşamalarının tasarımı, katılımcı seçimleri ve veri türleri bu bölümde ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Bulguların açıklandığı dördüncü bölüm, araştırma kapsamında elde edilen verilerin sistemli biçimde sunulmasını içermektedir. Ürün türlerine ilişkin nihai AHP skorları ve bu skorların dayandığı karar kriterlerine yönelik deneyime dayalı katılımcı görüşleri, bu bölümde yer almaktadır. Buna ek olarak, pilot uygulama için gözlem ve görüşme verilerinin betimsel analizle sunulması, ana çalışma için nitel veri analizinden elde edilen temaların, süreç gözlemlerinin ve üç boyutlu tasarım çıktılarının karşılaştırmalı değerlendirmelerini içermektedir. Temalar süreç verileriyle desteklenerek süreç ve çıktı odaklı olarak yapılandırılmıştır.

Beşinci ve son bölümde araştırma sorularına verilen yanıtlar tüm boyutlarıyla değerlendirilmekte ve bulgular literatürle karşılaştırmalı biçimde yorumlanmaktadır. Ayrıca gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler sunulmaktadır.

# 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, araştırmanın kavramsal yapısını oluşturan başlıklar ele alınmaktadır. İlk olarak endüstriyel tasarımın tanımı ve kapsamı açıklanarak, bu disiplinin ürün geliştirme süreçlerindeki rolü ve sürece dahil olma zamanlaması tartışılmıştır. Ardından tasarım ve ürün geliştirme süreçlerine ilişkin modeller değerlendirilmiştir. Üretken tasarım yaklaşımı tanımlanmış ve üretken tasarım sürecine ilişkin çerçeve ortaya konulmuştur. Hem geleneksel tasarım sürecine hem de üretken tasarım sürecine yönelik yürütülen ayrıntılı incelemeler, araştırmanın deneysel uygulama kapsamında yürütülen karşılaştırmalı analizleri için kavramsal temel oluşturmuştur. Bu bağlamda, üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin süreç adımlarının belirlenebilmesi amacıyla, literatürdeki örnek modeller incelenerek her iki yaklaşım için süreç kurguları oluşturulmuştur. Son olarak, AHP yöntemine dayalı sınıflandırma sürecinde kullanılan kriterlerin belirlenmesine katkı sunması amacıyla, ürün türlerine ilişkin sınıflandırma örneklerine yer verilmiştir. Araştırmada kullanılan yöntem ve analizlerin kuramsal gerekçelerinin açıklığa kavuşturulması hedeflenmiştir.

## 2.1. Endüstriyel Tasarım

Endüstriyel tasarım, Dünya Tasarım Örgütü tarafından, "yenilikçi ürünler, sistemler, hizmetler ve deneyimler aracılığıyla inovasyonu teşvik eden, iş başarısını artıran ve daha iyi bir yaşam kalitesine yol açan stratejik bir problem çözme süreci" olarak tanımlanmaktadır (Url-4). Bu tanım, endüstriyel tasarımın fiziksel nesnelerle sınırlı olmadığını; hizmet, sistem ve kullanıcı deneyimini de kapsadığını göstermektedir. Stratejik problem çözme süreci ile tasarımın yalnızca yaratıcı bir eylemden ibaret olmadığı, sistematik ve hedef odaklı olduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda endüstriyel tasarım, estetik değer üretmenin ötesinde, inovasyonu yönlendiren ve rekabet avantajı sağlayan bir unsur durumundadır. Dünya Tasarım Örgütü'nün genişletilmiş tanımında ise endüstriyel tasarım; "bir ürünü, sistemi, hizmeti, deneyimi veya işi daha iyi hale getirmek amacıyla sorunları çözmek ve çözümleri birlikte oluşturmak için yaratıcılığı kullanan disiplinler arası bir meslek" olarak ifade edilmektedir (Url-4). Buna ek olarak tasarımın sorunları fırsatlar olarak yeniden çerçevelemesi; inovasyonu, teknolojiyi, araştırmayı, işi ve müşterileri bir araya getirerek ekonomik, sosyal ve çevresel alanlarda yeni değer ve rekabet avantajı yaratması vurgulanır (Url-4). Genişletilmiş tanım, endüstriyel tasarımın sorunları fırsata dönüştürebilecek potansiyeline ve çözüme ulaşma noktasında farklı disiplinlerle olan iş birliğine değinir.

Tanımda üstünde durulan başarıyı artıran stratejik problem çözme becerisi, büyük veri, doğal dil modelleri, yapay zeka gibi güncel teknolojik gelişmelerle endüstriyel tasarımın arasındaki yakın ilişkiyi destekler niteliktedir.

Endüstriyel tasarım yalnızca stratejik bir problem çözme süreci olarak ele alınmamalıdır; aynı zamanda kullanıcı deneyimi, işlevsellik ve üretim süreçleriyle doğrudan ilişkisi olan kapsamlı bir uygulama alanıdır. Amerika Endüstriyel Tasarımcılar Derneği (IDSA), bu yaklaşımı destekler nitelikte, endüstriyel tasarımı "her gün dünya çapında milyonlarca insan tarafından kullanılan ürünlerin, cihazların, nesnelerin ve hizmetlerin tasarımına yönelik bir uygulama" olarak tanımlamaktadır (Url-5). IDSA (Url-5), endüstriyel tasarımcıların genel olarak ürünün fiziksel görünümüne, işlevselliğine ve üretilebilirliğine odaklandığını ancak geliştirme döngüsü sırasında daha fazla parametreyle ilgilendiğini belirtir. İyi uygulanan tasarımların hayatı kolaylaştırmasında endüstriyel tasarımcıların ve ekiplerinin tasarım sürecinde aldığı sayısız kararın altı çizilir.

Endüstriyel tasarımın çok yönlülüğü ve farklı disiplinlerle olan yakın ilişkisi, endüstriyel tasarım tanımlarındaki çeşitliliği desteklemektedir. Tasarımcıların bilgi birikimleri, aldıkları eğitimler, piyasa durumu, tasarım sürecindeki parametreler ve daha pek çok faktör endüstriyel tasarımı ve dolayısıyla tanımlanmasını etkileyebilir.

Literatürde endüstriyel tasarımın farklı unsurların bir sentezi olduğunu ortaya koyan tanımlar öne çıkmaktadır. Kashim (2013), endüstriyel tasarımı, üretilen eserlerde estetik, ergonomik ve işlevsel değerler yaratmayı ve geliştirmeyi amaçlayan uygulamalı sanat ve bilim arasındaki bir sinerji olarak tanımlamıştır. Bu tanım ile fiziksel görünüme ilişkin katkının endüstriyel tasarımı tek başına tanımlayamayacağı açıkça görülmektedir. Kullanıcı ile kurulan ilişki, ihtiyaçlara cevap verebilme yönü ve piyasada fark yaratacak kullanıcı beğenisi oluşturma endüstriyel tasarımı oluşturan bileşenlerdendir. Thomas (2015), endüstriyel tasarımın çok boyutlu doğasına ve farklı alanlardan gelen bilgilerin bütünleştirilmesi gerektiğine vurgu yapmıştır. Endüstriyel tasarım uygulamalarında endüstriyel tasarımcıların ve geliştirme ekibinin diğer üyelerinin rolü önemlidir. Endüstriyel tasarımcılar, fikirleri somut çözümlere dönüştürmek için teknik uzmanlığı, yaratıcılığı ve stratejik planlamayı birleştirmektedir (Tammisto, 2025). Uzmanların ve uzmanlık alanlarının çeşitliliği sayesinde tasarım süreçlerine geniş bir bakış açısıyla yaklaşılmakta, bilgi ve deneyimlere dayalı olarak sorunlara etkili çözümler geliştirilmektedir. Günümüzde

endüstriyel tasarımcılar, makine ve elektronik mühendisleri, grafik tasarımcıları, üreticiler, müşteriler ve diğer birçok paydaşı kapsayan çeşitli alanlardan uzmanlarla çok disiplinli ekiplerde çalışmaktadır (Tammisto, 2025). Örnek vermek gerekirse, Kim ve Lee (2016), ürün geliştirme bağlamında endüstriyel tasarımın mühendislik ile olan iş birliğine dikkat çekmektedir. Kim ve Lee'ye (2016) göre başarılı ürün tasarımları için endüstriyel tasarımcılar ve mühendislerin birlikte çalışması gerekmektedir. Ürün geliştirme bağlamında değerlendirildiğinde, bu görüş yalnızca ürünün görünümüyle değil aynı zamanda kullanıcı ihtiyaçlarına, işlevselliğe, üretilebilir çözümler sunmaya da odaklanan endüstriyel tasarımın başarısı için disiplinler arası iş birliğinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Mühendislik ve endüstriyel tasarımın ürün geliştirme sürecindeki birlikteliğinin ürün başarısındaki etkisini vurgulayan Kim ve Lee (2016), aynı zamanda iki disiplindeki yaklaşım farklılıklarına da değinmektedir. Kim ve Lee'ye (2016) göre endüstriyel tasarımcılar daha çok kullanıcı ile etkileşim, kullanıcı deneyimi ve ürünün biçimsel özelliklerine yoğunlaşırken; mühendisler, endüstriyel tasarımcılarla iş birliği içinde geliştirilen tasarım konseptinin uygulanmasına katkıda bulunarak ürünün işlevsellik, güvenilirlik ve üretilebilirlik özelliklerini sağlamaktadır (Persson ve Warell, 2003; Pahl, Wallace ve Blessing, 2007; Hubka ve Eder, 2012; Kim ve Lee, 2016). İki uzmanlığın üzerinde yoğunlaştığı farklı noktalar, süreç içerisindeki yaklaşımlarının farklılaşmasında da etkili olmaktadır. Endüstriyel tasarımcıların geliştirme döngüsünde pek çok aşamada yer aldıkları kabul edilse de mühendislerin içten dışa yani işlevden biçime doğru; endüstriyel tasarımcıların ise dıştan içe yani biçimden işleve doğru bir süreç takip ettiklerini savunan görüşler bulunmaktadır (Eder, 2013; Hosnedl, Srp, Dvorak, 2008; Pahl, Wallace ve Blessing, 2007; Kim ve Lee, 2016). Öte yandan, literatürde endüstriyel tasarımın yalnızca ürünün biçimsel özellikleriyle ilgili olduğunun düşünüldüğüne yönelik görüşler de bulunmaktadır. Bazı yöneticiler için endüstriyel tasarım ürünün biçimiyle yani estetik ve stil kavramlarıyla eş anlamlıdır (Micheli, Jaina, Goffin, Lemke ve Verganti, 2012). Ancak endüstriyel tasarımın yalnızca ürünün biçimsel özelliklerine etkisinin olacağı görüşü stratejik fırsatların göz ardı edilmesine yol açmaktadır (Veryzer ve Borja de Mozota, 2005). Dünya Tasarım Örgütü'nün endüstriyel tasarım tanımındaki stratejik problem çözme ve çözüm odaklılık vurgusu, endüstriyel tasarımın yalnızca biçimsel katkı sağladığı görüşünü çürütür niteliktedir. Daha geniş bir bakış açısıyla, ürün tasarımı bağlamında endüstriyel tasarım bir ürünün görünümü, doğru bir ürün kullanıcı etkileşimi ile kullanıcı dostu olması, üretim kolaylığı, malzemelerin verimli kullanımı ve işlevsel performansı üzerinde etki

yaratabilir (Gemser ve Leenders, 2001: 28). Araştırmacılar, iyi tasarlanmış ürünlerin müşteriler ve kullanıcılar üzerinde duygusal bir etkiye sahip olduğunun altını çizmektedir (Heskett, 2002; Norman, 2004). Bu doğrultuda Verganti (2009), yalnızca faydacı işlevleri değil, aynı zamanda ürünlerin duygusal ve sembolik içeriğinin de müşteri memnuniyetini sağlamada önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu durum, endüstriyel tasarımın teknik ve işlevsel gereksinimlere yanıt vermekle sınırlı olmadığını, kullanıcıların, sembolik ve duygusal beklentilerini de karşılayarak ürünle kullanıcı arasında kurulan bağda da belirleyici güce sahip olduğunu göstermektedir. Tasarımın çok yönlü etkisi, onu ürün geliştirme sürecindeki ana unsurlardan biri haline getirmektedir.

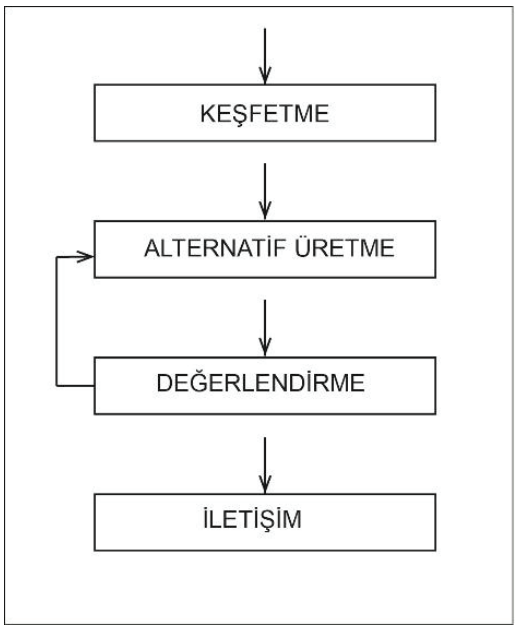
## 2.2. Endüstriyel Tasarım Süreci

Endüstriyel tasarım, farklı dönemlerde çeşitli kurumlar ve araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Tanımların ortak noktası olarak tasarımın bir süreci ifade etmesi dikkat çekmektedir. Süreç vurgusu etrafında şekillenen tanımlar, tasarımın yalnızca sonuçla değil aynı zamanda kullanıcı ile etkileşim, karar alma mekanizmaları ve disiplinler arası iş birliğine dayalı bir faaliyet olduğunu ortaya koymaktadır. Lawson (2005), tasarımın sınıflandırılması üzerine yaptığı bir açıklamada, nihai üründen ziyade sürecin önemine değinerek, tasarımı nihai ürüne göre sınıflandırmanın at arabasının ilerleyişinde arabayı atın önüne koymakla benzer olduğunu belirtmektedir. Literatürde yer alan farklı endüstriyel tasarım tanımları gibi endüstriyel tasarım süreçlerine ilişkin modeller de geliştirme ekiplerinin yapısına, ürün türlerine ve uygulama biçimlerine göre farklılıklar barındırmaktadır. Bu modelleri ele almadan önce, genel tasarım süreçlerine ilişkin modellerin incelenmesi; mühendislik ağırlıklı geliştirme modelleri ile endüstriyel tasarım sürecinin hangi yönlerden örtüştüğüne ya da farklılaştığına yönelik kavramsal bir temel sunacaktır.

Tasarım süreci, tasarımcıların ürünleri tasarlarken gerçekleştirdiği aşamaları, yaklaşımları ve faaliyetleri tanımlar (Wynn ve Clarkson, 2005; Stadler, 2021). Ürün geliştirme bağlamında tasarım süreci, üretimin öncesinde tamamlanması gereken aşamaları kapsamaktadır. Tasarım sürecinin amacı, üretimi başlatabilecek tasarımın netleşmesini sağlamaktır.

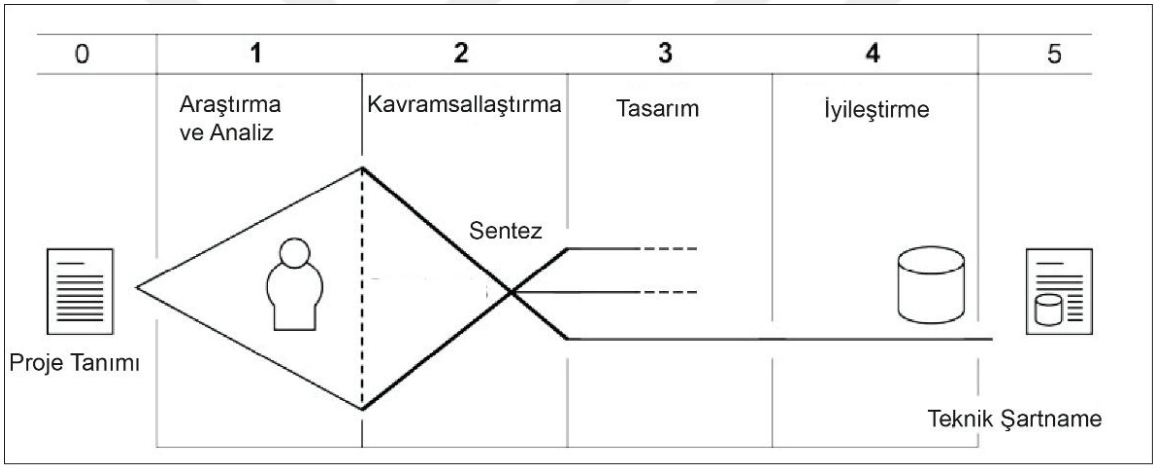
Stadler (2021), tasarım süreçlerinin genellikle problem tanımı, kavramsal tasarım ve detay tasarımı olmak üzere üç aşamayı kapsadığını ve süreç modellerinin aşama tabanlı, faaliyet tabanlı ya da ikisinin birleşimi şeklinde olabileceğini belirtmektedir. 1963 yılında John C. Jones tarafından önerilen tasarım süreci analiz, sentez ve değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır (Cross, 2008; Stadler, 2021). Analiz aşaması problemin detaylı şekilde ele alınması ve problem tanımına dayanarak hedefleri yapılandırmayı içermektedir. Sentez aşamasında hedefler doğrultusunda çözüm önerilerinin üretilmesi ve son aşamada ise tanımlanmış çözüm önerilerinin değerlendirilmesi söz konusudur. Jones tarafından önerilen model, doğrusal bir süreç akışında ilerlemektedir. Süreç aşamalarının aynı olduğu Lawson (2005) süreç modelinin ayırt edici yönü, aşamaların ihtiyaç duyulması halinde doğrusal olmayıp yinelemeli aktivitelere dayanmasıdır. Bu süreç modelinde tasarımcı, süreç içerisinde gerekli görürse daha önceki aşamalarda yer alan aktivitelerine dönerek sürecin daha sağlıklı ilerlemesin sağlayabilir.

Bir diğer tasarım süreci Cross (2008) tarafından önerilmiştir. Cross'un (2008) süreç işleyişi, tasarımcının konsept oluşturmadan önceki aktivitelerine dayanmaktadır. Keşfetme, alternatif oluşturma, değerlendirme ve iletişim basamaklarından oluşan modelde kavramlar, hedefler, kriterler ve tasarım proje tanımı dikkatle ve yinelemeli olarak değerlendirilmektedir. Son basamak tasarımcı ve üretici arasındaki iletişimi ifade etmektedir.



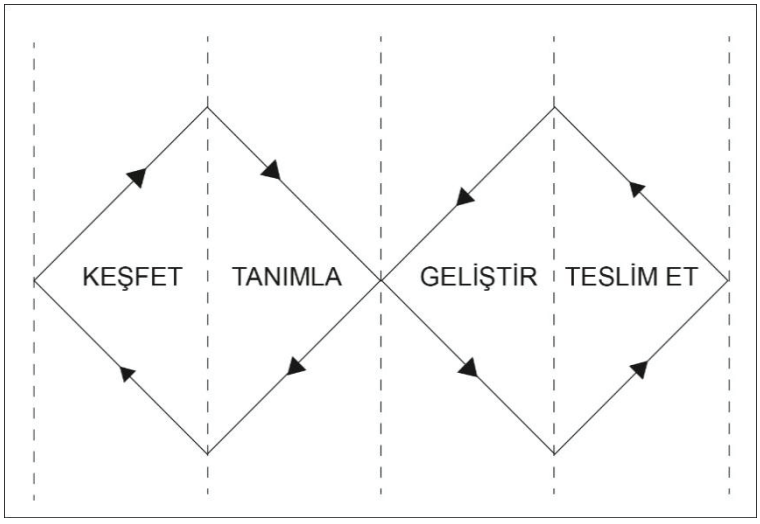

Şekil 2.1. Cross tasarım süreci modeli, Cross (2008)

Hirsch (2014), dört aşamalı bir tasarım süreci önermektedir. Birinci aşamada proje tanımına uygun olacak şekilde araştırma yapılarak bilgi toplanır. İkinci aşamada, toplanan bilgi ve deneyim verileri kümelenerek birbirleriyle ilişkilendirilir. İkinci aşama olan kavramsallaştırma aşamasının sonunda, taslak niteliğindeki çözüm önerileri ortaya konur ve müşteriler ya da karar verici merciler ile paylaşılır (Stadler, 2021). Karar vericiler, üreticiler ya da ekip içerisindeki diğer üyeler olabilirler. Üçüncü aşamaya gelindiğinde ise kavram alternatifleri geliştirme ekibiyle birlikte ayrıntılı olarak açıklanır ve analiz edilir. Bu aşamada eskizler, bilgisayar destekli modeller ve işlevsel prototipler geliştirilir. Son aşama malzeme, renk, biçim gibi faktörler için uygulanabilirlik odağında tasarım prototiplerinin geliştirilmesini içerir. Bu aşamada kullanıcı değerlendirmeleri yapılarak ürün için gerekli şartnameler oluşturulur.




Şekil 2.2. Hirsch tasarım süreci modeli

Britanya Tasarım Konseyi (Url-6) tarafından, 2004 yılında geliştirilen Çift Elmas modeli, tasarım sürecine ilişkin evrensel bir çerçeve sunarak disiplinler arası kullanım için yaygın bir referans haline gelmiştir. Bu model tasarım ve inovasyon süreçlerini dört temel aşamada tanımlar; "Keşfet, tanımla, geliştir ve teslim et". Bu model kullanılan yöntemlerden ve araçlardan bağımsız olarak herhangi bir tasarım ve inovasyon projesinde atılan adımları tanımlamanın basit bir yolunu iki elmas biçiminde temsil etmektedir (Url-6).




Şekil 2.3. Çift elmas tasarım süreci modeli (Url-6)

Çift elmas modeli, bir konuyu daha geniş ve daha derinlemesine keşfetme yani konuyu farklı yönleriyle ele alma ve ardından odaklanmış eyleme geçme sürecini temsil etmektedir. Modelin keşfet aşaması, insanların sorunun ne olduğuna ilişkin derinlemesine bir anlayışa sahip olmasını ifade eder. Tasarımcılar yerine insanlar ifadesinin kullanılması bilinçli bir tercihtir çünkü çift elmas modeli tasarımcılara ve tasarımcı olmayanlara tasarım sürecini açıkça anlatmak için vardır (Url-6). Keşfetme, kullanıcılarla etkileşim yoluyla problemin çok boyutlu doğasının derinlemesine anlaşılmasını hedeflemektedir. Tanımlama, keşif aşamasında elde edilen derin anlayışla birlikte sorunu ya da zorluğu farklı yönleriyle tanımlamaya yardımcı olabilir. Geliştirme aşaması, açıkça tanımlanan soruna farklı yanıtlar vermeye, çeşitli alanlar ve farklı insanlar ile iş birliği içinde tasarım yapmaya teşvik etmektedir. Beyin fırtınası, prototipleme, disiplinler arası çalışma gibi faaliyetler yürütülmektedir. Teslim etme aşaması ise alternatif çözümleri küçük ölçekte test ederek bir eleme yapmayı ve işe yarayabilecek önerileri iyileştirmeyi içermektedir (Url-6).

Literatürde sunulan genel tasarım süreçleri, tasarım problemlerine çözüm bulabilmek ve alternatif öneriler sunabilmek için yaklaşım biçimlerinin temel ilkelerini ortaya koymaktadır. Bu süreç yapılarının endüstriyel tasarım bağlamında nasıl uyarlanıp dönüştürüldüğü ayrıca incelenmelidir. Çünkü endüstriyel tasarım süreci, yalnızca tanımlanan problemin etrafında ortaya konulan kavramsal üretimi değil; aynı zamanda ürünün kullanıcı ile kurduğu ilişkiden başlayarak, ürünün taşıdığı anlamı ve üretim sürecini kapsayan çok katmanlı karar alanlarını içermektedir. Bu çerçevede endüstriyel tasarım sürecine ilişkin modeller önemli bir inceleme alanı oluşturmaktadır.

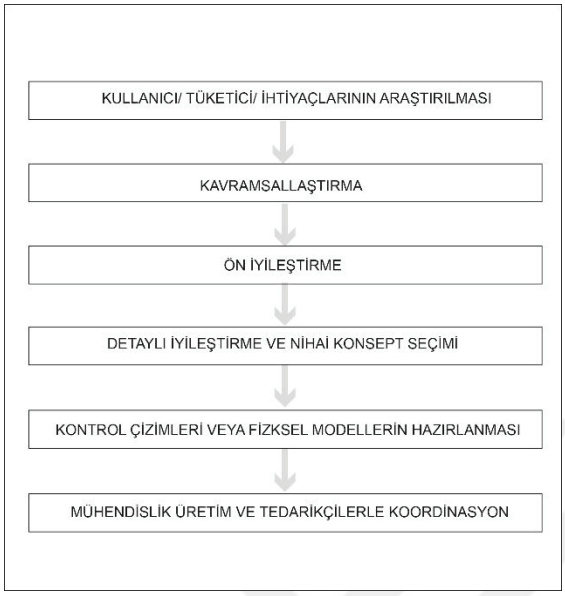
Endüstriyel tasarım süreci, yalnızca teorik bir yapı değil aynı zamanda farklı sektörlerdeki uygulamalara göre şekillenen bir pratik sistematiği de ifade etmektedir. Bu nedenle endüstriyel tasarım sürecini tanımlayan modellere odaklanmak, özellikle uygulamadaki farklılıkları anlamak açısından önemlidir. Ulrich ve diğerlerinin (2020) önerdiği model, endüstriyel tasarımın ürün geliştirme süreçleri içerisindeki konumunu tanımlayan temel yaklaşımlardan biridir. Bu modele göre endüstriyel tasarımcıların ürün geliştirme sürecindeki katkısı yalnızca biçimsel özelliklere ilişkin kararlar almakla sınırlı değildir; ürün kullanıcı etkileşimi ve kullanıcı odaklılık, diğer disiplinlerle teknik iş birliği ve çözüm önerilerinin üretime entegrasyonu gibi çok yönlü sorumlulukları da içermektedir. Ulrich ve diğerlerine (2020) göre, büyük ölçekli şirketlerin çoğunda kurumsal bir endüstriyel tasarım departmanı yer almakta; küçük ölçekli firmalarda ise bu hizmetler genellikle danışmanlık firmaları aracılığıyla dış kaynaklı olarak sağlanmaktadır. Her iki durumda da endüstriyel tasarımcıların ürün geliştirme ekiplerinde yer alması ve sürece entegrasyonu önerilmektedir.

Ulrich ve diğerleri (2020), ürün geliştirme süreçlerinde endüstriyel tasarımcılar ve mühendisleri iş birliği içerisinde ancak rollerini birbirinden ayırarak ele almaktadır. Ürün geliştirme ekipleri içerisinde mühendisler genellikle ürünün teknik özelliklerine yönelik konseptler üretip değerlendirmeye yoğunlaşırken; endüstriyel tasarımcılar ürünün kullanıcı deneyimini ve kullanıcı için biçimsel çekiciliğini sağlayacak bir tasarım sürecini takip etmektedirler. Bu yaklaşım kurumsal yapı ve projenin kapsamına göre değişkenlik gösterse de endüstriyel tasarımcılar birden fazla konsept önerisi geliştirmekte ve ardından bir dizi değerlendirme adımıyla bu seçenekleri daraltmak için mühendislerle birlikte çalışmaktadırlar (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Endüstriyel tasarım sürecinin özellikle şu faaliyetlerden oluştuğu söylenebilir:

1. Kullanıcı/tüketici ihtiyaçlarının karşılanması
2. Kavramsallaştırma
3. Ön iyileştirme
4. Daha fazla iyileştirme ve nihai konsept seçimi
5. Kontrol çizimleri veya modelleri
6. Mühendislik, üretim ve tedarikçilerle koordinasyon

Ürün geliştirme süreçleri içerisinde endüstriyel tasarımın ve tasarımcının rolünü daha iyi anlayabilmek için, Ulrich ve diğerleri (2020) tarafından tanımlanan endüstriyel tasarım

sürecinin aşamalarını ayrıntılı biçimde incelemek önem arz etmektedir. Aşağıda, bu süreci oluşturan altı temel faaliyet sırasıyla ele alınacaktır.




Şekil 2.4. Ulrich ve diğerlerinin (2020) endüstriyel tasarım süreç modeli

1. Kullanıcı/ tüketici ihtiyaçlarının araştırılması

Ürün geliştirme sürecinin başlangıcında tüketicilerin ihtiyaçlarının saptanması kritik bir öneme sahiptir. Ekip, sürecin başlangıcında tüketicinin ihtiyaçlarını kapsamlı olarak araştırır ve belgelendirir. Endüstriyel tasarımcılar kullanıcı etkileşimini içeren sorunları tanıma konusundaki yetkinlikleriyle, ihtiyaç tanımlama sürecine değerli katkılar sunar (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Pazarlama, mühendislik ve endüstriyel tasarımın, ürün geliştirme sürecine entegrasyonu, ekibin tüm üyeleri tarafından tüketici ihtiyaçlarının çok yönlü bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Fakat endüstriyel tasarımın kullanıcı ile kurduğu empatik bağ, endüstriyel tasarımın, sürecin bu aşamasındaki varlığını gerekli kılmaktadır.

2. Kavramsallaştırma

Tüketici ihtiyaçlarına ilişkin verilerin elde edilmesinden sonra ekip ürün için konseptler üretmeye odaklanır. Mühendisler teknik gereklilikler ve alt işlevlere yönelik çözümler bulmaya odaklanırken; endüstriyel tasarımcılar biçim ve kullanıcı etkileşimine yönelik alternatifler oluşturmaya odaklanırlar (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Konsept önerileri için basit eskizlerin yapıldığı bu aşamada, endüstriyel tasarımcıların hızlı eskiz yapma becerisi, ekibin diğer üyeleri ile iletişimin sağlıklı yürütülmesinde katkı sunmaktadır. Ulrich

ve diğerleri (2020) bu eskizleri, fikirleri ifade etmek ve olasılıkları değerlendirmek için hızlı ve ucuz bir araç olarak tanımlar. Konseptler ekip tarafından müşteri ihtiyaçlarına, teknik uygulanabilirliğe, maliyete ve üretim hususlarına göre gruplandırılır ve değerlendirilir. Birçok şirkette endüstriyel tasarımcılar konsept geliştirme aşamasında mühendislerle yakın bir şekilde çalışır. Eskizler ve yakın koordinasyon yoluyla ortak tasarım yaparak, endüstriyel tasarım ve mühendislik süreç içeresinde gerekli görülen yinelemeleri daha hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirebilir.

3. Ön iyileştirme

Bu aşamada tasarımcılar, ekibin potansiyelini en yüksek gördüğü konseptler için modeller oluştururlar. İlk modeller genellikle köpük veya fotoblok benzeri levha malzemeler kullanılarak tam ölçekte yapılır. Ulrich ve diğerlerine (2020) göre bu modeller konseptleri değerlendirmek için kullanılan ikinci en hızlı yöntemdir. Genellikle oldukça kaba olmasına rağmen, bu modeller geliştirme ekibinin ürün konseptlerini üç boyutlu olarak ifade etmesine ve görselleştirmesine olanak tanıdığı için çok değerlidir. Konseptler, geliştirme ekibi ve bazen potansiyel müşteriler tarafından modellere dokunma, hissetme ve değiştirme aracılığıyla değerlendirilir. Genellikle tasarımcılar zaman ve finansal kısıtlamalara bağlı olarak mümkün olduğunca çok model oluştururlar. Modellerin daha kısa zamanda daha uygun maliyetler ile oluşturulması için tam ölçekte yapılmayanları, kullanıcı etkileşimini değerlendirmekten ziyade biçimsel değerlendirme yapmak için kullanılmaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020)

4. Daha fazla model iyileştirme ve nihai konsept seçimi

İleri iyileştirme aşaması olarak da bilinen bu aşama, çizimlerin ve modellerin çok daha gerçekçi, teknik ve biçimsel açıdan detaylandırıldığı bir süreci kapsar. Bu aşamada, bilgisayar destekli yazılımlar kullanılarak oluşturulan ve render adı verilen detaylı görseller, ürünün kullanıcıyla ve mekanla ilişkisini görselleştirmektedir. Ürüne ilişkin kullanım, malzeme, renk alternatifleri gibi detaylı bilgilerin iletilmesini sağlayarak müşterilerin önerilen ürünün özelliklerine ve işlevselliğine ilişkin tepkilerini test etmek için kullanılır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Bilgisayar destekli detaylı görsellerden sonra, bir konsept seçmeden önceki son iyileştirme adımı prototipler yani gerçekçi modeller oluşturmaktır. Modeller hala teknik olarak işlevsel değildir ancak son tasarımın çok gerçekçi bir görünüm

ve his veren yakın kopyalarıdır. Nihai konsept belirlenmeden önce tasarım alternatiflerinin test edilmesini sağlamaktadırlar.

5. Kontrol çizimleri veya modelleri

Endüstriyel tasarımcılar, nihai konseptin kontrol çizimlerini veya modellerini yaparak geliştirme süreçlerini tamamlarlar. Bu sayede ürünün işlevselliği, özellikleri, boyutları, renkleri, yüzey kaliteleri ve temel boyutları belgelendirilir (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Mühendislik çizimleri olarak da bilinen ayrıntılı parça çizimleri olmasalar da nihai tasarım modelleri ve diğer prototipleri üretmek için kullanılabilirler. Kontrol çizimleri ve modelleri bu açıdan yalnızca teknik bir belge değil aynı zamanda tasarımcıların aldıkları kararların somutlaştığı bir iletişim aracı olarak da düşünülebilir. Özellikle farklı disiplinler ile iş birliğinin yoğun olduğu ürün geliştirme süreçlerinde, endüstriyel tasarımcıların bu somut çıktılar üzerinden ortak bir dil kullanmaları mümkündür. Bu sayede kontrol çizimleri ve modelleri yalnızca ürünün fiziksel özelliklerini detaylı anlatan görseller olmanın ötesinde tasarım kararlarının gerekçelerini de açıklayan iletişim araçlarına dönüşmektedir.

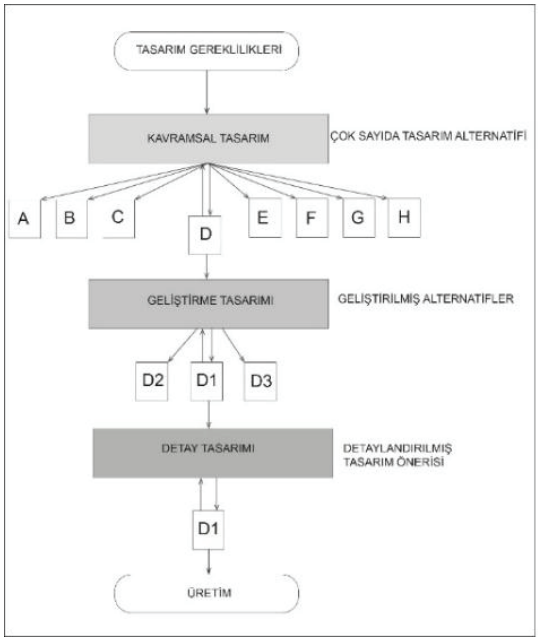
6. Mühendislik, üretim ve harici tedarikçilerle koordinasyon

Endüstriyel tasarımcılar, ürün geliştirme sürecinin ilerleyen aşamalarında, özellikle mühendislik ve üretim personeliyle yakın bir şekilde çalışmaya devam etmelidir. Bu aşamada; üretim yöntemlerine ilişkin kararlar alınması, malzeme seçimleri ve üretilebilirliğe yönelik teknik kararlar disiplinler arası iş birliğine bağlı olarak şekillenmektedir. Bazı endüstriyel tasarım danışmanlık firmaları, ayrıntılı mühendislik tasarımı ve malzeme, bileşen ve montaj gibi üretim odaklı konularda dış tedarikçilerin yönetimini de üstlenerek, oldukça kapsamlı hizmet sunmaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Tasarımcıların üretim ve mühendislik kararlarına, sürecin erken aşamalarında dahil olmasının avantajları bulunmaktadır. Örneğin bu durum, tasarımın kalitesini ve üretim hızını artırabilir ve üretilebilirliğe ve kullanıma ilişkin sonradan ortaya çıkabilecek uyumsuzlukları azaltabilir.

Ulrich ve diğerleri (2020) tarafından sunulan süreç modeli, endüstriyel tasarımın ürün geliştirme süreci içerisindeki rolünü sistemli bir şekilde açıklamaktadır. Endüstriyel tasarımın bu süreç içerisindeki yeri ve katkıları, tezin ilerleyen bölümlerinde daha kapsamlı biçimde ele alınacaktır. Ancak bu noktada, literatürde endüstriyel tasarım sürecini farklı

yönleriyle ele alan ve sürecin nasıl yapılandırılabileceğine ilişkin alternatif bakış açıları sunan diğer modellerin incelenmesi, karşılaştırmalı bir değerlendirme yapabilmek adına yararlı olacaktır. Self'in (2011) doktora çalışmasında, yeni ürün geliştirme sürecinde endüstriyel tasarımın rolünü açıklamak amacıyla çeşitli süreç modelleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu bağlamda literatürde öne çıkan üç model türü; doğrusal aşamalı modeller, yinelemeli modeller ve entegre modeller olarak sınıflandırılmıştır. Doğrusal modeller, tasarımın belirli aşamalar üzerinden ardışık olarak ilerlediği yaklaşımı temsil ederken; yinelemeli modeller, süreç boyunca geriye dönük değerlendirmeler ve revizyonlar içeren döngülerle tanımlanmaktadır. Entegre modellerde ise çözüm üretimi ile problem tanımlama eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir ve bu model daha dinamik bir yapıdadır.

Self'in (2011) sunduğu model, endüstriyel tasarım sürecini üç temel aşamada tanımlamaktadır: konsept, geliştirme ve detay tasarımı. Bu aşamalar her ne kadar belirli bir sırayı takip etse de modelin kendisi yinelemeye açık bir yapıdadır. Fikirler bu aşamalar arasında ileri geri hareket ederken, tasarım gittikçe daha detaylı, teknik açıdan tanımlı ve üretime hazır hale gelir. Bu süreç boyunca, yapılan değerlendirmeler neticesinde seçenekler azaltılarak nihai çözüme ulaşmak için kararlar alınır. Self'in (2011) modelinin temel amacı, tüm endüstriyel tasarım süreçlerinin evrensel biçimde temsil edilmesinden çok, farklı tasarım odaklarının ve tasarımcı yaklaşımlarının nasıl geliştiğini görselleştirmektir.



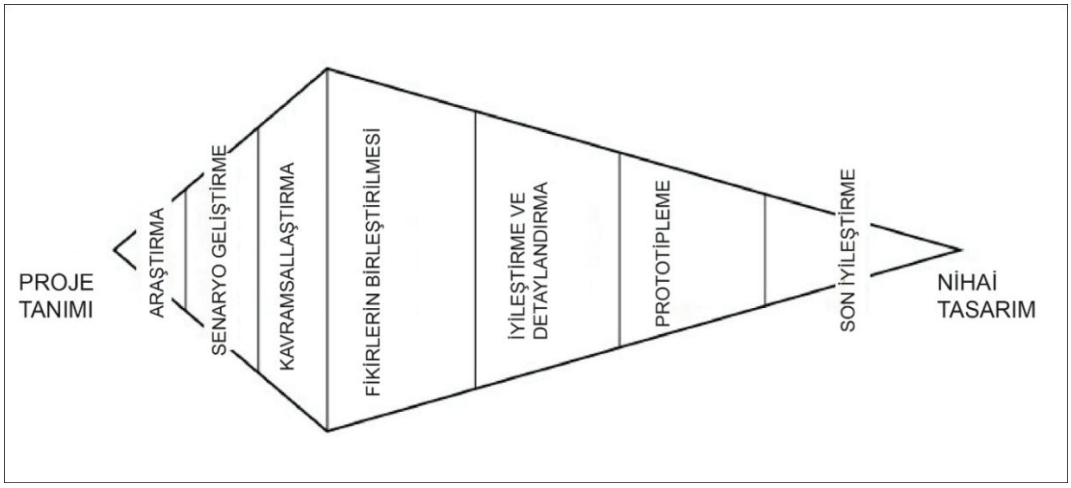

Şekil 2.5. Self'in (2011) endüstriyel tasarım süreci

Şekil 2.5'te ifade edilen model, kavramsal tasarım aşamasında ortaya çıkan çoklu alternatiflerin gelişim tasarımı aşamasında elenerek detay tasarımına indirgenmesini göstermektedir. Tasarım süreci, üretime geçmeden önce yinelemeli biçimde ilerlemektedir. Tasarımcılar süreç boyunca eskiz, model ve prototipler aracılığıyla fikirlerini somutlaştırarak nihai sonuca ulaşmayı hedeflemektedir.

Self'in (2011) süreç modeli, tasarım sürecinde yineleme ve somutlaştırma temelli bir yaklaşımı vurgularken; Sinclair, Campbell, Ariadi ve Evans (2011), bu sürecin değişen üretim dinamikleriyle nasıl dönüştüğüne ilişkin daha geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Sinclair ve diğerleri (2011), endüstriyel tasarıma ilişkin genel kabul gören tanımlardan birinin, endüstriyel tasarımın endüstriyel üretim için ürün tasarlamakla ilgili bir süreci ifade ettiğine yönelik olduğunu belirtir. Tipik bir endüstriyel tasarım sürecinin ilk adımı tasarımcının bir proje tanımı almasıyla başlamaktadır (Sinclair, Campbell, Ariadi ve Evans, 2011).

Proje tanımının gereklilikleri ve sınırlılıklarına göre araştırma ve kullanıcı senaryoları oluşturma ile devam eden süreçte tasarımcı, ürünün nasıl kullanılabileceğine ilişkin olası senaryolar geliştirerek kavramsal fikir üretimine geçer. Sürecin bu erken aşamaları, olasılıkları genişletmeye yöneliktir. Tasarımcı, farklı çözüm yolları üretir ve bunları somutlaştırmaya başlar. Ancak tipik bir proje sürecinde bu genişletici aşama, tüm sürecin yaklaşık olarak üçte birini oluşturur. Sürecin geri kalanı ise oluşturulan alternatif fikirlerin değerlendirilip elenmesi, birbirine entegrasyonu, prototipler aracılığıyla sınanması ve en uygun çözümün detaylandırılması adımını içermektedir (Sinclair, Campbell, Ariadi ve Evans, 2011). Hedef nihai bir tasarım çözümüne ulaşmayı sağlamaktır.

Sinclair ve diğerleri (2011), birçok endüstriyel tasarımcının kitlesel üretime yönelik tekil çözümler geliştirmeyi endüstriyel tasarım uygulamaları için içselleştirdiğini belirtmektedir. Birden fazla kişi için tek bir ürün tasarlamakla ilgili olan bu yaklaşım endüstriyel tasarımı, sanatsal ya da zanaatlara özgü yaklaşımlardan ayıran temel unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Ancak Sinclar ve diğerleri (2011), söz konusu durumun sınırlayıcı olduğunu belirtmektedir. Onlara göre endüstriyel tasarım, seri üretimin yapısına göre şekillenmiş görünmektedir ancak üretim paradigmalarındaki değişim tasarım süreci ve tasarımcı rollerinin dönüşmesini de kaçınılmaz kılmıştır.




Şekil 2.6. Sinclair ve diğerlerinin (2011) endüstriyel tasarım süreci modeli

Şekil 2.6'da yer alan modelde süreç, geleneksel endüstriyel tasarım pratiğini yansıtır biçimde fikirlerin geniş bir çerçevede üretildiği, ardından çeşitli filtreleme ve değerlendirme adımlarıyla daraltılarak tek bir çözümde odaklandığı bir yapıyı ifade etmektedir. Araştırma ve senaryo gibi erken aşamalar, tasarımın problem alanını anlamaya yoğunlaşırken; detaylandırma ve prototipleme gibi aşamalar çözümün somutlaştırılmasına odaklanmaktadır. Ancak modeli ortaya koyan araştırmacılar, bu sürecin üretim araçlarındaki dönüşümle birlikte sabit bir yapı olmaktan uzaklaştığını ve tasarımcının rollerinin yeniden tanımlandığını, kullanıcıların ise sürece aktif katılım sağladıklarını vurgulamaktadır.

Endüstriyel tasarım sürecine ilişkin modeller yalnızca fikir üretiminin yapısını değil, bu fikirlerin nasıl geliştirildiğini, değerlendirildiğini ve uygulama için hazır hale getirildiğini de ortaya koymaktadır. Sürecin başlangıç aşamaları kullanıcı ihtiyaçlarını anlamaya ve problem alanını tanımlamaya odaklanırken, ilerleyen aşamalar fikirlerin somutlaştırılması ve ürünün nihai formuna ulaşmasını hedeflemektedir. Ancak tasarım süreci her proje için sabit bir yapıya sahip değildir ve genellikle daha geniş kapsamlı bir ürün geliştirme sisteminin bir parçası olarak işlemektedir. Bu bağlamda endüstriyel tasarım süreci, mühendislik, pazarlama ve üretim gibi farklı alanlarla etkileşim içinde yürütülen çok katmanlı bir yapının içine konumlanmaktadır. Bu nedenle, tasarım süreçlerine ilişkin modellerin ötesine geçerek, ürün geliştirme süreçlerine, bütüncül bir bakış açısıyla yaklaşmak ve ürün geliştirme süreci içerisinde endüstriyel tasarımın rolünü irdelemek, konunun daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesini sağlayacaktır.

## 2.3. Ürün Geliştirme Süreçleri

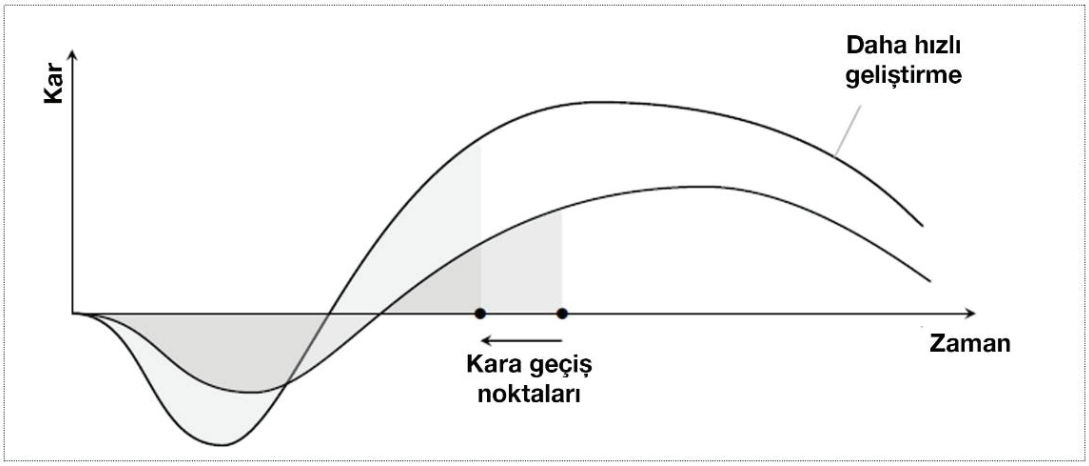
Bu bölümde, yeni ürün geliştirme süreci ve literatürde öne çıkan bazı süreç modelleri açıklanacak; ardından, endüstriyel tasarımın bu süreç içerisindeki rolü ve diğer disiplinlerle kurduğu etkileşimler ele alınacaktır.

Ürün geliştirme, teknik bir görevden başlayarak olgun bir ürün elde etmek için gerçekleştirilen faaliyetlerin bütününü tanımlamak için kullanılmaktadır (Schlattmann ve Seibel, 2021). Ürün geliştirme terimi, teknik ürünlerin geliştirilmesi için daha önceden yapılan daha sezgisel prosedürün planlanması ve doğrulanmasının daha kolay hale getirilmesine yönelik sistematik ve metodolojik bir yaklaşımın uygulanmasıyla oluşturulmuştur (Pahl, Wallace ve Blessing, 2007).

Ulrich ve diğerleri (2020), ürün geliştirme sürecini işletmenin bir ürünü tasarlamak ve ticarileştirmek için kullandığı bir dizi girdiyi bir dizi çıktıya dönüştüren faaliyetler bütünü olarak tanımlamaktadır. Bazı kuruluşlar bu süreçleri ayrıntılı şekilde tanımlayıp takip edebilirken, bazı kuruluşlar ise süreci tanımlamaktan uzaktırlar. Bunun yanında, her kuruluşun diğer kuruluşlardan farklı bir süreç uygulayabileceği hatta aynı kuruluş içindeki birkaç farklı geliştirme projesi için farklı süreçlerin takip edilebileceği unutulmamalıdır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

Ürün geliştirme stratejilerinin odak noktasını şekillendiren unsurlardan biri de piyasa rekabetidir. Piyasadaki sayısız işletme varken görünür olmak, fark yaratmakla mümkün olabilmektedir. Bu fark finansal, kalite ile ilişkili ya da inovasyon odaklı olabilir. Durumun farkında olan işletmeler piyasada rekabet avantajı yaratabilmek için çeşitli stratejileri devreye alır. Ürün geliştirme ve tasarım stratejileri, rekabet avantajı yaratma ve piyasadaki paylarını korumak ya da büyütmek isteyen işletmeler tarafından oldukça önemsenmektedir. Schlattmann ve Seibel (2021), rekabetin daha önceleri maliyet odaklı olduğunu ancak günümüzde bu durumun dönüşerek yeni ürün geliştirmek için gereken süre ile ilgili olduğunu belirtmektedir. Yeni bir ürün geliştirmek için gereken süre artık birçok alanda ortalama ürün ömründen uzundur (Schlattman ve Seibel, 2021). Ürünün ilk fikirden piyasaya tanıtılmasına kadar olan sürenin, ürünün satın alınıp kullanılamaz hale gelinceye kadar geçen zaman aralığından fazla olması, tüketim hızının en önemli göstergelerinden biridir. Ürün kullanım ömrünün geliştirme süresinden kısa olması, geliştirme maliyetlerinin

artmasında daha çok dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Schlattmann ve Seibel (2021) tarafından ortaya konulan kar zaman eğrisine ilişkin şekil, bu durumu net bir şekilde göstermektedir.




Şekil 2.7. Ürün geliştirmede kar zaman grafiği (Schlattmann ve Seibel, 2021)

Ürün geliştirme süresinin kısalması, ürünün pazara rakiplerinden önce girerek avantajlı konuma geçmesini sağlamaktadır. Çoğu işletmenin ekonomik başarısı, müşterilerin ihtiyaçlarını belirleme ve bu ihtiyaçları karşılayan, düşük maliyetle üretilebilen ürünleri hızlı bir şekilde yaratma yeteneğine bağlıdır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Bu durum rekabet ortamında zaman yönetiminin stratejik bir unsur haline geldiğini göstermektedir. Bu hedeflere ulaşmak yalnızca tasarım sürecinin değil; pazarlama, üretim ve tasarımın ortak işlevlerini içeren ürün geliştirme sürecinin problemi olarak tanımlanmaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Ürün geliştirme, farklı uzmanlık alanlarından gelen aktörlerin iş birliğini gerektirirken; küresel ölçekteki rekabet, sürecin mümkün olan en kısa ürede tamamlanmasını zorunlu kılmaktadır (Ma ve Rong, 2022). Bu yapı, ürün geliştirme sürecini teknik sınırların ötesine taşıyarak; çok disiplinli, hızlı ve stratejik bir iş birliği alanına dönüştürmektedir.

### 2.3.1. Ürün geliştirme süreçlerine ilişkin modeller

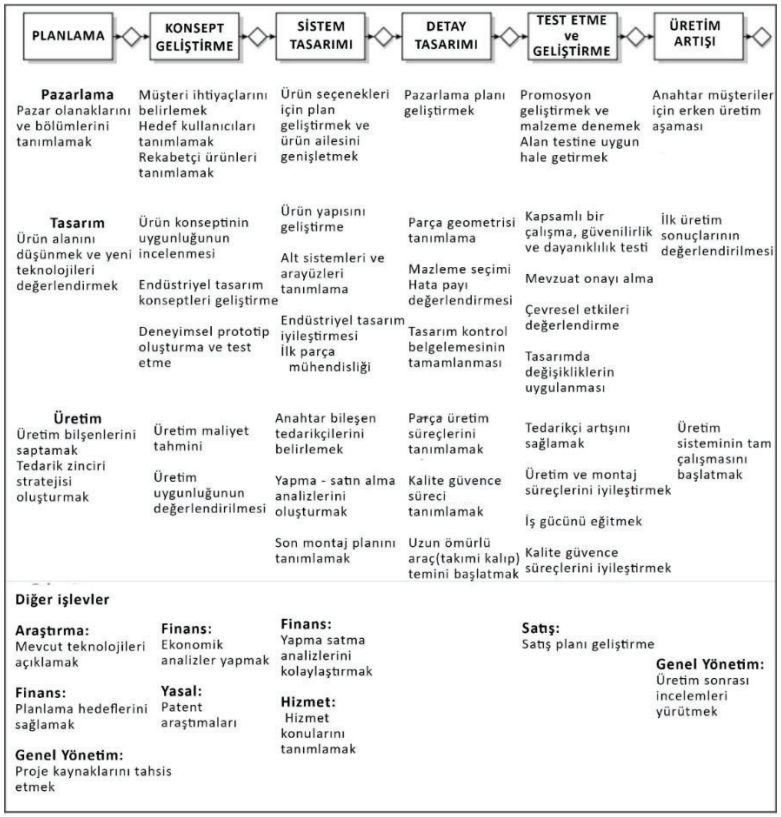
Yukarıda sözü edilen çok disiplinli yapı, ürün geliştirme sürecinin nasıl kurgulandığına ilişkin modellerle daha net anlaşılabilir. Bu çerçevede Ulrich ve diğerleri (2020) tarafından önerilen model, süreci sistemli biçimde açıklayan önemli örneklerden biridir. Ulrich, Eppinger ve Yang'a göre (2020), iyi tanımlanmış bir ürün geliştirme süreci; ürün kalitesinin

güvence altına alınması, ekip içi koordinasyonun sağlanması, zamanın etkin yönetimi, sürecin her adımının takip edilip değerlendirilmesi ve gerekli durumlarda iyileştirme stratejilerinin uygulanabilmesi açısından büyük avantajlar sunmaktadır. Yeni ürün geliştirme sürecini detaylı biçimde ele alan araştırmacılar, bu sürecin merkezinde pazarlama, tasarım ve üretimin yer aldığını belirtmektedir. Pazarlama, işletmenin tüketici gereksinimlerini anlaması ve ihtiyaçların belirlenmesinde kritik bir rol oynayan ve tüketici ile işletme arasındaki iletişimi sağlayan bir bağ niteliğindedir. Pazarlama işlevi ile tanımlanan ihtiyaçlar, nihai ürün için hedeflerin belirlenmesini sağlamaktadır. Tasarım işlevi ise daha çok kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun ürün biçiminin oluşturulmasına yoğunlaşmaktadır. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi Ulrich ve diğerleri (2020) tasarımı, mühendislik ve endüstriyel tasarım olarak iki başlıkta ele almaktadır. Mühendislik tasarımı ürünün çalışması ve işleyişi ile ilgili elektronik, mekanik ya da yazılım sistemiyle ilgilenirken; endüstriyel tasarım ise kullanıcının ürünle kuracağı etkileşimi belirleyen biçim, estetik, ergonomi ve kullanıcı arayüzü gibi unsurlar ile ilgilenmektedir. Üretim ise ürünün hedefler doğrultusunda oluşturulabilmesi, montaj ve dağıtımının sağlanabilmesini içermektedir. Üretim sorunsuz şekilde gerçekleştirilinceye kadar geliştirme süreci devam eder. Ulrich ve diğerleri (2020), ürün geliştirme sürecini altı basamakta açıklamaktadır. Bunlar: planlama, konsept geliştirme, sistem düzeyinde tasarım, detay tasarımı, test etme ve iyileştirme, üretim ve üretim artışı olarak sıralanmaktadır. Planlama aşaması, kurumsal strateji etrafında fırsatlar, teknolojik gelişmeler, kısıtlamalar ve pazar hedeflerinin ele alındığı aşamadır. Planlama aşamasının sonucunda projenin amacını ve işleyişini belirleyecek olan proje beyanatı elde edilerek geliştirme süreci başlatılmış olur. Konsept geliştirme aşamasında hedef pazara ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre alternatif fikirler oluşturulur ve değerlendirilir. Detaylı geliştirme yapılabilmesi için bir veya birden fazla konsept seçilir. Bir konsept, ürünün biçiminin, işlevinin ve özelliklerinin tanımı niteliğindedir ve genellikle bir dizi teknik özellik önerisi, rekabet edilen ürünlerin analizi ve projenin ekonomik gerekçeleriyle birlikte ele alınır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

Sistem düzeyinde tasarım aşaması ürün mimarlığını içeren aşama olarak da bilinir. Ürün mimarlığı, bir ürünün işlevsel öğelerinin, ürünün fiziksel bileşenlerine atanmasıdır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Ürünün alt sistemlere ve bileşenlere ayrıştırılmasını içerirken; üretim sistemi ve son montaj için ilk planlar genellikle bu aşamada tanımlanmaktadır. Detay tasarımı ürünün tüm parçalarının geometrisinin, malzemelerinin ve toleranslarının tam olarak belirlenmesini ve tedarikçilerden satın alınacak tüm standart parçaların

tanımlanmasını içermektedir. Bu aşamanın çıktısı, üretim ve montaj için gerekli olan tüm detaylar için sürecin planlını açıklayan çizimler ve bilgisayar dosyalarıdır. Ulrich ve diğerleri (2020), ürün geliştirme süreci boyunca en çok üzerinde durulan ve sürekli kontrol edilen üç kritik konunun bu aşamada netleştirildiğini vurgulamaktadır. Bunlar: malzeme seçimi, üretim maliyeti ve sağlam performanstır. Test ve iyileştirme aşaması, üretim öncesinde alternatiflerin test edilmesi ve değerlendirilmesini içermektedir. Prototipleme aşaması olarak tanımlamak yanlış olmayacaktır. İlk prototipler ile yapılan değerlendirmeler olumlu sonuçlandığı takdirde, üretilmiş parçalardan oluşan prototipler kullanıcı ile buluşturularak yeni çıkarımlar yapılır. Üretim ve üretim artışı aşamasında ürünler amaçlanan üretim sistemi kullanılarak oluşturulur. Bu aşamada amaç, işgücünü eğitmek ve üretim süreçlerinde herhangi bir problem varsa bunları çözmektir.

Ulrich ve diğerleri (2020) tarafından önerilen altı aşamalı ürün geliştirme modeli, sürecin yalnızca yapısal aşamalarını değil, aynı zamanda pazarlama, tasarım, üretim odağında finans ve hizmet gibi farklı uzmanlık alanlarının da sürece katkılarını detaylı biçimde sunmaktadır. Şekil 2.8, sürecin disiplinler arası doğasını ve eş zamanlı işleyen karar alanlarını bir arada görselleştirmesi bakımından önemlidir.




Şekil. 2.8. Genel ürün geliştirme modeli (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020)

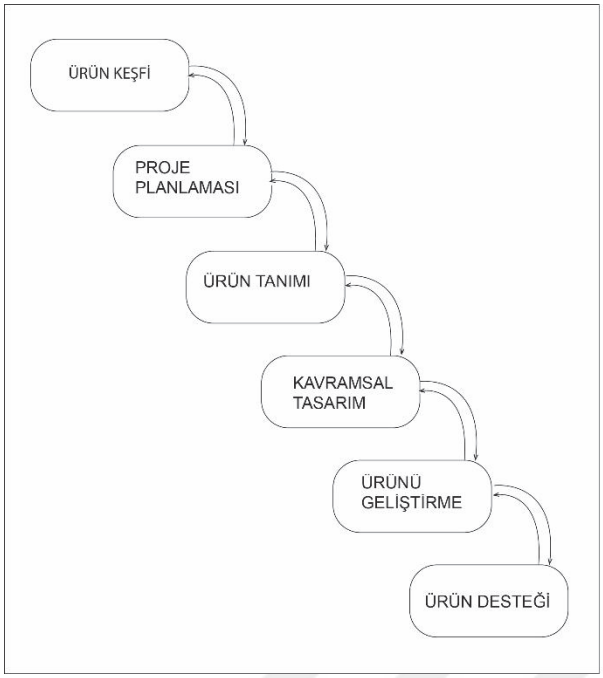
Şekil 2.8'de sunulan yapı, ürün geliştirme sürecinin disiplinler arası doğasını açıkça ortaya koymaktadır. Pazarlama, tasarım, üretim, finans gibi farklı uzmanlık alanlarının her bir aşamaya farklı düzeylerde katkı sunduğu görülmektedir. Ancak bu katkıların süreç boyunca sabit kalmadığı, projenin kapsamı, ürüne ilişkin gereksinimler ve organizasyonel yapıya göre değişkenlik gösterdiği de açıktır. Kavramsal üretimin yoğunlaştığı ilk aşamalarda tasarımın belirleyici bir rol oynadığı, ilerleyen aşamalarda ise mühendislik ve üretimin öncelik kazandığı bir yapı dikkat çekmektedir. Bu durum tasarımın yalnızca estetik gerekliliklerle sınırlı olmadığını göstermektedir. Aksine, problem çözme ve karar alma süreçlerine yön veren temel bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır.

Tasarım süreci; kullanıcı ihtiyaçları, teknik sınırlılıklar, üretim imkanları ve pazarlama hedefleri gibi birçok değişkenin etkileşimiyle şekillenir. Bu değişkenlere bağlı olarak süreçteki aşamalar ve öncelikler farklılık gösterebilir. Doğası gereği açık uçlu olan tasarım sürecinde her problemin birden fazla çözüm yolu olabilir ve süreç, fikirlerin üretilip zaman içinde olgunlaştırıldığı yinelemeli bir yapıya sahiptir. Tasarım, bu yinelemeler aracılığıyla gelişir ve nihai ürün işlevsel, uygulanabilir, kullanıcı ve pazar ihtiyaçlarını karşılayan bir duruma getirilir (Ma ve Rong, 2022).

Tasarım sürecinin daha bütüncül ve sistematik bir biçimde nasıl yapılandırıldığını ortaya koyan alternatif modellerden biri de Ullman (2018) tarafından önerilen ürün geliştirme modelidir. Bu model, tasarımın bilgiye dayalı yaratıcı uygulamalarla şekillenen çok aşamalı bir karar alma süreci olduğunu vurgular. Tasarım bu bağlamda tamamen yeni bir ürün oluşturma, var olan unsurları yeni bir yapı içinde birleştirme ya da mevcut çözümlere alternatif geliştirme gibi farklı biçimlerde ortaya çıkabilir (Ma ve Rong, 2022).

Ullman (2018) tarafından önerilen model; ürün keşfi, proje planlaması, ürün tanımı, kavramsal tasarım, ürün geliştirme ve ürün desteği aşamalarını içermektedir. Bu aşamalar yeni geliştirilen ya da mevcut haliyle yeniden yapılandırılan tüm ürün türlerinde geçerli olabilecek bir bakış açısıyla genel bir çerçeve sunmaktadır. Ullman'ın (2018) özellikle vurguladığı nokta, ürün geliştirme süreçlerinin yalnızca inovatif ve yeni olanla sınırlı tutulamayacağıdır. Tasarım süreci özgün ürünlerin geliştirilmesine odaklandığı kadar, mevcut ürünlerin yeniden ele alınıp geliştirilmesinde de rol oynayabilir. Dolayısıyla bu model, tasarımın hem yenilik üretme hem de mevcut yapıları dönüştürme potansiyeline vurgu yapar.

Şekil 2.9'da yer alan Ullman (2018) ürün geliştirme sürecine ilişkin model, aşamalar arasındaki akışı şematik biçimde göstermektedir.




Şekil 2.9. Ullman ürün geliştirme süreci (2018)

Şekil 2.9'da yer alan Ullman ürün geliştirme modeli, tasarım sürecini art arda sıralanan ve yinelemeli aşamalar üzerinden tanımlamaktadır. Model, ürün fikrinin keşfinden başlayarak planlama, tanımlama, kavramsal tasarım, geliştirme ve ürün desteği gibi aşamaları görselleştirmektedir.

Ürün geliştirme süreçleri farklı terminolojilerle tanımlansa da özünde benzer bir mantıksal yapıya sahiptir. Ullman'ın modeli bu açıdan yalnızca özgün bir ürünün geliştirilmesine değil, mevcut ürünlerin yeniden yapılandırılmasına da olanak tanıyan esnek bir çerçeve sunar. Süreç ihtiyacın tanımlanmasıyla başlar, planlama ve problem çözme aşamalarıyla ilerler ve tasarımın giderek somut hale geldiği kavramsal üretim, prototipleme ve ürün desteği adımlarıyla sonlanır. Her aşama fikirlerin olgunlaşıp değerlendirilmesine imkan sağlayan yinelemeli bir yapıya sahiptir.

Ullman (2018) tarafından önerilen modelin aşamaları ele alınacak olursa; ürün keşfi aşamasında önemli olan nokta hangi ürün fikrinin geliştirileceğine karar vermektir. Ürün geliştirme sürecinin genellikle ilk adımı olan bu aşama, teknoloji, pazar ve değişim kaynaklı

fırsatlar doğrultusunda hangi ihtiyaçlara odaklanıldığının ve hangi fikirlerin geliştirmeye değer olduğunun belirlenmesini içerir. Proje planlama, ürün geliştirme sürecinde görevlerin sıralanmasını, kaynakların verimli kullanılmasını ve özellikle maliyet, zaman ve iş gücü açısından sürecin sürdürülebilir şekilde ilerlemesini sağlayan kritik bir aşamadır. Ürün tanımı aşaması, tasarım probleminin netleştirilmesini, kullanıcı ihtiyaçları, rakip analizleri ve teknik gereklilikler çerçevesinde çok yönlü bir değerlendirme yapılmasını gerektiren, sürecin temelini oluşturan kritik bir basamaktır. Sürecin başlangıcında yer alan bu üç aşama, özellikle problem tanımının ve tasarım hedeflerinin doğru belirlenmesi açısından kritiktir. Sürecin bu erken aşamalarının bütüncül ve dikkatli yürütülmesi, sonraki adımların işleyişi ve sürecin verimliliği açısından belirleyici bir zemin oluşturmaktadır.

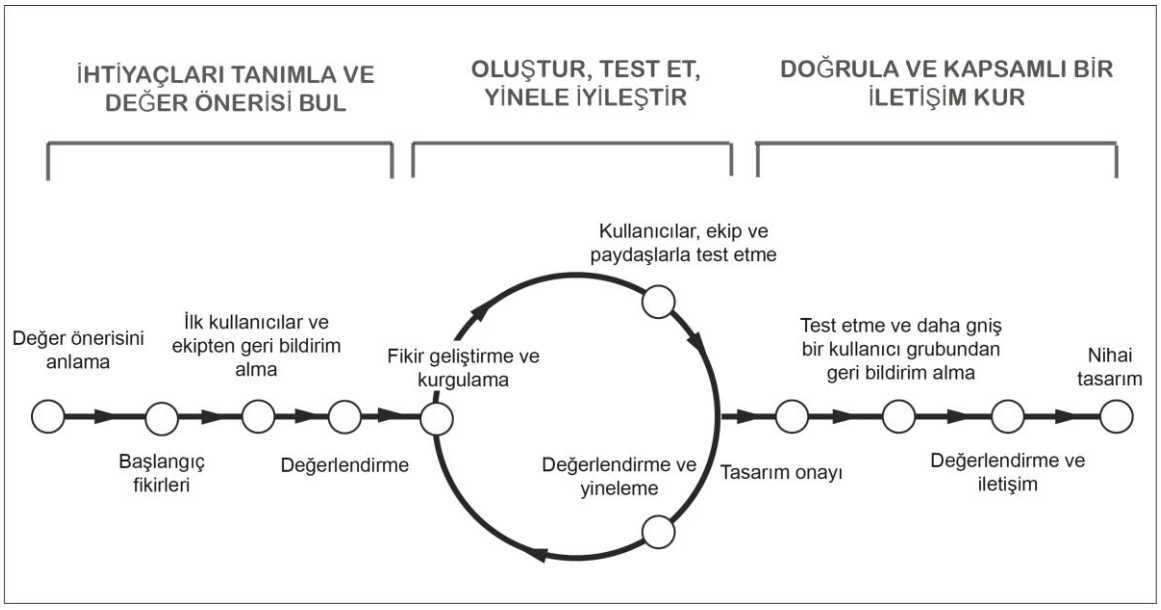
Kavramsal tasarım aşamasında, ürün için geliştirilen alternatif fikirler, önceki planlama ve tanımlama süreçlerinde ortaya konan gereksinimlerle karşılaştırılarak değerlendirilir ve sonunda istenilen nitelikte bir ürüne yol açacak konseptler geliştirmek için işlevsel bir temel oluşturur. Ürünü geliştirme aşamasında, kavramlar işlevsel özelliklerine uygun olarak somutlaştırılarak, malzeme seçimi, işleme yöntemleri, maliyet analizi ve montaj gibi teknik detaylar belirlenir. Bu aşamada prototipler aracılığıyla hem üretime ilişkin unsurlar hem de kullanıma uygunluk unsurları test edilir. Ullman'a (2018) göre, ürün geliştirme sürecinde önceki aşamaları atlayarak süreci başlatmak, niteliği düşük sonuçlara yol açarak, sürecin sonunda maliyetli revizyonlara sebep olmaktadır. Ürün desteği aşaması, tasarımcıların, ürün piyasaya sürüldükten sonra kullanıcı geri bildirimlerini takip ederek gerekli iyileştirmeleri yönettiğini ve belgelendirdiğini ifade etmektedir. Bu aşama kapsamında, tasarım belgelerinin güncellenmesi, mühendislik değişikliklerinin takibi, fikri mülkiyet süreçleri ve ürün ömrünün sona ermesiyle ilgili stratejilerin belirlenmesi gibi adımlar yer almaktadır (Ullman, 2018). Bu bakımdan süreç, fikirlerin somutlaştırılarak üretime hazır hale getirildiği ve geliştirme ekibinin teknik, ekonomik ve kullanıcı temelli gereklilikleri bütüncül biçimde gözettiği bir karar alma yaklaşımına dönüşmektedir.

Modelin sunduğu yaklaşım, özellikle üretken tasarım gibi veri destekli ve hızlı yinelemeler içeren yöntemlerle karşılaştırıldığında değerli bir zemin sunar. Çünkü süreç yönetimi zaman planlaması ile sınırlı değildir. Doğru kararlar alma, farklı çözümleri kıyaslama ve uygulanabilir alternatifleri filtrelemeyle ilgilidir. Bu bağlamda Ullman (2018) modeli, stratejik kararların da üretildiği bir süreci temsil eder. Tez kapsamında bu yapı, üretken

tasarım uygulamalarının klasik süreçlerle nasıl bütünleştiğini ve nerede ayrıştığını analiz edebilmek adına karşılaştırmalı bir zemin sunmaktadır.

Ürün geliştirme süreçlerine ilişkin bir diğer model, sürece kullanıcı merkezli bir yaklaşım kazandıran, Ürün Geliştirme ve Yönetim Derneği (PDMA) tarafından önerilen tasarım odaklı süreç modelidir. Bu yaklaşım, ürün geliştirme sürecinde yalnızca teknik yeterlilikleri değil, kullanıcı ihtiyaçlarının empatik biçimde anlaşılmasını da merkeze almaktadır (Zeh, 2015). Bu çerçevede modelin en ayırt edici yönlerinden biri, hikaye oluşturma ve prototipleme adımlarına süreç boyunca merkezi bir rol vermesidir. Zeh'e (2015) göre, hikayeler ve prototipler, tüketiciler ve ürün geliştiriciler arasında bir iletişim aracı olarak hizmet etmektedir. Bu iletişim aracı ile rasyonel ve duygusal tüketici ihtiyaçları, kavramlar ve fikirlerle eşleşebilir.

Brown (2008), Martin (2009) ve Zeh (2015), her organizasyondaki ürün geliştirme süreçlerinin, aşama sayıları ve işleyiş biçimleri bakımından farklılık göstermesi sebebiyle, tasarım düşüncesinin süreçlere farklı şekillerde entegre edilmesi gerektiğini belirtmektedir. PDMA tarafından önerilen ürün geliştirme süreci, üç ana aşamaya ayrılmıştır: (1) Kullanıcı ihtiyaçlarını belirle ve değer önerisini bul, (2) Oluştur test et, yinele ve iyileştir, (3) Doğrula ve kapsamlı bir iletişim kur (Zeh, 2015).




Şekil 2.10. PDMA Tasarım odaklı ürün geliştirme modeli (Zeh, 2015)

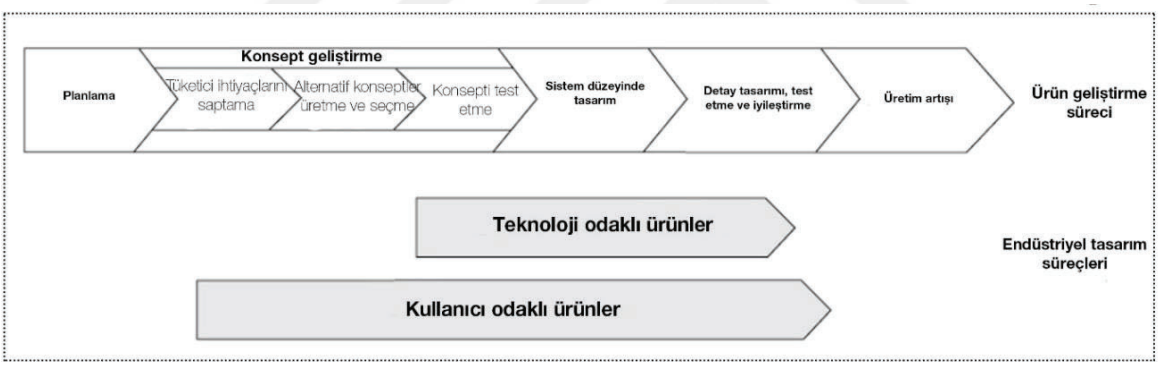
Şekil 2.10'da gösterilen model, kullanıcı ihtiyaçlarını anlama, fikir üretimi ve test etme aşamalarının yinelemeli biçimde sürdürülmesiyle nihai tasarıma ulaşmayı amaçlamaktadır. Tasarım süreci bu modelde doğrusal değil, özellikle ikinci aşamada geri besleme ve iyileştirmelerle şekillenen döngüsel bir yapıdadır. Sürecin merkezinde yer alan kullanıcı hikayeleri ve prototipler, yalnızca fikir üretimi değil aynı zamanda kullanıcılarla empati kurma ve önerilen çözümleri test etme işlevi taşımaktadır. Hikayeler kullanıcılarla yapılan doğrudan görüşmeler, mülakatlar ya da saha gözlemleri sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulduktan sonra, kullanıcıların bir ürünü nasıl kullandıkları, ne tür sıkıntılar yaşadıkları ya da nelere ihtiyaç duyduklarına ilişkin bilgiler ışığında tasarımcılar tarafından senaryolar oluşturulur. Daha sonra senaryolara uygun taslak maketler geliştirilir ve kullanıcılardan denemeleri yoluyla geri bildirimler istenir. Özetle, ilk aşamada kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesine odaklanırken, geliştirilen ilk hikayeler bu ihtiyaçlara ilişkin sorunları ve çözüm hipotezlerini temsil etmektedir (Zeh, 2015). Bu yöntem, yalnızca kullanıcıdan bilgi almakla kalmayıp, aynı zamanda kullanıcıyı sürece dahil eden bir araca dönüşmektedir. İkinci aşamada prototipler kullanıcı testleri ve yineleme döngüleriyle geliştirilir. Bu süreç, ürüne ilişkin kavramların, kullanıcı deneyimi temelinde şekillenmesini sağlar. Son aşamada ise geliştirilen hikaye ve prototipler geniş kullanıcı gruplarıyla test edilerek nihai tasarıma ulaşılır.

Modelin sunduğu bu yapı, klasik ürün geliştirme süreçlerinden farklı olarak yalnızca bir çözüm üretmeye değil, anlam yaratmaya ve kullanıcı değerini tanımlamaya da odaklanmaktadır. Bu yönüyle geleneksel ürün geliştirme modellerinden farklılaşmakta ve bu tez kapsamında ele alınan üretken tasarım yaklaşımıyla karşılaştırılabilecek nitelikte güçlü bir zemin hazırlamaktadır.

### 2.3.2. Endüstriyel tasarımın ürün geliştirme sürecindeki rolü

Endüstriyel tasarım süreci ve yeni ürün geliştirme süreci birbirini etkileyen ancak kapsam ve işlev bakımından farklılaşan yapılardır. Önceki bölümlerde ele alınan süreç modelleri incelendiğinde, ürün geliştirme sürecinin, ürün tasarımı bağlamında endüstriyel tasarım süreçlerine kıyasla daha bütüncül ve katmanlı bir çerçeve sunduğu görülmektedir. Bu noktada, endüstriyel tasarımı, ürün geliştirme sürecinin bir alt bileşeni olarak konumlandıran Ulrich ve diğerleri (2020), yaklaşımlarını teknoloji odaklı ürünler ve kullanıcı odaklı ürünler ayrımı üzerinden temellendirmektedir.

Teknoloji odaklı ürünlerde, kullanıcı genellikle ürünü teknik performansı nedeniyle tercih etmektedir. Bu tür ürünlerin geliştirme sürecinde mühendislik, işlevsel gereksinimlerin belirlenmesinde ve çözüm yollarının oluşturulmasında belirleyici olurken, endüstriyel tasarım, çoğunlukla ürünün teknolojik bileşenlerinin kullanıcıyla etkileşim kurmasını sağlayan bir kabuk rolü üstlenmektedir (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Estetik ve ergonomik niteliklerin ikincil konumda yer aldığı teknoloji odaklı ürünlerin geliştirme süreçlerinde, endüstriyel tasarım süreci daha geç bir aşamada devreye girmektedir. Diğer yandan kullanıcı odaklı ürünlerde estetik değer, kullanım kolaylığı ve arayüz deneyimi ön plandadır. Bu tür ürünlerde ürün kullanıcı etkileşimi ve ürünün biçimsel özellikleri rekabet avantajı sağlamada kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla endüstriyel tasarım, yalnızca ürünün görünümünü ele alan bir süreç değil, kullanıcı ihtiyaçlarını önceleyen ve sürecin tüm aşamalarına etkisi olan bir bileşen haline gelmektedir. Ulrich ve diğerleri (2020), Şekil 2.11'de ürün türlerine göre ürün geliştirme süreci içinde endüstriyel tasarımın zamanlamasına ilişkin açıklayıcı bir model sunmaktadır.




Şekil 2.11. İki ürün türü için endüstriyel tasarım sürecinin zamanlaması

Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, endüstriyel tasarım süreci ürün geliştirme süreciyle paralel biçimde ilerlese de ürünün niteliğine bağlı olarak süreç içindeki zamanlaması ve yoğunluğu değişiklik göstermektedir. Teknoloji odaklı ürünlerde, geliştirilen ürünün belirleyici yönü teknolojik performansa dayandığından, mühendislik faaliyetleri ön plandadır ve endüstriyel tasarım süreci genellikle sistem düzeyinde tasarım veya detay tasarım aşamalarında devreye girmektedir. Buna karşın, kullanıcı odaklı ürünlerde, ürünün estetik ergonomik ve etkileşime dayalı yönleri belirleyici olduğundan, endüstriyel tasarım çok daha erken aşamada sürece dahil olarak etkin bir rol üstlenmektedir. Bu farklılaşma, ürün geliştirme süreci boyunca endüstriyel tasarımın rol ve sorumluluklarının ürün türüne göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak endüstriyel tasarımın ürün geliştirme süreçlerindeki

rolünü, yalnızca ürün türüne göre oluşan zamanlama farklılıklarıyla sınırlı görmek yanıltıcı olabilir. Endüstriyel tasarımın sürece katkı sağladığı alanlar, işlevler ve diğer disiplinlerle olan etkileşimleri açısından da detaylı biçimde ele alınmalıdır. Thomas'a (2015) göre endüstriyel tasarımın temel özelliği, yaratıcı biçimlendirme sürecinin üretimden önce gerçekleştirilmesidir. Ürünü tanımlama ve biçimini belirlemenin, üretimde önce gerçekleşmesi ile zanaattan ayrılmaktadır. Endüstriyel tasarım, endüstriyel üretimden ayrı olduğundan, üretim öncesinde tasarım amacının belirlenmesiyle ilgilenir (Cross, 2007). Bu ayrımı vurgularken Cross (2007), endüstriyel tasarımın üretimle bağının kopuk olmadığını, aksine malzeme seçimi, üretim yöntemi ve ürünün tüketiciye sunulma biçimi gibi konularla da ilgilendiğini belirtir. Dolayısıyla endüstriyel tasarımcı, yalnızca biçim yaratmakla değil, ürünün teknik, finansal ve kullanıcı odaklı yönlerini de sentezleyen önemli bir aktördür. Bu kapsamda, tasarımcıların ürün geliştirme süreçlerine erken katılımı, kullanıcı ihtiyaçlarının göz ardı edilmesini engelleyerek kullanılabilirliğin ve uygulanabilirliğin artmasına, üretim maliyetlerinin düşürülmesine ve rekabet avantajı sağlayan ürünlerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Thomas, 2015). Özetle endüstriyel tasarım yalnızca biçim yaratma süreci değil, işlevselliği, üretilebilirliği ve kullanıcı deneyimini odağına alan, stratejik bir alan olarak değerlendirilmelidir.

Endüstriyel tasarım sürecine ilişkin stratejik olma vurgusu, onun ürün tasarımına pazarlama, mühendislik gibi disiplinlerle iş birliği içinde katkı sunduğunun önemli bir göstergesidir. Kim ve Lee (2016), ürün tasarımının tek disiplinli bir bakış açısıyla açıklanamayacağını, başarılı ürünleri pazara sunmak için endüstriyel tasarım ve mühendisliğin bütünleşik katkısının esas olduğunu vurgulamaktadır. Sürecin başarılı işleyişi için gereken bu iş birliğine rağmen, mühendislik ve endüstriyel tasarımın önemli ölçüde farklı tasarım uygulamalarına sahip olduğu bilinmektedir (Eder, 2013; Kim ve Lee, 2016). Endüstriyel tasarım kullanıcı deneyimi, ürünün biçimsel özellikleri, arayüz ve ergonomi gibi kullanıcıyı merkezine alan unsurlara odaklanırken; mühendisler, endüstriyel tasarımcıların geliştirdiği tasarım konseptlerinin uygulanabilirliğine ve teknik gerekliliklere ağırlık vermektedir (Eder, 2013; Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020; Kim ve Lee, 2016). Mühendisler, ürünün işlevsel, güvenilir ve üretilebilir olması için katkı sağlamaktadır (Hubka ve Eder, 2012; Pahl, Wallace, Blessing, 2007). Buna ek olarak mühendislik ve endüstriyel tasarım arasındaki yaklaşım farkını, üründe iç-dış ayrımı yaparak ele alan görüşler de bulunmaktadır. Eder (2013) ve Kim ve Lee (2016), mühendislerin ürünü çalıştıran teknik gerekliliklerden ve işlevden görünüme doğru, yani "dışa doğru" bir yaklaşım izlediklerini belirtmektedir.

Endüstriyel tasarımcıların ise görünümden işleve doğru, yani “içe doğru” bir yaklaşım izlediklerini ifade etmektedir. Mühendislik ve endüstriyel tasarımcıların yaklaşımlarına yönelik bu görüş, iki disiplini birbirinden çok farklı gösterse de iş birliği içerisinde çalışan bu disiplinler arasındaki etkileşim, farklılıklara ilişkin sınırların net bir şekilde çizilmesini engellemektedir. Zira endüstriyel tasarımcıları yalnızca kabuk tasarımcısı olarak düşünmek ya da her tasarım sürecinde tek yönlü bir yaklaşım benimsediklerini varsaymak, endüstriyel tasarımın karmaşık ve çok boyutlu doğasını göz ardı etmek anlamına gelir.

Sonuç olarak ürün türüne göre endüstriyel tasarımın süreç içindeki zamanlaması değişse de özellikle kullanıcı odaklı ürünlerde tasarımcıların ürün geliştirme sürecine erken katılımı hem işlevsellik hem de rekabet gücü açısından belirleyici rol oynamaktadır. Mühendislik, pazarlama ve tasarım disiplinleri arasında köprü işlevi gören bu yapı, ürün geliştirme sürecini daha esnek, kullanıcı merkezli ve stratejik kılmaktadır. Bu bağlamda üretken tasarım gibi yeni teknolojik yaklaşımların klasik süreçlerle nasıl etkileşime geçtiğini ve bu yapılarla nasıl bütünleştiğini değerlendirmek, araştırmanın ilerleyen bölümleri açısından da kritik bir zemin oluşturmaktadır.

## 2.4. Üretken Tasarımın Kavramsal Çerçevesi ve Tanımı

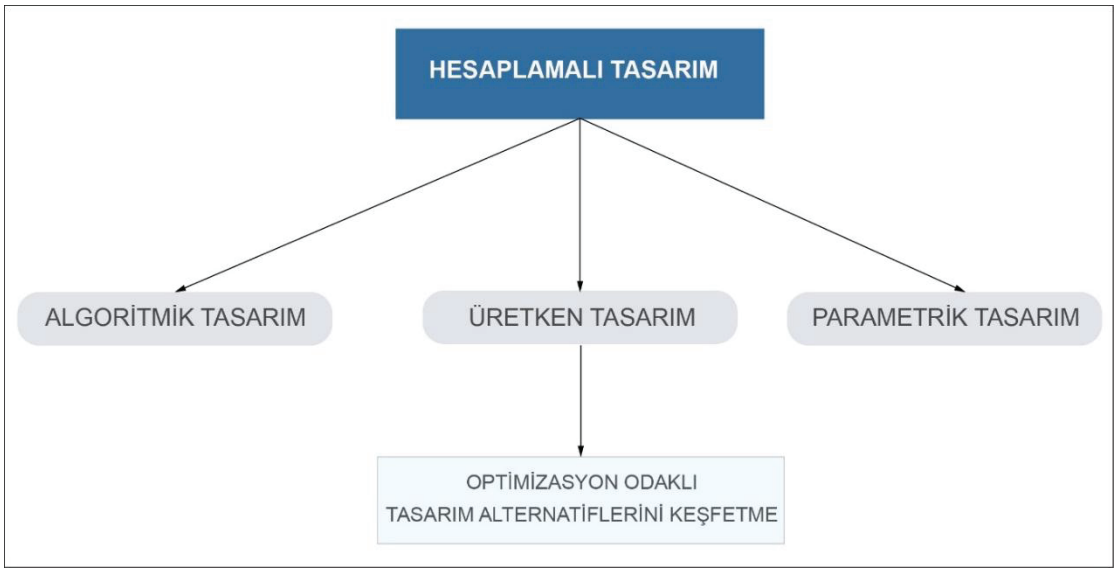
Üretken tasarım 1970’lerde John Frazer tarafından ortaya atılmış bir kavramdır (Krish, 2011). 2000’li yılların başında, Fischer ve Herr (2001) üretken tasarımı, tasarımcının malzemeler ve ürünlerle doğrudan değil, bir üretim sistemi aracılığıyla etkileşime girdiği bir tasarım yaklaşımı olarak tanımlamışlardır. Üretken bir sistem tasarım ürünlerini veya ürünü oluşturan bileşenleri görüntüleme ve üreteme yeteneğine sahip, olası tasarım alternatiflerinin soyut tanımlamalarına dayalı bir kurulumdur. Dolayısıyla ürünlerle ya da malzemelerle fiziksel etkileşimden ziyade bir sistem aracılığıyla etkileşime girme vurgusu bu sebepten yapılmaktadır. Shea ve diğerleri (2005) ise üretken tasarım sistemlerini, mevcut hesaplama ve üretim teknolojilerinden yararlanarak, yeni ancak etkili ve üretilebilir tasarımlar geliştirmeyi amaçlayan süreçler olarak tanımlamaktadır. Autodesk (Url-1), üretken tasarımı, bazı durumlarda yapay zeka destekli olarak etkinleştirilen, mühendisler veya tasarımcılar tarafından belirlenen kriterler doğrultusunda algoritmalara dayalı çok sayıda alternatif çözümün üretildiği bir süreç olarak tanımlamaktadır. Ubalde (2023), bu yaklaşımı mühendis veya tasarımcı tarafından önceden belirlenmiş parametrelerle çalışan ve tanımlanan girdilere bağlı olarak farklı alternatifler üretebilen bir sistem olarak tanımlamaktadır. Bir diğer

tanıma göre ise belirlenen hedefler ve tasarım parametreleri doğrultusunda, doğadaki evrimsel süreçleri taklit eden algoritmalar yardımıyla, geleneksel yaklaşımlardan farklılaşan, optimize edilmiş tasarım alternatiflerini keşfetmeyi ve her yinelemede yapıyı test ederek parametrelere göre süreci sürekli iyileştirmeyi amaçlayan bir tasarım yöntemidir (McKnight, 2017). Doğadaki süreçleri taklit eden algoritmalar formların özgün ve organik yapıda oluşmasını sağlamaktadır. Üretken tasarım, yapay zeka destekli algoritmalar aracılığıyla yük dağılımları ve kuvvet yönelimleri gibi parametrelere dayanarak yapıları biçimlendiren güncel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Scheider, Essafi, Puerta ve Völz, 2024). Bu yaklaşımda kullanılan yazılım, malzeme türü, boyutlandırma, uygulanan yükler veya üretim yöntemleri gibi kullanıcı tarafından belirlenen girdileri değerlendirerek belirlenen kriterleri karşılayan çok sayıda tasarım alternatifi üretmektedir (Scheider, Essafi, Puerta ve Völz, 2024). Tasarım alternatiflerinin üretilmesi, tasarım sürecinin başarılı şekilde yürütülmesi için kritiktir. Nihai tasarım hedeflerini karşılayabilecek değerlendirmeler yapabilmenin ön koşulu doğru alternatiflerin geliştirilmesidir. Tasarım sürecinde, kavramsal tasarım aşamasının en önemli özelliği kabul edilen alternatiflerin keşfedilmesi aşaması özellikle genç tasarımcılar için kritik ve zaman alıcı bir görevdir (Khan ve Awan, 2018). Tasarımcıların bu aşamada genellikle 2B (iki boyutlu) çizimler aracılığıyla alternatifler geliştirdiğini ifade eden Khan ve Awan (2018), yapay zeka, optimizasyon, tasarım simülasyonu ve parametrik tasarım tekniklerindeki gelişmelerle birlikte, bilgisayarların tasarım alanındaki rolünün değiştiğini vurgulamaktadır. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin tasarım süreçlerine yansımaları, üretken sitemlerin işleyişini de değiştirmiştir.

Üretken sistemlerin, kullanıldığı ilk yıllardan yakın geleceğe kadar manuel sistemler aracılığıyla uygulandığı bilinmektedir. Bu durumu Lobos (2019) şu şekilde ifade etmektedir: “yakın zamana kadar doğa temelli desenleri iş akışlarına entegre eden çoğu tasarımcı, bunu oldukça manuel şekilde yapıyordu. Manuel ifadesini açmak gerekirse; organik bir geçiş akışı elde etmek için bireysel şekiller oluşturma, bunları artan şekil, konum veya ölçekle varyasyonlarıyla çoğaltma anlamına gelmektedir” (Lobos, 2019). Program yazılımlarında yaşanan gelişmeler, tasarımcıların manuel olarak yürüttüğü süreçlerin dijital ortamda yürütülmesini sağlamıştır. Fakat başarılı programlama için gereken yüksek bilgi seviyesi, dijital üretken süreçlerin tasarım alanında benimsenmesini sınırlandırmıştır (Lobos, 2019). Ancak güncel programlar ve bu alandaki gelişmeler, dijital ortamdaki üretken süreçleri daha erişilebilir hale getirerek sınırların kalkmasına yardımcı olmuştur. Son zamanlarda bulut bilişim teknolojisindeki gelişmeler, üretken tasarım için gerekli olan karmaşık yinelemeli hesaplamaların, pek çok kişinin erişebileceği özelliklere sahip bilgisayarlarda

gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır (Zhu, Zhang ve Xia, 2015). Yazılımlar ve araçlardaki gelişmelerle karmaşık hesaplamaların daha basit donanımlarda gerçekleştirilebilmesi, üretken tasarımın erişilebilirliğini artırarak tasarımcıların gündelik uygulamalarına entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Bu noktada, hesaplamalı tasarım yaklaşımlarından biri olan üretken tasarımın, düğer hesaplamalı tasarım yaklaşımlarına göre benzerliklerine ve farklılıklarına değinmek, üretken tasarımın hesaplamalı tasarım yaklaşımları içindeki konumunun anlaşılabilmesi adına önemlidir.

Hesaplamalı tasarım biçim ve strüktürleri tasarlamak ve değiştirmek amacıyla programlamadan yararlanan bir yöntemdir (Michelle ve Gemilang, 2022). Hesaplamalı tasarım diğer adıyla işlemsel tasarım, dijital teknolojiler ve bilgisayar destekli yöntemlerin tasarım süreçlerine entegrasyonunu ifade eden çatı kavramdır. Bu yaklaşım, tasarım problemlerinin çözümünde algoritmalar, parametreler ve hesaplama tabanlı modelleme tekniklerinden yaralanarak yeni biçimlerin, yapısal çözümlerin ve performans odaklı tasarımların geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Literatürde hesaplamalı tasarım üç alt kategoride incelenmektedir: Algoritmik tasarım, parametrik tasarım ve üretken tasarım (Michelle ve Gemilang, 2022).




Şekil 2.12. Hesaplamalı tasarım türleri (Michelle ve Gemilang, 2022)

Algoritmik tasarım, tasarım sürecinin adımlarını algoritmalar aracılığıyla tanımlayan ve bunu görsel ya da metinsel programlama dilleri üzerinden gerçekleştiren bir yaklaşımdır. Parametrik tasarım ise boyut, geometri vb. özelliklerle ilgili parametreler arasındaki

ilişkilerden yararlanarak modellerin oluşturulmasına dayanır ve parametre değişimleri, farklı tasarım varyasyonlarının üretilmesini mümkün kılar. Parametrik tasarım literatüre göre, parametreler ve bunları sınırlayan kuralları kullanan algoritmaya dayalı bir tasarım sürecini ifade etmektedir ve tasarımları, parametreler aracılığıyla tanımlayan bir yaklaşım olarak tanımlanabilir (Caetano, Santos ve Leitao, 2019). Üretken tasarım ise algoritmalar ve özellikle topoloji optimizasyonu gibi hesaplama tekniklerini kullanarak, tanımlanmış kısıtlar çerçevesinde çok sayıda alternatif tasarım üretir ve bunlar arasından en uygun çözümleri belirlemeye odaklanır (Michelle ve Gemilang, 2022).

Bu yapı içerisinde üretken tasarım, hesaplamalı tasarımın keşif ve optimizasyon odaklı alt kategorisi olarak öne çıkmaktadır. Üretken tasarım, algoritmik tasarımın hesaplama mantığını ve parametrik tasarımın değişkenlere bağlı çıktı oluşturma yaklaşımını bir araya getirse de temel farkı performans kriterlerini ve çoklu kısıtları aynı anda dikkate alarak optimum çözümleri üretmesidir (Michelle ve Gemilang, 2022). Dolayısıyla üretken tasarım, hesaplamalı tasarım çatısı altında özellikle tasarım çeşitliliğinin artırılması, performans odaklı kararların verilmesi ve tasarım sürecinin otomasyon ile hızlandırılması açısından stratejik bir konuma sahiptir.

Artan bilgi işlem kapasitesi, bulut tabanlı hizmetlerin yaygın hale gelmesi ve karmaşık geometrilerin üretimini mümkün kılan eklemeli imalat teknolojilerinin gelişmesiyle, üretken tasarım araçları mühendisliğe dayalı uygulamalarda giderek daha uygulanabilir duruma gelmiştir (Peckham, Hicks ve Goudswaard, 2024). Birçok mühendislik temelli üretken tasarım aracı, en iyi performansa sahip çözümü ararken tasarım alanını keşfetmeye imkan tanıyan optimizasyon çerçeveleri üzerine inşa edilmiştir. Bu tasarım alanı keşfi, yeni ve yüksek performanslı çözümler sunma olasılığını artırmaktadır (Peckham, Hicks ve Goudswaard, 2024). Bunun yanı sıra üretken araçlar, tasarımcıların sahip olduğu yetişme biçimi ve kültürel etkilerden kaynaklanan ön kabullerden bağımsız çalışır (Sawyer, 2006). Daha açık bir ifade ile tasarımcıların süreci etkileyeceği ön kabuller olmaksızın yalnızca algoritmaların çıktıları ile sınırlıdır.

Özetlemek gerekirse üretken tasarım, ortaya çıktığı günden bugüne gelişmeler göstererek dijitalleşen, algoritmalara ve tasarımcının ya da mühendisin girdiği parametrelere göre alternatifler sunan bir yaklaşımdır. Geleneksel tasarım yöntemlerine kıyasla üretken tasarım, parametrelere uyan en optimum çözümleri araştırmaktadır (Ubalde, 2023).

Geleneksel yöntemler, parametrelere göre hareket etse de zaman yönetimi, işlem maliyeti gibi unsurlar optimum çözümlere odaklanmaya imkan vermeyebilir. Zaimis, Giannakis ve Savaidis (2021), üretken tasarımın optimum çözümlere odaklanmasına istinaden, bu araçları kullanarak oluşturulan bileşenlerin, belirlenen parametreler doğrultusunda oluşturulduğunu ve bunu yaparken dayanım özelliklerini sağlayacak minimum miktarda malzemeyle maksimum yapısal bütünlüğü koruyarak yaptığını, özellikle vurgulamaktadır. Üretken tasarımın vurgulanan bu yönü, bileşenlerin yeniden tasarımında ağırlık azaltılması ve dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi gibi noktalarda bir optimizasyon aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ubalde (2023), bu özellikleriyle üretken tasarımın, bileşen tasarım sürecinin farklı yönleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ve bu etkilerin üç temel noktada özetlenebileceğini belirtmektedir: tasarım sürecinin otomasyonuna bağlı olarak tasarım sürelerinin azaltılması, çözülemeyen tasarım sorunlarının çözüme kavuşturulması ve en iyi çözüme yakın, hafif bileşenlerin üretimi için optimize edilmiş çözümlerin elde edilmesi.

Sürecin otomasyonu, zaman tasarrufu, optimizasyon ve çok sayıda alternatif üretme vurgusu, üretken tasarımın geleneksel tasarım süreçlerine göre ön plana çıkan özellikleri niteliğindedir. Zaimis ve diğerleri (2021), geleneksel tasarım süreci ile üretken tasarım sürecini arasında yaptığı karşılaştırmada, geleneksel süreçlerdeki kavramsal tasarım aşamasında mühendislik bilgisinin gerektiğini ve sürecin işleyişi için önemini belirtmektedir. Konseptin, uygulanan yük, üretim yöntemleri ve hedeflenen maliyeti karşılayan çözüm elde edilene kadar çeşitli yazılım araçlarıyla yinelemeli olarak geliştirildiğini ancak üretken tasarımın, mühendisin doğrudan müdahalesini veya karmaşık teorik kavramlara dayanan bir süreci gerektirmediğini ifade etmektedir. Zaimis ve diğerleri (2021), tasarımcının programda uygulanacak yükleri, geometri kısıtlamalarını ve hedeflenen üretim yöntemini basit bir şekilde tanımladığını belirtmektedir. Bu durum, daha önce belirtilen yüksek bilgi düzeyi gerektirmeyen üretken tasarım araçlarının tasarımcılar için daha elverişli hale gelerek yaygınlaşmasını açıklayabilir.

Geleneksel tasarım süreçleri ile üretken tasarım süreçlerinin kıyaslanmasında, üretken tasarımın avantajı gibi görünen bir özellik aslında bir sınırlılığı beraberinde getirmektedir. Algoritmanın oluşturduğu doğal, başka bir ifadeyle organik yapıdaki formlar özgünlüğü sağlarken bir yandan da üretim teknolojilerinin imkanları düşünüldüğünde üretilebilirlik açısından sorun yaratabilir. Zaimis ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışma, üretken

tasarım araçlarıyla ortaya çıkan sonuçların oldukça karmaşık geometriye sahip olduğunu, bu durumun da üretim süresini artıran bir eklemeli imalat tekniğini gerekli kıldığını ifade etmektedir. Ubalde (2023), karmaşık formların yarattığı üretimle ilgili sınırlılığı, üretken tasarımın yüksek düzeyde özelleştirmeye sahip ürünlerle sınırlandırdığını, seri üretime yönelik bileşenlerin tasarımı için en uygun olan yöntem olmadığını vurgulamaktadır. Bu sınırlılığa dikkat çeken başka görüşler de bulunmaktadır. Na ve Kim (2021), yapay zeka yazılımları ve bulutun hesaplama gücüyle çeşitli tasarım alternatifleri sunan üretken tasarımın, ürün geliştirme aşamasında işletmeler için rekabet avantajı sağlayacak bir ürün tasarım yöntemi olduğu beklense de hala basit sonuçlar elde etmek için yalnızca belirli noktalarda kullanıldığını belirtmektedir. Bu nedenle çeşitli çıktılar üretilip, uygulanabilir sonuçlar elde etmeyi sağlayacak başarılı bir süreç olabilmesi için bilimsel önlemlere ihtiyaç duyulduğunun altı çizilmektedir. Bu durum üretken tasarım için geleneksel tasarım süreci karşısında avantajlı olduğu zaman tasarrufu, özgün form üretimi gibi avantajların bazı koşullara bağlı olduğunu ve süreç parametrelerine göre değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Üretken tasarım, zaman zaman topoloji optimizasyonu ile karıştırılabilmektedir. İki yöntemin hedefleri ve işleyiş biçimleri arasındaki farklılıkların göz ardı edilmemesi gerekir. Topoloji optimizasyonu, önceden tanımlanmış bir tasarım alanında, belirli bir yük dağılımına göre malzeme kullanımını optimize ederek performansı iyileştirmeyi amaçlayan hesaplamalı tasarım yöntemlerinin alt bileşenlerinden biri olarak tanımlanmaktadır (Vlah, Zavbi ve Vukasinovic, 2020). Topoloji optimizasyonu, geleneksel tasarım araçlarıyla tasarlanmış bir bileşenin önceden tanımlanmasını gerektirirken, üretken tasarım, tanımlanmış kısıtlamalarla bir mühendisin müdahalesi olmadan bu tür geometrileri otomatik olarak üretebilmektedir (Ubalde, 2023). Altair'in OptiStruct, SolidThinkig'in Inspire, Siemens'in Frustum ve efiForm gibi ticari olarak temin edilebilen üretken tasarım sistemleri topoloji optimizasyonu tekniklerine dayanmaktadır (Nana, Cuilliere ve Francois, 2016; Khan ve Awan, 2018). Dolayısıyla topoloji optimizasyonu, üretken tasarımın bir alt başlığı niteliğindeki bir hesaplamalı tasarım yöntemi olarak düşünülebilir. Üretken tasarım, kullanıcı tarafından belirlenen hedefler doğrultusunda, belirli üretim kısıtlarını ve performans kriterlerini göz önüne alarak, yapay zeka destekli algoritmalar aracılığıyla çok sayıda tasarım önerisi oluşturmaktadır. Oluşturulan tasarım önerilerinin sayısı, tasarlanmaya çalışılan geometrinin karmaşıklığına, programda tanımlanan korunan ya da engel

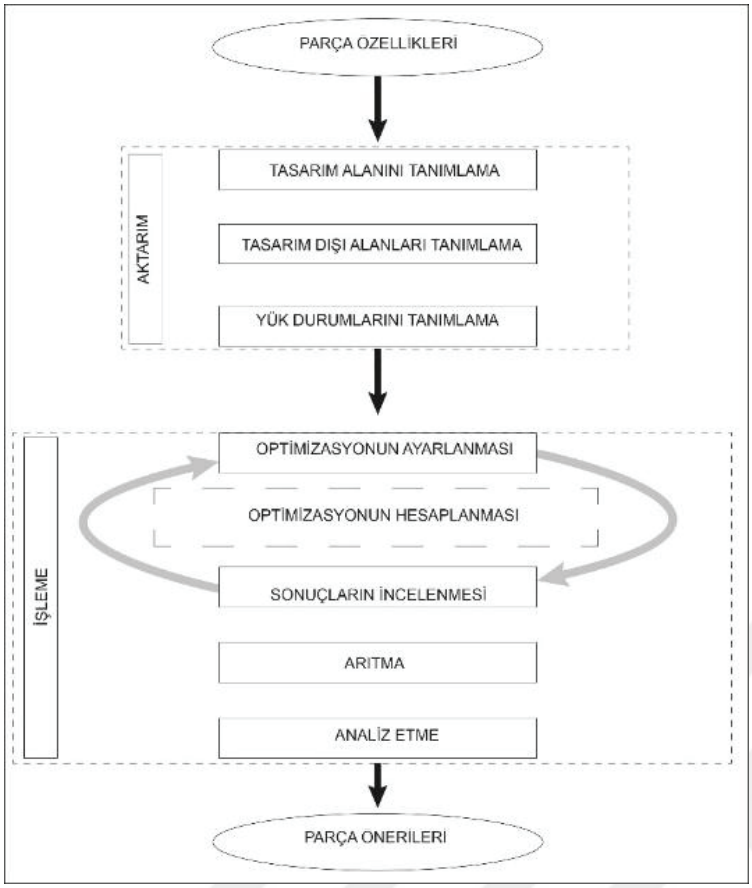
geometrilere göre değişmektedir. Programda tanımlanan girdiler, metodoloji bölümünde detaylı olarak ele alınacaktır.

Üretken tasarım bir teknoloji ya da araç olarak sınırlandırılmamalıdır. Sunduğu avantajlar, işleyiş biçimi ve sınırlılıkları düşünüldüğünde; üretken tasarım, tasarım sürecini yönlendiren ve tasarımcının süreci ele alma biçimini etkileyen bir paradigma olarak değerlendirilebilir. Yaklaşımın tasarım sürecine nasıl entegre oluğu, sürecin hangi aşamalarına ne tür katkılar sunduğu ve özellikle endüstriyel tasarım süreçleriyle nasıl etkileşim kurduğu üretken tasarım yaklaşımını anlamak açısından oldukça önemlidir. Bir sonraki bölümde, üretken tasarım sürecinin yapısı detaylandırılarak, endüstriyel tasarım süreciyle olan ilişkisi el alınacaktır.

### 2.4.1. Üretken tasarım süreci

Üretken tasarım süreci, geleneksel tasarım sürecinden farklı olarak belirli girdilerin tanımlandığı algoritmalar aracılığıyla çok sayıda alternatif önerinin oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu süreçte tasarımcı algoritmanın çalışması için gerekli olan geometrileri tanımlama, yük koşullarına karar verme gibi sürecin işleyişini doğrudan etkileyecek parametreleri belirleyerek kritik bir rol üstlenmektedir. Üretken tasarım süreç modelleri tasarımcı ve üretken araçları algoritmalara dayalı çalıştıran yazılımlar arasındaki etkileşimi açıklamakta ve sürecin aşamalarına göre tasarımcının değişen katılım düzeylerini ortaya koymaktadır.

Briard, Segonds ve Zamariola (2020), üretken tasarım sürecini aktarım ve işleme olmak üzere iki ana başlıkta ele almaktadır. Farklı üretken tasarım araçlarının incelenmesine dayanarak oluşturulan üretken tasarım için genel iş akışında, süreç başlamadan önce parçanın bağlamıyla ilgili bir ön çalışma yapılmasının gerekli olduğu belirtilmektedir. Briard ve diğerleri (2020), tasarımcının üretken tasarım sürecine başlamadan önce tüm parçaların birbiriyle etkileşimlerini hiçbir hataya yer bırakmayacak şekilde anlaması gerektiğinin altını çizer. Bu noktada parça ifadesinin kullanılması tesadüfi değildir. Çünkü değerlendirmeye alınan üretken tasarım araçları, oluşturduğu alternatifleri tek parça olarak ele almaktadır. Dolayısıyla birden fazla bileşenden oluşan ürünlerin tek bir bileşeni ya da birden fazla bileşeni, üretken tasarım aracı kullanılarak oluşturulacaksa, bu parçaların bir araya gelme biçimlerinin tasarımcı tarafından düşünülmüş olması gerekmektedir.




Şekil 2.13. Üretken tasarım süreç akışı (Briard, Segonds ve Zamariola, 2020)

Bir sonraki adım parça özelliklerinin üretken tasarım yazılımı için girdi olarak aktarılmasını içerir. Tasarımcı optimizasyonun temeli olan tasarım alanını tanımlamalıdır. Tasarım alanı, üretken tasarım yazılımının çalışabileceği mevcut hacim olarak tanımlanır ve bu alan dışına çıkılamaz (Briard, Segonds ve Zamariola, 2020). Bu nedenle tasarımcı, parçanın ölçülerini belirlemiş olmalıdır. Tasarımcının bu noktadaki rolü önemlidir çünkü ölçülerin yanlış tanımlanması nihai sonuçların belirlenen üretim hedeflerinden sapmasına sebep olacaktır. Tasarım alanı tanımlanırken, bu alan içerisinde hangi geometrilerin korunacağının ve hangi alanların boş bırakılacağının tasarımcı tarafından tanımlanması gerekmektedir. Yük durumu tanımlandıktan sonra işleme aşamasına geçilebilir. Burada tasarımcının üretken tasarım sürecini yönlendirme rolünün üzerinde durulmalıdır. Her ne kadar yapay zeka destekli algoritmalarla çalışan üretken tasarım araçları olsa da ve süreç otomasyonuna yönelik vurgulamalar yapılsa da üretken tasarım sürecinin yönetiminin hala tasarımcıda olduğu bilinmelidir.

İkinci aşama olarak kabul edilen işleme aşamasında tasarımcının optimizasyon hedeflerini ve kısıtlamalarını belirtmesi gerekmektedir. Bu parametreler üretken tasarım araçlarına göre

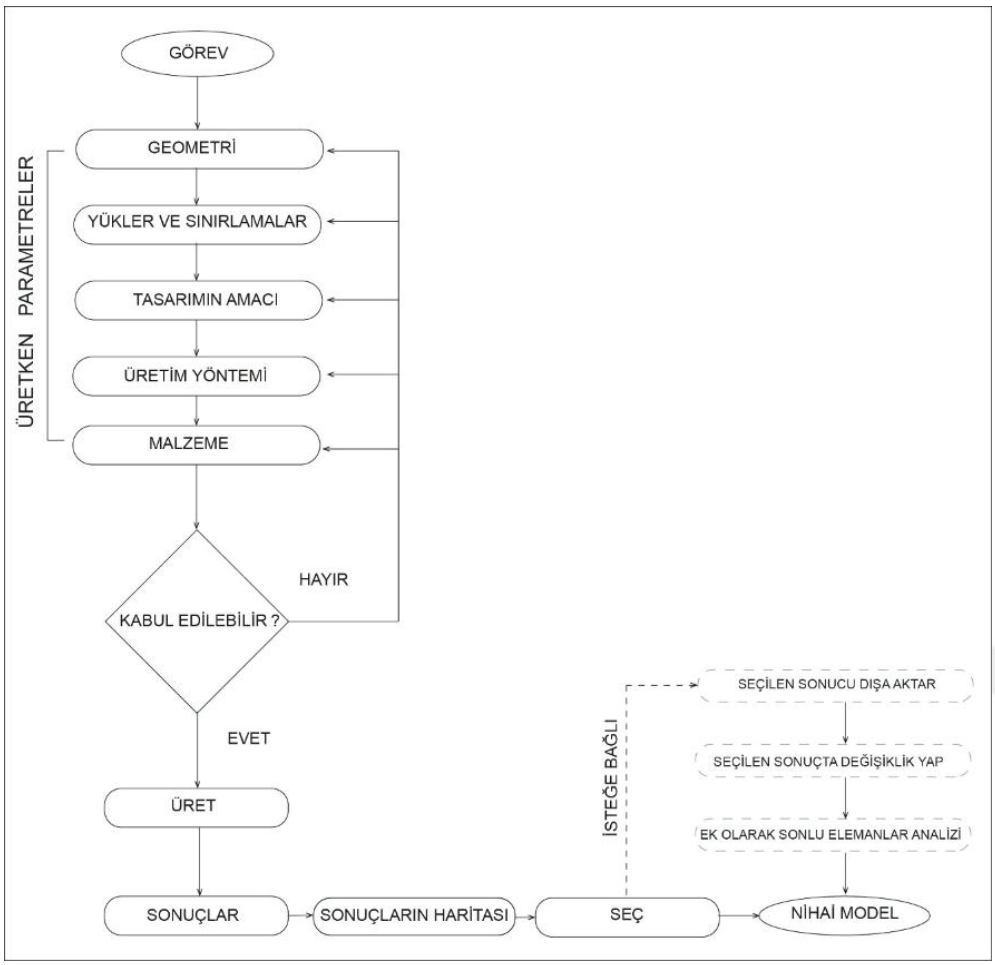
farklılık gösterebilir. Minimum boyut, üretim yöntemi, malzeme seçimi gibi parametreler örnek olarak verilebilir. Daha sonra tasarımcı optimizasyon sürecini başlatabilir ve hesaplama aşaması, tasarımcının geri bildirimleri gözlemleyebilmesi dışında müdahalede bulunamayacağı bir adım olarak düşünülebilir. Tasarımcı tarafından yazılıma tanımlanan tüm girdi ve hedeflere göre çözümler oluşturulur ve tasarımcı önerilen seçeneklere göre inceleme ve değerlendirme yapar (Briard, Segonds ve Zamariola, 2020). Önerilen alternatifler üzerinden değerlendirme yapmak tasarımcının ya da geliştirme ekibinin uzmanlığını gerektirir. Bu noktada tekrar aktif rol üstlenen tasarımcı, önerileri hedeflere uygun bulmazsa tanımlanan alanlarda ya da parametrelerde değişiklikler yaparak süreci tekrar başlatabilir.

Borsodi ve Takacs (2022), üretken tasarımın çıktılarının ses, görüntü ya da 3B model olabileceğini ancak çalışmalarında üretken tasarımı CAD (Bilgisayar destekli tasarım) yazılımlarında 3B modellerin üretilmesini sağlayan araç olarak ele aldıklarını belirtmektedir. Bu noktada, Saadi (2024) tarafından da dikkat çekilen üretken tasarım araçlarının farklı düzeylerde farklı biçimler alabileceğine değinmek gerekmektedir. Üretken araçlar tasarım sürecinin farklı aşamalarında, yapay zekanın, algoritmaların ya da tasarımcıların farklı düzeylerde katılımı ile farklı amaçlar için kullanılabilir. Saadi (2024), bu duruma örnek olarak, Autodesk DreamSketch ile bir tasarımcının ilk sorun tanımına dayalı olarak birden fazla 3B eskiz üretmek için üretken tasarım algoritması kullanmasını vermiştir. Fikir oluşturma ya da fikirlerin analizi gibi aşamalarda hesaplamalı araçların katılım daha sınırlıyken, özgün geometrilere yol açan üretken araçların kullanıldığı süreçlerde tasarımcının katılımı daha sınırlı olabilir. Hem geleneksel hem de üretken tasarım süreci, hedeflenen parametrelere göre değişkenlik gösterir.

Üretken tasarım sürecine ilişkin bir diğer süreç modeli ise Borsodi ve Takacs (2022) tarafından önerilmiştir ve model Autodesk Fusion 360 Generative Design çerçevesine dayanmaktadır. Ancak diğer üretken programların da benzer mantıkta çalıştığı belirtilmektedir.

Sürecin ilk adımında başlangıç geometrilerinin tanımlanması gerekmektedir. Başlangıç geometrisi ile kastedilen, topoloji optimizasyonu yöntemi için gerekli olan tamamlanmış bir geometri değildir. Korunması gereken alanlar ve boş bırakılması gereken alanların tanımlanabilmesi için gerekli olan geometrilerdir. Bu geometriler üzerinde yapılan tanımlamalar, üretken algoritmanın hangi bölgelerde alternatifler üretebileceği ve hangi

bölgelere müdahale edemeyeceğini belirlemektedir. Bunun yanında geleneksel yöntemlerle tasarlanmış bir 3B modelin de üretken tasarıma aktarılabileceğinin, ancak algoritmanın çalışabilmesi için oluşturulmuş model üzerinde gerekli tanımlamaların yapılması gerektiğinin altı çizilmelidir.




Şekil 2.14. Üretken tasarım metodunun akış diyagramı (Borsodi ve Takacs, 2022)

Geometrilerin tanımlanmasının ardından, korunan geometriler üzerinde yüklerin yerini ve büyüklüğünü tanımlamak gerekmektedir (Borsodi ve Takacs, 2022). Bu noktadan sonra tasarımın amacı için gerekli olan en üst düzey dayanım ve minimum malzeme kullanımını sağlayacak olan seçimler yapılabilir. Daha sonra üretim yöntemi ve malzeme seçimleri yapılarak belirlenen hedeflere uygun alternatifler sunulur. Yazılım, algoritmanın işleyişi için gerekli olan girdilerde bir eksiklik olması durumunda tasarımcıyı uyarmaktadır. Bu uyarılar, uygulamada kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Borsodi ve Takacs (2022), uygun veri girişi sonrasında oluşturma işleminin bulutta gerçekleştiğini ve sonuçların filtrelenebilme özelliği ile hedefleri en iyi karşılayan sonucun seçilebileceğini ifade etmektedir. Akış diyagramında

da görüldüğü gibi seçim yapıldıktan sonra modelin dışa aktarılarak farklı CAD araçlarıyla değiştirilmesi ve geliştirilmesi mümkündür. Ancak yazarlar bir değişiklik yapılması durumunda sonlu elemanlar analizi yapılmasını önermektedir (Borsodi ve Takacs, 2022).

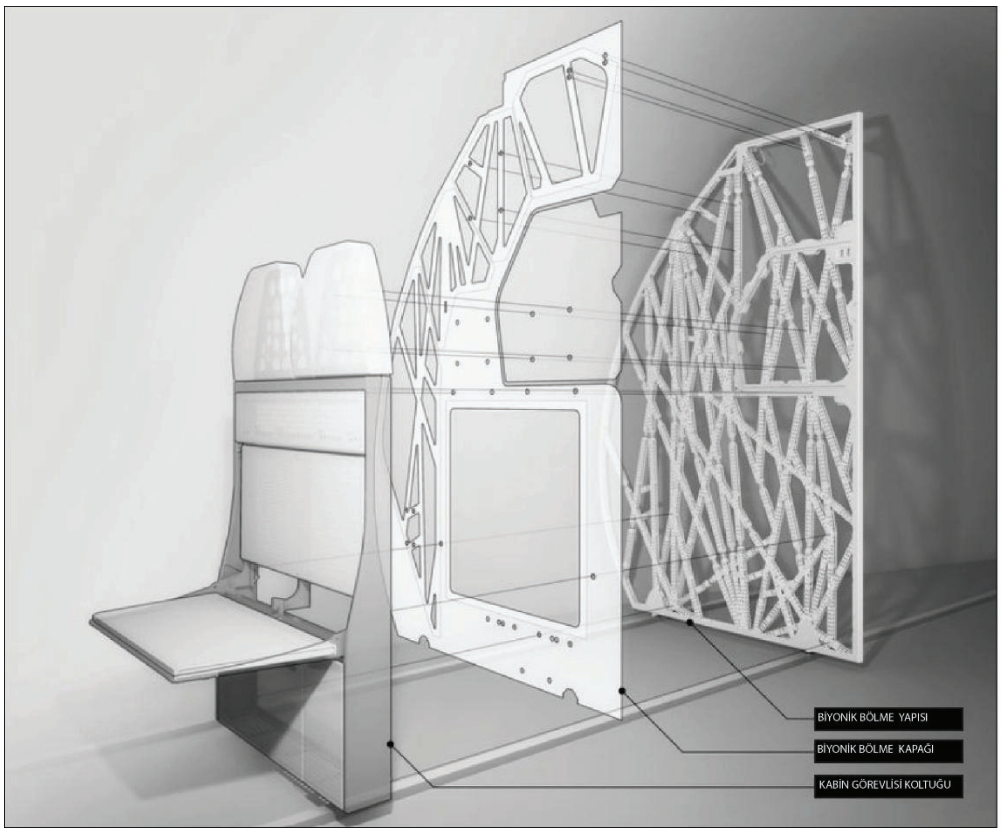
Ele alınan üretken tasarım yöntemine ilişkin süreç modelleri, tasarımcının belirlediği sınırlar dahilinde ve üretken araçların algoritmasına göre sonuçların oluşturulduğunu göstermektedir. Daha önceki bölümde üretken tasarıma ilişkin vurgulanan süreçlerin otomasyonu, alternatif sayısı ve üretme hızı hem proje sürecine hem de tasarımcının tanımladığı girdilere göre değişiklik göstermektedir. Tasarımcı gerekli tanımlamaları yapma aşamasında daha aktif rol oynarken, süreci üretken tasarım aracının kontrolüne bıraktığı bir aşama da bulunmaktadır. Alternatiflerin oluşturulması aşamasında tasarımcı, iterasyonları gözlemleyerek süreci değerlendirme fırsatı elde etmektedir. Sonuçlar oluşturulduktan sonra hem inceleyip değerlendirme hem de seçim sonrası isteğe bağlı geliştirme aşamalarında da tasarımcı aktif rol üstlenmektedir.

### 2.4.2. Üretken tasarımın sınırları, fırsatları ve uygulama örnekleri

Üretken tasarım teknolojileri, yalnızca bir tasarım aracı değildir. Farklı sektörlerde biçimsel çeşitlilik ve işlevsel açıdan verimlilik sağlayan yenilikçi çözümler üretmektedir. Bu bağlamda üretken tasarım uygulamalarına ilişkin örneklerin incelenmesi, yaklaşımın potansiyelini anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde ele alınan uygulama örnekleri algoritmanın yönlendirdiği tasarım süreçlerinin işleyiş biçimini, tasarımcı ve üretken araçların etkileşimini ve elde edilen ürünler üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Özellikle farklı alanlardan verilen örnekler, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreçlerine entegrasyonu ve bu süreçlerdeki konumunu değerlendirebilmek için karşılaştırmalı bir zemin sunarken, aynı zamanda bu yaklaşımın potansiyelini görünür kılmaktadır.

Üretken tasarımın uygulamalarına yönelik örneklerden biri Airbus ve Autodesk iş birliğine dayanmaktadır (Url-2). Airbus, performans ve güvenlik standartlarını aşan daha hafif parçalar geliştirmek için Autodesk'in üretken tasarım aracını kullanarak birden fazla yapısal uçak bileşenini yeniden tasarlamaktadır. Daha az ağırlığın daha az yakıt anlamına geldiği havacılık sektöründe, bu yaklaşımın kullanılması hava yolculuğunun çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için büyük bir fırsat sunmaktadır. 2015 yılında Airbus ilk

üretken tasarım konseptini ilan etmiştir. Yolcu bölümü ile mutfak arasında bir separatör görevi gören biyonik bölme ayırıcı bir duvar ve atlama koltuğu destek yapısının yeni bir versiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu projede üretken tasarım ile 3B baskı teknolojilerinin birlikte kullanılması, optimize edilmiş çözümlere ulaşılmasına katkı sunmuştur. Tasarım süreci tamamlanınca, 3B baskı yani katmanlı üretim tekniği ile yüksek dayanımlı metal alaşımlardan oluşan 100'den fazla sayıda bileşen üretilerek sonraki aşamada monte edilmiştir (Url-2).




Resim 2.1. Airbus için üretken tasarımla oluşturulan bölme örneği (Url-2)

Üretken tasarım ile oluşturulan bölme hem dayanımı daha yüksek hem de daha az malzeme ile üretilmiştir. Geleneksel üretim yöntemlerine göre %95 daha az hammadde kullanılarak çevresel açıdan avantaj sağlamıştır. Üretken yöntemle oluşturulan bölme, standart bölmelere göre yaklaşık 30 kg daha hafiftir. Bu hafifleme uçak başına yılda 3.108 kg yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bu da A320 gibi bir uçak için yıllık CO2 salınımını 166 metrik ton kadar azaltma potansiyeli taşımaktadır (Url-2)

Yapay zeka destekli üretken tasarımın bir diğer uygulama örneği, dünyanın yapay zeka ile tasarlanarak üretilen ilk sandalyesi olarak bilinen ve Philippe Starck'ın Kartell markası için

tasarladığı sandalyedir (Ramin ve Facca, 2024). Bu sandalye, İtalyan mobilya üreticisi Kartell ve Autodesk'in iş birliği ile oluşturulmuştur. Sandalye, plastik enjeksiyon kalıplama tekniği ile üretilebilen, üretken yapay zeka ile oluşturulan ilk ticari ürünlerinden biri ve ilk sandalyesidir (Zahra, N.N.,2023; Url-9). Bu ürün, insan-makine iş birliğinde bir sıçrama olarak nitelendirilirken; Starck, yapay zekanın gelişiminin, tasarımcı olarak yaratıcı potansiyelini artırabileceğini ifade etmektedir (Url-9).

Üretken yapay zeka ile tasarlanan sandalye örneği, üretken tasarımın yalnızca mühendislik ya da havacılık alanlarıyla sınırlı olmayacağını göstermesi bakımından önemlidir. Mobilya gibi gündelik kullanım ürünlerinde de üretken tasarımın kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Resim 2.2'de de görülen iterasyonlar, ürününü algoritmaya dayalı gelişim sürecini gösterirken, görselin sağ alt kısmında yer alan ürün, tasarımcının revizyonları sonucu oluşturulan nihai tasarımı göstermektedir.



Resim 2.2. Kartell için yapay zeka ile üretilen sandalyenin iterasyon süreci (Url-7)

Yapay zeka ve insan iş birliğine dayalı olarak seri üretime geçmiş dünyanın ilk sandalyesi, algoritmaya dayalı form üretimi açısından değil, bu formların kullanıcı ile ilişkisinin de değerlendirilmesi gereken bir örnektir. Bu yönüyle endüstriyel tasarım bağlamında üretken tasarımı anlamak için önemli bir örnektir.

Üretken tasarımın otomotiv endüstrisindeki potansiyelini ortaya koyan iş birlikleri ve uygulamalar bulunmaktadır. Bunlardan biri General Motors ile Autodesk arasında

gerçekleştirilmiştir. General Motors, sıfır emisyonlu ve alternatif yakıtlı araçlar geliştirmek amacıyla üretken tasarımı eklemeli imalat yöntemleriyle birlikte kullanarak parçaların ağırlığını azaltmayı, dayanımı artırmayı ve ürün geliştirme sürecini hızlandırmayı hedeflemiştir (Url-3). Bu kapsamda, Autodesk'in haberine göre (Url-3), sekiz parçadan oluşan geleneksel bir emniyet kemeri braketinin yerine, algoritma tarafından geliştirilen yüz elliden fazla tasarım alternatifi arasından seçilen ve tek parçadan oluşan bütünleşik bir yapı geliştirilmiştir. 3B baskı teknolojisi ile üretilebilen yeni parça %40 daha hafif ve dayanımı %20 daha fazladır (Url-3).




Resim 2.3. Emniyet kemeri braketinin üretken tasarımla dönüşümü (Url-3)

Çalışmada, ağırlık azaltımının ve daha az malzeme kullanımının elektrikli araçlar için menzili uzatma ve kullanıcılar için iç mekanda daha fazla alan açabileceğinin üzerinde durulmuştur.



Resim 2.4. Emniyet kemeri braketi için alternatifler (Url-3)

General Motors, üretken tasarımı bir optimizasyon aracına ek olarak tasarımcı için görülmemiş formları keşfetmeye imkan veren yaratıcı bir alan olarak tanımlamaktadır. Resim 2.4'te yer alan alternatif tasarım çıktıları, tanımlanan hedef girdilere yönelik sistemin oluşturduğu farklı biçim önerilerini göstermektedir. Üretken tasarımın biçim ve işlev arasındaki ilişkiye farklı bir boyut kazandırdığı söylenebilir.

Autodesk'in üretken tasarım uygulamalarına dayanan bir iş birliklerinden biri de Volkswagen'in Almanya dışındaki en büyük araç araştırma tesisi Kaliforniya İnovasyon ve Mühendislik Merkezi ile 20. yıl dönümü kutlamaları için yeniden donatıp tanıttığı bir minibüs projesi için yapılmıştır (Url-8). Üretken tasarım sayesinde, daha hafif, malzeme kullanımı açısından daha verimli ve yüksek performanslı parçalar elde edilmiş ve yeniden tasarlanan jantla, standart jantlara kıyasla %18 hafifletilmiştir. Ayrıca geleneksel yöntemlerle yaklaşık bir buçuk yıl süren yeniden geliştirme süreci birkaç aya kadar düşmüştür (Url-8). Direksiyon simidi, arka koltuk strüktürü ve yan ayna bağlantıları için de üretken tasarım yaklaşımı uygulanmıştır. Şirketin baş ürün tasarımcısı, direksiyon simidinin üretken tasarımla oluşturulmasını özellikle önemli bulduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi, direksiyon simidinin ağırlığının azaltılmasından çok, kullanıcı ile doğrudan teması olan bir bileşen olması ve dayanıklılık hissinin kullanıcı tarafından algılanabilecek olmasıdır. Ayrıca, Volkswagen ekibi, üretken tasarımın ilerleyen yıllarda daha da gelişerek otomotiv üretiminde bir dönüşüme yol açabileceğini ifade etmiştir (Url-8).



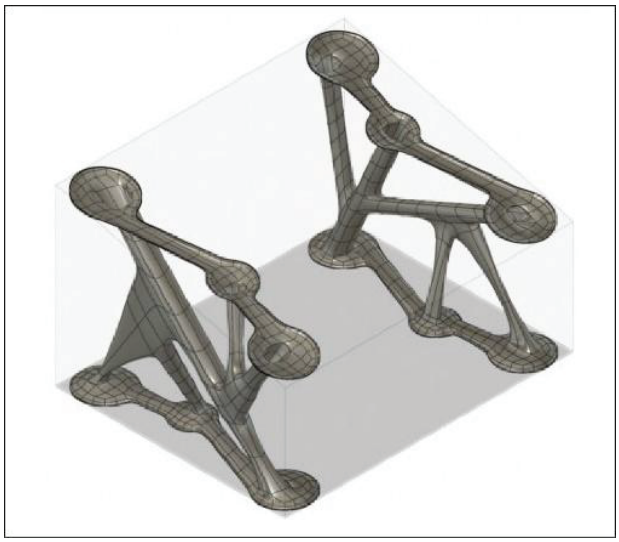
Resim 2.5. Üretken tasarımın otomotiv sektöründe bir uygulama örneği (Url-8)

Volkswagen'in baş tasarımcısının dikkat çektiği nokta, üretken tasarımın uygulama alanlarına ilişkin literatürde gözlemlenen örnekler düşünüldüğünde oldukça değerlidir. Üretken tasarım genel olarak, kullanıcı ile doğrudan etkileşim kurmayan iç yapılar veya mühendislik odaklı bileşenler üzerinde uygulanmaktadır. Bu sebeple direksiyon simidi örneği kullanıcı deneyimine yönelik potansiyeli gösterdiği için önemlidir. Philippe Starck tarafından tasarlanan sandalye örneği de bu durumla ilişkilidir. Rasyonel girdilere dayalı

yürütülen bu süreçte tasarımcının kararları ve önerilen alternatifler üzerinden yaptığı geliştirmeler, nihai ürünün kullanıcı ile etkileşiminde belirleyicidir.

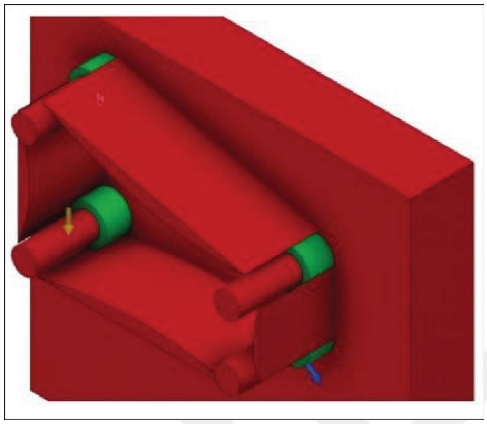
Autodesk'in büyük ölçekli şirketlerle yürüttüğü iş birliklerine dayanan uygulama örnekleri, üretken tasarımın farklı sektörlere nasıl uygulanabildiği ve bu yaklaşımın yazılım ve bilişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte kazandığı ivmeyi göstermesi açısından önemli bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle artan hesaplama gücü, yapay zeka algoritmalarındaki ilerlemeler ve dijital üretim teknolojilerinin gelişimi gelecekte bu tasarım yaklaşımının daha da yaygınlaşacağını göstermektedir (McClelland, 2022; Haridasan ve Jawale, 2024). Bu örneklerin yanı sıra, üretken tasarımın CAD tabanlı bir platform üzerinden nasıl işlediğini ortaya koyarak süreci temel alan bir örnek verilmesi, tezin metodolojik çerçevesini temellendirmekte ve araştırma sorularının uygulamadaki karşılığını değerlendirebilmek için katkı sunmaktadır. Fusion 360 Generative Design kullanılarak oluşturulmuş bir dizüstü bilgisayar standı örneği (Lobos, 2019), bu bakımdan, üretken tasarım sürecinin uygulama biçimini somutlaştırarak araştırma yönteminin temellerini destekleyen bir vaka sunmaktadır.

İlk olarak dizüstü bilgisayar standının iskelet yapısına üretken tasarımın entegre edilmesi hedeflenmiştir. 3B baskı teknolojisi ile üretimin yapılacağı belirlenmiş ve T-Spline kullanılarak yapılan hızlı bir form çalışması daha pratik bir yönü ortaya koymuştur. T-Spline, organik formlar oluşturmak için kullanılan bir geometri türü olarak tanımlanabilir ve bazı CAD yazılımlarında yerleşik bir araç olarak sunulmaktadır.



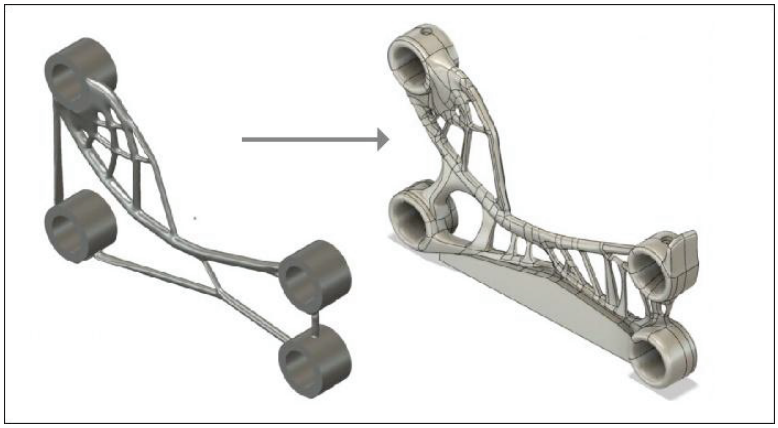
Resim 2.6. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 1, (Lobos, 2019)

Bu form düşünüldüğünde üretken tasarım iskeleti yalnızca yan uçlarda kullanılabilmektedir. Sonraki adımlarda bağlantı noktalarının olduğu ve kavelaları birbirine bağlayacak olan dört silindir, korunan geometri olarak belirlenmiş ve çalışma hacmi engel geometriler ile sınırlandırılmıştır.



Resim 2.7 Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 2, (Lobos, 2019)

Oluşturulan üretken tasarım alternatiflerinde bazı bölgelerin çok ince olduğunu düşünülmüş ve 3B baskı sırasında kırılabileceği ön görülerek model Fusion 360'a aktarılmıştır. Genişlik artırılmış ve yatay yüzeylerin altına dikey destekler eklenmiştir.



Resim 2.8. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 3, (Lobos, 2019)

Sonuç olarak üretken tasarımın biçim yaratma avantajından yararlanılarak hem üretimi kolaylaştıran hem de sökülüp takılması kolay olan işlevsel bir ürün geliştirilmiştir.



Resim 2.9. Üretken tasarım uygulama örneği aşamaları 4, (Lobos, 2019)

Bu uygulama, üretken tasarımın alternatif biçimler üretme yönüne ek olarak, oluşturulan alternatiflerin CAD programına tekrar aktarılarak yeniden gözden geçirilebilmesini ve geliştirilebilmesini de ortaya koymaktadır. Süreç içerisinde tasarımcının ön gördüğü sorunlara karşı yaptığı geliştirmeler, bu yaklaşımda tasarımcı ve üretken tasarım aracı arasındaki etkileşimi de göstermektedir. Ele alınan örnek, bu yönüyle, üretken tasarım çıktılarının yalnızca nihai ürün olarak değil, yeniden değerlendirmeye ve geliştirmeye açık bir süreç sunduğunu ortaya koymaktadır. Üretken tasarımın esnek ve uyarlanabilir bir yönü olduğunu da göstermektedir.

## 2.5. Kriter Geliştirme Sürecine Temel Oluşturan Sınıflandırmalar

Bu çalışmada kullanılan ve yöntem bölümünde ayrıntılı olarak ele alınacak olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yaklaşımı, üretken tasarımın uygulandığı ürünlerde ortaya çıkan farklı biçimsel ve yapısal özelliklerin belirli kriterler doğrultusunda sistematik biçimde değerlendirilmesini ve önceliklendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, çalışmada kullanılacak kriterlerin yapılandırılabilmesi için literatürde yer alan çeşitli sınıflandırma yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Her ne kadar üretken tasarıma özgü doğrudan bir ürün sınıflandırma modeli bulunmasa da biçim, strüktür, üretim yöntemi ve kullanım amacı gibi farklı bağlamlarda geliştirilen sınıflandırma örnekleri, bu araştırmada kullanılacak kriter setine kavramsal bir zemin sunmaktadır.

Aşağıda yer alan sınıflandırma örnekleri, üretken tasarım süreciyle geliştirilen çıktıların belirli niteliklere göre ayrıştırılmasına imkan tanımaktadır. Bu sayede farklı ürün

özelliklerine göre üretken tasarımın avantaj düzeyinin değerlendirilebilmesine yönelik analitik bir çerçeve oluşturulmaktadır.

### 2.5.1. Biçim temelli sınıflandırma örneği

Biçim temelli sınıflandırma örneği, üretken tasarımın, tasarımcı tarafından tanımlanan girdilere ve algoritmaya göre biçimler oluşturma özelliği düşünüldüğünde, tez kapsamında önerilen sınıflandırma modelindeki kriterleri belirlemek için kavramsal bir çerçeve çizmektedir.

Agudelo, Nadeau, Pailhes ve Guiterez (2017) tarafından ortaya konulan çalışma; malzeme, üretim sistemi ve biçimi ilişkilendirerek yürütülmüştür. Ürün biçimlerine yönelik oluşturulan bu çalışmada asıl amaç, gittikçe önem kazanan çevresel faktörler için ürün geliştirme süreçlerinin son aşamalarına kalmadan, ilk aşamalarda ürünün çevresel etki tahminlerinin yürütülebilmesi için bir morfolojik sınıflandırma araştırması yürütmektir (Agudelo, Nadeau, Pailhes ve Gutierrez, 2017). Daha açık bir ifadeyle, ürün tasarım sürecinin özellikle kavramsal tasarım aşaması gibi daha erken evrelerinde, çevresel etkinin daha erken öngörülebilmesini sağlayacak biçim temelli bir sınıflandırma geliştirmek amaçlanmıştır.

Agudelo ve diğerleri (2017), bir ürünün çevresel etkisinin hesaplanması gerektiğinde malzemeler ve süreçlerin kritik öneme sahip olduğunu ve her ürünün çevresel etkisinin aynı olmadığını otomobil ve ofis mobilyasını karşılaştırarak vurgulamıştır. Otomobil gibi enerji tüketen ürünler ile ofis mobilyası gibi statik ürünlerin çevresel etkilerinin farklı aşamalarda belirginleştiği belirtilmiştir. Otomobiller ve elektronik ürünlerde çevresel etkinin büyük bölümünün ürünlerin kullanım aşamasında ortaya çıktığı, mobilya, tekstil ürünleri vb. statik ürünlerde ise çevresel etkilerin ağırlıklı olarak tasarımın erken aşamalarında, özellikle malzeme seçimi ve üretim süreci kararlarını alma aşamasında görüldüğü açıklanmıştır (Agudelo, Nadeau, Pailhes ve Gutierrez, 2017). Bu sınıflandırma örneğinde ele alınan yaklaşım ürünlerde Kim ve Lee (2010) tarafından da belirtilen ve daha önceki bölümlerde üzerinde durulan iç-dış ayrımını ortaya koymaktadır. Mühendislik ve endüstriyel tasarımın tasarım sürecine yaklaşımı üzerinden belirtilen iç- dış ayrımı, Agudelo ve diğerleri (2017) tarafından da çevresel etki üzerinden karşımıza çıkmaktadır. Ürünlerin çalışması ve kullanılabilmesi için gereken elektronik ya da mekanik bileşenler çevresel etkiyi

farklılaştırdığı gibi biçimsel açıdan da fark yaratmaktadır. Bu durum ürün kullanıcı ilişkisi üzerinden değerlendirildiğinde, kullanıcının ürünü çalıştıran bileşenlerle temasının olmaması ya da sınırlanması gerektiği kullanılabilirlik ve güvenlik gerekçeleri sebebiyle bilinir.

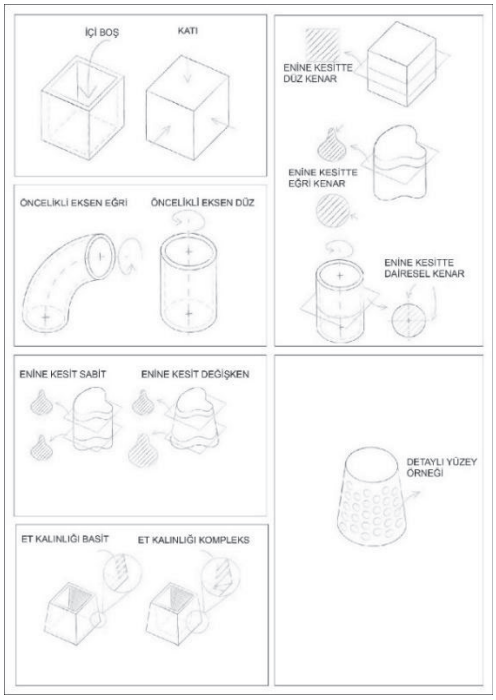
Araştırmacılar, malzeme ve üretim biçiminin çevresel etkileri tahmin etmek için yetersiz olduğunu belirterek, biçimi de üçüncü değişken olarak sürece dahil etmişler ve malzeme ve üretim yöntemlerine göre literatürde biçimsel sınıflandırma için bir boşluk olduğunu ifade etmişlerdir (Agudelo, Nadeau, Pailhes ve Gutierrez, 2017). Araştırmacılar, malzeme, üretim yöntemi ve biçimi ilişkilendirebilmek için değişkenler arasında ortak ve kapsamlı bir sınıflandırma örneğine rastlayamadıklarını belirtmiş ve 2000 yılında Schey tarafından önerilen, şekilleri geometrik özelliklerine göre sınıflandıran çalışmaya atıfta bulunmuşlardır. Üretim süreçleri ve uygulanabilir şekiller arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı amaçlayan çalışma, o dönemin kısıtlı üretim tekniklerine göre oluşturulduğu için kendi çalışmalarıyla ilişkilendirilememiştir. Bu noktada üretim yöntemlerinden bağımsız olan Johnson'ın biçim sınıflandırmasını örnek göstermişlerdir. Bu sınıflandırmada biçimler, prizma, levha ve 3B olmak üzere üç temel sınıfa ayrılmıştır. Prizmalar simetrik ve asimetrik olarak ayrılırken; levhalar, düz ve iç bükey (çukur) olarak; 3B biçimler ise katı (solid) ve içi boş (hollow) olarak ayrılmıştır.

Agudelo ve diğerlerinin (2017) önerdiği biçim sınıflandırma önerileri etkileşim, montaj gibi işlemleri olmayan parçaları kapsamaktadır. Bu sebeple, statik nesnelerin formlarını (çalışmak için harici enerjiye ihtiyaç duymayan ürünler), tek bir işlem ve tek bir malzeme ile sınıflandırma üzerinde çalışmışlardır. Agudelo ve diğerleri (2017), tasarımcının birkaç parçadan oluşan bir ürünü varsa, sınıflandırmayı ürünü parçalara bölerek kullanabileceğini ve parça bir bütün olarak analiz edilirse, parçanın tek malzeme kabul edilmesini belirtir. Araştırmacıların sınıflandırması iki ana bloktan oluşur. Birinci blok içi boş parçalar içinken ikinci blok katı parçalar içindir. Her blok altı adet şekil özelliğine sahiptir.

Çizelge 2.1. Agudelo ve diğerlerinin (2017) önerdiği biçim sınıflandırması

| Parça | Öncelikli eksen | Enine kesit | Kalınlık | Kenar (Dış sınır geometrisi) | Detaylar |
|---|---|---|---|---|---|
| İçi boş | Düz | Sabit | Basit | Düz | Yüzeyi detaylı |
| Katı/yekpare | Eğri | Değişken | Kompleks | Eğri | Yüzeyi detaysız |
| | | | | Dairesel | |

Agudelo ve diğerleri (2017) tarafından geliştirilen sınıflandırmada, her ürün parçası; doluluk durumu, eksen eğriliği, kesit değişkenliği, et kalınlığının yapısı, dış sınır geometrisi ve yüzey detaylarına göre altı temel özellik üzerinden tanımlanmaktadır. Bu sınıflandırma sabit kategorilere indirgenmiş bir sistem yerine, söz konusu değişkenlerin kombinasyonlarına dayalı olarak oluşturulan çok boyutlu bir yapı sunar. Örneğin, "içi boş- eğri eksenli- değişken kesitli- basit et kalınlıklı- eğri sınırlı- yüzey detaylı" şeklindeki bir kombinasyon belirli bir parçanın biçimsel özelliklerini tanımlamakta ve bu sayede tasarım çıktıları arasında karşılaştırmalı analiz yapmayı mümkün kılmaktadır. Sınıflandırma, şeklin üretilebilirliğine ve çevresel etki potansiyeline ilişkin erken aşamada sezgisel öngörüler geliştirmeye imkan tanımaktadır. Özellikle şekilsel karmaşıklığın artmasının, üretim sürecinde malzeme ve enerjinin kullanımını artırabileceği vurgulanmaktadır.




Şekil 2.15. Agudelo ve diğerlerinin (2017) biçim sınıflandırmasının görsel ifadesi

### 2.5.2. Kullanıcı türü ve kullanım amacına dayalı ürün sınıflandırması

Kotler ve Armstrong (2018), ürünü bir istek veya ihtiyacı tatmin edebilecek, dikkat çekmek, satın almak, kullanmak veya tüketmek için pazara sunulabilecek herhangi bir şey olarak tanımlarken, ürünün hizmetleri, olayları, kişileri, yerleri, organizasyonları, fikirleri veya bunların karışımını da içerebildiğini belirtmektedir. Araştırmacılar, ürünleri onları kullanan tüketici türlerine ve kullanım amacına göre iki temel kategoriye ayırırlar: tüketici ürünleri ve endüstriyel ürünler. Bu sınıflandırmaya göre tüketici ürünleri bireyler tarafından kişisel kullanım için satın alınırken; endüstriyel ürünler iş süreçlerinde kullanılmak veya daha fazla işlenmek üzere edinilen ürünler olarak tanımlanmaktadır (Kotler ve Armstrong, 2018). Bu nedenle tüketici ürünü ve endüstriyel ürün arasındaki ayrım ürünün satın alınma amacına dayanmaktadır. Fakat aynı ürünün farklı bağlamlarda iki gruba da dahil olabileceği belirtilmektedir.

Kotler ve Armstorng (2018), tüketici ürünlerinin satın alma davranışlarına göre dört kategoriye ayırmaktadır: temel ihtiyaç ürünleri, alışveriş ürünleri, özel ürünler ve aranmayan ürünler. Bu kategoriler fiyat düzeyi, erişilebilirlik, marka sadakati, pazarlama stratejileri gibi ölçütlere göre şekillenmektedir. Temel ihtiyaç ürünleri ve özel ürünler karşılaştırıldığında, daha düşük fiyatlı, sık tüketilen ve karar verme süresi daha kısa olan ürünler, temel ihtiyaç ürünleridir. Özel ürünlerde ise daha yüksek fiyat, daha güçlü marka sadakati görülmektedir (Kotler ve Armstrong, 2018).

Çizelge 2.2. Tüketici ürünleri türleri (Kotler ve Armstrong, 2018)

| | TÜKETİCİ ÜRÜNÜ TÜRLERİ | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Pazarlama değerlendirmesi** | **Temel ihtiyaç** | **Alışveriş** | **Özel** | **Aranmayan** |
| Tüketici satın alma davranışı | Sık satın alma; az planlama, az karşılaştırma veya alışveriş çaba; düşük müşteri katılımı | Daha az satın alma; daha fazla planlamave alışveriş çabası; marka, fiyat, kalite ve stil kıyaslaması | Güçlü marka tercihi ve bağlılığı, özel satın alma çabası, çok az marka kıyaslaması, düşük seviye fiyat hassasiyeti | Düşük ürün farkındalığı ve bilgisi |
| Fiyat | Düşük fiyat | Daha yüksek fiyat | Yüksek Fiyat | Değişken |
| Görülme sıklığı/dağıtım | yaygın görülme/ dağıtım ulaşılabilir lokasyonlar | Daha az satış yerinde seçimli dağıtım | Sadece bir veya birkaç satış yerinde özel dağıtım | Değişken |
| Tanıtım | Üretici tarafından kitlesel tanıtım | Üretici ve satıcının her ikisi tarafından reklam ve kişisel satış | Çok dikkatli ve hedeflenmiş tanıtım ve hem üretici hem satıcı için satış | Girişken/aktif tanıtım ve üretici ve satıcı tarafından satış |
| Örnekler | Diş macunu, çamaşır deterjanı, deri | Beyaz eşya, TV, mobilya ve kıyafet | Lüks eşyalar Rolex saat , kristal vb. | Hayat sigortası , Kızıl haç kan bağışı |

Bu sınıflandırmalar kullanıcı ve satın alma süreçleri anlamaya yönelik pazarlama temeline dayanan bir çerçeve sunmaktadır. Kotler ve Armstrong'a (2018) göre endüstriyel ürünler, bir üretim sürecinde kullanılmak için ya da bir işletmenin faaliyetlerini yürütebilmek amacıyla satın alınan ürünlerdir ve üç grupta incelenmektedir: malzemeler ve parçalar, sermaye kalemleri ile tedarik ve hizmetler.

Malzemeler ve parçalar; tarımsal ürünleri, doğal kaynakları, üretimde kullanılan bileşen malzemeleri ve bileşen parçaları içermektedir. Bu maddeleri örneklerle açıklamak gerekirse; tarımsal ürünler buğday, pirinç, pamuk, sebze gibi ürünlerdir. Doğal kaynaklar ise ham petrol, kereste, demir cevheri gibi hammaddelerdir. Üretimde kullanılan bileşen malzemelere, çimento, iplik, tel gibi örnekler verilirken, bileşen parçalarını açıklayan örneklere küçük motorlar, lastikler verilebilir (Kotler ve Armstrong, 2018).

Sermaye kalemleri ise işetmenin üretim kapasitesine doğrudan katkı sağlayan fabrika, ofis yapıları, bilgisayar sistemleri gibi büyük ölçekli yatırımları kapsamaktadır. Endüstriyel ürünlerin son grubu tedarik ve hizmetler ise işletmelerde süreçlerin sürekliliğini sağlayan temizlik ürünleri, kırtasiye, yağlayıcılar gibi ürünler ve bakım-onarım ve danışmanlık hizmetlerinden oluşur (Kotler ve Armstrong, 2018).

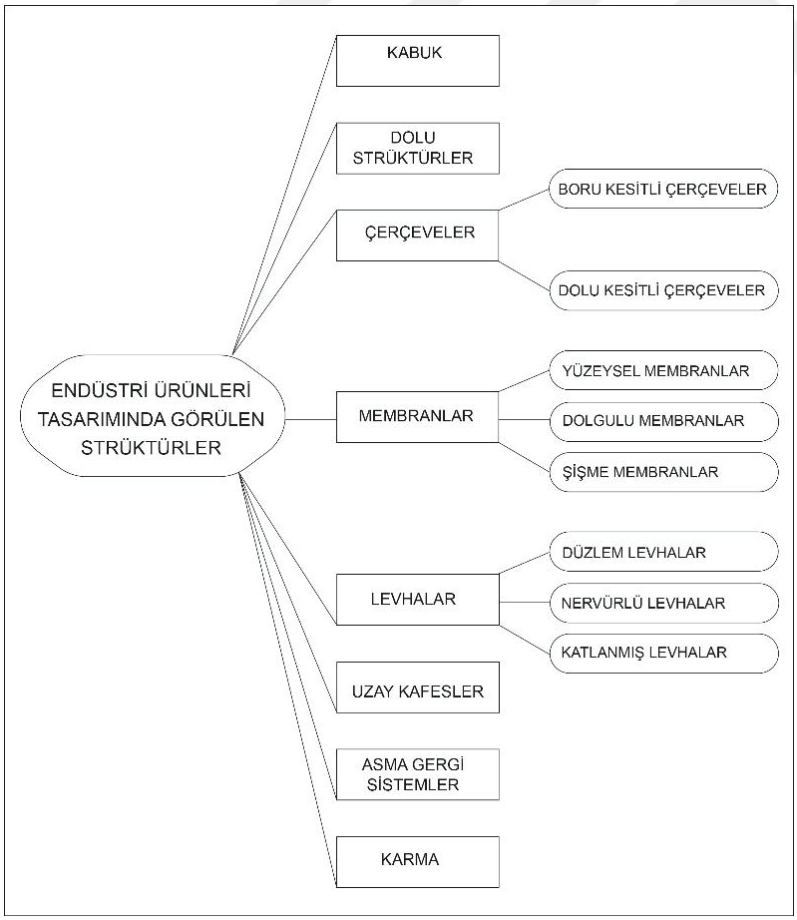
Bu sınıflandırmaya ek olarak pazarlama literatüründeki bir diğer sınıflandırma yaklaşımı olan dayanıklılıklarına göre ürünler de çalışma sınırlarının belirlenmesi için önemlidir. Durmaz ve Yardımcıoğlu (2016), dayanıklılıklarına göre ürünleri dayanıklı, dayanıksız ve hizmetler (fiziksel olmayan ürünler) şeklinde üç gruba ayırmaktadır. Dayanıklı ve dayanıksız ürünler arasındaki en büyük farklılık ürünlerin kullanım süresi ve sayısı olarak gösterilebilir. Örnek vermek gerekirse, bilgisayar, bulaşık makinesi, çanta vb. eşyalar dayanıklı ürünler kategorisine girerken, diş macunu, bisküvi, deterjan gibi şeyler dayanıksız ürünler kategorisinde değerlendirilmektedir. Kuaförlük hizmeti, rehberlik, tasarım danışmanlığı gibi satışa sunulan faaliyetler yararlar ve tatminler olarak tanımlanmaktadır (Durmaz ve Yardımcıoğlu, 2016).

### 2.5.3. Endüstri ürünleri tasarımında strüktür türlerine göre sınıflandırma

Günel Ertaş ve Bayazıt (2009) tarafından ortaya konulan çalışma, strüktür ve malzemenin bütüncül şekilde ele alındığı özellikleri ve bu özelliklerin tasarıma olan etkisinin

araştırılmasını içermektedir. Endüstriyel tasarım ürünlerinin farklı örneklerinin strüktür, biçim, malzeme ve işlev yönünden incelendiği çalışmada bu ilişkiler üzerinden strüktürler sınıflandırılarak strüktürlerinin avantajlı yönleriyle birlikte üretildikleri malzemelerin ortaya konması amaçlanmıştır (Günel Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Strüktür kavramı araştırmacılar tarafından şu şekilde tanımlanmıştır: "Endüstri ürünleri tasarımında strüktür, tasarımları ayakta tutan, biçimin oluşmasına yardım eden, özel bir düzenle bir araya getirilmiş parçaların meydana getirdiği sistemdir" (Günel Ertaş ve Bayazıt, 2009). Bu sınıflandırma çalışması, tez kapsamında ortaya konulan sınıflandırma modeli için önemli bulunmuştur. Bunun en önemli sebebi, kullanıcıdan, fiyattan, kullanım amacından bağımsız olarak yalnızca malzemeyi, biçimi ve strüktürü ele alarak bu unsurların birbirleriyle olan ilişkilerine odaklanmasıdır. Üretken tasarım da tasarımcıdan tam olarak bu unsurları ve bu unsurlarla ilişkili girdileri tanımlamasını beklemektedir. Günel Ertaş ve Bayazıt'ın (2009) strüktür sınıflandırması sekiz başlığı içermektedir.




Şekil 2.16. Strüktür türleri (Günel Ertaş ve Bayazıt, 2009)

Aşağıda strüktür türlerine ilişkin açıklamalar ve örnekler, doğrudan Günel Ertaş ve Bayazıt'ın (2009) "Endüstri Ürünleri Tasarımında Strüktür" isimli çalışmalarından alıntılanarak aktarılmaktadır.

Kabuklar: Belirli bir et kalınlığına sahip bir dış kabuğun kendi biçimiyle oluşturduğu ve kendini ayakta tuttuğu strüktürlerdir. Kabuk tasarımlar arasında, sergileme elemanları, mobilya türleri, bilgisayar, elektrikli süpürge gibi ürünler, kova, bardak, çaydanlık gibi ürünler örnek verilebilir. Az malzeme ile istenen mukavemetin sağlanabildiği, dayanımlarının ölçü, kesit kalınlığı, biçim ve malzemesine göre değişebildiği strüktürlerdir (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Dolu strüktürler: Tasarlanan biçimi içi dolu bir kütle olarak ayakta tutan strüktürler olarak tanımlanabilir. Genellikle karmaşık geometrilerin tasarlanması, belli bir kütle ağırlığına gerek duyulması, malzemenin ve üretim yöntemlerinin getirdiği kısıtlamalar dolu strüktürlerin tasarlanmasını gerektirmektedir. Dolu strüktürler arasında bazı mobilyalar, bazı aksesuarlar, çatal kaşık gibi tasarımlar yer almaktadır. (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Çerçeveler: Yatay çubuklarla düşey çubuklar arasında rijit bir bağ oluşturularak elde edilen bir ana iskeletin, tasarımın taşıyıcı strüktürünü oluşturduğu sistemler olarak tanımlanabilir. Çerçeve tasarımlar: Çerçevelere örnek olarak mobilyalar, bisiklet, jimnastik aletleri, banyo mutfak aksesuarları, sergileme sistemleri sayılabilir. Çerçevelerin dengesinde sistemdeki çubukların doğrultuları, parçaların kesit biçimleri, boyutları, malzemeleri önemlidir. Düzgün yayılı yük ve noktasal yük karşısındaki davranışları farklıdır (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Membranlar: İçlerindeki hava, gaz, sıvı, köpük malzeme ya da artık malzeme ile ayakta duran, kendi öz rijitliği olmayan tam eğilebilir türden malzemelerle yapılmış strüktürler olarak tanımlanabilir. Membranlar yüzeysel membranlar, dolgulu membranlar ve şişme membranlar olarak gruplandırılabilir. Membranlar arasında puf ya da şişme koltuk gibi mobilyalar, dolgulu ve şişme oyuncaklar, deniz aksesuarları sayılabilir. Membranlar ancak çekmeye mukavemet edebilecek derecede rijit olmayan malzemelerle üretilmektedir. Dolgulu ve şişme membranlar içlerindeki dolgu ve hava sayesinde rijitlikleri arttırılarak basınca dayanıklı hale getirilirler (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Levhalar: Kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük düzlem elemanlarla oluşturulan iki doğrultuda yük dağılımının olduğu elemanlardır. Düzlem levha, nervürlü levha, katlanmış levha olmak üzere farklı gruplar altında toplanmaktadırlar. Levha tasarımlar arasında durak, park, sergi gibi çatı örtü sistemleri, sergileme elemanları, reklam panoları, masa, dolap sistemleri gibi mobilyalar sayılabilir (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Uzay kafes sistemler: Çubukların düğüm noktalarıyla ve düğüm noktalarındaki çeşitli bağlantılarla oluşturdukları uzaysal taşıyıcı sistemlerdir ve endüstri ürünleri tasarımında çok az görülmektedir. Bu strüktürün özelliklerini taşıyan tasarımlar arasında durak, sergileme stantları gibi ürünler, sergileme, depolama, satış ve reklam üniteleri, oyuncaklar, sehpa sandalye gibi mobilyalar yer almaktadır. Uzay kafeslerde çeşitli düzenler görülmektedir. Uzay kafesler geometrik olarak cisimlerin köşe veya kenarlarıyla belirlenirler. Uzay kafeslerde yük aktarımında, gelen kuvvetler çok sayıda

çubuk ve farklı doğrultularda bileşenlere ayrılmaktadır. Çubuk parçaların cıvata, kaynak, geçme gibi faklı şekillerde düğüm noktalarında birleşimini sağlayan çözümler geliştirilmiştir (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Asma gergi sistemler: Asma sistemler membran, levha ya da kabuk elemanların kablo, ip, tel gibi elemanlarla asılmalarıyla oluşturulan çekme gerilmeli strüktürlerdir. Bu strüktürün özelliklerini taşıyan tasarımlar arasında otobüs durakları, sergileme elemanları, çadırlar, bazı kitaplık ve raf sistemleri sayılabilir (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Karma strüktürler: Çeşitli strüktür türlerini bir arada bulunduran, farklı strüktürlerin farklı özelliklerini taşıyan sistemlerdir. Karma sistemlerde farklı strüktürler birbirlerini tamamlayarak tasarım için doğru sistemin kurulmasını sağlamaktadırlar. Karma strüktüre örnek olarak beyaz eşya, uçak, helikopter, araba gibi araçlar, aydınlatma armatürleri, mobilyalar, sergileme sistemleri, yönlendirme sistemleri, durak ve çatı örtü sistemleri verilebilir (Günal Ertaş ve Bayazıt, 2009).

Strüktürlere ilişkin açıklamalar ve örnekler değerlendirildiğinde, tez kapsamında ele alınacak ve kapsam dışı bırakılacak strüktür türlerinin belirlenmesinde bazı gerekçelere dayalı sınırlamalar ortaya konmuştur. Üretken tasarım yaklaşımının temel ilkeleri ve algoritmik işleyiş biçimi dikkate alındığında, membran, levha, uzay kafes sistemler ve asma gergi sistemler çalışma sistemi dışında bırakılmıştır. Bu strüktür türleri, üretken tasarım araçlarının kendi algoritmasına dayalı olarak ürettiği rijit ve organik biçimlerle uyumsuzluk göstermektedir. Ayrıca, üretken tasarım araçlarının yük büyüklüğü ve yönüne bağlı olarak malzeme biriktirme ya da eksiltme yoluyla gerçekleştirdiği optimizasyon süreci, söz konusu strüktürler ve sistemlerin mantığıyla örtüşmemektedir.

# 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu bölümde araştırmanın amacı, araştırma soruları, araştırma yaklaşımı ve desenine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Araştırma aşamalarının yer aldığı bölümde, analitik hiyerarşi süreci (AHP), pilot uygulama, ana uygulama ve bu uygulama çalışmalarında kullanılan veri toplama ve analiz yöntemleri sunulmaktadır.

## 3.1. Araştırmanın Amacı ve Araştırma Soruları

Bu çalışmada endüstriyel tasarım süreci içerisinde üretken tasarım yaklaşımının potansiyel katkılarını ve sınırlılıklarını incelemek, bu yaklaşımın endüstriyel tasarım sürecinin işleyişi ve çıktıları üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmaktadır. Literatüre göre ürün geliştirme süreçleri içerisinde bir alt bileşen olarak nitelendirilen endüstriyel tasarım süreci, disiplinler arası iş birliği gerektiren ve çoğunlukla bir ekiple birlikte yürütülen bir süreçtir. Ancak bu çalışma, üretken tasarımın etkilerini bireysel tasarım süreçleri üzerinden değerlendirmeyi hedeflemektedir. Araştırma çıktılarının, doğrudan büyük ekiplerle yürütülen ürün geliştirme süreçlerine genellenmesi hedeflenmese de bireysel tasarım uygulamalarından elde edilen bulguların çok disiplinli ve büyük ekiplerle yürütülen tasarım süreçlerine ilişkin anlamlı çıkarımlar sağlayabileceği öngörülmektedir.

Araştırmanın önemli amaçlarından biri de üretken tasarım yaklaşımıyla tasarlanan ürünlere yönelik bir sınıflandırma modeli oluşturmaktır. Ürün tasarımına odaklanan endüstriyel tasarım süreçlerinde, üretken tasarımın sunduğu üretilebilir biçim alternatifleri ve zaman tasarrufu gibi avantajların, farklı ürün türlerinde benzer düzeyde etkili olup olmadığı bu bağlamda incelenmektedir. Oluşturulması hedeflenen model, ürünlerin kullanıcı grubu, kullanım alanı, fiyat aralıkları gibi pazarlama odaklı sınıflandırmalardan ziyade, ürünün biçimsel özelliklerini ve yapısal unsurlarını baz almaktadır. Bu doğrultuda, üretken tasarımın özellikle hangi biçim ve yapı özelliklerine sahip ürünlerde daha uygun ve etkili tasarım çıktıları üretebildiği ortaya konulmaya çalışılmaktadır. Bu amaçlar çerçevesinde, tezin odaklandığı temel araştırma soruları aşağıda sunulmaktadır:

1.Üretken tasarım yaklaşımı endüstriyel tasarım süreçlerinin işleyişini ve tasarım çıktılarını nasıl etkilemektedir?

1.1. Üretken tasarımın, endüstriyel tasarım süreci içerisindeki yeri ve üstlendiği roller hangi açılardan tanımlanabilir?
2. Üretken tasarım yaklaşımının sağladığı avantajların niteliği düzeyi, farklı biçimsel ve yapısal özelliklere sahip ürünleri tasarım süreçlerinde benzerlik göstermekte midir?
2.2. Üretken tasarımın etkili olduğu ürün türlerini belirlemede biçimsel ve yapısal özellikler nasıl bir rol oynamaktadır?

### 3.2. Araştırma Yaklaşımı

Araştırmanın temel yaklaşımı nitel yöntem üzerine kurulmuştur. Araştırma süreci bölümünde detaylı anlatılacak olan pilot ve ana uygulamalar aracılığıyla katılımcılardan veriler elde edilmiştir. Gözlem, görüşme, tasarım sürecinde tutulan notlar ve 3B dijital modeller toplanmış ve bu veriler nitel içerik analizi ve tematik analiz teknikleriyle değerlendirilmiştir.

Nitel yöntemin odağında yürütülen süreçte, araştırmada yer alan ürün türlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması aşamasında, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. AHP, çalışma kapsamında bir karar verme destek aracı olarak sınırlı biçimde uygulanmış; araştırma verilerinin uygulama yapısını yönlendiren bir araç olarak değerlendirilmiştir.

Bu yönleriyle araştırma nitel ağırlıklı, açımlayıcı sıralı karma yöntem özellikleri taşımaktadır. Açımlayıcı sıralı karma yöntem yaklaşımı bir Çalışmanın ilk aşamasında literatürdeki ürün sınıflandırma modellerine ve uygulamada kullanılacak üretken aracın (Fusion 360 Generative Design) sınırlılıklarına dayalı bir çerçeve geliştirilerek AHP yöntemiyle kriterlere dayalı bir sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modele dayalı olarak pilot uygulama yapılarak geçerliğin test edilmesi amaçlanmıştır. Ana uygulamada ise pilot uygulamada belirlenen ve araştırmanın daha sağlıklı yürütülmesini sağlayacak eksiklikler giderilerek uygun planlama yapılmıştır. Gözlem, görüşme, süreç içinde katılımcılar tarafından tutulan notlar ve 3B dijital modellere dayalı veri toplama araçlarıyla yürütülen ana çalışma uygulaması tamamen nitel yaklaşımla ele alınmıştır. Tüm bu yapı, araştırmanın anlamaya, çözümlemeye ve yorumlamaya dayalı bir yapıda yürütüldüğünü göstermektedir.

## 3.3. Araştırma Deseni

Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan bu araştırmada, veri toplama ve uygulama süreci belirli bir yöntem kurgusu çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu bölümde, araştırma desenine, uygulama yapısına, kullanılan veri toplama tekniklerine ve sürecin planlanmasına ilişkin açıklamalar bulunmaktadır.

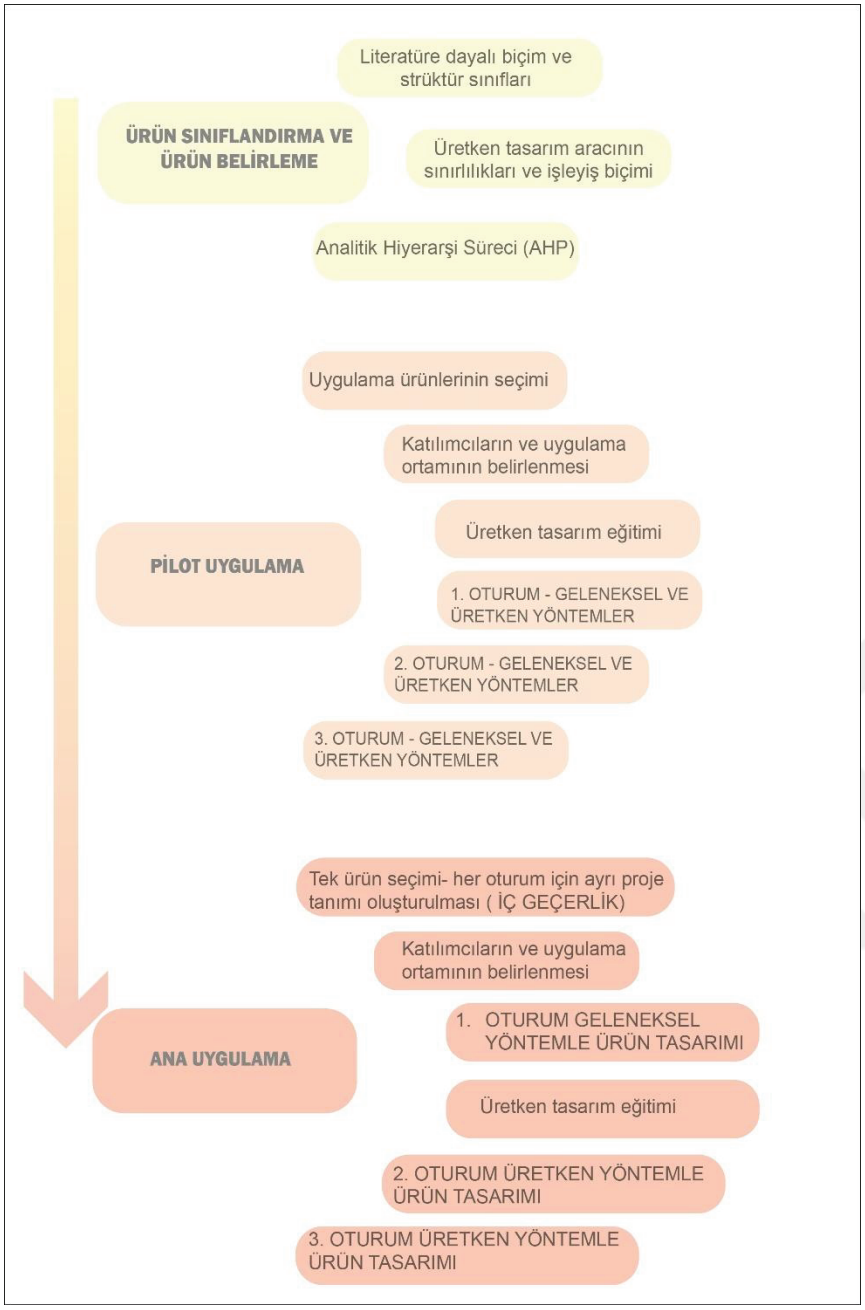
### 3.3.1. Genel tanım ve araştırma kurgusu

Bu araştırmanın uygulama süreci belirli değişkenlerin kontrollü biçimde yönetildiği bir yapı üzerinden kurgulanmıştır. Katılımcıların kontrol ve deney gruplarına rastgele atanmadığı, aynı katılımcıların hem geleneksel hem de üretken yöntemle tasarım yapmasının sağlandığı bu yapı, yarı deneysel desenin temel ilkeleriyle örtüşmektedir. Aynı süre, aynı ortam koşulları ve işleyiş süreci ile yürütülen bu karşılaştırmalı uygulama, araştırma sürecinin iç geçerliğini desteklemiştir. Creswell ve Creswell (2023), araştırmacıların belirli faktörleri kontrol altında tuttuğu ve gruplara rastgele atama yapılmadan gerçekleştirdiği uygulamaları yarı deneysel desen kapsamında değerlendirmektedir.

Ancak çalışma kapsamında toplanana veri türü, analiz yaklaşımı ve araştırma soruları göz önüne alındığında, araştırmanın yöntemine ilişkin çerçeve niteldir. Katılımcıların tasarım süreci boyunca süreci ele alış biçimleri, oluşturdukları tasarım alternatifleri ve deneyimlerine yönelik görüşleri nitel veri olarak toplanmıştır. Bu veriler tematik analiz yoluyla çözümlenmiştir. Bu yönüyle yarı deneysel yapı sadece uygulama sürecinin planlanmasına yarım ederken değerlendirme aşamasında doğrudan yer almamaktadır. Creswell'e (2023) göre yarı deneysel desenleri baskın olan yöntemin içine yerleştirilen ve araştırmanın yapısını destekleyen gömülü karma desen örneklerindendir. Tüm bu bilgilere istinaden, araştırmanın uygulama süreci yarı deneysel olarak yapılandırılmıştır ama veri analiz yöntemine dayalı olarak yürütülmüştür.

### 3.3.2. Araştırma süreci ve aşamalar

Araştırma süreci, açımlayıcı sıralı karma yöntem yaklaşımına uygun olarak öncelikle Analitik Hiyerarşi Sürecine (AHP) dayalı bir ön analiz ile başlamıştır. Daha sonra nitel veri toplama ve çözümleme aşamalarıyla devam etmiştir.




Şekil 3.1. Araştırma süreci aşamaları

Sürecin ilk aşamasında ürünlerin sınıflandırılmasına yönelik ölçütler belirlenerek AHP yoluyla önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Ölçütler, uygulama sırasında kullanılacak üretken tasarım aracının işleyiş biçimine ve literatürde yer alan biçim ve strüktür odaklı sınıflandırma modellerine göre belirlenmiştir. Bu sayede, AHP ile birlikte üretken tasarım yaklaşımının hangi ürün türlerinde uygulanacağının belirlenmesi amacıyla gerekçeli bir karar zemini oluşturulmuştur. AHP ile elde edilen sonuçlar, pilot uygulama kapsamında iki uzman katılımcıya sunularak ön modelin geçerliği uzman görüşleri yoluyla

değerlendirilmiştir. Ayrıca pilot uygulama ile ana uygulama çalışmasının daha doğru yürütülebilmesi için gereken unsurlar saptanmıştır.

Ana uygulama süreci, yarı deneysel desene uygun şekilde yapılandırılmıştır. Aynı katılımcı grubuna aynı sürede, aynı süreç işleyişi ve aynı fiziksel koşullar içerisinde hem geleneksel tasarım hem de üretken tasarım yöntemiyle ürün tasarımı yaptırılmıştır. Süreç boyunca katılımcılar gözlemlenmiş, ürün geliştirme süreçleri ve çıktıları belgelenmiş, katılımcıların süreç içerisinde tuttukları notlar ve eskizler belgelenmiş ve görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın bu şekilde yürütülmesi ve veri toplama yöntemleriyle, karşılaştırmalı veri üretmenin ötesine geçilerek, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkisinin farklı açılardan analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Sürecin ilk aşamasında yürütülen AHP yöntemi ile gerçekleştirilen sınıflandırma çalışması, takip eden aşamalardaki uygulamalar için ürün seçimlerinin zeminini oluşturduğu için bir sonraki bölümde ön hazırlık süreci, ürün sınıflandırma ve ürün türü belirleme adımları detaylı olarak ele alınacaktır.

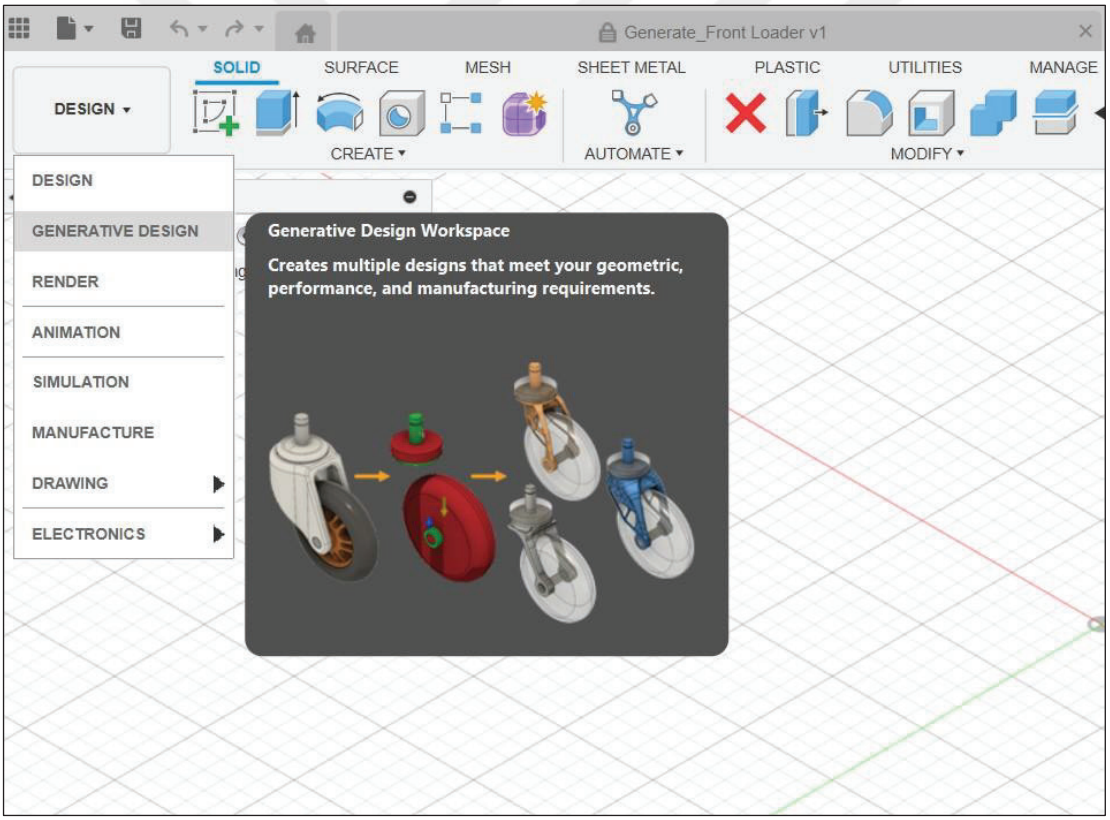
### 3.3.3. Ön hazırlık süreci ve ürün sınıflandırma

Araştırmanın amacına ve araştırma sorularına göre oluşturulan araştırma yönteminde, temel olarak üç aşama bulunmaktadır ve bu aşamalar birbirileriyle ilişkilidir. Hem üretken tasarıma yönelik bir ürün sınıflandırma modeli oluşturabilmek hem de uygulama çalışmalarında hangi ürünün ele alınacağını belirleyebilmek, araştırma sürecinin başlangıcı için önemli adımlardan biridir. Bu noktada literatürdeki biçim ve strüktüre yönelik sınıflandırma çalışmalarına ek olarak, uygulama çalışmalarında kullanılması planlanan üretken tasarım aracının işleyişini değerlendirmek, ürünlere yönelik ölçütlerin ve sınırlamaların belirlenmesi için kritik rol oynamaktadır.

Çalışma kapsamında sağlayıcısının Autodesk olduğu Fusion 360 yazılımının Generative Design aracı, üretken tasarım sürecinde kullanılacak araç olarak belirlenmiştir. Bunun sebeplerinden biri aracın, halihazırda pek çok tasarımcı tarafından tasarım süreçlerinde kullanılan Fusion 360 ile aynı arayüze sahip olması ve tasarımcılar için bu durumun kullanım kolaylığı yaratması olarak gösterilebilir. Ubalde (2023), bu üretken tasarım aracının akademik kurumlar için ücretsiz olduğunu, bulut teknolojisini kullandığı için eş

zamanlı çalışmayı mümkün kıldığını, sezgisel arayüzü sayesinde kullanımının kolay olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yazılımlara entegre üretken tasarım araçlarını karşılaştırdığı çalışmasında Ubalde (2023), pek çok yazılımın topoloji optimizasyonuna odaklandığını ama Autodesk Fusion 360'ın üretken tasarımın gerçek yeteneklerini sunduğunu ortaya koymuştur.

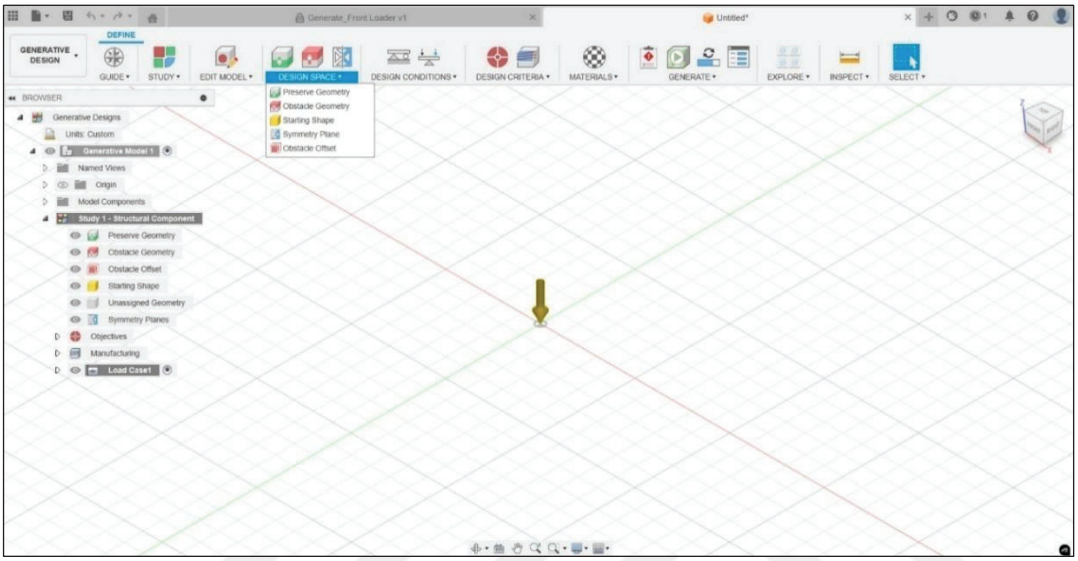
Autodesk'in (Url-1), malzeme, üretim yöntemi ve performans gereksinimleri parametrelerine bağlı olarak çok sayıda alternatif tasarım çözümleri üretmek için yapay zeka ve bulut bilişim teknolojisi kullanan bir tasarım süreci olarak tanımladığı üretken tasarım, Fusion 360 Generative Design aracı üzerinden incelenerek, bu üretken aracın arayüzü ve işlem sırası ele alınacaktır.




Resim 3.1. Autodesk Fusion 360 yazılımının arayüzüne ilişkin görsel 1

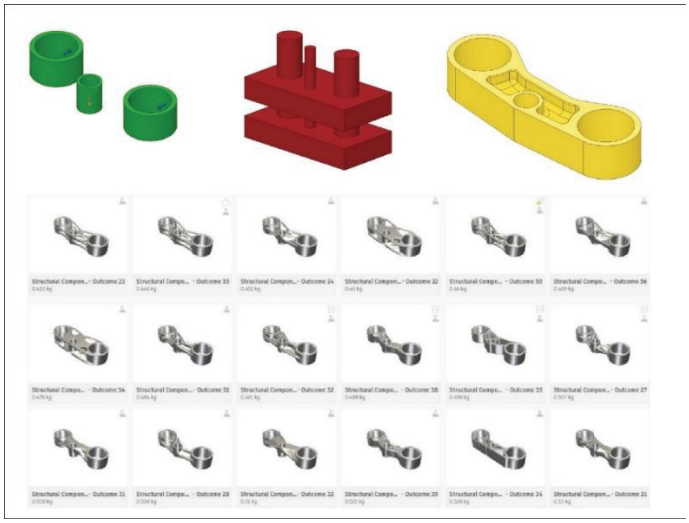
Resim 3.1'de yer alan görsel, Fusion 360 Generative Design modülünün başlangıç arayüzünü ve üst menüde yapılacak olan seçimi göstermektedir. Bu arayüz Fusion 360 yazılımının genel tasarım mantığıyla bütünleşik bir yapı sunması sayesinde, programı daha önce kullanan tasarımcılar açısından üretken tasarım aracının öğrenilmesini ve uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, üretken

tasarım aracı Fusion 360 içerisinde entegre bir eklenti olarak tasarlanmıştır. Bu durum kullanıcıların üretken tasarım sürecine geçişini destekleyen bir avantajdır. Kullanım ve adaptasyon kolaylığı sağlayan bu avantaj, araştırma sürecinde gerçekleştirilecek uygulamalar için eğitim süresi ve katılımcı seçimlerinde belirleyici faktörlerden biri olmuştur.




Resim 3.2. Autodesk Fusion 360 yazılımının arayüzüne ilişkin görsel 2

Üst menüden yapılan modül seçimi ile üretken tasarım aktif hale geldiğinde, kullanıcılar kendilerini yönlendiren bir arayüz ile karşılaşmaktadır. Üst menüde soldan sağa doğru sıralanan bölümler, üretken tasarım süreci için gereken girdilerin tanımlanması için kullanıcıyı yönlendirmektedir.



Resim 3.3. Üretken tasarım geometri tanımları ve alternatif formlar (Url-10)

Gasso (2022), Generative Design üretken tasarım aracının çalışması için ilk adımın tasarım alanındaki geometrileri oluşturmak olduğunu söylemektedir (Url-10). Bu geometrilere örnek olarak Resim 3.3'te soldan sağa yeşil, kırmızı ve sarı renkte görülen geometriler verilebilir. Yeşil renk ile ifade edilen korunan geometriler, tasarımcının belirlediği ve üretken aracın müdahale etmesini istemediği geometrilerdir. Korunan geometriler genellikle tasarımı diğer nesnelere takmak ya da tasarımın diğer nesnelerle etkileşim kurduğu bağlantı noktalarını veya kullanıcının etkileşime girdiği tutamaklar gibi noktaları içermektedir (Url-10). Bu bilgi ürün sınıflandırma çalışması ve tezin genel araştırma yaklaşımı için oldukça kıymetlidir. Çünkü ürünün kullanıcı ile etkileşime girdiği noktaların korunan geometriler olarak kodlanması, üretken tasarımın müdahale edemeyeceği alanlar olarak düşünülebilir. Korunan geometrilere ilişkin bu durum, ürün kullanıcı ilişkisinin ürün başarısını belirleyen en önemli faktörlerden biri olduğu endüstriyel tasarım ürünleri ile ürün kullanıcı ilişkisi aranmayan bağlantı elemanları, makine parçaları gibi mühendislik ürünleri arasında üretken tasarım açısından bir ayrım oluşturabilir. Korunan geometriler ayrıca, yüklerin ve kısıtlamaların tanımlandığı alanlardır.

Resim 3.3'te kırmızı renk ile gösterilen geometri ise engel geometrisine örnek verilebilir. Engel geometrileri bağlantı elemanlar için ve montajın diğer bileşenlerine hareket edebilme alanı oluşturmak için boşluklara ihtiyaç duyulduğu alanları temsil etmektedir (Url-10). Engel geometrileri, tasarımcının boş bırakılmasını i ve üretken aracın herhangi bir malzeme eklememesini istediği alanları ifade eder.

Resim 3.3'te sarı renk ile gösterilen geometri ise başlangıç geometrisine örnek verilebilir. Başlangıç şekli genel olarak tasarımcının geometriye ilişkin çizdiği bir çerçeve gibi düşünülebilir. Üretken araç, alternatifleri bu çerçeveye göre oluşturur. Fakat başlangıç geometrisi, korunan ve engel geometriler gibi zorunlu değildir.

Üretken tasarımın, işleyişin başlatmak için, yükler ve kısıtlamaları ifade eden tasarım koşulları, optimizasyon hedefleri ve üretim kısıtlamalarını ifade eden tasarım kriterleri ve malzemeler tanımlanmalıdır (Url-10). Tanımlanan girdilere göre üretken tasarım alternatif çözümleri oluşturur ve üretilecek olan seçenekleri belirlemek için kriterlere göre filtreleme yapılabilir. Örneğin ağırlık filtresine göre en hafif olan seçenekler doğrudan listelenebilir. Gasso (2022), üretken tasarımın eşsiz olmasını sağlayan özelliklerden birinin, bir çözüme ilişkin olası tüm varyasyonları analiz edebilmesi ve olası seçimlerin listesini tasarımcıya sunma yeteneği olduğunu ifade eder. Resim 3.3'te Generative Design tarafından oluşturulan

tasarım alternatifleri görülebilir. Önerilen alternatif modeller hem Fusion 360 hem de farklı CAD yazılımları için üzerinde geliştirilmeler yapılabilecek bir katı model olarak dışa aktarılabilir (Url-10).

Üretken tasarım için ürün sınıflandırma çerçevesinin oluşturulması

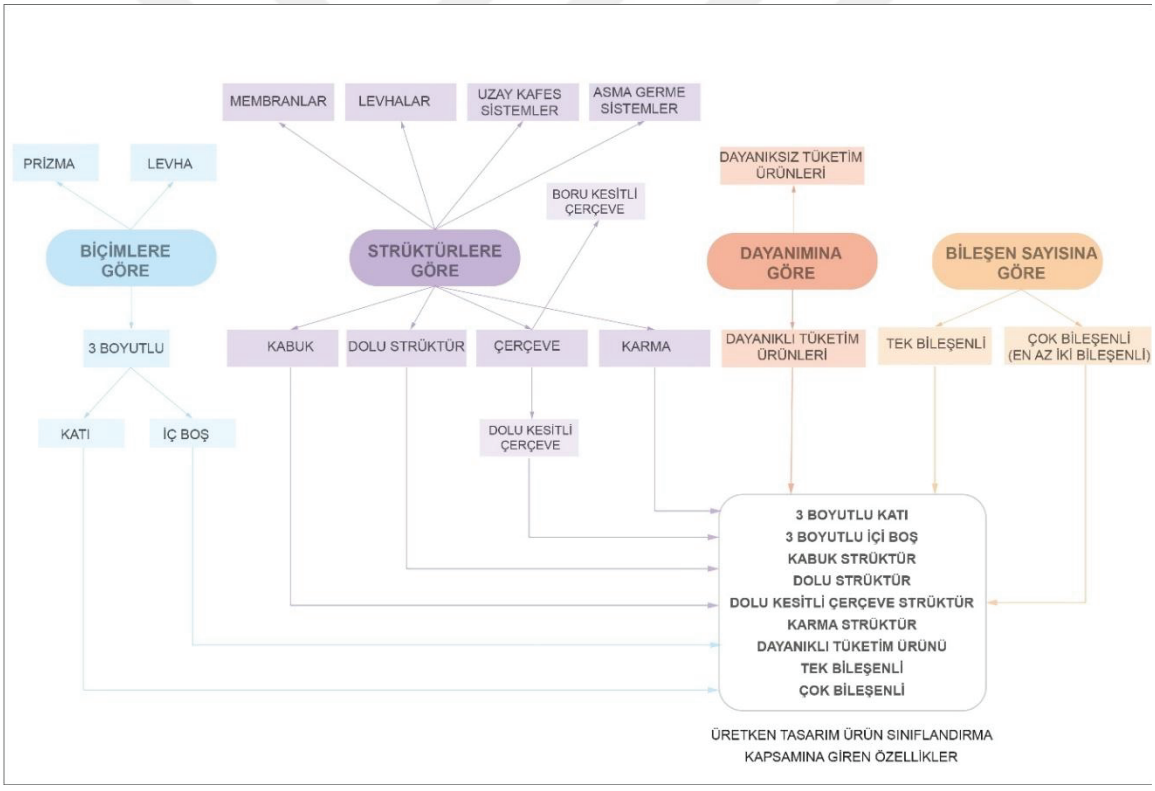
Bu bölümde üretken tasarım yaklaşımı için bir ürün sınıflandırma modeli önerisi ve araştırmanın uygulama sürecinde kullanılacak ürün türlerinin belirlenmesine yönelik sınıflandırma çerçevesi oluşturulmaktadır. Sınıflandırma iki ana unsura dayanmaktadır:

1) Literatürdeki biçim ve strüktür temelli sınıflandırmalar
2) Üretken tasarım aracının teknik işleyişine ilişkin kısıtlar ve gereklilikler

Literatürde yer alan ve 2. Bölümde detaylı bir şekilde açıklanan ürün sınıflandırmaları; biçim, strüktür türü, bileşen sayısı gibi ölçütleri içermektedir. Buna ek olarak, pazarlama literatüründe yer alan ve ürünleri kullanıcı türü, fiyat aralığı ya da kullanım amacı gibi unsurlara göre sınıflandıran örnekler üretken tasarımın teknik gerekliliklerleriyle doğrudan ilişkili olmadığından çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Üretken tasarım aracının algoritma yapısı, ürün geometrisinin tanımlanmama biçimi, uygulanan yük büyüklüğü ve yönü, malzeme ve üretim yöntemine göre optimizasyonu esas alan, rijit, yekpare ve organik biçimler üretmektedir. Bu sebeple sınıflandırma çerçevesi üretken tasarımın işlemsel mantığı ile uyumlu biçimde kurgulanmıştır. Buna ek olarak, üst paragrafta da belirtildiği gibi literatürdeki sınıflandırma çalışmalarıyla, sınırların belirlenmesi sağlanmıştır. Buna göre Şekil 3.2'de de görülen çalışma Agudelo ve diğerlerinin (2017) biçim sınıflandırması, Günel Ertaş ve Bayazıt'ın (2009) strüktür sınıflandırma çalışması ve Durmaz ve Yardımcıoğlu'nun (2016) dayanımına göre ürünler sınıflandırmalarından faydalanılarak oluşturulmuştur. Kotler ve Armstong'un (2018) kullanıcı türü ve kullanım amacına göre tüketici ürünleri ve endüstriyel ürünler olarak iki ana kategoride ele aldığı sınıflandırma örneği ise bu çerçevenin sınırlarına doğrudan dahil edilmemiştir. Ancak tüketici ürünlerinde temel ihtiyaç ürünleri ve aranmayan ürünler, doğrudan kapsam dışı bırakılabilir. Bunun sebebi olarak temel ihtiyaç ürünleri kategorisinde yer alan dayanıksız ürünler ve aranmayan ürünler kategorisinde yer alan hizmet çeşitleri gibi somut olmayan ürünler gösterilebilir. Örneğin diş macunu temel ihtiyaç ürünlerinden

biriyken, aranmayan ürünler kategorisinde hukuk danışmanlığı hizmeti yer alabilir. Kotler ve Armstrong'un (2018) önerdiği diğer kategori olan endüstriyel ürünler ise kullanım amaçları ve kapsamına dahil olan doğal kaynaklar, hammaddeler, sermaye kalemleri gibi ürünler düşünülerek çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu örnekler üretken tasarıma yönelik bir ürün sınıflandırmasında, kullanım amacı ve kullanım türüne göre oluşturulan sınıfların neden çalışma kapsamına dahil edilmediğini açıklamaktadır. Kotler ve Armstrong'un (2018) pazarlama temelli sınıflandırmasına literatürde yer verilmiştir ancak bu model, ürünün biçimi, yapısal durumu ya da üretken tasarımın teknik özellikleriyle doğrudan bağlantılı olmadığından, sınıflandırma kriterlerinin belirlenmesinde kullanılmamıştır. Buna rağmen farklı disiplinlerdeki sınıflandırma yaklaşımlarını göstermek adına çalışmanın literatür bölümünde kısaca yer verilmiştir.




Şekil 3.2. Ürün sınıflandırma genel çerçevesi

Şekil 3.2'de, üretken tasarıma yönelik ürün sınıflandırma çalışmasına ilişkin genel çerçeve sunulmaktadır. Oluşturulan bu çerçeve kapsamında, çalışma kapsamına dahil edilen ve kapsam dışı bırakılan kategorilerin hangi gerekçelerle seçildiğini açıklamak, sınıflandırma mantığının anlaşılabilirliği açısından önem taşımaktadır.

Biçimlerine göre ürünler sınıflandırmasında prizmalar tanımlı geometrileri ifade ettikleri için üretken tasarımın organik ve benzersiz formlar üretmeye yönelik çalışma biçimi bu kategori açısından anlamlı değildir. Levhalar ise üretken tasarımın, yük ve dayanım koşullarına göre optimizasyonu sağlamak amacıyla, tasarımın bazı bölümlerinde malzeme biriktirip bazı bölümlerinden malzeme eksiltme ilkesiyle örtüşmemektedir. 3B biçimler kendi içinde katı ve içi boş olarak ayrılmakta ancak üretken tasarım katı modeller üretmektedir. Fakat içi boş biçim kategorisi iki açıdan önem taşımaktadır. Bunlardan biri kabuk strüktürle olan ilişkisi bir diğeri de literatür bölümünde bahsedilen ürünlerdeki iç dış ayrımıdır. Bu özellikler düşünüldüğünde, kabuk strüktüre dayalı ürünlerde iki farklı kategori daha oluşmaktadır. Birincisi ürünün kullanımı için herhangi bir elektronik ya da mekanik bileşen gerektirmeyen kabuklar, ikincisi ise ürünün kullanımı için onu çalıştıran mekanik ya da elektronik bileşen gerektiren ve bu bileşenleri kaplayan kabuklar olarak ifade edilebilir. Birinci durum için kova, vazo, çöp kutusu, bardak gibi örnekler verilebilir. İkinci durum için ise saç kurutma makinesi, blender, elektrikli cezve gibi örnekler verilebilir. Bu örnekler elektronik bileşen barındıran ve ürünü kaplayan kabuk bileşenlerle kullanılabilir hale getiren örneklerdir.

Strüktürlere göre ürün sınıflandırmasına gelindiğinde ise levhalar, biçim sınıflandırmasında bahsedilen gerekçelerle çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Ayrıca levhanın yapısı, tasarım çalışmasında yine levha olarak bırakılacaksa korunan geometri olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda da üretken tasarımın alternatif üretmek için çalışacağı özgür alan kalmamış olacaktır. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse bir masanın yüzeyi, ürünün kullanıcı için en anlamlı olduğu alanıdır. Bir masa tasarımında yüzeyde kontrolsüz boşlukların açılması ya da bazı bölgelere dayanımı artırmak için malzeme eklenmesi masa yüzeyini bozacaktır. Dolayısıyla bunun yaşanmaması için eğer üretken tasarımla bir süreç yürütülecekse, bu yüzeyin tasarımcı tarafından korunan geometri olarak tanımlanması gerekmektedir. Böylece yüzeyde organik formlar oluşmayacaktır. Durum böyleyken, üretken tasarımın levha strüktürde kullanımı anlamlı olmayacaktır. Membranlar kendi rijitliği olmayan strüktürler olduğu için kapsam dışı bırakılmıştır. Asma gergi sistemler ve uzay kafes sistemleri de üretken tasarımın işleyişi için gereken teknik özelliklerle örtüşmemektedir.

Fusion 360 Generative Design, dolu kesitli modeller oluşturmaktadır. Dolayısıyla boru kesitli çerçeveler için uygun değildir ve profil biçimler üretmemektedir. Bu bilgiler yapılan

görüşmeler ve üretken araçla gerçekleştirilen denemeler vasıtasıyla elde edilmiştir. Araştırma kapsamında hem Autodesk'in görselleştirme ve tasarım ekibinden bir uzman ile elektronik posta aracılığıyla görüşülmüş hem de bu alanda çalışma yapan bir endüstriyel tasarımcı ile Zoom üzerinden görüntülü görüşme gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak Fusion 360 Generative Design kullanılarak oluşturulan modeller incelenmiş ve araştırmacı bu araçla denemeler yaparak üretken aracın dolu kesitli modeller ürettiği test edilmiştir.

Dayanımına göre ürünler kategorisi, sınıflandırma çerçevesinin sınırlarını netleştirmek için değerlendirmeye alınmış ve dayanıksız tüketim ürünleri kapsam dışı bırakılmıştır. Bileşen sayısına göre ürünler kategorisi ise kritik bir öneme sahiptir. Çünkü üretken tasarım çok bileşenli modelleri, tek bileşene dönüştürerek alternatifler üretmektedir. Bu duruma literatür bölümünde yer verilen emniyet kemeri braketi örneği verilebilir. Bileşen sayısı, ürün sınıflandırmasında ve üretken tasarım sürecinin endüstriyel tasarım sürecine etkisinin araştırılmasında pek çok farklı yönden katkı sunabilecek bir unsurdur. Üretken tasarımın modelleri tek bileşene dönüştürerek alternatifler üretmesi, avantaj düzeyi bakımından tek bileşenli ürünler ile çok bileşenli ürünler için fark yaratabilir. Özellikle tek bileşenli ürünlerde üretken tasarımın uygulanabilirlik seviyesi daha yüksek olabilirken, bileşen sayısının artması alternatif üretme süresini ve tasarımın işlem maliyetini doğrudan etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, bileşen sayısı yapısal farklılıklara ek olarak üretken tasarım sürecinin verimliliğini de etkileyebilir. Tüm bu değerlendirmeler göz önüne alındığında, bileşen sayısının üretken tasarıma yönelik oluşturulacak sınıflandırma modelinde belirleyici bir faktör olarak dikkate alınmasını gerektiğini göstermektedir.

Bu kapsamda, ürünlerin bileşen sayılarına ve strüktür türlerine göre sistematik biçimde sınıflandırılabilmesi için çok kriterli bir karar verme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde, bu sürecin nasıl yapılandırıldığı ve uygulamaya nasıl entegre edildiği detaylandırılmaktadır.

### 3.4. AHP Yöntemi ile Ürün Yapılarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde üretken tasarım yönteminin farklı ürün yapılarına uygulanabilirliğini ölçmek üzere kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) açıklanmaktadır. Süreç içerisinde hangi kriterlerin belirlendiği ve bu kriterlerin hangi alt kriterlere ayrılıp alternatifler olarak kullanıldığı ve nihai sonuçların nasıl elde edildiği sıralanmış ve gerekçeleriyle sunulmuştur.

### 3.4.1. Amacın tanımlanması ve hiyerarşik modelin oluşturulması

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), çiftler arası karşılaştırmalara yönelik bir özdeğer yaklaşımıdır (Vaidya ve Kumar, 2004). Aynı zamanda nitel ve nicel performans göstergeleri için sayısal ölçeklerin anlamlı ve karşılaştırılabilir biçimde düzenlenmesini mümkün kılan bir yöntem sunmaktadır (Vaidya ve Kumar, 2004). AHP'de süreç öncelikle kararları etkileyebilecek faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin farklı seviyeler barındıran hiyerarşik bir yapıya yerleştirilmesiyle başlamaktadır (Pant, Kumar, Ram, Klochkov ve Sharma, 2022). Hiyerarşik yapının oluşturulma amacı karar verme sürecinde problemin yaratabileceği karmaşıklığın minimuma indirilmesini sağlamaktır. Daha sonra her seviyedeki faktörler kendi içerisinde ikili şekilde karşılaştırılır.

AHP yönteminin ilk adımı olarak tanımlanan amacın tanımlanması, bu çalışma kapsamında "üretken tasarım yönteminin farklı ürün yapılarına uygulanabilirliğini ölçmek" olarak belirlenmiştir. Amaç doğrultusunda, literatüre ve seçilen üretken aracın işleyiş biçimine göre oluşturulan ürün sınıflandırma çerçevesi baz alınarak iki ana kriter belirlenmiştir.

- Strüktür türü
- Bileşen sayısı

Ana kriterler belirlendikten sonra her ana kriter alt kriterlere ayrılmıştır. Bu göre strüktür türüne ilişkin alt kriterler:

- Kabuk strüktür
- Dolu strüktür
- Çerçeve strüktür
- Karma strüktür olarak belirlenmiştir.

Bileşen sayısına göre alt kriterler ise:

- Tek bileşenli
- Çok bileşenli

Alternatif ürünler:

- Kaşık
- Sandalye
- Elektrikli cezve

Bu çalışmada yürütülen AHP yöntemine dayalı süreç, yalnızca seçilen örnek ürünlerin değerlendirilmesiyle sınırlı bir uygulama olarak değildir. Üretken tasarımın farklı yapısal ürün türlerine uygulanabilirliğini analiz etmeye yönelik genellenebilir bir karar çerçevesi olarak kurgulanmıştır.

Kaşık, sandalye ve elektrikli cezve örnekleri, yöntemin işleyişini somutlaştırmak amacıyla seçilmiş temsili alternatiflerdir. Bu bakımdan ürünlerden bağımsız olarak üretken tasarımın uygulanabilirliğini yapısal ölçütler üzerinden değerlendirmeye imkan sunan sistematik ve uyarlanabilir bir karar süreci sunmak amaçlanmıştır.

### 3.4.2. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

AHP yönteminde her seviyede yer alan öğeler bir üst sevideki öğeye katkıları açısından ikili karşılaştırma matrisleri ile değerlendirilir. Bu matrislerde öznellik içeren ama rasyonel temellere dayanan puanlamalar kullanılmıştır.

Saaty (1987), karşılaştırma matrislerinde bir hücreyi doldurmak için genellikle matrisin satırında yer alan i kriteri ile sütununda yer alan j kriteri karşılaştırıldığında hangisi, ilgili özelliğe daha fazla sahiptir ya da değerlendirme kriterini daha yüksek düzeyde karşılamaktadır sorusunun sorulduğunu ifade etmektedir. Daha net bir ifadeyle karşılaştırma yapılan iki ögeden hangisini söz konusu kriter için daha önemli olduğu sorgulanmaktadır. Karşılaştırmalarda kriterlere atanan sayılar aşağıda yer alan temel ölçek tablosundaki değerlere göre yapılmaktadır.

Çizelge 3.1. Saaty'nin temel ölçek tablosu

| Mutlak ölçekte önem derecesi | Tanım | Açıklama |
|---|---|---|
| 1 | Eşit derecede önemli | İki öge amaca eşit düzeyde katkı sağlar |

Çizelge 3.1. (devam) Saaty'nin temel ölçek tablosu

| | | |
|---|---|---|
| 3 | Biri diğerine göre orta düzeyde önemli | Deneyim veya muhakeme bir ögeyi diğerine göre açık şekilde tercih eder |
| 5 | Temel veya güçlü düzeyde önemli | Deneyim veya muhakeme bir ögeyi diğerine göre belirgin şekilde üstün görür |
| 7 | Çok güçlü düzeyde önemli | Bir öge açıkça tercih edilir ve uygulamada baskınlığı görülür |
| 9 | Aşırı derecede önemli | Karşılaştırmada bir ögeyi diğerine tercih etme yönündeki kanıt en yüksek düzeyde onaylanmıştır |
| 2,4,6,8 | Ara değerler | İki bitişik önem düzeyi arasında tercih belirtmek için kullanılır |
| Karşıt değerler | | Eğer bir öge diğerine göre yukarıdaki değerlerden biri ile daha değerli bulunuyorsa, ters karşılaştırmada bunun çarpmaya göre tersi alınır |

AHP yönteminde kullanılan ve ve çizelge 3.1'de görülen temel ölçek, ikili karşılaştırmalar için karar veren kişilerin subjektif ya da sezgisel olarak tanımlanabilecek yargılarını sayısal ifadelere dönüştürebilmesini sağlamaktadır. Bu ölçek, ikili karşılaştırmada hangisinin daha önemli olduğu ve farkın derecesi hakkında nicel bir değer atama olanağı sunmaktadır. Ölçekte 1 değeri, karşılaştırılan ögelerin eşit öneme sahip olduğunu ifade ederken, 3,5,7,9 değerleri ögelerin birbirlerine göre önem düzeyinde farklı seviyeleri göstermektedir.

Çalışma kapsamında belirlenen ana kriterler ve alt kriterler için oluşturulan karşılaştırma matrislerindeki değerler, araştırmacının konuya ilişkin literatür ve uygulama örneklerine dayalı tespitlerine ve ürün yapılarının üretken tasarım süreçleriyle olan ilişkisine yönelik gözlemlerine dayanmaktadır. Her bir ikili karşılaştırma, Saaty'nin (1987) mutlak ölçek sistemi dikkate alınarak oluşturularak tercihleri önem derecesi sayısal olarak bu ölçekle ifade edilmiştir.

Ayrıca strüktür türü ve bileşen sayısı ana kriterlerinin birbiriyle karşılaştırılması sonucu şu matris elde edilmiştir elde edilmiştir:

Çizelge 3.2. Ana kriterler arası karşılaştırma matrisi

| | Strüktür türü | Bileşen sayısı |
|---|---|---|
| Strüktür türü | 1 | 3 |
| Bileşen sayısı | 1/3 | 1 |

Bu karşılaştırmada strüktür türü bileşen sayısına göre üretken tasarımın farklı ürün türlerine uygulanabilirliğini tespit edebilmek için daha önemli olarak değerlendirilmiştir. Bunun temel sebebi üretken tasarım algoritmalarının işleyişinde, strüktürün, ürünün biçiminde ve dayanıklılığında doğrudan belirleyici olmasıdır. Özellikle yük büyüklüğü ve yönüne göre malzeme eksiltme ya da biriktirmeye dayalı durumu doğrudan strüktür türü ile ilişkilidir. Bileşen sayısı da önemli bir kriterdir. Üretken tasarım aracı genellikle ürünü yekpare bir bileşen olarak işlediği için çok bileşenli yapılarda çözüm üretimi sınırlı kalabilir. Bir yandan da üretken tasarımın işleyişi bazı strüktür türlerinin doğrudan kapsam dışı bırakılmasını gerektirir. Dolayısıyla strüktür türüne ilişkin kriter üretken tasarımın ürün türlerine göre uygulanabilirliğinin tespiti için daha kritik bir öneme sahiptir.

Çizelge 3.3. Strüktür türleri arası karşılaştırma matrisi

| | Kabuk | Dolu | Çerçeve | Karma |
|---|---|---|---|---|
| Kabuk | 1 | 1/5 | 1 | 1 |
| Dolu | 5 | 1 | 5 | 5 |
| Çerçeve | 1 | 1/5 | 1 | 1 |
| Karma | 1 | 1/5 | 1 | 1 |

Bu matriste dolu strüktür, diğer tüm strüktür türlerine göre açık biçimde üstün değerlendirilmiştir. Bunu sebebi üretken tasarım algoritmalarının dolu kütle için daha başarılı alternatif sonuçlar üretmesidir. Diğer taraftan kabuk, çerçeve ve karma yapılar üretken tasarım açısından geometrik karmaşıklık ve girdilerin tanımlanmasındaki zorluklar sebebiyle eşdeğer ve dolu strüktüre göre önemli düzeyde düşük değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile ilgili farklı gerekçeler bulunmaktadır. Örneğin kabuk strüktüre ilişkin

örneklerde, literatür bölümünde ele alınan, mühendislik ve endüstriyel tasarım yaklaşımlarındaki farklılıklardan biri olarak kabul edilen üründe iç dış kavramı gösterilebilir. Bu durum şu şekilde örneklendirilebilir; bazı ürünlerin çalışabilmesi ya da işlevini yerine getirebilmesi için üründe mekanik ya da elektronik bileşenler bulunmaktadır. Bu tarz ürünlerin tasarımında genellikle mühendislerin içten dışa doğru bir süreç izlerken endüstriyel tasarımcıların dıştan içe doğru bir yaklaşım izlediği belirtilmektedir ve bu durum literatür bölümünde ele alınmıştır. Kabuk strüktürler de bu ayrım üzerinden değerlendirildiğinde ürünün çalışması için elektronik/ mekanik bileşen barındıran kabuk strüktür ürünler ile elektronik/mekanik bileşen b arındırmayan kabuk strüktür ürünler birbirinden farklı değerlendirilebilir. Örneğin bir saç kurutma makinesinin elektronik bileşenleri için koruma görevi gören ve kullanıcı için bu elektronik bileşenleri kullanılabilir hale getiren kabuk yapının üretken tasarım algoritması ile oluşturulmasında ciddi sınırlılıklar vardır. En temel sebep optimizasyon ilkesine dayalı olarak yüzeyde oluşabilecek boşluklar ve bunun kullanılabilirliğe olan olumsuz etkileri gösterilebilir. Yine aynı şekilde elektronik/mekanik bileşen barındırmayan daha basit kabuk strüktürler için kova, bardak, vazo gibi örneklerde, ürünün sızdırmazlık özelliği açısından üretken tasarım tarafından oluşturulan boşluklar problem yaratabilir. Ancak yüzeydeki boşlukların problem yaratmayacağı kalemlik, boşluklu yapılardan oluşan ve ürünü koruyucu özellikteki kılıf gibi örnekler, üretken tasarımla üretilebilirlik açısından kabuk strüktürler içinde daha avantajlı olarak değerlendirilebilir. Bir ürünün yüzeyinde sürtünme artıcı ya da başka bir kullanıcı ilişkisi sebebiyle oluşturulan ikincil katmanlarda da üretken tasarımla oluşturulmuş kabuk strüktür kullanılabilir.

Çerçeve strüktürlerde ise dolu kesitli ve boru kesitli çerçeve ayrımı, bu strüktür türünü dolu strüktüre göre daha güçsüz kılmaktadır. Çünkü üretken tasarımla boru kesitli çerçeve strüktür üretimi mevcut koşullarda gerçekleşmemektedir. Strüktürlerin dolu şekilde oluşturulması gerçek hayattaki çerçeve strüktür uygulamalarıyla çelişki yaratabilir. Daha açık bir ifadeyle profillerden oluşan bir çerçeve yapı üretken tasarımın alternatifler oluşturabildiği ve özgür olduğu alanda yer almamaktadır. Tasarımcı profil kullanılacak yapıyı korunan geometri olarak tanımlayabilir. Bu durum da algoritmanın alternatif üretebileceği alan değildir. Ancak dolu kesitli çerçeveler için durum üretken tasarım açısından daha avantajlıdır. Örneğin gerçek uygulamalardaki döküm iskeletlerin form oluşumu açısından üretken tasarım avantajlı olabilir. Bu noktada da üretim yöntemi sınırlılık yaratabilir. Bu bakımdan eklemeli imalat ile oluşturulmuş dolu çerçeveler, çerçeve strüktür

kategorisi için üretken tasarımın en avantajlı olduğu yapılardır. Üretken tasarım literatürü, üretken tasarım ve eklemeli imalat ilişkisine ve bu birlikteliğin yarattığı uygulanabilirlik avantajlarına çok sık değinmektedir.

Karma strüktürler ise temel olarak bileşen sayısı bakımından dolu strüktüre göre daha düşük seviyede derecelendirilmiştir. Karma strüktür en az iki farklı strüktür demektir. Bu da en az iki bileşen demektir. Buna ek olarak bu karma yapı kapsam dışında bırakılan strüktürlerden birini barındırabilir ya da kabuk ve çerçevenin bir araya gelmesiyle oluşabilir. Tüm bu ihtimaller, karma strüktürün dolu strüktüre göre daha düşük derecede değerlendirilmesine sebep olarak gösterilebilir. Aynı yöntemle bileşen sayısı kriterlerinin karşılaştırması şu şekildedir.

Çizelge 3.4. Bileşen sayısına ilişkin karşılaştırma matrisi

| | Tek bileşenli | Çok bileşenli |
|---|---|---|
| Tek bileşenli | 1 | 3 |
| Çok bileşenli | 1/3 | 1 |

Bu karşılaştırmada tek bileşenli yapılar, çok bileşenli yapılara göre 3 kat daha uygun bulunmuştur. Gerekçe olarak, üretken tasarım algoritmalarının genel olarak tek para ürünler üzerinde daha etkili çalışması gösterilebilir. Çok bileşenli ürünlerde, bileşenler arası bağlantılar, birleşim yerleri ve montaj koşulları gibi ek sınırlayıcı faktörler ortaya çıkar. Bu durum üretken tasarım uygulamalarında ek zaman gerektirebilir ve işlem maliyetini artırabilir.

### 3.4.3. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması

Her matris satırındaki değerlerin geometrik ortalaması alınır ve bu ortalamalar toplam üzerinden normalize edilerek göreli ağırlık vektörleri elde edilir.

Ana kriterlerin göreli ağırlıklarının hesaplanması

AHP sürecinde ilk olarak birinci seviyedeki ana kriterlerin karşılaştırması yapılarak, göreli ağırlıklar hesaplanmıştır. Bunun için ilk olarak ilgili matriste her satırın geometrik ortalaması alınmıştır.

$G_{(strüktür)} = (1.3)^{1/2} = 1,732$

$G_{(bileşen\ sayısı)} = (1/3.1)^{1/2} = 0,577$

Daha sonra geometrik ortalaması alınan ana kriterlerin normalize değerleri yani göreli ağırlıkları hesaplanır. Bunu için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$Wi = \frac{Gi}{\sum_{i=1}^{n} Gi}$$

Wi: i kriterinin göreli ağırlığı
Gi: i kriterinin geometrik ortalaması (matriste ilgili satırın geometrik ortalaması)
n: kriter sayısı
$\sum_{i=1}^{n} Gi$: tüm geometrik ortalamaların toplamı

Bu formüle göre kriterlerin toplam geometrik ortalamaları 1,723+0,577=2,309 olarak bulunmuştur. Bu durumda strüktür türü ve bileşen sayısı ana kriterlerinin göreli ağırlıkları aşağıdaki gibidir:

$W_{(strüktür\ türü)}$: 1,723/2,309=0,75
$W_{(bileşen\ sayısı)}$: 0,577/2,309=0,25

<u>Strüktür türleri alt kriterlerinin göreli ağırlıklarının hesaplanması</u>

Strüktür türlerine ilişkin alt kriterlerin göreli ağırlıklarının hesaplanmasında ilk olarak ilgili karşılaştırma matrisinde her satırın geometrik ortalaması alınmıştır.

$G_{(kabuk)} = (1.1/5.1.1)^{1/4} \approx 0,8409$
$G_{(dolu)} = (5.1.5.5)^{1/4} \approx 3,3437$
$G_{(çerçeve)} = (1.1/5.1.1)^{1/4} \approx 0,8409$
$G_{(karma)} = (1.1/5.1.1)^{1/4} \approx 0,8409$

Strüktür türü alt kriterlerinin göreli ağırlıklarının hesaplanması için gerekli olan toplam geometrik ortalama değeri 0,8409+3.3437+0,8409+0,8409≈ 5.8664

Bu hesaplamalardan sonra ilgili kriterlerin göreli ağırlıklarını yani W değerini bulmak için yukarıda verilen formüle göre hesaplama yapılmıştır. Buna göre strüktür türlerine ilişkin göreli ağırlık değerleri şu şekildedir:

$W_{(kabuk)}$= 0,8409/5,8664≈ 0,1433
$W_{(dolu)}$= 3,3437/5,8664≈0,5700
$W_{(çerçeve)}$= 0,8409/5,8664≈ 0,1433
$W_{(karma)}$= 0,8409/5,8664≈0,1433

Bileşen sayısı alt kriterlerinin göreli ağırlıklarının hesaplanması

Bileşen sayısına ilişkin oluşturulan karşılaştırma matrisinde her satırın geometrik ortalaması alınmıştır.

$G_{(tek\ bileşenli)} = (1.3)^{½} \approx 1,7321$
$G_{(\ çok\ bileşenli)} = (1/3.1)^{½} \approx 0,5774$

Bileşen sayısı alt kriterlerinin göreli ağırlıklarının hesaplanması için gerekli olan toplam geometrik ortalama değeri 1,7321+ 0,5774= 2,3095 olarak hesaplanmıştır.

Bileşen sayısı alt kriterlerinin W değeri, yukarıda verilen formüle göre hesaplanmıştır. Buna göre bileşen sayısı alt kriterlerinin göreli ağırlık değerleri şu şekildedir:

$W_{(tek\ bileşenli)}$ = 1,7321/2,3095≈0,7500
$W_{(\ çok\ bileşenli)}$ = 0,5774/2,3095≈0,2500

### 3.4.4. Tutarlılık oranlarının hesaplanması

Her kriterin normalize değeri yani göreli ağırlığı bulunduktan sonra matrisin tutarlılığının hesaplanması gerekmektedir. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığı CR ile ifade edilmektedir ve CR hesaplamasının amacı, karar verme işlemi için kriterler arasındaki karşılaştırmanın tutarlılığın belirlenmesidir (Ömürbek ve Şimşek, 2014). Tutarlılığın sağlanması için CR değerinin 0.10'u aşmaması gerekmektedir ve değerin sıfıra yakın olması karar matrisi için tutarlılığın yüksek olduğunu göstermektedir (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

Tutarlılığın hesaplanması için gerekli formüller aşağıda verilmiştir (Ömürbek ve Şimşek, 2014).

$$CR = \frac{CI\ (Tutarlılık\ göstergesi)}{RI\ (Rassallık\ göstergeleri)}$$

$$CI = \frac{\lambda\, max - n}{n-1}$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \lambda i$$

Ana kriterler için tutarlılık analizi

Bu aşamada AHP kapsamında, belirlenen iki ana kriter olan strüktür türü ve bileşen sayısı için oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlılığı analiz edilmiştir.

Strüktür türü ve bileşen sayısı için geometrik ortalama yöntemi ile hesaplanıp normalize edilen göreli ağırlıklar önceki alt başlıkta paylaşılmıştır.

$W_{(strüktür\ türü)}$: 0,75
$W_{(bileşen\ sayısı)}$: 0,25

Kriter ağırlıkları bulunduktan sonra tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için gerekli olan $\lambda_{max}$ değerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerin hesaplanabilmesi için kriter ağırlıkları ile karşılaştırma matrisinin çarpımı gerekmektedir. Daha açık bir ifadeyle, ilgili matristeki her satırın, ağırlık vektörü ile çarpılması gerekmektedir. Karşılaştırma matrisi ve ağırlık vektörü çarpımının sonucunda elde edilen A.w vektörü, literatürde genellikle "yaklaşık özvektör çarpımı" olarak adlandırılmakta olup her bir kriter için özdeğer katkısını göstermektedir (Saaty, 1980). Yaklaşık ifadesi AHP'nin sezgisel ve uzman görüşlerini içermesinden kaynaklanmaktadır. Bu vektör, her bir kriterin göreli ağırlığına bölünerek maksimum özdeğer $\lambda_{max}$ hesaplanmakta ve karar matrisinin tutarlığı bu sayede test edilmektedir. Ana kriterler için strüktür türü satırı sırasıyla 1 ve 3 değerlerinden, bileşen sayısı satırı ise sırasıyla 1/3 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır. Ağırlık vektörleri ise sırasıyla 0,75 ve 0,25 değerindedir. Buna göre;

$$A.w=\begin{bmatrix} 1.0,75+ & 3.0,25 \\ \left(\frac{1}{3}\right).0,75+ & 1.0,25 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

Her satırdaki değerlerin ilgili sütundaki göreli ağırlıklarla çarpılıp toplanması ile elde edilen değerler, maksimum özdeğerin hesaplanması için gerekli veriyi sağlamaktadır. Her bir kriter için özvektör hesabı şu şekilde yapılmıştır:

$\lambda_i = (A.w)_i / w_i$ (i ilgili kriteri simgelemektedir)

$\lambda_1 = 1,5/0,75 = 2$

$\lambda_2 = 0,5/0,25 = 2$

$\lambda_{max} = \frac{2+2}{2} = 2$

$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{2-2}{2-1} = 0$

RI: Rassallık göstergeleri ya da diğer adıyla rastgele uyumluluk indeksi tablosunda n kriter sayısına karşılık gelen değer girilmelidir. n=2 için RI=0'dır. Bu durumda CR= CI/RI formülüne göre CR= 0 olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre karar matrisi tam tutarlıdır, ikili karşılaştırmalar güvenilirdir ve çelişki içermemektedir.

Alt kriterler için tutarlılık analizi

Ana kriterler için gerçekleştirilen tutarlılık analizi ile aynı şekilde, her ana kriterin alt kriterleri için de Saaty'nin (1980) önerdiği özvektör yöntemine dayalı tutarlılık hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda strüktür türleri ve bileşen sayıları ana kriterlerinin alt kriterleri için karşılaştırma matrisleri oluşturularak her matris için ağırlık değerleri elde edilmiştir. Daha sonra da tutarlılık oranlarının hesaplamaları yapılmıştır. İzlenen süreç şu adımları içermektedir:

- Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
- Geometrik ortalama yöntemine dayalı olarak ağırlıkların belirlenmesi
- Kriter ağırlıkların ve karşılaştırma matrisinin çarpımı sonucu A.w değerinin elde edilmesi
- Her bir satır için $\lambda_i$ değerinin hesaplanarak $\lambda_{max}$ değerine ulaşılması
- Tutarlılık göstergesi CI ve tutarlılık oranının hesaplanması

Gerçekleştirilen işlem adımları ve hesaplamalar sonucunda strüktür türü ve bileşen sayısı alt kriterleri için elde edilen tutarlılık oranı değerleri CR< 0,10 koşuluna sağlamış ve iki matrisin de tutarlı olduğu belirlenmiştir. Bu hesaplamalara göre, alt kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrislerinin güvenilir olduğu ve karar verme sürecinde kullanım için uygun nitelikte olduğu kabul edilebilir.

### 3.4.5. Alternatiflerin alt kriterlere göre puanlanması ve nihai AHP hesaplamaları

Bu bölümde, kaşık, sandalye ve elektrikli cezve olarak belirlenen alternatif ürünlerin, üretken tasarıma uygunluk düzeylerini, daha önce belirlenen kriter ve alt kriterler doğrultusunda değerlendirmek amaçlanmıştır. AHP süreci kapsamında, hiyerarşik yapının en alt seviyesinde yer alan alternatiflerin değerlendirilmesi süreci, alt kriterlerin nihai ağırlıklarının belirlenmesi ve alternatiflerin bu alt kriterlere göre puanlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde sırasıyla alt kriterlerin ağırlıklarının nasıl elde edildiği, alternatiflerin bu kriterlere göre nasıl puanlandığı, elde edilen puanların nasıl normalize edildiği ve nihai skorların nasıl hesaplandığı açıklanacaktır.

AHP sürecinin önceki adımlarında strüktür türü ve bileşen sayısı ana kriterleri için karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş, ağırlık değerleri geometrik ortalama yöntemiyle hesaplanmış ve tutarlılık oranlarının kabul edilebilir düzeyde olduğu doğrulanmıştır. Buna göre ana kriterler için strüktür türü ağırlığı 0,75 bileşen sayısı ağırlığı ise 0,25 olarak belirlenmiştir.

Her ana kriterin altındaki alt kriterler için de aynı yöntem izlenmiş, dört adet strüktür türü ve iki adet bileşen sayısı türü alt kriteri için ağırlık değerleri elde edilmiştir. Daha sonra, bu alt kriter ağırlıkları, bağlı oldukları ana kriter ağırlığıyla çarpılarak nihai alt kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu yaklaşım literatürde hiyerarşik karar verme süreçlerinde nihai ağırlıkların elde edilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Saaty, 2008).

Bu çalışmada kullanılan AHP kapsamında, kriter ve alt kriterlerin ağırlıklarını belirlenmesinde ve alternatiflerin değerlendirilmesinde iki farklı yöntem kullanılmıştır. Kriterler ve alt kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinde, her kriter diğerlerine göre karşılıklı oranlar biçiminde değerlendirilmiştir. Örnek vermek gerekirse, üretken tasarıma uygunluk açısından strüktür türü, bileşen sayısından 3 kat daha önemli

görüşü ilgili matrise işlenmiştir. Bu yöntem AHP'nin yapısında önerilen ve tutarlılık analizinin de temelini oluşturan ağırlık üretme tekniği olarak bilinmektedir (Saaty, 1980).

Alternatif ürünler için kullanılan değerlendirme puanları ise kriterlerdeki gibi ikili karşılaştırma biçiminde oluşturulmamıştır. Doğrudan sayısal öncelik puanı olarak verilmiştir. Örneğin, dolu strüktür için kaşık alternatifine 7 puan, sandalyeye 3 puan elektrikli cezveye ise 1 puan verilmiştir. Verilen puanlar literatürdeki uygulama örneklerine ve araştırmacının üretken aracın işleyişine ilişkin deneyimlerine dayalı olarak verilen göreli puanlardır. Alternatifler için verilen bu değerlendirme puanlarında kriterlerdeki gibi çarpımsal oranlar yerine yalnızca göreli uygunluk düzeyi belirtilmiştir. Bu nedenle alternatiflerin değerlendirmesinde normalize etme işlemi geometrik ortalama yerine alternatif puanının tüm alternatif puanlarının toplamına bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu yöntem AHP'ye ilişkin literatürde, doğrudan puanlama yöntemi (Direct Rating Method) olarak geçmektedir ve bu yaklaşım, özellikle alternatifler uzmanlar tarafından sayısal değerlerle doğrudan puanlandığında önerilmektedir (Ishizaka ve Labib, 2011).

İlk olarak her bir alt kriter için alternatif ürünlerin göreli uygunluk düzeyleri 1-9 ölçeğine dayalı olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.5. 1-9 ölçeğine göre uygunluk düzeyi puanları

| | Değerlendirme puanları | | |
|---|---|---|---|
| Alt kriter | Kaşık | Sandalye | Elektrikli cezve |
| Kabuk strüktür | 1 | 3 | 1 |
| Dolu strüktür | 7 | 3 | 1 |
| Çerçeve strüktür | 1 | 3 | 1 |
| Karma strüktür | 1 | 5 | 3 |
| Tek bileşenli | 9 | 5 | 1 |
| Çok bileşenli | 3 | 7 | 9 |

Her alt kriter için girilen değerlendirme puanları normalize edilmiştir. Bu işlem alternatifin puanının toplam puana bölünmesiyle gerçekleştirilmiştir. Örneğin dolu strüktür alt kriteri için kaşık alternatifinin uygunluk derecesi 7, sandalyenin 3, elektrikli cezvenin 1 olarak

belirlenmiştir. Toplam puan 11'dir. Buna göre normalize değer kaşık için 7/11 ≈ 0,636, sandalye için 3/11 ≈ 0,273 ve elektrikli cezve için 1/11 ≈ 0,091 olarak bulunmuştur ve bu işlemler tüm alt kriterler için uygulanmıştır.

Alternatif ürünler için nihai AHP skorlarının hesaplanması

Nihai skorlar, her alt kriter için normalize değer ile alt kriterin nihai ağırlığının çarpım değerlerinin toplanmasıyla ele edilmektedir. Örneğin kaşık alternatifi için, her alt kriterin normalize değeri ve nihai ağırlıkları çarpılıp toplamları alınmıştır. Söz konusu alt kriterler kabuk, dolu, çerçeve, karma strüktür ve tek ile çok bileşenli olma kriterleridir. Aşağıda, kaşık alternatifi için alt kriter bazında normalize değerler ve alt kriterlerin nihai ağırlıkları ile çarpımı gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Kaşık alternatifi için nihai skor hesaplaması

| Alt kriter | Normalize değer (Kaşık) | Nihai ağırlık | Çarpım (Katkı) |
|---|---|---|---|
| Kabuk | 1/ (1+3+1)= 0,2 | 0,1075 | 0,2 x 0,1075 = 0,0215 |
| Dolu | 7/(7+3+1)≈0,6364 | 0,4275 | 0,6364 x 0,4275≈ 0,2720 |
| Çerçeve | 1/ (1+3+1) =0,2 | 0,1075 | 0,2 x 0,1075 = 0,0215 |
| Karma | 1/(1+5+3)≈0,1111 | 0,1075 | 0,1111 x 0,1075≈ 0,0119 |
| Tek bileşenli | 9/(9+5+1)≈0,6 | 0,1875 | 0,6 x 0,1875≈ 0,1125 |
| Çok bileşenli | 3/(3+7+9)≈0,1578 | 0,0625 | 0,1578 x 0,0625 ≈ 0,0098 |

Kaşık için toplam skor:

0,0215 + 0,2720 + 0,0215 + 0,0119 + 0,1125 + 0,0098 ≈ 0,4492

Çizelge 3.6'da verilen değerlerin nasıl elde edildiği şu şekilde açıklanabilir;

Her bir alternatifin normalize değeri, ilgili kriter altında aldığı puanın, aynı kriter altındaki tüm alternatiflerin puanları toplamına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu işlem, alternatiflerin karşılaştırılabilir ve oransal önem derecelerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bir örnekle açıklamak gerekirse; kaşık alternatifinin dolu strüktür altında aldığı puan 7, aynı dolu strüktür kriteri altındaki tüm puanların toplamı ise 11'dir. 7/11 işlemi

sonucu, kaşığın dolu strüktür için normalize değeri yaklaşık olarak 0,06364 değerinde hesaplanmıştır.

Nihai ağrılık ise alt kriterin göreli ağırlığı ile bağlı olduğu ana kriterin ağırlığının çarpımı ile elde edilmektedir. Örneğin dolu strüktür için göreli ağırlık daha önceki bölümlerde $W_{(dolu)}$= 3,3437/5,8664≈0,5700 şeklinde hesaplanmıştı. Dolu strüktürün bağlı olduğu ana kriter olan strüktür türünün ağırlığı ise $W_{(strüktür\ türü)}$: 0,75 olarak bulunmuştu. Bu durumda dolu strüktür alt kriterinin nihai ağırlığı 0,5700 x 0,75 ≈ 0,4275 olarak hesaplanmış olur.

Alternatiflerin nihai uygunluk skorlarının hesaplanmasında her bir alt kriter için elde edilen normalize değerler tek başına yeterli bir gösterge değildir. Çünkü her kriterin göreli ağırlığı farklılık göstermektedir. Bu nedenle AHP yönteminde her alternatifin ilgili kriter altındaki normalize değeri ile o kriterin nihai ağırlığı çarpılarak katkı değeri hesaplanır. Tüm bu katkı değerlerinin toplanması ile nihai AHP skoru oluşur.

Aynı işlem sırası diğer alternatif ürünler olan sandalye ve elektrikli cezve için de uygulanmıştır.

Çizelge 3.7. Sandalye alternatifi için nihai skor hesaplaması

| Alt kriter | Normalize değer (sandalye) | Nihai ağırlık | Çarpım (Katkı) |
|---|---|---|---|
| Kabuk | 3/(3+1+1)= 0,6 | 0,1075 | 0,6 x 0,1075=0,0645 |
| Dolu | 3/(7+3+1)≈ 0,2727 | 0,4275 | 0,2727 x 0,4275 ≈ 0,1166 |
| Çerçeve | 3/(3+1+1)= 0,6 | 0,1075 | 0,6 x 0,1075=0,0645 |
| Karma | 5/(1+5+3)≈ 0,5556 | 0,1075 | 0,5556 x 0,1075 ≈ 0,0597 |
| Tek bileşenli | 5/(9+5+1)≈ 0,3333 | 0,1875 | 0,3333 x 0,1875 ≈ 0,0625 |
| Çok bileşenli | 7/(3+7+9)≈ 0,3684 | 0,0625 | 0,3684 x 0,0625 ≈ 0,0230 |

Sandalye için toplam skor:

0,0645 + 0,1166 + 0,0645 + 0,0597 + 0,0625 + 0,0230 ≈ 0,3908

Çizelge 3.8. Elektrikli cezve alternatifi için nihai skor hesaplaması

| Alt kriter | Normalize değer (elektrikli cezve) | Nihai ağırlık | Çarpım (Katkı) |
|---|---|---|---|
| Kabuk | 1/(1+3+1)= 0,2 | 0,1075 | 0,2 x 0,1075 = 0,0215 |
| Dolu | 1/(7+3+1) ≈ 0,0909 | 0,4275 | 0,0909 x 0,4275 ≈ 0,0389 |
| Çerçeve | 1/(1+3+1) = 0,2 | 0,1075 | 0,2 x 0,1075 = 0,0215 |
| Karma | 3/(1+5+3) ≈ 0,3333 | 0,1075 | 0,3333 x 0,1075 ≈ 0,0358 |
| Tek bileşenli | 1/(9+5+1) ≈ 0,0667 | 0,1875 | 0,0667 x 0,1875 ≈ 0,0125 |
| Çok bileşenli | 9/(3+7+9)≈ 0,4737 | 0,0625 | 0,4737 x 0,0625 ≈ 0,0296 |

Elektrikli cezve için toplam skor:

0,0215+ 0,0389 + 0,0215 + 0,0358 + 0,0125 + 0,0296 ≈ 0,1598

### 3.4.6. AHP sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması

Çalışma kapsamında ürünlerin yapısal özelliklerine dayalı olarak oluşturulan kriterler ve hiyerarşik yapı, çalışmanın değerlendirme sürecine nesnel bir yapı kazandırarak ürün türlerinin karşılaştırılmasını ölçülebilir temellere oturtmuştur. Bu çerçeve aracılığıyla, alternatif ürünlerin yapısal olarak sınıflandırılmasına imkan veren değerlendirme kriterleri oluşturulmuş ve bu kriterler üründen bağımsız biçimde genellenebilir kavramsal bir yapıya oturtulmuştur. Bu yaklaşım çalışmanın yalnızca örnek ürünlerle sınırlı kalmamasını ve üretken tasarımın hangi tür ürün yapılarıyla daha uyumlu çalıştığını yapısal ölçütler üzerinden değerlendirme imkanı sunmuştur.

AHP yöntemi doğrultusunda yapılan değerlendirmelerde, her alternatif ürünün kriterlere göre aldığı puanlar normalize edilmiş ve bu değerler ilgili kriterin nihai ağırlıklarıyla çarpılarak alternatif bazlı katkılar hesaplanmıştır. Bu katkılar toplandığında, alternatiflerin üretken tasarıma uygunluk skorlarına ilişkin değerler şu şekildedir:

Kaşık: 0,4492, Sandalye: 0,3908, Elektrikli cezve: 0,1598

Sonuçlara göre kaşık, özellikle dolu strüktür ve tek bileşenli yapıda olması nedeniyle en yüksek uygunluk skoruna ulaşmıştır. Sandalye, çok bileşenli ve çerçeve/ karma strüktür özellikleriyle kısmen uygun, elektrikli cezve ise elektronik donanım içermen ve sızdırmazlık gerektiren karma yapısı nedeniyle üretken tasarım algoritmalarının sınırlı avantaj sağlayabildiği bir ürün olarak daha düşük skor almıştır. Sonuçlar, üretken tasarım yönteminin tek bileşenli ve dolu strüktürlü ürünlerde daha etkin ve verimli olduğunu göstermektedir. Buna karşın çok bileşenli, karma veya iç mekanik bileşen bulunduran ürünlerde üretken tasarımın sunduğu avantajlar sınırlanabilmektedir. AHP, bu anlamda tasarım öğelerinin yapısal özellikleri ile sayısal biçimde ilişkilendirilebilmesine olanak sağlamıştır. Yapılan değerlendirme ile alternatifler arasında karşılaştırma yapılmış ve üretken tasarımın hangi tür ürün yapılarıyla daha yüksek etkileşim potansiyeli taşıdığı da ortaya konmuştur. Alternatiflerin değerlendirilmesinden önce gerçekleştirilen kriter odaklı sınıflandırma, tezin uygulama sürecine ek olarak kuramsal temellerine katkı sağlamış ve ürün yapılarının üretken tasarımla olan ilişkisini bilimsel ölçütlerle sorgulama olanağı sunmuştur. Sonuç olarak AHP yöntemiyle ulaşılan skorlar, üretken tasarımın uygulanabilirliğini ölçmek için tek başına sezgisel bir karar yapısı sunmanın ötesinde, hesaplanabilir, karşılaştırılabilir ve gerekçelendirilebilir bir karar yapısı sunmuştur. Bu sayede çalışmanın nesnelliğini artırmıştır.

### 3.5. Pilot Uygulama

Başarılı bir araştırma tasarımının önemli bir parçası olan pilot çalışmalar, ana çalışmanın uygulanabilirliği için başarı olasılığını artırır ve yönteme yönelik olası aksaklıklara ilişkin erken uyarılar vererek araştırmacıya değerli geri bildirimler sağlar (Van Teijlingen ve Hundley, 2002). Bu bölümde, ana deneysel çalışmaya hazırlık amacıyla yürütülen pilot uygulamanın kapsamı, amacı ve uygulama biçimi detaylı şekilde açıklanmaktadır.

#### 3.5.1. Pilot uygulamanın amacı ve kapsamı

Pilot çalışma, araştırma kapsamındaki ana deneysel uygulamanın yöntemine yönelik hazırlıkları gerçekleştirmek, olası aksaklıkları öngörebilmek ve deneysel uygulama planının işleyişini değerlendirebilmek amacıyla yapılandırılmıştır. Daha açık bir ifadeyle, pilot

uygulama ile araştırmanın ana çalışma kurgusuna ilişkin işlevselliğin sınanması amaçlanmıştır. Deneysel araştırmalarda pilot uygulamalar, yöntemlerin, ölçme araçlarının ve uygulama ortamının araştırma sorularına ne ölüde katkı sunduğunun ortaya konması açısından önemlidir. Bu bağlamda pilot çalışmalar, ana uygulamanın geçerlik ve güvenirliğini artıran bir ön test işlevi görmektedir (Van Teijlingen ve Hundley, 2002; Arain, 2010).

Pilot uygulama çalışmasının amacı yalnızca ana çalışma kurgusu için gerekli hazırlıkları yapmakla sınırlı değildir. Bu bakımdan tüm amaçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Deneysel temellere dayalı ana uygulama çalışmasında izlenecek sürecin zamanlamasını, içeriğini, teknik araçlar açısından işleyişini kontrol etmek
- AHP yöntemine dayalı olarak belirlenen ürün türlerinin katılımcılar tarafında uygulanmasını sağlayıp yine aynı katılımcıların görüşleri ışığında geçerliliğini değerlendirmek
- Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine hangi aşamalarda ve ne tür etkilerle entegrasyonunun sağlanabileceğine ilişkin ön bilgi edinebilmek
- Arain (2010) ve Williams-McBean (2019) tarafından üzerinde durulan, pilot çalışma ile araştırmacının gözlem ve değerlendirme stratejilerini geliştirme ve ana çalışmadaki veri toplama süreçlerine hazırlık yapmasına katkı sağlamak

Bu çalışmada yürütülen pilot uygulamada, AHP yöntemiyle belirlenen ü ürün olan kaşık, sandalye ve elektrikli cezve için hem geleneksel hem de üretken tasarım sürecine dayalı tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlar süre kısıtlılığı sebebiyle yalnızca dijital ortamda oluşturulmuş, maket ya da prototip gibi fiziksel nesneler elde edilmemiştir. Bu süreçte üretken tasarımın CAD ortamındaki işleyişine yönelik kısa bir eğitim verilmiş ve ardından her tasarım yaklaşımı için belirli zaman dilimleri içerisinde uygulama yapılmıştır.

Pilot uygulama için katılımcı sayısı iki olarak belirlenmiştir. Katılımcı sayısının iki olması araştırma sınırlılıklarıyla ilgilidir. Sürecin zaman açısından uzun olması, her katılımcı için toplamda altı tasarım oturumunun yürütülecek olması, bu sınırlılıklara örnek olarak verilebilir. Ancak bu durum, nitel araştırmanın derinliği ve gözleme dayalı veri çeşitliliği açısından pilot uygulamanın amacına hizmet etmesine engel oluşturmamıştır. Pilot uygulama ile elde edilen bulgular, ana deneysel çalışmanın daha sistematik bir biçimde

yapılandırılmasını ve araştırma sorularına daha doğru yanıtlar verecek yöntem düzenlemeleri yapılmasını sağlamıştır.

### 3.5.2. Katılımcı seçimi ve gerekçeler

Pilot uygulama için seçilen iki katılımcı üniversitelerin endüstriyel tasarım bölümlerinden lisans derecesi ile mezun olmuş tasarımcılardır. Her iki katılımcı da tasarım eğitimleri boyunca Autodesk Fusion 360 yazılımı ile çalışmış ve kullanım konusunda hakimiyetlerini beyan etmişlerdir. Bu nitelikler üretken tasarım sürecini yürütebilmek ve dijital modelleme aşamalarında daha sistemli şekilde ilerleyebilmek için bir ön koşul olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca kullanılacak üretken tasarım aracı olan Generative Design'ın bağlı olduğu Fusion 360 yazılımına olan hakimiyet, üretken tasarım süreciyle yürütülecek olan tasarım uygulaması öncesinde verilecek eğitimin süresini ve içeriğini de belirlemiştir.

Katılımcılar üniversiteden aynı yıl mezun olmuş ve iki yıl mesleki deneyime sahip tasarımcılardır. Katılımcılardan biri yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Bu sebeple akademisyenlere ve öğrencilere ücretsiz kullanım hakkı sunan Fusion 360 Generative Design'ı ücretsiz olarak kullanmaktadır. Diğer katılımcı ise bireysel anlamda ücretsiz kullanım hakkına sahip değildir. Uygulama için araştırmacının sağladığı bilgisayar ve yazılım desteğiyle tasarım sürecini yürütmüştür. Bu durum ana çalışmadaki katılımcı seçimleri için ele alınması gereken önemli faktörlerden biri olarak belirlenmiştir.

Pilot çalışmalarda örneklemin sayısal anlamda genişliğinden çok yöntemin ve uygulama sürecinin test edilebilirliği hedeflenmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında iki katılımcı ile detaylı bir uygulama yürütülmesi elde edilmek istenen gözlemler ve süreç analizleri için yeterli kabul edilmiştir. Subedi (2021), nitel araştırmalarda katılımcı sayısının sabit bir kurala dayanmadığını, katılımcı sayısının araştırma amacı, veri derinliği ve bağlamına göre 1 ile 20 arasında değişebileceğini belirtmektedir. Bu tür çalışmalarda önemli olanın zengin veri elde etmek olduğunu, bilgi açısından doygunluk seviyesine ulaşıldığında örneklem sayısının artırılmasına gerek olmadığını vurgulamaktadır (Subedi, 2021). Nitel araştırmalar çoğunlukla az sayıda katılımcıyla ya da küçük örneklem gruplarıyla yürütülmekte ve bu durum, araştırmacıya daha derinlemesine, kapsamlı veri toplama imkanı sunarak araştırma sürecini zaman ve maliyet açısından daha uygulanabilir hale getirmektedir (Marshall, 1996; Teddlie ve Yu, 2007; Kvale, 1994; Baltacı, 2019). Bu tür örneklem büyüklüğündeki

esneklik, araştırmacının olguya ilişkin derinlemesine bilgi üretimini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle özellikle keşifsel ya da ön uygulama niteliğindeki pilot çalışmalarda anlam üretimini destekleyici bir zemin sunmaktadır.

### 3.5.3. Pilot uygulama tasarımı ve uygulama süreci

Pilot uygulama, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü bünyesinde, daha önceden belirlenmiş bir çalışma ofisinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen fiziksel ortam, katılımcıların tasarım sürecini kesintisiz bir biçimde yürütebilecekleri ve araştırmacının etkin şekilde gözlem yapabileceği bir yapıya sahiptir. Uygulama sürecine katılan iki tasarımcının her biri ayrı çalışma masalarında konumlandırılmıştır. Katılımcıların biri süreci kendi bilgisayar ve yüklü olan Fusion 360 yazılımı aracılığıyla yürütürken, diğer katılımcıya eşdeğer donanım özelliklerine sahip bir bilgisayar ve aynı yazılım, araştırmacı tarafından sağlanmıştır. Her iki bilgisayar da Fusion 360 yazılımının performansını etkilemeyecek düzeyde donanımlara sahiptir. Çalışma ortamında her bir katılımcı için masa, sandalye, priz, çizim kağıdı ve kalem gibi temel gereksinimler eksiksiz olarak sunulmuştur. Böylece uygulama sırasında herhangi bir teknik aksaklık ya da zaman kaybı yaşanmamıştır. Bu ortam araştırmacının iki katılımcıyı da eş zamanlı ce doğrudan gözlemlemesine olanak tanıyarak gözlem verisinin eksiksiz ve karşılaştırılabilir biçimde toplanmasını mümkün kılmıştır.

Pilot uygulama, deneysel ilkelere dayanan ana çalışmanın yöntemine yönelik kurgunun doğru temeller üzerine oluşturulması, AHP yöntemiyle belirlenen ürünler üzerinden ürün sınıflandırma yaklaşımının ve AHP'nin geçerliğinin sorgulanması amacıyla yapılandırılmıştır. Çalışmanın temelini oluşturan üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirme amacı doğrultusunda pilot uygulama, iki farklı tasarım yaklaşımının aynı ürünler üzerinde uygulanması, süreçlerin gözlemlenmesi ve veri toplama araçlarının değerlendirilmesi yönünde kurgulanmıştır.

Uygulama AHP yöntemi ile belirlenen üç farklı ürün türü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tek bileşenli ve dolu strüktüre sahip olan kaşık, tek ya da çok bileşenli olarak kurgulanabilen ve çerçeve strüktüre sahip sandalye ve karma yapılı, elektronik bileşenler içeren kabuk strüktür ağırlıklı elektrikli cezve uygulama kapsamındaki ürünlerdir. Her bir ürün hem geleneksel

hem de üretken tasarım yaklaşımıyla, ürünlere göre ayrılan üç farklı oturumda tasarlanmıştır. Bu bağlamda her katılımcı toplam altı tasarım süreci yürütmüştür.

Çizelge 3.9. Pilot uygulama süreci

| Oturumlar | Tasarım yöntemi | Problem tanımı | Süre |
|---|---|---|---|
| 1. oturum | Geleneksel tasarım süreci | Kaşık tasarımı | 60 dk |
| | Eğitim (Autodesk Fusion 360 Generative Design-Üretken tasarım uygulama süreci ve işleyiş adımları) | | 60 dk |
| | Üretken tasarım süreci | Kaşık tasarımı | 60 dk |
| Ara | | | 30 dk |
| 2. oturum | Geleneksel tasarım süreci | Sandalye tasarımı | 60 dk |
| | Üretken tasarım süreci | Sandalye tasarımı | 60 dk |
| 3. oturum | Geleneksel tasarım süreci | Elektrikli cezve tasarımı | 60 dk |
| | Üretken tasarım süreci | Elektrikli cezve tasarımı | 60 dk |

Pilot uygulamanın yapısı şu şekilde belirlenmiştir: her ürün için uygulama süreci 20 dakikalık düşünme, araştırma ve karar verme sürecinin ardından, 40 dakikalık bilgisayar ortamında modelleme süreciyle tamamlanmıştır. Bu zaman yönetimi yaklaşımı, tasarım sürecinin sınırlı zaman aralığında nasıl şekillenebileceğini test etme amacı taşımaktadır. Aynı zamanda bir sınırlılığı da temsil etmektedir. Her katılımcı için üç ürün iki farklı yöntem ile toplamda 360 dakikalık bir uygulama süreci gerçekleştirilmiştir. Üretken tasarımın uygulanabilmesi için birinci ürünün geleneksel yöntemle tasarlanmasının ardından 60 dakikalık bir eğitim oturumu düzenlenmiştir. Eğitim iki temel bölümde yapılandırılmıştır. İlk bölümde, üretken tasarımın temel tanımları ele alınmış, literatürdeki açıklamalar ve endüstriyel uygulama örneklerine değinilmiştir. İkinci bölümde, uygulamaya dönük teknik içerik sunulmuştur. Autodesk Fusion 360 üzerinden üretken tasarım modülünün arayüzü tanıtılmış, geometri tanımları, yük ve sınır koşulları, malzeme seçenekleri, üretim yöntemleri gibi temel parametrelerin nasıl girileceği gösterilmiştir. Ayrıca optimizasyon kriterlerinin belirlenmesi ve tasarımcının karar noktaları üzerinde durulmuştur. Bu bölümde yazılımın bulutunda yer alan örnek bir üretken tasarım modeli üzerinden anlatımlar yapılmış ve süreç adım adım gösterilmiştir.

Bu tercihin gerekçesi, katılımcıların geleneksel yöntemle gerçekleştirdikleri ilk tasarım sürecine, üretken tasarımın etkisi olmadan tamamen kendi deneyimlerine dayalı şekilde yaklaşmalarını sağlamaktır. Böylece araştırmacı, üretken tasarım aracının getirdiği yönlendirmelerden bağımsız olarak katılımcıların tasarım sürecini nasıl ele aldıklarını

gözlemleyebilmiştir. Bu çerçevede yapılan gözlem, geleneksel ve üretken tasarım yaklaşımlarının doğrudan karşılaştırılabilmesi ve üretken tasarım eğitimine ilişkin ön koşul etkilerinin en aza indirilmesi açısından tercih edilmiştir. Ön koşul etkileri özellikle deneysel ya da yarı deneysel çalışmalarda katılımcıların bir sonraki uygulamaya ilişkin stratejisini ve yaklaşımını şekillendirmesi olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla eğitim verildikten sonra geleneksel yöntemle süreci başlatmak, katılımcıların doğal süreç akışlarını etkileme riski barındırmaktadır. En azından ilk oturumun birinci tasarım sürecinin hemen ardından üretken tasarım eğitiminin verilmesiyle, birinci oturum için bu riskin engellenmesi amaçlanmıştır. Bu eğitimde Autodesk Fusion 360 Generative Design üretken tasarım aracının işleyiş mantığı, kullanıcı ara yüzü ve aracın kullanım aşamaları açıklanmıştır.

Fusion 360 Generative Design üretken aracının seçilme gerekçesi, basit ve anlaşılabilir ara yüzü ile kullanım kolaylığı sağlaması ve katılımcıların program kullanımı konusundaki mevcut bilgi düzeyi ve deneyimleriyle uyumlu olması şeklinde açıklanabilir. Buna ek olarak eğitim amaçlı kullanımlarda Autodesk'in ücretsiz kullanım sağlaması da bu aracın seçilmesindeki en önemli sebeplerdendir. Van Teijlingen ve Hundley (2002), pilot çalışmalarda teknik araçların, kullanıcılarla olan etkileşiminin test edilmesinin uygulama başarısı açısından çok önemli olduğunu belirtmektedir. Bu açıdan, üretken aracın kullanım kolaylığına ek olarak katılımcıların bu araçla ya da bağlı olduğu CAD programına olan aşinalığı da hem katılımcı seçiminde hem de aracın seçiminde belirleyici rol oynamıştır.

Pilot uygulama sürecinde katılımcılara net bir şekilde tanımlanmış herhangi bir yol haritası ya da süreç adımları önceden verilmemiştir. Yalnızca düşünme, araştırma, karar verme ve modellemeye dayalı genel bir çerçeve sunulmuştur. Bu tercih Williams-McBean (2019) tarafından nitel pilot çalışmaların araştırmacıya esnek gözlem yapma ve sürece göre strateji geliştirme olanağı sunduğu şeklindeki önerileriyle örtüşmektedir. Böylece araştırmacı, katılımcıların bireysel tasarlama eylemlerini ve tasarımcı olarak yaklaşımlarını gözlemleme fırsatı elde etmiştir.

Uygulama süreci boyunca yapılan gözlemler, tasarım çıktıları ve katılımcı görüşleri belgelenmiştir. Ürün türlerine yönelik karar modelinin iç geçerliliğini değerlendirmek adına, AHP yöntemiyle belirlenen ürün türlerinin ve sınıflandırma yaklaşımının uygunluğu hakkında katılımcılardan geri bildirimler alınmıştır. Bu bağlamda pilot uygulama ile karar

verme araçları, katılımcıların araçla, yöntem ve süreçle olan etkileşimleri test edilerek ana çalışmanın yapılandırılması mümkün olmuştur.

### 3.5.4. Pilot uygulamada kullanılan veri toplama araçları

Araştırma sürecinin pilot uygulama aşamasında, katılımcıların her iki tasarım yaklaşımını nasıl ele aldıkları ve tasarımcı olarak yaklaşım biçimleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemler araştırmacı tarafından sistematik biçimde tutulan yazılı notlar aracılığıyla kayıt altına alınmıştır. Gözlem süreci boyunca katılımcıların, tasarım süreci içindeki karar verme süreçleri, düşünme şekilleri, farklı ürünler için ve farklı tasarım yöntemleri için probleme yaklaşım biçimleri ve araç kullanımındaki farklılıkları detaylı şekilde gözlemlenmiştir. Gözlem notlarına ek olarak katılımcıların dijital ortamda Fusion 360 yazılımı aracılığıyla oluşturdukları 3B modelleme dosyaları da belgelenmiş ve değerlendirme amacıyla araştırma kapsamına dahil edilmiştir.

Uygulamanın tamamlanmasının ardından aynı gün içerisinde her iki katılımcıyla birlikte gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler yoluyla sürece ilişkin veriler toplanmıştır. Görüşme sürecinde hem katılımcı deneyimine yönelik sorular hem de AHP yöntemi ile belirlenen ürünler ve sınıflandırma çerçevesine ilişkin sorular sorulmuştur. Pilot uygulama aracılığıyla belirlenen ürünler için üretken tasarım yöntemine dayalı tasarım yapan katılımcılar AHP yöntemine yönelik sorulara bizzat deneyimlerine dayalı cevaplar verme fırsatı bulmuşlardır.

Pilot uygulama sonrasında yapılan görüşmeler bire bir değil katılımcıların karşılıklı etkileşimde bulunabileceği ve uzman görüşü temelinde, ortak çıkarımlara ulaşılabilecek şekilde yürütülmüştür. Johansen ve Fischer-Hübner (2023: 140), uzman görüşlerine dayalı nitel araştırmalarda araştırmacı ile katılımcı arasında iş birliğine dayalı bir ortam kurmanın ve bu etkileşim aracılığıyla kavramsal geçerlik üretmenin önemli olduğunu vurgular. Bu tür görüşmelerde katılımcılar, yanıtlayıcı rollerinin ötesinde araştırma sürecine ortak katkı sunan bir rolde de konumlanmaktadır. Görüşme sürecinde yanıtlar, herhangi bir veri kaybına yol açmayacak şekilde araştırmacı tarafından yazılı olarak kayıt altına alınmıştır. Bir soruya verilen yanıtlar yazılı olarak kayıt altına alındıktan sonra diğer soruya geçilmiştir. Uygulama öncesinde katılımcılara, çalışmanın bir doktora tezi kapsamında yürütüldüğü ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçla kullanılacağı yönünde bilgilendirme yapılmıştır.

Creswell (2017), nitel araştırmalarda veri toplama süreçlerinin dört temel bileşenden oluştuğunu belirtmektedir. Bunlar; nitel gözlem, nitel mülakatlar, nitel dokümanlar ve sesli-görsel materyallerdir (Creswell, 2017: 190).

Bu araştırmada kullanılan bir veri toplama aracı olarak gözlem yöntemi, nitel araştırma kapsamında, araştırmacı tarafından önceden belirlenmiş fiziksel koşullarda ve uygulama senaryoları doğrultusunda kurgulanmıştır. Önceden belirlenen fiziksel koşullarda gözlem yapılmasının sebebi, uygulama açısından deneysel ilkeleri baz alan süreç kurgusundan kaynaklanmaktadır. Katılımcılar, araştırmacının oluşturduğu kontrollü bir ortamda tasarım süreçlerini uygularken gözlemlenmiş, araştırmacı ise sürece müdahale etmeden, gözlemci olarak katılımcı konumunda yer almıştır. Creswell'e göre (2017), gözlemci olarak katılımcı rolüyle araştırmacı, bilgiyi oluştuğu sırada gözlemleyebilir. Ancak araştırmacının dikkat durumu ve gözleme yapabilme kabiliyetindeki eksiklikler risk yaratabilir (Creswell, 2017: 191). Uzun uygulama sürelerinin oturumlara ve bölümlere ayrılması ile dikkat probleminin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca katılımcılardan 3B modellere ilişkin dijital dosyalar alınarak nitel dokümanlar toplanmıştır. Bu doğrultuda kullanılan gözlem biçimi doğal ortamda değil, önceden belirlenmiş görev ve zamanlama odağına göre yarı yapılandırılmış bir yaklaşıma dayanmaktadır. Gözlem sürecinde araştırmacının, AHP yönteminin geçerliği, iki farklı yöntem ile yürütülen süreçler arasındaki karşılaştırma ve ana çalışma için aksaklıkların ortadan kaldırılmasına özellikle odaklanması yarı yapılandırılmış gözlemin özelliklerini desteklemektedir. Bu bakımdan, yarı yapılandırılmış gözlem yöntemi ile uygulama süreçleri için detaylı gözlem verileri elde edilmiştir.

Pilot uygulama sonrasında yapılan görüşme sürecinin ilk aşamasında, katılımcılara AHP sürecinde ürünlerin üretken tasarıma uygunluk açısından aldığı puan sırlamaları söylenmemiştir. Bu puanlardan ya da daha önceki bölümlerde bahsedildiği şekilde AHP'nin nihai skorlarından bahsedilmeden, katılımcılara ürünler ve strüktür türü, bileşen sayısı gibi kriterler üzerinden karşılaştırma soruları yöneltilmiştir. Burada, katılımcıların puanlardan bağımsız şekilde tamamen kendi deneyimlerine dayanan görüşleri ile AHP skorlarını karşılaştırarak güvenirliğe katkı sunmak amaçlanmıştır. Görüşme soruları strüktür türü ve bileşen sayısı kriterleri özelinde ürün türlerinin karşılaştırması, üretken tasarım ile geleneksel süreç arasındaki benzerlikler ve farklılıklar, üretken tasarımın geleneksel sürece hangi aşamada dahil olabileceği, üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecinde etkisinin rolü ve büyüklüğü, ana uygulama süreci için öneriler ve zaman planlaması başlıklarında

yapılandırılmıştır. Görüşme soruları tamamlandıktan sonra AHP skorlarına dayalı bilgiler paylaşılarak katılımcıların bu veriler üzerinden tekrar görüşleri alınmış ve tutarlı bulgular elde edilmiştir. Detaylı bilgilere bulgular bölümünde yer verilecektir.

### 3.5.5. Pilot uygulamada elde edilen nitel verilerin analizi

Bu araştırmanın pilot uygulama aşamasında iki katılımcı ile gerçekleştirilen tasarım süreçleri, çoklu veri toplama teknikleri aracılığıyla incelenmiştir. Veriler yarı yapılandırılmış gözlemler, etkileşimli görüşme süreci ve uygulama süreçleri sonucunda elde edilen görsel dokümanlardan oluşmaktadır. Nitel araştırmalarda küçük örneklemlerle yürütülen çalışmalar, araştırmacıya bilgi derinliği kazandırma ve katılımcı deneyimlerine odaklanma olanağı sağlamaktadır (Patton, 2015: 473). Bu bağlamda elde edilen veriler betimleme yapmaya imkan veren nitel veri analizi yaklaşımıyla ele alınmıştır.

Görüşme ve gözlem verilerinin analizi, içerik ve tema odaklı bir stratejiye dayanmaktadır. Süreç boyunca araştırmacı tarafından tutulan gözlem notları ve yazılı olarak kayıt altına alınan görüşme notları betimsel analiz yöntemi ile çözümlenmiştir. Yıldırım ve Şimşek (2003), betimsel analizi bulguların özünü ortaya çıkarma ve bu öz bulguları yorumlayarak aktarma olarak tanımlamıştır. Bir diğer betimsel analiz tanımı ise farklı veri toplama teknikleri aracılığıyla elde edilen verinin, araştırmanın amacına uygun olarak daha önceden belirlenen temalara göre özetlenerek temalar ve bulgular arasındaki ilişkilerin yorumlanması şeklindedir (Özdemir, 2010).

Görüşmeler bire bir değil katılımcıların karşılıklı etkileşimde bulunabileceği bir ortamda yürütülmüştür. Böylece uzman görüşü yöntemine benzer şekilde araştırmacı moderatör rolü üstlenmiş ve ortak çıkarımların oluşmasına zemin hazırlamıştır (Johansen ve Fischer-Hübner, 2023: 140). Bu görüşmelerde elde edilen veriler de aynı şekilde tematik bağlamda çözümlenmiş ve doğrudan alıntılarla desteklenerek bulgular bölümünde sunulmak üzere yapılandırılmıştır. Görsel dokümanlar ise yorumlayıcı analiz için destekleyici veri niteliği taşımaktadır. Görsel materyaller, gözlem ve görüşme verileriyle birlikte değerlendirilerek ortaya çıkan temaların somutlaşmasına katkı sunmuştur (Rose, 2016: 22-23). Bu çoklu veri analizi yaklaşımı, yöntembilimsel üçgenleme ilkelerine dayanarak bulguların güvenirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Pilot uygulamada elde edilen tüm nitel veriler, araştırmacı tarafından sistematik biçimde analiz edilerek ana çalışmanın altyapısı oluşturmuştur.

## 3.6. Ana Çalışma

Bu bölümde, araştırmanın ana uygulama süreci detaylandırılmaktadır. İlk olarak, ana çalışmanın amacı ve araştırma sorularıyla ilişkisi açıklanmaktadır. Daha sonra bu uygulamanın pilot çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda nasıl kurgulandığı ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında uygulanan tasarım oturumlarının kurgusu, katılımcı profili, kullanılan yöntemler ve veri toplama araçları ilgili alt başlıklarda detaylı biçimde sunulmaktadır. Böylece üretken tasarım yaklaşımının endüstriyel tasarım süreçlerine etkisini değerlendirmeye yönelik deneysel temelli nitel araştırma süreci tüm yönleriyle aktarılmaktadır.

### 3.6.1. Ana çalışmanın amacı

Araştırma sürecinin en önemli basamaklarından biri olan ana çalışma, üretken tasarım yaklaşımının, endüstriyel tasarım sürecinin işleyişine ve sürecin sonunda ortaya çıkan tasarım çıktılarına olan etkisini tasarım süreci ve çıktıları üzerinden çok boyutlu olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma özellikle üretken tasarımın süreç içindeki rolünü, sağladığı katkıları ve geleneksel tasarım süreciyle karşılaştırmalı olarak nasıl bir dönüşüm sağladığını ortaya koymaya odaklanmaktadır. Bu açıdan ana çalışma, tez kapsamında belirlenen birinci araştırma sorusuna doğrudan yanıt üretmeyi hedeflemektedir. Buna ek olarak, biçimsel ve yapısal olarak farklı özellikler gösteren ürün türlerine üretken tasarımın etkisine odaklanan ikinci araştırma sorusuna da dolaylı olarak katkı sunması beklenmektedir.

Ana çalışma altı katılımcı ile yürütülmüş olup, her biri belirlenen ürün ve proje tanımına göre hem geleneksel yöntemle hem de üretken tasarım yöntemi ile tasarım süreci yürütmüştür. Ana çalışmada altı katılımcı iki gruba ayrılmış ve iki farklı günde tasarım süreçlerini yürütmüşlerdir. Aynı proje tanımlarıyla, aynı zaman aralığında, aynı fiziksel koşullarda yürütülmüş olan süreçlerin iki farklı günde yürütülmesinin sebepleri vardır. Bu sebepler ana çalışmanın tasarımı ve uygulama süreci başlığı altında detaylı şekilde açıklanmaktadır. Ana çalışma uygulama yöntemi açısından deneysel araştırma temeline dayanmakta ancak nitel veri analizi yöntemleriyle değerlendirilmektedir. Hem örneklemin sayısı hem de üretken yöntemin endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerine daha geniş bir perspektiften bakabilmek için nitel veri analizi yönteminden yararlanılmıştır.

Katılımcılar tarafından yürütülen tasarım süreçleri gözlemler, yarı yapılandırılmış görüşmeler, katılımcılar tarafından uygulama süreci kapsamında tutulan tutanaklar ve katılımcılar tarafından oluşturulan 3B dijital model belgeleri aracılığıyla belgelenmiş ve tematik analiz yöntemiyle çözümlenmiştir. Katılımcılar tarafından tutulan tutanakların içeriği yazılı notlar ve eskizlerden oluşmaktadır.

Uygulama kapsamında seçilen ürün sandalyedir. Bunun sebebi, sandalye hem kavramsal tasarım açısından sezgisel tasarım yaklaşımına alan tanıyan hem rasyonel veriye dayalı unsurlar barındıran hem de ürün kullanıcı ilişkisini değerlendirmeye uygun bir örnek teşkil etmektedir. Böylelikle üretken tasarımın rasyonel, sezgisel ve tasarımcı yaklaşımı ile olan ilişkisini de değerlendirebilmek mümkün olmuştur. Ana çalışma, üretken tasarım yaklaşımının geleneksel tasarım yöntemleriyle karşılaştırıldığında, sürecin işleyişini, tasarımcıların karar alma biçimlerini, yöntemin yarattığı farklılıkları ve nihai tasarım çıktılarında yarattığı etkiyi ortaya koymayı amaçlamaktadır.

### 3.6.2. Pilot uygulamanın ana çalışmanın kurgusuna etkisi

Pilot uygulama, ana çalışmanın kurgulanmasında hem içerik hem de yöntem açısından yönlendirici bir rol üstlenmiştir. Bu ön aşamada, AHP yöntemiyle belirlenen ürün türlerinin üretken tasarıma uygunluğunu değerlendirmek ve belirli ürün yapılarına ilişkin öngörüleri test etmek amaçlanmıştır. Aynı zamanda, ana uygulamanın veri toplama stratejileri, oturumların süresi, sıralaması ve katılımcı dağılımı gibi yönlerinin iyileştirilmesine katkı sağlayacak tespitlerin yapılması hedeflenmiştir.

Pilot uygulama sürecinde katılımcıların, geleneksel yöntemle gerçekleştirdikleri tasarımları üretken tasarım aşamasına uyarlayarak aktarma eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir. Bu durum, her ili yöntemin sürece yönelik farklılıklarının yeterince ayrışmaması nedeniyle değerlendirme açısından bazı karışıklıklara sebebiyet vermiştir. Ayrıca zaman yöntemini konusunda yaşanan zorluklar, aynı gün içerisinde çok sayıda ürün ve yöntem kombinasyonunu katılımcılara uygulamanın, bilişsel ve fiziksel olarak katılımcıları zorladığını göstermiştir. Katılımcı geribildirimleri doğrultusunda proje tanımlarının daha açık ve yönlendirici biçimde sunulması, katılımcılar için yazılıma erişim imkanlarının göz önünde bulundurulması ve veri güvenirliğini artırmak amacıyla araştırmacı gözlem notlarına ek olarak katılımcıların da sürece ilişkin bireysel tutanaklarının toplanması gibi öneriler geliştirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler ve tespitler neticesinde, üç farklı ürün yerine tek bir ürün türü (sandalye) seçilerek bu ürün için üç farklı proje tanımı geliştirilmiştir. Bu değişiklik ile katılımcıların bilişsel yükü hafifletilirken, tasarım süreçlerinde deneyim aktarımından kaynaklanabilecek geçerlik sorunları da en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca geleneksel ve üretken tasarım yöntemlerinin süreç adımları, ilgili literatüre göre açık biçimde tanımlanmış ve oturumlarda bu yapıların net şekilde uygulanması sağlanmıştır. Böylece, pilot uygulamada tespit edilen olumsuz faktörlerin giderilmesiyle geçerliği artırılmış ve araştırma sorularına odaklanmayı mümkün kılan daha kontrollü bir deneysel ortam oluşturulmuştur.

### 3.6.3. Ana çalışma için katılımcı seçimi ve gerekçeler

Ana çalışma kapsamında toplam altı katılımcı yer almıştır. Katılımcıların tamamı endüstriyel tasarım lisans eğitimini tamamlamış olup, beşinin mezuniyetinin üzerinden bir yıldan az zaman geçmiştir. Bir katılımcı ise iki yıl önce lisans eğitimini tamamlamış ve yüksek lisans öğrenci olarak lisansüstü eğitimine devam etmektedir. Katılımcıların durumuna ilişkin bu özellikler, katılımcı seçiminin en önemli gerekçelerinden birini açıklar niteliktedir. Çünkü katılımcıların tamamı, eğitim amaçlı kullanımları sebebiyle Fusion 360 yazılımı için ücretsiz kullanım hakkına sahiplerdir. Ayrıca katılımcıların tamamı lisans eğitimleri süresince Fusion 360 yazılımını bilgisayar destekli tasarım süreçlerinde aktif olarak kullanmışlardır. Bu açıdan üretken tasarım süreçlerinin yürütülmesinde ve uygulama öncesinde verilen eğitimin anlaşılırlığında, Fusion 360'a olan hakimiyet, katılımcı seçiminde önemli bir kriter olarak belirlenmiştir.

Katılımcıların seçimi ve araştırma sürecine dahil edilme süreci araştırmacı tarafından doğrudan yürütülmüştür. Katılım, gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara araştırmanın kapsamı hakkında ön bilgilendirme yapılmış ve Fusion 360 kullanarak dijital tasarım yapma ve üretken tasarım arayüzüne olan yatkınlık kriterlerinin sağlandığı, katılımcı beyanlarıyla teyit edilmiştir.

Ana çalışma uygulaması için katılımcılar iki gruba ayrılmış ve benzer eğitim düzeyi ve CAD programı kullanma deneyimine sahip olmaları nedeniyle gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadığı varsayılmıştır. Oturumlar iki farklı günde gerçekleştirilmiştir. Her gün üç katılımcı aynı fiziksel ortamda ve aynı zaman dilimi içerisinde uygulamaya katılmıştır. Aynı proje tanımları verilmiş, aynı uygulama adımları takip edilmiştir. Bu yapı sayesinde hem

çevresel etkilerin kontrolü hem de farklı günlerde gerçekleştirilmesine rağmen yöntemler arası karşılaştırmalı analizlerin güvenirliği sağlanmıştır.

Tasarım süreci iki farklı günde, üçer katılımcı ile yürütülmüş olsa da katılımcılar deney ve kontrol grubu olarak ayrılmamıştır. Tüm katılımcılar hem geleneksel hem de üretken tasarım yöntemleriyle çalışarak her iki durumu deneyimlemiştir. Bu yönüyle araştırma kapsamında bağımsız gruplara dayalı bir deneysel desen yerine, tüm uygulamaların aynı katılımcı grubu üzerinde gerçekleştirilmesine olanak tanıyan bir grup içi deneysel desen benimsendiği söylenebilir. Uygulamanın iki farklı günde yapılmasının nedeni araştırmacı tarafından yürütülen gözlem sürecinin daha sağlıklı kayıt altına alınabilmesi ve katılımcıların programlarına uyum sağlamak olarak açıklanabilir.

### 3.6.4. Geleneksel tasarım süreciyle yürütülen uygulama akışının gerekçelendirilmesi

Ana çalışmanın uygulama aşamasında, geleneksel tasarım sürecine göre yürütülen çalışmalarda kullanılan adımlar, doğrudan gözleme olanak tanıyacak şekilde yapılandırılmıştır. Uygulama süreci boyunca kullanılan adımlar, literatürde yer alan genel tasarım süreci, endüstriyel tasarım süreci ve ürün geliştirme süreci modelleriyle karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Uygulama sürecinde izlenen akış, bu modellerin ortak yapılarına dayanarak kurgulanmıştır. Bu yaklaşım, süreç boyunca dışsal değişkenlerin kontrol altına alınmasına ek olarak, verilerin karşılaştırılabilirliğinin artırılmasını ve sürecin bilimsel temellere dayandırılmasını sağlamıştır. Uygulamada izlenen süreç dört temel aşamadan oluşmaktadır:

- Proje tanımını inceleme ve problem tanımlama
- Araştırma yapma ve kavramsallaştırma
- Eskiz yapma ve projeyi detaylandırma
- 3B modelleme

Bu dört aşama hem literatürde çok sık atıf alan tasarım süreci modelleriyle örtüşmekte hem de uygulamanın zamana dayalı kontrolünü olanaklı kılmaktadır.

Çizelge 3.10. Geleneksel tasarım uygulaması için literatüre dayalı karşılaştırmalı süreç matrisi

| Uygulamadaki süreç adımı (Geleneksel /genel tasarım yöntemi) | Genel Tasarım Süreci (Cross, Lawson, Jones, Çift elmas) | Endüstriyel Tasarım Süreci (Ulrich vd., Hirsch, Self, Sinclair) | Ürün Geliştirme Süreci (Ulrich ve Eppinger, Ullman, PDMA) |
|---|---|---|---|
| 1.Proje tanımını inceleme ve Problem tanımlama | Jones: Analiz<br>Cross: Keşif<br>Çift elmas: Keşfet<br>Lawson: Problem çerçevesi | Hrisch: Proje tanımı<br>Sinclair: Proje tanımı ve senaryo hazırlığı<br>Self: Kavramsal giriş | Ulrich: Planlama<br>Ullman: Ürün tanımı<br>PDMA: Kullanıcı ihtiyaçları belirleme |
| 2.Araştırma yapma ve Kavramsallaştırma | Cross: Alternatif üretme<br>Çift elmas: Tanımla<br>Jones: Sentez | Ulrich: Kavramsal tasarım<br>Hirsch: Bilgi kümeleri ve çözüm önerisi<br>Self: Konsept üretimi | Ulrich: Konsept geliştirme<br>Ullman: Kavramsal tasarım<br>PDMA: Hikaye geliştirme |
| 3.Eskiz yapma ve Projeyi detaylandırma | Cross: Yineleme<br>Lawson: İhtiyaca göre döngü | Ulrich: Ön iyileştirme ve modelleme<br>Self: Detaylandırma<br>Sinclair:Görsel iletişim | Ulrich: Sistem/ detay tasarımı<br>Ullman: Ürün geliştirme<br>PDMA: Protoipleme başlangıcı ( dijital ortamda) |
| 4.3B Dijital Modelleme | Cross: İletişim (sunum)<br>Çift elmas: Teslim et | Ulrich: İleri modelleme, render<br>Self: Somutlaştırma<br>Sinclair: Son modelleme | Ulrich: Test<br>PDMA: Doğrulama ve test |

İlk aşama olan proje tanımını inceleme ve problem tanımlama, tasarım probleminin bağlamsal çerçevesinin anlaşılması ve hedeflerin tanımlanması açısından kritik öneme

sahiptir. Bu adım, Jones'un (1963) "analiz" aşaması, Lawson (2005) ve Cross'un (2008) tasarım probleminin tanımlanması ve tasarım girdilerinin analizine yönelik yaklaşımlarıyla örtüşmektedir. Aynı şekilde, Hirsch'in (2014) proje tanımı ve Sinclair ve diğerlerinin (2011) senaryo oluşturma aşamaları ile paralellik göstermektedir. Ürün geliştirme modelleri açısında ise Ulrich ve diğerlerinin (2020) tarafından tanımlanan "planlama" adımı ve Ullman'ın (2018) "ürün tanımı" aşaması bu yapıyı desteklemektedir.

İkinci aşama olan araştırma yapma ve kavramsallaştırma, kullanıcı ihtiyaçlarının, teknik gereksinimlerin ve referans ürünlerin analiz edilerek yaratıcı kavram üretiminin başlatıldığı yapıyı temsil etmektedir. Bu aşama, Cross (2008) ve çift elmas modelinde yer alan "tanımla" ve "alternatif üret" aşamalarıyla örtüşmektedir. Ulrich ve diğerlerinin (2020) "kavramsal tasarım" aşaması, Hirsch (2014)'in araştırmaya dayalı bilgi toplama ve bu bilgileri çözüm öneriline dönüştürmeye yönelik süreciyle örtüşmektedir. Ayrıca Self'in (2011) kavramsal tasarım aşaması bu adımı endüstriyel tasarım bağlamında desteklemektedir. Ürün geliştirme literatüründe ise Ulrich ve diğerlerinin (2020) "konsept geliştirme", Ullman'ın (2018) "kavramsal tasarım" ve PDMA'nın (Zeh, 2015) hikaye geliştirme süreçleriyle doğrudan ilişkilidir.

Üçüncü aşama olan eskiz yapma ver projeyi detaylandırma, kavramsal olarak geliştirilen fikirlerin görselleştirilmesi ve detaylandırılması sürecini kapsamaktadır. Bu aşama, Cross (2008) tarafından vurgulanan yinelemeli eskiz döngüsüyle doğrudan ilişkilidir. Ulrich ve diğerlerinin (2020), "ön iyileştirme" aşaması, Hirsch'in (2014), çözüm önerilerinin sunumu ve Self'in (2011) geliştirme aşamaları da bu yapıyı desteklemektedir. Ürün geliştirme modellerinde bu adım, Ulrich ve diğerlerinin (2020) "sistem ve detay tasarımı", Ullman'ın (2018) "ürün geliştirme ve PDMA'nın prototipleme döngüsüyle örtüşmektedir.

Son aşama olan 3B modelleme, seçilen tasarım konseptinin dijital araçlar aracılığıyla fiziksel bir forma dönüştürülmesini ifade eder. Bu aşamada katılımcılar, fikirlerini CAD ortamında biçimsel olarak ifade ederek, tasarım detaylarını görselleştirmiştir. Bu aşama, fiziksel prototiplemeye geçmeden hemen önceki aşamayı temsil eder. Bu yapı, uygulama sürecinde izlenen geleneksel tasarım adımlarının gözlem ve deneyimle sınırlı kalmadığını ve çok sayıda kuramsal modele dayandığını göstermektedir. Böylelikle geleneksel tasarım sürecine ilişkin adımlar hem kuramsal geçerliği sağlamakta hem de uygulama sırasında karşılaştırılabilirliğe dayalı dışsal değişken kontrolü bakımından güçlü bir yapı sunmaktadır.

### 3.6.5. Üretken tasarım süreciyle yürütülen uygulama akışının gerekçelendirilmesi

Araştırmada, üretken tasarım yöntemiyle yürütülen uygulama süreci, literatürde tanımlanan üretken tasarım modelleri temel alınarak yapılandırılmıştır. Süreç, dışsal değişkenlerin kontrolünü sağlamak amacıyla adım adım tanımlanmış ve sabit zaman aralıklarına bölünmüştür. Üretken tasarım yöntemiyle yapılan uygulama için süreç basamaklarının ilk ikisi geleneksel tasarım yönteminde uygulananlarla paraleldir. Çünkü üretken parametrelerin tanımlanması için proje tanımı ve problem tanımlamaya ek olarak bir araştırma ve kavramsal tasarım aşamasına ihtiyaç duyulabilir. Üretken tasarım uygulama sürecindeki ilk iki basamağın geleneksel tasarım sürecindeki ile aynı tutulmasına yönelik alınan karar, üretken tasarım sürecine geçilmeden önce gerekli olan bağlamsal analizlerin ve kavramsal zeminin oluşturulmasını mümkün kılmıştır.

Çizelge 11'deki matris literatüre göre aşamaların karşılığı durumundadır. İlgili çizelgede birinci aşama geleneksel tasarım sürecinin ilk iki aşamasıyla paralel niteliktedir.

Üretken tasarım süreci ise geleneksel sürecin üçüncü aşamasına karşılık gelecek biçimde geometri tanımlama, yük ve sınır koşullarını, üretim yöntemi ve malzeme gibi parametrelerin belirlenmesi ile başlamıştır. Bu kararların ardından parametreler dijital ortama aktarılmış ve üretken tasarım aracında tanımlanmıştır. Bu süreç literatürde Briard ve diğerleri (2020) tarafından tanımlanan aktarım ve işleme adımlarıyla doğrudan örtüşmektedir. Katılımcıların belirledikleri parametreleri üretken tasarım aracına aktararak optimizasyon sürecini başlatmasına kadar olan süreçte katılımcılar aktif rol üstlenmişlerdir. Bu noktadan sonra algoritmaya dayalı hesaplama süreci devreye girmiştir. Hesaplama sürecine katılımcılar doğrudan müdahale etmese de iterasyonları gözlemleme şansı bulmuşlardır ve bu gözlemler neticesinde parametreleri tekrar gözden geçirmeleri gereken durumların farkına daha hızlı varma şansı yakalamışlardır. Sürecin sonunda oluşturulan alternatif öneriler hedefe uygunluk açısından değerlendirilerek en uygun bulunan modelin seçimi yapılmıştır. Ancak üretken tasarım süreçler modellerinde var olan, alternatif seçiminin ardından oluşturulan modelin dışa aktarılması ve geliştirme ya da analiz süreçlerine tabi tutulması zamana bağla sınırlılık sebebiyle gerçekleştirilmemiştir. Bu sebeple ilgili aşama dışsal değişkeni sabit tutma ilkesine dayanarak sürece dahil edilmemiştir.

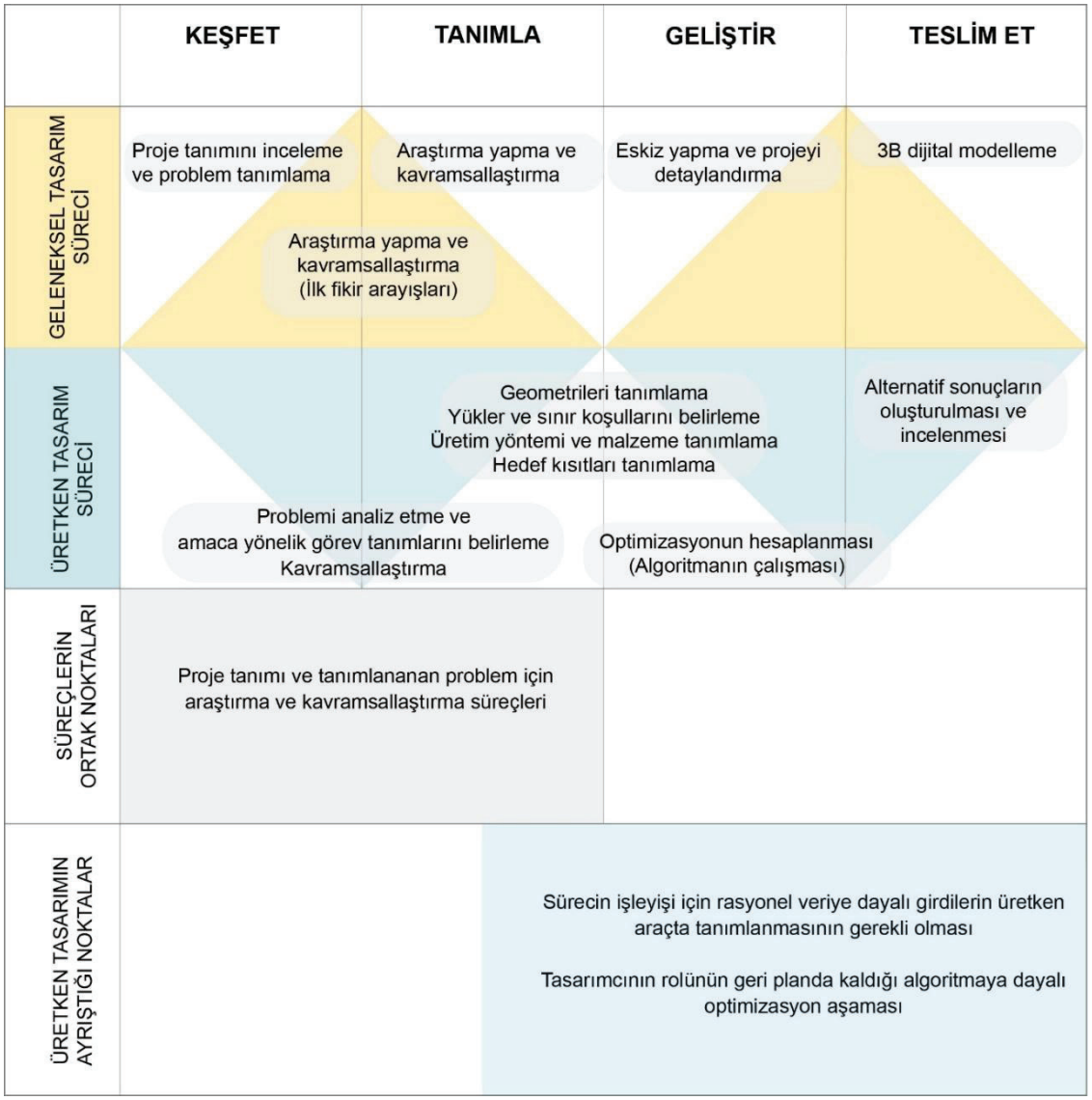
Aşağıda sunulan çizelgede, uygulama sürecinde izlenen üretken tasarım süreci adımları, literatürde tanımlanan modeller ile karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

Çizelge 3.11. Üretken tasarım uygulaması için literatüre dayalı karşılaştırmalı süreç matrisi

| Uygulamadaki süreç adımı (Üretken tasarım yöntemi) | Briard vd. (2020) | Borsodi ve Takacs (2022) |
|---|---|---|
| 1.Problemi analiz etme ve amaca yönelik görev tanımlarını belirleme | Parça özellikleri | Görev tanımı + tasarım amacı |
| 2.Geometri ve tasarım alanı tanımlama | Tasarım alanı tanımı | Geometri tanımlama |
| 3.Yükler ve sınır koşullarının belirlenmesi | Yük durumlarının tanımı | Yükler ve sınır koşulları |
| 4.Üretim yöntemi ve malzeme tanımı | Girdi parametreleri (işleme öncesi) | Üretim yöntemi + malzeme |
| 5. Optimizasyon ve hedef kısıtlarının tanımlanması | Optimizasyon ayarları | Girdi doğrulama ve hedef belirleme |
| 6.Optimizasyonun hesaplanması (algoritmanın çalışması) | Optimizasyon hesaplanması | Bulut tabanlı hesaplama süreci |
| 7.Alternatif sonuçların incelenmesi | Sonuçların incelenmesi | Sonuç haritası + filtreleme |

Uygulama sürecinde izlenen üretken tasarım adımlarının, literatürde önerilen süreç modelleriyle yapısal ve işlevsel düzeyde örtüşecek biçimde yapılandırılması, araştırmanın kuramsal temelini güçlendirmiş ve uygulamanın metodolojik geçerliliğini artırmıştır. Süreç adımlarının açık, kontrollü ve karşılaştırılabilir biçimde tanımlanmış olması ise üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerinin analitik bir çerçevede gözlemlenmesine ve değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Uygulamaların temel adımlarını oluşturan iki sürecin Çift Elmas Modeli üzerinden karşılaştırılması amacıyla Şekil 3.3 oluşturulmuştur.




Şekil 3.3. İki sürecin çift elmas modeli üzerinden karşılaştırılması

Şekil 3.3'te, önceki bölümde karşılaştırması yapılan geleneksel tasarım süreci ile üretken tasarım süreci, "Keşfet-Tanımla-Geliştir-Teslim et" adımlarına yerleştirilerek ortak bir eksende konumlandırılmaktadır. Bu sayede, iki süreç arasında araştırma ve kavramsallaştırma evresinde görülen örtüşmeler ile "Geliştir-Teslim et" evresinde üretken tasarımın, geometri/tasarım alanı, yük sınır koşulları, üretim-malzeme ve hedef/kısıt tanımlamalarına dayalı olarak rasyonel girdilere ağırlık veren akışı, tek bir çerçevede izlenebilir hale gelmektedir. Şekil 3.3 süreçler arasındaki eşleşme ve ayrışma noktalarını yalın bir düzende okunur kılmayı hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında geleneksel ve üretken tasarım süreçlerinin adımları, literatürde kabul görmüş süreç modellerinin kesişim noktaları referans alınarak oluşturulmuş ve ilgili

modellere literatür bölümünde ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Katmanlandırmanın diğer modeller yerine Çift Elmas üzerinde yapılmasının gerekçesi, bu modelin yalın faz yapısı ve yöntemden bağımsız bir referans ekseni sunmasıdır. Daha açık bir ifadeyle, geleneksel ve üretken yöntemin ikisi için de ortak bir karşılaştırma zemini sağlayabilmesidir. Bu sayede her iki yönteme ilişkin sürecin, problem ve çözüm odaklı evreleri aynı çerçeveye yeniden adlandırma zorunluluğu olmadan eşlenebilmektedir. Buna ek olarak, örtüşen ve ayrışan noktalar kavramsal karmaşa yaratmadan gösterilebilmektedir.

### 3.6.6. Ana çalışmanın tasarımı ve uygulama süreci

Ana çalışma için uygulama, Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü bünyesindeki EINSTUDIO dersliğinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen fiziksel ortam, katılımcıların tasarım sürecini kesintisiz bir biçimde yürütebilecekleri ve araştırmacının etkin şekilde gözlem yapabileceği bir yapıya sahiptir. Ana çalışma, altı katılımcı ile art arda iki farklı günde gerçekleştirilmiştir. Her gün üç katılımcı, aynı fiziksel ortamda ve eş zamanlı olarak uygulamaya katılmıştır. Bu sayede gözlem koşullarının kontrol altında tutulması ve uygulama sürecinin standartlaştırılması sağlanmıştır. Katılımcıların deneyim ve program kullanma yeterlilikleri bakımından benzer niteliklere sahip olması nedeniyle gruplar katılımcıların programlarının uygunluklarına göre belirlenmiştir. Deneysel uygulama, aynı katılımcı grubuna iki farklı yönteme dayalı uygulamalar yaptırma üzerinde temellenmektedir. Dolayısıyla bir kontrol ve deney grubu yoktur. Ana çalışma kapsamında deneysel desen, denekler-içi, başka bir ifadeyle denekler-arası desen olarak tanımlanmaktadır (Büyüköztürk, 2016).

Uygulama üç oturumdan oluşmuştur. İlk oturumda katılımcılardan geleneksel tasarım yöntemiyle, verilen proje tanımına uygun bir sandalye tasarımı gerçekleştirmeleri istenmiş, süreç 120 dakika sürmüştür. Daha sonra 60 dakikalık bir ara verilmiştir. Aranın ardından üretken tasarım yönteminin işleyişi ve üretken aracın kullanımına yönelik 60 dakikalık bir eğitim oturumu düzenlenmiş ve eğitim araştırmacı tarafından verilmiştir. Eğitim içeriği pilot uygulamada verilen eğitim içeriği ile aynıdır. Bu eğitimin, ilk oturumun sonrasına yerleştirilmesinin sebebi, katılımcıların ilk tasarım süreçlerinde herhangi bir etkinin altında olmadan, süreci kendi alışkanlıkları ve tasarım yaklaşımlarıyla ele almalarını sağlamaktır.

Eğitimin ardından gerçekleştirilen ikinci oturumda, yine sandalye tasarımı yapılmış ancak bu kez üretken tasarım yöntemi kullanılmıştır. Tasarım süreci için görev farklı bir proje

tanımı üzerinden verilerek iki oturum arasında deneyim aktarımının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca proje tanımları arasındaki farklar, katılımcılar için bilişsel ya da fiziksel olarak ek yük oluşturmayacak biçimde düzenlenmiştir.

Proje tanımlarında taşıma kapasitesi, bileşen sayısı (çok bileşenli), strüktür türleri ve malzeme seçimi gibi değişkenler sabit tutularak karşılaştırma için kontrolün sağlanması amaçlanmıştır. Tanımlardaki farklar daha çok kavramsal tasarıma yönelik ürün konseptini etkileyecek farklar ile sınırlı tutulmuştur. Bu oturum da 120 dakika sürmüştür. İkinci oturumun ardından 30 dakika ara verilmiştir. Ara sonrasında üçüncü oturuma geçilmiş ve bu kez yine farklılaştırılarak verilen proje tanımına göre bir sandalyenin tek bileşenden oluşacak şekilde ve üretken tasarım yöntemiyle tasarlanması istenmiştir. Süre farkını bileşen sayısının teke düşürülmesi belirlemiştir.

Geleneksel yönteme dayalı uygulama sürecinde katılımcılar sırasıyla proje tanımını inceleme ve problem tanımlama, araştırma ve kavramsallaştırma, eskiz geliştirme ve detaylandırma, 3B modelleme aşamalarını gerçekleştirmiştir. Üretken tasarım süreci ise problemi analiz etme ve amaca yönelik görev tanımlarını belirleme, tasarım alanının tanımlanması, yük ve sınır koşullarının belirlenmesi, üretim yöntemi ve malzeme tanımı, hedef kısıtlarının girilmesi, algoritmanın çalıştırılması ve alternatiflerin değerlendirilmesi adımlarını içermektedir. Bu aşamalar geleneksel süreçler örtüşecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu sayede yöntemler arası yapısal eşdeğerlik sağlanmıştır.

Çizelge 3.12. Tasarım süreçlerinin karşılaştırılması

| Geleneksel tasarım yöntemine ilişkin süreç adımları | Üretken tasarım yöntemine ilişkin süreç adımları |
|---|---|
| 1.Proje tanımını inceleme ve Problem tanımlama | 1.Problemi analiz etme ve amaca yönelik görev tanımlarını belirleme<br><br>(Kavramsallaştırma- süreç akışı açısından bu aşamaya dahil edilebilir) |
| 2.Araştırma yapma ve Kavramsallaştırma | |
| 3.Eskiz yapma ve Projeyi detaylandırma | 2.Geometri ve tasarım alanı tanımlama<br><br>3.Yükler ve sınır koşullarının belirlenmesi<br><br>4.Üretim yöntemi ve malzeme tanımı |

Çizelge 3.12. (devam) Tasarım süreçlerinin karşılaştırılması

| 4. Dijital Modelleme (3B) | 5. Optimizasyon ve hedef kısıtlarının tanımlanması | |
|---|---|---|
| | Uygulama açısından tasarımcının rolünün ikinci planda kaldığı aşamalar<br><br>(Saadi, 2024) | 6.Optimizasyonun hesaplanması (algoritmanın çalışması)<br><br>7.Alternatif sonuçların incelenmesi |

Katılımcılar uygulamada kendi bilgisayarları ile yer almış ve Fusion 360 kullanarak dijital tasarım süreçlerini yürütmüşlerdir. Her katılımcı için ayrı masa, sandalye, priz, kağıt, kalem gibi gereçlere ek olarak tutanak formları sağlanmıştır. Dikkat dağıtıcı unsurlar için önlemler alınarak çalışma ortamı kontrol altında tutulmuştur. Süreç boyunca araştırmacı tarafından gözlem yapılmış, gözlemci olarak araştırmacı notlar tutmuştur. Aynı zamanda katılımcıların kendi süreçlerine ilişkin bireysel tutanaklar tutmaları isteniştir. Tutanakların içerikleri sürece ilişkin yazılı notlar ve eskizlerden oluşmaktadır. Ayrıca dijital tasarım süreçleri için ekran kayıtları ve 3B model belgeleri de veri olarak toplanmıştır.

Veri toplama süreci, uygulamalar sırasında gözlem ve tutanaklarla başlamıştır. Uygulamalar art arda iki gün sürdüğü için görüşmeler ile her grubun uygulaması arasında bir gün boşluk bırakılmıştır. Bu durum, uygulama sürecindeki yoğunluk kaynaklı olumsuz etkileri ortadan kaldırmak ve görüşmelere daha uzun zaman ayırabilmek açısından tercih edilmiştir. Görüşme ve uygulama arasındaki bir günlük zaman aralığının herhangi bir veri kaybına yola açmasını önlemek için uygulamada oluşturulan belgeler görüşmeler sırasında hazır bulundurulmuş ve hatırlatıcı olarak kullanılmıştır. Bu uygulama süreci, deneysel ilkeler temelinde kurgulanmış ancak nitel veri analizine dayalı olarak yorumlanmıştır. Amaç üretken tasarım yaklaşımının tasarım sürecinin yapısal kurgusuna ve çıktıların üzerindeki etkilerini derinlemesine anlayabilmek, yöntemler arasın farkları yapı, işleyiş ve karar alma süreçleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmektir. Bu doğrultuda veri çeşitliliği artırılarak iç geçerlik ve farklı veri kaynaklarından yararlanılarak temaların tutarlı doğrulamasını oluşturabilmek amacına dayanan veri üçgenlemesi sağlanmaya çalışılmıştır (Creswell, 2018).

### 3.6.7. Ana çalışmada kullanılan veri toplama araçları

Ana çalışmada, üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin süreç ve çıktılar üzerindeki etkilerini nitel olarak değerlendirebilmek amacıyla çeşitli veri toplama araçlarından yararlanılmıştır. Uygulama süreci boyunca araştırmacı tarafından gözlem notları tutulmasına ek olarak katılımcıların kendi süreç işleyişlerini yazılı ve görsel olarak ifade etmelerini sağlamak amacıyla, katılımcılar tarafından bireysel süreç tutanakları tutularak kayıt altına alınmıştır.

Her oturum sırasında gerçekleştirilen tasarım süreci, ekran kayıtları ve ekran görüntüleri aracılığıyla belgelenmiştir. Buna ek olarak katılımcıların oluşturduğu 3B dijital model dosyaları da veri setine dahil edilmiştir. Uygulamalardan sonra, bir günlük zaman boşluğu bırakılarak gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmelerde, katılımcıların verdikleri ifadeler araştırmacı tarafından doğrudan yazıya dökülerek kayıt altına alınmıştır. Her bir soru tamamıyla yanıtlanmadan bir sonraki soruya geçilmemiştir. Bu yöntem görüşme süresini uzatsa da teknik aksaklıklardan kaynaklanabilecek olumsuzlukların önüne geçilmeye çalışılmıştır. Diğer bir gerekçe ise bazı katılımcıların ses kaydı alındığında daha kontrollü konuşma eğilimi göstermeleri olarak belirtilebilir.

Görüşme formu, araştırma sorularını farklı boyutlarıyla açımlamaya imkan tanıyacak şekilde oluşturulmuştur. Sorular tasarım sürecinin genel işleyişine ek olarak üretken tasarım yaklaşımının, katılımcıların karar alma pratikleri, yönteme yönelik görüşleri ve oluşturdukları çıktılar üzerindeki etkilerine yönelik anlamlı veriler üretmeye dönük olarak hazırlanmıştır. Veri güvenilirliğini artırmak amacıyla benzer temaları farklı biçimlerde sorgulayan çapraz sorulara yer verilmiştir. Bu yöntem aracılığıyla katılımcı ifadeleri arasında içsel tutarlılık denetimi yapılması amaçlanmıştır.

### 3.6.8. Ana çalışmada veri analizi

Ana çalışmada toplanan nitel veriler, tematik analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu yöntem, bir veri seti içindeki anlam kalıplarını sistematik bir biçimde tanımlamak, düzenlemek ve yorumlamak amacıyla yaygın biçimde kullanılan nitel analiz yaklaşımlarından biridir (Braun ve Clarke, 2006). Tematik analiz, çalışmada ayrıntılı ve çok boyutlu anlam üretiminin sağlamak, tasarım sürecine ilişkin katılımcı deneyimlerini

yapılandırmak ve araştırma sorularına doğrudan karşılık verebilecek temaları oluşturmak amacıyla tercih edilmiştir. Kodlama sürecinde tümevarımsal bir yaklaşım benimsenmiştir. Görüşme formu, araştırma sorularına dayalı olarak önceden belirlenmiş bazı tematik odaklar içerse de analiz sürecinde katılımcı yanıtları doğrudan veriye dayalı olarak çözümlenmiş ve temalar veri içerisinden ortaya çıkarılmıştır. Kodlama ve analiz süreci araştırmacı tarafından yürütülmüş, NVivo 12 yazılımı kullanılarak sistematik biçimde belgelenmiştir. Kodlama sürecinde yalnızca görüşme verileri analiz edilmiş, gözlem notları ve süreç tutanakları doğrudan kodlanmamıştır. Ancak anlamın pekiştirilmesi, bağlamın zenginleştirilmesi ve temaların iç tutarlılığının kontrolü amacıyla destekleyici ver olarak değerlendirilmiştir. Bu yönüyle analiz sürecinde veri kaynakları arasında çapraz referanslar kurulmuş ve bağlamsal güvenilirlik artırılmıştır.

Analiz süreci, görüşme notlarının tekrar tekrar okunmasıyla başlamıştır. Anlamlı ifadelerden alt kodlar üretilmiş ardından bu kodlar tematik kodlar halinde gruplandırılmıştır. Son aşamada kod kümelerinde ana ve alt temalar oluşturulmuştur. Görüşme verileri doğrultusunda dört ana tema belirlenmiştir:

- Üretken ve geleneksel tasarım süreçlerinin karşılaştırılmasına yönelik tema
- Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine etkisi
- Üretken tasarımı ekip iletişimi ve ortak dile etkisi
- Üretken tasarımın eğitim ve profesyonel tasarım pratiğine yansımaları

Her bir ana tema, ilişkili alt temalar ve kodlarla birlikte NVivo üzerinde yapılandırılmış ve ilgili görüşme verilerine referans atamaları yapılmıştır. Analiz süreci boyunca araştırmacı tarafından temalara ilişkin analitik notlar tutulmuş, önceden oluşturulan kodlar tekrar gözden geçirilerek tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca doğrudan kodlanmayan ancak süreç boyunca elde edilen gözlem ve tutanak verileri, temaların doğrulanmasında dolaylı kontrol aracı olarak kullanılmıştır. Bu yaklaşım, yorumların yalnızca görüşme verisine indirgenmeden daha geniş bağlamda değerlendirilmesini sağlamıştır. Sonuç olarak tematik analiz süreci, araştırmanın neden sonuç ilişkilerini daha ayrıntılı biçimde ortaya koymasına ve kavramsal bir bütünlük içerisinde yapılandırılmasına katkı sunmuştur.

# 4. BULGULAR

Bu bölümde araştırma kapsamında yürütülen analiz ve uygulamalardan elde edilen bulgular sistematik bir yapı içerisinde sunulmaktadır. Bulgular öncelikle üretken tasarım yaklaşımının farklı ürün türlerindeki uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) karar modeline ilişkin sonuçlarla başlamaktadır. Daha sonra, söz konusu modelin geçerliği pilot uygulama kapsamında iki katılımcı ile değerlendirilerek, süreç gözlemleri ve uzman görüşlerine dayalı veriler aracılığıyla test edilmiştir. Bu uygulama, modelin uygulanabilirliğini test etmekle kalmamış, aynı zamanda üretken tasarım sürecine ilişkin ilk gözlemleri ve tasarım çıktılarının niteliklerine ilişkin ön bulguları da ortaya koymuştur. Pilot uygulamayı takiben, ana uygulama sürecinden elde edilen bulgulara ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Bu kapsamda katılımcıların geleneksel ve üretken tasarım yöntemleriyle yürüttükleri tasarım süreçleri nitel olarak analiz edilerek, gözlem notları, tutanaklar, ekran kayıtları ve dijital tasarım çıktıları tematik bir yapı içerisinde değerlendirilmiştir. Bulgular, araştırma sorularına yanıt verecek şekilde yapılandırılmış, sürece ve çıktılara dayalı veriler bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

## 4.1. AHP Karar Modeli Sonuçları

Bu araştırmada, üretken tasarım yaklaşımının farklı ürün türlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır. AHP'nin ilk adımı olan amacın tanımlanması aşamasında, temel hedefler olarak üretken tasarım yönteminin farklı ürün yapılarına ne ölçüde uygulanabilir olduğunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, literatürde yer alan sınıflandırmalardan ve çalışma kapsamında kullanılan üretken tasarım aracının (Fusion 360 Generative Design) işleyiş biçiminden yararlanılarak, karar modeli için iki ana kriter belirlenmiştir: strüktür türü ve bileşen sayısı.

Her ana kriter, kendi içerisinde alt kriterlere ayrılmıştır. Strüktür türü; kabuk strüktür, dolu strüktür, çerçeve strüktür ve karma strüktür olmak üzere dört alt kategoriye ayrılmıştır. Bileşen sayısı ise tek bileşenli ve çok bileşenli olmak üzere iki alt kategoride değerlendirilmiştir. AHP modeli kapsamında karşılaştırmaya tabi tutulan alternatif ürünler ise bu yapısal sınıflandırmaya göre seçilmiş ve kaşık, sandalye ve elektrikli cezve olarak belirlenmiştir. Bu ürünle, yalnızca sürecin işlerliğini test etmek ve değerlendirme

sistematiğini örneklemek amacıyla seçilmiş temsili örneklerdir. Bu bağlamda, çalışma ürün çeşitlerinden bağımsız olarak üretken tasarımın yapısal uygulanabilirliğini analiz etmeye yönelik genellenebilir bir karar modeli sunmayı hedeflemektedir. Böylece AHP yöntemi yalnızca bu üç ürünle sınırlı kalmaksızın, farklı araştırmalarda da benzer yapısal kriterlere göre uyarlanabilir nitelikte bir yöntem çerçevesi olarak kurgulanmıştır.

### 4.1.1. Kriter ağırlıkları ve alternatif sıralamaları

AHP yöntemi ile yürütülen değerlendirme sürecinde, üretken tasarımın farklı ürün türlerinde uygulanabilirliğini belirlemeye yönelik karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Bu çerçevede iki ana kritere belirlenmiş ve her bir kendi içinde alt kriterlere ayrılmıştır. Strüktür türü ana kriteri dört alt kriterle; bileşen sayısı ana kriteri ise iki alt kriterle tanımlanmıştır. AHP'nin matematiksel süreci doğrultusunda, her kriter ve alt kriterin göreli ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre ana kriterler düzeyinde, strüktür türü %75 oranında bir ağırlıkla daha baskın bir etken olarak öne çıkmıştır. Bileşen sayısı ise %25 oranında bir etkiye sahiptir.

Strüktür türüne ilişkin alt kriterler arasında dolu strüktür %57 ile en yüksek ağırlığa sahipken strüktür türüne ilişkin diğer tüm alt kriterler yaklaşık %14 oranında eşit değerlere sahiptir. Bileşen sayısı alt kriterleri açısından ise tek bileşenli ürünler %75, çok bileşenli ürünler ise %25 ağırlığa sahiptir.

Alternatif ürünler olarak kaşık, sandalye ve elektrikli cezve bu kriter yapılarına göre değerlendirilmiş ve her biri için toplam uygunluk skoru hesaplanmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen skorlar şu şekildedir:

Kaşık: 0,4492

Sandalye: 0,3908

Elektrikli cezve: 0,1598

Sonuçlar, kaşığın özellikle dolu strüktür ve tek bileşenli yapısıyla üretken tasarım yöntemine en uygun alternatif olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Sandalye tek ya da çok bileşenli ve çerçeve ya da karma strüktür yapısı sebebiyle ikinci sırada yer almıştır. Elektrikli

cezve ise hem karma strüktür yapısı hem de elektronik donanım içeriği nedeniyle daha düşük skor almıştır.

Çizelge 4.1. Nihai AHP skorlarına ilişkin bütünleşik tablo

| Ana kriter | Ana kriter ağırlığı (W) | Alt kriter | Alt kriter ağırlığı (W) | Kaşık | Sandalye | Elektrikli cezve |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Strüktür türü | 0,7500 | Kabuk | 0,1433 | 0,0215 | 0,0645 | 0,0215 |
| | | Dolu | 0,5700 | 0,2720 | 0,1166 | 0,0389 |
| | | Çerçeve | 0,1433 | 0,0215 | 0,0645 | 0,0215 |
| | | Karma | 0,1433 | 0,0119 | 0,0597 | 0,0358 |
| Bileşen sayısı | 0,2500 | Tek bileşenli | 0,7500 | 0,1125 | 0,0625 | 0,0125 |
| | | Çok bileşenli | 0,2500 | 0,0098 | 0,0230 | 0,0296 |
| Toplam skor | | | | 0,4492 | 0,3908 | 0,1598 |

Çizelge 4.1. üretken tasarımın farklı ürün türlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere yürütülen AHP sürecine ilişkin bütünleşik karar matrisini göstermektedir. Çizelge, ana kriterler, alt kriterler, göreli ağırlıklar ve alternatif ürünlerin her alt kritere göre aldığı katkı skorlarını birlikte sunmaktadır. Bu yapı aracılığıyla her bir alternatif ürünün yapısal özellikler açısından üretken tasarıma ne ölçüde uygun olduğu sayısal olarak karşılaştırılmış ve toplam skorlar üzerinden sıralanmıştır. Oluşturulan bu çerçeve, ürünlerden bağımsız biçimde genellenebilir yapısal ölçütlere dayandığı için farklı tasarım senaryolarına da uyarlanabilir niteliktedir.

### 4.1.2. AHP'ye yönelik katılımcı görüşleri ve geçerlik değerlendirmesi

AHP karar modelinin geçerliği, pilot uygulama sürecinde yer alan endüstriyel tasarımcı olan iki katılımcı ile gerçekleştirilen görüşmeler aracılığıyla değerlendirilmiştir. Bu görüşmelerin amacı, AHP kapsamında tanımlanan yapısal kriterlerin ve elde edilen uygunluk skorlarının, katılımcı deneyimlerine ve gözlemlerine dayalı olarak ne ölçüde anlamlı bulunduğunu

belirlemektir. Katılımcıların süreci doğrudan deneyimlemiş olmalarıyla birlikte bu değerlendirme, uygulayıcı uzman görüşüne dayalı bir nitelik kazanmıştır.

Görüşmelerde öncelikle AHP skorları doğrudan sunulmadan, katılımcıların ürün türleri, yapısal özellikler ve üretken tasarımın uygulanabilirliği konularındaki değerlendirmeleri alınmıştır. Katılımcılarla ayrı ayrı değil, deneyim ve gözlemlere dayalı görüşlere dayalı ortak bir çıkarım yapılabilmesi için birlikte görüşülmüştür. Daha sonra, AHP kapsamında yer alan kriter ağırlıkları ve alternatif sıralamaları katılımcılarla paylaşılarak, her bir karşılaştırma adımında katılımcıların yorumları doğrultusunda fikir birliği sağlanarak ilerlenmiştir. Katılımcılar AHP kapsamında tanımlanan kriterleri anlamlı bulduklarını ve alternatif ürün sıralamalarının kendi deneyimleriyle örtüştüğünü belirtmişlerdir.

Görüşme sırasında, üretken tasarımın dolu yapılı ve tek bileşenli ürünlerde daha elverişli sonuçlar sunduğu yönündeki değerlendirmeler, AHP çıktılarıyla tutarlı bir biçimde tekrar vurgulanmıştır. Örneğin katılımcılar, kabuk strüktürlü veya karma yapılı ürünlerde üretken tasarım algoritmalarının sınırlı varyasyonlar sunduğunu, sızdırmazlık gerektiren parçalarda kullanılabilirliğin düştüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca üretken tasarımın parçaları bir bütün olarak ele alması sebebiyle, çok bileşenli ürünlerde bazı durumlar için bunun olumsuz etkileri olabileceğini gözlemlemişlerdir.

Katılımcı yorumları yalnızca AHP skorlarını doğrularken bir yandan da kriterlerin tanımlanma biçiminde dikkat edilmesi gereken bazı unsurlara işaret etmiştir. Özellikle çerçeve ve kabuk strüktüre sahip ürün sınıflarında malzeme, üretim tekniği ve fonksiyonel ihtiyaçlara bağlı olarak değişkenlik gösterebilecek durumların olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Katılımcıların AHP modeli ve kriterlere ilişkin değerlendirmelerinin özeti

| Değerlendirme alanı | Açıklama | Katılımcı görüşlerinin özeti |
|---|---|---|
| AHP kriterlerinin kavramsal geçerliliği | Katılımcıların AHP modelinde kullanılan “strüktür türü” ve “bileşen sayısı” gibi yapısal kriterleri anlamlı, yeterli ve açıklayıcı bulup bulmadıkları | Her iki katılımcı da bu kriterlerin üretken tasarım süreciyle örtüştüğünü ve modelde yer almasının anlamlı olduğunu belirtmiştir |

Çizelge 4.2. (devam) Katılımcıların AHP modeli ve kriterlere ilişkin değerlendirmelerinin özeti

| | | |
|---|---|---|
| Alt kriterlerin teknik karşılığı | Alt kriterlerin (kabuk, dolu, çerçeve, karma vb.) gerçek ürün tasarımı pratikleriyle ne kadar uyumlu olduğu | Özellikle kabuk yapılar için üretken tasarım algoritmasının kullanılabilirlik açısından sınırlı alternatifler sunduğu, dolu yapıların üretken tasarım algoritmasının işleyişine daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca dolu kesitli çerçeveler üreten algoritmanın gerçek ürün tasarımı pratikleri açısından boru kesitli çerçeve kullanan ürünler için uygulanabilirlik bakımından sınırlılıklarına değinmişlerdir. |
| Alternatif ürün sıralamalarıyla uyum | AHP modelinden elde edilen skorların sonucunda oluşan sıralamanın (kaşık> sandalye> elektrikli cezve) katılımcı deneyimleriyle örtüşüp örtüşmediği | Katılımcıların AHP sonuçlarına genel olarak* katıldıkları, kaşık örneği üzerinden somutlaştırılan tek parça ve dolu strüktür özellikli sınıfın üretken tasarıma en uygun olduğunu deneyimlerine dayanarak gözlemlediklerini belirtmişlerdir.<br><br>*: Bu ifade katılımcıların bilhassa çerçeve ve kabuk strüktüre sahip ürün sınıflarında malzeme, üretim yöntemi ve kullanılabilirlik unsurlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilecek durumlardan kaynaklı görüşlerinden ötürü kullanılmıştır |
| Algoritmaya yönelik kısıtların tasarıma etkisi | Üretken tasarım algoritmasının belirli yapı türlerinde karşılaştığı teknik sınırlamaların katılımcı yorumlarına yansıması | Kabuk yapılar, boru kesitli çerçeveler ve çok bileşenli ürünlerde algoritmanın bazı nitelikler açısından yetersiz kaldığını vurgulamışlardır (örneğin sızdırmazlık niteliği) |
| Tek parça/ tek bileşen yaklaşımının değerlendirilmesi | Algoritmanın çok bileşenli ürünleri dahi tek parça olarak işlemesinin tasarım açısından nasıl değerlendirildiği | Katılımcılar üretken tasarımın her tasarım projesini tek bileşenli/ tek parça olarak değerlendirerek alternatiflerini üretmesini çok bileşenli ürünler için bir sınırlılık yaratabileceğini belirtmişlerdir |

Çizelge 4.2. (devam) Katılımcıların AHP modeli ve kriterlere ilişkin değerlendirmelerinin özeti

| | | |
|---|---|---|
| Genellenebilirlik algısı | Modelin yalnızca bu üç ürün alternatifi için değil benzer yapısal özelliklere sahip başka ürünlerde de uygulanabilir olup olmadığına ilişkin görüş | Katılımcılar kullanılan yapısal kriterlerin başka ürünlere de uyarlanabileceğini ve modelin genellenebilir olduğunu ifade etmişlerdir |

Çizelge 4.2. AHP modelinin geçerlik değerlendirmesi kapsamında pilot uygulama katılımcılarının yapısal kriterler ve model sonuçlarına ilişkin değerlendirmelerini özetlemektedir. Değerlendirme alanları, modelin kavramsal bütünlüğü, algoritmanın işleyiş biçimiyle uyumluluğu ve sonuçların katılımcı deneyimleriyle örtüşme düzeyi çerçevesinde yapılandırılmıştır. Bu çizelge, katılımcı görüşlerinin analiz edilerek tematik bir yapı içerisinde özetlenmesine ve karşılaştırmalı olarak sunulmasına olanak sağlamaktadır.

## 4.2. Pilot Uygulama Bulguları

Bu bölümde pilot uygulama süreci kapsamında elde edilen nitel bulgular sunulmaktadır. Süreç, AHP karar modeli doğrultusunda yapılandırılmış ürün sınıflandırması çerçevesinde, endüstriyel tasarımcı iki katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Her katılımcı, belirlenen üç ürün için hem geleneksel hem de üretken tasarım yöntemlerini uygulamıştır. Süreçle ilgili veriler, araştırmacı gözlemleri, katılımcı görüşmeleri ve oluşturulan 3B dijital tasarım çıktıları üzerinden toplanmıştır. Bu çok kaynaklı yapı, araştırma sorularına yanıt verecek şekilde betimsel analiz yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bulgular veri türlerine göre tematik biçimde yapılandırılmıştır.

### 4.2.1. Süreç gözlemleri ve uygulama koşulları

Uygulama süreci boyunca yapılan doğrudan gözlemler katılımcıların yöntemlere verdikleri tepkiler, problem çözme yaklaşımları ve karar alma süreçleri hakkında nitel bilgiler sunmuştur. Katılımcıların üretken ve geleneksel yöntemleri art arda deneyimlemesi, yöntemlerin avantaj ve sınırlılıklarının doğrudan karşılaştırılmasına olanak tanımıştır. Gözlemler, sürecin işleyiş biçimi, kullanılan araçlar, karar anlarındaki davranışlar ve çıktılar üzerinden değerlendirilmiştir.

Katılımcıların her üç ürün için tasarım sürecini belirli bir süre sınırında tamamlamaları beklendiği için özellikle problem tanımı aşamasında karar vermekte zorlandıkları gözlemlenmiştir. Bu durum, sürecin verimliliğini olumsuz etkilediği için önceden belirlenmiş proje tanımlarıyla çalışmanın yöntemin sağlıklı yürütülebilmesi için daha elverişli olacağını düşündürmüştür. Buna ek olarak, katılımcıların süreçlerin ilk aşamalarında kullandıkları yaklaşım ve araçlarda farklılıklar gözlemlenmiştir. Örneğin birinci katılımcı problem tanımlama ve araştırma amacıyla yapay zeka tabanlı araştırma araçlarından destek alırken, ikinci katılımcı çalışılan ürün türüne ilişkin piyasa araştırması yaparak farklılık yaratmaya çalışmıştır. Diğer yandan birinci katılımcı fikir geliştirmek için 3B modelleme aracının iki boyutlu çizimlere imkan veren bölümünde dijital eskiz denemeleri yapmıştır. Basit düzeyde yapılan eskiz denemelerinde daha çok ölçüler ve oranlar üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. İkinci katılımcı ise daha geleneksel yöntemlerle kağıt kalem kullanarak, küçük notlar ve basit düzeyde eskizler ile süreci ilerletmiştir.

Üretken tasarım sürecinde elde edilen çıktı sayısının her üç üründe de geleneksel yönteme kıyasla daha yüksek olduğu ancak bu alternatiflerin her zaman kullanılabilir ve işlevsel formlar sunmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle kabuk strüktürlü ürünlerde, algoritmanın sunduğu boşluklu formların işlevsellik açısından sınırlayıcı olduğu dikkat çekmiştir. Sızdırmazlık gerektiren ya da çalışması için elektronik ya da mekanik bileşen içeren ürünlerde işlev ve ürün güvenliği açısından üretken tasarım alternatiflerinin doğrudan uygulanabilir olmadığı görülmüştür. Ancak bazı durumlarda biçimsel olarak yeni fikirlere yola açabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca algoritmanın tek parça form oluşturma eğiliminin, çok bileşenli ürünler için sınırlayıcı bir unsur olabileceği değerlendirilmiştir. Bu gözlemler, üretken tasarımın başarısının ürünün yapısal özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

### 4.2.2. Katılımcı görüşleri ve betimsel analiz bulguları

Pilot uygulama sürecinin ardından, her iki tasarım yöntemini deneyimleyen iki endüstriyel tasarımcı ile gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşme, çalışmanın nitel veri setini oluşturan önemli bir kaynak olmuştur. Katılımcıların, süreci doğrudan deneyimlemiş olmaları ve görüşmelerin uygulama sonrasında gerçekleştirilmesi, elde edilen verilerin

bağlamsal bütünlüğünü koruyarak doğrudan deneyime dayalı bir biçimde yapılandırılmasını ve yorumların uygulama süreciyle ilişkilendirilmesine olanak tanımıştır.

Pilot uygulama kapsamında yapılacak karşılaştırmalar için birinci katılımcı K1PU, ikinci katılımcı ise K2PU olarak kodlanmıştır.

Görüşmelerde üretken tasarımın sürece entegrasyonu, ürünlerin yapısal özelliklerine göre uygunluk düzeyleri ve her iki yöntemin karşılaştırmalı değerlendirmesi gibi çeşitli konular ele alınmıştır. Katılımcıların her biri üretken tasarımın en etkili şekilde kullanılabileceği aşamanın, kavramsal fikrin oluşmasından sonraki geliştirme ve detaylandırma aşamasıyla başlayacağını belirtmiştir. Bu görüş, üretken tasarım aracı için gereken girdilerin tanımlanabilmesi bakımından, belirli bir aşamaya gelmiş fikirlerin daha uygun bir başlangıç noktası sunduğunu göstermektedir.

"…hangi girdi için hangi veriyi kullanacağımı bildiğim bir senaryoda çok daha olumlu sonuçlar alacağımı düşünüyorum" (Katılımcı 2)

Görüşmeler sırasında AHP sürecinde kullanılan kriterlerin anlamlılığı, karşılaştırma değerlerinin geçerliliği ve alternatif sıralamaların uygun olup olmadığı da değerlendirilmiştir. Görüşme süreci iki aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşamada AHP sonuçları paylaşılmadan katılımcıların kendi deneyimlerine ilişkin değerlendirmeleri alınmıştır. İkinci aşamada ise AHP skorları katılımcılara anlatılarak görüşleri yeniden alınmıştır. Her iki katılımcı da özellikle AHP modeli kapsamında yapılan ikili karşılaştırmaların ürün yapılarıyla örtüştüğünü belirterek bu doğrultuda modelin sonuçlarının kendi değerlendirmeleriyle tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Katılımcılar ayrıca üretken tasarımın, ürün yapısına göre değişkenlik gösteren avantaj ve sınırlılıklarını da dile getirmiştir. Özellikle çok bileşenli veya sızdırmazlık gibi işlevsel zorunlulukları olan ürünlerde üretken tasarım çıktılarının doğrudan uygulanabilirliğinin sınırlı olduğu ifade edilmiştir:

"… alternatif sayısı ciddi bir avantaj ama ürün tasarımında kullanılabilirlik yok sayılamaz. Sunulan alternatif çıktıların hepsi için ekstra geliştirmeler gerekli." (K2PU)

Katılımcılar üretken tasarımın fikir geliştirmeye etkisini iki farklı görüşle değerlendirmiştir:

“…teknik bilgilere göre süreci düşünecek olmak tasarımcı olarak beni biraz kısıtlanmış hissettirdi.” (K1PU)

“…alternatifleri gördükten sonra böyle bir form da olabilirmiş dedim. Geriye dönük olarak tanımladığım girdiler farklılaşsa sonuç da şu şekilde değişebilirmiş diye akıl yürütmeye başladım.” (K2PU)

Bu bölümde sunulan bulgular katılımcı görüşlerinin betimsel analiz yaklaşımı ile yapılandırılması sonucunda elde edilmiştir. Katılımcıların deneyimlerine ilişkin değerlendirmeleri, doğrudan alıntılarla desteklenerek sistematik biçimde sunulmuş ve araştırma amacıyla ilişkili şekilde düzenlenmiştir. Bu yaklaşım, görüşmelerin anlamlı içeriklerini bozmayacak şekilde yapılandırılmasını ve katılımcı ifadelerinin sistematik ve güvenilir biçimde bulgulara dönüştürülmesini mümkün kılmıştır.

Çizelge 4.3. Betimsel analize dayalı görüşme bulguları matrisi

| Tema | Katılımcı görüşlerinin özeti | Temayı temsil eden alıntılar |
|---|---|---|
| Uygulama sürecine yönelik değerlendirme | Süre kısıtları, ürün tanımlarına ilişkin bilgi eksikliği ve art arda uygulamaların yoruculuğu vurgulanmıştır | K1PU: “…ürün isimleri verildi ama detaylı bir tanım verilse süreç daha hızlı ilerlerdi...”<br><br>K2PU: “…üst üste farklı ürünler için düşünmek beni sonlara doğru yordu” |
| Yöntemlerin olumlu yönleri | Zaman verimliliği ve kısa sürede alternatif üretimi gibi yönler olumlu değerlendirilmiştir | K1PU: “… kısa sürede farklı biçimlerde çıktıları görmek faydalı olabilir.”<br><br>K2PU: “…zamanı etkin kullanabilmek için olumlu sonuçlar alınacağını düşünüyorum |
| Yöntemlerin sınırlılıkları | Teknik bilgi gerekliliği, proje tanımlarının belirsizliği sınırlayıcı bulunmuştur | K1PU: …teknik bilgilere göre süreci düşünecek olmak tasarımcı olarak beni biraz kısıtlanmış hissettirdi.”<br><br>K2PU: “üretken tasarım için gereken bilgileri düşünme ve o bilgileri elde etme konusunda olumsuz etkilendim…Bu konuda sıkıntı yaşadığım için de daha uzun bir zamana ihtiyaç duydum” |

Çizelge 4.3.(devam) Betimsel analize dayalı görüşme bulguları matrisi

| | | |
|---|---|---|
| Bileşen sayısının etkisi | Tek bileşenli ürünlerde üretken tasarımın daha elverişli olduğu belirtilmiştir ancak tek bileşenli olmaya elverişli çok bileşenli ürünler için de bir avantaj yaratabileceği vurgulanmıştır. | K1PU: " ..tek parça ürünler için daha elverişli bence… Ama bir de şöyle bir şey olabilir, mesela birden fazla parçanın tek parçaya dönüştürülmesinde sonuçların nasıl olacağını gözlemlemek için bir avantajı olabilir"<br><br>K2PU: "…bence tek parça olarak imal edilen ürünlerde daha elverişli" |
| Strüktür türüne göre elverişlilik | Dolu strüktürlerin üretken tasarıma daha uygun olduğu, kabuk ve çerçeve yapılar için kısıtlar olduğu ifade edilmiştir. | K1PU: "…Açılan boşluklar kullanılamaz bir elektrikli cezve biçimi oluşturdu."<br><br>K2PU: "…kabuk olarak tasarladığım kısım zaten korunan geometri olarak tanımlanıyor. Yani üretken tasarımın alternatif üretmeyeceği bir alan |
| Yöntemin sürece entegrasyonu | Üretken tasarımın geliştirme ve detaylandırma aşamasında devreye girmesinin daha uygun olduğu düşünülmüştür | K1PU: "…bence kavramsal kararlar alındıktan sonra detaylandırma ve geliştirme aşamasıyla birlikte"<br><br>K2PU: "… girdileri tanımlamak için bazı kararların verilmiş olması şart. O yüzden detaylandırmaya başlanılan ve daha teknik kararların alındığı aşama" |

Çizelge 4.3'te sunulan betimsel analize dayalı bulgular matrisi, pilot uygulama kapsamında yürütülen yarı yapılandırılmış görüşmelerin betimsel analizine dayanarak oluşturulmuştur. Katılımcıların üretken tasarım süreciyle ilgili deneyimlerini yansıtan bulgular, içerik açısından anlamlı temalar altında sınıflandırılmış ve her tema, onu doğrudan temsil eden alıntılarla desteklenmiştir. Bu yapı, katılımcı görüşlerinin sistematik biçimde sunulmasına ek olarak bulguların nitel araştırma ilkelerine uygun olarak analiz edilmesine imkan vermektedir.

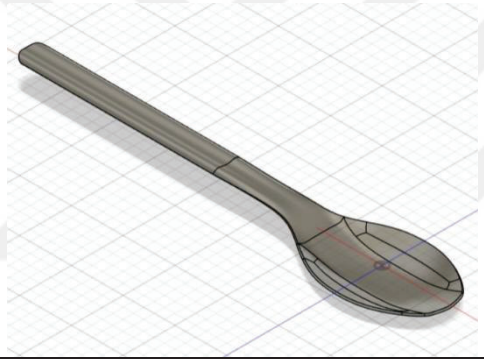
### 4.2.3. 3B Tasarım çıktılarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

Bu bölümde pilot uygulama sürecinde elde edilen üç boyutlu dijital tasarım çıktıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her iki katılımcı, belirlenen üç ürün türü için hem geleneksel hem de üretken tasarım yöntemleriyle uygulama yapmış ve sürecin sonunda her iki yöntemle oluşturulan sonuçlar görselleştirilmiştir. Elde edilen 3B çıktılar, biçimsel

farklılıklara ek olarak üretken tasımın ürün yapısına göre değişen etki düzeyini ortaya koymaktadır. Karşılaştırmalar her ürün için ayrı ayrı sunularak yöntemlerin sunduğu biçimsel çeşitlilik, işlevsel uygunluk ve tasarım sürecine katkıları açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler, nitel gözlemler ve tasarım çıktılarının görsel analizleri ile desteklenmiştir.

Pilot uygulama kapsamında yapılacak karşılaştırmalar için birinci katılımcı K1PU, ikinci katılımcı ise K2PU olarak kodlanmıştır.

Çizelge 4.4. K1PU Kaşık tasarımı karşılaştırması

| K1PU KAŞIK | Geleneksel yöntem | Üretken yöntem |
|---|---|---|
| 3B model görseli |  |  |
| Yapısal özellik | Tek parça, dolu strüktür | Tek parça, dolu kesitli boşluklu yapı |
| Biçimsel özellik | Simetrik, yekpare, klasik kaşık morfolojisine uygun, yalın (düşük geometrik karmaşıklık) | Organik geçişli, simetrik form (simetrik olması için symmetry plane atanmış) |
| Kullanım uygunluğu | Ergonomi yüksek düzeyde, yeterli işlevsellik | Tartışmalı ergonomi, sınırlı işlevsellik |
| Alternatif sayısı | 1 | 6 |

Çizelge 4.4, K1PU'nun geleneksel ve üretken yöntemlerle tasarladığı kaşık ürününe ilişkin çıktıları yapısal özellik, biçimsel özellik, kullanıma uygunluk ve alternatif sayısına göre karşılaştırmalı biçimde değerlendirmektedir.

Yapısal özellik ürünün genel yapısını ve malzeme kurgusunu ortaya koymaktadır. Her iki yöntemde de tek parça ve yekpare bir yapı ortaya konmuştur. Geleneksel yöntemde dolu

strüktür korunurken, üretken tasarımda yapının boşluklu bölgelerde hafifletildiği ancak tüm bileşenlerin hala tek bir parça içinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, üretken tasarımın optimize edilmiş malzeme kullanımıyla ağırlık azaltma potansiyeline dikkat çekmektedir.

Biçimsel özellikler, ürünün görünümü ve morfolojisiyle ilgilidir. Geleneksel yöntemle elde edilen model, klasik kaşık formuna uygun, yalın ve düşük karmaşıklık düzeyine sahip bir tasarım sunmuştur. Üretken tasarım çıktısı ise simetrik olarak tanımlanmış ancak karmaşık ve organik geçişlerle biçimlenmiş bir yapıya sahiptir. Bu modelde simetriyi koruyabilmek amacıyla girdi tanımlama aşamasında üretken araçta "symmetry plane" tanımlanmıştır. Bu, üretken tasarım çıktılarının kontrol altında biçimlenmesi ve daha tanımlı bir formun oluşturulabilmesi açısından önemlidir.

Kullanım uygunluğu, tasarımların işlevsellik ve ergonomi düzeyini değerlendirmekle ilişkilidir. Geleneksel kaşık modeli kullanıcı alışkanlıklarıyla uyumlu ergonomik özelliktedir. Üretken tasarımın oluşturduğu alternatif model ise organik formuyla daha dikkat çekici olarak algılanma potansiyeline sahip olsa da kullanılabilirlik açısından sınırlılıklar taşımaktadır. Özellikle tutma ergonomisi ve yıkama kolaylığı gibi konular kullanıcı deneyimine göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle üretken tasarım çıktısı için "tartışmalı ergonomi, sınırlı işlevsellik" değerlendirmesi yapılmıştır.

Alternatif sayısı, üretken tasarımın alternatif üretme gücünün temsil etmektedir. Geleneksel yöntemde belirlenen süre sınırı içerisinde yalnızca bir çözüm üretilmişken, üretken tasarım sürecinde algoritma tarafından altı alternatif model üretilmiştir. Bu durum, üretken tasarım algoritmasının alternatif üretme gücünü göstermesi bakımından önemlidir.

Çizelge 4.5. K2PU Kaşık tasarımı karşılaştırması

| K2PU KAŞIK | Geleneksel yöntem | Üretken yöntem |
|---|---|---|
| 3B model görseli |  |  |
| Yapısal özellik | Tek parça, dolu strüktür | Tek parça, dolu kesitli boşluklu yapı |
| Biçimsel özellik | Simetrik, yekpare, klasik kaşık morfolojisine uygun, yalın | Çerçeve tipi, organik geçişli, simetrik form (simetrik olması için symmetry plane atanmış) |
| Kullanım uygunluğu | Ergonomi yüksek düzeyde, yeterli işlevsellik | Tartışmalı ergonomi, sınırlı işlevsellik |
| Alternatif sayısı | 1 | 8 |

Her iki yöntemde de tasarımlar tek parçalı olarak çelik materyal düşünülerek oluşturulmuştur. Geleneksel yöntemle tasarlanan model dolu bir strüktür sunarken, üretken yöntemle oluşturulan modelde yapı yine yekpare olsa da tutma bölümünde boşluklu ve hafifletilmiş bir yapı oluşmuştur. Bu durum ağırlık azaltımı ve malzeme tasarrufu açısından avantaj sağlayabilir. Üretim yöntemi ve kullanılabilirlik için ise yeniden değerlendirme gerektirebilir.

Geleneksel tasarımda klasik kaşık morfolojisine uygun, yalın, simetrik ve düşün geometrik karmaşıklığa sahip bir form geliştirilmiştir. Üretken yöntemde ise çerçeve tipi, organik geçişli bir form oluşturulmuştur.

Geleneksel model, kullanıcı alışkanlıklarına uygunluğu, dengeli oranları ve yalın form ile yüksek düzeyde işlevsellik ve kullanım kolaylığı sunmaktadır. Buna karşın üretken tasarım modelinde, özellikle tutma bölümlerinde çerçeve tipi boşlukların bulunması ve yüzey bütünlüğünün sınırlı olması sebebiyle ergonomik uygunluk sorgulanmıştır. Buna istinaden

“tartışmalı ergonomi, sınırlı işlevsellik” ifadesi kullanılmıştır. Model organik yapısıyla görsel açıdan yenilikçi olmasına karşın, pratik kullanım açısından belirsizlikler taşımaktadır.

Geleneksel yöntemde, belirlenen süre içerisinde yalnızca bir çözüm üretilmişken, üretken tasarım sürecinde sekiz farklı alternatif oluşturulmuş ve bu modeller arasından seçim yapılmıştır. Bu durum, üretken tasarım algoritmasının çeşitlilik ve seçenek üretme kapasitesini göstermektedir.

Çizelge 4.6. K1PU Sandalye tasarımı karşılaştırması

| K1PU SANDALYE | Geleneksel yöntem | Üretken yöntem |
|---|---|---|
| 3B model görseli |  |  |
| Yapısal özellik | Boru profil taşıyıcı+ düz yüzeyli oturma/sırt birimleri | Çok bileşenli kurgunun tek bileşene dönüşümü, dolu strüktürlü ve birleşik çerçeve/iskelet sistemi |
| Biçimsel özellik | Simetrik, yalın form, düşük geometrik karmaşıklık | Organik geçişli, yüksek geometrik karmaşıklığa sahip form |
| Kullanım uygunluğu | Yüksek kullanım kolaylığı ve ergonomi sağlanabilir | Kullanım kolaylığı ve ergonomi belirsiz, tartışmaya açık |
| Alternatif sayısı | 1 | 8 |

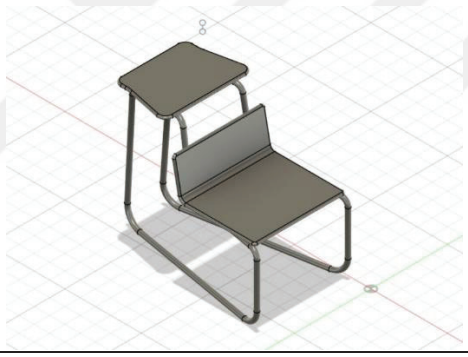
Geleneksel tasarımda boru profiller ve düz yüzeylerden (kabuk ya da levha strüktür) oluşan yapı tercih edilmiştir. Bu yapının üretim açısından uygulanabilirliği yüksektir. Üretken yöntemde ise yapı tek parça, dolu ve birleşik bir çerçeve formuna dönüştürülmüştür. Organik biçim özgünlük potansiyelini artırsa da üretim açısından karmaşıktır.

Biçimsel olarak, geleneksel modelde yalın ve simetrik bir öneri geliştirilmiştir. Üretken yöntemle oluşturulan modelde ise organik ve karmaşık geçişlere sahiptir. Bu durum görsel olarak farklılık yaratsa da ergonomik açıdan belirsizlikleri beraberinde getirmektedir.

Kullanım uygunluğu açısından geleneksel model taşıyıcılık ve bedenle ilişki kuran bölümler açısından daha net çözümler sunmaktadır. Üretken modelin sahip olduğu karmaşık detaylar ise ergonomik açıdan değerlendirmeyi daha zor hale getirmektedir. Bu sebeple üretken modelin kullanıma uygunluğu tartışmaya açık olarak değerlendirilmiştir.

Alternatif sayısı bakımından üretken yöntemle sekiz farklı alternatif oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7. K2PU Sandalye tasarımı karşılaştırması

| K2PU SANDALYE | Geleneksel yöntem | Üretken yöntem |
|---|---|---|
| 3B model görseli |  |  |
| Yapısal özellik | Boru profil taşıyıcı ve düz yüzeyli oturma ve çok işlevli birim (ters oturma kol dayama ve yazı tablası) | Çok bileşenli kurgunun tek bileşene dönüşümü, dolu strüktürlü ve birleşik çerçeve/iskelet sistemi |
| Biçimsel özellik | Yalın form, düşük geometrik karmaşıklık | Klasik yüzeylere entegre edilmiş organik formda iskelet |
| Kullanım uygunluğu | Yüksek kullanım kolaylığı ve ergonomi sağlanabilir | Kullanım kolaylığı ve ergonomi belirsiz, tartışmaya açık |
| Alternatif sayısı | 1 | 6 |

K2PU'nun tasarımlarının karşılaştırıldığı çizelgeye göre geleneksel yöntemle tasarlanan sandalye, boru profillerle oluşturulmuştur. Üretken yöntemle tasarlanan sandalyede ise çok bileşenli yapı tek parça dolu çerçeve sistemine dönüştürülmüştür. Bu durum üretim süreci ve yapısal netlik açısından bazı zorluklara sebep olabilir.

Biçimsel açıdan geleneksel model yalın bir formdadır. Üretken yöntemle oluşturulan modelde ise klasik yüzeyler için taşıyıcı konumunda olan organik geçişli bir form oluşturulmuştur. Bu form organik olarak oluşturulmasından kaynaklı farklılık yaratma açısından potansiyele sahip olsa da kullanım kolaylığı açısından bazı problemlere sebep olabilir. Kullanım durumu bağlama göre farklılık gösterebileceği için bu üretken yöntemle oluşturulan modelin kullanıma uygunluğu tartışmaya açık olarak değerlendirilmiştir.

Üretken yöntemle, altı alternatif oluşturulmuştur. Bu sayı tüm ürünler için geleneksel yöntemde bir ile sınırlı kalmıştır.

Çizelge 4.8. K1PU ve K2PU için elektrikli cezve tasarımı karşılaştırması

| K1PU-K2PU Elektrikli cezve | Geleneksel yöntem | Üretken yöntem |
|---|---|---|
| K1PU- 3B model görseli |  |  |
| K2PU- 3B model görseli |  |  |
| Yapısal özellik | Çok bileşenli yapı: hazne, taban, sap ve bağlantı elemanlarından oluşan, kabuk strüktürlü, montaj gerektiren ürün | Tek parça dolu strüktür: korunan(preserve) ve engel (obstacle) geometrileriyle iç hacim korunmuş ancak gerçek uygulamalara uzak yapısal özellik |
| Biçimsel özellik | Klasik elektrikli cezve morfolojisine uygun, yalın ve simetrik form | Hazne kısmı korunan geometri olarak atandığı için biçimsel çeşitlilik düşük, alternatif formlar geleneksel cezvelerden farklı değil |

Çizelge 4.8. (devam) K1PU ve K2PU için elektrikli cezve tasarımı karşılaştırması

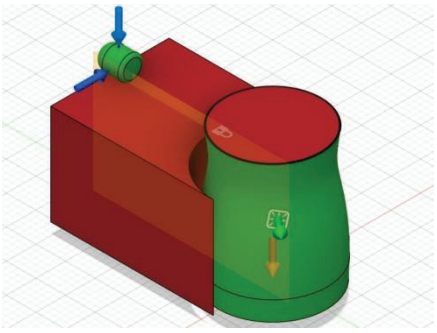
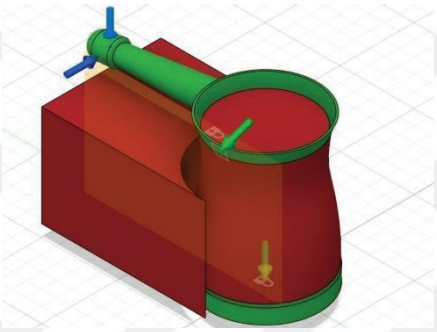
| | | |
|---|---|---|
| Kullanım uygunluğu | Gerçek kullanım senaryolarına uygun, işlevsel ve ergonomik | Gerçek kullanım için uygun değil. Form denemeleri yapılmış olsa da ergonomi ve işlevsellik açısından sınırlı |
| Alternatif sayısı | 1 | 6 ( Her iki katılımcı için 6-6 ) |

Çizelge 4.8 her iki katılımcının geleneksel ve üretken yöntemlerle gerçekleştirdiği elektrikli cezve tasarımlarını yapısal, biçimsel ve işlevsel özellikler açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Elektrikli cezve, gerçek üretim süreç, düşünüldüğünde, çok bileşenli ve kabuk strüktür ağırlıklı karma yapıda bir üründür. Ancak üretken tasarım süreci, algoritmanın işleyişi sebebiyle bu yapıyı dolu ve yekpare bir forma dönüştürmüştür. Bu dönüşüm, üretken yönteminde katılımcıların iç hacmi engel geometrisi, haznenin silüetini belirleyen dış kabuğu korunan geometri olarak tanımlamasıyla gerçeklemiştir. Fakat alternatif çıktılar, gerçek üretim yöntemleri ve kullanım şartlarıyla örtüşmemiştir. Biçimsel olarak, korunan geometri olarak atanan hazne, biçiminin dışına çıkamadığı için mevcut biçimlerin ötesinde biçimler geliştirilememiş ve büyük bir fark yaratılamamıştır. Bu nedenle biçimsel özgünlük sınırlı kalmıştır. Ürünün sap kısmı daha net bir ifadeyle ürünün el ile ilişkili kısımlarından belki de en önemlisi olan tutamak kısmı için alternatif biçim üretimi daha çeşitli olabilir. Bunun sebebi haznedeki gibi bir sızdırmazlık durumu olmamasıdır. Ancak tutamağın, elektronik bileşenlere ilişkin herhangi bir unsuru koruma görevi görmesi durumunda, sızdırmazlık için oluşan olumsuz koşullar tutamak için de geçerli olacaktır.

Kullanım uygunluğu açısından üretken tasarım yöntemi sınırlı kalmıştır. Ergonomi ve parçalar arası bütünlük sağlanamadığı için işlevsellik açısından da zayıf kalmıştır. Alternatif sayısının yüksek olması yalnızca biçimsel varyasyonlara yöneliktir. Ancak katılımcıların değerlendirmeleri ve gözlemlere göre bu alternatiflerin hiçbiri geleneksel yöntemle elde edilen modele kıyasla daha uygun bulunmamıştır.

Üretken tasarım sürecinin özellikle kabuk strüktürlü ürünlerdeki sınırlılıklarını göstermek amacıyla kullanılan korunan(preserve) ve engel(obstacle) geometrilerin tanımlanmasına ilişkin örnekler çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. K2PU tarafından yapılan deneme kabuk strüktür denemeleri

| | Girdi tanımlama ekranı | Alternatif çıktı örnekleri |
|---|---|---|
| Deneme 1<br><br>Sıvı içerecek haznenin tamamen korunan geometri olarak atanması |  |  |
| Deneme 2<br><br>Sıvı içerecek haznenin üst ve alt sınırlarının korunan geometri olarak atanıp kabuğun orta kısmının üretken algoritmaya bırakılması |  |  |

Çizelge 4.9, kabuk strüktürlü ürünlerden biri olan elektrikli cezvede korunan geometri (Fusion 360 Generative Design'da yeşil renkle gösterilmektedir) tanımlamanın tasarım çıktısına etkisin göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Deneme1'de, sıvı haznesinin tümü korunan geometri olarak atanmıştır. Bu sayede algoritmanın yalnızca hazne ile tutamağın arasında kalan alanda işlem yapmasına izin verilmiştir. Bu durumda, fonksiyonel hazne korunarak alternatifler yalnızca tutamağın bir kısmı için geliştirilmiştir. Ergonomik gereklilikler sebebiyle üretilen alternatiflerden biri olan örnek model kullanıma uygun görünmemektedir. Fakat bu çizelgede gösterilen örnekler, kullanıma uygunluğun sınanmasından çok tanımlanan girdilerin alternatiflerin oluşturulmasındaki etkisini göstermektir.

Deneme 2'de ise yalnızca haznenin alt ve üst sınırları korunmuş, orta bölüm üretken algoritmaya bırakılmıştır. Bu durumda, üretken yöntemin önerdiği çözüm önerisi biçimsel ve yapısal olarak daha farklı olmakla birlikte, ergonomi ve işlevsellik açısından oldukça zayıf bulunmuştur. Haznenin en önemli işlevi olan sıvının korunması, yani sızdırmanın engellenmesi sağlanamamaktadır. Öte yandan kırmızı renkle kodlanan ve haznenin içine

malzeme birikmesini önleyen engel geometrisi, korunan geometri hizasına kadar yükseltilmediği için boş bırakılması gereken hazne üstündeki alana malzeme birikimi gerçekleşmiştir. Her iki deneme de üretken tasarımın girdi tanımları ile yönlendirilmesi gerektiğini ve özellikle kabuk strüktüre sahip ürünlerde bu tanımlamaların, işlevselliği doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Bulgular, elektrikli cezve gibi çok bileşenli ürünlerde üretken tasarımın tamamlayıcı bir araç olarak parça bazlı uygulanmasının daha anlamlı sonuçlar doğurabileceğini göstermektedir. Gözlemler ve katılımcı görüşleri doğrultusunda, ürünün tümünü tek bir üretken tasarım çıktısına indirgemek kullanım ve işlev sorunlarına yol açarken aynı zamanda gerçek üretim koşullarından uzaklaşmaktadır. Katılımcılar, üretken tasarımın tüm ürün yerine tutamak ya da taban parçası gibi yalnızca belirli bileşenlere uygulanmasının biçimsel çeşitliliği artırıp, üretim ve montaj gerçekliğine daha uygun sonuçlar oluşturabileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle tutamak gibi ergonomik ve biçimsel denemelere açık bileşenlerde üretken tasarımın sunduğu çeşitlilik potansiyeli, klasik yöntemle bütünleştirildiğinde daha uygulanabilir bir ürün tasarımı elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Bu değerlendirme üretken tasarımın çok bileşenli ürünlerde daha seçici ve amaç odaklı bir planlamayla kullanılmasının daha verimli olabileceğini ortaya koymaktadır.

### 4.3. Ana Uygulama Bulguları

Pilot uygulama ile elde edilen bulgular doğrultusunda planlanan ana uygulama, daha kontrollü bir kurguda, genişletilmiş katılımcı sayısı ile yürütülmüştür. Toplam altı katılımcının yer aldığı ana uygulama süreci, üçer kişilik iki grup halinde, iki gün boyunca yürütülmüştür. Gruplar kontrol ve deney grupları şeklinde oluşturulmamıştır. Grup içi deneysel desenin benimsendiği uygulama sürecinin iki güne ayrılmasının sebebi, gözlem sürecinin daha kontrollü yürütülmesini amaçlamak ve katılımcılar için uygun olan güne göre programı oluşturmaktır.

Ana uygulamanın temel amacı araştırma sorularına yanıt bulmak amacıyla, pilot uygulamada karşılaşılan aksaklıkları ve tespit edilen problemleri ortadan kaldırarak, aynı ürün türüne ait üç farklı proje tanımı üzerinden hem daha kapsamlı hem de daha kontrollü bir uygulama gerçekleştirmektir. Her iki yöntem için de sürecin aşamaları ve bu aşamalara ayrılan süreler önceden belirlenmiştir. Proje tanımları ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Bu

sayede karşılaştırmalı değerlendirmeler için tutarlılık ve veri güvenilirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Uygulama süreci boyunca elde edilen gözlem notları, katılımcılar tarafından tutulan bireysel süreç tutanakları, 3B dijital modeller ve görüşmeler çok yönlü bir veri seti oluşturmuştur.

### 4.3.1. Süreç gözlemleri ve katılımcıların yaklaşımları

Ana uygulama süreci, her biri üçer kişiden oluşan iki grup halinde toplam altı katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama pilot çalışmada tespit edilen sorunların giderilmesini ve daha kontrollü bir karşılaştırma ortamı yaratılmasını hedeflemiştir. Katılımcılara aynı ürün türüne ilişkin farklılaştırılmış proje tanımları hem geleneksel hem de üretken tasarım yöntemiyle çözümlenmek üzere sunulmuştur. Daha net bir ifadeyle altı katılımcıya da aynı proje tanımları verilmiştir. Birinci oturumda sandalye için proje tanımı A geleneksel tasarım yöntemine, ikinci oturumda sandalye için proje tanımı B üretken tasarım yöntemine, üçüncü oturumda sandalye için proje tanımı C üretken tasarım yöntemine göre ele alınmıştır.

Süreç önceden tanımlanmış aşamalarla süre kısıtlarına bağlı olarak yapılandırılmıştır. Her bir katılımcı, aşamalar tamamlandıkça diğer aşamaya geçiş için yönlendirilmiş ve bu sayede tüm katılımcıların eş zamanlı olarak ilerlemesi sağlanmıştır. Süreç boyunca yapılan gözlemler, oturum ve aşama bilgilerini içeren tutanak kağıtları ile kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda katılımcılar tarafından bireysel süreç tutanakları tutulmuştur. Bu sayede, araştırmacının gözlemleri ve katılımcıların deneyimleri aracısında karşılaştırma yapmaya ve süreci farklı yönlerden değerlendirmeye imkan veren bir veri seti oluşturulmuştur.

Katılımcıların iki farklı yöntemle yürüttüğü süreçler arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Geleneksel yöntemde süreç dört aşamadan oluşmuştur: 1.Proje tanımını inceleme ve Problem tanımlama, 2.Araştırma yapma ve Kavramsallaştırma, 3.Eskiz yapma ve Projeyi detaylandırma, 4.3B Dijital Modelleme. Üretken tasarım sürecinde ise 1.Problemi analiz etme ve amaca yönelik görev tanımlarını belirleme (Kavramsallaştırma- süreç akışı açısından bu aşamaya dahil edilebilir), 2.Geometri ve tasarım alanı tanımlama, 3.Yükler ve sınır koşullarının belirlenmesi, 4.Üretim yöntemi ve malzeme tanımı ve 5. Optimizasyon ve hedef kısıtlarının tanımlanması aşamaları izlenmiştir. Literatüre göre oluşturulan aşamaların isimleri farklı olsa da her iki yöntemde de ilk iki aşamanın problem analizi ve

kavramsallaştırmaya yönelik olduğu görülmektedir. En büyük fark ise eskiz yapma, detaylandırma ve dijital ortama geçiş amasında çıkmaktadır.

Katılımcılar, geleneksel yöntemde ağırlıklı olarak kullanıcı deneyimine ve kavramsal uygunluğa odaklanırken, üretken tasarım yönteminde, üretken aracın teknik olanaklarını keşfetme, korunan ve engel geometrileri tanımlama ve sistemin önerdiği alternatifleri inceleme konularına yoğunlaşmışlardır. Üretken tasarımda, korunan ve engel geometrilerin biçim alternatiflerini nasıl etkilediğini anlamaya çalışırken zaman kaybı yaşanmıştır. Ancak bu zaman kaybı aşamalar arası geçişi etkileyecek düzeyde değildir. Bazı katılımcılar, üretken tasarımın nihai çıktılar için oluşturduğu iterasyonları eş zamanlı görmeni avantajını kullanarak algoritmanın mantığını daha iyi kavramış ve girdi tanımlama penceresine geri dönerek revizyonlar yapma eğilimi göstermişlerdir. Bu durum, üretken tasarımın yinelemelere dayanan alternatif oluşturma sürecinin tasarımcıların karar verme sürecindeki etkisini gösteren unsurlardan biri olarak kabul edilebilir.

Her iki yöntemle yürütülen süreçlerde Fusion 360 yazılımı kullanılarak dijital ortama aktarılmıştır. Süreç sonunda üretken tasarım alternatiflerinin bazıları yüksek geometrik karmaşıklık içerdiğinden, yazılımın çözüm süresi uzamıştır. Bu durum tasarımcının ilk sırada rol aldığı aşamaları etkilemediği için iki yöntemle tasarlanan süreçlerin karşılaştırmasında ikincil öncelikte değerlendirilmiştir. Bu durum algoritmanın daha aktif rol oynadığı aşamaya dahil olsa da karmaşık geometrilerin alternatif üretiminde, üretken tasarımın daha fazla zaman gerektirdiğine ilişkin çıkarım yapılmasını sağlamıştır. Buna ek olarak katılımcıların tamamı üretken tasarımla elde edilen çıktıların, daha sonra dışa aktarılarak revize edilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Bunun en önemli sebebini, önerilen alternatiflerin kullanıma ve ergonomik gerekliliklere uygun olmadığı ve geliştirme gerektiği şeklinde açıklamışlardır.

Problem analizi ve kavramsallaştırma süreci

Gözlem notları ve katılımcı süreç tutanakları incelendiğinde, geleneksel yöntemde katılımcıların genellikle kullanıcı ile ilişkili sorgulamalarla sürece başladıkları görülmektedir. Örneğin K1AU (Katılımcı 1- Ana uygulama), dış mekanda kullanılacak ürünün rahatlığı ve dayanıklılığı ile ilgili sorgulamalar yapmış, bu da problem tanımını daha somut ve kullanıcının ihtiyaçlarına yönelik biçimde yapılandırmasına imkan vermiştir.

Üretken tasarım sürecinde ise katılımcıların odak noktası geometri, yük sınırları ve üretim biçimi gibi teknik parametreler olmuştur. Ancak geleneksel yönteme göre farklılaşan bu odak noktası genel anlamda eskiz ve detaylandırma aşaması olan üçüncü aşamada belirginleşmeye başlamıştır. Örneğin K6AU, üretken süreçte "denge noktaları nereler olmalı, hangi bölgeler boş bırakılmalı..." gibi sorgulamalar yapmış ve bu sorgulamaları süreç tutanağında kayıt altına almıştır. Bu yönelim üretken tasarımın problem çözme pratiğinin, ürün geliştirme sürecindeki mühendislik yaklaşımıyla daha çok örtüştüğünü göstermektedir.

Geleneksel yöntem ve üretken tasarım yönteminin problem analizi ve kavramsallaştırma süreciyle ilgili verilen bu örnekler hem gözlem notlarına hem de katılımcıların süreç tutanaklarına göre sunulmaktadır. İki yöntemle yürütülen sürecin geneline bakıldığında uygulamanın ilk iki aşaması iki yöntem için de paralel ilerlerken, detaylandırma aşamasıyla birlikte farklılığın çok daha net hale geldiği gözlemlenmiştir.

Form geliştirme ve alternatif üretme yaklaşımı

Geleneksel yöntemde eskizler araçlığıyla erken aşamalarda fikir üretimi yaygın olarak tercih edilmiştir. K1AU, K2AU ve K4AU bilinen bir görsel keşfetme platformundan faydalanarak fikir geliştirmiş ve form alternatifleri üretmiştir. Tutanaklar, katılımcıların bu aşamada yapısal bütünlük ve ergonomi ilişkisini var olan ürünlerle kıyaslama yoluyla değerlendirdiklerini göstermektedir. Diğer taraftan üretken tasarım yönteminde biçimsel arayış ilk aşamada kağıt üstünde geometrileri tanımlama daha sonra da dijital ortamda girdileri tanımlama ve ardından oluşan alternatifler üzerinden yeniden girdi tanımlama yoluyla gerçekleşmiştir.

Karar verme süreci ve yinelemeli düşünme

Katılımcılardan bazılar üretken yöntemin sunduğu alternatifleri, iterasyon oluşturma aşamasında değerlendirerek girdi tanımlama aşamasına geri dönme eğilimi göstermişlerdir. Örneğin K4AU, ikinci ve üçüncü oturumda üretken sistemin sunduğu alternatifler üzerinden tanıladığı girdileri revize etmesine gerektiğini fark ederek, tanımladığı girdilerde değişiklikler yaparak yeni alternatifler oluşturulmasını sağlamıştır. Bu durum üretken tasarımın yinelemelere dayalı alternatif üretme sürecinin, tasarımcılar tarafından gözlemlenebilmesinin, süreçte daha hızlı karar alma ya da kararları gözden geçirme

açısından avantaj sağladığını göstermektedir. Geleneksel yöntemde ise katılımcıların erken aşamalarda verdikleri kararlara bağlı kaldıkları ve süreci büyük ölçüde bu kararlara göre yürüttükleri gözlemlenmiş ve tutanaklar aracılığıyla belirlenmiştir. Bu durumun, uygulama kapsamındaki süre kısıtı sebebiyle yaşanmış olabileceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla, tüm geleneksel tasarım süreçlerinde erken aşamalarda verilen kararların süreç boyunca değiştirilmediği gibi bir izlenim oluşmamalıdır.

Ergonomik ve kullanıcı odaklı değerlendirme

Nihai tasarım çıktıları üzerinden yapılan ergonomi ve kullanıcı deneyimi değerlendirmeleri, katılımcıların tasarımcı olarak 3B modeller üzerinden öngörülerine ve araştırmacının gözlemlerine dayanmaktadır. Katılımcılar üretken tasarım çıktılarının ergonomi ve kullanıcı deneyimi açısından sınırlayıcı olduğunu düşünmektedir. Örneğin K3AU, üretken yöntemde oluşturulan formların "organik yapısı gereği yenilikçi görünse de ergonomik açıdan sınırlı" olduğunu belirtmiştir. Geleneksel yöntemde ise katılımcılar belirledikleri konsept ve kullanıcı ilişkisi etrafında formu geliştirmişlerdir. Örneğin K2AU, geleneksel yöntemle tasarladığı ürün için sırt yüksekliği, kolçak durumu ve ayak yapısını doğrudan kullanıcı deneyimiyle ilişkilendirmiştir. Gözlem verileri ve süreç tutanakları, geleneksel ve üretken tasarım yöntemlerinin süreç içerisindeki farklılıklarını ortaya koymayı hedeflemiştir. Bu farklılıklar kullanılan araçlarla sınırlı değildir. Tasarımcının düşünme biçimi, karar stratejisi ve çıktı beklentisini de kapsamaktadır.

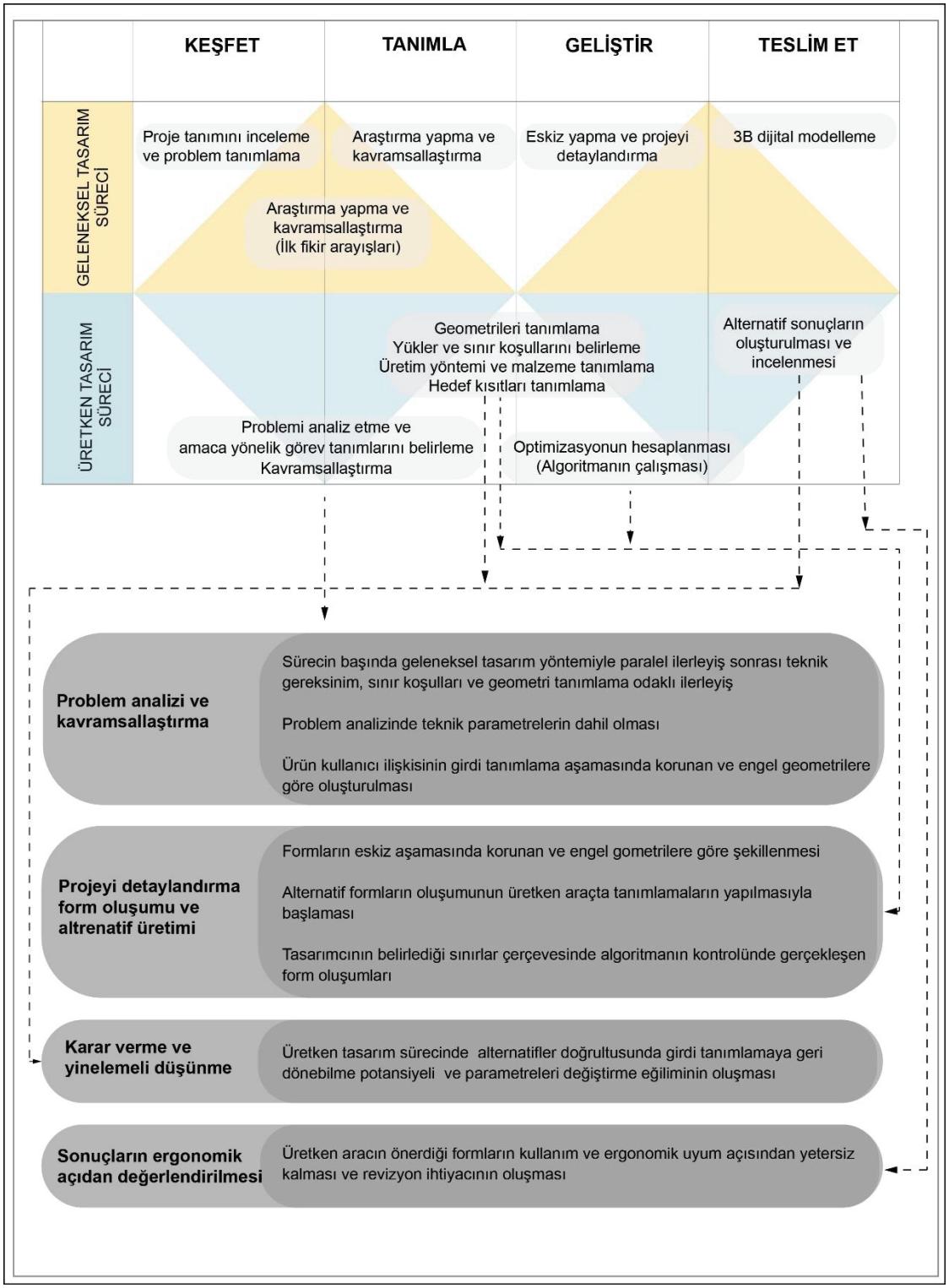
Çizelge 4.10. Gözlem ve süreç tutanaklarına dayalı geleneksel ve üretken tasarım süreçlerine ilişkin tema karşılaştırması

| Tema | Geleneksel tasarım yöntemi | Üretken tasarım yöntemi |
|---|---|---|
| Problem analizi ve kavramsallaştırma | Katılımcılar problemi kullanıcı ve kullanım senaryosu üzerinden tanımlama eğilimindedir. Sorgulayıcı sorular yönelterek sürece başlamış ve benzer ürün örneklerinden yola çıkmışlardır. | Sürecin başında geleneksel tasarım yöntemiyle paralel sonrasına teknik gereksinim, sınır koşulları ve geometri tanımlama odaklı ilerleyiş hakimdir.<br><br>Problem analizi, teknik parametreler üzerinden yapılmıştır. Ürün kullanıcı ilişkisi girdi tanımlama aşamasında korunan ve engel geometriler üzerinden yapılmıştır |

Çizelge 4.10. (devam) Gözlem ve süreç tutanaklarına dayalı geleneksel ve üretken tasarım süreçlerine ilişkin tema karşılaştırması

| | | |
|---|---|---|
| Form geliştirme ve alternatif üretimi | Fikir geliştirme süreci çizim ve görsel araştırmalarla desteklenmiştir. Form üretimi manuel olarak ilerlemiş, kullanıcı ihtiyaçları ve ergonomik ilkeler ön planda tutulmuştur. | Formlar dijital ortama geçiş aşamasından sonra katılımcının belirlediği sınırlar dahilinde ve algoritmanın sunduğu öneriler çerçevesinde geliştirilmiştir. |
| Karar verme ve yinelemeli düşünme | Kararlar erken aşamalarda alınmış ve süreç boyunca bu kararlara sadık kalınmıştır. | Alternatifler doğrultusunda girdi tanımlamaya geri dönem ve parametreleri değiştirme eğilimi gözlemlenmiştir. |
| Ergonomik ve kullanıcı odaklı değerlendirme | Katılımcılar kullanılabilirlik, ergonomi gibi kriterler üzerinden süreci yürütmüş ve form kararları ürün mekan ilişkisine ek olarak kullanıcı profiline göre şekillenmiştir. | Üretken aracın önerdiği formların organik biçimleriyle yenilikçilik açısından potansiyeli olduğu ancak kullanım ve ergonomik uyum açısından yetersiz kaldığı değerlendirilmiştir. Revizyon ihtiyacı vurgulanmıştır. |

Gözlem notları ve katılımcı süreç tutanaklarına dayalı şekilde geliştirilen 4.10. numaralı çizelge, geleneksel ve üretken tasarım yöntemlerinin dört tematik başlık altına nasıl farklılaştığını özetlemektedir. Her iki yöntemin tasarımcıların, problem tanımlama biçimlerinden karar alma süreçlerine kadar olan etkileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Buna ek olarak, Şekil 4.1. uygulama kapsamında elde edilen gözlem ve katılımcılar tarafından tutulan süreç notlarına ilişkin bulguları, süreçle ilişkilendirmeye yönelik olarak sunulmaktadır.




Şekil 4.1. Gözlem ve süreç notlarına ilişkin bulguların süreçle ilişkilendirilmesi

Süreçle ilişkilendirilen bulgular, fazlar bölümünün altında dört bölümde ele alınmaktadır. Problem analizi ve kavramsallaştırmaya yönelik bulgular, geleneksel ve üretken yöntemin kavramsal açıdan paralel ilerleyişinin ardından, üretken tasarım için teknik parametrelerin dahil olduğunu göstermektedir. Katılımcıların, kavramsallaştırma aşamasının başlangıcında

geleneksel süreçten farklı hareket etmediği ancak problem analizinde, üretken tasarımın gerektirdiği rasyonel işleyişi düşünerek ürün kullanıcı ilişkisini ele aldığı ve geometrileri buna göre tanımladığı görülmüştür. Bu durum, üretken tasarım sürecine ilişkin bazı basamakların, Çift Elmas'ta fazların içinden ziyade geçiş aşamaları üzerinde konumlandırılmasının nedenlerindendir.

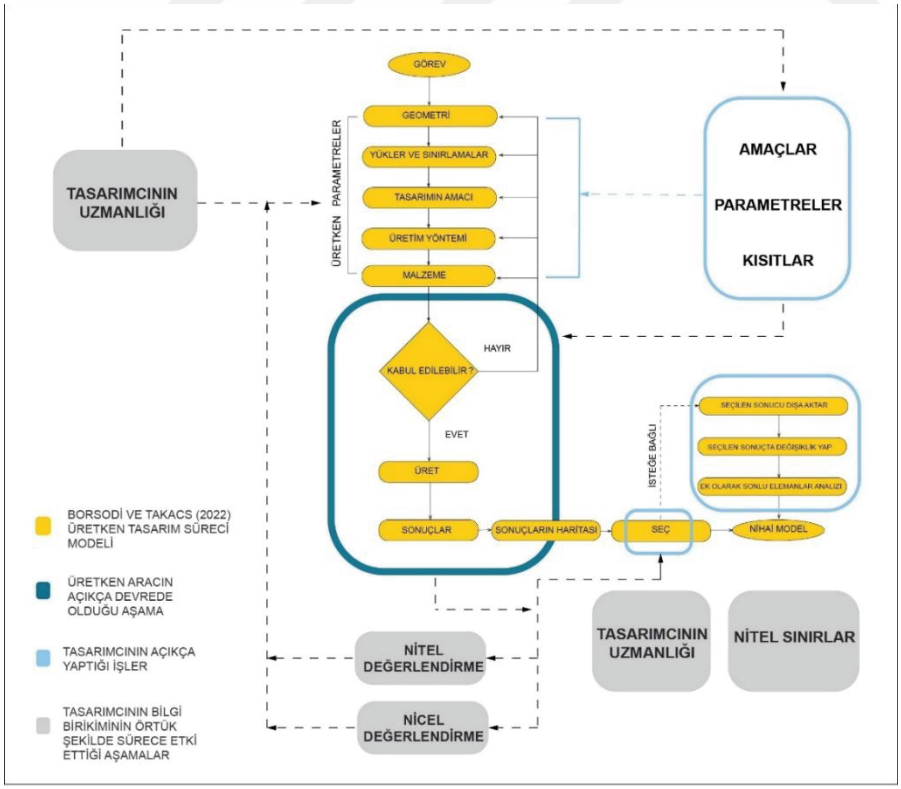
Projeyi detaylandırma, form oluşumu ve alternatif üretimine ilişkin bulgular, üretken tasarım sürecinin eskiz aşamasındaki formların, korunan ve engel geometrilere göre şekillenmeye başladığını; alternatif formların ise programda tanımlamaların yapılmasıyla oluştuğunu göstermektedir. Yapay zeka destekli algoritmanın devreye girdiği aşama, üretken tasarım ve geleneksel tasarım sürecinde tasarımcının rolünün, aktiflik açısından aynı olmadığını göstermektedir. Üretken süreçte tasarımcının kontrol ettiği ve algoritmanın kontrol ettiği aşamalar bulunmaktadır. Bu durum, tasarımcının süreçteki rolünün geri planda kaldığı noktalara işaret etmektedir.

Karar verme ve yinelemeli düşünmeye yönelik bulgular, üretken tasarım sürecinde tanımlanan girdilerin sonuçlar üzerindeki etkisine dikkat çekmektedir. Hem erken aşamada hem de alternatiflerin oluşma aşaması ve nihai sonuçların değerlendirilme aşamasında, tanımlanan parametreler üzerinde değişiklik yapılabilmesinin, özellikle hızlı sonuçlar elde ederek zaman yönetimine katkı sunduğu gözlemlenmiştir. Katılımcıların bazılarının, üretken tasarım algoritmasının alternatifleri oluşturduğu iterasyon sürecinde karar değiştirerek parametreleri yeniden tanımladığı gözlemlenmiş, bu sayede nihai sonuçların oluşması beklenmeden müdahale edebilme imkanı oluşmuştur. Özellikle karmaşık yapıdaki geometrilerle çalışan katılımcıların sonuç alma süresinin uzadığını gösteren bulgular göz önüne alındığında, erken müdahale edebilmenin zaman yönetimine katkısı dikkat çekmektedir.

Sonuçların ergonomik açıdan değerlendirilmesine yönelik bulgular, üretken aracın önerdiği formların kullanıma uygunluk ve ergonomik uyum açısından yetersiz kalması sebebiyle revizyon ihtiyacı oluştuğunu göstermektedir. Girdi tanımlamada yapılan hatalar ya da ürün kullanıcı ilişkisinden çok alternatif formları keşfetmeye öncelik verilmesinden kaynaklanan sorunlar dikkat çekmektedir. Ürünün bedenle ilişki kuran yüzeylerini korunan geometri olarak tanımlayan katılımcıların, ergonomik açıdan daha kontrollü sonuçlar aldığı ancak form çeşitliliği açısından sınırlı kaldıkları belirlenmiştir. Bunun yanında, temas yüzeylerinde

korunan geometri tanımlaması yapılmadığında, üretken tasarımın optimizasyon ilkeleri gereğince malzeme eksiltmesi ya da biriktirmesi sebebiyle, kullanıma uygun olmayan sonuçların oluştuğu ancak daha çeşitli form alternatiflerinin elde edildiği ortaya konmuştur. Bu durum, üretken tasarım sürecini yürütecek olan tasarımcının ya da geliştirme ekibinin, önceliklerini doğru şekilde belirlemesi ve doğru verilerle süreci ele almasının sonuçlar üzerindeki etkisini göstermektedir. Belirlenen alternatif sonucun dışa aktarılarak, geleneksel CAD programları üzerinde revize edilmesinin ergonomik uygunluk açısından katkı sağlayacağı gözlemlenmiştir.

Gözlem ve süreç notlarına ilişkin bulgularda vurgulanan, üretken süreçte tasarımcı ve algoritma arasındaki rol değişimine ilişkin değerlendirmenin, Borsodi ve Takacs (2022) tarafından önerilen üretken tasarım süreç modeli ve Saadi ve Yang (2023) tarafından önerilen üretken tasarım süreç modelinin bütünleştirici bir şema üzerinde konumlandırılmasıyla açıklanması hedeflenmektedir. Şekil 4.2'de, iki üretken tasarım süre modelinin, ortak bir referans şeması üzerinde eşleştirilerek tasarımcının etki alanı ile algoritmanın devreye giriş alanları ayrıştırılmaktadır.

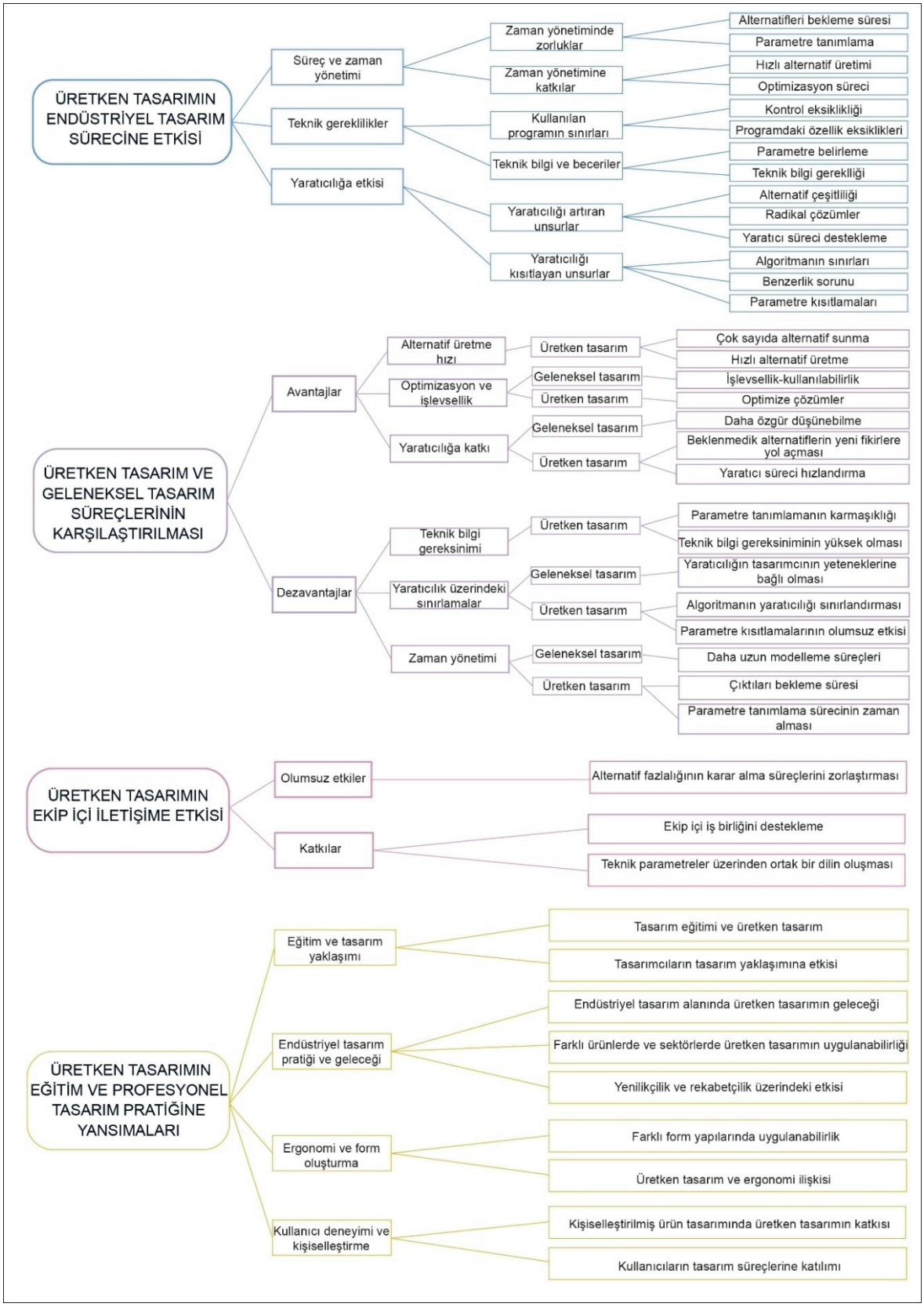



Şekil 4.2. Üretken tasarım sürecinde tasarımcı ve algoritmanın aktiflik durumu

Sol tarafta tasarımcının uzmanlık girdileri, orta bölümde parametrelerin tanımlandığı aşama ve bunu takip eden parametrelerin programa girilmesiyle eşleşen kabul edilebilirlik adımı, algoritmanın açıkça etkin olduğu üret-sonuçlar-sonuçların haritası dizilimine ek olarak seçim adımı gösterilmektedir. Gri kutucuklarla kodlanan alanlar, tasarımcının örtük bilgi birikiminin sürece olan etkisini ifade etmektedir. Borsodi ve Takacs (2022) tarafından önerilen süreç modeli turuncu renklerle kodlanan modelken, şemanın kalan bölümleri Saadi ve Yang (2023) tarafından önerilen modelden uyarlanmıştır. Bütünleştirici şema içinde ele alınan modeller, tasarımcının büyük oranda aktif rol oynadığı ve sınırları belirlediği üretken süreçte, rolünün algoritmaya devredildiği aşamaları açık şekilde göstermektedir. Algoritmanın kontrolünde gerçekleşen alternatif üretimi ve sonuçların haritalandırılması sürecinde, tasarımcının rolü yalnızca girdileri tanımlamak ve sınırları belirlemekle sınırlı olduğu görülürken, diğer tüm aşamalarda tasarımcının açık ya da örtük biçimde süreci yönlendirme gücüne sahip olduğu ortaya konmaktadır.

### 4.3.2. Katılımcı görüşleri ve tematik analiz bulguları

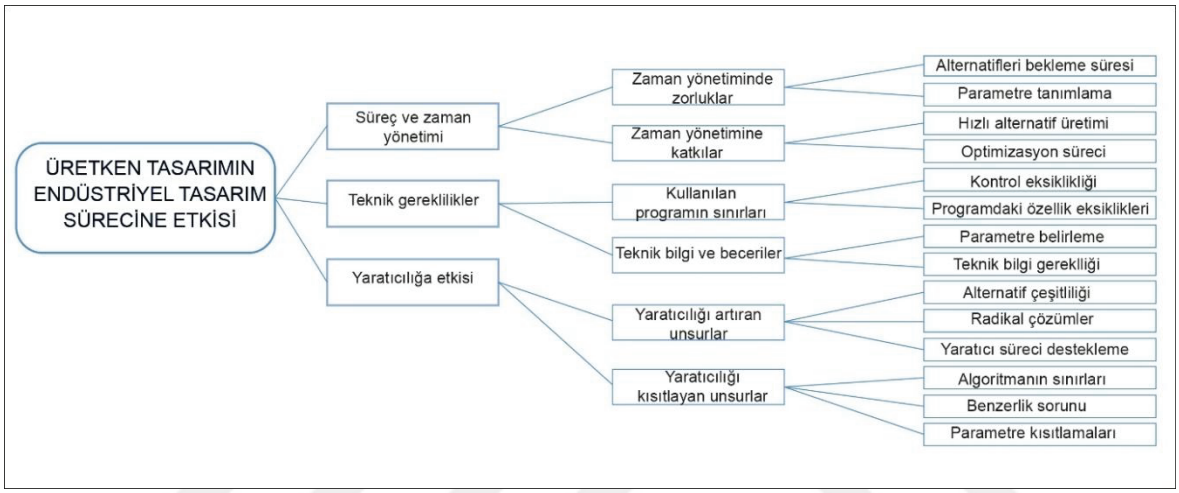
Bu bölümde, araştırmanın ana uygulama aşamasında gerçekleştirilen görüşmelerden elde edilen nitel verilerin tematik analizine yer verilmektedir. Katılımcılar, geleneksel ve üretken tasarım yöntemlerini deneyimledikten sonra, süreç boyunca edindikleri deneyimleri görüşmeler aracılığıyla aktarmıştır. Görüşmeler araştırmacı tarafından yazılı olarak kayıt altına alınmış, daha sonra bu metinler dijital ortama aktarılmış ve verilere tamamen hakim olma amacıyla araştırmacı tarafından tekrar tekrar okunmuştur. Elde edilen veri seti, bütünlüğü korunarak tematik analiz sürecine dahil edilmiş; Nvivo yazılımı aracılığıyla veriler anlamlı birimlere ayrılarak kodlanmış ve kodlanan veriler benzer özelliklerine göre temalar altında gruplandırılmıştır. Araştırma sorularıyla uyumlu olarak yapılandırılan bu temalar doğrultusunda, katılımcı görüşleri tematik düzeyde kapsamlı şekilde analiz edilmiştir.




Şekil 4.3. Görüşme verilerine ilişkin temalar

Tema 1: Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine etkisi

Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine etkileri, katılımcıların deneyimlerine dayalı görüşme verileri doğrultusunda üç temel boyutta analiz edilmiştir: yaratıcılık üzerindeki etkisi, sürecin teknik gereklilikleri ve zaman yönetimi ile ilişkilendirdiği avantajlar ve sınırlılıklar. Bu temalar, üretken tasarımın hem karar mekanizmaları hem de tasarım sürecinin yapısal işleyişi üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.




Şekil 4.4. Yaratıcılığa etki teması

*Yaratıcılığa etkisi*

Katılımcıların önemli bir kısmı, üretken tasarım sürecinin yaratıcı düşünme üzerindeki etkisini çift yönlü olarak değerlendirmiştir. Yani katılımcılar yaratıcılık üzerindeki etkiyi hem destekleyici hem de sınırlayıcı yönleriyle ele almıştır. K1AU, üretken tasarımın form üretimi bağlamında daha önce denenmemiş seçenekler sunduğunu ve bu yönüyle yaratıcı sürece katkı sağladığını ifade etmiştir:

*"Üretken tasarım ile elde edilen çıktılar, son ürüne daha radikal, daha farklı dokunuşlar yapabilme imkanı sunuyor"*

Benzer şeklide, K4AU da algoritmanın sunduğu alternatiflerin tasarım kararlarını etkileyebileceğini vurgulayarak, tasarım sürecinde yeniden değerlendirme yapılmasına yol açabileceğini belirtmiştir.

*“Hesaplamalar sonucunda fikrimi değiştiren ürünler olabildiğini gördüm.”*

Ancak birçok katılımcı, sistemin sunduğu biçimlerin algoritmaya bağlı sınırlamalara bağlı olması nedeniyle yaratıcılık üzerinde kısıtlayıcı bir etki yarattığını dile getirmiştir. K3AU bu durumu şu şekilde ifade etmiştir:

*“Programın görsel üretebilmesi için tasarımı ona göre yapıyor olmak kısıtlanmış hissettirdi ve zorladı.”*

K5AU ise, üretken tasarım sürecinin özgür bir karar alma yerine sistemin sınırları içinde kalmaya zorladığını söylemiştir:

*“Üretken tasarım program içinde daha sınırlıyken geleneksel süreçte kendi sınırlarımızı belirliyoruz”*

K1AU da bu sınırlılığı teknik açıdan şöyle tanımlamıştır:

*“En çok zorlandığım nokta, istediğim çıktıyı elde etmek için korunan ve engel olan alanları doğru bir şekilde kurgulama çabası oldu”*

*Teknik gereklilikler*

Üretken tasarım süreci katılımcılardan teknik bilgi talep etmiştir. Katılımcıların çoğu, üretken tasarım sürecinin belirli teknik bilgi ve becerileri zorunlu kıldığını belirtmiştir. Parametrelerin tanımlanması, malzeme atamaları, yük koşullarının belirlenmesi gibi girdiler yazlımı becerisi ve sistem mantığını kavrama becerisi gerektirmiştir. Bu durum, üretken tasarımın geleneksel tasarım sürecinden farklı olarak yaratıcı düşünmeyle eşit derecede hatta bazı durumlarda daha fazla teknik yeterlilik gerektirdiğini de göstermektedir. Bazı katılımcılar özellikle algoritmanın doğru çalışabilmesi için parametrelerin eksiksiz tanımlanması gerektiği vurgulanmıştır. K5AU bu konuda şöyle demiştir:

*“Üretim kısmını, tasarım kısmını ve geriye kalan teknik kısımları bilerek bu süreci gerçekleştirmek gerekir. Bunu tek başına yapmak zorlayabilir.”*

K6AU ise yük tanımlama ve geometri alanlarının belirlenmesinde yaşadığı zorlukları şöyle aktarmıştır:

*"Kuvvetin nereden ve nasıl uygulanacağı konusunda zorlandım…korunan geometriler, engel vs. geometrileri tanımlamak zorladı."*

Buna ek olarak kullanılan yazılımın sınırlılıkları da karar alma süreçlerinde etkili olmuştur. K1AU, algoritmik kontrolün tasarımcı lehine artırılması gerektiğini ifade etmiştir:

*"Kullanıcılara algoritmalar üzerinde daha fazla kontrol imkanı sağlanabilir. Tasarımcıya tasarımındaki kriterleri özelleştirmesi imkanı sunan araçlar eklenebilir."*

K5AU da yazılımın sunduğu araçları yetersiz bularak şunları eklemiştir:

*"Kompleks tasarımlar için farklı komutların eklenmesi ve referans olabilecek görsel ekleme özelliği gelebilirdi."*

*Süreç ve zaman yönetimi*

Katılımcılar, üretken tasarımın zaman yönetimi açısından hem avantajlı hem de zorlayıcı yönlerini deneyimlemiştir. Avantajı vurgulayan katılımcılar, belirli parametrelerle çok sayıda alternatifin üretken tasarım tarafından hızlı biçimde üretilmesinin, fikirlerin çeşitlenmesi ve karar verme sürecini olumlu etkilediğini ifade etmiştir. K2AU, aynı anda çoklu alternatif elde etmenin süreci hızlandırdığını ifade etmiştir:

*"Tek seferde birden fazla modeli çıkarması ve farklı alternatifleri görebiliyor olmak, geliştirme sürecine büyük fayda sağlayabilir."*

K1AU ise üretken tasarımdaki yineleme (iterasyon) özelliğinin karar vermeyi kolaylaştırdığını vurgulamıştır:

*"Tüm iterasyonları görebilmek, farklı alternatifler arasında en iyi seçimi yapma ve karar verme süreçlerini kolaylaştırabilir."*

Ancak sürecin bazı noktalarında zaman yönetimi zorlayıcı hale gelebilmiştir. Katılımcıların parametre tanımlama aşamasında yazılıma tam olarak hangi bilgiyi gireceklerini belirlemekte zorlandıkları ve sistemin önerdiği biçimlerin oluşturulmasının zaman aldığı görülmüştür. Özellikle sürecin başlangıcında parametre tanımın ve veri hazırlığı gibi adımların zaman alıcı olduğu, bazı katılımcılar tarafından dezavantaj olarak değerlendirilmiştir. K1AU bu durumu şöyle açıklamıştır:

*"Üretken tasarım yöntemi, parametre tanımlama ve veri hazırlama gibi başlangıç aşamalarında geleneksel yöntemlere göre daha fazla zaman alır."*

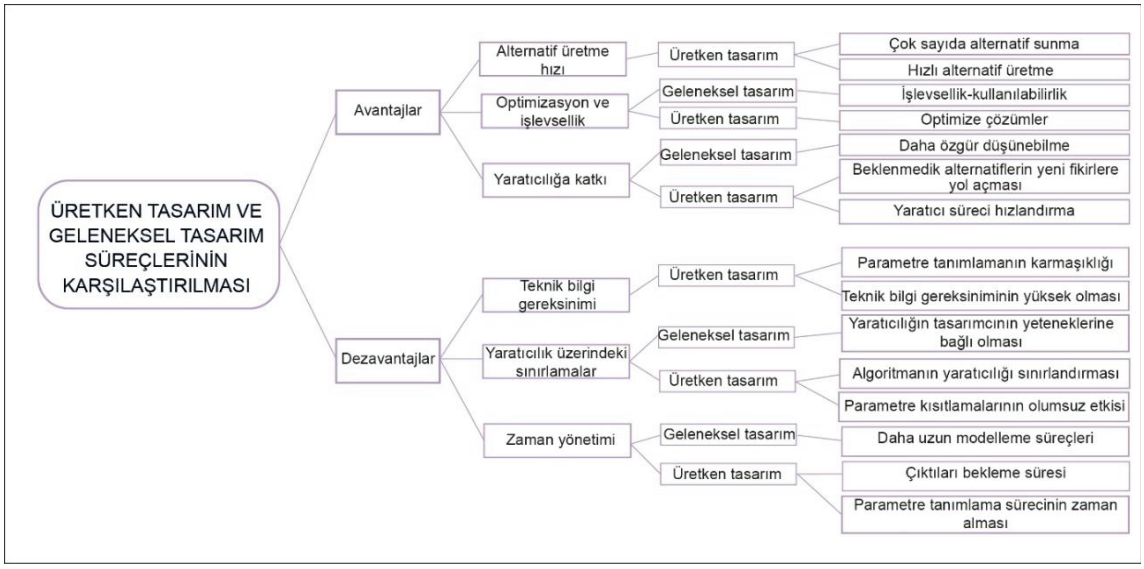
K3AU da sistemin alternatifleri üretme süresini şu şekilde değerlendirmiştir:

*"Sonuçların üretilmesini beklemek…zaman alıcı"*

Bu üç alt tema, üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine olanaklar ve sınırlılıklar çerçevesinde farklı yönlerden etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Katılımcıların teknik yeterlilik düzeyleri, sistemle kurdukları ilişki ve süreci kontrol etme stratejileri bu yöntemin algılanış ve uygulanış biçiminde rol oynamıştır.

Tema 2: Üretken ve geleneksel tasarım süreçlerinin karşılaştırılması

Katılımcı görüşlerinden elde edilen bulgular, üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin süreç işleyişine ek olarak karar verme, yaratıcılık, teknik gereklilikler ve zaman yönetimi gibi unsurlar açısından da belirgin farklılıklar barındırdığını ortaya koymuştur. Bu sebeple, her iki yöntemin karşılaştırmalı analizi tasarım sürecine ilişkin yöntem ve tercihlerin altında yatan gerekçeleri anlamak için önemlidir.




Şekil 4.5. İki farklı sürecin karşılaştırılmasına ilişkin tema

Bu tema altında, yöntemlerin dezavantajları ve avantajları iki ayrı alt başlıkta ele alınarak her bir yöntem kendi bağlamı içerisinde değerlendirilmiştir. Elde edilen görüşme bulgularına dayanarak güçlü ve zayıf yönler tematik olarak gruplandırılmıştır.

*Dezavantajlar: Üretken ve geleneksel süreçlerin karşılaştırılması*

Tasarım sürecinde kullanılan yöntemler, sadece çıktıların niteliğini değil aynı zamanda tasarımcının karar alma biçimlerini, yaratıcılık potansiyelini ve zaman yönetimine ilişkin planlamalarını da doğrudan etkilemektedir. Katılımcı görüşleri doğrultusunda, üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin dezavantajları üç ana başlık altında gruplanmıştır: teknik bilgi gereksinimi, yaratıcılık üzerindeki sınırlamalar ve zaman yönetimi ile ilgili zorluklar. Her iki yöntemin de kendi bağlamı içinde bazı sınırlılıklar barındırdığı görülmektedir.

*Teknik bilgi gereksinimi (üretken tasarım)*

Üretken tasarım yöntemi, parametrik tanımlamalar, yük ve sınır geometrilerinin tanımlanması, malzeme ve üretim biçimlerinin seçimi gibi teknik bileşenlere dayanmaktadır. Bu durum, tasarımcının sadece yaratıcılığı destekleyen özelliklerine ek olarak mühendislik bilgisine de sahip olmasını gerektirmektedir. K1AU bu konuda şu değerlendirmeyi yapmıştır:

*"Üretken tasarım yöntemi ile tasarım yapmak bu süreci teknik açıdan iyi bilmeyi gerektiriyor."*

Benzer şekilde K3AU üretken tasarım sistemine girilen bilgilerin doğruluğunun nihai çıktılar üzerinde doğrudan etkili olduğunu vurgulamıştır:

*"Teknik bilgiler yanlış uygulanırsa, özellikleri yanlış olan bir sonuç ortaya çıkar."*

Bu ifadeler, üretken tasarımın teknik yükünün, özellikle mühendislik bilgisi, yazılım kullanımı ve algoritmik düşünme gibi alanlarda ek sorumluluklar getirdiğini göstermektedir.

*Yaratıcılık üzerindeki sınırlamalar*

Üretken tasarımın algoritmaya bağlı işleyişi, bazı katılımcılar tarafından yaratıcılığı kısıtlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir. K1AU bu etkiyi şöyle ifade etmiştir:

*"Üretken tasarımın etkin bir şekilde kullanımı, teknik bilginin kullanımı ve yaratıcılık arasındaki dengenin bozulmasına yol açarak tasarımcının özgünlüğünün, kendi kararlarını verme yetisinin azalmasına sebep olabilir"*

K4AU ise şöyle bir ifade kullanmıştır:

*"Benden çok yapay zekanın yaratıcılığı ortaya çıkmış gibi oldu"*

Bu yorumlar, üretken tasarımın sunduğu alternatiflerin tasarımcının yaratıcı düşünce alanını daralttığı, bazı durumlarda tasarımın kontrolü noktasında rolün tasarımcıdan üretken araca kaydığı izlenimini desteklemektedir.

*Zaman yönetimi ile ilgili zorluklar*

Üretken tasarım yöntemi bazı süreçlerde hızlanmayı sağlasa da özellikle algoritmanın işleyişi için gerekli olan girdilerin tanımlandığı daha erken aşamalarda zaman kayıplarına yol açabilmektedir. Katılımcılar, parametre tanımı, optimizasyon ayarları ve sistemin öneri üretme süresini zaman yönetimin açısından problemli bulmuştur. K6AU şöyle söylemiştir:

*"Sürecin üretim kısmı ve modelin oluşumunu beklemek uzun sürüyor"*

Ayrıca parametre tanımının belirsizliği ve sistemin işlem süresi zaman yönetiminde öngörülemeyen gecikmelere neden olmuştur.

*Geleneksel yöntemin dezavantajları*

Geleneksel tasarım süreci katılımcılar tarafından bazı sınırlılıklar üzerinden değerlendirilmiştir. Özellikle yaratıcılığın yalnızca tasarımcının sezgisel ve deneyimine yönelik kararlarına bağlı olması, bazı katılımcılara göre özgürlükten daha çok tekrar eden formlar oluşturma riskine sebep olmaktadır. K5AU bu durumu şöyle özetlemiştir.

*"Geleneksel tasarım sürecinde kendi sınırlarımızın içinde oluyoruz ve bazen yaratıcılığımız azalabiliyor, benzer tasarımlar yapabiliyoruz."*

Zaman yönetimin açısından da benzer bir görüş bildirilmiştir. K3AU, geleneksel süreçte her modelin manuel olarak oluşturulmasının zamana etkisini şöyle ifade etmiştir:

*"Tasarımcı kendi modellese daha çok zamanını alabilirdi"* (oluşturulan alternatifler için)

K1AU ise iki yöntem arasındaki zaman farkını karşılaştırarak şöyle söylemiştir:

*"Özellikle sürecin verimliliği açısından kısa zamanda geniş form çeşitliliği yaratması, geleneksel yönteme göre belirgin farklardan birisidir"*. Bu ifade üretken tasarım karşısında geleneksel tararım yönteminin dezavantajı olarak düşünülebilir.

Bu bulgular, her iki yöntemin belirli koşullarda tasarımcının yaratıcılığını ve zaman yönetimini sınırlayabildiği göstermektedir. Üretken tasarım teknik beceriye ve algoritmaya dayalı kontrole daha fazla bağımlılık gerektirirken, geleneksel yöntem sezgisel yaklaşıma yatkın olabilmekte ve tekrar riski kaynaklı zaman kayıpları oluşturabilmektedir.

*Avantajlar: Üretken ve geleneksel tasarım süreçlerinin karşılaştırılması*

Bu başlık altında, katılımcı görüşlerine dayalı olarak üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin olumlu yönleri üç başlık altına değerlendirilmiştir: yaratıcılığa katkı,

optimizasyon ve işlevsellik ve alternatif üretme hızı. Her iki yöntemin de farklı bağlamlarda güçlü yönler sunduğu; avantajların yöntemin doğası, tasarımcının yaklaşımı ve tasarlanan ürünün yapısal özelliklerine göre değişebildiği görülmüştür.

*Yaratıcılığa katkı*

Katılımcılar, üretken tasarım yöntemini sunmuş olduğu biçimsel çeşitlilik ve sistemin önerdiği alternatifler sayesinde, yaratıcı sürecin hızlandığını ve yeni bakış açıları geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Özellikle fikir üretme ve form geliştirme aşamalarında algoritmanın önerdiği sıra dışı seçeneklerin, tasarım sürecinin erken aşamalarındaki fikir üretme aşamasını da destekleyebileceği görülmektedir. K2AU, bu durumu şöyle ifade etmektedir:

*"Fikir verme ve form geliştirme aşamasında kullanıldığında, sunulan farklı modeller ile akla ilk anda gelmeyen seçenekleri de göz önüne getirebilir ve yaratıcılığımızı destekleyebilir"*

K1AU da, üretken yöntemin biçim üretme hızını artırdığına ve bu durumun yaratıcı süreci olumlu etkilediğine dikkat çekmiştir:

*"Üretken tasarım ile alternatif üretme süreçlerinin hızlandığını söyleyebilirim. Elde ettiğim sonuçlarla yaratıcılığımın arttığını ve bu sonuçlarda daha az malzeme kullanımı sağladığını gözlemledim"*

Bu ifadeler üretken tasarımın farklı alternatifler sunmasını yoluyla düşünsel açıdan esneklik sağladığını ve tasarımcıyı kalıplaşmış çözümlerden uzaklaştırarak yenilikçi fikirlere yönelttiği göstermektedir.

Geleneksel tasarım sürecinde ise bazı katılımcılar, yaratıcı süreçle ilgili kontrolün tamamen tasarımcıda olması nedeniyle özgünlüklerini daha rahat koruyabildiklerini vurgulamıştır. K6AU bu durumu şöyle dile getirmiştir:

*"Geleneksel yaklaşım ile özgünlüğümü koruyabileceğimi düşünmekteyim"*

Bu görüş, geleneksel yöntemin teknik verilere bağlı olma zorunluluğu olmadan, bireysel kararlara fırsat veren yapısı ile bazı tasarımcılar için daha özgür bir süreç yürütülmesine imkan verdiğini göstermektedir.

*Optimizasyon ve işlevsellik*

Üretken tasarımın diğer bir önemli avantajı, teknik parametrelerle ilişkilendirilmiş biçimlerin oluşturulmasında optimize edilmiş sonuçların ortaya çıkmasıdır. K1AU, üretken tasarımın bu yönünü şu ifadeyle açıklamıştır:

*"Avantaj olarak tasarımcıların teknik altyapısı gelişir ve daha optimize, daha işlevsel ürünler tasarlama şansına sahip olurlar."*

Bu değerlendirme, üretken tasarımın biçim önerileri sunmasına ek olarak çözüm önerilerinin üretilebilirlik, dayanıklılık ve malzeme kullanımı gibi mühendislik ölçütlerine göre yönlendirdiğini göstermektedir. Ancak bu avantaj tüm ürün türleri için geçerli olmayabilir. Bazı katılımcılar, üretken sistemin her form ya da strüktüre uygun çalışmadığını ve kullanıcı deneyimi, ergonomi gibi unsurlar açısından eksik kalabildiğini belirtmiştir. K2AU bu konuda şunları söylemiştir:

*"Maalesef üretken tasarım her ürün ve strüktür için kullanılamıyor, her form için de kullanılamıyor Sandalye oturum alanını modellemek istediğimde denediğim farklı stillere rağmen bir türlü istediğim forma yakın model elde edemedim… ve tek parça formlarda kullanılabilirken detay işlemelerinde çok başarılı olabilecek durumda değil henüz."*

K4AU da benzer şekilde üretken tasarımın işlevsellik ve kullanıcı deneyimi açısından sınırlı güven verdiğin vurgulamıştır:

*"Üretken tasarım çıktılarında fonksiyonellik ve kullanıcı deneyiminden tam emin olamıyorum"*

Bu değerlendirmeler, üretken tasarımın avantajlarının belirli ürün türleri ve tasarım hedeflerine göre değişkenlik gösterebileceğine işaret etmektedir.

*Alternatif üretme hızı ve çeşitliliği*

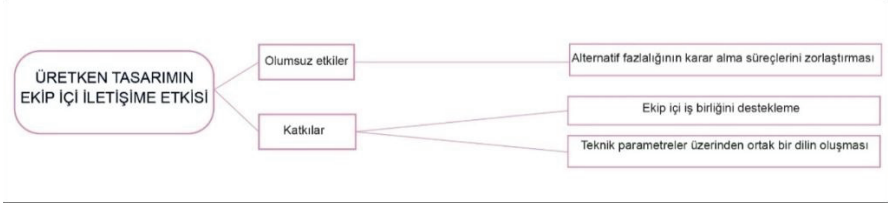
Katılımcılar, üretken tasarım sürecinde en belirgin avantajlardan birinin, aynı anda çok sayıda alternatif üretme kapasitesi olduğunu vurgulamışlardır. Bu durum zaman kazancına ek olarak karar verme sürecine destek olacak biçim çeşitliliği açısından da önemli görülmektedir. Üretken tasarım aracının alternatiflerin eş zamanlı olarak görülebilmesinin tasarım sürecine olan katkısı K2AU şu şekilde ifade etmiştir:

*"Tek seferde birden fazla modeli çıkarması ve farklı alternatifleri eş zamanlı olarak görebiliyor olmak, geliştirme sürecine büyük fayda sağlayabilir"*

Bu görüşler, üretken tasarımın özellikle erken aşama fikir üretimi, ön değerlendirme ve çeşitlilik arayışı gibi süreçlerde güçlü bir destek sunduğunu ortaya koymaktadır. Bulgular, üretken ve geleneksel tasarım yöntemlerinin farklı bağlamlarda farklı avantajlar sunduğunu göstermektedir. Üretken tasarım, hızlı biçim üretimi, parametrik kontrollü yapı ve teknik optimizasyon açısından öne çıkarken, geleneksel tasarım yöntemi yaratıcı sürecin bireysel olarak yürütülmesini desteklemesi açısından bazı katılımcılar tarafından daha özgür bulunmuştur. Tercih edilen yöntem, tasarım probleminin yapısına, ürün türüne ve tasarımcının yaklaşımına göre anlam kazanmaktadır.

Tema 3: Üretken tasarımın ekip iletişimine ve ortak dile katkısı

Katılımcı görüşlerinden elde edilen bulgular, üretken tasarım yönteminin bireysel süreçler üzerindeki deneyimlerine dayanarak elde edilmiş olsa da ekip içi iletişimi ve geliştirme ekibinde ortak dilin oluşumuna katkı sağlayabileceği düşünülmüştür. Özellikle çok sayıda alternatif üretimi, parametrik karar alma zorunluluğu ve algoritmaya dayalı ilerleyen işleyiş biçimiyle ekip üyeleri arasında etkileşimi yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir. Bu açıdan tema iki alt başlık altında gruplandırılmıştır: üretken tasarımın ekip iletişimine getirebileceği zorluklar ve üretken tasarımın ekip iletişimini destekleyici katkıları.




Şekil 4.6. Ekip içi iletişime etki teması

*Üretken tasarımın ekip iletişimine getirebileceği zorluklar*

Üretken tasarım süreci, çok sayıda alternatifin eş zamanlı olarak üretilmesiyle karar verme süreçlerinde alternatifleri çeşitlendirse de bu durum ekip üyeleri arasında fikir birliğine varılmasını zorlaştırabilir. Katılımcıların bazıları, alternatif sayısının fazlalığının karar alma süreçlerini karmaşıklaştırabileceğine ve zaman yönetimini olumsuz etkileme ihtimaline dikkat çekmiştir. K1AU bu durumun şöyle ifade eder:

*"...fazla sayıda alternatif oluştuğu için ekip üyeleri arasındaki karar alma süreci karmaşıklaşabilir ve zaman alıcı olabilir."*

Benzer şekilde K3AU, sistemin sunduğu çok sayıda önerinin, ekip içinde fikir ayrılıklarına yol açabileceğini şu sözlerle ifade etmiştir:

*"...program çok fazla alternatif görsel üretebiliyor. Bu alternatiflerin seçiminde fikir ayrılıkları oluşabilir."*

Bu bulgular, üretken tasarımın çeşitlilik yaratma kapasitesinin ekip içerisinde karar alma süreçlerini geciktirebileceğini, özellikle zaman kısıtlı projelerde iletişim verimliliğini düşürebileceğini göstermektedir.

*Üretken tasarımın ekip iletişimine katkısı*

Üretken tasarım yöntemi, parametrik girdilerin belirlenmesi ve yazılımın yönlendirmeleri doğrultusunda ilerleyen bir süreç sunmasına ek olarak bulut tabanlı bir sisteme bağlı olduğu için ekip içi eş zamanlı çalışma ve düşünme, fikir üretme ve değerlendirme pratiklerini de teşvik edebilmektedir. Katılımcılar, özellikle parametrelerin birlikte tanımlanması ve çıkan sonuçların ortak biçimde yorumlanması sayesinde ekip içinde iş birliğini artırabileceğini belirtmiştir.

K5AU bu durumu şöyle açıklamıştır:

*"Ekipteki kişilerin aynı konu üzerinde düşünüp bunu iyileştirmeye çalışmaları ekip için katkı sağlayabilir. Yani üretken tasarımda gerekli parametreler teknik bilgi gerektiriyor. Aynı noktalarda farklı kişilerin ortak fikir sunmaya çalışmasıyla iletişim daha güçlenebilir"*

K1AU da farklı bakış açılarının sistem çıktıları üzerinden yapılan ortak değerlendirmelerle birleştiğini ve bu durumun yaratıcı çözümler üretilmesine katkı sunabileceğini belirtmiştir:

*"Elde edilen çıktılar ekip içerisinde farklı bakış açılarıyla değerlendirilerek daha yaratıcı çözümlere ulaşılmasına yardımcı olabilir."*

*Teknik parametreler üzerinden ortak dilin oluşması*

Üretken tasarım sürecinde, geometri, yük, üretim yöntemi, malzeme gibi teknik parametrelerin sistemle bütünleşmiş şekilde tanımlanması, ekip üyeleri arasında daha nesnel bir tartışma zemini oluşturabilir. Bu durum, özellikle kavramsal anlaşmazlıkların teknik gerekçeler üzerinden giderilmesini kolaylaştırmakta ve ortak bir terminolojinin oluşmasına katkı sağlayabilir.

K6AU bu konuda şu ifadeleri kullanmıştır:

*"Oluşturulan modeller parametrelere dayalı olduğu için üretken tasarımı kullanan bir ekip daha kolay anlaşabilir. Çünkü daha somut bir zemine dayalı."*

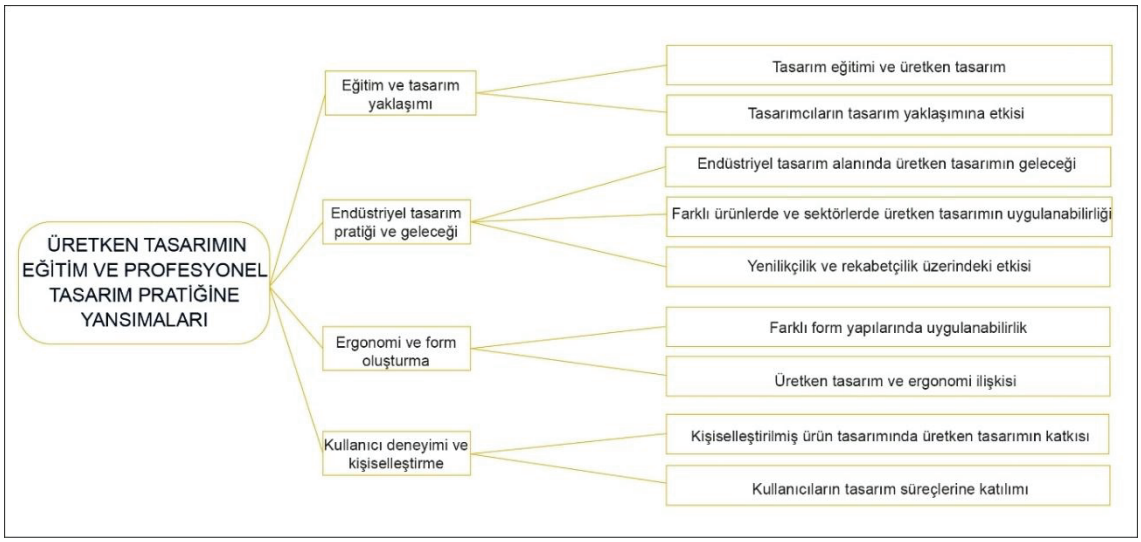
K1AU ise üretken tasarımın, ekip içinde karar alma ve değerlendirme süreçlerini ortak bir paydada buluşturabileceğini şu sözlerle ifade etmiştir:

*"Ekip üyelerinin ortak tasarım kararları ile oluşan çeşitli alternatifler sürecin devamı için de ekip arasında ortak bir dil oluşmasına katkı sağlayarak etkili bir iletişim ortamı oluşturabilir."*

Katılımcıların deneyimlerinden yola çıkarak öngörüde bulundukları görüşleri, üretken tasarımın ekip iletişimi üzerindeki etkisinin çift yönlü olduğunu göstermektedir. Alternatif fazlalığı gibi unsurlar ekip içi karar alma süreçlerini zorlaştırabilirken, teknik parametrelerin ortak zeminde ele alınması ve çıktılara yönelik ortak değerlendirme imkanı iletişimi güçlendiren etmenler olabilir.

Tema 4: Üretken tasarımın eğitim ve profesyonel tasarım pratiğine yansımaları

Katılımcı görüşleri, üretken tasarımın, mesleki uygulamalar, tasarım eğitimi ve kullanıcı deneyimi üzerinde de etkileri olabileceğini ortaya koymuştur. Bu tema altında üretken tasarımın eğitime entegrasyonu, endüstriyel tasarımın geleceği ile ilişkisi, form oluşturma uygulamalarına etkisi ve kullanıcı deneyimine yönelik katkıları tasarımcı katılımcıların deneyimlerine dayalı görüşleri üzerinden ele alınacaktır.




Şekil 4.7. Tasarım eğitimi ve profesyonel tasarım pratiğine yansımalar teması

*Eğitim ve profesyonel tasarım yaklaşımı*

Katılımcı görüşlerine göre üretken tasarım bir araç olmanın ötesinde tasarım anlayışını, mesleki uygulamaları ve eğitim pratiklerini yönlendirme potansiyeline sahip olabilecek çok yönlü bir yaklaşımı temsil etmektedir. Bu açıdan, elde edilen veriler üretken tasarımın hem tasarım eğitimi hem de endüstriyel tasarım pratikleri üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya koymaktadır.

*Tasarım eğitim ve üretken tasarım*

Katılımcıların fikir birliğine vardığı bulgulardan biri de üretken tasarımın, tasarım eğitimine entegre edilmesinin gerekliliğidir. Bu yöntem teknik bir becerinin ötesinde, çok boyutlu ve farklı senaryolar için düşünme becerisi de kazandırabilir. K1AU, bu konudaki görüşünü şöyle ifade etmiştir:

"*Tasarım eğitimi içerisinde öğrencilere üretken tasarım hakkında temel bilgi ve yeniliklerin aktarılmasını çok önemli bir nokta olarak görüyorum…klasik tasarım sürecinden farklı bir deneyim sunarak öğrencilere farklı bakış açıları kazandırabilir*."

K2AU ise üretken tasarımın seçmeli ders olarak eğitim müfredatına eklenebileceğini belirmiştir:

*"…eğitimde 3. veya 4. Sınıfta seçmeli ders kapsamında almak büyük fayda sağlayabilir"*

K3AU da üretken tasarım gibi yenilikçi ve gelişmeye devam eden yöntemlerin eğitimde yer almasının mezunların piyasaya hazırlıklı olması açısından önemli olduğunu şu sözlerle ifade etmiştir:

*"Eğitim, piyasa sürecine hazırlık amacı taşıyorsa, piyasada kullanımı artan yöntemler ya da araçlar da eğitime dahil edilmeli…"*

*Endüstriyel tasarım pratiği ve geleceği*

Katılımcılar, üretken tasarımın endüstrideki yeri ve gelişim potansiyeli hakkında çoğunlukla olumlu görüş bildirmişlerdir. Birçok farklı sektörde kullanılabileceğini ifade eden katılımcılardan K1AU, şu şekilde görüş bildirmiştir:

*"Üretken tasarım yöntemi gerçekten doğru yönlendirme ve kullanım ile birlikte endüstriyel tasarım dünyasının geleceğini şekillendirebilecek bir yapıya sahip olduğunu düşünüyorum"*

K6AU ise üretken tasarımın her alanda kullanılabilir olduğunu ancak uygulama biçiminin ürünlere göre değişeceğini belirtmiştir:

*"Tüm sektörlerde kullanılabilir ancak hangi aşamada ve ürünün hangi kısımlarında kullanılacağı değişkenlik gösterir"*

K4AU üretken tasarımın belirli alanlarda yaygınlaşabileceğine yönelik öngörülerini şu şekilde açıklamıştır:

*“Mobilya, tek parça bağlantı elemanı üretimi yapan sektörler… bu alanlarda yaygınlaşabilir.”*

K1AU ise şu değerlendirmeyi yapmıştır:

“*Yenilikçi çözümler gerektiren endüstrilerde etkili olabilir. Otomotiv, protez üretimi, mobilya sektörü vb..”*

*Yenilikçilik ve rekabet açısından değerlendirme*

Üretken tasarımın sunduğu hızlı alternatif üretme ve optimize çözümler oluşturma potansiyeli, bazı katılımcılar tarafından yeniliği teşvik eden ve rekabet avantajı sağlayabilecek bir unsur olarak görüşmüştür. K1AU, bu etkinin ürün geliştirme süreçlerinde stratejilere ilişkin farklar yaratabileceğini şu sözlerle ifade etmiştir:

“*yaklaşım farklılığı ve gelişmeye devam etmesiyle…piyasada yenilikçilik ve rekabetçilik anlamında değişiklikler sağlayacağını düşünüyorum*”

K4AU ise üretken tasarımın organik yapılı özgün form üretimi sayesinde tekrar eden tasarımların önüne gererek fark yaratabileceğini belirtmiştir:

“Kopyalama durumunu yok edeceğini düşünüyorum. Benzersiz formlar üretmesi sayesinde yeniliği artırıp rekabete katkı sağlayabilir bence”

Uygulama sürecini deneyimleyen katılımcıların görüşlerine dayanan bu bulgular, eğitimde üretken tasarıma yer verilmesinin ve profesyonel uygulamalarda konumlandırılmasının sağlayabileceği potansiyel katkılara işaret etmektedir. Tasarım öğrencilerine problem çözme becerisi, farklı senaryolara göre süreç yürütme becerisi kazandırabilirken, endüstride ise tasarım sürecinin süresini ve niteliğini dönüştürebilecek potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

*Form ergonomi ve kullanıcı deneyimi*

Katılımcı görüşleri, üretken tasarımın teknik çıktılara ek olarak form oluşturma, ergonomi ve kullanıcı deneyimi gibi kritik tasarım bileşenleri üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.

*Form oluşturmadaki güçlü yönler ve sınırlılıklar*

Katılımcıların bir bölümü, üretken tasarımın özellikle tek parça ürünlerin form yapılarında etkili olduğunu ve biçimsel olarak daha özgün çözümler sunduğunu belirtmiştir. Özellikle optimizasyon ile sağlanan minimum malzeme kullanımının biçimlere dolu kesitli boşluklu yapılar olarak yansımaktadır. Üretken tasarım ve form ilişkisine ilişkin K3AU şu değerlendirmede bulunmuştur:

"*Denge, hafiflik, minimum alan maksimum verim gibi kavramlar ön plana çıkabilir*"

Ancak katılımcılar karmaşık formlar ya da profiller gibi boş kesitli yapılarda sistemin yetersiz kaldığını vurgulamıştır. Aynı katılımcı K3AU şu ifadeleri kullanmıştır:

"*…üretken tasarım profiller için sorun yaratır*."

K2AU da bu sınırlamaya dikkat çekmiştir:

"*Sandalyenin oturum alanını modellemek istediğimde… farklı denemeler yapmama rağmen istediğim forma yakın model elde edemedim*."

*Ergonomi ile ilişkisi*

Üretken tasarımın ergonomiye doğrudan bir katkısı olmasa da kişiselleştirilmiş ürünlerde dolaylı katkı sınabileceği ifade edilmiştir. K1AU, üretken tasarımın belirli kullanıcı gruplarına özel çözümler sunma potansiyeline dikkat çekmiştir.

"*Dolaylı olarak ergonomiye katkı sağlayabilir… kişisel ihtiyaçlara göre uyarlanabilir ürünler üretme konusunda avantaj sağlayabilir."*

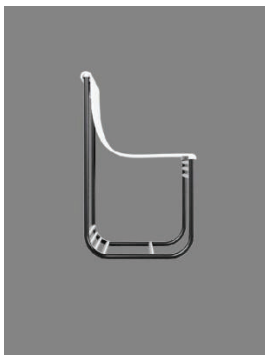
K2AU ise üretken tasarımın doğru kullanıldığında etkili ve ergonomik sonuçlar verebileceğini ancak amatör kullanıcılar için sorun yaratabileceğini belirtmiştir:

"*Eğer kullanıcılar üretken tasarımı gerçekten çok etkin bir şekilde kullanırlarsa ergonomi açısından faydalı olabilir ancak amatörler için kesinlikle sorun yaratacaktır."* K2AU kullanıcılar derken üretken tasarımı uygulayacak olan tasarımcı, mühendis gibi üretken araç kullanıcılarını belirtmek istemiştir.

### 4.3.3. Ana uygulama kapsamındaki 3B tasarım çıktılarının değerlendirilmesi

Bu bölümde, ana uygulama kapsamında elde edilen 3B dijital modeller değerlendirilecektir. Her biri üç oturuma katılan altı katılımcı toplamda on sekiz model üretmiştir. Üretken tasarım yöntemiyle yürütülen süreçlerde alternatif üretimi her seferinde daha fazla olmuş ancak katılımcılardan karşılaştırma için bir alternatifi belirlemeleri istenmiştir. Birinci oturumda geleneksel yöntemle en az iki parçadan oluşan bir sandalye tasarımı yapılmıştır. İkinci ve üçüncü oturumlarda ise üretken tasarım yöntemiyle sandalye tasarımları yapılmıştır. İkinci oturumda, en az iki parça, üçüncü oturumda tek parça olacak şekilde sandalye tasarlamaları istenmiştir. Karşılaştırma sürecine yalnızca görsel veriler değil aynı zamanda, katılımcı görüşmeleri, süreç gözlemleri ve tutanak içerikleri de dikkate alınarak çok yönlü bir değerlendirme yapılmıştır. Analiz beş ana tema etrafında yapılandırılmıştır: biçimsel çeşitlilik, yapısal özellikler, kullanım kolaylığı, üretilebilirlik ve alternatif zenginliği. Bu temalar, fiziksel modelin görsel niteliklerine ek olarak sürece ilişkin deneyime dayalı ve yorumlayıcı verilerle değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11. Oturum 1 karşılaştırma çizelgesi 1

| Birinci oturum: Geleneksel tasarım yöntemi,120 dakika, en az iki parçalı, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K1AU |  |  |  |
| K2AU |  |  |  |
| K3AU |  |  |  |

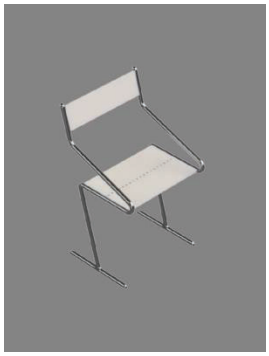
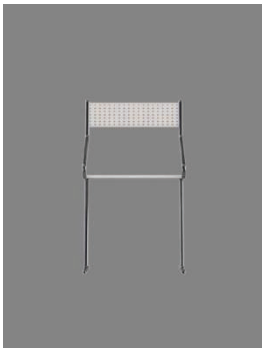
Birinci oturumun ilk uygulama gününde katılımcılardan, geleneksel tasarım yöntemiyle en az iki parçalı, daha açık bir ifadeyle taşıyıcı çelik strüktür ve bedenle ilişki kuran yüzeyler için polipropilen kabuk strüktürden oluşan, en az 100 kg ağırlık karşısında dayanım gösterebilecek sandalye tasarlamaları istenmiştir.

Oturum süresi 120 dakika olarak belirlenmiş ve katılımcıların temel çizim, modelleme ve biçim kararlarını kendi deneyim ve sezgileriyle yönlendirmeleri beklenmiştir.

Araştırmacı tarafından yapılan yönlendirmeler yalnızca süreç aşamaları ve aşamalar için verilen süreler içindir. Bu oturumda geliştirilen tasarımların genel özelliği bilindik ve teknik olarak uygulanabilir form yaklaşımlarına sahip olmalarıdır. Katılımcılar, form üretiminde kullanıcı ergonomisini doğrudan dikkate alarak sırt eğimi, oturma yüzeyi ve denge gibi unsurları ön planda tutmuştur. Ayrıca malzeme ve form açısından geleneksel yöntemlerle üretilebilecek çözümler sunulmuştur. Bu oturumda herhangi bir dijital üretken sistem kullanılmamış ve tüm tasarım kararları katılımcının kendi deneyimi, görsel referansları ve sezgisel yaklaşımına bağlı olarak şekillenmiştir.

Elde edilen modellerde yalınlık, işlevsellik ve üretilebilirlik açısından yüksek uygulanabilirlik düzeyi görülmektedir.

Çizelge 4.12. Oturum 1 karşılaştırma çizelgesi 2

| Birinci oturumun 2. gün: Geleneksel tasarım yöntemi, 120 dakika, en az iki parçalı, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K4AU |  |  |  |
| K5AU |  |  |  |

Çizelge 4.12. (devam) Oturum 1 karşılaştırma çizelgesi 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| K6AU |  |  |  |

Birinci otumun ikinci gününde de katılımcılardan, geleneksel tasarım yöntemiyle taşıyıcı çelik strüktür ve bedenle ilişki kuran yüzeyler için polipropilen kabuk strüktürden oluşan en az iki parçalı, minimum 100 kg ağırlık karşısında dayanım gösterebilecek sandalye tasarlamaları istenmiştir. İlk gün birinci oturumda katılımcılardan istenenler, süreç aşamaları, fiziksel koşullar ve verilen süreler bire bir aynıdır. K4AU ve K5AU, tasarım modellerinde boru büküm mantığına dayalı yapılar tercih etmiş ve geleneksel üretim yöntemleri için elverişli, yalın ve bilindik formlar oluşturmuşlardır. K6AU'nun modelinde yüzeylerin hakim olduğu bir taşıyıcı üstüne kabuk strüktür görülmektedir. Bu model, diğer modellere kıyasla üretilebilirlik açısından daha sınırda bir yaklaşım sunmaktadır.

Katılımcıların kullanılabilirliği ön planda tuttuğu ve sırt eğim ilişkisine dikkat ettikleri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, tasarım kararlarında genel anlamda, ergonomi, denge ve malzeme mantığı belirleyici olmuştur. Bu oturumda üretken tasarım araçları kullanılmadığı için tüm modellemeler katılımcıların bireysel deneyimlerine, sezgisel yaklaşımlarına ve manuel kontrol becerilerine bağlı olarak şekillenmiştir. Üretilen modeller genel anlamda yalın ve işlevselliğin ön planda olduğu modellerdir. K6AU'nun modeli dışında geleneksel üretim yöntemleri açısında uygulanabilirliği yüksek modellerdir. K6AU'nun modeli ise biçimsel açıdan dikkat çekici ama üretilebilirlik açısından standartların dışına çıkabilecek tartışmalı bir yapıya sahiptir. Teknik uygulanabilirlik açısından diğer modellere göre risk taşıdığı, daha açık bir ifadeyle, üretim koşulları için maliyetli, karmaşık ve dayanıklılık açısından belirsizlik unsurları taşıdığı söylenebilir.

Çizelge 4.13. Oturum 2 karşılaştırma çizelgesi 1

| İkinci oturum: Üretken tasarım yöntemi, 120 dakika, en az iki parçalı, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K1AU |  |  |  |
| K2AU |  |  |  |
| K3AU |  |  |  |

Çizelgede ikinci oturumun ilk gününde geliştirilen modeller, üretken tasarım yönteminin organik yapılar oluşturan algoritmasını biçimsel olarak açık bir şekilde yansıtmaktadır. Genel olarak modellerde yapısal açıklıklar, malzeme azaltma ve dolayısıyla hafiflik hedeflenmiş ancak üretken tasarım alternatifleri açıklıklı yapılar ağırlıklı oluştursa da tüm modeller dolu kesitli üretilmiştir. Dolayısıyla malzeme azaltımına bağlı hafiflik tartışılmalıdır. Buna ek olarak biçimsel karmaşıklık, işlevin okunurluğu ve ürün kullanıcı

etkileşimi açısından tartışmaya açık çözümler oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Bu bakımdan üretken tasarım, tasarımcının form üretme gücünü artırmış olabilir ancak kullanıcı odaklı ürünlerdeki karar süreçlerinde, tasarımcının yönlendirmesini daha kritik hale getirmiştir.

Çizelge 4.14. Oturum 2 kabuk strüktür karşılaştırma çizelgesi

| | K1AU | K2AU | K3AU |
|---|---|---|---|
| Kabuk strüktüre ilişkin görseller (bedenle ilişki kuran yüzeyler) |  |  |  |
| Çözüm yöntemi | Üretken tasarım yöntemi ile oluşturulmuştur. Taşıyıcı (dolu kesitli çerçeve) strüktür ve kabuk strüktür için iki ayrı üretken süreç yürütülmüştür. Daha sonra bileşenler birleştirilmiştir. | Kabuk strüktür üretken tasarım yöntemiyle oluşturulamamıştır. Taşıyıcı strüktür üretken tasarımla oluşturulmuş, kabuk strüktür geleneksel yöntemdeki gibi üretken sistemin olmadığı CAD programı aracılığıyla modellenmiştir. İki yöntemle oluşturulan model birleştirilmiştir. | Kabuk strüktür proje tanımında belirtildiği şekilde ele alınmamıştır. İki ayrı bileşenden oluşması beklenen sandalye tasarımı, üretken tasarım aracında tek bileşen şeklinde tanımlanmıştır. Bedenle ilişki kuran ve kabuk strüktürü temsil eden oturma yüzeyi, korunan geometri olarak tanımlanarak üretken aracın müdahale etmesi engellenmiştir. Bu yaklaşım, proje tanımına uymasa da tasarımcıların proje tanımına göre üretken aracın kullanımının uyarlanabilirliğini göstermesi bakımından önemlidir. |

Kabuk strüktürlerin ele alınış biçimi, üretken tasarımın sınırları ve tasarımcı müdahalesi bakımından dikkat çekici farklılıklar sunmaktadır.

K1AU, taşıyıcı ve kabuk bileşenleri üretken yöntemle ayrı ayrı oluşturup birleştirerek üretken süreci daha detaylı deneyimleme şansı bulmuştur. K2AU, taşıyıcı strüktürü üretken yöntemle oluştururken, kabuk strüktürü geleneksel tasarım süreçlerinde kullanılan CAD araçlarıyla tasarlayarak farklı bir çözüm üretmiştir. K3AU ise kabuk strüktürü ayrı bir üretken sürece dahil etmeden, taşıyıcı strüktürler bir bütün halinde tek parça bir tasarım yaklaşımı sergilemiştir.

Süreçteki farklı yaklaşımlar, üretken sistemin optimizasyon ve algoritma işleyişine ek olarak, tasarımcının müdahale stratejilerine ne ölçüde olanak tanıdığına ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır. Kabuk strüktürün kullanıcı ile kurduğu doğrudan ilişki düşünüldüğünde, bu yüzeylerin üretken sistemde yeterince esnek ele alınamaması, ergonomi ve işlevsellik açısından tasarımcının ek müdahalesini gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.15. Oturum 2 karşılaştırma çizelgesi 2

| İkinci oturum 2. gün: Üretken tasarım yöntemi, 120 dakika, en az iki parçalı, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K4AU |  |  |  |
| K5AU |  |  |  |

Çizelge 4.15. (devam) Oturum 2 karşılaştırma çizelgesi 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| K6AU |  |  |  |

İkinci oturumun ikinci gününde yani diğer üç kişilik katılımcı grubu ile geliştirilen modeller de üretken tasarımın form üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. K5AU diğer iki katılımcıya göre daha yalın bir model ortaya koymuştur. Bu durum, üretken tasarımın oluşturduğu alternatiflerin her ne kadar algoritmaya ve onu organik biçimler üretmeye dayalı işleyişine bağlı olsa da tasarımcının kontrolünün süreç içindeki etkisini açıkça göstermektedir.

K5AU ve K6AU, proje tanımında belirtilen iç mekan bar sandalyesi tasarımı için ürünün kullanıcı ile etkileşimini düşünerek bir ayak koyma bölümü tanımlamışlardır. İşlevselliği ve ergonomik boyutu tartışmaya açık olsa da bahsedilen modeller üzerinden, tasarımcının kontrolünün işlevsellik ve kullanılabilirlik açısından yönlendirici etkisinin olduğu ve üretken tasarımın bu konuda tasarımcılara esneklik tanıdığı çıkarımı yapılabilir.

Çizelge 4.16. Oturum 2 kabuk strüktür karşılaştırma çizelgesi 2

| | K4AU | K5AU | K6AU |
|---|---|---|---|
| Kabuk strüktüre ilişkin görseller (bedenle ilişki kuran yüzeyler) |  |  |  |

Çizelge 4.16. (devam) Oturum 2 kabuk strüktür karşılaştırma çizelgesi 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| Çözüm yöntemi | Kabuk strüktür üretken tasarım yöntemiyle oluşturulamamıştır. Taşıyıcı strüktür üretken tasarımla oluşturulmuş, kabuk strüktür geleneksel yöntemdeki gibi üretken sistemin olmadığı CAD programı aracılığıyla modellenmiştir. İki yöntemle oluşturulan model birleştirilmiştir. | Üretken tasarım yöntemi ile oluşturulmuştur. Taşıyıcı (dolu kesitli çerçeve) strüktür ve kabuk strüktür için iki ayrı üretken süreç yürütülmüştür. Daha sonra bileşenler birleştirilmiştir. | Kabuk strüktür üretken tasarım yöntemiyle oluşturulmaya çalışılmıştır. Fakat katılımcının girdiyi tanımlarken yaşadığı problem, otuma yüzeyinin boş kalmasına sebep olmuştur.<br><br>Katılımcı tarafından tekrar tanımlanan geometri girdilerinden sonraki kabuk strüktür örneği |

Kabuk strüktürlerin üretken tasarım sürecine entegrasyonu bu oturumda farklı stratejilerde ele alınmıştır. K4AU, taşıyıcıyı üretken tasarım yöntemi ile oluşturmuş, kabuk strüktürü ise geleneksel yöntemle modelleyerek hibrit bir yaklaşım kullanmıştır. K5AU hem taşıyıcı hem de kabuk strüktürü üretken araçla ayrı ayrı modelleyip daha sonra birleştirmiş ve böylece sistemin potansiyelini daha detaylı deneyimleme şansı bulmuştur. K6AU ise kabuk bileşeni üretken sistem içinde oluşturmak istemiş ancak geometri tanımlama aşamasında yaşanan problemler, oturma yüzeyinin eksik ve anlamsız kalmasına sebep olmuştur. Sürecin ele alınışında yaşanan bu çeşitlilik üretken tasarımın özellikle kullanıcıyla doğrudan temas eden yüzeylerde kısıtlılıklar taşıdığını, bu noktalarda tasarımcıların girdi ve geometri tanımlamalarında ek özen göstermeleri gerektiğini ve üretken araçların ihtiyaç duyulması halinde geleneksel araçlarla desteklenme gereksinimini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.17. Oturum 3 karşılaştırma çizelgesi 1

| Üçüncü oturum: Üretken tasarım yöntemi, 60 dakika, tek parça, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K1AU |  |  |  |
| K2AU |  |  |  |
| K3AU |  |  |  |

Bu oturumda üretken tasarım sürecinin tek parça üretim kısıt altında yürütülmesi üretken tasarımın işleyişi için bir avantajken, seçilen ürünün yapısı ve tasarımcıların yaklaşımları açısından bir sınırlılık olarak değerlendirilebilir. Katılımcılar bu oturumda biçimsel bütünlük ve işlevsellik arasında bir dengeye kurmaya çalışmışlardır. K1AU'nun modeli sade ve tanımlı geçişlerle taşıyıcı strüktür ve oturma yüzeyini bütünleştirmiştir. K2AU ise taşıyıcı yapıyı oldukça baskın hale getirmiş oturma ve sırt yaslama yüzeylerinin kullanıcı ile ilişkisinde zayıf kalmıştır. K3AU'nun modelinde ise genel form üretken sistemin

algoritmasına göre yalın sayılabilir ancak ürün beden ilişkisi bağlamında yüzeylerin devamlılığı açısından yetersiz kalmıştır. Genel olarak bu gruptaki modellerde üretken sistemin sunduğu yapısal yönlendirmelerin kullanıldığı biçimsel açıdan görülmektedir. Ancak sandalyenin kullanıcı ile ilişkili alanlarının ürünün geneliyle bütünleştirilmesinde bazı sınırlılıklar gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.18. Oturum 3 karşılaştırma çizelgesi 2

| Üçüncü oturum: Üretken tasarım yöntemi, 60 dakika, tek parça, minimum 100 kg taşıma dayanıklılığı | | | |
|---|---|---|---|
| Katılımcılar | Perspektif | Yan görünüş | Ön görünüş |
| K4AU |  |  |  |
| K5AU |  |  |  |
| K6AU |  |  |  |

Bu grupta geliştirilen modeller değerlendirildiğinde, K4AU'nun modeli, oturma yüzeyi ve oturma yüzeyinin zeminle ilişki kuran taşıyıcı bölümü arasında kalan açıklıklar sebebiyle üretilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından bazı belirsizlikler taşımaktadır.

K5AU'nun modeli ise gövdeyle bütünleşik bir oturma yüzeyi ve sırt desteğiyle üretken tasarım- ergonomi ilişkisine iyi bir örnek teşkil etmektedir. Ebette ürün üzerinden değerlendirilme yapılacak ve tartışılabilecek pek çok nokta vardır ancak süre kısıtı ve diğer sınırlılıklar altında uygulamanın yapılması ve çalışmanın amacı düşünüldüğünde K5AU'nun üretken tasarımı yönlendirme yaklaşımı önemli bir örnektir.

K6AU'nun tasarım modeli ise yapısal mantık bakımından açık ancak taşıyıcı bölümdeki oran ve denge problemleri açısından zayıf noktalar içermektedir. Özellikle ön görünüş ele alındığında simetrik olmayan malzeme atmalarının göze çarptığı ürün modelinde, simetri düzleminin tanımlanmadığı görülebilir. Bu örnek modellerde üretken tasarımın geometrik tanımlamalarının ve tasarımcının kararlarına bağlı olan girdi tanımlama alanlarının, üretken tasarımın işlevsel ve biçimsel hedeflerle olan ilişkisindeki rolü ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 4.19. Üç oturumun karşılaştırılmasına ilişkin çizelge

| | 1. Oturum | 2. Oturum | 3. Oturum |
|---|---|---|---|
| | Geleneksel tasarım<br>120 dakika en az iki parça<br>(Bir taşıyıcı çelik strüktür ve bir oturma-sırt desteği polipropilen kabuk strüktür) | Üretken tasarım<br>120 dakika en az iki parça<br>(Bir taşıyıcı çelik strüktür ve bir oturma-sırt desteği polipropilen kabuk strüktür) | Üretken tasarım<br>60 dakika tek parça<br>polipropilen ya da fiberglas<br>Sandalye |
| K1AU |  |  |  |

Çizelge 4.19. (devam) Üç oturumun karşılaştırılmasına ilişkin çizelge

| | | | |
|---|---|---|---|
| K2AU |  |  |  |
| K3AU |  |  |  |
| K4AU |  |  |  |
| K5AU |  |  |  |

Çizelge 4.19. (devam) Üç oturumun karşılaştırılmasına ilişkin çizelge

| | | | |
|---|---|---|---|
| K6AU |  |  |  |

Yukarıda yer alan çizelgede, üç oturum sürecinde altı katılımcı tarafından geliştirilen toplam on sekiz sandalye modeline ilişkin görsel çıktılar sunulmuştur. Bu çizelge, uygulamanın tümüne ait biçimsel çeşitliliği, üretim yaklaşımlarını ve oturumlar arası yapı farklılıklarını göstermeyi amaçlamaktadır. Ancak bu görsel verilerin sadece biçimsel değerlendirme ile sınırlı kalmadan her oturumun tasarım süreci ve çıktıları çerçevesinde daha derin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımla, aşağıda beş başlık altında her oturum için karşılaştırmalı değerlendirme sunulmaktadır.

Biçimsel çeşitlilik:

Üç oturum kapsamında yürütülen uygulamalar sonucunda elde edilen modeller biçimsel açıdan farklı düzeylerde çeşitlilik göstermiştir.

Çizelge 4.20. Biçimsel çeşitlilik temasının üç oturum kapsamında karşılaştırılması

| Tema | 1. Oturum (geleneksel) | 2. Oturum (üretken çok parçalı) | 3. Oturum (üretken tek parça) |
|---|---|---|---|
| Biçimsel çeşitlilik | Her katılımcı kendi yaklaşımını yansıtmıştır. Biçimler arasında benzerlikler olsa da bireysel yaklaşım farklılıkları açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Alternatifler eskiz aşamasında üretilmiştir. | Üretken tasarım çok sayıda alternatif sunmuştur ancak bu alternatifler çoğunlukla algoritmanın biçim üretme mantığına benzer şekilde organik yapıda şekillenmiştir. | Organik formlar üretmiştir. Alternatif sayısının seçilen malzeme sayısı ve üretim yöntemi sayısına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu çok parçalı üretken süreç için de geçerlidir. |

Geleneksel tasarım süreciyle yürütülen ilk oturumda he katılımcının kendi tasarım yaklaşımını yansıtma fırsatı bulduğu gözlemlenmiştir. Biçimsel açıdan modeller arasında belirgin benzerlikler bulunmamakla birlikte bu farkların daha çok bireysel tasarım anlayışından kaynaklandığı ve biçimsel çeşitliliğin daha çok sezgisel ve katılımcıların bilgi birikimine dayandığı söylenebilir.

Üretken tasarım yönteminin uygulandığı ikinci oturumda, sistemin algoritmaya dayalı sunduğu alternatifler sayesinde çok sayıda biçimsel alternatif üretilmiştir. Örnek vermek gerekirse tek malzeme seçimi için her modelde en az dört alternatif sonuç üretilmiştir. Ancak bu alternatiflerin çoğunun aynı form üretme mantığına dayalı olduğu yani organik yapıda formlar üretildiği gözlemlenmiştir.

Üçüncü oturumda ise organik ve kompleks yapılar oluşmaya devam etmiştir. Katılımcıların üretken tasarım sistemi üzerindeki kontrol düzeyi yüksektir. Özellikle oturma yüzeyi ve sırt desteği gibi bedenle doğrudan ilişki kuran alanlarda, aracın müdahalesi korunan geometri atanmasıyla sınırlandırılmıştır ve biçim kararları doğrudan tasarımcı tarafından yönlendirilmiştir.

Yapısal özellikler:

Tasarımların taşıyıcı ve kabuk bileşenler ile kurduğu yapısal ilişki, kullanılan yönteme bağlı olarak farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.21. Yapısal özellikler temasının üç oturum kapsamında karşılaştırılması

| Tema | Oturum (geleneksel) | Oturum (üretken çok parçalı) | Oturum (üretken tek parça) |
|---|---|---|---|
| Yapısal özellikler | Taşıyıcı strüktür ve oturma yüzeyi genellikle iki parça olarak ele alınmıştır. Parçalar arası bağlantı düşünülmüş ve bileşenler ona göre kurgulanmıştır | Yapısal çözümler çeşitlilik göstermiştir. Bazı katılımcılar üretken süreci her bileşen için ayrı ayrı yürütürken bazıları hibrit çözümler geliştirmiştir. | Tek parça yapılar üretken tasarımın çalışma mantığına uygun olduğu için yapısal bütünlük sağlanmıştır. Ancak doğru parametre tanımlarının modelin başarı düzeyinin doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. |

Geleneksel tasarım yönteminde geliştirilen modellerde taşıyıcı sistem ve oturma yüzeyi genellikle birbirinden ayrışabilen fakat bir yapı bütünlüğü içinde ele alınmış bileşenlerdir. Katılımcılar genellikle oturma yüzeyi ve sırt desteğini bütün olarak kurgulamış, taşıyıcı strüktür ile kullanıcı ile ilişkili kabuk strüktür arasındaki ilişkiyi bir bağlantı üzerinden kurgulamıştır.

Üretken tasarımın uygulandığı ikinci oturumda ise bazı katılımcılar taşıyıcı ve kabuk strüktürü ayrı ayrı üretken süreçlerle oluşturmuş, bazıları ise ayrı olarak kurgulanan bileşenleri yek üretken modelde bütünleştirmeye çalışmıştır. Özellikle kabuk strüktürün tasarlanma sürecinde CAD yöntemlerine geri dönme eğilimi gözlemlenmiştir. Üretken tasarım sistemi, korunan ve engel geometriler olarak tanımlanan yerlerin dışında kalan alanları keşif alanı olarak kullanmıştır. Bu da katılımcıların yapıyı, tanımladıkları parametreler göre nasıl yönlendirdiğine ilişkin farklı sonuçlara yol açmıştır.

Üçüncü oturumda ise tek parça üretim zorunluluğu ile yapısal bütünlük açısından tutarlı çıktılar üretilmiştir. Bu oturumda tek bileşenden oluşan ürünün, üretken tasarım sisteminin mantığına en uygun süreç uygulamasını sağladığı ancak doğru yönlendirme yapılmadığında tasarımın işlevsel başarısının düşebileceği anlaşılmıştır. Dolayısıyla he ne kadar üretken tasarımın algoritmasının devreye girdiği ve alternatiflerin üretildiği aşamalar olsa da üretken yöntemde de kontrol tasarımcıdadır.

Kullanılabilirlik, üretilebilirlik ve alternatif zenginliği karşılaştırması

Oluşturulan tasarım alternatiflerinin kullanıcı ile kurduğu etkileşim, üretime uygunluğu ve alternatif üretme kapasitesi, sürecin yönlendirilme şekli ve kullanılan yöntemin imkanlarına göre farklılaşmıştır. Aşağıdaki çizelgede, üç temaya ilişkin karşılaştırmalı değerlendirmeler bir arada sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Oturumların farklı temalara göre karşılaştırılmasına yönelik çizelge

| Tema | Oturum (geleneksel) | Oturum (üretken çok parçalı) | Oturum (üretken tek parça) |
|---|---|---|---|
| Kullanılabilirlik | Katılımcılar kullanıcıyı ve kullanılabilirliğe öncelik vermiştir. Ürün mekan ilişkisi, ürünle etkileşim süresi gibi faktörler doğrultusunda ergonomi göz önünde bulundurulmuştur. | Oturma yüzeyince kontrol kısmen zayıf kalmıştır. Bazı katılımcılar parametre tanımlarını sonradan revize ederek ergonomik etkiyi düzeltmeye çalışmıştır. | Ergonomik gereklilikler genel anlamda korunan ve engel geometri tanımlamalarıyla sağlanmaya çalışılmıştır. Kullanıcının etkileşim kuracağı yüzeyler korunan geometri olarak atanmış ve üretken aracın etkisi sınırlandırılmıştır. |
| Üretilebilirlik | Mevcut üretim teknikleriyle üretilebilir ve teknik olarak uygulanabilir çözümler geliştirilmiştir. | Oluşturulan formlar, çoğu durumda ancak ileri düzey eklemeli imalat yöntemleriyle üretilebilir durumdadır. Mevcut üretim teknikleri düşünüldüğünde maliyet ve üretilebilirlik açısından sınırlılıklar bulunmaktadır. | Üretilebilirlik ileri düzey eklemeli imalat tekniklerine bağlıdır. Maliyet ve üretilebilirlik açısından geleneksel yöntemle tasarlanan sandalyelere kıyasla sınırlılıklar barındırmaktadır. |
| Üretilebilirliğe ilişkin önemli not: | Üretilebilirlikle ilgili en büyük farklardan biri de sandalye üretiminde çok sık kullanılan boru kesitli profiller ile ilgili olmuştur. Geleneksel yöntem boru kesitli profillerle üretime elverişlidir. Bu durum çok ciddi bir ağırlık azaltımı sağlamaktadır | Üretken tasarım dolu kesitli çözümler ürettiği için boru kesitli üretime yönelik alternatifler geliştirememektedir. Dolayısıyla özellikle bazı katılımcıların tasarladığı ürünlerin yalnızca taşıyıcı strüktürlerinin 55-60 kg ağırlığa ulaştığı gözlemlenmiştir. | |

Çizelge 4.22. (devam) Oturumların farklı temalara göre karşılaştırılmasına yönelik çizelge

| | | | |
|---|---|---|---|
| Alternatif zenginliği | Eskiz aşamasında bazı alternatifler üretilmiştir ancak tek bir model üzerinden geliştirmeye devem edilmiştir. Süre kısıt nedeniyle karar verme süreci hızla tamamlanmıştır. | Ortalama 4-6 alternatif üretilmiştir. Tanımlanan malzeme sayısının artışıyla birlikte alternatif sayısının doğrudan arttığı gözlemlenmiştir. | Ortalama 4-6 alternatif üretilmiştir. Tek parça olması alternatif sayısını sınırlamamıştır ancak model karmaşıklığı doğrudan alternatif üretme süresini etkilemiştir. Basit modeller kısa sürede, kompleks olanlar ise oldukça uzun sürede alternatif çözümleri sunmuştur. |

Geleneksel tasarım sürecinde katılımcıların kullanılabilirliği öncelikli olarak dikkate aldıkları ve buna yönelik ergonomik çözümler geliştirdikleri gözlemlenmiştir. Ürün-mekan ilişkisi ve etkileşim süresi gibi unsurlar ele alınarak karar süreçlerine doğrudan yansıtılmıştır. Üretken tasarım yönteminin kullanıldığı ikinci oturumda ise oturma yüzeyine ilişkin kontrol kayıpları dikkat çekmiştir. Bununla birlikte bazı katılımcıların, modelleme süreci sırasında parametre tanımlarını revize ederek süreci yeniden şekillendirmeleri, üretken yaklaşımda deneyimle birlikte daha iyi sonuçların alınabileceğini gösterebilir. Revizyon süreci, üretken aracın alternatifleri oluştururken, tasarımcının eş zamanlı olarak iterasyonları görebilmesiyle başlamıştır. Bu özellik süreçteki kararların tekrar gözden geçirilmesini sağlaması bakımından önemlidir. Üçüncü oturumda ergonomik etki genellikle korunan geometri ve engel geometri tanımları üzerinden sağlanarak, kullanıcının doğrudan etkileşim kurduğu alanlara müdahale kısıtlanmıştır.

Üretilebilirlik açısından geleneksel modeller teknik olarak uygulanabilir ve mevcut üretim yöntemlerine uygun yapıdadır. Üretken tasarımla elde edilen tek ve çok parçalı modellerde ise özellikle eklemeli imalat tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Karmaşık form yapıları, taşıyıcı strüktürlerin organik yapı yoğunluğu ve kabuk strüktürün yüzey davranışı sebebiyle klasik üretim tekniklerine uyum açısından ciddi sınırlılıklar gözlemlenmiştir.

Alternatif zenginliği açısından geleneksel yöntemde çözüm üretimi doğrudan nihai modele odaklanmış ve eskiz aşamasındaki alternatif denemeleriyle sınırlı kalmıştır. Üretken tasarım süreci ise farklı malzeme ve yük senaryolarıyla ortalama dört ve sekiz alternatif arasında değişen çözüm önerisi sunmuştur. Bu da tasarımcının karar verme sürecinde bir filtreleme gereksinimi duymasına sebep olmuştur. Ancak uygulama kapsamında kullanılan araç, üretim, malzeme, ağırlık gibi pek çok faktör üzerinden filtrelemeye imkan verecek bir alternatif keşfetme alanına sahiptir. Tek parça modellerde alternatif sayısı çok parçalı olanlarla benzer düzeyde kalmakla birlikte, form karmaşıklığının, alternatif üretme süresi üzerindeki etkisi belirgin şekilde görülmüştür.

Üç oturum boyunca geliştirilen 3B tasarım çıktılarının karşılaştırmalı analizi, geleneksel ve üretken tasarım yaklaşımlarının biçimsel, yapısal ve işlevsel düzeyde nasıl farklılaştığını ortaya koymuştur. Üretken tasarım sisteminin sunduğu alternatif zenginliği ve parametrik keşfetme olanakları, özellikle yapısal çeşitlilik açısından belirgin bir potansiyel taşırken; ergonomi, üretilebilirlik ve kullanıcı etkileşimi gibi alanlarda tasarımcının müdahale etmesi ve süreci yönlendirmesi hayati rol oynamıştır. Geleneksel yöntemin sezgisel ve deneyimlere dayalı karar alma gücü ile üretken tasarımın hesaplamalı avantajları arasındaki etkileşim, tasarım çıktılarının niteliğini biçimsel olarak ve teknik açıdan farklılaştırmıştır. Her yöntemin kendine özgü güçlü yönleri ve sınırlılıklarının olduğu görülmüştür.

Araştırma bulguları neticesinde oluşan temalar ve katılımcı görüşmelerinin genel değerlendirmesi, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerinin tek yönlü olmadığını göstermiştir. Bu doğrultuda, temalar aracılığıyla tespit edilen olumlu ve olumsuz etkiler tekrar gruplandırılmış ve üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkileri, ilk araştırma sorusuna yanıt verebilmek adına üç ana başlık altında değerlendirilmiştir:

- Zaman yönetimi üzerindeki etkiler
- Yaratıcılık ve yaratıcı sürece olan etkiler
- Teknik bilgi gereksinimi ve program hakimiyeti

Üretken tasarım süreci, zaman yönetimi açısından çift yönlü etkiler oluşturmuştur. Pilot ve ana uygulama süreçlerinde farklı veri toplama araçlarına dayalı olarak elde edilen veriler göstermiştir ki üretken tasarım, endüstriyel tasarım sürecini hem olumlu hem de olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bu sebeple belirlenen ana temaların hem olumlu hem de

olumsuz, daha açık bir ifadeyle destekleyici ve sınırlayıcı yönlerinin birlikte değerlendirilmesi, farklı geliştirme ekiplerinin ve proje dinamiklerinin söz konusu olabileceği gelecekteki çalışmalar için yol gösterici bir çerçeve sunma amacı taşımaktadır. Zaman yönetimi açısından üretken tasarımda, kısa sürede alternatifler oluşturma ve karar sürelerini kısaltıcı faktörler olumlu etkiler olarak, parametre tanımlama süresinin uzaması ve geometri karmaşıklığı ise olumsuz etkiler olarak ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 4.23. Zaman yönetimi üzerindeki etkiler

| Uygulama türü | Olumlu etkiler | Olumsuz etkiler |
|---|---|---|
| Pilot uygulama | Alternatiflerin kısa sürede üretilebilmesi | Teknik bilgi eksikliği nedeniyle parametre tanımlama süresinin uzayabilmesi |
| Ana uygulama | İterasyonların gözlemlenebilmesi sayesinde kararların hızla alınabilmesi<br><br>Çoklu alternatiflerin fikir çeşitliliğine katkısı | Karmaşık geometrilerin sistemde uzun işlem süresine yol açması<br><br>Parametre hazırlık sürecinin zaman alıcı olması |

Üretken tasarım araçlarının, yaratıcı sürece katkı açısından tasarımcıya yeni keşif alanları açarak öngörülemeyen biçimsel alternatiflerin ortaya çıkmasını mümkün kıldığına ilişkin bulgular elde edilmiştir.

Çizelge 4.24. Yaratıcılık ve yaratıcı sürece olan etkiler

| Uygulama türü | Olumlu etkiler | Olumsuz etkiler |
|---|---|---|
| Pilot uygulama | Organik biçimlerin yenilik potansiyelini artırması<br><br>Alternatif çeşitliliğini görmenin yeni fikirlerin gelişimini destekleme potansiyeli | Teknik bilgi gereksiniminden kaynaklı katılımcılarda ortaya çıkan kısıtlanmışlık hissi |

Çizelge 4.24. (devam) Yaratıcılık ve yaratıcı sürece olan etkiler

| | | |
|---|---|---|
| Ana uygulama | Biçimsel çeşitliliğin yaratıcı süreci tetiklemesi<br><br>Algoritmanın sunduğu sıra dışı alternatiflerin fikir geliştirmeyi desteklemesi<br><br>Alternatif oluşturma hızının yaratıcı süreç için daha fazla zaman yaratması | Bazı katılımcıların geleneksel yöntemde kontrolün daha fazla tasarımcıda olduğu, bu nedenle özgünlüğü korumanın daha kolay olduğuna ilişkin ifadeleri |

Katılımcıların büyük bir bölümü aynı zaman aralığında geleneksel yöntemle ulaşılamayacak özgün formların üretken sistem tarafından önerilmesini, yaratıcı süreci tetikleyen bir unsur olarak değerlendirmiştir. Bununla birlikte sistemin belirli algoritma sınırlarına sahip olması ve biçim üretimini parametrik girdilere dayandırması, bazı katılımcılar tarafından yaratıcı süreci sınırlandıran bir unsur olarak yorumlanmıştır.

Üretken tasarım araçlarının etkin biçimde kullanılabilmesi için belirli düzeyde teknik bilgi ve yazılım hakimiyeti gerektirdiği, bulgularla açık biçimde ortaya konmuştur. Özellikle parametre tanımlama, yük koşullarının belirlenmesi gibi aşamalar katılımcıların üretken aracın çalıştığı programa adaptasyonlarına göre farklılaşmıştır. Uygulamalar kapsamında Autodesk Fusion 360 Generative Design kullanılmıştır. Bu üretken aracın bağlı olduğu Fusion 360, tüm katılımcıların kullanım konusunda hakim olduğu bir yazılımdır. Ancak üretken tasarımın arayüzü tanıdık olsa da işleyiş biçimi, katılımcıların bazılarının sürece adaptasyonunda gecikmelere ve parametreleri tanımlarken zaman kaybetmelerine sebep olmuştur. Adaptasyon problemi ortadan kalktıkça ve katılımcılar süreçte ilerledikçe hem parametrelerin revize edilme eğilimi oluşmuş hem de katılımcılar uygulamada daha hızlı hareket etmeye başlamışlardır.

Çizelge 4.25. Teknik bilgi ve program hakimiyetine ilişkin etkiler

| Uygulama türü | Olumlu etkiler | Olumsuz etkiler |
|---|---|---|
| Pilot uygulama | Doğru girdilerde çalışıldığında daha iyi sonuçlar alınabileceğinin fark edilmesi | Teknik bilgilere göre düşünmenin tasarımcılarda yarattığı kısıtlanmışlık hissi<br><br>Teknik bilgiye sınırlı zamanda serişim sıkıntısı ve gerekli sürenin uzaması |
| Ana uygulama | Sorgulamalarla teknik bilgiye ilişkin altyapının gelişmesi<br><br>Biçimlerin mühendislik kriterlerine göre optimize edilebilmesi | Parametre tanımlama, malzeme seçimi, yük tanımlama gibi işlemlerin doğru bilgi gerektirmesi<br><br>Bazı katılımcıların algoritmanın doğru işlemesi için gereken bilgi seviyesine ulaşmakta zorlanması (Tasarımcının amaçladığı biçimsel çözümü elde edene kadar özellikle geometri tanımlamada gereken bilgi ve deneyim seviyesine geç ulaşılması) |

Teknik bilgi gereksinimi bağlamında elde edilen bulgular, üretken tasarımın yalnızca biçim üretimi değil aynı zamanda teknik kararlar alabilmeyi de gerektiren bütünleşik bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Üretken sisteme bağlı doğru sonuçların elde edilebilmesi, tasarımcının doğru girdileri sağlamasına ve yazılımın mantığını kavramasına bağlıdır. Bu durum üretken tasarım ile yürütülen süreçlerde teknik bilgi açısından gelişmeyi desteklerken bir yandan da tasarımcılar açısından bilişsel yük oluşturmuştur.

## 4.4. Ürün Yapılarının Sınıflandırılması ve AHP Modeli Üzerinden Değerlendirilmesi

Bu bölüm araştırmanın ikinci ana sorusuna odaklanmaktadır. Üretken tasarım yaklaşımının farklı yapısal ve biçimsel özelliklere sahip ürün türlerinde benzer düzeyde etkili olup

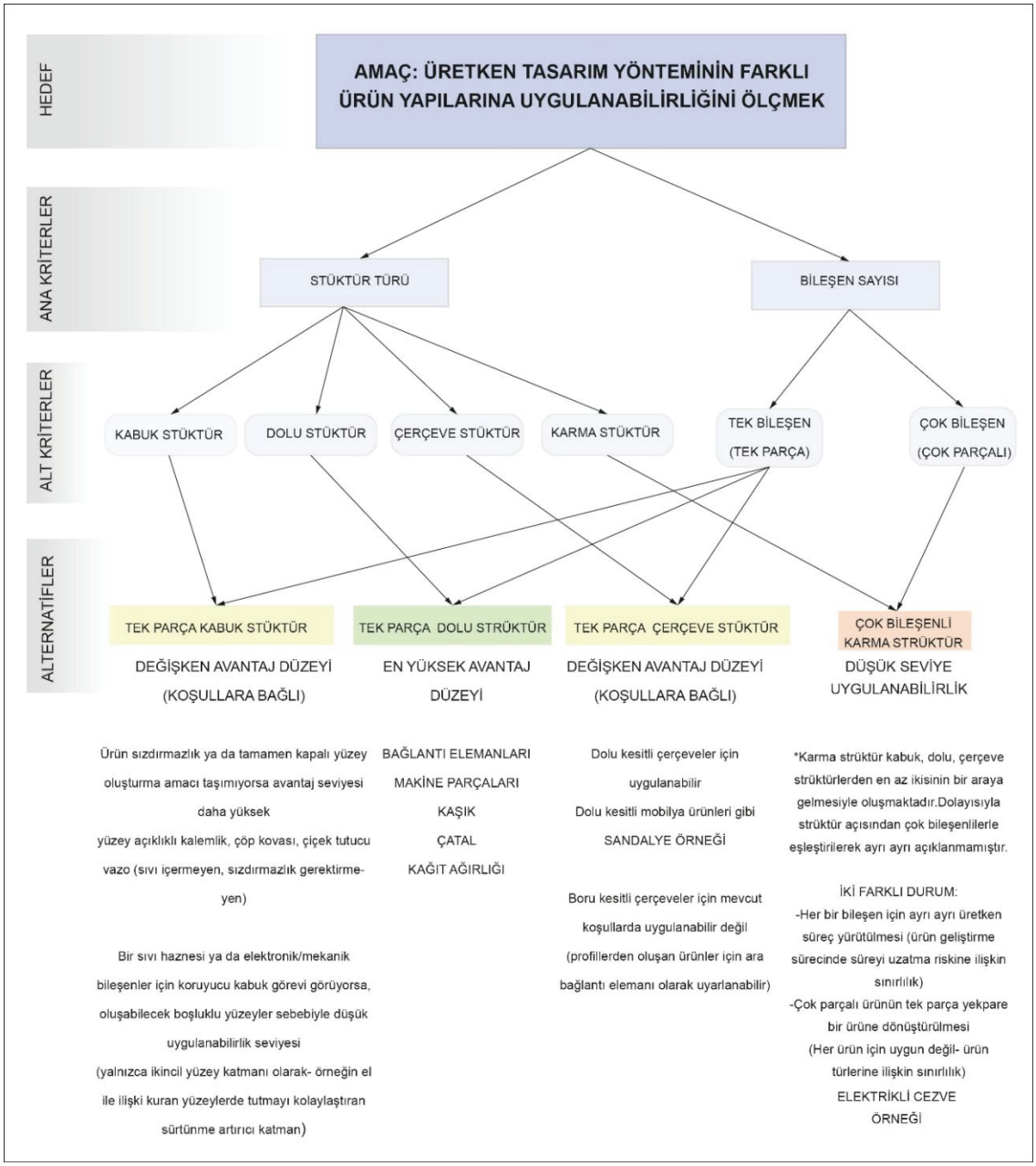
olmadığı ve hangi ürün türlerinde daha avantajlı sonuçlar sunduğu sorusu bu başlık altında değerlendirilmiştir. Ayrıca "Üretken tasarımın etkili olduğu ürün türlerini belirlemede biçimsel ve yapısal özellikler nasıl bir rol oynamaktadır?" alt sorusu doğrultusunda yapılandırılmış bir sınıflandırma modeli sunulmuş ve bu modelin geçerliliği, uygulamalar yoluyla sınanmıştır.

Araştırma kapsamında geliştirilen ürün sınıflandırma modeli, uygulama çalışmasını yönlendirmeyi ve farklı algoritmalarla çalışan ve çalışma biçimi değişen üretken tasarım araçlarının ele alınmasında, genellenebilir bir karar çerçevesi oluşturmayı hedeflemiştir. Sınıflandırma modeli ürünlere yönelik literatürde yer alan farklı sınıflandırma çalışmaları, üretilmiş üretken tasarım uygulamaları ve Fusion 360 Generative Design aracının çalışma sistemine dayanmaktadır. Bununla birlikte pilot uygulama sürecinde elde edilen deneyimlerden ve katılımcı geri bildirimlerinden de yararlanılmıştır.

Model, ürünleri strüktür türü ve bileşen sayısı olmak üzere iki ana kritere göre sınıflandırmaktadır. Bu kriterler hiyerarşik yapıda detaylandırılmış ve her bir alt kategori için temsil edici örnek ürünler ile desteklenmiştir. Sınıflandırma modelinin yapısı aşağıdaki şekilde sunulmaktadır. Modelin en alt seviyesinde her kategoriye karşılık gelebilecek ürün türleri örneklenerek, kullanıcıların bu yapıyı kendi tasarım problemlerine uyarlayabilmesine olanak sağlanmıştır.

Modelin teorik bir öneri olarak kalmaması aynı zamanda geçerli ve uygulanabilir bir yapı sunabilmesi amacıyla AHP yöntemi ile nihai skorlar oluşturulmuş ve tek bileşenli dolu strüktür özelliğindeki ürünler üretken tasarımın uygulanabilirliği açısından avantaj düzeyi en yüksek ürün türü olarak belirlenmiştir.

Bu bölümde sunulan ürün sınıflandırma modeli, üretken tasarım yaklaşımının hangi ürün türlerinde daha etkin sonuçlar verdiğini yalnızca sezgisel yargılarla değil, nesnel ve karşılaştırılabilir bir çerçevede değerlendirme olanağı sunmuştur.




Şekil 4.8. Üretken tasarımın ürün türlerine göre uygulanabilirliğine ilişkin sınıflandırma modeli

Bu görsel üretken tasarım yönteminin farklı ürün yapılarına ne düzeyde uyarlanabileceğini değerlendirmek amacıyla geliştirilen kavramsal sınıflandırma modelini göstermektedir. Modelde ürünler iki temel kriter üzerinden analiz edilmektedir. Her yapısal kategori, üretken tasarım algoritmalarının sunduğu avantaj düzeyine göre örnek ürünler ile temsil edilmiştir. Model uygulamada kullanılan örneklerle sınırlı kalmayıp benzer yapısal özellik taşıyan ürün gruplarına da genellenebilecek biçimde yapılandırılmıştır.

Bu çalışmada ulaşılan bulgular, üretken tasarım yönteminin endüstriyel tasarım sürecine teknik bir araç olarak sınırlı kalmayıp, süreç için stratejik bir katkı da sunduğunu göstermektedir. Süreç analizleri, yaratıcı keşfi destekleme, alternatif üretme hızı açısından üretken tasarımın önemli potansiyeller barındırdığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, üretilebilirliği, ergonomik kontrol ve teknik bilgi gereksinimi gibi sınırlayıcı unsurların da süreç boyunca belirleyici olduğu bulgularla belirlenmiştir. Özellikle ürün türleri üzerinde yapılan değerlendirmeler, üretken tasarımın her ürün yapısına eşit derecede uyarlanamayabileceğini, bazı yapısal özelliklerin algoritmanın işleyiş biçimiyle daha yüksek uyumla çalıştığını göstermiştir. Bu bağlamda geliştirilen sınıflandırma modeli, hem uygulamayı yönlendiren pratik bir araç hem de üretken tasarımın sınırlarını daha açık biçimde tartışmaya açan kavramsal bir çerçeve sunmuştur. Modelin AHP yöntemine dayanması, çalışmanın nesnelliğini artırmış ve gelecekte benzer ürün gruplarında karşılaştırmalı değerlendirme yapılmasına olanak sağlamıştır.

### 4.5. AHP Yöntemine Dayalı Üretken Tasarım Uygulama Kılavuzu Önerisi

Bu bölümde, AHP yöntemiyle elde edilen önceliklere göre tez bulgularıyla uyumlu olarak, üretken tasarımın endüstriyel ürün tasarımı projelerinde nasıl uygulanacağına ilişkin, kılavuz niteliğinde ve birbiriyle bağlantılı iki araç önerilmektedir. İlk araç, literatürde yer alan örnek üretken tasarım süreci modellerine dayanan yedi aşamalı üretken sürecinin her bir aşamasına karşılık gelen, “tasarımcıya rehberlik edecek sorular” çizelgesidir. Bu çizelge, her aşamadaki kritik karar noktalarını görünür hale getirerek, ürün türünden bağımsız biçimde üretken tasarımın sürece bütüncül şekilde entegre edilmesini hedeflemektedir.

Çizelge 4.26. Üretken tasarım süreci için tasarımcıya yönelik rehber sorular

| Aşama | Açıklama | Tasarımcıya yönelik rehber sorular |
|---|---|---|
| 1.Problemin analizi ve görev tanımının belirlenmesi | Tasarım probleminin kapsamı, hedeflerin ve üretken tasarımın sağlayabileceği potansiyel katkı netleştirilir. Bu aşama, kavramsal çerçevenin oluşturulduğu temel adımdır | -Tasarımın ana hedefi nedir?<br>-Kullanıcı ile ürün arasındaki kritik etkileşim noktaları nelerdir?<br>-Üretken tasarım bu projede hangi aşamada en yüksek katkıyı sağlayabilir? |

Çizelge 4.26. (devam) Üretken tasarım süreci ile eşleşen tasarımcıya yönelik rehber sorular

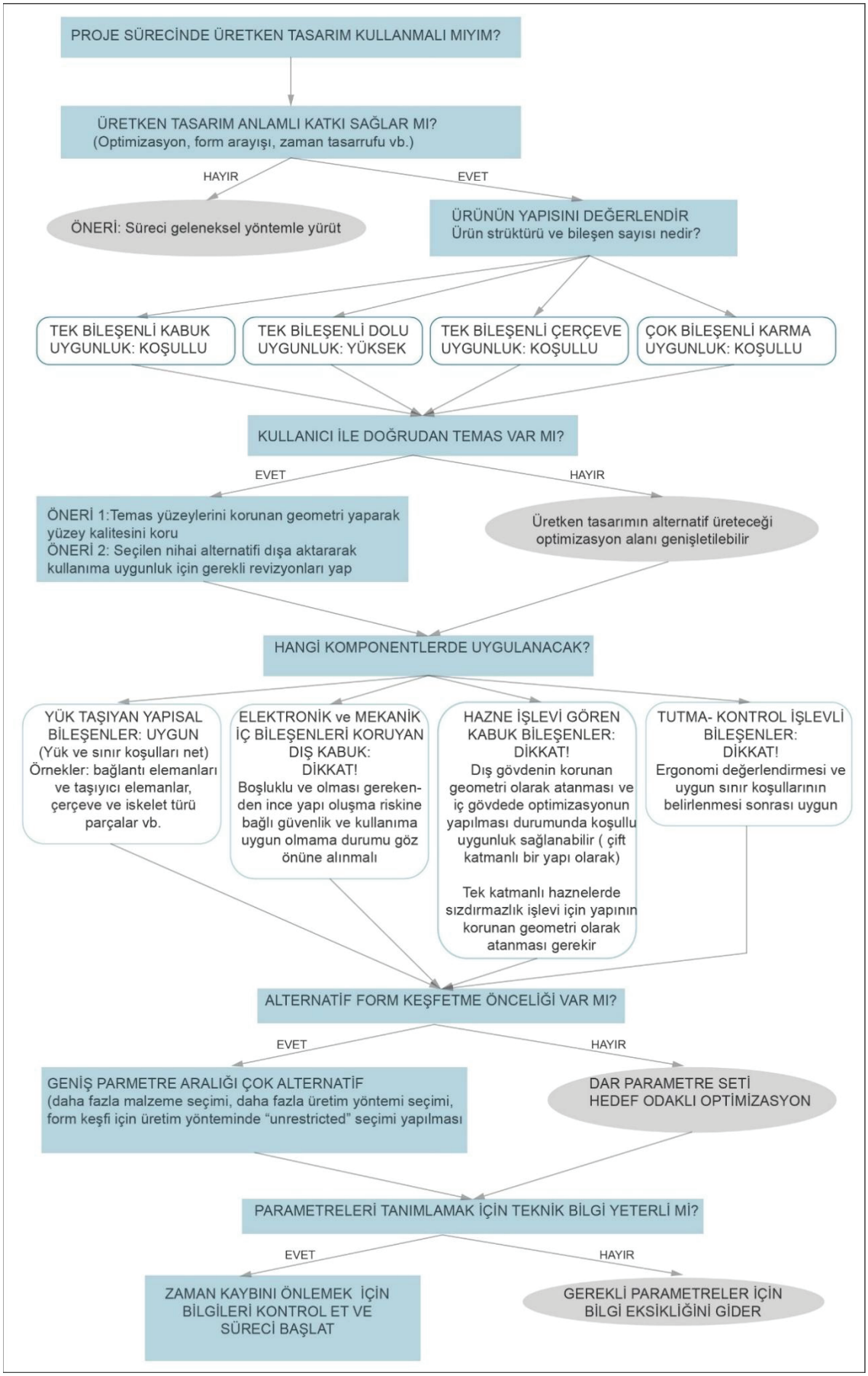
| | | |
|---|---|---|
| 2.Geometri ve tasarım alanının tanımlanması | Üretken tasarımın yazılımında çalışılacak tasarım alanı ve korunması gereken bölgeler belirlenir. Korunacak geometri, ürünün işlevsel veya ergonomik açıdan değiştirilmemesi gereken kısımlarını ifade eder | -Hangi geometrik bölgeler korunmalıdır?<br>-Algoritmanın üreteceği yeni yapılar, korunacak alanlarda yapısal ve estetik açıdan nasıl bütünleşecektir?<br>-Tanımlanan tasarım alanları, işlevsel ve üretim yöntemleri açısından gereksinimleri karşılıyor mu? |
| 3.Yükler ve sınır koşullarının belirlenmesi | Ürünün kullanım amacına uygun yük türleri ve sabitleme koşulları tanımlanır. Sınır koşulları, modelin yazılımda nasıl ele alındığı, hangi noktaların sabitlendiği ve yüklerin nereden uygulandığını ifade eder | -Ürün hangi yük türlerine maruz kalacaktır?<br>-Sınır koşulları gerçek kullanım senaryosunu ne ölçüde temsil etmektedir?<br>-Kullanıcı güvenliği açısından ek yapısal kısıtlamalar gerekli midir? |
| 4.Üretim yöntemi ve malzeme tanımı | Kullanılacak üretim yöntemi ve malzeme özellikleri belirlenir. Bu seçimleri üretken tasarım çıktılarının uygulanabilirliğini ve ürünün performansını doğrudan etkiler | -Seçilen üretim yöntemi organik formları destekliyor mu?<br>-Malzeme seçimi, dayanıklılık ve estetik gereksinimleri karşılıyor mu? |
| 5.Optimizasyon hedeflerinin ve kısıtlarının tanımlanması | Algoritmanın ulaşması gereken performans, ağırlık gibi uyulması gereken kısıtlar belirlenir | -Öncelikli optimizasyon hedefi nedir? (ağırlık, dayanıklılık, maliyet vb.)<br>-Teknik hedefler kavramsal kriterlerle çelişiyor mu?<br>-Kısıtlamalar, nihai ürünün işlevselliğini sınırlayabilir mi? |
| 6.Optimizasyonun hesaplanması | Belirlenen parametreler doğrultusunda algoritma çalıştırılır ve farklı çözüm alternatifleri üretilir | -Hesaplama süreci yeterli veri ve doğru parametrelerle mi başladı?<br>-Parametrelerde yapılacak revizyonlar sonucu iyileştirebilir mi? |
| 7.Alternatif sonuçların incelenmesi | Üretilen tasarım alternatifleri teknik, estetik, ergonomik ve stratejik kriterlere göre değerlendirilir | -Hangi alternatif işlev- estetik dengesini en iyi şekilde sağlıyor?<br>-Kullanıcı deneyimini en iyi destekleyen form hangisi?<br>-Seçilen alternatif üzerinde hangi iyileştirmeler yapılmalı? |

İkinci araç, söz konusu sorulara verilen yanıtları referans alan ön yönlendirme karar şemasıdır. Şema, tasarımcının, belirli düğümlerde sorgulama ve seçim yapmasını sağlayarak, “uygula”, “koşullu uygula” ya da “alternatif tasarım süreciyle devam et” sonuçlarını üreterek ilgili sonuçlarla ilgili risk durumlarını vurgular. Akış, üretken tasarımın ele alınan proje için uygunluğunun ve anlamlı katkı sağlayıp sağlamadığının sorgulanmasıyla başlamaktadır. Bu noktada, ilk aşama için Borsodi ve Takacs (2022) tarafından ele alınan üretken tasarımın uygunluk durumuna ilişkin maddeler yol gösterici niteliktedir.

Borsodi ve Takacs (2022), üretken tasarımın özelliklerinin göz önüne alındığında, yöntemin potansiyelinden şu durumlarda yararlanılabileceğini belirtmektedir:

- Minimum kütleyle performansın korunmasının temel konu olduğu endüstriler (otomotiv, havacılık vb.),
- Yakıt tüketiminin ve emisyonların azaltılmasının hedeflendiği durumlar,
- Malzeme kullanımının ve malzeme maliyetlerinin düşürülmesinin hedeflendiği durumlar,
- Performans ve taşıma kapasitesinin artırılmasının hedeflendiği durumlar,
- Ürünün özel yüklere maruz kaldığı ve küçük seri üretimin yeterli olduğu durumlar,
- Ürün geliştirme süresinin kısaltılmasının önemli olduğu projeler,
- Yüksek derecede otomatikleştirilmiş tasarım sürecine ihtiyaç duyulduğu durumlar,
- Özgün ve doğayı taklit eden bir tasarımın amaçlandığı durumlar,
- Aynı işlevi yerine getiren çok parçalı yapıların tek parçaya dönüştürülmesinin amaçlandığı durumlar (Borsodi ve Takacs, 2022).

Bu maddelerde, üretken tasarımın optimizasyon, doğayı taklit eden form üretimi, zaman yönetimi ve otomasyon boyutlarının öne çıktığı görülmektedir. Tasarımcılar, ön yönlendirme karar şemasının başlangıcında, yukarıda belirtilen kriterleri göz önünde bulundurarak projenin bağlamına uygun bir ön değerlendirme yapabilir ve süreci buna göre yönlendirebilirler.




Şekil 4.9. Üretken tasarım ön yönlendirme karar şeması

Başlangıç değerlendirmesinden sonra akış, ürün strüktürü ve bileşen sayısına göre uygunluk sınıflamasıyla ilerler. AHP yöntemine yönelik ürün sınıflandırma çerçevesinde detaylı olarak ele alınan bu aşamada tek bileşenli dolu yapılarda uygunluk yüksek, tek bileşenli çerçeve ve kabuk yapılarda ve çok bileşenli karma yapılarda uygunluk durumu koşullara bağlıdır. Bu adımı, ürün kullanıcı ilişkisinin sorgulandığı ergonomi düğümü takip etmektedir. Kullanıcı ile doğrudan temas olan yüzeylerin korunan geometri olarak atanması ya da seçilen alternatifin dışa aktarılarak gerekli revizyonlarla kullanıma uygunluğunun sağlanmasına ilişkin karar alınır. Birinci ve ikinci öneri arasında sürecin zamanlaması açısından fark vardır. Temas yüzeylerinin korunan geometri olarak tanımlanması, sürecin ilk aşamalarında alınan kararla daha kontrollü bir süreç yönetimini ifade etse de bu noktada dikkat edilmesi gereken unsur, korunan geometri olarak tanımlanan alanlarda, üretken tasarımın alternatif formlar oluşturamayacağıdır. Üretken tasarımın oluşturacağı alternatifler korunan geometrilerin etrafında şekillenecektir. Bunun yanında, ikinci öneride ifade edilen ve seçilen nihai alternatif üzerinden dışa aktarma yoluyla kullanıma uygun hale getirme durumunda, üretken form oluşturma alanı daha serbest olsa da bu tercih zaman yönetimi açısından riskler oluşturabilir. Tasarımcının zaman yönetimi, kullanılabilirlik ve alternatif formları keşfetme önceliklerine göre hareket etmesi gerekmektedir.

Sonraki adım komponent bazlı uygulanabilirliktir. Yük taşıyan yapısal bileşenlerde, uygulanabilirlik çok yüksektir. İç bileşenleri koruma görevindeki kabuk yapılarda ve hazne işlevli yapılarda ise oluşabilecek boşluklardan kaynaklanan risk faktörleri bulunmaktadır. Tutma ve kontrol elemanlarında ise uygunluk, ergonomik gereklilikler ve sınır koşullarının bu gerekliliklere uygun tanımlanması sonrasında belirlenir. Daha sonra tasarımın önceliğine göre alternatifleri keşfetme süreci yönlendirilir. Form keşfinin önceliği varsa geniş parametre aralığı ile çok sayıda alternatif üretilir. Eğer ikinci plandaysa dar parametre seti ile hedefe odaklanan optimizasyon süreci yürütülür. Ön yönlendirme karar şemasının sonunda tasarımcı, karar noktalarına ve rehber sorular çizelgesine göre teknik bilginin yeterliğini sorgulayarak bilgi eksikliğini giderir ya da süreci başlatır.

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma sorularına yanıt bulmaya yönelik uygulamalar ve analizler neticesinde ulaşılan sonuçlar, bu bölümde değerlendirilmektedir. Tez kapsamında, üretken tasarım yaklaşımının endüstriyel tasarım süreçleri üzerindeki etkileri, sürecin işleyişi ve tasarım çıktıları temelinde analiz edilmiştir. Buna ek olarak, üretken tasarımın farklı biçimsel ve yapısal özelliklere sahip ürün türlerindeki avantaj düzeyinin değişkenliği ele alınmıştır. Bulgular, pilot ve ana uygulamalarda elde edilen gözlemler, görüşmeler, süreç tutanakları ve 3B modellerin tematik analiz ve içerik çözümlemesi ile Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi üzerinden yapılan sınıflandırma değerlendirmelerine dayanmaktadır. Bu değerlendirmeler, pilot ve ana uygulama aşamalarında sırasıyla iki ve altı katılımcı ile farklı ürün türleri üzerinden yürütülen uygulama çalışmaları sonucunda elde edilen gözlem notları, görüşmeler, süreç tutanakları ve 3B dijital modeller üzerinden yürütülen tematik analiz ve içerik çözümlemesine göre oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmanın başlangıcında, ürün türlerinin biçimsel ve yapısal olarak sınıflandırılmasına yönelik Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile bir karar modeli geliştirilmiş ve uygulama süreci bu model doğrultusunda yapılandırılmıştır. Sonuçlar bölümü, tüm bu veri analizlerinin sentezine dayanarak araştırma sorularını yanıtlamakta ve üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreçlerindeki yeri ve etki alanlarına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirmeler, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerinin tek yönlü olmadığını göstermiştir. Olumlu katkılarla birlikte, sınırlayıcı unsurlar da söz konusudur. Bu doğrultuda, temalar aracılığıyla tespit edilen olumlu ve olumsuz etkiler tekrar gruplandırılmış ve araştırmanın ilk sorusu olan “Üretken tasarım yaklaşımı, endüstriyel tasarım süreçlerinin işleyişini ve tasarım çıktılarını nasıl etkilemektedir?” sorusu üç ana tema üzerinden yanıtlanmıştır: zaman yönetimi üzerindeki etkiler, yaratıcılık ve yaratıcı sürece olan etkiler ile teknik bilgi gereksinimi ve program hakimiyeti.

Üretken tasarım süreci zaman yönetimi açısından çift yönlü bir etki ortaya koymuştur. Olumlu etkiler, sistemin kısa sürede çok sayıda alternatif üretme kapasitesinin, özellikle erken aşamalarda karar alma sürecini hızlandırması ve buna ek olarak geleneksel yöntemle daha uzun zaman alabilecek 3B modelleme işlemlerini, üretken tasarım aracının yapay zekaya dayalı algoritması ile daha kısa sürede oluşturulabilmesi şeklindedir. Katılımcıların,

üretken aracın oluşturduğu alternatiflere ilişkin iterasyonları anlık olarak görebilmesi sayesinde sonuçlar tamamlanmadan revizyon yapabilmeleri, sürece esneklik kazandırmıştır.

Olumsuz etki açısından, parametre tanımlama ve alternatiflerin oluşturulması aşamasında teknik bilgi eksiklikleri nedeniyle süreç uzamıştır. Özellikle karmaşık geometrilerde alternatiflerin üretilmesi basit geometrilere kıyasla uzun sürmüş ve bu durum zaman kaybına yol açmıştır. Ancak uygulamalar ilerledikçe katılımcıların üretken aracı kullanmaya yönelik hakimiyetlerinin arttığı ve zaman kayıplarının azaldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla zaman yönetimi üzerindeki etkiler, üretken araç açısından kullanıcı deneyimine, teknik bilgi düzeyine ve ürün geometrisinin karmaşıklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Araştırma bulguları, üretken tasarımın yaratıcı sürece önemli katkılar sağlayabileceğini göstermiştir. Katılımcıların çoğu, geleneksel yöntemlerle aynı sürede ulaşılamayacak organik yapıdaki özgün biçim alternatiflerinin sistem tarafından önerilmesini yaratıcı süreci tetikleyen bir unsur olarak değerlendirmiştir. Bu yönüyle üretken tasarım biçimsel çeşitlilik ve optimizasyona dayalı biçim alternatiflerinin keşfi için güçlü bir araçtır.

Diğer taraftan, üretken sistemin kendi algoritmasına dayalı parametrik sınırlılıkları ve korunan, engel geometrilere bağlı kısıtlamaları, bazı katılımcılar tarafından yaratıcılığı sınırlayan unsurlar olarak görülmüştür. Algoritmanın doğadan ilham alan organik yapıda formlar üretmesi, yapısal benzerlikler sebebiyle bazı katılımcılar tarafından yaratıcılığı sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Özellikle optimizasyon önceliği olan süreçler için korunan geometrilerle tasarım alanının daraltıldığı durumlarda, algoritmanın bağımsız form üretimi kapasitesi azalmış ve uygulayıcı, sistemin sınırlarına bağımlı hale gelmiştir. Bu bulgu, yaratıcı sürecin yalnızca biçimsel çeşitlilikle ilgili değil, aynı zamanda süreç üzerindeki kontrol hissiyle de ilişkili olduğunu göstermektedir.

Üretken tasarım araçlarının etkin kullanımında, parametreleri doğru tanımlayabilmek adına teknik bilgi ve yazılım hakimiyeti kritik rol oynamaktadır. Parametre tanımlama, yük koşullarının belirlenmesi ve malzeme seçimleri gibi aşamalar, katılımcıların teknik bilgi ve üretken tasarımın uygulanacağı programa adaptasyon düzeyine göre farklılaşmıştır. Fusion 360 yazılımının arayüzünün tanıdık olması üretken tasarıma adaptasyon sürecini hızlandırsa da ilk aşamalarda tanımlanan parametre ve oluşan alternatif formlar arasındaki ilişkinin anlaşılma sürecinde zaman kayıplarına yol açmıştır. Katılımcıların görüşleri ağırlıklı olarak

üretken tasarım sürecinin yürütülebilmesi için gereken rasyonel veriye, daha açık bir ifadeyle teknik bilgi gerekliliğinin sürecin hızı açısından olumsuz etkisine odaklansa da sürecin doğru yürütülebilmesi ve güvenilir çıktıların elde edilmesi için bu bilgilerin gerekli olduğu da vurgulanmıştır. Dolayısıyla üretken tasarım, teknik bilgiye sahip tasarımcılar ya da bu bilgiyi sağlayabilecek uzmanların yer aldığı ekiplerde daha verimli ve güvenilir sonuçlar sunabilmektedir.

Üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreçlerine etkisinin çok boyutlu ve farklı etkenlere göre değişken olduğunu ortaya koyan araştırma bulguları, literatürde yer alan farklı değerlendirmelerle örtüşmektedir. Zaman yönetimi açısından, bulgular üretken tasarımın hem süreci hızlandırıcı hem de zaman kaybettirici etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Katılımcıların deneyimleri, alternatiflerin kısa sürede üretilmesi ve iterasyonların eş zamanlı görülebilmesi sayesinde erken kararlar alabilme kolaylığını ortaya koymuştur. Bu yönüyle üretken süreç Ulrich ve diğerleri (2020) tarafından ortaya konulan aşama-geçit modeline dayalı geleneksel ürün geliştirme yaklaşımından farklılaşarak daha keşif odaklı ve esnek bir yapı sunmaktadır. Bununla birlikte, parametre tanımlamak için gereken bilginin eksik olması durumunda ve karmaşık geometriler için üretken alternatif oluşturma sürecinde zaman kaybına yol açtığı görülmüş, bu durum da Krish'in (2011) belirttiği yüksek bilişsel yük ve hazırlık süresi bulgusuyla örtüşmüştür. Ayrıca bulgular Ubalde'nin (2023) üretken tasarımın, tasarım süresini kısaltırken, karmaşık formların üretim aşamasında süreyi uzatabileceğine ilişkin tespitlerini desteklemiştir.

Yaratıcılık açısından elde edilen bulgular, üretken tasarımın organik yapıda çok sayıda özgün form alternatifleri üreterek tasarımcıya keşfetme alanı sunduğu ancak algoritmanın sınırlarının bazı durumlarda yaratıcı süreci kısıtladığını göstermektedir. Bunun yanında katılımcılar, sistemin sunduğu hızlı alternatifler sayesinde düşünsel sürece daha fazla zaman ayırarak yeni çözümler geliştirebilmiş ve gerekli revizyonları yapabilme imkanı bulmuşlardır. Bu bulgu, Peckham, Hicks ve Goudswaard'ın (2024) üretken araçların yineleme hızının yaratıcılığı destekleyebileceği yönündeki görüşleriyle örtüşmektedir. Diğer taraftan, algoritmanın çalışma biçimine bağlı benzerlikler ve kısıtlamalar, Cheng'in (2023), üretken sistemlerin yaratıcılığı desteklerken çeşitliliği sınırlandırabileceği yönündeki tespitleriyle paralellik göstermektedir. Sawyer'in (2006), tasarımcıların kültürel birikim ve yetişme tarzına bağlı ön kabullerle sürece başladığına ilişkin vurgusu, üretken araçların bu kabullerden bağımsız çalışarak, daha çok rasyonel veriye dayalı işeyişle, tasarımcıya yeni

keşif yolları sunmasını açıklar niteliktedir. Howard ve diğerlerinin (2007), yaratıcılık sürecini analiz, üretim değerlendirme ve uygulama aşamalarına ayıran yaklaşımı ile karşılaştırıldığında ise üretken araçların tek başına sürecin tüm aşamalarını kapsayamadığını, ancak tasarımcı müdahalesiyle yaratıcılığı destekleyen araçlar olduğu görülmektedir. Farklı aşamalarda farklı amaçlar için kullanılan üretken yapay zeka araçları olsa da sürecin tamamını baştan sona yönetebilecek üretken araçların olmaması, aradaki boşlukların tasarımcı tarafından doldurulmasına ilişkin gerekliliği ortaya koymaktadır.

Teknik bilgi gereksinimi konusunda ise bulgular, üretken tasarımın doğru sonuçlar verebilmesi için belirli düzeyde bilgi ve yazılım hakimiyetini zorunlu kıldığını göstermektedir. Katılımcılar özellikle parametre tanımlama için gerekli olan bilgiler ve program hakimiyeti açısından zorlanmış, bu durum da Koch'un (2022) endüstriyel tasarımcıların dijital teknolojilere adaptasyonu için teknoloji okuryazarlığına ihtiyaç duyduklarını vurguladığı tespitleriyle örtüşmüştür. Geleneksel ve üretken süreçlerde bilgi kullanımına ilişkin farklılıklar dikkat çekicidir. Zaimis, Giannakis ve Savaidis (2021), geleneksel süreçlerde yapı ve malzeme bilgisinin yinelemeli biçimde ele alınması gerektiğini belirtirken, Ubalde (2023), üretken tasarım sürecinde tasarımcının bu bilgileri yalnızca temel girdileri tanımlama aşamasında kullandığını ve yazılımın otomatik olarak çözüm ürettiğini ifade etmektedir. Bu fark üretken tasarım açısından özellikle rasyonel veriye dayalı olarak süreci başlatmayan, daha çok sezgisel yaklaşımı benimseyen katılımcılar tarafından sınırlayıcı bulunurken, bazı katılımcılar tarafından ise teknik bilginin sürecin erken aşamalarında tanımlanma gerekliliği, sürecin kalitesi için tamamlayıcı bir unsur olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak literatür ile yapılan karşılaştırmalar üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine etkilerinin tek boyutlu olmadığını; zaman, yaratıcı süreç ve teknik bilgi açısından bağlama göre farklılaştığını göstermektedir. Bu tez söz konusu etkileri çok boyutlu biçimde ele alarak, üretken tasarımın yalnızca teknik bir araç değil, aynı zamanda tasarım sürecine stratejik katkılar sunan bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırmanın ikinci temel sorusu, üretken tasarımın farklı yapısal ve biçimsel özelliklere sahip ürün türlerinde avantaj düzeyinin aynı olup olmadığına ilişkindir. Bu çerçevede, literatürdeki sınıflandırma yaklaşımlarından ve üretken tasarımın çalışma sisteminden yararlanılarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemine dayalı bir karar modeli

oluşturulmuştur. Model, ürünleri strüktür türü ve bileşen sayısı olmak üzere iki ana kritere dayalı olarak sınıflandırmaktadır.

Uygulamalar sonucunda, tek bileşenli dolu strüktürler üretken tasarım için en yüksek avantaj düzeyine sahip ürün grubu olarak belirlenmiştir. Bu ürünlerde sistem, kısa sürede alternatifler üretebilmiş ve zaman tasarrufu sağlamıştır. Buna karşılık, bileşen sayısı ve geometrik karmaşıklık arttıkça alternatif üretme süresi uzamış, süreçte zaman kayıpları yaşanmıştır. Çok parçalı ürünlerde tek bileşenli yapıya indirgeme ya da her bileşen için ayrı üretken süreç yürütme zorunluluğu, yöntemin avantajlarını sınırlamıştır. Sandalye örneği, bu durumun önemli bir göstergesi olmuştur. Tek parça olarak ele alınan sandalye tasarımları ile bedenle ilişki kuran oturma ve sırt dayama bölümlerini taşıyıcı strüktürden ayrı şekilde ele alan tasarımlar arasında zaman yönetimi açısından farklılıklar oluşmuştur. Buna ek olarak dolu kesitli çerçeve strüktüre uygun biçimde çalışan üretken sistem, gerçek uygulamalarda profillerden üretilen sandalyelere kıyasla ağırlık artışı sorununa yol açmıştır. Katılımcılar, bu bulguya dayanarak üretken tasarımın ürünün tamamında değil, özellikle bağlantı elemanları veya ürünlerin belirli bölümlerinde kullanılması durumunda daha avantajlı olabileceğini vurgulamıştır.

Oluşturulan sınıflandırma modelini tamamlayıcı nitelikte, araştırma kapsamında tasarımcılar için bir uygulama kılavuzu geliştirilmiştir. Kılavuz, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreçlerine hangi koşullarda ve nasıl entegre edilebileceğine ilişkin yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır. Literatürdeki üretken süreç modellerine dayalı olarak yedi adımda yapılandırılan bu kılavuz, her aşama için tasarımcıya yöneltilebilecek rehber sorularla desteklenmiş ve kritik karar noktaları tanımlanmıştır. Bu sayede üretken tasarımla ilgili herhangi bir deneyimi olmayan tasarımcıların, teknik parametrelere ek olarak sürecin farklı boyutlarını da dikkate alarak süreci yönlendirmeleri hedeflenmiştir. Kılavuzun önemli yönlerinden biri de üretken tasarımın kendini yönetebilen otomatik bir süreç değil, tasarımcının yönlendirmesine ve aldığı kararlara ihtiyaç duyan bir yaklaşım olduğunun vurgulanmasıdır. Hangi geometrilerin korunan ya da engel geometri olarak tanımlanacağı, optimizasyon hedeflerinin nasıl belirleneceği gibi kritik sorular kılavuz aracılığıyla tasarımcıya yöneltilmektedir. Sorular farklı proje süreçlerine rehberlik edebilecek nitelikte, genel bir çerçeveye dayalı olarak hazırlanmıştır. Buna ek olarak kılavuz, ürün strüktürüne ve kullanım bağlamına göre ergonomi, kullanıcıya doğrudan temas eden yüzeyler, yük taşıyan bileşenler veya optimizasyon hedeflerine yönelik form keşfine öncelik verilmesi

gereken durumlar gibi somut ve uygulanabilir yönlendirmeler sunmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle, AHP modelinden elde edilen bulgular, pratik bir karar destek aracına dönüştürülmüş ve üretken tasarımın farklı ürün türlerinde stratejik biçimde kullanılabilmesine olanak sağlamıştır.

Bu tez, üretken tasarımın endüstriyel tasarım süreci üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ele alarak literatüre ve uygulama alanına çok yünlü katkılar sunmaktadır. Çalışma kuramsal açıdan, üretken tasarımın yalnızca biçim üretiminde kullanılan bir yazılım çıktısı olmadığını, tasarım sürecinde zaman yönetimi, yaratıcı süreç ve teknik bilgi gereksinimi gibi etkiler yaratan bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Ayrıca üretken tasarımın farklı ürün türlerinde sağladığı avantaj düzeylerini sınıflandırarak, süreçle ilişkili etkilerin bağlama göre farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Yönteme yönelik katkı açısından, Analitik hiyerarşi sürecine dayalı olarak geliştirilen sınıflandırma modeli ön plana çıkmaktadır. Bu model, ürünleri strüktür türü ve bileşen sayısına göre değerlendirerek, üretken tasarımın hangi ürün gruplarında daha avantajlı sonuçlar verdiğini nesnel biçimde ortaya koymaktadır. Bu sayede üretken tasarımın uygulanabilirliği, sezgisel değerlendirmelerin ötesine geçerek karşılaştırılabilir ölçütlere dayalı bir karar çerçevesine oturtulmuştur. Çalışma aynı zamanda bu modeli, tasarımcılar için geliştirilen uygulama kılavuzu ile tamamlayarak, araştırma bulgularının uygulamada nasıl kullanılabileceğine ilişkin somut bir yol haritası sunmaktadır. Çalışmanın uygulamalı katkıları ise özellikle tasarımcıların deneyimlerine dayanmaktadır. Pilot ve ana uygulamalar aracılığıyla elde edilen bulgular, üretken tasarımın gerekli parametreler tanımlandığında hızlı alternatif üretme kapasitesiyle sürece katkı sunduğunu, ancak teknik bilgi eksiklikleri ve karmaşık geometrilerde zaman kayıplarına yol açtığını göstermiştir. Bu bulgular, endüstriyel tasarım pratiğinde üretken araçların hangi koşullarda verimli kullanılabileceğini somut biçimde ortaya koymakta ve profesyonel tasarım ortamları için yol gösterici olmaktadır.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında, katılımcı sayısı ve uygulamaların tek bir üretken tasarım yazılımı üzerinden yürütülmüş olması öne çıkmaktadır. Ayrıca değerlendirmeler belirli ürün türleri ile sınırlandırılmış, farklı endüstri alanlarındaki ürün grupları kapsam dışında bırakılmıştır. Bu durum, bulguların genellenebilirliğini sınırlasa da geliştirilen sınıflandırma modeli ve uygulamaya yönelik kılavuz, benzer araştırmalarda veya farklı yazılımlar

aracılığıyla yürütülecek çalışmalarda zenginleştirilerek kullanılabilecek bir temel sunmaktadır. Bu noktada gelecek araştırmalar için birkaç öneri geliştirilebilir. Örneğin, farklı üretken tasarım yazılımlarının karşılaştırmalı olarak ele alınması, araçların süreç üzerindeki etkilerini daha kapsamlı değerlendirmeye olanak tanıyacaktır. Ayrıca daha geniş katılımcı grubuyla yapılacak uygulamalarla, bulguların farklı kullanıcı profillerine ilişkin yeni iç görüler sağlaması mümkündür. Buna ek olarak, profesyonel tasarım ve üretim ortamlarında yapılacak saha çalışmaları, üretken tasarımın gerçek uygulama koşullarındaki etkinliğinin test edilebilmesi adına literatüre değerli katkılar sunacaktır.

Sonuç olarak bu tez, üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecindeki rolünü hem kuramsal hem metodolojik hem de uygulamalı boyutlarıyla ele alarak, sınıflandırma modeli ve kılavuz önerisiyle literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışma, üretken tasarımın yalnızca teknik bir araç değil, tasarım sürecinin stratejik yönünü besleyen çok yönlü bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

# KAYNAKLAR


Agudelo, L. M., Nadeau, J.P., Pailhes, J. ve Gutierrez, R.M. (2017). A taxonomy for product shape analysis to integrate in early environmental impact estimations. *International Journal on Interactive Design Manufacturing (IJIDeM),* 11(2), 397–413.

Arain, M., Campbell, M.J., Cooper, C.L. ve Lancester, G.A (2010). What is a pilot or feasibility study? A review of current practice and editorial policy. *BMC Medical Research Methodology*, 10(67), 67.

Baltacı, A. (2019). Nitel araştırma süreci: Nitel bir araştırma nasıl yapılır? *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 5(2), 368-388.

Baudillard, J. (1968). *The system of objects*. London and New York: Verso Books.

Borsodi, E. ve Takacs, A. (2022). Generative design: An overview and its relationship to artificial intelligence. *Design of Machines and Structures*, 12 (2), 50-55.

Braun, V. Ve Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.

Briard, T., Segonds, F. ve Zamariola, N. (2020). G- DfAM: A methodological proposal of generative design for additive manufafcturing in the automotive industry. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM),* 14, 875-886.

Bright, J., Suryaprakash, R., Akash, S. ve Giridharan, A. (2021). Oprtimazation of quadcopter frame using generative design and comparison with DJI F450 drone frame. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1012 (1), 012019.

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review*, 86(6),84-92.

Büyüköztürk, Ş., Çakmak Kılıç, E., Akgün, Ö.E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (Yirminci Baskı), Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık, 195-224.

Caetano, I., Santos, L. ve Leitao, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287-300.

Chazsar, A. ve Joyce, S. C. (2016). Generating freedom: questions of flexibility in digital and architectural computation. *International Journal of Archiectural Computing*, 14(2), 167-181.

Cheng, S.H. (2023). Impact of generative artificial intelligence on footwear design concept and ideation. *Engineering Proceedings*, 55(1), 32.

Creswell, J.W. (2017). *Araştırma deseni: Nitel, nicel ve karma yöntem yaklaşımları* (Dördüncü baskı). Ankara: Eğiten kitap, 190.

Creswell, J.W. ve Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (Altıncı Baskı). Londra: SAGE.

Cross, N. (2007). *Designerly ways of knowing*. Basel: Birkhauser.

Cross, N. (2008). *Engineering design methods: Strategies for product design* (Dördüncü Baskı). Hoboken: Wiley.

Dean, L. ve Loy, J. (2020). Generative product design futures. *The Design Journal*, 23(3), 331–349.

Durmaz, Y. ve Yardımcıoğlu, M. (2016). Ürün kararları ve stratejileri üzerine teorik bir yaklaşım. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(2), 367-387.

Eder, W. E. (2013). Engineering design vs. artistic design: Some educational consequences. *US-China Education Review A*, 3(4), 259-280.

Fischer, T. ve Herr, C. (2001). *Teaching generative design.* The Proceedings of the Fourth International Conference on Generative Art, Milan.

Frazer J. H. (2002). Creative design and the generative evolutionary paradigm., Bentley, P. J. ve Come, D. W. (Editörler), *Creative evolutionary systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann, s. 253-274.

Gemser, G. ve Leenders,M. A. A. M. (2001). How integrating industrial design in the product development process impacts on company performance. *Journal of Product Innovation Management*.18 (1), 28-38.

Gericke, K. ve Blessing, L. (2012*). An analysis of design process models across disciplines*. Proceedings of the 12th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 171-180.

Goffin, K. ve Micheli, P. (2010). Maximizing the value of industrial design in new product development. *Research-Technology Management*, 53(5),29-37.

Günal Ertaş, D. ve Bayazıt, N. (2009). Endüstri ürünleri tasarımında strüktür. *İtü Dergisi Mimarlık, Planlama, Tasarım*. 8(1), 90-102.

Gyory, J. T., Song, B., Cagan, J. ve McComb, C. (2021). Communication in AI-assisted teams during an interdisciplinary drone design problem, *Proceedings of the Design Society*, 1, 651–660.

Haridasan, P. K. ve Jawale, H. (2024). Generative AI in manufacturing: A review of innovations, challenges and future prospects. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Data Science,* 2(2), 1218-1424.

Heskett, J. (2002). *Toothpicks and logos: Design in everyday life*. Oxford: Oxford University Press.

Hirsch, S. (2014). *Gestaltung und umbruch: Industrie design als mittel sozioökonomischer wertschöpfung*, Hamburg: DiplomicaVerlag.

Hosnedl, S., Srp, Z. ve Dvorak, J. (2008). *Cooperation of engineering & industrial designers on industrial projects.* Proceedings of DESIGN 2008,10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 1227-1234.

Hubka, V. ve Eder, W. E. (2012). *Design science: introduction to the needs, scope and organization of engineering design knowledge*. Springer Science & Business Media.

Ishizaka, A. ve Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*. 38(11), 14336-14345.

İnternet: What is Generative Design? URL-1: https://www.autodesk.com/solutions/generative-design. Son Erişim Tarihi: 17.01.2025.

İnternet: Generative Design at Airbus. Customer Story. URL-2: https://boards.autodesk.com/do-more-with-3d/items/generative-design-at-airbus-%7C-customer-stories-%7C-autodesk.Son Erişim Tarihi: 17.01.2025.

İnternet: How GM and Autodesk are Using Generative Design for Vehicles of the Future. URL-3: https://adsknews.autodesk.com/en/news/gm-autodesk-using-generative-design-vehicles-future/ Son Erişim Tarihi: 17.01.2025.

İnternet: World Design Organization Definition of Industrial Design. URL-4: https://wdo.org/about/definition/ Son Erişim Tarihi: 17.10.2024.

İnternet: What is Industrial Design? URL-5: https://www.idsa.org/what-id/. Son Erişim Tarihi: 24.04.2024.

İnternet: British Design Council- Double Diamond Model. URL-6: https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/ Son Erişim Tarihi: 12.02.2025.

İnternet: Kartell Chair Design Development Catalogue, URL-7: https://www.ambientedirect.com/chameleon/public/DOC-15774/15774.pdf. Son Erişim Tarihi: 22.10.2024.

İnternet: Autodesk Collaborates with Volkswagen Group on Generative Design in Electric Showcase Vehicle URL-8: https://adsknews.autodesk.com/en/news/autodesk-volkswagen-generative-design-electric-showcase-vehicle/ Son Erişim Tarihi: 17.01.2025.

İnternet: Autodesk, (2020). Generative design: Redefining What's Possible in the Future of Manufacturing. URL-9: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/education/docs/ebook-generative-design-final.pdf. Son Erişim Tarihi: 12.02.2025.

İnternet: Gasso, A. (2022). Autodesk University. URL-10: https://static.au-uw2-prd.autodesk.com/Class_ Handout_MFG500646_ClassHandout-MFG500646-Gasso-AU2022.pdf Son Erişim Tarihi: 12.02.2025.

Johansen, J. ve Fischer-Hübner, S. (2023). Experst opinions as a method of validating ideas: Applied to making GDPR usable., Gerber, N., Stöver, A. ve Marky, K. (Editörler). *Human factors in privacy research*. 137, 140-153.

Khan, S. ve Awan, M. J. (2018). A generative design technique for exploring shape variations. *Advanced Engineering Informatics*. 38,712-724.

Kashim, I. B. (2013). Visual and material culture in the context of industrial design: The comtemporary Nigerian experience. *Advances in Industrial Design Engineering*, 11, 223-242.

Kim, K. M. ve Lee, K. (2016). Collaborative product design processes of ındustrial design and engineering design in consumer product companies. *Design Studies.* 46,226-260.

Kim, K. M. ve Lee, K. (2010). *Two types of design approaches regarding industrial design and engineering design in product design*. International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.

Kotler, P. ve Armstrong, G. (2018). *Principles of marketing*. 17. Baskı. Londra: Pearson.

Krish, S. (2011). Apractical generative design method. Computer-Aided Design, 43(2011), 88-100.

Kvale, S. (1994). *Interviews: An introduction to qualitative research interviewing*. Sage Publications.

Lawson, B. (2005). *How Designers Think: The Design Process Demystified*. 4. Baskı. Routledge.

Levy, S. J. (1959). Symbols for sale. *Harvard Business Review,* 37(4), 117-24.

Lobos, A. (2019). *Applying generative systems to product design*. Generative Art Conference, Rome.

Lobos, A. (2019). *A practical guide for generative design in product and industrial design*. Autodesk University, CP500001, *Rochester Institute of Technology Report*, 1-23.

Ma, Y. ve Rong, Y. (2022). *Senior design procects in mechanical engineering: A guide book for teaching and learning* (Birinci Baskı). Switzerland: Springer.

Marshall, M.N. (1996). Sampling for qualitative research. *Family Practice*, 13(6), 522-526.

Martin, R. (2009). *The design of business: Why design thinking is the next competitive advantage.* Boston, MA: Harvard Business School Publishing.

McClelland, R.S. (2022). Generative design and igital manufacturing: Using AI and robots to built lightweight instrument structures. *Current Developments in Lens Design and Optcal Engineering XXIII*, 12217, 141-148.

McKnight, M. (2017*). Generative design: What it is? How is is being used? Why it's a game changer!,* International Conference on Design and Technology, KEG, 176-181.

Micheli, P., Jaina, J., Goffin, K., Lemke, F. ve Verganti, R. (2012). Perceptions of industrial design: the "means" and the" ends". *Journal of Product Innovation Management*, 29, 687-704.

Michelle, B. ve Gemilang, M.P. (2021). Bibliometric analysis of generative design, algorithmic design and parametric design in architecture. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 1(1),30-40.

Na, H., ve Kim, W. (2021). A study on the practical use of generative design in the product design process. *Archives of Design Research*, 34 (1), 85-98.

Nana, A., Cuilliere, C. ve Francois, V. (2016). Towards adaptive topology optimization, *Advances in Engineering Software*. 100, 290-307.

Norman, D. A. (2004). *Emotional design, why we love (or hate) everyday things*. New York: Basic Books.

Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: Theory, knowledge, models and medium. *Design Studi*es, 29(2), 99-120.

Ömürbek, N. ve Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327.

Özdemir, M. (2010). Nitel veri analizi: sosyal bilimlerde yöntembilim sorunsalı üzerine bir çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 323-343.

Pahl, G., Wallace, K., ve Blessing, L. (2007). *Engineering design: A systematic approach* (Üçüncü Baskı). Darmstadt: Springer.

Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y. ve Sharma, H.K. (2022). Consistency indices in analytic hierarchy process: A review. *Mathematics*,10(8), 1206.

Patton, M.Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods* (Dördüncü Baskı). Londra: Sage.

Peckham, O. R., Hicks, B. ve Goudswaard, M. (2024). Are generative design tools creative? A characterisation of tools throughout the design process. *Proceedings of the Design Society,* 4, 683–692.

Persson, S. ve Warell, A. (2003). *Relational modes between industrial design and engineering design a conceptual model for interdisciplinary design work.* Proceedings of the 6th Asian Design International Conference, Tsukuba.

Ramin, A.C.A. ve Facca, C.A. (2024). Evolutionary design and additive manufacturing: exploring the interconnection between 3D printing and artificial intelligence. *GCSP-IMT Seminar*.

Rose, G. (2016). *Visual methodoloies: An introduction to researching with visual materials* (Dördüncü Baskı). Sage publications.

Saadi, J.I. (2024). *Generative design tools: Implications on design process, designer behavior and, design outcomes*. Doktora Tezi, Massachussetts Institute of Technology, Cambridge, 17-23.

Saadi, J.I. ve Yang, M.C. (2023). Generative design: Reframing the role of the designer in early stage design process. *Journal of Mechanichal Design*, 145(4), 041411.

Saaty, R.W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*. 9(3), 161-176.

Saaty, T.L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics fort he measurement of intangible factors theanalytic hierarchy/ network process. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences Series A Mathematics*, 102(2), 251-318.

Scheider, J., Essafi, S., Puerta, A.P.V. ve Völz, D. (2024). Comprehensive generative approach to design insoles, *Current Directions in Engineering*, 10(4), 555-558.

Schlattmann, J. ve Seibel, A. (2021*). Structure and organization of product development projects*. Switzerland: Springer International Publishing.

Self, J. A. (2011). *The use of design tools in industrial design practice*. Doktora Tezi, Doctor of Philosophy Kingston University of London, Londra.

Shea, K., Aish. R. ve Gourtovaia M. (2005). Towards intagrated performance-driven generative design tools. *Automation in Contruction*, 14(2), 253-264.

Sinclair, M., Ariadi, Y., Campbell, I. ve Evans, M.A. (2011). *AM-enabled consumer design*. Proceedings of the 12th Annual Conference of the Rapid Product Development Association, Vanderbijlpark.

Stadler, S. R. J. (2021). *The integration of virtual reality into the design process.* Doktora Tezi, Münih Teknik Üniversitesi, Münih, 13-26.

Subedi, K.R. (2021). Determining the sample in qualitative research. *Scholars' Journal*, 4, 1-13.

Tammisto, Esa (2025). *Usage of artificial intelligence in industrial design processes*. Yüksek Lisans Tezi. Lahti University of Technology in Mechanical Engineering, Lappeenranta, 16-30.

Teddlie, C ve Yu, F. (2007). Mixed methods sampling: A typology with examples. *Journal of Mixed Methods Research,* 1(1), 77-100.

Thomas, C. G. (2015). Factors that influence industrial design process in emerging technological and engineerıng society. *International Institute of Academic Research and Development (IIARD),* 1(6), 15.

Ubalde, S.M. (2023). *A study on the application of generative design in aircraft development*. Yüksek Lisans Tezi. Universitat Politecnica de Catalunya Barcelona Tech, Barselona, 10-18.

Ullman, D.G. (2018). *Mechanical design process* (Altıncı Baskı). Ohio: McGraw Hill.

Ulrich, K.T., Eppinger, S.D., ve Yang, M.C. (2020). *Product design and development* (Yedinci baskı). New York: McGraw-Hill Education.

Vaidya, O. S. ve Kumar, S. (2004). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(2006), 1-29.

Van Teijlingen, E., Hundley, V. (2002). The importance of pilot studies. *Nursing Standard Clinical Research Education*.16(40), 33-36.

Verganti, R. (2009). *Design- driven innovation- changing the rules of competititon by radically innovating what things mean*. Boston, MA: Harvard Business Press.

Veryzer, R. W. ve B. Borja de Mozota. (2005). The impact of user- oriented design on new product development: An examination of fundamental relationships, *Journal of Product Innovation Management*. 22(2), 128-43.

Vlah, D., Zavbi, R. ve Vukasinovic, N (2020). Evaluation of topology optimization and generative design tools as support for conceptual design. *Proceedings of the Design society: Design conference*. 1, 451-460.

Williams-McBean, C. T. (2019). The Value of a qualitative pilot study in a multi-phase mixed methods research. *The Qualitative Report*, 24(5), 1055-1064.

Wynn, D. ve Clarkson, J. (2005). Models of designing. *Design Process Improvement*, Springer, Londra, 34–59.

Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2003). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara. Seçkin Yayınları, 11. Baskı.

Zahra, N.N. (2023). Role of artificial intelligence technology in the development of the furniture design process. *International Design Journal*, 13(6), 503-520.

Zaimis, I., Giannakis, E. ve Savaidis, G. (2021). Generative design case ctudy of cnc machined nose landing gear for an unmanned aerial vehicle. *Materaials Science and Engineering*, 1024, 012064.

Zhu, J.H., Zhang, W.H ve Xia, L. (2015). Topology optimization in aircraft and aerospace structures design. *Archives of computational methods in engineering,* 23(4), 595-622.

Zeh, M. (2015). The key roles of stories and prototypes in design thinking., Luchs, M.G., Swan, K.S. ve Griffin, A. (Editörler), *Design thinking: New product development essentials from the PDMA*. Birinci Baskı. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons Yayınevi, s. 87-104.

# EKLER

EK-1. Pilot uygulama görüşme soruları

**Pilot Uygulama Görüşme Soruları**

1) Uygulama süreciyle ilgili genel görüşünüz nedir? Uygulama sürecinin işleyişi ile ilgili farklı olmasını istediğiniz bir unsur var mıydı?

| | |
|---|---|
| | |

2) Süreç boyunca hem geleneksel yöntemle hem de üretken tasarım yöntemiyle ürün tasarladınız. İki yöntemi kıyasladığınızda üretken tasarımın olumlu bulduğunuz yönlerini

- yöntemin uygulanması açısından,
- üretken tasarımın zaman yönetimi açısından
- alternatif fikir geliştirme açısından değerlendiriniz.

| | |
|---|---|
| | |

3) İki yöntemi kıyasladığınızda üretken tasarımın olumsuz bulduğunuz yönlerini

- yöntemin uygulanması açısından,
- üretken tasarımın zaman yönetimi açısından
- alternatif fikir geliştirme açısından değerlendiriniz.

| | |
|---|---|
| | |

4)Üretken tasarım yöntemi ile yürüttüğünüz uygulama sürecini düşündüğünüzde sizce tasarlanan ürünler için bileşen sayısı önemli bir faktör müdür? Neden?

| | |
|---|---|
| | |

.....
.....
.....
.....

EK-1. (devam) Pilot uygulama görüşme soruları

5) Farklı yapıda ve kullanım özelliklerine sahip ürünler üzerinden uygulamalar yaptınız. Bu deneyimlerinize dayanarak, sizce üretken tasarım zaman yönetimi ve alternatif üretimi açısından dolu strüktürdeki parçaların/ürünlerin tasarımında mı daha elverişli yoksa kabuk yapıdaki ürünler üzerinde mi? Neden?

| | |
|---|---|
| | |

6) Sizce üretken tasarım, zaman yönetimi ve alternatif üretimi açısından dolu strüktürdekiler için mi daha elverişli, çerçeve strüktürdekiler için mi?

| | |
|---|---|
| | |

7) Çerçeve ve kabuk strüktürler için kıyaslama yaptığınızda üretken tasarımın elverişliliği hakkında ne düşünüyorsunuz?

| | |
|---|---|
| | |

8) Sonuçlara ilişkin üretken tasarım ve geleneksel yöntemi olumlu ve olumsuz yönler açısından kıyaslayınız.

| | |
|---|---|
| | |

9) Üretken tasarımın endüstriyel tasarım sürecine entegrasyonunda, üretken tasarım sürecinin başlangıcı için en doğru aşama sizce hangi aşamadır?

| | |
|---|---|
| | |

.....

.....

.....

.....

.....

.....

EK-2. Ana uygulama görüşme soruları

**Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu**

S1: Tasarım süreçlerinde (araştırma, görselleştirme vb.) kullandığınız yapay zeka araçları var mı? (Genel tasarım süreçleriniz için)

S2: Tasarladığınız ürünlerin sunumu için (görselleştirme, render, pafta oluşturma) kullandığınız yapay zeka araçları var mı? (Genel tasarım süreçleriniz için)

S3: Genel tasarım sürecinde size proje tanımını inceleme, problem tanımlama, araştırma yapma, konsept geliştirme, eskiz yapma, projeyi detaylandırma ve modelleme aşamalarını takip etmeniz istendi. Tasarım süreçlerinizde genel anlamda bu adımları mı izliyorsunuz? Uyguladığınız farklı yöntemler var mı?

S4: Tasarım süreçlerinizde kullandığınız dijital araçlar nelerdir? (Modelleme, araştırma, sunum vb.)

S5: Yapılan çalışma özelinde genel/ geleneksel tasarım sürecinin hangi aşamalarında daha fazla zorluk yaşadınız?

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S6: Yapılan çalışma özelinde üretken tasarım sürecinin hangi aşamalarında daha fazla zorluk yaşadınız? Sizi zorlayan unsurlar nelerdi?

S7: Üretken tasarım yöntemini uygularken, süreç aşamalarını belirli bir sıraya göre mi yürüttünüz yoksa esnek bir şekilde mi ilerlediniz? Eğer araştırmacı tarafından proje aşamalarına ilişkin bir yönlendirme yapıldıysa, yönlendirmenin olmadığı bir durumda değiştirmek istediğiniz bir sıralama ya da eklemek istediğiniz bir aşama olur muydu?

S8: Geleneksel tasarım yöntemiyle karşılaştırıldığında, üretken yöntem ile sürecin hangi aşamaları daha fazla zaman alıyordu?

S9: Tasarım sürecini bireysel olarak yürüttünüz. Deneyiminize dayanarak, takım çalışması açısından, üretken tasarım yönteminin ekip içi etkileşimi olumlu ya da olumsuz etkileyeceğini düşünüyor musunuz?

S10: Üretken tasarım yöntemi ile geleneksel tasarım yönteminin yaratıcılığınıza olan etkisini nasıl değerlendirirsiniz? Üretken tasarım süreci ile geleneksel tasarım süreci arasında yaratıcı düşünce sürecinizde ne gibi farklılıklar gördünüz? Spesifik örnekler verebilir misiniz?

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S11: Bu yöntemi kullanarak ortaya çıkan tasarımlarınızda ne tür yenilikçi unsurlar keşfettiniz?

S12: Üretken tasarım sürecinde alternatiflerin üretilme aşamasında tüm iterasyonları görebilmenin ve ayrıca sayısal verileri görebilmenin avantajları var mı? Tasarımcı olarak izlenimleriniz nelerdir?

S13: Üretken tasarım sürecinin, tasarımınıza olan katkılarını nasıl değerlendirirsiniz?

S14: Üretken tasarım yönteminin uygulanmasında kullandığınız aracın (Fusion 360 Generative Design) yeterli olduğunu düşünüyor musunuz?

S15: Üretken tasarım yönteminin uygulanmasında kullandığınız aracın (Fusion 360 Generative Design) yeterli olduğunuz düşünmüyorsanız, tasarım süreçlerinde ve sonuç ürünler açısından daha yeterli hale gelmesi için hangi özelliklerin geliştirilmesini isterdiniz?

S16: Üretken tasarımın (varsa) kullandığınız yapay zeka araçlarına göre faklarını ve benzer yönlerini belirtiniz.

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S17: Üretken tasarım yönteminin size göre avantajlı olduğu yönler nelerdir?

S18: Üretken tasarım yönteminin size göre dezavantajlı olduğu yönler nelerdir?

S19: Üretken tasarım yöntemini tüm ürünlerin tasarım süreçleri için uygulanabilir buluyor musunuz?

S20: Üretken tasarım yöntemi, genel ürün geliştirme süreçlerinin hangi aşamasında aktif rol oynarsa sürecin daha başarılı yürütüleceğini düşünüyorsunuz?

S21: Üretken tasarımın farklı form alternatifleri sunmasının, form oluşturma açısından yaratıcılığı teşvik edeceğini düşünüyor musunuz?

S22: Üretken tasarım yöntemi ile tasarlanmış ürün formlarının benzersiz olduğunu düşünüyor musunuz? Bu formlar, tasarımcının oluşturamayacağı düzeyde farklılık sunuyor mu?

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S23: Üretken tasarım yöntemi ile tasarım yapmanın, tasarımcı açısından sürecin teknik gerekliliklerine hakim olmayı zorunlu kıldığını düşüyor musunuz?

S24: Üretken tasarım yönteminin ürün geliştirme ekiplerinde ortak bir dil oluşturmaya ve iletişimin daha sağlıklı hale getirilmesine katkı sağlayacağını düşünüyor musunuz?

S25: Üretken tasarım yönteminin mühendisler ile birlikte kullanılmasının daha etkili sonuçlar yaratacağını düşünüyor musunuz?

S26: Sizce, teknik tüm veriler sunulduğunda, üretken tasarım tasarımcının bireysel olarak tasarım yapmasını kolaylaştırır mı? Yoksa genel tasarım sürecinden herhangi bir farkı olmaz mı?

S27: Üretken tasarım yöntemini hangi tür ürünlerin tasarım süreçlerinde kullanmayı tercih edersiniz?

S28: Sonuçlarınızın fonksiyonellik, estetik ve kullanıcı deneyimi açısından ne gibi farklılıklar gösterdiğini düşünüyorsunuz?

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S29: Elde ettiğiniz sonuçların endüstriyel tasarım pratiğine nasıl entegre edilebileceğini düşünüyorsunuz?

S30: Üretken tasarımı genel tasarım süreci içinde kullanmanız gerekse hangi aşamada kullanmaya başlamayı düşünürüsünüz?

S31: Ürünlerinizi tasarlarken, üretken tasarım ve geleneksel yöntem arasında belirgin bir fark gördünüz mü? Varsa, bu farklar nelerdi?

S32: Bu süreçte dikkatinizi çeken en önemli noktalar nelerdi? Gelecek tasarım projelerinde üretken tasarım yöntemini tekrar kullanmayı düşünüyor musunuz?

S33: Üretken tasarım yönteminin sizin için önemli noktaları nelerdir?

S34: Üretken tasarım yönteminin, kendi tasarım yaklaşımınızı nasıl etkilediğini düşünüyorsunuz?

EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S35: Üretken tasarım yönteminin endüstriyel tasarım alanındaki geleceğini nasıl görüyorsunuz?

S36: Endüstriyel tasarım alanında üretken tasarım yönteminin nasıl daha yaygın hale geleceğini öngörüyorsunuz? Hangi sektörlerde daha fazla uygulanabilir?

S37: Üretken tasarım süreçlerinde kullanıcı geri bildirimlerinin ve katılımının rolü nasıl değişecek? Gelecekte tasarımcıların kullanıcılarla olan etkileşimleri ne yönde gelişecek ve sizce üretken tasarım bu sürecin neresinde yer alabilir?

S38: Tasarım eğitimlerinde üretken tasarım yönteminin yer alması durumu hakkında görüşünüz ne olur? Bu yöntemin eğitim müfredatlarında yer almasını, gelecek nesil tasarımcılar açısından önemli buluyor musunuz?

S39: Üretken tasarımın, yenilikçilik ve rekabetçilik açısından bir avantaj sağladığını düşünüyor musunuz? Bu durum, tasarım pratiğinin geleceğini nasıl etkiler?

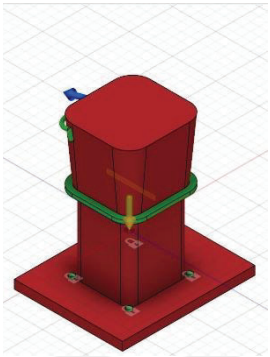
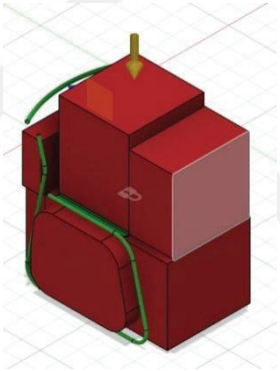
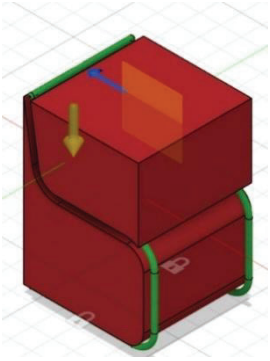
EK-2. (devam) Ana uygulama görüşme soruları

S40: Sizce üretken tasarım yönteminin ürün tasarımında ergonomi faktörüne bir katkısı olabilir mi?

S41: Üretken tasarım tüm strüktür türlerinde uygulanabilir mi? Kabuk strüktür, çerçeve strüktür, levhalar, membranlar, dolu strüktürler...

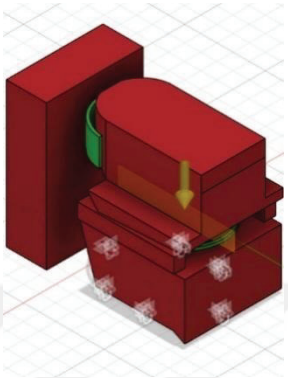
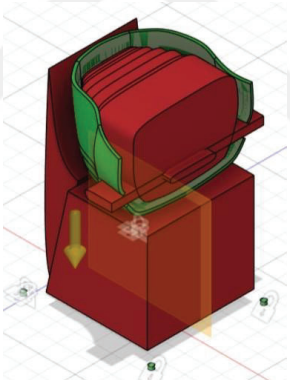
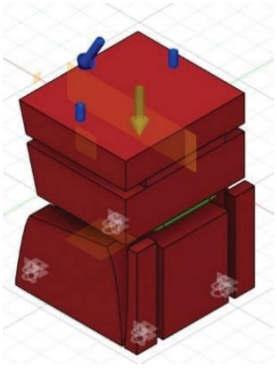
EK-3. Ana uygulamada alternatif sonuç ve süreç ilişkisine yönelik çizelge

Çizelge 3.1. Dijital model üzerinden sonuç ve süreç karşılaştırması

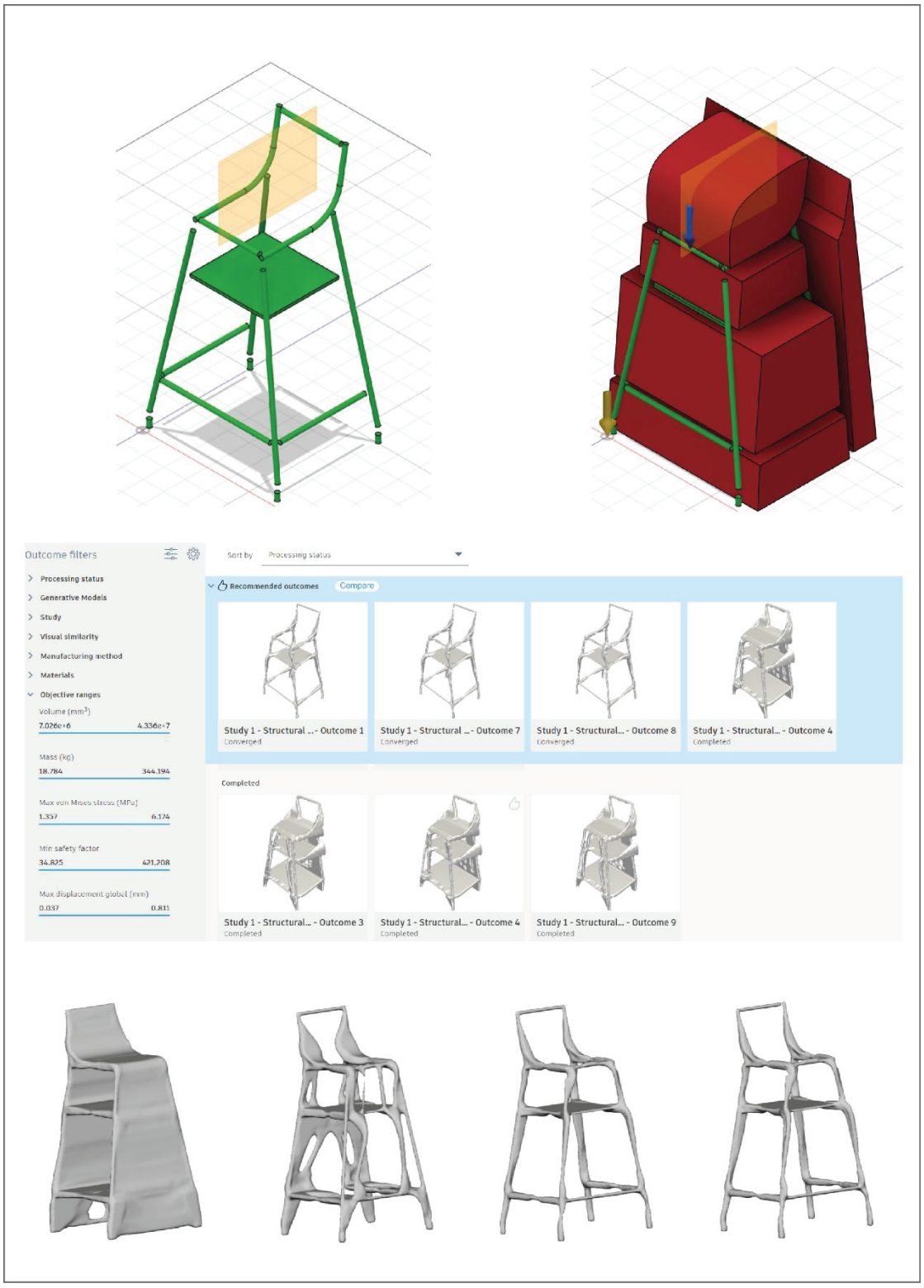
| Katılımcılar | Alternatif sonuç | Sonuca ilişkin üretken süreç görseli |
|---|---|---|
| K1AU |  |  |
| K2AU |  |  |
| K3AU |  |  |

EK-3. (devam) Ana uygulamada alternatif sonuç ve süreç ilişkisine yönelik çizelge

Çizelge 3.1. (devam) Dijital model üzerinden sonuç ve süreç karşılaştırması

| Katılımcılar | Alternatif sonuç | Sonuca ilişkin üretken süreç görseli |
|---|---|---|
| K4AU |  |  |
| K5AU |  |  |
| K6AU |  |  |

EK-4. Geometri tanımlama ve iterasyon sürecine ilişkin görseller




Resim 4.1. Ana uygulamada geometri tanımlama ve iterasyon sürecine ilişkin görseller

EK-5. Etik komisyonu onay belgesi

**Evrak Tarih ve Sayısı: 01.10.2024-E.1053173**

**T.C.**
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ**
**Etik Komisyonu**

Sayı : E-77082166-302.08.01-1053173 01.10.2024
Konu : Bilimsel ve Eğitim Amaçlı

**DAĞITIM YERLERİNE**

Üniversitemiz Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Ana Bilim Dalı **Doktora Öğrencisi Saygın YÜCEKULE'nin, Prof.Dr.Hüseyin Güçlü YAVUZCAN'ın** danışmanlığında yürüttüğü ***"Endüstriyel Tasarım Sürecinde Üretken Tasarım Yaklaşımının Etkisinin Araştırılması"*** adlı tez çalışması ile ilgili konu Komisyonumuzun **24.09.2024** tarih ve **15** sayılı toplantısında görüşülmüş olup,

İlgilinin çalışmasının, yapılması planlanan yerlerden izin alınması koşuluyla yapılmasında etik açıdan bir sakınca bulunmadığına oybirliği ile karar verilmiş ve karara ilişkin imza listesi ekte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

Araştırma Kod No: 2024 - 1504



*Gazili olmak ayrıcalıktır*