

**ENDÜSTRİYEL TASARIM SÜRECİNDE SAYISAL 3 BOYUTLU MODELİN
EVRİM AŞAMALARININ VE SÜRECE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN
SAPTANMASI**

Ulaş TİGİN

Yüksek Lisans Tezi

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Endüstriyel Tasarım Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin KAPKIN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2022

ÖZET

ENDÜSTRİYEL TASARIM SÜRECİNDE SAYISAL 3 BOYUTLU MODELİN EVİRİM AŞAMALARININ VE SÜRECE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN SAPTANMASI

Ulaş TİGİN

Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı

Endüstriyel Tasarım Programı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin KAPKIN

Bu tez çalışmasında endüstriyel tasarım süreci içerisinde yer alan; ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarındaki, bilgisayar destekli üç boyutlu modelleme sürecinin evrimine neden olan etken modelleme parametreleri konu alınmıştır. Modelleme sürecindeki bu değişimin anlaşılabilmesi için; yeni ürün geliştirmede tasarım süreçleri, bilgisayar destekli üç boyutlu modelleme, prototipleme ve seri üretim için hazırlık faaliyetleri incelenmiştir. Konunun temel kavramlarının açıklanmasının ardından, tasarım süreçlerindeki model evrimini araştırmak için anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anket sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, tasarımcıların farklı modelleme davranışları incelenmeye çalışılmış ve beş farklı davranış deseni saptanmıştır. Her bir davranış desenini sergileyen katılımcılar ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilerek, endüstriyel tasarım süreci özelinde, üç boyutlu modellemedeki evrim aşamaları, evrim aşamalarına etken parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelerin, endüstriyel tasarımın ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarına etkenlik dereceleri saptanmaya çalışılmıştır. 3 boyutlu modellerin endüstriyel tasarım sürecindeki farklı işlev ve nitelikleri tespit edilerek modelleme aşamaları isimlendirilmiştir. Süreç içerisinde 3 boyutlu modelin geçirdiği evrime etki eden modelleme parametreleri açıklanarak literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır. 3 boyutlu modellemedeki etken parametrelerin anlaşılmasıyla; tasarım eğitiminde veya endüstrisinde ihtiyaç duyulan modelleme yeteneklerinin tespit

edilmesinde ve bu yeteneklerin kazandırılmasına yönelik stratejilerin oluşturulması konusunda fayda sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Ön Tasarım, Hızlı Prototipleme, Seri Üretim, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), 3 Boyutlu Modellemede Etken Parametreler.



ABSTRACT

DETERMINING THE EVOLUTIONARY STAGES OF THE DIGITAL 3D MODEL AND THE AFFECTING PARAMETERS IN THE INDUSTRIAL DESIGN PROCESS

Ulaş TİGİN

Department of Industrial Arts

Programme in Industrial Design

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin KAPKIN

The subject of this thesis is to investigate effective parameters that lead to the evolution steps of the computer-aided 3D modeling in the context of the industrial design process during the early design stage, prototyping, and preparation for mass production applications. The design processes in new product development, computer-aided 3D modeling, prototyping, and preparation activities for mass production were examined to understand the evolution of 3D modeling process. After the introduction to basic concepts of the subject, a research survey was conducted to investigate the evolution of the 3D models within industrial design process. In line with the data obtained from the survey, 3D modeling behaviors of the designers were analyzed, and five different behavior patterns were observed. Afterward, semi-structured interviews were conducted with the participants who exhibited each behavioral pattern. The evolution stages of 3D modeling and the effective parameters for these evolution stages have been determined. The intention, here is to designate the effectiveness of these parameters in the early design, prototyping, and preparation activities for mass production. As a result, the modeling stages were defined by determining the different functions and qualities of 3D models in the industrial design process. The aim is to contribute to the literature by indicating the modeling parameters affecting the evolution of the 3D model during the process. Findings will be beneficial in determining the modeling skills needed in design education or the industry and in creating strategies for gaining these skills.

Keywords: Early Design Stage, Rapid Prototyping, Mass Production, Computer Aided Design (CAD), Effective Parameters in 3D Modeling.

TEŞEKKÜR

Kendilerinden çok şey öğrendiğim ve her zaman yanımda olmuş annem Gülferi Tigin'e, babam Cenk Tigin'e, kardeşim Doğaç Tigin'e ve tüm aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmasının temellerinin oluşmasında büyük katkı sağlayan Öğr. Gör. Dr. Atınç Özdemir'e;

Tez çalışması boyunca bilgisini ve motivasyonunu hiç esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin Kapkın'a;

Araştırmaya sağladıkları katkıdan ötürü tüm gönüllü katılımcılara;

Bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Destegini ve sevgisini her zaman benimle paylaşan Gizem Severoğlu'na ayrıca teşekkür ederim.

Ulaş TİGİN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ulaş TİGİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. YENİ ÜRÜN GELİŞTİRME VE TASARIM KAVRAMLARI	5
2.1. Yeni Ürün Geliştirme Kavramı ve Süreçleri.....	6
2.2. Tasarım Kavramı ve Süreçleri.....	11
2.3. Endüstriyel Tasarım Kavramı.....	21
2.4. Ön Tasarım, Prototipleme ve Seri Üretim İçin Hazırlık Aşamaları	25
3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ 3 BOYUTLU MODELLEME	31
3.1. Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Modelleme Prensipleri	32
3.1.1. Katı modelleme	36
3.1.2. Yüzey modelleme.....	39
3.1.3. Poligon ağ modelleme.....	44
3.2.4. Diğer modelleme prensipleri	46
3.2. Endüstriyel Tasarımda Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Modelleme.....	50
4. HIZLI PROTOTİPLEME VE SERİ ÜRETİM.....	57

4.1. Endüstriyel Tasarımda Hızlı Prototipleme.....	62
4.1.1. Eksiltmeli yöntem	67
4.1.2. Eklemeli yöntem	69
4.2. Hızlı Prototipleme Parametreleri	76
4.3. Endüstriyel Tasarımda Seri Üretim İçin Hazırlık	78
5. ÜÇ BOYUTLU MODELİN EVRİM AŞAMALARI VE ETKEN	
PARAMETRELER	82
5.1. Araştırmanın Yapısı	83
5.2. Üç Boyutlu Modellemenin Evrim Aşamaları	91
5.3. Üç Boyutlu Modellemede Davranış Desenleri	98
5.4. Üç Boyutlu Modelleme Aşamalarındaki Etken Parametrelerin	
Saptanması.....	101
5.4.1. Sabit desen.....	104
5.4.2. Paralel desen	106
5.4.3. Daralan desen	108
5.4.4. Genişleyen desen.....	110
5.4.5. Atlamalı desen.....	112
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKÇA.....	122
EKLER	127
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Genel ürün geliştirme süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 14)	9
Tablo 4.1. Önerilen imalat süreci referans tablosu (Varotsis, 2020)	67
Tablo 4.2. Hızlı prototipleme; yöntem, teknoloji ve malzemelerin kullanım amaçları.....	75
Tablo 4.3. 3 boyutlu baskı ve CNC işleme parametreleri	77
Tablo 5.1. Araştırma anketindeki mesleki deneyime göre oluşturulmuş üçüncü katman katılımcı grupları	84
Tablo 5.2. Modelleme prensiplerine göre CAD yazılımları	85
Tablo 5.3. YT katılımcı sayıları	87
Tablo 5.4. Kodlanmış parametrelerin SYT grubundaki dağılımı	103
Tablo 6.1. CAD modeline etken parametrelerin, tasarım aşamalarındaki gözlemlenen etkenlik derecelerinin ortalamaları	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yeni ürün geliştirme ve tasarım süreçleri kavram haritası.....	5
Şekil 2.2. Ürün geliştirme sürecine katılım seviyesi (Cuffaro, 2006, s. 29).....	7
Şekil 2.3. Geliştirme aşamasının alt adımları (Cuffaro, 2006, s. 24)	8
Şekil 2.4. Ürün geliştirme sürecinin altı aşaması (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 14).....	8
Şekil 2.5. Ürün geliştirmenin farklı aşamalarındaki tasarım faaliyetleri (Baxter, 1995, s. 19).....	10
Şekil 2.6. Tasarım temel prosedürü ve tasarımın ana evreleri (Archer, 1965, s. 64)	13
Şekil 2.7. Tasarım süreci blok diyagramı (French, 1999, s. 2).....	14
Şekil 2.8. Ürün geliştirmede planlama ve tasarım süreci (Pahl vd., 2007, s. 19).....	16
Şekil 2.9. Tasarım süreci önerisi (Lawson, 2005, s. 49).....	17
Şekil 2.10. Arştırma ve tasarımın basit döğüsü (Eekels ve Roozenburg, 1991, s. 199)	18
Şekil 2.11. Tasarım sürecinin dört aşamalı basit modeli (Cross, 2008, s.30).....	19
Şekil 2.12. İlk yayınlanma yıllarına göre, Pei'nin (2009) sunduğu tasarım modelleri karşılaştırma tablosunun genişletilmiş özeti.....	20
Şekil 2.13. Tasarım faaliyetlerinde mühendislik ve tasarım girdileri (Utterback vd., 2006, s. 64).....	23
Şekil 2.14. Üç yaratım süreci ve endüstriyel tasarımın yeri (Gotzsch, 1998, s. 43).....	24
Şekil 2.15. Tasarım aşama, sonuç ve amaçları (Baxter, 1995, s. 263)	25
Şekil 2.16. Ürün geliştirme süreci içerisinde endüstriyel tasarımın yeri (Ulrich, Eppinger, ve Yang, 2020, s. 229).....	26
Şekil 2.17. Dijital eskiz modellemenin tasarım sürecindeki yeri (Ranscombe ve Bissett-Johnson, 2016, s. 6)	29
Şekil 2.18. Endüstriyel tasarım aşamaları	30
Şekil 3.1. Modelleme ve CAD zaman çizelgesi (Stroud ve Nagy, 2011, s. 66).....	35
Şekil 3.2. B-rep topolojik unsurları	38
Şekil 3.3. NURBS eğrisi (spline).....	41
Şekil 3.4. CAD/CAM katkısı ile güncellenmiş ürün döngüsü (Groover ve Zimmers, 1984, s. 5)	51

Şekil 4.1. Görsel tasarım temsil araçları özeti (Buxton, 2007'den aktaran Pei, 2009, s. 143).....	57
Şekil 4.2. Model ve prototiplerin sınıflandırılması (Pei vd., 2011, s. 71)	60
Şekil 4.3. Tasarım süreci konisi (Buxton, 2007)	61
Şekil 4.4. Ürün tasarımı sürecindeki hızlı prototipleme iş akışı (Grote vd., 2001, s. 19)	63
Şekil 4.5. Temel imalat prensipleri (What is 3D printing?, 2021)	65
Şekil 4.6. İmalat prensiplerinin parça başına düşen maliyet üzerinden değerlendirilmesi (What is 3D printing?, 2021)	66
Şekil 4.7. Detay tasarım süreci (Baxter, 1995, s. 272)	78
Şekil 4.8. Geleneksel ve prototiplemeli üretim süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 306).....	80
Şekil 4.9. Prototiplemeli üretim süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 304).....	81
Şekil 5.1. Endüstriyel tasarım sürecinde CAD modelleme ve işlevleri.....	83
Şekil 5.2. Araştırma anketinin yapısı.....	86
Şekil 5.3. YT grubunun hızlı prototip ve seri üretim deneyimleme oranlarının meslek yılına bağlı dağılımı.....	88
Şekil 5.4. SYT grubunun deneyim oranları ve katılımcı sayıları	89
Şekil 5.5. Örnekleme katmanları ve katılımcı grupları	90
Şekil 5.6. SYT grubunun modelleme prensipleri tercihleri.....	92
Şekil 5.7. SYT grubunu detaylandırmış grubunun modelleme prensipleri tercihleri	93
Şekil 5.8. SYT grubunu birden farklı prototipleme yöntemi değiştirme sıklığı.....	94
Şekil 5.9. SYT grubunun, prototip ölçeğine özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı.....	94
Şekil 5.10. SYT grubunun, 3 boyutlu baskıya özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı.....	95
Şekil 5.11. SYT grubunun, CNC işlemeye özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı.....	95
Şekil 5.12. SYT grubunun, seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel CAD modeli hazırlama sıklığı.....	96
Şekil 5.13. SYT grubunun, seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel CAD model revizyonu sıklığı.....	96

Şekil 5.14. SYT grubunun modelleme süreçleri.....	98
Şekil 5.15. Örnek modelleme davranış desenleri	99
Şekil 5.16. Katılımcı gruplarının modelleme davranış desenleri dağılımı	100
Şekil 5.17. SYT grubunda, meslek yılı deneyime göre modelleme davranış desenleri dağılımı.....	101
Şekil 5.18. Sabit modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti	104
Şekil 5.19. Sabit modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri.....	105
Şekil 5.20. Paralel modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti.....	106
Şekil 5.21. Paralel modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri	107
Şekil 5.22. Daralan modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti	108
Şekil 5.23. Daralan modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri	109
Şekil 5.24 Genişleyen modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti.....	110
Şekil 5.25. Genişleyen modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri	111
Şekil 5.26. Atlamalı modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti.....	112
Şekil 5.27. Atlamalı modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri	113
Şekil 6.1. Ön tasarım aşamasında CAD modeli etken parametreleri ve gözlemlenen etkenlik dereceleri	114
Şekil 6.2. Ön tasarım aşamasına etken parametrelerin sıralaması.....	115
Şekil 6.3. Prototipleme aşamasında CAD modeli etken parametreleri ve gözlemlenen etkenlik dereceleri	116
Şekil 6.4. Prototipleme aşamasına etken parametrelerin sıralaması.....	116
Şekil 6.5. Seri üretim için hazırlık aşamasında CAD modeli etken parametreleri.....	117
Şekil 6.6. Seri üretim için hazırlık aşamasına etken parametrelerin sıralaması	118

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1. Endüstriyel tasarım sürecinde eskiz örneği	27
Görsel 3.1. 3 boyutlu modellemede temel nesne tipleri	34
Görsel 3.2. Katı ilkelleri	37
Görsel 3.3. Boolean işlemleri	37
Görsel 3.4 Solidworks katı modelleme yazılımı arayüzü (Griffin, 2020)	39
Görsel 3.5. Tel kafes modelleme örneği	40
Görsel 3.6. Network ve patch yüzeyi	41
Görsel 3.7. Yüzey ve çoklu yüzeyler	42
Görsel 3.8. Geometrik devamlılık	43
Görsel 3.9. Rhinoceros 3D yüzey modelleme yazılımı arayüzü	44
Görsel 3.10. 3ds Max yüzey modelleme yazılımı arayüzü (3ds Max Support and learning, 2021)	46
Görsel 3.11. Grasshopper parametrik modelleme yazılımı	47
Görsel 3.12. Üretken modelleme örneği (Generative Design 101)	47
Görsel 3.13. Rhinoceros 3D yazılımında SubD yüzey modelleme	48
Görsel 3.14. 3 boyutlu tarama (Artec Studio 16)	49
Görsel 3.15. Sanal gerçeklik ile 3 boyutlu modelleme (VR Ink Pilot Edition)	50
Görsel 3.16. Ön tasarım sürecinde CAD kullanımı örneği	53
Görsel 3.17. Prototipleme aşaması için oluşturulmuş CAD modeli	54
Görsel 3.18. Ürünün detay tasarımı ve CAD ortamındaki nihai üretim bilgisi için hazırlık aşaması	55
Görsel 4.1. Endüstriyel tasarım modelleri (Pei vd., 2011, s. 79)	59
Görsel 4.2. CNC freze prototip üretimi	68
Görsel 4.3. CNC işleme ile üretilen görünüm modeli örneği (Noe, 2019)	69
Görsel 4.4. 3 boyutlu yazıcı CAM yazılımı ve katmanların yakın plan gösterimi	70
Görsel 4.5. FDM teknolojisi prototip örneği (Artley)	71
Görsel 4.6. SLA teknolojisi prototip örneği (Cain)	72
Görsel 4.7. SLS teknolojisi prototip örneği (Fuse 1 SLS Materials: Nylon Powders)	73
Görsel 4.8. Polyjet teknolojisi prototip örneği (Pearson, 2020)	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3B	: 3 Boyutlu
Ar-Ge	: Araştırma Geliştirme
B-Rep	: Sınır Gösterimi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol
CSG	: Yapıcı Katı Geometri
DLP	: Dijital Işık Süreci
DO	: Düşük Deneyimli Tasarımcı Olmayan
DT	: Düşük Deneyimli Tasarımcı
FDM	: Eriyik Yığıdırma ile Modelleme
K(n)	n'inci katılımcı
NURBS	: Düzgün Olmayan Oransal Temel Eğri Yapısı
P _n	: n'inci Parametre
SLA	: Stereolithography Yöntemi
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
STL	: Stereolithography Dosya Uzantısı
SYT	: Seçilmiş Yüksek Deneyimli Tasarımcı
YO	: Yüksek Deneyimli Tasarımcı Olmayan
YT	: Yüksek Deneyimli Tasarımcı

1. GİRİŞ

Yeni ürün geliştirme faaliyetleri belirli aşamalardan oluşmaktadır. Endüstriyel tasarım bir disiplin olarak bu aşamalar arasında kendisine yer bulmaktadır. Seri üretilen ürünleri konu alan endüstriyel tasarım disiplini, birçok sektör ve bu sektörlerde uygulanan birbirinden farklı üretim yöntemi ile etkileşim içerisinde. Bunun yanı sıra tasarım süreci boyunca fikir geliştirmek ve fikirleri test etmek amacıyla veya ürünleri seri üretime hazır hale getirmek için farklı prototip metotları da bu etkileşimin bir parçasıdır.

Günümüzde birçok sürecin ayrılmaz bir parçası haline gelmiş bilgisayarlar ve yazılımlar, tasarım alanında da çok önemli bir yere sahiptir. Üçüncü endüstri devrimiyle beraber otomasyon ve seri üretim ile üretilen endüstriyel ürünlerin, geleneksel tasarım süreçlerinin ardından bilgisayar ortamında oluşturulması bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Tasarım sürecinde geliştirilen ve sayısal veriye dönüştürülmüş ürün bilgisinin, herhangi bir kurulum maliyeti gerektirmeden hızlı prototipleme yöntemleri ile üretimi endüstriyel tasarım süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Hızlı prototipleme ve seri üretim uygulamalarında kullanılan bir araç olan bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme endüstriyel tasarım süreçlerinde bazı evrimler geçirerek farklı işlev ve nitelikler kazanmaktadır.

Bu işlev ve nitelikleri anlamak amacıyla yeni ürün geliştirme ve endüstriyel tasarım süreçleri incelenmiş ve çeşitli araştırmacıların bu süreçleri aşamalara bölüp birbirine paralel modeller olarak önerdikleri saptanmıştır (Baxter, 1995; Bryden, 2014; Cuffaro, 2006; Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Bu modeller genel olarak yeni ürün geliştirme süreçlerini mühendislik faaliyetleri (Pahl vd., 2007; Ulrich vd., 2020) ve eskiz/çizim, maket yapımı gibi el becerileri ve devamında gelen 3 boyutlu modelleme gibi endüstriyel tasarım ile daha çok ilişkilendirilebilecek faaliyetler üzerinden ele almıştır (Pei, 2009; Ranscombe ve Bissett-Johnson, 2016; Buxton, 2007; Lawson, 2005). Tezin ileri bölümlerinde bu modeller derlenmiş ve tez kapsamında yürütülen araştırma sürecinin planlaması açısından bu süreçler üç ana başlık altında toplanmıştır: ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık. Yeni ürün geliştirme kavramı içerisindeki bilgisayar destekli tasarım (CAD, Computer-Aided Design), ve 3 boyutlu modellemeyi konu alan kaynaklar, bu faaliyete iki farklı bakış açısı ile yaklaşmaktadır. CAD yazılımlarında; sayısal objeyi oluşturan unsurları ve bu unsurların hangi yöntem veya algoritmalar ile hesaplandığı gibi teknik konuları inceleyen matematik ve mühendislik

disiplininden gelen yaklaşımlar birinci bakış açısını oluşturmaktadır (Groover ve Zimmers, 1984; Stroud ve Nagy, 2011; Um, 2018). İkinci bakış açısı ise CAD yazılımlarının tasarım sürecinin hangi aşamalarında ve ne amaçla kullanıldığı ortaya koyar (Bryden, 2014; Dijk, 1995; Ranscombe ve Bissett-Johnson, 2016).

Hızlı prototipleme başlığı altında yapılan literatür taramasında, CAD modelleme faaliyetine paralel bir ayrımın olduğu gözlemlenmiştir. Teknik bakış açısı içerisinde, hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama örnekleri yer almaktadır (Gebhardt ve Hötter, 2016; Redwood, Schöffner, ve Garret, 2017). Diğer bakış açısı ise prototipleme kavramını; yeni ürün geliştirme sürecindeki, tanımı, yeri, işlevi ve tasarıma sağladığı katkı açısından ele almıştır (Buxton, 2007; Ulrich vd., 2020; Pahl vd., 2007). Erişimimiz dahilindeki çalışmalar; CAD programlarının teknik kabiliyetleri, bu programların süreç içerisindeki kullanımı, rol ve amaçları, CAD eğitimi ve uygulamaları konusunda doygun bilgiler sunmaktadır. Ancak literatürde, özellikle endüstriyel tasarım sürecinde başlayan 3 boyutlu model dosyasının; mock-up'tan (hızlı maket) seri üretime doğru işlevsel/teknik olarak evrilme serüveni ve bu evrimdeki süreç ve aşamalara özel dikkat edilmesi gereken parametreleri konusunda kısıtlı ve karmaşık bilgilerin olduğu gözlemlenmiştir. Kaynaklar incelendiğinde, bilgisayar destekli 3 boyutlu modellemenin endüstriyel tasarım süreçlerinin hangi aşamalarında kullanıldığı belirtilmek ile birlikte; ilgili süreçlerde yer alan 3 boyutlu modellerin işlevlerini, niteliklerini ve aşamalar içerisindeki farklılıklarını ortaya koyan çalışmaların eksikliği fark edilmiştir. Bunun yanında süreci planlayan ve sürdüren endüstriyel tasarımcıların, sürecin alt aşamalarında CAD dosyasının üzerinde yapılan revizyon ve evrime paralel olarak şekillendirdikleri CAD yazılımları kullanımındaki davranış desenleri konusunda da sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür.

Tez çalışması endüstriyel tasarımcıların, tasarım sürecinde kullandıkları bir araç olan CAD modelini; ön tasarım, prototipleme, seri üretim için hazırlık aşamaları arasındaki evrimini ve oluşan model süreç aşamalarına özel işlev, nitelik ve öne çıkan model parametreleri üzerinden ele almıştır. Ürün geliştirme sürecinin farklı aşamalarında oluşan CAD dosyaları arasında işlev ve nitelik bakımından ayrımların yapılmasında, endüstriyel tasarım alanında çalışan farklı mesleki deneyim seviyelerindeki akademisyen ve profesyonellerin görüş ve pratik tecrübelerinin incelenmesinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Tez çalışmasının amacı, bilgisayar destekli 3 boyutlu modellemedeki süreç ve amaca bağlı farklılıkları ortaya koyup; ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için oluşturulmuş CAD dosyasının evrim aşamalarını ortaya koymak ve bu aşamalarda dikkat edilmesi gereken model parametrelerini belirlemektir. Buradan yola çıkarak, çalışmada aşağıda belirtilen üç araştırma sorusuna yanıt aranmıştır:

- 1) Endüstriyel tasarım sürecinde bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme hangi işlevlere ve niteliklere sahiptir?
- 2) Bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme dosyalarının geçirdiği evrim aşamaları neden oluşur?
- 3) Belirtilen evrim aşamalarında; ön tasarım süreci, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarında hangi 3 boyutlu modelleme parametreleri etkilidir?

Tez çalışmasının ikinci ve üçüncü bölümünde yapılan literatür taraması ile ilk araştırma sorusuna yanıt aranırken, çalışma kapsamında gerçekleştirilen araştırmanın alt yapısı oluşturulmuştur. İkinci ve üçüncü araştırma soruları ise 3 boyutlu modelin evrim aşamaları ve etken parametreler başlıklı beşinci bölümde cevaplanmaya çalışılmıştır. Toplanan veriler ile tasarımcıların beş farklı CAD kullanım davranış deseni sergiledikleri saptanmıştır. Bu davranış desenleri; CAD ortamında hazırlanan 3 boyutlu modelin kazandığı farklı işlevler, dosyanın geçirdiği evrim aşamaları ve bu evrime neden olan parametreleri belirlemede etkili olmuştur.

Tez çalışmasının ikinci ve üçüncü bölümlerinde yeni ürün geliştirme kavramı altında endüstriyel tasarım süreçleri ve bu süreçler içerisinde kullanılan araçlardan biri olan bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme uygulamaları incelenmiştir. Bu inceleme sonucu elde edilen bilgiler, tezin araştırma bölümünün alt yapısını oluşturması adına literatürden faydalanarak sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise ilgili literatüre dayanarak CAD ile modelleme, hızlı prototipleme ve seri üretimin temel prensipleri sunulmuştur. Beşinci bölüm tezin araştırma aşamasını kapsamaktadır. Yapılandırılmış anket ve yarı yapılandırılmış çevrimiçi görüşmeler olarak kurgulanan tezin araştırma aşaması iki basamaklı veri toplama ve işleme süreçlerini içermektedir. İlk aşamadaki anket çalışması ile katılımcılara; deneyimleri, tasarım süreçleri, bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme tercihleri, hızlı prototipleme ve seri üretim uygulamalarındaki tecrübelerine dair sorular yöneltilmiştir. İkinci aşamadaki görüşmelerde ise katılımcıların 3 boyutlu modelleme davranış desenlerinden yararlanılarak, CAD modelinin geçirdiği evrim aşamaları

saptanmış ve bu aşamalarda sıklıkla kullanılan etken parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır.

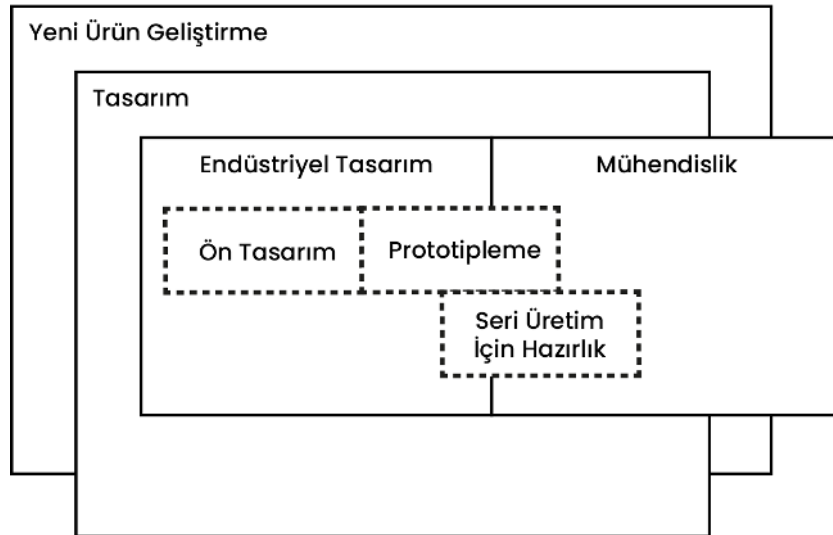
Sonuç olarak araştırma; ortaya çıkan bilgisayar destekli 3 boyutlu modelleme desenleri ile tasarımcıların mesleki deneyim seviyeleri, proje süreçlerini algılayışları, prototipleme ve seri üretim tecrübeleri arasında ilişkiler olduğunu göstermektedir. CAD modelinin, karmaşık tasarım süreçleri içerisinde geçirdiği evrim aşamaları ve bu aşamalara özel etken parametrelerin saptanmasıyla; çalışmanın eğitim faaliyetlerine, akademik ve profesyonel çalışmalara, endüstriyel tasarım süreçleri özelindeki CAD modellerinde dikkat edilmesi gereken noktaların farkındalığı açısından katkı sağlaması ön görülmektedir.



2. YENİ ÜRÜN GELİŞTİRME VE TASARIM KAVRAMLARI

Bu bölümde yeni ürün geliştirme kavramından başlayıp, konuyu kapsayan alanlar; endüstriyel tasarımda ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları altında incelenecektir. Bölümün alt başlıklarının kapsadığı alanların birbirleriyle olan ilişkilerinin okunabilmesi adına bir kavram haritası oluşturulmuştur (**Şekil 2.1**). Araştırmanın bakış açısı, konuyu genelden özele doğru inceleyen bir yapıda kurgulanmıştır.

Literatür incelendiğinde; yeni ürün geliştirme kavramı ve süreçleri, araştırmanın konusu olan endüstriyel tasarım süreçlerini kapsayan çatı kavram olarak ortaya çıkmaktadır. Yeni ürün geliştirme içerisinde yer alan tasarım süreçlerinin; ürün tasarımında, endüstriyel tasarım ve mühendislik tasarımı olarak iki alt başlığa bölündüğü gözlemlenmiştir. Tasarım süreçleri içerisindeki ön tasarım aşaması, endüstriyel tasarım disiplinin çalışma alanı olarak ele alınırken; prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları mühendislik tasarımı ve uygulamaları ile etkileşim içerisinde olan bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Yeni ürün geliştirme kavramı ve süreçlerinden başlayarak, belirtilen üç tasarım aşamasının tanımları ve süreç içerisindeki yerleri, bu bölüm içerisinde aktarılacaktır.



Şekil 2.1. Yeni ürün geliştirme ve tasarım süreçleri kavram haritası

2.1. Yeni Ürün Geliştirme Kavramı ve Süreçleri

Ürün, bir işletme tarafından müşterilere satılan bir şey olarak tanımlanmaktadır. Yeni ürün geliştirme, bir pazar fırsatının algılanmasıyla başlayan ve bir ürünün üretimi, satışı ve teslimatı ile biten faaliyetler dizisi olarak açıklanabilir. Bu disiplinler arası bu faaliyetlerin merkezinde üç temel işlev yer almaktadır; pazarlama, tasarım ve üretim (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

Pazarlama işlevi, ürün fırsatlarını, pazar bölümlerini ve müşteri ihtiyaçlarını, hedef fiyatları, ürünün piyasaya sürülme ve tanıtım şeklini belirleyip denetlemektedir. Tasarım işlevi, mühendislik (mekanik, elektrik, yazılım vb.) ve endüstriyel tasarımı (estetik, ergonomi, kullanıcı ara yüzleri) bünyesinde barındırarak; müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamak için ürünün fiziksel biçimini tanımlamaktadır. Üretim işlevi ise, satın alma, dağıtım ve kurulumu da içeren, imalat sisteminin tasarlanması ve işletilmesinden sorumludur. (Ulrich, Eppinger, ve Yang, 2020).

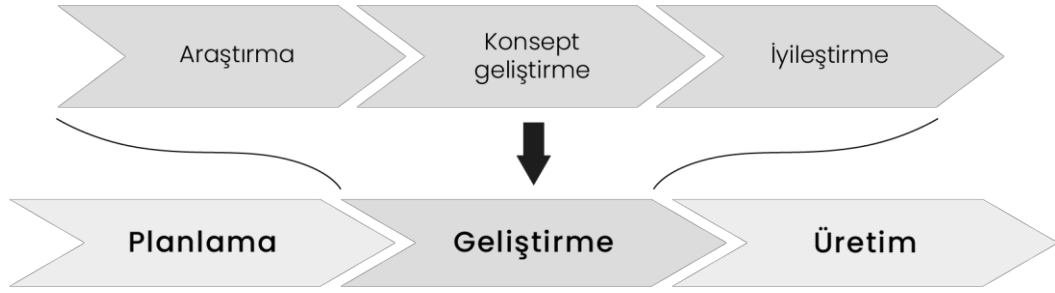
Cuffaro (2006), ürün geliştirme sürecini başarı garantisi olmayan, insan ve sermaye kaynağına dayalı bir kavram olarak açıklamaktadır. Bu süreçte riskleri azaltmak için ekip çalışmasıyla, sağlam geliştirme süreçleri oluşturmasının ve uygulamasının kritik önem taşıdığını belirtmektedir. Ürün geliştirme sürecini, barındırdığı özelleşmiş faaliyetleri ve disiplinleri kapsayan, üç ana aşamada tanımlanmaktadır. Bu aşamalar sırası ile planlama, geliştirme ve üretimdir. Ürün geliştirme sürecinin belirtilen üç aşaması içerisinde farklı alan ve seviyelerdeki uzmanlardan oluşan çoklu disiplinli bir yapıdaki çekirdek ekip tarafından proje gerçekleştirilir.

Farklı disiplinlerin ürün geliştirmenin üç aşamasındaki katılım seviyeleri **Şekil 2.2'**de belirtilmektedir (Cuffaro, 2006). Ürün geliştirme adımlarında etkili olan disiplinlerin; Ulrich, vd.in (2020) çalışmasının merkezinde bulunan üç temel işlev ile benzerliği, bu konudaki görüş birliğine de işaret etmektedir.



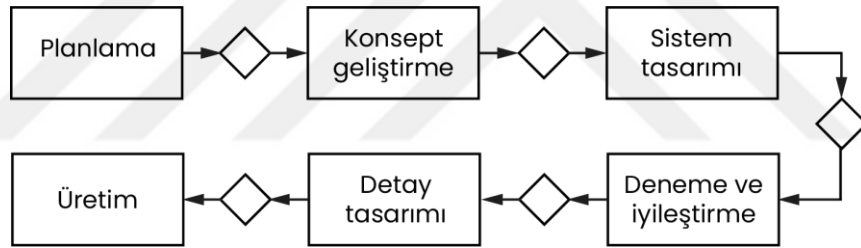
Şekil 2.2. Ürün geliştirme sürecine katılım seviyesi (Cuffaro, 2006, s. 29)
(Uyarlanmıştır)

Cuffaro (2006), planlama aşamasında pazarlama birimlerinin etkili olduğunu belirtir. Bu aşamada pazar araştırması, ihtiyacın belirlenmesi ve finansal fırsatların anlaşılması gerekmektedir. Planlama aşamasının sonucunda ürünün öncül gerekliliklerinin ortaya konulması amaçlanır. Bu aşamada belirlenen parametreler, geliştirme aşamasındaki başarının ölçülmesi için önemli bir rol oynamaktadır. Geliştirme aşaması içerisindeki faaliyetleri araştırma, konsept geliştirme ve iyileştirme olarak tanımlanmıştır. Endüstriyel tasarımcıların en çok bu aşamada sürece katılım gösterdikleri belirtilmiştir (Cuffaro, 2006). Geliştirme aşamasında gerçekleştirilen pazarlama ve tasarım araştırmalarının katkılarıyla konsept geliştirme faaliyeti başlamaktadır. Konsept geliştirmede, çözüme yönelik farklı yaklaşımların keşfedilmesine çalışılmaktadır. Geliştirilen çözüm önerileri, planlama aşamasında oluşturulmuş tasarım tanım belgesi ve tasarım gereklilikleriyle sınanmaktadır. Konsept geliştirmenin son adımı olan iyileştirme faaliyetlerinde, mühendisler ve tasarımcılar; fonksiyon, malzeme seçimi ve üretilebilirlik ile ilgili son kararları alarak, ürünün detaylı çizimlerini hazırlarlar. Tasarım faaliyetlerinin en yoğun şekilde yaşandığı geliştirme aşamasının alt faaliyetleri Şekil 2.3’de gösterilmektedir. Son aşama olan üretimde, endüstriyel tasarımcıların azalan rolünü tasarım ve üretim mühendisleri üstlenmektedir. Bu aşamada nihai iyileştirmeler, üretim araçlarının geliştirilmesi ve seri üretim hazırlıkları ile tamamlanır.



Şekil 2.3. Geliştirme aşamasının alt adımları (Cuffaro, 2006, s. 24)
(Uyarlanmıştır)

Ulrich vd. (2020), ürün geliştirme sürecini altı ana aşamaya ayırmıştır. Planlama, konsept geliştirme, sistem tasarımı, deneme ve iyileştirme, detay tasarımı ve üretim olan her bir aşamadan önce bir dizi karar alma işlemi gerçekleşmektedir. Bahsedilen süreç lineer bir diyagram olarak **Şekil 2.4'**de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Ürün geliştirme sürecinin altı aşaması (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 14)
(Uyarlanmıştır)

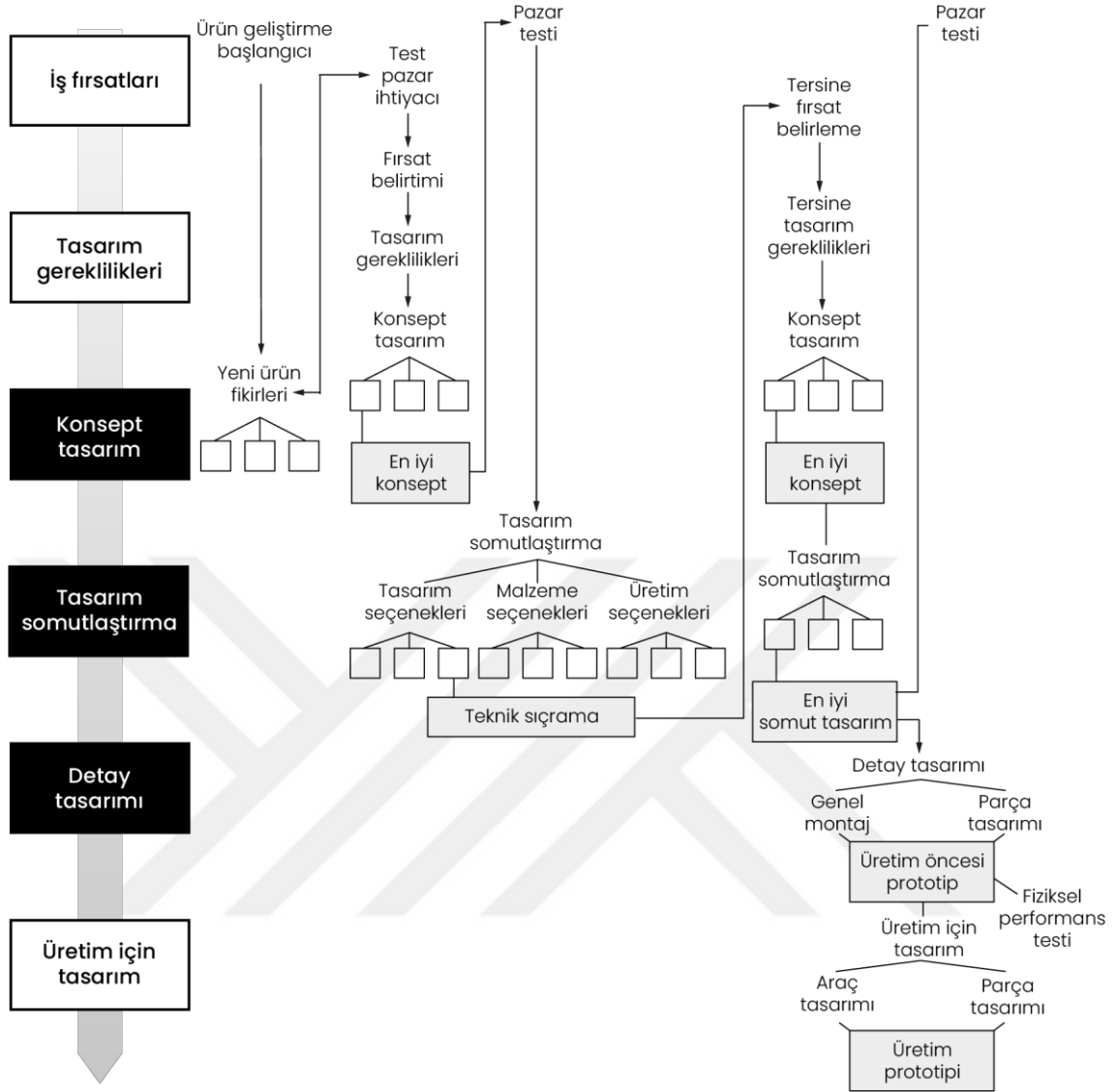
Ürün geliştirme süreci içerisindeki üç temel işlev, her bir aşamada gerçekleştirilecek farklı faaliyetleri oluşturmaktadır. **Tablo 2.1'**in başlık sütunlarında ürün geliştirme sürecinin altı aşaması gösterilmektedir. Satırlarda ise pazarlama, tasarım ve üretim işlevleri altındaki faaliyetlere yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Genel ürün geliştirme süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 14)

(Uyarlanmıştır)

Planlama	Konsept Geliştirme	Sistem Tasarımı	Detay Tasarımı	Deneme ve İyileştirme	Üretim
<i>Pazarlama</i> • Pazar fırsatını dile getirin. • Pazar segmentlerini tanımlayın.	• Müşteri ihtiyaçlarını toplayın. • Lider kullanıcıları tanımlayın. • Rakip ürünleri kıyaslayın.	• Ürün seçenekleri ve genişletilmiş ürün ailesi için plan geliştirin.	• Pazarlama planı geliştirin.	• Tanıtım ve lansman materyalleri geliştirin. • Saha testini kolaylaştırın.	• Önemli müşterilerle erken üretim yapın.
<i>Tasarım</i> • Ürün platformunu ve mimarisini göz önünde bulundurun. • Yeni teknolojileri değerlendirin.	• Ürün konseptlerinin fizibilitesini araştırın. • Endüstriyel tasarım konseptleri geliştirin. • Deneysel prototipler oluşturun ve test edin.	• Ürün mimarisini geliştirin. • Ana alt sistemleri ve arayüzleri tanımlayın. • Endüstriyel tasarımı iyileştirin. • Ön bileşen mühendisliği.	• Parça geometrisini tanımlayın. • Malzemeleri seçin. • Tolerans atayın. • Endüstriyel tasarım kontrol belgelerini tamamlayın.	• Performansı, güvenilirliği ve dayanıklılığı test edin. • Düzenleyici onaylar alın. • Çevresel etkiyi değerlendirin. • Tasarım değişikliklerini uygulayın.	• Erken üretim çıktısını değerlendirin.
<i>Üretim</i> • Üretim kısıtlamalarını tanımlayın. • Tedarik zinciri stratejisini belirleyin.	• Üretim maliyetini tahmin edin. • Üretim fizibilitesini değerlendirin.	• Ana bileşenler için tedarikçileri belirleyin. • Yap-satın al analizi yapın. • Nihai montaj şemasını tanımlayın.	• Parça üretim süreçlerini tanımlayın. • Üretim araçlarını tasarlayın. • Kalite güvence süreçlerini tanımlayın.	• Tedarik zinciri, İmalat ve montaj süreçlerini iyileştirin. • İş gücünü eğitin. • Kalite güvence süreçlerini iyileştirin.	• Tüm üretim operasyonuna başlayın.

Baxter (1995), ürün geliştirme sürecindeki tasarım faaliyetlerini; iş fırsatları, tasarım gerekliliklerinin belirlenmesi, konsept tasarım, tasarımın somutlaştırılması, detay tasarımı ve üretim için tasarım olarak altı aşamada incelemektedir (**Şekil 2.5**). Ürün tasarımcılarının ağırlıklı olarak konsept tasarım, tasarımın somutlaştırılması ve detay tasarım aşamalarında görev aldığını vurgulanmaktadır.



Şekil 2.5. Ürün geliştirmenin farklı aşamalarındaki tasarım faaliyetleri (Baxter, 1995, s. 19)
(Uyarlanmıştır)

Ürün geliştirme sürecinin başlamasından, en iyi konsept alternatifinin seçilmesine kadar olan adımlar; endüstriyel tasarımda ön tasarım aşaması olarak tanımlanabilir. Bu tez çalışması kapsamında; ön tasarım süreçleri ileriki bölümlerde daha detaylı olarak ele alınacaktır. Yeni ürün geliştirme başlığı altında incelenen literatürdeki endüstriyel tasarım veya ürün tasarımı faaliyetlerinin; ağırlıklı olarak konsept geliştirme, sistem tasarımı veya tasarımın somutlaştırılması ve detay tasarımı aşamaları olarak ele alındığı görülmüştür (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020; Cuffaro, 2006; Baxter, 1995). Yeni ürün geliştirme sürecinin bir parçası olarak görülen endüstriyel tasarımın tanımı, Endüstriyel Tasarım Kavramı başlığı altında incelenecektir.

2.2. Tasarım Kavramı ve Süreçleri

Tasarım kavramının anlamını kim tarafından, hangi bağlamda kullanıldığına göre kökten bir şekilde değişebileceği birçok çalışmada vurgulanmaktadır (Bürdek, 2005; Heskett, 2002; Roozenburg ve Cross, 1991; Lawson, 2005; Shetty, 2002)

Lawson (2005), tasarım sözcüğünün, günlük kullanımda olduğunu ve belirli insan grupları tarafından oldukça özel ve farklı anlamlar verildiği için tanımlanması gereken bir kavram olarak görmektedir. Lawson (2005), tasarım sözcüğünün İngilizcede hem isim hem de fiil olduğunu, son ürüne ya da sürece atıfta bulunduğunu belirtmektedir.

Tasarılma sözcüğünün İngilizce karşılığı olan *Design*, Latince de+signare köklerinden oluşur. Signare=işaret etmek anlamına gelmektedir. Türkçede ise tasarım sözcüğü tasarı kökünden türemiştir (Bayazıt, 2011). Tasarım sözcüğü Türk Dil Kurumu tarafından; zihinde canlandırılan biçim, tasavvur veya bir sanat eserinin, yapının veya teknik ürünün ilk taslağı, tasar çizim, dizayn olarak tanımlanmıştır (TDK, tarih yok).

Heskett (2002) tasarımı; insanı insan yapan temel ve ayırt edici niteliklerden biri olarak tanımlar. Tasarımın insan yaşam kalitesini belirleyen kavramlardan biri olduğunu ve herkesi etkilediğini belirtir. Tasarım; özünde doğada örneği bulunmayan yollarla çevremizi biçimlendirip oluşturmaya, gereksinimlerimize hizmet etmeye ve yaşamlarımıza anlam katmaya yarayan insana özgü bir yetenektir. Tasarım, biçimler yaratma pratiği ve etkinliğidir (Heskett, 2002).

Bayazıt (2011) tasarımı, insanın yaşamına yardımcı olması ve onu değiştirmesi için yaptığı bir faaliyet olarak tanımlar. Tasarım, insanın yaratma davranışı ve yapma nesnelerle ilgidir. Bu tanımdan yola çıkılarak tasarımın üç temel özelliği belirtilmiştir:

1. Tasarım fiziksel dünya ile uğraşan bir eylemdir.
2. İnsan gereksinimlerine yanıt verir.
3. Yapılmış çevreyi yaratır.

Tasarım çeşitli aşamalarında amaçlara ulaşmak için verilen kararlardan oluşan problem belirleme ve problem çözme yaratıcı eylemidir (Bayazıt, 2011).

Archer (1965) tasarımı, doğru malzemeyi seçmek ve onu mevcut üretim araçlarının sınırlamaları dahilinde fonksiyon ve estetik ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde şekillendirmek olarak tanımlamaktadır. Tasarım; problem ve çözümün birlikte ortaya çıktığı bir süreçtir. (Lawson, 2005). Genel olarak tasarım; bir soruna verilen, biçimi ve işlevi olan, yanıtı temsil eder (Shetty, 2002).

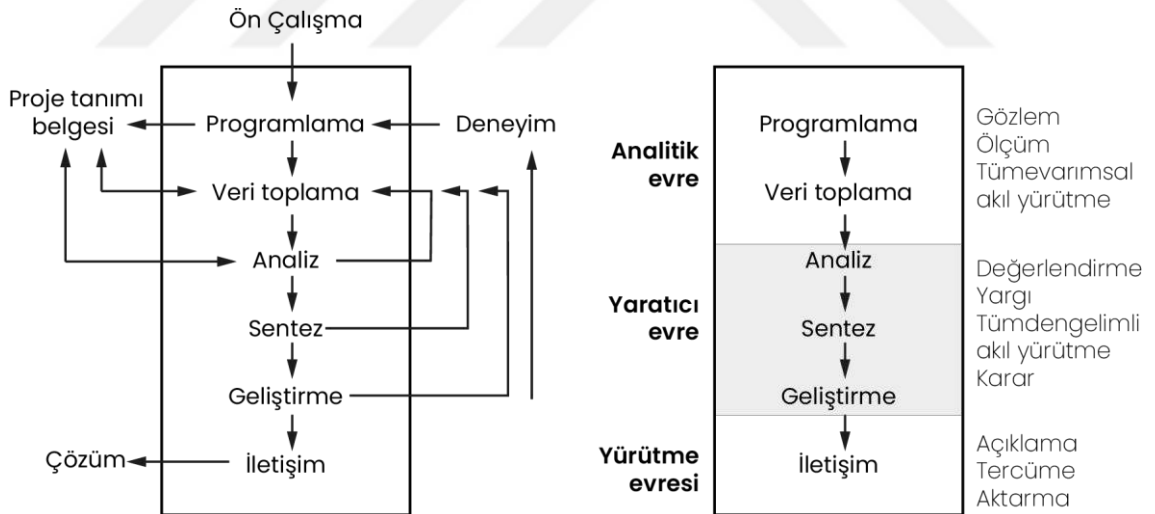
Tasarım sözcüğünün farklı bağlamlar içerisinde yeni anlamlar kazanabilmesiyle ilişkili olarak, tasarım süreçleri de araştırmacıların bakış açısı ve mesleki disiplinine göre farklılıklar göstermektedir. Tasarım süreçlerini inceleyen araştırmacılar çeşitli diyagramlar, metotlar ve modeller oluşturmuştur. Literatürde özellikle “tasarım modeli” tanımlamasıyla sıklıkla karşılaşmıştır. Burada kastedilen “tasarım modelleri” tanımındaki model kelimesi sözlük karşılığı ile “bir şeyin nasıl çalıştığını açıklamak veya ne olabileceğini hesaplamak için kullanılan basit bir sistem” olarak ele alınabilir (Oxford Sözlüğü, tarih yok). Diğer bir ifade olan metot ise “yöntem: bilimde belli bir sonuca erişmek için bir plana göre izlenen yol” olarak tanımlanmıştır (TDK, tarih yok). Genellikle metotlar, modeller içerisindeki alt adımlar olarak kabul edilirken (Archer, 1965), bazı araştırmacılar bu ayrıma gitmeden tasarım süreçlerini açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacılar kompleks tasarım süreçlerinin açıklanmasının; eksik veya yanlış yönlendirmelere açık, başarılması zor bir çaba olduğunu da belirtir (Archer, 1965; Lawson, 2005).

Roozenburg ve Cross (1991) tasarım süreci modelleri konusunda mühendislik disiplinin kendi içerisinde fikir birliğinde olmasına karşın, mimarlık ve endüstriyel tasarım alanının belirli noktalarda ayrıştığını ifade eder. Tasarım süreçlerinin mühendislik bakış açısıyla açıklanmaya çalışması 1960’lı yılların başlarına dayandığı belirtilmektedir (Roozenburg ve Cross, 1991). Tez çalışması kapsamında tasarım süreci üzerine literatürde öne çıkan kaynaklardan bazıları kronolojik olarak incelenmiştir.

Karşılaşılan ilk kaynaklardan biri olan Jones'un (1963) tasarım süreci; analiz, sentez ve değerlendirme olarak üç ana aşamaya ayrılmıştır. Tasarım sürecinin bu üç ana aşaması şöyle açıklanmıştır:

1. Analiz: Tüm tasarım gereksinimlerinin listelenmesi ve bunların mantıksal olarak ilişkili performans özelliklerine eksiksiz bir set olarak indirgenmesi.
2. Sentez: Her bir performans özelliği için olası çözümler bulmak ve bunlardan mümkün olan en az ödünlü eksiksiz tasarımlar oluşturmak.
3. Değerlendirme: Nihai tasarım seçilmeden önce, alternatif tasarımların işletme, üretim ve satış için performans gerekliliklerini yerine getirme doğruluğunun değerlendirilmesi (Jones, 1963).

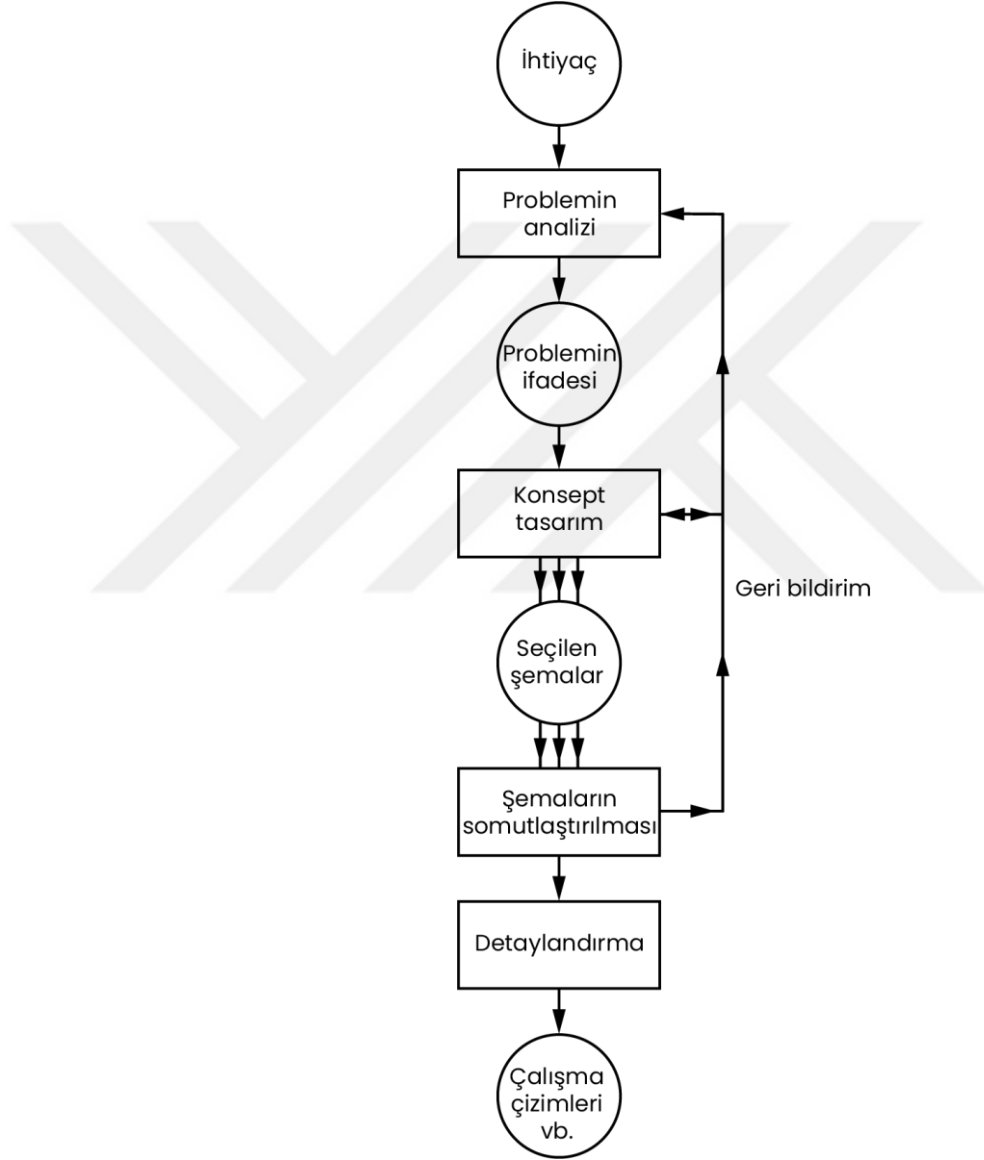
Archer'a (1965) göre, tasarım süreci altı adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar programlama, veri toplama, analiz, sentez, geliştirme ve iletişim olarak belirtilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Tasarım temel prosedürü ve tasarımın ana evreleri (Archer, 1965, s. 64)

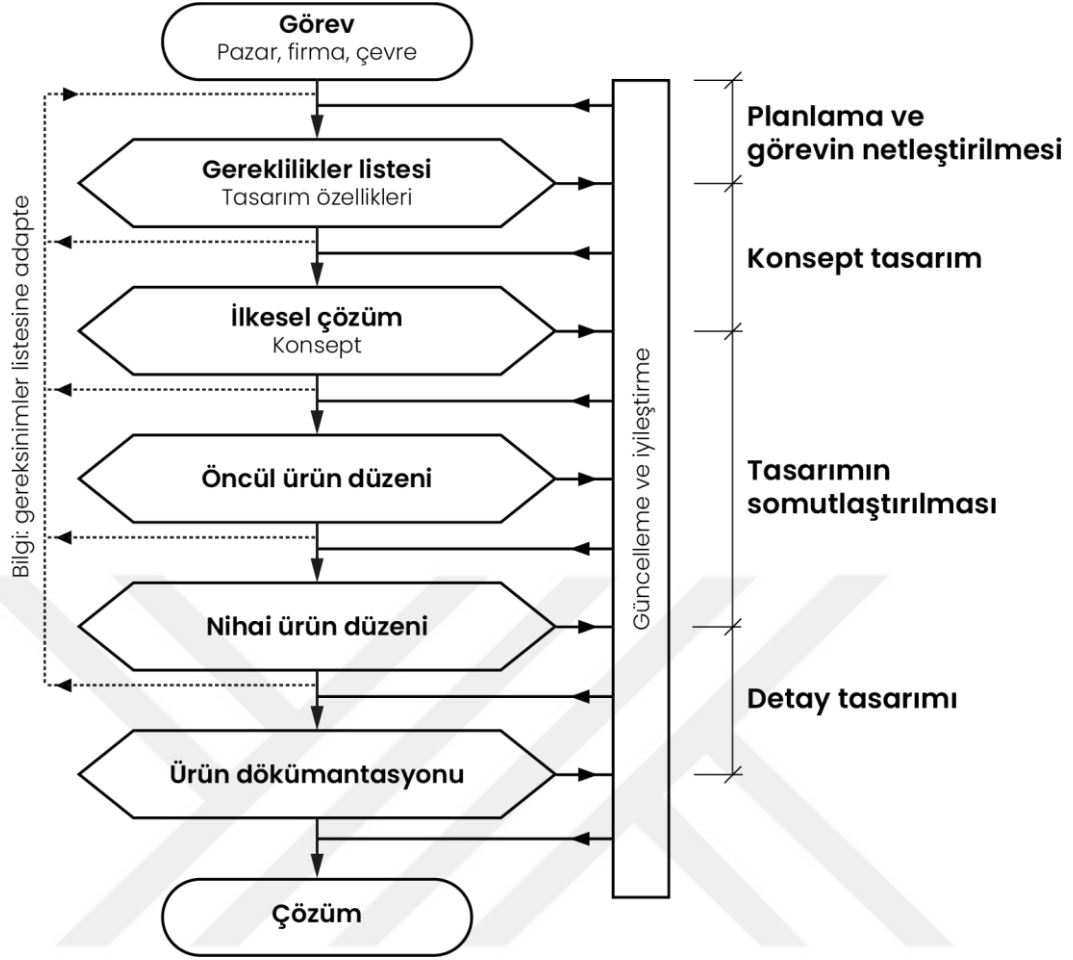
(Uyarlanmıştır)

French (1999), mühendislik bakış açısı ile tasarım sürecinin blok diyagramını oluşturmuştur. Tasarımın sürecinin ihtiyacın belirlenmesiyle başlayacağını belirten French (1999), önemli ama esnek kararların alındığı ilk aşamayı konsept tasarım olarak tanımlar ve bu aşamadaki çıktıları şemalar olarak isimlendirir. Blok diyagram içerisindeki daireler ulaşılan aşamaları temsil ederken dikdörtgenler süreçte yapılan işleri belirtir (Şekil 2.7).



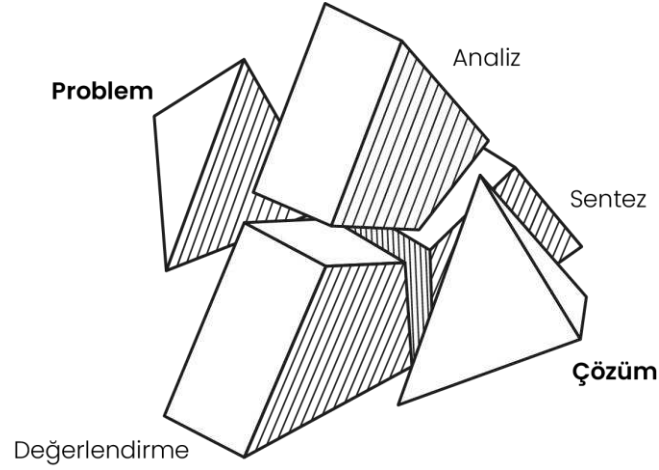
Şekil 2.7. *Tasarım süreci blok diyagramı (French, 1999, s. 2)*
(Uyarlanmıştır)

Pahl vd. (2007), tasarım sürecini mühendislik disiplinin bakış açısıyla ürün geliştirme başlığı altında inceleyerek dört ana aşamaya ayırmaktadır (**Şekil 2.8**). Birinci aşama planlama ve görevin netleştirilmesidir. Bu aşamada pazarlama veya planlama üzerine özelleşmiş bir departmandan gelen tasarım görevinin ürün tasarım eylemine başlamadan önce detaylı bir şekilde netleştirilmesi gerektiği belirtilir. Amaç, ürünün yerine getirmesi gereken gereksinimler ve mevcut kısıtlamalar hakkında bilgi toplamaktır. İkinci aşama olan konsept tasarım aşamasında çözümün temel prensipleri belirlenir ve öneriler sunulur. Bu aşamada ön malzeme seçimi, taslak yerleşim planı oluşturma ve teknolojik imkanların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Belirlenen gereksinimleri karşılamayan alternatifler bu aşama içerisinde elenmelidir. Kalan alternatifler ise belirlenmiş kriterler ile metodolojik olarak değerlendirilmelidir. Üçünün sıradaki somutlaştırma aşamasında çözümün özelleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşama ürüne dair daha yüksek bir bilgi düzeyinde sonuçlanır. Ardından, tasarımın teknik ve ekonomik olarak değerlendirilmesi tamamlanır ve sadece finansal olarak uygulanabilir projeler bir sonraki aşamaya geçebilmektedir. Son aşama olan detay tasarımı bilgilerin üretim dokümantasyonu biçiminde belirtilmesi ile sonuçlanır.



Şekil 2.8. Ürün geliştirmede planlama ve tasarım süreci (Pahl vd., 2007, s. 19)
(Uyarlanmıştır)

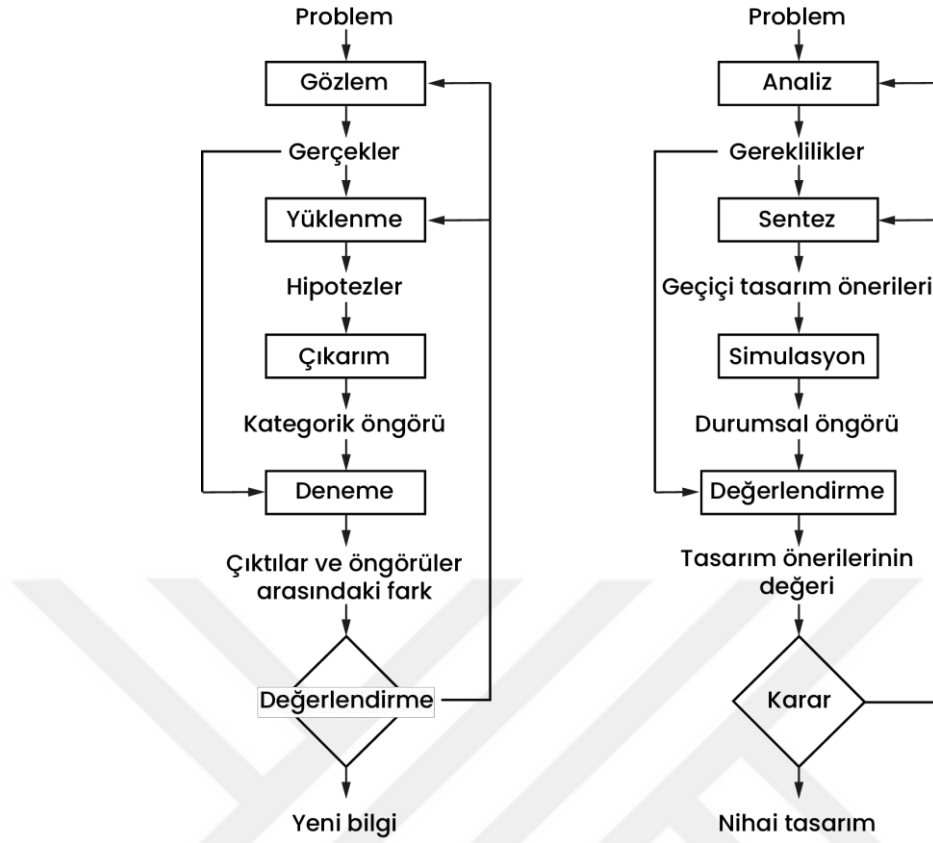
Lawson (2005), tasarım sürecini tanımlayan haritalarının arkasındaki ortak fikri; tasarımın, tahmin edilebilir ve tanımlanabilir mantıksal düzende meydana gelen bir dizi farklı faaliyetlerden oluşması olarak betimler. Çalışmasında kademeli olarak geliştirdiği tasarım sürecini üç ana aşamaya ayırır. Tasarım sürecini; problem ile çözüm arasındaki müzakerede kalan analiz, sentez ve değerlendirme aşamaları olarak tanımlar. Aşamalar arasında herhangi bir başlangıç ve bitiş noktası veya bir faaliyetten diğerine akış yönü göstermekten kaçınır. Diyagramın (Şekil 2.9) kompleks bir bilişsel sürecin fazlaca basitleştirilmiş bir haritası olduğunu ve harfî harfine okunmaması gerektiğini vurgular.



Şekil 2.9. *Tasarım süreci önerisi (Lawson, 2005, s. 49)*

(Uyarlanmıştır)

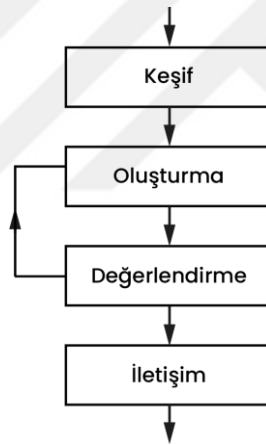
Eekels ve Roozenburg (1991), bilimsel araştırma ve mühendislik tasarımı süreçlerini, döngüsel bir yapı sergileyen yinelemeli süreçler olarak tanımlar. Her iki sürecin de bir problem tespiti ile başladığı belirtilir. Tasarım süreci analiz aşamasıyla devam eder. Gerekliliklerin belirlenmesinin ardan bir sonraki aşama olan senteze geçilir. Geçici bir tasarım önerisi, ürünün tanımı veya tasarımın ilk taslağı, oluşturularak simülasyon aşamasına geçirilir. Simülasyonda malzeme modelleriyle yapılan deneylerle tasarım önerisi test edilir ve son aşama olan değerlendirmeye geçilir. Tasarım döngüsünde karar ögesi bu aşamada ortaya çıkmaktadır. Döngü içerisinde tasarımcı defalarca farklı seçimler yapmak zorunda kalır. Son aşamadaki karar daha fazla tasarım alternatifi üretmek de olabilir. Nihai olarak oluşturulan tasarım alternatifleri kümesinden en uygun alternatifler seçilir. Tasarım süreci, bir veya birkaç tasarımın teslimi ile sona erer (**Şekil 2.10.**).



Şekil 2.10. Arştırma ve tasarımın basit döğüsü (Eekels ve Roozenburg, 1991, s. 199)
(Uyarlanmıştır)

Cross (2008), tasarım süreci modellerinin genellikle akış diyagramı biçiminde çizildiğini ifade eder. Tasarımın gelişiminin bir aşamadan diğerine ilerlediğini, ancak genellikle gerekli olan daha önceki aşamalara yinelemeli geri dönüşleri gösteren geri bildirim döngüleri olduğunu belirtir. Cross (2008), tasarım sürecini dört aşamalı basit model ile tanımlar (Şekil 2.11). Keşif, sürecin birinci aşamasını oluşturmaktadır. Tasarım sürecinin başlangıcında, genellikle eksik tanımlanmış bir problemle karşılaşıldığını ancak tasarımın iyi tanımlanmış bir çözüm bulması gerektiğini belirtir. Bu aşama sorunu anlamak ve bir çözüm bulmak olarak tanımlanabilir. Tasarım çözümü ve probleminin araştırılması genellikle geçici fikirlerin eskizleri ile gerçekleştirilir. Sürecin bu erken aşamasında tasarımcının yaptığı çizimler genellikle başkalarıyla iletişim kurmayı amaçlamaz. Bir sonraki adım olan oluşturma aşamasında; öncelikle bir tasarım önerisinin oluşması gerekir. Bu aşama genellikle tasarımın yaratıcı kısmı olarak kabul edilir. Üçüncü aşama olan değerlendirme, oluşturulan alternatifler içerisindeki nihai bir versiyona karar verilmeden önce, tasarım önerilerinin kontrol edilmesi gereken noktadır.

Tasarım sürecinin üretim sürecinden ayrılmasının tüm amacı, yeni ürünler için yapılan önerilerin üretime alınmadan önce kontrol edilebilmesidir. Tasarımın belirli bir bölümünde yapılan iyileştirmeler; başka bir bölümde gerekli yeni değişikliklere yol açıp, bir geliştirme döngüsüne sebep olabilir. Bu geliştirme döngüsü, tasarım süreçlerinin ortak bir özelliği ve önemli bir parçasıdır. Son aşama olan iletişim; tasarım süreçlerinin en temel çıktısı olan ürünün nihai bir tanımının oluşturulmasını amaçlar. Bahsedilen nihai tanım, ürünü üreteceklerin anlayabileceği bir biçimde olmalıdır. Bu aşamada özelleşmiş çizimler, üç boyutlu maket veya prototipler oluşturulmaktadır. Günümüzde üretim, operatörü olmayan makineler tarafından yapılır. Bu makineler oldukça karmaşık robotlar, torna veya freze makineleri gibi sayısal olarak kontrol edilen araçlar olabilir. Bu nedenle bir tasarımın, üretimden önceki özelliği; sayısal olarak kontrol edilen araçlarla iletişim kurabilecek olarak tanımlanması olabilir (Cross, 2008).



Şekil 2.11. *Tasarım sürecinin dört aşamalı basit modeli (Cross, 2008, s.30)*

(Uyarlanmıştır)

Tasarım kavramı ve süreçleri başlığı altında, kronolojik olarak Jones'dan (1963) Cross'a (2008) yedi tasarım modeli incelenmiştir. İncelenen modeller arasında ortak noktalar bulunduğu gibi farklılıklar da mevcuttur. Tasarım modelleri üzerine benzer bir literatür incelemesi Pei (2009) tarafından da gerçekleştirilmiştir. Pei (2009) çalışmasında, beş farklı modele yer vermiş ve modeller arasındaki benzerlik ve farklılıkların kolay okunabilmesi için bir özet tablo halinde sunmuştur.

Pei (2009) özetinde; Jones (1963), Archer (1965), French (1999), Pahl vd. (2007) ve Pugh'ın tasarım modelleri yer almaktadır. Belirtilen özet tablosunda yer alan Pugh'ın tasarım modeline, bu tez çalışması dahilinde kaynağa ulaşılamadığı için yer verilememiştir. Ancak bu tez çalışması kapsamında Lawson (2005), Eekels ve Roozenburg (1991) ve Cross'un (2008) sunduğu tasarım modelleri eklenerek, özet tablosu genişletilmiştir. Genişletilmiş tasarım süreçleri özet tablosu, ilk yayınlanma tarihlerine göre sıralanarak **Şekil 2.12**'de yer almaktadır.

Jones 1963	Archer 1964	French 1971	Pahl & Beitz 1977	Lawson 1980	Eekels & Roozenburg 1991	Cross 2000
Analiz	Programlama	Analiz	Planlama ve görevin netleştirilmesi	Analiz	Analiz	Analiz
	Veri toplama					
	Analiz					
Sentez	Sentez	Konsept tasarım	Konsept tasarım	Sentez	Sentez	Oluşturma
					Simülasyon	
Değerlendirme	Geliştirme	Somutlaştırma	Tasarımı somutlaştırma	Değerlendirme	Değerlendirme	Değerlendirme
	İletişim	Detaylandırma	Detay tasarımı			İletişim

Şekil 2.12. İlk yayınlanma yıllarına göre, Pei'nin (2009) sunduğu tasarım modelleri karşılaştırma tablosunun genişletilmiş özeti

2.3. Endüstriyel Tasarım Kavramı

Endüstriyel tasarımın bir disiplin olarak ortaya çıkması, sanayi devrimi ile zanaat üretiminden farklı olarak bir ürünün tasarımının ve imalatının birbirinden ayrılmasıyla başlamaktadır (Bayazıt, 2011; Cross, 2008; Bürdek, 2005; Ulrich, Eppinger, ve Yang, 2020). Bayazıt (2011), endüstriyel tasarım özelinde tasarım kavramını; insanlar tarafından kullanılan, endüstriyel metotlarla çok sayıda imal edilen makine yapımı, genellikle 3 boyutlu nesneler yani ürünlerle ilişkili, yaratıcılık ve yenilik içeren bir eylem olarak tanımlamaktadır. 1957 yılında kurulmuş Dünya Tasarım Örgütü (WDO), eski adıyla Uluslararası Endüstriyel Tasarım Örgütleri Konseyi (ICSID), endüstriyel tasarımın günümüze uyarlanmış ve genişletilmiş tanımını aşağıdaki gibi yapmaktadır:

Endüstriyel tasarım, yenilikçiliği yönlendiren, iş başarısı oluşturan ve yenilikçi ürünler, sistemler, hizmetler ve deneyimler aracılığıyla daha iyi bir yaşam kalitesine yol açan stratejik bir problem çözme sürecidir. Endüstriyel tasarım, olan ve mümkün olan arasındaki boşluğu doldurur. Bir ürünü, sistemi, hizmeti, deneyimi veya işi daha iyi hale getirmek amacıyla sorunları çözmek ve birlikte çözümler yaratmak için yaratıcılığı kullanan disiplinler arası bir meslektir. Endüstriyel Tasarım, özünde, sorunları fırsatlar olarak yeniden çerçeveleyerek geleceğe daha iyimser bir bakış açısı sağlar. Ekonomik, sosyal ve çevresel alanlarda yeni değer ve rekabet avantajı sağlamak için inovasyon, teknoloji, araştırma, işletme ve müşterileri birbirine bağlar. (WDO, 2015)

Bayazıt (2011), tasarımın anlamlı bir düzen ortaya koyan bilinçli bir eylem olduğunu belirtir ve bu eylemi gerçekleştiren kişileri tasarımcı olarak tanımlar.

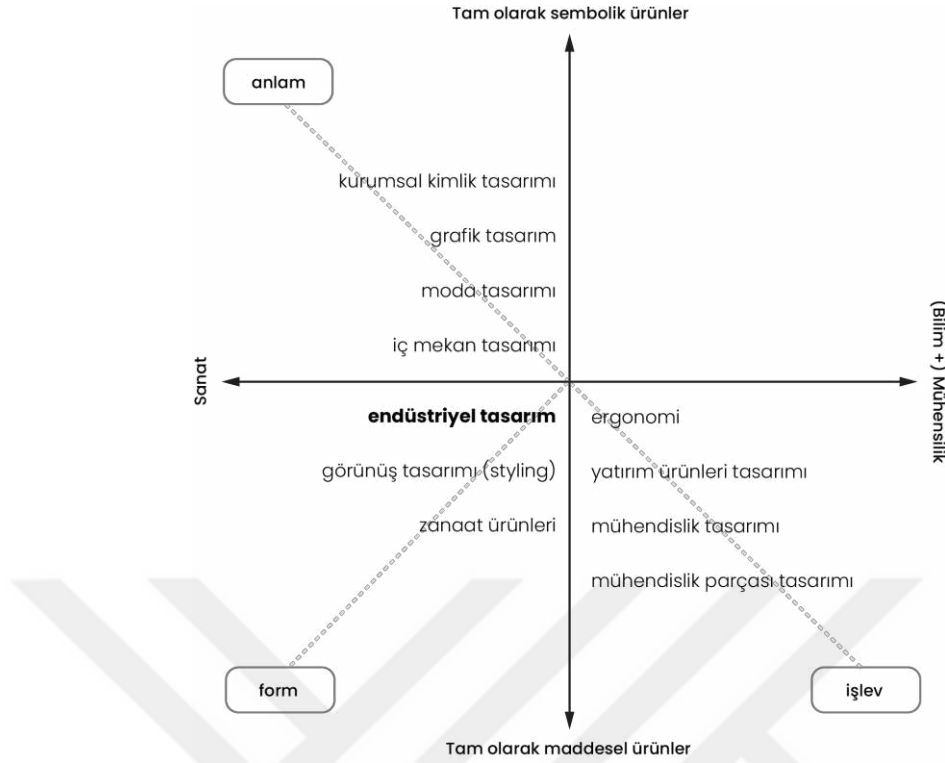
Utterback vd. (2006), hem endüstriyel hem de mühendislik tasarımının, endüstriyel ürünlerde uygulandığını belirtir. Her iki faaliyetin önceliğinde verimlilik olmasına karşın, oldukça farklı bakış açılarına sahip oldukları ifade eder. Endüstriyel tasarım, genellikle bir ürünü şeffaf ve işlevsel mimarisini görünmez yapmakla ilgilenir (Utterback vd., 2006). Başka bir deyişle, kullanıcının; ürünün ne yaptığını, nasıl yaptığını bilmesine gerek kalmadan ürünü kolaylıkla kullanabilmelidir. Bir tasarım mühendisi teknolojinin nesnel özellikleriyle daha fazla ilgilenirken, endüstriyel tasarımcı kullanıcının bakış açısını anlamalıdır (Utterback vd., 2006).

Heskett (2002), endüstriyel tasarımcının görevini; mühendislik, teknoloji, malzeme ve estetiği sentezleyerek, kullanıcıların ihtiyaçlarını teknik ve sosyal sınırlar içinde dengeleyerek seri üretime uygun fiziksel eserler planlamak ve yaratmak olarak tanımlar.

Asatekin (1997), endüstriyel tasarımcının; teknolojik/yapısal verilere, toplumsal değerlere, algılama/değerlendirme olduğuna, pazarlama bütününe vb. duyarlı olması gereken bir kişi olması gerekliliğini vurgular.

Endüstri tasarımcısı bir makine mühendisi, bir sosyolog, bir psikolog, bir işletmeci vb. değil ama onların dillerini bilen, bu alanlardan gelen bilgi ve veriyi anlayarak yorumlayabilen, bu alanlardan neler istenebileceğini takdir eden ve nihayet, bu alandan gelen verileri yoğurarak optimal bir bütün halinde tasarım sürecine katan bir kişi olmak durumundadır (Asatekin, 1997).

Utterback vd.ne (2006) göre endüstriyel tasarımcılar sadece hizmet verdikleri kurumlar arasında değil, aynı zamanda bir organizasyon içindeki farklı departmanlar arasında da bir köprü görevi görebilir. Tasarımcılar kurumsal düzeyde pazarlama, üretim, araştırma ve geliştirme dillerini anlama olasılıkları daha yüksek olarak görülmektedir. Tasarımcıların sorgulama biçimleri tüm sistemi kapsayan bir yaklaşımdadır. **Şekil 2.13**'de çeşitli tasarım aktivitelerini iki eksende konumlandırılmıştır. Yatay eksenle aktivitenin mühendislik/bilimsel veya sanatsal girdi ve yeteneklerden yararlanma derecesi yer alır. İkinci eksen ise çıktıların doğasını maddi ürünlerden sembolik ürünlere doğru ayırmaktadır. Utterback vd. (2006), tasarım aktivitesi olan nerdeyse tüm ürün ve sistemlerin, eksenlerin iki ucunda yer alan kavramlardan etkilenen karışımlar olduğunu ileri sürer.



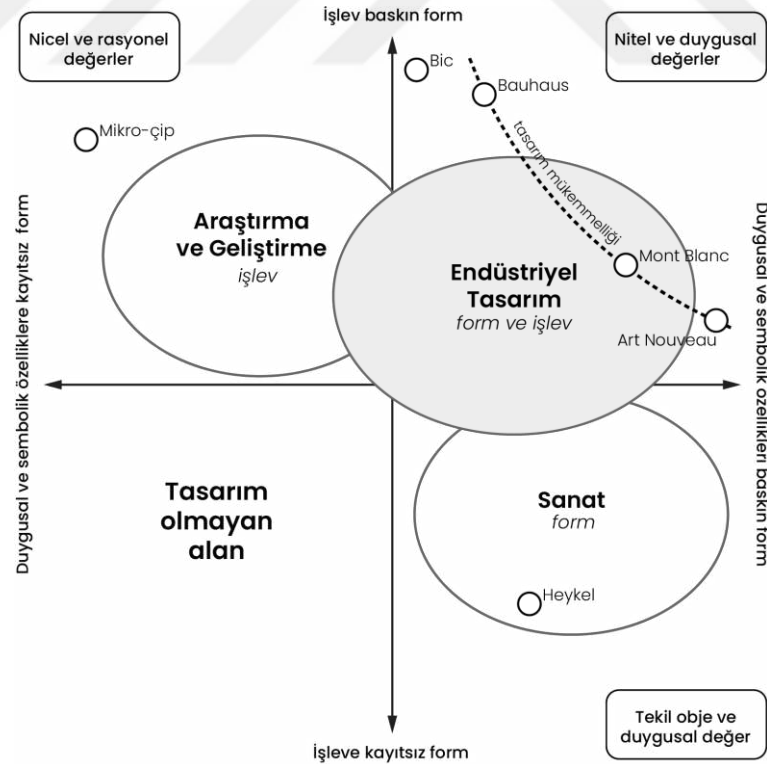
Şekil 2.13. *Tasarım faaliyetlerinde mühendislik ve tasarım girdileri (Utterback vd., 2006, s. 64)*
(Uyarlanmıştır)

Gotzsch (1998), endüstriyel tasarım kelimesinin Fransızca anlamının tasarımın estetik yönüne odaklandığını ifade eder. Gotzsch (1998), buna karşın Alman Bauhaus akımının, “form işlevi takip eder” söylemini takip ettiğini belirtir. Bu yaklaşım; ürünün sadece estetik açıdan değil, aynı zamanda işlevselliğin ön planda olduğu bir felsefi tutumda değerlendirilir. Ürünün dış görünümü ile ilişkilendirilen estetik algı ile işlevsellik kavramları arasındaki ilişki; farklı disiplinlerin tasarıma olan bakış açısını ifade etmede faydalı olabileceği gibi, endüstriyel tasarım içerisindeki farklı yaklaşımların görülmesinde de etkili olmuştur.

Gotzsch (1998), Utterback vd.ne (2006) benzer bir biçimde; endüstriyel tasarımı sanat ve mühendislik arasındaki, diğer yaratıcı ve yenilikçi süreçler arasında konumlandırır. Bu konumlandırılmanın gösterildiği **Şekil 2.14**'de, düşey eksen formda işlevin etkisini, yatay eksen ise formdaki duygusal ve sembolik etkileri belirtmektedir. Gotzsch (1998), iki eksenli şekil üzerinden kalem tasarımı örneği ile; araştırma ve geliştirme, endüstriyel tasarım ve sanat olarak tanımlanan üç yaratım süreci içerisindeki endüstriyel tasarımın yerini açıklamaktadır.

İşlevin öncelikli olduğu örnek ürün, düşey eksende yukarıya yerleştirilmiştir. Bu örnekte “Bic” tükenmez kalem formunda temel yazma işlevi hakimdir ve ürünü ucuza üretmek için teknik kısıtlamalardan etkilenmiştir. İşlevsellikten bağımsız ve düşey eksenin en alt ucunda konumlanmış bir nesneye örnek bir heykeldir. Yatay eksenin sağındaki ürünlerin kullanıcı ile arasındaki ilişkide duygu söz konusudur. Buna bir örnek Mont Blanc dolma kalemidir. “Mont Blanc” dolma kalem, kullanıcısına değer hissi verir. “Mont Blanc” dolma kalem şekli, iyi ergonomiden etkilenmiştir, ancak ürün tasarımındaki sembolik unsurlar, ürünü kullanıcısına özel kılmakta ve yazma keyfine katkıda bulunmaktadır (Gotzsch, 1998).

Araştırma ve geliştirme (Ar-Ge), işlevin formu belirlediği yerde konumlandırılır. Ar-Ge’de biçim rasyoneldir ve teknik üretim kısıtlamaları hakimdir. Ürün geliştirme sürecinde ürün-kullanıcı arasındaki ilişkiyi geliştirmek için bir endüstriyel tasarımcının uzmanlığına ihtiyaç duyulur. Endüstriyel tasarımda hem form hem de işlev önemlidir. Ürünün formu, ergonomi ve kültürel sembolik sinyaller gibi insani yönlerden etkilenir (Gotzsch, 1998).



Şekil 2.14. Üç yaratım süreci ve endüstriyel tasarımın yeri (Gotzsch, 1998, s. 43)

(Uyarlanmıştır)

2.4. Ön Tasarım, Prototipleme ve Seri Üretim İçin Hazırlık Aşamaları

Yeni ürün geliştirme içerisindeki süreçlerden faydalanarak, endüstriyel tasarım süreci üç temel aşamada değerlendirilebilir. Bu aşamalar sırası ile konsept tasarım/geliştirme, tasarımın somutlaştırılması/sistem tasarımı ve detay tasarımıdır (Baxter, 1995; Ulrich vd., 2020; Evans vd., 2015). Bazı yaklaşımlara göre ayrı bir ön aşama olarak tanımlanabilecek olan araştırma adımının, sürecin içerisinde yer alması gerekmektedir (Cross, 2008).

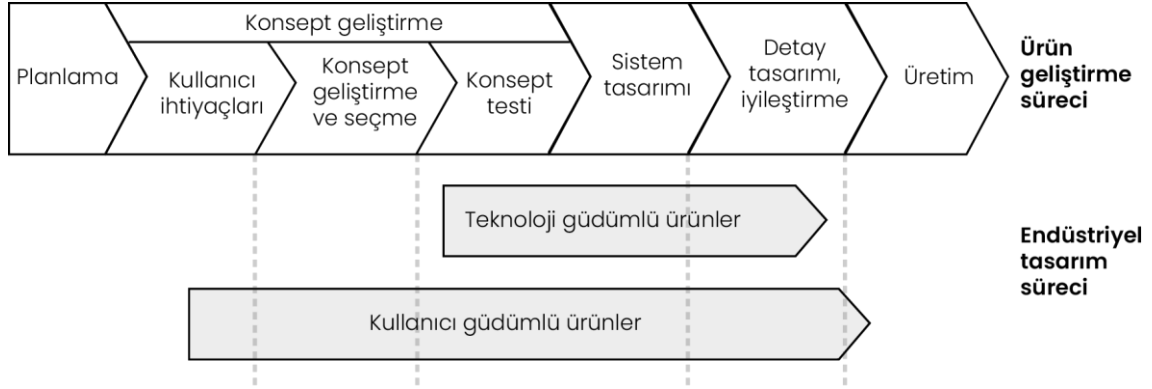
Baxter'a (1995) göre, endüstriyel tasarım aşamaları (**Şekil 2.15**) konsept tasarım ile başlar. Bu aşamada tasarım prensiplerinin oluşturulması amaçlanır. Tasarımın somutlaştırılması ile devam eden süreçte prototipler oluşturulmaktadır. Detay tasarım aşaması ise, tasarımın somutlaştırılması sürecindeki çıktılarından faydalanarak, ürünün nasıl üretileceğine dair nihai kararların aldığı adım olarak tanımlanmaktadır.

Aşama	Sonuç	Amaç
Konsept tasarım	Tasarım prensipleri	Gerekli temel faydayı sağlamak
Tasarım somutlaştırma	Tam çalışır prototip	Üretilebilirlik ve amaca uygunluğu kontrol etmek
Detay tasarım	Tüm tasarım gereklilikleri	Üretim

Şekil 2.15. Tasarım aşama, sonuç ve amaçları (Baxter, 1995, s. 263)

(Uyarlanmıştır)

Ulrich vd. (2020), kullanıcı odaklı endüstriyel tasarım sürecinin ilk aşaması olan konsept geliştirmeyi üç alt adımda tanımlar (**Şekil 2.16**). Müşteri ihtiyaçlarını belirlemek için tasarımcılar pazarlama departmanı ile yakın bir şekilde çalışır. Bu alt adımda endüstriyel tasarımcılar, odak grup testlerine veya birebir müşteri görüşme ve gözlemlerine katılabilirler.



Şekil 2.16. Ürün geliştirme süreci içerisinde endüstriyel tasarımın yeri (Ulrich, Eppinger, ve Yang, 2020, s. 229)

(Uyarlanmıştır)

Sonraki alt adımda çok sayıda konsept önerileri geliştirilir ve içlerinden seçimler yapılır. Konsept geliştirme aşamasının üçüncü ve son alt adımında; pazarlama departmanı aracılığıyla kullanıcılarla konsept maketleri üzerinden testler gerçekleştirilir. Sistem tasarımı aşamasında tasarımcılar konseptleri daraltarak ve en yüksek potansiyelli yaklaşımları geliştirirler. Tasarımcılar; sürecin son aşaması olan detay tasarımında nihai bir konsept seçer ve ardından tasarımı tamamlamak için mühendislik, üretim ve pazarlama departmanları ile koordineli çalışırlar (Ulrich, Eppinger, ve Yang, 2020).

Baxter'ın (1995) konsept tasarım aşamasına daha yakından bakıldığında, Ulrich vd.nin (2020), konsept geliştirme için tanımladığı üç alt başlığa paralel bir yapı görülür. Buradaki en temel fark; Baxter'ın (1995) konsept tasarımın maket ve yardımcı materyallerle test edilmesini bir sonraki aşama olan tasarımın somutlaştırılmasına dahil etmesi olarak gözlemlenmiştir.

Kaynaklar incelendiğinde; Baxter (1995) ve Ulrich vd.nin (2020) belirttiği ilk aşama olan konsept tasarım/geliştirme; tasarımın erken aşaması veya ön tasarım olarak da isimlendirilmektedir (Pei, 2009; Shetty, 2002). Tasarımın somutlaştırılması/sistem tasarımı ve detay tasarım aşamasına yönelik faaliyet ve araçlar tez çalışmasının dördüncü bölümünde prototipleme kavramı altında incelenecektir.

Literatüre konsept tasarım ya da ön tasarım aşaması özelinde bakıldığında; bu süreç içerisindeki tasarım önerileri, eskizler aracılığıyla ilk kez somutlaştırıldığı görülür. Bu

Konsept tasarım oluşturmada karşılaşılan araçlar konusunda Cross (2008); sorunu ve çözümü birlikte keşfetmenin bir yolu olarak eskizleri, çizimleri veya çeşitli türlerdeki modellerin önemini vurgulamaktadır. Tasarımcının kavramsal düşünme süreçlerini; fikirlerin, eskizlerdeki dışsal ifadeleri aracılığıyla gerçekleştirdiği görülmektedir. Cross'a (2008) göre eskizler, tasarımcıların aynı anda farklı soyutlama düzeylerini ele almalarını sağlamaktadır. Tasarımcıların, aynı anda hem konseptin geneli hakkında hem de konseptin uygulanması konusunda ayrıntılı olarak düşündükleri bilinmektedir. Ancak ürünün ayrıntılarının ve detaylarının tümü erken aşamada dikkate alınmamaktadır. Cross (2008), bu konuyu şu şekilde aktarmaktadır:

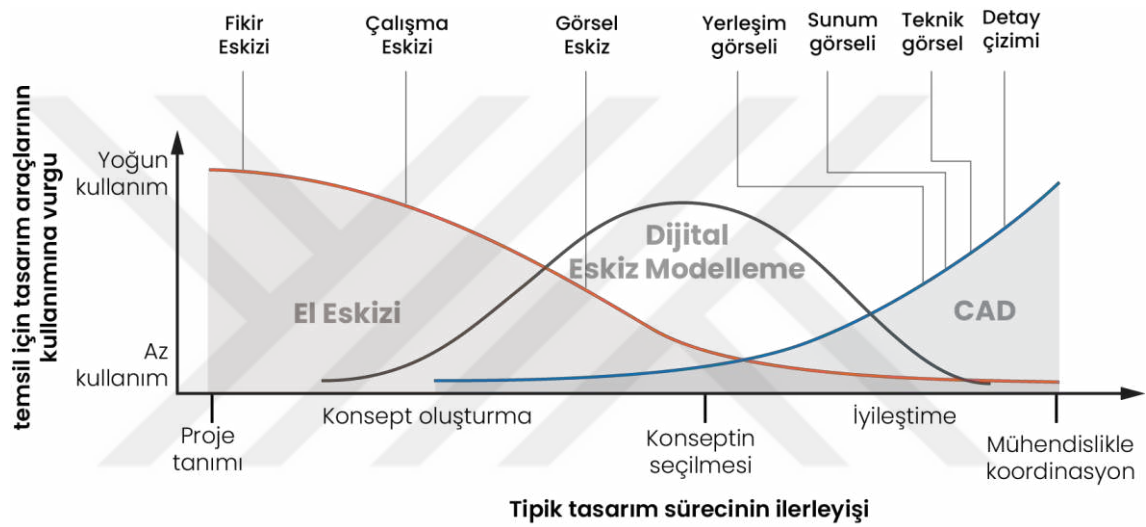
[illegible]

27

Utterback vd. (2006), tasarım sürecinde tek bir çalışma yöntemi olmadığını vurgular. Tasarımcıların çoğu, kâğıt ve kalemle eskiz yapmanın yaratıcı fikir üretimi için hem daha hızlı hem de daha elverişli olduğuna ikna olmuş durumdadır. Utterback vd. (2006) göre, bilgisayar destekli tasarım süreçlerine tamamen güvenen bir tasarımcı grubu mevcuttur. Bu grup, bilgisayarın tasarımcıları nihai ürüne yaklaştıran, daha hızlı ve daha özgürce çizim yapmalarını sağlayan, çok yönlü bir araç olduğunu iddia etmektedir. Hızlı prototipleme cihazlarıyla ilkel modeller, maketler veya prototipler üretmek, daha genel bir şekilde eskiz yapmak olarak da kabul edilebilir. Bilgisayar tabanlı yöntemler, eskizi ekran üzerinde gerçekçi şekillerde döndürerek veya hareket ettirerek, sanal bir dünyada bir ürünün montajını ve demonte edilmesini sağlayan üç boyutlu görselleştirmeler (renderlar) sağlayabilir. Böylece, son kullanıcılar henüz fikir aşamasında olan ürünlerin şaşırtıcı derecede gerçekçi temsillerini gözlemleyebilir ve bunlara tepki verebilir (Utterback vd., 2006).

Son dönemde gerçekleştirilen araştırmalarda, tasarımın erken aşamalarında bilgisayar destekli yazılımların yaygınlaştığı veya yeni tasarım paradigması arasında yerini bulduğu belirtilmektedir. Ranscombe ve Bissett-Johnson (2016), geleneksel eskiz teknikleri ve CAD ortamındaki karşıt güçler arasında köprü kuran bir yaklaşım olarak, dijital eskiz modelleme tekniğini açıklamaktadır. Ranscombe ve Bissett-Johnson (2016) bu tekniği, tasarım eğitimindeki kullanımı üzerinden değerlendirdikleri araştırmalarında; endüstriyel tasarım sürecinin erken aşamalarında eskiz ve CAD modelleme yöntemlerinin her ikisinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgular. Bu sebeple, CAD modelleme ve dijital eskiz yöntemleri arasında bir köprü kurulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen teknik, temelde eskizlerin güçlü yanlarını CAD sürecine yansıtmak olarak nitelendirilmiştir. Eskiz ve CAD'in özelliklerini dijital eskiz içerisinde entegre etmenin bir yolu olarak ortaya çıkan tekniği, dijital eskiz ve CAD modellemesinden ayıran iki temel aşama mevcuttur. Bu aşamalar “vekil model” (proxy model) ve “üzerine çiz” (sketch-over) olarak belirtilmiştir. Vekil model aşaması, tasarım konseptinin boyutunu ve şeklini araştıran ve sonrasında daha fazla ayrıntı eklemek için eskizlerle genişletilebilen, düşük kaliteli modeller oluşturmak için kolayca bulunabilen ucuz malzemelerden oluşturulan, “mock-up”lara (hızlı maket) atıfta bulunmaktadır. Vekil model; genellikle küreler, koniler, prizmalar ve silindirler gibi modelleme yazılımlarında bulunan ilkel katı nesnelerden türetilen temel formlardan oluşturulmaktadır. İkinci aşamada ise vekil model, dijital eskizin alt katmanında, istenilen

perspektif kaçırları ve nesnenin oran ve orantısını sağlayan bir taslak olarak kullanılmaktadır (Ranscombe ve Bissett-Johnson, 2016). **Şekil 2.17**'de, belirtilen tekniğin; geleneksel el eskizi ile CAD arasındaki konumu görselleştirilmiştir. Ranscombe ve Bissett-Johnson'nun (2016), dijital mock-up olarak da isimlendirebilecek vekil model kavramı, CAD'in ön tasarım sürecinde kullanımına önemli bir örnek oluşturmaktadır. Bir ürünün CAD modelinin bu şekilde kullanılması, endüstri ortamına bağlı olarak dijital maket, dijital prototip veya sanal prototip olarak bilinir (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

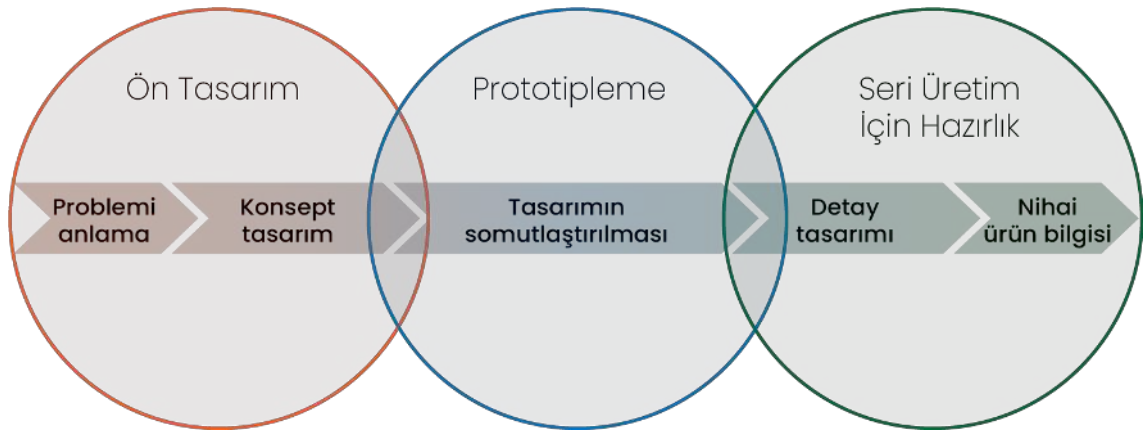


Şekil 2.17. Dijital eskiz modellemenin tasarım sürecindeki yeri (Ranscombe ve Bissett-Johnson, 2016, s. 6)

(Uyarlanmıştır)

Bu bölümde yapılan inceleme sonucunda, endüstriyel tasarım sürecinde oluşturulan 3 boyutlu model dosyalarını evrimini anlayabilmek için; endüstriyel tasarım sürecinin üç temel aşamaya indirgenmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Bu aşamalar problemi anlama ve konsept tasarımını içeren ön tasarım aşaması; tasarımın somutlaştırılmasını içeren prototipleme aşaması ve detay tasarımıyla ürünün nihai bilgisinin oluşturulmasını içeren seri üretim için hazırlık aşamalarıdır. **Şekil 2.18**'de bu süreçler gösterilmiştir.

Bu aşamalarda içinde CAD'in kullanımı konusunda farklılıkların olduğu bilinmektedir. Bu farklılıklar, CAD'in bulunduğu aşamadaki işlevine bağlı olarak ortaya çıkan gereksinimlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Her işleve özel gereksinimleri yerine getirmek için tasarımcılar farklı CAD ortamları tercih edebilmektedir. Farklı CAD ortamlarının tercih edilmesi, modelleme yöntemlerini değiştirdiği gibi, tasarımcıların CAD kullanım davranışları ve modelleme stratejilerini etkilemektedir. Her aşamada kendisine yer bulan ve sürecin önemli araçlarından biri olan CAD yazılımlarının detaylarından bir sonraki bölümde bahsedilecektir. Baxter'a (1995) göre, yeni ürün geliştirme sürecinin bir sonraki adımı olan tasarımın somutlaştırılması; tez çalışmasının araştırma bölümünde ağırlıklı olarak prototipleme aşaması olarak anılacaktır ve takip eden diğer adımlarla birlikte tezin dördüncü bölümünde incelenecektir.



Şekil 2.18. Endüstriyel tasarım aşamaları

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ 3 BOYUTLU MODELLEME

Ürünlerin çizimleri geleneksel olarak teknik şablonlar vb. araçlar kullanılarak yapılmaktaydı. 1990'lardan bu yana, tasarımları temsil etmenin yaygın aracı, bilgisayar kullanılarak oluşturulan çizimler olmuştur (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Günümüzde ürünlerin tasarım bilgisi; insan-makine arayüzünü oluşturulan bilgisayarlar üzerinde çalışan ve gelişmiş teknolojilerin sunduğu karmaşık yazılımlar olarak ifade edilebilecek, bilgisayar destekli tasarım (CAD, Computer-aided design) adı verilen yeni paradigma içerisinde oluşturulmaktadır (Um, 2018).

Groover ve Zimmers (1984) için CAD; tasarım ve üretimde belirli işlevleri yerine getirmek için bilgisayarların kullanımıyla ilgili teknolojidir. Bu teknoloji, bir üretim firmasında geleneksel olarak farklı ve ayrı işlevler olarak ele alınan tasarım ve üretim faaliyetlerinin daha verimli entegrasyonu yönünde fayda sağlamaktadır. CAD ve bilgisayar destekli üretim (CAM, Computer-Aided Manufacturing); bilgisayarlarla bütünleşik fabrikalar için teknoloji alt yapısını sağlar. Bu anlamda CAD, bir tasarımın oluşturulmasına, değiştirilmesine, analizine veya optimizasyonuna yardımcı olmak için bilgisayar sistemlerinin kullanılması olarak tanımlanabilir (Groover ve Zimmers, 1984). CAD, sanal üç boyutlu modeller ve iki boyutlu ürün çizimleri oluşturmak için bilgisayarları ve özel yazılımları kullanma sürecini ifade eder (Bryden, 2014).

CAD ile birlikte tasarımların sanal analizini mümkün kılan bilgisayar destekli mühendislik (CAE, Computer-Aided Engineering) teknolojileri sayesinde, ürün geliştirme sürecinde kullanılan yazılımlar; tasarımcının verimliliğini ve tasarımın kalitesini artırmak, tasarım belgelerini geliştirmek, üretim veri tabanı oluşturmak gibi farklı işlevlere katkı sağlamaktadır (Um, 2018). CAD modellemenin avantajları arasında; tasarımın 3 boyutlu formunu kolayca gösterilmesi, ürün görünümünün değerlendirilmesi için foto-gerçekçi görüntüler oluşturulması, kütle ve hacim gibi fiziksel özelliklerin otomatik olarak hesaplanması, kesit görüntülerinin ve imalat çizimlerinin oluşturulması, ürünün nihai montajını dikkatli bir şekilde planlamak ve parçalar arasındaki geometrik etkileşimi tespit edilmesi, yapılan analizlerle belirli durumlarda tam ölçekli bir fiziksel prototipin ihtiyacını ortadan kaldırılması gibi işlevler yer almaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

CAD modelleri; tasarımları, her biri geometrik ilkelere oluşturulan 3 boyutlu katı varlıkların koleksiyonları olarak temsil eder (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

Modeller, tasarımcıya görsel geri bildirim sağlayabilecek grafik sistemler aracılığıyla görüntülenir ve CAD sistemleri genellikle farklı amaçlar için kullanılan çeşitli uygulama yöntemlerini içerir. Mevcut CAD sistemlerinin çoğunda genel fikir, bir temel şekil oluşturmak ve ardından son şekil oluşturulana kadar aşamalı olarak elemanlar eklemektir (Stroud ve Nagy, 2011).

Stroud ve Nagy'ye (2011) göre, tasarım ve üretim uygulamalarının uzmanlar topluluğu içinde gerçekleşmesi beklenebilir. Bunun nedeni, farklı üretim alanlarının karmaşıklığıdır. Hepsinde uzman olmak zordur ve bu nedenle tasarım ve üretim genellikle ekip çalışması olarak gerçekleştirilir. Tasarım aşamasında diğer uygulama alanlarının da dikkate alınması gerekir. Bu açıdan CAD, sadece doğru bir model oluşturmak için değil, aynı zamanda ekip içi ve dışı iletişim sağlanması açısından çok önemlidir. Yeni bilgi alanları ve yeni araçlar, iletişim yöntemlerini değiştirir ve verimli CAD kullanımı için bunları anlamak önemlidir. (Stroud ve Nagy, 2011)

3.1. Bilgisayar Destekli 3 Boyutlu Modelleme Prensipleri

Bryden (2014), CAD modelleme yazılımlarının tarihsel olarak katı (solid) modelleme ve yüzey (surface) modelleme olarak ikiye ayrıldığını ifade etmektedir. Ancak, günümüzde birçok CAD yazılımı hem katı hem de yüzey modeller oluşturmak için kullanılan karma sistemlerdir. Birçok yazılım; modelin genel boyutunu ve biçimini kontrol etmek için, modeli oluşturan geometriyi belirli bir sistem içerisinde algılar. Bu sistemlerde kullanılan yöntemler açısından temel üç farklılık vardır. Bunlardan ilki ve en temel olanı katı modelleme ve yüzey modelleme ayrımıdır. İkinci ayrım, modellenerek oluşturulan parçaların birbiri ile ilişki kurması ve montajlanması konusundadır. Üçüncü temel farklılık ise, modelleme ortamındaki katı nesnelerin eğri, yüzey ve poligon ağırları gibi bazı yazılım modülleriyle ayrılıp ayrılmamasına dayanmaktadır.

Model oluşturmak için kullanılan yöntemler yazılımdan yazılıma değişmektedir. Yüzey modelleme sistemleri, sıfır kalınlıktaki kaplamalardan oluşurken, katı modeller kalınlığa sahiptir. Yüzey modelleme teknikleri, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde gerekli olan karmaşık, serbest biçimli, kıvrımlı yüzeyler oluşturmak için kullanılmaktadır. Katı modelleme teknikleri ise, mekanik, geometrik şekilli bileşenlerin oluşturulması için idealdir. Her iki teknik de endüstriyel ürünleri modellemek için

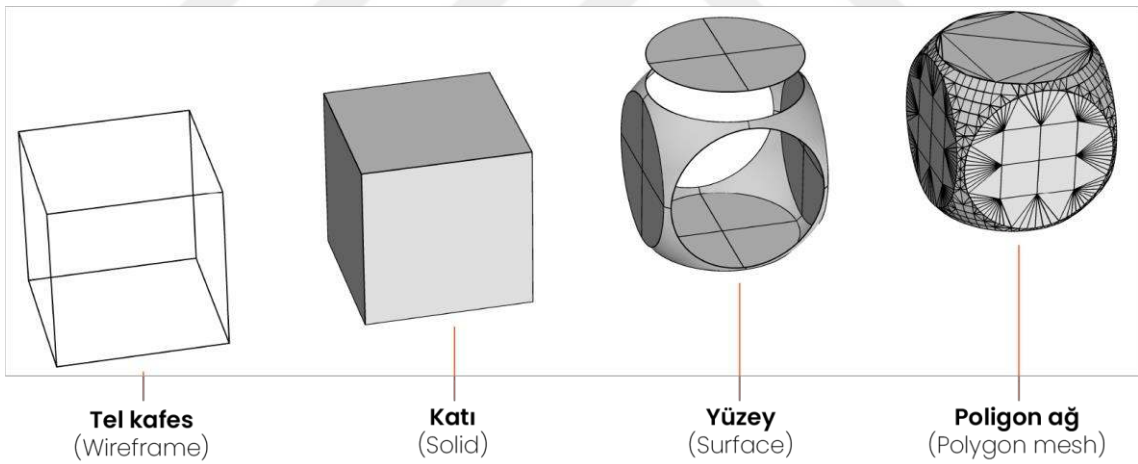
kullanılabilir (Bryden, 2014). Literatürde katı ve yüzey modelleme ayrımı üzerinde bir uzlaşma olmasına karşın, üçüncü teknik olan çokgen veya poligon ağ (polygon mesh) modelleme sadece belirli kaynaklarda yer bulmuştur (Bryden, 2014). CAD sistemlerini mühendislik tasarımı bakış açısında inceleyen kaynaklar (Stroud ve Nagy, 2011; Um, 2018), üçüncü modelleme prensibi olarak tel kafes (wireframe) geometrisini ele almaktadır. Tel kafes modelleme en temel ve diğer modelleme sistemlerinin ilk çıkış noktası olarak görülür. Tel kafes sisteminin, yüzey ve poligon ağ modelleme ile benzer yanları bulunmaktadır. Ancak tel kafes sisteminin en yakın olduğu sistem poligon ağ modellemesidir. Poligon ağ modelleme, mühendislik disiplini en az tercih edilen sistemdir. Bu sebeple, bazı kaynaklardaki sınıflandırmada, poligon ağ modelleme yerine tel kafes modelleme kullanılmaktadır. İki sistem arasındaki temel fark; geometrinin, poligon ağ modellemedeki düzlemsel yüzeyler yerine, tel kafes modellemedeki ağın kenarları oluşturan çizgi ve bağlantı noktaları ile ifade edilmesidir.

Birçok tasarım sürecinde katı, yüzey veya poligon ağ sistemlerinin herhangi biri veya tümünün kombinasyonları kullanılır (Um, 2018). CAD sistemlerindeki ikinci ayrım, yazılımda tek veya çoklu parçaların aynı veya farklı ortamlarda bir araya gelmesi (montaj) konusundadır. Bazı modern sistemler kullanıcıyı, bir parçayı izole edilmiş bir nesne olarak tasarlamakla ve ardından parçaları farklı bir ortamda montajlayarak ürünü bir araya getirmekle sınırlar (Stroud ve Nagy, 2011). Bu sınırlama, mühendislik tasarımına özelleşmiş yazımlarda daha yaygın olarak görülmektedir ve belirli analiz yöntemlerinin uygulanmasında avantaj sağlamaktadır.

Modelleme sistemlerinde katılar, yüzeyler, poligon ağları, eğriler ve noktalar gibi nesnelerin serbestçe tek bir modül içerisinde bir araya gelip gelemeyeceği üçüncü temel ayrımı oluşturur. Mühendislik tasarımına özelleşmiş yazılımlarda farklı tipteki nesnelerin birbirlerine karışması genellikle farklı modüllerle engellenir. Bu özellik aynı tipteki nesnelerin bir arada durmasını, böylelikle analiz, montaj gibi operasyonlarda tutarlılık sağlamaktadır. Endüstriyel ve diğer tasarım disiplini en az tercih edilen bazı yazımlarda, bu ayrım ortaya konulmaz. Her tipteki modelleme nesnesi serbestçe tek bir modülde bulunabilir. Bu durum nesne tipleri arasındaki geçişlerde kolaylıkla birlikte, daha esnek ve özgür biçimde geometri üretme imkânı sağlamaktadır. CAD sistemleri, bir modülde katıların ve başka bir modülde eğri, yüzey ve poligon ağların bulunmasına izin veriyorsa,

bazı kısmi olarak tamamlanmış yüzey ve poligon ağ modellerini katı hale getirmek için, belirli dönüştürme adımları gerekmektedir.

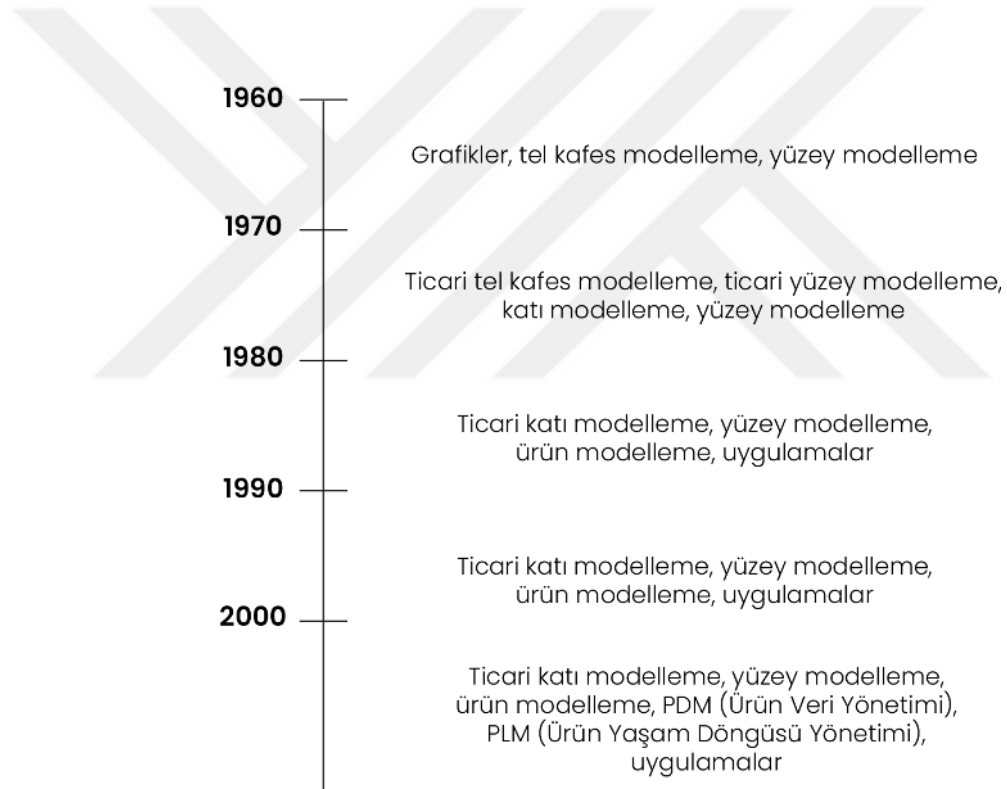
Tel kafes modeller, özellikle erken çizim elemanları olarak çeşitli amaçlar için kullanılabilir ve uzayda yer kaplamazlar. Katılar, uzayda hacim kaplayan, içi dolu normal nesnelerin modelleridir. Yüzey modelleri tek veya bileşik düzlemsel veya eğimli modeller olabilir. Yüzey modelleri belirli durumlarda uzayda yer kaplamaktadır. Poligon ağ modelleri ise geometriyi çoğunlukla üçgen yüzeylerle tanımlamaktadır ve aynı yüzey modelleri gibi sadece belirli durumlarda uzayda yer kaplar. Kullanılan CAD sistemi; farklı tipteki nesnelerin tek modülde bulunmasına izin veriyorsa, üretilebilir nesnelerle, uzayda yer kaplamayan yani kısmen tanımlanmış nesnelerin karışma riski ortaya çıkmaktadır. (Stroud ve Nagy, 2011). **Görsel 3.1.**'de 3 boyutlu modellemedeki farklı nesne tiplerine örnekler gösterilmektedir.



Görsel 3.1. 3 boyutlu modellemede temel nesne tipleri

Stroud ve Nagy'ye (2011) göre erken modelleme sistemleri, tel kafes veya çizgi, şeklinde çizimler oluşturabilmekteydi. Ancak oluşan modeller insanlar ve üretim sistemleri arasında bilgi alışverişi yapabilmek için yeterli değildi. Bunun yanı sıra tel kafes sisteminin yetersiz kaldığı otomobil ve havacılık endüstrileri için karmaşık geometriler oluşturabilecek bir yeni bir modelleme sistemi gerekmektedir. Bu sebeple karmaşık geometriler oluşturma ihtiyacına cevap vermek için yüzey modelleme

sistemleri geliştirilmiştir. Yüzey modelleme istemleri aynı zamanda bilgisayar kontrollü üretimde takım yolu (toolpath) oluşturmayı kolaylaştırmak için teknikler de sunmaktadır. Katıların modelleme teknikleri ise yüzey modelleme sistemlerinin geliştirilmesinden sonra, 1970'lerde ortaya çıkmıştır (Stroud ve Nagy, 2011). 1980'lere gelindiğinde; başlangıçta ortaya çıkan birkaç farklı teknik arasında ikisi baskın hale gelmiştir. Devam eden süreçte CAD/CAM uygulamalarında çoğunlukla katı modelleme sistemleri kullanır olmuştur. Farklı modelleme sistem ve teknikleri, belirli bir süre için CAD geliştiricileri tarafından göz ardı edilmiş olsa da günümüzde birçoğu erişilebilir hale gelmiş ve yaygınlaşmıştır. (Stroud ve Nagy, 2011). **Şekil 3.1'**de çeşitli tekniklere genel bir tarihsel bakış açısıyla yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Modelleme ve CAD zaman çizelgesi (Stroud ve Nagy, 2011, s. 66)

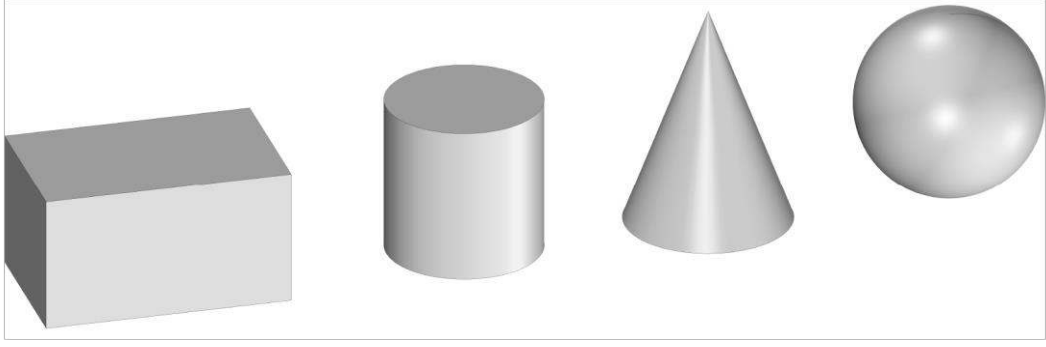
(Uyarlanmıştır)

3.1.1. Katı modelleme

CAD ortamındaki katı modeller, belirli kalınlığa sahip olan ve bir hacmi çevreleyen nesnelerdir. Katı modeller; çoğu CAD yazılımında bulunan küreler, dikdörtgen prizmalar, silindirler, piramitler, koniler ve torus (simit) gibi ilkel katı formlar kullanılarak oluşturulabilir. Bununla birlikte daha yaygın olarak, karmaşık katı formların gerekli olduğu durumlarda, modelleme süreci katıları oluşturmak için kullanılan eskiz ve inşa (sketch veya construction line) eğrilerinin çizilmesiyle başlar (Bryden, 2014). Genel bir kural olarak, katı modelleme araçları, yüzey araçları kullanılarak düzenlenen modeller üzerinde uygulanamamaktadır. Ancak yüzey modelleri katı modellere dönüştürülebilmekte, böylece katı düzenleme araçları kullanılabilir ve model üretilebilir hale gelmektedir. Katı modeller üzerinde malzeme tanımlanabilir ve modeller mühendislik hesaplamalarının yapılmasına izin vermek için bilgisayar destekli mühendislik (CAE) yazılımına aktarılabilir, nesneler arasında girişim kontrolü, otomatikleştirilmiş üretim planlaması ve daha gerçekçi üretim simülasyonları dahil olmak üzere modellerin üç boyutlu mühendislik analizini verimli bir şekilde uygulanabilmektedir (Um, 2018). Katı modellerden elde edilen veriler, doğrudan bilgisayar destekli üretim (CAM) ve bilgisayar sayısal kontrol (CNC, Computer Numerical Control) yazılımına aktarılabilir. (Bryden, 2014).

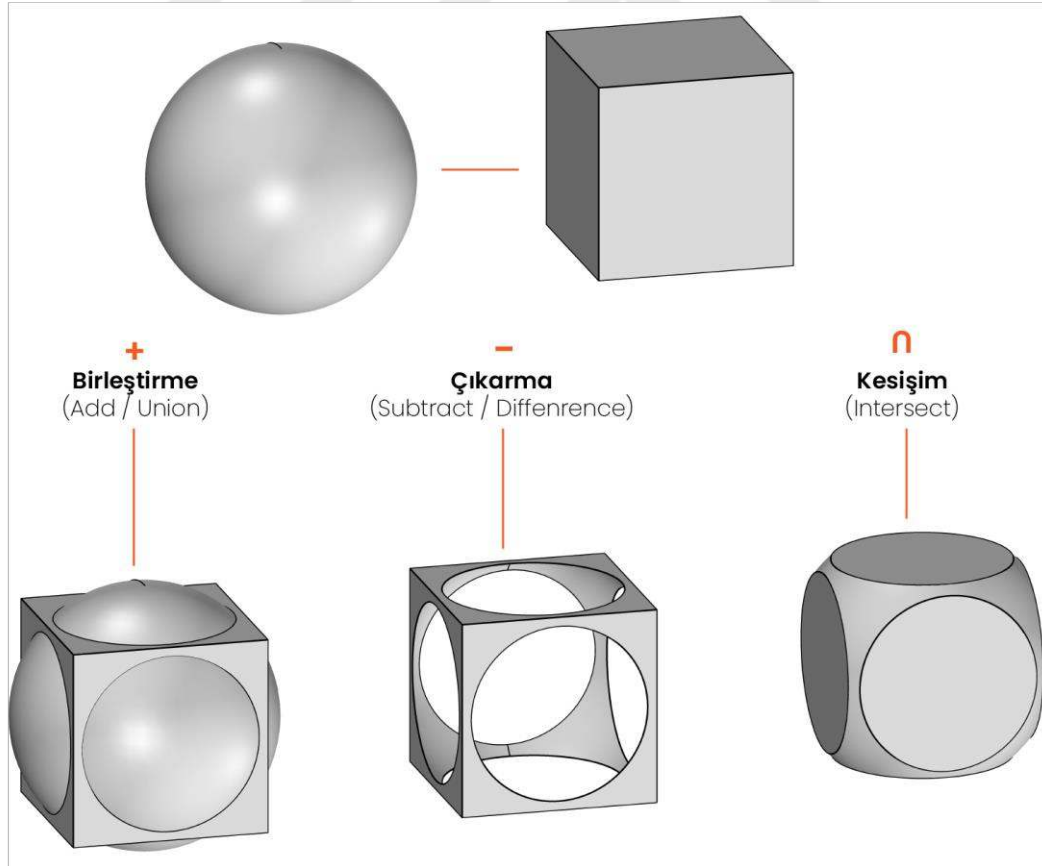
Katı modelleme prensibine iki temel yaklaşım geliştirilmiştir. İlki, yapı taşı yaklaşımı (Building-Block Approach) olarak da adlandırılan yapıcı katı geometri (CSG veya C-Rep, Constructive Solid Geometry) sistemidir. İkinci yaklaşım ise sınır gösterimi (B-rep, Boundary Representation) olarak adlandırılmıştır.

CSG olarak kısaltılan yapıcı katı geometri sistemleri; kullanıcının modeli dikdörtgen prizmalar, küpler, küreler, silindirler ve piramitler gibi katı ilkelerinden (solid primitives) oluşturmasına izin verir (**Görsel 3.2.**).



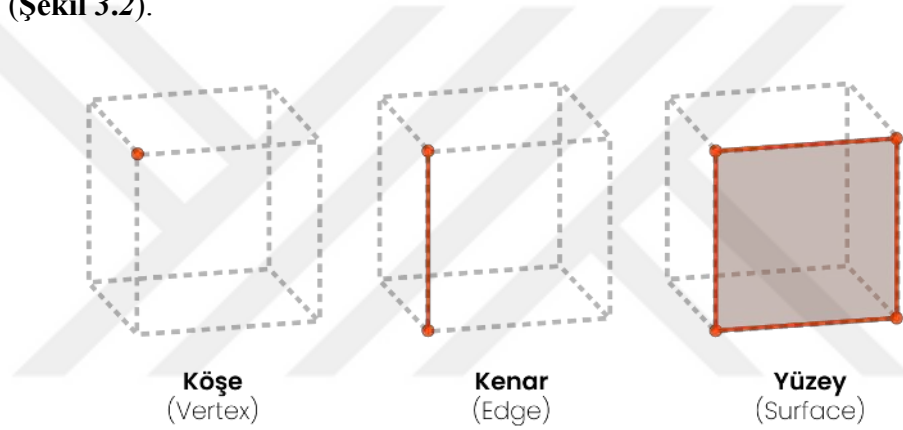
Görsel 3.2. Katı ilkelleri

CSG sisteminde modeller basit katıların çeşitli kombinasyonları olarak oluşturulur ve modelleri yapılandırmanın en yaygın Boolean işlemlerini kullanmaktır (Um, 2018; Stroud ve Nagy, 2011). Üç temel Boolean işlemi; katı nesneler arasında birleştirme, çıkarma ve kesişim eylemleri olarak tanımlanabilir (**Görsel 3.3.**).



Görsel 3.3. Boolean işlemleri

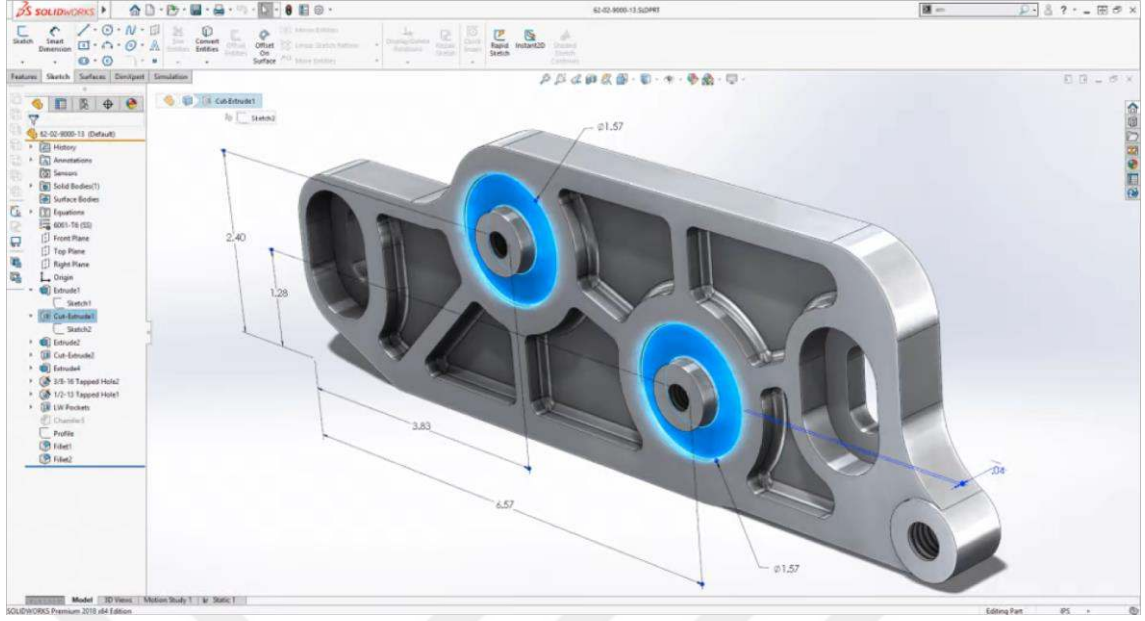
B-rep olarak da bilinen sınır gösterimi, ilk olarak 3 boyutlu modeli küçük yüzler koleksiyonuna ayrıştırır. B-rep sisteminde, her yüzün düzleminin basitliği nedeniyle, bağlantı bilgisi 3 boyutlu modelin veri yapısına kolayca eklenir. Ek olarak her yüz, katı tarafından tanımlanmaya açık hale getirilmektedir. (Um, 2018). Kullanıcı, nesnenin ön, yan ve üst, gerekirse daha fazla görünümünü çizerek, ilişkilerini kurmak için görünüm arasında birbirine bağlı çizgiler oluşturmaktadır. Modeli istenen şekle getirmek için çeşitli dönüşümler ve diğer özel düzenleme prosedürleri kullanılır (Um, 2018). B-rep modelleri iki temel bileşenden oluşur; topoloji ve geometri. Bu bileşenler pratik nedenlerle ayrı tutulur ve topoloji modelin yapısını, geometrinin şeklini tanımlar. Bir modelin topolojisinin ana unsurları yüzler, kenarlar ve köşelerdir (Stroud ve Nagy, 2011) (**Şekil 3.2**).



Şekil 3.2. B-rep topolojik unsurları

CSG ve B-rep olarak aktarılan iki temel katı modelleme prensibi karşılaştırıldığında; CAD ve CAM uygulamalarında, CSG sistemlerinin başlangıçta kullanıldığını ancak günümüzde yerini B-rep sisteminin aldığı belirtilmektedir (Stroud ve Nagy, 2011).

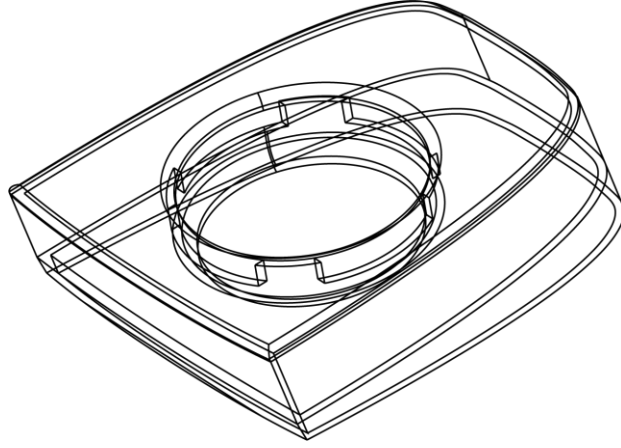
Günümüzde ürün tasarımında yaygın olarak kullanılmakta olan katı modelleme yazılımları; Solidwork, Fusion360, Siemens NX, Catia, Inventer, Spaceclaim olarak sıralanabilir (**Görsel 3.4**).



Görsel 3.4 Solidworks katı modelleme yazılımı arayüzü (Griffin, 2020)

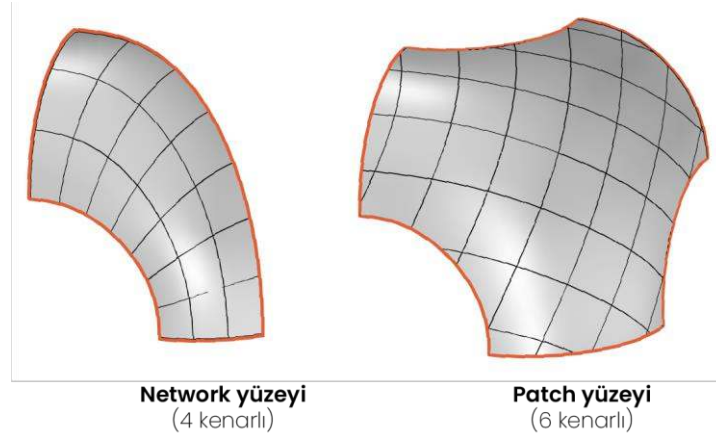
3.1.2. Yüzey modelleme

Yüzey (surface) modelleme; bir tel kafes modelinin, kenarlar arasındaki boşluğu temsil edebilmesi için, mevcut sistemin eksikliğini kapatarak ileri atılmış bir adım olarak icat edilmiştir (Um, 2018; Stroud ve Nagy, 2011). Yüzey modellemede 3 boyutlu nesneler, bileşen üzerindeki yüzeylerin bir kısmı veya tamamının belirtilmesiyle temsil edilir. Teknik olarak, her nesne yüzey kenarlarından ve yüzeydeki eğrilerden oluşturulur. Bu nedenle yüzey modellemesi tel kafes prensibine benzemektedir. Tel kafes prensibinden evrimleşmiş olmasına rağmen yüzey modelleme sistemi, üretim ve mühendislik analizlerinde tel kafes modellerine göre önemli avantajlar sunar. Yüzey gösterimi, tel kafesten daha fazla hesaplama gerektirir ve modellerin oluşturulmasında ileri teknik beceriler gerektirmektedir (Um, 2018) (**Görsel 3.5**).



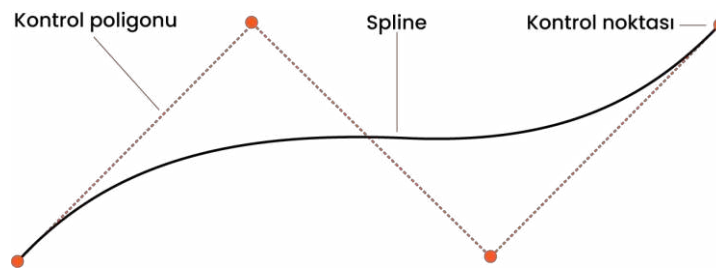
Görsel 3.5. *Tel kafes modelleme örneği*

Yüzey modelleme sistemleri, karmaşık yüzeylere sahip bir nesnelerin CAD ortamında oluşturulması için kullanılmaktadır. Araba gövdeleri, uçaklar ve gemiler gibi nesneler bu tip karmaşık yüzeyleri barındırmaktadır. Stroud ve Nagy (2011), bazı ürünlerin üretimi için, nihai olarak katı model oluşturulması gerekmeyişi ve yüzey modelleme sistemlerinin yeterli olacağını belirtir. Aksi durumlar için yüzey modelleme sistemleri, kapalı görünen nesneler oluşturmak için de kullanılabilir. Bu noktada kapalı geometrilerin oluşturulmasında yüzey matematiğinin doğasında olan bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. Yüzeyler genellikle dört kenardan network (ağ) aracılığıyla hesaplanır. Ancak üç, beş ve daha fazla kenarlı patch (yama) matematiği de yüzey modelleme sistemleri içerisinde formüle edilmiştir. Yüzey ve patch kenarlarının hiçbir boşluk bırakmadan birleştirilmesi için gerekliliklerin sağlanması problem oluşturabilecek durumlardan birisi olarak aktarılmaktadır (Stroud ve Nagy, 2011) (**Görsel 3.6**).



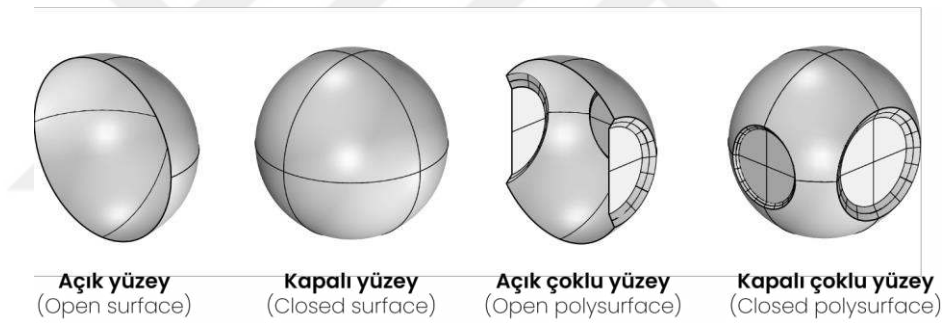
Görsel 3.6. Network ve patch yüzeyi

Yüzey modelleme prensibinde en yaygın hesaplama yöntemi olarak kullanılan düzgün olmayan oransal temel bağ interpolasyonu veya eğri yapısı (NURBS, Non-uniform rational basis spline) yönteminde, modelleme süreci genellikle eğrilerin çizilmesiyle başlar. Bu yöntemde kullanılan ve kontrol noktalarıyla oluşturulan sentetik eğri yapılarının (spline) kalınlığı yoktur ve tek bir iki boyutlu düzlemde veya üç boyutlu uzayda eğriler olarak var olabilirler. Burada amaç 3 boyutlu yüzeylerin kenarlarını, sınırlarını ve/veya kesitlerini oluşturabilmektir. Eğri yapıları daha sonra 3 boyutlu modele şekil veren yüzeyleri oluşturmak için kullanılır. **Görsel 3.6'**daki yüzeylerin kenarlarını oluşturan öğeler yüzey oluşturmada kullanılan eğri yapılarının bir örneğidir. Eğri yapıları genellikle doğrudan 3 boyutlu CAD programında çizilerek oluşturulur, ancak 2 boyutlu CAD yazılımlarından veya 2 boyutlu vektör çizim programlarından da alınabilirler. İçerik aktarılan eğri yapıları genellikle kontrol noktalarının yeniden yapılandırılmasını (rebuild) gerektirir (**Şekil 3.3**). Kontrol noktalarının yeniden yapılandırılması, daha iyi yüzey oluşturmayı sağlamak için geometrilerini basitleştiren bir işlemdir (Bryden, 2014).



Şekil 3.3. NURBS eğrisi (spline)

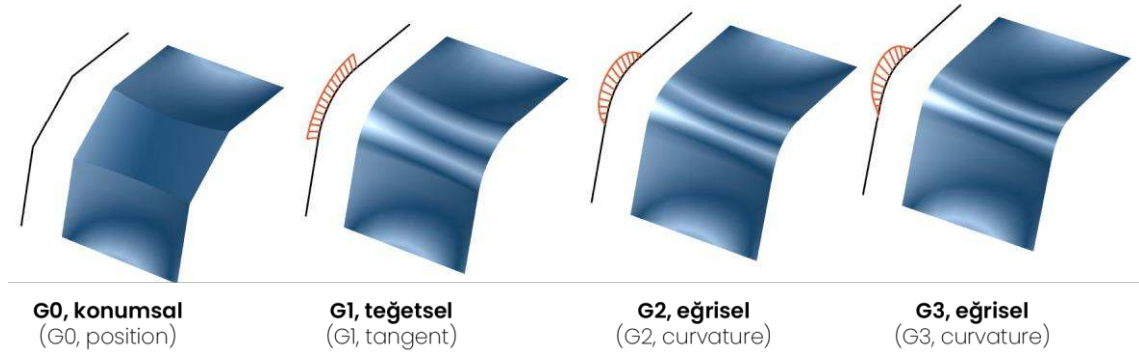
Eğri yapıları açık yüzeyler (surfaces), kapalı yüzeyler (closed surfaces), açık çoklu yüzeyler (open polysurfaces) ve kapalı çoklu yüzeyler (closed polysurfaces) oluşturmak için kullanılır. Bir çoklu yüzey, birbirine birleştirilmiş iki veya daha fazla yüzeyden oluşmaktadır. Açık yüzeyler, uzayda hacim kaplamayan, sıfır kalınlığa sahip ve şekilleri kontrol noktaları kullanılarak düzenlenebilir nesnelerdir. Açık çoklu yüzeyler de belirli bir hacme veya kalınlığa sahiptir değildir. Herhangi bir hacme veya kalınlığa sahip olmaması, nesneleri matematiksel birer varsayım, hayali yapılar olarak tanımlamaktadır. Kapalı yüzeyler ve kapalı çoklu yüzeyler, belirli bir kalınlığa ve hacme sahiptir ve bu nesneler katı olarak da bilinmektedir. Kapalı yüzeyler, tek bir yüzeyden oluştukları için, açık yüzeylerle aynı şekilde kontrol noktaları kullanılarak düzenlenebilir. Çoklu yüzeyler ister açık ister kapalı olsun, kontrol noktaları kullanılarak düzenlenemez (Bryden, 2014) (Görsel 3.7).



Görsel 3.7. Yüzey ve çoklu yüzeyler

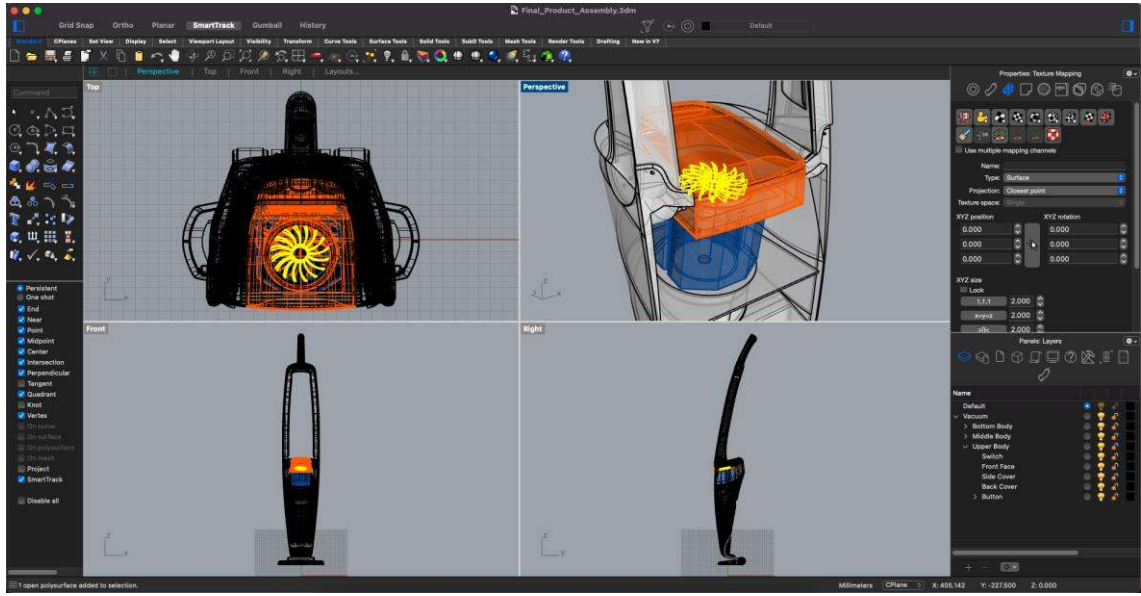
Yüzey modellemede bilinmesi gereken önemli bir diğer kavram ise geometrik veya yüzey devamlılığıdır (Gcon, Geometric/surface continuity). Bir üründe pürüzsüz dış yüzeyler elde etmek için, CAD ortamında eğri yapılarının nasıl buluştuğunu ve diğer eğri yapılarına nasıl devamlılık sağladığını, dolayısıyla yüzeylerin nasıl buluştuğu ve diğer yüzeylere olan devamlılığın nasıl kontrol edildiği önem taşımaktadır (Bryden, 2014).

Eğri yapılarına ve yüzeylere uygulanabilecek temel devamlılık dereceleri mevcuttur. Bu dereceler; konumsal (G0, position), teğetsel (G1, tangent), eğrisel (G2, curvature) ve artan eğrisellik derecelerinde G3, G4 şeklinde devam etmektedir (**Görsel 3.8**). Geometrik devamlılığı ifade eden “G” harfini takip eden rakam, birleşen iki eğri veya yüzeyin akışkanlık derecesini belirtmektedir. Belirtilen rakam, eğri denklemlerinin birleştiği noktadan geçen eğim (birinci derece türev) doğrusu üzerinde, eğrilerin karşılıklı olarak kaç kontrol noktasının yer aldığını ifade eder. Rakam arttıkça iki bileşen arasındaki akışkanlık da artmaktadır. Örnek olarak; yüzeyler arasında G2 ve G3 devamlılığının kullanılması, gövdelerinde sürekli pürüzsüz yansımaların istendiği otomotiv, havacılık, gemi ve yat yapımı vb. endüstrisinde büyük önem kazanmaktadır.



Görsel 3.8. Geometrik devamlılık

Endüstriyel tasarım süreçlerinde kullanılan yüzey modelleme yazılımlarında, Autodesk Alias ve Rhinoceros 3D ön plana çıkmaktadır (**Görsel 3.9**). Alternatif olarak NURBS prensibiyle çalışan Altair Inspire Studio ve Moi3D gibi farklı yüzey modelleme yazılımları da mevcuttur.



Görsel 3.9. Rhinoceros 3D yüzey modelleme yazılımı arayüzü

3.1.3. Poligon ağ modelleme

Poligon veya çokgen ağ (polygon mesh), nesneleri düzlemsel üçgen veya dörtgen yüzeylerin bir araya gelmesi tanımlayan modelleme yaklaşımıdır. Tel kafes sistemi ile arasındaki temel fark, geometriyi oluşturan ağ kenarları arasında yüzeylerin bulunmasıdır.

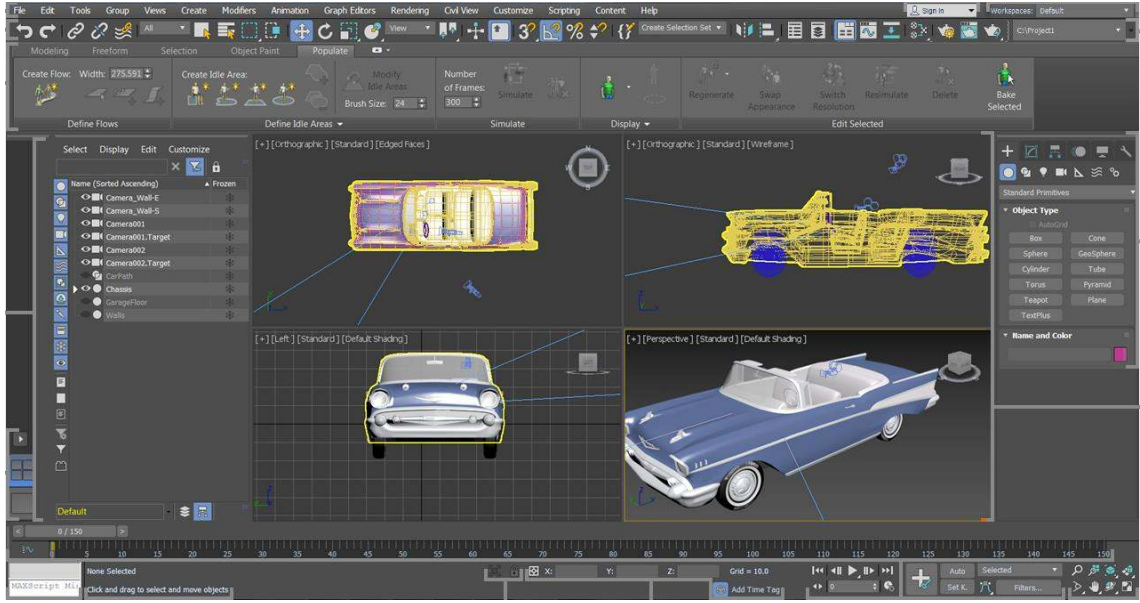
Tel kafes modelleme, en temel 3 boyutlu modelleme sistemidir. Diğer modelleme sistemlerinin çoğu tel kafes geometrisinden geliştirilmiştir. Bu nedenle tel kafes modelinin temellerini anlamak 3 boyutlu modellemede önemlidir. Tel kafes şemasında geometri, bir nesnenin kenarlarını temsil eden bir dizi çizgi ve eğri olarak tanımlanır (Um, 2018). Tel kafes modelleri düğümlerden veya köşelerden ve bunlar arasındaki kenar adı verilen bağlantılardan oluşur (Stroud ve Nagy, 2011). Tel kafes modellemenin birkaç

güçlü yönü vardır. Birincisi, hesaplama açısından en basit tekniktir. Bir 3 boyutlu model, bir dizi çizgi veya eğri ile temsil edildiğinden, 3 boyutlu model bir ekranda hızla yeniden üretilebilir. Ayrıca zaman ve bellek gereksinimleri açısından en ekonomik olanıdır. Kişisel bilgisayarların ve yaygın grafik hızlandırıcıların sağladığı günümüzün hesaplama gücü sayesinde, bu artık ürün tasarımındaki kullanımı açısından büyük bir avantaj olmayabilir. Bununla birlikte, karmaşık bir tasarım için büyük bir nesne koleksiyonunun ele alınması gerekiyorsa, özellikle gerçek zamanlı animasyon için diğer 3 boyutlu modelleme sistemlerine göre hala tercih edilebilir durumdadır. Tel kafes modelinin diğer bir zayıflığı, yüzey alanı, hacim, ağırlık hesaplamaları veya örtüşme için geometrik kesişimler veya tolerans hesaplamaları gibi mekanik özellikleri hesaplama yeteneğinde sınırlı olmasıdır (Um, 2018). Daha da önemlisi, CAM operasyonları için otomatik takım yolu (toolpath) oluşturma yüzeyler olmadan yapılamaz. Bu özel eksiklik, yüzey modelleme sistemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Diğer bir problem ise, bu sistemin sağladığı geometrik esneklikten kaynaklı, oluşturulması imkânsız olan nesneler yaratmak mümkündür. (Stroud ve Nagy, 2011) Poligon ağ modelleme, oyun, animasyon, film ve bilgisayar grafikleri (CG, Computer Graphics) endüstrilerinde 3 boyutlu görselleştirme ve efektler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Geometrinin hızlı bir şekilde oluşturulmasını sağlayan küçük dosya boyutlarının yanı sıra sezgisel form şekillendirmeye izin veren sistem yapısı, gerçek- zaman görselleştirmeye imkân sağlar (Bryden, 2014). Djik (1995), çokgen ağ modellemeyi elektronik model hamuru veya kili (electronic clay) olarak tanımlamaktadır. Bu süreç fiziki model hamuru veya kili ile yapılan ve deforme edilmesi gereken, formu belirli bir hacimle sürece başlayamaya benzemektedir.

Poligon ağ modellemede, bir grup üçgen veya dörtgen yüzeyler bir geometri ağı oluşturmak için birbirine bağlanır. Belirli bir poligon ağ yoğunluğuna sahip modeller, daha kaba, dolayısıyla daha az bellek yoğun poligon ağ geometrisi belirtirken gerekli pürüzsüz yüzeyleri temsil etmek için kullanılan bir yöntem olan alt bölümlendirme (subdivision) adı verilen bir işlem aracılığıyla iyileştirilmiş poligon ağ modellerine dönüştürülebilir. Poligon ağ modelleme fiziksel prototipler oluşturmak için kullanılabilse de 3 boyutlu yüzeylerin matematiksel olarak tanımlanması gereken ürün tasarımında yaygın olarak kullanılmaz (Bryden, 2014). Bununla birlikte, bazı NURBS yüzey modelleme yazılımlarının; poligon ağ oluşturma ve düzenleme araçlarını içermesi ve

poligon ağı ile NURBS yüzeyleri arasında çeviriyi sağlayan araçlara sahip olması ile bu durum değişebilmektedir (Bryden, 2014).

Endüstriyel tasarım sürecinde poligon ağ modelleme, diğer iki modelleme prensibine göre, seri üretim yöntemlerine daha az entegre olmasında dolayı ön tasarım aşamalarında tercih edilmektedir. Poligon ağ modellemenin yaygın örnekleri; 3ds Max, Blender 3D, Cinema 4D, SketchUp olarak sıralanabilir (**Görsel 3.10**).

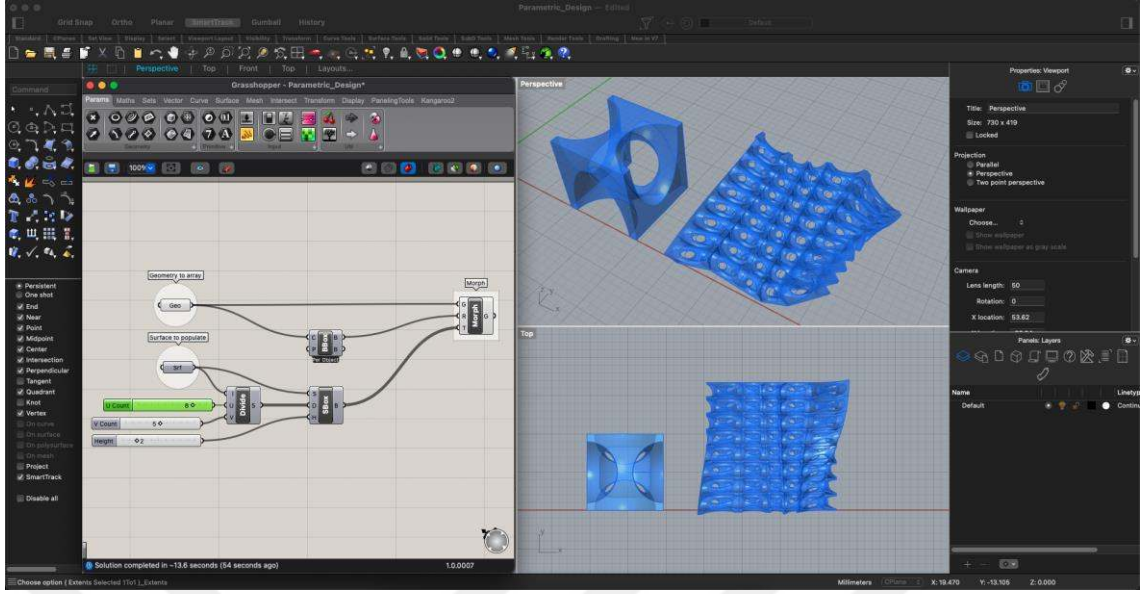


Görsel 3.10. 3ds Max yüzey modelleme yazılımı arayüzü (3ds Max Support and learning, 2021)

3.2.4. Diğer modelleme prensipleri

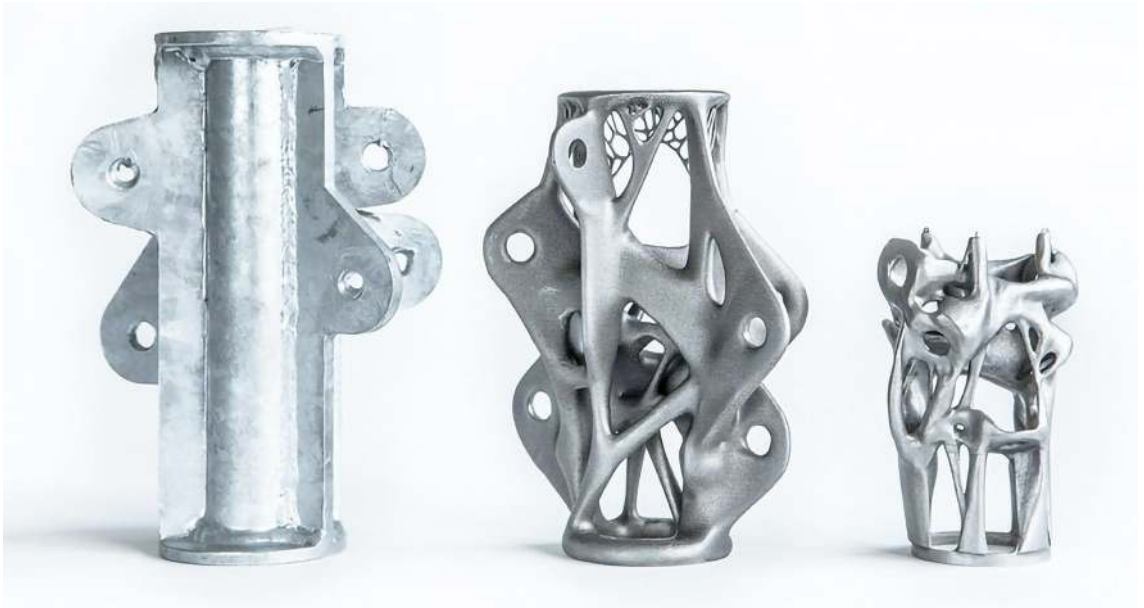
Önceki alt başlıklarda incelenen; katı, yüzey ve poligon ağ modelleme prensipleri içerisinde değinilmemiş ve CAD ortamında 3 boyutlu geometri oluşturulmasına imkân sağlayan farklı yöntemler de mevcuttur. Çalışmanın limitleri dahilinde; üç genel prensip dışında kalan diğer yöntemler detaylı olarak incelenmemiştir ancak bilgisayar destekli tasarım evreninin genişliğini ifade edebilmek adına kısaca sıralanacaktır.

Parametrik modelleme başlığı altında, özellikle mimarlık alanında yaygın olarak kullanılan modül bazı Grasshopper (**Görsel 3.11**) vb. yazılımlar yer almaktadır. Bu tür yazılımlarda görsel arayüz sayesinde, modül olarak eklenen denklemler arasında belirli bir algoritma kurulur. Algoritma çalıştırıldığında oraya çıkan sonuç, üç temel modelleme prensiplerinden birine aktarılabilir.



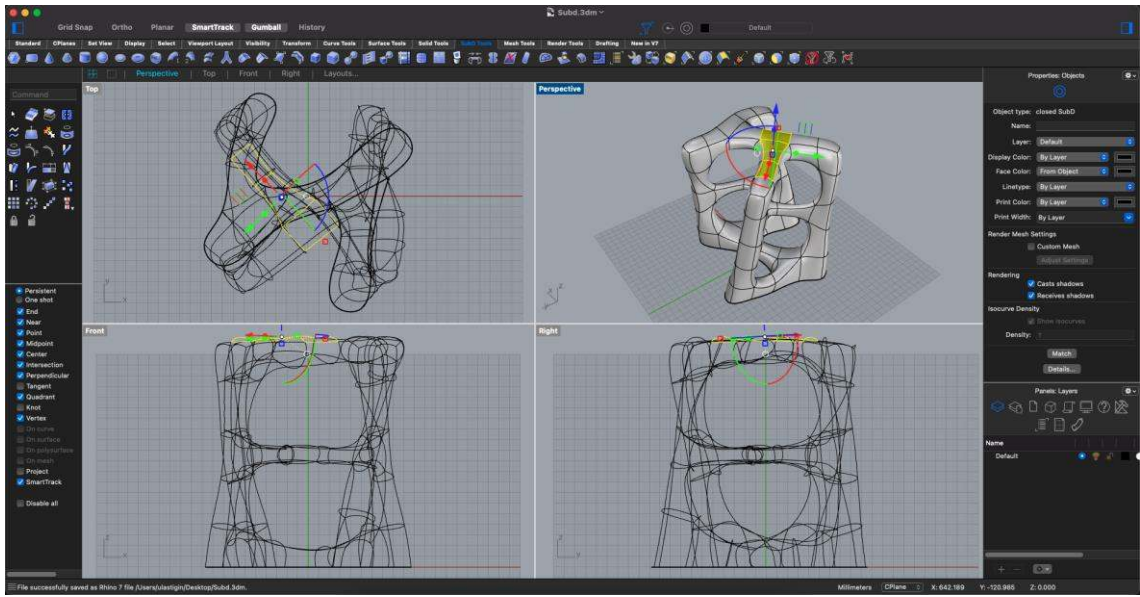
Görsel 3.11. Grasshopper parametrik modelleme yazılımı

Üretken (generative) modellemede, yapay zekâ ve bulut teknolojilerini kullanarak, yazılım arayüzünde tasarım gerekliliklerine yönelik parametrelerin tanımlanması ile, bilgisayar tarafından optimize edilerek üretilmiş çözüm alternatifleri sağlanmaktadır. **Görsel 3.12'**de üretken modelleme yazılımları ile tasarlanmış ve üretilmiş örnekler yer almaktadır.



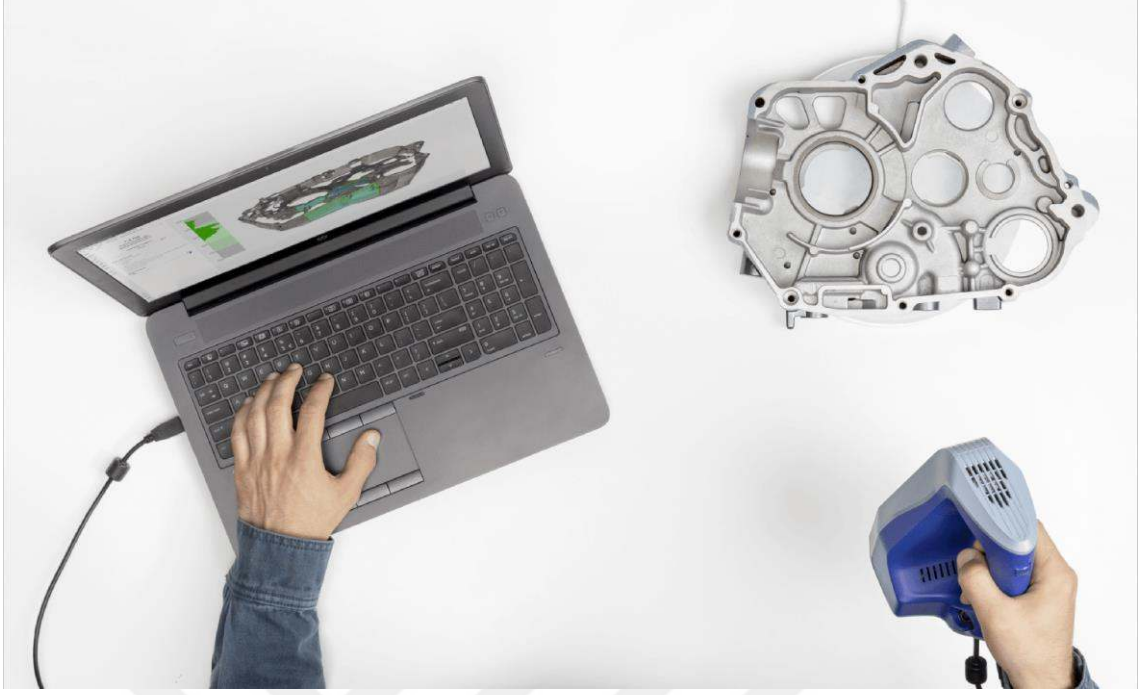
Görsel 3.12. Üretken modelleme örneği (Generative Design 101)

Alt bölümlendirme (SubD, subdivision) yüzey modelleme, üst düzeyde yüzey devamlılığı sağlayarak organik formlarda nesneler oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Yüzey modellemeye benzer bir şekilde, yapıyı oluşturan parçalar genellikle dört kenardan oluşmaktadır ancak uygulama mantığı olarak poligon ağ modellemeye daha yakındır. Bu yöntemin temel avantajı, çok hızlı bir şekilde üretilen nesneler, kolaylıkla NURBS prensibine çevrilebilmektedir. Autodesk Alias ve Rhinoceros 3D (Görsel 3.13) bu yöntemi barındıran yazılımlar arasındadır.



Görsel 3.13. Rhinoceros 3D yazılımında SubD yüzey modelleme

3 boyutlu tarama (3d scan), var olan bir nesnenin CAD ortamına aktarılmasını sağlayan bir yöntemdir. Kendi içerisinde çeşitli alt yöntemler barındıran 3 boyutlu tarama sonrasında, genellikle ham bir veri elde edilir (Görsel 3.14). Taramada kullanılan donanım ve yazılımlara bağlı olarak, taranan nesnenin 3 boyutlu uzaydaki nokta bulutu ve poligon ağ modeli elde edilmektedir. Elde edilen ham verinin katı veya yüzey modelleme yazılımlarına dönüştürülebilmesi için işlenmesi gerekmektedir.



Görsel 3.14. 3 boyutlu tarama (Artec Studio 16)

Sanal gerçeklik (VR, virtual reality) ile 3 boyutlu modelleme, bilgi işlem ve sensor teknolojilerinin gelişmesiyle karışımıza çıkmaktadır. Geleneksel bilgisayar arayüzleri yerine, sanal gerçeklik gözlükleri ve kontrol cihazları kullanarak, doğrudan el jest ve hareketleriyle 3 boyutlu model oluşturmaya imkân veren bir teknolojidir (**Görsel 3.15.**). Kullanım alanları henüz eğlence sektörü veya deneysel uygulamalarla sınırlı olsa da gelecekte yaygınlaşması olasıdır.



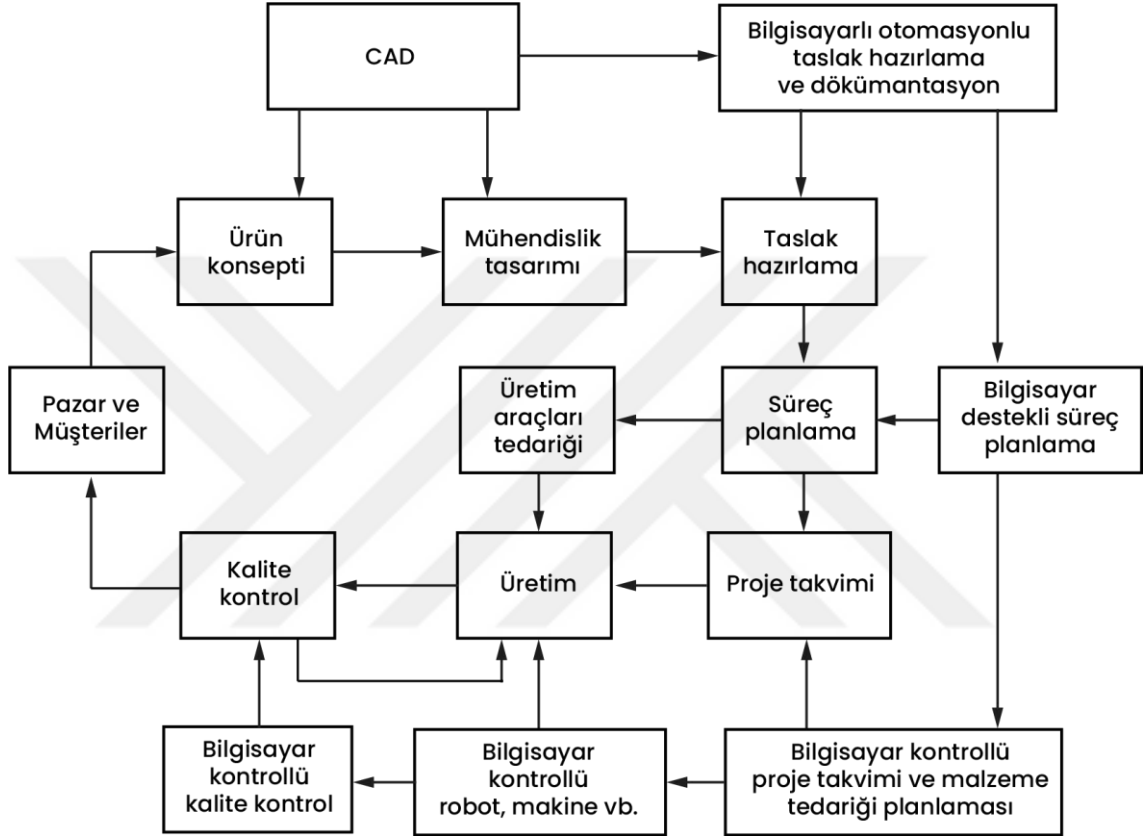
Görsel 3.15. *Sanal gerçeklik ile 3 boyutlu modelleme (VR Ink Pilot Edition)*

Bu bölümde bahsedilmemiş farklı 3 boyutlu modelleme yöntem ve prensipleri olması olasıdır. 1960’lardan itibaren tasarımcıların, biçim oluşturma yöntemlerini etkileyen CAD ortamları, her geçen gün gelişmeye, yeni yöntemler üretmeye devam etmektedir.

3.2. Endüstriyel Tasarımda Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Modelleme

1960’ların başında, “Sketchpad” isimli iki boyutlu CAD sistemini geliştirilmesiyle, CAD yazılımlarında akademik araştırmadan ticari kullanıma geçilmeye başlanmıştır. Böylece mühendislik tasarımcılarının ve endüstriyel tasarımcıların dijital yöntemlere geçmesine imkân sağlanmıştır (Evans vd., 2015). Bu alandaki büyüme, profesyonel endüstriyel tasarım uygulamalarıyla ilişkili faaliyetleri etkileme kapasitesine sahip çok çeşitli dijital araçların geliştirilmesi ve yaygınlaşmasıyla sonuçlanmıştır (Aldoy ve Evans, 2011; Bryden, 2014; Pahl vd., 2007). CAD, ürün döngüsündeki tüm farklı faaliyetlerde kendine yer bulmaktadır ve ürünün kavramsallaştırılmasından, nihai tasarımın belgelendirilmesine kadar olan süreçlerde bilgisayar destekli tasarımdan yararlanır (Groover ve Zimmers, 1984).

Şekil 3.4’de gösterildiği gibi, CAD ve CAM, ürün döngüsünün neredeyse tüm faaliyetleri ve işlevleri üzerinde etkilidir ve modern bir imalat firmasının tasarım ve üretim işlemlerinde; yaygın, kullanışlı ve vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (Groover ve Zimmers, 1984).



Şekil 3.4. CAD/CAM katkısı ile güncellenmiş ürün döngüsü (Groover ve Zimmers, 1984, s. 5)

(Uyarlanmıştır)

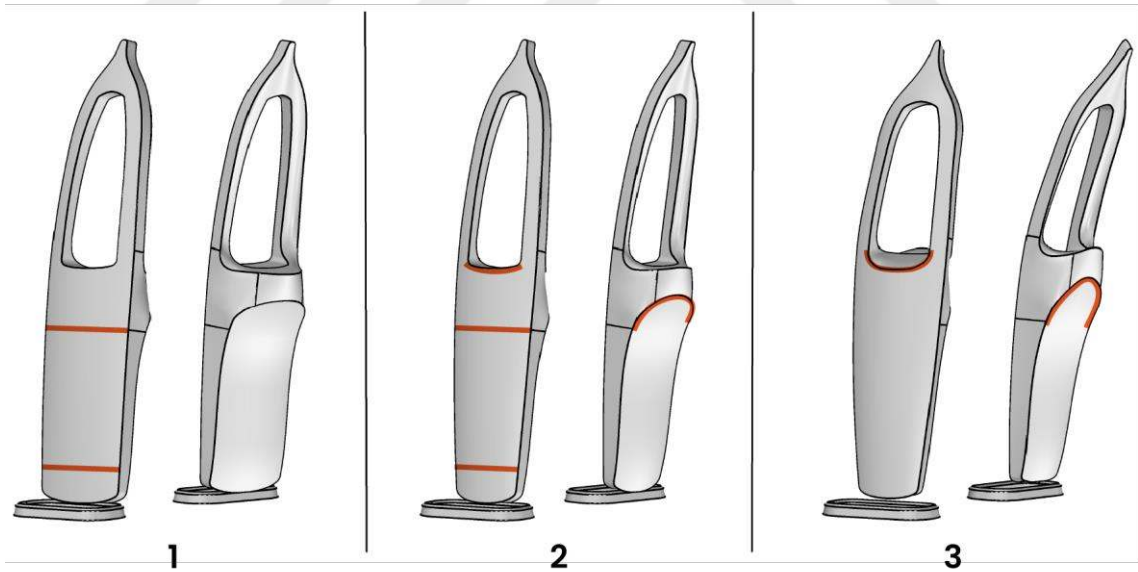
Ürün tasarımı, yinelemeli bir araştırma, analiz, düşünme, konsept geliştirme, görselleştirme, model ve prototip oluşturma, test etme ve iyileştirme sürecini içermektedir. Bu bağlamda CAD, ürün geliştirme sürecinde kullanılan bir dijital prototipleme şekli olarak görülebilir (Bryden, 2014). CAD; endüstriyel tasarımcılar tarafından ilk konseptten üretilen ürüne kadar, ürün geliştirmede kullanılan bir araçtır. CAD; tasarımcıların birden çok konsepti 3 boyutlu olarak daha hızlı keşfetmesine, daha doğru bir şekilde görselleştirmesine ve mühendislik çizimlerinden kaynaklanan hataları ortadan kaldırmasına olanak tanır. CAD; tasarım geliştirme sürecinin farklı aşamaları arasında sorunsuz bir geçişin yanı sıra gelişmiş iletişim sağlayarak, taslaktan üretilen ürüne giden tasarım geliştirme sürecinin hem zamanını hem de maliyetini azaltarak, üreticilerin ürünleri daha hızlı piyasaya sürmesini sağlamaktadır (Bryden, 2014). Ürün tasarımında kullanılan bilgi işlem teknolojileri geliştikçe, konsept oluşturmada detay tasarımına olan tüm aşamalarda, bilgisayar destekli tasarım; tasarım yöntemlerini, organizasyon yapılarını ve iş bölümünü etkilemektedir (Bryden, 2014; Pahl vd., 2007).

İkinci bölümde belirtilen ve endüstriyel tasarım sürecinin üç aşaması olan; araştırma, analiz ve konsept oluşturma faaliyetlerini kapsayan ön tasarım aşamasında, konsept önerilerinin geliştirildiği ve somutlaştırıldığı prototipleme aşamasında ve detay tasarımı ile nihai ürünün iletişim bilgisinin oluşturulduğu seri üretim için hazırlık aşamasında CAD önemli bir yer bulmaktadır.

Ön tasarım aşaması içerisinde yer alan konsept oluşturma, bir tasarım özetine yanıt olarak tasarımcının ilk düşüncelerinin somut görselleştirilmesini içerir. Bu aşamada zorunlu olarak ayrıntıdan yoksun ve çok sayıda alternatifin üretilmesi beklenmektedir (Evans vd., 2015). Ön tasarım araştırmasının genel amacı; tasarımı kolaylaştırmak ve dolayısıyla tasarımcının ürünü ilk seferde doğru elde etmesine yardımcı olmak, böylece geri bildirimlerden kaçınmaktır. İdeal olarak, erken aşamayı CAD sistemi ile oluşturmak, sürdürmek ve entegre etmek için tasarım araçları proaktif olmalıdır (Stroud ve Nagy, 2011). Ön tasarım aşaması içerisinde taslak yerleşimler ve çözümlerin sadece önemli görülen ayrıntıları CAD yazılımları kullanılarak temsil edilmektedir. İlk ürün modelini sisteme girmek için gereken çabaya rağmen, yerleşim düzeni ve tekil bileşenlerde değişiklik yapmak verimi artırdığı için, çözüm ilkelerini CAD kullanarak sağlamlaştırmak faydalıdır. (Pahl vd., 2007)

Dijk (1995), endüstriyel tasarımın erken aşamaları için geliştirdikleri “Hızlı Şekil Tasarımcısı” (FSD, Fast Shape Designer) isimli modelleme yazılımı ile gerçekleştirdikleri araştırma sonucunda, tasarımcıların bu aşamadaki CAD kullanımını faydalı bulduğunu belirtmiştir. Bu aşamada tasarımcılar esnek, sezgisel eğri ve yüzey manipülasyonuna izin veren yazılımlara ihtiyaç duymaktadır. Bu aşamadaki CAD yazılımlarının temel amacı, konsepti hızlı bir şekilde oluşturmak ve değerlendirmektir (**Görsel 3.16**). Dijital 3 boyutlu modelin bir sonraki tasarım aşamasının CAD sisteminde kullanılması mümkün olmalıdır.

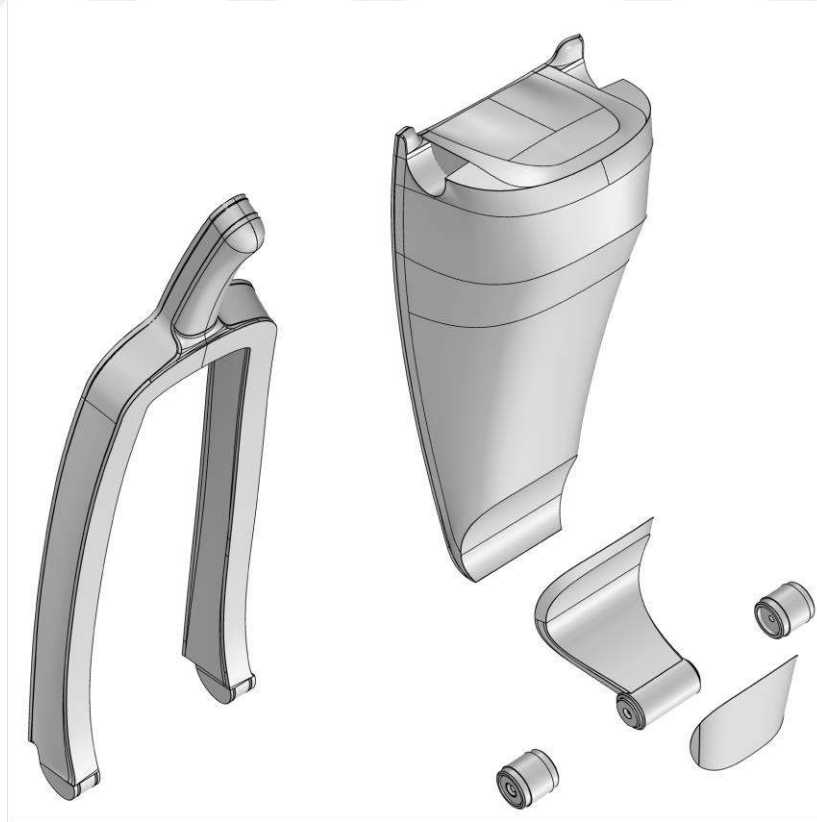
Dijk’a (1995) göre, bir eskizde görünen, kesin olmayan pek çok veri; tasarımcının zihninde kesin bir biçim belirlemektedir ve bir 3 boyutlu model oluştururken, CAD sistemi veriyi saklayabilir, böylece veri kesin hale getirilir. Bu nedenle CAD, tasarımcılara zaman kazandırmayı ve onları erken kararlar almaya değil, erken bilgileri doğrulamaya zorlamaktadır. CAD sistemleri, 3 boyutlu modelleri; değerli, tamamlanmış gerçekler olarak gösterme eğilimindedir (Dijk, 1995).



Görsel 3.16. Ön tasarım sürecinde CAD kullanımı örneği

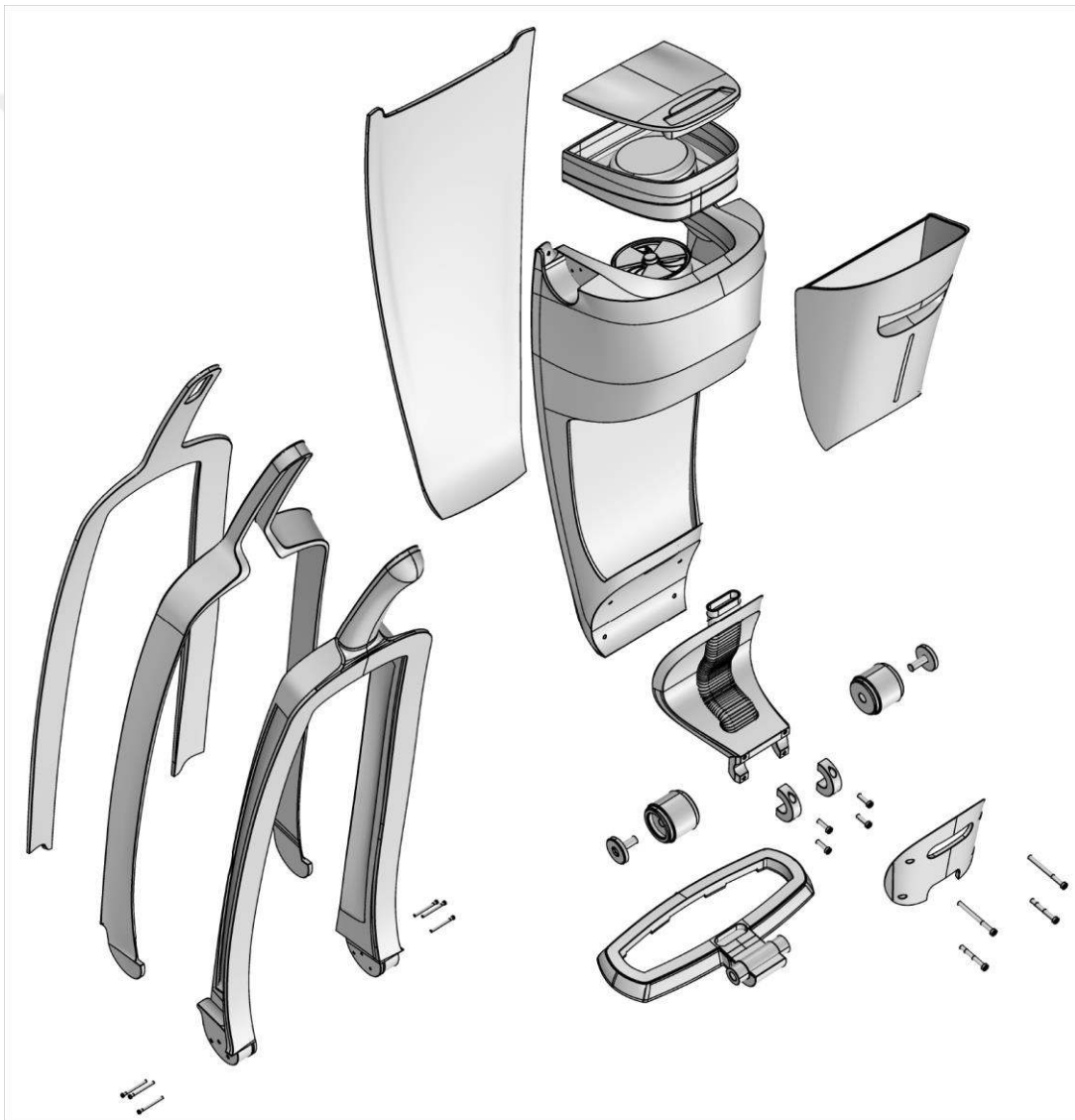
Görsel 3.16'da verilen örnekte; geleneksel eksiz aşamasında seçilen bir konsept üzerinde, hızlı oluşturulmuş bir dijital mock-upla gerçekleştirilen form denemeleri görülmektedir. Birinci alternatifte sabit olarak gelen ön görünüş genişliği, ikinci alternatifte aşağıya doğru daralmaktadır. Üçüncü alternatifte ise ön ve arka görünüşte farklı eğimler oluşturulmuştur.

Ön tasarım aşamasında oluşturulan konseptler arasından üretime geçme potansiyeli en yüksek olan alternatifler seçilir ve tasarım geliştirme yoluyla daha ayrıntılı olarak çözülür. Bu aşama için özel bir odak noktası; üretim ile ilgili detaylara dikkat ediliyor olmasıdır (Baxter, 1995). Ön tasarım aşaması sırasında CAD ortamlarından faydalanılmadıysa; üretilen belirsiz eskizler, bu aşama için günümüz endüstriyel tasarım süreçlerinde bir zorunluluk olarak CAD yazılımları aracılığıyla 3 boyutlu geometriye dönüştürülür. Ürün bileşenlerinin ayrıntılı tanımlanmasının ardından, uygun şekilde eğitilmiş endüstriyel tasarımcılar tarafından teknik parametrelerin analizi için CAD yazılımları kullanılabilir (Evans vd., 2015). Tasarımın somutlaştırıldığı ikinci aşama; oluşturulan CAD modeli (**Görsel 3.17.**) ile gerçekleştirilen prototipleme sürecinin ardından, tasarımın değerlendirilmesi ve üretim için onaylanmasıyla sona erer.



Görsel 3.17. Prototipleme aşaması için oluşturulmuş CAD modeli

Detay tasarımı ile nihai ürünün iletişim bilgisinin (**Görsel 3.18**) oluşturulduğu seri üretim için hazırlık aşamasında, ürünün her bir bileşeni için gerekli parametrelerin tanımlanması gereklidir (Baxter, 1995). Bu süreç tipik olarak 3 boyutlu CAD yazılımları kullanılarak gerçekleştirilir ve üretim araçlarını oluşturmak için de kullanılabilen tam olarak belirlenmiş bileşenlerle sonuçlanır. Üretim araçlarının devreye alınmasından önce, eklemeli imalat (additive manufacturing) yoluyla üretim araçlarının prototipleri (rapid tooling) üretilerek, üretim bileşenlerinin detayları kontrol edilmektedir (Evans vd., 2015).



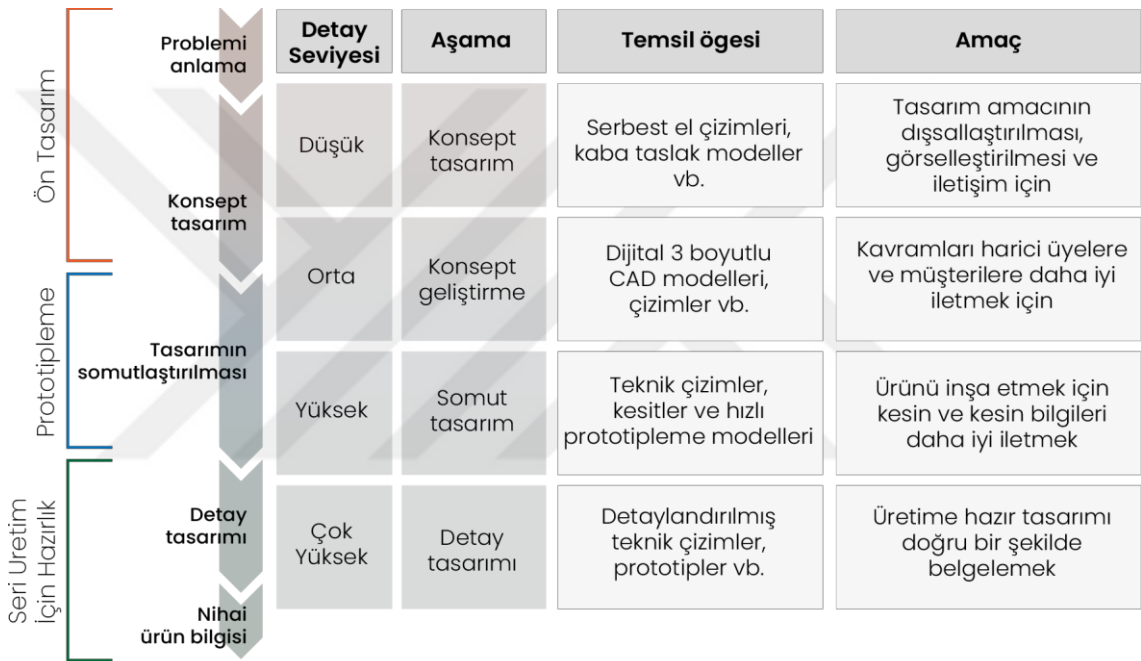
Görsel 3.18. Ürünün detay tasarımı ve CAD ortamındaki nihai üretim bilgisi için hazırlık aşaması

Bir sonraki bölümde, ilk olarak ön tasarım aşamasında oluşturulan CAD dosyasının; fiziksel prototiplere dönüşüm süreçlerinin nasıl gerçekleştirildiği, endüstriyel tasarım sürecinde prototiplerin kazandığı işlev ve niteliklerin neler olduğu, prototiplemeden sonraki seri üretim için hazırlık aşamasında oluşturulan CAD dosyasının hangi amaçlara hizmet ettiği aktarılacaktır.



4. HIZLI PROTOTİPLEME VE SERİ ÜRETİM

Bu bölümde endüstriyel tasarım sürecinin ön tasarımdan sonraki aşamaları olan, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları temel hatlarıyla incelenmiştir. Hızlı prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarının tanımlarına değinmeden önce, endüstriyel tasarım süreçlerinde görsel temsil niteliğine sahip araçları ve bu araçların temel işlevlerini hatırlamakta fayda görülmektedir. **Şekil 4.1'**de gösterilen tasarım aşamalarına göre kullanılan dört ana temsil grubundan oluşan bir özet sunulmuştur.



Şekil 4.1. Görsel tasarım temsil araçları özeti (Buxton, 2007'den aktaran Pei, 2009, s. 143).

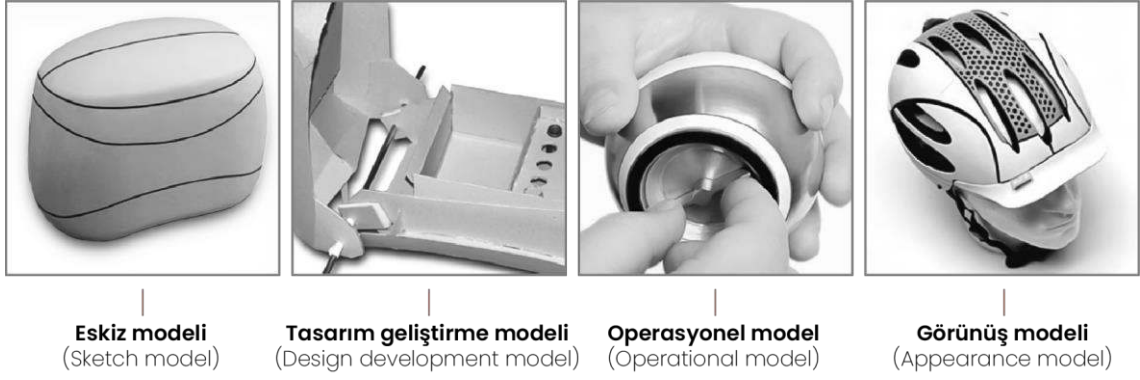
(Uyarlanmıştır)

İkinci ve üçüncü bölümde bahsedilen, CAD ortamında oluşturulmuş dijital mock-uplar; prototipleme aşamasında elle tutulabilir, dokunsal ve geri bildirim sağlayan fiziksel hale gelmektedirler. Tasarımın değerlendirilmesi için oluşturulan bu fiziksel nesneler için bazı kaynaklarda; model (maket anlamındaki kullanımı) ve prototip olarak ortaya çıkan bir ayrımın yapıldığı görülmektedir (Evans vd., 2015; Pei, 2009; Pei vd., 2011). Diğer kaynaklarda ise model ve prototip kelimelerinin birbirleri arasında geçişken anlamlarda kullanıldığı görülmüştür. Türkçede ise model kelimesi, “tasarlanan ürünün tanıtım veya deneme amacıyla üretilen ilk örneği, prototip” olarak yer almaktadır (TDK, tarih yok).

Bu bölümde, ilk olarak model ve prototip kavramları arasındaki ayrım ortaya konulacaktır. Bu bölümün devamında ise; tez çalışmasının, konuyu CAD bağlamında ele almasından dolayı, tasarım sürecinde CAD aracılığıyla oluşturulan tüm fiziksel temsiller için prototip kelimesi kullanılacaktır.

Pei ve diğerleri (2011), endüstriyel tasarım ve mühendislikte maket anlamındaki model kavramını; gerçekleştirdikleri literatür araştırması sonucunda, bir ürünün görünümünü belirtmek için kullanılan işlevsel olmayan nesneler olarak tanımlamaktadır. Diğer bir görüş ise modelin, ürünün kaba fonksiyonel özelliklerini yeniden oluşturmak için kullanılabileceğini savunur (Buxton, 2007). 3 boyutlu olmasından kaynaklı olarak model hem endüstriyel tasarımcıların hem de mühendislik tasarımcılarının; bir tasarımın işlevini, performansını ve estetik yönlerini açıklamalarına izin vererek, düşüncelerini tasvir etmelerini ve geliştirmelerini, sağlamaktadır. Bazı modellerin bilgi iletmek için uygun olduğunu, diğerlerinin ise fikirleri test etmek için daha uygun olduğuna dikkat çekilmektedir (Pei, Campbell ve Evans, 2011).

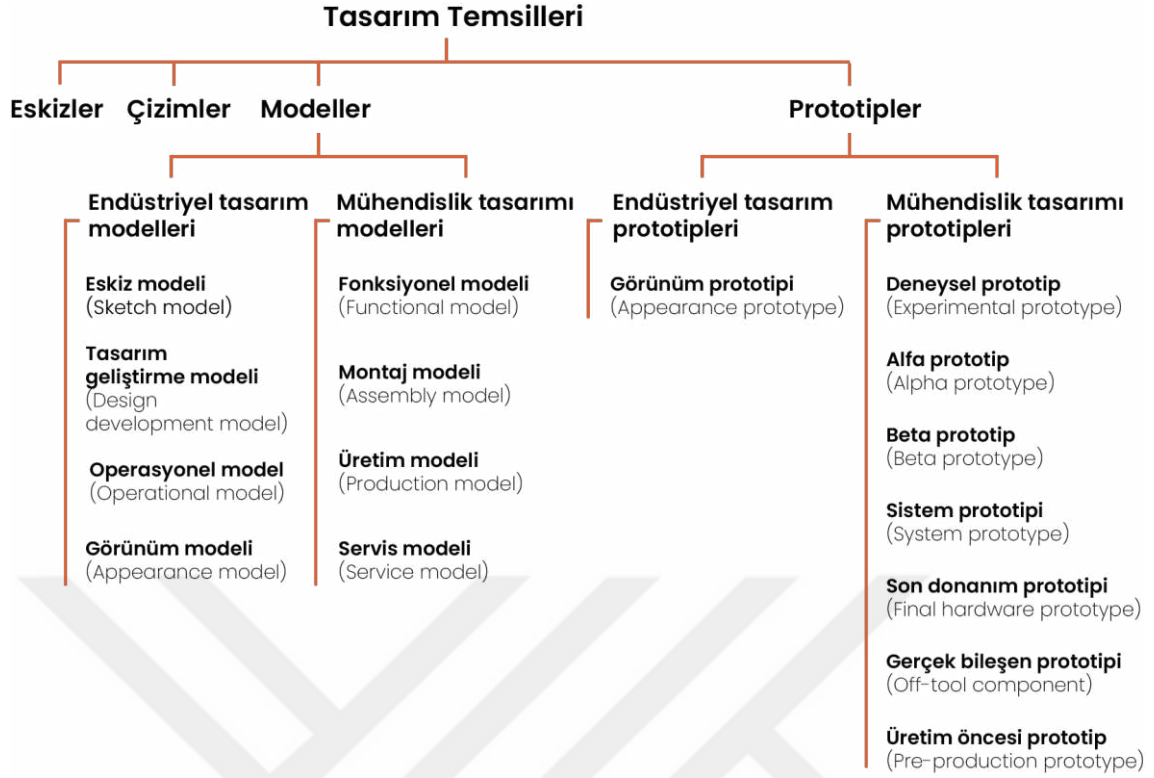
Endüstriyel tasarım modelleri; eskiz modelleri, tasarım geliştirme modelleri, operasyonel modeller ve görünüm modellerinden oluşmaktadır (Pei, 2009) (**Görsel 4.1**). Eskiz modelleri, iki boyutlu eskizlerden veya çizimlerden potansiyel fikirleri fiziksel olarak temsil etmenin ve görsel geri bildirim almanın ekonomik ve hızlı bir yolunu sunar. Genellikle düşük kalitede ve formun temel özelliklerini oluşturmak için kullanılırlar. Eskiz modelleri; köpük modeller, 3 boyutlu eskizler veya mock-uplar olarak da bilinir. Tasarım geliştirme modelleri; şekilleri keşfetmek, bileşenler, boşluklar, arayüzler ve yapılar arasındaki ilişkileri görselleştirmek için üretilir. Bazen bileşenlerin nasıl monte edildiğini araştırmak ve test etmek için kullanılır. Buna karşılık operasyonel modeller, ürünün nasıl kullanıldığını test etmek ve ergonomik değerlendirmeler için kullanılır (Holmquist, 2005). Görünüm modelleri; paydaşların ve müşterilerin, herhangi bir çalışma mekanizması olmadan gerçekçi bir görünüme sahip bir ürün elde etmelerini sağlar. Bu modeller, ürün görünümünün doğru fiziksel temsilleridir ve herhangi bir çalışma parçası içermediği için blok model olarak da bilinmektedir (Pei, Campbell ve Evans, 2011).



Görsel 4.1. Endüstriyel tasarım modelleri (Pei vd., 2011, s. 79)

(Uyarlanmıştır)

Model kavramından ayrı olarak konumlandırılmış bağlamdaki prototipin amacı, tasarım kararlarını desteklemek, nihai tasarımı iletmek ve doğrulamak için bilgi üretmektir. Holmquist'e (2005) göre; prototipler yalnızca işlevsel parçalardan oluşur ve nihai bir ürüne benzemek zorunda değildir. Ancak fiziksel veya sanal, bir tasarım fikrinin herhangi bir temsili prototip olarak kabul edilebilir (Best, 2006). Endüstriyel tasarım prototipleri; ürünün nihai biçimini, ergonomisini ve tasarımla ilgili yönlerini tanımlayan 3 boyutlu görsel tasarım temsil araçlarıdır (Pei vd., 2011). Endüstriyel tasarım prototipleri; bir ürünün işlevsel ve estetik yönlerini birleştiren, son derece ayrıntılı 3 boyutlu nesnelerdir. Pei vd. (2011) gerçekleştirdiği sınıflandırmadaki görünüm prototipleri, gerçek üretim malzemelerini kullanır veya simüle eder. **Şekil 4.2'**de Pei vd.nin (2011), endüstriyel tasarım ve mühendislik disiplinleri için yaptığı model ve prototip ayrımları verilmiştir.



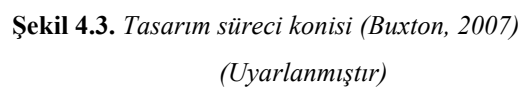
Şekil 4.2. Model ve prototiplerin sınıflandırılması (Pei vd., 2011, s. 71)

(Uyarlanmıştır)

Model ve prototip kavramını birleştiren üst başlık olarak endüstriyel tasarımda prototipleme faaliyetlerine bakıldığında; üretilmesi için kullanılan teknolojiden ve gerçek ürüne göre aslına uygunluğundan bağımsız, tasarımın tüm fiziksel temsilleri olarak tanımlandığını görülür (Buxton, 2007). Tasarım süreçlerinde prototipler, iki boyutlu eskiz ve çizimlerin genellikle bir nesnenin 3 boyutlu niteliklerini açıklamakta yetersiz kalması nedeniyle kullanılmaktadır (Tovey, 1989). Eskizler ve prototipler, tasarım konseptinin somut örnekleridir ancak farklı amaçlara hizmet ederler ve farklı aşamalarında yoğunlaşırlar. Bu nedenle düşük kaliteli hızlı prototipler dahil olmak üzere, eskiz ile prototip terimleri birbirinden ayrılmaktadır. (Buxton, 2007). Eskiz, ağırlıklı olarak konsepti geliştirme sürecinde kullanılırken; prototip, tasarım konseptini doğrulamak ve çeşitli testleri gerçekleştirmek için kullanılır.

Buxton'ın (2007) **Şekil 4.3'**de gösterilen tasarım süreçleri konisi, fikir oluşturma ile başlar ve kullanılabilirlik testi ile sona erer. İlk aşamada büyük ölçüde eskiz hakimdir ve bu aşamadaki eskizler, fikirlerin hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde keşfedilmesini

Bu noktaya kadar aktarılanlar, endüstriyel tasarım sürecinde, el işçiliğini içeren geleneksel yöntemleri de kapsayan genel bir prototipleme çerçevesi çizmektedir. Prototipleme, CAD kullanımı özelinde daraltıldığında hızlı prototipleme kavramı ile karşılaşmaktadır. Hızlı prototipleme, CAD yazılımları ile oluşturulan tasarım bilgisini, bilgisayar sayısal kontrollü (CNC, Computer Numerical Control) üretim araçlarıyla fiziksel hale getirmemizi sağlayan bir süreçtir. Endüstriyel tasarım süreçlerinde kullanılan farklı hızlı prototipleme yöntem ve teknikleri mevcuttur.

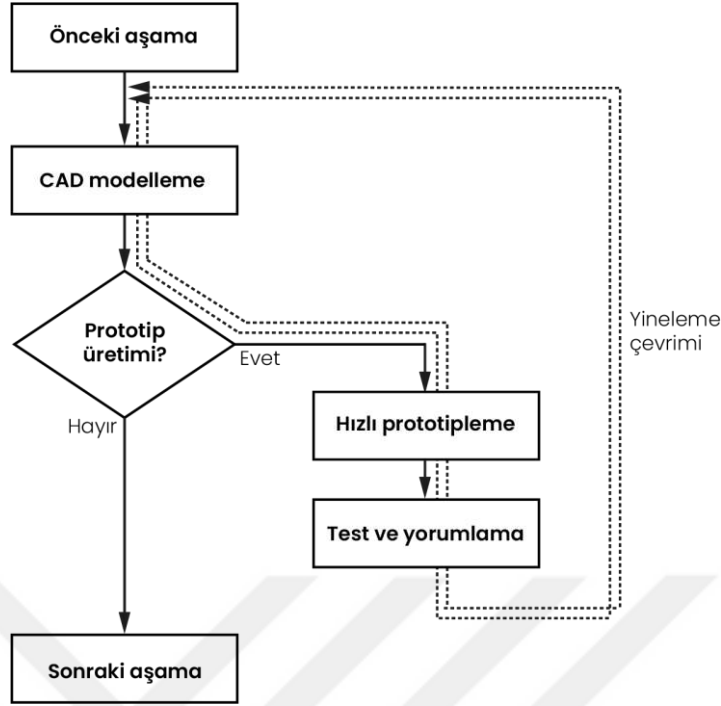


4.1. Endüstriyel Tasarımda Hızlı Prototipleme

Prototipleri, özellikle fiziksel prototipleri oluşturmak için birçok farklı üretim teknolojisi kullanılmaktadır. Son 50 yılda, bu alan çok önemli iki teknoloji olan bilgisayar destekli tasarım ve hızlı prototipleme yöntemlerinden 3 boyutlu baskı ortaya çıkmıştır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Hızlı prototipleme (Rapid Prototyping), bilgisayarla oluşturulmuş CAD verilerini kullanan fiziksel mock-uplar, modeller ve prototipler üretmek için kullanılan çeşitli süreçleri kapsayan bir terimdir (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; Grote vd., 2001). Hızlı ifadesi, çeşitli nedenlerle bu süreçleri tanımlamak için kullanılır. Geleneksel süreçleri kullanarak gereken süre yerine prototip parçaları saatler içinde üretilebilmektedir (Bryden, 2014). Hızlı prototipleme sürecinde, bir parçayı hızlı ve düşük maliyetli olarak elde etmek için, parçayı mümkün olduğunca basit hale getirmek ve önceden planlamak önem kazanmaktadır. Bu nedenle, hızlı prototipleme parçaları genellikle nihai ürün olarak kullanılmamaktadır (Gebhardt ve Hötter, 2016).

Hızlı prototiplemenin sağladığı faydalar; ürün geliştirme sırasında potansiyel maliyet ve zaman tasarrufu, parçaların fiziksel değerlendirilmesi, iyileştirilmiş kalite kontrol, ürün geliştirme sırasında hataların daha erken keşfedilmesi, üretim aletlerinde değişiklik gereksiniminin azalması ve hatta belirli malzeme ve uygulamalar için potansiyel araç gereç ihtiyacını tamamen ortadan kaldırmak olarak belirtilmektedir (Bryden, 2014).

Endüstriyel tasarım sürecinin her aşamasında hızlı prototipleme uygulamaları yer alabilmektedir. Tasarım sürecin farklı noktalarında, ürünün o anki tasarımını temsil eden bir CAD dosyası bulunmaktadır. Bu CAD dosyası ile bilgisayar aracılığıyla çeşitli sanal simülasyonlar gerçekleştirilebilir. Ancak sadece sanal olarak gerçekleştirilen simülasyonlar sınırlı kalmaktadır ve bu noktada fiziki prototiplerin üretimi gerekmektedir. Prototipleme sonrasında üründe yapılmak istenilen değişiklikler CAD dosyasını etkilemektedir. Güncellenen tasarımın test edilebilmesi için yeni bir prototip oluşturulur. Bu süreç **Şekil 4.4**'de görüldüğü üzere yinelemeli bir döngü oluşturmaktadır (Grote vd., 2001). Her bir prototipin üretimi, finansal ve zamansal maliyetler içerir. Prototip üretiminden oluşan maliyetleri azaltmak için, ürünün sadece ihtiyaç duyulan parçası; ona en uygun hızlı prototipleme yöntemi ile üretilir. Bu durum, süreçte farklı hızlı prototipleme yöntemlerinin kullanılabileceğini ifade etmektedir.



Şekil 4.4. Ürün tasarımı sürecindeki hızlı prototipleme iş akışı (Grote vd., 2001, s. 19)
(Uyarlanmıştır)

CAD modelinin hızlı prototipleme ile üretilmesi, gerekli değişikliklerin uygulanması ve yeniden hızlı prototip üretilmesi döngüsü, yeterli gelişme sağlandığında bir sonraki aşamaya geçmek üzere sonlandırılmaktadır.

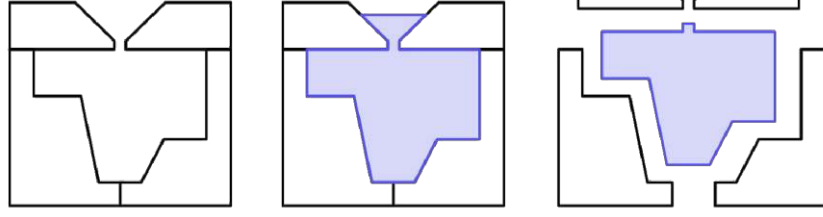
Hızlı prototipleme yöntemleri, genel imalat prensiplerine paralel olarak sınıflandırılmaktadır. İmalat prensipleri, malzemeyi biçimlendirme yöntemlerine göre temel olarak üçe ayrılmaktadır: biçimlendirmeli (formative), eklemeli (additive) ve eksiltmeli (subtractive). Seri üretimde yaygın olarak kullanılan birinci yöntem biçimlendirmeli yöntemdir (Bryden, 2014; Redwood, Schöffler ve Garret, 2017). Biçimlendirmeli yöntemde elde edilmek istenen nihai form, hammaddeye kalıp aracılığıyla verilmektedir. Bu yöntemde kalıplar genellikle erkek kalıp ve dişi kalıp olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu imalat prensibinin seri üretimdeki en yaygın örneklerinden biri enjeksiyon kalıplamadır (injection molding). Enjeksiyon kalıplamada; erkek ve dişi terimlerinin yanı sıra, kalıp çekirdeği (core) ve boşluğu (cavity) isimleri de kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplamada hammadde genellikle ısı verilerek alışkan hale getirilerek kalıp içerisine yüksek basınçla iletilir. Döküm (casting) yöntemi de enjeksiyon kalıplamaya benzer bir şekilde gerçekleştirilir. Ancak temel farkı, hammaddenin herhangi

bir basınç oluşturulmadan kalıp içerisine aktarılmasıdır. Vakum biçimlendirme (vacuum forming) yönteminde hammadde tam olarak akışkan hale getirilmez. Çoğunlukla termoplastikler üzerinde uygulanan bu yöntemde hammadde, ısıyla yumuşatılarak form alabilecek bir noktada kalıplanmaktadır. Presleme (forging) yönteminde ise metaller gibi sünme özelliği olan hammaddeler, katı halde ilen kalıpla biçimlendirilir. Biçimlendirmeli yöntem, kalıp gereksinimden kaynaklı olarak çoğunlukla yüksek kurulum (set-up) maliyetine sahiptir. Ancak her bir parçanın üretimdeki çevrim süresi (cycle time), diğer yöntemlere kıyasla çok düşük olduğu için seri üretimdeki en hızlı yöntem olarak kabul edilmektedir. Hızlı prototiplemedeki iki yaygın örnekleri arasında vakum biçimlendirme ve vakum döküm (vacuum casting) yer almaktadır. Biçimlendirmeli yöntemdeki kalıbın bilgisayar kontrollü üretimi ancak diğer iki temel imalat prensibinden biri ile mümkündür. Bu yöntemin, hızlı prototiplemedeki CAD ile ilişkisinin doğrudan kurulamamasından dolayı, tez çalışmasının kapsamı dışında bırakılmıştır.

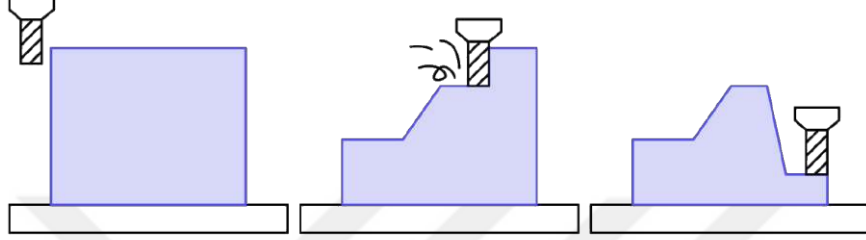
İkinci prensip, eksiltmeli yöntem olarak isimlendirilir. Bu yöntemde elde edilmek istenen nihai form, katı blok hammadden eksiltilerek elde edilmektedir. Eksiltmeli yöntem; süreci gerçekleştiren üretim ekipmanlarının önüne getirilen bilgisayar sayısal kontrol anlamındaki, CNC (Computer numerical control) kısaltmasıyla anılmaktadır. CNC, çok genel bir kavramı ifade ettiği için, işleme (machining) veya frezeleme (milling) gibi hammadde üzerinde gerçekleştirilen eylemle birlikte ifade edilmelidir.

Üçüncü prensip olan eklemeli yöntem, yaygın olarak 3 boyutlu baskı (3d printing) olarak anılmaktadır. Bu yöntemde elde edilmek istenen nihai form, tek tek üst üste konulan katmanlarla inşa edilmektedir (Bryden, 2014; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017). Her bir prensibin, elde edilmek istenen nihai forma nasıl ulaştığına dair yapılan **Şekil 4.5'**de gösterilmektedir.

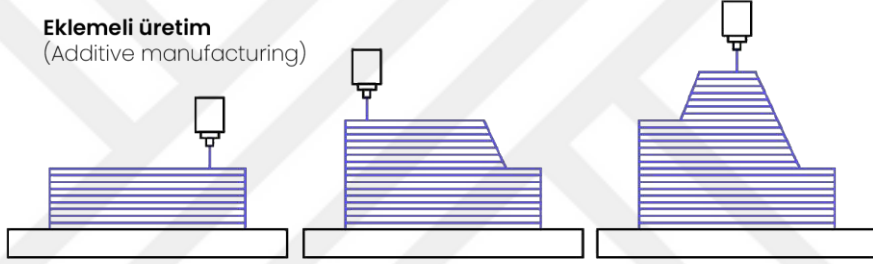
Biçimlendirmeli üretim
(Formative manufacturing)



Eksiltmeli üretim
(Subtractive manufacturing)



Eklemeli üretim
(Additive manufacturing)



Şekil 4.5. Temel imalat prensipleri (What is 3D printing?, 2021)

(Uyarlanmıştır)

Temel imalat prensipleri, çeşitli alt üretim yöntemleri barındırmaktadır. Bu çeşitlilik, yöntemlerin birebirleriyle kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Maliyet, hız, geometrik karmaşıklık, malzemeler, mekanik özellikler, yüzey kalitesi, toleranslar gibi farklı etkenlerin hepsini bir kerede değerlendirmek çok güçtür. (What is 3D printing?, 2021). Bu nedenle, imalat prensipleri temel bir sezgisel yaklaşımla değerlendirilmiştir:

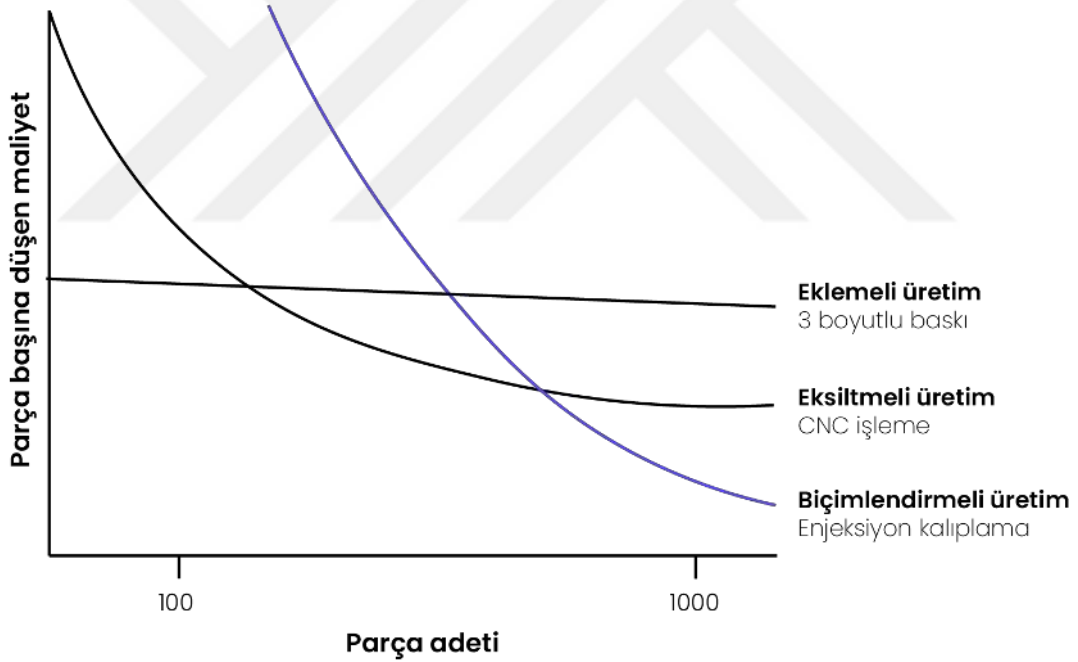
Biçimlendirmeli imalat: özdeş parçaların yüksek hacimli üretimi için en uygundur.

Eksiltmeli imalat: orta hacimler, basit geometriler, dar toleranslar ve sert malzemeler için en uygundur.

Eklemeli imalat: düşük hacimler, karmaşık tasarımlar ve hızın gerekli olduğu zamanlar için en uygundur (What is 3D printing?, 2021).

Temel imalat prensipleri içerisindeki hangi üretim yönteminin en uygun olduğunu belirleyen ana faktör genellikle parça başına düşen maliyettir (What is 3D printing?, 2021). Genel bir tahmin olarak, yöntem başına birim maliyetler **Şekil 4.6**'da gösterilmiştir.

Şekil 4.6 değerlendirildiğinde, genellikle en düşük seviyede yatırım maliyeti gerektiren eklemeli imalat yöntemleri (3 boyutlu baskı), çoğu durumda hızlı prototipleme için en uygun yöntem olarak görülmektedir. Hızlı prototiplemede kullanılacak hammadde, geometrinin karmaşıklığı, dayanıklılık veya düşük tolerans gereksinimi gibi parametrelere dayalı olarak, belirli durumlarda eksiltmeli imalat yöntemlerinin de (örneğin CNC işleme gibi) uygun yöntem olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (**Tablo 4.1**).



Şekil 4.6. İmalat prensiplerinin parça başına düşen maliyet üzerinden değerlendirilmesi (What is 3D printing?, 2021)

(Uyarlanmıştır)

Tablo 4.1. Önerilen imalat süreci referans tablosu (Varotsis, 2020)

(Uyarlanmıştır)

Parça sayısı	1'ler	10'lar	100'ler	1000'ler
Plastik	3 boyutlu baskı	3 boyutlu baskı CNC işleme**	CNC işleme Enjeksiyon kalıp**	Enjeksiyon kalıp
Metal	3 boyutlu baskı veya CNC işleme*	CNC işleme 3 boyutlu baskı**	CNC işleme Hassas döküm **	Hassas veya basınçlı döküm

*: Yüksek oranda geometriye dayalı

**: İkinci alternatif olarak değerlendirilmeli

4.1.1. Eksiltmeli yöntem

Eksiltmeli yöntem, eklemeli süreçlerden daha eskidir ve birçok endüstride uzun yıllardır hem prototipleme hem de üretim için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok çeşitli prototipleme ve üretim uygulamaları için kullanılırlar (Bryden, 2014). Eksiltmeli yöntemde üretim, cihaza yerleştirilmiş ve çalışma parçası (workpiece) olarak adlandırılan bir levha veya katı malzeme bloğundan talaş şeklinde hammadde koparılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple talaşlı imalat olarak da anılır. Üretim cihazındaki kesme kafasının (cutting head) hareketi için, bilgisayar destekli üretim (CAM) yazılımına girilen CAD verilerini kullanmaktadır. Eksiltmeli yöntem; lazer kesim (laser cutting), su jeti ile kesme (water-jet cutting), sıcak tel kesme (hot-wire cutting) gibi 2 boyutlu işlemleri de kapsamaktadır (Bryden, 2014).

Eksiltmeli yöntemle 3 boyutlu geometrilerin üretimini sağlayan en yaygın üretim araçlarından biri frezedir (milling veya router). Hem prototipleme hem de imalat için kullanılan frezeleme, CNC veya manuel olarak uygulanan bir işlemi ifade etmektedir. CNC frezeleme veya işleme (machining), eksiltmeli yöntemin bilgisayarlar tarafından otomatikleştirilmiş olduğu bir üretim teknolojisidir (**Görsel 4.2**). CNC işleme doğrudan bir CAD dosyasından mükemmel fiziksel özelliklere sahip ve yüksek hassasiyetli parçalar üretebilmektedir. Yüksek otomasyon seviyesi nedeniyle CNC işleme hem tek seferlik özel parçaların hem de orta hacimli parça adetlerinin üretimlerinde kullanılmaktadır (CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020).



Görsel 4.2. CNC freze prototip üretimi

Temel CNC işleme üç adıma ayrılabilir. İlk adım parçanın CAD modelinin tasarlanmasıdır. İkinci adımda CNC operatörü CAD dosyasını, CAM yazılımı aracılığıyla bir CNC programına aktarır ve üretim cihazıyla iletişim kurulmasını sağlayan g-koduna (G-code) dönüştürür. Üçüncü adımda ise, çalışma parçasının üretim cihazına yerleştirilmesiyle, CNC sistemi tüm işleme operasyonlarını çok az denetimle, malzemeden talaş kaldırarak, nihai parçayı oluşturur (CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020). Bu işlem, çalışma parçası üzerinde g-kodu ile önceden belirlenmiş bir takım yolunu izleyen yüksek hızlı dönen bir kesici uç (cutting tool/bit) kullanılarak parça tamamlanır. Talaş kaldırma operasyonu; üç, dört veya beş eksenle gerçekleştirilir. İlk üç eksen iş parçasının, iki yatay düzlemde ve bir dikey düzlemdeki hareketini oluşturur. Dördüncü eksen iş parçasının döndürülmesini, beşinci eksen ise kesici takım ucun döndürülmesini sağlar. Farklı şekillerdeki kesici takımlar kullanılarak birçok farklı tip ve boyutta kesim elde edilebilir. CNC işleme çok çeşitli nesne boyutlarının prototipini oluşturmak ve üretmek için kullanılabilir ve karmaşık formların oluşturulmasına olanak tanır. Örneğin otomotiv endüstrisinde, tam boyutlu veya ölçekli görünüm modelleri (**Görsel 4.3**), modelleme kili bloklarından üretilmiş prototiplerdir (Bryden, 2014).

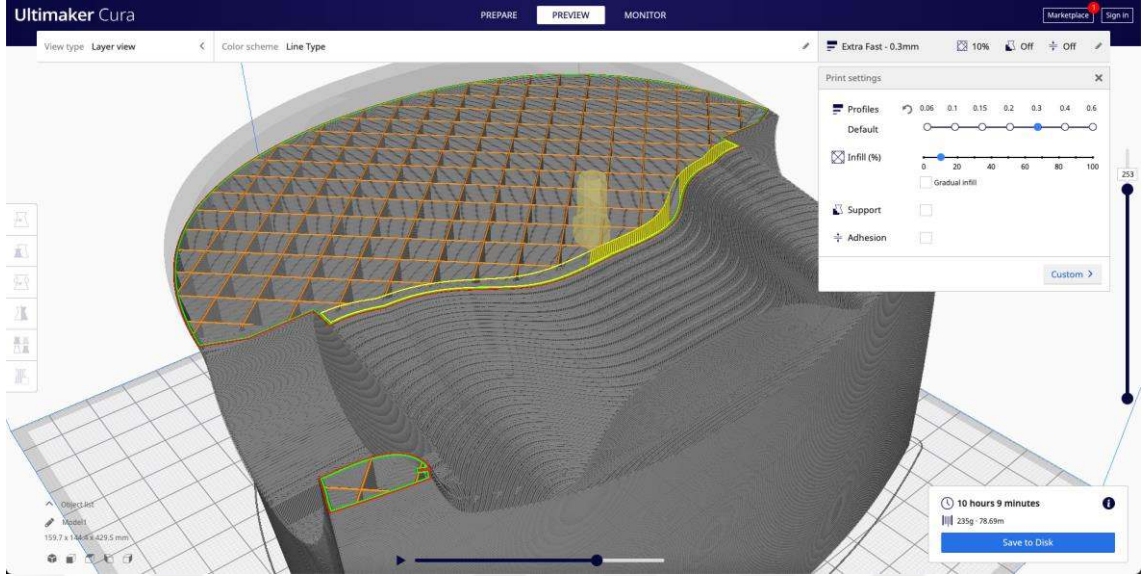


Görsel 4.3. CNC işleme ile üretilen görünüm modeli örneği (Noe, 2019)

Hemen hemen her malzeme CNC freze ile işlenebilir. En yaygın örnekleri; alüminyum ve çelik alaşımları, pirinç vb. metaller ve ABS, Delrin, Naylon vb. plastiklerdir. Bunların yanı sıra, köpük, kompozit, suni ve doğal ahşap malzemeler de CNC ile işlenebilmektedir. CNC işleminin öne çıkan avantajları arasında; yüksek doğruluk, tutarlılık, yüzey kalitesi, verimli hacim üretimi, malzemelerin yapısal bütünlüğü, büyük iş parçaları için uygunluk ve dar toleranslarda çalışma potansiyeli yer almaktadır (Bryden, 2014; CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020).

4.1.2. Eklemeli yöntem

Eklemeli yöntemler, 3 boyutlu baskı teknolojileri olarak da bilinmektedir. 3 boyutlu baskıdaki temel prensip, 3 boyutlu katı nesnelerin katmanlardan (layer) oluşacak şekilde inşa edilmesidir (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; What is 3D printing?, 2021; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017) (**Görsel 4.4**). Her bir katman, iki boyutlu olarak xy düzleminde oluşturulmaktadır. Üçüncü boyut, katmanların tek tek birbiri üzerine yığılmasından oluşur (Gebhardt ve Hötter, 2016). 3 boyutlu baskı için, eksiltmeli yöntemdeki katı malzeme bloğuna veya biçimlendirmeli yöntemdeki kalıplara ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple az adetli üretimler için hızlı ve düşük sabit kurulum maliyetleriyle avantajlıdır. Genişleyen malzeme seçenekleriyle "geleneksel" teknolojilerden daha karmaşık geometriler oluşturabilir (What is 3D printing?, 2021). 3 boyutlu baskı parçalarını oluşturmak için, 3 boyutlu CAD verilerini kullanılarak bir dizi otomatik üretim süreci gerçekleşir.



Görsel 4.4. 3 boyutlu yazıcı CAM yazılımı ve katmanların yakın plan gösterimi

Bu süreçte CAD modelleri, CAM (bilgisayar destekli üretim) yazılımları tarafından (Görsel 4.4) birçok yatay kesite bölünebilen özel bir dosya formatına dönüştürülür (Bryden, 2014). CAD modelleri; oluşturuldukları temel modelleme prensibinden bağımsız olarak, hızlı prototipleme için poligon ağ prensibindeki STL (stereolithography) uzantılı formatta dışa aktarılır. Oluşturulan STL dosyası, bu yöntemde kullanılan üretim cihazı olan ilgili 3 boyutlu yazıcıyla uyumlu CAM yazılımına gönderilir. STL formatına dönüştürülmüş, matematiksel olarak uzayda hacim kaplayan geometri verisi, CAM yazılımlarında dilimlenerek (slicing) kesitlerine ayrılır. Elde edilen kesitler, 3 boyutlu yazıcılar tarafından katmanlar olarak sırayla üst üste eklenerek işlenir. Üst üste eklenen katmalar, oluşturulmak istenen formu meydana getirmektedir (Redwood, Schöffner ve Garret, 2017)

3 boyutlu yazıcıların ilk icadından bu yana teknolojik olarak gelişmeler yaşamış ve benzer mantıkla çalışan farklı sistemler geliştirilmiştir. Temelde 3 eksenli hareket gerçekleştiren bilgisayar kontrollü bir üretim aracı olan 3 boyutlu yazıcılar, hammadde olarak kullandıkları malzeme ve bu malzemenin oluşturduğu katmanların birbirine nasıl bağladığına göre sınıflandırılır. Farklı isimlerle ifade edilen 3 boyutlu baskı teknolojileri arasında belirli farklılıklar bulunur. Birbirlerinden önemli ölçüde ayrılan ve kapsayıcı gruplar olarak ele alınabilecek dört temel 3 boyutlu baskı teknolojisi sıralanmıştır.

Malzeme ekstrüzyonu ya da besleme (material extrusion) en yaygın ve erişilebilir 3 boyutlu baskı teknolojisidir (**Görsel 4.5**). Bu teknoloji “Eriyik Filaman Fabrikasyonu” (Fused Filament Fabrication, FFF) veya “Eriyik Yığdırma ile Modelleme” (Fused Deposition Modelling, FDM) olarak adlandırılmaktadır. Bu teknoloji temelde *filament* yani daire kesitli devamlı hammadde haline getirilmiş termoplastiğin eritilmesi ve katmanlar olarak tekrar birleştirilmesine dayanmaktadır. 3 boyutlu yazıcı, filamenti baskı başlığına taşır. Bu başlık, ekstruder (extruder) olarak da isimlendirilmektedir. Belirli bir standart çapa sahip filament, baskı başlığında ısıtılarak eriyik hale getirilmektedir. Besleyici (feeder) yardımı ile ittirilen hammadde, filament çapından daha küçük bir başlıktan (nozzle) geçirilerek geometri üretmek amacıyla baskı platformuna aktarılır. İlk katman boyunca sadece x ve y ekseninde hareket eden yazıcı, katmanın tamamlanmasının ardından z eksenindeki değişim ile bir sonraki katmandaki işleme başlar. Bu süreç geometrinin bölündüğü katman sayısı tamamlana kadar kendini tekrar etmektedir (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; What is 3D printing?, 2021; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017).



Görsel 4.5. FDM teknolojisi prototip örneği (Artley)

Foto-polimerizasyon teknolojisinin (Vat polymerization), iki yaygın örneği olan SLA (Stereolithography) ve DLP (Digital Light Processing) yöntemleri; belirli bir dalga boyundaki ışık altında kürlenerek sıvı foto polimer reçineler (photopolymer resin) ile geometri üretimini sağlar (**Görsel 4.6**). Havuz biçimindeki materyal depolama alanına dökülen sıvı reçine içerisine baskı platformu yerleşir. Bu platform üzerindeki belirli alanlara düşen ışınlar kesitleri oluşturur. Platformun z eksenindeki kademeli hareketi ise geometri kesitlerinin her bir katman için oluşmasını ve bu kesitlerin birleşmesini sağlamaktadır. Bu üretim teknolojisi ile yüksek hassasiyetlere ulaşılır. Ancak bu teknolojiler, kullanılan hammadde yönünden sınırlıdır ve yüksek üretim maliyetleri açığa çıkarmaktadırlar (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; What is 3D printing?, 2021; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017).



Görsel 4.6. SLA teknolojisi prototip örneği (Cain)

Toz yatak füzyon (Powder Bed Fusion) teknolojisi veya toz lazer sinterleme (SLS, Selective Laser Sintering) teknolojisi, toz haline getirilmiş hammadde üzerinde odaklanmış lazer ışığı ile termal bağlar oluşturarak geometri üreten 3 boyutlu yazıcıların genel adlarıdır (**Görsel 4.7**). Odaklanmış lazer ışığı; üretimde düşük tolerans aralığıyla birlikte yüksek kalitede parça üretimine imkân sağlamaktadır. Bu teknolojinin yüksek sıcaklıklara ulaşabilme kabiliyeti ise naylon, poliamid gibi mühendislik plastiklerinden birçok farklı metal alaşıma kadar geniş malzeme aralığı sunmaktadır (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; What is 3D printing?, 2021; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017).



Görsel 4.7. SLS teknolojisi prototip örneği (*Fuse 1 SLS Materials: Nylon Powders*)

Püskürtme (Jetting) teknolojisi üst başlığı altında malzeme püskürtme (Material Jetting) ve bağlayıcı püskürtme (Binder Jetting) olarak iki temel yöntem yer almaktadır. Foto-polimerizasyon teknolojisine benzer olarak malzeme püskürtme (Polyjet), foto polimer materyaller ile geometri üretimi sağlamaktadır (**Görsel 4.8**). SLA veya DLP teknolojisinden ayrılan kısmı ise foto polimer materyaller havuz benzeri bir baskı tankı yerine, bir yazdırma başlığına taşınır ve bu başlık sayesinde damlacıklar halinde katmana püskürtülür. Bu yöntem geleneksel mürekkepli kâğıt yazıcılarla benzer özelliktedir. Malzeme püskürtme teknolojisi ile kompleks parçaları yüksek hassasiyette üretmek mümkündür. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri, tek bir katmanda farklı renk ve materyallerin üretimine imkân sağlamasıdır. Bağlayıcı püskürtme yönteminde ise (Binder Jetting), sıvı haldeki bağlayıcı damlacıklar, daha sonra birlikte sinterlenecek olan granül malzeme yatağına püskürtülür. Bu yöntem ile detaylı ve çok renkli ürünler üretilmektedir (Bryden, 2014; Gebhardt ve Hötter, 2016; What is 3D printing?, 2021; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017).



Görsel 4.8. Polyjet teknolojisi prototip örneği (Pearson, 2020)

Özet olarak eksiltmeli ve eklemeli yöntemlerin endüstriyel tasarımdaki kullanımları **Tablo 4.2'**de sunulmaktadır. Tablodan belirtilen bilgiler, ilgili teknolojilerin malzeme ve kullanım amaçlarındaki tüm ihtimallerini kapsamamakla birlikte, tasarım süreçlerindeki yaygın tercihleri ön plana çıkarmayı amaçlamaktadır.

Tablo 4.2. Hızlı prototipleme; yöntem, teknoloji ve malzemelerin kullanım amaçları

Yöntem	Teknoloji	Malzeme	Prototiplemedeki kullanım amacı
Eksiltmeli	CNC İşleme	Köpük, ahşap vb.	Büyük hacimli kaba modeller veya görünüş prototipleri
	CNC İşleme	Genel veya mühendislik plastikleri	Büyük veya orta hacimli, hassasiyet gerektiren operasyonel modeller ve prototipler
	CNC İşleme	Metaller	Yüksek hassasiyet, mukavemet ve dar tolerans gerektiren prototipler
Eklemeli	FDM	Termoplastik veya kompozit filamentler	Orta ve küçük hacimli kaba modeller, düşük hassasiyetli operasyonel modeller
	SLA ve DLP	Foto polimer reçineler	Küçük hacimli yüksek hassasiyetli operasyonel modeller ve görünüş prototipleri
	SLS	Termoplastik veya metal tozları	Orta hacimdeki yüksek hassasiyet ve mukavemetli model ve prototipler
	JETTING	Foto polimer reçineler	Orta hacimdeki yüksek hassasiyetli, renkli görünüş modelleri ve prototipler

4.2. Hızlı Prototipleme Parametreleri

Bir mühendislik disiplini yaklaşımı olan, “x için tasarım” (DFX, Design For X) kavramında, x olarak belirtilen değişkenin yerini; imalat, montaj (Stroud ve Nagy, 2011), 3 boyutlu baskı (Redwood, Schöffner ve Garret, 2017), CNC işleme (CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020) gibi farklı operasyonlar almaktadır. 3 boyutlu baskı ve CNC işleme için tasarım kavramlarına bakıldığında, üretilmek istenen parçanın niteliğini etkileyecek belirli parametreler ortaya çıkmaktadır (**Tablo 4.3**).

Bu parametreden ilki üretim aracının teknolojisi veya özelliğidir. Her teknoloji, kendine özgü üretim sınırları dahilinde belirli temel kuralları barındırmaktadır. Seçilen üretim teknolojisine bağlı olarak belirlenen ikinci parametre ise malzemedir. Üretim aracının sınırları dahilinde, boyut ve ölçek üçüncü parametre olarak tanımlanabilir. Üretilmek istenen parçanın geometrisi ve bu geometrinin CAM ortamında üretim uzayına nasıl konumlandırıldığı (parça oryantasyonu) dördüncü ve beşinci parametreleri oluşturur. CAM yazılımında seçilen ve parçanın yüzey kalitesine önemli etkisi olan katman yüksekliği altıncı parametredir. Bu parametre CNC işlemede; kesme derinliği (step down), kesici ucun geçiş başına malzeme girdiği z yönündeki mesafe, olarak tanımlanır. Yedinci parametre olarak tanımlanabilecek olan duvar (et) kalınlığının belirlenmesinde; malzeme seçimi, kesici takım ucu (cutting tool) veya yazdırma başlığı (nozzle) etkilidir. Sekizinci parametre ise ters açılardır. 3 boyutlu baskıda, katmanlardaki yer çekimi etkisi altında kalan altı desteklenmemiş alanlar ters açıları belirtir. CNC işlemede ise ters açılar, eksen sayısına göre, geometride kesici takım ucunun erişemediği alanları tanımlar. Dokuzuncu parametre tolerans iken onuncu parametre kesici veya yazdırma başlığının, takım yolunu hangi hızda ilerleyeceğini ifade eden işlem hızıdır (Redwood, Schöffner ve Garret, 2017; CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020).

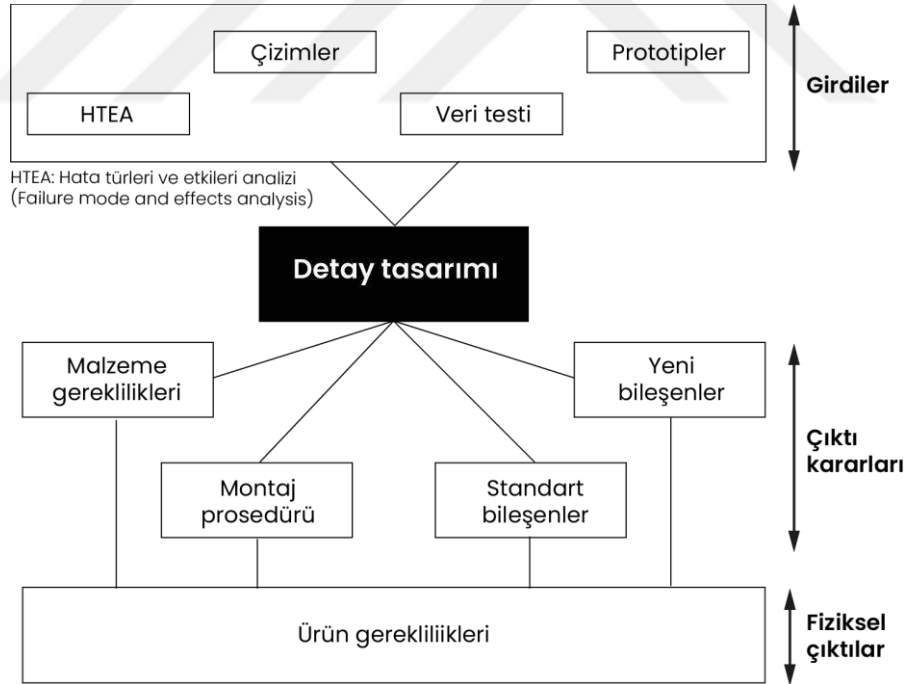
Tablo 4.3. 3 boyutlu baskı ve CNC işleme parametreleri

	3 boyutlu baskı	CNC işleme	Açıklama
1	Teknoloji	Eksen sayısı	Malzeme, parça oryantasyonu duvar/et kalınlığı gibi parametreleri etkileyen değişken
2	Eklenecek malzeme	Eksiltilecek malzeme	Üretilecek parçanın hammaddesi olarak tanımlanan değişken
3	Boyut ve ölçek	Boyut ve ölçek	Üretim cihazının tek seferde üretebileceği boyut ve yekpare olarak üretilmek istenen parçaya göre ölçeğin belirlenmesi ile ilgili değişken
4	Parça geometrisi	Parça geometrisi	Parçanın oryantasyonunu, ters açılarını ve gerekli durumlarda bölünmesi ilişkili değişken
5	Oryantasyon	Oryantasyon	Parça geometrisinin 3 boyutlu uzayda üretim cihazına nasıl konumlandırıldığı ile ilgili değişken
6	Katman yüksekliği	Kesme derinliği	Tek katmanda parçanın ne kadar işleneceğini, üretilcek parçanın yüzey kalitesini ve belirli durumlarda mukavemetini etkileyen değişken
7	Duvar kalınlığı	Et kalınlığı	Temelde, üretim teknolojisi ve malzemeye göre belirlenen, mukavemet ile ilişki; yüzeyin uzayda kaplayacağı hacmi belirleyen değişken
8	Ters aç ve Destek materyali	Ters aç	Geometrinin ek işlemler gerçekleştirilmeden üretilmeyecek alanlarını belirten değişken
9	Tolerans	Tolerans	İşlenen parçadaki; istenilen ile elde edilen ölçüler arasındaki fark sınırı olarak tanımlanan değişken
10	Baskı hızı	İşlem hızı	Parçanın üretimi için besleyici veya kesici başlıkların hareket hızı ile ilgili, yüzey kalitesini ve üretim süresini etkileyen değişken

4.3. Endüstriyel Tasarımda Seri Üretim İçin Hazırlık

Ürün geliştirme sürecinde, endüstriyel tasarım ile mühendislik disiplinlerinin keşişmesi genellikle prototipleme aşamasında başlamaktadır. Bir sonraki seri üretim için hazırlık aşamasında; endüstriyel tasarımcı tarafından CAD verisi olarak oluşturulan ürün bilgisinde, prototipleme ve üretime hazırlık için gerekli düzenlemelerin yapılabilmesi için mühendislik bilgilerinin devreye girmesi gerekir.

Prototiplerle yapılan testler sonucunda alınan geri bildirimlerle, mevcut tasarıma dair yeni bilgiler elde edilir. Bu süreç yinelemeli olarak olgun bir ürün tasarımı elde edilinceye kadar tekrar eder. Belli olgunluktaki ürün tasarımına ait CAD verileri, seri üretim için hazırlık aşaması altındaki detay tasarım sürecini başlatır. (Şekil 4.7). Bu süreçte ürünün her bileşeninin, üretim yöntemi ve malzemesine uygun olarak tanımlanması gereklidir. Detay tasarım sürecinin çıktısı, tüm ürün gereklilikleri ya da diğer bir deyişle nihai ürün bilgisidir. (Baxter, 1995).



Şekil 4.7. Detay tasarım süreci (Baxter, 1995, s. 272)

(Uyarlanmıştır)

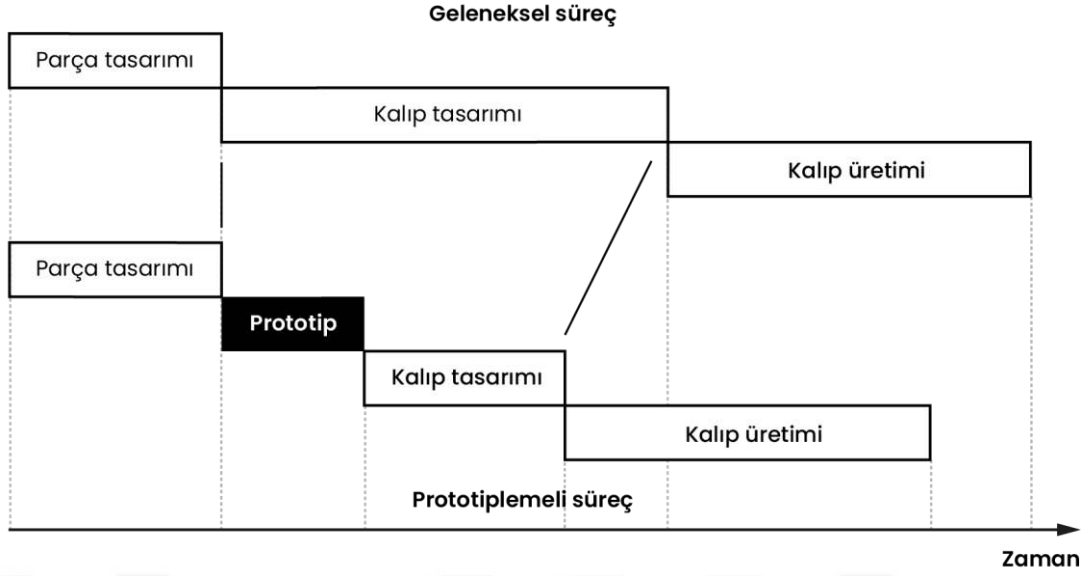
Nihai ürün bilgisini oluşturmak için, ürün geliştirme sırasındaki prototiplerle ilgili alınacak kararlara rehberlik etmesi için bazı temel ilkeler bulunmaktadır. Bu ilkeler, ne tür bir prototip oluşturulacağına ve prototiplerin proje planına nasıl dahil edileceğine ilişkin kararları içerir. Bu noktada alınan kararlar, seri üretim için hazırlık aşamasında geliştirilen endüstriyel tasarım CAD modelinin, mühendislik tasarımına en uygun şekilde devredilmesinde rol oynamaktadır. Bu sebeple; belirli bir bölümü prototipleme ile paralel devam eden detay tasarım aşamasındaki üç temel prototipleme ilkesi önemli görülmektedir.

Birinci ilke; analitik veya diğer bir deyişle dijital/sanal prototiplerin, genel olarak fiziksel prototiplerden daha esnek olduğunu belirtmektedir (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Analitik prototipler, ürünün matematiksel bir tahmini olduğundan, genellikle bir dizi tasarım alternatifini temsil etmek için değiştirilebilen parametreler içerecektir. Çoğu durumda, analitik bir prototipte bir parametreyi değiştirmek, fiziksel bir prototipin niteliğini değiştirmekten daha kolaydır.

İkinci ilke, beklenmeyen durumları tespit etmek için fiziksel prototiplerin gerekli olduğudur (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Fiziksel prototiplerin bazı rastlantısal özellikleri, nihai ürünle ilgisizdir ve test sırasında belirli problemleri ortaya çıkarabilir. Ancak, fiziksel prototiplerin bu rastlantısal özelliklerinden bazıları, nihai üründe de kendini gösterecektir. Bu durumlarda, fiziksel bir prototip, nihai üründe ortaya çıkabilecek beklenmeyen problemleri tespit etmek için bir araç olarak hizmet eder.

Üçüncü ilke, prototipleme ile yüksek maliyetli yineleme riskini azaltabileceğini ifade eder. Bu durum özellikle kapsamlı prototipler için önemlidir. Yeni bir teknolojiye sahip veya ürünün doğasındaki devrimsel nitelik nedeniyle, riskli veya belirsizliği yüksek ürünler, prototipleme aşamasından faydalanmaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

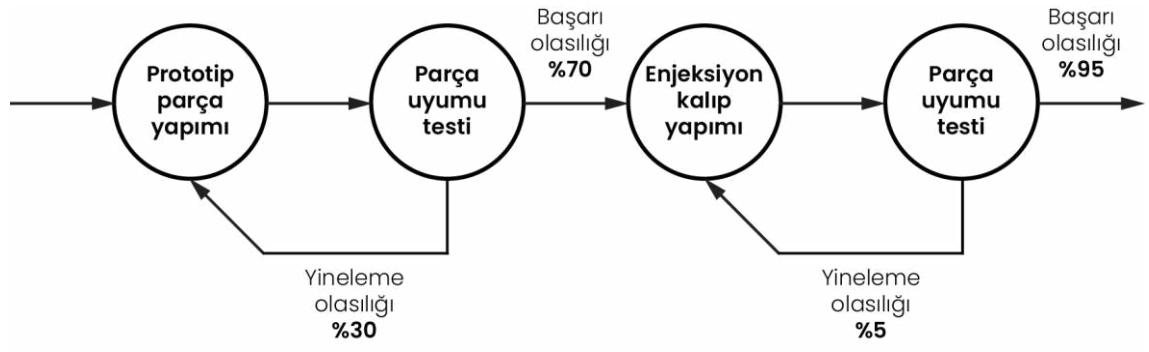
Tasarım sürecine kısa bir prototipleme aşamasının eklenmesi, bir sonraki adımın daha hızlı tamamlanmasına izin verebilir. Prototipleme için gereken ek süre, sonraki faaliyet süresindeki tasarruftan daha az ise, bu strateji uygundur (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Bunun en yaygın durumlarından biri, **Şekil 4.8'**de gösterildiği üzere kalıp tasarımıdır.



Şekil 4.8. Geleneksel ve prototiplemeli üretim süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 306)

Parça tasarımı ve kalıp tasarımı adımları arasında yer alan prototip; endüstriyel tasarım CAD modelinden, mühendislik tasarımı CAD modeline geçişteki ortak nokta olarak önemli bir konuma sahiptir. Geometrik olarak karmaşık bir parçanın fiziksel prototipinin varlığı; kalıp tasarımcısının, kalıp takımını daha hızlı görselleştirmesini ve tasarlamasını sağlamaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).

Kalıplanmış bir parçanın, eşleşen diğer parçalarla uyumsuz olduğu durumlarda kalıp takımının yeniden oluşturulması gerekmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için; endüstriyel tasarım ve mühendislik CAD modelleri arasındaki geçişi sağlayan nitelikteki prototipe başvurulur. Şekil 4.9’da parça uyumunu (part fit test) test ettikten sonra kalıp oluşturma faaliyetine geri dönme risk olasılıkları oklarla temsil edilmektedir. Bir prototipin oluşturulması ve test edilmesi, sonraki faaliyetlerin yineleme olmadan devam etme olasılığını önemli ölçüde artırır, prototip aşaması anlam kazanmaktadır. Belirtilen örnek; prototiplemenin, seri üretime geçişte yüksek maliyetli yineleme riskini azaltabileceği ilkesini desteklemektedir. Bu aşamada prototip oluşturmak ve test etmek; geliştirme ekibinin, bir enjeksiyon kalıbı inşa etmek gibi yüksek maliyetli bir faaliyetin sonuna kadar tespit edilemeyecek, bir problemi öngörmesini sağlamaktadır (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020).



Şekil 4.9. Prototiplemeli üretim süreci (Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020, s. 304)

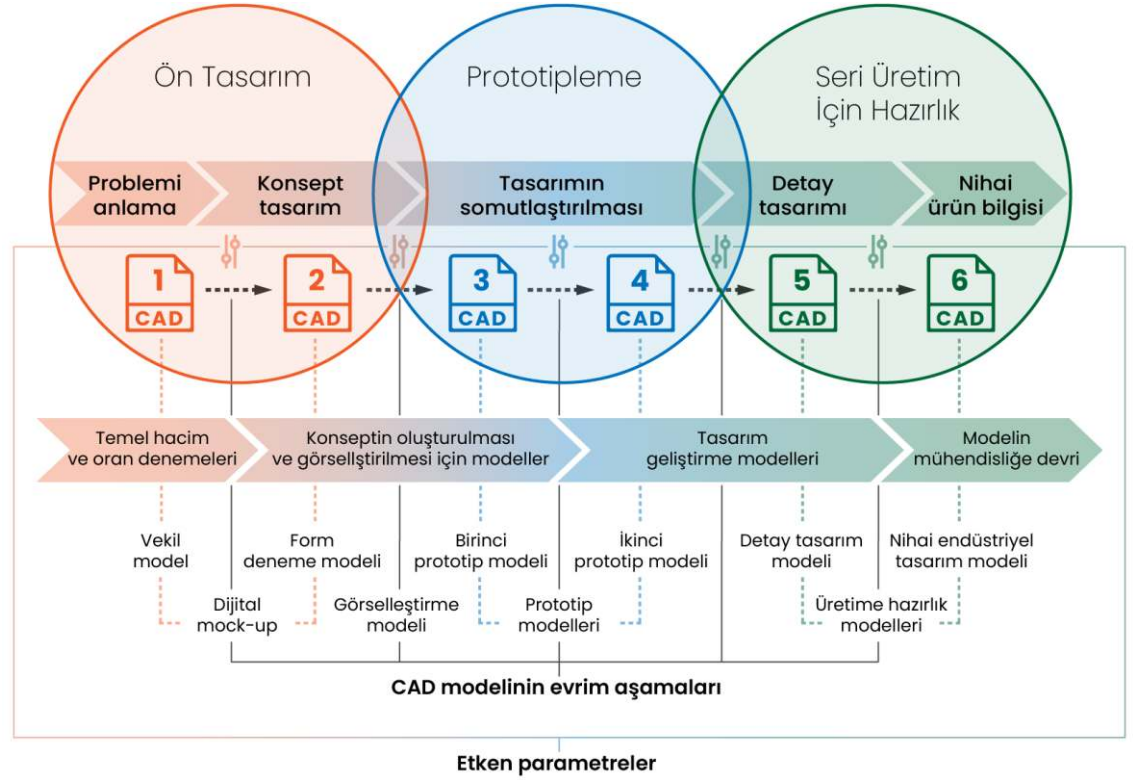
5. ÜÇ BOYUTLU MODELİN EVRİM AŞAMALARI VE ETKEN PARAMETRELER

Bu bölüme kadar aktarılan literatür araştırmasında, endüstriyel tasarım sürecinde CAD modellerinin işlev ve nitelikleri; ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları altında incelenmiştir. CAD modelinin endüstriyel tasarım sürecindeki işlevleri özetle aşağıda verilen maddeler olarak listelenebilir:

- Problemi anlama
- Form denemesi
- Görselleştirme
- Hızlı prototipleme
- Detay tasarımı
- Seri üretim için hazırlık

Bu listede belirtilen ilk üç işlev, ön tasarım aşamaları altında gruplanmaktadır. Son iki işlev ise seri üretim için hazırlık aşamaları altında ele alınmaktadır. Tez çalışmasının amacı, belirtilen modelleme işlevlerinden faydalananarak, CAD dosyasının evrim aşamalarını ortaya koymak ve bu süreçte dikkat edilmesi gereken model parametrelerini belirlemektir. Tez çalışmasında, öncelikle CAD dosyasındaki evrimin neden var olduğu tanımlanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde aktarıldığı üzere; endüstriyel tasarım sürecinde CAD modellerinin, farklı niteliklere sahip olması gerekmektedir. Farklı niteliklerdeki CAD modellerinden bazıları literatürde isimlendirilmiş olup tezin ikinci ve üçüncü bölümlerinde tanıtılmıştır. Literatür incelemesinde; özel bir isimle anılmayan ancak niteliği net olarak belirtilen modeller ise tez kapsamında isimlendirilerek, bu noktaya kadar elde edilen bilgiler doğrultusunda **Şekil 5.1**'de özetlenerek genel bir çerçevede sunulmaktadır. Endüstriyel tasarım süreci kapsamında oluşturulacak CAD modellerinin sayısı ve nitelikleri, süreçte çalışan tasarımcılara veya o projeye özel gerekliliklere göre değişebilmektedir. Farklı olasılıklar dikkate alınsa da herhangi bir projede; CAD modelinin niteliklerinin, modellemeye etki eden parametreler aracılığıyla oluştuğu öngörülmektedir. Etken parametreleri saptamak için, tez çalışması kapsamında gönüllü katılımcılarla araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde; gerçekleştirilen araştırmanın yapısı, elde edilen bulgular ve bulguların değerlendirilmesi aktarılmaktadır.



Şekil 5.1. Endüstriyel tasarım sürecinde CAD modelleme ve işlevleri

5.1. Araştırmanın Yapısı

Araştırma kapsamında gönüllü katılımcılardan, anket ve yarı yapılandırılmış görüşme yöntemleriyle çeşitli veriler toplanmıştır. Araştırmada ilk olarak çevrimiçi anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma anketi 103 kişinin katılımıyla tamamlanmıştır. Anket katılımcılarının sorulara verdikleri cevaplar, tasarımcı olup olmamaları ve ön tasarım, hızlı prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarındaki deneyimlerine göre aşamalı olarak süzölmüş ve beş katılımcı ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ilk adımı olan anket, dört ana bölümden oluşmaktadır:

- 1) Demografik ve mesleki deneyim bilgileri
- 2) CAD modellemesi
- 3) Hızlı prototipleme
 - a) Ölçekli hızlı prototipleme
 - b) Üç boyutlu yazıcı ile hızlı prototipleme
 - c) CNC işleme ile hızlı prototipleme
- 4) Seri üretim

Birinci bölümde, “0-4”, “5-9”, “10-14” ve “15+” yıl olmak üzere çoktan seçmeli bir soru ile katılımcıların zamana bağlı mesleki deneyimleri belirlenmiştir. Zamana bağlı mesleki deneyim, amaçlı örnekleme yöntemi kullanılacak olan araştırmada birinci katmandaki katılımcı gruplarını oluşturmaktadır. Devamında; açık uçlu soru formatında katılımcıların mesleki unvanları sorulmuştur. Alınan cevaplar kodlanarak ikinci örnekleme katmanını oluşturulmuştur. Endüstriyel tasarım disiplininin katılımcılar “tasarımcı” ismi ile tanımlanmaktadır. Anketi yanıtlayan, mühendislik veya teknik disiplinlerden diğer katılımcılar “tasarımcı olmayan” ismi ile ikinci katmandaki diğer grubu oluşturmaktadır. İlk bölümün son kısmında katılımcıların 3 boyutlu modelleme, hızlı prototipleme ve seri üretim başlıkları üzerinden; “1: Hiç”, “5: Tamamen” olmak üzere beş seçeneikli likert ölçeğiyle, ilgili alandaki öznel deneyim ve hakimiyetlerine dair veriler toplanmıştır. Anket aracının sunduğu 1-5 arasındaki ölçek, veri işleme aşamasında 0-4 aralığına çevrilmiştir. İki grup, birinci bölümde yer alan deneyim sorunlarına göre “yüksek deneyimli” ve “düşük deneyimli” olarak üçüncü katmanda alt gruplara ayrılmıştır. 3 boyutlu modelleme, hızlı prototipleme ve seri üretime yönelik beş ölçekli algısal hakimiyet sorularına verilen yanıtların aritmetik ortalaması alınmıştır. Üç alana ait algısal hakimiyet ortalaması 2,0 altında kalan katılımcılar araştırmada “düşük deneyimli” olarak tanımlanmıştır. Ortalaması 2,0’a eşit veya büyük olan katılımcılar ise “yüksek deneyimli” olarak tanımlanmıştır. Araştırmadaki mesleki deneyime göre oluşturulmuş üçüncü katmandaki katılımcı gruplarına ait sayılar **Tablo 5.1**’de gösterilmektedir.

Araştırma anketinin ikinci adımında katılımcılara, onay kutusu biçimde sunulan modelleme işlevlerini gerçekleştirmek için hangi CAD yazılımını kullandıkları sorulmaktadır. Katılımcılar bu soruyu, ilgili CAD yazılımı ve işlev eşlemesini boş bırakabilecekleri ve/veya çoklu seçim yapabilecekleri biçimde cevaplamaktadır.

Tablo 5.1. *Araştırma anketindeki mesleki deneyime göre oluşturulmuş üçüncü katman katılımcı grupları*

Mesleki deneyime göre katılımcı grupları	Kısaltma	Katılımcı Sayısı
Yüksek deneyimli tasarımcı	YT	74
Düşük deneyimli tasarımcı	DT	12
Yüksek deneyimli tasarımcı olmayan	YO	14
Düşük deneyimli tasarımcı olmayan	DO	3

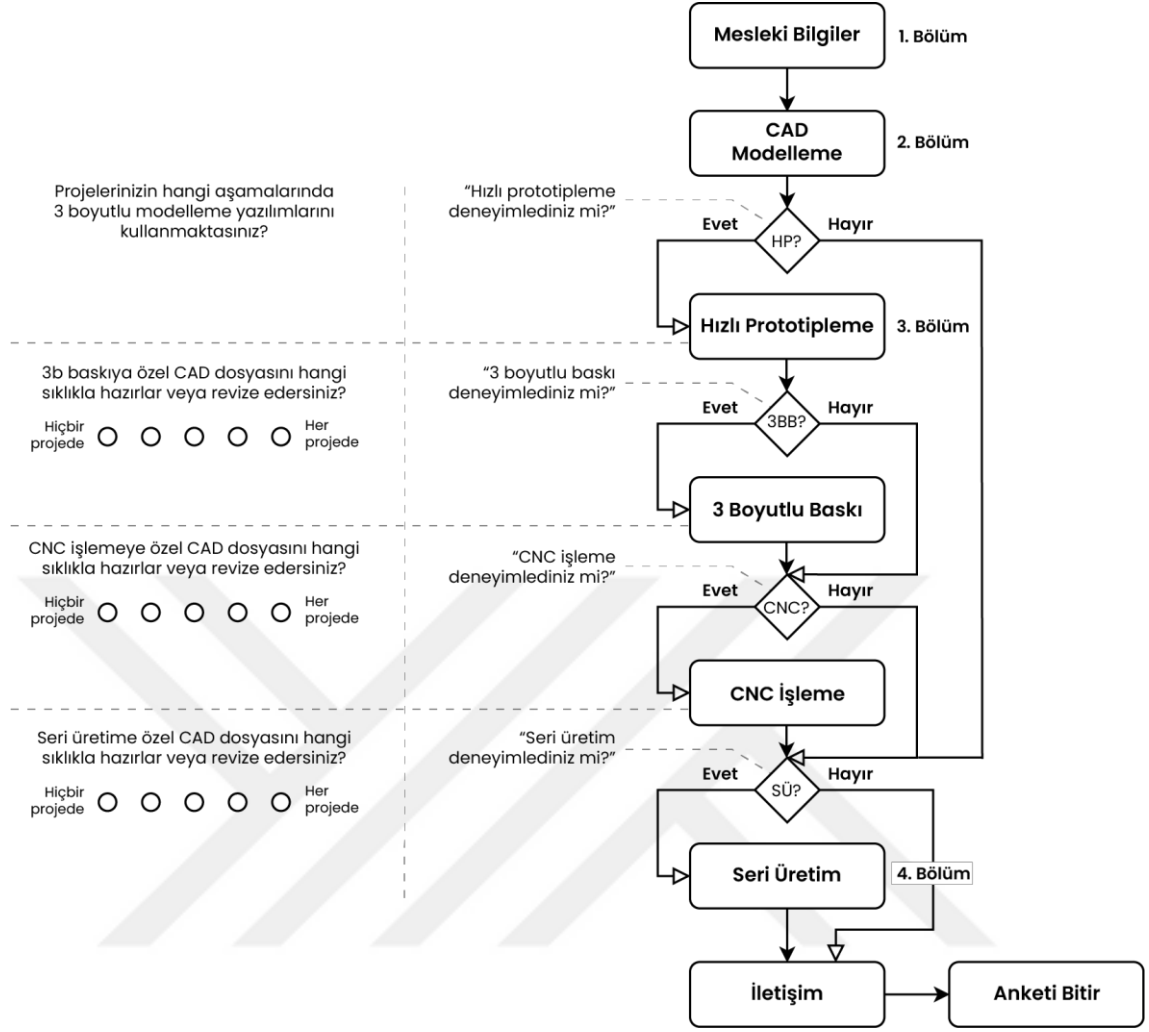
Katılımcıların CAD modellerini sürecin hangi aşamasında kullandıklarını anlamak amacıyla sorulan sorunun seçenekleri; problemi anlama, form denemesi, görselleştirme, hızlı prototipleme, detay tasarımı ve seri üretim olarak sunulmuştur. CAD işlevleri ile eşleştirilecek seçeneklerinin karşılığında ise endüstriyel tasarım alanında yaygın olarak kullanılan CAD yazılımları yer almıştır. Veri toplandıktan sonra belirtilen CAD yazılımları; baskın modelleme prensiplerine göre kodlanmıştır. Ankette verilen CAD yazılımları ve modelleme prensipleri **Tablo 5.2**'de sunulmaktadır.

Anketin üçüncü bölümünde katılımcılara herhangi bir yöntem ayrımında bulunmadan, genel hızlı prototipleme deneyimlerine dair sorular yöneltilmiştir. Bölüm içerisinde yöneltilen sorulardan önce, katılımcılara “Çalıştığınız projelerde; hızlı prototipleme uygulamaları deneyimlediniz mi?” sorusu yöneltilmiştir. İki cevap seçeneği olan soruya katılımcının cevabı “evet” ise, anketin üçüncü bölümüne devam etmesi sağlanmıştır. Katılımcının cevabı “hayır” ise dördüncü bölüm olan seri üretimle ilgili sorulara atlaması sağlanmıştır. Katılımcı, ilgili konu hakkında deneyim sahibi değil ise o adım veya bölüm atlanmaktadır.

Anketin üçüncü bölümüne devam eden katılımcılara, beş seçenekli likert ölçeğiyle hangi sıklıkla birden farklı prototipleme yöntem veya teknolojisini kullanarak prototipleme gerçekleştirdikleri sorulmuştur. Devam eden her bölüm ve adımda, CAD dosyasının hangi sıklıkla hazırlandığı veya revize edildiğine dair beş ölçekli sorular yöneltilmiştir. Anketin üçüncü ve dördüncü bölümlerinin sonunda, CAD dosyasında uygulanan revizyon nedenleri üzerine, katılımcılara açık uçlu sorular yöneltilmiştir. Anket, isteyen katılımcıların yarı yapılandırılmış görüşmeler için iletişim bilgilerini paylaşmasıyla sonuçlanmıştır. Araştırma anketinin yapısı **Şekil 5.2**'de, anket soruları ise **EK-2**'de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Modelleme prensiplerine göre CAD yazılımları

Modelleme prensibi	CAD yazılımı
Yüzey	Rhinoceros 3D, Alias
Katı	Fusion 360, Solidworks, Siemens NX Catia, Inventor, Spaceclaim,
Poligon ağ	3DS Max, Blender 3D, Cinema 4D, Sketchup, Maya



Şekil 5.2. Araştırma anketinin yapısı

Araştırma anketindeki deneyim sorularına verilen cevaplar sonucunda, hızlı prototipleme ve seri üretim süreçlerini deneyimlememiş katılımcılar tespit edilmiştir. Bu katılımcıların atladıkları bölümlerdeki soruları cevaplanmamıştır. Bu sorulardaki cevap/katılımcı dengesini sağlamak adına amaçlı örnekleme yöntemi ile, katılımcı grupları daraltılmıştır.

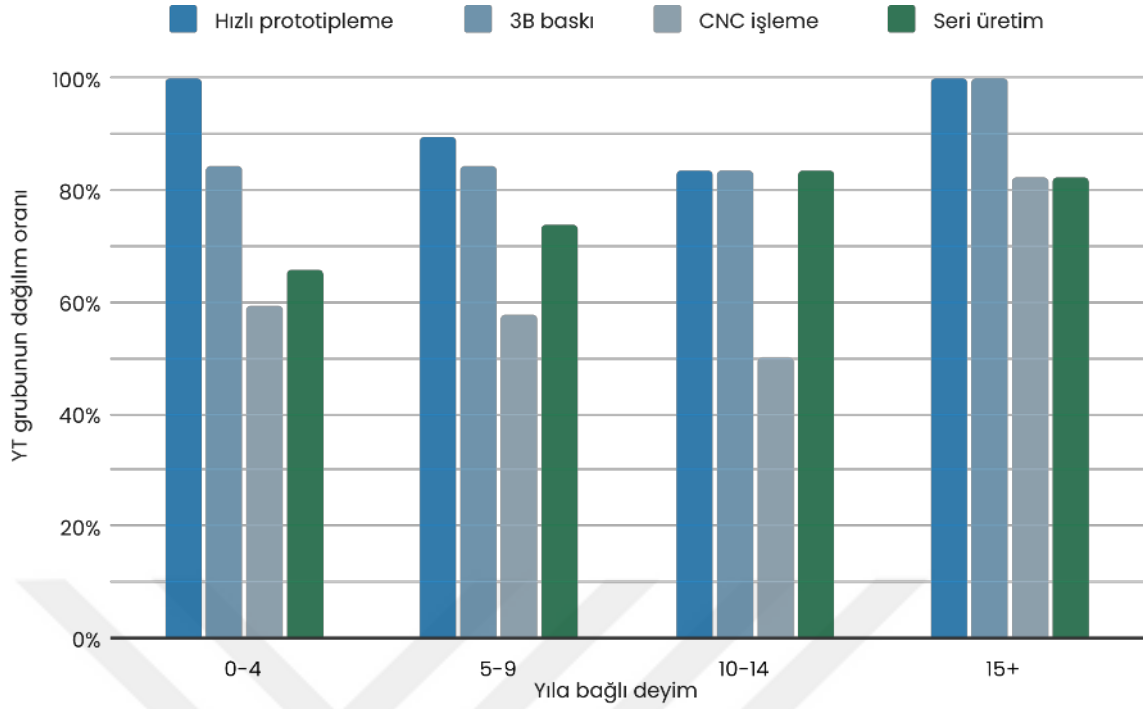
Yapılan amaçlı örnekleme sonucunda, düşük deneyimli tasarımcı (DT), yüksek deneyimli tasarımcı olmayan (YO) ve düşük deneyimli tasarımcı olmayan (DO) katılımcı gruplarındaki sayıların önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu sebeple, belirtilen üç grup; araştırmada CAD modelleme için yapılan genel karşılaştırmalar haricindeki incelemelerden çıkarılmıştır. Bir başka deyişle, ankete katılım sağlayan ancak prototipleme ve seri üretim süreçlerini deneyimlememiş katılımcılar, çalışma dışına alınmış, kalan katılımcılar ise deneyim seviyelerine göre tekrar gruplanmıştır.

Yüksek deneyimli tasarımcı (YT) grubunun; meslek yılı süreleri, hızlı prototipleme ve seri üretim deneyimleri üzerinden değerlendirildiği **Tablo 5.3**'de, katılımcı sayılarına ulaşılmıştır.

Araştırma için uygun katılımcı grubunun oluşturulmasına yönelik, seri üretim deneyiminin sınırlayıcı olduğu görülmektedir. Hızlı prototipleme deneyimlemiş katılımcıların, anketin üçüncü bölümünde yer alan ve 3 boyutlu yazıcı veya CNC işleme yöntemleri ile ilgili verdikleri cevaplar tekrar ele alınmıştır. YT grubu içerisindeki hızlı prototipleme ve seri üretim deneyimlemiş katılımcıların yüzdelik oranı **Şekil 5.3**'de, **Tablo 5.3**'ün detaylandırılmış gösterimi olarak sunulmuştur.

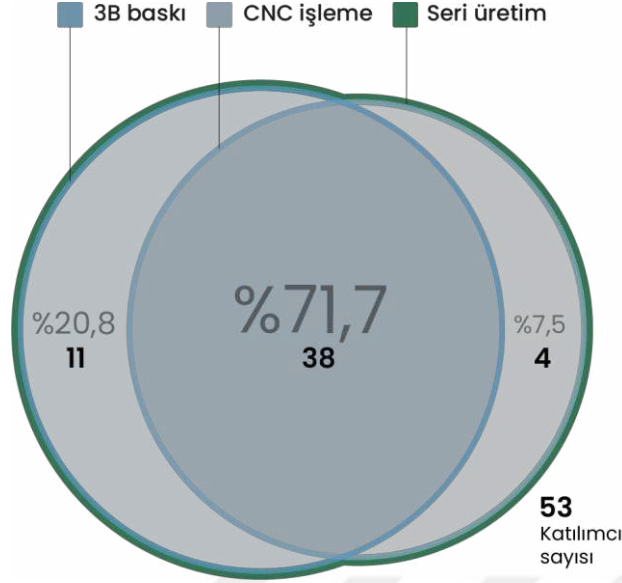
Tablo 5.3. YT katılımcı sayıları

	0-4 yıl	5-9 yıl	10-14 yıl	15+ yıl	Toplam
Hızlı prototipleme	32	19	6	17	74
Seri üretim	21	14	5	14	54



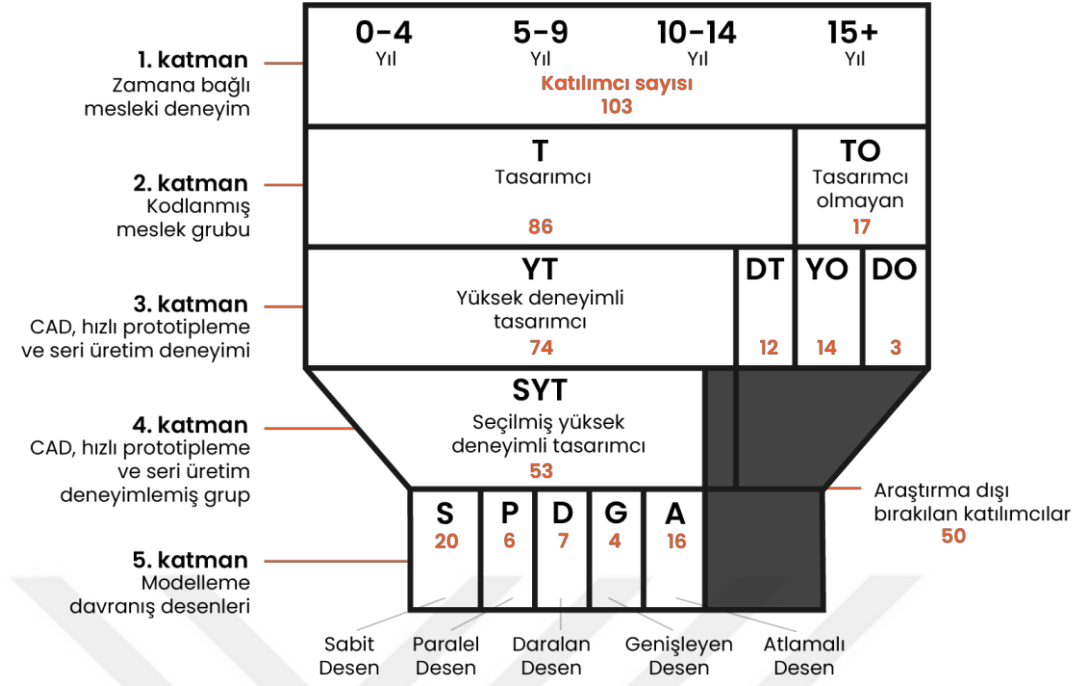
Şekil 5.3. YT grubunun hızlı prototip ve seri üretim deneyimleme oranlarının meslek yılına bağlı dağılımı

YT grubuna bakıldığında, hızlı prototiplemedeki yöntem tercihinde 3 boyutlu baskının öne çıktığı ve zamana bağlı mesleki deneyim artıkça, deneyimlenmiş süreç yüzdelerinin dengeli dağıldığı gözlemlenmektedir. YT grubu; 3 boyutlu baskı veya CNC işlemenin en az birisini ve aynı anda seri üretim deneyimlemiş olma koşulu ile ele alındığında, 53 katılımcı sayısı ile dördüncü katmandaki seçilmiş yüksek deneyimli tasarımcı (SYT) grubuna ulaşılmaktadır. SYT grubunu hızlı prototipleme yöntemi kullanıma göre değerlendirildiğinde **Şekil 5.4'**deki katılımcı sayılarına ulaşılmaktadır.



Şekil 5.4. SYT grubunun deneyim oranları ve katılımcı sayıları

Katılımcıların tasarım süreci aşamalarında kullanmayı tercih ettikleri CAD yazılımı ve **Tablo 5.2**'de özetlenen modelleme prensipleri değerlendirildiğinde, katılımcılar arasında CAD kullanım davranışına bağlı belirli ortak desenler olduğu gözlemlenmiştir. Desenler art arda gelen aşamalardaki, modelleme prensiplerinin karşılaştırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Desenler, “sabit”, “paralel”, “daralan”, “genişleyen” ve “atlamalı” olarak isimlendirilmiştir. Belirtilen desenlerle ilgili detaylar sonraki başlıklarda sunulacaktır. Gözlemlenen beş farklı modelleme davranış deseninde yer alan katılımcılar, beşinci örnekleme katmanını oluşturmuştur. **Şekil 5.5**'de tez çalışmasında kullanılan amaçlı örnekleme stratejisi özetlenmekte ve bu strateji sonunda katmanlarla oluşan katılımcı grupların nasıl daraldığı ve bu alt gruplardaki katılımcı sayılarını gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Örnekleme katmanları ve katılımcı grupları

(TO: Tasarımcı olmayan, YT: Yüksek deneyimli tasarımcı, DT: Düşük deneyimli tasarımcı, YO: Yüksek deneyimli tasarımcı olmayan, DO: Düşük deneyimli tasarımcı olmayan, SYT: Seçilmiş yüksek deneyimli tasarımcı)

Modelleme davranış desenlerindeki değişimler; CAD modelindeki evrim aşamalarının, tasarımcı veya kurum kültürlerine özel olarak oluşabileceğine işaret edebilmektedir. Bu noktada araştırmayı detaylandırmak için SYT grubu içerisinde, iletişim bilgilerini paylaşan katılımcılarla yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın limitleri dahilinde, her biri farklı modelleme davranış desenini temsil etmek üzere görüşme sayısı beş katılımcı ile sınırlı tutulmuştur. Görüşmede, katılımcıların tasarım süreçlerini kaç farklı aşamada algıladıkları tespit edilmiştir. Görüşmeye katılan tasarımcılara, modelleme sırasında düşünceleri, kontrol ve müdahale etmeleri gereken parametrelerin, tasarım aşamalarına ne şiddette etki ettiği sorulmuştur.

5.2. Üç Boyutlu Modellemenin Evrim Aşamaları

Endüstriyel tasarım sürecinde yer alan CAD modellerinin niteliğindeki belirgin değişimler, tez çalışması kapsamında evrim aşaması olarak tanımlanmıştır. 3 boyutlu modellemedeki evrim aşamalarının, tasarım sürecine paralel bir biçimde oluştuğu öngörülmektedir. Bu durumu incelemek için kullanılacak ilk yöntem; ön tasarım, hızlı prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarında modellemenin hangi işlevlerde kullanıldığını gözlemlemektir. Anketin ikinci bölümde yer alan soruda; modelleme işlevleri ile prensiplerinin eşleştirilmesi, bu gözlemin gerçekleştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

İlk olarak; problemi anlama, form denemesi, görselleştirme, hızlı prototipleme, detay tasarımı ve seri üretim için hazırlık olarak verilen altı temel modelleme işlevlerinde; seçilmiş yüksek tasarımcı (SYT) katılımcı grubunun, herhangi bir CAD yazılımı kullanıp kullanılmadığına bakılmıştır. Bu noktada CAD kullanımının; %68 oranındaki “problemi anlama” hariç, tüm işlevlerin %91 ve üzerinde bir oranda olduğu gözlemlenmektedir.

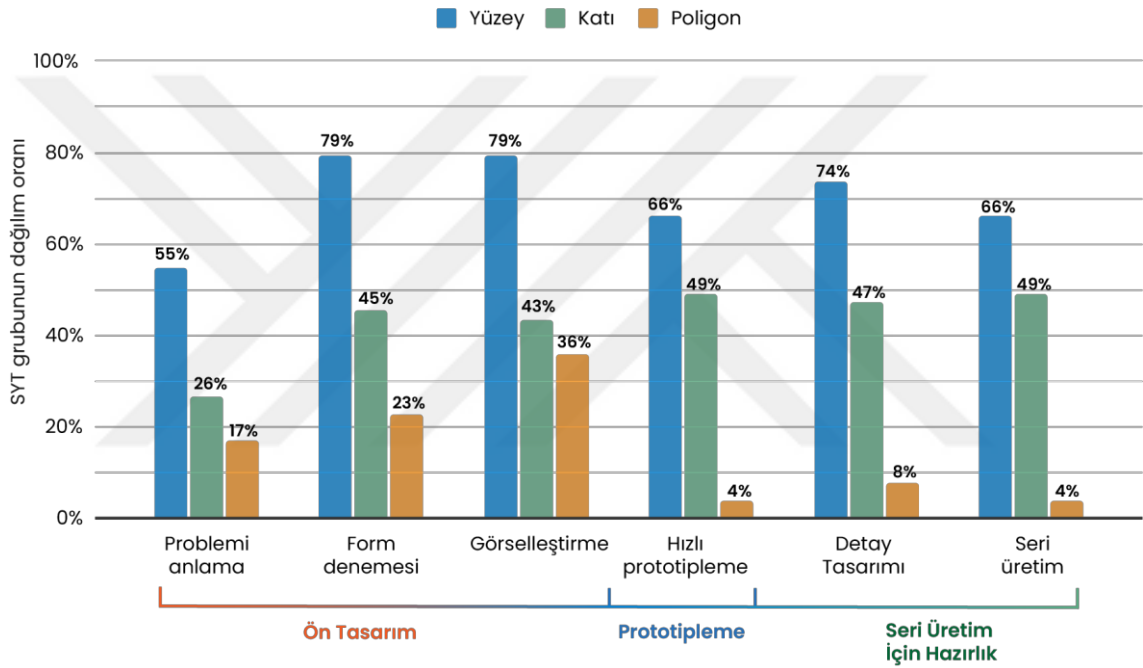
Elde edilen ilk bulgu, 3 boyutlu modellemedeki evrim aşamalarının, tasarım sürecine paralel ilerlediği öngörüsünü desteklemekle birlikte, detay bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımcıların; ilgili işlevlerde, modelleme prensibini değiştirip değiştirmediği, evrim aşamalarının belirlenmesinde etkili olabilir. Modelleme yazılımları arasında geçişlerin yapılabilmesi için, CAD dosyalarının belirli ortak dönüşüm formatlarında kaydedilmesi ve yeni kullanılacak yazılımda içe aktarılması gereklidir. Bu süreç, **Şekil 5.1'**de ifade edilen; CAD₁, CAD₂ gibi yeni dosyaların oluşumuna neden olmaktadır. Modelleme sürecinde bu tarz bir kırılım, bir evrim aşamasına işaret edebilir.

Altı temel modelleme işlevi üzerinden, SYT grubundaki bir ve birden farklı prensipteki modelleme yazılımlarının kullanımına bakıldığında; “form denemesi” dışındaki tüm işlevlerde tek bir modelleme prensibinin baskın olduğu gözlemlenmektedir. Belirtilen işlev için tek bir modelleme prensibi kullanımı, ilgili işlev için bir evrim aşaması olduğunu belirtmemekle birlikte aksini de kanıtlamamaktadır. Ancak bu durumun daha detaylı incelenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Diğer bir katılımcı grubu olan yüksek deneyimli tasarımcı olmayan (YO) katılımcılar, ağırlıklı olarak mühendislik disipliniyle ilişkili mesleki unvanlara sahiptir. Aynı gözlem, YO grubu için ortaya koyulduğunda önemli bir fark açığa çıkmaktadır. YO

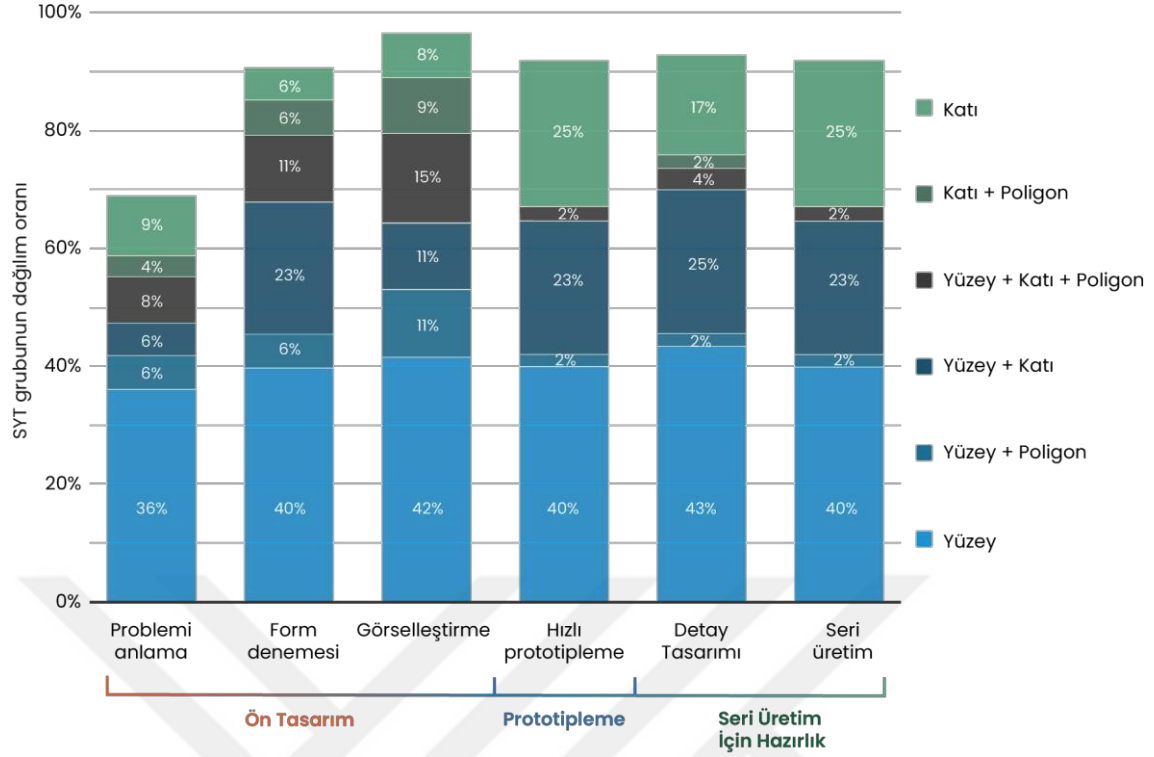
grubunun ön tasarım sürecindeki problemi anlama, form denemesi ve görselleştirme haricindeki; hızlı prototipleme, detay tasarımı ve seri üretim işlevlerinde, belirgin bir biçimde sadece katı modelleme prensibini tercih ettikleri gözlemlenmektedir.

SYT grubunun modelleme işlevlerindeki prensip tercihlerine bakıldığında, yüzey modelleme prensibinin ön plana çıktığı görülmektedir (**Şekil 5.6**). Bunun yanı sıra katı modelleme prensibi, ikinci işlevden itibaren kullanım oranını korurken; süreç ilerledikçe poligon ağ modellemenin kullanımı belirgin bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 5.6. SYT grubunun modelleme prensipleri tercihleri

Şekil 5.6'da yer alan yüzdeler, birden fazla modelleme prensibinin eşzamanlı kullanımları da dahil edilmiştir. SYT grubunun modelleme prensipleri kullanımı, üçlü kombinasyonlar olarak ele alındığında **Şekil 5.7**'de gösterilen detaylı yüzdeleri ortaya çıkmaktadır. Tasarımcıların tüm işlevlerde, yüzey modelleme prensibinin benzer bir oranda tercih ettiği görülmektedir. Buradaki belirgin farklılık, ön tasarım süreci sonrasında, artan katı modelleme prensibi tercihi olarak gözlemlenmektedir. Endüstriyel tasarım sürecinin, prototipleme aşamasındaki katı modelleme tercihi, bu noktadaki bir evrim aşamasına işaret edebilir.



Şekil 5.7. SYT grubunu detaylandırmış grubunun modelleme prensipleri tercihleri

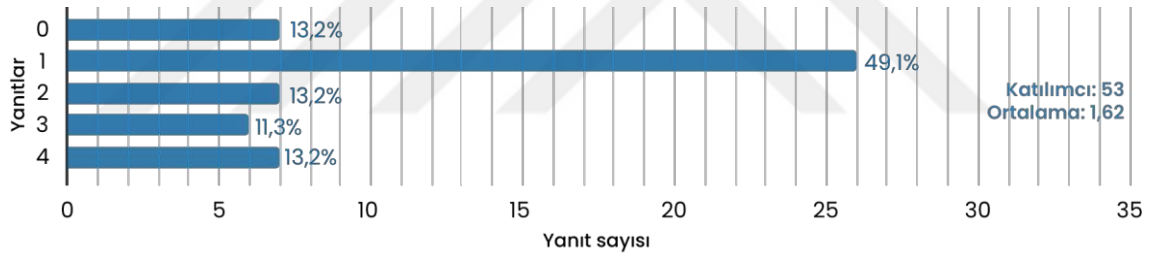
Bu gözlemin tutarlılığının sağlanabilmesi için, anketin üçüncü ve dördüncü bölümlerindeki hızlı prototipleme ve seri üretim özelindeki sorulara başvurulmaktadır. Anketin üçüncü bölümünde, katılımcılara ilk olarak bir proje kapsamında; hangi sıklıkla birden farklı prototipleme yöntemi tercih ettikleri sorulmuştur. Yanıtlar beş seçenekli likert ölçeğiyle alınmıştır;

- 0: Başlangıçta seçtiğim yöntem ile tamamlarım.
- 1: Nadiren başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm.
- 2: Yarı yarıya seçtiğim yöntemi değiştiririm.
- 3: Çoğunlukla başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm.
- 4: Tüm projelerimde başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm.

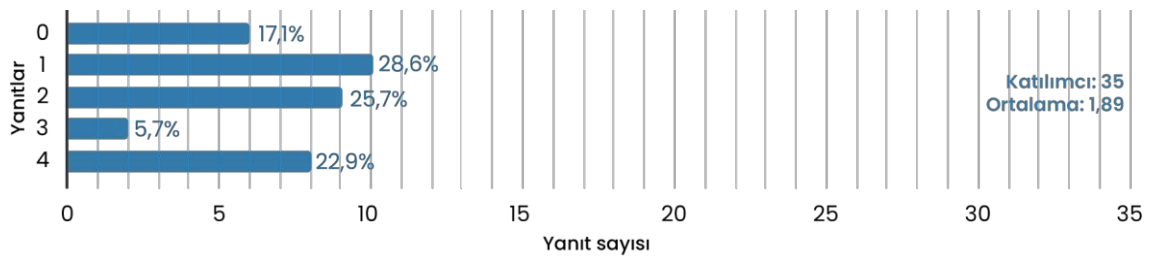
Elde edilen veri sonucunda SYT grubunun bir proje kapsamında, başlangıçta belirlediği hızlı prototipleme yöntemini nadiren değiştirdiği görülmektedir (Şekil 5.8). SYT grubundaki %37,7'lik önemli bir yüzdelik, projelerinin en az yarısında hızlı prototipleme yöntemini değiştirdiğini ifade etmektedir. Bu durum; endüstriyel tasarımın

prototipleme aşamasında, hızlı prototipleme yöntemlerinin gereksinimlerine dayalı olarak, bazı tasarımcılar için en az iki farklı model evrimi olabileceğine işaret etmektedir. Bu soru; anketin 3 boyutlu baskı ve CNC işleme kısımlarında benzer şekilde detaylandırılmıştır.

Hızlı prototiplemede yöntemlerine özel ayırımın gerçekleştirilmesinden önce, prototipleme ve model ölçeklerine özel olarak; 3 boyutlu model dosyasının hangi sıklıkla hazırlandığı veya revize edildiği sorusu yöneltilmiştir. Beş seçenekli likert ölçeğinde “0: Hiçbir projede”, “4: Her projede” olmak üzere yanıtlar alınmıştır. Bu soru ile; 4.2. Hızlı Prototipleme Parametreleri başlığında belirtilen “boyut ve ölçek” parametresinin CAD modelindeki yeni bir evrimi oluşturma ihtimalini araştırılmıştır. **Şekil 5.9**'da katılımcıların %54,3'ü gerçekleştirdikleri projelerinin en az yarısında hızlı prototiplemenin farklı ölçeklerine özel CAD dosyası oluşturduğunu veya revize ettiği sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 5.8. SYT grubunu birden farklı prototipleme yöntemi değiştirme sıklığı



Şekil 5.9. SYT grubunun, prototip ölçeğine özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı

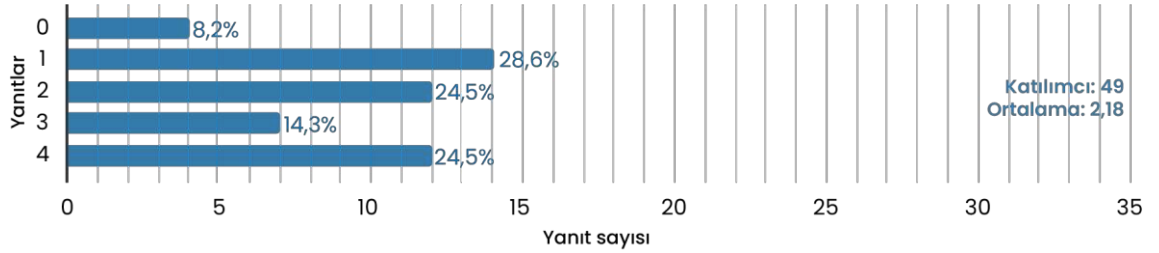
Anketin 3 boyutlu baskı yöntemi ile hızlı prototipleme özelinde aşağıdaki soru yer almaktadır:

Prototipin; farklı kullanım amaçlarına veya üretim teknolojilerine özel 3 boyutlu model dosyasını hangi sıklıkla hazırlanır veya revize edersiniz?

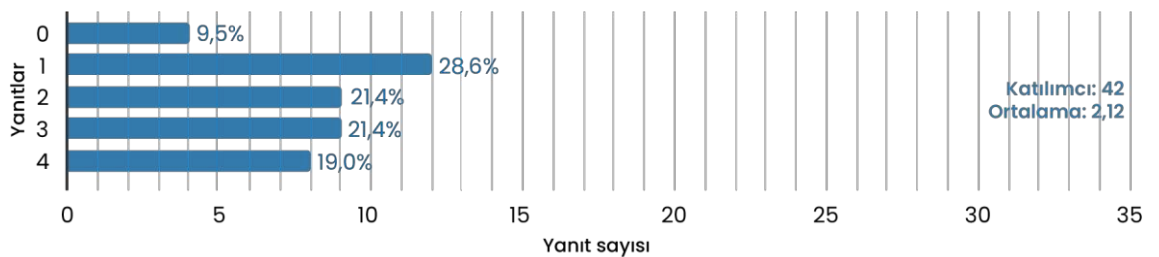
Beş seçenekli likert ölçeğinde “0: Hiçbir projede”, “4: Her projede” olmak üzere yanıtlar alınmıştır. Aynı soru formatı, anketin, CNC işleme ile hızlı prototipleme özelinde katılımcılara yöneltilmiştir:

Prototipin; farklı kullanım amaçlarına veya üretim materyallerine özel 3 boyutlu model dosyasını hangi sıklıkla hazırlar veya revize edersiniz?

Hızlı prototiplemedeki iki farklı yöntem özelinde SYT grubundan alınan yanıtlar, 3 boyutlu baskı için **Şekil 5.10**'da ve CNC işleme için **Şekil 5.11**'de gösterilmektedir. Yanıtlar değerlendirildiğinde, birbirine paralel sonuçların çıktığı görülmüştür. 3 boyutlu baskı ve CNC işleme için özel CAD dosyası oluşturmayan veya revize etmeyen katılımcılar en düşük yüzdeliği oluşturmaktadır. Bu durum iki yöntem için de CAD modelinin evrime uğradığına işaret edebilmektedir.



Şekil 5.10. SYT grubunun, 3 boyutlu baskıya özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı



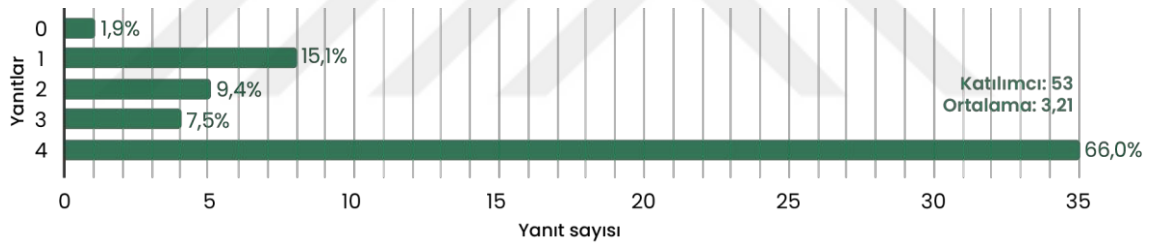
Şekil 5.11. SYT grubunun, CNC işlemeye özel CAD modeli hazırlama veya revizyon sıklığı

3 boyutlu baskı ve CNC işleme sorularındaki yanıt ölçeği, anketin dördüncü bölümü olan seri üretim başlığı için de kullanılmaktadır. Endüstriyel tasarım süreçlerindeki seri üretime hazırlık aşamaları için katılımcılara, bu aşamaya özel CAD modeli hazırlanma ve revizyon sıklığı olarak iki soru yöneltilmiştir:

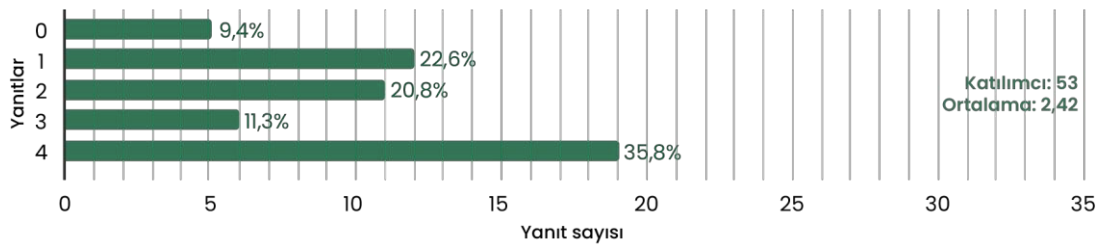
Seri üretimde Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel 3 boyutlu model dosyası hangi sıklıkla hazırlanıyor?

Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel hazırlanan 3 boyutlu model dosyasında hangi sıklıkla revizyon yaparsınız?

Seri üretime özel CAD modelinin hazırlanma sıklığı soruna **Şekil 5.12**'de verilen yanıtlar; tasarım sürecinin bu aşamasında yeni bir CAD modeli oluşturulduğunu ve bir evrim aşaması olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. **Şekil 5.13**'teki revizyon sıklığı soruna verilen yanıtlar ise, bu durumu destekler niteliktedir.



Şekil 5.12. SYT grubunun, seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel CAD modeli hazırlama sıklığı



Şekil 5.13. SYT grubunun, seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel CAD model revizyonu sıklığı

Sonuç olarak; **Şekil 5.1**'de ifade edilen ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarında yeni CAD modellerinin oluşturulduğu ve böylece bir evrim süreci gerçekleştiğine dair bulgular elde edilmiştir. Ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları için var olduğu görülen, ancak süreçlerin alt adımlarında farklılaşan CAD modeli evrimlerine etki eden parametrelerin incelenmesi için, araştırma anketinin değerlendirilmesiyle ortaya çıkan 3 boyutlu modelleme davranış desenlerinden faydalanılacaktır.



5.3. Üç Boyutlu Modellemede Davranış Desenleri

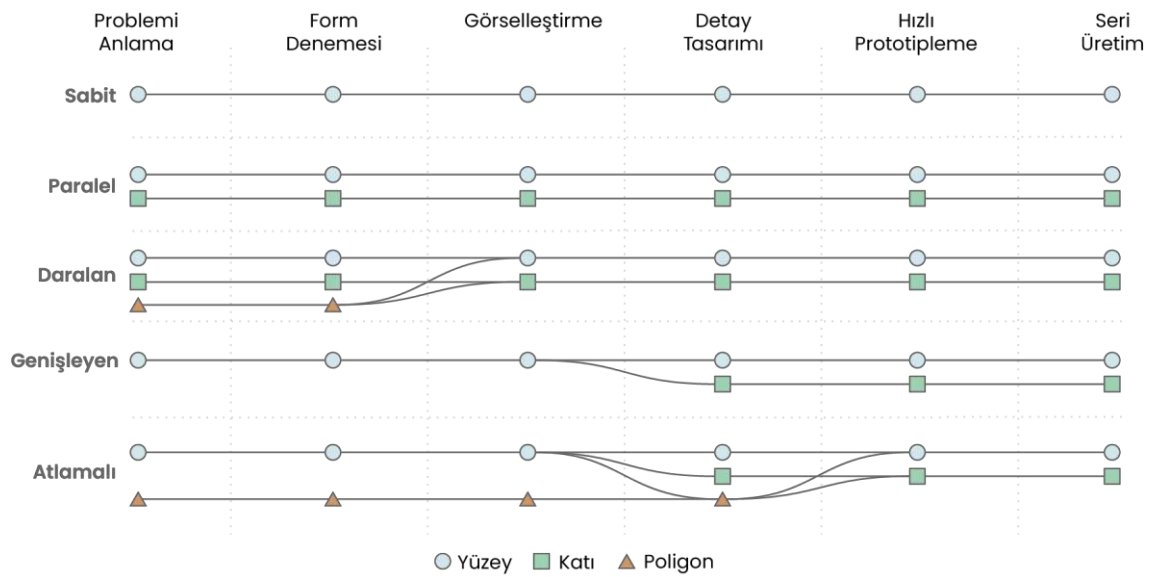
Araştırma anketinin ikinci bölümünde toplanan verilerin işlenmesine yönelik; CAD yazılımları, ön plana çıkan modelleme prensiplerine göre sınıflandırılmıştır. Modelleme için belirlenen altı temel işlev ve katılımcıların bireysel düzeydeki modelleme prensibi tercihleri bir araya gerildiğinde **Şekil 5.14**'deki tablo oluşmaktadır.

Katılımcı	Meslek Yılı	Deneyim Ort.	Problemi Anlama	Form Denemesi	Görselleştirme	Hızlı Prototipleme	Detay Tasarımı	Seri Üretim
K001	0-4	2,7						
K002	0-4	3,0						
K004	5-9	2,3						
K005	5-9	3,3						
K006	0-4	2,3						
K008	0-4	3,0						
K014	0-4	3,0						
K018	5-9	3,7						
K020	15+	3,3						
K021	0-4	2,3						
K024	15+	3,0						
K025	0-4	3,3						
K026	15+	3,0						
K027	15+	3,0						
K028	15+	2,7						
K029	5-9	3,0						
K030	10-14	2,0						
K031	15+	4,0						
K032	0-4	2,0						
K033	5-9	3,0						
K040	5-9	2,7						
K041	0-4	2,0						
K044	10-14	2,0						
K045	0-4	3,3						
K048	0-4	2,0						
K051	0-4	3,0						
K052	5-9	4,0						
K055	10-14	3,7						
K057	15+	2,7						
K058	5-9	3,7						
K061	10-14	3,3						
K064	5-9	3,0						
K066	15+	3,7						
K067	15+	4,0						
K069	0-4	2,3						
K070	15+	2,3						
K074	0-4	3,0						
K076	15+	3,3						
K077	10-14	3,0						
K078	15+	4,0						
K079	15+	3,0						
K081	0-4	3,3						
K082	0-4	3,0						
K084	5-9	2,7						
K088	5-9	2,3						
K089	5-9	2,3						
K090	0-4	4,0						
K092	0-4	3,0						
K096	5-9	2,3						
K097	5-9	3,7						
K098	0-4	2,0						
K100	0-4	2,7						
K103	15+	4,0						

Yüzey Kati Poligon

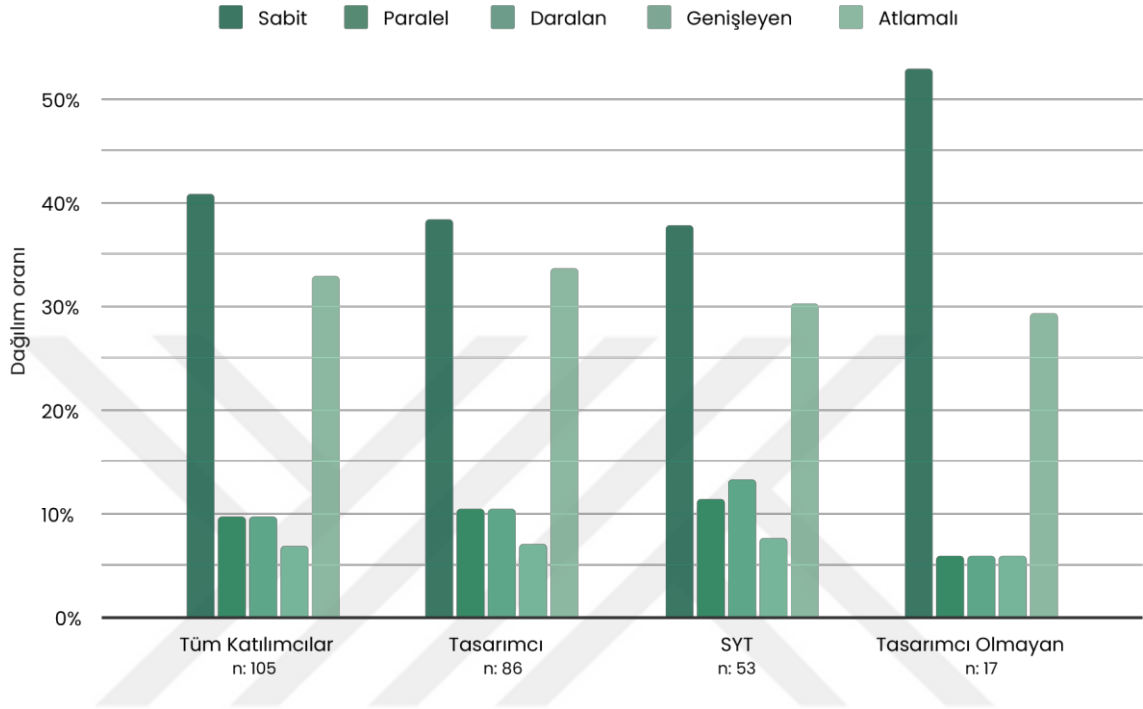
Şekil 5.14. SYT grubunun modelleme süreçleri

Katılımcıların art arda gelen işlevlerdeki modelleme prensibi tercihlerine, **Şekil 5.14**'deki kodlanmış tablo üzerindeki değişimler göz önünde bulundurularak bakıldığında, belirli ortak desenler gözlemlenmektedir. Gözlemlenen desenler, CAD modellemedeki evrim aşamalarını benzer biçimde kullanan tasarımcı gruplarının olduğuna işaret edebilir. Bu bağlamda, anket sorularına verilen cevaplar üzerinden yapılan incelemede beş farklı 3 boyutlu modelleme davranış deseni olduğu saptanmıştır. Bu davranış desenleri, katılımcıların tasarım süreçlerine bağlı olarak değişim gösteren CAD programları tercihlerine göre şekillenmiştir. **Şekil 5.15**'teki örnekte yer aldığı üzere, modelleme davranış desenleri; sabit, paralel, daralan, genişleyen ve atlamalı olarak sunulmuştur. Sabit desen, tüm modelleme sürecinde aynı ve tek prensipteki yazılımları tercih eden tasarımcıları tanımlamaktadır. Paralel desen, tüm süreci birden fazla prensipteki modelleme yazılımlarını kullanarak tamamlar ve her aşama için en az iki farklı prensip de aktif olarak kullanır. Daralan desen; sürecin başında, sonuna kıyasla daha fazla sayıda farklı modelleme prensiplerini eş zamanlı kullanan tasarımcıları tanımlamaktadır. Genişleyen desen, daralan desenin tersi olarak düşünülebilir. Burada; sürecin başında, sonuna kıyasla daha az sayıda farklı modelleme prensibi kullanılmaktadır. Atlamalı desen ise, sürecin herhangi bir aşamasında, modelleme prensipleri arasında geçiş yapan tasarımcıları tanımlamaktadır.



Şekil 5.15. Örnek modelleme davranış desenleri

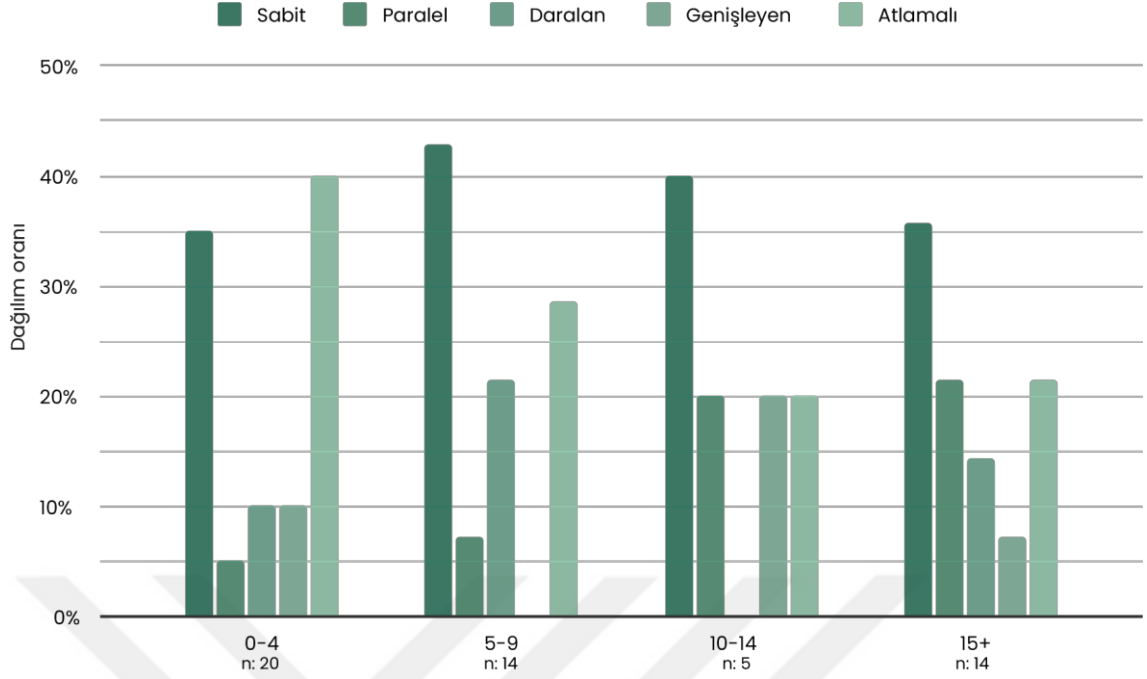
Modelleme davranış desenlerinin katılımcı gruplarındaki dağılımına bakıldığında, **Şekil 5.16**'daki yüzdelikler ortaya çıkmaktadır. **Şekil 5.16**'da yer almayan düşük deneyimli tasarımcı (DT) grubu (**Şekil 5.5**), katılımcı sayılarının düşük olmasından dolayı bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.



Şekil 5.16. Katılımcı gruplarının modelleme davranış desenleri dağılımı
(n: katılımcı sayısı)

SYT grubunun; katılımcı sayıları daha yüksek olan tasarımcı ve tüm katılımcılar gruplarıyla paralel bir dağılımla sahip olduğu görülmektedir. Bu noktada tasarımcılar ve tasarımcı olmayanlar arasındaki temel fark, sabit deseni gösterme oranında ve bu desendeki modelleme prensibi tercihinde gözlemlenmektedir. Tasarımcılar sabit desen içerisinde yüzey modelleme prensibini ağırlıklı olarak tercih ederken, tasarımcı olmayan grupta katı modelleme prensibi ön plana çıkmaktadır.

SYT grubunun modelleme davranış desenlerinin mesleki deneyim yılına bağlı dağılımına bakıldığında, 0-4 yıl arası mesleki deneyime sahip katılımcıların CAD yazılımlarını ağırlıklı olarak atlamalı desende kullandıkları gözlemlenmektedir (**Şekil 5.17**). 5-9 yıl ve zamana bağlı mesleki deneyimi daha yüksek olan katılımcılar ise, sabit modelleme davranış deseni ön plana çıkmaktadır.



Şekil 5.17. SYT grubunda, meslek yılı deneyime göre modelleme davranış desenleri dağılımı
(n: katılımcı sayısı)

5.4. Üç Boyutlu Modelleme Aşamalarındaki Etkin Parametrelerin Saptanması

Anketin üçüncü ve dördüncü bölümde, katılımcıların CAD modelleme üzerinde uyguladıkları revizyonların nedenleri hakkında açık uçlu sorular aracılığıyla veri toplanmıştır. Toplanan veriler kodlanarak, CAD modelinde uygulanan revizyonlara neden olan etkin parametreler saptanmaya çalışılmıştır. Bu parametreler şöyle listelenebilir:

- P₁: Form ve Ergonomi
- P₂: Üretilirlik / Katı model / Montaj İlişkileri
- P₃: Sadeleştirme
- P₄: Ölçü Revizyonu / Tolerans
- P₅: Et kalınlığı
- P₆: Yüzey kalitesi / Ters Açık / Destek Materyali
- P₇: Malzeme
- P₈: Mekanik Özellik / Mukavemet
- P₉: Süre
- P₁₀: Maliyet

Ürünün formu ve ergonomisinin CAD modeline etkisi P_1 (Parametre 1) olarak belirlenmiştir. P_2 , katı yüzey veya poligon ağ prensiplerinden herhangi birisi tercih edilse dahi, modelin uzayda hacim kaplaması, diğer bir deyişle katı olma durumunu belirtir. Bu durum modelin üretilebilirliğini tanımlar. P_2 'ye, modelleme ortamındaki montaj ilişkileri de dahil edilmiştir. Hızlı prototipleme ile seri üretim yöntemlerinin toleransları belirli durumlarda örtüşmemektedir. Bu durumda model üzerinde belirli sadeleştirme yani hızlı prototipleme için CAD modelinin gereksiz görülen detaylardan arındırma işlemleri gerçekleştirilebilir. P_3 , bu anlamdaki sadeleştirmeyi ifade etmektedir. P_4 , model üzerinde uygulanan, ölçü veya toleransla ilgili değişiklikleri ifade eder. P_5 , 3 boyutlu yazılarda duvar kalınlığı, CNC işleme ve diğer seri üretim yöntemlerinde et kalınlığı olarak ifade edilen parametredir. Biçimlendirmeli, eksiltmeli veya eklemeli tüm imalat yöntemlerinde yer alan ve modelleme süreçlerini etkileyen yüzey kalitesi, P_6 olarak parametreler arasında yer alır. CNC işleme ve diğer seri üretim yöntemlerindeki ters açı ve 3 boyutlu yazıcılardaki karşılığı ile destek materyalleri ile ilgili uygulanan değişiklikler de P_6 altında toplanmıştır. Sorunun yönelttiği tasarım aşamasına göre P_7 , prototip veya nihai ürün malzemesi olarak iki farklı kullanımı için birleştirilmiştir. P_8 , üretilecek olan parçanın mekanik özelliklerini ve mukavemetini belirler ve malzeme, et kalınlığı ve formu ilişkilidir. P_9 ve P_{10} , P_7 gibi bağlama göre prototipleme veya seri üretim süresi ve maliyet olmak üzere gruplandırılmıştır.

Modellemeye etken parametrelerin geçerliliğine ilk olarak; STY grubu özelinde, hızlı prototipleme ve seri üretim aşamaları altında bakılmıştır. Modellemeye etken parametrelerin; kaç katılımcı için geçerli olduğunun, açık uçlu soruları yanıtlayan katılımcılara oranı **Tablo 5.4**'de özetlenmiştir.

Anket sonucunda elde edilen verilerle, etken parametrelerin modelleme sürecindeki farklı aşamalara ne şiddette etki ettiğine dair bilgiler eksik kalmıştır. Ek olarak, modelleme davranış desenlerini sergileyen kullanıcılar hakkında anket aracılığıyla elde edilen bilgiler de sınırlıdır. Bu sebeple farklı modelleme davranış desenlerinden gönüllü katılımcılarla yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması limitleri dahilinde her bir davranış deseninden birer katılımcı ile görüşmeler tamamlanmıştır.

Tablo 5.4. Kodlanmış parametrelerin SYT grubundaki dağılımı

	Prototipleme ölçeği		3 boyutlu baskı		CNC işleme		Seri üretim	
	Toplam Yanıt: 16		Toplam Yanıt: 32		Toplam Yanıt: 17		Toplam Yanıt: 29	
	Yanıt	Oran	Yanıt	Oran	Yanıt	Oran	Yanıt	Oran
P₁	2	%12,5	8	%25,0	5	%29,4	1	%3,4
P₂	5	%31,5	8	%25,0	3	%17,6	14	%48,3
P₃	3	%18,8	1	%3,1	1	%5,9	0	%0
P₄	6	%37,5	13	%40,6	8	%47,1	9	%31,0
P₅	7	%43,8	13	%40,6	2	%11,8	4	%13,8
P₆	3	%18,8	5	%15,6	1	%5,9	7	%24,1
P₇	1	%6,3	2	%6,3	3	%17,6	1	%3,4
P₈	3	%18,8	7	%21,9	4	%23,5	5	%17,2
P₉	1	%6,3	1	%3,1	1	%5,9	0	%0
P₁₀	1	%6,3	5	%15,6	3	%17,6	9	%31,0

Araştırmanın ikinci adımı olan yarı yapılandırılmış görüşmelerde her katılımcıya özel olarak belirlenen CAD kullanılan aşamaları için, modellemeye etki eden parametrelerin etkenlik dereceleri tespit edilmiştir. Bu yapı, modelleme davranış desenleri hakkındaki anket ile elde edilen sınırlı bilgiyi genişletmeyi amaçlamıştır.

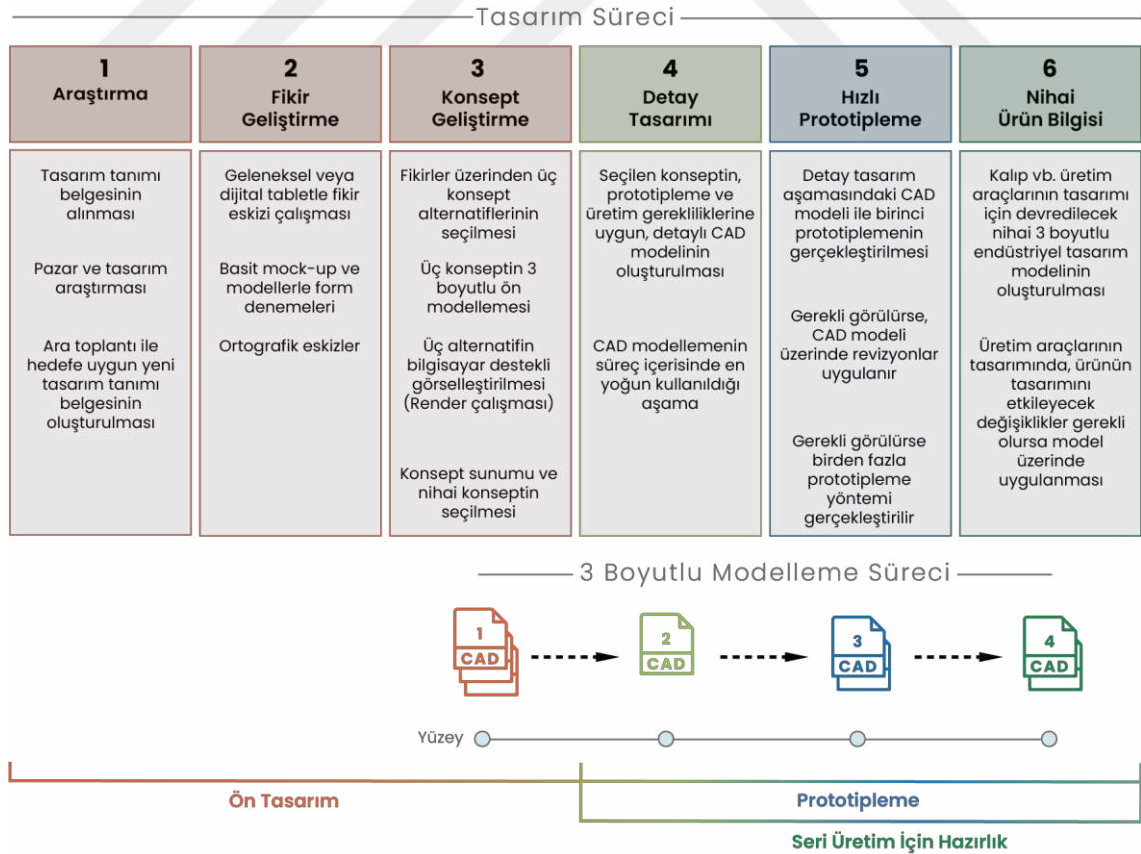
Yapılan görüşmelerde katılımcılardan kendi tasarım süreçlerini temel aşamalara bölümlenerek değerlendirilmesi istenmiştir. Aşamalar aynı anket çalışmasındaki gibi ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık süreçlerini işaret edecek şekilde tekrar kodlanmıştır. Devamında, tasarımcılara hangi aşamalarda CAD yazılımları kullandıklarına dair sorular yöneltilmiştir. CAD modeli kullanılan her bir aşama için; modellemeye etken parametrelerin etkenlik derecesi, likert ölçekli sorularla değerlendirilmiştir. Etkenlik derecesinin değerlendirme ölçeğinde “0: Hiç etkili değil”, “4: Çok etkili” olarak tanımlanmıştır. Görüşmelerden elde edilen bilgiler her bir davranış deseni özelinde bir sonraki başlıkta aktarılmıştır.

5.4.1. Sabit desen

Sabit modelleme davranış deseninin gözlemlenmesi için, K103 kodlu katılımcı ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 15 yılın üzerinde mesleki deneyime sahiptir. Bireysel tasarım sürecini altı temel aşamaya ayırarak aktaran katılımcının, görüşme özeti **Şekil 5.18**'de sunulmaktadır. Katılımcının CAD modeli kullandığı aşamalardaki parametrelerin etkinlik dereceleri, **Şekil 5.19**'da yer almaktadır.

K103 katılımcısı için, CAD modeli ilk olarak konsept geliştirme aşamasında oluşturulmaktadır. Detay tasarım aşamasında; ilk oluşturulan model baz alınarak, CAD dosyası prototipleme gerçekleştirilebilecek olgunluğa gelmektedir. Nihai CAD modeli, seri üretim için hazırlık aşamasında, üretim araçlarının tasarımının gerçekleştirilebilmesi için kalıp tasarımcılarına devredilmektedir.

Şekil 5.19'da sunulan CAD modeline etki eden parametreler ve etkenlik dereceleri, K103 katılımcısı için her aşamada farklılık göstermektedir. Parametre etkenliklerinin en şiddetli olduğu aşama; CAD model kullanımının da aynı zamanda en yoğun olduğu belirtilen detay tasarımıdır.



Şekil 5.18. Sabit modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti



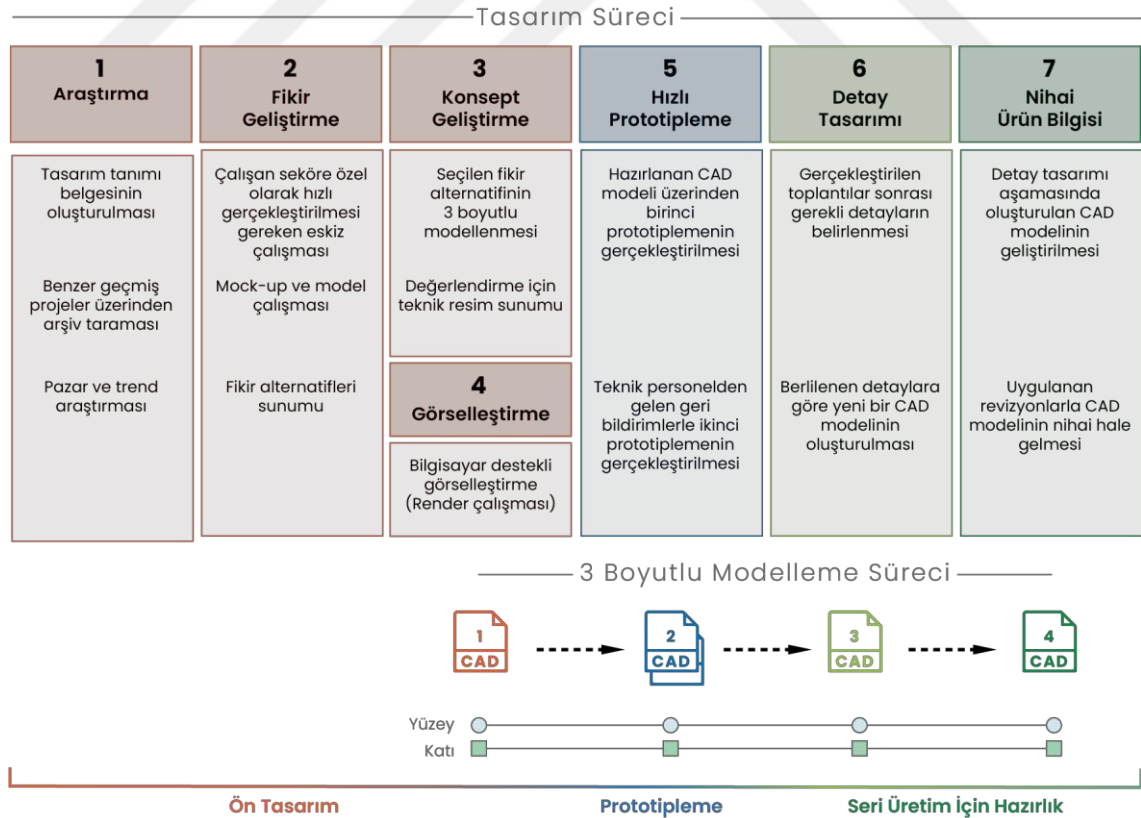
Şekil 5.19. Sabit modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri

5.4.2. Paralel desen

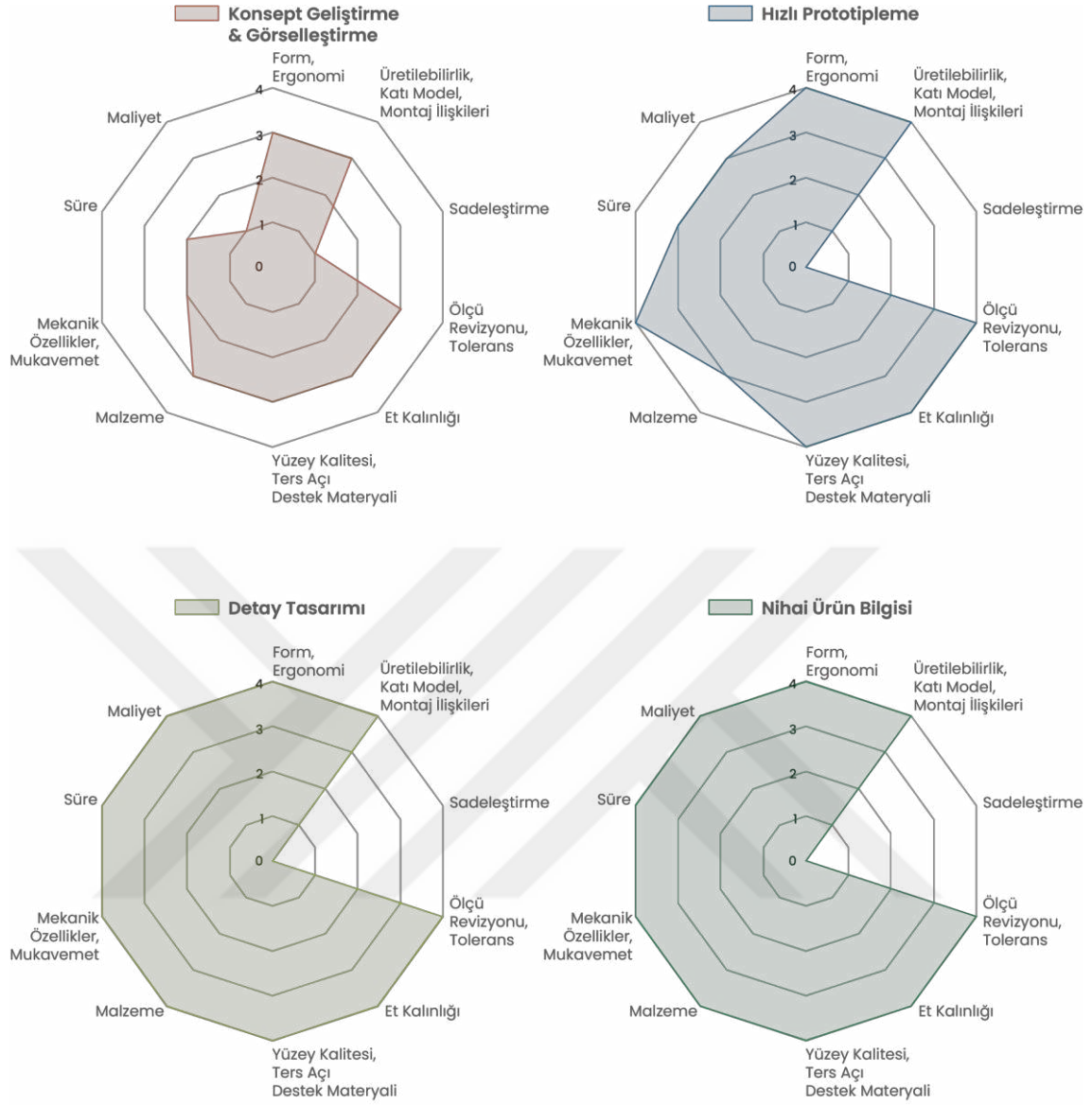
Paralel modelleme davranış deseninın gözlemlenmesi için, K096 kodlu katılımcı ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 5-9 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Bireysel tasarım sürecini yedi temel aşamaya ayırarak aktaran katılımcının, görüşme özeti **Şekil 5.20**'de sunulmaktadır. Katılımcının CAD modeli kullandığı aşamalardaki parametrelerin etkinlik dereceleri, **Şekil 5.21**'de yer almaktadır.

K096 katılımcısı için, CAD modeli ilk olarak konsept geliştirme aşamasında oluşturulmaktadır. Gerçekleştirilen hızlı prototipleme uygulamalarının ardından toplantılarla belirlenen ürün detayları, detay tasarımı aşamasında CAD dosyasına işlenmektedir. Seri üretim için hazırlanan nihai CAD dosyası, detay tasarım aşamasında oluşturulan modelin geliştirilmesiyle elde edilmektedir.

Şekil 5.21'de sunulan CAD modeline etki eden parametreler ve etkenlik dereceleri, K096 katılımcısı için konsept geliştirme ve görselleştirme aşaması dışında paralellik göstermektedir. Parametre etkenliklerinin en şiddetli olduğu aşamalar detay tasarımı ve nihai ürün bilgisinin oluşturulmasıdır.



Şekil 5.20. Paralel modelleme deseniindeki katılımcının tasarım süreci özeti



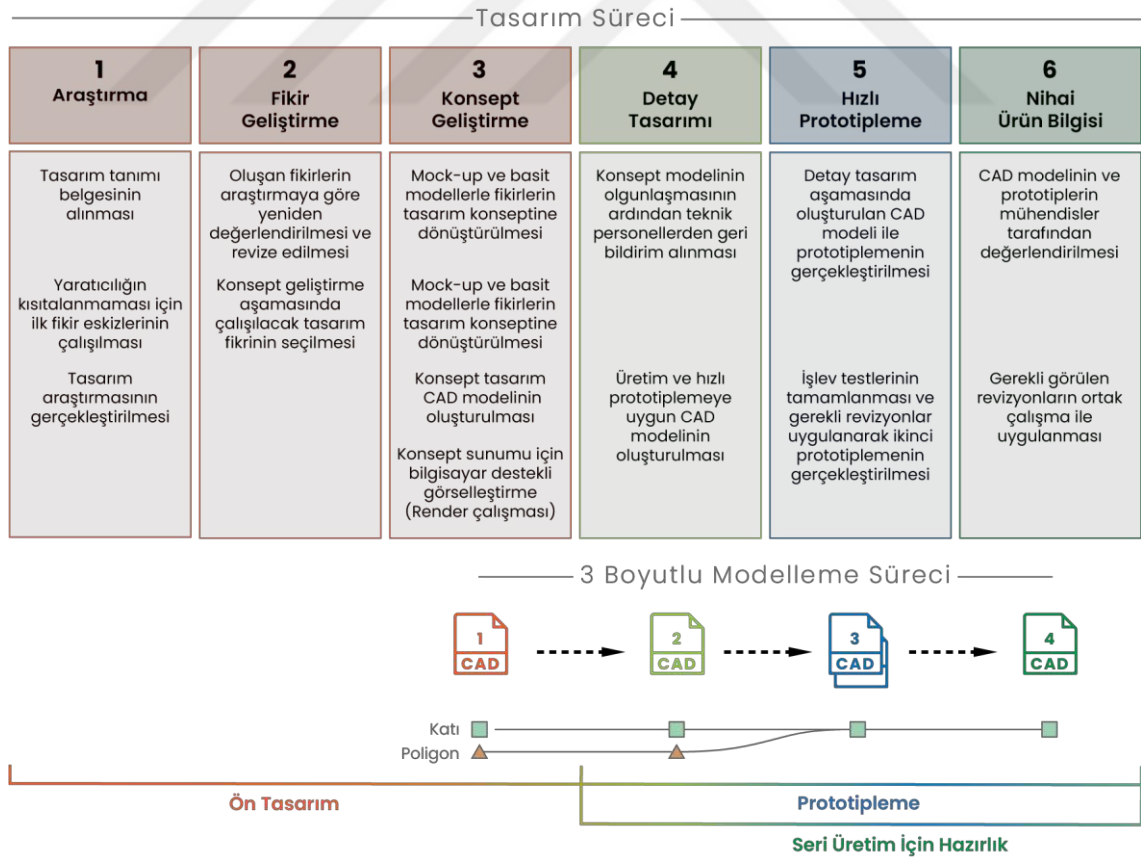
Şekil 5.21. Paralel modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri

5.4.3. Daralan desen

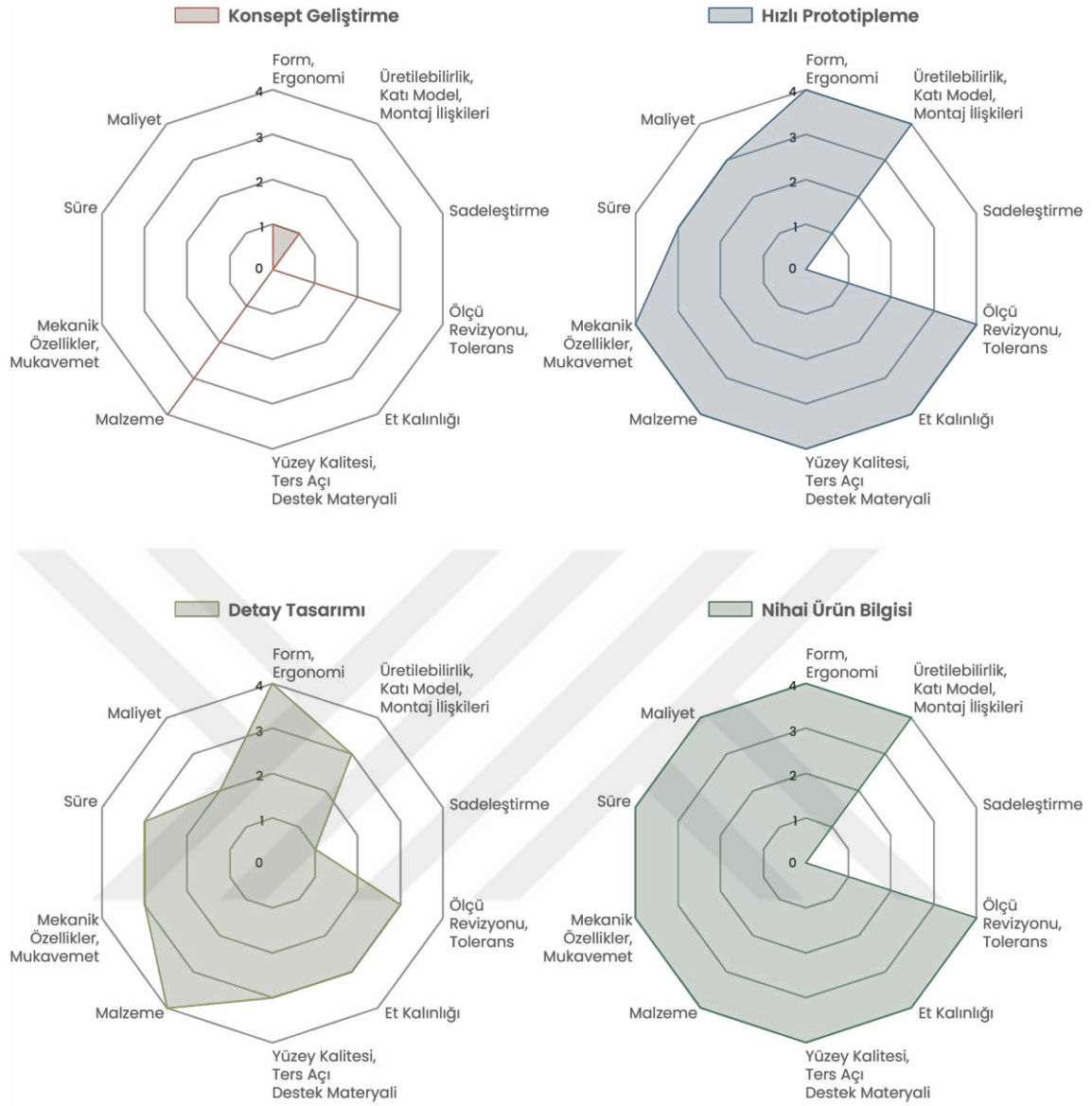
Daralan modelleme davranış deseninin gözlemlenmesi için, K021 kodlu katılımcı ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 0-4 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Bireysel tasarım sürecini altı temel aşamaya ayırarak aktaran katılımcının, görüşme özeti **Şekil 5.22**'de sunulmaktadır. Katılımcının CAD modeli kullandığı aşamalardaki parametrelerin etkinlik dereceleri, **Şekil 5.23**'de yer almaktadır.

K021 katılımcısı için; konsept geliştirme aşamasında oluşturulan modelin olgunlaşmasının ardından teknik personelden alınan geri bildirimle, detay tasarım ve hızlı prototipleme modelleri oluşturulur. Nihai CAD modeli mühendislerle gerçekleştirilen değerlendirme ve ortak çalışma sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5.23'de sunulan CAD modeline etki eden parametreler ve etkenlik dereceleri, K021 katılımcısı için hızlı prototipleme ve nihai ürün bilgisinin oluşturulması aşamalarında paralellik göstermektedir. Bu aşamalarda, parametre etkenliklerinin şiddetli olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.22. Daralan modelleme desenindeki katılımcının tasarım süreci özeti



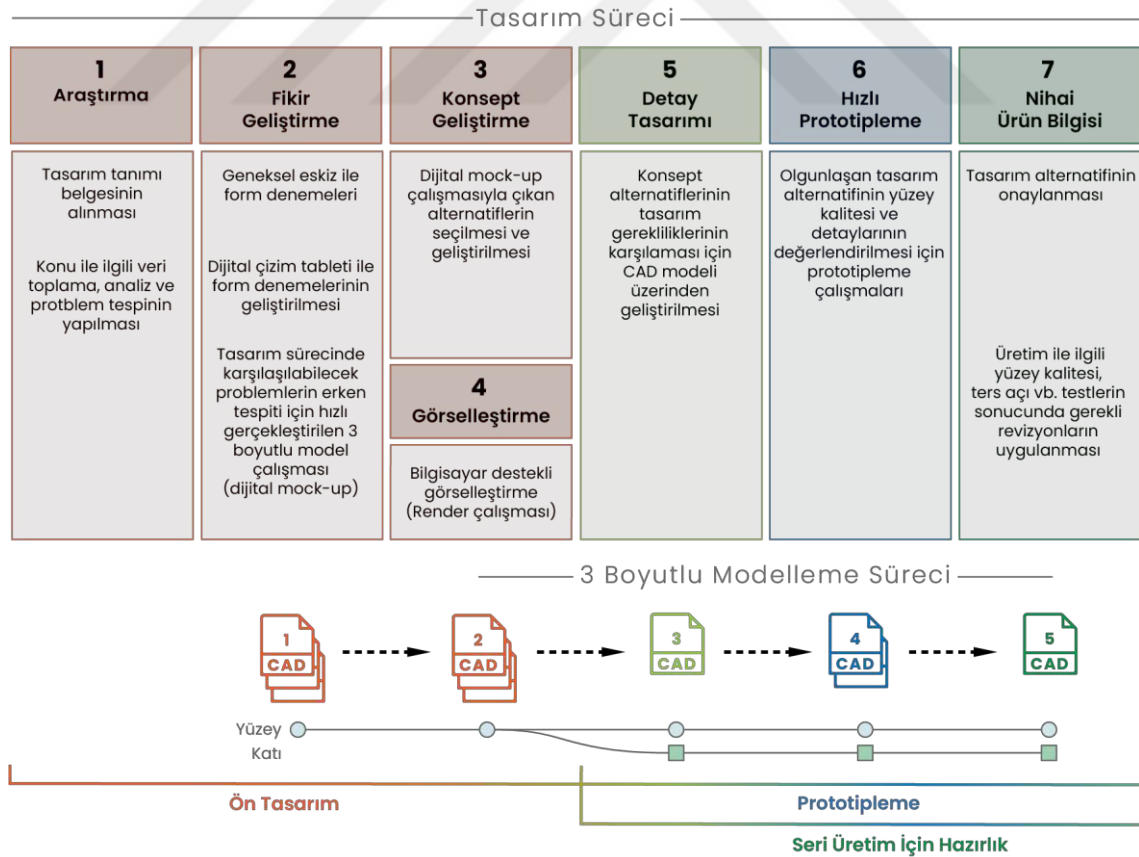
Şekil 5.23. Daralan modelleme desinindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri

5.4.4. Genişleyen desen

Genişleyen modelleme davranış deseninin gözlemlenmesi için, K048 kodlu katılımcı ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 0-4 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Bireysel tasarım sürecini yedi temel aşamaya ayırarak aktaran katılımcının, görüşme özeti **Şekil 5.24**'de sunulmaktadır. Katılımcının CAD modeli kullandığı aşamalardaki parametrelerin etkinlik dereceleri, **Şekil 5.25**'de yer almaktadır.

K048 katılımcısı için, CAD modeli ilk olarak fikir geliştirme aşamasında oluşturulmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan modeller; konsept geliştirme, detay tasarımı ve hızlı prototipleme aşamaları boyunca geliştirilir. Seri üretim için hazırlanan nihai CAD dosyası, teknik geri bildirimler sonucundaki revizyonların uygulanmasıyla tamamlanmaktadır.

Şekil 5.25'de sunulan CAD modeline etki eden parametreler ve etkenlik dereceleri, K048 katılımcısı için her aşamada farklılık göstermektedir. Parametre etkenliklerinin en şiddetli olduğu aşamalar nihai ürün bilgisinin oluşturulmasıdır.



Şekil 5.24 Genişleyen modelleme deseni içindeki katılımcının tasarım süreci özeti



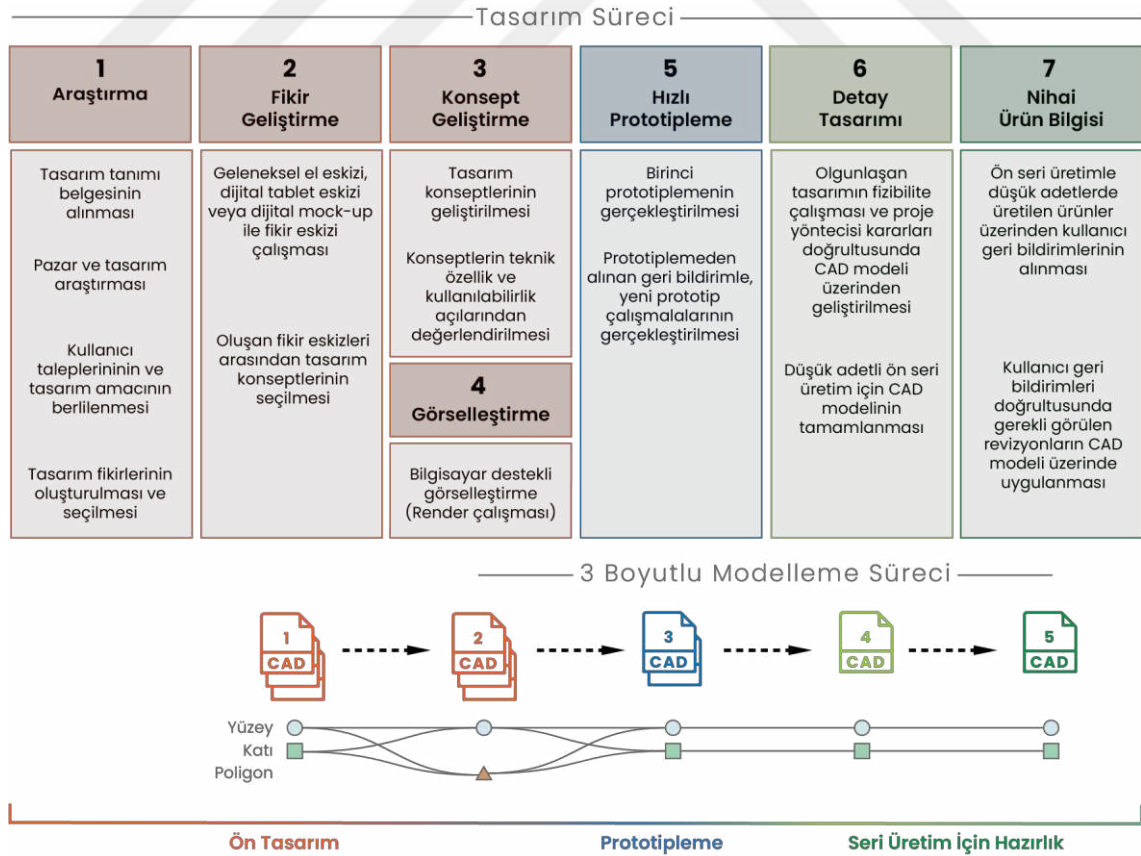
Şekil 5.25. Genişleyen modelleme desenindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri

5.4.5. Atlamalı desen

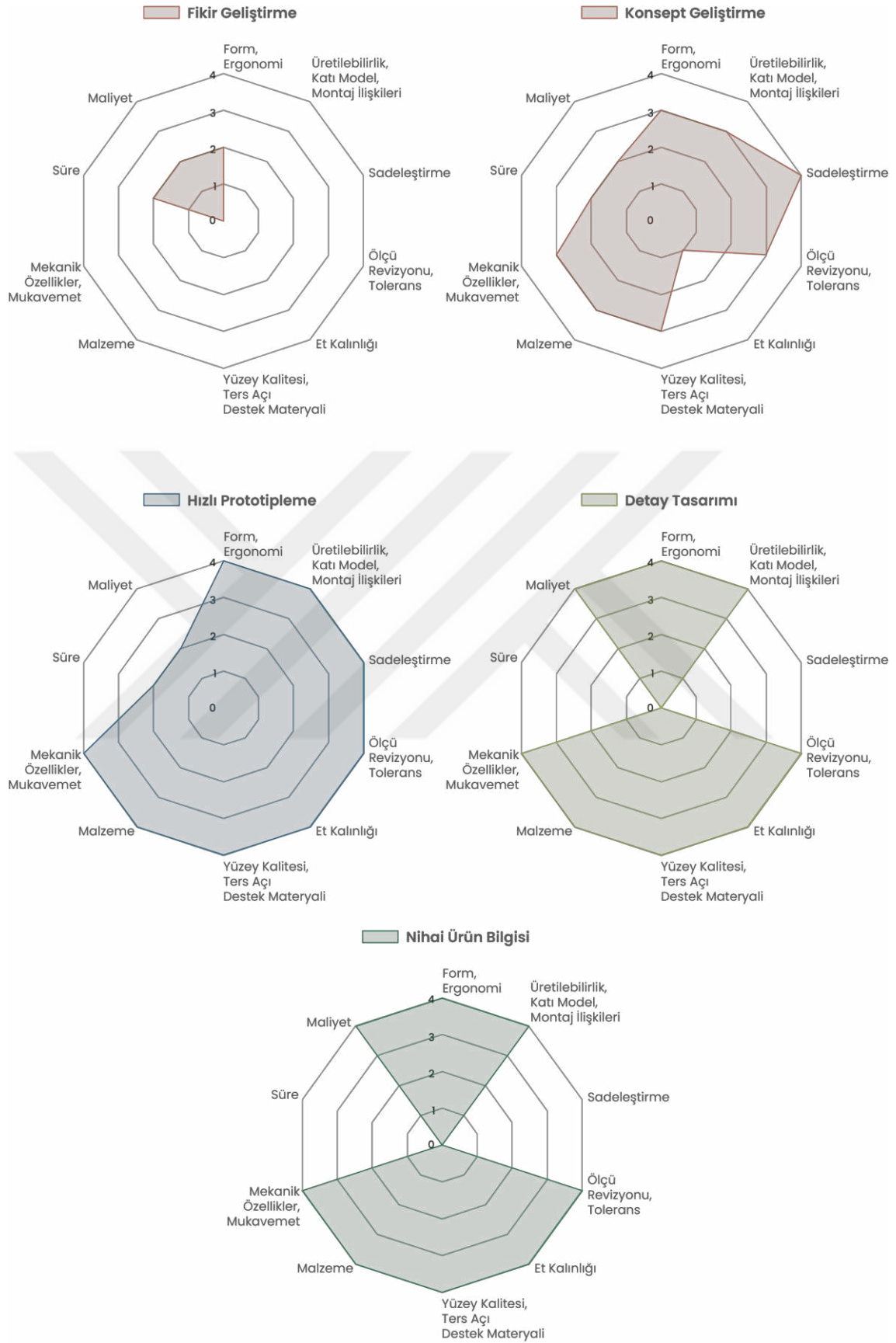
Atlamalı modelleme davranış deseninın gözlemlenmesi için, K006 kodlu katılımcı ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Katılımcı 0-4 yıllık mesleki deneyime sahiptir. Bireysel tasarım sürecini yedi temel aşamaya ayırarak aktaran katılımcının, görüşme özeti **Şekil 5.26** sunulmaktadır. Katılımcının CAD modeli kullandığı aşamalardaki parametrelerin etkinlik dereceleri, **Şekil 5.27**'de yer almaktadır.

K006 katılımcısı için, CAD modeli ilk olarak fikir geliştirme aşamasında oluşturulmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan modeller, konsept geliştirme aşamasında değerlendirilip geliştirilir. Hızlı prototipleme aşamasında olgunlaşan model, detay tasarımı nihai ürün bilgisinin oluşturulduğu aşamalarda, kullanıcı geri bildirimleri sonucunda uygulanan revizyonlarla tamamlanmaktadır.

Şekil 5.27'de sunulan CAD modeline etki eden parametreler ve etkenlik dereceleri, K006 katılımcısı için detay tasarımı ve nihai ürün bilgisinin oluşturulduğu aşamalarda paralellik göstermektedir. Parametre etkenliklerinin en şiddetli olduğu aşama hızlı prototipleme uygulamalarının gerçekleştirilmesidir.



Şekil 5.26. Atlamalı modelleme deseniindeki katılımcının tasarım süreci özeti

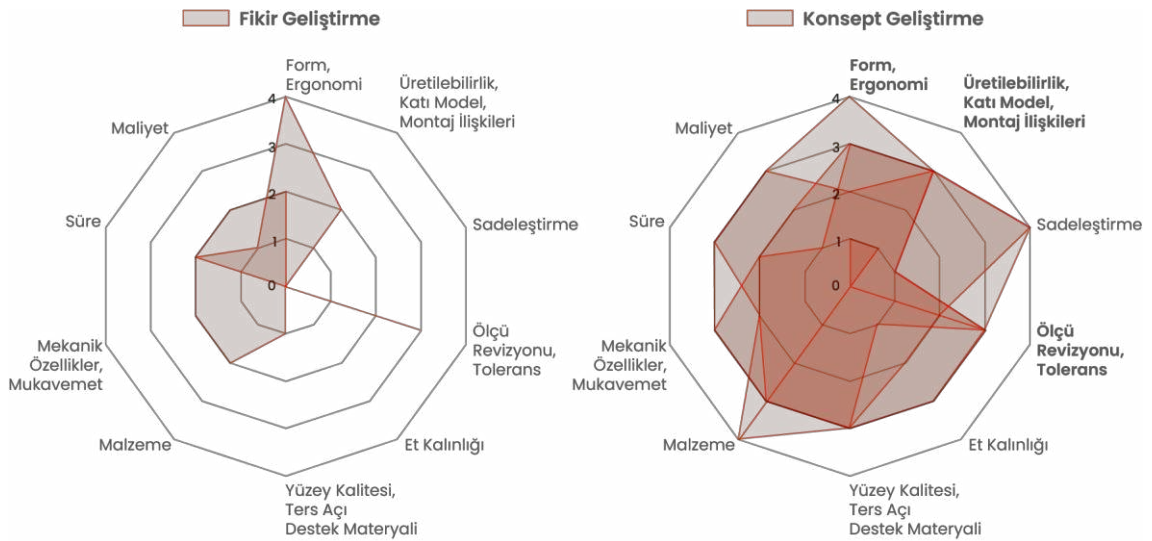


Şekil 5.27. Atlamalı modelleme deseniindeki katılımcıya göre parametrelerin etkenlik dereceleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması, endüstriyel tasarımda; ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamalarında CAD modeli evrimi ve bu evrimdeki etken parametrelerin saptanması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda anket çalışması ve yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Farklı tasarımcı profillerini temsil ettiği düşünülen katılımcılardan toplanan veriler bir araya getirilerek, CAD modelinin evrim aşamalarına genel çerçevede etki eden parametreler ve bu parametrelerin etkenlik dereceleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, farklı modelleme davranış desenlerini benimsemiş tasarımcılarla gerçekleştirilen beş görüşmeden elde edilen veriler bir araya getirilerek (üst üste konulan katmanlar olarak) sunulmaktadır. Bu noktada, ilgili tasarım aşaması altında kullanılan CAD modeline etken parametreleri ifade eden alanlar, sunulan şekil içerisinde koyulaştıkça, o parametrenin genel çerçevedeki geçerliliğinin daha yüksek olacağı ön görülmüştür.

Araştırma sonucunda; tasarım fikrinin/konseptinin geliştirilmesi ve sunulması için kullanılan dijital mock-up ve görselleştirme modelleri olmak üzere, ön tasarımda iki ayrı CAD modeli evrimi gözlemlenmiştir. Görüşmeye dahil olan katılımcılarından toplanan veriler, ön tasarım aşaması özelinde birleştirildiğinde **Şekil 6.1** oluşmaktadır. Fikir geliştirme aşamasındaki verilerin eksikliği, bu aşama için bir saptama yapılmasını zorlaştırmaktadır. Konsept geliştirme aşamasına bakıldığında; ürünün formunu, ergonomisini, ölçülerini, malzemesini ve üretilebilirliğini etkileyen modelleme parametreleri ön plana çıkmaktadır.



Şekil 6.1. Ön tasarım aşamasında CAD modeli etken parametreleri ve gözlemlenen etkenlik dereceleri

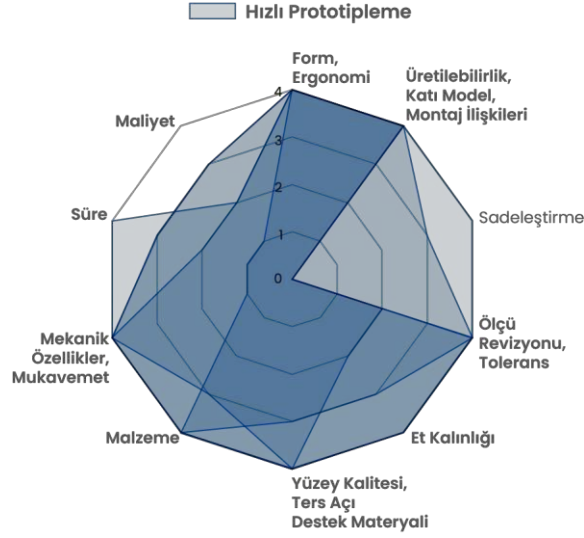
Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre; ön tasarım sürecindeki modellemeye etken parametrelerden bazıları aynı etkenlik derecelerine sahiptir. Bu durum göz önünde bulundurularak, parametreler en yüksek etkenlik derecesinden başlanarak **Şekil 6.2**'de sıralanmıştır.

Ön Tasarım	
Form / Ergonomi	2,7
Malzeme	2,7
Ölçü Revizyonu / Tolerans	2,4
Üretilebilirlik / Katı model / Montaj ilişkileri	2,1
Süre	2,0
Yüzey Kalitesi / Ters Aç / Destek Materyali	1,9
Mekanik Özellik / Mukavemet	1,7
Maliyet	1,7
Sadeleştirme	1,4
Et kalınlığı	1,3
Ortalama	2,0

Şekil 6.2. Ön tasarım aşamasına etken parametrelerin sıralaması

Tasarımın sürecinin, prototipleme aşaması altında değerlendirilen ve hızlı prototipleme için oluşturulmuş CAD modelleri; tek bir başlık altında incelenmiştir. Bu aşama tek bir başlık altında sunulmasına karşın; tüm modelleme desenlerindeki katılımcılar, çoğu zaman tasarım süreçlerinde birden fazla hızlı prototipleme gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyduklarını belirtmiştir. Görüşme katılımcılarından toplanan veriler, prototipleme aşaması özelinde birleştirildiğinde **Şekil 6.3** oluşmaktadır.

Modellemeye etken parametreler bütünsel değerlendirildiğinde, en yüksek etkenlik derecesi bu aşamada gözlemlenmiştir. Prototipleme maliyeti ve CAD modelinin ilgili aşama için gereksiz görülen detaylardan arındırıldığı sadeleştirme haricindeki parametrelerin; bu aşamada modelleme sürecini önemli ölçüde etkilediği sonucuna ulaşılmaktadır.



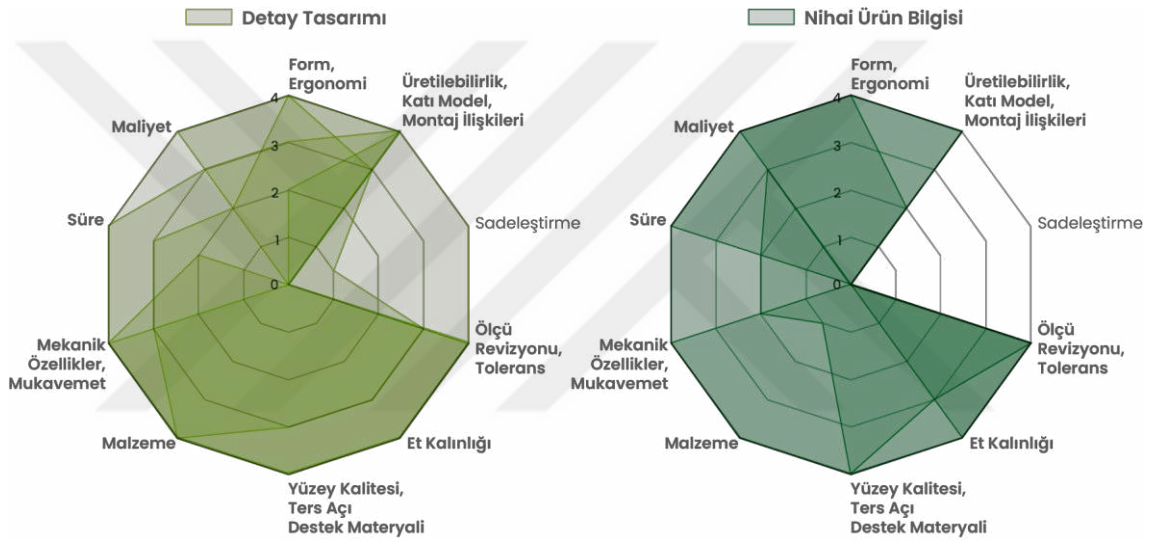
Şekil 6.3. Prototipleme aşamasında CAD modeli etken parametreleri ve gözlemlenen etkenlik dereceleri

Prototipleme sürecindeki modellemeye etken parametrelerden çoğu aynı oranda ve üç aşama içerisindeki parametre ortalamaları açısından en yüksek etkenlik derecelerine sahiptir. Parametreler en yüksek etkenlik derecesinden başlanarak **Şekil 6.4'**de sıralanmıştır.

Hızlı Prototipleme	
Üretilebilirlik / Katı Model / Montaj ilişkileri	3,8
Ölçü Revizyonu / Tolerans	3,8
Et Kalınlığı	3,8
Yüzey Kalitesi / Ters Aç / Destek Materyali	3,8
Malzeme	3,8
Mekanik Özellik / Mukavemet	3,8
Form / Ergonomi	3,4
Süre	2,8
Maliyet	2,0
Sadeleştirme	1,8
Ortalama	3,3

Şekil 6.4. Prototipleme aşamasına etken parametrelerin sıralaması

Seri üretim için hazırlık aşaması altında, detay tasarımı ve nihai ürün bilgisinin oluşturulması iki farklı adım olarak incelenmiştir. Görüşmeye katılan sabit, daralan ve genişleyen modelleme davranış desenini benimsemiş tasarımcılar için; detay tasarımı ile hızlı prototipleme aşamalarının gerçekleşme sıralamalarının yer değiştirdiği görülmüştür. Bu durum, detay tasarımı ve hızlı prototipleme aşamalarının, diğer aşamalara göre birbirleri arasında daha geçişken olduğu yönünde yorumlanabilir. Görüşme katılımcılarından toplanan veriler, seri üretim için hazırlık aşaması özelinde birleştirildiğinde **Şekil 6.5** oluşmaktadır.



Şekil 6.5. Seri üretim için hazırlık aşamasında CAD modeli etken parametreleri ve gözlemlenen etkenlik dereceleri

Detay tasarım ve nihai ürün bilgisinin oluşturulduğu aşamalarındaki modellemeye etken parametreler, temelde paralellik göstermektedir. İki aşama arasındaki en belirgin fark; CAD modeli için gereksiz görülen detaylardan arındırıldığı sadeleştirme parametresinin, nihai üretim bilgisinde hiç etkili olmamasıdır. Nihai üretim bilgisinin oluşturulduğu aşamada, üretim maliyeti göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen revizyonlar, detay tasarım aşamasına göre ön plana çıkmaktadır. Sadeleştirme haricindeki tüm parametrelerin, iki aşama için de oluşturulan CAD modelini önemli ölçüde etkilediği sonucuna ulaşılmaktadır.

Seri üretim için hazırlık sürecindeki modellemeye etken parametrelerden bazıları aynı etkenlik derecelerine sahiptir. Parametreler en yüksek etkenlik derecesinden başlanarak **Şekil 6.6**'da sıralanmıştır.

Seri Üretim için Hazırlık	
Üretilirlik / Katı Model / Montaj ilişkileri	3,8
Ölçü Revizyonu / Tolerans	3,8
Form / Ergonomi	3,6
Et Kalınlığı	3,6
Yüzey Kalitesi / Ters Açık / Destek Materyali	3,5
Malzeme	3,3
Maliyet	3,3
Mekanik Özellik / Mukavemet	3,1
Süre	2,6
Sadeleştirme	0,3
Ortalama	3,1

Şekil 6.6. Seri üretim için hazırlık aşamasına etken parametrelerin sıralaması

CAD modelinin evrim aşamalarının; tasarımcının eğitimine, algısına, pratik deneyimine, meslek yılına, çalıştığı sektör ve kurum kültürüne göre değiştiği düşünülmektedir. CAD modelinin evrim aşamalarını etkileyebilecek birçok değişkene karşın; belirli ortak noktalarda birleşen beş farklı CAD modeli evrim aşamasının, etken parametreleri ve etkenlik dereceleri, tez çalışması kapsamında sunulmuştur.

Farklı modelleme davranış desenini benimsemiş beş görüşmeciden elde edilen veriler; ön tasarım, prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları altında birleştirilmiştir. Verilerin birleştirilmesinde modellemeye etken parametrelerin, etkenlik dereceleri üzerinden aritmetik ortalamaları alınmıştır. Fikir geliştirmedeki CAD modeli kullanım; iki katılımcı üzerinden incelenebildiği için, ön tasarım aşamasındaki ortalamaya etkisi, toplam veri sayısına göre orantılı olarak azaltılmıştır. Seri üretim için hazırlık aşaması ise detay tasarımı ve nihai üretim bilgisinin oluşturulduğu aşamalarının aritmetik ortalaması olarak alınmıştır. Sonuç olarak, tez çalışmasının nihai özeti olarak değerlendirilebilecek **Tablo 6.1** ortaya çıkmıştır.

Tablo 6.1. CAD modeline etken parametrelerin, tasarım aşamalarındaki gözlemlenen etkenlik derecelerinin ortalamaları

(0: Etkili değil, 4: Çok etkili)

	Etken Parametre	Ön Tasarım	Prototipleme	Seri Üretim İçin Hazırlık
P₁	Form / Ergonomi	2,7	3,4	3,6
P₂	Üretilebilirlik / Katı Model / Montaj İlişkileri	2,1	3,8	3,8
P₃	Sadeleştirme	1,4	1,8	0,3
P₄	Ölçü Revizyonu / Tolerans	2,4	3,8	3,8
P₅	Et kalınlığı	1,3	3,8	3,6
P₆	Yüzey kalitesi / Ters Açık / Destek Materyali	1,9	3,8	3,5
P₇	Malzeme	2,7	3,8	3,3
P₈	Mekanik Özellik / Mukavemet	1,7	3,8	3,1
P₉	Süre	2,0	2,8	2,6
P₁₀	Maliyet	1,7	2	3,3
	Ortalama	2,0	3,3	3,1

Tablo 6.1 değerlendirildiğinde; ön tasarım, hızlı prototipleme ve seri üretim için hazırlık aşamaları arasında, CAD modelinin evrimi ile ilgili parametrelerin etkenlik dereceleri sıralaması ortaya çıkmaktadır. 4 üzerinden 3,3 ortalama ile CAD modeline etken parametreler prototipleme aşamasında birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada 3,1 ortalama ile seri üretim için hazırlık aşaması takip ederken, son sırada 2,0 değerindeki etkenlik derecesi ile ön tasarım aşaması yer almaktadır.

Ön tasarım aşamasındaki 3 boyutlu modellemeye etken parametrelerin, diğer aşamalara göre daha düşük etkenlik derecesinde gözlemlenmesi; bu aşamanın tasarımcıların, yaratıcı süreçleri herhangi bir sınırlama olmadan özgür ve esnek bir şekilde tamamlama eğilimlerinden kaynaklandığı yönünde yorumlanabilir.

Modellemeye etken parametrelerin en yüksek etkenlik derecesine sahip olduğu prototipleme aşamasında; belirli kriterleri sağlayan başarılı sonuçların elde edilebilmesi için gerekli bazı temel ilke ve kuralların varlığı literatür tarafından da ortaya konulmuştur (CNC machining: The manufacturing & design guide, 2020; Redwood, Schöffner ve Garret, 2017; Ulrich, Eppinger ve Yang, 2020). Sınırların daha esnek olduğu ön tasarım aşamasından prototipleme aşamasına geçildiğinde, belirtilen temel ilke ve kurallara paralel olarak, CAD modelindeki etken parametrelerin önem kazandığı anlaşılmaktadır. Prototipleme aşamasında; CAD modeli üzerinden aynı anda ve aynı önem derecesinde

pek çok tasarım kararı alınmasının gerekliliği, modellemeye etki eden parametrelerin (P_2 , P_4 , P_5 , P_6 , P_7 , P_8) etkenlik derecelerinin eşit sayısal değerde gözlemlenmesiyle yorumlanabilir.

Seri üretim için hazırlık aşaması da modellemeye etken parametrelerin etkenlik derecelerinin ortalaması açısından prototiplemeye yakındır. Ancak prototiplemenin aksine, parametrelerin etkenlik derecelerindeki bakılarak, parametreler üzerinde net bir hiyerarşik sıralama yapılabilmektedir. Seri üretim için hazırlık aşamasında modellemeye etken parametreler üzerinde bu hiyerarşik yapının kurulmasında; prototipleme aşamasındaki CAD modeli üzerinde eş zamanlı alınmış kararlar etkili olabilir. Ek olarak, bu durumun; prototipin sağladığı geri bildirim döngüsünden veya seri üretim aşamasında, tasarım dışındaki diğer teknik disiplinlerle yapılması zorunlu iş birliklerinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

Modelleme sürecindeki etken parametrelerin ve etkenlik derecelerinin anlaşılmasında çeşitli faydalar olduğu düşünölmektedir. Bu parametrelerin ve etkenlik derecelerinin anlaşılması, öncelikli olarak tasarımcıların modelleme süreçlerinde farkındalık oluşturarak, karşılaşılabilecek hataların ön görölmesini sağlayabilir. Tasarım sürecindeki modellemenin temel aşamalara ayrılarak ele alınması; tasarım sürecinin doğru planlanmasına, farklı aşamalarındaki CAD modelinin oluşturulmasındaki zaman yönetimine de faydalı olacağı düşünölmektedir.

Bir diğer öngörölün fayda ise tasarımcıların, tasarım dışındaki diğer teknik disiplinlerle CAD modeli üzerinden gerçekleştireceği çalışmalarda ortak dil oluşturmasıdır. CAD modelinin; tasarımın hangi aşamasında, hangi işlev ve niteliklere sahip olacağı konusundaki uzlaşının, belirlenen sabit terimlerle ifadesi bu amaca hizmet edebilir. Belirtilen ortak dil, tasarım eğitimindeki CAD dersleri için bir terminoloji görevi alabilir. Tasarım eğitimindeki CAD derslerinde, ön tasarım ve prototipleme için CAD modeli ayrımının yapılması, bu durum için verilebilecek bir örnektir. Etken parametrelerin yüksek etkenlik dereceleri ile değerlendirildiği hızlı prototipleme uygulamalarının, CAD derslerine daha etkili bir biçimde dahil edilmesi, çalışmanın katkı sağlayacağını ön göröldüğu bir diğer örnektir.

Araştırmanın bulguları arasında yer alan modelleme davranış desenlerinin; tasarım eğitiminde veya endüstrisinde ihtiyaç duyulan modelleme yeteneklerinin tespit

edilmesinde ve bu yeteneklerin kazandırılmasına yönelik stratejilerin oluşturulması konusunda faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bulgular, bu desenlere neden olan faktörlerin incelenmesi ve bu desenleri sergileyen tasarımcılara özel bütünleşik CAD programlarının hazırlanmasına yönelik bir çalışmayı destekler niteliktedir. Ancak bu noktada, tez çalışması kapsamındaki modelleme davranış desenlerine ait bulguların, katılımcı sayılarının sınırlı olması nedeniyle bu tür bir bilgiyi üretmek için eksik kaldığı belirtilmelidir. Desenler üzerine elde edilen bulguların ve etken parametrelerin tasarım aşamaları içerisindeki etkenlik derecesi sıralamalarının, geniş bir tasarımcı kitlesinin görüşlerini temsil etmesi beklenmemektedir. Ancak tez çalışmasının, bu konu üzerine genel bir bakış açısı sunduğu düşünülmektedir.

Tez çalışmasının sunduğu, belirtilen genel bakış açısından yola çıkarak; gelecek araştırmalar için önerilerde bulunmaktadır. Tez çalışmasındaki araştırmada, özellikle fikir geliştirme aşamasındaki CAD kullanıma dair bulguların eksikliğinden bahsedilmiştir. Giderek yaygınlaşan ve yeni tekniklerin üretilmeye devam ettiği 3 boyutlu modelleme alanının, endüstriyel tasarım süreçlerindeki ön tasarım aşamasında önem kazanması beklenmektedir. Ön tasarım aşamasında, tasarımcı üslubu tarafından da şekillenmeye açık olan modelleme faaliyetleri ve davranış desenleri üzerine yapılacak araştırmalar zihinsel modeller kavramı ile birleştirilebilir. Bu aşamadaki en etkili parametre olan form / ergonomiyi ve/veya yenilikçi modelleme teknolojilerini odağına alan, ön tasarım aşamasındaki modelleme süreçlerini araştırarak gelecek çalışmaların akademik katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- 3ds Max Support and learning.* (2021). Ocak 2022 tarihinde Autodesk: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/3DSMax-Getting-Started/files/GUID-F8326C68-F2F9-47F7-AC1D-BA41D7825C7C-htm.html> adresinden alındı
- Archer, L. (1965). Systematic method for designers. N. C. (Ed.) içinde, *Developments in Design Methodology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Artec Studio 16.* (tarih yok). Ocak 2022 tarihinde Artec 3D: <https://www.artec3d.com/3d-software/artec-studio> adresinden alındı
- Artley, B. (tarih yok). *Automotive 3D printing applications*. Ocak 2022 tarihinde Hubs: <https://www.hubs.com/knowledge-base/automotive-3d-printing-applications/> adresinden alındı
- Asatekin, M. (1997). *Endüstri Ürünleri Tasarımında Ürün-Kullanıcı İlişkisi*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını 97.01.
- Baxter, M. (1995). *Product Design: A Practical Guide To Systematic Methods Of New Product Development*. Boca Raton: CRC Press.
- Bayazıt, N. (2011). *Endüstri Tasarımı Temel Kavramları*. İstanbul: İdeal Kültür Yayıncılık.
- Best, K. (2006). *Design Management: Managing Design Strategy, Process and Implementation*. Lausanne: Ava Publishing SA.
- Bryden, D. (2014). *CAD and Rapid Prototyping for Product Design*. London: Laurence King Publishing.
- Buxton, B. (2007). *Sketching User Experiences : Getting The Design Right And The Right Design*. Amsterdam: Morgan Kaufmann Elsevier.
- Bürdek, B. (2005). *Design : History, Theory And Practice Of Product Design*. Basel: Birkhäuser Publishers for Architecture.

- Cain, P. (tarih yok). *Supports in 3D Printing: A technology overview*. Ocak 2022 tarihinde Hubs: <https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/> adresinden alındı
- CNC machining: The manufacturing & design guide*. (2020). (Hubs) Ocak 2022 tarihinde Hubs: <https://www.hubs.com/guides/cnc-machining/> adresinden alındı
- Cross, N. (1984). *Developments in Design Methodology*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods, Strategies for Product Design*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Cuffaro, D. (2006). Process. D. Cuffaro, D. Paige, C. Blackman, D. Laituri, D. Covert, L. Sears, & A. Cuffaro içinde, *Process, Materials, And, Measurements* (s. 23-29). Massachusetts: Rockport Publishers.
- Dijk, C. (1995). New insights in computer-aided conceptual design. *Design Studies*(16), 62-80.
- Eekels, J., & Roozenburg, N. (1991). A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: their similarities and differences. *Design Studies*, 4(12), 197-203.
- Evans, M., Pei, E., Cheshire, D., & Graham, I. (2015). Digital sketching and haptic sketch modelling during product design and development. *Int. J. Product Development*, 3(20).
- French, M. (1999). *Conceptual Design for Engineers*. London: Springer-Verlag.
- Fuse 1 SLS Materials: Nylon Powders*. (tarih yok). Ocak 2022 tarihinde Formlabs: <https://formlabs.com/eu/materials/nylon/> adresinden alındı
- Gebhardt, A., & Hötter, J. (2016). *Additive Manufacturing, 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Hanser Publications.
- Generative Design 101*. (tarih yok). Ocak 2022 tarihinde Formlabs: <https://formlabs.com/eu/blog/generative-design/> adresinden alındı
- Gotzsch, J. (1998). Design Orientation in New Product Development. *Managing New Product Innovation* (s. 38-60). London: Taylor & Francis.

- Griffin, M. (2020). *Creo vs SolidWorks: The Differences*. Ocak 2022 tarihinde ALL3DP: <https://all3dp.com/2/solidworks-vs-creo-cad-software-compared/> adresinden alındı
- Groover, M., & Zimmers, E. (1984). *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Pearson.
- Grote, K., Beyer, C., Birke, C., & Tenbusch, A. (2001). Advances in integrating rapid prototyping and 3D digitizing into design methodology and product development processes. *Society for Design and Process Science*, 2(5), 13-22.
- Heskett, J. (2002). *Tasarım*. Ankara: Dost Yayınları.
- Holmquist, L. (2005). Prototyping: generating ideas or cargo cult designs? *Interactions*(12), 48-54.
- Jones, J. (1963). A method of systematic design. N. C. (Ed.) içinde, *Developments in Design Methodology* (s. 9-31). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Lawson, B. (2005). *How Designers Think*. Oxford: Architectural Press.
- Noe, R. (2019). *Car Design Specialties, Part 2: The Clay Modeler*. Ocak 2022 tarihinde Core77: <https://www.core77.com/posts/86265/A-Look-at-Six-Car-Design-Specialties-Part-2-The-Clay-Modeler> adresinden alındı
- Oxford Sözlüğü. (tarih yok). *Oxford Learners Dictionaries*. Ocak 2022 tarihinde Oxford Learners Dictionaries: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/> adresinden alındı
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering Design, A Systematic Approach*. London: Springer.
- Pearson, A. (2020). *Stratasys J750 Brings One-Stop Realism to 3D Printing*. Ocak 2022 tarihinde Stratasys: <https://www.stratasys.com/explore/blog/2016/j750-3d-printe> adresinden alındı
- Pei, E. (2009). *Building a common language of design representations for industrial designers & engineering designers*. Loughborough: Loughborough University.

- Pei, E., Campbell, I., & Evans, M. (2011). A taxonomic classification of visual design representations used by industrial designers and engineering designers. *The Design Journal*, 1(14), 64-91.
- Ranscombe, C., & Bissett-Johnson, K. (2016). Digital sketch modelling: integrating digital sketching as a transition between sketching and cad in industrial design education . *Design and Technology Education*, 1(22).
- Redwood, B., Schöffner, F., & Garret, B. (2017). *The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications*. Amsterdam: 3D Hubs BV.
- Roozenburg, N., & Cross, N. (1991). Models of the design process: integrating across the disciplines. *Design Studies*, 4(12), 215-220.
- Shetty, D. (2002). *Design for Product Success*. Michigan: Society of Manufacturing Engineers.
- Stroud, I., & Nagy, H. (2011). *Solid Modelling and Cad Systems: How to Survive a CAD System*. London: Springer.
- TDK. (tarih yok). *Türk Dil Kurumu Sözlükler*. Aralık 2021 tarihinde TDK: <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alındı
- Tovey, M. (1989). Drawing and CAD in industrial design . *Design Studies*, 1(10).
- Ulrich, K., Eppinger, S., & Yang, M. (2020). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill Education.
- Um, D. (2018). *Solid Modeling and Applications, Rapid Prototyping, CAD and CAE Theory*. Texas: Springer.
- Utterback, J., Vedin, B., Alvarez E., Ekman, S., Sanderson , S., Tether, B., & Verganti, R. (2006). *Design-Inspired Innovation*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Varotsis, A. (2020). *3D printing vs. CNC machining*. Ocak 2022 tarihinde Hubs: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/> adresinden alındı
- VR Ink Pilot Edition. (tarih yok). Ocak 2022 tarihinde Logitech: <https://www.logitech.com/en-us/promo/vr-ink.html> adresinden alındı

WDO. (2015). *Definition of Industrial Design*. Aralık 2021 tarihinde WDO:
<https://wdo.org/about/definition/> adresinden alındı

What is 3D printing? (2021). Ocak 2022 tarihinde Hubs:
<https://www.hubs.com/guides/3d-printing/> adresinden alındı



EKLER

EK-1 Etik kurul onay belgesi

Eskişehir Teknik Üni. Evrak Tarih ve Sayısı: 14.06.2021 - 21237



T.C.
ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hukuk Müşavirliği

Sayı : E-87914409-050.03.04-21237
Konu : Etik Kurul Kararı

14.06.2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 18.05.2021 tarih ve 18220 sayılı yazınız.

İlgi yazınıza istinaden Rektörlüğümüze gönderilen Dr.Öğr.Üyesi Engin KAPKIN'ın yürütücülüğünü ve Ulaş TİĞİN'in yazarlığını yaptığı "Endüstriyel Tasarım Sürecinde 3 Boyutlu Yazıcılar İlke Hızlı Prototipleme Uygulamalarında Sayısal Model Oluşturma Evrelerinin İncelenmesi " yüksek lisans tez çalışmasına ilişkin başvurusu Fen ve Mühendislik Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından incelenmiş olup etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve uygulama dosyasının hazırlanmasında, ilgili kurumun bulunması halinde Etik Kurulu Yönergesinin dikkate alınması konusunda gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Servet TURAN
Fen Bilimleri ve Mühendislik Bilimleri
Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu
Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BS5KR0LTK5

Belge Takip Adresi : <https://www.turkiye.gov.tr/eskisehir-teknik-universitesi-ebys>

Adres:İki Eylül Kampüsü Tepebaşı/Eskişehir
Telefon:+90 222 321 35 50/7453 Faks:+90 222 335 36 16
e-Posta:gensek@eskisehir.edu.tr Web:gensek@eskisehir.edu.tr
Kep Adresi:eskisehirteknikuniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Arzu BALCI
Unvanı: Memur
Tel No: 1119



Ürün Tasarımı Sürecinde 3B Modelleme ve Hızlı Prototipleme

Ürün Tasarımı Sürecinde 3 Boyutlu Modellemenin; Ön Tasarım, Prototipleme ve Seri Üretim Uygulamalarındaki Yeri

Bu çalışma, "Ürün Tasarımı Sürecinde 3 Boyutlu Modellemenin; Ön Tasarım, Prototipleme ve Seri Üretim Uygulamalarındaki Yeri" konulu bir araştırma çalışması olup; 3 boyutlu modelleme yazılımlarının, ürün tasarımındaki kullanımlarında, farklı işlev ve niteliklerini saptama amacını taşımaktadır. Çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi bünyesinde Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı, Endüstriyel Tasarım Programı, yüksek lisans öğrencisi Ulaş TİGİN tarafından yürütülmektedir. Araştırmanın sonuçları; ürün tasarımı sürecinde farklı tipolojiye sahip 3 boyutlu model dosyalarının geçirdiği değişim evrelerini anlamamızda rol alacaktır.

- Bu çalışmaya katılımınız gönüllülük esasına dayanmaktadır.
- Çalışmanın amacı doğrultusunda, bilgisayar ortamında anket yapılarak sizden veriler toplanacaktır.
- İsmınızı yazmak ya da kimliğinizi açığa çıkaracak bir bilgi vermek zorunda değilsiniz. Araştırmada katılımcıların isimleri gizli tutulacaktır.
- Araştırma kapsamında toplanan veriler, sadece bilimsel amaçlar doğrultusunda kullanılacak, araştırmanın amacı dışında ya da bir başka araştırmada kullanılmayacak ve gerekmesi halinde, sizin (yazılı) izniniz olmadan başkalarıyla paylaşılmayacaktır.
- İstemeniz halinde sizden toplanan verileri inceleme hakkınız bulunmaktadır.
- Sizden toplanan veriler korunacak ve araştırma bitiminde arşivlenecek veya imha edilecektir.
- Veri toplama sürecinde size rahatsızlık verebilecek herhangi bir soru/talep olmayacaktır. Yine de katılımınız sırasında herhangi bir sebepten rahatsızlık hissederseniz çalışmadan istediğiniz zamanda ayrılabilirsiniz. Çalışmadan ayrılmanız durumunda sizden toplanan veriler çalışmadan çıkarılacak ve imha edilecektir.

Gönüllü katılım formunu okumak ve değerlendirmek üzere ayırdığınız zaman için teşekkür ederim. Çalışma hakkındaki sorularınızı Eskişehir Teknik Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Anabilim Dalı'na yöneltebilirsiniz.

Araştırmacı Adı : Ulaş TİGİN

EK-2 Araştırma anketi soruları (İkinci sayfa)

1. Yukarıda yer alan açıklamayı okuyup, gönüllü olarak araştırmaya katılmayı kabul ediyor musunuz? *

☐ Kabul ediyorum.

☐ Kabul etmiyorum. 2. soruya geçiniz.

Araştırmaya ayırdığınız vakit ve katkınız için teşekkür ederim.

1. Bölüm - Giriş
- Araştırma 7 bölümden oluşmaktadır
 - Bölümler öncesindeki deneyim sorularını olumsuz cevaplamanız halinde, ilgili alandaki sorular atlanır.
 - Araştırma içerisinde ek görüş belirtmek istemediğiniz tüm açık uçlu soruları cevaplamaya bilirsiniz.
 - Cevabını şıklar içerisinde bulamadığınız çoktan seçmeli soruların hemen ardındaki alana cevabınızı eklemeniz araştırmaya büyük katkı sağlayacaktır.

2. Şu anki mesleki ünvanınız nedir? *

Örnek: Endüstriyel Tasarımcı, Makine Mühendisi, Akademisyen

3. Şu anki mesleki ünvanınızla ilgili kaç yıllık tecrübeye sahipsiniz? *

☐ 0-4

☐ 5-9

☐ 10-14

☐ 15+

4. 3 boyutlu modelleme süreç ve tekniklerine ne derecede hakimsiniz? *

1 2 3 4 5

Hiç

☐

☐

☐

☐

☐

Tamamen

5. Hızlı prototipleme süreç ve tekniklerine ne derecede hakimsiniz? *

*Hızlı prototipleme; sadece 3 boyutlu yazıcıları değil, bilgisayar kontrollü olan CNC freze, 3 boyutlu yazıcı, lazer kesim, vakum form, büküm vb. tüm üretim yöntemlerini kapsamaktadır.

1 2 3 4 5

Hiç

☐

☐

☐

☐

☐

Tamamen

EK-2 Araştırma anketi soruları (Üçüncü sayfa)

6. Seri üretim süreç ve tekniklerine ne derecede hakimsiniz? *

1	2	3	4	5	
Hiç	☐	☐	☐	☐	Tamamen

2. Bölüm - 3 Boyutlu Modelleme

7. Projelerinizin hangi aşamalarında 3 boyutlu modelleme yazılımlarını kullanmaktasınız?

Kullanmadığınız yazılımı lütfen boş bırakınız.

	Problemi anlama, tanımlama	Form denemesi (mock-up model)	Görselleştirme amaçlı model	Detay tasarımı	Prototipleme	Üretim
Alias	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Rhinoceros 3D	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fusion 360	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Solidworks	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Siemens NX	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Catia	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Inventor	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Spaceclaim	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3DS Max	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Blender	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Cinema 4D	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sketchup	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Maya	☐	☐	☐	☐	☐	☐

EK-2 Araştırma anketi soruları (Dördüncü sayfa)

8. Yukarıdaki belirtilen süreçler haricinde, hangi aşamalarda hangi 3 boyutlu modelleme yazılımlarını kullanmaktasınız?

9. Çalıştığınız projelerde; hızlı prototipleme uygulamaları deneyimlediniz mi? *
- (CNC freze, 3 boyutlu yazıcı, lazer kesim, vakum form, büküm vb.)

☐ Evet

☐ Hayır 27. soruya geçiniz.

3. Bölüm -

Hızlı

Prototipleme

Araştırmanın bu bölümündeki hızlı prototipleme kavramı, sadece 3 boyutlu yazıcılar özelinde değildir. Bilgisayar kontrollü; CNC freze, 3 boyutlu yazıcı, lazer kesim, vakum form, büküm vb. tüm üretim yöntemlerini kapsamaktadır.

10. Bir proje kapsamında; hangi sıklıkla birden farklı prototipleme yöntemini(teknolojisini) kullanarak prototipleme gerçekleştirirsiniz? *

1:Başlangıçta seçtiğim yöntem ile tamamlarım. 2: Nadiren başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm. 3: Yarı yarıya seçtiğim yöntemi değiştiririm. 4: Çoğunlukla başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm. 5: Tüm projelerimde başlangıçta seçtiğim yöntemi değiştiririm.

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

11. Hızlı prototiplemede 3 boyutlu model dosyalarının hazırlanması için dışarıdan profesyonel hizmet alıyor musunuz? *

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

12. Çalıştığınız projelerde; 1:1 ölçekten farklı hızlı prototip üretimi yapılmakta mı? *

☐ Evet

☐ Hayır 17. soruya geçiniz.

EK-2 Araştırma anketi soruları (Beşinci sayfa)

4. Bölüm - Hızlı Prototiplemede Model Ölçekleri

13. Hızlı prototiplemede model ölçeklerinden nasıl faydalanıyorsunuz?

	Formu denemesi (Mock-up)	Görünüş maketi	Detay tasarımı	İşlev testi	Tolerans testi
1:1	☐	☐	☐	☐	☐
1:2	☐	☐	☐	☐	☐
1:5	☐	☐	☐	☐	☐
1:10	☐	☐	☐	☐	☐
2:1	☐	☐	☐	☐	☐

14. Yukarıda yer alan ölçek ve model işlevlerinin dışında prototip üretiyor musunuz? Ürettiyorsanız nedeni nedir?

15. Prototipin; farklı ölçeklerine özel 3 boyutlu model dosyasını hangi sıklıkla hazırlar veya revize edersiniz? *

	1	2	3	4	5	
Hiç	☐	☐	☐	☐	☐	Her projede

16. Prototipin; farklı ölçeklerine özel hazırlanan 3 boyutlu model dosyasında revizyon yapıyorsanız nedeni nedir?

Örnek: Uygun olmayan et kalınlığı, ölçü farklılıkları, ters açılar, mekanik özellikler, maliyet, vb.

17. Çalıştığınız projelerde; 3 boyutlu yazıcı ile hızlı prototipleme uygulamaları deneyimlediniz mi? *

☐ Evet

☐ Hayır 22. soruya geçiniz.

EK-2 Araştırma anketi soruları (Altıncı sayfa)

5. Bölüm – 3 Boyutlu Yazıcı ile Hızlı Prototipleme

Araştırmanın bu bölümündeki soruları sadece 3 boyutlu yazıcı ile hızlı prototipleme özelinde cevaplayınız.

18. Aşağıda belirtilen 3 boyutlu yazıcı teknolojilerini tasarım sürecinde hangi amaçla kullanmaktasınız?

*İşlev testi: Ürünün gerçekleştireceği fonksiyonu test etmek amaçlı prototipleme *Tolerans testi: Bir parçanın diğer parça ile ölçüsel uyumunu test etmek amaçlı prototip

	Filamentli sistem (FFF/FDM)	Toz lazer sinterleme (SLS)	Reçineli sistem (SLA/DLP)	Püskürtmeli sistem (Polyjet/Multijet)
Form denemesi (Mock-up)	☐	☐	☐	☐
Görünüş maketi	☐	☐	☐	☐
Detay tasarımı	☐	☐	☐	☐
İşlev testi	☐	☐	☐	☐
Tolerans testi	☐	☐	☐	☐

19. Yukarıda listelenenlerden farklı teknolojide veya amaçlarla 3 boyutlu yazıcı kullanmaktaysanız nedeni nedir?

20. Prototipin; farklı kullanım amaçlarına veya üretim teknolojilerine özel 3 boyutlu model dosyasını hangi sıklıkla hazırlar veya revize edersiniz? *

	1	2	3	4	5	
Hiç	☐	☐	☐	☐	☐	Her projede

EK-2 Araştırma anketi soruları (Yedinci sayfa)

21. Farklı kullanım amaçlarına veya üretim teknolojisine özel hazırlanan 3 boyutlu model dosyasında revizyon yapıyorsanız nedeni nedir?

Örnek: Uygun olmayan et kalınlığı, ölçü farklılıkları, ters açılar, mekanik özellikler, maliyet, vb.

22. CNC freze ile hızlı prototipleme uygulamaları deneyimlediniz mi? *

☐ Evet

☐ Hayır 27. soruya geçiniz.

6. Bölüm - CNC Freze ile Hızlı Prototipleme

Araştırmanın bu bölümündeki soruları sadece CNC freze ile hızlı prototipleme özelinde cevaplayınız.

23. Aşağıda belirtilen materyalleri tasarım sürecinde hangi amaçla kullanmaktasınız?

*İşlev testi: Ürünün gerçekleştireceği fonksiyonu test etmek amaçlı prototipleme *Tolerans testi: Bir parçanın diğer parça ile ölçüsel uyumunu test etmek amaçlı prototipleme

	Ahşap (MDF, Plywood, Masif, vb.)	Köpük (Strafor, Model foam, vb.)	Plastikler (ABS, PE, POM, vb.)	Metaller (Alüminyum, Pirinç, Çelik, vb.)
Form denemesi (Mock-up)	☐	☐	☐	☐
Görünüş maketi	☐	☐	☐	☐
Detay tasarımı	☐	☐	☐	☐
Tolerans testi	☐	☐	☐	☐

24. Yukarıda listelenenlerden farklı materyallerle veya amaçlarla CNC freze kullanmaktaysanız nedeni nedir?

EK-2 Araştırma anketi soruları (Sekizinci sayfa)

25. Prototipin; farklı kullanım amaçlarına veya üretim materyallerine özel 3 boyutlu model dosyasını hangi sıklıkla hazırlar veya revize edersiniz? *

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

26. Farklı kullanım amaçlarına veya üretim materyaline özel hazırlanan 3 boyutlu model dosyasında revizyon yapıyorsanız nedeni nedir?

Örnek: Uygun olmayan et kalınlığı, ölçü farklılıkları, ters açılar, mekanik özellikler, maliyet, vb.

27. Çalıştığınız projelerde seri üretim uygulamaları deneyimlediniz mi? *

☐ Evet

☐ Hayır 32. soruya geçiniz.

7.

Bölüm

- Seri

Üretim

Araştırmanın bu bölümündeki soruları; montaj hattında çok adette ve özellikle bilgisayar kontrollü araçlar (kalıp, otomat vb.) tarafından üretilen ürünlerin seri üretimi özelinde cevaplayınız.

28. Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel 3 boyutlu model dosyası hangi sıklıkla hazırlanıyor? *

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

29. Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel 3 boyutlu model dosyalarının hazırlanması için dışarıdan profesyonel hizmet alıyor musunuz? *

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

EK-2 Araştırma anketi soruları (Dokuzuncu sayfa)

30. Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel hazırlanan 3 boyutlu model dosyasında hangi sıklıkla revizyon yaparsınız? *

1 2 3 4 5

Hiç ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Her projede

31. Seri üretim yöntemlerinin gerekliliklerine özel hazırlanan 3 boyutlu tasarım dosyasında revizyon yapıyorsanız nedeni nedir?

Örnek: Uygun olmayan et kalınlığı, ölçü farklılıkları, ters açılar, mekanik özellikler, maliyet, vb.

Teşekkürler

Tez çalışması kapsamında hazırlanan ankete katılarak çalışmaya destek verdiğiniz için teşekkür ederim. İki aşamalı olarak kurgulanan bu araştırmanın sonraki adımında çevrimiçi görüşmeler gerçekleştirilecektir. Araştırmanın ikinci aşamasında gönüllü olarak katılımcı olmak isterseniz e-posta adresinizi aşağıda yer alan alana ekleyebilirsiniz. Araştırmanın her aşamasında bilgilerinizin anonim olarak işlenip saklanacağını tekrar hatırlatmak isterim.

32. İletişim bilgileri

E-posta

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 1							
	Meslek Grubu	Yıl	3B Modelleme Deneyimi	Hızlı Prototipleme Deneyimi	Seri Üretim Deneyimi	Ortalama Deneyim	Deneyim Kodu	SYT
K001	Tasarımcı	0-4	3	2	3	2,7	Yüksek	1
K002	Tasarımcı	0-4	4	3	2	3,0	Yüksek	1
K003	Tasarımcı	0-4	3	2	2	2,3	Yüksek	0
K004	Tasarımcı	5-9	3	1	3	2,3	Yüksek	1
K005	Tasarımcı	5-9	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K006	Tasarımcı	0-4	3	2	2	2,3	Yüksek	1
K007	Tasarımcı Olmayan	0-4	3	3	2	2,7	Yüksek	0
K008	Tasarımcı	0-4	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K009	Tasarımcı Olmayan	0-4	3	2	3	2,7	Yüksek	0
K010	Tasarımcı	0-4	3	1	1	1,7	Düşük	0
K011	Tasarımcı Olmayan	0-4	2	1	2	1,7	Düşük	0
K012	Tasarımcı	0-4	1	1	2	1,3	Düşük	0
K013	Tasarımcı Olmayan	0-4	4	4	3	3,7	Yüksek	0
K014	Tasarımcı	0-4	4	3	2	3,0	Yüksek	1
K015	Tasarımcı	0-4	4	3	3	3,3	Yüksek	0
K016	Tasarımcı	0-4	3	3	1	2,3	Yüksek	0
K017	Tasarımcı Olmayan	15+	4	4	4	4,0	Yüksek	0
K018	Tasarımcı	5-9	4	4	3	3,7	Yüksek	1
K019	Tasarımcı	0-4	3	3	2	2,7	Yüksek	0
K020	Tasarımcı	15+	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K021	Tasarımcı	0-4	3	2	2	2,3	Yüksek	1
K022	Tasarımcı	15+	2	1	1	1,3	Düşük	0
K023	Tasarımcı Olmayan	10-14	2	3	1	2,0	Yüksek	0
K024	Tasarımcı	15+	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K025	Tasarımcı	0-4	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K026	Tasarımcı	15+	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K027	Tasarımcı	15+	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K028	Tasarımcı	15+	2	2	4	2,7	Yüksek	1
K029	Tasarımcı	5-9	2	3	4	3,0	Yüksek	1
K030	Tasarımcı	10-14	3	1	2	2,0	Yüksek	1
K031	Tasarımcı	15+	4	4	4	4,0	Yüksek	1
K032	Tasarımcı	0-4	3	1	2	2,0	Yüksek	1
K033	Tasarımcı	5-9	4	3	2	3,0	Yüksek	1
K034	Tasarımcı	5-9	3	2	2	2,3	Yüksek	0
K035	Tasarımcı	15+	4	2	3	3,0	Yüksek	0
K036	Tasarımcı Olmayan	15+	4	4	3	3,7	Yüksek	0
K037	Tasarımcı Olmayan	15+	3	3	4	3,3	Yüksek	0
K038	Tasarımcı	10-14	2	0	2	1,3	Düşük	0
K039	Tasarımcı	0-4	2	0	1	1,0	Düşük	0
K040	Tasarımcı	5-9	3	2	3	2,7	Yüksek	1
K041	Tasarımcı	0-4	2	2	2	2,0	Yüksek	1
K042	Tasarımcı Olmayan	0-4	2	2	2	2,0	Yüksek	0

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 1							
	Meslek Grubu	Yıl	3B Modelleme Deneyimi	Hızlı Prototipleme Deneyimi	Seri Üretim Deneyimi	Ortalama Deneyim	Deneyim Kodu	SYT
K043	Tasarımcı	15+	2	1	4	2,3	Yüksek	0
K044	Tasarımcı	10-14	3	1	2	2,0	Yüksek	1
K045	Tasarımcı	0-4	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K046	Tasarımcı Olmayan	0-4	4	3	3	3,3	Yüksek	0
K047	Tasarımcı Olmayan	0-4	4	2	2	2,7	Yüksek	0
K048	Tasarımcı	0-4	3	1	2	2,0	Yüksek	1
K049	Tasarımcı	5-9	2	3	2	2,3	Yüksek	0
K050	Tasarımcı	0-4	4	3	2	3,0	Yüksek	0
K051	Tasarımcı	0-4	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K052	Tasarımcı	5-9	4	4	4	4,0	Yüksek	1
K053	Tasarımcı	0-4	4	2	2	2,7	Yüksek	0
K054	Tasarımcı Olmayan	10-14	3	4	3	3,3	Yüksek	0
K055	Tasarımcı	10-14	4	3	4	3,7	Yüksek	1
K056	Tasarımcı	15+	3	3	2	2,7	Yüksek	0
K057	Tasarımcı	15+	3	2	3	2,7	Yüksek	1
K058	Tasarımcı	5-9	4	3	4	3,7	Yüksek	1
K059	Tasarımcı	0-4	2	2	2	2,0	Yüksek	0
K060	Tasarımcı	0-4	2	2	2	2,0	Yüksek	0
K061	Tasarımcı	10-14	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K062	Tasarımcı	0-4	3	1	2	2,0	Yüksek	0
K063	Tasarımcı	0-4	2	3	1	2,0	Yüksek	0
K064	Tasarımcı	5-9	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K065	Tasarımcı Olmayan	0-4	3	2	2	2,3	Yüksek	0
K066	Tasarımcı	15+	4	3	4	3,7	Yüksek	1
K067	Tasarımcı	15+	4	4	4	4,0	Yüksek	1
K068	Tasarımcı	10-14	2	0	4	2,0	Yüksek	0
K069	Tasarımcı	0-4	4	1	2	2,3	Yüksek	1
K070	Tasarımcı	15+	2	2	3	2,3	Yüksek	1
K071	Tasarımcı	0-4	2	2	2	2,0	Yüksek	0
K072	Tasarımcı	5-9	3	1	3	2,3	Yüksek	0
K073	Tasarımcı	0-4	2	1	1	1,3	Düşük	0
K074	Tasarımcı	0-4	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K075	Tasarımcı	0-4	2	1	1	1,3	Düşük	0
K076	Tasarımcı	15+	3	3	4	3,3	Yüksek	1
K077	Tasarımcı	10-14	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K078	Tasarımcı	15+	4	4	4	4,0	Yüksek	1
K079	Tasarımcı	15+	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K080	Tasarımcı	0-4	3	3	3	3,0	Yüksek	0
K081	Tasarımcı	0-4	4	3	3	3,3	Yüksek	1
K082	Tasarımcı	0-4	4	3	2	3,0	Yüksek	1
K083	Tasarımcı Olmayan	0-4	1	1	2	1,3	Düşük	0
K084	Tasarımcı	5-9	3	2	3	2,7	Yüksek	1

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 1							
	Meslek Grubu	Yıl	3B Modelleme Deneyimi	Hızlı Prototipleme Deneyimi	Seri Üretim Deneyimi	Ortalama Deneyim	Deneyim Kodu	SYT
K085	Tasarımcı	0-4	2	1	1	1,3	Düşük	0
K086	Tasarımcı	0-4	2	0	2	1,3	Düşük	0
K087	Tasarımcı	5-9	2	1	1	1,3	Düşük	0
K088	Tasarımcı	5-9	4	2	1	2,3	Yüksek	1
K089	Tasarımcı	5-9	4	1	2	2,3	Yüksek	1
K090	Tasarımcı	0-4	4	4	4	4,0	Yüksek	1
K091	Tasarımcı Olmayan	10-14	4	1	2	2,3	Yüksek	0
K092	Tasarımcı	0-4	3	3	3	3,0	Yüksek	1
K093	Tasarımcı Olmayan	15+	3	3	2	2,7	Yüksek	0
K094	Tasarımcı Olmayan	0-4	3	0	0	1,0	Düşük	0
K095	Tasarımcı	0-4	1	0	0	0,3	Düşük	0
K096	Tasarımcı	5-9	3	2	2	2,3	Yüksek	1
K097	Tasarımcı	5-9	4	4	3	3,7	Yüksek	1
K098	Tasarımcı	0-4	3	1	2	2,0	Yüksek	1
K099	Tasarımcı	0-4	0	1	2	1,0	Düşük	0
K100	Tasarımcı	0-4	3	2	3	2,7	Yüksek	1
K101	Tasarımcı	5-9	2	2	2	2,0	Yüksek	0
K102	Tasarımcı	5-9	4	4	4	4,0	Yüksek	0
K103	Tasarımcı	15+	4	4	4	4,0	Yüksek	1
			3,03	2,29	2,51	2,61		53

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 2																		
	Problemi Anlama			Form Denemesi			Görselleştirme			Hızlı Prototipleme			Detay Tasarımı			Seri Üretim			Modelleme Deseni
K001	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	Atlamalı
K002	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K003	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K004	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	Sabit
K005	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Daralan
K006	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K007	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Genişleyen
K008	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K009	-	-	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	Sabit
K010	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K011	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sabit
K012	-	-	-	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	-	-	-	Paralel
K013	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K014	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K015	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K016	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K017	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K018	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	Atlamalı
K019	-	-	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K020	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Paralel
K021	-	Katı	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Daralan
K022	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K023	-	-	-	-	-	-	-	-	Poligon	-	Katı	-	-	-	-	-	Katı	-	Atlamalı
K024	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	Daralan
K025	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K026	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K027	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	-	Atlamalı
K028	-	-	-	Yüzey	Katı	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Paralel
K029	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Daralan
K030	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Sabit
K031	Yüzey	-	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K032	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K033	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K034	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K035	-	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K036	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K037	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sabit
K038	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Sabit
K039	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Sabit
K040	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K041	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K042	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	-	-	-	Yüzey	Katı	-	-	-	-	Daralan

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 2																		
	Problemi Anlama			Form Denemesi			Görselleştirme			Hızlı Prototipleme			Detay Tasarımı			Seri Üretim			Modelleme Deseni
K043	-	-	-	-	-	-	-	-	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sabit
K044	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K045	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K046	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K047	-	-	-	-	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	-	Poligon	-	Katı	-	Atlamalı
K048	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K049	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Atlamalı
K050	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K051	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K052	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K053	-	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	-	-	-	Katı	-	Atlamalı
K054	-	Katı	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	Atlamalı
K055	-	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K056	-	-	-	-	-	-	-	-	Poligon	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	Atlamalı
K057	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K058	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Daralan
K059	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K060	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Daralan
K061	-	Katı	-	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K062	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K063	-	-	Poligon	-	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K064	-	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K065	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K066	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K067	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K068	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K069	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K070	-	-	-	-	-	-	Yüzey	-	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Paralel
K071	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K072	-	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Paralel
K073	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K074	-	Katı	-	-	Katı	Poligon	-	Katı	Poligon	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Atlamalı
K075	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K076	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K077	-	-	-	Yüzey	-	Poligon	-	-	-	Yüzey	-	Poligon	-	-	-	Yüzey	-	Poligon	Paralel
K078	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Daralan
K079	-	-	-	-	-	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K080	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K081	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Genişleyen
K082	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Daralan
K083	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	-	Katı	-	Sabit
K084	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Bölüm 2																		
	Problemi Anlama			Form Denemesi			Görselleştirme			Hızlı Prototipleme			Detay Tasarımı			Seri Üretim			Modelleme Deseni
K085	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Paralel
K086	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	Daralan
K087	-	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sabit
K088	-	Katı	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	-	-	Atlamalı
K089	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K090	-	-	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Paralel
K091	-	-	-	-	-	-	-	-	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sabit
K092	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K093	-	-	-	-	-	-	-	Katı	Poligon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Paralel
K094	Yüzey	-	-	-	-	Poligon	-	-	Poligon	-	-	Poligon	-	-	Poligon	-	-	Poligon	Sabit
K095	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Katı	-	-	-	-	-	Katı	-	Sabit
K096	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Paralel
K097	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	Poligon	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	-	Atlamalı
K098	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
K099	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Sabit
K100	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K101	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	-	-	-	Sabit
K102	Yüzey	Katı	-	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	Katı	Poligon	Yüzey	-	-	Yüzey	Katı	-	Yüzey	-	-	Atlamalı
K103	-	-	-	-	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Yüzey	-	-	Sabit
	45	29	11	74	42	23	77	43	39	56	44	4	67	44	8	56	44	4	

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 9	Soru 10	Soru 12	Soru 15	Soru 16 - Kodlama									
					P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K001	1	2	1	1		1	1							
K002	1	2	1	2					1					
K003	1	1	1	2		1		1	1	1				
K004	1	0	1	2				1						
K005	1	1	1	1				1						
K006	1	2	1	1				1	1	1				1
K007	1	1	1	2										
K008	1	4	0											
K009	0													
K010	1	4	0											
K011	1	0	1	0										
K012	0													
K013	1	1	0											
K014	1	1	1	4		1	1	1	1	1				
K015	1	1	0											
K016	1	2	1	3	1	1			1					
K017	1	1	0											
K018	1	1	1	1										
K019	1	3	1	2		1								
K020	1	0	0											
K021	1	1	0											
K022	0													
K023	1	3	1	3								1		
K024	1	3	1	2										
K025	1	1	0											
K026	1	4	1	4										
K027	1	1	1	2								1		
K028	1	0	0											
K029	1	2	1	0										
K030	1	1	0											
K031	1	4	1	4										
K032	1	0	1	1										
K033	1	1	0											
K034	0													
K035	1	0	0											
K036	1	0	1	0										
K037	1	1	1	1					1					
K038	0													
K039	1	0	0											
K040	1	1	1	1										
K041	1	1	0											
K042	1	1	0											
K043	1	2	0											

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 9	Soru 10	Soru 12	Soru 15	Soru 16 - Kodlama									
					P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K044	1	1	1	0										
K045	1	0	1	0										
K046	1	3	1	2					1					1
K047	1	1	0											
K048	1	1	1	1					1					
K049	0													
K050	1	1	1	2		1								
K051	1	3	0											
K052	1	4	0											
K053	1	1	1	3				1	1					
K054	1	1	1	4		1								
K055	1	1	1	2					1			1	1	
K056	1	2	1	4										
K057	1	1	0											
K058	1	0	0											
K059	1	1	1	2						1			1	
K060	1	2	1	0										
K061	1	1	1	0										
K062	1	2	0											
K063	1	2	1	2								1		
K064	1	0	1	2		1				1				
K065	1	3	1	3										
K066	1	1	1	1										
K067	1	3	1	2		1						1		
K068	0													
K069	1	1	0											
K070	1	1	1	1										
K071	1	2	0											
K072	1	1	1	4										
K073	1	1	0											
K074	1	1	0											
K075	1	0	0											
K076	1	1	1	0										
K077	1	1	1	1										
K078	1	4	1	4	1	1					1			
K079	1	3	1	2										
K080	1	1	0											
K081	1	2	1	4					1					
K082	1	3	1	3										
K083	0													
K084	1	2	1	3	1			1						
K085	0													
K086	1	0	1	1					1	1	1		1	1

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 9	Soru 10	Soru 12	Soru 15	Soru 16 - Kodlama									
					P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K087	1	2	1	0										
K088	1	1	1	4				1						
K089	1	1	0											
K090	1	4	0											
K091	0													
K092	1	4	1	4										
K093	1	3	1	2					1					1
K094	0													
K095	1	1	1	0										
K096	1	1	1	0										
K097	1	1	1	4										
K098	1	2	0											
K099	0													
K100	1	3	0											
K101	1	3	1	4						1		1		
K102	1	0	1	2										
K103	1	1	1	2			1		1					
	91	1,54	59	1,93	3	10	3	8	14	7	2	6	3	4

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 17	Soru 20	Soru 21 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K001	0											
K002	1	2		1								
K003	1	2		1		1	1					
K004	1	2				1						
K005	1	2				1						
K006	1	1				1	1	1				1
K007	0											
K008	1	4		1			1	1				
K009												
K010	0											
K011	1	2				1						
K012												
K013	1	4	1			1						
K014	1	4		1		1	1		1			
K015	1	2				1			1	1		
K016	1	2										
K017	1	2				1						
K018	1	0										
K019	1	2		1			1	1				
K020	1	4										
K021	1	3									1	1
K022												
K023	1	4										
K024	1	0										
K025	1	1	1			1	1					1
K026	1	4										
K027	1	2								1		
K028	1	1				1						
K029	1	2										
K030	1	1										
K031	1	4								1		
K032	1	1										
K033	1	3	1									
K034												
K035	1	1								1		
K036	1	1				1						
K037	1	4		1	1	1						
K038												
K039	0											
K040	1	1										
K041	1	1					1					
K042	1	1										

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 17	Soru 20	Soru 21 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K043	1	2	1									
K044	1	1										
K045	1	0										
K046	1	3				1	1					
K047	0											
K048	1	2					1					1
K049												
K050	1	3										
K051	1	2			1							
K052	1	4	1	1								
K053	1	4		1		1	1					
K054	1	4		1		1				1		
K055	1	1					1			1		
K056	1	2										
K057	1	3		1			1	1		1		
K058	1	3	1							1		
K059	1	2	1					1				
K060	0											
K061	1	1										
K062	1	1						1				1
K063	1	2				1						
K064	1	3										
K065	1	3										
K066	1	1				1						
K067	1	2										
K068												
K069	0											
K070	1	1										
K071	1	2				1	1					
K072	1	4										
K073	1	2				1	1	1	1			1
K074	1	4	1				1					1
K075	1	0										
K076	1	0										
K077	1	1	1			1						
K078	1	4	1	1					1			
K079	1	3				1						
K080	1	2										
K081	1	2				1						
K082	1	4					1	1				
K083												
K084	1	3		1								

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 17	Soru 20	Soru 21 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K085												
K086	1	0					1	1	1			1
K087	1	0										
K088	1	4				1						
K089	1	2	1			1	1	1				
K090	1	2								1		
K091												
K092	0											
K093	1	2					1					1
K094												
K095	0											
K096	1	1				1	1			1		
K097	1	4										
K098	0											
K099												
K100	1	4										
K101	0											
K102	1	0										
K103	1	2		1			1					
	80	2,15	11	13	2	26	21	10	5	10	1	9

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 22	Soru 25	Soru 26 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K001	1		1									1
K002	0											
K003												
K004												
K005	1											
K006	1	1										1
K007												
K008												
K009												
K010												
K011												
K012												
K013	0											
K014	3											
K015												
K016	2											
K017	2								1			1
K018	1											
K019												
K020	4											
K021	3											
K022												
K023												
K024	2											
K025	1											
K026	4											
K027	2	1							1			1
K028	1											
K029	2											
K030												
K031	4	1										1
K032												
K033	2	1	1	1							1	1
K034												
K035	0											
K036	1								1			1
K037	4											
K038												
K039	0		1									1
K040	1											
K041	4										1	1
K042	1											

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 22	Soru 25	Soru 26 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K043	2						1					1
K044	0											
K045	0											
K046												
K047	3											
K048	1											
K049												
K050	1		1									1
K051	2											
K052												
K053												
K054	4		1									1
K055	3				1							1
K056												
K057	3				1		1	1		1		1
K058	3								1			1
K059												
K060												
K061												
K062												
K063												
K064												
K065	3											
K066	1				1			1				1
K067	4				1	1		1				1
K068												
K069	3				1	1						1
K070												
K071												
K072	3											
K073	2				1				1		1	1
K074	4		1									1
K075												
K076												
K077	1	1			1							1
K078	3											
K079	3								1			1
K080												
K081	0											
K082	2				1				1			1
K083												
K084	3											

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 22	Soru 25	Soru 26 - Kodlama									
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K085												
K086	1										1	1
K087												
K088												
K089	1				1						1	1
K090												
K091												
K092	4											
K093	2		1			1					1	1
K094												
K095	1											
K096	2											
K097	2											
K098	2											
K099												
K100	4											
K101												
K102												
K103	1											
	2,02	5	7	1	9	3	2	3	7	1	6	26

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 27	Soru 28	Soru 30	Soru 31 - Kodlama									
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K001	1	1	1		1								
K002	1	4	4				1						
K003	0												
K004	1	2	2										
K005	1	1	0										
K006	1	2	4	1							1		
K007	1	2	2										
K008	1	4	4		1								
K009	1	3	2		1						1		
K010	1	4	4	1	1		1	1					
K011	0												
K012	0												
K013	1	4	4		1								
K014	1	4	4						1				1
K015	0												
K016	0												
K017	0												
K018	1	4	3		1				1				1
K019	0												
K020	1	4	0										
K021	1	4	4										
K022	0												
K023	1	2	3										
K024	1	1	1										
K025	1	4	2				1	1	1				1
K026	1	4	2										
K027	1	3	3								1		
K028	1	4	1		1								
K029	1	4	2										
K030	1	4	4						1				
K031	1	4	4		1								
K032	1	0	0										
K033	1	4	4		1								
K034	0												
K035	0												
K036	1	4	1										
K037	1	4	4										
K038	0												
K039	0												
K040	1	4	1										
K041	1	2	1										
K042	1	4	2										

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 27	Soru 28	Soru 30	Soru 31 - Kodlama									
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K043	0												
K044	1	4	4		1						1		
K045	1	4	2										
K046	1	4	2										
K047	0												
K048	1	1	1										
K049	0												
K050	0												
K051	1	4	4		1		1		1				
K052	1	4	4		1		1						
K053	0												
K054	1	4	3										1
K055	1	3	0										
K056	0												
K057	1	4	4		1								1
K058	1	4	3										
K059	0												
K060	1	3	2										
K061	1	2	1										
K062	0												
K063	0												
K064	1	4	1					1	1				
K065	0												
K066	1	3	2		1								
K067	1	4	4										
K068	0												
K069	1	2	2				1	1					
K070	1	1	1										
K071	0												
K072	0												
K073	0												
K074	1	4	4		1								
K075	0												
K076	1	4	0										
K077	1	4	1								1		
K078	1	4	1										
K079	1	4	2										1
K080	0												
K081	1	4	1										
K082	1	1	4		1		1	1	1				1
K083	0												
K084	1	3	2										

EK-3 Anket verileri

Katılımcı	Soru 27	Soru 28	Soru 30	Soru 31 - Kodlama									
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
K085	1	2	4										
K086	0												
K087	0												
K088	1	4	4				1						
K089	1	1	2										1
K090	1	4	3				1				1		1
K091	1	1	1	1							1		1
K092	1	4	3										
K093	1	2	2		1			1					1
K094	0												
K095	0												
K096	1	1	3		1					1			
K097	1	4	4										
K098	1	4	2										
K099	1	3	3				1						
K100	1	4	4				1						
K101	0												
K102	0												
K103	1	4	4										1
	68	3,18	2,46	3	18	0	11	6	7	1	7	0	12

EK-4 Yarı yapılandırılmış görüşme formu (Birinci Sayfa)

Katılımcı Kodu	Görüşme Tarihi
K_____	

Bir ürün tasarımı projesine başladığınızda projenin sırasıyla hangi aşamalardan geçer, kısaca anahtar kelimelerle tanımlayabilir misiniz?

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma
Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama	Problemi anlama
Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.	Konsept geliştir.
Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz	Eskiz
Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi	Form denemesi
Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up	Mock-up
Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme	Görselleştirme
Render	Render	Render	Render	Render	Render	Render	Render	Render	Render
Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.	Alternatif oluşt.
Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı	Delay tasarımı
Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme	Prototipleme
Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim	Seri Üretim

İlgili aşama için 3 boyutlu model oluşturuyor musunuz?

☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model	☐ 3B Model
-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

İlgili aşamayı hangi kategoride altında dahil edersiniz?

☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım	☐ Ön tasarım
☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme	☐ Prototipleme
☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim	☐ Seri Üretim
☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____	☐ _____

EK-4 Yarı yapılandırılmış görüşme formu (İkinci Sayfa)

Bir ürün tasarımını projesinde 3 boyutlu modelleme kullandığınız ilk aşamada hangi yazılımı tercih edersiniz?

No	Aşama adı	Yüzey	Katı	Polygon	1. Bu yazılımı tercih etmenizin nedeni nedir? 2. Birden farklı yazılıma neden ihtiyaç duyuyorsunuz?	Bu aşamada 3b model üzerindeki değişiklikleri (revizyonları) hangi etkenler ne derecede etkilemektedir? 0: Hiç etkili değil 4: Çok etkili olacak şekilde cevaplar mısınız?	Bu aşamada, 3 boyutlu modeli teknik açıdan tasarımın bir sonraki aşamasına geçirecek en önemli etken sizce nedir? Neden?
						Etkenler Form / Ergonomi ☐ Üretilebilirlik / Katı model / Montaj ☐ Sadeleştirme ☐ Ölçü Revizyonu / Tolerans ☐ Et kalınlığı ☐ Yüzey kalitesi / Ters Aç / Destek ☐ Malzeme ☐ Mekanik Özellik / Mukavemet ☐ Süre ☐ Maliyet ☐ Ekleme istediğiniz bir etken var mıdır? ☐ ☐	

Projenizin bir sonraki aşaması nedir? Bu aşamada 3 boyutlu modelleme yazılımı kullanıyor musunuz? Hangi yazılım veya yazılımları kullanmaktasınız?

No	Aşama adı	Yüzey	Katı	Polygon	1. Bu yazılımı tercih etmenizin nedeni nedir? 2. Birden farklı yazılıma neden ihtiyaç duyuyorsunuz? 3. Önceki aşamadan farklı bir yazılıma neden ihtiyaç duyuyorsunuz?	Bu aşamada 3b model üzerinde yaptığınız değişiklikleri (revizyonları) hangi etkenler ne derecede etkilemektedir? 0: Hiç etkili değil 4: Çok etkili olacak şekilde cevaplar mısınız?	Bu aşamada, 3 boyutlu modeli teknik açıdan tasarımın bir sonraki aşamasına geçirecek en önemli etken sizce nedir? Neden?
						Etkenler Form / Ergonomi ☐ Üretilebilirlik / Katı model / Montaj ☐ Sadeleştirme ☐ Ölçü Revizyonu / Tolerans ☐ Et kalınlığı ☐ Yüzey kalitesi / Ters Aç / Destek ☐ Malzeme ☐ Mekanik Özellik / Mukavemet ☐ Süre ☐ Maliyet ☐ Ekleme istediğiniz bir etken var mıdır? ☐ ☐	

EK-4 Yarı yapılandırılmış görüşme formu (Üçüncü Sayfa)

[illegible]

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ulaş TİGİN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Geçmişi:

- 2012-2017, Anadolu Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü
- 2015, Weißensee Sanat Akademisi Berlin, Ürün Tasarımı Bölümü, Erasmus+ Değişim Programı
- 2016-2018, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Görsel-İşitsel Teknikler ve Medya Yapımcılığı Bölümü, Fotoğrafçılık ve Kameramanlık Programı

Mesleki Geçmişi:

- 2020-Devam ediyor, Araştırma Görevlisi, Özyeğin Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü
- 2018-2020, Misafir Öğretim Görevlisi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü
- 2018-2020, Misafir Öğretim Görevlisi, Anadolu Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık ve Endüstriyel Tasarım Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Cam Bölümü
- 2015-2020, Endüstriyel Tasarımcı, Tripedia Tasarım

Ödülleri:

- 2018, İkincilik Ödülü, İDDMİB Birlikte Tasarlayalım II Tasarım Yarışması
- 2017, Finalist, Roboik İnsansız ve Otonom Kara Araçları Tasarım Yarışması, Savunma Sanayi Müsteşarlığı, Grup Projesi: Denizhan Arda, Enis Altunkaynak, Ömer Berk Yüksel, Ulaş Tigin
- 2015, Mansiyon, FNSS Mildesign Uluslararası Kara Araçları Tasarım Yarışması, Grup Projesi: Denizhan Arda, Enis Altunkaynak, Ömer Berk Yüksel, Ulaş Tigin
- 2015, İkincilik Ödülü, II. Plastik ve Metal Ambalaj Tasarım Yarışması, İKMİD/İDDMİD Plastik Ambalaj Öğrenci Kategorisi
- 2014, Tasarım Tanınırlık Sertifikası, WorldStar Uluslararası Ambalaj Tasarımı Öğrenci Yarışması
- 2014, Üçüncülük Ödülü, ASD 10. Ambalaj Tasarımı Ulusal Öğrenci Yarışması
- 2014, Birincilik Ödülü, Noki Senin Kalemin Ulusal Öğrenci Yarışması, Grup Projesi: Denizhan Arda, Ulaş Tigin