

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SAYISAL ORTAMDA YAPARAK TASARLAMANIN
BİR YORDAMI OLARAK KATLAMAK**



DOKTORA TEZİ

Saadet Zeynep BACINOĞLU

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

AĞUSTOS 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SAYISAL ORTAMDA YAPARAK TASARLAMANIN
BİR YORDAMI OLARAK KATLAMAK**

DOKTORA TEZİ

**Saadet Zeynep BACINOĞLU
(523122007)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arzu ERDEM

AĞUSTOS 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**FOLDING AS A PROCEDURE OF ‘DESIGN THROUGH MAKING’ IN DIGITAL
MEDIUM**



Ph.D. THESIS

**Saadet Zeynep BACINOĞLU
(523122007)**

Department of Informatics

Architectural Design Computing Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Arzu ERDEM

AUGUST 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 523122007 numaralı Doktora Öğrencisi Saadet Zeynep BACINOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SAYISAL ORTAMDA YAPARAK TASARLAMANIN BİR YORDAMI OLARAK KATLAMAK” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Arzu ERDEM
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Sema ALAÇAM
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Avşar GÜRPINAR
Loughborough Üniversitesi

.....

Doç. Güzden VARİNLİOĞLU
İzmir Ekonomi Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Ethem GÜRER
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Teslim Tarihi : 25 Mayıs 2023
Savunma Tarihi : 01 Ağustos 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın düşünsel sürecinden günümüze kadar gelmesinde büyük rolü olan çok değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Arzu ERDEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Konuya olan özel ilgileri, bilgileri ve değerli yönlendirmeleriyle tezin oluşum sürecine büyük katkıda bulunan tez izleme komitesi üyeleri Doç. Dr. Sema ALAÇAM ve Doç. Dr. Avşar GÜRPINAR hocalarıma teşekkür ederim.

Tez savunma jürisindeki önerileri ve değerli katkıları için Doç. Dr. Güzden VARİNLİOĞLU'na ve Doç. Dr. Ethem GÜRER'e teşekkür ederim.

Tüm bu süreçte destekleri ile en az benim kadar emek ve gönül veren, öğrenim hayatım boyunca her türlü desteği sağlayan aileme teşekkür borçluyum. Süreç içerisindeki önerileri, yorumları, tartışmaları, yakınlıkları ve yardımları için sevgili arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2023

Saadet Zeynep BACINOĞLU
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	5
1.2 Araştırma Soruları ve Hipotezler	7
1.3 Literatür Araştırması ve Metodolojinin Tanımlanması.....	8
2. YAPARAK TASARLAMAK VE KATLAYARAK TASARLAMA	
EYLEMLERİ ÇERÇEVESİNDE BİR TARTIŞMA.....	15
2.1 Yapararak Tasarlamak.....	15
2.1.1 Fiziksel ortam ve araçları ile yaparak tasarlamak.....	17
2.1.2 Sayısal ortam ve araçları ile yaparak tasarlamak.....	26
2.2 Katlayarak Tasarlamak.....	41
3. BİR YORDAM OLARAK KATLAMAK.....	77
3.1 Bir Yordam Olarak Katlamak ve Özgün Yaklaşımlar	77
3.1.1 Fiziksel ortam ve araçları ile katlamak	78
3.1.2 Sayısal ortam ve araçları ile katlamak	92
3.2 İlişkisel Modeller ile Tasarlamanın Bir Yordamı Olarak Katlamak	109
3.2.1 Örnek 1: çok fonksiyonlu kabuk model.....	115
3.2.2 Örnek 2: fonksiyonel olarak çeşitlendirilmiş model.....	121
3.2.3 Örnek 3: davranışı çeşitlendirilmiş model	132
4. SONUÇLAR	145
4.1 Bulgular ve Tartışma	145
4.1.1 Varyasyonlar üzerinden keşifler	147
4.1.2 Keşifler için yapmak, bakmak, bozmak, ifade etmek.....	148
4.2 Tezin Sonuçları ve Değerlendirmesi	149
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ.....	171



KISALTMALAR

ACM	: Alüminyum Kompozit Panel
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
NURBS	: Non-Uniform Bezier Splines
Vd	: Ve diğerleri





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Fallman'ın (2003) insan-bilgisayar etkileşimi kavramlarını yeniden sınıflandırılması	9
--	----------





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Kontur, Om.evgo youtube kanalı, 2021; Kaset, RhinoProf youtube kanalı, 2021; Katlama, Junichiro Horikawa youtube kanalı, 2019.	2
Şekil 1.2:	Kontur tekniğinin tasarımı kurucu keşif aracı olarak kullanımı. Soldan sağa kodlama A,B,C; Ortadan aşağıya 0,1,2,3 (MEF Üniversitesi öğrenci çalışmaları).	4
Şekil 1.3:	Tasarım-Yapım-İlişkisel Model döngüsü üzerinden zihinsel, fiziksel, dijital ortamlar arası gidiş gelişleri gösteren protokol tablo.	7
Şekil 1.4:	Gero'nun durumsal işlev-performans-form çerçevesi.	13
Şekil 1.5:	Çalışmanın strüktürü.	114
Şekil 2.1:	Yaparak tasarlamamanın bileşenleri.	19
Şekil 2.2:	Eisenmann'ın diyagramı operasyonel çizim olarak kullanımı.	23
Şekil 2.3:	Richard Serra'nın eylem listesi, 1967-68	25
Şekil 2.4:	Malzemenin performativitesi olarak isimlendirilen malzemenin niteliklerinin izin verdiği eylemler	26
Şekil 2.5:	Bauhaus Okulu'nun 1923 yılı eğitim programı.	34
Şekil 2.6:	Bauhaus Okulundaki temel tasarım dersinin yönetsel strüktürü	35
Şekil 2.7:	Enformasyonu materyalleştirmek ve malzemeyi enforme etmek	36
Şekil 2.8:	Tasarım - yapım ilişkisinde farklılaşmalar.	42
Şekil 2.9:	Dijital prosedürler ile yaparak tasarlamak.	42
Şekil 2.10:	<i>Katlamak</i> ve <i>Mimarlık</i> kelimelerinin Google arama motorunda aranması sonucunda çıkan imajlar.	46
Şekil 2.11:	Katlamanın tasarım alanında kullanımları.	47
Şekil 2.12:	Rene Thom'un sürekliliği lineer bir şekilde devam eden bir sistemdeki ani ve keskin faz değişimini grafikleştirerek farklı bileşenlerin birbirine etkisini açıklayan diyagramları katlama kuramının referanslarıdır. Burada iki faktörün etkisiyle bir köpeğin davranışını inceleyen Thom, etkenlerin kesiştiği belirli anlarda tek bir yönde giderek artmak yerine iki farklı davranışın gerçekleşebilme olasılığının mümkün olması ile tahminler uzayının katlandığını göstermektedir	48
Şekil 2.13:	Düzlemsel ve silindirik geometri tipleri arasında dönüşüm olanaklarını değerlendiren bir köprü tasarımı (kaynak: Reiser, 2006).	48
Şekil 2.14:	İstakoz türünün, suyun derinliği ve karanlığıyla ilişkili olarak gözünün genişlemesi (Thompson, 1917).	49
Şekil 2.15:	Yukarıdan aşağıya sırayla kolaj mimarlığı, tıgla dizme örüntüsü, kesiti çeşitlenen tonozun değişken yapı elemanları ile inşaatı örneklerini karşılaştırarak kolaj yaklaşımına alternatif olarak katlama yapma yaklaşımına dair iki durumun örneklendirilmesi	50

Şekil 2.16:	Dijital teknolojiler ve katlama kuramı.....	54
Şekil 2.17:	Yüzeyin (s) üzerinde yer alan eğri (c) boyunca yön değiştirmesi ile katlamanın oluşumu & Eduardo Torroja'nın katlanmış yüzey örneği: Zarzuela Hipodromu tribününün çatısı üzerinde uyguladığı yük testi, Madrid, 1935.....	55
Şekil 2.18:	Kuvvetlerin, katlama çizgisi boyunca yüzeye dağılımı ve yüzeyin giriş gibi strüktürel davranış kazanması	56
Şekil 2.19:	Eugene Fressinet tarafından tasarlanan Orly Havaalanı içinde yer alan hangarın fotoğrafı ve inşaat sürecine ait diyagramlar	56
Şekil 2.20:	Pier Luigi Nervi: Sergi Salonu, Turin, 1948; Marcel Breuer, Pier Zehrfuss & Pier Luigi Nervi: UNESCO Konferans Merkezi, Paris, 1953; Marcel Breuer: Saint John the Baptist Kilisesi, Minnesota, 1961	57
Şekil 2.21:	Felix Candela: Miraculous Virgin Kilisesi, Meksika, 1955; Sancho-Madrdejos Mimarlık: Şapel, Valleacaron, 2001	58
Şekil 2.22:	Foreign Office Architects: Yolu Terminali, Yokohama, 1995; Zaha Hadid Architects: Riverside Müzesi, Glasgow, 2011; Make Architects: Bilgi Merkezi, London, 2007; LocalArchitecture: St. Loup, Pomaples, 2008; Christopher Robeller: Ahşap geçmeli katlanmış plaklar, 2015.....	58
Şekil 2.23:	ITECH Stuttgart Üniversitesi: TimbRFold, 2021.....	59
Şekil 2.24:	Fiziksel bir eylem olarak katlamak.....	59
Şekil 2.25:	Papirüsün katlanma biçimlerini tarif eden kesit diagramları.....	60
Şekil 2.26:	MÖ 3000'li yıllara tarihlenen Tarkhan kostümü, UCL Petrie Müzesi, Londra; MÖ 1300'lü yıllara tarihlenen Plise kıyafetli Nefertiti Heykeli, Louvre Müzesi, Paris; 1900'lerin başında Maria Fortuny'nin patentli pilise tekniği ile ürettiği Delphos elbise tasarımı, fotoğraf: Harlingue ve Roger-Viollet; 1900'lerin sonunda Plise elbise, Issey Miyake, fotoğraf: Irving Penn.....	61
Şekil 2.27:	Kraft kağıdından pilise kalıpları, Atelier Gerard Lognon, Paris; Bilgisayar kontrollü pilise makinası, Tuna Pilise, İstanbul	61
Şekil 2.28:	Kâğıt paketlemeleri içeren albüm: Ogasawa Usta, 1697; Origami figürleri içeren pencere dekoru çizimleri: Ise Sadatake, Tsutsumi-no Ki, 1734	62
Şekil 2.29:	Maske: Yoshizawa; Katlanmış yüzey: Asawa; Danseden Kadın: Sweeney; Yüzey: Shlian.	63
Şekil 2.30:	Froebel'in eğitim kuramına dayanan anaokulu materyali olarak kağıt katlama.....	63
Şekil 2.31:	Albers ve Volkurs sınıfı.....	64
Şekil 2.32:	Medikal stent: Kuribayashi vd.; Mikro-robot: Wyss Institute; Güneş teleskobu: Lang; Ayakkabı tabanı: Calisch ve Gershenfeld; Origami tekerlek: Lee, Kang vd.....	65
Şekil 2.33:	Katlanabilir kayak: Maarno; Katlanarak çantaya dönüşen kano: Oru Kayak; Sandalye: Flux; Çocuk ile birlikte büyüeyebilen giysi: Petit Pli	65
Şekil 2.34:	Ramirez Vazquez'in metal levha masası, Meksika; Normann'ın Mumluğu, Danimarka; Bentley, RCA öğrencisi Kyungeun ve Robofold'un geliştirdiği araba gövdesi; Çelik giriş askısı bağlantı elemanı; Alüminyum trapez levha.....	66
Şekil 2.35:	Endüstriyel origami tekniği	66

Şekil 2.36:	Katlamının metal yüzeylerin üretiminde dijital fabrikasyon tekniği olarak kullanıldığı örnekler	67
Şekil 2.37:	Metal katlarken bükülme yarıçapının hesabı.....	67
Şekil 2.38:	Alucobond Pavilyon	68
Şekil 2.39:	Hafif katlanmış kabuk örnekleri: Pleated Inflation, Hyparbola, Chrysalis Tiyatrosu.....	68
Şekil 2.40:	Chrysalis Tiyatrosu'nu inşa süreci	69
Şekil 2.41:	Sandviç panel malzeme tasarımı	69
Şekil 2.42:	Chakrasana: Clemson Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 2017	70
Şekil 2.43:	Archifolds, Samira Boon, 2018	70
Şekil 2.44:	Oricrete, 2016	70
Şekil 2.45:	Su ile reaksiyona girdiğinde katlanan ahşap kompozit malzeme, MIT Self-Assembly Lab, 2015; 4-D Printing Yapay Kanat, ETH, 2018; Shape-shifting 3-D Material, Harvard Lab, 2016; Hava ile katlanan malzeme, Aeromorph, Tangible Media Group, MIT, 2017	71
Şekil 2.46:	Taşınabilir katlanır barınak, USA, 1970; Zigzag çatı profilli katlanabilir barınak, Canada, 1968	72
Şekil 2.47:	Bina ölçeğinde otonom katlama	72
Şekil 2.48:	Katlanan strüktür	73
Şekil 2.49:	Bilgisayar kontrolü ile katlanabilir kayar kalıp, ETH, Zürih, 2019	73
Şekil 3.1:	Katlamak için malzemeyi eksiltme yolları	79
Şekil 3.2:	Motorola Razr telefonun ekranın katlanması için geliştirilen menteşe mekanizması	80
Şekil 3.3:	Katlama yapmak için kullanılan eylemler	80
Şekil 3.4:	Katlama adımları	81
Şekil 3.5:	Lang'ın kitabında yer alan temel katlama adımları	82
Şekil 3.6:	Katlayarak yapılmış ve katları açılmış model	83
Şekil 3.7:	Noktasal, çizgisel, eğrisel katlama	84
Şekil 3.8:	Heykeltraş Eric Joisel katlayarak nasıl maske yaptığını anlatırken, kağıdı köşelerinden ikiye bölerek maskenin orta aksını belirlediğini söyler. Orta aksın üzerinde burun çizgisini ve iki yanında göz çizgilerini işaretler.....	85
Şekil 3.9:	Origami sanatında kullanılan referans çizgileri ve örnek olarak Lang'ın radyal aks kullanarak ürettikleri	86
Şekil 3.10:	Jackson'ın kağıdı bölmelendirmesi	87
Şekil 3.11:	Cooper'ın diyagonal gridi ve katlanmış Naiad maskesi, Cooper'ın kullandığı sepet örgüsü katlama tekniği, Naiad maskesinin katlama izleri	88
Şekil 3.12:	Cooper'ın 60 derece grid üzerine uyguladığı sepet örgüsü katlama tekniği	88
Şekil 3.13:	Miura Ori, Yoshimura (diamond), Waterbomb, Resch katlama tekniği.	89
Şekil 3.14:	Yüzeyi bölerek (1) ve bir katlama birimini yatay ve dikey ekseninde taşıyarak çoğaltma ile (2) origami teselasyonu oluşturmak.	90
Şekil 3.15:	Miura katlama tekniğinin yapımı	90
Şekil 3.16:	Ayna yansıması (3), döndürme (4), ayna yansımasını kaydırma (5) operasyonları.....	91

Şekil 3.17:	Katlama izine uzatma ve çarpıtma operasyonlarının uygulanması.....	91
Şekil 3.18:	Varyasyon oluşturmak için daha fazla dönüştürme operasyonu.	92
Şekil 3.19:	Yüzey, yüzeyi alt parçalara ayıran çizgi, yüzeyin bir parçasını iki yüzeyi ayıran çizgi etrafında döndürmek.	93
Şekil 3.20:	Noktasal ve eğrisel katlama eyleminin Öklid dönüşüm operasyonları ile denemesi.	94
Şekil 3.21:	Noktasal ve eğrisel katlama eyleminin Öklid dönüşüm operasyonları ile denemesi.	95
Şekil 3.22:	Düzlemsel yüzeylere açılmayan çift eğrilikli bir yüzeyin iki zıt yöndeki eğrisel değerinin çarpımı gauss analizine göre pozitif veya negatif bir değerdir. Düzleme açılabilir yüzeylerin gauss değeri ise sıfırdır.....	96
Şekil 3.23:	Düzleme açılmayan çift eğrilikli yüzey.	97
Şekil 3.24:	Düzleme açılmayan çift eğrilikli yüzey.	97
Şekil 3.25:	Tek bir üretici çizgi (generatrix) eğrisel bir rota (directrix) boyunca alanı süpürerek düzleme açılabilir yüzey oluşturur.	98
Şekil 3.26:	Formun ‘diamond pattern’ olarak nasıl açılacağını tarif eden algoritmik süreç	100
Şekil 3.27:	İlişkisel modelleme ortamında katlama eyleminin simülasyonu.....	101
Şekil 3.28:	Origamizer	102
Şekil 3.29:	Freeform Origami	103
Şekil 3.30:	Pepakura	103
Şekil 3.31:	Oripa	104
Şekil 3.32:	Origami simulator.....	104
Şekil 3.33:	Tree maker.....	105
Şekil 3.34:	Crane.....	106
Şekil 3.35:	Mevcut dijital araçların katlama sürecinde kullanımı.	106
Şekil 3.36:	Üç düzlemde katlamak	107
Şekil 3.37:	Katlayarak tasarlama şeması.	113
Şekil 3.38:	Malzemeyi bilgilendirecek ilişkisel modelin oluşum sürecinde tasarım ve yapım döngüsü.	110
Şekil 3.39:	İki boyutlu düzlemsel malzemeyi katlama eylemi aracılığıyla çeşitlendirilmiş fonksiyonel özellikler ekleyerek dönüştürecek dijital bir model.	111
Şekil 3.40:	Katlayarak tasarlamının tartışıldığı üç örnek çalışma.....	115
Şekil 3.41:	Süreçte üretilen ilk versiyonların eş zamanlı gösterimi.....	116
Şekil 3.42:	Başlangıçtan itibaren üretilen versiyonların birbiriyle ilişkisini eş zamanlı gösteren protokol tablo.	118
Şekil 3.43:	Modelin sekansiyel adımlar olarak temsili.	119
Şekil 3.44:	Geometrik model versiyonları.	120
Şekil 3.45:	Süreç	121
Şekil 3.46:	Bir tasarım parametresi olarak değerlendirilen eğriselliğin katlama deseninin ilişkisel modeli ile temsili.....	122
Şekil 3.47:	Protokol tablo ile döngüsel sürecin sınırlı sayıda adımla anlatımı.	123
Şekil 3.48:	Protokol tablo.	124
Şekil 3.49:	Tasarım, yapım, temsil düzleminde türeyen varyantların ardışık dizilimi.....	125
Şekil 3.50:	Tasarım, yapım, biçim düzleminde üretilen dört versiyon.	126

Şekil 3.51:	Varyasyonlar.....	127
Şekil 3.52:	Katlama deseninin farklılaşması ve adımlarla tarifi.	128
Şekil 3.53:	Yedinci yineleme aşamasında ilişkisel modelin yedinci versiyonun (b) için şekil ilişkilerinin çalışılması.....	130
Şekil 3.54:	Yedinci yineleme.....	131
Şekil 3.55:	Versiyon 8 katlandığı zaman düzlemsel yüzeyi hacimlendirerek beden formuna etki eder.	132
Şekil 3.56:	Katlanmış geometrik parçaların değişimi ile fiziksel modelde fonksiyonel farklılaşma.	133
Şekil 3.57:	Eğrisel katlama eylemi ile düzlemsel malzemenin katlanması ve bükülmesi.	134
Şekil 3.58:	Düzlemsel yüzey, kavisi sıfırdan büyük olan bir eğri etrafında döndürüldüğünde yüzey bölümleri çakışır veya aralarında boşluklar açılır (yırtilır).	135
Şekil 3.59:	Eğrisel katlama eyleminin dijital ortamda temsili için kâğıt malzeme davranışının yazar tarafından geliştirilen algoritma ile tarif edilmesi.	136
Şekil 3.60:	Protokol tablo ile döngüsel sürecin çok sayıda adımlarla anlatımı.....	138
Şekil 3.61:	Tasarım, yapım, temsil düzleminde katlama sonucu türeyen varyantaların ardışık dizilimi.....	139
Şekil 3.62:	İlişkisel modeli oluşturan nokta elemanlar arasındaki mesafe kuralının değiştirilmesi ile yeni malzeme davranışının keşfedilmesi.....	141
Şekil 3.63:	İlişkisel modeli oluşturan nokta elemanlar arasındaki mesafe kuralının değiştirilmesi ile yeni malzeme davranışının keşfedilmesi.....	141
Şekil 3.64:	Üç örneğin protokol şemalarının karşılaştırılması.	142
Şekil 3.65:	İlk örneğin protokol şeması	143
Şekil 3.66:	İkinci örneğin protokol şeması.....	143
Şekil 3.67:	Üçüncü örneğin protokol şeması.....	144
Şekil 4.1:	İlişkisel modeli oluşturan tasarım eylemlerinin fikir düzleminde keşiflere göre kümelenmesi.....	150
Şekil 4.2:	Sonuçta ortaya çıkan şemanın görselleştirilmesi.....	151



SAYISAL ORTAMDA YAPARAK TASARLAMANIN BİR YORDAMI OLARAK KATLAMAK

ÖZET

Bu tez çalışması, tasarımcının fiziksel ortamda malzemeyi işlemek ve dönüştürmek için uyguladığı eylem(ler)i bir yapım ve tasarım tekniği geliştirmek için nasıl araçsallaştıracağını araştırır. Eylemin tasarım için araçsallaştırılması, sadece tasarlanmakta olan nesne üzerine düşünmenin ötesinde tasarlanmakta olan ortaya çıkaran tasarımcının eylemi üzerine düşünmesini gerektirmektedir. Eylemin tasarım için tasarıma sağladıklarının sorgulanıp eylemin çeşitlendirilerek çoğaltılması ile bir tasarım ve yapım tekniğine dönüştürülmesidir. Yapım eylemi aracılığıyla tasarım için farklı parametrelerin tespit edilip bir nesne veya yüzey uzayında biçimsel ve işlevsel niteliklerin çeşitlendirilmesidir. Eylemin araçsallaştırılması ile geometrinin, malzeme yoğunluğunun, fonksiyonun çeşitlendiği sürekliliğe sahip heterojen tasarım ürünlerine varılabileceğini savunur. Savunulan tasarım yaklaşımı, hazır endüstriyel nesnelerin kolaj mantığı ile bir araya getirilmesinin karşısında durur. Parametrik ilişkisel modelleme tekniklerinin ise tasarım bağlamı ile ilişkilendirilerek tasarımın çeşitli veçhelerini kapsayıcı bir hesaplamalı çerçeveye nasıl dönüşebileceğini sorgular. Bir eylemi araçsallaştırmak için, ilişkisel modelleri kullanarak dijital ortamı erken tasarım süreci aşamasına dâhil eden ve tasarladığı nesneyi fiziksel ve dijital ortamlar arasında gidip gelerek geliştiren tasarımcılara özgün düşünsel süreçlere yönelik bir analitik çerçeve önerir. Çalışmanın önerdiği yaklaşım, söz konusu tasarım süreçlerini anlamak için “katlama” eylemine ilişkin potansiyelleri tartışmaya açmaktadır. Tasarım süreci sırasında tasarımcının, üzerinde çalıştığı malzeme ile fiziksel ortamda dolaylımsız biçimde karşılaşması, tasarlanan nesneye özgü nitelikleri tarifleyen geometrik özellikler ve ilişkilerle dijital ortamda karşılaşması, önceden işleme sokulan tasarım girdileri ile yeni tasarım fikirlerinin tasarımcının zihinsel alanında karşılaşmaları, bu çalışmanın odaklandığı “katlama” eylemine ilişkin potansiyelleri tartışmak adına uygun bir zemin sunmaktadır.

Tasarımcının zihinsel, fiziksel, dijital dünyalar arasında gidiş gelişler sırasında yaptığı değerlendirme ve hesaplamalar, tasarım formlarının birbirinin tekrarı olmaktan çıkıp özgün bir tasarım ürünü olarak geliştirilebilmesinde etkindir. Bu gidiş gelişler esnasında katlama eyleminin kendisi, iki ve üç boyutlu düzlemde etkileşime giren formel ilişkiler ve zihinsel ortamda etkileşen tasarım fikirleri yinelenmektedir (katlanmaktadır). Dolayısıyla, bu çalışmanın incelediği tasarım örnekleminin ortaya çıkardığı bulgular, “katlama”nın fiziksel eylem ve kavramsal özelliklerine dayanan kuramsal bir model geliştirmek ve bu modelin pratik faydalarını vurgulamaktadır. Çalışmanın başlıca çıktısı olan bu kuramsal model, tasarım faaliyetinin gerçekleştiği zihinsel, fiziksel, dijital dünyalar ve temsiller arası gidiş gelişlerin fikir, biçim (formel ilişki), malzeme bağlamında yinelenmeleri devreye soktuğu ve bu sayede tasarım süreçlerinin yöneleceği keşif rotalarının çoğalabileceğini öne sürmektedir.

Modeli temellendirmek için yaparak tasarlamak, katlayarak tasarlamak, bir bağlam olarak katlamak ana başlığıyla üç arkaplan çalışması yapılmıştır. Modele temel oluşturması için öncelikle fiziksel ve dijital bağlamda tasarım aktivitesinin yaparak icra edilmesi konusunda kuramsal bir araştırma yapılmış. İkinci bölüm olan Katlayarak Tasarlamak başlığı altında ise tasarım bağlamı içerisinde katlamanın üç farklı biçimde ele alındığı örnekler tartışılmıştır. Bu örneklerden yola çıkarak, tasarım bağlamında üç farklı düzlemde katlamanın gerçekleştiği bir çerçeve çizilmiştir. Bu çerçeve sürecinde gerçek anlamıyla katlamanın nasıl uygulanacağına dair prosedürel bilginin araştırılması bir sonraki bölümde yapılmıştır. En son olarak önerilen çerçeve bağlamında üç örnek çalışması retrospektif olarak önerilen çerçeve üzerinden incelenmiştir. İncelenen üç örnek, ilişkisel modelin tasarım sürecinin farklı aşamalarında etken olduğu çalışmalardır. Birinci çalışmada tasarım süreci başından itibaren geometrik ilişkileri modelleyerek ve tasarıma dair farklı katmanları ilişkisel model üzerine aktararak gerçekmiş ve fiziksel üretim bu sürecin kısıtlı bir bölümünde karar alıp sürecin gidişatında etkili olmuştur. İkinci çalışma ise fiziksel ortamdaki yaparak tasarlama sürecinde tespit edilen tasarım parametrelerinin en son ilişkisel modele kodlandığı bir süreçtir. Üçüncü çalışma ise bir yapım eyleminin dijital ortamda gerçekleşmesi için sürecin başında eylemin ilişkisel bir modelinin yapılıp, böylece ön-rasyonalizasyonu yapılan eyleminin dijital ortamda bir tasarım aracı olarak ardışık kullanımlarıyla bütüne varılan bir çalışmadır.

FOLDING AS A PROCEDURE OF ‘DESIGN THROUGH MAKING’ IN DIGITAL MEDIUM

SUMMARY

In recent years, there has been a growing interest in the use of computational tools and techniques in the design process. Digital design tools offer a range of possibilities for designers, from generating complex surface designs to automating repetitive tasks. However, there is a growing concern among design theorists about the limitations of computational tools in (early/concept) design because they mostly reduce down the holistic design by providing partial solutions. The partial solutions of the tool are not easily integrated with other aspects of design. The well-structured tools are not flexible enough to change and adapt to the particular design context.

While digital tools offer new possibilities for designers with their computational capacities, they may limit the full range of creativity and design thinking. Therefore, this thesis argues that a computational design processes start to be used or constructed with a digestible small context and be extended by exploring/integrating design aspects through making. This thesis seeks to explore the role of folding as a procedure of design through making in the digital age. In particular, it seeks to investigate the potential of folding as a means of enriching the design process and supporting dialogue between the designer and the design object.

The main argument of the thesis is that designers can develop computational design techniques starting from a simple material action and a small design context. Thus, the thesis put a spotlight on material actions (folding). Thinking on action is instrumental for the development of technique. The thinking consists which action the material affords for designer, what action is applied and what the action’s consequences’ affords for design.

When designers act in the context of design, they solely tend to think onto action’s consequences. Naturally, they merely reason what the action affords in terms of design. Designes do not bring their focus on the action itself. Yet, starting ‘design through making’ by bringing the focus on the relationship between the design actions and the design concepts can ease the development of computational design processes. Moreover, the playful iterations of actions and design concepts can lead designer to an understanding of his/her design process as a comprehensive design technique.

With this motivation in mind, this thesis investigates how the actions applied by designers to manipulate and transform materials can be instrumentalized for design and making.

The instrumentalization of actions in design refers to transforming the actions, questioning their contributions to design, and diversifying and multiplying them to

create a technique for design and making. Through the act of making, different parameters for design are identified, and the formal and functional qualities are diversified. The instrumentalization of actions suggests that it is possible to achieve heterogeneous design products with diversified geometry, material density, and function. This approach challenges the logic of assembling ready-made industrial objects through collage. Moreover, it questions the potential of parametric associative modeling techniques to transform design into a comprehensive computational framework.

To instrumentalize an action, the thesis proposes an analytical framework that incorporates the digital realm into the early stages of the design process using associative models, allowing designers to develop their design ideas by navigating between physical and digital environments. The study focuses on exploring the inherent potentials of the action of "folding" to understand these design processes. The encounters between the designer and the material being worked on in the physical environment, the encounter with geometric features and relationships that describe the specific qualities of the designed object in the digital environment, and the interaction of newly generated design ideas with preprocessed design inputs create a suitable ground to discuss the potentials inherent in the action of folding.

The evaluation and calculations made by the designer during their movements between mental, physical, and digital worlds play a crucial role in developing design forms as unique design products rather than mere repetitions. During these movements, the action of folding itself is reiterated through formal relationships that interact in two- and three-dimensional planes and design ideas that interact in the mental environment. Therefore, the findings of the examined design examples in this study aim to develop a theoretical model based on the physical action and conceptual characteristics of folding, emphasizing its practical benefits. This theoretical model suggests that the iterative nature of idea, form (formal relationship), and material interactions triggered by the movements between mental, physical, and digital worlds and representations can expand the discovery routes that design processes can take.

To establish the foundation of the model, three background studies were conducted under the headings of "designing through making," "designing by folding," and "folding as a procedure." The first section focuses on a theoretical investigation of design activities performed through making in both physical and digital contexts. Although digital design-making is addressed as a separate topic due to its inclusion of different cognitive processes, it is examined within the context of design with associative models. The second part of the background section, "Designing by Folding," discusses examples where folding is approached in three different ways within the design context. Based on these examples, a framework is drawn that encompasses folding occurring in three different dimensions within the design context. The third section explores the procedural knowledge of how folding can be implemented in the proposed framework. Finally, within the proposed framework, three case studies are retrospectively examined. These studies demonstrate how the associative model plays a role in various stages of the design process. The first study models geometric relationships from the beginning of the design process, transferring different layers of the design onto the associative model, while physical production only influences a limited part of the process. The second study involves encoding the identified design parameters from the physical design-making process into the

associative model. The third study focuses on the digital implementation of a construction action, where an initial associative model of the action is created, leading to its comprehensive use as a design tool through sequential iterations in the digital environment.

The research questions and hypotheses for this thesis were developed with this balance in mind. The first research question seeks to explore the development of a computational framework or tool that enables designers to produce complex surface designs without being limited by preconceptions, definitions, or typologies. This research question highlights the need for designers to be able to break free from the constraints of existing design templates and to generate new and innovative designs.

The second research question focuses on the execution of activities related to making, designing, modeling, and representational mechanisms based on exploratory design. It seeks to identify strategies that can be developed to guide the exploration process. This research question emphasizes the importance of the design process in exploring and generating new ideas, and the need to balance digital tools with other design approaches.

The third research question explores how folding as a making action can contribute to the enrichment of the design process by supporting dialogue between the designer and the design object. This research question highlights the potential for physical manipulation and interaction with the design object to stimulate new ideas and insights.

Finally, the fourth research question addresses the development of a protocol that defines the steps and relationships involved in digital design processes involving folding. This research question emphasizes the need for a design guide in the use of digital tools and methods in the design process, while acknowledging the importance of flexibility and adaptability in the design process.

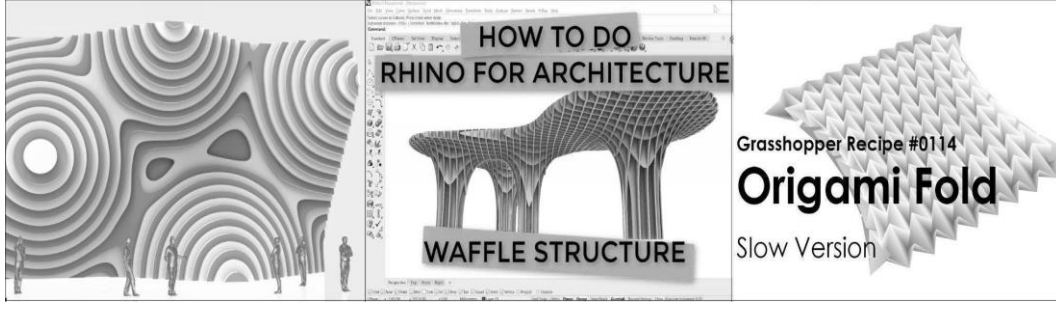
Overall, this thesis seeks to contribute to the ongoing discussion of the role of digital tools and techniques in the design process. By exploring the potential of folding as a procedure of design through making in the digital age, this thesis aims to provide a more nuanced understanding of the relationship between digital tools and creativity in the design process.



1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan dijital tasarım araçlarının bilgisayar kontrollü üretim ile birlikte ele alınması, tasarımda konsept ve üretimin birbirini beslemesi için fırsatlar yaratır. Dijital formu fiziksel olarak üretebilmek ve fiziksel eylemleri dijital ortamda simüle etmek için geliştirilen dijital tekniklerin betikler ve görsel programlama (grasshopper) arayüzleri aracılığıyla yaygınlaştığı görülmektedir. Dijital tasarım ve fabrikasyon teknolojilerinde erişilebilirlik ve hesaplama kapasitesindeki hızlı gelişim nedeniyle, tasarım süreçlerinde dijital ve fiziksel ortam arasındaki veri alışverişinin, fiziksel yapıma ait bilginin dijitale aktarımı, dijitalin fiziksele çevrimi giderek önem kazanmaktadır.

Dijital fabrikasyon teknolojileri yaygın kullanımıyla çıkartmalı, eklemeli ve biçimlendirici (formative) olmak üzere üç temel başlıkta ele alınmaktadır (Keating, 2012). Çıkartmalı üretim, düzlemsel ya da hacimsel bir malzemeden, önceden belirlenen bir geometriyi bilgisayar kontrollü bir makina yardımıyla eksilterek yeni biçimler kurulmasına dayanır. Eklemeli üretime 3 boyutlu yazıcılar ya da robot destekli kurulumlar örnek verilebilir. Biçimlendirici üretim ise kademeli levha bükümü (incremental sheet forming) tekniği örneğinde olduğu gibi bilgisayar komutları ile hareket eden makinanın malzeme üzerine basınç veya çekme uygulayarak malzemenin formunu değiştirmesidir. Bahsedilen üç kullanımın bir sürecin farklı aşamalarında ardışık kullanımları da mümkündür. Çıkartmalı üretim bağlamında, düzlemsel malzemelerden üretimi mümkün kıldığı için kontur alma, kaset (waffle) strüktür, katlama en popüler teknikler arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Örneğin, kontur tekniği mimari tasarım alanında topografya maketi üretmek için kullanılan en yaygın tekniktir. Bu ve benzer dijital fabrikasyon tekniklerinin tasarım bağlamına nasıl etki ettiği ise üzerinde yeterince çalışılmamış bir konudur. Yenilikçi üretim teknikleri geliştiren araştırmaların dışında kalan çoğu çalışma, dijital fabrikasyon tekniklerini sonuç ürün odaklı olarak kullanır. Dijital üretim teknikleri, tasarımın yaratıcı sürecine dahil edilmez. Oysaki, tasarım nesnesinin yapısını tarif eden tekniklere tasarım kurucu araçlar olarak da yaklaşılabılır.

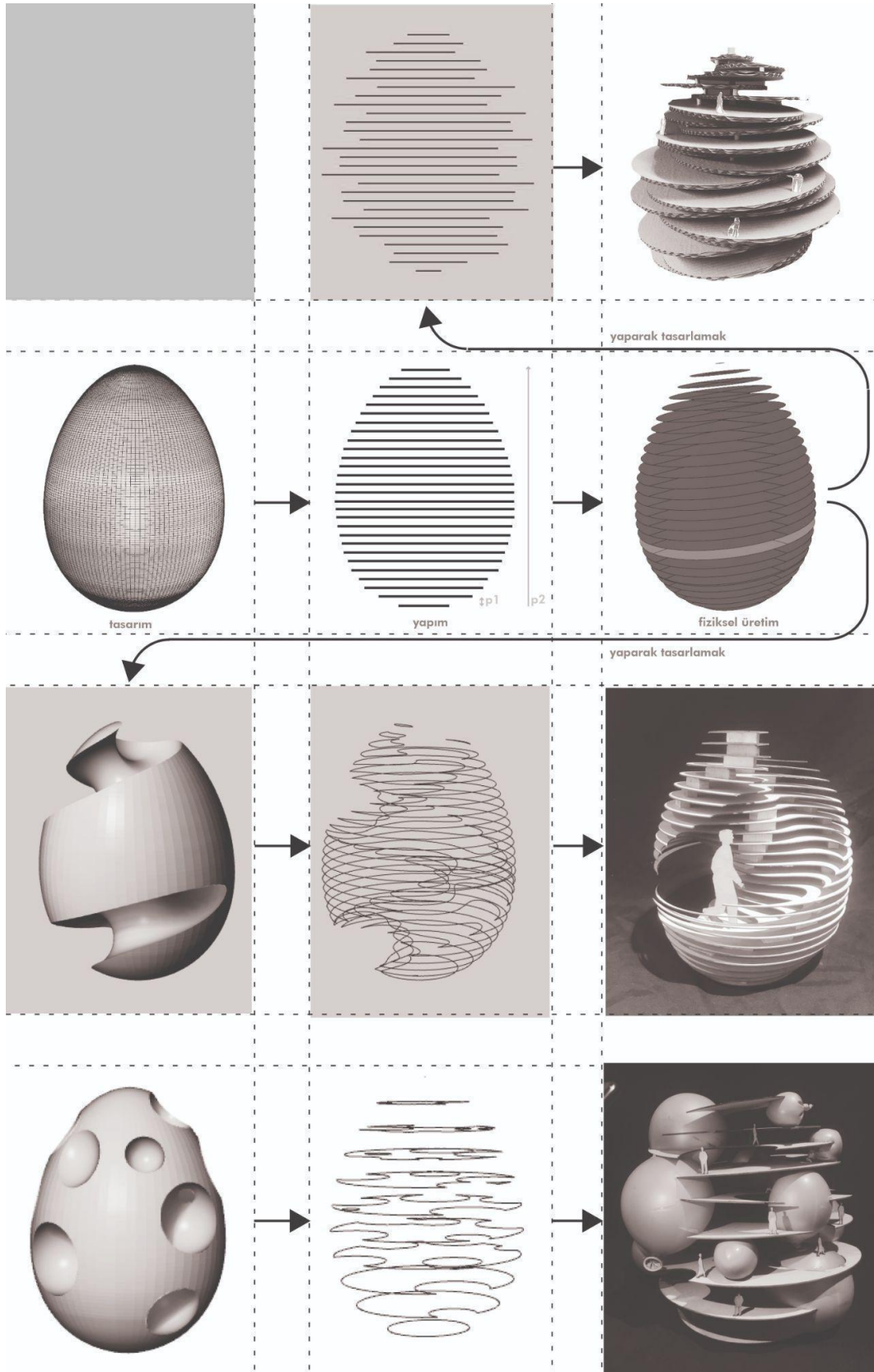


Şekil 1.1: Kontur, Om.evgo youtube kanalı, 2021; Kaset, RhinoProf youtube kanalı, 2021; Katlama, Junichiro Horikawa youtube kanalı, 2019 (kaynak: URL-1, URL-2, URL-3; erişim tarihi: 01.02.2023).

Dijital üretim tekniklerinin tasarım kurucu araçlar olarak ele alınması yaklaşımı Stiny (2012), Horvath (2005), Lawson (2004), Perez-Gomez (2002) gibi tasarım kuramcıları tarafından eleştirilmektedir. Örneğin, kavramsal tasarımın mekanistik olmayan (sezgisel, deneyime dayalı, yansımali, entellektüel) doğası nedeniyle bilgisayarlar doğrudan süreci destekleyememektedir (Horvath, 2005). Tasarımcının erken süreçte tasarımı özgür ve hızlı bir şekilde değiştirmesine paralel olarak katı ve hiyerarşik olan dijital modeller eş zamanlı yanıt verememektedir (Lawson, 2004). Üretim tekniklerini tarifleyen parametrik tasarım modelleri, geometrik tasarım elemanları arası etkileşimi ve dolayısıyla geometrik tasarım elemanlarının hesaplanabilir karmaşıklıklarını gizlediği için erken tasarım sürecindeki yaratıcılığı kısıtlayan ve birbirine benzeyen sonuçlar çıkaran çalışmalar olarak kabul edilmektedir (Stiny, 2012). Parametrik modelleme ile tasarımcıların sadece nesneyi tasarlamayıp, nesnenin çeşitlenmesini yönlendiren kavramsal strüktürü de tasarlamaları (Woodburry ve Aish, 2005) ise, tasarımcı ile tasarım nesnesi arasındaki doğrudan ilişkiye bilişsel bir yük getirmektedir. Başka bir ifadeyle, bir diyagramın strüktüre edilme süreci tasarlama süreciyle bütünleşmektedir. Diyagramatik strüktür karmaşıklıklaştıkça, tasarımın erken sürecindeki esnekliğe uyum sağlaması zorlaşmaktadır (Harding vd., 2012).

Bu tez çalışması da, bu problemten yola çıkarak dijital ortamdaki tasarım formunu üretmek için geliştirilen tekniklerinin tasarımı kurucu yaratıcı araçlar olarak icra edilebilmesini sağlayacak yordamları ortaya koymak niyetiyle başlar. Bu motivasyonun arka planı, araştırmacının İTÜ Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı'ndaki öğrenci (2010-2020) ve araştırma görevlisi (2010-2018) olarak gerçekleştirdiği tasarım üretimleri ile MEF Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Bölümünde yürüttüğü (2019-2021) ilişkisel modelleme dersinde üretilen öğrenci çalışmalarına dayanmaktadır. Parametrik ilişkisel modellerle uygulanan yapım

teknikinin tasarım kurucu bir yol olarak uygulanmasına örnek olarak Şekil 1.2’de görülen çalışma paylaşılmıştır. Bu örnek, sözü edilen yaklaşımın basit adımlarla gösterimi olarak kabul edilebilir. Şekil 1.2’de dijital ortamdaki geometrik formu tasarımcının değiştirebileceği parametrik değerlere göre konturlara bölen tekniğin sadece fiziksel yapım için bir araç olmadığı görülmektedir. Dijital teknik, kavramsal tasarım süreci için bir çerçeve olarak benimsenerek tasarımın farklı yanlarının keşfine ve tekniğin gelişimine aracı olur. Örneğin Şekil 1.2’nin alt iki sırasındaki çalışma (Şekil 1.2.1.C, 1.2.2.C), kontur algoritmasını (Şekil 1.2.0.B) değiştirmeden aracın parametrelerini değiştirerek ve kontur tekniğinin uygulanacağı global formu geri dönüp bozarak (Şekil 1.2.1.A) yeni bir tasarım önerisi sunar. Konturların arasındaki mesafeyi konturları bir merdiven gibi kullanmak veya farklı nitelikte zeminler olarak kullanmak için değiştirir. Konturlar arasındaki mesafeyi fiziksel ortamda korumak için yeni tasarım elemanlarını tasarıma dahil eder. Üst sıradaki çalışma (Şekil 1.2.3.C) ise kontur algoritmasına bir geometrik operasyon ekleyerek aracı çeşitlendirir. Kontur uygulandıktan sonra, sırayla iki konturdan birisi x ve y düzleminde belirlenen birim kadar hareket ettirilerek kotların farklı yönlerde doğru çıkmalar yapması sağlanır (Şekil 1.2.3.B). Özetle, yapım tekniğini sabit tutup parametrelerini değiştirmek, tekniğin oluşturduğu formel bileşenleri yeni operasyonlarla değiştirip yapım tekniğini geliştirmek, tekniğin uygulandığı formu bozmak gibi basit eylemler, üretimin yanı sıra tasarım için uygulanır burada. Bir üretim tekniği, bileşen parçaların belirli kurallarla bir araya gelip formu nasıl üreteceğini tarif eder. Tariflenen form ilişkilerinin potansiyel davranışı veya işlevi üzerine tasarımcının yaptığı çıkarımları gerçekleştirmek için tasarımcının mevcut tekniğe çapaladığı operasyonlar, üretim tekniğini bir tasarlama aracına dönüştürmektedir.



Şekil 1.2: Kontur tekniğinin tasarımı kurucu keşif aracı olarak kullanımı. Soldan sağa kodlama A,B,C; Ortadan aşağıya 0,1,2,3 (Bacinoğlu, 2019).

Metnin bu bölümü, yapım tekniklerinin tasarımı kurucu yaratıcı araçlar olarak icra edilmesini sağlayacak yordamları ortaya koyma motivasyonu ile başlayan araştırma çalışmasının amaçları ve kapsamını tanıtarak başlamaktadır. Daha sonra, amaçların doğurduğu temel araştırma soruları ve hipotezler tartışılmaktadır. Son olarak, araştırmanın metodolojisi ve bulguların özeti açıklanmaktadır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez, tasarım araştırmaları genel başlığı altında yer alacak bir çalışmadır. Üzerine üretilen modeller, eğitimde malzeme, biçim, nesne ilişkilerini tartışmak ya da bir malzemenin performatif davranışını belirlemek gibi farklı amaçlarla kullanılabilir. Yaparak tasarlama meselenin daha derinlerinde yatan tasarlama edimlerini, hayal gücünü, malzemeye içkin niteliklerin ve keşiflerin dijital veya analog yöntemlerle sayısallaştırmasındaki potansiyelleri örnekler üzerinden ortaya çıkarmayı ve bunları yaparken süreçte katlama kavramının rolünü göstermeyi amaçlar.

Çalışma, yapım tekniklerinin tasarımı kurucu yaratıcı araçlar olarak icra edilmesini sağlayacak yordamları ortaya koyar. Tasarım süreçlerinde yaygın kullanılan bir üretim tekniği olan katlamayı örneklem olarak alır. Yordamları ortaya koymak için katlamaya farklı düzlemlerden (fikir, biçim, eylem) bakar. Özetle, tasarıma değer katan dijital üretim tekniklerinin (hesaplamalı & algoritmik & ilişkisel modellerin) geliştirilmesi ve icra edilebilmesine dair yordamları dışsallaştırmayı hedefler.

“Tasarımı kurucu üretim teknikleri” söylemini deneysel bir tasarım araştırması aracılığıyla çözümleyebilmek için fiziksel bağlam, dijital bağlam, hesaplamalı zanaat eksenlerinde tartışmaya ihtiyaç duyulmuştur. Sonucu bilinmeyen bir tasarım aktivitesinin süreçte yapılanmasını sağlayan eskiz, diyagram, maket, dijital model, ilişkisel model gibi farklı yapım bağlamlarının literatürde nasıl tartışıldığı önem taşımaktadır. Tasarımcı ele aldığı durumu tasarım süreci boyunca yeniden çerçevelediği için tasarım niyeti ve kapsamı değişmekte, gelişmekte, karmaşılaşmaktadır. Çerçeve, tasarımcının tasarım aktivitesinin belirli bir zaman dilimi içerisinde tasarım durumuna yüklediği perspektifidir. Bu değişken perspektif, tasarımcının tasarım nesnesini nasıl nitelendirdiği, bildiği, tariflediği hakkındadır (Cardoso vd., 2016). Tasarlanmakta olan nesnenin farklı yanlarına dair perspektiflerle nesnenin kapsamının karmaşıklığına dair tasarımcının kavrayışının süreçte genişlemesi veya detaylanması genellikle eskiz yapmak üzerinden tartışılmaktadır

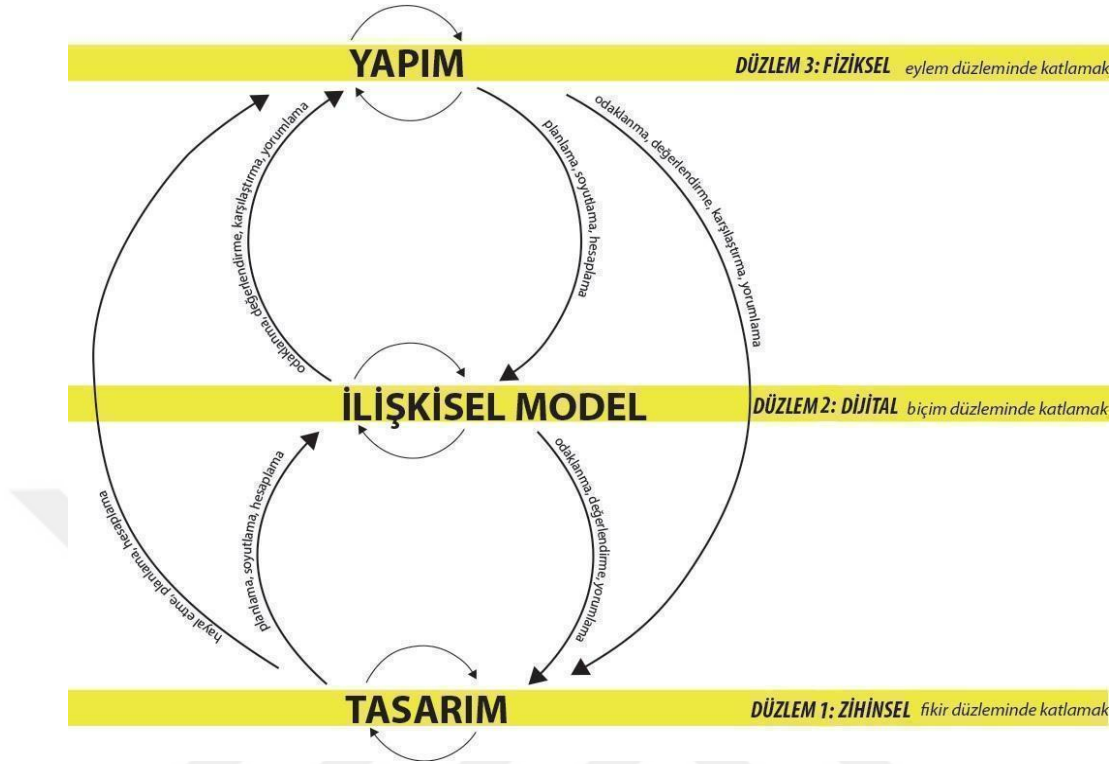
(Goldschmidt, 2003). Hesaplamalı düşünürken ise ele alınan durumun karmaşıklığı içinden ihtiyaç olmayan kısımlar soyutlanıp çerçeve daraltılır. Hesaplamalı tasarım düşüncesi veya araçlarının erken tasarım sürecinde kullanıldığı durumda tasarımcının perspektifini nasıl değiştirip pozisyon aldığı ise soru işaretidir. Bu nedenle, tasarımcının zihin dışında gerçekleştirdiği aktiviteleri ifade eden yapım bağlamı ile zihin içindeki aktiviteleri ifade eden tasarım bağlamı arasında kurulan karşılıklı diyalog sürecinin bileşenleri metnin “Yaparak Tasarlamak” başlıklı ikinci bölümünde tartışılmaktadır. Farklı yapım bağlamlarının tasarımın çeşitli yanlarını sürece katarak tasarımı zenginleştirmesi ile birlikte, temel aktiviteler olarak hesaplamak (soyutlamak, planlamak), yapmak (dışsallaştırmak), değerlendirmek (odaklanmak, görmek, duyumsamak, yorumlamak, karşılaştırmak), bozmak (parçalamak, dönüştürmek, çıkarmak, eklemek) yaparak tasarlamamanın dört önemli bileşeni olarak tespit edilmektedir.

Tezin “katlayarak tasarlamak” başlıklı diğer bölüm ise katlama kavramına geniş bir perspektiften bakmaktadır. Bu bölüm, katlamanın bir yapım eylemi, kuramsal bir yapı ve formel bir strateji olmak üzere tasarım alanında üç farklı düzlemde örneklerle tartışıldığı kısımdır. Bu bölümdeki tartışma ile yaratıcı süreçler için uygulanan katlama eyleminin fikir ve biçim düzleminde katlamaları da içerdiği sonucuna varılmaktadır.

Katlama yapım prosedürlerinin incelendiği “bir yordam olarak katlamak” başlıklı bölümde ise incelenen prosedürlerin ilişkisel modellerle birlikte ele alınması için üç yordam tespit edilmektedir. Formu katlayarak açan teknikler geliştirerek ilişkisel modellerle tasarlamak (1), yaparak tasarlayarak ilişkisel modelleri kurmak (2), katlamayı ön-rasyonalize eden prosedürler kullanarak ilişkisel modelleri tasarım için kullanmak (3).

“İlişkisel modellerle tasarlamamanın bir yordamı olarak katlamak” başlıklı bölümde ise çalışmanın önceki bölümlerindeki çıkarımlara dayalı olarak dijital temsil mekanizmalarının yaparak tasarlama sürecine dâhil olduğu keşfe dayalı tasarım süreçleri için katlamanın üç farklı düzlemde keşifleri destekleyen bir strateji olarak önerildiği bir protokol sunulmaktadır. Fiziksel ortamdaki yapım tekniği (1), bu üretim tekniği aracılığıyla fikirlerin geliştiği tasarım süreci (2), tasarım/üretim tekniğinin dijital ortamda geometrik özellikler, değişkenler, ve ilişkiler olarak tarifi edildiği ilişkisel model (3) araştırmanın konusunu oluşturan üç bileşendir (Şekil 1.3). Bu üç bileşenin erken tasarım süreçlerindeki izdüşümünü irdelemek için bir protokol şeması

önerilmektedir. Protokol tablo kullanılarak üç tasarım çalışması örneklendirilmekte ve sonuçları tartışılmaktadır.



Şekil 1.3: Tasarım-Yapım-İlişkisel Model döngüsü üzerinden zihinsel, fiziksel, dijital ortamlar arası gidiş gelişleri gösteren protokol tablo.

Bu protokolü örnekleyerek tartışmak için katlama eyleminin dijital temsil mekanizmaları ile üç farklı biçimde ilişkisinin kurulduğu üç çalışma (üç boyutlu formun iki boyutlu düzlemsel malzemelerden üretildiği (3.2.1); iki boyutlu katlama deseni ile elde edilen üç boyutlu formun olanakları ile tasarım keşiflerinin yapıldığı (3.2.2); katlama eyleminin malzeme özelliklerine dayalı olarak dijital ortamda temsil ve simüle edilmesi ile tasarım keşiflerinin gerçekleştiği (3.2.3) örnekler) incelenir. Tezin son bölümü ise bulguları ve gelecek öngörülerini içermektedir.

1.2 Araştırma Soruları ve Hipotezler

Çalışma kapsamında ele alınan araştırma soruları aşağıda sıralanmaktadır:

- Tasarımcı zihninde yer etmiş ön kabullere, tanımlara, tipolojilere takılmadan yeni bir tasarı nesnesi ortaya koymak için bir eylemden (mesela katlama) yola çıkarak işlevi çeşitlenen ve malzeme yoğunluğu derecelenen heterojen

tasarımlar üretecek hesaplamalı/sayısal (computational) bir çerçeveyi (aracı) nasıl geliştirebilir?

- Süreç boyunca yapma, tasarlama, modelleme aktivitelerini ve temsil mekanizmalarını keşfe dayalı olarak nasıl icra edebilir? Keşfe dayalı tasarım yapmak ve keşif sürecine yol göstermek için bir strateji nasıl geliştirilebilir?
- Çalışma kapsamında önerilen, katlama eylemi içeren dijital tasarım oluşum süreçlerinin adımları ve ilişkilerini tanımlayan bir protokol, farklı tasarım süreçlerinin değerlendirilmesinde nasıl kullanılabilir?

Tez, katlama eylemi ekseninde yapma süreçlerini ele almayı ve tartışmaya açmayı hedefler. Dolayısı ile katlama eyleminin olası modaliteler bağlamında potansiyellerini arttırmak tezin meselesidir.

1.3 Literatür Araştırması ve Metodolojinin Tanımlanması

Bu çalışmada, “tasarım aracılığıyla araştırma” (Research through Design) yöntemi temel alınmıştır. Tasarım yoluyla araştırma terimi ilk olarak Christopher Frayling (1993) tarafından “Sanat ve Tasarımda Araştırma” başlıklı makalesinde tartışmaya açılmıştır. Frayling (1993: 5) sanat ve tasarım alanındaki araştırmaları üç başlık altında sınıflandırmaktadır:

- Sanat ve tasarıma içkin araştırma;
- Sanat ve tasarım yoluyla araştırma;
- Sanat ve tasarım için araştırma.

Frayling (1993), sanat ve tasarıma içkin araştırma olarak estetik, algı, sosyal, ekonomik, politik, teknik ve yapısal araştırmaları; Sanat ve tasarım yoluyla araştırma için ise malzeme araştırmaları, ürün geliştirme ve eylem araştırmalarını örnek olarak vermektedir. Tasarım yoluyla araştırmanın ayırt edici temel özelliklerinden birisi, sözel iletişim olarak dışsallaştırılmış bilgi yerine, görsel, ikonografik ve imgelem içeren temsillere odaklanmasıdır (Frayling, 1993). Dolayısıyla tasarım nesnesinin içine gömülü, nesnede ete kemiğe bürünmüş (embodied) ve örtük olan bilgi ile de ilgilenmektedir. Frayling’in (1993) önerdiği kavramsal çerçeve ve içeriği ile ilgili Friedman’ın (2008) eleştirisi olmuştur. Friedman (2008), Frayling’in (1993) genel tasarım kuramları bağlamında ortaya koyduğu çerçevenin, farklı kavramsallaştırma ve

dışsallaştırma modları taşıyan tasarımda problem çözme süreçlerine yanıt veremeyeceğini öne sürer. Başka bir ifadeyle, genelleştirilmiş bir kuramın uygulama düzeyinde pek özelleşmiş/mikro durumla örtüşmeyebileceğini savunur (Friedman, 2008). Buna ilaveten, tasarlayan öznenin örtük bilgisinin (tacit knowledge) önemli ve değerli olduğu ancak tasarım bilimi açısından yalnızca zanaat bilgisinin dışsallaştırılmış parçasıyla araştırma yapılabileceğini belirtir (Friedman, 2008). Dolayısıyla, grafik ve materyal üretimler üzerinden tasarımcının sessiz deneyimine odaklanan bu çalışma “tasarım yoluyla araştırma” yöntemini benimsemiştir. Tasarım yoluyla araştırma yapmayı sağlayacak bir çerçeve kurmak için tasarım süreçleri ve katlama yapımı üzerine kuramsal ve pratik düzlemde literatür incelemesi yapılmıştır.

Tasarım süreçleri bağlamında Liikkanen (2010) üçlü bir çerçeve sunmaktadır:

- Rasyonel,
- Durumsal (situated account),
- İlhama dayalı.

Liikkanen (2010), önerdiği üçlü çerçeve üzerinden Fallman’ın (2003) insan-dijital teknolojiler etkileşimi üzerine tartışmalarını yeniden gruplandırmaktadır:

Çizelge 1.1: Fallman’ın (2003) insan-bilgisayar etkileşimi kavramlarını yeniden sınıflandırılması (Liikkanen, 2010).

Tanım	Rasyonel	Durumsal	İlhama Dayalı
Tasarımcı	Bir enformasyon işlemcisi, bir “cam kutu”	Yansımali (reflective) teknik bilgi, bir özörgütlü sistem	Yaratıcı, hayal gücü yüksek bir dahi, bir sanatçı, bir “kara kutu”
Tasarım Problemi	Hasta tanımlı ve strükture olmamış olanların tanımlanmasına ihtiyaç vardır	Duruma özgü, tasarımcı tarafından oluşturulur	Son ürüne bağlı
Süreç	Rasyonel bir arama sürecidir, tümüyle şeffaftır	Yansıtmalı bir iletişim, bir diyalogdur	Büyük ölçüde opak, mistik
Tasarım Bilgisi	Rehberler, tasarım yöntemleri, bilimsel yasalar	Her problemin nasıl ele alınması gerektiği, bileşik görme, deneyim	Yaratıcılık, imgelem, zanaat, çizim
Ürün	Sürecin bir sonucu	Diyalogun bir sonucu	Fonksiyonel bir sanat eseri
Benzerlik	Mühendislik, eniyileme	Brikolaj, insan bilimleri, sosyoloji	Sanat, müzik, şiir, drama

Tasarım süreçleri bağlamında rasyonel kategorisi, hesaplamalı tasarım kuramlarında “şeffaf kutu” kavramı ile örtüşmektedir (Çizelge 1.1). Şeffaf süreçlerde “tasarım etkinliğinin temeli problemin analizi ve çözümün sentezlenmesidir” (Liikkanen,

2010:21). Durumsal kategorisi ise, spesifik bir tasarım durumu ile ilişkilenecek (engagement) olarak tanımlanmaktadır (Fallman, 2003; Liikkanen, 2010). Bu kategori bağlamında, tasarımcılar spesifik tasarım durumları ile ilişkilendirirken yeni anlamlar üretmekte (Liikkanen, 2010), dolayısıyla anlayan ve anlamdıran özneler olarak aktif rol almaktadır. Tasarımcıların spesifik tasarım durumu ile ilişkilenecekleri, aynı zamanda yorumlama ve çerçeveler oluşturma süreçleri ile birlikte yürütülmektedir (Ylirisku vd., 2009; Liikkanen, 2010). İlhamı dayalı tasarım süreçlerinde ise ilhamın kaynağı muğlak ve tasarım yöntemi dönüştürülemez kadar belirsiz kabul edilmektedir.

Rasyonel tasarım süreçleri, zihnin hesaplamalı kuramına göre, belirsizlik içermeyen, kesin, rijid ve ayrık temsillerin ve süreçlerin varlığına dayanmaktadır (Goel, 1995). Ancak eskiz, resim ve şiir gibi yoğun, belirsiz ve şekilsiz sembol sistemleri gündelik hayatta ve tasarım süreçlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Goel, klasik hesaplama kuramının muğlaklık taşıyan süreçleri reddetmesini ya da zihin alanının dışına taşımamasını eleştirmektedir. Dolayısıyla, tasarımcı ve tasarım temsillerine ilaveten tasarımcı-tasarım temsilleri arasındaki ilişkilenecek durumu da sürecin aktif bir parçası olarak ele alınmaktadır ve bu bağlamda Liikkanen'in (2010) durumsal kategorisine yakın durmaktadır.

Durumsal tasarım süreçlerini incelemek için Moholy Nagy (1938), Gibson (1977), Schön (1988), Tzonis (1992), Akin (2001), Gero (2004), Stiny (2006), Goldschmidt (2014), Kelly (2021)'in geliştirdiği kuramsal önermeler temel kaynakları oluşturur.

Coyne'a (2005) göre en tanımlı tasarım süreçleri bile, kesinleşmiş bir "sonlandırma kuralı" olmaksızın esneklik ve boşluklar taşımaktadır. "Süreçteki boşluklar ve bilinmezlikten dolayı tasarımda farklı (zihinsel-fiziksel-dijital, analog-sembolik) temsiller arasında sık sık gidip gelerek tasarım problemi sürekli bir biçimde yeniden yapılandırılmaktadır" (Akin, 2001). Akin'a paralel olarak Goldschmidt (1991), "içsel (zihinsel, bilişsel) ve dışsal (fiziksel, analog) temsiller arasındaki gidiş gelişlerin tasarımı ileri götürmede kritik olduğu"nu belirtmektedir. Tasarımcının oluşturduğu dışsal temsilin tasarımcıya "geri konuşması" (Goldschmidt, 2003) tasarımı ileri götüren yeni bir adım olarak kabul edilmektedir. Bahsedilen geri konuşma, tasarımcının etkileşime geçtiği çizim veya maket gibi temsili bir nesne üzerinden tasarımcının eylem sırasında ve/veya sonrasında akıl yürütmesiyle gördüğü, yorumladığı, değerlendirdiği durumlardır. Bu durumlar çoğu zaman yeni bir tasarım

girdisi olarak fikir geliştirme sürecine katılıp tasarımın yeniden yapılandırılmasına neden olmaktadır.

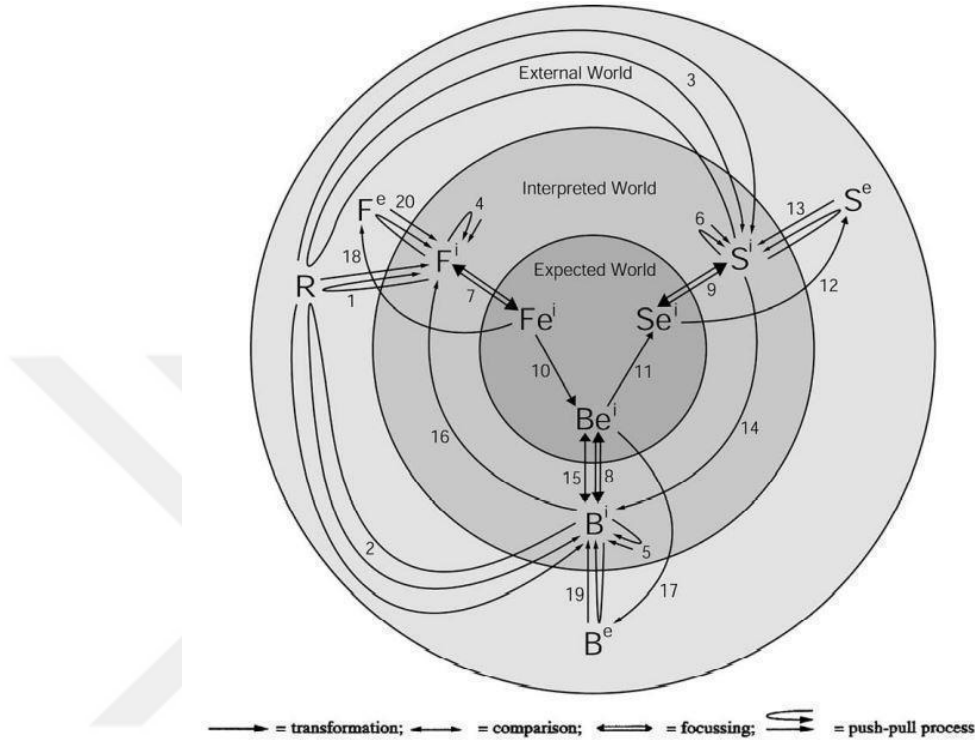
Genellikle tasarımın zihin dışındaki fiziksel ortamda temsilini oluşturmak kâğıt üzerinde çizerek gerçekleştiği için işin özünde tasarımcının etkileşime geçtiği temsili nesneler soyut formlardır (çizgiler, eğriler, noktalar, düzlemler, hacimler, şekiller). Bu soyut formlar ve onların çeşitli özellikleri tasarımcının zihninde materyal dünyaya referansla temsil edilebilmektedir. Örneğin bir formun malzemesi, sesi, yankısı, titreşimi, sertliği, dayanımı, dengesi, hafifliği, yumuşaklığı gibi özellikler ve bulunduğu ortamla birlikte oluşturduğu kokusu, sağladığı hava akışı, gölge, oluşturduğu hacmin kullanımı gibi bir çok nitelik ve işlev tasarımcının zihninde önceki deneyimlerine dayalı olarak hayal edilebilmektedir. Soyut formlar hem kendi kendisine referansla (Stiny, 2006) hem de temsil ettiği başka bir materyal dünyaya referansla (Goldschmidt, 2003) tasarımcıyla etkileşimleri bağlamında muğlak bir doğaya sahiptir. Kişinin özgün bakış açısına bağlı olarak soyut formlar tasarımcı tarafından farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Tek bir form (şekil), form kompozisyonları, form ilişkilerinin kendi kendisine referansla ne kadar farklı biçimde tanımlanabileceğine örnek olarak şekil hesaplamaları çalışmalarına bakılabilir (Stiny, 2006). Eskiz veya çizimlerle oluşturulan formların erken tasarım sürecinde tasarımcının zihninde temsil ettiği materyal referansların karşılıklarının ne kadar muğlak olduğu da tasarımcıların deneyimlediği bir durumdur. Her kişinin geçmiş deneyimi ve tasarımın o anındaki odağı, muhakkak soyut bir tasarım formunun o kişinin zihindeki tekabülünü etkilemektedir. Temsilin muğlak bir doğası olmasına rağmen, eskiz gibi bir temsilin tasarımcının zihnindeki bir olgunun (tasarımın) zihin dışına aktarımı olması ve yine temsilin tekrar tasarımcının hafızasında yer etmiş fiziksel ve materyal (apriori) durumların zihindeki temsiline dayalı olarak değerlendirilmesi ve yorumlanması, yeni ve yaratıcı fikir gelişimlerini getirdiği gibi engelleyebilir de. Soyut görsel şekillerden oluşan temsil nesnesini kendi kendine referansla şekil hesaplamalarındaki gibi farklı alt şekil parçalarının birleşimi olarak tariflemek ve farklı biçimlerde görmek ise, temsilin yeniden yapılandırılması ve sonucunda yeniden yorumlanmasını getirerek yeni fikirleri ortaya çıkarabilir. Yukarıda görmek olarak bahsi geçen değerlendirme aktivitesini, tasarımcının o anda mevcut olan tasarım nesnenin var oluşuna dair her türlü düşünce ve önyargıları paranteze alarak yapması Husserl (1962)'nin epoche yöntemine tekabül etmektedir.

Moholy Nagy (1938)' de “Yeni Bir Bakma Biçimi” (New Vision) veya “Hareket Halindeki Bakış” (Vision in Motion) olarak kavramsallaştırdığı tasarımcının algılayışına dair felsefesi ile tasarımcının dünyayı değiştirmek için dünyaya farklı bir biçimde bakması gerektiğine; dünyaya farklı bir biçimde bakmak için de bu zamana kadar bildiklerimizi ve düşüncelerimizi unutup çocuklar gibi olmamızın şart olduğunu söylemektedir (Findeli, 1990). Şekil hesaplamaları kuramı ile tasarım sürecini sistematik olarak açıklarken Stiny (2006) şekillerin kendi bağlamı içerisinde kendi kendisine referans vermektedir. Tasarım sürecinde kullanılan temsillerde olduğu gibi şekiller veya formlar bir şeyi temsil etmemekte, bir anlama referans vermemektedir. Stiny'nin kuramına destekle bu çalışma da şekil ve ilişkilerinin tasarım sürecini güden katmanlardan biri olduğunu savunmakta; tasarımın farklı katmanlarıyla ilişkili olarak bu kuramı tartışmanın nasıl mümkün olacağını sorgulamaktadır. Bu nedenle bahsi geçen savunmanın tamamı, şekil ilişkilerinin kendi içinde ve şekil ilişkilerinin karşılık geldiği diğer tasarım katmanlarıyla ilişkileri içinde daha karmaşık bir dünyanın tasarlama sürecinin ekosistemini oluşturuyor oluşudur.

Tasarımcının, etkileşim kurduğu şekillerden oluşan nesnenin (eskiz) başka bir noktasına odağı kayabilmekte (Suwa ve Tversky, 1997) veya başka bir biçimde nesneyi görebilmektedir (Stiny, 2005). Sonrasında bağlamla ilişkili düşünceleri keşfetmesine katkı sunabilmekte, yeni tasarım girdilerinin sürece katılması ve yaratıcı fikirlerin ortaya çıkması için sezgisel olarak uygulanan çok sayı ve çeşitlilikteki tasarlama yollarından birine dair bir açıklama getirmektedir. Özetle, tasarımcının etkileşim kurduğu temsil dediğimiz şekil ve formlardan oluşan çizim ve maket hem kendi kendisine referansla hem de temsil ettiği olguya referansla muğlaktır. “Tasarım sürecinde tasarımcının etkileşimde olduğu tasarım nesnesi veya temsiline muğlak doğası”, Goel (1992)'e göre “hasta-tanımlı problemleri keşfetme sürecine yardımcı olmaktadır”.

Durumsal tasarımı Gero (2004), bir tasarım nesnesinin işlev (F), davranış/performans (B), form (F) değişkenleri arasında gidip gelen tasarımcının zihinsel süreçlerini tariflediği detaylı bir çerçeve ile açıklamaktadır (Şekil 1.4). Gero (1994) zihinsel süreçleri sadece tasarım nesnesi üzerinden değil tasarımcının zihinsel aktivitesi üzerinden de katmanlaştırarak detaylandırmaktadır. Gero'nun önerdiği çerçevede tasarım aktivitesinin gerçekleştiği üç dünya ve bu dünyalar arasında gidip gelen tasarım bileşenleri ve işlemleri şematize edilmektedir. Tasarım aktivitesi, dış dünya

(1: External World), tasarımcının yorumlamasına dayalı iç dünya (2: Interpreted World) ve onun da alt bileşeni olan tasarımcının niyetlerini oluşturduğu dünya (3: Expected World) arasında tasarım nesnesi bileşenlerinin gidip gelmesiyle ilerleyen bir süreçtir.

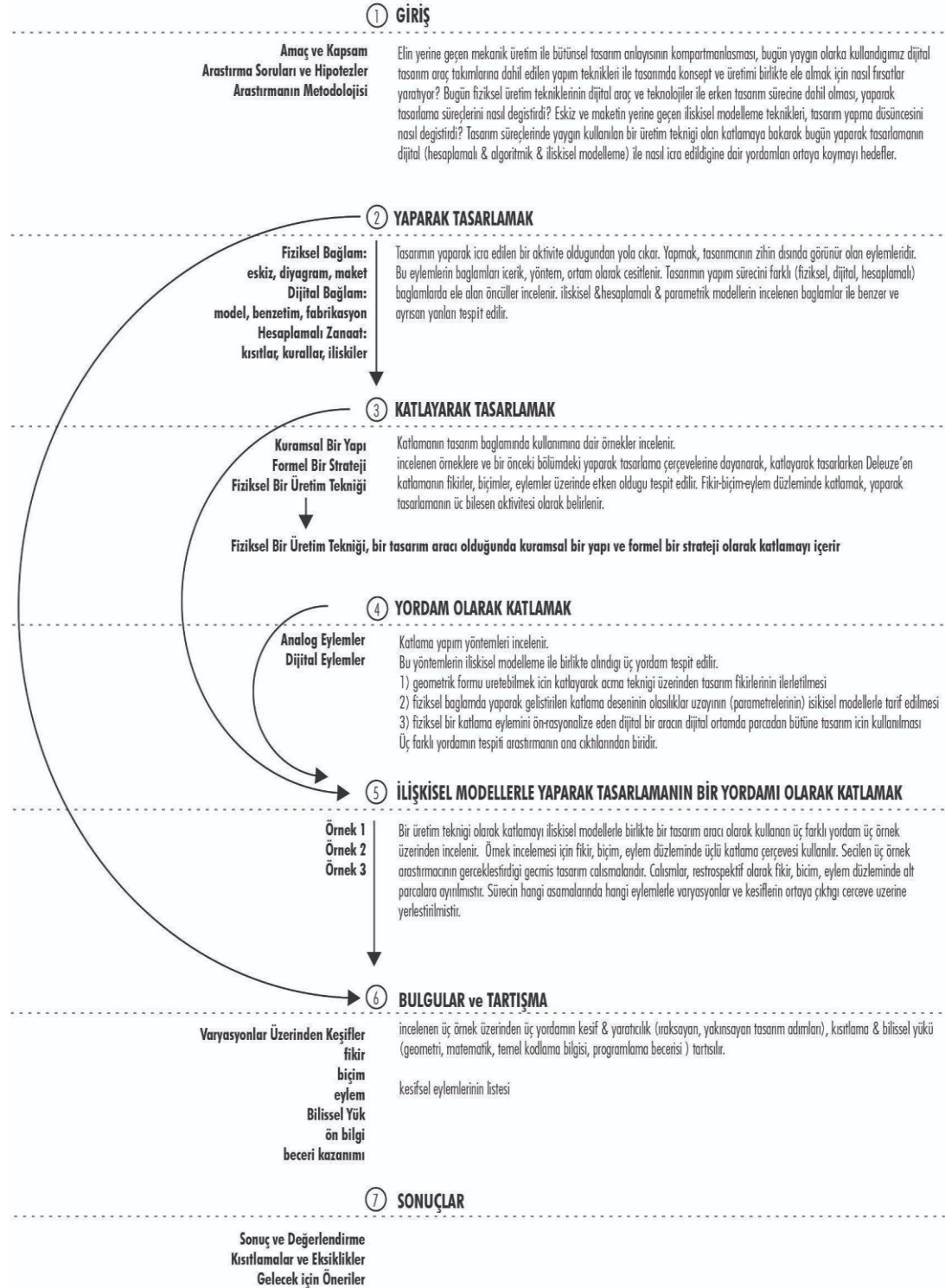


Şekil 1.4: Gero'nun durumsal işlev-performans-form çerçevesi (Gero, 2004).

Bu bağlamda çalışma Gero, Goldschmidt, Schön, Akin'a referansla kaba bir tasarlama çerçevesi üretmiştir. Bu çerçevedeki tasarım aktivitelerinin gruplandırılması için “Katlayarak Tasarlama” başlıklı araştırma bölümünde incelenen üç düzlem etkin olmuştur. Ayrıca “Bir Yordam olarak Katlama” başlığı altında incelenen katlama yapım prosedürleri, bu çerçeve ile birlikte incelenecek üç farklı örneğin seçimine referans olmuştur.

Bu bağlamda, bu tez çalışması kapsamında üç tasarım örneği, araştırma nesnesi olarak ele alınmıştır. Bu örneklerdeki tasarım süreçleri diyagramlar ve grafik dil kullanılarak, geriye dönük (retrospektif) bir biçimde çözümlenmiştir. Çözümlemeler tez kapsamında önerilen, katlama eylemi içeren dijital tasarım oluşum süreçlerinin adımları ve ilişkilerini tanımlayan protokol yardımıyla değerlendirilmiştir.

Tasarım deneylerindeki son ürünler, tasarım sürecinin hipotetik bir modeli ya da hesaplamalı tasarım aracı olmakla birlikte, genel anlamda hesaplamalı tasarım düşüncesi ile ilgili daha derinlemesine içgörü kazanmak hedeflenmiştir. Çalışmanın temel kurgusu aşağıdaki görselde paylaşılmaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: Çalışmanın strüktürü.

2. YAPARAK TASARLAMA VE KATLARA TASARLAMA EYLEMLERİ ÇERÇEVESİNDE BİR TARTIŞMA

Bu çalışma, yapma eyleminin tasarım sürecine girdi oluşturarak tasarımı yönlendirdiği ve aynı zamanda süreçte gelişen fikirlerin de yapmanın gidişatını etkileyerek somut pratikler ve soyut düşünce arasındaki diyalogu desteklediği bir aktivite olarak yaparak tasarlanan süreçlere odaklanmaktadır. Bu bölüm iki ana başlık altında kurgulanır; öncelikle yaparak tasarlama eylemi genel bir bakış açısıyla tartışmaya açılmakta sonrasında ise yaparak tasarlama eylemi katlayarak (yapmak) tasarlamak eylemi özelinde tartışma derinleştirilmektedir. Amaç, çalışmada önerilen modelin arka planında yer alan araştırmaları irdeleyerek çalışmanın kuramsal çerçevesini belirlemek olarak da tanımlanabilir.

2.1 Y yaparak Tasarlamak

Mimarlık pratiği ve eğitimi üzerine kuramsal metinlerde yaparak tasarlama tartışmaları farklı yaklaşımları gündeme getirmektedir. Bu tartışmalara değinmek tezin kuramsal arka planını oluşturmak açısından önem taşır. Dolayısı ile bu bölümde gerek fiziksel ortam bağlamında gerekse de sayısal ortam bağlamında yaparak tasarlamak tartışmaları ele alınacaktır.

Birsel'e (2015:66) göre, "Tasarım süreci yaparak düşünmekle ve oynayarak yapmakla ilgili bir şeydir." Schön (1988), tasarlamamanın kendisinin problem çözmek, aramak veya veri işlemek değil, bir çeşit yapmak ("designing is a kind of making") olduğuna dikkat çeker. Tasarım bağlamında 'yapmak', bir tasarım fikrini veya nesnesini kuramsal ve pratik düzlemlerde geliştirme sürecinde tasarımcının kullandığı eylemleri kapsar. Tasarımcı fikrini geliştirmek için eskiz yapmaktadır, çizim yapmaktadır, maket yapmaktadır, diyagram yapmaktadır; uygulama çizimi yapmaktadır, fiziksel üretim veya inşaat yapmaktadır. Bu kullanımların hepsinde 'yapmak' eskiz, maket gibi bir nesne ile birlikte. Örneğin eskiz yapmak, eskizi icra etmektir. 'Yapmak' tek başına kullanıldığında ise gerçekleştirmek, realize etmek, fizikselleştirmek anlamlarıyla tasarımın fiziksel üretim içeren malzeme süreçlerine referans verir. Bir başka ifadeyle

tasarım bağlamında ‘yapmak’ yaygın olarak, malzemeyi işlemeyi ve dönüştürmeyi içeren malzeme pratikleri anlamında kullanılmaktadır.

Tim Ingold (2013) yapmanın, ‘düşünerek yapmak’ ve ‘yaparak düşünmek’ olarak iki farklı gidişatından bahseder. Ingold’un (2013) ‘düşünerek yapmak’ ile kastettiği tasarım sonrası yapım pratikleri ile ilişkili olarak aşağıdaki durum ve problemleri sıralamak mümkündür:

- Tasarımcı zihnindeki hazır bir imajı veya gelişimini tamamlamış bir tasarım formunu malzemeye empoze ederek fizikselleştirir.
- Maket yapmak, tasarımın küçültülmüş bir ölçekte fiziksel replikasını yaratmaktır (Orr, 2008). Bu fizikselleştirme eylemi sadece düşünceden eyleme doğru tek yönlü bir ilerleme olarak uygulandığında, tasarımı bitmiş; malzemeyi pasif ve etkisiz kabul etme riski taşır.
- Uzun geçmişe dayanan malzemeyi işleme teknikleri olduğu gibi kabul edilerek yaratıcı enerjiyle buluşmaz, yeni tekniklerin gelişimi mevzu değildir (Albers, 1928).
- Malzeme özellikleri ile birlikte düşünme becerisi söz konusu değildir (Risatti, 2007).
- Tasarımcılar malzemenin özellikleri ile, fenomenolojik etkileri ile, dinamik potansiyeli ile birlikte çalışmak yerine tasarım bittikten sonra kataloglarda uygulama alanına göre sınıflandırılmış malzemeleri seçip tasarım ürünlerine atamaya başlar (Addington ve Schodek, 2005).
- Yapmak yapılan şeyin nedeninin farkında olmadan teknik bir beceri ile yapılan, hayalgücü ve yaratıcılık içermeyen akılsız ve rutin bir işlem olarak kabul edilir (Sennett, 2008).
- Tasarım bilgisi ve düşüncesi yapma eyleminden ayrık bir varlık olarak zihinde konumlandırılır (Brown Seely, 1989).
- Hesaplamalı yaklaşımların tasarıma uygulanması, “yapmadan önce düşünmek” tutumuyla gerçekleştirilmektedir (Papamichael ve diğ, 1993; Caetano ve diğ, 2020).

Yaparak düşüncenin ilerlediği ‘yaparak tasarlama’ pratiklerinde ise yapmak fikirlerin geliştiği yaratıcı bir süreçtir.

- İnsanın içinde bulunduğu fiziksel dünyadaki eylemler düşüncüyü tetikler (Ingold, 2013).

- İnsan dış ortamdaki deneyimleri üzerine düşünerek algıyı, bilişi, akıl yürütmeyi yeniden yapılandırarak sürekli gelişir ve öğrenir (Dewey, 1923; Polanyi, 1958; Piaget, 1978; Kolb, 1984; Clark ve Chalmers, 1998; Johnson, 2007).
- Ayrıca, dijital araçları yaratıcı bir şekilde kullanabilmek için gerçek dünyada kazanılan yapma deneyimi kritiktir (McCullough, 2004).
- Niyet ve kapsam nesneyi yapma sürecinde keşfedilir (Dormer, 1994).
- Yapmak her zaman bir risk taşır, tasarım formu zihinde tamamlanmış olsa da yaparken sürece katılanlar veya eksilenlerle tasarımın farklılaşma riski vardır. Farklılaşma riski tasarımın gelişimi için bir fırsattır (Pye, 1978).
- Yapmak yapım sürecinin dokunsal ve fiziksel doğasına iştigal ederek fikirlerin tahkik edildiği hibrid bir moddur. Fiziksel üretim veya inşaat yapmak için malzeme süreçleri işleme konulduğu zaman bile tasarlamanın bittiğini söylemek mümkün değildir. “Yapmak sadece var olan fikirleri çözmek için değil yeni fikirleri teşvik edip sürece katmak için icra edilen bir pratiktir. Fikirleri teşvik ettiği zaman, yapmak tasarlamaktır” (Sheil, 2005:5-12).

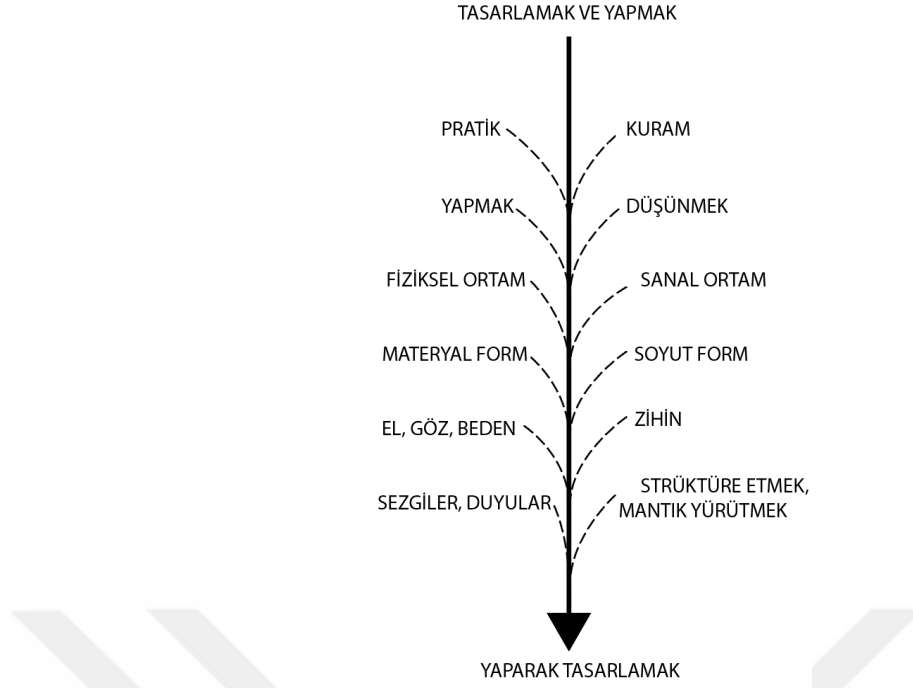
Yapmak tasarım bağlamında farklı tartışmaları desteklemiştir. Bugün dijital tasarım ve fabrikasyon teknolojilerinde erişilebilirlik ve hesaplama kapasitesindeki hızlı gelişim ile birlikte, tasarlama (tasarım nesnesini geliştirme) ve yapma (tasarım nesnesini inşaa etme) analog’dan dijitale kaymaktadır. Bu durumda, tasarımcı ve tasarım nesnesi arasındaki etkileşimde tasarım sürecinin aktörlerinin dijital dönemde nasıl dönüşümler gösterdiği muğlaktır ve yeniden ele alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapmak fiili, hangi ortamın başat olduğuna göre farklılıklar gösterir ve farklı aktivitelerle tanımlanabilir.

2.1.1 Fiziksel ortam ve araçları ile yaparak tasarlamak

Tasarımda “yapma” eyleminin fiziksel bağlamını en genel anlamıyla, tasarımı eyleyen özne olarak tasarımcının bilişsel süreçleri, tasarımın icra edildiği çevre, tasarım düşüncesinin çeşitli temsiller aracılığıyla dışsallaştırma süreci, dışsallaştırılan temsillerin tasarımcının düşünme ve karar alma süreçlerini geri beslemesi ile ilişkilendirmek mümkündür. Fiziksel bağlamda gerçekleşen yapma eyleminin dijital veya salt zihinsel süreçlerden farkı, tasarımcının bedeni, tasarım nesnesi ve fiziksel ortam arasında kurulan dolaysız etkileşimdir. Tasarlanmakta olan nesne yer çekimi, ışık gibi fiziksel etkenlerle birlikte değerlendirilir; görsel değerlendirmenin ötesinde

dokunsal iletişimi de içeren çok duyumlu bir etkileşim değerlendirmenin verilerini oluşturur. Ayrıca, malzemeyle kurulan dokunsal etkileşim o andaki eylemin gidişatında etken olabilmektedir. Dolayısıyla, tasarım nesnesi üzerine etkiyen veya tasarım nesnesinden etkilenen geri bildirimler ile tasarım süreci beslenir; üzerinde çalışılan tasarım nesnesi zenginleşmektedir.

Yaparken tasarımcı, fiziksel ortamdaki verilerden de beslenerek hem tasarlama sürecini hem tasarlama becerisini geliştirir. Yapma sırasında malzeme davranışı, malzeme konfigürasyonun çevresel etkenlerle etkileşimi, tasarımcının bedensel deneyimi, araç, ortam gibi sürecin parçası olan bileşenlerin tasarımcının düşüncesini etkilemesi ve tasarım nesnesini dönüştürmesi tasarımcının yaratıcı sürecine katkı sunar. Bu bağlamda yapma aktivitesinin zihin, beden, araç, malzemenin karşılıklı etkileşimi ile gerçekleşen yaratıcı bir süreç (Malafouris, 2008) olduğu öne sürülebilir. Bu süreçte tasarım formu, malzemenin akışı içinden tasarlama sürecine katılan etmenlerle birlikte ortaya çıkar. Malzemenin de bir etmen veya aktör olduğu öne süren Malafouris (2008:19-35) bu süreçte yapma eyleminin müellifini şu şekilde sorgulamaktadır:“Tasarımcı bazen yapma sırasında kararları ne zaman ve nasıl aldığıının farkında değildir. Tasarımcı bu süreçte zihin ve eylem arasında kurulan tüm nedensel ilişkilerin farkında olmadan sadece bilinçli kararlarını deneyimleme eğilimindedir. Yapmak örtük olan ve olmayan yanlarıyla bir çeşit düşündürmektir. Beden malzemenin izin verdiği şekilde malzemeyi manipüle etmektedir, manipüle etme eylemi yapma becerisini oluşturmakta, beceri de malzemeyi sürecin bir aktörü olarak ortaya çıkarmaktadır.” Bu sebeple, Malafouris (2008) yapma aktivitesini eş partnerler arasında gerçekleşen bir dansa benzetir. Dolayısıyla, tasarım nesnesinin üretildiği ortamın nitelikleri de bir aktör olarak tasarımın gidişatına etki etmektedir.



Şekil 2.1: Yapararak tasarlamamanın bileşenleri.

Bir tasarım düşüncesinin zihinsel bir temsilden dışsallaştırılmış bir temsile dönüşmesini etkileyen ve biçimlendiren çok sayıda yaklaşımın başlıcaları arasında çizim, diyagram, maketi sıralamak mümkündür.

Çizimler, en genel anlamıyla kağıt/düzlem üzerine işlenen iki boyutlu temsillerdir. Çizimin fiziksel bir üretime veya bir binaya dönüşümündeki ara boşlukta büyük bir buluş gerçekleşir. Ayrıca, geleneksel çizim yöntemleri gibi dijital üretim de kendine ait kısıtlamaları ve olanakları ile üretken bir ortamdır (Evans, 1997). 1960’lardan itibaren çizim ortamı bilgisayar ekranlarına kaymış olsa da, günümüzde el çizimleri de tasarım yapmak için kullanılan en yaygın yollarından biridir. Düşünce ve çalışma arasında bir arayüz olarak hem bilginin aktarıldığı hem de yeni bilginin yaratıldığı bir düşünme biçimi olarak tasarımdaki rolünü sürdürmektedir (Belardi, 2014). Mimarlık kuramcısı Jonathan Hill (1991)’e göre çizmek, tasarım disiplinin ortaya çıkışının nedenidir. Çizim ile tasarım, bütünsel üretim süreçlerinden ayrılarak bir disiplin olarak ortaya çıkar. “Çizmek anlamına gelen ‘designo’ kelimesinden tasarım anlamına gelen ‘design’ kelimesi türer. ‘Designo’ kelimesi, bir çizgi çizmek olduğu kadar bir fikri ortaya çıkarmak anlamını da taşır. Fikir ve çizgi arasındaki doğrudan ilişkiye vurgu yapar” (s.5).

Çizimler, kavramsallaştırılması bitmiş bir tasarım fikrinin temsili olabildiği gibi, henüz tasarlanmakta olan nesneye dair fikirleri keşfetmek, belirginleştirmek,

geliştirmek için bilinçli veya sezgisel olarak uygulanmış tasarım eylemleri olabilir. Dolayısıyla çizimler, tasarımcının hem kendi tasarladığı nesneyle hem de tasarlanan nesnenin çizimi üzerinden başkalarıyla iletişim kurmasına aracı olan tasarım ortamlarıdır. Bu çalışmanın odağındaki çizim ise, tasarımcının tasarım nesnesi ile diyalog kurması için yaptığı bir eylemdir. Bir eylem olarak çizim, bir düşünme/us yürütme aracıdır. Düşünce veya fikirleri görsel olarak ifade etmek için bir yöntemdir. Çizim tasarımcının fikirlerini kağıda aktarır. Kağıt üzerindeki çizimler, onu izleyen kişiye fikirler aktarır. Çizimlerden yeni fikirler türetilmesinde ve fikirlerin çizimlere dönüşmesinde görsel analogilerin rolü vardır (Goldschmidt, 2014). Çizimleri oluşturan biçimlerin görsel muğlaklığı nedeniyle farklı algılamaları (Stiny, 2006) veya aynı biçimlerin çok farklı yorumlamaları (Kalay, 2004) mümkün olduğu zaman çizimler çok katmanlı ve dinamik niteliktedir. Çizimlerin tek bir doğru okuması yoktur.

Goel (1995) tasarımcıların çizimle kurduğu diyalogta tasarım nesnesine dair düşüncelerin iki farklı biçimde, yatayda ve dikeyde, dönüşümler geçirdiğini söyler. Dikeyde dönüşümler, bir önceki fikri iyileştirmeye veya detaylandırmaya yönelik yeni fikirleri içerir. Yatayda dönüşümler ise bir önceki fikirden yola çıkarak alternatifler ve yeni fikirler üreterek çözüm uzayını arttırmaya yöneliktir. Schön ve Wiggings (1992) eskizlerin düşüncüyü ileri götürdüğünü ve farklı rotalara yönlendirdiğini söyler. Bu yönüyle eskiz yapmak Verstijnen ve diğerlerinin (1992) belirttiği gibi tasarlanan nesneye dair düşünceleri yeniden yapılandırma işlevine sahiptir. Özetle, çizim yapmak yeni fikirleri ortaya çıkararak tasarım sürecinin ötelenmesine katkıda bulunan bir eylemdir.

Bir başka strateji ilişkisellikler temelinde görselleştirerek ve yapmayı bu anlamda özelleştirerek diyagramlar yolu ile tasarlamak olarak tanımlanabilir.

Diyagram, bir şeyin iç oluşum mantığı, prensiplerini, düzenini, bileşenlerini, bileşenler arasındaki ilişkilerini gösterir (Lucas, 2016). Bir başka ifadeyle diyagram karmaşık durum ve koşulları soyutlamaktır (Güngen, 2010). Güngen (2010) diyagramın yorum içerdiğini belirterek öznel yanını vurgulamaktadır. “Özne, karmaşık bir işleyişi anlamak veya bileşenler arasında ilişkiler önererek yeni bir oluşumun mantığını tasarlamak için diyagram yapmaktadır. Bu nedenle, diyagramlar düşünme ve tasarlama aracıdır.” (Güngen, 2010, s.13).

Diğer yandan, diyagramlar, organizasyonlar hakkında soyut düşünmeye aracı

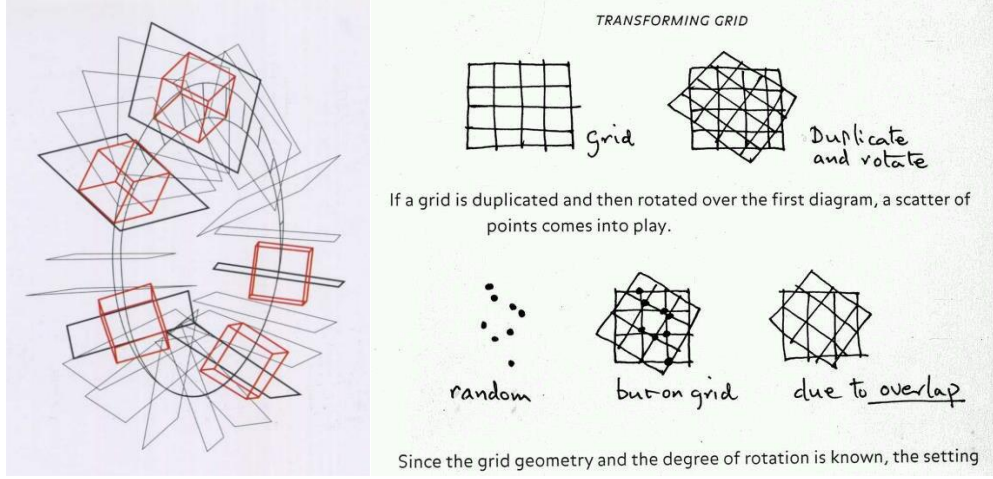
olmaktadır. Bu nedenle, diyagramın grafik anlatısı ilişkiler ve kuvvetler dizisinin farklı ölçekler, bağlamlar, ortamlar arasında mobilize olmasına da aracı olmaktadır (Somol, 1999). Bir organizasyon diyagramının değişkenleri mekan, olay, kuvvet, dayanım, yoğunluk, dağılım, yönelim gibi formel ve programatik konfigürasyonları içerebilmektedir. Tekil değil farklı zamanlarda çok sayıda fonksiyon ve eylemin birbiriyle ilişkisini tariflemek için kullanılabilir. Bileşenler arasındaki potansiyel ilişkilerin, bir şeyin nasıl davrandığının veya olası dünyaların soyut bir modelini tarif etmek için üretilebilmektedir (Allen, 1998). Reiser ve Umemoto tasarım ofisi ise Kwinter (2006)'nın deyişiyle diyagramı önce çevredeki enformasyon ve enerjinin özünü anlamak/tarif etmek için daha sonra da kontrol etmek/düzenlemek için kullanmaktadır.

Herhangi bir materyal yapının çeşitli niteliklerinin ifadesini temellendiren ve organize eden bir dizi yönerge olarak diyagramlar görünmez matrislerdir. Bir çevre veya nesne içerisinde aktif edildiğinde potansiyelin rezervi olarak diyagram var olmaktadır. Bir ağaç, ahşap bir kolon olacaksa, bu ifade için selülozun birçok niteliğinden biri olarak iletim demetinin geometrisi selülozun özelliklerini belirlemekte ve rijitlik/esnekliğini yapı ölçeğinde ortaya çıkarmaktadır. Bunun gibi çeşitli niteliklerin kullanılıp ortaya çıkarılması diyagramın eylemselliğini gösterir. Maddenin geometrisini duyularımıza özellikler/nitelikler/etkiler formunda ileten katları açma ve katlamanın düzeni (rhythm of unfolding) dünyaya yenilikleri bağışlamaktadır. Umemoto, madde içerisinde gömülü ritmik örüntüyü diyagram aracılığıyla strüktüre ederek hasat etmektedir. Akışların strüktüründen elde edilen konturlar, değişim hızları, malzeme aktivitesinin örüntüleri gibi bilgiler yaşadığımız çağı karakterize etmektedir. Ancak geçmiş yıllarda akış tasarım alanında sadece estetik belirleyicisi olarak hizmet etmiştir. Yeni materyalizm için maddenin fiziksel veya estetik bir çıktıya dönüşümü süreci, yordam haline getirilebilir bir örüntüye sahiptir. Tasarımcıların madde içerisindeki gömülü bilgiyi insanların duyularına ileten bir eylem formuna getirmesinin merkezinde ise tektonikler yer almaktadır (Kwinter, 2006, s.15).

Burada Kwinter, Reiser ve Umemoto'nun var olan çevreleri anlamak/kullanmak/düzenlemek/kontrollü bir şekilde dönüştürmek için diyagramlaştırmayı nasıl bir tasarım yöntemi olarak kullandığını anlatmaktadır.

Diyagramlaştırma tekniğini kuramsal düzlemde ele alan başlıca kişiler arasında Peter Eisenman (1999) ve Christopher Alexander'ı (1977) sıralamak mümkündür. Alexander uygun formu belirlemek için, Eisenman formun arkasında yatan kuvvetleri ortaya çıkarmak için diyagramlaştırma tekniğini tasarımın merkezinde tartışmaktadır. Eisenman, kendisinden önce diyagram tekniğini kullanan Alexander'ın örüntü dili çalışmasını ve Rowe'ın kent diyagramlarını, statik ve tek defalık olması bakımından eleştirmektedir (Eisenman, 1999). Eisenman'ın diyagramı form ve formu etkileyen dinamik kuvvetlerin varlığını bir bütün olarak anlamak için dönüştürücü bir araç olarak kullanması, bilgisayar destekli animasyon çalışmalarına ihtiyacı gündeme getiren öncül çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Bu varsayımı tarih olarak daha da geriye götürülecek olursa, Klee'nin "Pedagogical Sketchbook" (1925/1953) kitabında bir etmen olarak hareket eden nokta ve çizginin ifadelerini öncül bir benzetim modeli ve diyagramatik anlatım olarak ele almak mümkündür.

Vidler'e göre (2001) diyagram, soyut ifadeleri veya zihinsel süreçleri sembolize etmek için kullanılan betimlemelerdir. Tschumi'nin (1994; 2001) operasyonel çizimlerinde diyagramlar, düşünme ve pozisyonlanma amaçlı bir eylem işlevine sahiptir. Diyagram, düşünmek ve tasarımcının pozisyonunu sergilemek için araçlardır. Sonuçta ortaya çıkan form amaçlanmaz. Operasyonel çizimler şu kategorileri içermektedir: kavramsal diyagramlar, transkriptler, dönüşümler silsilesi, ölçeklendirilebilir çizimler. Örneğin Eisenmann'ın Max Reinhardt projesinin tasarım sürecinde diyagramı operasyonel çizim olarak kullandığı öne sürülebilir. Öncelikle üç boyutlu çizimin kurulmasında iki boyutlu temel geometriler ve bunların birbiriyle kurduğu ilişkiler üzerinde kural tabanlı bir arayış yürütür. Üç boyutlu form ortaya çıktıktan sonra ise mekansal ilişkiler, programın ihtiyaçları ve ölçek ile ilgili soruşturmalar için diyagramatik plan olarak adlandırabileceğimiz başka bir yaklaşım kullanır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Eisenmann’ın diyagramı operasyonel çizim olarak kullanımı.

Bıçımı bıçimden türeterek ilerleyen bir yaklaşımla (Perez Gomez, 2001) kullanılan diyagram, tasarımın farklı yanlarının çapalandığı bir altlık oluşturur. Tschumi “Manhattan Transcripts” çalışmasında ise diyagramı farklı medyaların tamamlayıcı olarak ele alır. Mekan ve zamandaki hareketlerden oluşan olayları incelemek ve bunu bir mekan kurma stratejisi olarak kullanmak için fotoğraf, mimari çizim ve hareket diyagramı içeren çoklu temsil mekanizmalarını bir bütünün tamamlayıcısı olarak kullanır. Burada diyagram tek başına bütünü anlamak için yetersizdir. Fotoğraf ve çizimlerden oluşan diğer medyaların tamamlayıcısıdır. Cecil Balmond’un “Informal” (2002) kitabında ele aldığı, taşıyıcı sistem kurucu temsiller olarak diyagramı kullanımı ise, dönüşümler silsilesi ve ölçeklendirilebilir çizimlere örnek olarak verilebilir.

Üç-boyutlu nesneler yolu ile yaparak tasarlamak model/maketlerin üretimini gerektirir. Bu bağlamda ‘yapmak’ insanın elleri, zihni ve duyuları, kısacası tüm bedeni aracılığıyla bir malzemeyi dönüştürerek gerçekleştirdiği üretme süreci ve aktivitesi olarak ele alınmaktadır. Bir dizi lineer çubuk elemanı bir araya getirerek bir bütün inşa etmek, bir taşı kazıyarak yüzeyinde bir oyuk açmak veya bir düzlem levhayı bükerek şekil vermek ‘yapmak’ olarak bahsedilen malzeme pratiklerini örneklemektedir.

Bugün birçok tasarım öğrencisi ve tasarım profesyoneli stüdyolarda ve atölyelerde malzemeye şekil vererek, fiziksel modeller ve prototipler aracılığıyla düşünerek sezgisel olarak tasarım sürecini ilerletmektedir ve yaparak tasarlama becerisini geliştirmektedir. Yaparak tasarlamamanın temel bileşeni olan fiziksel modeller, çalışma maketleri, süreç boyunca değişen nesnelerdir. Bu anlamıyla fiziksel modeller veya

nesneler bir kez üretilen final sunuş maketlerinden ayrılmaktadır. Maket yapmanın amacı ve içeriği eskiz maketi, kütle maketi, çalışma maketi, final sunuş maketi olarak çeşitlenmektedir. Bu bölümün konusu, sadece bir iletişim aracı olarak değil bir tasarım aracı olarak maketi yaparak tasarlamaktır.

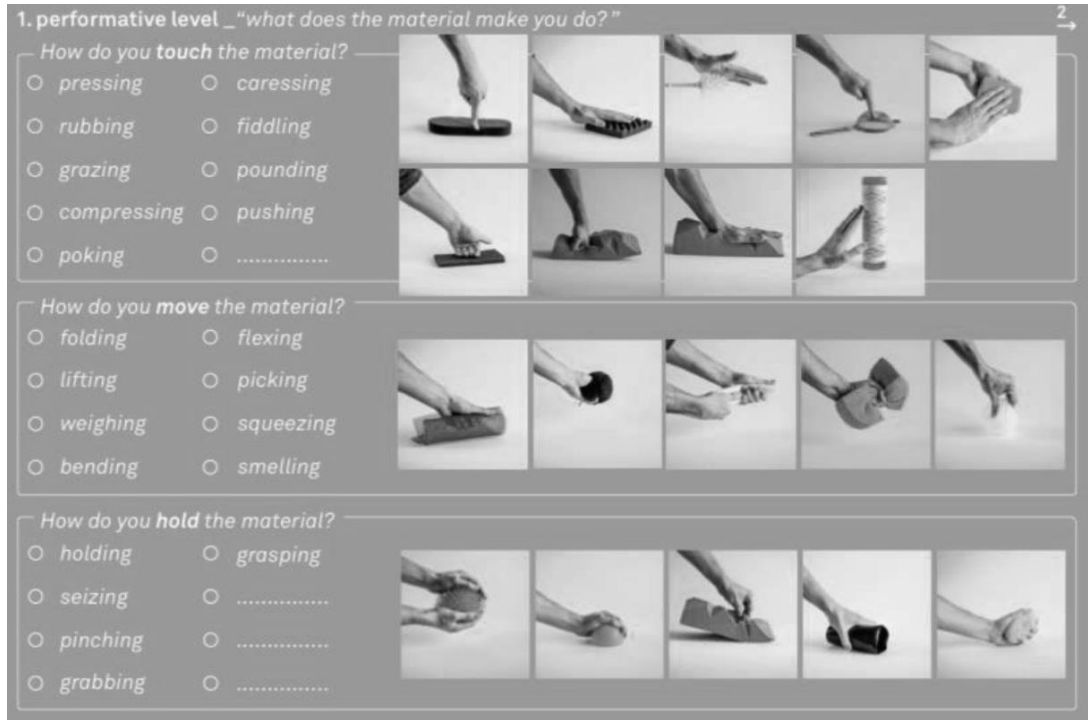
Fiziksel maketin avantajı üç boyutlu nesneye farklı açılardan ve mesafelerden baktırması; malzeme ve doku gibi tasarımın farklı katmanlarını sürece dahil etmesi; dokunsal geri bildirimle tasarımın farklı yanlarına dair kavrayış sağlamasıdır. “Yaparak üretilen fiziksel nesne, eskiz gibi hızlıca üretilen keşif aracıdır. Tasarımcı yaparak fikirlerini ilerletmekte; fiziksel ortamda formu görerek tasarımcı kavrayışını geliştirmekte; fiziksel nesne tasarımcıyla doğrudan etkileşim olanağı sağlamakta ve tasarımcıya anlık geribildirimler vermektedir” (Mills, 2011: vii). Yaparak tasarlama sırasında nesne ile dokunsal temasa geçen tasarımcı, Juhani Pallasmaa’ya göre (2005), imgeleminde hem nesneyi eş zamanlı olarak elde tutmaktadır, hem de kafasının içinde yansıttığı fiziksel imgeyi bedeni tarafından modellemektedir. Kâğıt katlama sanatını icra eden mimar Tomohiro Tachi (2018) strüktür ve diğer tasarım kavramlarını mantıksal yollarla kâğıt üzerinde çizerek veya yazarak anlamaktan farklı olarak yaparak tasarlarken fiziksel model ile kurulan görsel ve dokunsal etkileşimin tasarım kavramlarını anlamak için yeni kanallar açtığını belirtmektedir. Malzemeyi manipüle ettikten sonra malzemenin nasıl kendi formunu bulduğunu inceleyen Antoni Gaudi, Heinz Isler, Frei Otto strüktürlerin minimum malzemeyle nasıl dayanım kazandıklarını fiziksel modeller üzerinden anlamaktadır.

Tasarımcı ile tasarım nesnesi arasında olan etkileşimin çok sayıda sanat ve tasarım çalışmasının çıkış noktası olduğu görülmektedir. Malzeme pratiklerini tasarımın odağına alarak tasarım sürecini ilerleten tasarımcılardan biri olan Richard Serra (2003), tasarım sürecinde eylemler aracılığıyla malzeme ile, süreç ile, mekan ile veya kendi tasarım fikri ile doğrudan etkileşime geçtiğini söylemektedir. Kesmek, katlamak, sarmak, sarmalamak, sarkıtmak gibi malzemeyi dönüştürme yollarını listelediği eylemler dizisi metal heykeller yapan sanatçı Serra’nın çalışma manifestosunu açıklamaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Richard Serra'nın eylem listesi, 1967-68 (Serra, 1967).

Serra'nın listelediği eylemler, tasarım nesnesini ortaya koyma sürecinde malzemeleri değiştirmek ve dönüştürmek için kullanılan farklı yollardır. Malzemeyi dönüştürme yolu, dönüşecek olan malzemenin doğada veya işlenmiş halde hangi formda bulunduğuyla da ilişkilidir. Malzemeler sahip oldukları forma, mekanik ve strüktürel özelliklere dayalı olarak farklı eylemlere izin vermektedir. Taneciklerden oluşan bir kum, düzlemsel bir kâğıt, ip formunda bir yün, masif bir taş bloğu işlemek, değiştirmek, dönüştürmek farklı eylemlerle mümkündür. Camere ve Karana (2018)'e göre malzemenin tasarımcı veya kullanıcıya belirli bir eylem olanağı sağlaması, malzemenin deneyimlenen niteliklerinden biri olan malzemenin performativ boyutudur (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: Malzemenin performativitesi olarak isimlendirilen malzemenin niteliklerinin izin verdiği eylemler (Camere ve Karana, 2018).

Yaparak tasarlarlarken tasarımcının malzemeyi işlemek ve dönüştürmek için kullandığı eylemler, mekansal keşifleri tetikleyen tasarım başlatıcıları olabilmektedir. Eylem sonucunda ortaya çıkan nesne beklenmedik bir performans ortaya koyabilmektedir. Tasarımcının, malzemeyi manipüle etmek için kullandığı eylemleri dijital ortamda tarif ederek dışsallaştırması, hem tasarımcının kendi sürecini takip etmesini sağlamakta hem de tasarımın başlangıcında tasarımcının kafasında önceden belirlenebilecek tasarım tipolojilerinin oluşmasını önleyerek tasarımcıyı yaratıcı çözümlere götürebilmektedir. Tasarımcının kendi sosyal çevresi ve içinde bulunduğu materyal kültürün etkisiyle zihninde yerleşmiş deneyimlere ve bilgilere dayalı bir nesne veya mevcut bir bina tipolojisi üzerine odaklanması yerine (apriori), malzemeyi dönüştürmesi ile ortaya çıkan mekansal konfigürasyonun sağladığı olanaklar ile düşünmesi tasarım fikrine yaratıcı katkı sunabilmektedir. Bu durumda yapma eylemi ile dönüşen malzeme konfigürasyonu ve/veya onun geometrik elemanlar ve elemanlar arası ilişkilerine dair yapılan formel bir tanımla, tasarımcının karşısına yeni düşünceler ve yeni yapma eylemleri için bir olasılıklar platformu çıkarmaktadır. Tasarımcının yapma eylemi ile birlikte fiziksel ortamda malzemenin manipüle edilmiş bir hali olarak ortaya koyduğu nesne, tasarımcının zihninde daha önceden belirmemiş yeni fikirleri çağrıştırmakta ve yeni yapma eylemlerini tetiklemektedir. Bahsedilen yaparak

tasarlama senaryosunda, Donald Schön'ün (1987) eylem sırasında ve sonrasında düşünmek (reflection - in/on action), Gabriela Goldschmidt'in (1991) görmek, yapmak, görmek döngüsü (see - move - see) ve -malzemenin kendisini görmek, -malzemeyi temsili olarak kullanıp ... gibi görmek döngüsü (seeing as - seeing that) olarak tarif ettiği tasarlama çerçevesi uygulamaya koyulmakta; somut eylemlerin ve soyut fikirlerin birbirini karşılıklı etkilemesi ile tasarım nesnesi gelişmektedir.

2.1.2 Sayısal ortam ve araçları ile yaparak tasarlamak

Tasarımda “yapma” eyleminin dijital bağlamının fiziksel olandan en genel anlamıyla farkı, tasarımın icra edildiği sanal çevre ve kullanılan araçlardır. Tasarım amaçlı kullanılan yazılımların gelişmesiyle, dijital tasarım araçları, tasarım düşüncesinin temsil biçimi ve tasarım nesnesinin içinde bulunduğu çevre çeşitlenmektedir. Bir tasarım düşüncesinin dijital bir temsile dönüşmesini etkileyen ve biçimlendiren çok sayıda yaklaşımın başlıcaları arasında geometrik modelleme, benzetim, dijital fabrikasyonu sıralamak mümkündür.

Modellemek, fiziksel ortamdakine benzer şekilde tasarım nesnesini boyut ilişkileri ile deneyimlemeyi hedefler. 1990’lardan itibaren üç boyutlu modellemenin yaygınlaşması ile çizimin tasarımdaki rolü sorgulanmaya başlamıştır. Birçok tasarımcı günümüzde modellemeyi tasarım yapmak için kullanıp, çizimleri modellerden üretmektedir. Bu durumda çizimler, tasarımı yatayda genişletmek için değil dikeyde çözmek ve detaylandırmak için yapılmaktadır. Veya tasarımcı süreç boyunca her iki farklı temsil arasında gidiş gelişler yapar.

Üç boyutlu modelleme ortamlarındaki uzay boşluğunu, bir orijin noktasından çıkan x, y, z kodlu üç aksın oluşturduğu, kartezyen koordinat sistemi tanımlar. Bir uzay boşluğundaki en temel geometrik eleman olan noktayı kartezyen koordinat sistemindeki x,y,z sayısal değerleri tanımlar. Nokta, çizgileri; çizgiler yüzeyleri; yüzeyler üç boyutlu hacimleri oluşturur. Diğer bir şekilde, hacimlerden yüzeyler; yüzeylerden çizgiler; çizgilerden noktalar da üretilebilir. Üç boyutlu modelleme yapmak için en yaygın iki yol, çok yüzlülere (polysurface) ve matematiksel eğrilere dayalı olarak geometrik formları üretmektir. Bahsedilen iki yöntemeye dayalı olarak form üretmek, düzenlemek, dönüştürmek için çok sayıda işlem (komut, eylem), tasarımcıların kullanımına uygun araç takımları olarak üç boyutlu modelleme programlarının algoritması içerisine yerleştirilmiştir.

Genel olarak k t le modelleri ile başlayan tasarım süreçleri detaylı modellere doğru evrilir. Oluşturulan geometrik nesneler üzerine çeşitli işlemler uygulanarak geometri giderek detaylanır ve karmaşıklaşır. Bu modelleme paradigmasında tespit edilen sorunlardan birisi süreç bilgisinin kayıtlı olmaması nedeniyle geçmiş işlemlere ve aşamalara geri dönüşün mümkün olmayışıdır. Bu sorundan yola çıkararak David Rutten gibi yazılımcılar modelleme geçmişindeki ardışık eylemlerin bir algoritma olarak görünür olduğu ilişkisel parametrik modelleme araçlarını gelişmiştir (Rutten ve McNeel, 2007).

Bir başka modelleme yöntemi olan benzetim ise dijital ortamda kuvvetlerin etkisini veya davranışlarını modellemek olarak tanımlanabilir. Genellikle, dinamik bir olguyu anlamak, görselleştirmek, anlatmak veya geometrik formları değerlendirmek, test etmek, iyileştirmek için yapılır. Örneğin yerçekimi ve rüzgar yüklerinin benzetimi yapılarak bir formun strüktürel peformansını test edilmektedir. Ayrıca, belirli davranışları formüle etmek için yapılan benzetimler, dinamik bir süreç sonunda ortaya çıkacak formları keşfetmek için üretken bir tasarım aracı olarak da kullanılır. Etmen diye isimlendirilen belirli davranışa sahip birimlerin birbiriyle ilişkisini tanımlayan kurallar aracılığıyla yer değiştirmesi, büyümesi ve çoğalması sonucunda parçadan bütüne öngörülmeyen kolektif oluşumlar keşfedilir. Frei Otto'nun form bulma süreçlerinin benzetimleri, cıvık mantarların davranış kurallarının mantığına dayalı olarak bir metro haritası tasarlamak için benzetim yapmak, benzetimi üretken bir tasarım aracı olarak kullanmaya örnektir.

Dijital bir modelin fiziksel üretimle kesintisiz bir şekilde bağlantısını tarif eden dijital zincir (digital chain), dijital fiziksellik (digital materiality), dijital zanaat (digital crafting), tasarımdan üretime (design to production), dosyadan fabrikaya (file to factory), malzeme davranışı ile entegre bütünleşik tasarım yöntemleri (materially integrated design methods / integrative design computation) gibi kavramlar, mimarların, tasarımcıların, mühendislerin güncel çalışma konularından biri haline gelmiştir (Oosterhuis, 2004; Scheurer vd., 2005; Gramazio ve Kohler, 2008; Menges, 2011; Marble, 2012; Thomsen ve Tamke, 2014; Naboni ve Breseghello, 2015; Kaiser vd., 2019).

Kullanılacak  retim aracıyla ilişkili olarak, dijital ve fiziksel yapım arasındaki kesintisiz ilişki göz önünde bulundurulduğunda    sürecin ön plana çıktığı iddia edilebilir: 1. Tasarlanan geometrinin üretilmesi için geometrinin tasarım

sonrasında rasyonalize edilmesi; 2. Tasarlanan geometrinin rasyonalize edilmesine gerek kalmadan direk makine koduna (g-code) aktarılması; 3. Üretim sürecinin bilgisinin belirli ölçüde tasarım araçlarına tasarım süreci öncesinde aktarıldığı/ ön-rasyonalize edilmiş (fiziksel üretime paralel olan) araçlar ile tasarımın geliştirilmesi ve böylelikle dijital dosyanın doğrudan fabrikasyon araçlarına aktarılması.

Burada üretim için bir geometrinin “rasyonalize edilmesi”, var olan geometrik bir temsilin dijital fabrikasyon araçlarının sağladığı olanaklılık dâhilinde üretilebilmesi için yapılan işlemler dizisine referans vermektedir (Austern vd., 2018). Geometrinin rasyonalizasyonu, Pottmann (2010) tarafından yapım/ üretim bilinciyle yapılan tasarımları tarif eden ön-rasyonalizasyon (pre-rationalization) ve tasarlanmış olanın sonradan optimizasyonunu tarif eden geç-rasyonalizasyon (post-rationalization) terimleriyle iki alt kategoriye ayrılmıştır.

Tasarlanan geometrinin üretim için sonradan rasyonalize edilmesi (post-rationalization), dijital tasarım temsiline fiziksel üretime ilişkin yeterli bilgi içermediği duruma işaret etmektedir. Örneğin NURBS (non-uniform bezier splines) eğrilerine dayalı olarak bilgisayar ortamında modellenen serbest formlar (free form surfaces) mimari gibi büyük ölçekli tasarım bağlamlarında fiziksel üretimine ilişkin kaygılarla oluşturulmayıp sonraki aşamalarda rasyonalizasyonu dert edinilen geometrilerdir. Bahsedilen tasarım senaryosunda, fiziksel üretime ait malzeme, strüktür gibi konular tasarımın erken aşamalarında göz ardı edilen ve sonradan somutlaşan aşamalar olarak kabul edilmektedir. Günümüzdeki mevcut dijital tasarım ortamlarında bahsi geçen durumun oluşmasına yol açan geçerli nedenler bulunmaktadır. Örneğin çok sayıda girdinin etken olduğu erken tasarım aşamasında malzeme ve strüktüre ait kaygıların da bir tasarım girdisi olarak kabul edilmesi, tasarımcının karar vermesini güçleştirebilmekte, ve dolayısıyla, tasarım sürecinin ilerleyişini yavaşlatabilmektedir. Bu nedenle erken tasarım süreci bittikten sonra, tasarımcının modellediği geometrinin yüzey, lineer çubuk veya tuğla gibi prizmatik elemanlardan üretilebilecek hale gelmesi için geometrinin yeniden oluşturulması veya optimize edilmesi (approximation and optimization) sıklıkla karşılaşılan bir durumdur (Shelden, 2002; Pottmann vd., 2007; Fischer, 2012; Oxman, 2012).

Tasarlanan geometrinin rasyonalize edilmeden direkt makine koduna aktarılabilirdiği ikinci durum ise, günümüzde çoğunlukla üretimin üç boyutlu katmanlı baskı

teknolojisiyle (3 boyutlu yazıcı ile) gerçekleştiği duruma karşılık gelmektedir. Bu durumda, tasarlanan geometrinin üç boyutlu temsili üzerinden doğrudan farklı çözünürlüklerde ve presizyonlarda fiziksel model üretilmesi mümkündür. Burada doğrudan ilişki kurulması ile kastedilen, geometrinin alt bileşenlere/modüllere ayrılması, fiziksel modelin hafiflik/kendini kendini taşıyabilirlik gibi strüktürel performansları, malzemenin kalınlığı/malzemenin elastikliği gibi malzeme özelliklerinin tasarım aşamasında ön plana çıkarılmadan da dijital geometrinin fiziksel üretime aktarılmasının mümkün oluşudur. Ancak bu durumda da genelde fiziksel olarak üretilmiş olandan çıkarımlar yapılarak tasarım sürecine geri beslemeler yapılma ihtiyaı söz konusudur (Mohite ve Kotnik, 2016).

Dijital ve fiziksel model (geometri ile malzeme) arasında kurulan ilişkinin üçüncü bir durumu ise, tasarım aşamasının en başından itibaren geometrinin dijital ortamda n-rasyonelize operasyonlarla oluşturulduğu uygulamalardır. Geometrinin n-rasyonelize edildiği uygulamalar, fiziksel ortamdaki yapımla bilgisayarlı çıkarılmış geometrik kuralları ve operasyonları kullanarak dijital ortamda tasarım modellerinin oluşturulduğu çalışmalardır. Bu alışmalar kapsamında genellikle fiziksel tasarım ve yapıma ait operasyonların matematiksel modellerine dayalı olarak geliştirilmiş olan dijital araç takımları ile tasarımın geometrik temsili üretilmektedir (Burry, 2007; Rippmann ve Block, 2011; Brander vd., 2016). Bu durumda, üretim/fabrikasyon aracının işlem mantığına uygun olarak kullanılan dijital araç, tasarımın dijital ortamdaki temsili bu üretim tekniği ile direkt üretimini sağlamaktadır. Brander ve diğerlerinin geliştirdiği elastik eğri aracı (2016) bu tasarım senaryosu için örnek verilebilir. Rhinoceros üç boyutlu modelleme programı içerisine entegre edilmiş elastik eğri araç takımı kullanılarak dijital ortamda tasarlanan geometriler, sıcak elastik tel kullanan robotun kesebilmesine uygun olarak doğrudan fiziksel üretime aktarılabilmiştir. Üretim biçimi daha az spesifik olup yine de n-rasyonelize yollarla tasarlamak için verilebilecek başka bir örnek ise dijital ortamda serbest formlar üretmek yerine kurallı yüzeyler (ruled-surfaces) kullanarak tasarlamaktır. n-rasyonelize araçları kullanmak, fiziksel üretim bilgisi ve kurallarına dayalı olarak dijital ortamda tasarım formlarını üretmektir. Ancak, araç yeterince esnek ve saydam olmadığı takdirde tasarımcı araca müdahale edemeyip bu kuralları tanımlamış olan araç üreticisinin limitleri ile sınırlı kalabilmektedir. Diğer bir yandan, fizikselden bağımsız olarak dijital ortamda tasarım geliştirmekte kullanılan araç, tasarımcının

fiziksel ortamın içerisinde ortama dayalı olarak ortaya çıkarabileceği tasarım keşiflerini ortadan kaldırma sorununu da gündeme getirmektedir. Örneğin fiziksel ortamda üretim yaparken, malzemenin dönüşmesi ile ortaya çıkan form salt geometrinin ötesinde malzemenin getirdiği özelliklerle birlikte tasarımcı tarafından anlaşılmakta; malzemenin bulunduğu çevre ile etkileşimini bir bütün olarak gözlemleyen tasarımcı yeni ve beklenmedik tasarım girdileri ile karşılaşabilmekte; malzemenin özellikleri ve performansı tasarımcıyı beklenmedik yapım eylemlerine de yönlendirebilmektedir. Bahsedilen durumlar göz önünde bulundurulduğunda dijital ortamdaki hazır araçlar, tasarım uzamının gelişimini bir yönüyle kısıtlayabilmektedir. Bu durumda kavramsal tasarım sürecinin tamamının salt dijital ortamda gelişmesi yeni bir tasarım ürünün keşif sürecini ne kadar desteklemektedir? sorusu gündeme gelmektedir.

Dijital ortamda yapım/ üretim bilinciyle oluşturulan işlemler için Pottmann'dan ödünç alınarak kullanılan geometrinin ön-rasyonalizasyonu (pre-rationalization) veya geç-rasyonalizasyonu (post-rationalization) terimleri, gerçek anlamıyla tasarımla ilişkilenebilen mühendislik işlemleri için kullanılmaktadır. Bu süreçlerde ön-rasyonalizasyonu ve geç-rasyonalizasyonu tanımlayan ve yapan tasarımcılar değil mühendislerdir. Bu durumda, tasarım süreci akışındaki geleneksel yapım ve tasarım, mühendis ve tasarımcı ayrımı da geçerlidir.

Diğer yandan bu çalışma, ön-rasyonalizasyon ve geç-rasyonalizasyon olarak isimlendirilen iki işleme, geometrinin optimize edilmesi olarak değil geometrinin nasıl tanımlandığı ve oluşturulduğu üzerinden yaklaşmaktadır. En genel anlamıyla pre ve post rasyonalizasyon, yapım/üretim referansla çıkarılan belli kurallara göre dijital ortamda geometrinin oluşturulması veya oluşturulmuş geometrinin yapım/üretim için dönüştürülmesidir. Özetle ön-rasyonalizasyon ve post-rasyonalizasyon işlemlerinde, formun nasıl üretildiğine yani formu oluşturan fiziksel sürece ve yapım eylemine referansla geliştirilen dijital operasyonlar ve araçlar kullanılmaktadır. Bu çalışmanın konusu da, tasarım formlarını üreten yapım eylemi veya yöntemlerinin dijital ortamda tanımlanması ve dijital ortama aktarılması ile ilişkilidir. Fiziksel yapım ve üretim biçimlerini dijital ortama aktarmak, o yapım biçimini bileşenlerine ayırıp soyutlamayı ve geometrik alt parçalar arasında ilişkiler kurarak dijital ortamda formel olarak tariflemeyi içermektedir. Bu çalışma, tasarım sürecine eklemlenen bu dijital katmanın

tasarım sürecini geliştirmede, tasarımda yeni keşifler ve karşılaşmalar yaratmada sürece katkı koyduğunu savunur.

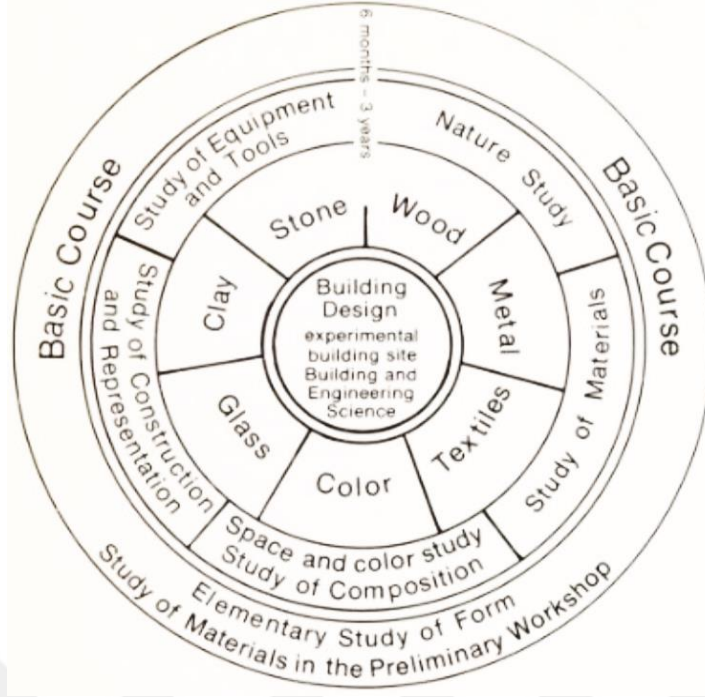
Tasarım yapmanın dijital bağlamını geometrik ve matematiksel araçlar şekillendirmekte olduğu için tasarım nesnesinin biçimi ön plana çıkmaktadır. Benzetim ve fabrikasyon modelleri yapmak ise geometri üzerinden fiziksel katmanları tasarıma dahil etmektedir.

Sayısal ortamda yaparak tasarılmanın en kapsamlı olarak ele alındığı yaklaşım dijital/sayısal/hesaplamalı zanaat olarak adlandırılabilir. Bu noktada sayısal ortam ve araçları bütünleşik bir süreci örgütler. Zanaat, belirli bir işin yapılma yöntemini oluşturan bilgi ve beceriler bütünüdür. Bilgi ve beceriler, deneyim ile kazanılır ve gelişir. Kazanılan deneyim görsel ve diğer duyu katmanları ile birlikte çalışmayı içerir. Dolayısıyla zanaat yapma sadece us yürütme/ düşünme gibi sözel katmanları değil, aynı zamanda algısal/duyusal karşılaşmaları da içermektedir. Zanaatkarın içkin ve örtük deneyimi içerisine makinalar dahil olduğunda ise, zanaatkar makinayla iletişim kurmak için yeni bir mekanizmaya ihtiyaç duymaktadır. Diyalog, deneyimin parçalanıp sembolik temsil diline çevrilmesi ile kurulmaktadır. Sennett'in (2008) ifadesiyle zanaat eylemi somut pratikler ile düşünme, problem çözme ile problem bulma arasında kurulacak bir ilişkiyi gerektirir. Örneğin bir duvarcı ustası, bir aşcı, bir oyun alanı tasarımcısı ya da çello çalan bir müzisyen için el ve beyin koordinasyonu farklı biçimlerde gelişebilir (Sennett, 2008). Ancak, becerinin ortaya çıkması için el-beyin koordinasyonunun belirli bir ritimde tekrarlanması ve geliştirilmesi gerek şart iken, yeter şart değildir (Sennett, 2008). Dijital süreçler göz önünde bulundurulduğunda ise malzeme ile el aracılığıyla kurulan doğrudan ilişki çoğu zaman ortadan kalkmaktadır. Bunun yerine, McCullough'un (1998) ifadesiyle giderek artan bir şekilde sürekli, görsel ve üretken bir tekil biçim kurulur ancak dijital olanın henüz fiziksel bir katmanı/malzemesi yoktur. Dijital zanaat, el, göz, araçlar, ve zihni görsel soyutlama düzeyinde biraraya getirmektedir.

Üretim pratikleri, en genel anlamıyla el ile yapılan, mekanik ve dijital olmak üzere üç farklı biçimde icra edilmektedir. Y yaparak tasarlamak bağlamında hesaplamalı zanaat ise bir yanıyla salt dijitale özgü yapma biçimlerinin kendisini, diğer yanıyla el ile yapma deneyimine dayanan beceri ve bilgiyi dijital teknolojiler ile birlikte ele alan pratikleri kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında ise hesaplamalı zanaat, malzeme, geometri ve teknik süreçlerin etkileşim halinde olduğu, el ile yapılan, mekanik ve

dijital yapma biçiminin çeşitli varyasyonlarla hibrid olarak icra edildiği, bir tekniğin tekrarı ile malzemenin olanaklılık alanını (Oxman, 2007) çoğaltan uygulamalara karşılık gelmektedir. Olanaklılığın (affordance) çoğaltılması aynı zamanda bir modelin ya da algoritmanın becerilerinin zenginleştirilmesine, yaparak tasarlama sürecinde beklenmedik keşiflere yol açan karşılaşmaları da içermektedir.

Hesaplamalı zanaat, örtük ve sessiz olan yapma bilgisinin makinalara veya dış ortama tercümesinin yapılıp dışsallaştırılmasını da içeren süreçleri kapsamaktadır. Dolayısıyla, tasarım için uygulanan yapma becerisinin sözel veya notasyonel kodlamasını içeren ara bir katman da sürece dahil olmaktadır. Günümüzdeki tasarlama ve yapma eylemleri arasındaki açılan makası anlayabilmek için makinanın tasarım sürecine dâhil olduğu 20. yüzyıl başındaki yaklaşımlara göz atmak önemli ipuçları sağlamaktadır (Picon, 2010). 1920’lerde var olan stillerin kopyalanmasına ve el becerisinin yerini alan mekanikleşmeye karşı bir reaksiyon olarak el zanaatlarını tasarımın odağına taşımak ve geliştirmekte olan yeni malzemelerin potansiyellerini keşfetmek hedefiyle ‘yaparak tasarlamayı’ tasarım stüdyolarında uygulayan okulların en önde geleni Bauhaus Okuludur (Gropius, 1965). Malzemenin doğrudan keşiflerle görsel, dokunsal, veya bedensel olarak deneyimlenmesi tasarlamanın parçası olmuştur. Öğrencilerin temel bir tasarım eğitimi ile başlayarak ilerleyen yıllarda taş, cam, ahşap, metal atölyelerinde malzemeyi işleme ve dönüştürme becerilerini geliştirdiği bir öğrenme ortamı kurgulanmıştır (Şekil 2.5). Bu kurguda “dışa dönük olan bilimsel araştırma ve teknolojinin, içe dönük olan sezgisel ve düşünsel süreçlerle dengesi” öne çıkmıştır (Itten, 1963: 9).

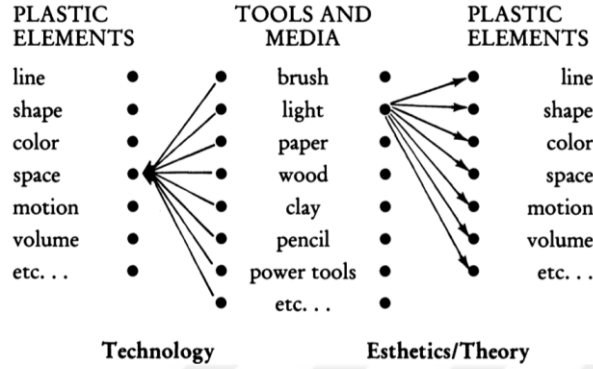


Şekil 2.5: Bauhaus Okulu’nun 1923 yılı eğitim programı (Itten, 1963, 1975)

Teknik bilginin öznel sezgi ve yaratıcılık ile birlikte ele alınması için “öznenin duyuları aracılığıyla algılayarak doğrudan deneyim kazanması ve bu deneyimin formel tarifini farklı medyalarla üretmesi” ne odaklanılmıştır (Cross, 1983: 50). Findeli’ye (1990:8) göre:

“Öğrenciler çizgi, şekil, renk, doku, strüktür, hacim, hareket gibi plastik elemanların potansiyellerini farklı malzeme ve araçlar kullanarak farklı medyalarda görsel, dokunsal, ses olarak ifade ederek keşfetmiş; ses veya dokunma deneyimine dair ifadeleri tekrar soyut elemanlara dönüştürmüştür” (Şekil 2.5). Soyut elemanların kullanımına dayalı form çalışmaları ile yapılan keşiflerde materyal nesnenin görünümüne önem verildiği anlaşılabir de, Moholy-Nagy (1938) asıl anahtarının her şeyi ilişkiler içinde görebilmek olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde Itten (1963), bir nesnenin diğeri ile ilişkisi veya göreceli durumunun duyular aracılığıyla deneyimlenmesinin öneminden bahsetmiştir. Bauhaus pedagojisi üzerine araştırma yürütmüş olan Alain Findeli (1990)’e göre her şeyi ilişkiler içinde görmek, indirgemeciliğe karşı karmaşıklığı kucaklayan; yalnızca malzemenin gücünü aşarak fonksiyonu da anlayan bir yaklaşımdır. Bir nesnenin görsel bir varlığının ötesinde görünmez olan ilişkileri görebilmeyi içerecek nitelikteki bir görsel zekanın kazanımı, Bauhaus çalışmalarının hedeflerinden biri olmuştur (Findeli, 2001: 10). Bauhaus’da ‘yaparak tasarlamak’, öznenin sonuç ürüne dair yerleşmiş fikirleri olmadan duyuları

aracılığıyla yeni ilişkiler görüp yeni fikirler keşfetmesi hedefiyle icra edilmiştir. Yapma sürecinde görülen ilişkiler, hem tasarım elemanları arasında kurulan ilişkiler hem de tasarım elemanlarından oluşan bütün ile tasarım kavramlarının ilişkilennmelerini içermektedir.

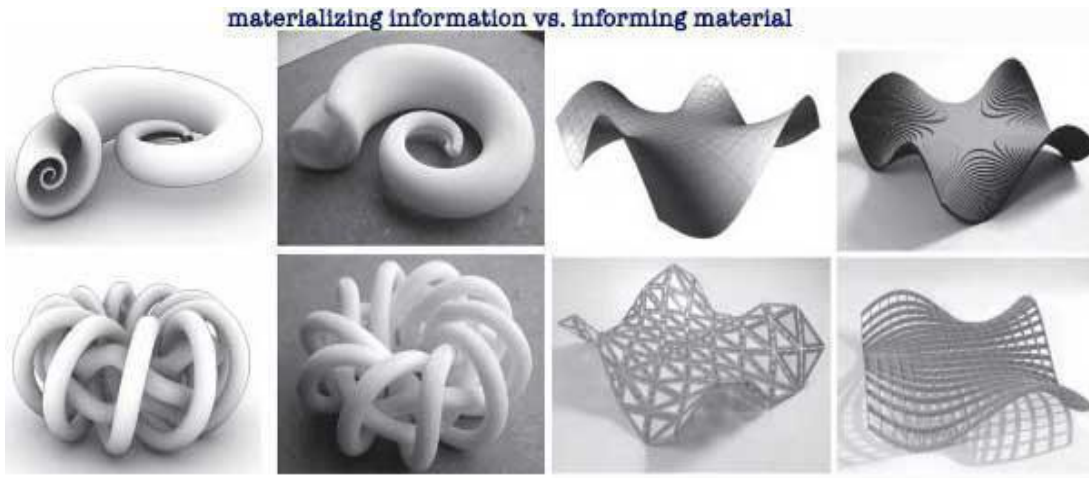


Şekil 2.6: Bauhaus Okulundaki temel tasarım dersinin yöntemsel strüktürü (kaynak: Findeli, 1990).

Özetle, Bauhaus Okulu’nda tasarımcının araç, ortam, ve malzemeyi geometrik elemanları ile çakıştırması deneyim ile notasyon arasındaki etkileşimi arttırmaya yönelik bir çaba olarak değerlendirilebilir. Ancak yaparak tasarlama deneyimin çok duyulu ve katmanlı doğası ile notasyon ve prosedürlere dayalı mekanik ve dijital temsilin doğasının tamamen örtüşmesi yine de mümkün olamamaktadır.

Oxman (2007) hesaplamalı zanaat yerine “dijital zanaat” kavramını kullanmayı tercih etmiştir. Oxman’ın (2007) dijital zanaat kavramı üzerinden açtığı tartışma, dijital fabrikasyon araç ve teknolojilerinin tasarımda kullanımına yeni bir bakış açısı kazandırmayı amaçlamaktadır. Tartışmasını 3 örnek üzerinden kurar: Dijital dikiş, dijital torna ve dijital dokuma (Oxman, 2007). Dijital dikiş, membran malzeme özelliklerinin geometrik operasyonlarla ilişkilendirilmesine odaklanır ve mazleme davranışının gerçek zamanlı dijital benzetimlerini yapar (Oxman, 2007). Dijital tornada ise, var olan bir dijital fabrikasyon aracına ek yapılarak (Oxman, 2007) aracın olanaklılığı artırılır. Dijital dokuma örneğinde malzeme bileşenlerinin bir araya gelişleri test edilmektedir. Kağıt ve paslanmaz sac gibi düzlemsel malzemelerden belirli geometrik örüntüler ile keserek eksiltmeler yapılmakta, eksilen parçaların bir bütün oluşturacak biçimde bir araya gelişlerinde özgün ve karmaşık strüktürel davranışlar sergilenmektedir (Oxman, 2007).

Dijital tasarımların fizikselliği bağlamında Hemmerling (2011) iki temel yaklaşımı öne çıkarmaktadır. Enformasyonu materyalleştirmek (1), tasarımı bitmiş dijital bir modeli fiziksel ortama birebir transfer etmek anlamına gelmekte iken malzemeyi enforme etmek (2), malzeme elemanlarının nasıl biraraya geleceğini ve şekilleneceğinin tasarım bilgisini içeren enformasyonu üretmek anlamındadır (Şekil 2.7). Hemmerling'in enformasyonu materyalleştirmek olarak tarif ettiği yaklaşım, yaparak tasarlamamanın dijital ortamda karşılık bulmasına tekabül etmektedir. Enformasyon olarak kodlanan yapım bilgisi sadece üretim biçimini değil çeşitli tasarım değerlerini de içermeye potansiyeline sahiptir.



Şekil 2.7: Enformasyonu materyalleştirmek ve malzemeyi enforme etmek (Hemmerling, 2011).

“Hesaplamalı teknikler aracılığıyla malzemeyi enforme etmek ekolojik ve ekonomik tasarımlar için önemli derecede olanaklar ve verimlilik sağlasa da nesne/meکان ve kullanıcı arasındaki ilişki bu yaklaşıma çoğu zaman dâhil edilmemektedir. Medya kuramcısı Vilem Flusser tasarım değerlerinin nesneden enformasyona kayışına değinerek nesneler tarafından taşınan anlamların eksikliğine vurgu yapmaktadır. “ (Hemmerling, 2011:2).

Malzemeyi enforme etmek, bir materyalleşme mantığı/yapım yolu/üretim tekniği sunmanın ötesinde kullanıcının nesneyi/meکانı deneyimlemesi ve kullanımına dair ışık, malzeme, ergonomi gibi tasarım parametreleri ile ilişkilene ve dolayısıyla katma değerler içermeye potansiyeli taşımaktadır. Bu da, dijital ortamda geometrik elemanlar ve elemanlar arası ilişkiler olarak kodlanan materyalleşme mantığına (yapım tekniği) tasarım parametreleri entegre edilerek yapılabilir.

Bu çalışma özelinde bir materyalleşme yolu/yapma biçimi olarak katlama tekniği ile çalışılmıştır. Katlama tekniğinin seçilme nedeni, kolay ulaşılabilir düzlemsel malzemelerle ekonomik ve ekolojik bir yapma ve üretme biçimi olmasıdır. Bu nedenle katlama tekniğinin çok farklı ölçeklerde ve disiplinlerde uygulamalarının görülmektedir. Ayrıca, dijital modelleme araçlarının temsil olanaklarının artmasıyla prizmatik geometrilerin kısıtlamalarından kurtulan tasarım alanında, katlamak çoğu zaman eğrisel ve karmaşık formların düzlemsel malzemelerden üretilebilmesi için başvurulmuş bir yoldur.

Dijital ortamda doğrudan geometrik form üretimine dayalı konvansiyonel modelleme paradigmasından farklılaşan bir tasarım yapma biçimi de ilişkisel parametrik modeller kurmaktır. İlişkisel modeller, tasarımın üç-boyutlu statik bir geometri olarak direkt modellemesine alternatif olarak tasarım formunu oluşturan bileşen parçalar arasındaki dinamik ilişkilerin modellenmesine dayanmaktadır. Bileşenler arasında kurulan ilişkilerin dinamik olması, hem tarif edilen ilişkinin kendisinin değişken olmasından, hem de ilişkilenen şeyin kendisinin aslında bileşen parçanın değişken bir özelliği olmasından kaynaklanmaktadır. Bu modelleme ortamının bileşenleri yine nokta, çizgi, eğri, yüzey, katı hacim gibi geometrik nesneler ve onların koordinat değeri, uzunluğu, alanı, eğriselliği, rengi gibi sayısal ve geometrik özellikleridir. Bu nedenle, ilişkisel modelleri, ilişkisel parametrik modeller (associative parametric models) veya değişken özellikler arasında ilişki kurmaya dayalı olarak modellemek (constraints- or relations-based modeling), geometrik koşullandırmalarla modellemek (geometric dependency modeling) diye isimlendirmek de mümkündür. Bu modellerle çalışmaya imkân veren araçlara örnek olarak Grasshopper ve Dynamo gibi görsel programlama eklentileri ve rhinoscript gibi betik dilleri verilebilir.

İlişkisel modellerle geliştirilen tasarım süreçleri, tasarım problemi içerisindeki örüntüleri keşfetmeye ve ifade etmeye dayalı zihinsel bir tutuma dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, diyagramatik bir düşünme biçimi içermektedir. İlişkileri keşfetmek için, o tasarım anında ele alınan meseleyi alt parçalara ayırmak ve parçaların ilişkilenebilmesi ile ortaya çıkan tasarım bütünü kavramak bu düşünme biçiminde esastır. Bu kavrayışın yansıması olan ilişkisel modeller, tasarımın oluşum sürecini ve tasarımın değiştirilebilir, çeşitlendirilebilir, üzerinde oynanabilir bir modelini ortaya çıkarmayı sağlamaktadır.

Dayandığı zihinsel tutum dolayısıyla ilişkisel modelleme, geleneksel tasarım ve yapım süreçlerine yeni bakış açıları getirmektedir. İlk olarak, tasarım bir sonuçtan çok süreç, daha çok yöneme ve daha çok tekniğe odaklamaya doğru evrilmektedir. Celani (2012)'nin değindiği gibi tasarımcı artık bir ürün tasarlamak yerine olasılıkları hesaba katarak birçok ürün ortaya çıkaracak sistemi tasarlamaktadır. İkinci olarak, yöntem veya teknik açıkça dışsallaştırılmış tarifleri gerektirmektedir. Dijital ortamda tasarım yapmak bağlamında Terzidis (2006) ilişkisel modellemeyi, tasarımcının zihninden önceden kavramsallaştırılmış varlıkları ve süreçleri bilgisayar sistemine aktarma ve kaydetme aktivitesinden (computation vs. computerization) ayırıştırarak açıklamaktadır. Hesaplamalı süreçler içeren ilişkisel modelleme, bir şeyi matematiksel ve mantıksal yöntemlerle belirleyen hesaplama prosedürlerine dayanmaktadır. Leach (2019) belirli bir olguyu formüle eden hesaplamaların tasarlamak için yeni yöntemler sunduğunu belirtir. Hesaplamalı yöntemler veya teknikler Menges ve Ahlquist (2011)'in açıkladığı gibi, bileşenler arasındaki etkileşimleri işleme sokarak belirli çevreler oluşturur. Hesaplamalı süreçler, bileşen özellikleri ve üretken kurallarla başlayarak dinamik bir sistem olarak tasarım formunu meydana çıkarır. Özetle, algoritmik, parametrik veya hesaplamalı tasarım süreçlerine katılan tasarımcılar, tasarım eskizini geometrik parçalar arasında esnek ilişkiler kurarak yapmaktadır. Burada eskizi yapma eylemi, tasarımcının zihinindeki imajı direkt kâğıda aktarmaktan farklı olarak tasarım imajını üretecek diyagramatik tarifi formüle etme ve uygulamayı içermektedir. Bu diyagramatik tarif eskiz gibi bitmemiş ve açık uçludur. Eskizle tasarım yapmaktan farklı olarak ise burada tasarımcı ve eskiz gibi bir tasarım nesnesi temsili arasında gelişen direkt diyaloga, eskiz gibi bir temsilin diyagramatik ve geometrik tariflenmesini içeren bir katman daha katılmaktadır. Bu nedenle, algoritmik, parametrik veya hesaplamalı süreçler, tasarım iş akışını ve tasarımcıların zihin setlerini değiştirmektedir. Bu dönüşüm kapsamında biçimden biçimlenmeye (Oxman, 2006) süreç odaklı bir kayma söz konusu iken, tasarlanmış bir nesnenin modellenmesinden tasarımın mantığının tasarlanmasına doğru (Dino, 2012; Leach, 2009) yapısal değişimler de gerçekleşmektedir.

İlişkisel modelleme aynı zamanda topolojik düşünmeyi içerir. Topolojik yaklaşım temel olarak Kartezyen Geometri'nin reddine dayanmaktadır. Bir olgunun temsili için metrik sisteme ihtiyaç duymaz. Bunu yerine nesneler ve nitelikler arasındaki ilişkilere odaklanmaktadır. İlişkiler ve nitelikler sabit olarak ele alındığı durumlarda bile ortaya

ıkan ve topolojik ilişkilerle temsil edilen geometri dinamik, çoğul ve değişken özellikler taşıyabilmektedir (Shields, 2012). Byylelikle topolojik yaklaşımda tekil geometri yerine geometriyi oluşturan ilişkiler bütününün tasarlanması ve temsili söz konusudur. Dolayısıyla Oxman'ın (2006) listesine geometriden geometrik ilişkilere dönüşüm maddesini de eklemek mümkündür. Kolarevic ve Klinger (2013), topolojinin ölçek ya da şekil değişikliğinden etkilenmeyen, biçimin içsel ve nitel bir özelliği olduğunu öne sürerek, bir modelin topolojisini onun kompozisyonu ya da arka plandaki organizasyonel yapısı olarak tanımlamaktadır. Terzidis (2003) topolojiyi durmadan değişen bir geometrinin bütünlüğünü koruyan birleştirici bir g olarak değerlendirmektedir.

Topoloji kavramının tasarım ve tasarım temsilleri bağlamında gündeme gelmesi yeni değildir. Cache (2003), Felix Klein'in 1872'de Erlangen Enstitüsü'nde sunduğu tanımlara dayalı olarak mimarlık tarihi boyunca kullanılan geometrik dönüşüm dönemlerini dört grupta ele almaktadır:

- İzometrik ağ,
- Oran-orantıya dayalı ağ,
- İzdşme dayalı ağ,
- Topolojik ağ (Cache, 2003; Alaçam vd., 2017).

Bu bağlamda dijital dönemdeki geometrinin ele alınmasını "topolojik ağ" başlığı altında değerlendirmektedir (Cache, 2003). Terzidis'in ifadesiyle, "Belirli nesnelerden ziyade st düzey soyutlamalar ve i içe ilişkiler sistemleri kullanarak bilgiyi manipüle etmede yeni bir çağa geçiş" (2003:41) olarak tariflenmektedir. Oxman (2008) ise dijital dönemde yeni pedagojik arayışlara odaklandığı makalesinde "Sürekli evrilen topolojik dağarcıklar" olarak kavramlaştırdığı bir öneri ortaya koymaktadır. Bu önermedeki topolojik dağarcıklar yeni bağlamlara ve ölçeklere adapte olma olasılığının yanısıra, performansa dayalı değerlendirme süreçlerinden beslenme ya da onları besleme potansiyeli taşımaktadır.

Topoloji, matematiğin bir alt dalı olup geometrik nesnenin çeşitli deformasyonlarla metrik değişimler geçirdikten sonra nesneyi tarifleyen sabit/değişmez özellikleridir. Thompson (1992)'nin belirttiği üzere nesneyi tarif eden matematiksel tanımlamaların çok katı ve değişmez olduğu düşünülse de, geometrik elemanlar arası ilişkilere dayalı kesin bir tanım, ucu açık bir özgürlük sunma potansiyeline sahiptir. Örneğin, elips

geometrisinin kesin bir tanımı bize dünyadaki tüm elipsleri tanıtabilmektedir. Topolojik model, tekil statik bir biçim yerine biçimi oluşturan ilişkileri oluşturmaya odaklanmaktadır. “İlişkisel (associative) geometri” bu kapsamda gündeme gelen bir kavram olmuştur (Cache, 2003; Shea vd., 2005). İlişkisel geometri, Shea vd.’e (2005) göre, basit manipülasyonlarla parametrik modelin dönüştürebileceği ve alternatif senaryoların ele alınabileceği dinamik bir zemin sunmaktadır. Khabazi (2009) ilişkisel geometriyi modelleme sürecinin tasarımı oluşturan elemanlar arasındaki basit ilişkileri tarifleyerek başladığını ve tarif üzerine eklenen yeni ilişkilerle modelin birbiri üzerine eklenen ve hiyerarşiler kuran bir yapıya sahip olduğunu açıklamaktadır. Stiny (2012) ise parametrik modellerin, geometrik tasarım elemanları arası etkileşimi ve dolayısıyla geometrik tasarım elemanlarının hesaplanabilir karmaşıklıklarını gizlediği için yaratıcılığı kısıtladığına değinmektedir. Burada geometrik tasarım elemanları arasındaki ilişkiler sabit kalarak ancak metrik değerler değiştirilerek dinamik bir zemin oluşturulduğuna değinilse de, ilişkileri tanımlamak ve kavramak, ilişkileri değiştirmeyi de beraberinde getirerek dinamikliği sağlamakta ve yaratıcı keşiflere olanak vermektedir. Kolarevic (2013), topolojik ilişkileri değiştirmek için ‘topolojik operasyonlar’ kavramını kullanmaktadır. Jabi (2013)’e göre devamlı ve sürekli olarak topolojik yapıları tanımlamak ve topolojik veri için sistemi sorgulamak, parametrik keşifleri arttırmakta ve tasarım bağlamını daha iyi bir biçimde göz önünde bulundurarak daha etkili çözümlerin yaratılmasını sağlamaktadır. Ancak tanımlanan geometrik elemanlar arası ilişkileri değiştirmek veya yeni ilişkiler eklemek veri yapıları hakkında hakimiyet gerektirdiği için tasarımcının soyut ilişkiler yapısını kendi tarif etmiş veya açıkça kavramış olması esastır.

Martin ve Secor’a (2014) göre, topoloji bizleri ilişkiselliği yeniden düşünmeye ve şartların sürekli değiştiği bir durumda ilişkilerin biçimlenme ve denge durumuna ulaşmasını sorgulamaya yönlendirmektedir. Bir nesne, bir oluşum, bir sistem ya da sürecin sabitleri ve içsel değişimi (deformasyon olarak anlaşılan) Lury vd.’ne (2012) göre birbirleri ile sıkı bir şekilde ilişkilidir ve bir arada ele alınabilirler (Lury vd., 2012; Martin ve Secor, 2014). Dolayısıyla topoloji, içkin bir yapının kavramlaştırılmasında yardımcı olma potansiyeli taşımaktadır (Martin ve Secor, 2014).

Soyut geometrik ilişkilere dayalı olarak geometrik formu sadece kendi kendisine referansla ayırık bir tasarım süreci olarak ele almak yerine; soyut geometrik ilişkileri, malzemeye veya programa dair parametreler gibi tasarımın farklı yanlarıyla

ilişkilendirerek diyagramatik olarak kavrayış tasarım sürecini kapsayıcı bir bakışla keşfetmek ve geliştirmek açısından önemlidir.

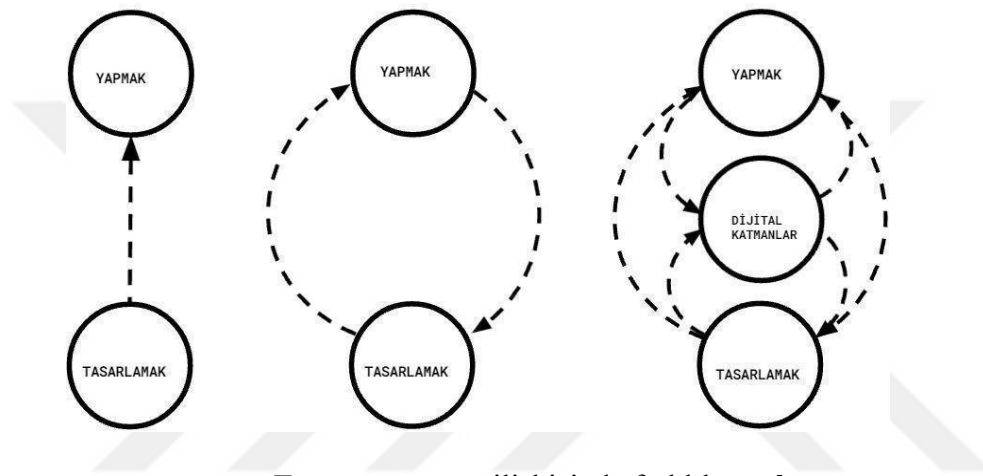
Özetle, dijital formu oluşturan geometrik elemanlar arası ilişkilerin malzemeye referansla kurulması, yaparak keşfedilen tasarım nesnesinin olasılık uzayının strüktürünün tarifini ifade etmektedir. Geometrik elemanlar arası ilişkilerin oluşturduğu dijital form, yaparak keşfedilen malzeme özelliklerine, performansına, sağlamlıklarına referansla tarif edilmektedir.

Bu noktada, buraya kadar tartışılan konuları özetlemek gerekirse; tasarım sürecinde tasarım probleminin farklı veçhelerine ait çeşitli etkenler tasarım nesnesini şekillendirmede belirleyici olduğu hipotezi ile başlanabilir. Bu etkenlerden birisi de tasarım nesnesinin kendisi veya temsilinin nasıl yapılacağı, üretileceği veya inşaa edileceği bilgisidir. Erken tasarım sürecinde tasarımcı bir yapım tekniğini icra ediyor olsa bile kendi eylemi ile yaptığını bilinçli olarak deneyimleme eğiliminde olmayabilmektedir. Tasarımın nasıl yapıldığı, yapılacağı veya üretileceği genellikle erken tasarım süreci şekillendikten sonraki aşamalarda devreye girmektedir. Tasarım bittikten sonra tasarımın nasıl üretileceği veya inşaa edileceği farklı bir faz olarak kabul edilebilmektedir.

Tasarımın malzemeye nasıl müdahale ederek şekilleneceği erken tasarım sürecinin bir parçası olduğu zaman ise, uygulamaya koyulan yapım tekniği ile malzemeyi şekillendirmek için seçilen yol, tasarım sürecinde kullanılan temsiller gibi muğlak bir doğaya sahip olup hasta-tanımlı tasarım problemlerini keşfetme sürecine yardımcı olabilmektedir. Erken tasarım sürecinde malzemeye müdahale etme biçimiyle ortaya çıkan tasarım formu hem eskiz gibi başka bir materyal dünyanın temsillerini tasarımcının zihinde üretmesine neden olabilmekte, hem de ortaya çıkan form ve özelliklerinin sağladığı fiziksel performans veya niteliklerin kendisi tasarım problemine katılarak tasarlanan nesnenin içeriğinin yeniden yapılandırılmasına neden olabilmektedir. Diğer yandan, yeniden yapılandırılan tasarım problemine dayalı olarak tasarımcının malzemeye müdahale etme eylemini çeşitlendirmesi veya değiştirmesi, uygulamaya koyulan yapım tekniğinin de gelişmesini ve tasarlanmasını içermektedir.

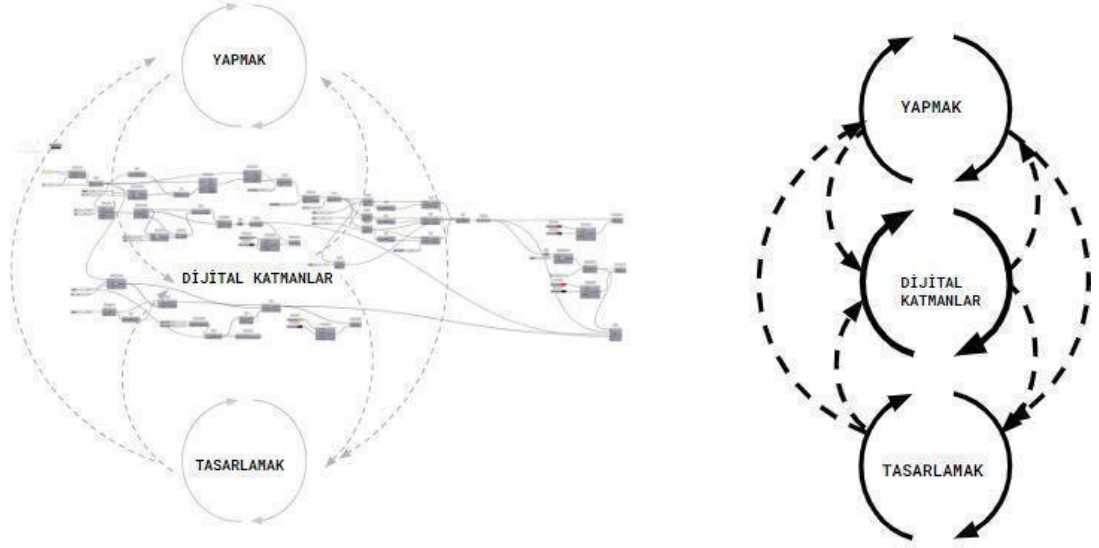
Tasarım, yaygın olarak kâğıt üzerinde veya bilgisayar ortamında çizerek ilerleyen zihinsel bir aktivite iken tasarımın fizikselleşmesine dair kaygılar ve tasarımın yapımını içeren malzeme teknikleri genellikle tasarım süreci bittikten sonra devreye

girmektedir (Şekil 2.8). Bu yaklaşıma alternatif olarak malzeme tekniklerinin erken tasarım sürecinden itibaren tasarıma girdi sağlayan ve tasarım girdilerini çoğaltan bir vektör olduğu süreçlere dayalı tasarım çalışmalarını geliştirmek de mümkündür. Bu çalışmalarda tasarım girdilerinin çoğalması, malzemeyi dönüştürme aktivitesi olan yapmak ve öznel değerlendirme süreçleri olan tasarlamak arasındaki gidiş gelişler üzerinden kurulan grift bir ilişkiye dayanmaktadır. Bugün dijital tasarım ve fabrikasyon araçlarının yaygınlaşması ile yapmak ve tasarlamak arasında kurulan grift ilişkiye dijital katmanların dâhil olması ise sürecin karmaşıklaşmasını sağlayarak süreç gelişimini etkilemektedir.



Şekil 2.8: Tasarım - yapım ilişkisinde farklılaşmalar.

Tasarımın erken fikir geliştirme sürecinde yapma, tasarlama ve dijital katmanlar arasında oluşan grift ilişkiyi sorgulamak için bu bölüm öncelikle dijital ortamda geometrik ilişkilere dayalı modelleme ve yapma arasındaki ilişkiyi, daha sonra ilişkisel modeller ile tasarlamayı ve son olarak yapma ve tasarlama arasındaki ilişkiyi incelemektedir.



Şekil 2.9: Dijital prosedürler ile yaparak tasarlamak.

Fiziksel ortamda yapımı içeren bir malzeme tekniği, dijital ortamda geometrik bileşenlerin ilişkilerine dayalı bir modelleme tekniği, ve tasarım fikirlerini geliştirmeyi içeren üç aktivite arasındaki grift ilişkisi tasarım geliştirme sürecinde ard arda veya döngüsel akışlarla yapılandırmak ve sürdürmek mümkündür. Bu üç aktivitenin her biri farklı yönleriyle tasarım sürecinde keşiflerle karşılaşmaya katkı sunabilmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde öncelikle katlama ve tasarlama arasındaki ilişki, daha sonraki bölümde ise bu ilişkiye dijital katmanların dâhil olmasıyla geliştirilebilecek olası kurgular tartışılmaktadır.

2.2 Katlayarak Tasarlamak

Dijital dönemde katlamanın, hem kuramsal, hem biçimsel hem de eylemsel boyutu yeniden gündeme gelmektedir. Katlamak, tasarım alanında sadece bir kuramsal bir yapı, sadece formel bir strateji veya sadece fiziksel bir yapım tekniği olarak öne çıkabildiği gibi, bir tasarlama sürecinde katlamak aynı zamanda hem bir düşünme aracı, hem bir formel strateji, hem de fiziksel bir yapım tekniği olabilmektedir. Bu durumda, düşünme, form bulma ve yapma birbirini beslemekte ve bir arada var olmaktadır. Bu bölüm öncelikle katlamanın kuramsal, biçimsel, eylemsel boyutunu, sırasıyla fikir, biçim, yapım düzleminde örnekler üzerinden okumaktadır. Daha sonra bir yapma eylemi olarak katlamanın dijital ve fiziksel ortamda nasıl icra edildiği üzerine odaklanmaktadır.

Katlamayı, kâğıt ve kumaş gibi düzlemsel malzemelerin varoluşuyla birlikte ortaya çıkan bir eylem olarak ele almak mümkündür. Japon dilinde kâğıt katlamak anlamına gelen ‘Origami’ zanaatı hakkında birçok kaynak ‘kâğıt katlamanın’ başlangıcını, 1. Yüzyıl (M.S. 100) Çin’de kağıdın icat edilmesiyle ilişkilendirmektedir (Honda, 1965; Randlett, 1961; Palacios, 1972). Papirüs bitkisinden elde edilen antik yazı malzemelerini restore eden Myriam Krutzh (2016) ise kağıdın günümüz halinin öncülü olan papirüsün, M.Ö. 4000 yıllarından itibaren, Antik Mısır tarafından, üzerindeki yazının içeriğiyle ilişkili olarak farklı formlarda katlanarak paketlenildiğini söylemektedir. Krutzh’in bulgularına da dayanarak katlamanın yüzyıllardır düzlemsel malzemenin bir parça alanını diğer bir parça alanının üstüne getirerek, yüzeyin daha az yer kaplayacak bir formda muhafaza edilmesi amacıyla, insanların gündelik hayatında kullandığı fiziksel bir eylem olageldiği görülmektedir. Katlamanın gündelik hayat içinde yaygınlaşmış ve yerleşmiş olması nedeniyle, farklı eylemler de katlamak olarak nitelendirilmektedir. Örneğin doğal kuvvetlerin yer tabakasını iki yönden birbirine doğru itmesiyle yer katmanı katlanıp dağları oluşturmakta veya ışınlar bir düzleme çarparak katlanmaktadır. Katlamak kelimesi nesneler, fikirler, durumlar, hisler için de kullanılmaktadır. Katlama eyleminin fiilen uygulanmadığı ancak formel olarak katlanmış gibi görünen formu oluşturmak için farklı yönelime sahip birden fazla düzlemi uç uca birleştirme operasyonu da ‘katlamak’tır. Bir başka deyişle, düzlemsel bir yüzeyin yön değiştirmesi ile sürekliliğinin bozulması, katlamak olarak tarif edilmektedir. Bu oluşumlar genellikle katlanmış plak strüktürler olarak isimlendirilmektedir. Bu durumda nesne, biçimsel benzerliğinden dolayı başka bir olgunun ismini almakta; katlamak metafor olarak kullanılmaktadır. Katlama eyleminin malzemenin sürekliliğini koruyarak malzemedeki farklılaşmalar yaratması nedeniyle bu eylemin Gottfried Leibniz’in dünya kavrayışını tarif etmek için kullandığı bir metafor olduğu da görülmektedir. Leibniz’in kavrayışının Gilles Deleuze tarafından geliştirilerek kıvrım (le pli) kuramına isim vermesi ile katlamak, kuramsal bir yapı olarak da literatürde yer almaktadır.

Mimarlık ve tasarım bağlamında katlama kavramı, yukarıda bahsedilen üç farklı şekilde kullanılabilir. ‘Katlamak’ ve ‘Mimarlık’ kelimelerinin, Google veri tabanında hızlı bir aramasını yaptığımız zaman, yukarıda tarife benzer bir takım tekrar eden temalar ve üretimlerin olduğu fark edilmektedir. Bu tekrarlar, kâğıt gibi iki boyutlu düzlemsel malzemelerin yöneliminin değiştirilmesi ile oluşturulmuş üç

boyutlu kavramsal tasarım modelleri, katlanmış form görüntüsüne sahip mimari yapılar ve dijital modeller, Greg Lynn'in 1993 yılında yazmış olduğu 'Folding in Architecture' kitabına ait görsel imajlardan oluşmaktadır (Şekil 2.10). Bir başka deyişle arama sonucu, katlanmış kâğıt modeller, katlanmış görüntüye sahip formlar ve kuramsal bir kavram olarak katlamanın tartışıldığı bir yayına ait imajlar olarak üç gruba ayrılmaktadır.

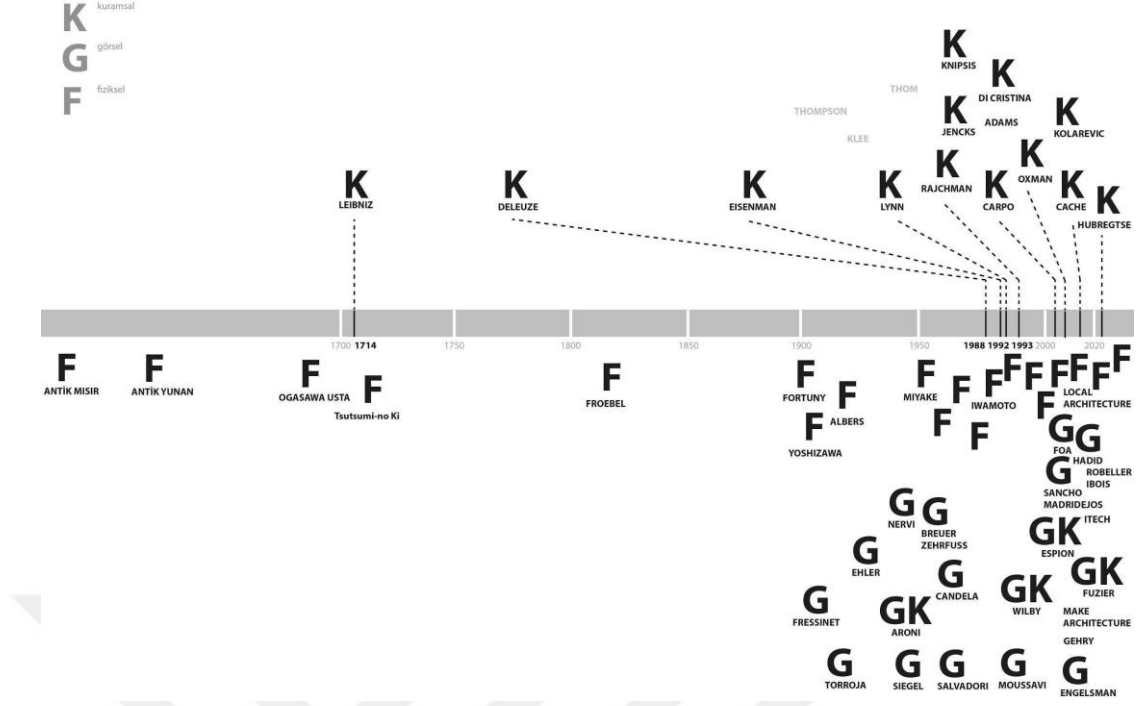
Google'da karşımıza çıkan sonuçlara benzer şekilde 'Digital Fabrication' kitabının yazarı Lisa Iwamoto da (2009) katlamanın mimarlıkta kullanımını, kuramsal bir kavram, formel bir taktik ve en gerçek anlamıyla bir malzeme operasyonu olarak gruplamaktadır. "Mimarlıkta katlamak, kuramsal bir kavram, formel bir taktik ve en gerçek anlamıyla bir malzeme operasyonudur. Her durumda, katlamak, katlanan şeyin kendi özelliklerini kaybetmeden yeni mekânlar ve bölgeler yaratır." (Iwamoto, 2009).

Yukarıda sözü geçen farklı katlama kullanımlarının üçü de, efektif ve ekonomik bir yaratıcı oluşum biçimidir. Gerçek anlamıyla malzeme operasyonu olarak kullanıldığı zaman, kolay bulunan ve maliyeti düşük malzemeleri tasarım sürecinde kullanmayı; büyük ölçekli mekanlar üretiminde formel bir strateji olduğu zaman, formun dayanım kazanıp daha az malzemeyle ikincil bir strüktürel sistem olmadan ayakta kalabilmesini; Deleuze'e referans veren dijital tasarım kuramında ise sürekli bir fonksiyon, algoritma veya mantığın birden çok sayıda ve çeşitlikte, zamana ve olaya özgün özelleşmiş ürün üretimini sağlamaktadır. Dolayısıyla bahsedilen üç durumda da katlamak, tasarım sürecinde ekonomiklik ve üretkenliği sağlama potansiyeline sahiptir.



Şekil 2.10. Katlamak ve *Mimarlık* kelimelerinin Google arama motorunda aranması sonucunda çıkan imajlar, (Alınma Tarihi: 21.04.2019).

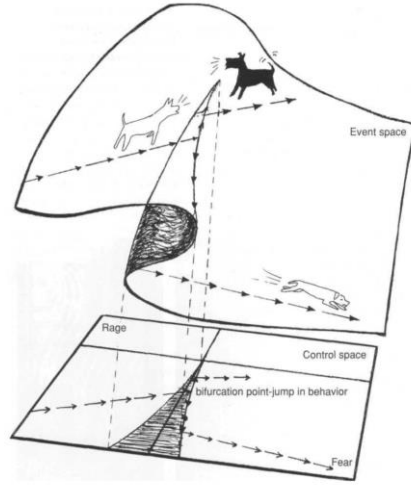
Katlamının tasarım alanındaki potansiyelini tartışmak ve paylaşmak için dolayısıyla bu bölümde, katlamının tasarım ve mimarlıkta kullanımları örnekler üzerinden incelenmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Katlamanın tasarım alanında kullanımları.

“Origamiyi (kâğıt katlama sanatını) madde bilimi için bir model olarak alabiliriz” (Deleuze, 1993). Katlamak, 1988 yılında Gilles Deleuze’in Le Pli kitabı ile birlikte, kaos, karmaşıklık, öz-örgütlenme, nonlineerlik, belirsizlik, dinamiklik, görelilik, öznel ve çoğul bakış nitelikleri gösteren pozitivizm ötesi paradigmalara dayalı olarak Gottfried Leibniz’in kalkülüs’üne, Paul Klee’nin aktif çizgisi’ne, Rene Thom’un morfogenez’ine, Bernard Cache’nin objektif’ine referans vererek, sürekli ve etkileşimli bir biçimde değişim, çeşitlenme, ortaya çıkış, oluşa dayanan bir kavrayışı tartışan kuramsal bir yapı olmuştur.

Gilles Deleuze katlamayı, “çağdaş kolektivitinin değişken, sınırsız ve sonsuz bir modeli” olarak ele almıştır (Alaçam ve diğerleri, 2017). Deleuze’ü destekleyen bir bakış açısıyla, TED konferanslarının küratörü Chris Anderson (2019), “evrendeki birçok olguyu anlamak için katlamanın bir model olarak kullanıldığını” söylemiştir. Doğadaki davranışların ve olayların seyrini açıklamak ve tahmin etmek için geliştirdiği katastrof kuramında Rene Thom (1972) katlamayı matematiksel modeller ile tariflemiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Rene Thom'un sürekliliği lineer bir şekilde devam eden bir sistemdeki ani ve keskin faz değişimini grafikleştirerek farklı bileşenlerin birbirine etkisini açıklayan diyagramları katlama kuramının referanslarıdır. Burada iki faktörün etkisiyle bir köpeğin davranışını inceleyen Thom, etkenlerin kesiştiği belirli anlarda tek bir yönde giderek artmak yerine iki farklı davranışın gerçekleşebilme olasılığının mümkün olması ile tahminler uzayının katlandığını göstermektedir (Jencks, 2005).

Katlama kuramında fiziksel varlık veya onun algısı,” kum gibi taneciklerden oluşan parçalanabilir bir yapıda değildir, bir kumaş gibi sonsuz sayıda katlanabilir bir yapıya benzemektedir” (Hubregtse, 2020). Deleuze’un kendi ifadesiyle: “maddenin birimi, en küçük ögesi, nokta değil kıvrımdır. Çünkü nokta çizginin bir parçası değil yalnızca bir ucudur. Bu yüzden maddenin parçaları, sıkıştırıcı elastik kuvvetin sonucu olarak kütleler veya yığılmalardır; rüzgarların, suların, ateşin, toprağın kıvrımları ve maden yatağındaki damarların yeraltı kıvrımlarıdır. Doğal coğrafyanın katı kıvrımları, karmaşık bir etkileşimler sistemi içinde, önce ateşin, ardından suların ve rüzgarların toprak üzerindeki etkilerine dayanır. Japon bir filozof, maddenin bilimi origamiyi model alıyor derdi, yani kâğıt katlama sanatını.” (Deleuze, 1993:11-12).

Deleuze kıvrım metaforu ile nesneyi sadece madde-biçim ilişkisiyle değil, insan öznenin algısı üzerinden bağlam ve zaman ile birlikte oluşan (yere ve duruma özgün tekil) bir varlık olarak da tariflemiştir. Hem insan öznenin kavrayışını, hem doğal fenomenleri açıklamak için, tartışılan olgunun farklı bir şeyin etkisiyle katlanmakta, katlama eylemi vasıtasıyla iki farklı şeyin biraraya gelip ilişkilenmekte veya bir şeyin katlanma sonucunda farklı bir şeye dönüşmekte olduğunu tartışmıştır. Katlamak, birbiriyle ilişkisi olmayan ayırık parçaları biraraya getirerek farklılıkları ilişkilendirmeyi ve kaynaştırmayı sağlaması ile sürekliliğe sahip karışımları ortaya çıkaran bir model olarak alınmıştır. Diğer yandan bir niteliğin, anlamın, durumun

keskin ve beklenmedik bir şekilde başka bir duruma dönüşümünü açıklayan bir model de olmuştur.

De Landa (2002)'ye göre Deleuze'ün felsefesinde nesnelere kimliğini veren şey dinamik süreçlerdir. Olgulara arkasında yatan dinamik süreçler üzerinden bakan De Landa (2011)'e göre topoloji, nesnenin olasılık uzayının strüktürünü tarif etmeye imkan verir.

Bir nesnenin aktüel özellikleri o anda somutlaşmış olarak dünyada var iken nesnenin eğilimleri ve kapasiteleri nesnenin gerçekliğini oluştursa da, o anda fiziksel dünyada varlık göstermezler. Örneğin bir su kütlesi, hacmi, ısısı, akış hızı gibi aktüel özelliklerine göre tanımlanabilirken bu saptama suyun gerçekliğinin tamamını kapsamaz. Suyun gerçekliğinin bir parçası da onun farklı ısıda buhar ve donmuş halde olmasıdır. Bu durumda su donma ve buharlaşma eğilimine sahiptir. Suyun gerçekliğinin bir diğer parçası ise suyun farklı maddeleri etkileme kapasitesidir. Suyun kapasitesi başka maddelerle etkileşime girdiğinde ortaya çıkar. Belirli müdahalelerle suyun eğilim ve kapasitelerini ortaya çıkarmak ile epistemoloji pasif gözlemcilikten özgürleşmiş olur. Bir nesnenin gerçekliğini o nesnenin aktüel olmayan eğilimleri ve kapasitelerini içerecek şekilde anlamak, nesnenin olasılık uzayının strüktürünü tarif etmeye imkan verir. Bir nesne veya olgunun olasılıklar uzayının strüktürünü tarif etmek için bu uzamlar hakkında soyut geometriye başvurmaya ihtiyaç duyarız. Başvurulan geometri topolojidir. Topoloji, bir sistemin olası oluşumlarının strüktürü hakkında görsel veya geometrik olarak düşünmeyi sağlar (De Landa, 2002: 1-3).

Bu anlamda dijital ortamda tasarlanan ilişkisel modeller de, tasarlanan nesnenin olasılık uzayının strüktürleri olarak nitelendirilebilir. Deleuze'ün katlama modeli, mimarlık alanında ilk defa Peter Eisenman tarafından tartışılmıştır. Adams'ın 'Eisenman-Deleuze Katlaması' başlıklı tezi (1994) Deleuze'ün katlaması ile Eisenman'ın mimarlık kuramına bakışını bir arada tartışan çalışmalardandır. "Vision Unfolding" yazısında Peter Eisenman (1992), yapı bozumu ve parçalanma fikrine karşı bir tepki olarak, 'katlama'yı mimarlıkta yeni bir mekan kavrayışı olarak tartışmaktadır. 1990'ların başında, dönemin baskın mimarlık kuramı fiziksel ve kültürel bağlamların heterojen ve karmaşık yapısını 'karşıtlıklar ve zıtlıklar' üzerinden tarif etme eğilimindedir. Eisenman bu eğilime alternatif bir yaklaşım olarak, "mimarlığın

heterojen çokluğunu, farklı bileşenleri arasındaki karşıtlıklar üzerinden okumak yerine ‘farklı bileşenlerin birbiriyle ilişkileri’ üzerinden kavramak için ‘katlamayı’ mimarlık bağlamında önermiştir” (Di Cristina, 2001). Bir başka deyişle, Eisenman ”farklılıklar arasındaki ilişkileri ve süreklilikleri bulma ve yaratma edimi”ni, tasarımda bir strateji olarak önermiştir. Bu öneri, tipolojinin bitmiş bir sürecin sonucundakileri sınıflandırmak için değil bir sürecin gelişimini güden bir araç olarak kullanmasını temel almıştır. Çeşitli materyal ifade tiplerini üreten kural tabanlı süreçlerin geliştirilmesi için farklı tipler baz alınmıştır. Farklı tiplerin esneklik aralıkları ve dönüşüm olanakları bağlamında yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir. Reiser (2006) bu yaklaşımı, düzlemsel ve silindirik geometri tiplerini temel alan bir köprü tasarımı çalışmasıyla örneklemiştir (Şekil 2.13).

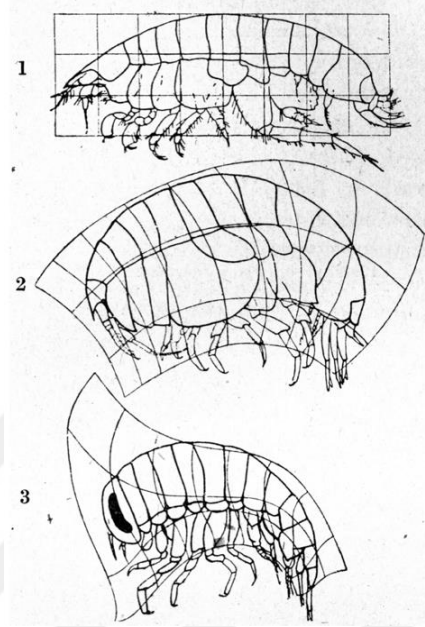


Şekil 2.13: Düzlemsel ve silindir geometri tipleri arasında dönüşüm olanaklarını değerlendiren bir köprü tasarımı (Reiser, 2006).

Topolojik geometri, morfolojik düşünce, morfogenesis, katastrof kuramı, sürekli ve heterojen bir strüktüre sahip formların çevresel etkiler ile dönüşümler ve farklılaşmalar geçirmesini konu aldığı için katlama kuramının referansları olmuştur.

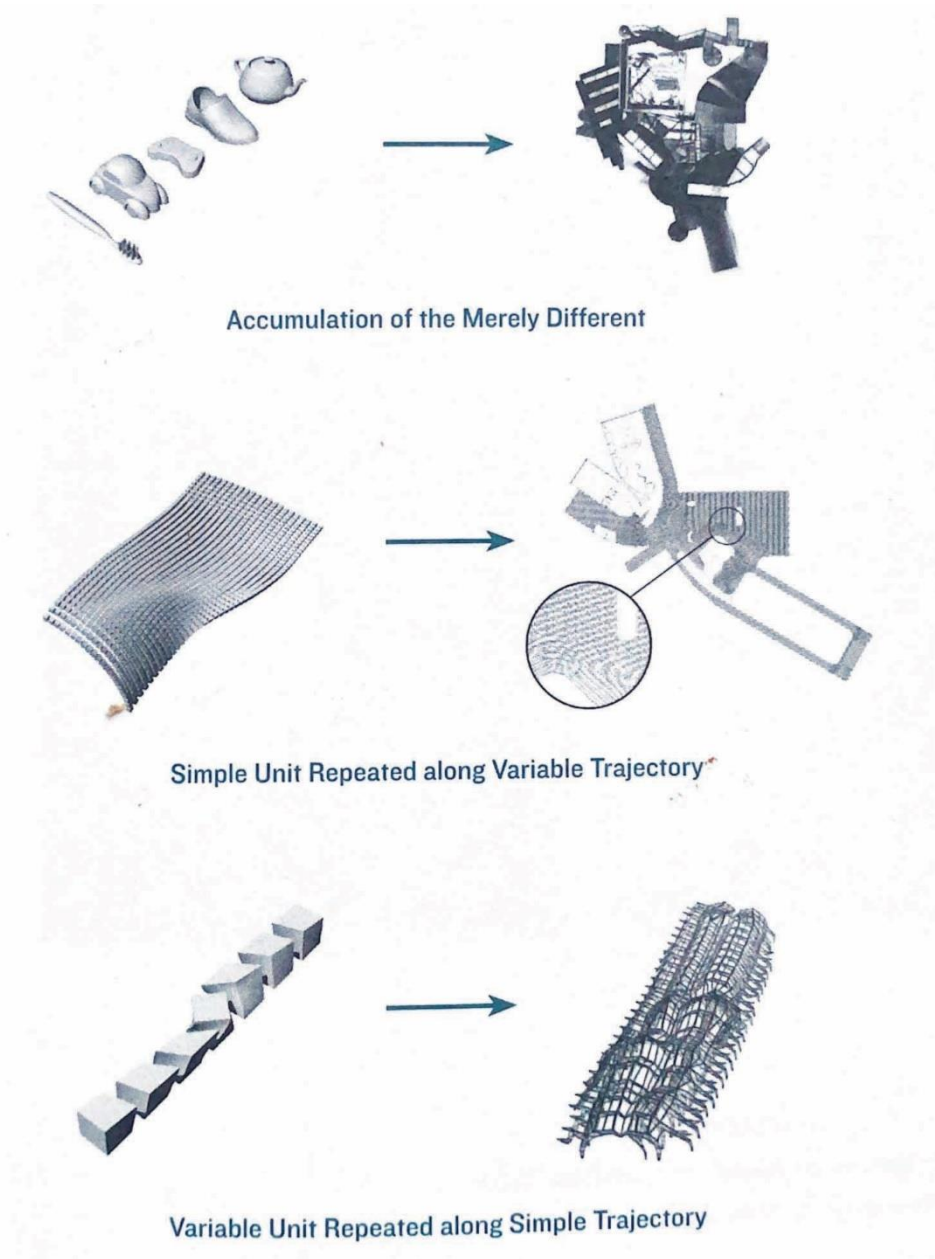
Örneğin katlamanın karakteristik özelliğini görsel olarak manifesto eden çalışmalardan biri morfolog D’Arcy Thompson’un geliştirdiği geometrik grid sistemidir. Thompson’ın 1917 yılında yayınladığı ‘On Growth and Form’ kitabında

yer alan grid sistemleri, çevresel kuvvetlerin canlı formlarının gelişimi ve farklılaşması üzerindeki etkisini anlamak için bir zemin yaratmıştır. Geliştirdiği grid sistem ile canlıların geometrisindeki farklılaşmaların hesaplanabilir bir tarifini ortaya koyması, dış etkiler ile formun evrimleşmesi arasındaki sürekli bağın okunmasını da sağlamıştır. Türlerin katlanmasını görsel olarak ifade etmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: İstakoz türünün, suyun derinliği ve karanlığıyla ilişkili olarak gözünün genişlemesi (Thompson, 1917).

Thompson'ın grid sisteminde olduğu gibi, “katlamak, bir ürün değil üretmekle ilgili bir süreç” olarak kabul edilmiştir (Eisenman, 1993). Mimarlık eleştirmeni Jeff Knipsis (1993)'e göre, heterojen yapıların üretilmesi için çok sık kullanılıp tüketilmiş olan ‘kolaj/montaj’ tekniğinin yerine ‘katlamak’ alternatif bir yapma biçimi olmuştur. Jesse Reiser (2006) ‘Atlas of Novel Tectonics’ kitabında (2006) kolaja alternatif iki yapma biçimini Şekil 3.6’te görüldüğü gibi tariflemiştir. Kolaj mimarlığını betimleyen görselin altına yerleştirdiği birinci durum, bir birimin değişken bir yörünge üzerinde tekrarlaması; ikinci durum değişken bir birimin basit tekrarlarıdır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Yukarıdan aşağıya sırayla kolaj mimarlığı, tuğla dizme örüntüsü, kesiti çeşitlenen tonozun değişken yapı elemanları ile inşaatı örneklerini karşılaştırarak kolaj yaklaşımına alternatif olarak katlama yapma yaklaşımına dair iki durumun örneklendirilmesi (Reiser, 2006).

Peter Eisenman'ın 1990 yılında katlamayı mimarlıkta tartışmasını takiben; John Rajchman'ın 1991 yılındaki 'Perplications' yayını, Greg Lynn'ın 1993 yılında derlediği 'Folding in Architecture' ve Charles Jencks'in 1995 yılında kaleme aldığı 'The Architecture of the Jumping Universe', Gilles Deleuze'ün 1988 yılında yazdığı 'The Fold, Leibniz, and the Baroque' kitabındaki kuramsal kavrayışı mimarlık bağlamında tartışmaya açan öncül çalışmalar olmuştur. Bu çalışmalara göre 'düşünsel

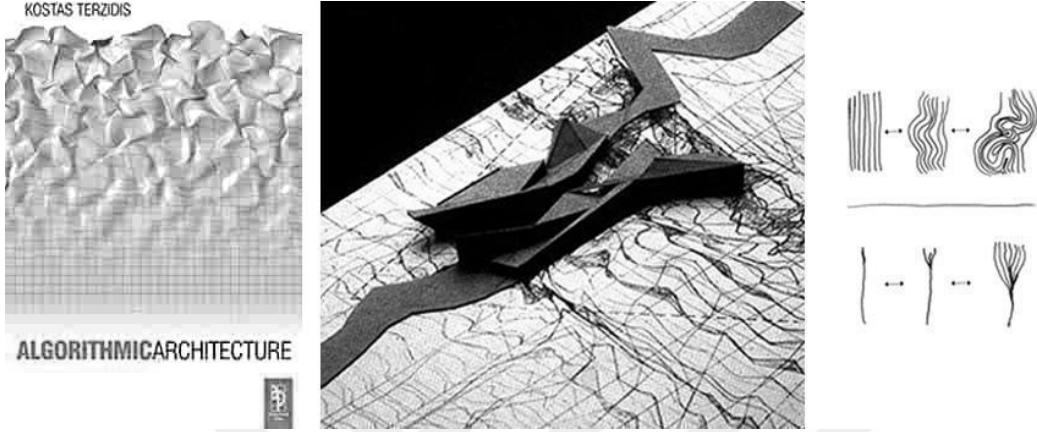
bir operasyon' olarak 'katlamak', farklı bileşenleri ve farklılıkları ilişkilendirip bir araya getirmektedir. "Katlamak, farklı veya zıt nitelikleri biraraya getirerek çoğulluğu sağlayan bir tekniktir" (Jencks, 2005:).

Peter Eisenman'e göre (1992) 'katlamak', figür-zemin, iç-dış, yatay-dikey ikiliğine karşı çıkan ve ikisinin arasındaki 'ilişkiyi, sürekliliği, bütünlüğü, etkileşimi' sağlayan bir taktiktir. Katlamanın odağındaki ilişki kurma ve ilişkilendirme fikri, farklı parçalar arasında kurulan etkileşimin 'dinamik, aktif, açık' olduğunu da işaret etmektedir. Bu nedenle de katlamak, tekil bir nesneyi/oluşu değil bir nesnenin/oluşumun farklı halleri arasındaki sürekliliği sağlayan kurallar üzerinden yeni bir nesne kategorisi ortaya koymaktadır.

Kişisel bilgisayarlar kullanımının ve modelleme yazılımlarının yaygınlaştığı 1990'ların başlarında, 'katlamak' aynı zamanda matematiksel süreklilik kuramına dönüşmüştür. 2003 yılında 'Mimarlıkta Katlama'nın yeni basım kopyasının giriş yazısını kaleme alan Mario Carpo (2003) katlama kuramının, gelişmekte olan yeni dijital teknolojiler ile mimarlıkta ete kemiğe büründüğünü ifade etmektedir. Güncel mimarlıktaki dijital dönüş, mekanik çağın egemenliğine karşı olarak farklılaşma, varyasyon, kişiselleşme, bireysel tercih üzerine yapılan tartışmaların da bir devamıdır. 1970'lerde kitlesel mekanik üretime bir alternatif yok iken, 1990'larda dijital teknolojiler standartlaşmaya karşı teknolojik alternatifler sunmaya başlamıştır. Başka bir deyişle, dijitalleşme bazı kültürel ihtiyaçlara ve modernitenin beklentilerine karşı teknik bir çözüm sunmuş; varyasyona olan talebi karşılamıştır.

Bu çözümü sunabilmek için, bilgisayar teknolojileri, farklılıklar arasındaki sürekliliklerin matematiksel fonksiyonlar ile hesaplanması için kullanılmıştır. Böylece, tek statik bir nesne yerine dinamik bir nesnenin topolojik strüktürünü tarif edecek kalkülüs tabanlı fonksiyonlar, mimarların da kullandığı yazılımların araç takımlarını oluşturmaya başlamıştır (Şekil 2.16). Betik dilleri, nesne yönelimli programlama, parametrik modelleme, ilişkisel modelleme araçları bugün tasarım süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeni dijital yazılım araçları, hem mimari yapıyı hem de yapının içinde bulunduğu çevreyi dinamik olarak ve birbiriyle etkileşimli bir bütün olarak tarif etmeyi olanaklı hale getirmiştir. Dijital model, farklı bileşenlerin sürekliliğe sahip pürüzsüz bir kompozisyon içinde bir araya gelmesi ile sonsuza kadar katlanabilir açık bir yapıya sahip olmuştur. Burada farklı bileşenler ile

kastedilen, sadece formel değil, mimarlığın görsel, programatik, teknik, çevresel, kültürel, politik, sembolik bileşenleridir. Günümüzde tasarımcıların dijital ortamda geliştirdiği çalışmalarda ise, bahsedilen ‘tasarım bileşenlerin ne kadarının bir parametre olarak dijital modelin strüktürel kurgusunu bilgilendirdiği’ ve ‘tasarım modellerinin ne kadar esnek olduğu’ (Davis, 2013) ise tartışmaya açık bir konudur.



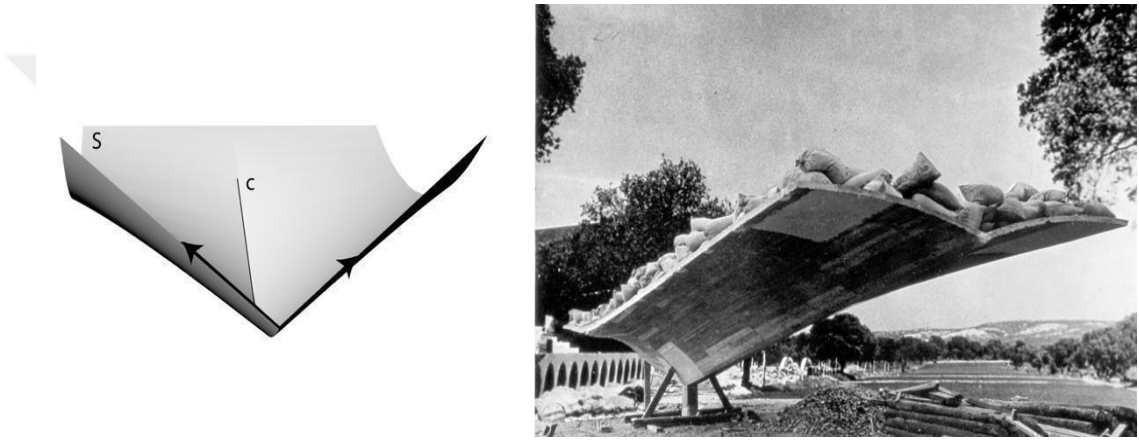
Şekil 2.16:. Dijital teknolojiler ve katlama kuramı (Terzidis, 2006; Eisenman, 1992; Brüggeman vd., 2020).

Deleuze’ün maddeyi sabit bir olgu olarak değil onu etkileyen kuvvetler olarak kavramsallaştırması (notion of matter as forces), bugün tasarımcıların bilgisayar ortamında parametrik ve ilişkisel modelleme araçlarıyla tasarım nesnesinin statik bir geometrisini değil o geometriyi dinamik bir strüktür olarak tarif eden kodu oluşturuyor olması ile ete kemiğe bürünmektedir. Bu yapma biçimi, ilişkiler üzerine ilişkiler inşa ederek ilerlediği için tüm model hiyerarşik ilişkilerden oluşan bir strüktüre sahip olmaktadır. Kurulan ilişkiler deneysel form bulma çalışmaları olduğu gibi formun arkasında yatan mantığa dayalı olarak da tarif edilebilmektedir. Örneğin ışığın mekana ne miktarda alınacağı ile modelin geometrik strüktürü ilişkilendirildiği takdirde performatif modeller olarak isimlendirilmektedir. Bu modeller genellikle sınırlı sayıda performans parametresi ile ilişkilendirilmektedir. Tasarım süreci ise çok miktarda ve çeşitlilikte bilgi ile ilişkilendirilmektedir. Tasarlama sürecinin kendisi Deleuze’ün katlama kuramındaki gibi sonsuz kıvrımların olduğu hiyerarşik olmayan değişken ve dinamik bir süreçtir.

Katlamak fiziksel nesnenin inşasına ilişkin bir eylem ya da biçimlendirme stratejisi olarak ele alındığında, 1900’lerin başında yaygınlaşmaya başlayan betonarme malzemenin sınırlarını genişletip malzemenin daha uzun açıklıklar geçmesini sağlayan bir strateji olduğu söylenebilir. Elbette burada betonarme malzeme gerçek anlamda

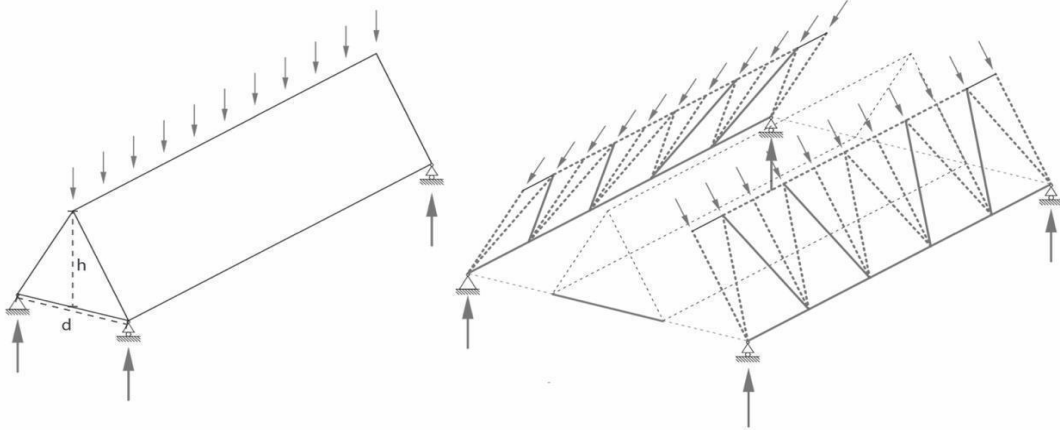
kâğıt gibi katlanmamaktadır. Farklı yönelime sahip beton plakların yan yana, uç uca getirilmesi ve/veya üzerine beton dökülmesi sonucunda ortaya çıkan formun katlanmış gibi görünmesi, onun bu şekilde isimlendirilmesinin sebebidir (Siegel, 1961; Salvadori, 1980; Moussavi, 2009; Engelsman, 2017).

Burada katlanmış form ile kastedilenin anlaşılması için onun geometrik açıdan bir tarifini yapmak gerekmektedir. Geometrik açıdan *katlamak*, düzlemsel bir yüzeyin (S), üzerinde yer alan bir eğri boyunca (c) yön değiştirmesidir (Şekil 2.17). Bir başka deyişle *katlamak*, yüzeye teğet olan düzlemde gerçekleşen ani ve keskin bir değişimi tarif etmektedir.



Şekil 2.17: Yüzeyin (s) üzerinde yer alan eğri (c) boyunca yön değiştirmesi ile katlamanın oluşumu & Eduardo Torroja'nın katlanmış yüzey örneği: Zarzuela Hipodromu tribününün çatısı üzerinde uyguladığı yük testi, Madrid, 1935 (Torroja, 1962).

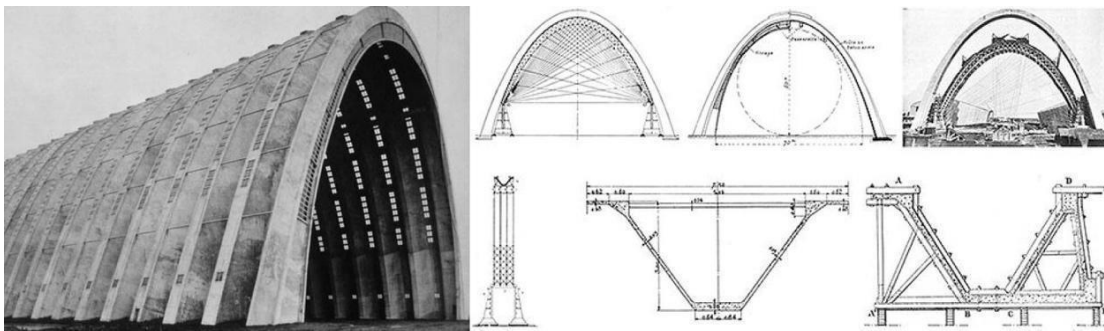
Katlamanın 1900 yıllarından itibaren betonarme strüktürlerin şekillenmesinde bir strateji olmasının sebebi, katlamanın, mevcut yüzeye veya levhaya giriş gibi bir strüktürel davranış yükleyerek yüzeyin dayanımını arttırmasıdır. Strüktürel yükseklik veya faydalı yükseklik olarak isimlendirilen, yüksekliğin (h) derinliğine (d) oranı, katlanmış yüzeyin giriş veya yüzey davranışı göstermesini ve dayanım kazanmasını sağlamaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Kuvvetlerin, katlama çizgisi boyunca yüzeye dağılımı ve yüzeyin kiriş gibi strüktürel davranış kazanması (Schwartz, 2014).

Bir diğer deyişle, katlanmış formun geometrik konfigürasyonu, yüzeyin dayanım kazanıp daha uzun açıklıklar geçmesini sağlamaktadır.

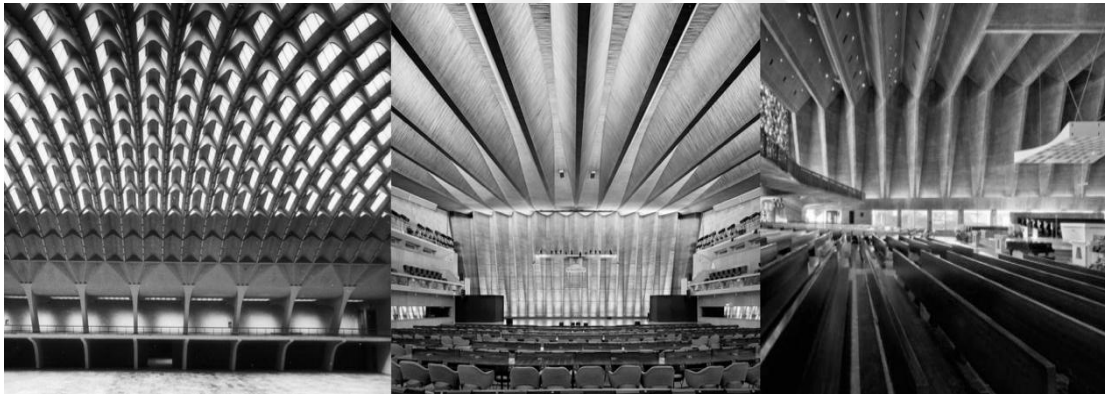
İşte bu geometri ve şekillendirilebilir betonarme malzeme arasındaki karşılıklı ilişki, 20. yy'ın başında katlanmış strüktürlerin nasıl ortaya çıktığını anlaşılır kılmaktadır. Ortaya çıkma nedeni ise Dünya Savaşları ve fabrikaların yaygınlaşması ile uzun açıklık geçen strüktürlere olan acil ihtiyaç, bu strüktürler için hafiflik, hızlı yapım gibi verim arayışı, ve aynı dönem betonarmenin modern inşaat malzemesi olarak gelişmiş düzeyde anlaşılmaya başlamasıdır. Dönemin bu üç kritik durumuna karşı bir çözüm olarak geliştirilen katlamak da 1900'lerin başında mimarlık ve mühendislikte ortaya çıkan yeni olasılıklardan biridir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19: Orly Havaalanı içinde yer alan hangarın fotoğrafı ve inşaat sürecine ait diyagramlar (Freyssinet, 1923).

Aroni'nin (1964) *Katlanmış Strüktürler* yayınına göre 1914'de Hollanda'da inşaa edilen su tanklarının altıgen biçimli çatı örtüsü ve sonrasında 1924'de Almanya'da inşaa edilen kömür depoları, katlanmış strüktürlerin küçük ölçekli ilk örnekleridir.

Katlanmış strüktürlerin strüktürel davranışlarıyla ilgili ilk bilimsel yayın 1930 yılından Ehler tarafından yapılmıştır (Wilby, 1998). 1920'lerin başından itibaren katlamak yüksek dayanımı sağlayan strüktürel bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Espion vd., 2003). 1923 yılında Fransız mühendis Eugene Freyssinet tarafından, Villeneuve-Orly Havalimanındaki zeplin hangarları için, ilk defa beton ile 70 metre uzunluğunda bir açıklık geçmek için katlama yöntemi kullanılmıştır (Fuzier, 2007) (Şekil 23). İnşaat maliyetini düşürmek için Freyssinet tarafından ilk defa kayar kalıp kullanılarak katlanan modüller tekrarlanarak üretilmiştir (Candela, 2008). Freyssinet'in geliştirdiği sistem ile ortaya çıkan tekrar eden katlama örüntüleri, fabrikalar, konferans salonları, pazar alanları gibi geniş açıklık geçen örtülerin tasarımı ve üretiminde çok defa kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Pier Luigi Nervi'nin 1948 yılında Turin'de tamamladığı sergi salonu, Marcel Breuer ve Pier Zehrfuss'un Paris'te 1953 yılında inşaa ettiği UNESCO Konferans Merkezi, yine Marcel Breuer'in 1961 yılında Minnesota'da tasarladığı Saint John Abbey Kilisesidir (Şekil 2.20).



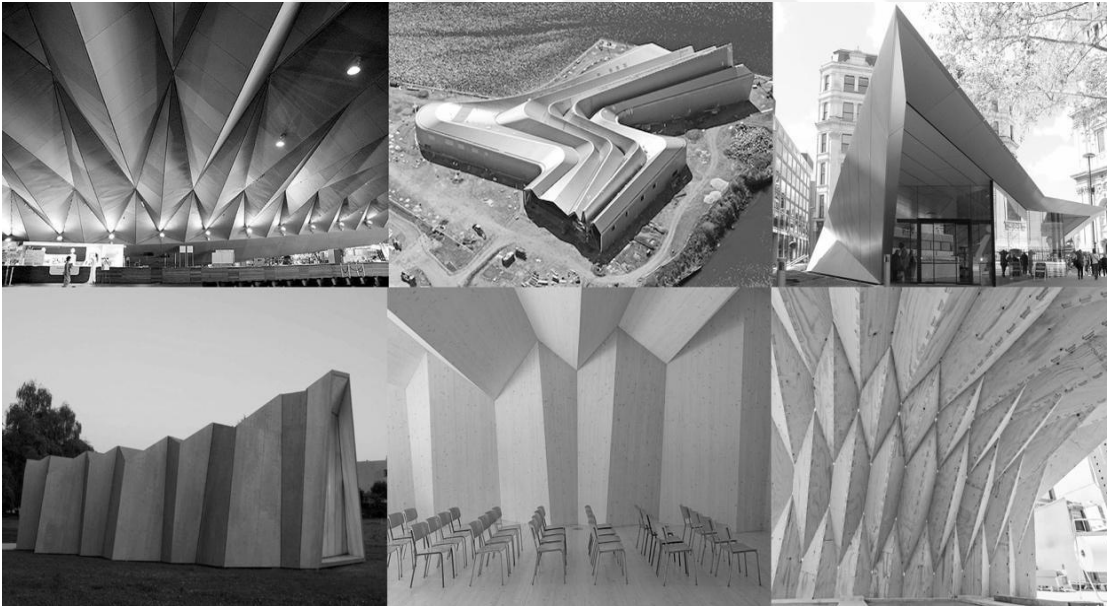
Şekil 2.20: Pier Luigi Nervi: Sergi Salonu, Turin, 1948; Marcel Breuer, Pier Zehrfuss & Pier Luigi Nervi: UNESCO Konferans Merkezi, Paris, 1953; Marcel Breuer: Saint John the Baptist Kilisesi, Minnesota, 1961 (Pellegrini, 2011; Cobbers, 2007; URL-4).

1970'lerde ise katlanmış yüzeyler ağır işçiliğin getirdiği maliyet nedeniyle azalmıştır (Schlaich, 2008). Bu zamana kadar yapılan çalışmalara baktığımızda katlamak bir mimari mekan oluşturmak için değil, geniş ve tek fonksiyonlu bir mekanı örten yüzeyin kuvvetlendirmesi için bir strateji olarak kullanılmıştır. Çok az sayıda örnek ise katlamayı mekan üretimi için de bir strateji olarak kullanmıştır. Bu örnekler, Felix Candela'nın 1955'de Meksika'da inşaa ettiği kilise, Sancho-Madrirdejos Mimari Ofisi'nin 2001 yılında Valleaceron'da tamamladığı küçük şapelidir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21: Felix Candela: Miraculous Virgin Kilisesi, Meksika, 1955; Sancho-Madradejos Mimarlık: Şapel, Valleaceron, 2001 (Garlock and Billington, 2008; URL-5).

Bugün dijital teknolojilerin mimarlıkta kullanımının artmasıyla, mimarlar katlamaya yeniden ilgi göstermeye başlamıştır. Dijital teknolojilerin katlanan geometrilerin tasarımı ve hesaplanması için sağladığı ileri kontrolün geçmiş üretilere göre daha karmaşık katlanan formların dijital ortamda hızlı bir şekilde keşfedilmesini ve yeni malzemeler kullanarak kitlesel özelleştirilmiş üretim teknolojileri ile inşaa edilmesini mümkün kıldığı görülmektedir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: Foreign Office Architects: Yolcu Terminali, Yokohama, 1995; Zaha Hadid Architects: Riverside Müzesi, Glasgow, 2011; Make Architects: Bilgi Merkezi, London, 2007; LocalArchitecture: St. Loup, Pomaples, 2008; Christopher Robeller: Ahşap geçmeli katlanmış plaklar, 2015 (URL-6; URL-7; URL-8; URL-9; Robeller and Weinand, 2015).

Dijital ortamda modellenen eğrisel kabuk yüzeyler, üretilebilmesi için düzlemsel levhalar olarak alt parçalara ayrıldığı zaman (örneğin üçgen panellerden oluşturulması) doğrudan katlanmış görünümlü kabuk sistemler oluşturmaktadırlar.

Ancak eğrisel kabuk yüzey, üçgen geometrisinden farklı bir çokgen geometriye sahip panellere bölündüğü takdirde eğrisel yüzeyi oluşturan panellerin düzlemsel olmaması da üretim sorunlarını beraberinde getirmiştir. Bu nedenle eğrisel formların üretimleri konusunda da katlanmış yüzeylerin geometrisi ve strüktürler dayanımı konusunda çalışmalar önem kazanmıştır. Bu konuda yapılan son çalışmalardan birisi ahşap levhardan oluşturulan katlanmış forma sahip hafif strüktür örneğidir. Minimum malzemeye maksimum taşıyıcılık sağlamadığı için yeşil ürün ödülü almıştır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: ITECH Stuttgart Üniversitesi: TimbRFold, 2021 (Basnak, 2020).

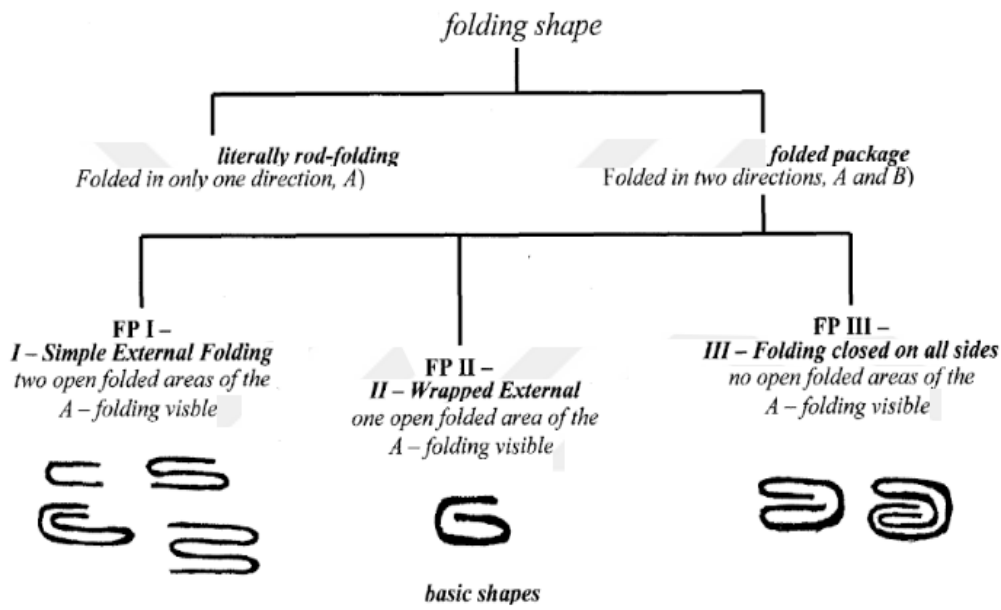
Yukarıda bahsedildiği gibi 20. ve 21. yüzyılda, mimarlıkta yüzeyin strüktürel dayanımını arttırmak ve bunu yaparken estetik açıdan yüzeyde bir süsleme örüntüsü yaratmak amacıyla katlanmış gibi görünen sürekliliğe sahip yüzeylerin üretimi katlamak olarak anlandırılmıştır.

Fiziksel bir eylem olarak katlamak, düzlemsel malzemenin bir bölümünü (S.1) onu diğer bölümünden ayıran aks boyunca (c) malzemenin diğer bölümü (S.2) üzerine doğru döndürmektir (Şekil 2.24). Bu basit malzeme operasyonu, mevcut olan malzemelerin ve ihtiyaçların değişimiyle birlikte gelişmiş ve karmaşıklaşmış; farklı mecralarda kullanım alanı bulmuş; tarih boyunca iki boyutlu düzlemsel malzemeleri dönüştürmek için kullanılan en temel eylemlerden biri olagelmıştır.



Şekil 2.24: Fiziksel bir eylem olarak katlamak.

Katlamanın tarihinin, kumaş, deri, papirüs gibi düzlemsel malzemelerin geçmişine dayandığı söylenebilir. Papirüs bitkisinden elde edilen düzlemsel malzemeleri restore eden Krutzsch (2016) M.Ö. 4000'lerden itibaren Antik Mısır'da kullanılan papirüs yüzeylerinin, üzerinde yazan metnin içeriğiyle ilişkili olarak farklı formlarda katlandığını keşfetmiştir (Şekil 2.25). Antik Mısırda, ticari senetler, mektuplar, dini metinler ve büyülerin paketlenmesi için farklı katlama formları icra edilmiştir. Antik Mısır'dan günümüze kadar katlamak, bir yandan düzlemsel malzemeleri daha az yer kaplayacak forma getirmek, diğer yandan katlanan şeyin içeriğini tarif etmek için bir araç olmuştur.



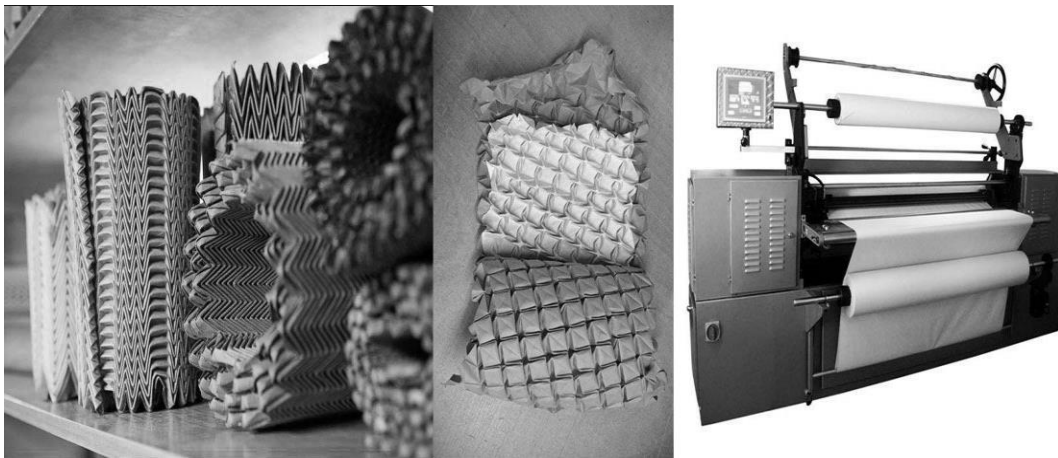
Şekil 2.25: Papirüsün katlanma biçimlerini tarif eden kesit diagramları (Krutzsch, 2006).

Katlamanın Antik Mısır ve Antik Yunan dönemlerinden itibaren icra edildiği bir diğer mecra ise keten giysi tasarımlarıdır (Barber, 2004). Keten kumaşın düzenli aralıklarla ard arda birbiri üzerine getirilip preslenmesi ile kumaşın serbest bırakıldıktan sonra üzerine işleyen katlama izleri ile üç boyutta bir örüntü kazanmasını sağlamıştır. Kumaşa bolluk ve rahatlık vermek ya da süslemek amacıyla kullanılan pilise isimli bu teknik, geçmişten günümüze kadar birçok giysi tasarımcısı tarafından kullanılmıştır (Şekil 2.26).



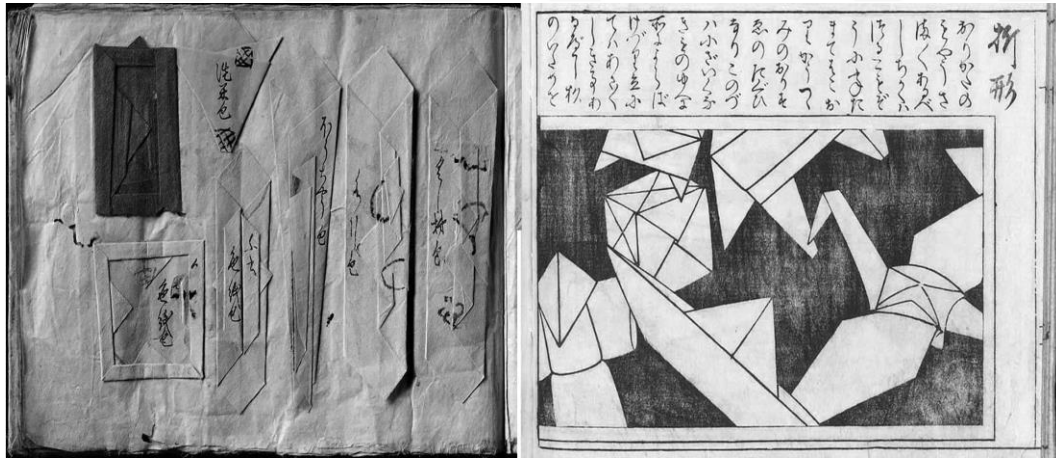
Şekil 2.26: MÖ 3000’li yıllara tarihlenen Tarkhan kostümü, UCL Petrie Müzesi, Londra; MÖ 1300’lü yıllara tarihlenen Plise kıyafetli Nefertiti Heykeli, Louvre Müzesi, Paris; 1900’lerin başında Maria Fortuny’nin patentli pilise tekniği ile ürettiği Delphos elbise tasarımı, fotoğraf: Harlingue ve Roger-Viollet; 1900’lerin sonunda Plise elbise, Issey Miyake, fotoğraf: Irving Penn (URL-10; URL-11; URL-12; Kitamura, 1999).

20. Yüzyıl sonunda moda tasarımcısı Mariano Fortuny’nin Delphi Heykeli’nden esinlenerek geliştirdiği pilise yapma yöntemi, 21. Yüzyılda Issey Miyake tarafından seyahatlerde büyük bir problem olan kırışıklıkları özel olarak tasarlanmış kalıcı pililere dönüştürerek ütü gerektirmeyen, bedene oturan ve kolayca katlanan elbiseler yaratmak için ileriletilmiş; pilise katlama biçimleri ve yapım teknikleri günümüze kadar çeşitlenmiş ve gelişmiştir (DeOsma, 1994; Kearney, 1992; Birsell, 2005). Kağıdın yaygınlaşması ile pilisoley tekniği geliştirilmiştir. Güneş pilise olarak da adlandırılan soley pilise, erkekli-dişili kraft kalıplar arasına kumaşın serilip kalıpla birlikte katlandıktan sonra buhar fırınında bekletilmesi ile kumaşta tekrar eden çok sayıda katlama izleri oluşturmayı sağlamıştır. 21. Yüzyılda yaygınlaşan bilgisayar kontrollü pilise makineleri ile kumaşın uzunluğu boyunca ard arda katlanması otomatize edilmiştir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: Kraft kağıdından pilise kalıpları, Atelier Gerard Lognon, Paris; Bilgisayar kontrollü pilise makinası, Tuna Pilise, İstanbul (Vautard, 2018; URL-13).

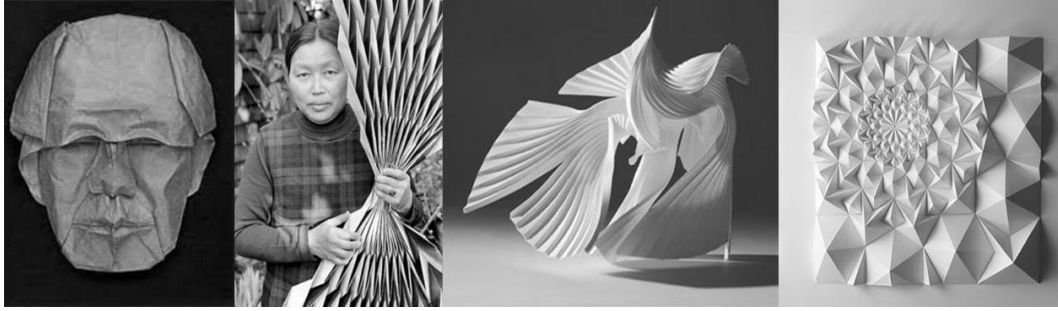
M.S. 1. yüzyıl Çin’de kağıdın bulunması, ancak aradan 12 yüzyıl geçtikten sonra kâğıt fabrikaların kurulmaya başlaması nedeniyle, yüzyıllar boyunca değerli ve pahalı bir malzeme olan kağıdın katlanması, seremonilerde sembolik ve artistik amaçlarla katı ve kısıtlı bir şekilde icra edilmiştir (Smith, 1972). Örneğin, Çin’de kâğıttan katlanmış sembolik objelerin cenazelerde yakılması; Japon düğün seremonilerinde sake şişelerinin kâğıttan katlanmış ‘ocho’ ve ‘mecho’ isimli erkek ve dişi kelebek çiftiyle dekore edilmesi dini ritüellerin bir parçası olmuştur (McArthur, 2010). Japonların bir yandan çok tanrılı çok sembollü bir kültüre sahip olmaları, diğer yandan da “Japonya’da daha uzun liflere sahip yüksek kaliteli kâğıt üretimi nedeniyle kağıdın yırtılmadan katlamaya daha elverişli olması” (McArthur, 2010), katlamanın bu coğrafyada daha hızlı yayılmasına neden olmuştur. Bu nedenle de bugün ‘origami’ olarak isimlendirilen kâğıt katlama sanatı ismini Japonca ‘oru’ (kâğıt) ve ‘kami’ (katlamak) kelimelerinin birleşiminden almıştır. Metropolitan Sanat Müzesi arşivi’ne göre ‘origami’ kâğıt katlama sanatı, ‘origata’ isimli Japon dekoratif kâğıt paketleme ritüellerinden evrilmiştir. Origami ve kâğıt katlama konusunda bilinen en eski kaynaklar 1700 yıllarında Japonca dilinde yayınlanmıştır (Şekil 2.28).



Şekil 2.28: Kâğıt paketlemeleri içeren albüm: Ogasawa Usta, 1697; Origami figürleri içeren pencere dekoru çizimleri: Ise Sadatake, Tsutsumi-no Ki, 1734 (URL-14; URL-15).

Yüzyıllarca çeşitli hayvan figürlerinin ve sembolik temsili formların kısıtlı sayıda adımlarla katı bir şekilde icra edildiği origami, ilk defa 20. Yüzyıl’da Akira Yoshizawa tarafından bir yaratıcı sanat tekniği olarak kabul edilmiş (Gould, 2008); kâğıt katlamak çağdaş sanatta bir yapma biçimi olarak benimsenmiştir (Şekil 2.29).

Yoshizawa'nın sadece çizgiler ve oklar kullanarak origamiyi tariflediği notasyon ise görsel bir dil olarak dünya çapında kabul edilmiştir.



Şekil 2.29: Maske: Yoshizawa; Katlanmış yüzey: Asawa; Danseden Kadın: Sweeney; Yüzey: Shlian (URL-16; URL-17; Sweeney, 2016; Shlian, 2021).

Kâğıt katlamanın, el ile göz koordinasyonunu sağlayan bir eylem olması onun eğitimi desteklemek için bir araç olmasını da gündeme getirmiştir. 1837 yılında anaokulu sistemini kuran pedagog Friedrich Froebel, çocuk eğitimini desteklemek için geliştirdiği, Şekil 2.30'da görülen oyuncak ve oyunlardan oluşan, anaokulu müfredatında kâğıt katlamaya yer vermiştir (Hatori, 2011: 7).



Şekil 2.30: Froebel'in eğitim kuramına dayanan anaokulu materyali olarak kâğıt katlama (Kachline, 1890).

Zihnin dokunsal, motor, görsel alanlarını aktive eden bir eylem olması nedeniyle katlamak, çocukların oyun oynarken aynı zamanda açılar, sayıları, aritmetik mantığı, parçalar arasındaki ilişkileri sezmesini teşvik eden ve motor becerilerini geliştiren bir öğretim aracı olarak kabul edilmiştir. Bir çok matematik öğretmeni, ilkokullarda soyut geometri bilgisini öğrencilere kâğıt katlayarak öğretmiştir (Gould, 2008). Moleküler

bilim alanından insanlarla birlikte çalışan origami sanatçısı Shlian'a göre (2016) katlamak, bilimsel prensipleri anlamak, aktarmak ve araştırmak için bir araç görevi görmüştür. Shlian'ın deyişiyle “bilim adamları, origami çalışmalarını görsel ve kuramsal olan arasında bir köprü” olarak tanımlamıştır. Bauhaus gibi bilim, sanat ve teknolojiyi biraraya getirme hedefi olan birçok tasarım okulunda öğrencilerin tasarım ve keşif amaçlı deneyimlediği en temel ortamlardan biri kâğıt olmuş; kâğıt katlamak öğrencilerin form ve malzeme arasındaki ilişkiyi düşünerek tasarım fikirlerini geliştirdiği ortam ve araçlardan olmuştur (Adler, 2004; Neumann, 1970) (Şekil 2.31).



Şekil 2.31: Albers ve Volkurs sınıfı (Wingler, 1978).

19. Yüzyıl'da kâğıt, plastik, metal türevi yeni düzlemsel malzemelerin gelişmesi, çeşitlenmesi ve maliyetinin düşmesi ile katlamak, endüstriyel üretimin farklı alanlarında malzemeyi işlemek için kullanılan temel tekniklerden biri olmuştur. Farklı katlama yolları, teknikleri ve desenleri, endüstriyel ve mühendislik ürünlerine çözümler sunmuştur. Katlamanın disiplinlerötesi bir araç ve ortam olması ile 'origamics' (Gönenç Sorguç vd., 2009); 'uygulamalı origami' (applied origami) (Tachi, 2012); 'kâğıt mühendisliği' (paper engineering) (Shlian, 2016) isimli yeni çalışma alanları oluşmuştur.

Katlamanın iki boyutlu düzlem ile üç boyutlu form arasında kurduğu hareketli mekanizma, açılarak damarları genişleten medikal stent, kanserli hücrelere aptamer taşıyıp bırakan nanorobot, katlanıp açılma hareketi ile yer değiştirip ilerleme sağlayan mikrorobot, cisimleri kavrama ve tutma işlevli robotik uç (Yang ve Holmes, 2021), giyilebilir batarya, katlanabilir telefon ekranı, atmosfer buharından su hasat eden stüktür, filtreleme kartuşu, hava yastığı, uzay teleskobu, ergonomik ayakkabı altlığı, yüksek yük kapasitesine sahip tekerlek gibi mikro, makro, nano ölçekte birçok ileri mühendislik uygulamasını mümkün hale getirmiştir (Şekil 2.32).



Şekil 2.32: Medikal stent: Kuribayashi vd.; Mikro-robot: Wyss Institute; Güneş teleskobu: Lang; Ayakkabı tabanı: Calisch ve Gershenfeld; Origami tekerlek: Lee, Kang vd. (Kuribayashi vd., 2006; URL-18; URL-19 Calisch ve Gershenfeld, 2018; Lee, Kang vd., 2016).

Endüstriyel tasarım alanında, oturma ve aydınlatma elemanından kayak tasarımına, hava ve su filtreleri, genişleyebilir çocuk giysisi ve katlanıp açılabilir seradan afet sonrası geçici barınaklara kadar çok sayıda paketlenabilir yenilikçi tasarım çözümü origami örüntüleri kullanarak geliştirilmiştir (Şekil 2.33).



Şekil 2.33: Katlanabilir kayak: Maarno; Katlanarak çantaya dönüşen kano: Oru Kayak; Sandalye: Flux; Çocuk ile birlikte büyüyeblen giysi: Petit Pli (URL-20; URL-21; URL-22; URL-23).

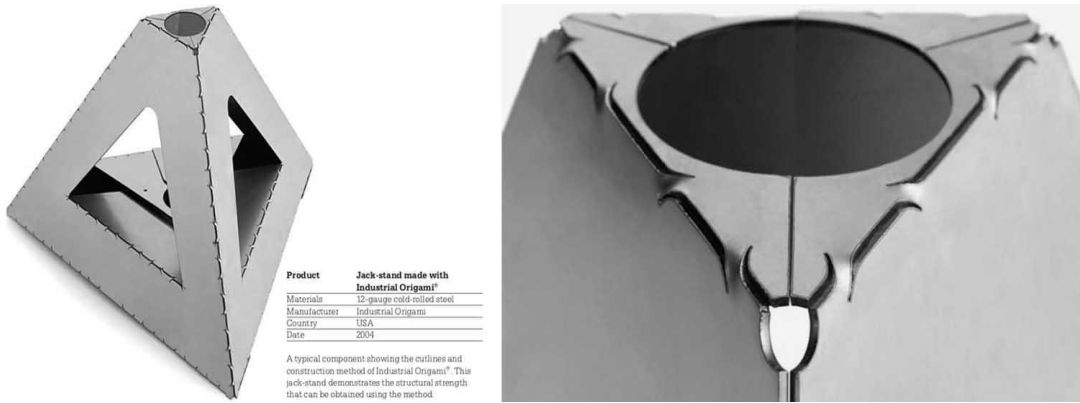
Alüminyum gibi kırılma direnci yüksek metal levhaların ortaya çıkışı ile katlamak otomotiv ve yapı gibi büyük ölçekli endüstrilerde de kullanılan temel tekniklerden biri olmuştur (Şekil 2.34). Katlamak, ince levhaların mukavemetini arttırdığı için daha az malzemeyle daha sağlam yapı elemanlarının üretimini sağlamıştır. Aynı zamanda katlamanın levhanın yüzey alanının arttırması, ısı ileten veya ışık alan yüzey alanının

da artması anlamına geldiği için, katlamak kalorifer petek tasarımları gibi uygulamaların tasarım ve üretiminde kullanılmıştır.



Şekil 2.34: Ramirez Vazquez’ın metal levha masası, Meksika; Normann’ın Mumluğu, Danimarka; Bentley, RCA öğrencisi Kyungeun ve Robofold’un geliştirdiği araba gövdesi; Çelik kiriş askısı bağlantı elemanı; Alüminyum trapez levha (URL-24; URL-25; URL-26; URL-27; URL-28).

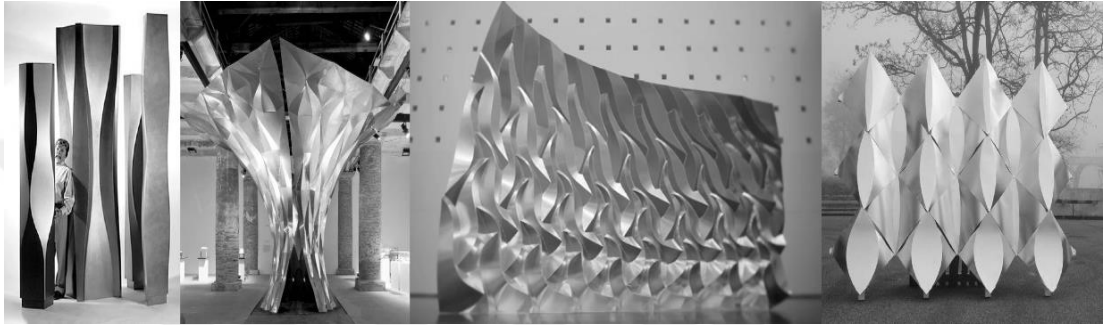
‘Endüstriyel origami’, Saint Martin Sanat ve Tasarım Kolejinde öğretim üyesi olan Chris Lefteri’ye göre (2007) bugün tasarım ürünlerinin üretimi için kullanılan temel tekniklerden biri olmuştur (Şekil 2.35). Lefteri (2007) metal levha üzerine kesikli çizgiler açarak levhayı katlamanın, diğer metal şekillendirme tekniklerine kıyasla daha az operasyon içerdiği için daha az zamanda, daha az kuvvet uygulayarak ve daha az maliyetle gerçekleştirilebildiğinden bahsetmiştir. Katlama tekniği, yüzeyler arasındaki bağlantı elemanını veya kaynak gibi bağlayıcı operasyonları ortadan kaldırması nedeniyle malzeme tüketimini düşüren; düzlemsel formda muhafaza edilebilmesi nedeniyle lojistik açıdan tasarruf sağlayan bir yol olarak kabul edilmiştir (Lefteri, 2007:62).



Şekil 2.35: Endüstriyel origami tekniği (Lefteri, 2007).

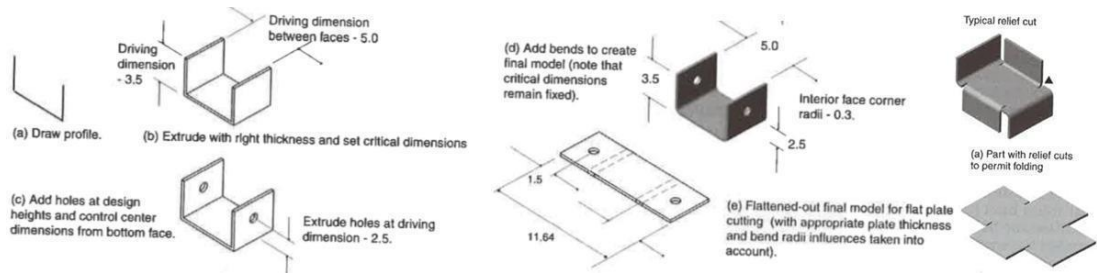
1954’de Fransız mühendis Jean Prouve ilk defa alüminyum kullanarak bir yapının taşıyıcı strüktürünü tamamen katlanmış metal levhalardan üretmiştir (Deplazes, 2005). Prouve, metal levhaları katlayarak strüktürel çerçeveyi ve örtüyü birarada çözmüştür (Leatherbarrow ve Mostafavi, 2002). Katlama operasyonlarının yapı endüstrisinde

genel olarak hafif metal levhalara strüktürel direnç kazandıran bir yöntem olarak kullanılması, dijital fabrikasyon teknolojilerinin ortaya çıkışı ile başka bir boyut kazanmıştır. 20. Yüzyıl sonlarında sayısal tasarım ve üretim teknolojilerin gelişmesi ile katlamak, strüktürel ve tasarımsal kaygıları biraraya getiren (mimari ve mühendislik düşüncesini tasarım süreci içinde bütünleştiren) bir tasarım ve üretim tekniği olarak kavranmaya başlamıştır (Şekil 2.36). Arup Mühendislik ve Mimarlık firmasının strüktürel katlama projesi bu çalışmaların bir örneğidir (<https://research.arup.com/projects/structural-folding-2/>).



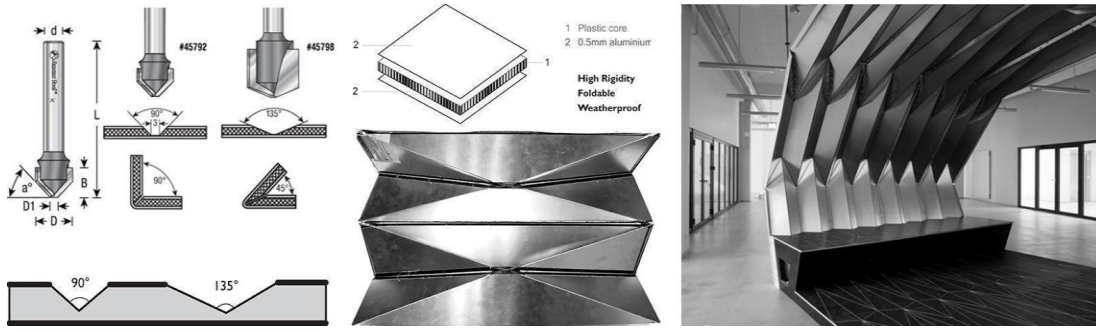
Şekil 2.36: Katlamanın metal yüzeylerin üretiminde dijital fabrikasyon tekniği olarak kullanıldığı örnekler (URL-29; URL-30; URL-31; URL-32).

Levhaların katlanırken et kalınlığı ve bükülme karakteristiğine göre nasıl form aldığını bükülme yarıçapını hesaba katarak modelleyen yazılımlar gelişmiştir (Şekil 2.37).



Şekil 2.37: Metal katlarken bükülme yarıçapının hesabı (Schodek vd., 2005)

Alucobond gibi alüminyum kompozit panel (ACM) kullanılarak üretilen levhaların, kontrollü bir şekilde katlanabilmesi için bilgisayar kontrolü ile hareket eden freze ucun metal levhada v-şeklinde oluk açarak eksiltme yapması üzerine yapılan çalışmalardan biri 2008 yılında Buri, Loveridge ve diğerleri tarafından İsviçre’de EPFL Üniversitesi’nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.38).



Şekil 2.38: Alucobond Pavilyon (Buri ve Loveridge, 2008)

Ancak metal levha katlamanın, mimari ve strüktürel düşünceyi entegre etmek için kullanımı göreceli olarak küçük ölçekli (pavilyon ölçeğinde) kendini taşıyan mimari üretimlerde görülmüştür. Örneğin mimar Marc Fornes'in sadece katlanmış alüminyum levhalar kullanarak ortalama 9 metre açıklık geçen Inflation ve Hyparbola çalışmaları, yüzey ve strüktürün birlikte tasarlandığı ve dolayısıyla, mimarlık ve mühendislik düşüncesinin bütünleşik olarak ele alındığı tasarımlar olmuştur (Şekil 2.39).



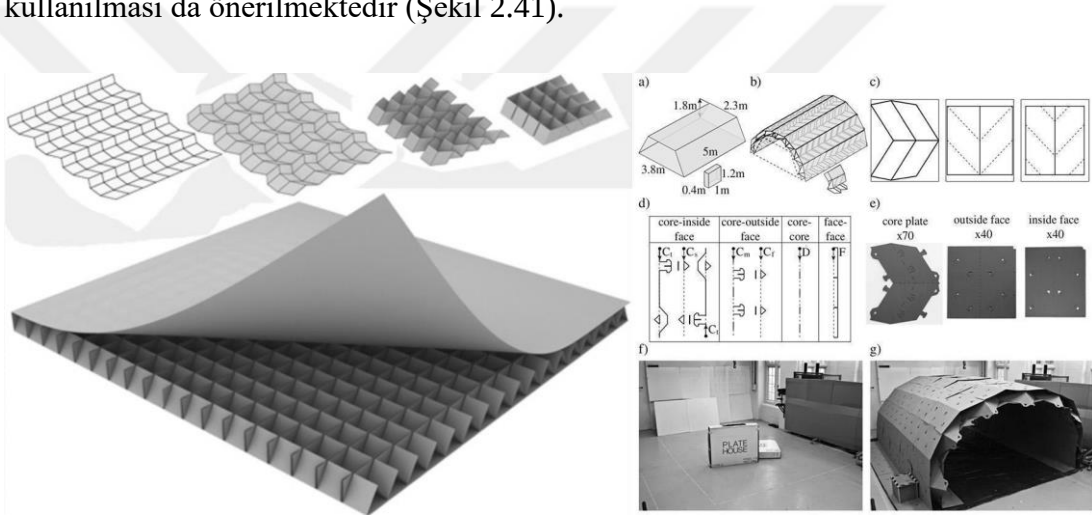
Şekil 2.39. Hafif katlanmış kabuk örnekleri: Pleated Inflation, Hyparbola, Chrysalis Tiyatrosu (URL-33).

Mimari formun ölçeği büyüdüğü zaman ise katlanabilir incelikteki malzeme yapının kendi kendini taşıması için yeterli olmamıştır. Chrysalis Tiyatrosu'nun geçtiği 36 metre açıklık ikincil bir çelik taşıyıcı sistemi gerektirmiştir. Dolayısıyla, çatı kaplamalarına uygulanan katlama, bu tasarımda salt estetik bir işleve indirgenmiştir (Şekil 2.40). Bu yapı için Arup tarafından çelik taşıyıcı sistem, Zahner tarafından taşıyıcı ve kaplamalar arasındaki bağlantıyı sağlayan profiller tasarlanmıştır.



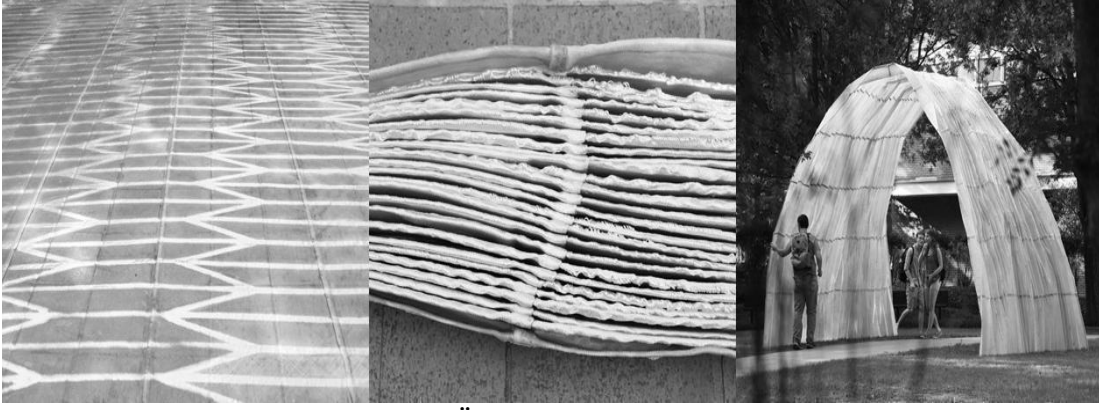
Şekil 2.40: Chrysalis Tiyatrosu'nu inşa süreci (URL-34).

Özetle, katlamanın yapı tasarımında yüzeyi güçlendirmek ve estetik olarak yüzeyde bir desen yaratmak amaçlı kullanıldığı yaygın olarak görülmektedir. Katlamak düzlemsel malzemeyi güçlendirdiği için sandviç panel malzemelerin üretiminde kullanılması da önerilmektedir (Şekil 2.41).



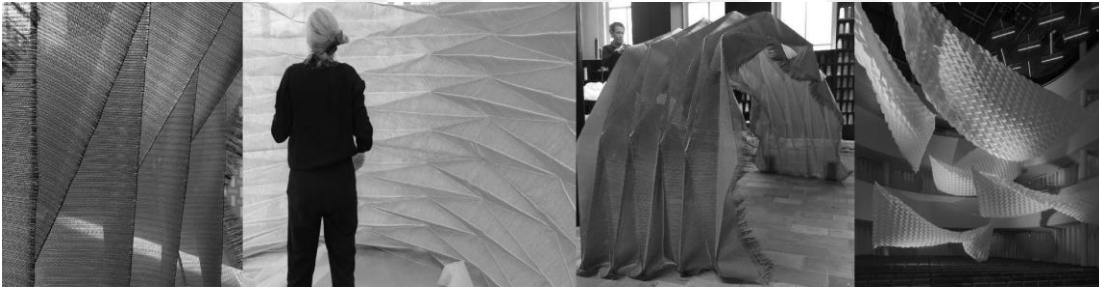
Şekil 2.41. Sandviç panel malzeme tasarımı (URL-35; Gattas ve You, 2016).

Aluminyum ve çeliğe göreceli olarak oldukça hafif ve dayanıklı olan grafen, borofen, cam veya karbon lifleriyle güçlendirilmiş polimer kompozitler gibi gelişmekte olan malzemeler ile birlikte katlamanın bugün mimarlar ve tasarımcılar tarafından hem mekan hem de strüktür oluşturu bir operasyon olarak denemelerine devam edilmektedir. 2017 yılında Clemson Üniversitesi Mimarlık Fakültesi tarafından cam elyaf ve reçine birleşimi kompozit yüzeyin katlanarak üretildiği Chakrasama açık hava pavilyonu bunun bir örneğidir (Şekil 2.42). Bu çalışmada, mimarlık fakültesi öğrencileri, cam elyaf kumaşı katlayabilir hale getirmek için yüzeyin kat çizgilerini bant ile koruduktan sonra reçine ile kaplamışlardır. Böylece reçine ile kaplanan bölgeler katılmış ve bantla korunarak reçineye temas etmeyen kumaş alanlar katlanabilmeye uygun özellikte bırakılmıştır.



Şekil 2.42: Chakrasana: Clemson Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, 2017 (URL-36).

Tekstil tasarımcısı Samira Boon ise dokuma tekniği aracılığıyla liflerin biraraya geliş ilişkilerini düzenleyerek malzemenin katlanabilmesi için özelliklerini değiştirmiştir. Böylece dokuma tekniği ile mekansal elemanlar olarak kullanılabilecek katlanan tekstil ürünleri üretmiştir (Şekil 2.43).



Şekil 2.43. Archifolds, Samira Boon, 2018 (URL-37).

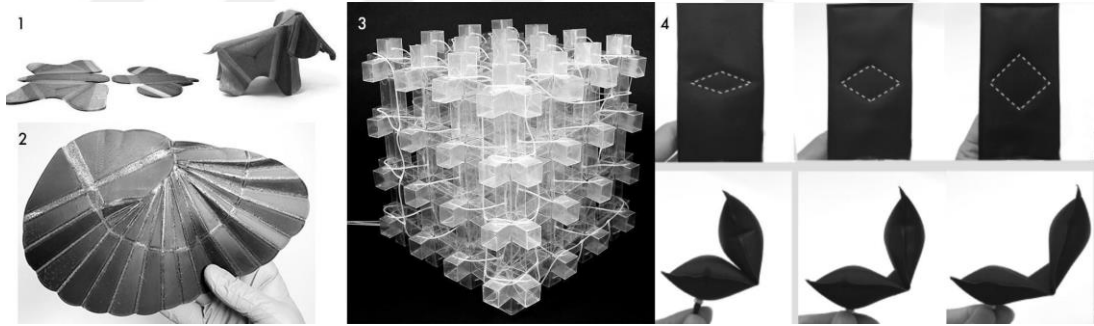
Benzer şekilde katlanabilir kompozit bir malzemeyi, Aachen Üniversite'nde van der Woerd (2016) çimento ile karbon ve cam tekstili bir arada kullanarak üretmiştir. Katlanabilen düzlemsel malzeme, geçici bir iskele kalıp üzerine yerleştirilerek hedeflenen formu aldıktan sonra, katlanabilir yüzey birleşimleri harç ile doldurularak örtü yüzeyi sabit ve son haline ulaşmıştır (Şekil 2.44).



Şekil 2.44. Oricrete, 2016 (Van der Woerd vd., 2016).

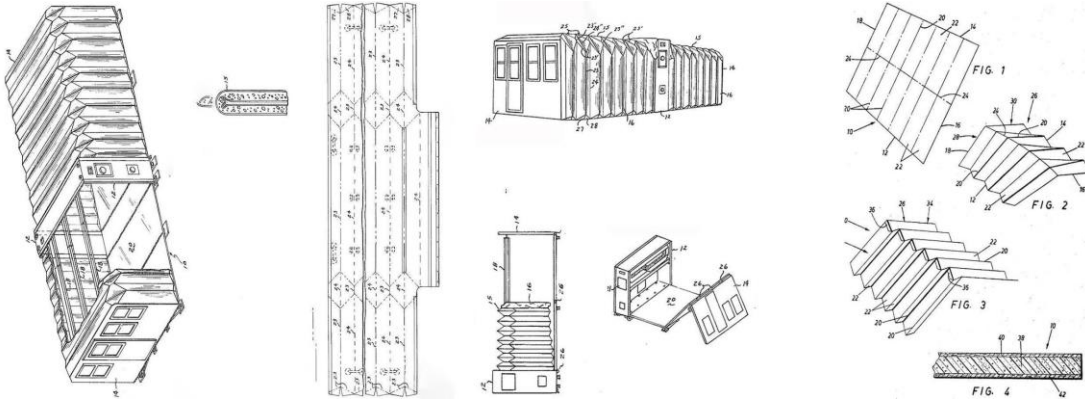
Tüm bir yapının tek bir malzemeden katlanması maliyet ve işgücü açısından pratik olmamakla birlikte, son on yılda karşımıza çıkmaya başlayan küçük ölçekli (nano boyutta veya eşya boyutunda) kendi-kendini kuran kompozit malzemelerin gelecekte makro ölçekte (bina boyutunda) de mümkün olabileceği varsayılmaktadır (Tibbits, 2017).

Malzemelerin doğada var olan özelliklerinin ötesine geçerek malzeme özelliklerini ve davranışlarını arttırmaya yönelik çalışmalar yapan “meta-material” (Overvelde vd., 2016) araştırma alanı konularından biri, malzeme yüzey dokularının programlanarak kendi kendini iki boyuttan üç boyuta kurabilmesi için katlanabilir kompozit malzemeler tasarlanmaktadır. Bu kompozit malzemelerin katlanma aksları boyunca kullanılan malzeme, dış etkenlerle etkileşime girdikten sonra kısalmakta, uzamakta, veya şişmektedir. Böylece katlanma aksı çevresindeki yüzeylerin birbirini itmesi ve çekmesi sonucu yüzey parçalarının yönelimi değişerek üç-boyutlu yeni bir formel konfigürasyon oluşturmaktadır. Kompozit malzeme üretimi ile katlama eyleminin programlanması bina ölçeğine kıyasla mikro ve nano ölçekte bugün çok sayıda güncel araştırmaya konu olmaya devam etmektedir (Şekil 2.45).



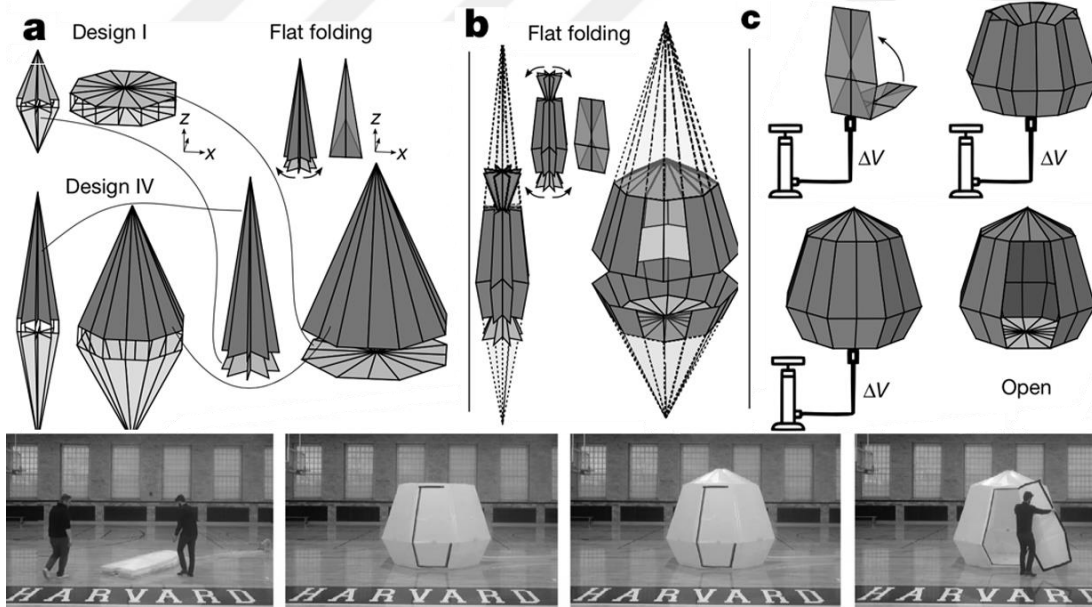
Şekil 2.45: Su ile reaksiyona girdiğinde katlanan ahşap kompozit malzeme, MIT Self-Assembly Lab, 2015; 4-D Printing Yapay Kanat, ETH, 2018; Shape-shifting 3-D Material, Harvard Lab, 2016; Hava ile katlanan malzeme, Aeromorph, Tangible Media Group, MIT, 2017 (URL-38; Faber ve diğ, 2018; URL-39; Ou vd., 2016).

Katlamanın bina ölçeğinde kullanımı güncel bir araştırma konusudur. 2020 yılında ICD Stuttgart Üniversitesi Hesaplamalı Tasarım Enstitüsü’nün yayınladığı araştırmada kendi kendine katlanarak şekil alan malzeme tasarımı, kafes kiriş yapı elemanının küçük ölçekli bir protipidir (Tahouni vd., 2020). Yates’in 1965 yılında, Ballay ve diğerlerinin 1970 yılında patentini aldığı acil durumda katlanarak açılabilen barınak örnekleri, meta-materyallerin potansiyel uygulama alanları olarak kabul edilebilir (Şekil 2.46).



Şekil 2.46: Taşınabilir katlanır barınak, USA, 1970; Zigzag çatı profilili katlanabilir barınak, Canada, 1968 (Ballay vd., 1971; Yates vd., 1968)

Harvard Üniversitesi araştırmacıları Melancon ve diğerlerinin (2021) katlanarak minimum hacim kaplamak ve otonom olarak katlanıp açılarak strüktürel olarak sağlam yapılar oluşturmak için geliştirdiği yaklaşım bina ölçeğinde katlamanın en güncel örneğidir (Şekil 2.47). Nature dergisi yayınında Harvard Üniversitesi Bertoldi Araştırma Laboratuvarı (2021) bu teknolojinin acil durum barınakları, sel bariyerleri, katlanabilir uzay uydusu, konser alanlarında katlanabilir ses panelleri veya mimari yapı malzemesi olarak kullanılabileceğine değinmektedir (URL-x).



Şekil 2.47. Bina ölçeğinde otonom katlama (Melancon vd., 2021).

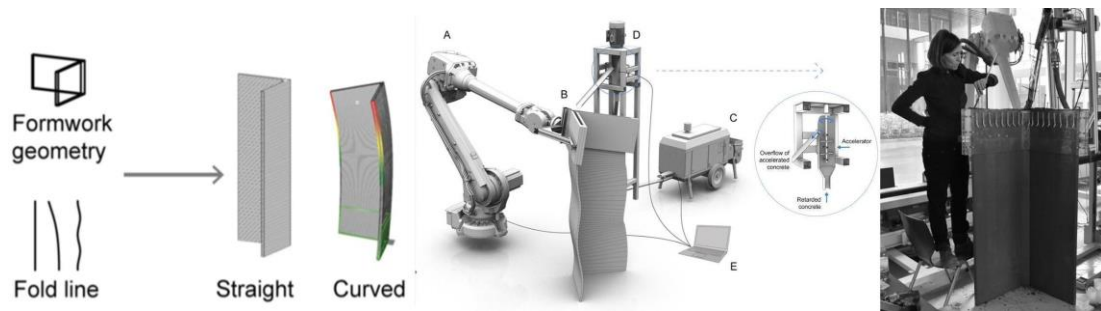
Katlamanın mimari yapı ölçeğinde en yaygın kullanımı mafsal mekanizmaları sayesinde hareketli yüzeylerden oluşan kinetik strüktürlerdir. Kinetik strüktürler alanında uzmanlaşan isimlerden biri olan Chuck Hoberman'ın MIT Üniversitesi

öğretim üyesi Carlo Ratti ile birlikte tasarladığı son çalışma, bir yapının avlusunu ihtiyaca göre açık ve kapalı alana dönüştüren origami esinli strüktürdür (Şekil 2.48).



Şekil 2.48: Katlanan strüktürler, Hoberman ve Ratti, 2022 (URL-40).

Bina ölçeğinde katlama eyleminin diğer bir potansiyel kullanımı ise hareketli kalıpların yapı üretiminde kullanılması olarak varsayılabilir. Tek bir kalıbı dinamik olarak kullanarak çok sayıda farklılaşan yapı elemanın üretimi mümkün olabilecektir. Szabo ve diğerlerinin ETH Zürih’te gerçekleştirdikleri robot kontrolü ile kayan ve potansiyel olarak katlanabilen plak kalıp, bahsedilen kullanımın öncüsü olarak kabul edilebilir. Szabo ve diğerleri (2019), katlanmış plak şeklindeki sabit kalıbı robot kolu ile hareket ettirerek, kalıbın taradığı alan boyunca betonarme katlanmış plak üretimi gerçekleştirmiştir (Şekil 2.49). Katlanmış malzemeyi betonarme yapı kalıbı olarak kullanan çok sayıda deneysel çalışmalara bir diğer örnek Meibodi ve Tessmann (2014) çalışmasıdır.



Şekil 2.49: Bilgisayar kontrolü ile katlanabilir kayar kalıp, ETH, Zürih, 2019 (Szabo vd., 2019).

Yukarıdaki bölüm, bir mimari yapıdan bir medikal stentin tasarım ve üretimine kadar uzanan geniş bir alanda katlama eyleminin nasıl yerler bulduğunu örneklemektedir. Farklı alan ve ölçeklerdeki örnekler, katlamanın malzeme konfigürasyonları ve statik/dinamik mekanizmalarıyla, tasarım problemlerine ürettiği ve üretebileceği

fonksiyonel cevapların çeşitliliğini ortaya koyar. Örnekler incelendiğinde, düzlemsel yüzeyi dönüştüren katlama işlemi ile (a) dinamik bir mekanizmanın, (b) sonucunda ürettiği statik formun fonksiyonel olduğu görülür. Katlama, statik bir formu üretirken (b1) katlanan malzemenin kendisi tasarım nesnesidir, (b2) katlanan malzeme tasarım nesnesini üreten kalıptır. Dinamik bir mekanizma olduğu tasarım ürünlerinde ise katlama (a1) robotun kavrama hareketi gibi bir işlemi gerçekleştirir, (a2) bir tasarım nesnesinin iki-boyutlu düzlemsel ve üç-boyutlu hacimsel, açık ve kapalı, dolu ve boş gibi birden çok sayıda durumu içinde barındırmasını sağlar. Bahsedilen ayrımların birbirini içerisine geçtiği örnekler de olduğu için yukarıdaki ayrımları kesin bir şekilde yapmak doğru değildir. Kendi kendini katlayarak kuran ürünlerin tasarım sürecinde düzlemsel malzemenin nasıl kurulacağı da bir tasarım problemi olarak çalışıldığı için bu durumda hem katlama dinamik bir mekanizma olarak kurulumu gerçekleştirmekte hem de nesne kurulduktan sonra ulaştığı üç boyutlu formu ile nihai fonksiyonu sağlayabilmektedir.

Bir önceki bölümde katlamanın formel bir strateji olarak uygulandığı örnekler ise farklı yönelime sahip düzlemlerin birleşimden oluştuğu için üç boyutlu formu katlanmış gibi görünen üretimleri içermektedir. Bu örneklerde nihai formun geometrisi genellikle estetik veya strüktürel kaygılarla ilişkili fonksiyonelliğe sahiptir. Bu geometrik formlar, yüzeylerin birleşiminden oluşsa bile çoğunlukla bir bütün olarak düzleme açılabilir geometriler olmadıkları için katlanabilir mekanizmalar değildir. Bu tasarımlar için katlanabilirlik veya düzleme açılabilirlik kaygısı söz konusu değildir.

Bu bölümün ilk alt bölümünde fikir düzleminde katlamanın ele alındığı örnekler ise Deleuze'un *Le Pli* (1988) kitabında tariflediği kuramsal yapıya referans verilmiştir. Maddenin en küçük birimini bir nokta değil de bir kıvrım olarak tarifleyen ve durmaksızın kıvrımlar meydana getiren bir fonksiyona gönderme yapan Deleuze kuramı, D'Arcy Thompson'ın morfojenetik süreçleri haritalayan esnek gridinden Eisenman öncüllüğünde tartışılan tasarımın yaklaşımlarına ve dijital ortamda ete kemiğe bürünen dinamik modellere uzanan örnekler üzerinden incelenmiştir. Burada katlamaya, herhangi bir olgunun fikir düzleminde bir kıvrımını dönüştürme, tekrar kıvrıma, kıvrımını açma gibi kavramsal bir aktivite olarak bakılmıştır.

Bu noktada dijital ortamda benimsenecek bir yordam olarak katlama bölümüne çerçeve oluşturaak tartışmayı özetlemek gerekirse katlama eyleminin farklı boyutlarda araçsallaştırılma tartışmasına dönmek gerekir. Sonucunu bilmediğimiz bir tasarımı geliştirirken o an elimizde olan nesneyi fikir, biçim, malzeme gibi farklı düzlemlerde katlarız. Burada katlamak ile kastedilen en bildiğimiz anlamıyla kâğıt katlamak değildir. Ancak, kâğıt katlamanın bize mühendislik problemlerini yeniden düşündürten sonsuz olasılıkları yaratması (örneğin origami ile keşfedilen yeni malzeme kompozisyonları, katlanmış geometrik konfigürasyonun yükü dağıtma, basıncı absorbe etme, ısıyı yayma gibi performatif çıktılarla ilişkisinin keşfi) ilk başta değindiğimiz “katlama” vesilesi ile olur. Bu katlama zihinsel bir edimdir. Bu zihinsel edimin farklı ortamlar üzerinden icrası tasarımı zenginleştirir.

Katlamak hem zihinsel, hem formel, hem de fiziksel eyleme dayalı bir operasyona referans vermektedir. Katlamak zihinsel bir operasyon olarak (1) bir fikrin, nesnenin, olgunun yeni bir girdiyle birlikte ele alınarak dönüşmesidir. Katlamak biçimsel bir operasyon olarak (2) farklı düzlemsel elemanlar arası formel ilişkilerin kurgulanmasıdır. Katlamak fiziksel bir malzeme operasyonu olarak (3) malzemenin yöneliminin değiştirilmesidir. Tasarlama sürecinde katlamayı tek bir düzlemde ele almak yerine bahsedilen üç düzlem arası gidiş gelişler yapmak, süreç boyunca farklı düzlemlerde keşifleri tetiklemekte, diğer bir deyişle beklenmedik yeni bir durumla karşılaşmayı ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışma kapsamında katlamanın tasarım fikirleri ve girdileri bağlamında ele alındığı ortam (1) zihinsel tanımlardır; katlamanın formel ilişkiler düzleminde ele alındığı ortam (2) ilişkisel modellemeye dayalı dijital yazılımlar; katlamanın yapım düzleminde bir eylem olarak ele alındığı ortam (3) fiziksel malzemedir. Bu üç ortamın birinde gerçekleşen operasyonun diğer bir ortama geçişi ile ortaya çıkan karşılaşmalar ve keşifler, yeni bir tasarım fikrinin/girdisinin, yeni bir formel ilişkinin veya yeni bir malzeme eyleminin bir önceki durum ile sürekliliğini koruyarak türemesi (Deleuze’e göre katlanması) olarak vuku bulmaktadır. Bu durumda, sürecin bir parçası olan dijital modeli oluşturan enformasyon, süreçte keşfedilen özgün bilgileri içerme potansiyeline sahip olmaktadır.

Süreçte fiziksel eyleme dayalı katlama operasyonunun gerçekleşmesi hem formel hem de zihinsel olarak katlamayı beraberinde/peşinde getirebilmektedir. Malzemeye doğrudan müdahale etmek, malzemenin ne olmak istediğini (davranışını, tepkisini,

performansını) kavramayı sağlamaktadır. Bu kavrayış, zihinsel olarak yeni bir tasarım girdisinin süreç içerisinde katlanmasıdır. Aynı zamanda yapma eyleminin kendisinin veya yapım ile kavranan tasarım fikirlerinin dijital ortamda geometrik bileşenler arası ilişkiler olarak alt parçalara bölünerek tarif edilmesi, yapım ile ortaya çıkan tasarım girdilerinin veya malzemenin geometrisine dair kavrayışın ilişkilere dayalı olarak kavranarak dijital modele entegre edilmesini sağlamaktadır. Diğer bir açıdan, dijital ortamda geometrik bileşenler arası (topolojik) ilişkileri ve özellikleri tarifleyerek modellemek, statik bir bütün olarak ele alınan tasarım formunun belirli özellikleri, performansları, sağladığı işlevi dinamik bir olgu olarak kavrayarak onların farklı türevlerinin (versiyonlarının) ortaya çıkmasına ön ayak olmaktadır. Tariflenen geometrik ilişkileri dönüştürmek de beklenmedik yeni bir tasarım girdisinin keşfini veya yeni bir katlama eyleminin ortaya çıkmasını sağlayabilmektedir.

3. BİR YORDAM OLARAK KATLAMAK

Bu bölümde katlamanın analog ve dijital eylemlerle nasıl icra edildiği incelenmektedir. Dolayısı ile öncelikle bir yordam olarak katlamanın farklı mecralardaki üretim pratiklerinde başat strateji olduğu örnekler tartışmaya açılacak ve tezin özgün önermesine ilişkin arka plan oluşturulacaktır. Sonrasında ise özgün önerme üzerinden bir tartışma ile irdelenecektir.

3.1 Bir Yordam Olarak Katlama ve Özgün Yaklaşımlar

Literatürde belirli formlara katlama aracılığıyla nasıl ulaşılabileceği veya belirli katlama tekniklerinin nasıl üretileceğini açıklayan, *Origami Tessellations* (Gjerde, 1978); *Folding Paper: The Infinite Possibilities of Origami* (McArthur ve Lang, 2012), *Paper Sculptures* (Sweeney, 2016) gibi çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bu yayınlar, *Yoshimura* gibi spesifik katlama örüntülerinin nasıl çizileceği ve uygulanacağı tarif etmektedir. Çalışmalar yaygın olarak sonucu tanımlı üretimler üzerine odaklıdır. Bir tasarımcının sonucu öngörülemeyen yeni bir tasarım örüntüsünü nasıl geliştireceği konusunda yol gösterici değildir. Birçok tasarım uygulamasında *Yoshimura* katlama tekniği gibi yaygınlaşmış katlama örüntülerinin birbirine benzer şekilde tekrar tekrar kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Riether (2012)'nin *Parametric Folds* çalışması, metnin ikinci bölümünde de bahsedilen çok sayıda uygulama ve öğrenci çalışmaları. Katlama operasyonunun tasarım amaçlı kullanımını açıklayan *Folding Architectures* (Vyzoviti, 2003), *Folding Techniques For Designers* (Jackson, 2011), *Curved Folding Origami Design* (Mitani, 2019) yayınları ise tasarımcıların kullanması için belirli katlama teknikleri ve operasyonlarını kataloglar haline getirmiş kaynaklardır. Bu kaynaklar, var olan katlama desenlerinin tekrarlanması yerine yeni katlama örüntüleri geliştirilmesi için uygulanabilecek stratejik operasyonların anlatımlarını da içermektedir. Örneğin Jackson (2011) farklı katlama çizgilerinin varyasyonlarının üretilmesi için kullanılabilecek eylemleri açıklamaktadır.

Bu çalışmalar içerisinden Vyzoviti (2003) katlama operasyonlarını katlamanın kendisi dışında farklı bir tasarım bağlamı için kullanmaktadır. Vyzoviti (2003)'ün katlamayı

farklı bir tasarım bağlamı ile bir araya getirme yöntemi, katlama operasyonları aracılığıyla keşfettiği diyagramatik mekân organizasyonlarını çeşitli mimari niteliklerle ilişkilendirmektedir. Sürecin şeffaf bir şekilde aktarımı gerçekleşmesi zor olduğu için, malzeme ve biçim düzlemi arası geliş gidişlere dayalı gelişen şemanın sonuçta fikir düzleminde yorumlandığı anlaşılmaktadır.

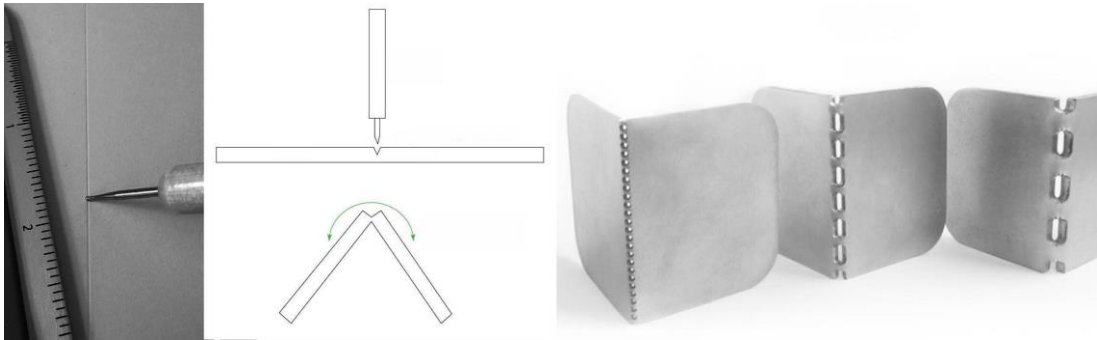
Koschitz'in (2016) eğrisel katlama tekniği özelinde yaptığı araştırma ise katlama yaparak tasarlamak için beş farklı yaklaşım öne sürmektedir. Bu yaklaşımların ilki, sanatçı Iwaki'nin uyguladığı örtük olan dokunsal bilgiye dayanan adım adım değerlendirme yaparak ilerleyen bir süreçtir. Albers'in Bauhaus okulundaki yaklaşımı da geometri bilgisi olmadan ve üçüncü boyuttaki sonucunu öngörmeden iki-boyutta tasarlamaya dayalı bir yaklaşımdır. Resch'in yaklaşımı ise fiziksel ortamda yapılan katlamanın geometri bilgisini bilmeden katlama modelinin taranıp dijital ortama aktarılıp simüle edilmesine dayalıdır. Mitani ve Igarashi'nin yaklaşımı tamamen üç-boyutlu bilgisayar destekli tasarım ortamında başlayarak silindir ve huni gibi düzlemlere açılabilir geometriler üzerinden yansıtma operasyonu ile gerçekleşen bir süreçtir. Son olarak Huffman'ın kâğıt geometrisini temsil etmek için ürettiği araçlar sayesinde bilgisayar ortamında simülasyonunu üreterek tasarlayabilmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşımların çoğu katlama eyleminin hangi ortamda yapıldığı ve nasıl temsil edildiğine dayalı çeşitlenmektedir. Koschitz (2011) farklı yaklaşımlara değinmekle birlikte, çalışması özelinde Huffman'ın eğrisel katlama eyleminin bilgisayar ortamında tariflenmesi için geliştirdiği şemalara odaklanmaktadır. Bu çalışmalar da katlamanın kendisi dışında farklı bir tasarım problemi bağlamı için uygulanmasına yol gösterecek bir çerçeve oluşturmada eksik kalmaktadır.

3.1.1 Fiziksel ortam ve araçları ile katlamak

Katlamak, malzemenin bir parçasının yönelimini değiştirerek diğer bir parçasının üzerine doğru getirmektir. Bu işlem sonucunda malzemenin katlanan bölümleri ya birbiri üzerine oturarak kompakt bir form oluşturmaktadır, ya da katlanan yüzey bölümleri arasında kalan boşluklar bir hacim tanımlayarak üç boyutlu bir form meydana getirmektedir.

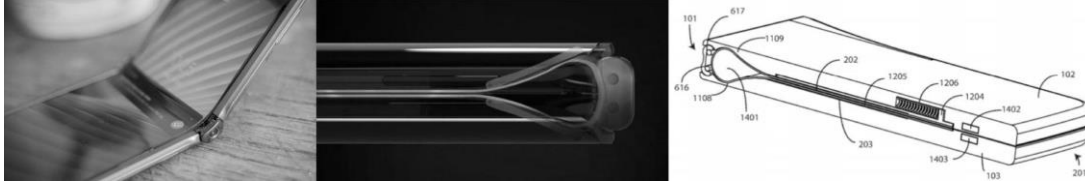
Katlama eyleminin uygulandığı malzemeler, kâğıt, mukavva, alüminyum, plastik levha gibi yüksekliği (et kalınlığı) en ve boyuna oranla çok daha küçük olan düzlemsel

yüzeylerdir. Malzemenin et kalınlığının küçük olması, yani ince olması, malzemenin yüzeyi üzerinde belirlenen bir veya birden çok sayıda eğri boyunca malzemenin farklı yönler'e doğru döndürölmesini veya bükölmesini mümkün kılmaktadır. Malzemenin katlanabilir olmasını, malzemenin sadece inceliğı değıl malzemenin rijitlik veya kırılğanlık özellikleri de etkilemektedir. Kırılğan olan malzemeler katlamak için uygun olmamakta; rijit malzemelerin üzerine ise katlama çizgisi boyunca aralıklı kesikler atarak veya çizgiyi kazıyarak eksiltme yapmak, malzemenin katlanmasını mümkün hale getirebilmektedir (Şekil 52). Malzeme üzerine atılacak olan kesikleri, malzemenin et kalınlığına göre farklılaştırmak gerekmektedir. Örneğın metal gibi rijit malzemelerin üzerine katlama eğrisi boyunca çıkarılacak kesiklerin genişliğı, malzeme kalınlığından büyük olmadığı takdirde malzemenin yüzeyleri tamamen katlanıp üst üste oturduğunda katlanma aksında malzemeler sıkışıp deforme olmaktadır. Alüminyum ve paslanmaz çelik gibi levhaların katlanma aksı boyunca eksiltelen kesiklerin uzunluğu, tüm aksın uzunluğunun yarısından fazla ve yüzde sekseninden az olduğu takdirde presizyonlu bir biçimde katlamaya izin vermektedir (Şekil 3.1). Özetle, farklı kalınlıklardaki levhaların katlanmasını, malzeme üzerine uygulanacak farklı eksiltme oranına sahip şekil örüntüleri etkilemektedir. Bahsedilen etkiler tasarım sonrası üretim fazında önemli olsa da, rijit malzeme üzerine çizgi çizme veya kazıma işleminin kavramsal tasarım fazı dâhil olmak üzere her zaman katlama yapımının bir parçası olduğu kabul edilebilir.



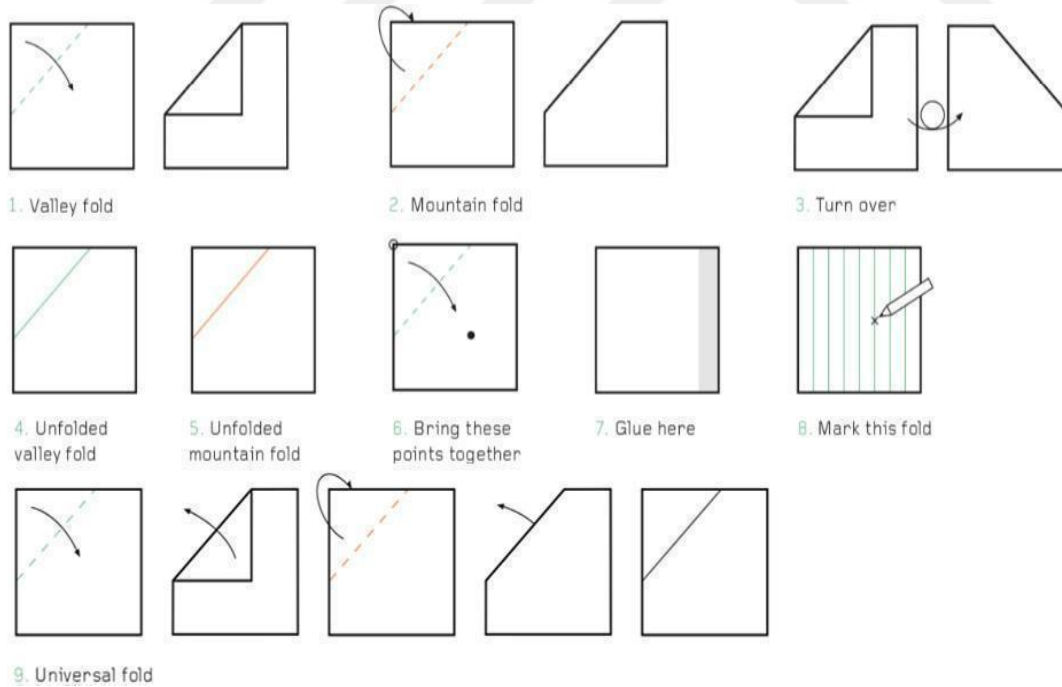
Şekil 3.1: Katlamak için malzemeyi eksiltme yolları (URL-41).

Kırılğan malzemeleri katlamak için ise katlama aksını bükerek zarar vermeden döndürmek için geliştirilmiş menteşe mekanizmaları mevcuttur. Buna örnek olarak esnek organik ışık emici diyot (foled) malzeme kullanarak ekranı katlanan Motorola Razr telefon verilebilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Motorola Razr telefonun ekranın katlanması için geliştirilen menteşe mekanizması (URL-42).

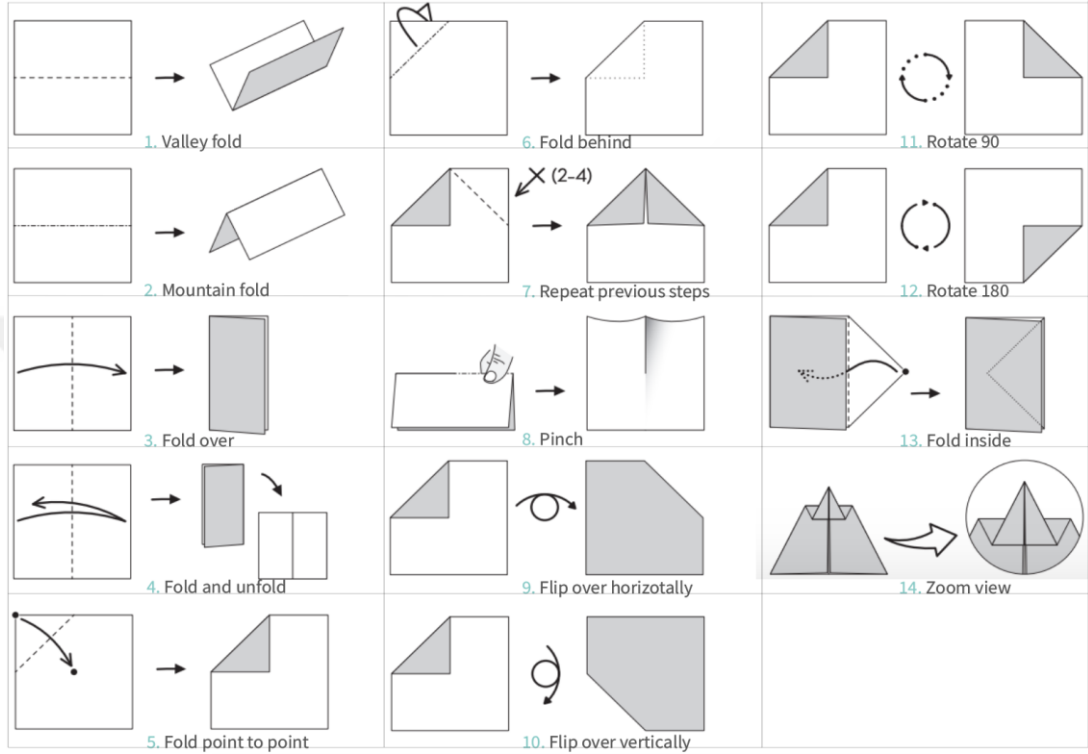
Katlamak, yukarıda bahsedilen üzerine çizgi çizme işlemine benzer şekilde, yüzeyi ters yüz etme, çekme, tepe oluşturarak katlama gibi: malzeme ile farklı biçimlerde etkileşim kuran eylemler tarafından desteklenmektedir. Katlama eylemleri, en yaygın olarak kâğıt katlama sanatı olan origami tasarımlarının anlatımlarında karşımıza çıkmaktadır. Jackson (2011), katlama yapımı sırasında uygulanan analog eylemleri aşağı doğru vadi formu oluşturarak katlamak (1), yukarı doğru doğru tepe formu oluşturarak katlamak (2), yüzeyi döndürmek (3), vadi veya tepe şeklinde katlanmış olan yüzeyin katını açmak (4,5), yüzey üzerinde iki noktayı bir araya getirmek (6), yapıştırmak (7), kat çizgisini işaretlemek (8), malzemeyi iki yönde katlayıp açarak yönelimsiz bir katlama izi oluşturmak (9) olarak sıralamaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Katlama yapmak için kullanılan eylemler (Jackson, 2011).

Jackson'a benzer şekilde, origami sanatçısı Eric Gjerde de (2017) Bauhaus Okulu temel tasarım dersi için 2017 yılında hazırladığı talimat defterinde temel katlama operasyonlarını, vadi şeklinde katlamak (1), tepe şeklinde katlamak (2), üzerine

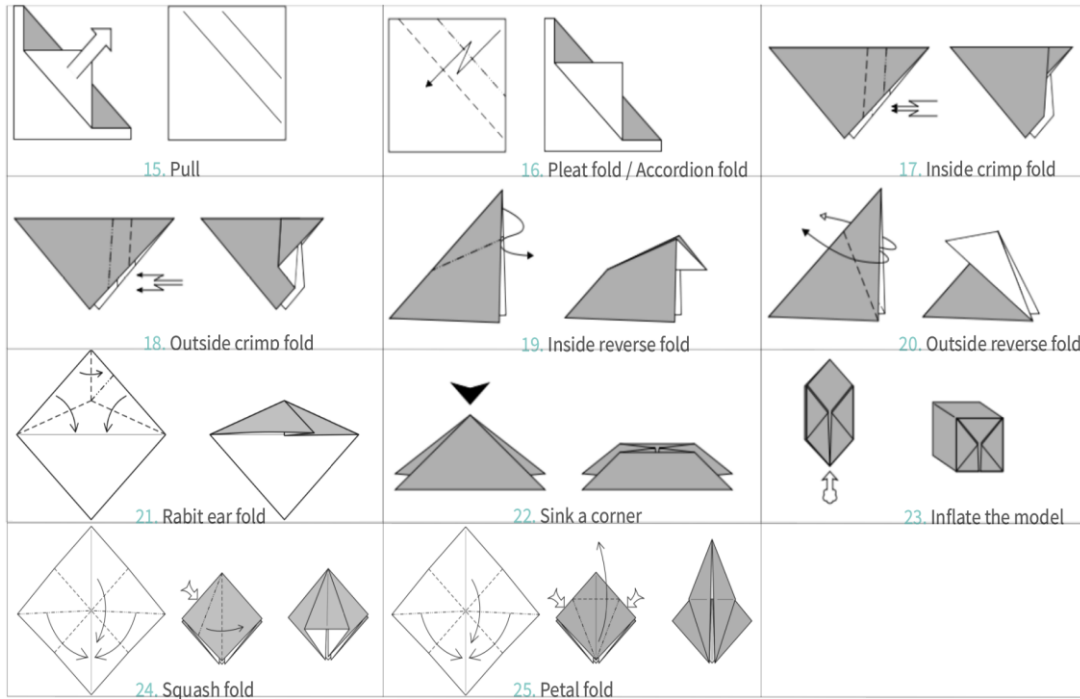
katlamak (3), katlamak ve açmak (4), bir noktayı diğer bir noktanın üzerine getirerek katlamak (5), arkasına katlamak (6), önceki adımı tekrar etmek (7), çimdik atmak/ iki parmağın arasında sıkıştırmak (8), yatayda ters yüz etmek (9), dikeyde ters yüz etmek (10), 90 derece döndürmek (11), 180 derece döndürmek (12), içeriye katlamak (13), yaklaşmak (14) olarak sıralamaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4: Katlama adımları (Gjerde, 2017, üzerinden düzenlenmiştir).

Yukarıda listelenen eylemler, katlama yapımını başlatan ve süreç boyunca tekrar tekrar uygulanan temel operasyonlardır. Yukarıda listelenen katlama yapma eylemlerine ek olarak Lang (2011), çekmek (15), plilemek / akordeon katlamak (16), katlanmış yüzeyin köşe parçasını kalan yüzey parçasının içine doğru kaydırarak katlamak (17); katlanmış yüzeyin köşe parçasını kalan yüzeyin üzerine kaydırarak katlamak (18); içeride ters yön katlamak (19); dışarıda ters yön katlamak (20); tavşan kulağı katlaması yapmak (21); köşeyi aşağıya batırmak (22); modeli şişirmek (23); katlanmış kenarın üzerinde dik açıyla bastırarak açmak (24); taç yaprağı katlaması yapmak (25) eylemlerini de temel katlama adımları olarak *Origami Design Secrets* kitabında listelemektedir (Şekil 3.5). Lang'ın eylem listesine ekledikleri, bir önceki listedeki eylemlerden farklı olarak, tek bir katlama eylemi değildir; birden fazla katlama eylemini içeren katlama kombinasyonlarıdır.

Sıralanan temel katlama operasyonlarını farklı yollarla ard arda uygulanarak sınırsız sonuçlara ulaşmak mümkündür.



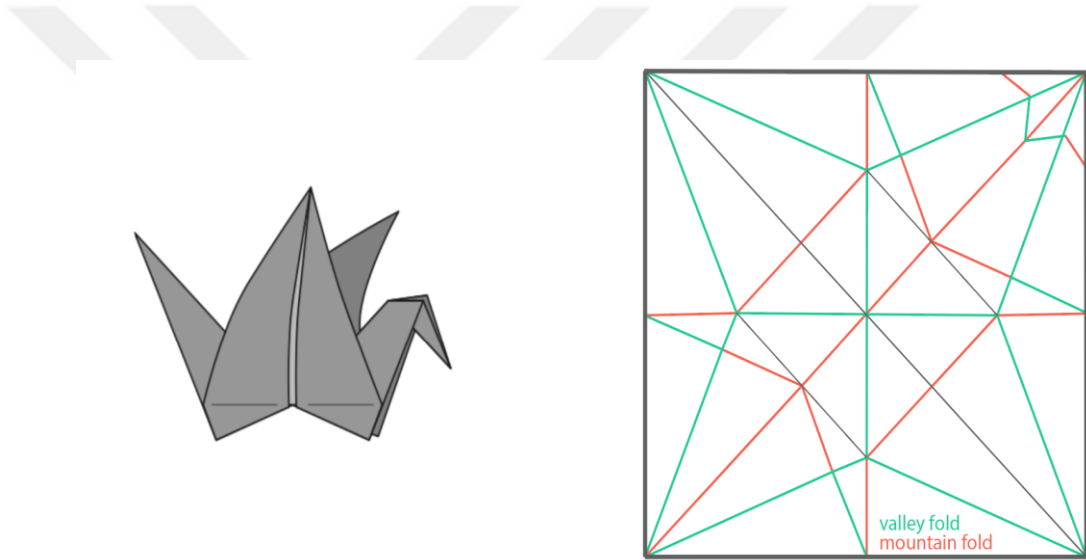
Şekil 3.5: Lang'ın kitabında yer alan temel katlama adımları (Lang, 2011a üzerinden düzenlenmiştir).

Katlama yapma sürecini destekleyici bir eylem de düzlemsel malzemenin bir bölümüne keserek kağıdın parçaları arasında boşluk yaratmaktır. Origami sanatı düzlemsel malzemeyi sadece katlayarak şekil vermek üzerine kurulu olduğu için kesme eylemi içeren katlama yapma sanatı, 'Kirigami' ismiyle farklı bir teknik olarak kabul edilmektedir (Temko, 1974; Badalucco, 2001; Lang, 2011).

Katlama eylemlerini sözel veya görsel olarak ifade etmek zorlayıcı bir meseledir. Jackson, Gjerde ve diğer birçok origami sanatçısının bugün çalışmalarını başkalarına aktarmak için kullandıkları anlatım dili, 1954'de Akira Yoshizawa'nın katlama yapma eylemini anlatmak için önerdiği diyagramlara ve daha sonra Samuel Randlett'in geliştirdiği Yoshizawa-Randlett notasyon sistemine dayanmaktadır (Lang, 2011b). Yoshizawa-Randlett notasyon sisteminde katlama yapmak için kullanılan operasyonlar, çizgi ve ok simgeleri ile tarif edilmektedir (Randlett, 1961). Yoshizawa-Randlett notasyon sisteminde, koyu renk çizgiler kağıdın kenarlarını, kesikli çizgiler vadi katlamasını, noktalı kesikli çizgiler tepe katlamasını, ince çizgiler katlanıp açılmış kat izini, noktalı çizgiler malzeme yüzeyinin arkasında saklı kalan kenarı, ok işaretleri ise katlanan malzemenin nasıl dönüşüm geçirdiğini hareket yönleri üzerinden

göstermek için kullanılmaktadır. Bu çalışma, Yoshizawa-Randlett notasyon sistemini kullanmayacak; bundan sonraki anlatımlarda, tepe katlamalarını kırmızı renk çizgiler ile, vadi katlamalarını yeşil renk çizgiler ile gösterecektir.

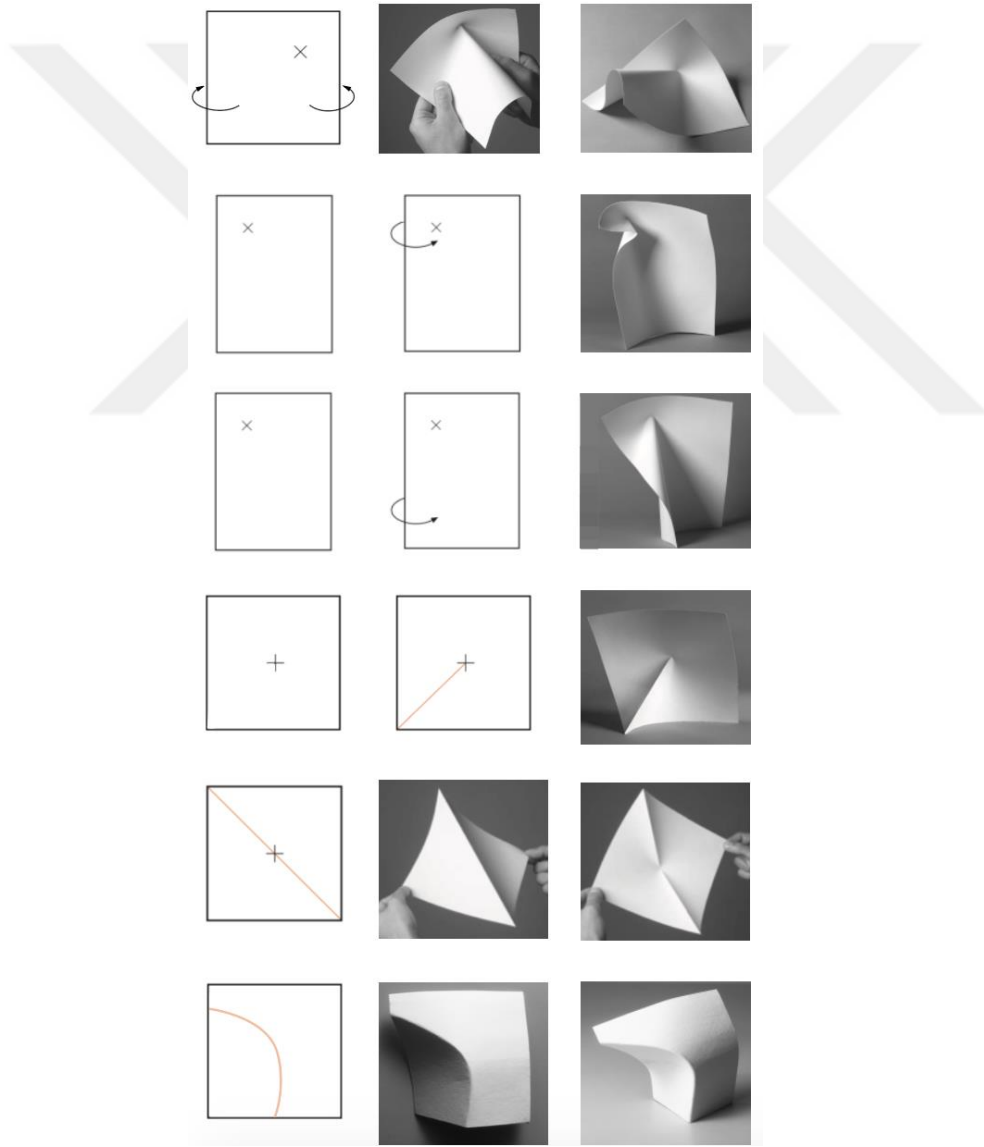
Katlayarak yapılmış bir tasarımın katları açıldığında, iki boyutlu düzlem üzerinde kat izlerinden oluşan bir desen elde edilmektedir. Elde edilen desen genellikle simetrik olarak tekrar eden çizgilerden veya çizgilerin oluşturduğu şekillerden oluşmaktadır. Bu örüntüyü oluşturan kat izlerinin bir kısmı tepe gibi bir form oluşturan iki yüzey parçasının, bir kısmı vadi gibi bir form oluşturan iki yüzey parçasının ve bazen bir diğer kısmı da düzlemsel iki yüzey parçasının arasındadır. Düzlemsel iki yüzey parçasının arasında olan kat çizgileri, daha sonraki katlama eylemlerinde kullanılmak üzere oluşturulmuş referans çizgileridir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Katlayarak yapılmış ve katları açılmış model (Lang, 2011a üzerinden düzenlenmiştir).

Katlama izleri, düzlemsel yüzey üzerinde yer alan iki boyutlu nokta, çizgi veya eğrilerdir. Kat izleri, bize tek seferde tek bir düzlem üzerinde tasarımın nasıl katlanarak yapılacağı hakkındaki büyük bir miktarda bilgi sağlamaktadır. Ancak kat izlerinin sadece düzlem üzerindeki yerlerini bilmek yeterli değildir; hangi yöne katlanacaklarını (tepe oluşturarak mı katlanacak, vadi oluşturarak mı katlanacak?) ve hangi sırayla katlanacaklarını bilmek önemlidir. Bunun için farklı yöne katlanacak eğrilere farklı bir renk, kalınlık veya çizgi tipi atanmaktadır. Bir başka deyişle, katlama çizgilerine, hangi yöne katlanacakları bilgisi veya hangi sırayla katlanacakları bilgisini atayarak çizgileri etiketlemek mümkündür.

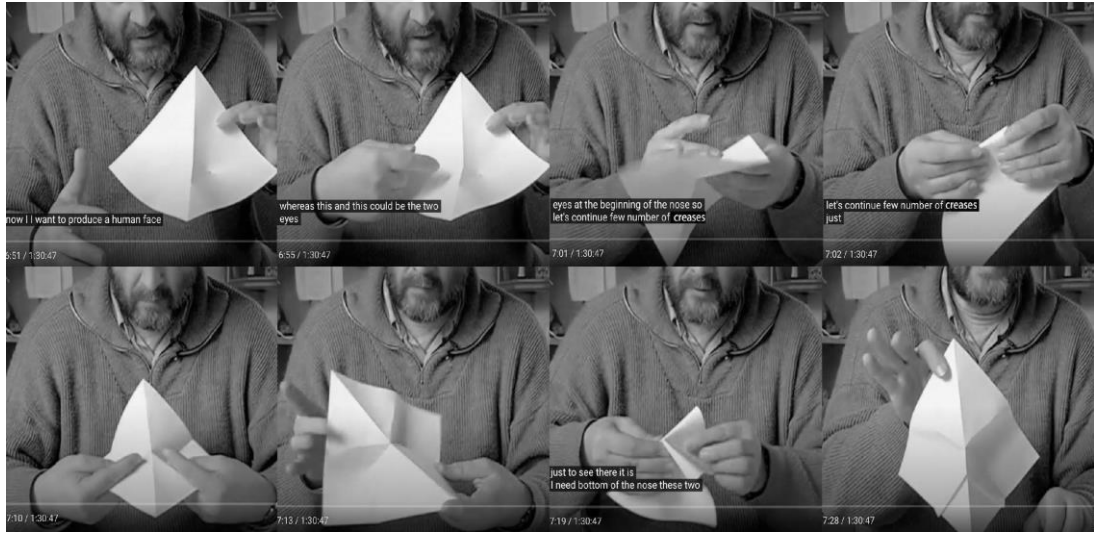
Katlama sayısı arttıkça, yüzey parçalarının sayısının ve parçaların biraraya geliş konfigürasyonları artacağı için ortaya çıkacak üç boyutlu form olasılıkları da artmaktadır. Çok sayıda katlama adımından oluşan bir nesnenin, tek bir katlama eylemi ile oluşturulacak nesneye göre daha kapsamlı veya daha yaratıcı olacağı düşünülebilir. Ancak düzlemsel bir yüzeyin tek bir nokta, tek bir çizgi veya tek bir eğri etrafında yönelimini değiştirmek de oldukça karmaşık form olasılıkları ortaya koymaktadır. Örneğin, kağıdın üzerinde bir noktayı işaretleyip geriye doğru iterek kağıdı katlarken iki kenarın ortasından kağıdı geriye doğru itmek veya tek bir kenar üzerindeki noktadan kağıdı çekmek farklı konfigürasyonlar oluşturmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Noktasal, çizgisel, eğrisel katlama (Jackson, 2011 üzerinden düzenlenmiştir).

Katlamak, malzemeyi alt parçalara bölen ve böldüğü aks etrafında alt parçaların yönelimini değiştiren bir eylemdir. Bu eylem, tek aşamalı veya iki aşamalı olarak yapılabilir. Tek aşamalı yaparken, düzlemsel malzeme direk katlanır. İki aşamalı yaparken, önce kat izi çizilerek yüzey alt parçalara bölünür ve daha sonra malzemenin bir parçası kat izi boyunca diğer parçanın üzerinde doğru yön değiştirir. Katlama yapımı az sayıda adımdan oluşan basit bir eylem olduğunda, kişinin nasıl yapacağını kafasında kurgulayıp tek aşamalı katlamalar ile yapması mümkün olabilir. Ancak karmaşık bir işin nasıl katlanacağı genelde iki aşamalı eylemlerle, referans akslarını ve kat izlerini çizerek belirlendikten sonra katlayarak gerçekleştirilmektedir.

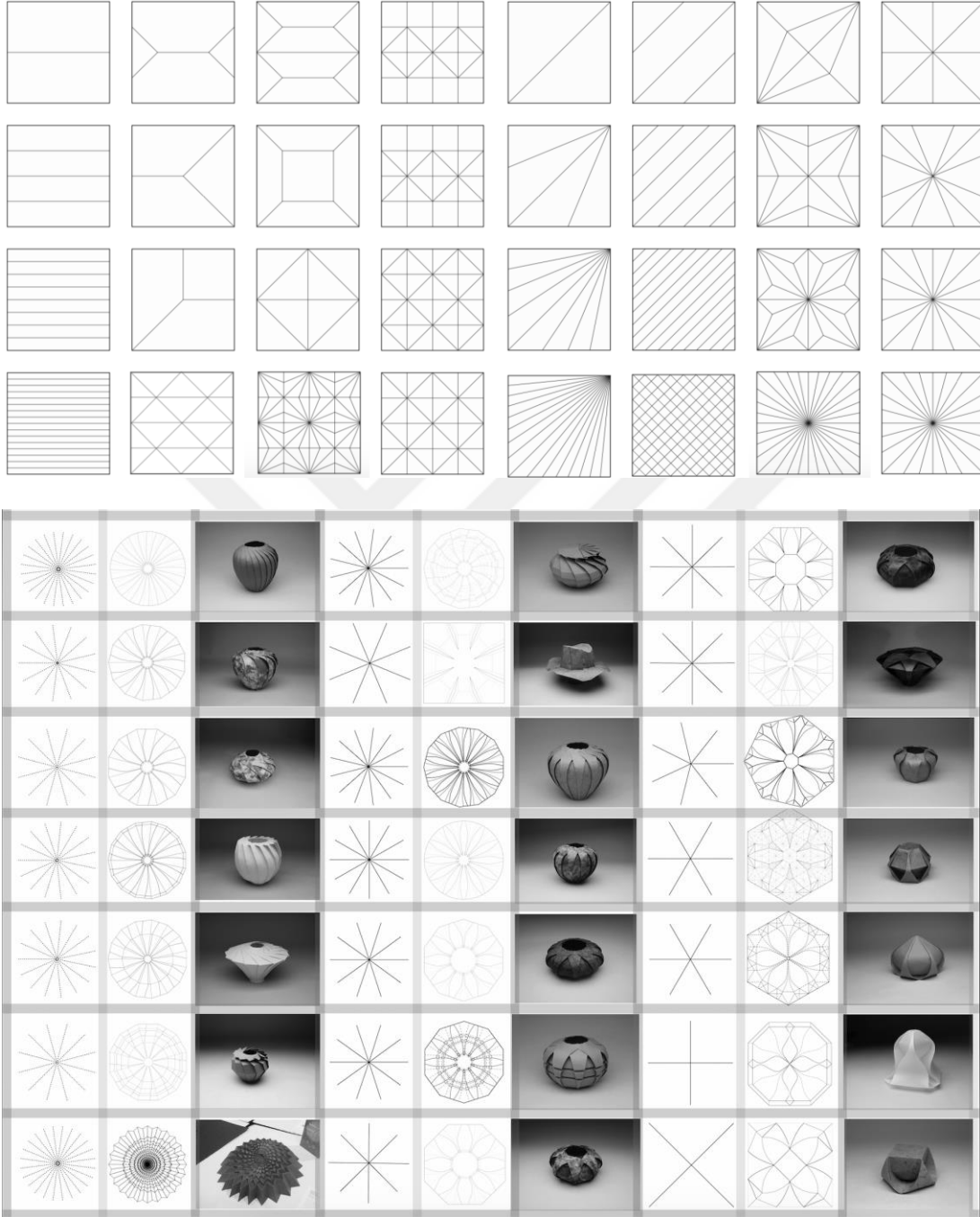
Birden fazla katlama adımı içeren süreçlerde ya ikinci katlama eylemi ilk katlanan parçaları referans alarak gerçekleşir, ya da iki veya daha fazla eylemin birlikte düzlemi nasıl alt parçalara ayıracakları planlanır. Çok sayıda katlama adımı içerecek karmaşık bir tasarım formunun nasıl katlayacağını hesaplamak için genellikle referans çizgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Referans çizgileri, malzeme parçaları arasındaki ilişkileri düşünmede, parçaların birbirlerine göre konumlarını, mesafelerini veya büyüklüklerini belirlemekte yardımcı olan tasarım elemanlarıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Heykeltıraş Eric Joisel katlayarak nasıl maske yaptığını anlatırken, kağıdı köşelerinden ikiye bölerek maskenin orta aksını belirlediğini söyler. Orta aksın üzerinde burun çizgisini ve iki yanında göz çizgilerini işaretler (Gould, 2008).

Katlama yaparken, mevcut malzemenin boyutları ve şekli bizim için bir referanstır. Mevcut çerçeveyi dönüştürmek için malzemenin ve hedeflenen tasarımın şekline ve boyutuna dayanarak yeni referans çizgileri kullanılır.

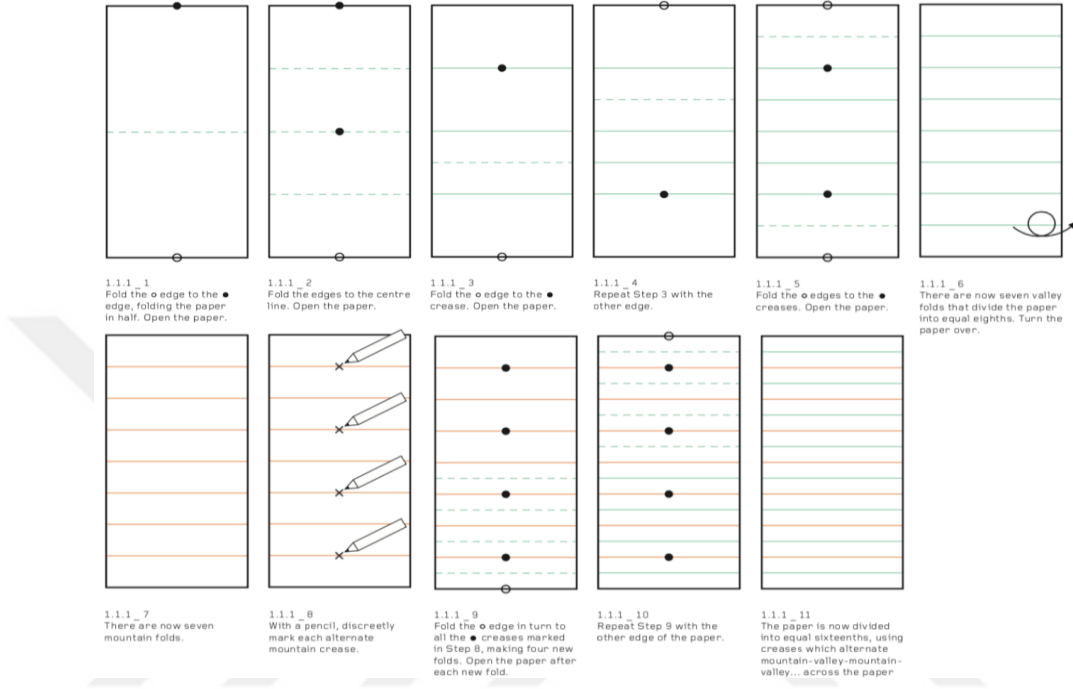
Referans çizgileri olarak en yaygın kullanılan tasarım elemanları, düzlemi yatay, dikey, diyagonal bölen geometrik elemanlar, bir nokta etrafında radyal bölen elemanlar veya birden fazla yönde bölme içeren grid elemanlarıdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Origami sanatında kullanılan referans çizgileri ve örnek olarak Lang'ın radyal aks kullanarak ürettikleri (Lang, 2011a üzerinden düzenlenmiştir).

Origami sanatçısı Joel Cooper (2012) katlama yapmaya başlamadan önce kağıdı bölerek bir grid oluşturduğunu söylemektedir. Cooper'ın kağıdı bölme sayısı ve sırası rastlantısal değildir.

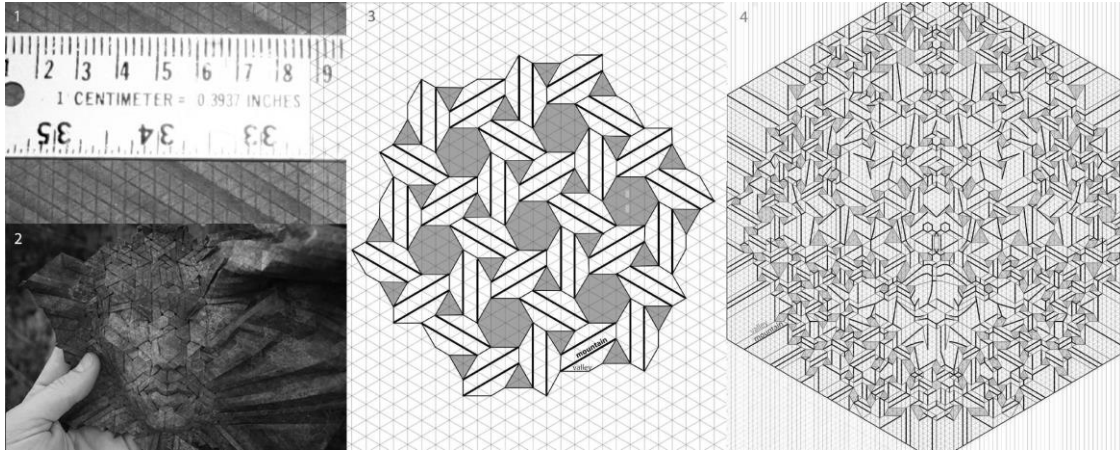
Kağıdı bölme işlemini, önce kağıdı ikiye veya üçe bölerek, sonra alt parçaları tekrar bölerek yapmaktadır. Bu işlemi kolay ve hızlı yapmak için en pratik yol, kağıdın bir kenarını diğer kenarı üzerine getirip katlamak ve açmaktır. Ortada oluşan katlama izi ile kağıdın kenarı üst üste getirerek katlama işlemi tekrarlanınca kâğıt yüzeyinde grid izi oluşmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Jackson'ın kağıdı bölmelendirmesi (Jackson, 2011).

Cooper katlayarak oldukça karmaşık formlar ürettiği için üretim süreci sırasındaki karmaşa içinde kaybolması kolaydır. Kaybolmamak için bir formülü takip ettiğinden bahseder. Kağıdı başlangıçta kaç parçaya böldüğü ile bölünen parçaları kaç defa yarıya böldüğünü 2'nin kuvveti olarak çarpar. Önce kağıdı 3'e, sonra her 3 parçayı 5 defa yarisına bölünce, $3 \cdot (2^5) = 96$ bölmeden oluşan bir grid üretir. Cooper'ın bu formülü takip ederek 32, 48, 64, 96 bölme kullanmasının bir sebebi kullandığı kâğıt boyutlarının 35, 50, 70, 100cm boyutlarında olmasıdır. Böylece her bir katlama biriminin genişliği 3.5mm ile 1 cm arasında değişir. Joel Cooper katlama izi diyagramları kullanmadan sadece grid çizgilerine referansla kağıdın üst kenarından başlayıp merkez aksından devam ederek katlamaya başladığını söyler. Cooper'ın katlama tekniği, Lang'ın sepet örgüsü katlaması olarak isimlendirdiği katlama biçimidir. Grid üzerindeki birimlerden oluşan çeşitli çokgen şekiller etrafındaki yüzey parçalarının, üst üste oturan şeritler şeklinde tekrarlı olarak katlanmasıdır.

Formun karmaşıklığına bağlı olarak Cooper'ın katladığı parçaların şeklinin ve katlama açısının farklılaştığı görülür (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Cooper'ın diyagonal gridi ve katlanmış Naiad maskesi, Cooper'ın kullandığı sepet örgüsü katlama tekniği, Naiad maskesinin katlama izleri (URL-43; URL-44).

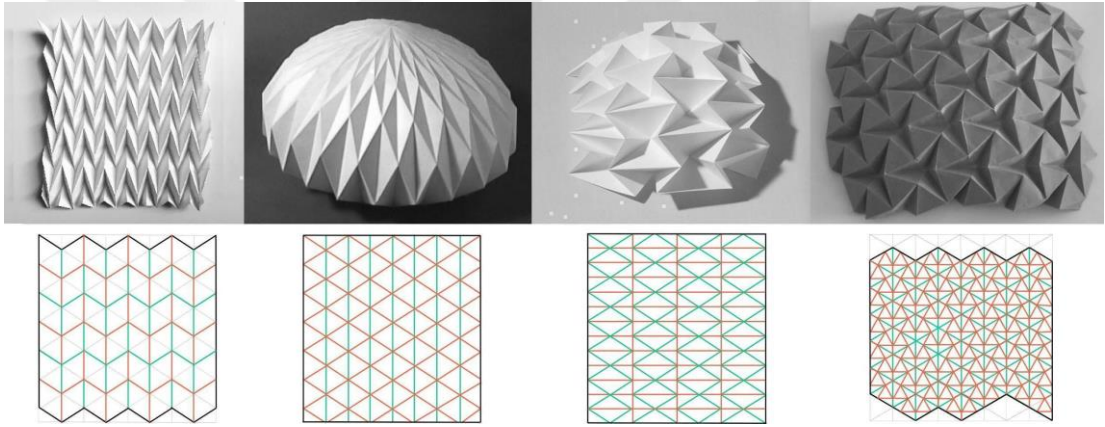
Cooper, sepet örgüsü katlama tekniğini uygulamak için 60 derecelik grid kullanmıştır. Tasarımcılar için katlama teknikleri kitabını yazarı Paul Jackson (2011), kağıdı eş uzunluklara veya açılara bölmeyi, farklı katlama tekniklerini uygulamayı mümkün hale getirdiğini söyler (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Cooper'ın 60 derece grid üzerine uyguladığı sepet örgüsü katlama tekniği (URL-45).

‘Teselasyon’, ‘küçük kare’ anlamındaki ‘tessela’ kelimesinden türemiş bir kelimedir. Karo adı verilen bir veya birden fazla geometrik şekil birimlerinin yan yana, alt alta tekrar ederek bir yüzeyi kaplaması ile oluşturduğu örüntü anlamına gelmektedir. Karo adı verilen düzlemsel şekil genelde üçgen, kare, altıgen olmakla birlikte Maurits Cornelis Escher’in tasarımlarındaki gibi hayvan figürleri gibi organik şekiller de olabilmektedir (Gjerde, 1978).

Origami teselasyonları ise, tekrarlı biçimde katlanmış şekillerin oluşturduğu örüntülerdir. Yaygın olarak bilinen ‘Miura’, ‘Yoshimura’, ‘Waterbomb’, ‘Resh’ katlama tekniklerinin yanı sıra Gjerde’nin (1978) ‘origami tessellations’ kitabında yer alan çeşitli katlama uygulamaları, belirli bir katlama operasyonunun yüzey boyunca tekrar ederek uygulanması ile üretilmiş teselasyon örnekleridir (Şekil 3.13).

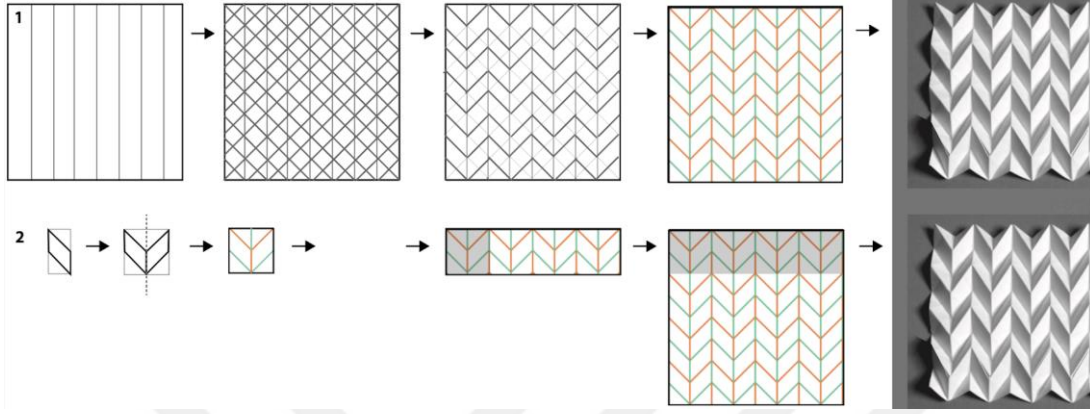


Şekil 3.13: Miura Ori, Yoshimura (diamond), Waterbomb, Resch katlama tekniği.

Origami teselasyonları, bir yüzeyi alt parçalara bölerek veya bir birimi çoğaltarak oluşturulabilmektedir (Şekil 3.14). Örneğin ‘Miura’ katlama tekniği için, yüzey eşit aralıklarla iki yönde diyagonal ve dikey çizgilere bölünür. Yüzeyi diyagonal bölen iki çizgi grubu kesişim noktalarından alt parçalara bölünür. Diyagonal gridin her bir kesişim noktasından geçen dikey bölücü çizgiler de kesişim noktalarından çizgi parçalarına bölünür. Bölünen diyagonal çizgi parçalarının her ikisinden biri sırayla silinir. Bu işlem sonucunda, diyagonal çizgi parçaları zigzag formunda yatay şeritler oluşturur. Yatay şeritler sırayla bir tepe ve bir vadi formunda, her bir dikey çizgi parçası da sırayla bir vadi ve bir tepe formunda katlanır (Şekil 3.14-1).

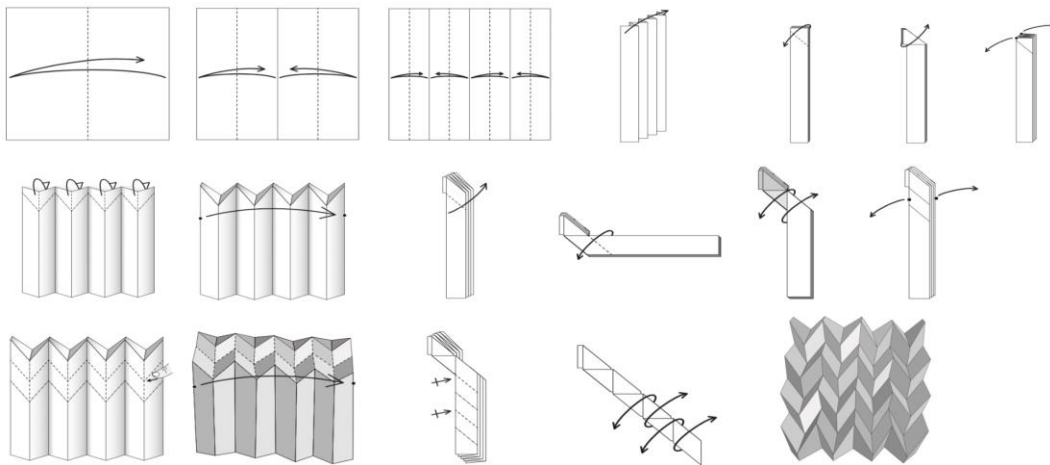
Dikey kenarı etrafında ayna yansıması alınmış paralelkenar geometrisine sahip bir şekli, yatayda ve dikeyde taşıyarak çoğaltmak da, miura katlama örüntüsünü

oluşturmaktadır (Şekil 3.14-2). Miura örüntüsü, ayna yansıması alınmış iki paralelkenar şeklin tekrarından oluştuğu için kâğıt yüzeyi boyunca tekrar eden tüm kat izlerini tek seferde katlayıp, kağıdın yüzey alanını büyük miktarda azaltmak mümkündür.



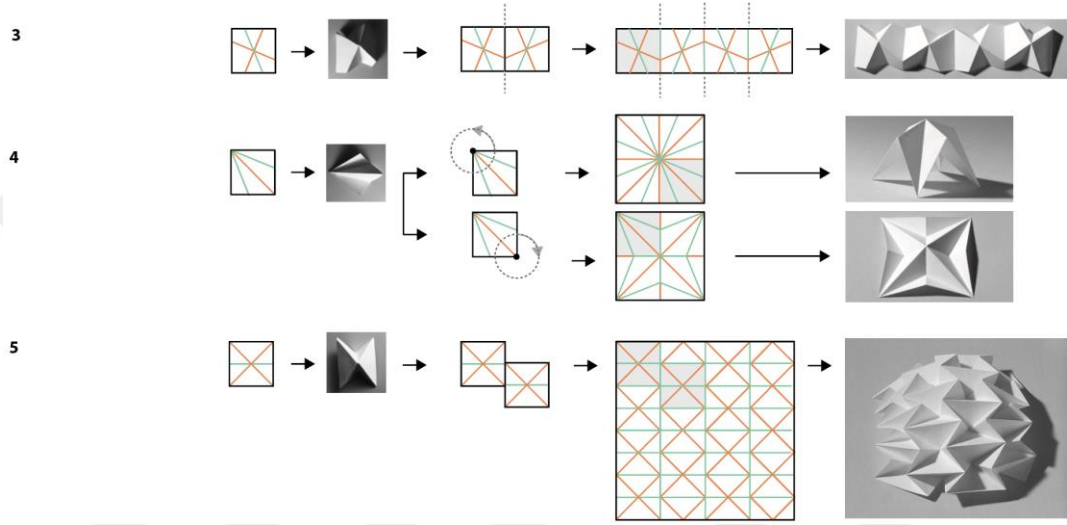
Şekil 3.14: Yüzeyi bölerek (1) ve bir katlama birimini yatay ve dikey ekseninde taşıyarak çoğaltma ile (2) origami teselasyonu oluşturmak.

Origami sanatçısı Eric Gjerde ise temel tasarım kitapçığında, Miura katlama örüntüsünü sadece katlama eylemleri ile oluşturmaktadır. Gjerde önce kağıdın bir kenarını diğer kenarı üzerine getirip açarak sonra bölünen alanlar için aynı işlemi tekrar ederek dikey şeritlerden oluşan plise katlaması oluşturmaktadır. Pliseleri sıkıştırıp şeritleri üst üste oturan katmanlar haline getirerek katlayınca, bütün şerit parçalarına aynı katlama işlemini uygulamaktadır (Şekil 3.15).



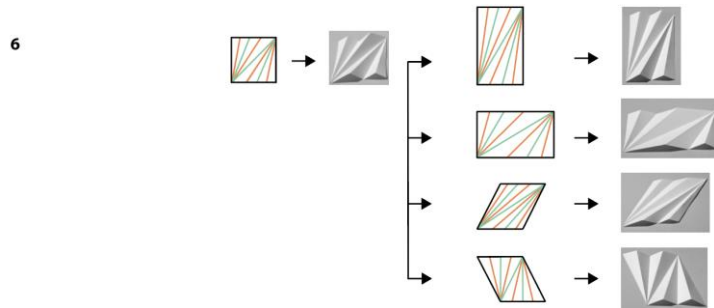
Şekil 3.15: Miura katlama tekniğinin yapımı (Gjerde, 2017).

Bir şekil birimini taşıyarak kopyalamak, şekli döndürerek çoğaltmak, şeklin ayna yansımalarını alarak çoğaltmak, ayna yansımalarını alıp şekli kaydırmak, katlama yaparken bir önceki eyleme dayanarak uygulanan en yaygın operasyonlardır (Şekil 3.16). Jackson'ın *tasarımcılar için katlama teknikleri* kitabında (2011), taşıma, yansıtma, döndürme operasyonları, katlama yapmanın temel kavramlarından biri olan simetrik tekrarlardır. Aynı zamanda simetrik tekrarlar, teselasyon tasarımlarının da temelini oluşturmaktadır.



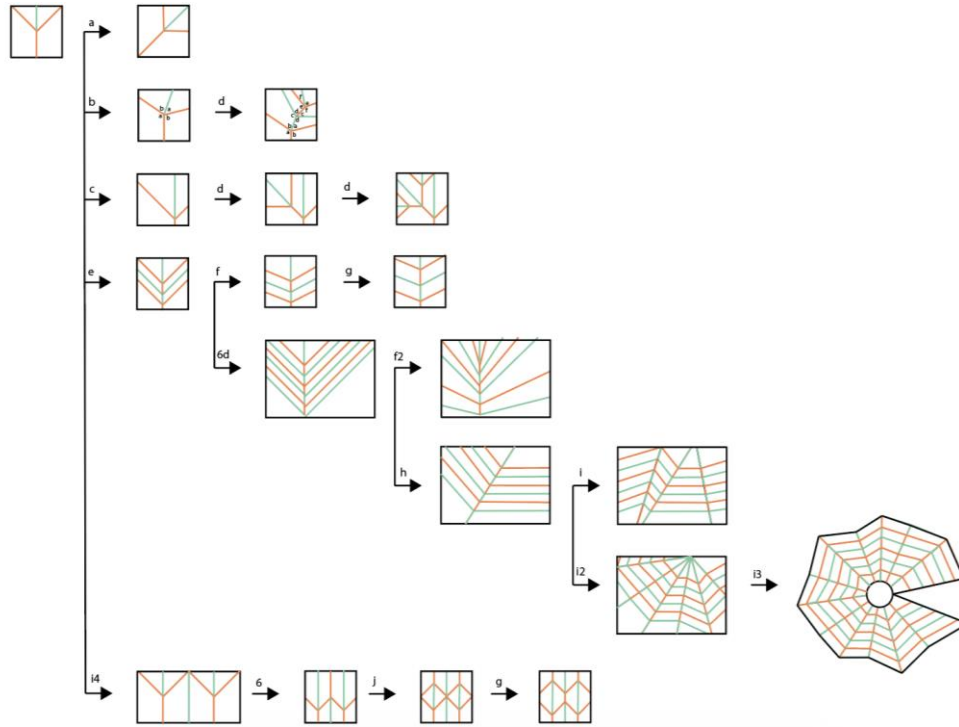
Şekil 3.16: Ayna yansımaları (3), döndürme (4), ayna yansımalarını kaydırma (5) operasyonları (kaynak: Jackson, 2011 üzerinden düzenlenmiştir).

Katlama yapımını ilerletme yollarından birisi de bir önceki eyleme dayalı olarak eylemin varyasyonunu oluşturmaktır. Tasarımcı, uyguladığı eylem üzerine geriye dönük bir inceleme yaparak eylemin bileşenleri olan kat çizgilerinin özelliklerini (konumunu, uzunluğunu vb.) ve/veya kat çizgileri arasındaki ilişkileri değiştirerek yapım sürecini ilerletebilmektedir. Jackson'ın (2011) katlama yapımının temel dönüşüm operasyonlarından biri olarak gösterdiği katlanan malzemenin çerçevesini uzatmak veya çarpıtmak, bir varyasyon oluşturma örneğidir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Katlama izine uzatma ve çarpıtma operasyonlarının uygulanması.

Örneğin, üç tepe ve bir vadi katlamasından oluşan v-katlamasının varyasyonlarını oluşturmak için uygulanabilecek işlemlerin bazıları şunlardır (Şekil 3.18): katlama izini oluşturan simetri aksının yerini değiştirmek (a), simetriyi bozmak (b), katlama çizgilerinin yerlerini değiştirerek taşımak (c), katlama çizgisini yeni simetri aksı olarak kabul etmek (d), katlama çizgilerini simetri aksı boyunca çoğaltmak (e), katlama çizgilerinin açılarını değiştirmek (f), katlama çizgilerinin aralarındaki mesafeyi değiştirmek (g), simetri aksının açısını değiştirmek (h), yeni simetri aksları eklemek (i), katlama çizgilerinin ayna yansımasını alarak çoğaltmak (j).



Şekil 3.18: Varyasyon oluşturmak için daha fazla dönüştürme operasyonu.

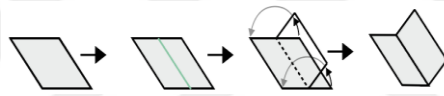
Bu bölümde incelenen analog eylemler, iki-boyutlu biçim düzleminde geometrik şekillerin oluşturulması ve dönüştürülmesi arasındaki diyaloga dayanmaktadır. Bir sonraki bölümde, dijital ortamda katlama eyleminin icra edilmesine yönelik geometrik operasyonlar incelenecektir.

3.2.1 Sayısal ortam ve araçları ile katlamak

Bu bölümde katlama eyleminin dijital bağlamda icra edilmesi için kullanılan operasyonlar, teknikler ve araçlar tartışılmaktadır.

Yüzey, et kalınlığı olmayan iki boyutlu bir alandır. Eğrisel veya düzlemsel, tek parçalı veya çok yüzlü, kapalı veya açık, standart veya non-standard olabilir. Yüzeyi, statik bir nesne veya dinamik bir alan olarak tanımlamak mümkündür. Noktalar çizgileri, çizgiler yüzeyleri, yüzeyler hacimleri oluşturmaktadır. Dijital ortamda yüzeyin temsil edilmesi için iki temel yaklaşım kullanılır. Birincisi, yüzey oluşturmak için hazır araçlar doğrudan kullanılır. İkincisi, nokta, çizgi, eğri gibi alt geometrik bileşen parçalar üzerinden tüme varan yaklaşım ile yüzey tariflenir.

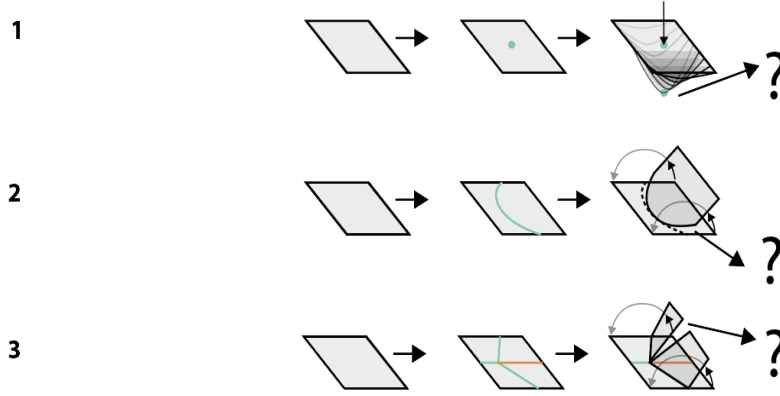
Bir yüzeyi dijital ortamda katlamak için önce yüzeyin kendisini oluşturduktan sonra (surface), yüzeyin üzerine katlanma aksını belirten bir çizgi çizer (line/curve) ve yüzeyi bu çizgi boyunca ikiye ayırdıktan sonra (split), ayrılan yüzey bölümlerini bu çizgi boyunca döndürebiliriz (rotate). Döndürmek gibi kaydırma/yer değiştirme, yansıtma/simetri alma geometrik dönüşüm işlemleri, rijid (Öklid) operasyonlarıdır. Bu operasyonlar, metrik alanda nesnenin uzunluğunu koruyarak yapılan isometrik dönüşümlerdir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Yüzey, yüzeyi alt parçalara ayıran çizgi, yüzeyin bir parçasını iki yüzeyi ayıran çizgi etrafında döndürmek.

Bir yüzeyi birbiriyle kesişmeyen paralel akslar boyunca katlamak, öklit dönüşüm operasyonları ile kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Ancak yüzeyi bir noktadan iterek katlamak (1), bir eğri boyunca döndürerek katlamak (2) veya birbiriyle kesişen katlanma aksları çevresinde yüzeyi katlamak (3) işlemlerini isometrik dönüşümlerle yapmak mümkün değildir. Daha doğrusu, fiziksel ortamdaki gibi hızlı ve az adımla gerçekleştirmek mümkün değildir. Örneğin, CAD ortamında bir yüzeyi bir noktadan itmek için, nokta veya eğri gibi alt parçalardan oluşan bir yüzey tanımlamak gerekmektedir. Dijital ortamda üç boyutlu modelleme için yaygın olarak kullanılan NURBS (non uniform b-splines) bir yüzeyi üzerinde yer alan bir noktadan ittiğimiz zaman, kâğıt gibi bir malzeme özelliğinin kısıtına sahip olmayan yüzey esneyerek uzamaktadır (Şekil 3.20-1). Fiziksel ortamda ise katlamak, esnemeyen bir malzemenin boyutsal özelliklerini değiştirmeden biçimsel konfigürasyonunu dönüştüren bir eylemdir. Noktasal katlamaya benzer şekilde eğrisel katlamayı öklit operasyonları ile gerçekleştirmeye çalıştığımızda da benzer bir problem ortaya çıkmaktadır.

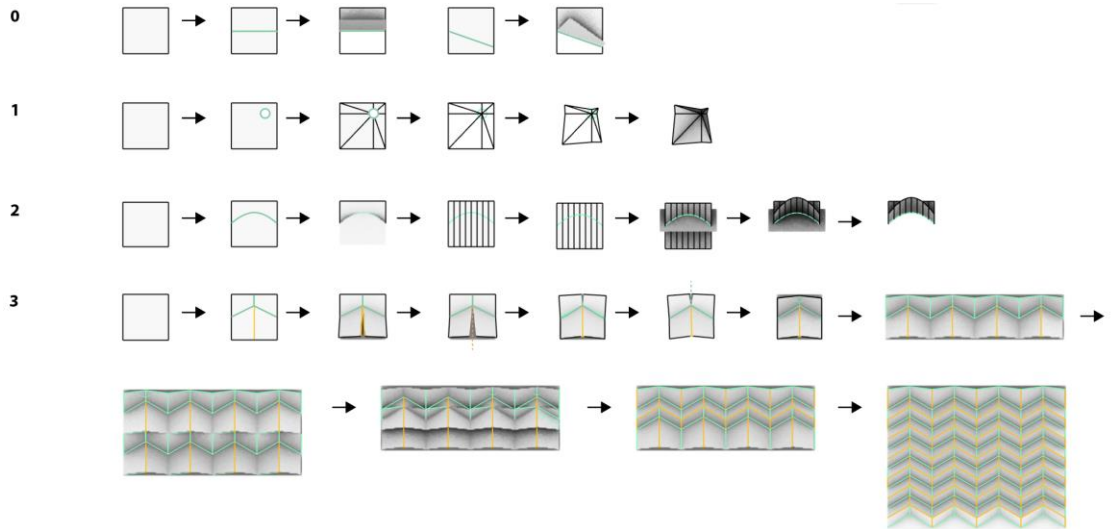
Yüzey üzerine katlanma aksı olarak kavisi sıfırdan farklı olan bir eğri çizmek, eğri üzerindeki her bir noktada yüzeyin dönme açısının farklılaştığı anlamında gelmektedir. Bu nedenle, yüzeyin katlanacak parçası eğri üzerindeki tek bir noktayı referans alarak döndürüldüğünde, yüzey parçaları arasında boşluk oluşmaktadır (Şekil 3.20-2). Fiziksel ortamda kağıdın bir parça alanı bir eğri etrafında katlandığında ise kâğıt yırtılmak yerine bükülmektedir. Birbiriyle kesişen iki farklı çizgi etrafında yer alan komşu iki yüzey parçasının her biri, bir eksen etrafında döndürüldüğünde ise iki yüzey parçası arasındaki mesafe açılmakta veya yüzeyler üst üste örtüşmektedir (Şekil 3.20-3). Fiziksel ortamda aynı katlama eylemini gerçekleştirildiğinde ise yüzey parçalarının birinin hareketi diğerini iterek veya çekerek yüzeyler birbirinden ayrılmadan eş zamanlı olarak birlikte yer değiştirerek katlanmaktadırlar. CAD ortamında ise öklit operasyonları ile bu yüzey parçalarını adım adım dönüştürmek mümkündür. Bu adımlar eş zamanlı olmayınca her bir yüzeyin konumunu belirlemek güçtür. Özetle, noktasal, eğrisel veya kesişen akslar etrafında yüzey katlama eylemlerini dijital ortamda gerçekleştirirken, öklit operasyonları yetersiz kalmakta; gerçekleştirildiğinde sonuçları fiziksel durum ile örtüşmemektedir.



Şekil 3.20: Noktasal ve eğrisel katlama eyleminin Öklid dönüşüm operasyonları ile denemesi.

Fiziksel duruma daha yakın bir sonuç elde etmek için eylem sonlandırılmadan daha fazla adım eklenerek rasyonalize edilebilir. Örneğin, bir NURBS yüzeyi bir noktadan aşağıya doğru itip uzattıktan sonra, bu yüzey alt parçalara bölünebilir. Böylece yüzey parçalarının kenarları ölçülebilir hale gelir. Yüzeyin boyut değiştirerek uzayan kenarları, eski uzunluğuna geri çekilip, yeni kenarlar kullanılarak yüzey tekrar oluşturulabilir (Şekil 3.21-1). Bu işlemler sonucunda elde edilen nesne, fiziksel ile örtüşen bir sonuç olmayacaktır ama gerçeğe daha yakın bir sonuç olacaktır.

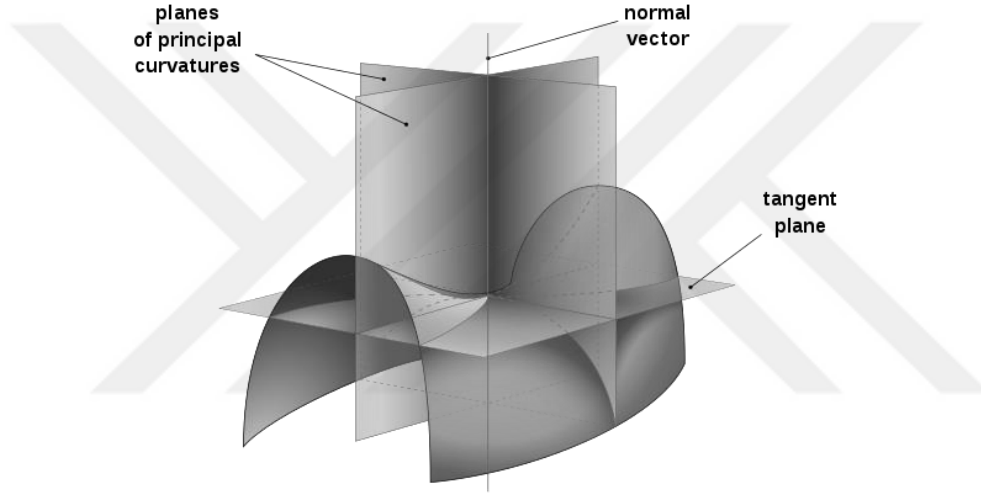
Benzer şekilde eğrisel katlama işlemi de fiziksel eylemden yapılan çıkarımlara dayalı olarak rasyonalize edilebilir. Örneğin, kâğıt gibi düzlemsel malzemeyi bir eğri etrafında katladığımızda kâğıt bükülerek katlanmaktadır. O zaman CAD ortamında düz bir yüzey çizmek yerine bükülmüş bir yüzey çizilebilir. Daha sonra Mitani ve Igarashi (2011)'in önerdiği gibi bükülmüş yüzeyi eğrisel kesen bir düzlem üretilip eğrisel yüzey iki parçaya bölünebilir. Bükülmüş yüzeyi kesen düzlemi kullanarak bölünen parçalardan birinin ayna yansımasını almak, eğrisel katlamaya benzer bir eylemi simüle eder (Şekil 3.21-2). Bu işlemler dizisi ile ortaya çıkan nesne de gerçekte birebir örtüşmez. Bir yüzeyin, birbiriyle kesişen birden fazla çizgi etrafında nasıl katlanacağı hesaplamak da oldukça karmaşık bir problem ortaya koyabilir (Şekil 72-3). Örneğin bir v-katlama örüntüsü ile birbirine komşu dört yüzeyin katlanınca hangi konumda olacağını belirlemek için yüzeyler tek tek katlanma aksı etrafında döndürülüp sonra yüzeyler arasında kalan boşlukları kapatmak için yüzeyler boşluğun ortasından geçen bir aksa yaslanacak şekilde tekrar döndürülüp birleştirilerek final yüzey konfigürasyonu bulunabilir (Şekil 3.21-3). Elde edilen katlanmış yüzey konfigürasyonu, yan yana taşınarak çoğaltılabilir. Alt alta taşındığında ise yüzeyler arasında boşluklar kalır. İki yüzeyin nasıl biraraya geleceğini hesaplamak için iki yüzey parçası üst üste örtüştürülüp, birbirine geçtiği kenarlardan tıraşlanabilir.



Şekil 3.21: Noktasal ve eğrisel katlama eyleminin Öklid dönüşüm operasyonları ile denemesi.

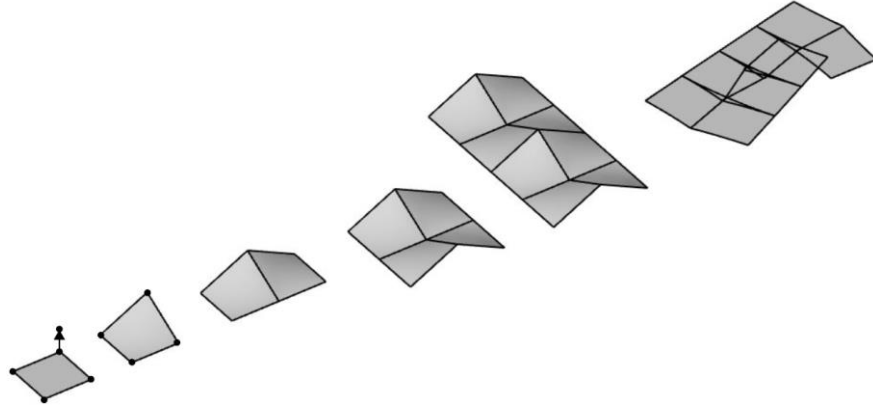
Özetle, dijital ortamda belirli kurallar ve yönergeler olmadan dijital eylemler ile katlamak hızlı ve kolayca gerçekleştirilememektedir. Deneme yanılma ile sonuca varmak için daha fazla zaman ve daha fazla işlem gerekmektedir.

İki boyutlu düzlemden başlayarak katlamak yerine dijital ortamda direkt üç boyutlu katlanmış yüzeyler modellemek de mümkündür. Ancak üç boyutlu modelleme ortamında farklı açısall yönelimlerle kenar kenara eklenmiş her çok-yüzlü form (polygon) veya serbetçe çizilen her eğrisel yüzey formu katlanmış kâğıt geometrisine sahip değildir. Katlanmış geometriye sahip olmayan formlar, kâğıt yüzeyler gibi esnemedi ve yırtılmadan düz bir zemine açılmazlar. Bunun sebebi yüzey geometrisinin iki ana aksı boyunca farklı eğriliğe sahip olmasıdır. Gaus analizi, yüzeyin iki aks boyunca eğriliğini tespit ederek açılabilir veya açılmaz olduğunu belirtmekte kullanılan bir tekniktir (Şekil 3.22).



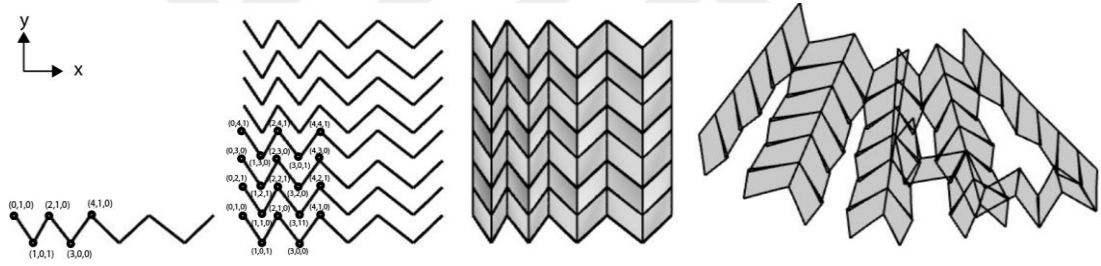
Şekil 3.22: Düzlemsel yüzeylere açılmayan çift eğrilikli bir yüzeyin iki zıt yöndeki eğrisel değerinin çarpımı gaus analizine göre pozitif veya negatif bir değerdir. Düzleme açılabilir yüzeylerin gauss değeri ise sıfırdır.

Kâğıt yüzeyler esnemez özellikte olduğu için üç boyutlu bir uzayda katlanarak veya bükülerek oluşan yüzey konfigürasyonu ile düzlemsel zemine serilmiş yüzey konfigürasyonun alanı eş ölçülere sahiptir. Metrik ölçülerini koruyarak bir yüzeyin farklı bir yüzey konfigürasyonuna dönüşümü matematik alanında izo-metrik (eş-ölçülü) dönüşümler olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda katlamak bir izometrik dönüşüm operasyonudur. Üç boyutlu modelleme ortamında eğrilere dayalı olarak modellenen bir yüzeyin kontrol noktası hareket ettirildiğinde ise yüzey elastik bir membran gibi mevcut boyutlarını korumadan uzamakta veya kısalmaktadır. Üç boyutlu uzay boşluğuna dört adet nokta yerleştirdikten sonra noktalardan oluşturduğumuz her yüzeyin düzlemsel veya düz bir zemine açılabilir bir yüzey olduğunu söylemek mümkün değildir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23: Düzleme açılmayan çift eğrilikli yüzey.

Üç boyutlu modelleme ortamında zigzag şeklinde dikey eksende yükselen ve alçalan farklı yükseklikte profil eğrilerinin arasını süpüren bir yüzey oluşturulduğu zaman, modellenen yüzeyin kâğıt gibi esnmeden düzleme açılabilir yüzeyler olmadığı görülebilir. Düzleme açıldığı zaman yüzey parçalanır (Şekil 3.24).

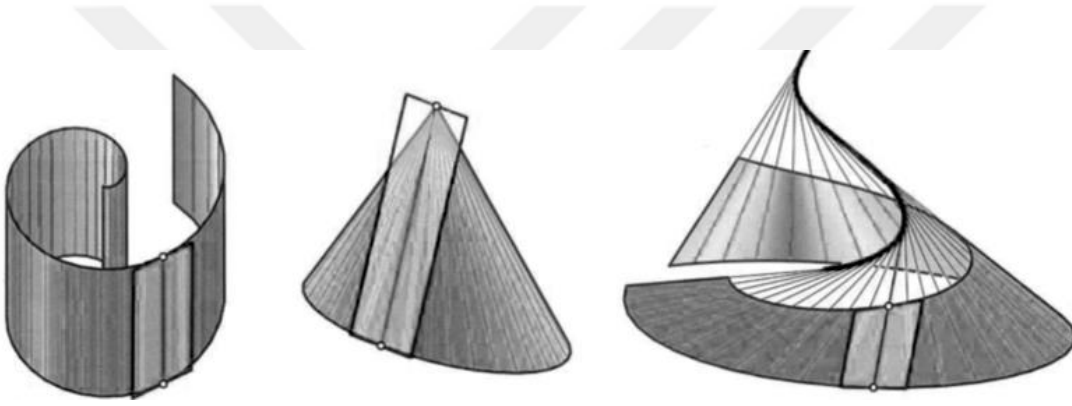


Şekil 3.24: Düzleme açılmayan çift eğrilikli yüzey.

Bir tasarımın nasıl modellendiği ve tasarımın çeşitli aşamalarına ait bilginin nasıl temsil edildiği tasarımın nasıl üretileceğini etkilemektedir. Dijital ortamda geliştirilen eğrisel yüzeyler üretime uygun bir geometriye sahip olamayabilmektedir. Digital ortamda tasarlanan modelin lazer kesici gibi bilgisayar kontrollü üretim araçlarına gönderilmesi için yaygın olarak düzlemsel yüzeyler haline getirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Levha malzemelerin geometrisi, düzleme açılabilir yüzeyler (developable surface) olarak isimlendirilen geometrik şekiller ve kurallar ile ifade edilmektedir. Düzleme açılabilir yüzeyler (developable surface), esnmeden veya parçalanmadan düzleme açılmaktadır. Katlanarak tasarlanmış bir model her zaman düzlemsel yüzeye açılabilir ve böylece üretime uygun geometriler üretmektedir.

Bilgisayar ortamında üç boyutlu katlanmış yüzeyleri modellemek için belirli geometrik kurallar hakkında ön bilgi sahibi olmak gereklidir.

Üç boyutlu formların düz bir zemine açılabilir olması için ya üçgensel yüzeyler gibi düzlemsel yüzeyler, ya koni ve silindir yüzeyleri gibi tek bir üretici çizginin üç boyutlu uzayda yer alan eğrisel bir rota boyunca alanı süpürerek oluşturduğu yüzeyler kullanılmaktadır (Şekil 3.25). Bu yüzeyler, rotanın eğrisel yönelimine göre rota boyunca tekrarlayan doğrusal çizgilerden oluştuğu için kurallı yüzeyler (ruled surface) kategorisi altında yer almaktadır (Pottmann, 2007:535). Kurallı yüzeyler, yüzey kuralları olarak düz çizgilerin ardarda hizalı olarak dizilmesi ile oluşturulduğu için yapım aşamasında betonarme çelik çubuklarının dizilimini tanımlamak gibi pratik avantajlara sahiptir. Kâğıt yüzeyler ise kurallı yüzeylerin bir alt kategorisidir. Kâğıt yüzey geometrisinde yüzey kuralları olarak hizalanan dik çizgiler takip ettikleri rota boyunca rota ile açısal ilişkisini değiştirmeden tekrar ederler.



Şekil 3.25: Tek bir üretici çizgi (generatrix) eğrisel bir rota (directrix) boyunca alanı süpürerek düzleme açılabilir yüzey oluşturur.

Özet olarak katı modelleme, ağ modelleme veya NURBS eğrilerine dayalı modelleme ortamları kâğıt malzeme gibi fizikselliğe ait kısıtlar içermediği için öklid dönüşüm operasyonları veya eğrisel yüzey operasyonları kullanıldığında kâğıt geometrisi ile örtüşmeyen katlanmış gibi görünen yüzeylerin ortaya çıkması olasıdır. Çok parçalı yüzlerden oluşan katlanmış geometrileri oluştururken yüzeylerin örtüşmemesi veya çakışması gibi durumlar da ortaya çıkabilmektedir.

Algoritmalar, tümevarım, tümdengelim, soyutlama, genelleme ve yapısal bir mantık içeren, herhangi bir sürecin sonlu sayıda adıma indirgenmesidir (Terzidis, 2003). Ayrıca, sürecin başında uygulanan bir tasarım adımını çeşitli kurallar ile dönüştürerek ve döngülerle çoğaltarak da algoritmik olarak bir süreç kurgulanabilir.

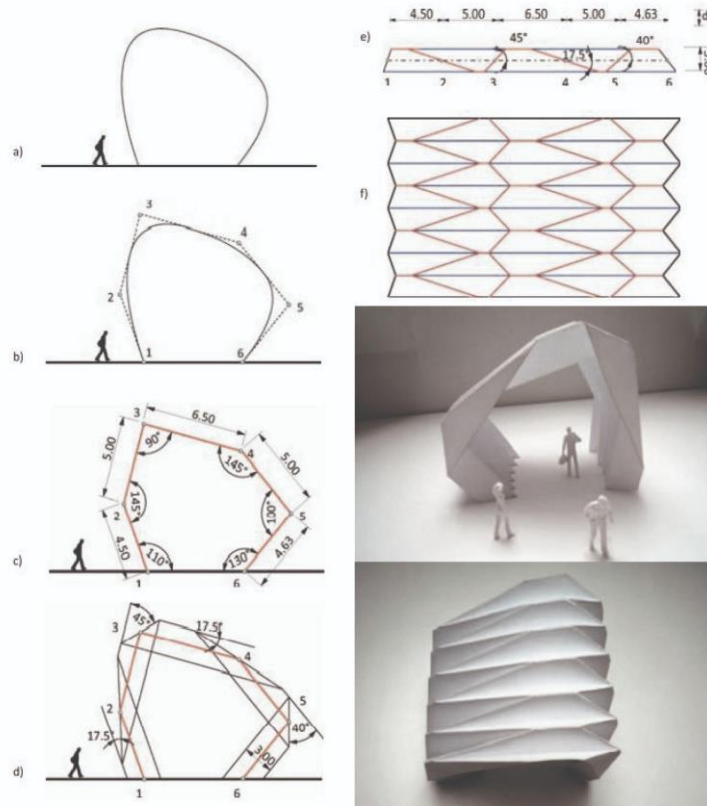
Değişkenler, sabitler, parametreler, bunların arasında tanımlanan ilişkiler, tekrarlar ve döngüler barındıran algoritmalar bir teknikten çok, kendi dağarcığını içeren bir düşünme biçimidir. Tasarım sürecinin yönergeler ve dolayısıyla algoritmalar ile temsilini Vitruvius'a kadar geri götüren tartışmalar olsa da (Cache, 2014), günümüzde algoritmaları yapay sistemler ile doğal diller arasındaki iletişimde bir köprü arayışı olarak kabul etmek olanaklıdır. Tasarım sürecinde algoritmalar; tasarımcı-tasarım modeli, tasarımcı-tasarım süreci, biçim-bağlam, biçimin nasıl organize olduğunu etkilemekte ve dönüştürmektedir (Alaçam vd., 2018).

Katlama eyleminin adım adım tüme varan bir süreç içerisinde uygulanması veya bir formun nasıl katlanacağını aktarımı da algoritmik süreçler olarak kabul edilebilir. Bu bölümde katlama eylemi ile algoritmik tekniklerin ara kesitindeki çalışmalar sunulacaktır. Bu ara kesitte, bir katlama deseni çizmek, bir deseni katlamak, bir yüzeyi ardışık işlemler ile katlamak veya üç boyutlu bir formu düzlemsel parçalar olarak açmak için çalışmalar yer almaktadır.

Katlama algoritmik süreçler üzerinden prosedürel olarak temsil edilebilir. Yaygın olarak, biçim arayışı, benzetim, optimizasyon gibi yöntemlerle tasarım bağlamına özgü problemler kurulmaktadır. Dijital fabrikasyona yönelik ise katlamanın başlıca kullanım yöntemlerinden birisi üç boyutlu formu düzleme açmaktır. Üç boyutlu formu düzleme açmak için bir algoritmik süreç farklı yollarla kurgulanır. Algoritmik süreçler, üç boyutlu formun çeşitli geometrik biçimlerde panellenmesi, üç boyutlu yüzey formun alt parçalarının eğrisel veya düzlemsel panellerden oluşması, iki boyutlu düzleme açılmış formun çok sayıda parçalar veya tek bir desen olmasını hesaplar. Örneğin Stavric ve diğerleri (2013) üç boyutlu bir formun geometrik kesitini diamond pattern isimli katlama tekniği ile nasıl üretileceğini hesaplayan algoritmik süreci paylaşmaktadır (Şekil 3.26).

Kağıt düzlemlerinin bir parçasının yönelimini değiştirmekle gerçekleşen fiziksel katlama eylemleri, kağıt üzerinde tepe ve vadi eğriliklerinden oluşan iki boyutlu bir desen oluşturmaktadır. Katlama desenleri, noktalar, çizgiler ve çizgiler arası düzlemlerden oluşan geometrik örüntülerdir. İki çeşit katlama deseni vardır. Katlandığında tamamen üst üste oturup düzlemsel olarak paketlenenir olan veya olmayanlar. Paketlenenir (flat-foldable) desenler olan Miura, Resch teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

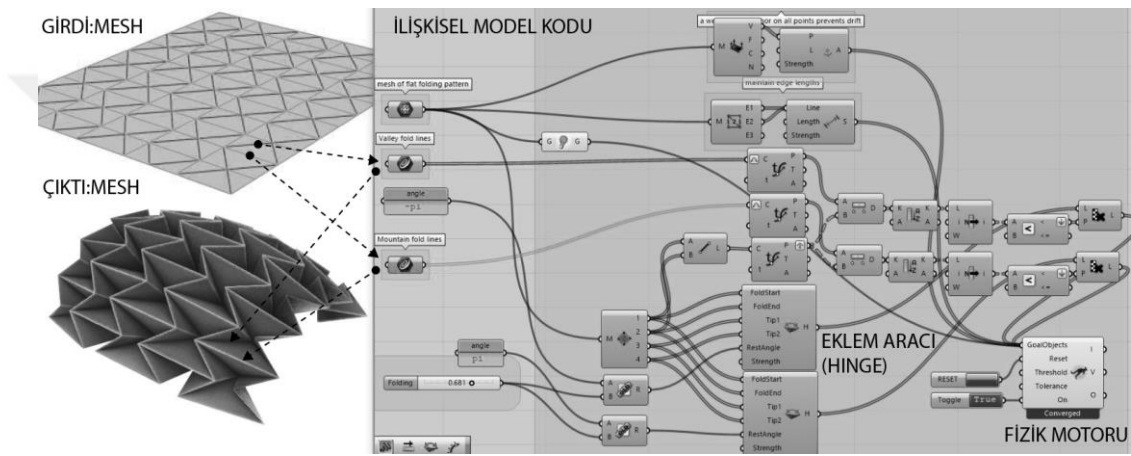
Paketlenebilir olmayan desenler ise belirli bir dereceye kadar düzlemlerin yön değiştirip birbirine kilitlenmesiyle düzlemlerin üç boyutlu form almasına izin verebilmektedir.



Şekil 3.26: Formun ‘diamond pattern’ olarak nasıl açılacağını tarif eden algoritmik süreç (Stavric vd., 2013).

Katlama eylemini fiziksel ortamda gerçekleştirmek dijital ortama göre daha kolay ve pratiktir. Fiziksel ortamda tasarımcı sezgisel olarak hareket edip katlama eylemini hızlıca uygulayabilmektedir. Elin kağıda uyguladığı kuvvetle yüzey parçaları farklı yönlerde doğru birbirleriyle ilişkili olarak eş zamanlı hareket etmektedir. Dijital ortamda ise yüzey parçaları ya ayrı elemanlar olarak modellenmektedir ya da tek bir yüzey çok-yüzlü alt parçalara ayrılmaktadır. İlişkisel ve parametrik modelleme ortamında ise fiziksel ortamda olduğu gibi katlanan yüzey parçalarını birlikte hareket eden parçalar olarak tarif etmek mümkündür. Parçaların birlikte hareket etmesi için hareketin nasıl olduğunu tarif etmek ve parçaların boyutlarının uzayıp esnememesi için kurallar tanımlamak gereklidir. Katlama eylemlerini dijital ortamda simüle etmek için Rhinoceros modelleme yazılımı içinde ilişkisel ve parametrik tarifler ile modelleme yapmak için kullanılan Grasshopper isimli program altında geliştirilmiş Kangaroo isimli interaktif fizik motoru kullanılmaktadır.

Kangaroo fizik motoru altında farklı fiziksel davranışlar, kod grupları olarak tanımlanıp araç haline getirilmiştir. Bu kod gruplarından biri olan mafsal (hinge) isimli araç, mafsal veya eklemler oluşturmak için kullanılabilir. Mafsal ya da Eklem, hareket eden iki parçanın hareket edebilme özelliklerini kaybetmeden birbirine bağlanmasını sağlayan mekanik sistemdir. Modelleme ortamında manuel olarak veya parametrik olarak tanımlanan iki-boyutlu ağ geometrisi (mesh) ile birlikte ağ üzerindeki katlanma akslarının vadi ve tepe olmak üzere iki farklı yönden hangisi olarak çalışacağı hinge aracına girdi olarak verilmektedir (Şekil 3.27). Kangaroo fizik motoru geometrinin eklemlerden katlanmasını eş zamanlı olarak simüle etmektedir.

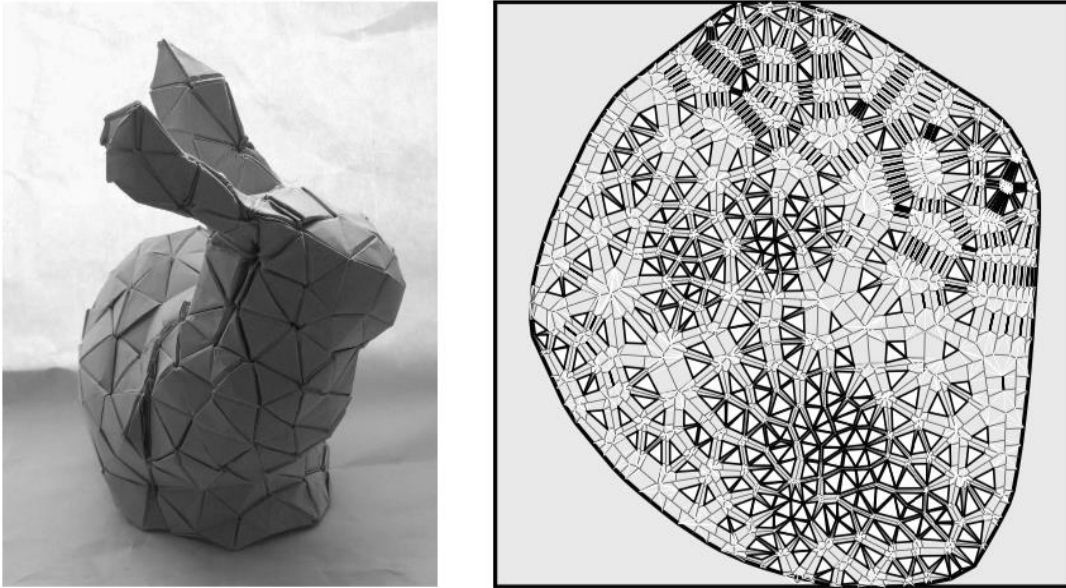


Şekil 3.27: İlişkisel modelleme ortamında katlama eyleminin simülasyonu.

Kangaroo fizik motoru, iki-boyutlu katlama deseni ve üç boyutlu katlanmış model arasında hızlı gidiş gelişler yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. Ancak program kullanıcılarının iletişim ağı olan forumlar, öğretici video paylaşım siteleri gibi dijital platformlarda ve stüdyo çalışmalarında görüldüğü üzere, araç genellikle var olan desenlerden hızlı bir şekilde üç boyutlu katlanmış geometriler üretmek için kullanılmaktadır. Kullanıcı yeni katlama desenleri veya var olan desenleri geliştirmek istediğinde araç üzerinde yeterli hâkimiyeti kuramamaktadır. Bu kısıtlamanın bir sebebi, kullanıcının hazır bir katlama desenini aldığı zaman desenin parça-bütün ilişkisine hâkim olmamasıdır. Desenin parçaları ve bütünü arasında kurulan ilişki örüntüsü tasarımcıların aşına olmadığı bir soyutlama düzeyine sahiptir. Ağ geometrisine sahip bir desenin düzeni değiştirilebildiği durumda ise yeni desenin katlanabilir olup olmadığını kavramak için de tasarımcının katlama kinematikini iyi kavramış olması önemlidir. Üç boyutlu ortamda desen katlanamadığı için program hata verebilmektedir.

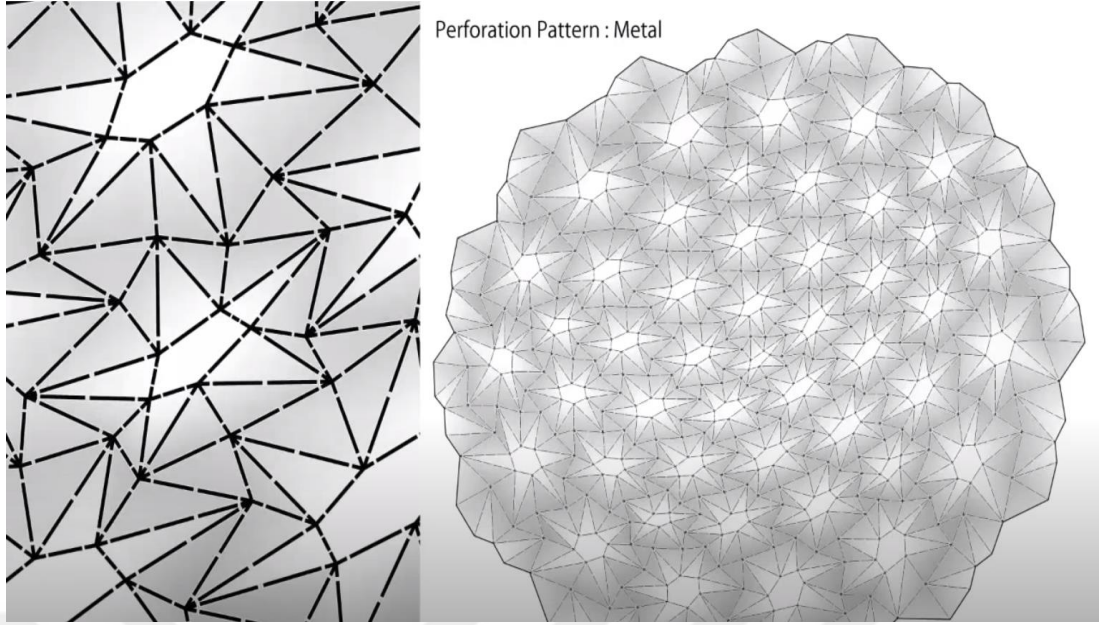
Bu gibi denemeleri fiziksel malzemeler ile yapıldığı takdirde ise tasarımcı malzemeden geri bildirim aldığı için sorunun nerede olduğunu daha hızlı ve kolay bir şekilde çözebilmektedir.

Katlama uygulamalarını bilgisayar ortamında gerçekleştirmek için bugüne kadar birçok farklı yazılım üretilmiştir. Bu yazılımlar, düzlemsel yüzeylerin katlama desenleri ile üç boyutlu simülasyonlarını üretmek veya üç boyutlu formların iki-boyutlu düzlemlerden nasıl katlanabileceğini hesaplamak amaçlı geliştirilmiştir. Mimar, origami sanatçısı ve araştırmacısı Tomohiro Tachi'nin bilgisayar bilimleri profesörü Eric Demaine ile birlikte geliştirdiği Origamizer isimli dijital araç, herhangi bir üç boyutlu formun katlanarak nasıl üretileceğini hesaplamaktadır (Şekil 3.28). Üç boyutlu bir formu katlayarak üretmenin birden çok yolu vardır. Tachi ve Demain Voronoi diyagramı ile yüzey bölmelendirmesini hesaplayarak minimum adımla üç-boyutlu geometriyi katlayarak üretecek bir algoritma önermişlerdir (Hardesti, 2017). Kullanıcıların istediği formu katlayarak üretebilmesi için, çok yüzlü ağ geometrisine sahip üç boyutlu bir form dijital araca girdi olarak verilmektedir. Araç, iki boyutlu yüzey katlama çizgilerinden oluşan katlama desenini çıkarmaktadır.



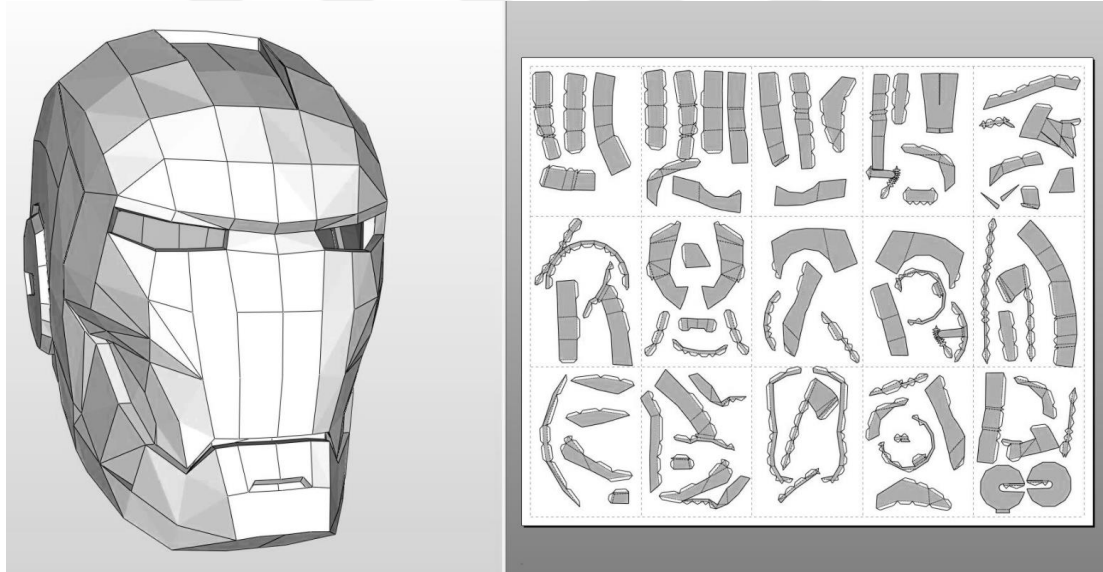
Şekil 3.28: Origamizer (Demaine ve Tachi, 2017).

Tachi'nin geliştirdiği Freeform Origami isimli başka bir yazılım da üç boyutlu geometriyi yazarın belirlediği farklı katlama desenleri ile düzenlemeyi ve iki boyutlu düzleme açarak üç boyutlu formun üretim dosyasını oluşturmayı sağlamaktadır (Şekil 3.29).



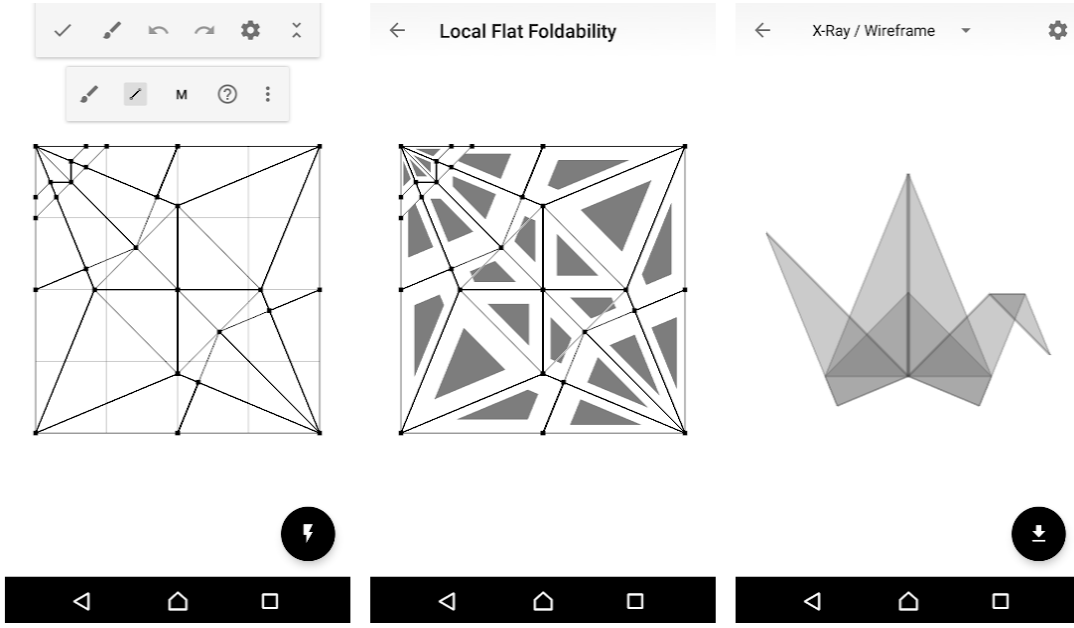
Şekil 3.29: Freeform Origami (Tachi, 2013).

Pepakura isimli bir diğer yazılım da üç boyutlu geometriyi çok sayıda katlanabilir düzlemsel parçalara ayırmaktadır (Şekil 3.30).



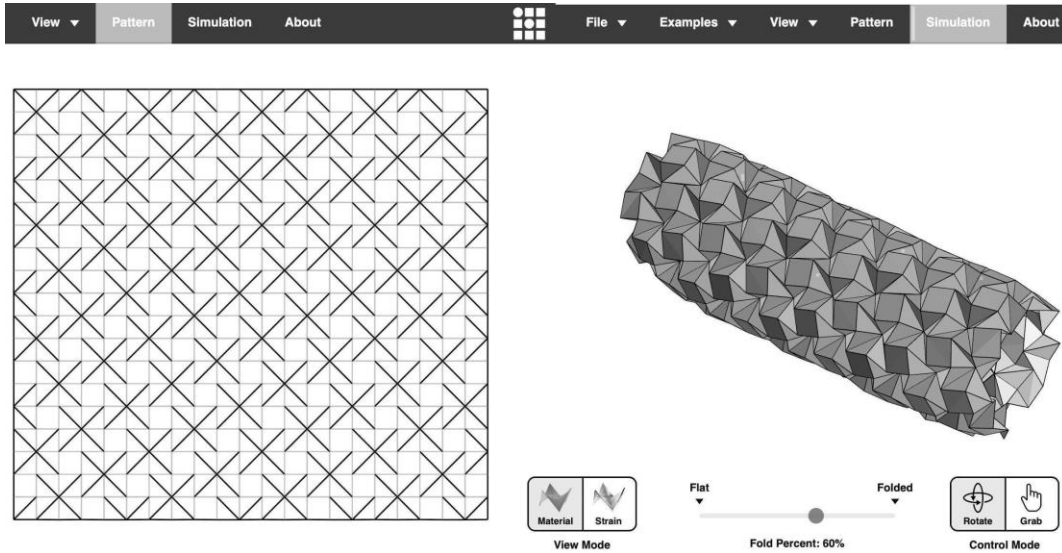
Şekil 3.30: Pepakura (URL-46).

İki boyutlu katlama desenlerinden üç boyutlu katlanmış formlar üreten birçok farklı yazılım da mevcuttur. Mitani'nin geliştirdiği Oripa isimli yazılım ile iki boyutlu bir katlama deseni çizdikten sonra program desenin üç boyutlu katlanmış halini hesaplamaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31: Oripa (URL-47).

Ghassaei ve diğerlerinin web ortamında kullanıma sunduğu Origami simulator programı ise kullanıcının talimatlara uygun olarak hazırladığı ve siteye yüklediği iki boyutlu katlama desenlerinin web ortamında simulasyonunu sağlamaktadır (Şekil 3.32). Ancak üç boyutlu geometrinin kaydedilip kullanıcıya aktarılması seçeneğini sunmamaktadır.

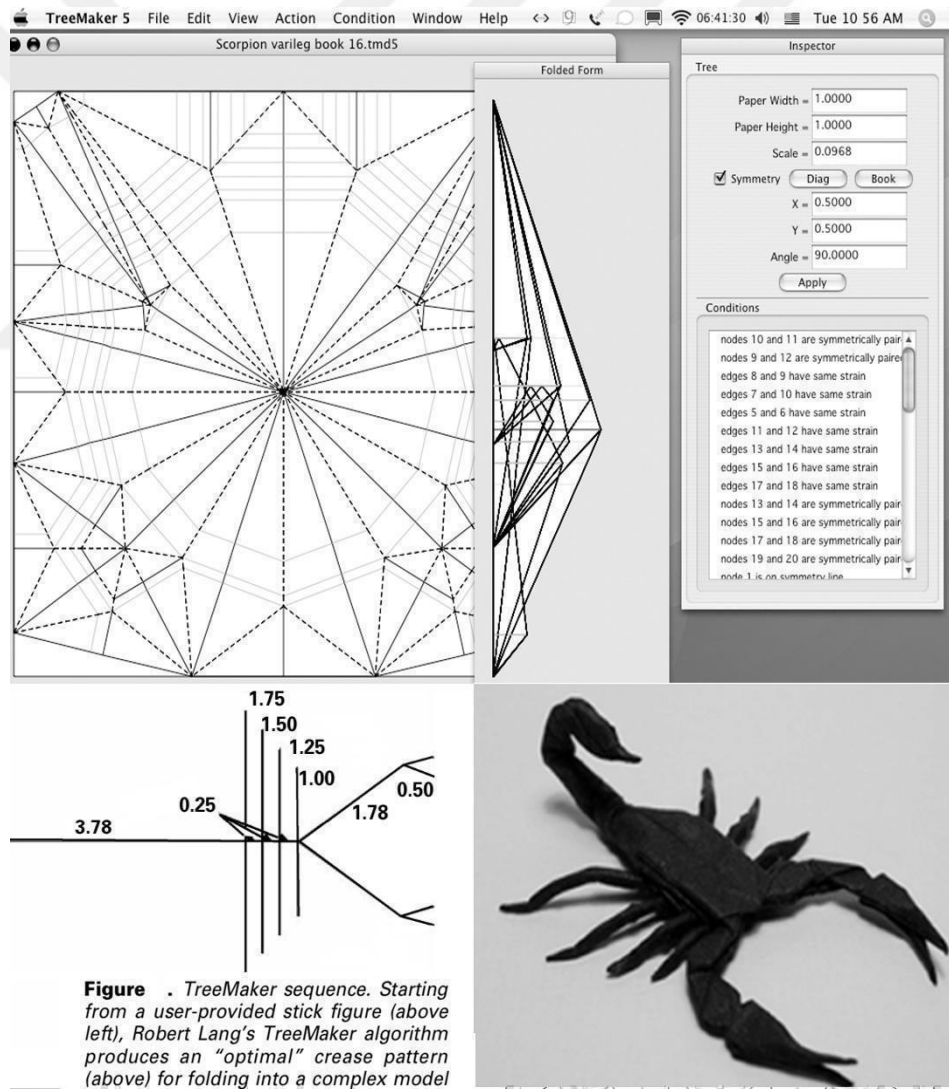


Şekil 3.32: Origami simulator (Ghassaei, Demaine, Gershenfeld, 2018).

Oripa ve Ghassaei'nin geliştirdiği yazılımlara girdi olarak yeni bir iki boyutlu desen verilmesi için kullanıcının iki boyutlu desen ve üç boyutlu katlanmış form hakkında

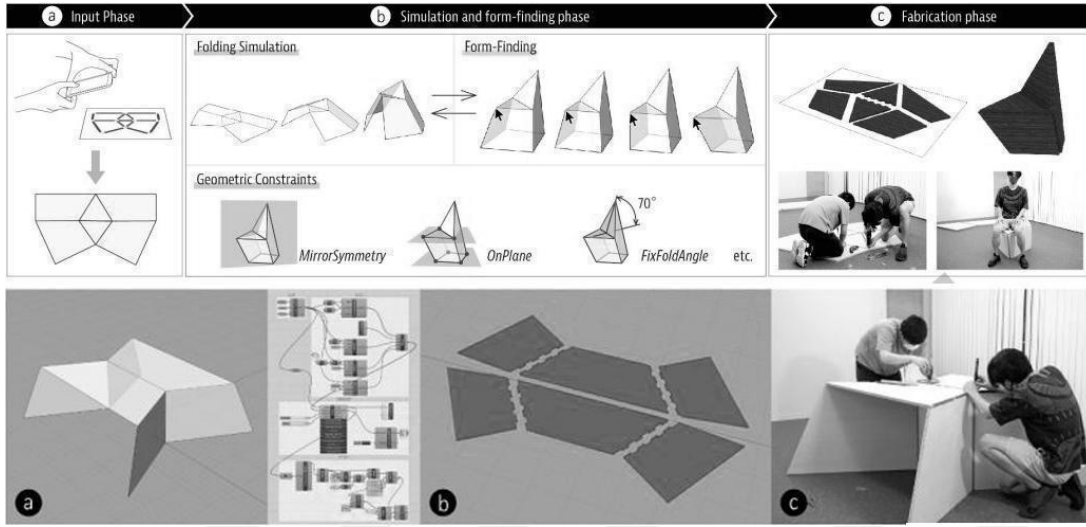
ön deneyim sahibi olması gereklidir. Bu durumda bu yazılımlar kullanıcının yeni üretim keşifleri yapması için değil var olan desenleri incelemesi ve keşfetmesi için yardımcı araçlar olarak değerlendirilebilir.

İki boyutlu desenler ve katlanmış formlar arasındaki ilişkiyi hesaplamak üzerine çalışan öncü isimlerden birisi de Robert Lang'dır. Robert Lang'ın geliştirdiği Tree Maker isimli bilgisayar programı, zihinde kurgulanan üç boyutlu bir formun nasıl katlanacağını hesaplamaktadır. Program kullanıcıdan katlamak istediği formu çizgilerden oluşan bir ağaç diyagramı şeklinde tarif etmesini istemektedir. Programın algoritması, ağaç diyagramı şeklinde soyutlanan bir formun kare şeklinde bir kâğıttan en optimal şekilde katlanarak oluşturulmasını sağlayacak katlama desenini bulmaktadır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33: Tree maker (Cipra, 2001).

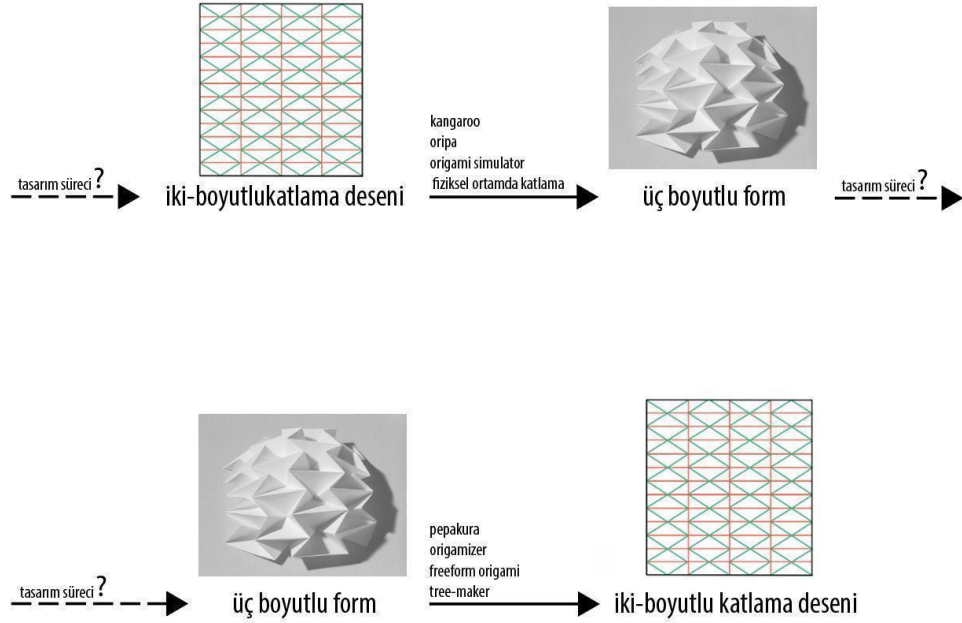
Suto ve diğerlerinin (2022) geliştirdiği Crane isimli araç ise tasarımcının programa verdiği iki boyutlu katlama desenini katlayarak üç boyutlu haline dönüştüren simülasyon ile desenin fiziksel üretilebilirliğini hesaplamakta, yaptığı hesaplama göre tasarımcının girdiği iki boyutlu deseni iyileştirerek yeni bir desen önermekte ve bu desenin sağladığı üç boyutlu tasarım formunun istenilen kalınlıkta plakalardan seçilen birleşim yöntemleri ile üretilebilmesi için dosyalar oluşturmaktadır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34: Crane (Suto vd., 2022).

Bugüne kadar geliştirilmiş çok sayıda dijital araç yüzeyin nasıl katlanacağını hesaplayarak, iki-boyutlu yüzeyler üzerindeki katlama desenlerini üç boyutlu formlara dönüştürmekte veya üç boyutlu formları üretim için çok-yüzlü geometrilere dönüştürüp çok sayıda yan yana yüzeyden oluşan geometriden iki-boyutlu düzlem üzerine açılmış bir katlama deseni çıkarmaktadır. Bu araçlar üretim için kullanılmakta ancak tasarım sürecine katkısı kısıtlı kalmaktadır. Tasarımcı genellikle aracın iç dinamikleri hakkında yeterli bilgi sahibi olmadığı için sürece müdahalesi kısıtlıdır. Mevcut katlama desenlerini kullanan tasarımcı, desenin arka planında yatan parça-bütün ilişkilerini sorgulamadığı için katlama desenini tasarım bağlamına adapte etmek istediğinde desen üzerinde kontrolü sağlayamamaktadır. Bu nedenle, yaratıcı tasarım süreci aracın devreye girdiği zamanın ya öncesinde ya da sonrasında gerçekleşmektedir. Öncesinde gerçekleştiği durumda tasarımcı analog yöntemlerle kendi katlama desenini bağlama dayalı olarak geliştirmektedir.

Sonrasında ise test edilen mevcut katlama deseninin malzemeyle ve üretim teknikleriyle ilişkisi üzerinden tasarımın farklı yanlarına dair keşifler sürece katılabilmektedir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Mevcut dijital araçların katlama sürecinde kullanımı.

Bir önceki bölüme tekrar bakıldığında, tasarım bağlamında katlamanın üç farklı alanda ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Katlamak, kuramsal bir yapı, formel bir strateji, fiziksel bir eylemdir. Katlamanın, fikirler, biçimler, malzemeler üzerinden tariflenen üç farklı eylemselliği özünde tasarlama süreci içerisindeki aktivitelere de referans vermektedir. Düşünsel bir operasyon olarak katlamak, ele alınan tasarım fikrini dışarıdan gelecek farklı tasarım girdileri ile ilişkilendirmeye açık bir şekilde tarifleyen operasyonel fonksiyonları ile dönüştürmekte; biçimsel bir operasyon olarak katlamak uzay boşluğunda farklı konumda, farklı yönelimde, farklı şekilde parçaları bir araya getirip ilişkilendirerek bir form ortaya koymakta; malzeme operasyonu olarak ise malzemeyi dönüştürerek yeni bir malzeme konfigürasyonu üretmektedir (Şekil 3.36).

KATLAMAK --- KATLAYARAK TASARLAMAK

	AKTÖRLER	AKTİVİTELER	ORTAMLAR	ARAÇLAR
fiziksel bir eylem	malzeme	operasyonu	- yapmak	fiziksel
formel bir strateji	biçim	temsil etmek	dijital	ilişkisel model
kuramsal bir yapı	fikir	tasarlamak	zihinsel	tasarım

Şekil 3.36. Üç düzlemde katlamak.

Katlamanın bahsedilen üç farklı boyutu erken tasarım sürecinde tasarlanan nesnenin kapasitesini ve potansiyelini arttırmak ve tasarım uzamını genişletmek için uygulanabilecek birbiri içine geçmiş stratejilerdir. Bu stratejilerin nasıl birlikte ele alınışı örtük bir sürece dayalı olduğu için üzerinde konuşulması zordur; nasıl birlikte ele alınabileceği dışsallaştırılmamıştır. Bir tasarlama sürecinde katlama eylemi en gerçek anlamıyla fiziksel bir malzeme operasyonu olarak icra edildiği zaman, katlama yapmak aynı zamanda hem farklı yüzey parçalarını farklı konfigürasyonlar halinde konumlandıran bir formel strateji hem de farklı fikirleri ve tasarım girdilerini dönüştüren ve/veya ilişkilendiren bir düşünme aracı olabilmektedir. Bu durumda, fiziksel yapım eylemi, formel ilişkiler ve tasarım fikri diyalog halinde birbirini beslemektedir.

Katlama operasyonun bahsedilen üç düzlemde gerçek anlamda bir malzeme tekniği üzerinde nasıl vuku bulduğunu tartışabilmek için öncelikle fiziksel ve dijital mecralarda analog ve hesaplamalı katlama eyleminin nasıl uygulandığına ve süreç bileşenlerinin nasıl tarif ve temsil edildiğine bakılmıştır.

Genellikle bir malzeme operasyonu olarak katlama uygulamalarının paylaşımı bitmiş bir ürünün yapımının anlatımına yönelik olduğu gözlemlenmiştir. Yeni bir katlama deseninin tasarımı veya tasarım sürecini bilgilendiren tasarım girdilerine ait paylaşımlara rastlanmamıştır. Yoshimura, Resch gibi yaygın olan katlama örüntülerinin, hareketli sistemler oluşturmak, yüzey alanını arttırarak ısı, ışık iletimini arttırmak, yüzeye dayanım kazandırmak gibi sağladığı performatif nitelikler nedeniyle farklı ölçeklerin gerektirdiği farklı malzeme seçimleriyle çok sayıda mühendislik ve tasarım probleminin çözümünde kullanıldığı görülmüştür.

Katlama teknikleri yaygın olarak iki boyutlu düzlemde katlama izlerinden oluşan örüntüler olarak paylaşılmakta ve ardışık eylem adımları ile tarif edilmektedir. Gerek katlama desenleri ve adımlarının tarifi, gerek katlama tekniğinin kullanımını destekleyen mevcut dijital araçlar, seçilmiş belirli katlama desenlerine kullanıcının kısıtlı bir şekilde müdahale edebildiği uygulamalar olarak değerlendirilmiştir.

Tasarım sürecinde bir malzeme operasyonu olarak katlamanın keşif ve tasarım uzamı genişletme amacıyla kullanımına dair stratejilerin bazıları ise Paul Jackson (2011)'in kitabında bulunmuştur. Bu stratejiler düzlemsel yüzeyi çeşitli akslara ve gridlere bölmek; referans çizgileri kullanmak; uygulanan eyleme ait iki boyutlu deseni karolar

halinde kopyalayarak, kaydırarak veya simetrik tekrarlar ile çoğaltmak; eylemi ifade eden kat izlerinin özelliklerini ve kat izleri arasındaki ilişkileri değiştirerek çeşitlendirmek olarak sıralanabilir.

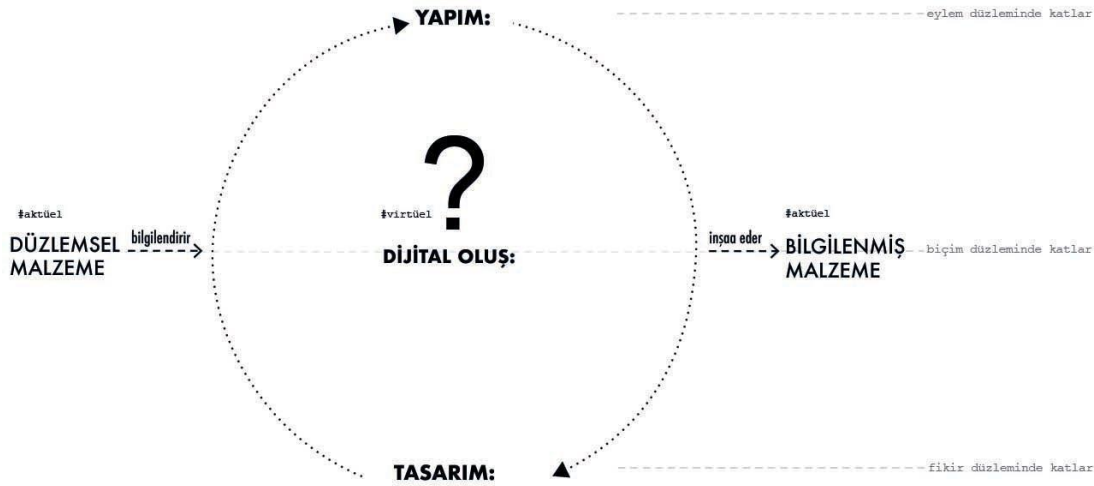
Bahsedilen stratejiler genellikle iki boyutlu kat izleri üzerinden açıklanmıştır. Burada önemli bulunan nokta fiziksel bir eylemi, eylemi oluşturan geometrik elemanlar ve elemanlar arasında ilişkiler üzerinden tarif etmek, tarif edilen geometrik ilişkileri değiştirmek ve çoğaltmak olmuştur. Böyle bir tarifi hem malzeme üzerine uygulanan eylemi, hem de eylem sonrasında oluşan malzeme konfigürasyonu üzerinden tespit edilen tasarım fikirlerini dinamik bir şekilde kavrayışı sağlayarak tasarım uzamını zenginleştireceği savunulmaktadır.

Katlamanın fikir, biçim, malzeme düzleminde karşılıklı diyalog halinde tasarım oluş sürecinin potansiyelini nasıl arttıracığına dair bir protokol önerisi bir sonraki bölümde açıklanacaktır. Ayrıca bu protokol, sayısal küçük bir bağlamdan başlayarak kapsamlı ve esnek bir hesaplamalı çerçevenin/teknikğin geliştirildiği örnekleri irdellemek için kullanılacaktır.

3.2 İlişkisel Modellerle Tasarlamanın Bir Yordamı Olarak Katlamak

Bu bölümde, geometrik karmaşıklığı nedeniyle el ile üretimi ekonomik olmayan yüzey tasarımlarını bilgisayar kontrollü fabrikasyon makinalarının desteğiyle düzlemsel malzemelerden katlayarak üretilebilmeyi sağlayacak hesaplamalı tasarım tekniklerinin geliştirilmesi için bir protokol önerisi sunulmaktadır. Protokol, katlanarak tasarım nesnesini oluşturması için düzlemsel malzemeyi bilgilendirecek ilişkisel bir modelin nasıl geliştirilebileceğini tarif eder (Şekil 3.37). Sayısal ortamdaki modeli oluşturan geometrik elemanlar arasındaki ilişkiler/kurallar ve değişkenler, tasarım eyleminin salt görsel yanına referansla kurulmaz. Yaparken keşfedilen diğer tasarım veçheleri ile kurulan ilişkilere dayalı olarak belirlenir. Bu protokol önerisi, iki boyutlu düzlemsel bir malzemenin dijital ortamda ilişkisel bir model tarafından bilgilenip yeni bir nesne oluşunun arkasında yatan yaratıcı dinamik süreçleri tariflemektedir. Protokol, tasarım, yapım, temsil vektörlerinden gelen girdiler olarak bir tasarım fikri, bir yapım eylemi, veya bir geometrik şeklin tarifi ile başlayabilir.

Süreçte tasarım, yapım, temsil vektörlerinden gelen girdilerin kendi içinde ve birbirleri ile diyalog halinde etkileşimli bir şekilde yeni girdilerle ilişkilendirilmesi, değiştirilmesi ve varyasyonlarının oluşturulması oluş halindeki tasarım nesnesinin fikir, yapım, biçim düzleminde katlanarak zenginleşmesi anlamındadır. Üç düzlemde gerçekleşen katlamalar, tasarım keşiflerinin potansiyelini çoğaltmakta ve malzemeyi bilgilendirecek dijital kodun esnekliğini ve zenginliğini arttırmaktadır. Dijital kodu oluşturan ilişkiyel modelin tarifi ne kadar çok zengin ilişkilere dayalı geliştirilirse, modelin o kadar çok tasarım bağlamına uyarlanabilir bir ürün ortaya koyabileceği savunulmaktadır.



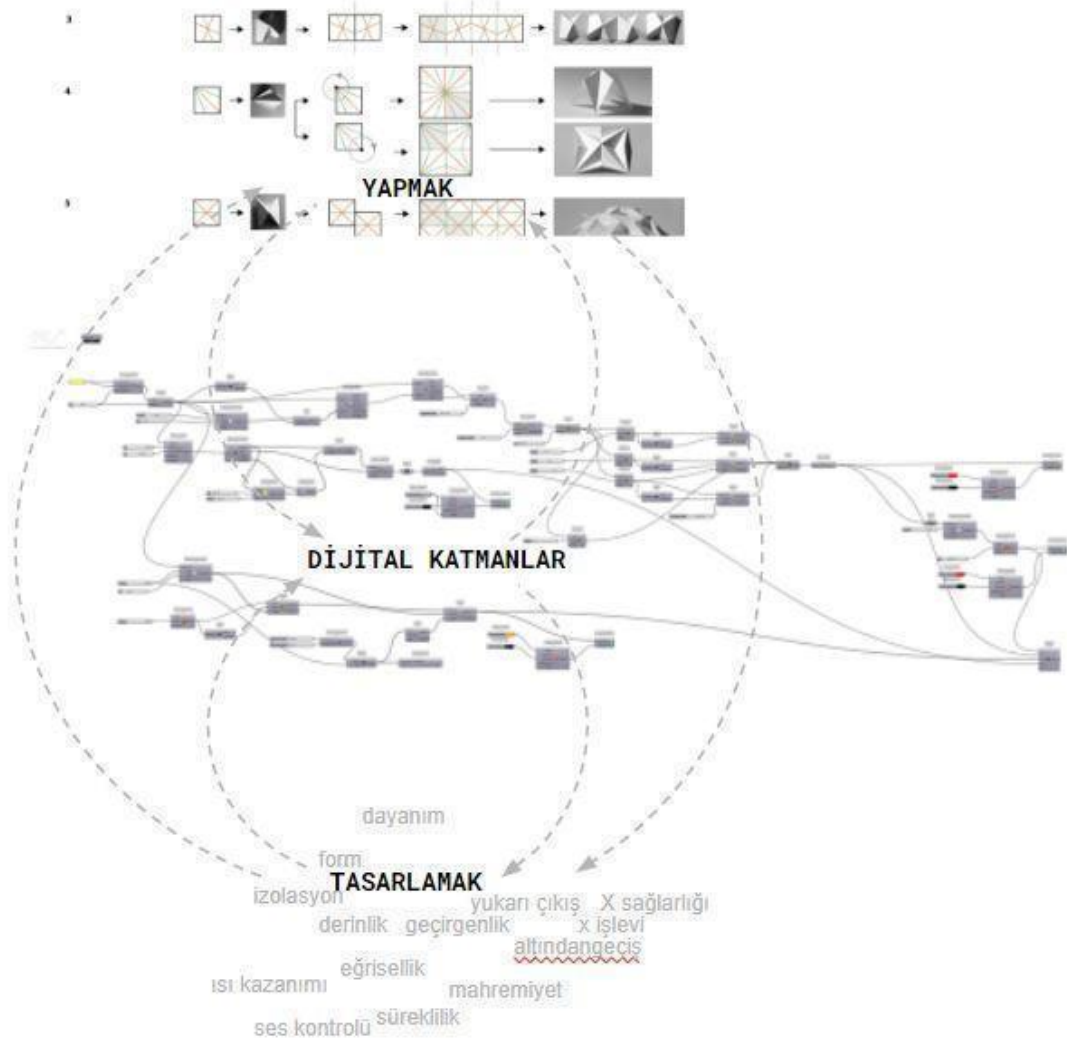
Şekil 3.37: Malzemeyi bilgilendirecek ilişkiyel modelin oluşum sürecinde tasarım ve yapım döngüsü.

Yapım vektörü, düzlemsel malzemeyi katlama eylemi ile ilişkili olarak sürece veri sağlayan girdileri; tasarım vektörü, form, özellikler, fonksiyon gibi tasarımın farklı ama birbirleriyle ilişkili yanlarına dair karşılık bulan fikirleri; temsil vektörü ise yapıma ve tasarıma dair kaygıların ilişkiyel bir model ile temsil edilmesi sırasında sürece katılan formel girdileri içermektedir. Bahsedilen üç vektör, birbirlerini etkileyerek süreci beslemekte ve geliştirmektedir. Tasarımcı, süreçte üç vektörden gelen girdilere müdahale ederek tasarım kapasitesini arttırılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında katlamak, tasarım fikirlerinin formel/mekansal karşılığını ortaya koyan veya yapımına dair çözümler sunan bir eylem olarak seçilmiştir.

Katlayarak tasarlamak ise katlama eyleminin ürettiği nesnenin bir değerlendirme sonucunda tasarım fikirlerini beslediği ve ilerlettiği; sürece girdi olarak katılan yeni fikirlerin formel veya mekansal karşılığının katlama eylemi ile nasıl vuku bulacağını hesaplandığı döngüsel bir yapım ve tasarım süreci olarak kabul edilmiştir.

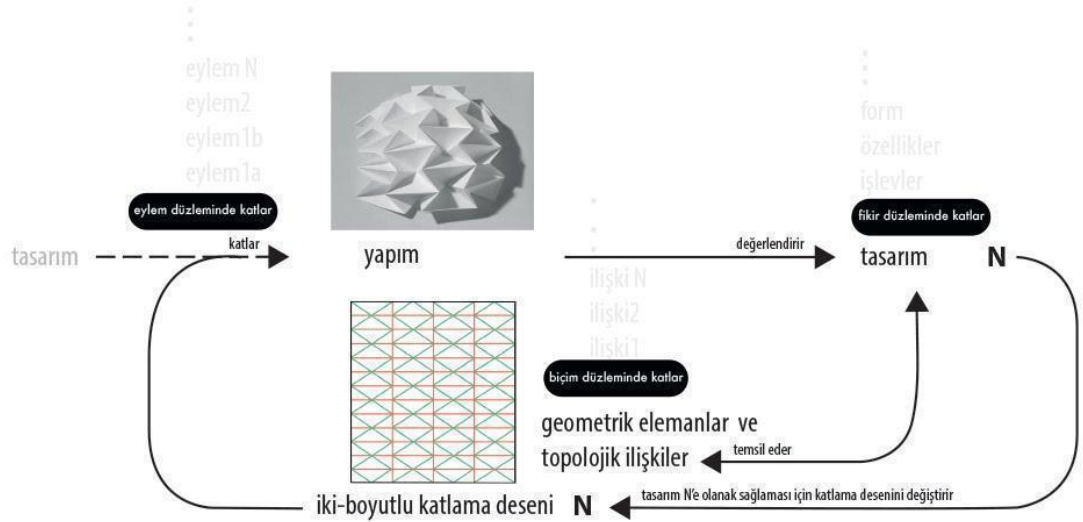
Yukarıda bahsedilen sürecin içerisine dijital ortamda oluşturulan ilişkisel modeller de dâhil olduğu zaman hem katlama yapımına dair hem de tasarım fikirlerine dair süreçte keşfedilen bilgilerin geometrik şekillere dair parametreler ve geometrik şekiller arası ilişkiler olarak soyutlanması işlemi de süreç gelişiminin bir parçası olmaktadır. İlişkisel model, yapım ve tasarım bilgisini temsil etmekte ve aynı zamanda inşasını sağlamaktadır (Şekil 3.38).



Şekil 3.38: İki boyutlu düzlemsel malzemeyi katlama eylemi aracıyla çeşitlendirilmiş fonksiyonel özellikler ekleyerek dönüştürecek dijital bir model.

Katlamak iki boyutlu düzlem ve üç boyutlu nesne arasında gidiş gelişlerle süren bir eylem; tasarlamak, başlangıçta iyi tanımlı olmayan belirsiz bir problem, hedef veya tasarım fikrinin tasarımcının eylemleri ile belirgin hale geldiği ve tasarım nesnesinin kapsamının genişlediği evrimsel bir süreçtir. Katlayarak tasarlamak ise, üç-boyutlu materyal form, iki-boyutlu katlama deseni ve tasarım nesnesinin zihindeki yansımaları arasında karşılıklı ilişkilerinin kurulduğu dinamik bir süreçtir. Süreçte grift bir şekilde iç içe geçen bu üç bileşen sürekli bir biçimde değişmektedir, gelişmektedir.

Tasarım sürecinde katlamak tasarımcının eylemi olarak seçildiğinde, tasarımcı amaçladığı tasarım fikrini sağlayacak bir formu, niteliği, işlevi bulmak için kâğıt yüzeyi katlar (tasarım→yapım/fikir→malzeme eylemi). Katlama eylemi kâğıt yüzeyinde izler bırakır (yapım→ilişkisel model/malzeme eylemi→biçim ilişkileri). Kâğıt üzerindeki izler (crease) ortaya çıkan tasarım nesnesinin nasıl üretildiğinin geometrik tarifini sunar (tasarım→ilişkisel model/tasarım→biçim ilişkileri). Katlama eylemi ile üretilen tasarım nesnesi üzerine değerlendirilme yapıldığında, katlanmış nesnenin formu ve/veya formunun sağladığı (affordances) özellikler veya işlevler ise tasarım sürecine katılan yeni girdilerdir (yapım→tasarım/malzeme eylem→fikir). Sürece katılan girdiler, süreçte eylemle ortaya çıkan materyal nesnenin gösterdiği performansa dair tasarımcının öznel değerlendirmeleridir. Bu değerlendirme ile aynı zamanda, tasarlama sürecine katılan yeni girdiyi, katlama desenini oluşturan geometrik elemanlar ve elemanlar arasındaki topolojik ilişkiler temsil eder hale gelir (ilişkisel model→tasarım/biçim ilişkileri→fikir). Malzeme ile birlikte malzemeye dayalı keşfedilen tasarım girdileri, tasarımın üretim dosyası olan katlama desenine kodlanmış olur. Tasarım sürecinde bu kod dinamiktir. Süreç boyunca kodu oluşturan geometrik elemanlar ve geometrik elemanlar arasındaki topolojik ilişkiler değiştirilerek veya topolojik ilişkiler değiştirilmeden metrik değerler değiştirilerek ilişkisel bir model gelişir (ilişkisel model→tasarım/biçim ilişkileri→fikir) (ilişkisel model→yapım/biçim ilişkileri→malzeme eylemi). Dijital ortamda dinamik olarak kodlanması mümkün olan bu ilişkisel modelin temsil ettiği katlama deseni içinde yapılan her bir değişim de yeni katlama eylemleri ve yeni tasarım keşiflerini sağlar (Şekil 3.39).



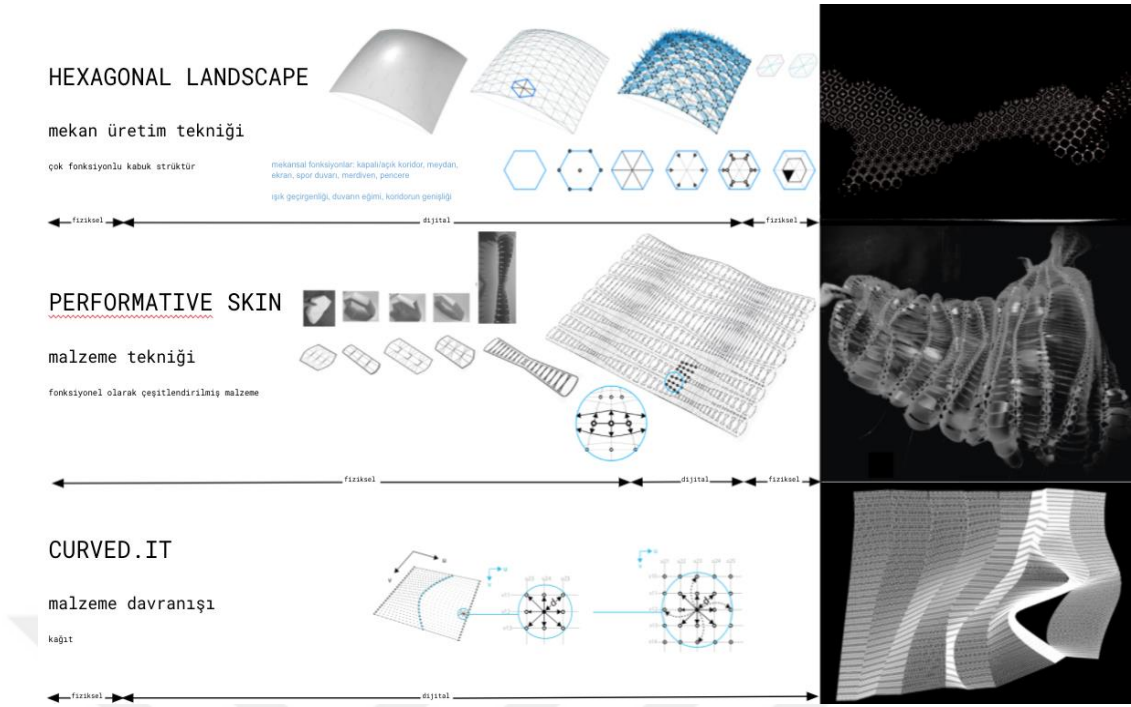
Şekil 3.39: Katlayarak tasarlama şeması.

Bahsedilen tasarım şemasında katlamak eylem düzleminde, biçim düzleminde, fikir düzleminde gerçekleşir. Katlamak en gerçek anlamıyla eylem düzleminde gerçekleştikten sonra üç boyutlu bir form elde edilir. Üç boyutlu malzeme konfigürasyonunun o ana özgün durumuna dair tasarımcının değerlendirdiği form, özellikler veya formun sağladığı işlevler sürece dâhil olan yeni tasarım parametreleri olarak fikir düzleminde katlamanın gerçekleştiği andır (eylem→fikir). Fikir düzleminde katlama gerçekleştikten sonra fikir, biçim düzleminde katlama eylemini temsil eden ve gerçekleştiren iki boyutlu katlama deseni ile ilişkilenebilir (fikir→biçim). Yeni bir fikir veya eylem için için katlama desenini oluşturan geometrik şekil ve şekil ilişkilerini değiştirmek ile de biçim düzleminde katlama gerçekleşir (fikir→biçim) (eylem→biçim). Ayrıca şekil ve ilişkilerini kendi kendisine referansla değiştirmek de yeni bir eylem veya yeni bir tasarım girdisinin ortaya çıkmasına yol açabilmektedir (biçim→fikir) (biçim→eylem). Özetle, eylem düzleminde katlama düzlemsel yüzeyi katlayarak üç boyutlu bir malzeme konfigürasyonu elde etmek veya üç boyutlu bir formdan katlanabilir yüzeyler çıkarmak; fikir düzleminde katlama elde edilen geometrik veya materyal konfigürasyonunun performansına dayalı olarak yeni durumlar ve tasarım girdileri tespit etmek; biçim düzleminde katlamak tespit edilen tasarım parametrelerine göre katlama desenini oluşturan geometrik elemanlar ve/veya elemanlar arası ilişkileri değiştirmektir. Yapararak tasarlarken fikir ve eylem arası gidiş gelişlerle tasarım süreci

gelişirken, ilişkisel modeller de sürece dâhil olduğunda bu gidiş gelişler arasına bir de biçim ilişkileri girerek süreçte keşif potansiyelini arttırmaktadır.

Analog ortamda gerçekleşen bir malzeme operasyonunun kendisi de ilişkisel modeller de olduğu gibi kendiliğinden kâğıt yüzeyler üzerinde şekil ilişkilerinin de olduğu eylemler olduğu için ilişkisel modellere paralel bir yapma yolu ortaya koymaktadır.

Düzlemsel malzemeleri katlamak, tasarım eğitiminde ve pratiğinde sıkça başvurulan yapma biçimlerinden biridir (Vyzoviti, 2003; Iwamoto, 2009; Gönenç Sorguç, 2009; Hemmerling, 2010; Stavric vd., 2013). Katlamanın kuramsal düzlemde karşılığı ise süreçte var olan girdiler ile yeni girdiler, veriler, fikirler arasında süreklilik kurarak ilişkilendirmek ve var olanı dönüştürmektir (Deleuze, 1988; Eisenmann; 1992; Lynn, 1993; Hubregtse, 2020). Kuramsal katlama anlayışının tasarım pratiğine yansımaları, bir fikri, girdiyi veya veriyi statik metrik tanımlarla tarif etmek yerine, bir girdiyi bir başka girdiyle ilişkisi üzerinden tarif etmek ve bir şeyi diğerinin fonksiyonu olarak anlamaktır. Bu kavrayışın dijital mecrada karşılığı ise geometrik şekiller ve şekil ilişkilerini tarif eden kurallardır. Şekil ve şekil ilişkileri, şekil hesaplamaları kuramında (Stiny, 2006) tartışıldığı gibi tasarımcının şekillerin kendisine referansla yeni şekil ve şekil ilişkileri görmesi ile katlanarak yaratıcı sürecin gelişimine katkı koymaktadır; şekil ve ilişkilerinin temsil ettiği tasarım fikirlerine referansla da tasarımın tanımı/şekil ve ilişkileri olarak tarifi evrilmektedir; diğer yandan yapım sürecine dair keşfedilen kısıtlamalar veya girdilerle de tasarım sürecindeki nesnenin tarifini geliştirmektedir. Özetle katlamak, yapım, tasarım, biçim düzleminde kendi içinde ve birbirini etkileyerek tasarımın keşif potansiyelini artırılabilen ve sürecin gelişimini zenginleştirmektedir.



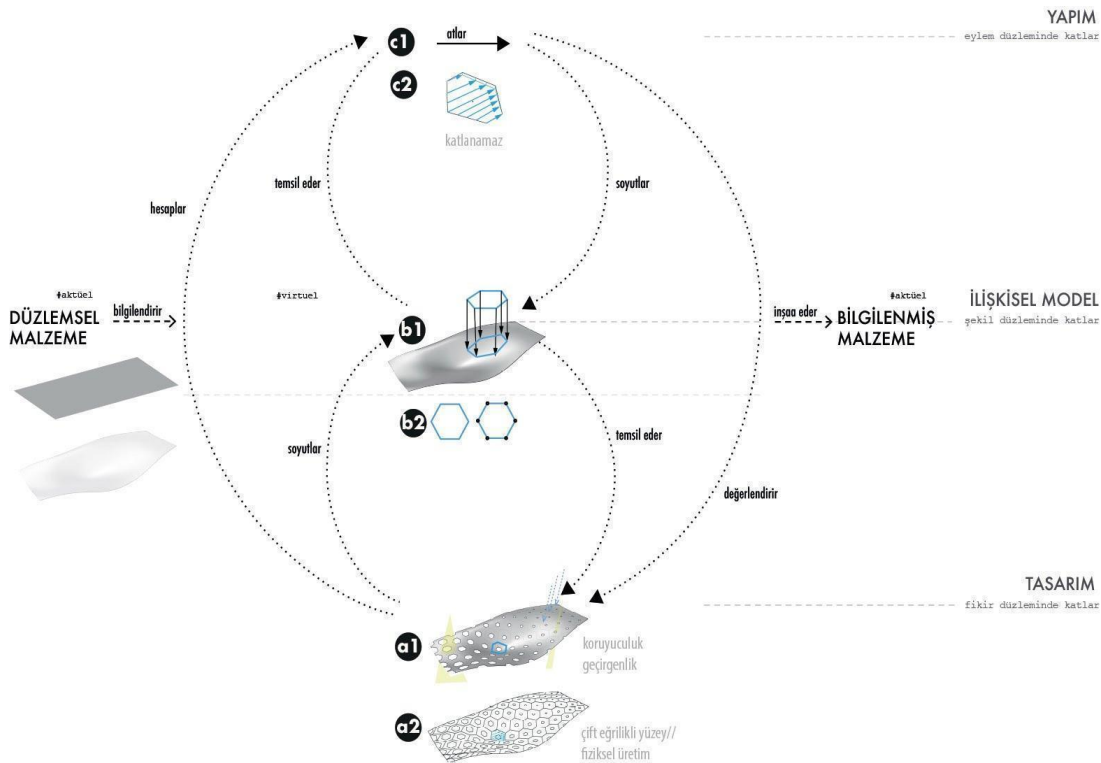
Şekil 3.40: Katlayarak tasarlamamanın tartışıldığı üç örnek çalışma.

Bahsedilen şema, bu araştırma kapsamında üç çalışma üzerinden örneklendirilmiştir (Şekil 3.40). Üç çalışma üzerinden, dijital dönemde yaparak tasarlarken, hem yapım ve tasarım hem tasarım hem temsil düzleminde girdilerin süreci nasıl şekillendirdiği ve geliştirdiği tartışılacaktır. İlk incelenen örnek, serbest Nurbs eğrileriyle bilgisayar ortamında modellenen üç-boyutlu kabuk yüzeyin tasarım sürecinin bir aşamasında katlanarak üretilebilirliği için alt elamanlara bölündüğü; ikinci çalışma tasarımın ilk aşamasından itibaren iki-boyutlu katlama deseni ve üç boyutlu form arasındaki gidiş gelişlerle yapımın sürece dâhil olduğu; üçüncü çalışma ise katlama eyleminin dijital ortamda iki-boyutlu düzlemi dönüştürerek nasıl form bulacağını tarif edilmesi ile bu tarif üzerinden tasarım sürecinin ilerlediği çalışmalardır

3.2.1 Örnek 1: çok fonksiyonlu kabuk model

- Protokol tablo

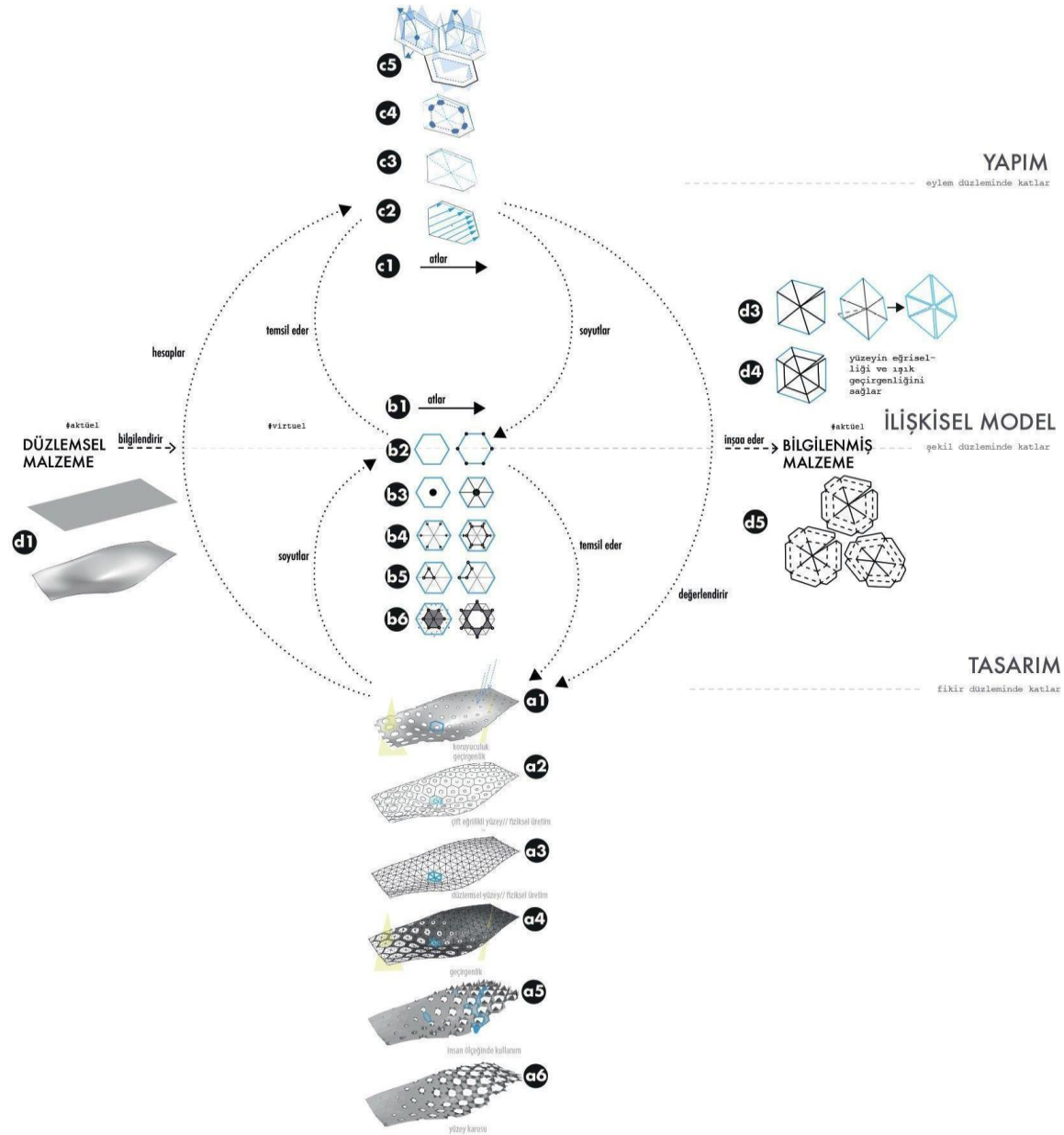
Bu bölümde, bir örtü tasarımının dijital ortamda gelişim sürecine dair bir protokol çalışması yapılmıştır (Şekil 3.41). Çift eğriliğe sahip bir yüzeyin oluşturulması ile başlayan çalışmanın ilk aşamasında tasarım (a1) ve ilişkisel model (b1) arası geri beslemeye dayalı bir döngü gerçekleştikten sonra ikinci döngüde yapım (c2) ile ilgili kaygılar sürece dâhil olmuştur (Şekil 3.41). İlk adımda tasarım vektöründen gelen ışık geçirgenliği/ışıktan koruyuculuk özelliklerinin sürece dâhil olması, yüzeyin fikir düzleminde katlamasına işaret etmektedir (a). Yüzey boyunca farklı noktalarda farklı seviyelerde ışık geçirgenliği sağlamak için iki boyutlu düzlemde noktaların birbiriyle ilişkisine ve mesafesine dayalı olarak tanımlanan altıgen şekillerden oluşan bir gridin oluşturulması ve gridi oluşturan şekillerin ve şekiller arası ilişkilerin süreçte dönüştürülmesi, biçim düzleminde katlamaya işaret etmektedir (b). İkincil döngüden sonra, yüzey üzerine projekte edilen modüllerin düzlemsel malzemelerden üretilmek için katlanabilir parçalar olarak tarif edilip üretilmesi ve test edilmesi ise eylem düzleminde katlamanın gerçekleştiği aşamalardır (c).



Şekil 3.41. Süreçte üretilen ilk versiyonların eş zamanlı gösterimi.

Protokol tablo, sürecin ilerlemesi ve zenginleşmesini tarif eden yöntemsel bir şema olarak okunabilir. Protokol tabloda (Şekil 90), çift eğrilikli bir yüzeyin tasarım vektöründen gelen ışık geçirgenliği/ışıktan koruyuculuk özelliklerinin sürece dâhil olması ile fikir düzleminde katlama ile ilk versiyonun (a1) oluşturulduğu görülmektedir. Yüzey boyunca farklı noktalarda farklı seviyelerde ışık geçirgenliği sağlamak için yüzey altıgen bir grid geometrisi olarak soyutlanmıştır (b1). İki boyutlu düzlemde noktaların birbiriyle ilişkisine ve mesafesine dayalı olarak tanımlanan altıgen şekillerden oluşan bir gridin çift eğrilikli yüzey üzerine projekte edilmesi sonucunda yüzey modüllere bölünmüştür. Yüzey üzerine projekte edilen modüllerin düzlemsel malzemelerden üretilme fikri (a2) sürece dâhil olduğunda ise geometriyi tarifleyen noktaların uzaydaki konumlarından dolayı (b2) iki boyutlu düzleme açılabilir bir geometri olmaması (non-developable surface) bir yapım sorunu (c2) olarak gündeme gelmiştir. Bu soruna çözüm olarak dijital ortamda altıgen şekillerin yüzey üzerindeki merkez noktaları bulunup, merkezdeki nokta ve köşe noktalar arasında çizgi çizilmiştir (b3). Bu işlem sonucunda eğrisel yüzey altıgen şekiller içerisinde üçgen yüzeylerden oluşan geometrilere sahip bir tasarım halini almış (a3); üçgen yüzeyler düzleme açılabilir geometrilere sahip olduğu için katlanabilir modüllere dönüşmüştür (c3). Üçgen parçalardan oluşan altıgen modüllerin ışık geçirgenliği fikrini sağlaması için (c4) altıgen geometrisinin merkezinde yer alan nokta ve köşe noktalar arasında oluşturulan çizgi üzerine çizgi boyunca konumu değiştirilebilir bir nokta eklenmiştir (b4). Çizgi üzerindeki noktanın konumu merkeze yaklaştıkça noktalar boyutu küçülen katlanabilir kapakçıklar (c4) açılma derecesine ve büyüklüğüne göre farklı seviyelerde ışık alımının kontrolünü sağlamıştır (a4). Kapakçıkların farklı açılarda yukarı veya aşağı yönde katlanması (c5) ile yüzeyi iki farklı parçaya bölmesi (b5) farklı açılarla konumlandırılmış yüzeyler arasında yeni mekansal işlevlerin ortaya çıkmasını beraberinde getirmiştir (a5). Örneğin zemine doğru yönelen bir parça merdiven gibi yukarı ulaşım işlevini sağlayan bir elemana dönüşmüş, dikeyde duvar gibi konumlanan iki yüzey arasında yarı kapalı mekanlar ve koridorlar oluşmuştur. Kapakçıkların 180 derece açılıp yer değiştirmesi (b6) ile farklı parçaların üst üste konumlanması ise yüzey üzerinde farklı boşluk doluluk ilişkileri kuran yeni bir geometrik deseni ortaya koymuştur (a6). Süreçte karşılaşılan ve keşfedilen her yeni durum, nesneyi temsil eden ilişkisel modele ait bir parametre ile ilişkilendirildiği takdirde nesnenin kapasitesini arttırmıştır. Parametrenin değişken bir değer ifade etmesi, tespit edilen durumun sabit ve tekil bir anın ötesinde bir seri

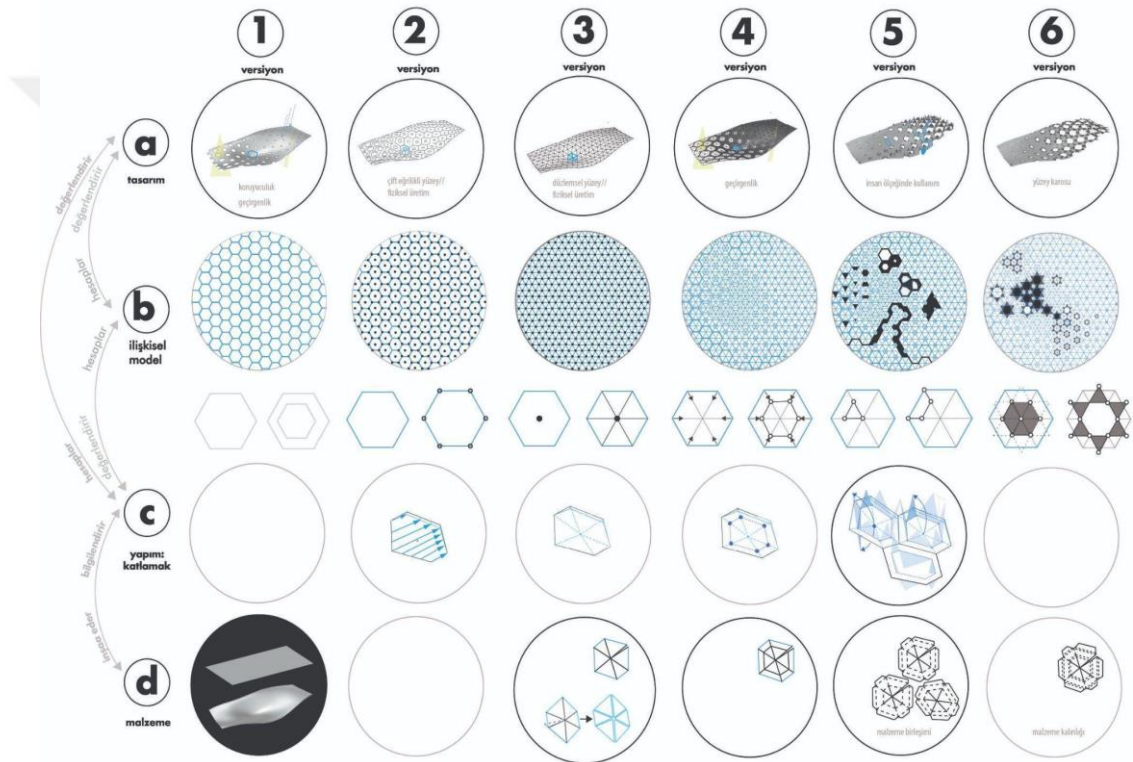
durumlar silsilesi olarak kavrayışını da beraberinde getirmiştir. Durumların çokluğu ise farklı kesişmelerle keşif potansiyelini çoğaltmıştır. Gelişmekte olan süreçte karşılaşılan her durum, kendi düzleminde veya farklı bir düzlemde yeni sorunları, çözümleri, kararları ve yeni işlemlerin uygulanmasını beraberinde getirmiştir.



Şekil 3.42: Başlangıçtan itibaren üretilen versiyonların birbiriyle ilişkisini eş zamanlı gösteren protokol tablo.

- Versiyonlar

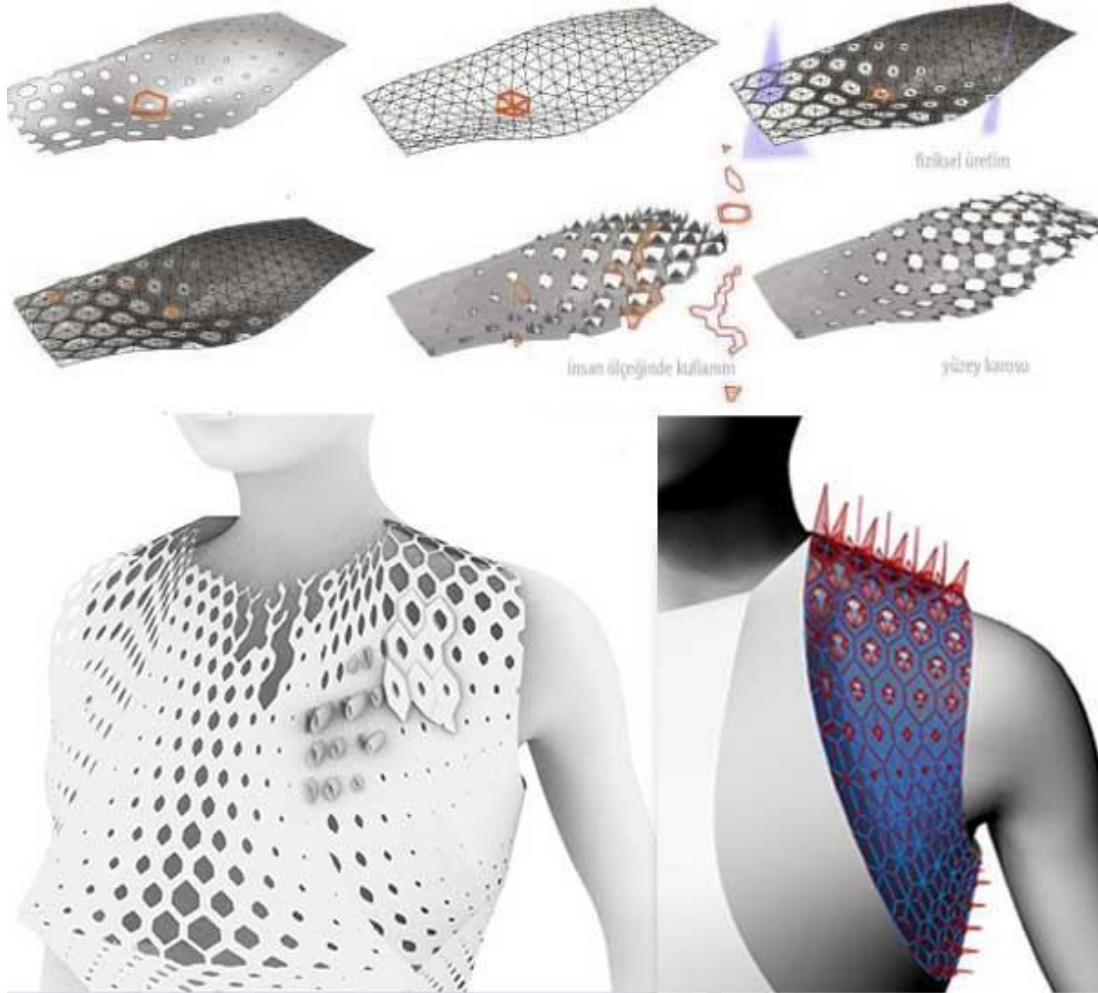
Tasarım düzleminde fikirlerin, biçim düzleminde fikirlerin karşılığı olarak soyutlanan geometrik şekillerin ve şekillerin arası topolojik ilişkilerin, yapım düzleminde ise düzleme açma ve katlayarak üretme işlemlerinin süreç boyunca versiyonları oluşturulmuş ve dönüştürülmüştür. Süreç boyunca yapım, tasarım, ve temsil düzleminde yinelenen her bir versiyonun ardışık dizilimi yapılmıştır (Şekil 3.43). Tasarım, yapım ve temsil düzleminde her bir işlem kendi içinde ya da düzlemler arası etkileşim ile yinelenerek sürecin gelişimine etki etmiş ve tasarım nesnesinin kapasitesini arttırmıştır.



Şekil 3.43. Modelin sekansiyel adımlar olarak temsili.

Süreçte nesnenin geometrisinin gelişimine yakından bakıldığında (Şekil 3.44 ve Şekil 3.45), ilk aşamada tasarım fikrinin geometrik şekil tanımlamalarıyla ilgili kararları etkilediği, ikinci aşamada yapımın geometrik şeklin farklılaşmasına etki ettiğini, üçüncü aşamada tekrar tasarım fikrinin şeklin parçaları arasındaki ilişkileri değiştirdiğini, ve yapım düzleminde katlama eyleminin uygulanması ile farklı geometrik parçalar arası ilişkilerin yeniden tasarım fikirlerine etki ettiği görülmektedir. Sonuçta geometrik bileşenlerin çeşitlenmesiyle oluşan heterojen yüzey tasarımının bir insan bedeni veya insan bedenini koruyacak bir kabuk örtü gibi

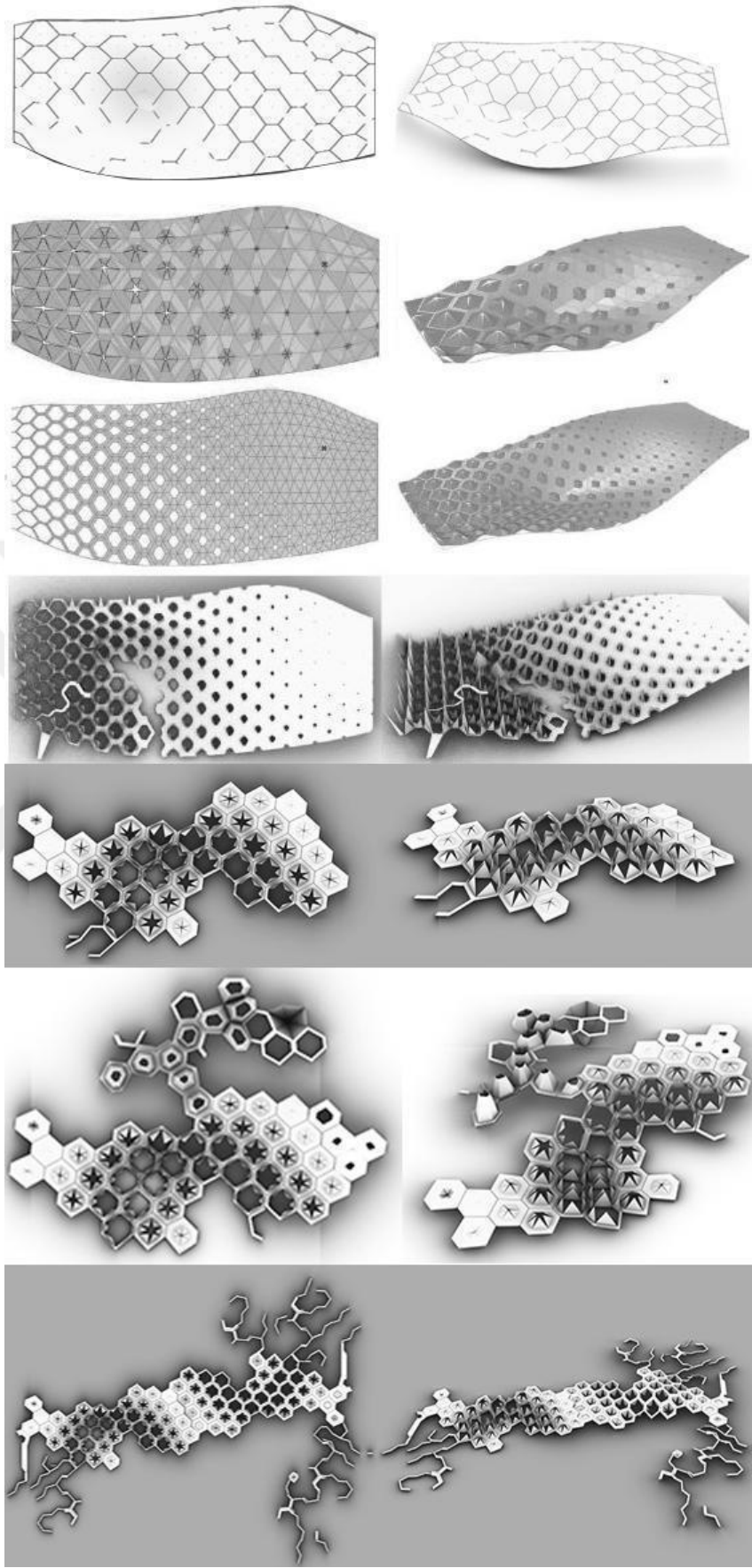
çeşitlenen bağlamlara göre adapte edilebileceği görülmüştür. Örneğin bir yüzey boyunca belirlenen bölgelerde geçirgenlik, malzeme yoğunluğu, yüzey derinliği tespit edilen sayısal parametrelere dayalı olarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.44: Geometrik model versiyonları.

- Değerlendirme

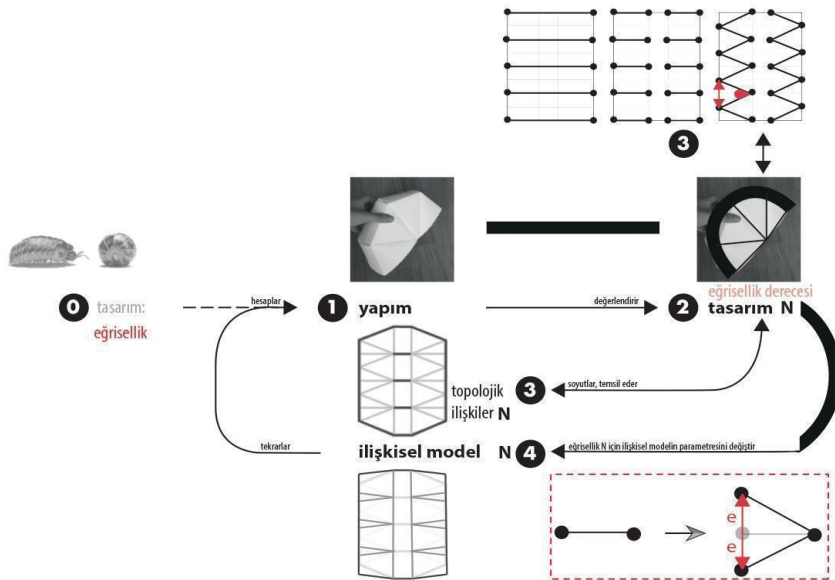
Bu çalışma özelinde ilk aşamada tasarım vektöründen gelen girdilerle şekillenen tasarım nesnesinin sonraki aşamada yapım düzleminden gelen girdilerle dönüştüğü ve sonucunda tanımlanan geometrik parçalar arası ilişkilerin yeni tasarım girdilerinin keşfini beraberinde getirdiği bir oluşum süreci gözlemlenmiştir. Süreçte katlama yapımına dair verilerin de dâhil edilmesi, sonuç ürün olarak seçilecek dijital modelin düzlemsel malzemelerden üretilebilir olmasını mümkün kılmıştır.



Şekil 3.45: Süreç.

3.2.2 Örnek 2: fonksiyonel olarak çeşitlendirilmiş model

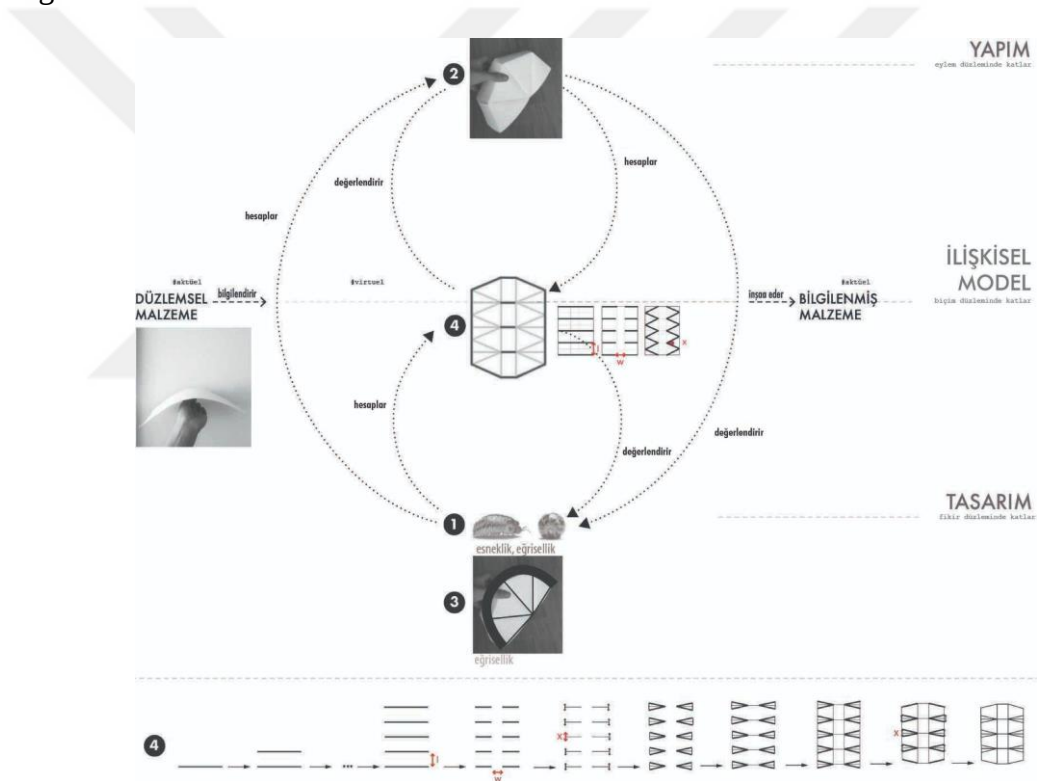
Bu bölümde, düzlemsel malzemenin kapasitesinin ve eğilimlerinin katlama eylemi aracılığıyla dönüştürüldüğü, çeşitlendirildiği, arttırıldığı performatif deri isimli bir tasarım örneğinin protokol çalışması tartışılmıştır (Şekil 3.46). Çalışmanın başlangıcındaki tasarım fikri (0), düzlemsel bir formdan eğrisel bir forma geçiş yapma becerisine sahip doğadan esinli bir mekanizmaya benzer bir tasarım oluşturmaktır. İlk aşamada, seçilen mekanizmaya benzer üç boyutlu bir formun bir kâğıt düzlemini katlayarak (1) nasıl elde edileceği hesaplanmış ve elde edilen form üzerine değerlendirme yapılmıştır (2). Form eğriselliğini, katlama eylemi aracılığıyla düzlemsel malzemenin yüzey parçalarına bölünüp, bölünen parçaların üç boyutlu uzayda yöneliminin değiştirilmesiyle elde etmiştir. Katlanmış form iki boyutlu düzleme açıldığında ortaya çıkan katlama deseni üzerindeki belirli şekil parçalarının birbirlerine göre konumu ve şekil özellikleri, yüzeyin eğriselliği gibi çeşitli tasarım niteliklerini sağlayan soyut temsiller olmuştur (3). Katlama desenini oluşturan şekil özellikleri ile tasarım niteliklerinin ilişkisini kurmak, katlama deseninin dijital ortamda nasıl temsil edileceğini belirlemiştir. Tek bir eğrisel performans gösteren statik bir durumu, statik bir çizim yerine şekiller arasında kurulan topolojik ilişkiler olarak soyutlamak ve tarif etmek tasarım nesnesinin dinamik bir nesne olarak kavrayışını getirmiştir. İlişkisel modelleme, yüzeyin eğriselliğini değişken bir tasarım parametresi olarak temsil etmeyi sağlamıştır (4).



Şekil 3.46: Bir tasarım parametresi olarak değerlendirilen eğriselliğin katlama deseninin ilişkisel modeli ile temsili.

- Protokol tablo

Protokol tablo (Şekil 3.47) üzerinden sürecin ilerleyişine bakıldığında, ilk adımda tasarım vektöründen gelen eğrisellik fikrinin süreç içerisine katıldığı (1); Fikrin formel karşılığının eylem düzleminde katlayarak bulunduğu yapıma dair bir hesaplama gerçekleştiği (2); Yapım sonrasında ortaya çıkan nesnenin yüzeyinin eğriselliği gibi nitelikleri üzerine yapılan değerlendirmenin (3) hem ilişkisel modeli oluştururken parça bütün ilişkilerinin nasıl soyutlandığını ve tarif edildiğini yönlendirdiği hem de farklı eğrisellik derecelerini sağlayan bir tarif ile tasarımın kapasitesini genişlettiği; İlişkisel modeli oluşturan geometrik şekil ve şekil ilişkilerini değiştirerek ve çoğaltarak da biçim düzleminde katlamanın gerçekleştiği (4) görülmektedir.

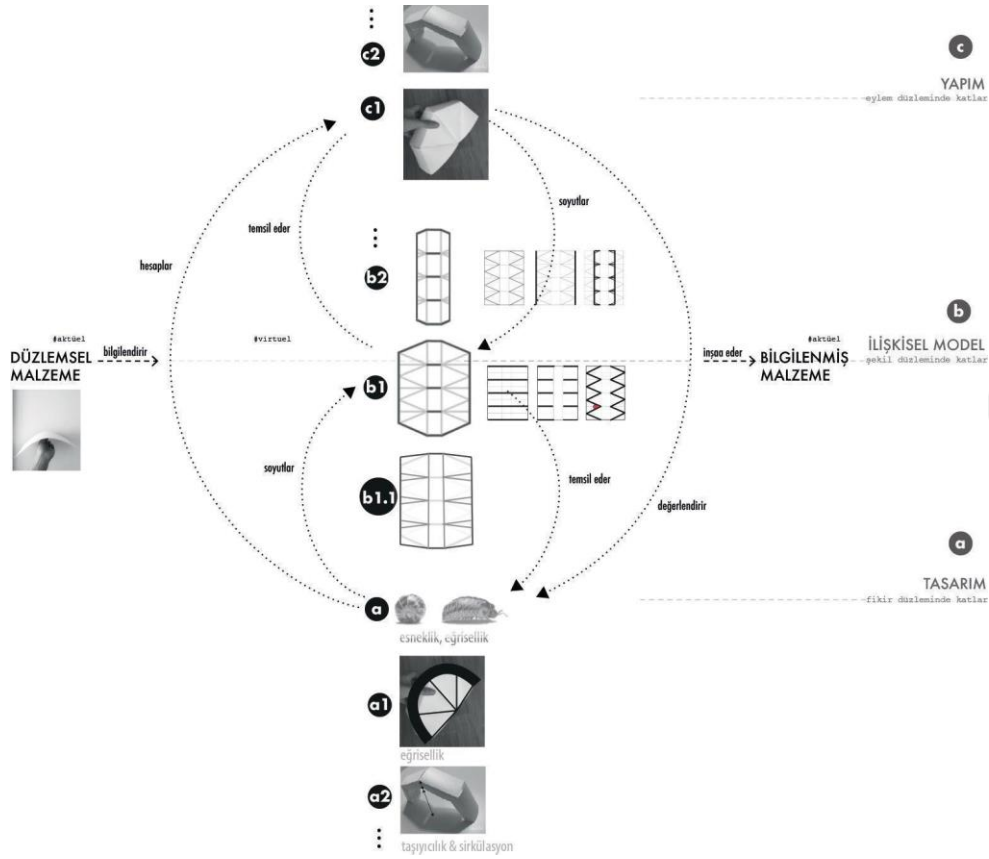


Şekil 3.47: Protokol tablo ile döngüsel sürecin sınırlı sayıda adımla anlatımı.

Tasarımcı ilk başta yüzeyin eğriselliğine odaklanmış olsa da malzemeyi katlarken veya katladıktan sonra tasarımcı malzemenin gösterdiği performansa, olanaklara veya kısıtlamalara dayalı olarak ilk başta öngörmediği yeni tasarım parametrelerini süreçte tespit etmiştir (Şekil 3.48).

Örneğin üç boyutlu malzeme konfigürasyonu kendi ağırlığını taşımış ancak yüzeyin altında kalan alanı dikeyde kapayan katlanmış yüzey parçaları sirkülasyona izin

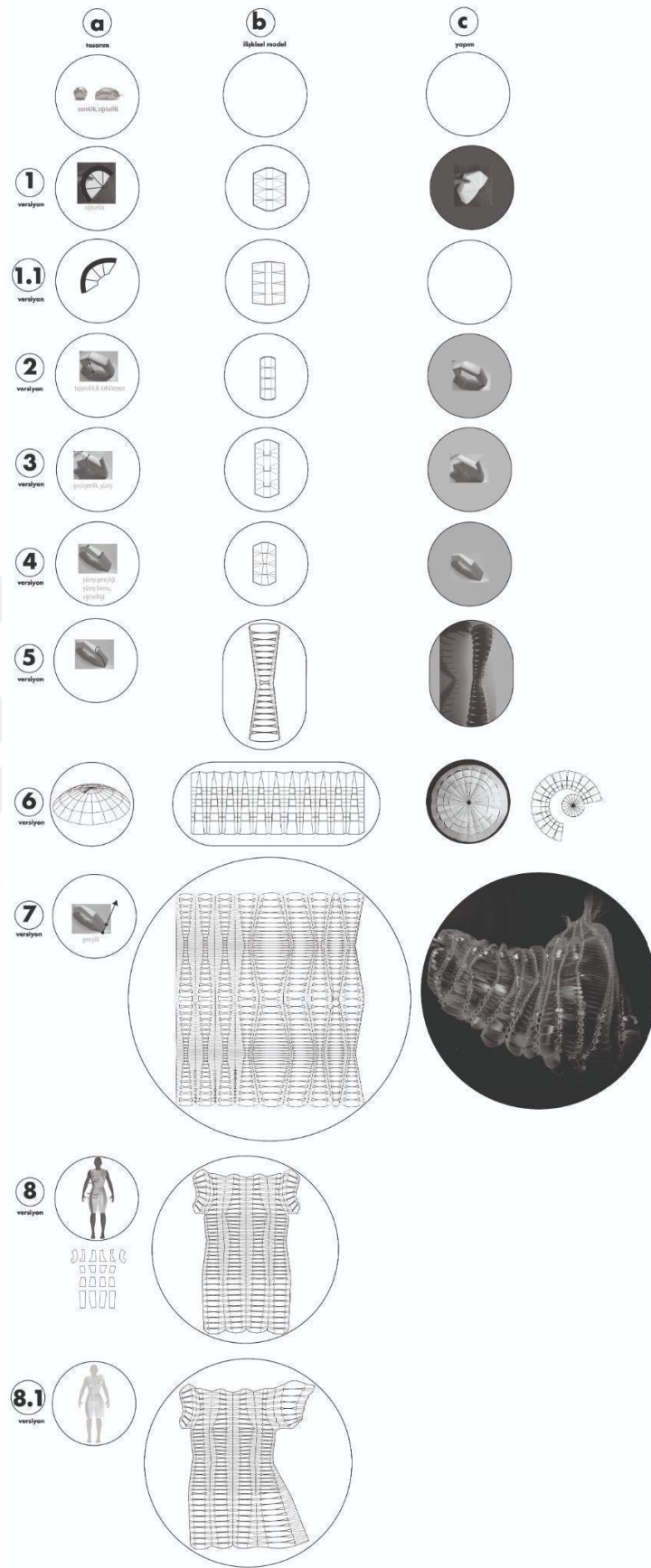
vermemiştir (a1). Katlanan dikey yüzeyler bir kiriş görevi görüp formun üzerine binen yüklere karşı dayanımını arttırmıştır. Ancak kirişin yüksekliğini gerekli olmadığı takdirde malzemeyi azaltmak da mümkündür. Kirişin yüksekliğini azaltarak eğrisel yüzeyin altında boş bir alanın yaratılması fikri süreç içerisinde bu şekilde katlanmıştır (a2). Yeni tasarım girdisine dayalı olarak iki-boyutlu katlama desenini oluşturan elemanlar ve elemanlar arası ilişkiler değiştirilerek yeni şekil ilişkilerine dair tanımlar süreç içerisinde katlanmıştır (b2). Değiştirilen yeni deseni kullanarak eylem düzleminde katlanan malzeme üzerinden üç boyutlu formun kendi kendini taşıyıp taşımadığı gözlemlenmiştir (c2). Süreçte her bir adımda yapım, tasarım, biçim düzleminde katlamanın birbirini etkileyerek gerçekleştiği döngüler devam etmiştir.



Şekil 3.48: Protokol tablo.

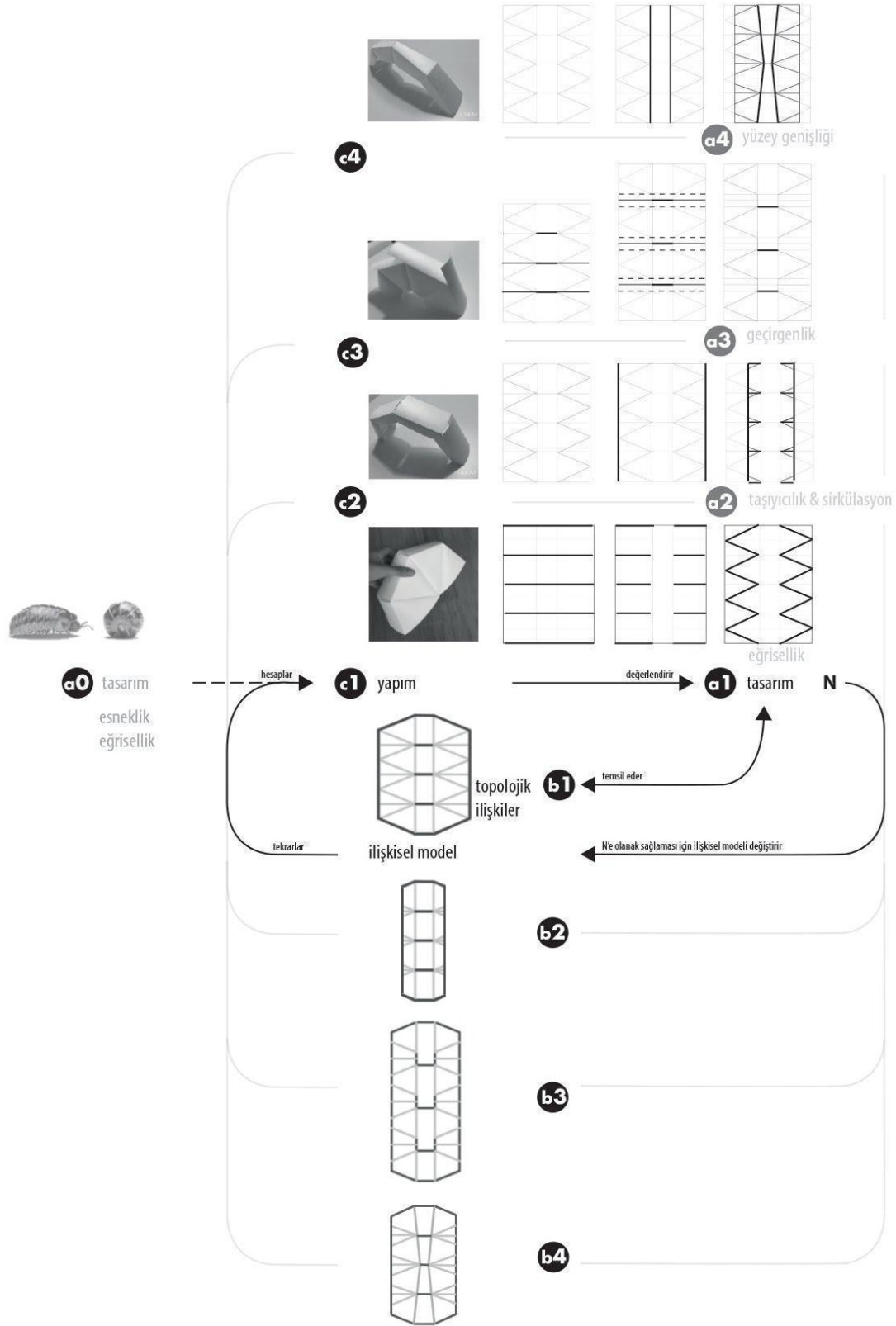
- Versiyonlar

Tasarım, yapım, temsil vektörlerinin etkisiyle fikir (a), biçim (b), eylem (c) düzleminde gerçekleşen her bir katlama bir tasarım versiyonu üretmektedir. Versiyonların ardışık dizilimi ile sürecin ilerleyişi Şekil 3.49 ile gösterilmiştir. Bu dizilimde, versiyonları tanımlayan topolojik ilişkilerinin sekiz kere dönüştüğü, iki kere ise topolojik ilişkilerin değiştirilmeden versiyonların oluşturulduğu görülmektedir.



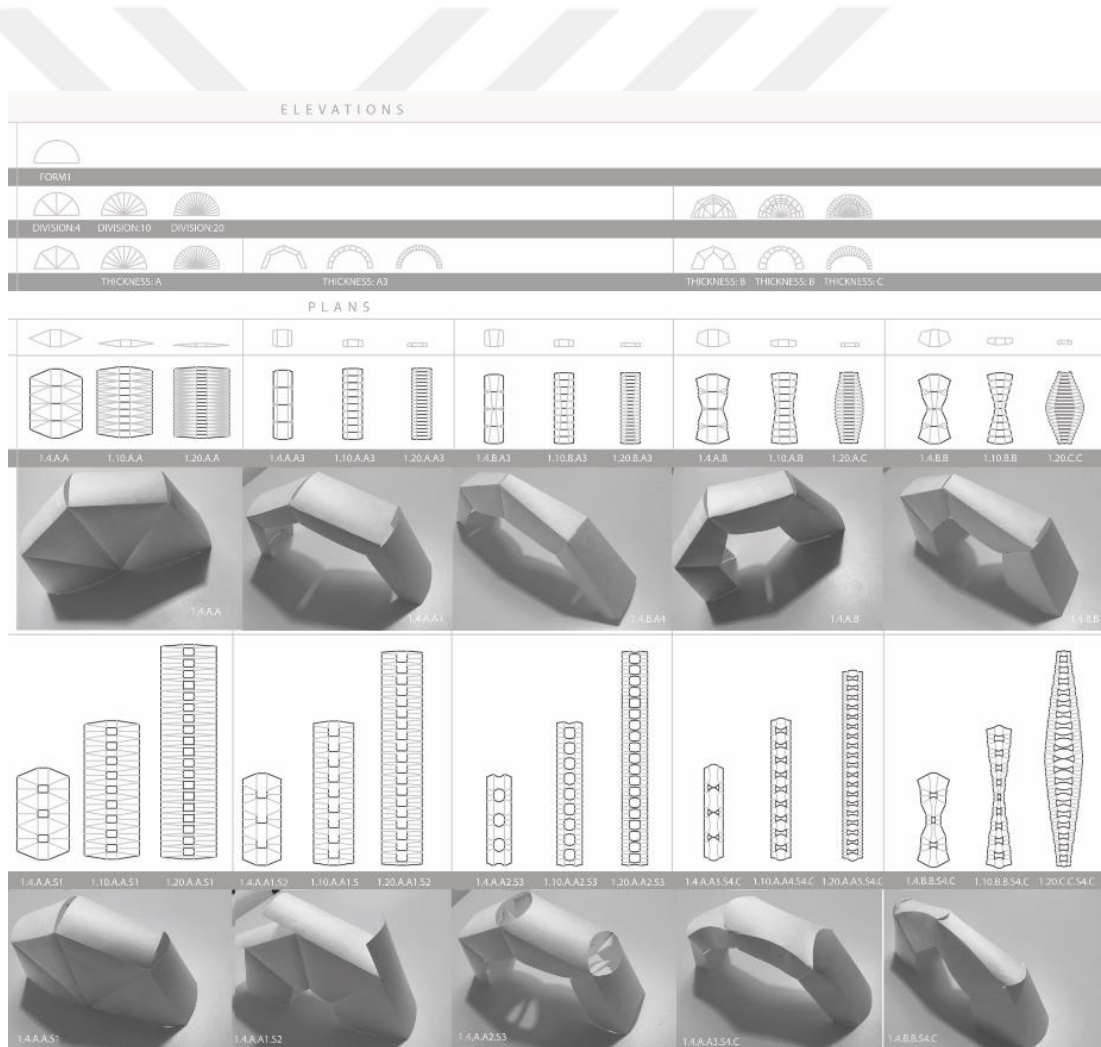
Şekil 3.49: Tasarım, yapım, temsil düzleminde türeyen varyantların ardışık dizilimi.

Her katlama döngüsünde malzeme konfigürasyonunun sağladığı olanaklar değerlendirilerek bir veya fazla yeni tasarım girdisi tespit edilmiştir (Şekil 3.50).



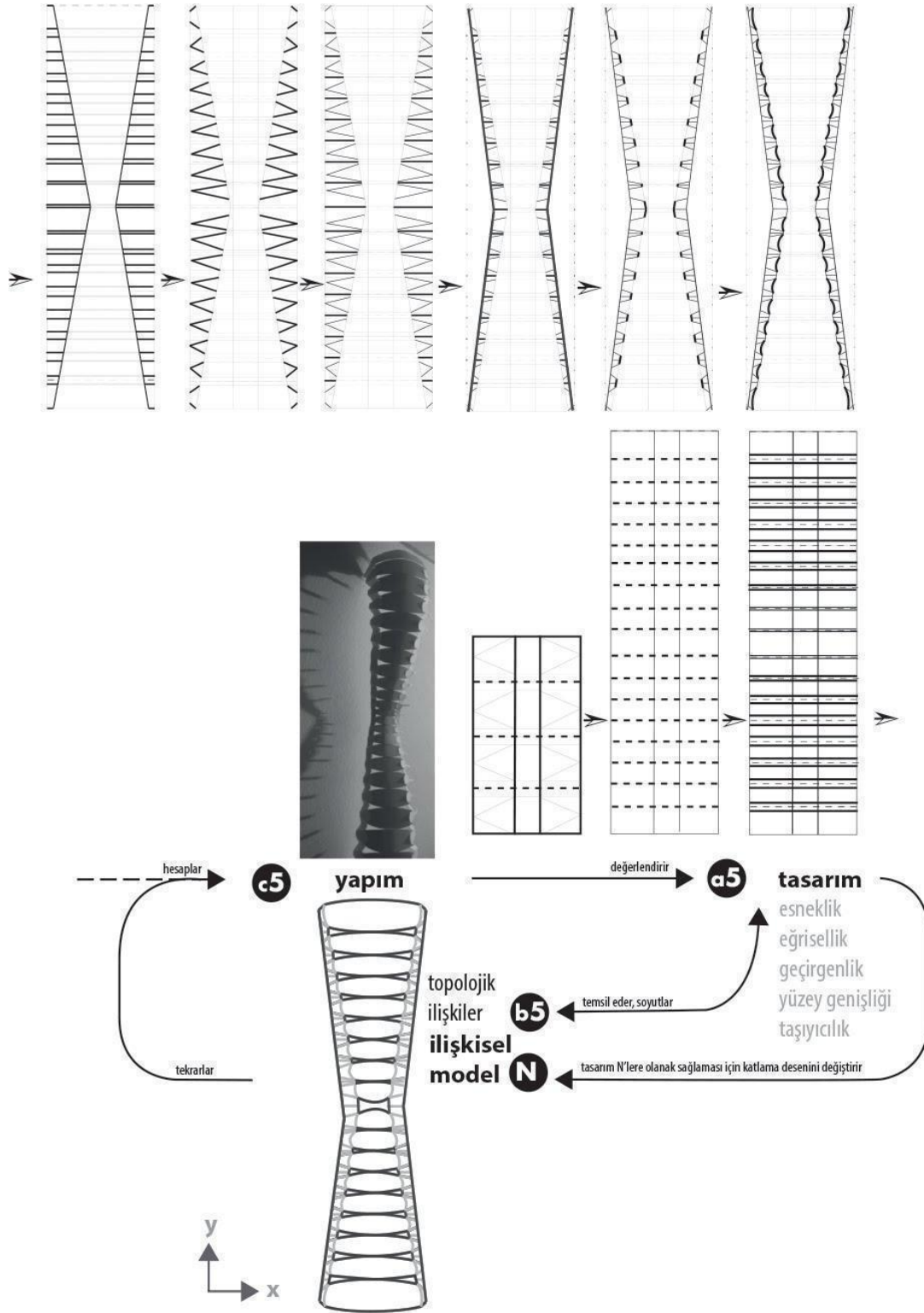
Şekil 3.50: Tasarım, yapım, biçim düzleminde üretilen dört versiyon.

Yüzeyin katlanınca üzerinde kalan boşlukların gözlemlenmesiyle ışık geçirgenliği bir tasarım parametresi olmuştur (Şekil 3.50-c2,a3) . Bir sonraki döngü de katlama desenin ortasındaki dikey aksın üst yüzey alanının genişliğini belirlediği tespit edilmiştir (Şekilx-a4). Yüzey boyunca alan genişliğini çeşitlendirmek için katlama deseni üzerindeki yüzey alanını belirleyen çizgiler farklılaştırıldıktan sonra tekrar katlama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekilx-b4,c4). Daha sonra yüzeyin eğriselliği için yüzeyi yatayda bölen çizgiler arttırılarak daha küçük yüzey parçalarının daha yumuşak bir eğim oluşturması sağlanmıştır (Şekil 3.50). Bu süreçte tespit edilen tüm tasarım girdileri, ilişkisel modeli oluşturan şekil özellikleri ve şekil ilişkilerine dair parametreler olarak tarif edilmiştir. Versiyonların dizilimi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51: Varyasyonlar.

Bu aşamaya kadar yüzeyin tek yönde eğriselliğine odaklanılmıştır. Yüzeyin diğer yönde de eğim kazanmasını sağlamak için desen üzerinde hedeflenen eğim yönünde katlamayı sağlayan çizginin şekli değişmiştir. Doğrusal bir katlama aksı yerine eğrisel bir aks şekli çizerek desen farklılaşmıştır (Şekil 3.52).

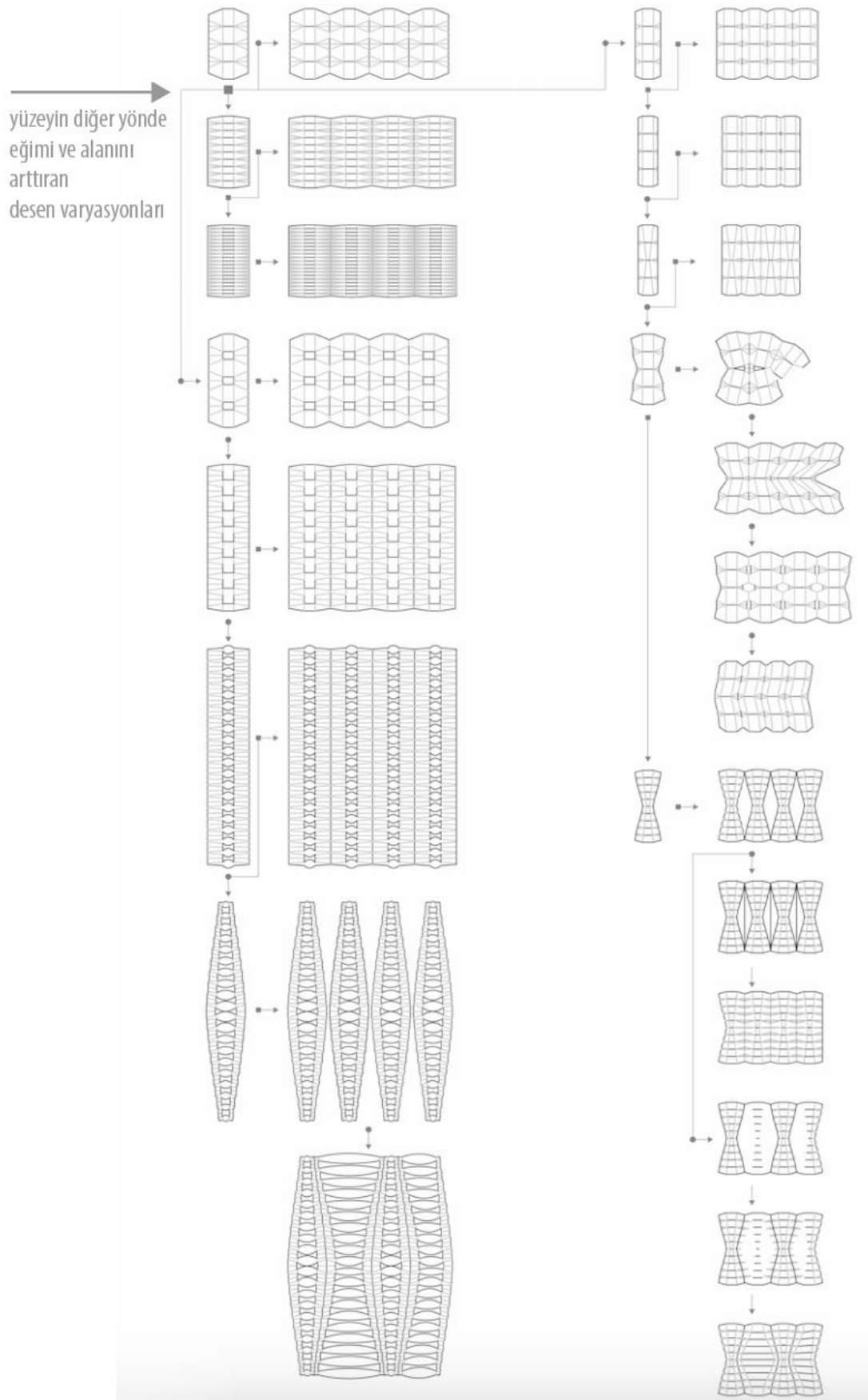


Şekil 3.52: Katlama deseninin farklılaşması ve adımlarla tarifi.

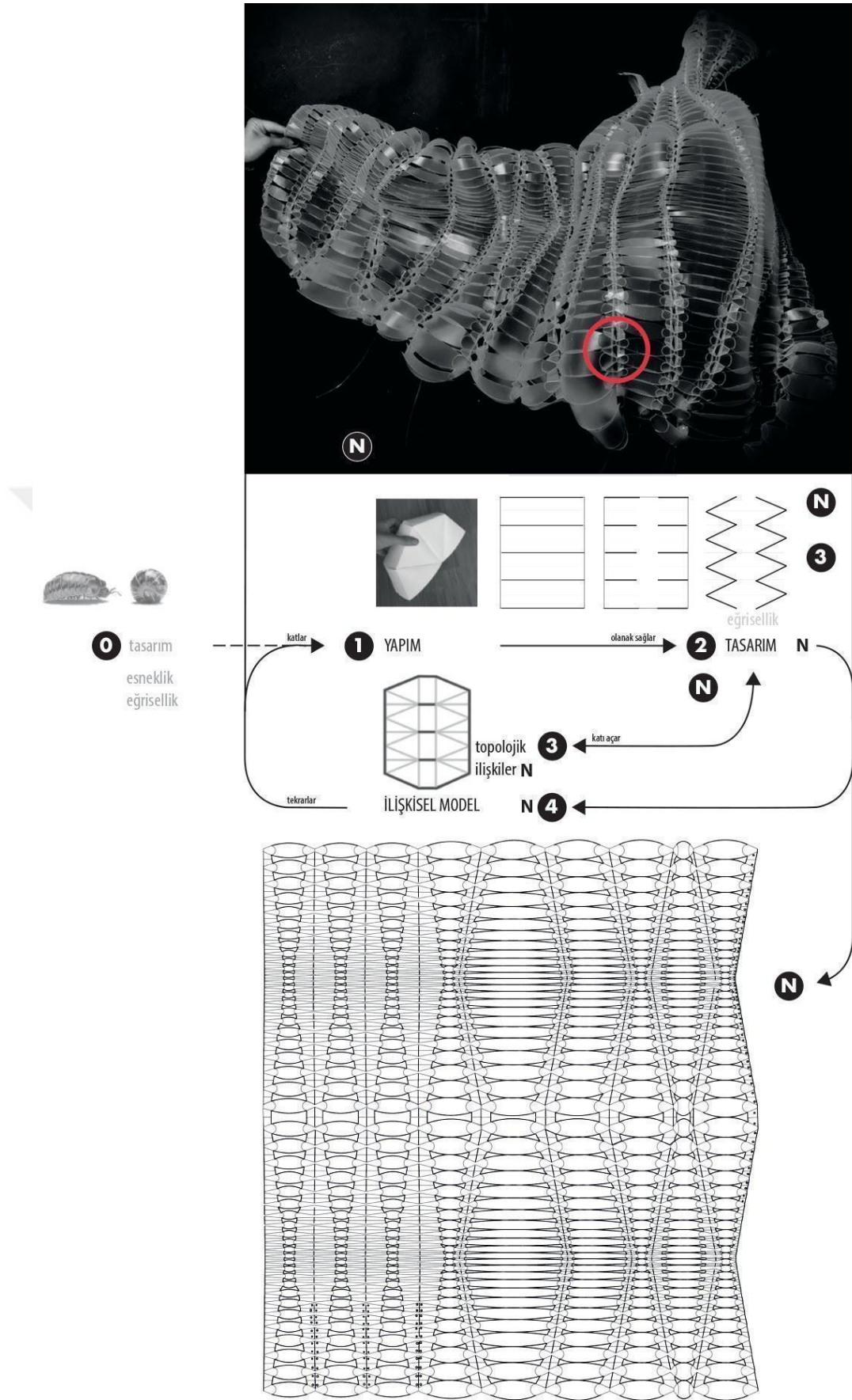
Yüzeyin sadece y yönünde eğriselliğine değil genişlemesi de tasarım sürecine dâhil edilmiştir. Bu aşamaya kadar yüzeyin diğer x yönünde alanı değiştirilmediği için yatayda genişletilmemiştir. Desenin ortasından geçen dikey akslar arasında kalan yüzey alanı x yönünde genişlediğinde ise belli bir genişlikten sonra yüzeyin dayanımı zayıflamış ve hafif düzlemsel yüzey malzemesi kendi kendini taşıyamaz olmuştur. Düzlem genişlediği x yönünde katlanmadığı için kiriş görevi gören dikey parçalar arasındaki açıklığın artması yüzeyin çökmesine sebep olmuştur. Ortaya çıkan bu durum, yüzeyin genişlediği yönde de katlanma eyleminin uygulanmasına sebep olmuştur. Yüzeyin dayanımını koruyarak genişlemesi için katlama deseni yan yana getirilerek çoğaltılmıştır (Şekil 3.52).

Katlama desenleri yan yana getirilerek çoğaltılırken öncelikle tek bir desen kopyalanmıştır. Bu desenlerin birlikte katlanabilmesi için içe içeri doğru katlanan yüzeylerin biraraya geldiği kenarların kesilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu tespit katlama desenine de yansımıştır (Şekil 3.52’de kesilecek çizgiler koyu renk ile gösterilmiştir).

Daha sonra farklı özelliğe sahip desenler yan yana eklenmiştir. Bu durum yeni problemler ortaya çıkarmış ve katlama deseninin parçaları arasındaki ilişkilere yeni kısıtlamalar olarak yansıtılmıştır. Yan yana gelen iki katlama deseninde yüzeyin katlanarak eğrisel bir form almasını sağlayan üçgen şekilli parçalar birbirine komşu olduğu takdirde beraber hareket etmektedir. Beraber hareket için aynı açı ile katlanmasının gerektiği anlaşılmıştır. Üçgen parçalar arasında kalan dörtgen yüzeyler ise katlanmadığı için bir miktar esnemeye izin verdiği için yüzeyin sağ ve sol yanında kalan üçgensel parçaların açılarının birbirinden farklı olabileceği anlaşılmıştır. Bu farklılık yüzey boyunca farklı eğimlerin elde edimesini sağlamıştır (Şekil 3.53).

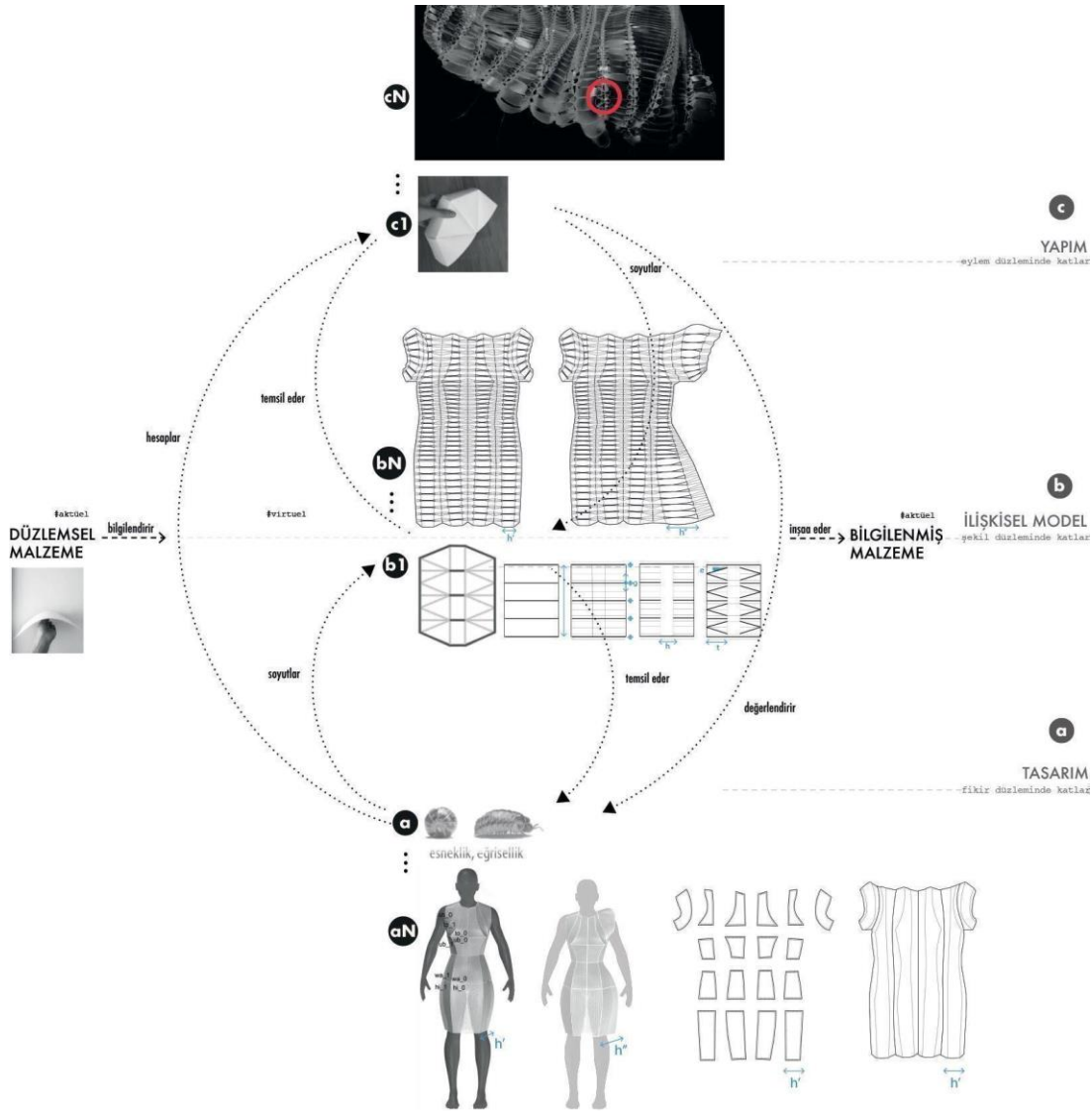


Şekil 3.53: Yedinci yineleme aşamasında ilişkisel modelin yedinci versiyonun (b) için şekil ilişkilerinin çalışılması.



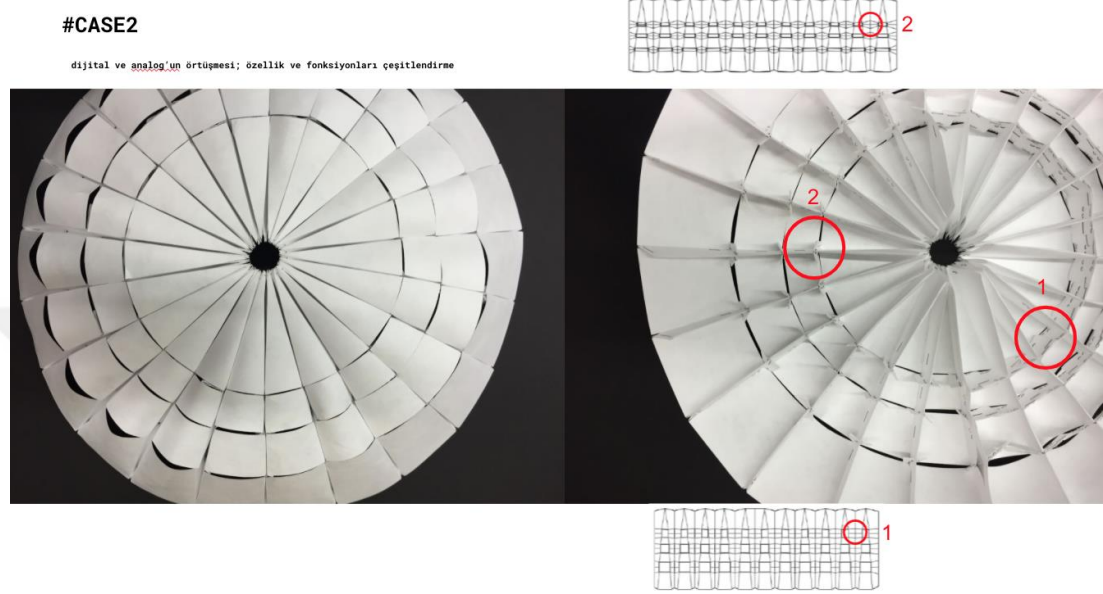
Şekil 3.54: Yedinci yineleme.

Süreçte keşfedilen farklı tasarım parametrelerinin şekil özellikleri ve ilişkileri olarak kodlandığı ilişkisel model, insan bedenine ikinci bir deri gibi oturan elbise tasarımına uygulanarak mevcut beden formunu saran yüzey niteliklerinin çeşitlendirilmesi ve zenginleştirilmesi için kullanılmıştır. Mevcut çift eğrilikli bir geometrinin birebir üretiminin yapılmasının ötesinde, geometrinin belirli bölgelerinde bire bir üretimini sağlarken belirli bölgelerinde hacimi, eğriselliği veya geçirgenliği çeşitlendirerek farklı yüzey etkilerinin üretimini mümkün kılmıştır.



Şekil 3.55: Versiyon 8 katlandığı zaman düzlemsel yüzeyi hacimlendirerek beden formuna etki eder.

Geliştirilen ilişkisel model aynı zamanda hem spesifik bir formun üretimini sağlarken hem de iki boyutlu desende içeri katlanan parçaların boyutları değiştirilerek yüzeyin altında kiriş görevi gören parçaların gerekli olduğu takdirde yüklere karşı daha fazla dayanım kazanmasını (Şekil 3.56-1) veya gerekli olmadığı takdirde malzemeden tasarruf edilmesini (Şekil 3.56-2) sağlayabilmektedir.



Şekil 3.56: Katlanan geometrik parçaların değişimi ile fiziksel modelde fonksiyonel farklılaşma.

- Değerlendirme

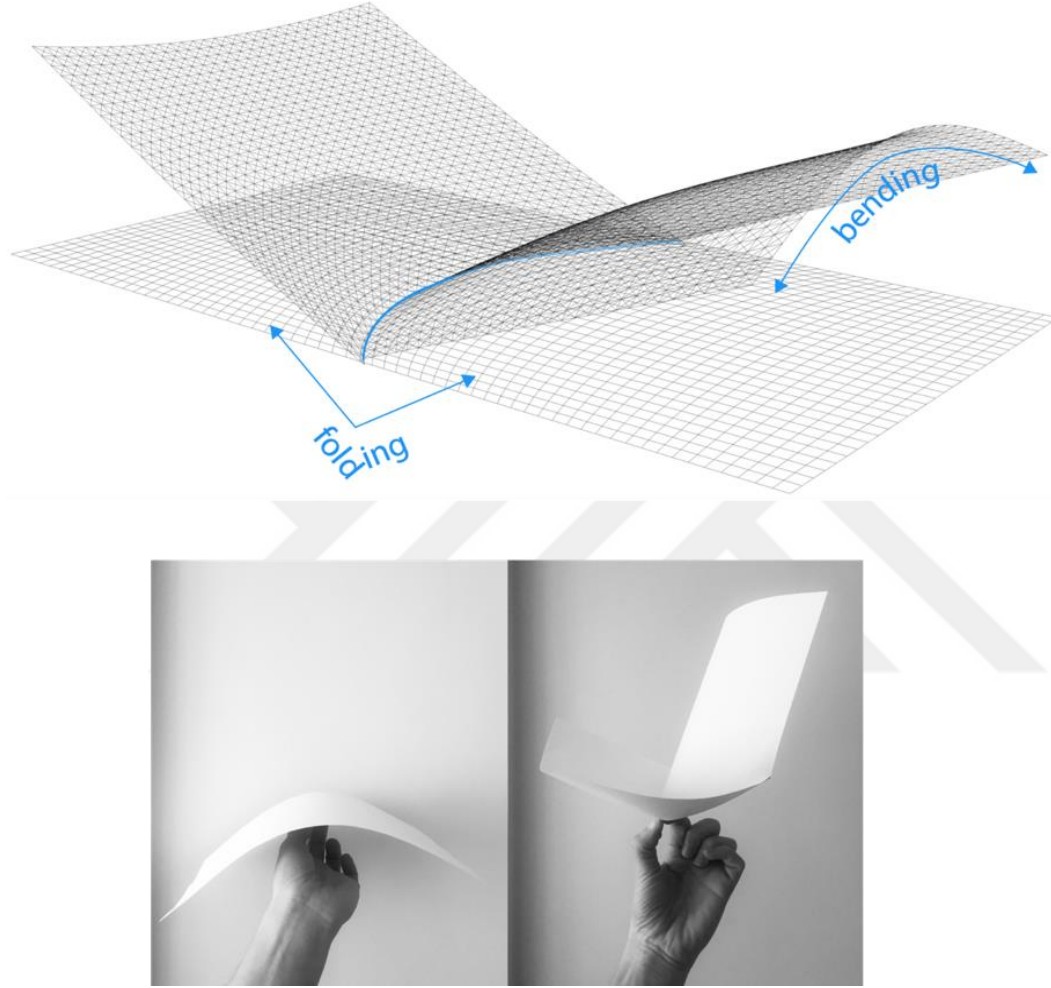
Bu bölümde, malzemenin, dijital modelin ve tasarım fikirlerinin birbiriyle etkili bir biçimde deneysel olarak keşfedilmesine dayalı bir sürecin protokolü yapılmıştır. Bu sürecin gelişimi malzemenin yapımı, dijital modelin tarifi, tasarım fikirlerinin artikülasyonuna ait her döngüde yinelenerek üretilen versiyonlar üzerinden tartışılmıştır.

3.2.3 Örnek 3: davranışı çeşitlendirilmiş model

Bu bölüm, eğrisel katlama yapımının dijital ortamda temsil edilmesi ve dijital temsili oluşturan tarifi manipüle edilip çeşitlendirilmesi ile tasarım versiyonlarının nasıl zenginleştiğini Curved.it (a design tool to integrate making with curved folding into digital design process) isimli bir örnek üzerinden tartışmaktadır.

Eğrisel katlamanın yaygın olarak kullanılan düzlemsel katlamadan farkı, düzlemsel malzemeyi üzerine eğrisellik derecesi sıfır olan dikey bir çizgi ile bölüp o çizgisel aks

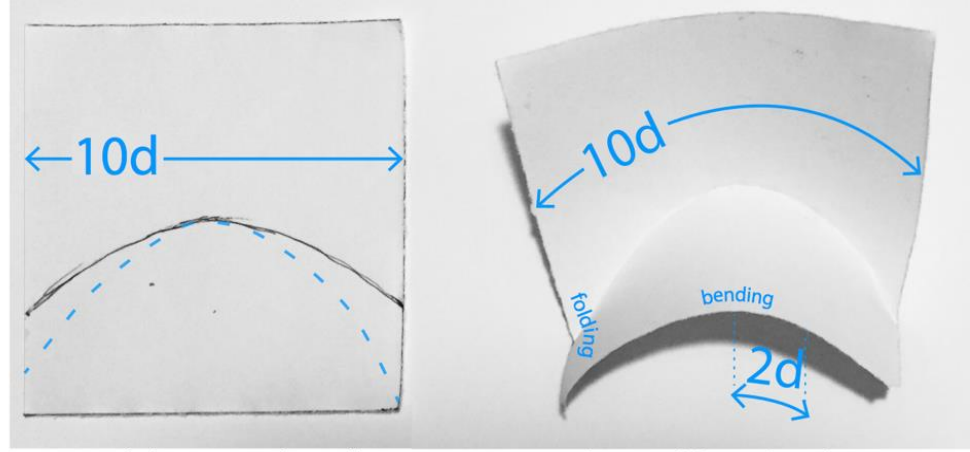
boyunca döndürmek yerine malzemeyi eğrisel bir aks etrafında döndürmektir. Malzeme düzlemini eğrisel aks etrafında döndürünce, eğri boyunca malzemenin farklı bölümleri eğriye dik bir biçimde yönelip yüzeyin her bir bölümünün yönelim açısı farklılaştığı için malzeme bölümleri birbirini itip katlanmanın yanında bükülmektedir (Şekil 3.57).



Şekil 3.57: Eğrisel katlama eylemi ile düzlemsel malzemenin katlanması ve bükülmesi.

Düz bir eğri boyunca katlama işlemi, üç boyutlu dijital modelleme programlarının (3Ds Max, Rhinoceros, Revit, Sketchup,...) yüzey oluşturma (surface) ve döndürme (rotate) araçları kullanılarak kolayca gerçekleştirilebilir. Ancak bu yöntem her katlama eylemi için işlememektedir. Örneğin bir yüzeyi bölen eğrinin (curve) kavisi (curvature) sıfırdan büyük ise, yüzeyin bölümleri, döndürme işlemiyle (rotate) katlanamaz (Şekil 3.58). Bir diğer deyişle, mevcut dijital modelleme araçlarıyla eğrisel katlama yapımının dijital ortamda temsilini gerçekleştirmek mümkün değildir.

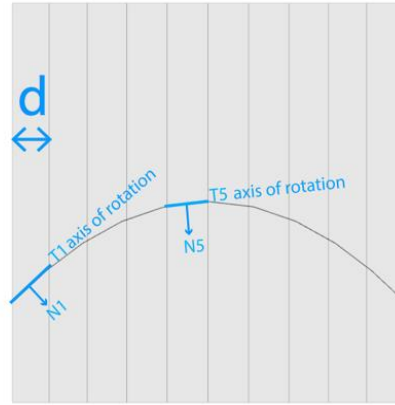
1
paper
model



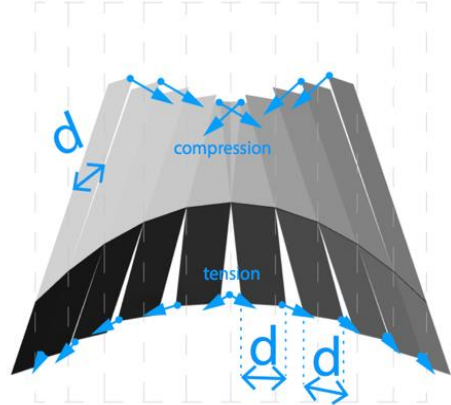
non-straight curve on the surface

change of the surface direction

2
piece-
wise
surface
model



direction of the points 1 and 5 along the curve



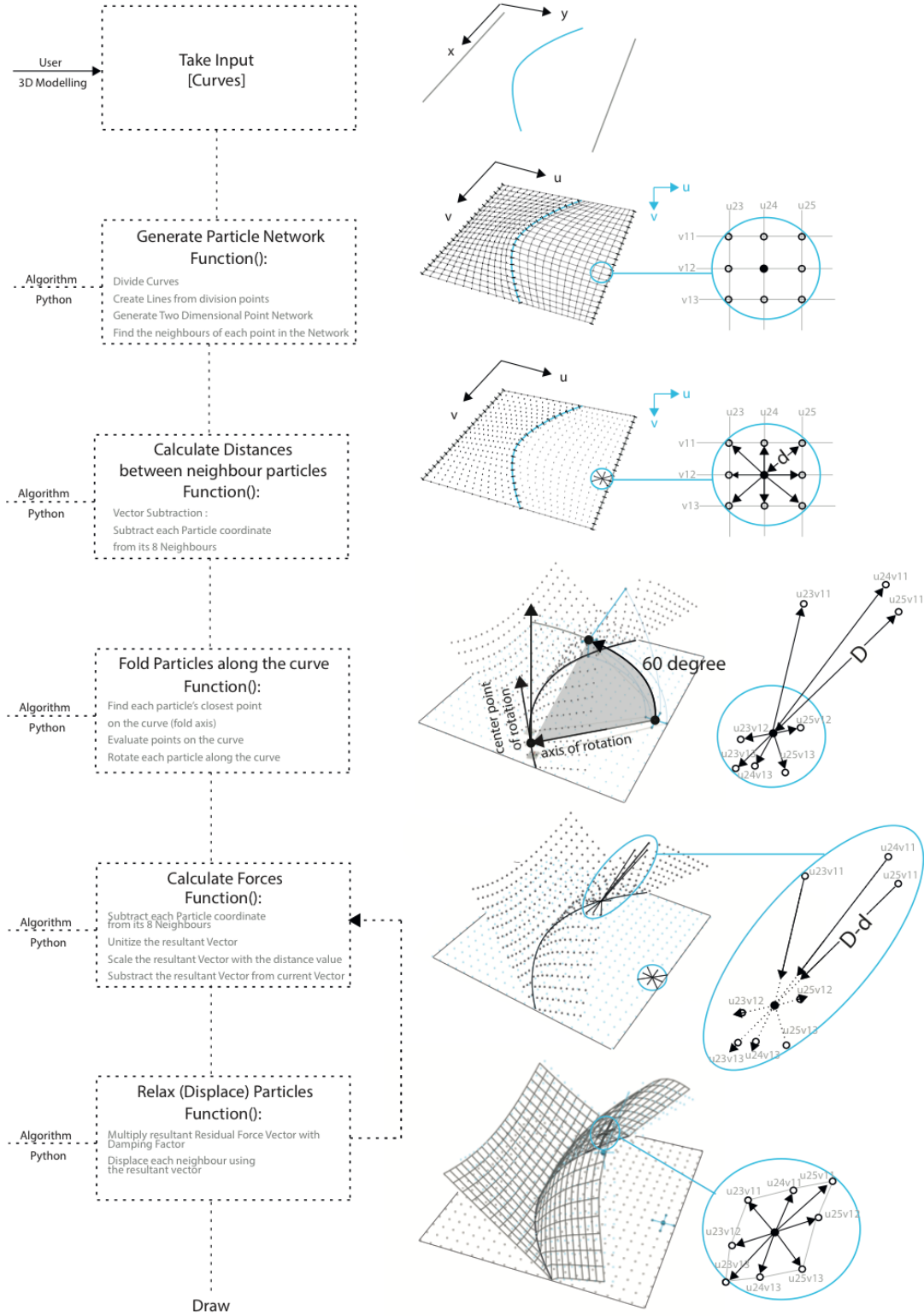
rotated discrete planes along the curve

A initial planar state

B folded (resting) and rotated state

Şekil 3.58: Düzlemsel yüzey, kavisi sıfırdan büyük olan bir eğri etrafında döndürüldüğünde yüzey bölümleri çakışır veya aralarında boşluklar açılır (yırtilır).

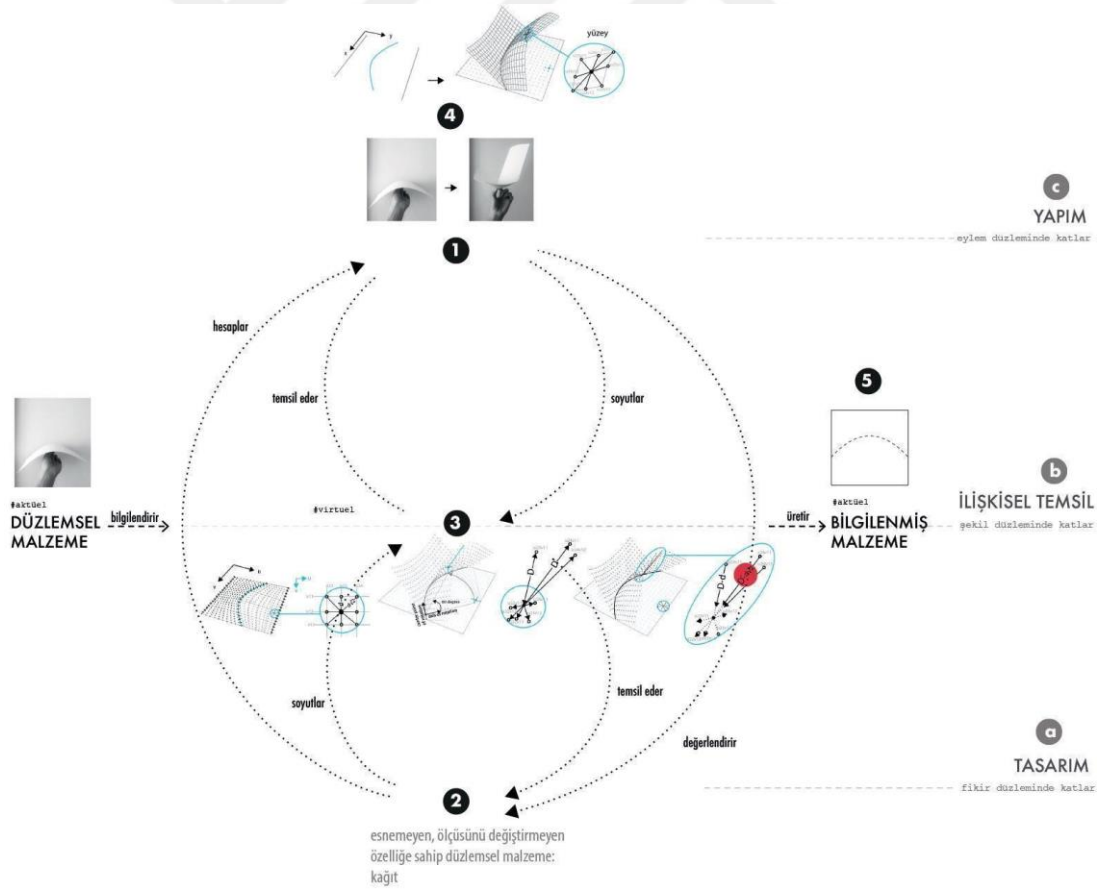
Malzemeyi bir eğri boyunca katlayınca, malzeme yüzeyinin bölümlerinin birbirini itmesiyle malzeme bükülerek ve katlanarak eğrisel bir kabuk formunu almaktadır. Kâğıt gibi düzlemsel bir malzeme esnemediği için eğri boyunca farklı yönde yönelen malzeme bölümleri birbirini sıkıştırıp veya çektiği için formunu değiştirmektedir. Bu nedenle eğrisel katlama eyleminin dijital ortamda temsili için malzemenin davranışı mikro ölçekte malzemeyi oluşturan atomik birimler arasındaki ilişkilere dayanarak soyutlanmıştır (Şekil 3.59).



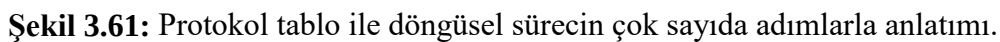
Şekil 3.59: Eğrisel katlama eyleminin dijital ortamda temsili için kâğıt malzeme davranışının yazar tarafından geliştirilen algoritma ile tarif edilmesi.

- Protokol tablo

Yapılan soyutlamaya göre malzeme yüzeyi bir grid ile bölündüğünde grid üzerinde yer alan her noktanın dikey, yatay ve çapraz komşuları ile arasındaki mesafe kâğıt malzemede olduğu gibi katlandıktan sonra da ölçüsünü değiştirmemektedir. Protokol tabloda izlenen süreçte eğrisel katlama yapımı (Şekil 3.60-1) üzerine yapılan değerlendirme sonucunda ölçüsünü değiştirmeyen kâğıt malzeme bir tasarım girdisi olmuştur (Şekil 3.61-2); kâğıt malzeme düzlemi, yatay ve dikey komşular arasındaki mesafenin d olduğu, çapraz komşular arasındaki mesafenin ise $d\sqrt{2}$ olduğu noktalardan oluşan bir grid olarak soyutlanmıştır; noktalar arasındaki mesafe eğri etrafında döndürülerek katlandıktan sonra tanımlanan algoritma komşu noktalar arasında uzayan veya kısalan mesafeleri tekrar d ve $d\sqrt{2}$ mesafelerine geri getirmiştir (Şekil 3.60-3). Tarif edilen algoritma kullanılarak dijital ortamda eğrisel katlama eylemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.60-4).

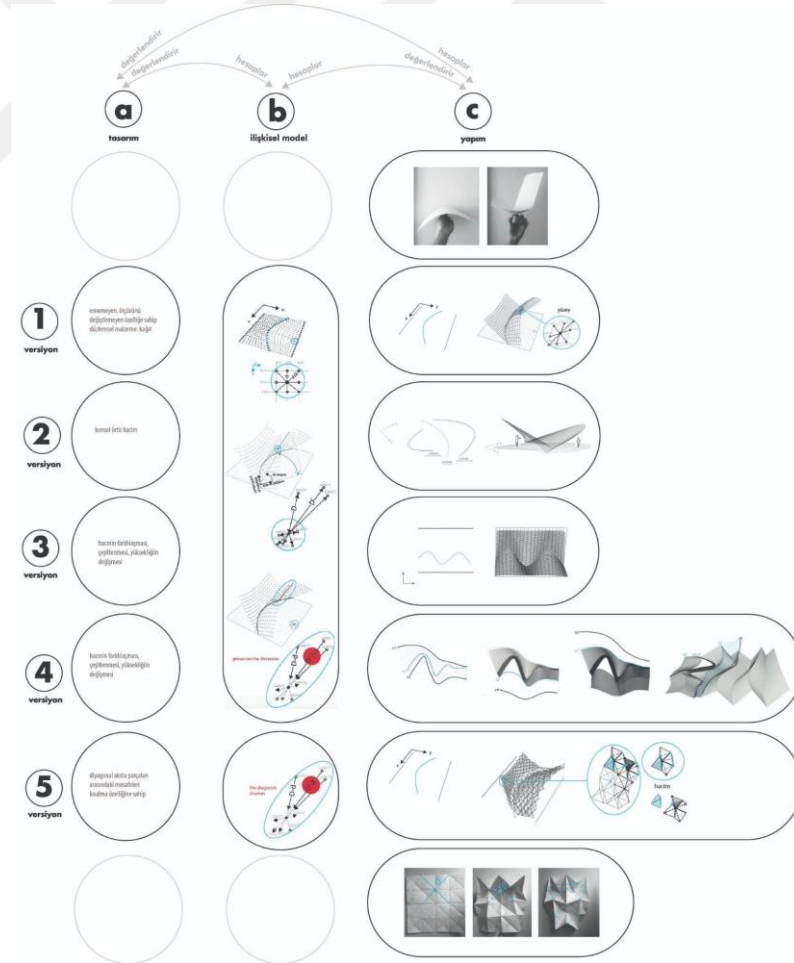


Şekil 3.60: Protokol tablo ile döngüsel sürecin sınırlı sayıda adımla anlatımı.



- Versiyonlar

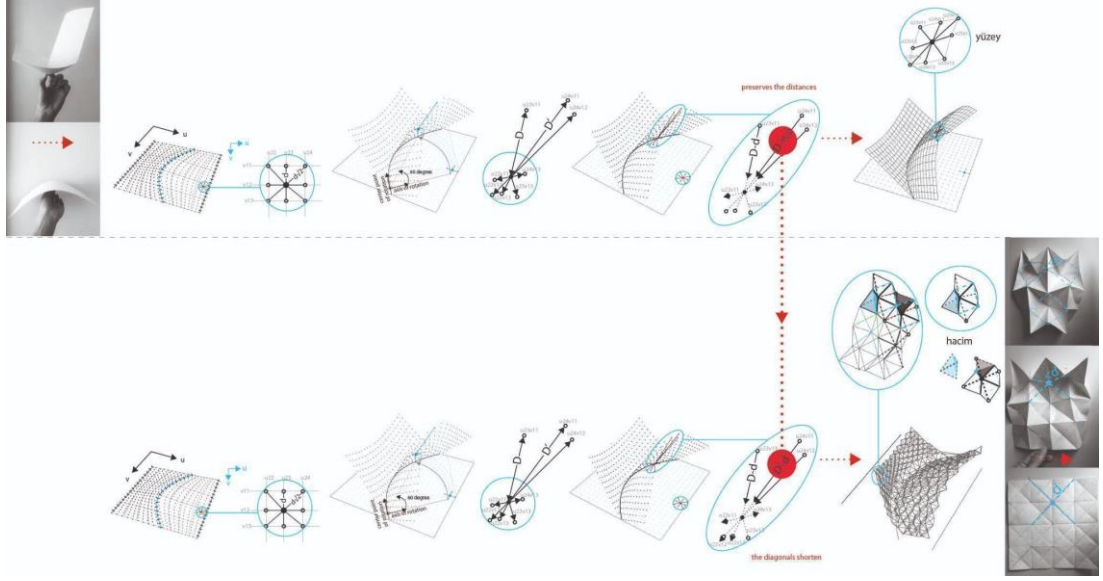
Aşağıdaki tabloda fikir, biçim, eylem düzleminde katlamanın (yinelemenin) gerçekleşmesi ile türeyen versiyonların ardışık dizilimi görülmektedir (Şekil 3.61). Bu tabloda eylem düzleminde katlamanın dijital ortamda temsil edilmesi için kâğıt malzeme davranışın soyutlanması ile geometrik şekil ilişkilerinin süreç içerisine katlandığı; tanımlanan formel ilişkilere dayalı olarak eğrisel katlama eyleminin dijital ortamda yapımının mümkün olduğu; dijital ortamda yapım sonucunda türeyen versiyonlar üzerine değerlendirme yaparak yeni tasarım fikirlerini türediği; tasarım vektöründen gelen yeni fikirlerin hesaplanması ile dijital ortamda yeni katlama eylemleri ile versiyonların türetildiği görülmektedir. Dijital ortamda katlama yapımını geometrik elemanlar arası ilişkiler üzerinden tarif etmek ve bu ilişkileri değiştirmek de tasarım sürecinde yeni keşifleri getirmiştir.



Şekil 3.62: Tasarım, yapım, temsil düzleminde katlama sonucu türeyen varyantların ardışık dizilimi.

- Değerlendirme

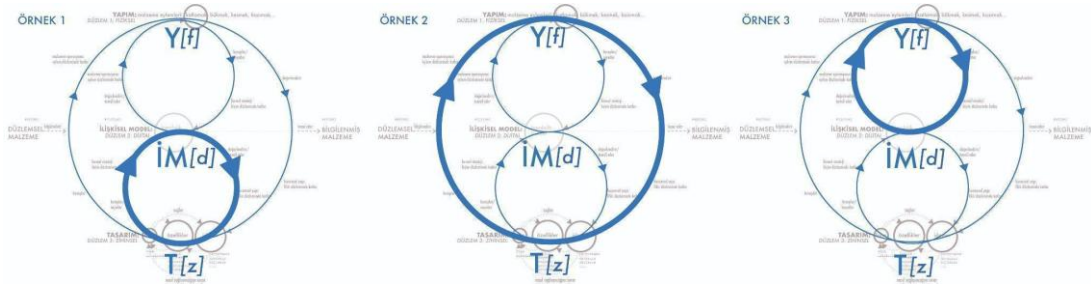
Bu çalışmada eğrisel katlama eylemi, dijital ortamda yapımının gerçekleşmesi için soyutlanmıştır. Eğri etrafında malzemenin davranışının soyutlaması için kâğıt malzeme düzlemi parçalara bölünüp parçalar arasındaki rijitlik sayısal değerlerle tarif edilmiştir. Bahsedilen soyutlama ‘dinamik rahatlama’ isimli algoritmik bir tekniğe dayalı olarak geliştirilmiştir. Dinamik rahatlama tekniği, sabun köpüğü gibi minimal yüzeylerin veya yerçekimi etkisiyle form bulan asma zincir eğrilerinden oluşan yüzeylerin kısalması veya uzaması gibi davranışlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Otto, 1973; Kilian, 2005). Örneğin, sabun köpüğü geometrisinin nasıl davrandığını, yüzey sürekliliğini noktalardan oluşan alt parçalara bölüp parçalar arasındaki mesafeyi kısaltarak hesaplamaktadır. Bu çalışma da, aynı ilişkisel modeli bir kağıdın eğri etrafında katlanarak nasıl davrandığını hesaplamak için kullanmıştır. Bu örnek özelinde yüzey sürekliliği alt parçalara bölündükten sonra parçalar eğri etrafında döndürülmüş ve parçalar arasındaki mesafenin kısalma yerine eski mesafesini koruması algoritmik olarak tarif edilmiştir. Geliştirilen algoritma farklı eğrisel şekiller etrafında kağıdın katlanarak nasıl davrandığı ve form bulduğuna dair dijital ortamda keşifler yapmayı sağlamıştır. Aynı ilişkisel modeli oluşturan parçalar arasındaki yatay ve dikey komşular arasındaki mesafelerin korunması ancak diyagonal komşular ile mesafelerin ($d\sqrt{2}$ yerine d olarak) kısalması tarif edildiğinde ise yeni bir malzeme davranışı ortaya çıkmıştır (Şekil 3.62). Düzlemsel yüzey kendisini oluşturan parçalar arasındaki mesafenin yatay ve dikeyde komşuları ile mesafesini koruyup diyagonal komşular arasındaki mesafeyi kısalttığı zaman düzlemsel yüzey parçaları artık üçgen prizmatik hacimlere sahip birimlerden oluşan üç boyutlu yeni bir malzeme örüntüsü ortaya çıkarmıştır. Ortaya çıkan davranışın kâğıt malzeme üzerinde yapımı ise yoshimura/waterbomb katlama tasarımına benzer bir oluşumun elde edilmesini sağlamıştır (Şekil 3.63).



Şekil 3.63: İlişkisel modeli oluşturan nokta elemanlar arasındaki mesafe kuralının değiştirilmesi ile yeni malzeme davranışının keşfedilmesi.

- Değerlendirme

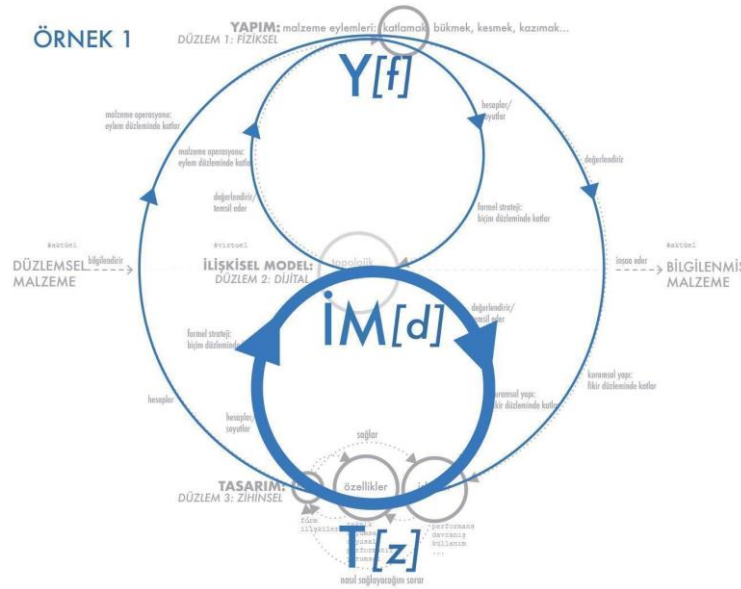
Bu bölümde yer alan üç örnek çalışma, yapım ve tasarım vektörlerinin etkisiyle dijital ortamda ilişkisel modelin oluşum sürecini; bu süreçte eylem, fikir, biçim düzleminde katlamalar ile keşfe dayalı olarak tasarımın ilerleyişini protokol tabloları ile birlikte tartışmaktadır (Şekil 3.64).



Şekil 3.64: Üç örneğin protokol şemalarının karşılaştırılması.

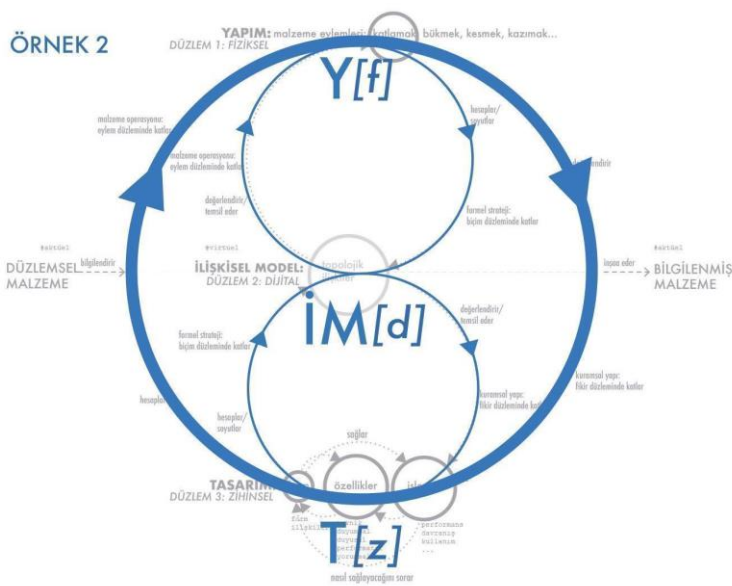
İlk örnek yoğun olarak tasarım vektöründen gelen fikirlerinin beslemesiyle gelişmiştir. Biçim düzleminde katlama ile şekillerin birbiriyle ilişkisi ve dönüştürülmesi üzerine değerlendirme yapılarak mekansal tasarım konfigürasyonlarının keşfi gerçekleşmiştir. Eylem düzleminde katlama ise yapım/inşaa edilebilirlik için sürece dâhil edilmiştir. Yapıma dair girdi/kaygıların dâhil edilmesiyle ilişkisel modeli oluşturan geometrik

şekil ilişkileri değiştirilmiş ve yeni şekil ilişkileri tasarım fikirlerine de yansımış, etki etmiş, tasarımın gelişimine katkı sunmuştur (Şekil 3.65).



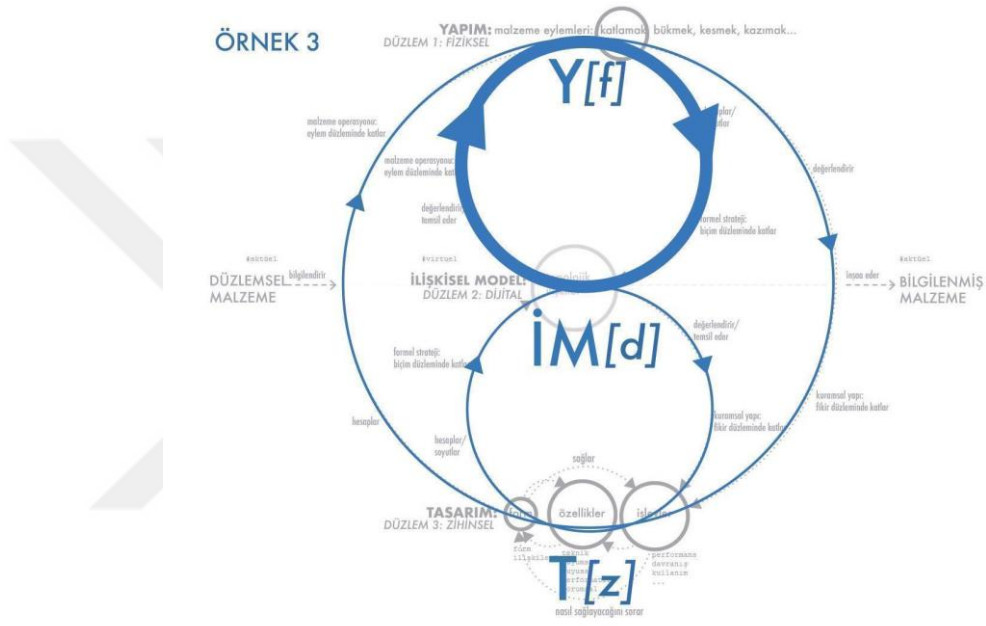
Şekil 3.65: İlk örneğin protokol şeması.

İkinci örnek yapım odaklı ilerleyen bir süreçtir. Yapım ve tasarım arası gidiş gelişlerle edinilen keşifler dijital ortamda ilişkisel modeli oluşturan şekil ve şekil ilişkilerinin tarifini belirlemiştir. Süreç boyunca yapım eylemlerinin, tasarım fikirlerinin ve ilişkisel modelin versiyonları üretilmiştir. Sonuçta elde edilen ilişkisel model farklı bağlamlara adapte edilebilen çok fonksiyonlu bir malzeme tasarımıdır (Şekil 3.66)



Şekil 3.66: İkinci örneğin protokol şeması.

Üçüncü örnek ise dijital ortamda ilişkisel modelin geometrik elemanlar arasındaki topolojik ilişkilere dayalı tanımını merkez alarak geliştirmiştir. İlişkisel model dijital ortamda eğrisel katlama yapımı ile farklı tasarım fikirlerinin değerlendirilmesini sağlamış ve yeni tasarım fikirleri hesaplanarak yeni yapma eylemleri ile süreç ilerletilmiştir. Süreci zenginleştiren diğer bir adım, ilişkisel modeli oluşturan geometrik elemanlar arasındaki mesafe ilişkilerinin farklılaştırılarak yeni tasarım fikirlerinin keşfedilmesi ve keşfedilen fikrin malzeme üzerinde uygulanması olmuştur (Şekil 3.67).



Şekil 3.67: Üçüncü örneğin protokol şeması.

Tüm çalışmalarda tasarım düzleminde katlamak, zihinsel; biçim düzleminde katlamak ilişkisel modellemeye dayalı, dijital; eylem düzleminde katlamak ile yapım, malzeme ortamlarında gerçekleşen süreçlerin adım adım yinelenerek ilerletilmesine karşılık gelmiştir. Sadece üçüncü çalışmada eylem düzleminde katlamak malzeme ile yapıma ek olarak dijital ortamda yapım olarak icra edilmiştir.

Süreçte girdileri dışsallaştırmak, farklı düzlemlerdeki girdilerin birbirleriyle ilişkilerini artiküle etmek süreç üzerinde hakimiyeti ve dolayısıyla keşif potansiyelini de arttırmıştır. Aynı zamanda tasarım nesnesinin ilişkisel modelleme aracılığıyla dinamik ilişkiler ağı olarak temsil edilmesi, süreçte gelişmekte olan ürünün farklı durumlarını göz önünde bulundurarak tasarım ürünün kapasitesini artırmayı sağlamıştır.



4. SONUÇLAR

Bu çalışma, deneyimsel (experiential) ve keşif odaklı (explorative) bir araştırmadır. Öncüllere referans veren teorik bir arkaplan çalışmasının üzerine pratikte yapılan çalışmalarla bir deneyim aktarır. Bu deneyim, sürece dahil edilen üç bileşen olarak yapmak, tasarlamak, ve sayısal tasarım arasındaki mevcut kopukluğa odaklanıp, bahsedilen kopukluğu bağlamanın potansiyellerini ve olasılıklarını sorgular. Bahsedilen kopukluk yapma sürecinde malzemeye içkin tasarım veçhelerini süreçte soyut temsil mekanizmalar ile ilişkilendirmenin yanı sıra, tasarım eyleminin süreçte yapılandırılan muğlak gidişatı ile sayısal tasarımın strüktüre olan katı çerçeveleri arasındaki çelişkilerden kaynaklanır. Üç ortam arasında bağlantı kurmak ise tasarlanmakta olan nesnenin bütünselliği ve tasarlanmakta olana katma değer sağlayacak keşifleri doğurması açısından önem taşır. Bu nedenle bahsedilen deneyim bir keşif modeli ortaya koyar. Keşif modeli, katlamanın kavramsal, eylemsel, prosedürel modalitelerine dayanır. Geniş bir çerçeveden, katlamanın sayısal tasarımdaki rolü üzerine çalışır.

4.1 Bulgular ve Tartışma

Çalışma başlangıcında katlamak saf bir yapım eylemi olarak ele alınır. Katlamanın eylemsel, kavramsal, prosedürel, tasarım aracı olarak içkin bilgisini dışlaştırmaya çalışır. Sonuçta, katlamanın hiç bir zaman salt bir katlama olmadığı tespit edilir. Katlamayı belirli modalitelere döker:

Eylemsel olarak katlamak, başka eylemler ile birlikte icra edilir. Tekil bir eylem değildir. Katlamak, işaretleme, yırtma, kesme, çıkarma, bükme, kıvrıma, ayırma, ekleme, bir araya getirme, bütünleştirme gibi yan eylemler ile birlikte gerçekleşmektedir.

Kavramsal olarak katlamak, bir diyalog halidir. İki yüzün diyalogu ile katlama total olarak tez, anti-tez, ve sentez üretimini içerir.

Prosedürel olarak katlamak, materyalite ile birlikte tarihsel bir izlek verir. Katlama operasyonları için uygulanan prosedürler sadece prosedür olarak kalmaz. Eylem

sırasında malzeme üzerinde kalan ize dayalı olarak eylem yeniden değerlendirilir. Katlanan malzeme geri açılır, açıldıktan sonra elde edilen izler yeniden yorumlanarak planlanan prosedürün gidişatı değiştirilir.

En nihayetinde bahsedilen modaliteler üzerinden bakıldığında katlamanın salt katlamak olmadığı bu tezin ana bulgusudur. Katlamak, sürekli yeni bir girdinin, veçhenin, durumun süreçte ortaya çıkması ve süre giden eylemle ilişkilmesi ile birlikte yaparak tasarlamının bir modelini sunar.

Tezin temel araştırma soruları özetle aşağıdaki gibi yanıtlanır.

1- İncelenen deneyler sonucunda tasarımcının bir eylemden (mesela katlama) yola çıkarak işlevi çeşitlenen ve malzeme yoğunluğu derecelenen heterojen tasarımlar üretecek sayısal bir çerçeveyi, biçim keşifleri üzerinden biçime dair geometrik nitelikleri strüktürel entegrasyon, mekansal olasılıklar, esneklik gibi tasarımın farklı veçheleriyle ilişkilendirerek; taşınılabirlik, üretilebilirlik ve dijital fabrikasyon anlamında kısıtlamaların da geometrik değişkenlerle bağlantısını kurarak geliştirebileceği görülmüştür.

2- Süreç boyunca yapma, tasarlama, modelleme aktivitelerini ve temsil mekanizmalarını keşfe dayalı icra etmek için basit eylemler ve küçük kavramlardan başlayarak üzerinde çalışılan nesnenin biçimsel niteliklerini, bileşenlerini, bileşenler arası değişken ilişkilerini geometrik olarak tarif etmek, tarif edilen olguyu dönüştürerek varyasyonlarını türetmek ve üzerinde çalışılan soyut tanımın tasarımın farklı veçheleriyle ilişkilendirerek ve ilişkilendirilen olgunun varyasyonlarını üretmek için tekrar soyut ilişkileri dönüştürerek nesnenin kapsamını adım adım zenginleştirmenin esas olduğu sonucuna varılmıştır.

3-Çalışma kapsamında önerilen, katlama eylemi içeren dijital tasarım oluşum süreçlerinin adımları ve ilişkilerini tanımlayan bir protokolün gelecekte malzemeyi bilgilendirerek tasarımın farklı veçhelerini üretim teknikleri üzerinden kurmak için kullanılabilecek dijital fabrikasyon yönergelerinin oluşturmada ipuçları sağlayacağı öngörülmektedir.

4.1.1 Varyasyonlar üzerinden keşifler

Tasarımda yapma eylemi olarak katlamak, dijital ortamda geometrik form ve biçimler arası topolojik ilişkiler olarak temsil edildiği koşulda hem biçim ve biçim ilişkilerinin

kendi kendisine referansla hem de tasarım ve yapım vektöründen gelen girdilere referansla geometrik kompozisyonu oluşturan formel ilişkilerin değiştirilmesi; bu farklılaştırma sonucunda yeni yapım eylemi ve tasarım fikirlerine dair varyasyonların (versiyonların) türetilmesi, analog ve dijital arası gidiş gelişleri desteklemiştir.

Fiziksel eylemler, malzemeye birlikte düşünmeyi sağlayarak soyut çizimlerle kavranması zor tasarım fikirleri için yeni kanallar açmış, dijital eylemler ise fiziksel ortamda yapımı zor veya mümkün olmayan formel keşifleri (örneğin bir düzlemin sonsuz sayıda katlanması veya yerçekimsiz ortamda tasarım nesnesinin oluşturulması gibi) mümkün kılarak yeni sentezlerin oluşması için zemin sağlamıştır.

Yukarıda bahsedilen bulgular, düzlemsel malzemeyi enforme edecek bir ilişkisel modelin oluşumuna dair önerilen bir protokol çalışmasına ve önerilen protokol çalışması ile incelenen üç tasarım örneğine dayalı olarak çıkarılmıştır.

Burada yapılan çalışma ile üretilen tasarım nesnesinin anlamını kavramak için malzemeyi enforme etmek ve enformasyonu materyalleştirmek arasındaki ayrımı dikkat etmek önem teşkil etmiştir.

Katlama tekniğine dayalı olarak malzemeyi enforme etmek için katlama tekniği ve katlanan düzlemsel malzemenin özellikleri ve geometrisini anlamak ve bu deneyime dayalı olarak enformasyonun içeriğini kurgulamak önemlidir. Enformasyonun katlama yapımına ilişkin içeriği, fiziksel ortamda malzemeye birlikte kazanılan deneyime veya düzleme açılabilir yüzey geometrilerinin (developable surfaces) oluşturulması gibi apriori geometrik kurallara dayalı olarak oluşturulabilir. İşte bu yapım vektöründen gelip dijital ortamda geometrik elemanlar ve elemanlar arası ilişkiler olarak tarif edilen ilişkisel modelin oluşumuna katılan enformasyon, eylem düzleminde katlamanın sürece dâhil edilmesidir. Ancak sürecin ilerlemesi ve gelişmesine etki eden tek vektör yapım düzlemiyle ilişkili değildir.

Çalışma, erken tasarım sürecinde tasarım nesnesinin var olma gerekliliği olan bağlam ile sayısal teknikler arasındaki aktif diyalogu ele alması ile sayısal ortamda geliştiren diğer örneklerden farklılaşmıştır. Salt soyut bir biçim değil gerçekte karşılığı olan bir ürünün olasılıkları üzerinden tasarlanan nesnenin bağlamı ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde malzemeye içkin bilgi de tasarımın bir girdisi haline dönüşerek bağlamın yapılandırılmasında rol oynamıştır. İncelenen öncüllerde malzeme bilgisi değil sadece biçim verisi önemlidir. Öncüller, katlanan şeye sadece

malzeme üzerine yapılan eylemlerin ya da onların artikülasyonlarının nasıl sonuçlar doğurduğu üzerinden yaklaşır. Halbuki, bu bakış malzeme bilgisine içkin olduğu vakit başka performatif sonuçlardan bahsetmek söz konusu olmuştur. Ne ölçüde malzemenin ve hangi operasyonlar ile katlanabileceği, ne ölçüde biçim verilebileceği, ne nitelikte sonuçlar elde edileceği malzemeye içkindir. Dolayısıyla, bu tez malzemeye içkin bilginin de sayısal tasarım sürecinin bir verisi olabileceğinin ipuçlarını içerir ve bu yönden yenilikçi bir çalışma ortaya koyar.

4.1.2 Keşifler için yapmak, bakmak, bozmak, ifade etmek

Dijital ortamda geometrik elemanlar ve elemanlar arası ilişkilerin tarif edilmesi, Stiny (2006)'nın şekil hesaplamaları kuramında önerdiği gibi geometrik şekillerin birbiriyle farklı şekilde etkileşiminin tespit edilmesi ve ilişkilerin çoğaltılmasının da önünü açmaktadır. Geometrik şekil ve şekil ilişkilerinin kendi kendine referansla dönüştürülmesi ve zenginleştirilmesi bu çalışma kapsamında biçim düzleminde katlamak olarak isimlendirilmiştir. Biçim düzleminde katlamak da yaratıcı keşiflere olanak sağlayıp süreci ilerletme yollarından biridir. Biçim düzleminde katlamak şekillerin kendi kendisine referansla da, yapıma ve tasarıma dair kaygıların güdüsüyle de gerçekleşebilmektedir.

Hem yapım ve ilişkisel modeli oluşturan geometrik şekil ve şekil ilişkilerinin etkisiyle hem de onlardan bağımsız olarak tasarım vektöründen sürece dâhil olan girdiler ise fikir düzleminde katlamak olarak bu çalışma kapsamında isimlendirilmiştir. Tasarım fikri süreçte girdiği gibi kalmayıp farklı bileşenlerle etkileşime girerek dönüştüğü ve zenginleştiği için (Yürekli ve Yürekli, 2007) tasarım süreci boyunca katlanmaktadır. Ayrıca tasarım içeriğinin ilişkisel bir modelle geometrik elemanlar arasında kurulan dinamik ilişkiler olarak dijital ortamda temsil edilmesi, tasarım nesnesinin olasılık uzayının strüktürünü (DeLanda, 2011) oluşturmaktadır. İlişkisel modelin bir anına ve belirlenen parametrelerine dayalı statik bir çıktısı Deleuze (1993)'ün kuramındaki tekil bir kıvrımın oluşumu ile kavramsal olarak örtüşmektedir.

Bu çalışma kapsamında üç örnek çalışma üzerinden fikir, biçim, yapım düzleminde katlamanın birlikte işleyişine dair bir protokol önerisi sunulmuştur. Sunulan protokol önerisine dayalı yapılan çalışmaların, katlama yapımını dijital ortamda ilişkisel modelleme süreçlerine entegre ederek tasarımcılara katkı sunacağı öngörülmektedir.

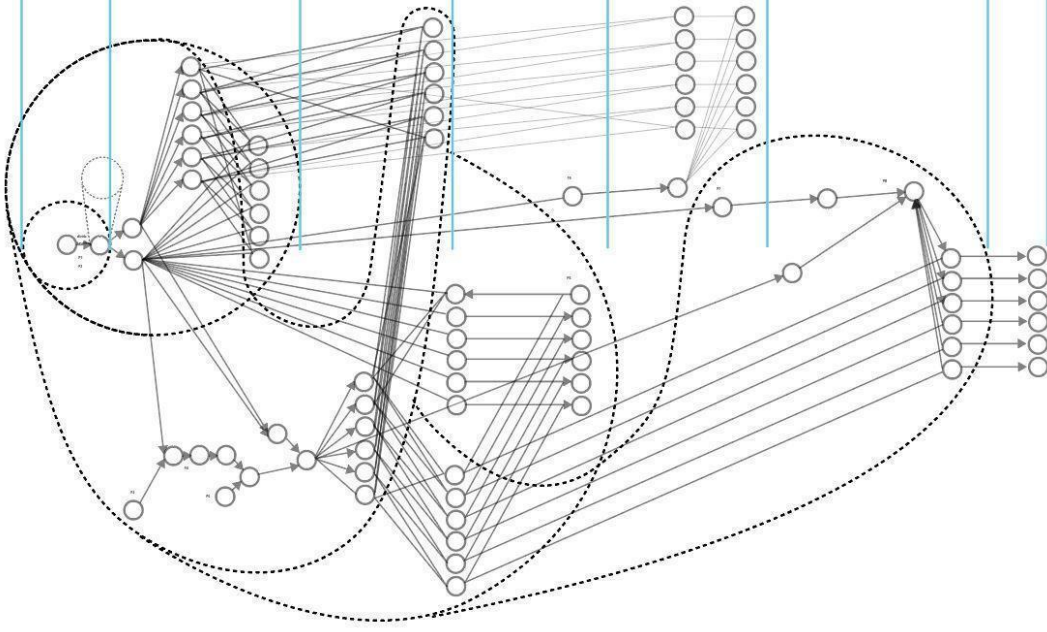
Çalışma kapsamında önerilen, yapım, tasarım, temsil düzleminde katlamalara dayalı bir dijital oluşum sürecinin adımları ve ilişkilerini tanımlayan protokolün, malzeme operasyonu olarak katlama veya farklı malzeme operasyonlarının dâhil olduğu tasarım süreçlerinin geliştirilmesinde kullanımı mümkündür.

Katlama yaparak tasarlarken fiziksel eylemin malzemeye uygulanması ile fiziksel ortamda duyumsanan ve deneyimlenen etki, tasarım sürecine girdi sağlamaktadır. Bu duyum ve deneyimin dijital ortamda formel ilişkiler olarak ifade edilmesi, fikir-biçim-eylem düzleminde katlamayı beraberinde getirirerek tasarımda keşif potansiyelini arttırmakta ve tasarım uzamını zenginleştirmektedir. Bu senaryo üç çalışma ile örneklendirilmektedir. Örneklerin protokol çalışmasında üç farklı düzlemde gerçekleşen keşifler, süreçte üretilen versiyonlar üzerinden gösterilmektedir.

Zanaat süreçleri genellikle dile getirilmeye örtük becerilere odaklanmakta iken hesaplamalı zanaat sürecin göreceli olarak şeffaflaşmasına katkıda bulunmak potansiyeli taşır

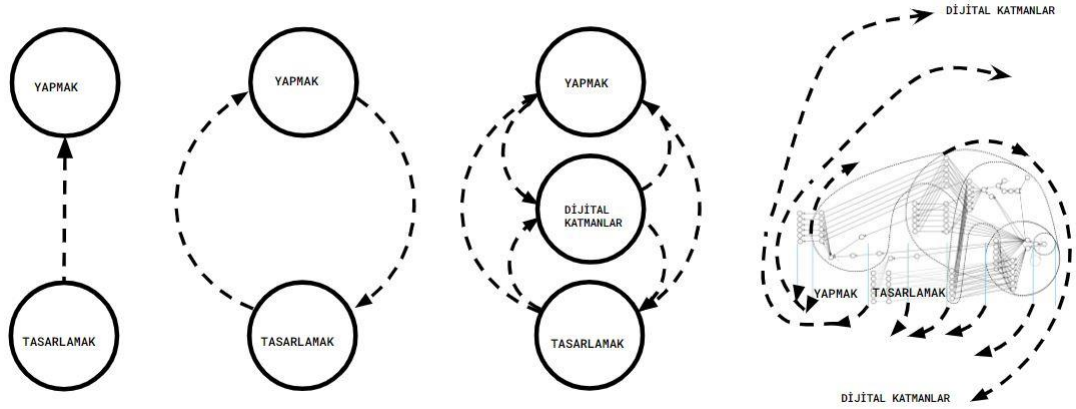
Bu çalışma kapsamında, tasarım sürecinin başında, sonunda ve tasarım süreci boyunca hesaplamalı çerçevenin geliştirildiği üç örnek incelenir. İncelenen üç sürecin ilk aşaması ilk örnekte, tasarım ve modellemenin; ikinci örnekte, yapım ve tasarımın; üçüncü örnekte, yapım ve modellemenin birlikteliğinde geliştirilir. Aşağıdaki grafikte (**Şekil 4.1**) daireler içerisine alınmış diyagramlar modelleme sürecini göstermektedir. Daire içerisindeki her bileşen modelleme sürecinde kullanılan bir adımdır.

Her bir sürecin farklı durumlarında bu çerçevelerin yaratıcılığa katkı sağlayabildiği görülür. Süreç boyunca geliştirilen hesaplamalı çerçeve modelinde, geometrik bileşenlerin özelliklerini ve ilişkilerini dönüştürmek; süreç sonucunda geliştirilen hesaplamalı çerçevenin kurulmasına altlık sağlayan bilginin keşfedilmesi ve toplanmasında; süreç başında geliştirilen hesaplamalı modelin ardışık uygulanması sürecinde ve sonrasında modele ek fonksiyonlar ekleyerek tasarım gelişir.



Şekil 4.1: İlişkisel modeli oluşturan tasarım eylemlerinin fikir ve yapım düzleminde keşiflere göre kümelenmesi.

Başlangıçtaki hipotezden farklı bir bulgu olarak dijital katmanların hem yapma hem de tasarlama içerisine nüfuz ederek ara kesitlerin kaybolduğu dördüncü bir şema çalışma sonunda görselleştirilir (**Şekil 4.2**). Bu şema ile yapmanın dijital ile daha da zenginleşeceği vurgulanır. Tez başlangıcında kurulan şema, süreçte elde edilenlere göre malzemeye içkin bilgiyi de içeren yeni bir adımın eklenmesi ile yeni bir grafiğe dönüşür. Sonuçta, dijitalin her yerde kapsayıcı olduğuna dair bir şema eklenir. Ürünün ortaya çıkma sürecinin tamamında yapmak, tasarlamak, malzemeye içkin bilgi ile birlikte keşfetmek dijital ortamda olduğunda ortada ayrıştırılmış katmanlar kalmaz, dijital hepsini kapsayıcı olur. Çalışma, küçük adımlarla mantık çerçeveleri kurulduğu takdirde dijitalin kapsayıcı bir potansiyeli olabileceğine ilişkin bir potansiyel elde eder. Malzemeye içkin bilgi de dijitalin içerisine koyulabilir.



Şekil 4.2: Sonuçta ortaya çıkan şemanın görselleştirilmesi.

4.2 Tezin Sonuçları ve Değerlendirmesi

Sonuç olarak çalışma, erken tasarım sürecinde bir yapma yordamı olarak katlamanın geometri bilgisine dayalı hesaplamalı tasarım süreçlerini nasıl zenginleştirdiğine vurgu yapar. Çalışmanın özgün katkısı, form/biçim, malzeme, dijital temsil arasında tasarımcıya nasıl bir ilişki düzlemi koyacağına dair bir kavramsal çerçeve / bakış açısı sunmasıdır. Bu çerçeve, yeni okumalar yapılabilecek, bundan sonraki çalışmalarda katlama yerine başka eylemler ile veya üzerine eklenebilecek yeni eylemler ile ve ilişkiler ile başka karşılaşmalar içeren bir alt yapı sağlamaktadır.

Tasarım sürecinde tasarımcının odağı tasarlamakta olduğu nesnenin farklı yanlarında dair fikirler ve bu fikirleri çözmek için dışsallaştırdığı ara nesnelerdedir. Tasarımcının eylemleriyle tasarım nesnesini nasıl görünür kıldığı ise ikincil öneme sahiptir. Tasarım nesnesini geliştirme sürecindeki ara nesneleri görünür kılan en yaygın tasarım eylemleri kağıt üzerine çizim yapmak, fiziksel malzemeleri şekillendirerek maket yapmak, bilgisayar ortamında çizim veya üç boyutlu modeller yapmaktır. Tasarımcı, eylemin kendisi üzerinde değil eylem sonucu üretilenin ne olduğu, ne sağladığı üzerinde akıl yürütür. Son yıllarda yaygınlaşan hesaplamalı tasarım düşüncesi ise tasarım nesnesinin nasıl üretildiği, nesneyi üreten bileşenler ve bileşenler arası ilişkilerin matematiksel ve mantıksal yollarla tarif edilmesini içerir. Tasarım nesnesinin farklı yanlarının matematiksel ve mantıksal yollarla temsili de bir ara katman olarak tasarlama süreçlerine dahil olur.

Benzer şekilde, katlama eyleminin düzlemsel malzeme üzerinde iz olarak bıraktığı geometrik desen tasarım nesnesini ortaya çıkaran eylemin formel bir tarifini sunmaktadır. Tasarımcının yapım bilgisini açık olarak görmesi, icra ettiği eylem sonucunda ortaya çıkan tasarım nesnesinin sağladığı olanaklara dayalı olarak değerlendirme yapıp yapım bilgisini revize etmesine izin verir. Yapım bilgisinin dışsallaştırılmış olması dolayısıyla, tasarımcı ve tasarım nesnesi arasındaki diyalogu destekleyerek tasarımı sürecinin zenginleşmesine katkıda bulunur. Ancak Aish ve Woodburry'nin belirttiği gibi (2005) “ne yaptığın üzerine seni düşündürmesi avantaj iken, gereğinden fazla düşündürmesi ise dezavantajdır” .

Terzidis'e göre (2013) tasarımın altında yatan mantığın dışsallaştırılmasını gerektiren “hesaplamalı tasarım” sezgisel tasarımla karşı değildir. Tasarım mantığının kendisi tasarımcının sezgisinin sonucudur. Sezginin diyagramatik olarak kodlanması, tasarımcının kendi mantıksal ve sezgisel iç sesiyle diyaloga girmesi için aracı olur (Aish, 2017). Tasarım dünyasının manuel modellerden hesaplamalı modellere geçmesiyle, sezgi ve hesaplamanın oluşturduğu iki zıt dünyanın bütünleşmesi ihtiyacı doğar (Terzidis, 2013). Terzidis (2006) bilgisayarları, zihnin uzantısı olarak değil, tamamen farklı us yürütme ve yeteneklerle bir partner olarak görmemiz gerektiğini savunur. Bilgisayarlar zihnin aynası değil, başkasıdır. Bu çalışma da tasarımcının zihni, tasarımcının içinde bulunduğu fiziksel ortam ve bilgisayarların sembolik ortamı arasındaki olası diyalogu sorgular. Sorgulamayı tasarımcının fiziksel bir eylemi olarak katlama örnekleminde yapar. İlişki kurarak bütüncül bir model geliştirmek için bahsi geçen diyalogu Deleuze'ün Katlama/Kıvrım isimli kuramsal yaklaşımı ile okumayı önerir. Tasarımcının fikir, biçim, eylem düzleminde katlamaları ile hesaplamalı tasarım bağlamını özgün bir şekilde kurma aktivitesini üç çalışma üzerinden örnekler.

KAYNAKLAR

- Adams, T.** (1993). The Eisenman-Deleuze Fold, unpublished B.Arch. thesis, Department of Architecture, University of Auckland, New Zealand.
- Addington, D. M., & Schodek, D. L.** (2005). Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions. Routledge.
- Adler, E. D.** (2004). "A new unity!": The art and pedagogy of Josef Albers. University of Maryland, College Park.
- Aish, R., & Woodbury, R.** (2005). Multi-level interaction in parametric design. In *Smart Graphics: 5th International Symposium, SG 2005, Frauenwörth Cloister, Germany, August 22-24, 2005. Proceedings 5* (pp. 151-162). Springer Berlin Heidelberg.
- Aish, R., & Hanna, S.** (2017). Comparative evaluation of parametric design systems for teaching design computation. *Design Studies*, 52, 144-172.
- Akin, Ö.** (2001). Variants in design cognition. In *Design knowing and learning: Cognition in design education* (pp. 105-124). Elsevier Science.
- Alaçam, S., Güzelci, O. Z., Gürer, E., & Bacınoğlu, S. Z.** (2017). Reconnoitring computational potentials of the vault-like forms: Thinking aloud on muqarnas tectonics. *International Journal of Architectural Computing*, 15(4), 285-303.
- Alaçam, S., Çakıcı, N., & Cesur, D.** (2018). Algoritmik Sıçramalar, Yapı Mimarlık, Kültür, Sanat, Tasarım Dergisi.
- Allen, S.** (1998). Diagrams Matter, in Berkai, Ben van & Bos, C. (Eds.). *Diagram Work*. Any Magazine, 23, 16-18.
- American Institute of Physics** (2002). *Origami Helps Scientists to Solve Physics*. *ScienceDaily*. 12 Nisan 2019 tarihinde <https://www.sciencedaily.com/releases/2002/02/020219080203.htm> adresinden erişildi.
- Anderson, C.** (2019). "The Art and Science of Folding" - Origami Artist Paul Jackson 25.2.2019. 17 Mart 2020 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=5TA9MjkUxpY> adresinden erişildi.
- Anderson, K.** (2019). Cut/Fold Templates for Paper Mechanisms. 21 Nisan 2020 tarihinde <http://cutfoldtemplates.com/about.html> adresinden erişildi.
- Ashby, W. R.** (1956). An Introduction to. Cybernetics. Chapman and U, London.
- Austern, G., Capeluto, I. G., & Grobman, Y. J.** (2018). Rationalization methods in computer aided fabrication: a critical review. *Automation in Construction*, 90, 281-293.

- Bacmoğlu, S. Z.** (2019). Fabricated Atmospheres isimi MEF Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü dersinde gerçekleşen öğrenci üretimlerinden örnekler. 1 Şubat 2023 tarihinde <https://fabricatingatmospheres.wordpress.com/adresinden-erişildi>.
- Badalucco, L.** (2000). Kirigami. Sterling Publishing Company Incorporated.
- Balmond, C.** (2002). *Informal* (Vol. 20007). Munich: Prestel.
- Barber, E. J. W.** (2004). The Felicitous Fold: Draping and Pleating in Archaic *and Classical Greece* (p. 25). In Papantoniou, Ioanna (ed.), Ptychoses = Folds + Pleats (pp. 85-87). Athens, Greece: Hellenic Culture Organization, S.A.
- Barker, O.** (2011). Experimentation, Not Replication: Josef Albers and the Vorkurs, Bauhaus magazine issue 1. 19 Nisan 2019 tarihinde <https://www.bauhaus-dessau.de/index.php?experimentation-not-replication-adresinden-erişildi>.
- Basnak, O.** (2020). TimbRfoldR: Making Bending Systems Accessible in Planning, Fabrication, Assembly. 1 Şubat 2022 tarihinde <https://www.itech.uni-stuttgart.de/itech-thesis-projects/2020-timbrfoldr/> adresinden erişildi.
- Belardi, P.** (2014). *Why architects still draw*. MIT Press.
- Birsel, A.** (2015). Design the life you love: a step-by-step guide to building a meaningful future. Ten Speed Press.
- Brander, D., Bærentzen, J. A., Clausen, K., Fisker, A. S., Gravesen, J., Lund, M. N., ... & Søndergaard, A.** (2016). Designing for hot-blade cutting: geometric approaches for high-speed manufacturing of doubly-curved architectural surfaces. In *Advances in Architectural Geometry (AAG 2016)* (pp. 306-327). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P.** (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Buri, H. U., Loveridge, R.** (2008). Materializing Fold, eCAADe 2013 computation and performance, folding façade workshop. 1 Şubat 2022 tarihinde <https://foldingfacade.wordpress.com/2013/09/12/materializing-folds-adresinden-erişildi>.
- Burry, M. vd.** (2007). Gaudí unseen: completing the Sagrada Família. Jovis, Berlin.
- Cache, B.** (1995). *Earth moves: the furnishing of territories*. Massachusetts, MIT Press.
- Cache B.** (2003) Towards a fully associative architecture. In: *Kolarevic B (ed.) Architecture in the digital age design and manufacturing*. New York: Spon Press, 203-209
- Cache, B.** (2011). *Projectiles*. London, AA Publication.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A.** (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287-300.

- Camera, S., & Karana, E.** (2018). Experiential characterization of materials: Toward a toolkit. Design Research Society 2018, University of Limerick, 1685-1705.
- Cardoso, C., Badke-Schaub, P., & Eris, O.** (2016). Inflection moments in design discourse: How questions drive problem framing during idea generation. *Design Studies*, 46, 59-78.
- Carmo, M.** (2003). Ten Years of Folding. In G. Lynn (Eds.), *Folding in Architecture* (Revisited edition). London: Academy Press.
- Carmo, M.** (2013). *Form-Making to Form-Finding: Figures of Indeterminacy in Contemporary Digital Design Theory*. 1 Mart 2019 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=CBtp-meUJhw> adresinden erişildi.
- Celani, G.** (2012). Mimarlıkta Dijital Fabrikasyon, Hızlı Prototipleme ve Otomasyona Dayalı Biçim Türetimi, *Arredamento Mimarlık*, 2012/04, Boyut Matbaacılık, İstanbul.
- Clark, A., Chalmers, D.** (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7-19.
- Cobbers, A.** (2007). *Marcel Breuer*. Taschen. Colonia.
- Cooper, J.** (2012). Printing Paper and Folding a Mask in Joel Cooper's blog of origami. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://joelcooper.wordpress.com/2012/02/27/painting-paper-and-folding-a-mask/> adresinden erişildi.
- Coyne, R.** (2005). Wicked problems revisited. *Design studies*, 26(1), 5-17.
- Cross, A.** (1983). The educational background to the Bauhaus. *Design studies*, 4(1), 43-52.
- Davis, D.** (2013). Modelled on software engineering: Flexible parametric models in the practice of architecture, Doktora Tezi, RMIT University, Melbourne.
- DeLanda, M.** (2002). *Intensive science and virtual philosophy*. Bloomsbury Publishing.
- DeLanda, M.** (2011). *Intensive and topological thinking*. European Graduate School Video Lectures. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=0wW2l-nBIDg> adresinden erişildi.
- Deleuze, G.** (1993). *The Fold: Leibniz and the Baroque*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Deleuze, G.** (2006). *Kıvrım: Leibniz ve Barok*. Çev.: Hakan Yücefer, Balam Yayınları, İstanbul.
- Demaine, E. D., & Tachi, T.** (2017). Origamizer: A practical algorithm for folding any polyhedron. In 33rd International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2017). Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- De Osma, G.** (1994). The Life and Work of Mariano Fortuny (pp. 96-119). New York, New York: Rizzoli Publications.

- Deplazes, A.** (Ed.). (2005). *Constructing architecture: materials, processes, structures*. Springer Science & Business Media.
- Dewey, J.** (1923). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. Macmillan.
- Di Cristina, G.** (2001). *Architecture and Science*, AD. London: Wiley Academy.
- Di Mari, A. ve Yoo, N.** (2013). *Operative Design*. Amsterdam: BIS.
- Dino, I.** (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. *METU Journal of Faculty of Architecture*, 29(1), 207-224.
- Dormer, P.** (1994). *The art of the maker*. London: Thames and Hudson.
- Dragišić, M., & Bnin-Bninski, A.** (2017). The application models of the topological principle of continuous deformation in the architectural design process. *Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering*, 15(3), 453-464.
- Eisenman, P.** (1992). "Vision's Unfolding: Architecture in the Age of Electronic Media," *Domus*: 734, (January), pp. 21-24.
- Eisenman P.** (1999). *Diagram Diaries*, Thames and Hudson, London.
- Epps, G.** (2010). *U.S. Patent No 12,664,114*. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://patents.google.com/patent/US20100279842?q=gregory+epps> adresinden erişildi.
- Epps, G. ve Verma, S.** (2013). Curved Folding: Design to Fabrication process of RoboFold. *Thirteenth Interdisciplinary Conference of the International Society of the Arts, Mathematics, and Architecture*, Bournemouth, UK, July 10-13, pp 75-83.
- Evans, R.** (1997). *Translations from drawing to building*.
- Eversmann, P., Ehret, P., Ihde, A.** (2017). Curved-Folding of Thin Aluminium Plates: Towards Structural Multi-Panel Shells, *Proceedings of the IASS Annual Symposium*, Hamburg, Germany, September 26-28.
- Faber, J. A., Arrieta A., Studart, A.** (2018). Bioinspired spring origami, *Science* 359, 1386-1391.
- Fallman, D.** (2003). Design-Oriented Human-Computer Interaction. *In proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2003)*. Ft. Lauderdale, FL
- Findeli, A.** (2001). Rethinking design education for the 21st century: Theoretical, methodological, and ethical discussion. *Design issues*, 17(1), 5-17.
- Findeli, A.** (1990). Moholy-Hangy, Bauhaus, New Bauhaus. URL: <https://complete-works-alain-findeli.ch/inserts/YAgI7BEAACEAAIQA>
- Fischer, T.** (2012). Geometry rationalization for non-standard architecture, *Architectural Science* 5, 25-47.
- Flöry, S., & Pottmann, H.** (2010). Ruled surfaces for rationalization and design in architecture.
- Frayling, C.** (1993). *Research in Art and Design*. Royal College of Art Research Papers 1, 1, 1-5.

- Freyssinet, E.** (1923). Hangares Para Dirigibles de Orly. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://arquiscopio.com/archivo/tag/freyssinet/> adresinden erişildi.
- Fricker, P., & Kotnik, T.** (2023). Patterns of Interaction. In *Patterns of Interaction: Computational Design Across Scales* (pp. 31-48). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Friedman, K.** (2008). Research into, by and for design. *Journal of Visual Art Practice*, 7(2), 153-160.
- Garlock, M. E. ve Billington, D. P.** (2008). *Felix Candela: Engineer, builder, Structural Artist*. New Haven: Yale University Press.
- Garlock, M. E.** (2018). *Week 1: The German Tradition of Vaulted Forms in The Art of Structural Engineering: Vaults*. EdX, PrincetonX: CEE262.2x.
- Gattas, J. M., & You, Z.** (2016). Design and digital fabrication of folded sandwich structures. *Automation in Construction*, 63, 79-87.
- Gero, J. S., & Kannengiesser, U.** (2004). The situated function–behaviour–structure framework. *Design studies*, 25(4), 373-391.
- Ghassaei, A., Demaine, E. D., & Gershenfeld, N.** (2018). Fast, interactive origami simulation using GPU computation. *Origami*, 7, 1151-1166.
- Gibson, J. J.** (1977). The theory of affordances. In R. E. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, Acting, and Knowing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gjerde, E.** (1978). *Origami tessellations: awe-inspiring geometric designs*. AK Peters/CRC Press.
- Gjerde, E.** (2017). Bauhaus Forundation Course Instructional Booklet. 1 Ağustos 2020 tarihinde https://www.origamitessellations.com/wp-content/uploads/2018/01/Eric_Gjerde_Bauhaus_Foundation_Course_instructions_booklet_version.pdf adresinden erişildi.
- Gould, V.** (Producer) & Gould, V. (Director). (2008). *Between the Fold* [DVD]. USA: Green Fuse Films.
- Goel, V.** (1992). Ill-structured representations for ill-structured problems. In *Proceedings of the fourteenth annual conference of the cognitive science society* (Vol. 14, pp. 130-135).
- Goel, V.** (1995). *Sketches of thought*. MIT press.
- Goldschmidt, G.** (1991). The dialectics of sketching. *Creativity research journal*, 4(2), 123-143.
- Goldschmidt, G.** (2003). The backtalk of self-generated sketches. *Design issues*, 19(1), 72-88.
- Goldschmidt, G.** (2014). Modeling the role of sketching in design idea generation. *An anthology of theories and models of design: philosophy, approaches and empirical explorations*, 433-450.

- Gönenç Sorguç, A., Hagiwara, I., Arslan Selçuk S.** (2009). Origamics in Architecture: A Medium of Inquiry for Design in Architecture. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, (26:2), 235-247.
- Gramazio, F. ve Kohler, M.** (2008). Digital Materiality in Architecture, Lars Müller Publishers, Baden.
- Güngen, B.** (2010). Diyagram: Mimarlıkta Bir Düşünme, Tasarlama ve Temsil Aracı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İ.T.Ü. FBE, İstanbul.
- Habraken, N. J.** (1980). Around the black hole. curricula of other courses. Plan, MIT School of Architecture and Planning, MIT Press, Cambridge, MA.
- Hardesti, L.** (2017). Origami anything: new algorithm generates practical paper folding patterns to produce any 3-D structure, MIT News. Retrieved 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://news.mit.edu/2017/algorithm-origami-patterns-any-3-D-structure-0622> adresinden erişildi.
- Harding, J., Joyce, S., Shepherd, P., & Williams, C.** (2013). Thinking topologically at early stage parametric design. In *Advances in architectural geometry 2012* (pp. 67-76). Springer, Vienna.
- Hatori, K.** (2011). History of Origami in the East and the West before Interfusion. In *Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics and Education* (pp. 1-13).
- Hemmerling, M.** (2011). Informed Material. In *Proceedings of the XV Sigradi (Sociedad Iberoamericana de Grafica Digital) Conference*. Santa Fe, Argentina, November 16-18.
- Hemmerling, M. ve de Falco, C.** (2018). Simple Complexities: An Interdisciplinary Approach Towards Computational Design and Architectural Geometry. In *M. Hemmerling and L. Cocchiarella (Eds.), Informed Architecture*, Springer International Publishing, Cham.
- Hill, J.** (2021). Design research: The first 500 years. In *Design research in architecture* (pp. 15-34). Routledge.
- Honda, I.** (1965). The world of origami. Japan Publications Trading Co..
- Horváth, I.** (2005). On some crucial issues of computer support of conceptual design: what to consider in order to be successful. *Product Engineering: Eco-design, technologies and green energy*, 123-142.
- Hubregtse, M** (2020). 'Gilles Deleuze's *The Fold*: Calculus and Curvilinear Design,' in *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*, edited by Bharath Sriraman, Berlin: Springer.
- Ingold, T.** (2010). The Textility of making. *Cambridge Journal of Economics*, 34(1), 91-102.
- Ingold, T.** (2013). *Making: Anthropology, archaeology, art and architecture*.
- ITECH Stuttgart Üniversitesi** (2021). TimbRFold. 6 Ocak 2021 tarihinde <https://www.gp-award.com/en/produkte/timbrfoldr?fbclid=IwAR1tfx95s8v031UKA8xwoD85etnn4OnvE1EGsyUFZP8cGs1n1bkQTWqwpqE> adresinden erişildi.

- Itten, J.** (1963). *Design and form: The basic course at the Bauhaus and later*. John Wiley & Sons.
- Iwamoto, L.** (2009). *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. New York: Princeton Architectural Press.
- Jabi, W.** (2013). *Parametric design for architecture*. Hachette UK.
- Jackson, P.** (2011). *Folding Techniques for Designers From Sheet to Form*. London: Laurence King.
- Jobson, C.** (2016). Tesselated Origami Sculptures by Goran Konjevod. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://www.thisiscolossal.com/2016/12/tessellated-origami-sculptures-by-goran-konjevod/> adresinden erişildi.
- Johnson, M.** (2007). *The Meaning of the Body. Aesthetics of Human Understanding*, Chicago.
- Kaiser, A., Larsson, M., Girhammar, U. A.** (2019). From file to factory: Innovative design solutions for multi-storey timber buildings applied to project Zembla in Kalmar, Sweden. *Frontiers of Architectural Research*, 8(1), 1-16.
- Kalay, Y. E.** (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT press.
- Kaufmann, G., & Helstrup, T.** (1993). Mental imagery: Fixed or multiple meanings? Nature and function of imagery in creative thinking. *In Advances in psychology* (Vol. 98, pp. 123-150). North-Holland.
- Keating, S. J.** (2012). Renaissance robotics: novel applications of multipurpose robotic arms spanning design fabrication, utility, and art (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Kearney, K.** (1992). Mariano Fortuny's Delphos Robe: Some Possible Methods of Pleating and the Permanence of the Pleats. *Clothing and Textiles Research Journal*, 10(3), 86-91.
- Kelly, N., & Gero, J. S.** (2021). Design thinking and computational thinking: A dual process model for addressing design problems. *Design Science*, 7, e8.
- Kilian, M., Flöry, S., Chen, Z., Mitra, N., Sheffer, A., Pottmann, H.** (2008). Curved Folding. *ACM transactions on graphics (TOG)*, 27(3).
- Kilian, A., & Ochsendorf, J.** (2005). Particle-spring systems for structural form finding. *Journal of the international association for shell and spatial structures*, 46(2), 77-84.
- Kitamura, M.** (1999). Irving Penn Regards the Work of Issey Miyake (photographs 1975-1998), A Bulfinch Press Book, Little Brown and Company, New York.
- Klee, P., & Moholy-Nagy, S.** (1925/1953). *Pedagogical sketchbook* (pp. 54-58). London: Faber & Faber.

- Kolarevic, B., & Klinger, K.** (2013). *Manufacturing material effects: rethinking design and making in architecture*. Routledge.
- Kolarevic, B.** (2013). Parametric Evolution. *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*, 50-59.
- Kolb, D. A.** (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Koschitz, D.** (2016). Designing with Curved Creases: Digital and Analog Constraints. In S. Adriaenssens, et al. (Eds.), *Proceedings of Advances in Architectural Geometry*, Die Deutsche Nationalbibliothek.
- Koschitz, D., Demaine, E., Demaine, M.** (2008). Curved Creases Origami: Digital and Analog Constraints. In the *Proceedings of Advances in Architectural Geometry*, Vienna, Austria, 29-32.
- Kraus-Bolte M. ve Kraus J.** (1882). *The Kindergarten Guide Volume Two: The Occupations*. New York: E. Steiger & Co.
- Krutzsch, M.** (2016). Reading papyrus as writing material. *British Museum Studies in Ancient Egypt and Sudan*, 23, 57-69.
- Kwinter, S.** (2006). The Judo of Cold Combustion. In Reiser, J. *Atlas of Novel Tectonics*, Princeton Architectural Press.
- Lang, R. J.** (2007). The Science of Origami. *Physics World*, 20(2), 30.
- Lang, R. J.** (2011a). *Origami design secrets: mathematical methods for an ancient art*. AK Peters/CRC Press.
- Lang, R. J.** (2011b). Origami Diagramming Conventions. 1 Ağusto 2020 tarihinde <https://langorigami.com/article/origami-diagramming-conventions/> adresinden erişildi.
- Lang, R. J.** (2017). *Origami Master*. 21 Mart 2019 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=2uogPWqEYIU> adresinden erişildi.
- Lawson, B.** (2005). Oracles, draughtsmen, and agents: the nature of knowledge and creativity in design and the role of IT. *Automation in construction*, 14(3), 383-391.
- Leach, N.** (2009) Digital Morphogenesis, *Architectural Design*, 79:1; 32-7.
- Leach, N., & Yuan, P. F.** (2019). *Computational Design*. Tongji University Press.
- Leatherbarrow, D., & Mostafavi, M.** (2005). *Surface architecture*. MIT Press.
- Lebée, A.** (2015). From folds to structures, a review. *International Journal of Space Structures*, 30(2), 55-74.
- Lee, J. Y., Kang, B. B., Lee, D. Y., Baek, S. M., Kim, W. B., Choi, W. Y.** (2016). Development of a multi-functional soft robot (SNUMAX) and performance in RoboSoft Grand Challenge. *Frontiers in Robotics and AI*, 63.
- Lefteri, C.** (2007). *Making It: Manufacturing Techniques for Product Design*. Laurence King Publishing.

- Liikkanen, L. A.** (2010). Design cognition for conceptual design. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Aalto University, Espoo.
- Longo, A.** (2020). Deleuze and Mathematics, La Deleuzina - Online Journal of Philosophy, N. 11, 19-28.
- Love, T. (2000).** Philosophy of design: a meta-theoretical structure for design theory. *Design studies*, 21(3), 293-313.
- Lury, C, Parisi, L, Terranova, T** (2012). Introduction: The becoming topological of culture. *Theory, Culture and Society* 29 (4/5): 3–35.
- Lynn, G.** (1993a). *AD Profile 102: Folding in Architecture*. London: Academy Editions.
- Lynn, G.** (1993b). The Fold – Part1. 1 Mart 2019 tarihinde goo.gl/6qQj4R adresinden erişildi.
- Lynn G.** (1993c). The Folded, The Pliant, The Supple. In G. Lynn (Eds.), *Folds, Bodies and Blobs: Collected Essays*. Bruxelles: La Lettre Volée.
- Malafouris, L.** (2008). At the potter's wheel: An argument for material agency. In *Material agency* (pp. 19-36). Springer, Boston, MA.
- Marble, S.** (2012): *Digital Workflows in Architecture: Design, Assembly, Industry*, Walter de Gruyter.
- Martin, L., & Secor, A. J.** (2014). Towards a post-mathematical topology. *Progress in Human Geography*, 38(3), 420-438.
- McArthur, M. ve Lang, R.** (2010). *Folding Paper: The Infinite Possibilities of Origami*. Washington, D.C.: Tuttle Publishing.
- McCullough, M** (2004), Keynote Speech for Pixel Raiders 2 Conference, Sheffield Hallam University. In Bunnell, K. (2004). *Craft and digital technology*.
- Meibodi, M. A. ve Tessmann O.** (2014). Hy[perbolic] par[aboloid] Matter and geometry in a generative dialogue. In *What's the Matter? Materiality and Materialism at the Age of Computation*, 679-690.
- Melancon, D., Bertoldi, K., Gorissen, B., & Hoberman, C.** (2021). Multistable inflatable origami structures at the meter scale. *Nature*, Vol 592.
- Menges, A.** (2011). Integrative design computation: Integrating material behaviour and robotic manufacturing processes in computational design for performative wood constructions. In: *Proceedings of Association for Computer Aided Design in Architecture 2011* (Los Angeles), 72–81.
- Mills, C. B.** (2011). *Designing with models: a studio guide to architectural process models*. John Wiley & Sons.
- Mitani, J. ve Igarashi, T.** (2011). Interactive Design of Planar Curved Folding by Reflection. *Proceedings of the 19th Pacific conference on computer graphics and applications*. Kaohsiung, Taiwan: Pacific Graphics.
- Mitani, J.** (2019). *Curved-folding origami design*. CRC Press.

- Mohite, A. ve Kotnik, T.** (2016). Model Translations: Studies of translations between physical and digital architectural models, *Complexity & Simplicity: Proceedings of the 34th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, Oulu, Finland, 24.-26. Herneoja, A., Österlund, T. & Markkanen, P. (eds.), pp. 561-570.
- Moholy-Nagy, L.** (1938). *The new vision: fundamentals of Bauhaus design, painting, sculpture, and architecture*. Courier Corporation.
- Morgan, D.** (2013). Design Learning Through Iterative Folding of Non-Paper Materials, *Proceedings of the International Conference of Engineering and Product Design Education*, Dublin, Ireland, September 5-6.
- Moussavi, F., Lopez, D., López, D.** (2009). The function of form. Barcelona: Actar.
- Naboni, R. S. ve Breseghello, L.** (2015). Weaving Enclosure. Material computation and novel forms of crafting.
- Neumann, E.** (1970). Formative Years. Bauhaus and Bauhaus People: Personal Opinions and Recollections of Former Bauhaus Members and Their Contemporaries. New York: Van Nostrand Reinhold, 194-99.
- Newell, A., & Simon, H. A.** (1972). Human problem solving (Vol. 104, No. 9). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall.
- Oosterhuis, K., Bier, H. H., Aalbers, C., & Boer, S.** (2004). File to Factory and Real Time Behavior in ONL-Architecture. In *Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture*, Proceedings of the 23rd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture and the 2004 Conference of the AIA Technology in Architectural Practice Knowledge Community, Cambridge, November 8-14, 2004.
- Otto, F., Trostel, R., & Schleyer, F. K.** (1973). *Tensile structures; design, structure, and calculation of buildings of cables, nets, and membranes*.
- Orr, K.** (2008). Experiential Learning in architectural education: model-making in the digital age. In *11th International Conference on Experiential Learning*.
- Ou, J., Skouras, M., Vlavianos, N., Heibeck, F., Cheng, C. Y., Peters, J., & Ishii, H.** (2016). aeroMorph-heat-sealing inflatable shape-change materials for interaction design. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 121-132).
- Oxman, N.** (2007, September). Digital craft: fabrication based design in the age of digital production. In *Workshop Proceedings for Ubicomp 2007: International Conference on Ubiquitous Computing* (pp. 534-538).
- Oxman, R.** (2006). Theory and design in the first digital age. *Design studies*, 27(3), 229-265.
- Oxman, R.** (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design studies*, 29(2), 99-120.
- Oxman, R.** (2012). Informed tectonics in material-based design, *Des. Stud.* 33 427–455, <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2012.05.00>.

- Overvelde, J. T. vd.** (2016). A three-dimensional actuated origami-inspired transformable metamaterial with multiple degrees of freedom. *Nature communications*, 7(1), 1-8.
- Palacios, V.** (1972). *Papiroгами*, Salvatella.
- Pallasmaa, J.** (2005). *The eyes of the skin*. Architecture and the Senses. Chichester.
- Papamichael, K.** (1993). *The limits of intelligence in design*.
- Patkau Architects** (2017). *Patkau Architects: Material Operations*. Princeton Architectural Press.
- Pellegrini, E.** (2011). Turin Exhibition Palace. 1 Ağustos 2020 tarihinde <https://www.domusweb.it/en/from-the-archive/2011/04/28/turin-exhibition-br--palace.html> adresinden erişildi.
- Pérez-Gómez, A.** (2001). Phenomenology and Virtual Space. *Alternative Tactics for Architectural Practice. The Visible and the Invisible*, OASE, (58), 35–58. 1 Ekim 2022 tarihinde [https://oasejournal.nl/en/Issues/58/Phenomenology AndVirtualSpace](https://oasejournal.nl/en/Issues/58/Phenomenology%20AndVirtualSpace) adresinden erişildi.
- Pérez-Gómez, A.** (2002). Architecture as Verb and the Ethics of Making, pp. 35-46 in *Nexus IV: Architecture and Mathematics*, Kim Williams Books.
- Piaget, J.** (1950). *The Psychology of Intelligence*. New York: International Universities Press.
- Polanyi, M.** (1958). *Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Picon, A.** (2010). Digital culture in architecture. In *Digital Culture in Architecture*. Birkhäuser.
- Popper, K.** (1976). *Unended Quest Open Court*, Illinois.
- Pottmann, H. vd.** (2007). *Architectural Geometry*. Bentley Institute Press.
- Pottmann, H.** (2010). *Architectural Geometry as Design Knowledge*. *Architectural Design* 80, pp. 72-77.
- Pye, D.** (1978). *The nature and aesthetics of design*. New York.
- Randlett, S.** (1961). *The Art of Origami: Paper Folding, Traditional and Modern*. Faber & Faber.
- Reiser, J.** (2006). *Atlas of Novel Tectonics*, Princeton Architectural Press.
- Resch, R.** (1968). Experimental Structures in Emerging Concepts in Computer Graphics, eds. Seest D ve Nievergelt J., New York, 311-312.
- Resch, R.** (1973). The Topological Design of Sculptural and Architectural Design Systems, in *AFIPS 73 Proceedings of the June 4-8, National Computer Conference and Exposition*, New York: Association for Computing Machinery, 643-650.

- Resch R. ve Armstrong E.**, The Ron Resch Paper and Stick Thing Film, 1970.
- Riether, G.** (2012). Parametric Folds: Using the Elasticity of Polymers For a Light Weight Structure.
- Rippmann, M. ve Block, P.** (2011). Digital Stereotomy: Voussoir geometry for freeform masonry-like vaults informed by structural and fabrication constraints. In Proceedings of the IABSE-IASS Symposium (Vol. 2011).
- Rittel, H. ve Webber, M.** (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-566.
- Robeller, C. ve Weinand, Y.** (2015). Interlocking Folded Plate – Integral Mechanical Attachment for Structural Wood Panels. *International Journal of Space Structures*, 30(2), 11-122.
- Rutten, D., & McNeel, R.** (2007). *Grasshopper3D*. Robert McNeel & Associates: Seattle, WA, USA.
- Schwartz, J.** (2014). *Tragwerksentwurf II*, ETH Zurich, lecture notes, s.47.
- Scheurer, F., Schindler, C., & Braach, M.** (2005). From design to production: Three complex structures materialised in wood. In *6th International Conference Generative Art*.
- Serra, R.** (1967). *Verblist*, MoMA. 13 Temmuz 2019 tarihinde <https://www.moma.org/collection/works/152793> adresinden erişildi.
- Shields, R.** (2012). Cultural topology: The seven bridges of Königsburg, 1736. *Theory, Culture & Society*, 29(4-5), 43-57.
- Shlian, M.** (2016). The Future of Paper Engineering or Saving the World with Folding. 12 Aralık 2020 tarihinde <https://www.youtube.com/watch?v=v1MXZlJxog> adresinden erişildi.
- Shlian, M.** (2021). Unfolding: The paper art and science of Matthew Shlian, Times & Hudson.
- Schodek, D., Bechthold, M., Kao, K. M., Steinbers, M.** (2005). *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Design and Architecture* New Jersey: John Wiley & Sons, 209-210.
- Schön, D. A.** (1983). The reflective practitioner: How professionals think in action. Basic Books.
- Schön, D.** (1987). Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions. Jossey-Bass.
- Schön, D.** (1988). Designing: Rules, types and worlds. *Design studies*, 9(3), 181-190.
- Sennett, R.** (2008). The craftsman. Yale University Press.
- Serra, R.** (2003). Serra at Yale. *Yale University Art Gallery Bulletin*, 26-39.
- Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M.** (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, 14(2), 253-264.
- Shelden, R.** (2002). Digital Surface Representation and the Constructability of Gehry's Architecture (Thesis), Massachusetts Institute of Technology.

- Shen, T. ve Nagai, Y.** (2017) An Overview of Folding Techniques in Architecture Design. *World Journal of Engineering and Technology*, 5, 12-19.
- Smith, J.** (1972). *Notes on the History of Origami*. London: British Origami Society.
- Spuybroek, L.** (2005). The structure of vagueness. *Textile*, 3(1), 6-19.
- Stavric, M., Sidanin, P., & Tepavcevic, B.** (2013). Architectural Scale Models in the Digital Age. In *Architectural Scale Models in the Digital Age*. Ambra Verlag.
- Steele, B.** (2013). Foreword: Architecture and Intelligence. *Peters, T., & Peters, B. (2013). Inside Smartgeometry: expanding the architectural possibilities of computational design. John Wiley & Sons*, 6-7.
- Stiny, G.** (2006). *Shape: talking about seeing and doing*. MIT Press.
- Stiny, G., & Gün, O. Y.** (2012). An Open Conversation with George Stiny About Calculating and Design. *Dosya: Computational Design*, 29, 6-11.
- Suto, K., Noma, Y., Tanimichi, K., Narumi, K., & Tachi, T.** (2022). Crane: An Integrated Computational Design Platform for Functional, Foldable, and Fabricable Origami Products. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*.
- Suwa, M., & Tversky, B.** (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design studies*, 18(4), 385-403.
- Sweeney, R.** (2016). *Paper Sculptures: Fluid Forms*. Berkeley, CA: Gingko Press.
- Szabo, A., Lloret-Fritsch, E., Reiter, L., Gramazio, F., Kohler, M., & Flatt, R. J.** (2019). Revisiting Folded Forms with Digital Fabrication. In *37th and 23rd Annual Conferences Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe* (and Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital (eCAADe/SIGraDi 2019) (pp. 191-200).
- Tachi, T.** (2012). Architectural Origami, Lecture 6 of the class Geometric Folding Algorithms: Linkages, Origami, Polyhedra, MIT, Electrical Engineering and Computer Science.
- Tachi, T.** (2013). Designing freeform origami tessellations by generalizing Resch's patterns. *Journal of mechanical design*, 135(11).
- Tachi, T.** (2018). What I am thinking: origami artist and mathematician Tomohiro Tachi, blog görüşmesi, Form Finding Lab, Princeton 1 Mart 2020 tarihinde <https://formfindinglab.wordpress.com/2018/10/09/what-i-am-thinking-origami-artist-and-mathematician-tomohiro-tachi/> adresinden erişildi.
- Temko, F.** (1974). *Origami and Kirigami: 75 Fun-to-Do Projects*. Dover Publications.
- Terzidis, K.** (2003). *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*. New York: Spon Press.
- Terzidis, K.** (2006). *Algorithmic architecture*. Routledge.
- Tibbits, S. vd.** (2017). *Autonomous Assembly: Designing for a New Era of Collective Construction*. Architectural Design Special Issue, v.87, no. 4. London: Wiley.

- Thompson, D. W.** (1917). *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thompson, D.** (1992). 'On the Theory of Transformations, or the Comparison of Related Forms', *On Growth and Form: The Complete Revised Edition*, Dover Publications (New York), 1026-51.
- Thomsen, M. R. ve Tamke, M.** (2014). Digital Crafting: Performative Thinking for Material Design. In *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*. eds. Peters, B. and Peters, T, London: John Wiley & Sons. 243-253.
- Thomsen, B. D. ve Madsen, K.** (2011). Incentive to Form. *Proceedings of the International Conference on Engineering and Product Design Education*, London, UK, September 8-9.
- Torroja, E.** (1962). Hipódromo de la Zarzuela. *Informes de la Construcción*, 14(137), 19-38.
- Tschumi, B.** (1994). The manhattan transcripts. 1 Şubat 2022 tarihinde <https://www.tschumi.com/projects/18/> adresinden erişildi.
- Tschumi, B.** (2001). Operative Drawing. Constant et al., *The Activist Drawing: Retracing Situationist Architectures from Constant's New Babylon to Beyond* (Drawing Center, 2001), 134-137.
- Tschumi, B., & Bierig, A.** (2014). *Notations: Diagrams & Sequences*. London: Artifice Books on Architecture.
- Tzonis, A.** (1992). Huts, ships, and bottleracks: Design by analogy for architects and/or machines. *Research in design thinking*, 139-164.
- URL-1:** <https://www.youtube.com/watch?v=j2Ji97mV6_w&t=1s> erişim tarihi: 01.02.2023.
- URL-2:** <<https://www.youtube.com/watch?v=VdnpvOimmzw&t=1s>> erişim tarihi: 01.02.2023.
- URL-3:** <<https://www.youtube.com/watch?v=Fqob5Whr968&t=2s>> erişim tarihi: 01.02.2023.
- URL-4:** < <https://saintjohnsabbey.org/church> > erişim tarihi: 01.12.2022.
- URL-5:** < Sancho-madrideos.com > erişim tarihi: 28.02.2018.
- URL-6:** <<https://www.farshidmoussavi.com/fmaprojects/yokohama-international-port-terminal-yokohama-japan/>> erişim tarihi: 28.02.2018.
- URL-7:** <<https://www.archdaily.com/141274/a-first-glance-at-zaha-hadids-glasgow-riverside-museum-of-transport> > erişim tarihi: 28.02.2018.
- URL-8:** <<https://www.makearchitects.com/projects/city-london-information-centre/> > erişim tarihi: 28.02.2018.
- URL-9:** < <https://www.epfl.ch/labs/ibois/> > erişim tarihi: 28.02.2018.

- URL-10:** <<https://www.ucl.ac.uk/culture/petrie-museum/tarkhan-dress>> erişim tarihi: 01.12.2022.
- URL-11:** <<https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl010011420>> erişim tarihi: 03.12.2022.
- URL-12:** <<https://www.roger-viollet.fr/image-photo/lisa-anna-and-margot-duncan-adopted-daughters-of-isadora-duncan-in-dresses-of-ma-albert-harlingue-roger-viollet-932188>> erişim tarihi: 01.12.2022.
- URL-13:** <<http://www.tunaplise.com/plise-makinesi-tukce.php>> erişim tarihi: 03.12.2022.
- URL-14:** <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/78428>> erişim tarihi: 03.12.2022.
- URL-15:** <<https://collections.mfa.org/download/551614;jsessionid=4C159007D AC60F3D6647E7CA5A626CCA>> erişim tarihi: 01.12.2022.
- URL-16:** <<https://imgur.com/gallery/6uBQL>> erişim tarihi: 13.12.2022.
- URL-17:** <<https://ruthasawa.com/origami-fountains-japantown-1975-1976-1999>> erişim tarihi: 13.12.2022.
- URL-18:** <<https://wyss.harvard.edu/news/robot-folds-itself-up-and-walks-away>> erişim tarihi: 13.12.2022.
- URL-19:** <<https://www.youtube.com/watch?v=3E12uju1vgQ>> erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-20:** < <https://www.jebiga.com/maarno-folding-rowboat/> > erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-21:** <<https://www.orukayak.com/products/oru-kayak-portable-folding-lightweight-recreational-kayak-for-beginners> > erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-22:** <<https://www.fluxfurniture.com/items/chair/> > erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-23:** < <https://shop.petitpli.com/> > erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-24:** <<https://tr.pinterest.com/pin/682436149771223256>> erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-25:** <<https://tr.pinterest.com/pin/570690584030146154/>> erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-26:** <<https://www.robifold.com/make/consultancy/projects/bentley-and-kyungeun-ko>> erişim tarihi: 07.01.2023.
- URL-27:** <<https://www.bauhaus.com.tr/hirdavat-hirdavat-urunleri-vidalar-ve-baglanti-elemanlari-baglanti-elemanlari/stabilit-kiris-askisi-tip-a-20677110>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-28:** <<https://www.ankarametal.com.tr/urunler/aluminyum/teknik-bilgiler/aluminyum-trapez-levha-yuk-kapasitesi/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-29:** < <http://www.milgo-bufkin.com/> > erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-30:** <<https://www.archdaily.com/269061/venice-biennale-2012-arum-zaha-hadid>> erişim tarihi: 14.02.2023.

- URL-31:** <<https://www.eversmann.fr/CURVED-FOLDING>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-32:** <<https://processingmatter.tumblr.com/post/9250092546/gramazio-kohler-curved-folding-metal-eth>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-33:** <<https://architizer.com/projects/pleated-inflation/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-34:** <https://theverymany.com/buildings/13_merriweather-park> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-35:** < <https://spacesymmetrystructure.wordpress.com/2009/03/24/origami-electromagnetism/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-36:** <<https://archinect.com/news/article/150026343/see-how-joseph-choma-built-the-chakrasana-arch-using-his-fiberglass-folding-technique>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-37:** < <https://www.samiraboon.com/> > erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-38:** <<https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-materials>> erişim tarihi: 01.02.2022.
- URL-39:** <<https://www.gsd.harvard.edu/2016/06/cross-harvard-team-designs-shape-shifting-3d-material/>> erişim tarihi: 01.02.2022.
- URL-40:** <<https://carloratti.com/project/ago-modena/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-41:** <<https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/15/metal-laser-cutting-how-to-fold-sheets-of-metal-easily/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-42:** <<https://www.displaysupplychain.com/blog/motorola-finally-launches-foldable-razr-smartphone-hinge-design-improves-display-lifetime>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-43:** <origamitesselations.com> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-44:** <[flickr.com/photos/origamijoel/](https://www.flickr.com/photos/origamijoel/)> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-45:** <<https://www.flickr.com/photos/origamijoel/95948601>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-46:** <<https://tamasoft.co.jp/pepakura-en/download/index.html>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- URL-47:** <<https://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/oripa/>> erişim tarihi: 14.02.2023.
- Vautard, C.** (2018). *Haute Couture and know-how: The pleats of Atelier Lognon*. 1 Temmuz 2021 tarihinde <https://fashionunited.uk/news/fashion/haute-couture-and-know-how-ii-the-pleats-of-atelier-lognon/2018011227626> adresinden erişildi.
- Vidler, Anthony**, “Diagrams of Utopia”, in De Zegher, Catherine & M. Wigley, eds., *The Activist Drawing: Retracing Situationist Architectures from Constant’s New Babylon to Beyond*, MIT Press, 2001.
- Vyzoviti, S.** (2003). *Folding architecture: Spatial, structural and organizational diagrams*. Amsterdam: Bis Publishers.
- Wiener, N.** (1961). *Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press.

- Wingler, H. M.** (1978). *Bauhaus: Weimar, Dessau, Berlin, Chicago*. MIT press.
- Woerd, J. D. V. D., Chudoba, R., & Hegger, J.** (2016). Folded bike shelter: Application of oricrete design and manufacturing method. *In Proceedings of IASS Annual Symposia (Vol. 2016, No. 13, pp. 1-10)*. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- Woodbury, R.** (2010). *Elements of parametric design*. Taylor and Francis.
- Ylirisku, S., & Buur, J.** (2007). *Designing with Video. Focusing the User-Centred Design Process*. London: Springer-Verlag.
- Yürekli, H., & Yürekli F.** (2005). 1970'lerden günümüze Mimari Tasarı ve Eğitimi: Kara Kutudan, Kara Deliğe. *Yapı*, 250, 116-121.
- Zarzar, K. M., & Guney, A.** (Eds.). (2008). *Understanding Meaningful Environments: Architectural precedents and the question of identity in creative design (Vol. 4)*. IOS Press.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

: Saadet Zeynep BACINOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009 yılında Archiprix Mimarlık Öğrencileri Bitirme Projesi Yarışması'nda üçüncülük ödülü aldı.
- 2009-2010 Vehbi Koç Vakfı'nda mimar olarak çalıştı.
- 2011 yılında Koza Genç Moda Tasarımcıları Yarışması'nda finalist oldu.
- 2010-2018 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Bacinoğlu, S. Z., Çavuş, Ö.** (2023) "Gamifying Origami - Rule-Based Improvisation for Design Exploration," *Architecture and Planning Journal (APJ)*: Vol. 28: Iss. 3, Article 16.
- **Bacinoğlu, S. Z., Piskorec, L., & Kotnik, T.** (2019). CURVED. IT: A Design Tool to Integrate Making with Curved Folding into Digital Design Process. *A|Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 16(1), 11-27.
- Güzelci, O., **Bacinoğlu, S. Z., Alaçam, S.** (2016). Enhancing Flexibility of 2D Planar Materials by Applying Cut Patterns For Hands-on Study Models, *SIGraDi 2016, In Proceedings of the 20th SIGRADI*, 1-6.
- **Bacinoğlu, S. Z.** (2015). From Material to Material with New Abilities Performative Skin: An Unfinished Product Derived Through the Organizational Logic Developed from A Research on 'Movement'. In *Proceedings of the 19th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 631-636.
- **Bacinoğlu, Z., Alaçam, S.** (2014). A Context Based Approach to Digital Architectural Modelling Education. In *Proceedings of the 19th International Conference of the Association of Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, pp. 811-820.
- **Bacinoğlu, Z.** (2013). Muğlak Tasarım Sürecinde Bir Aracı Olarak Şekil. In *Proceedings of VII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu: Sayısal Tasarım Entropi Yaratıcılık*, 169-178.