

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**HESAPLAMALI TASARIM SÜRECİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mimar Güneş MUTLU AVİNÇ**

**OCAK 2016**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mimarlık Anabilim Dalında  
Güneş MUTLU AVINÇ Tarafından Hazırlanan**

**HESAPLAMALI TASARIM SÜRECİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 12 / 2015 gün ve 1630 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç. Dr. Nilgün KULOĞLU**

**Üye : Doç. Dr. Meltem AKSOY**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Serbüent VURAL**

*Komün*  
*Yur*  
*Mal. Mit*

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Tez konumun seçimiyle ve tez sürecinde her konuda göstermiş olduğu sabrı ve ilgisiyle beni yalnız bırakmayan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Serbülent VURAL'a, yapmış olduğu yapıcı eleştirileriyle tezime katkı sunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilhan Vural'a ve KTÜ Mimarlık Lisans ve Yüksek Lisans programında tecrübeleriyle ve bilgileriyle bana emeği geçen ve destek olan tüm değerli hocalarıma;

Bu süreçte desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım, Elif AKTAŞ, Bahar KÜÇÜK, Aybike ÖZDAĞ, Neva GERÇEK, Esra İMAMOĞLU, Gürkan TOPALOĞLU, Beyza ATALAY, Elif ÖZTÜRK, Hare KILIÇASLAN, Merve KILIÇBAY, Merve GERÇEK, Ahmet KÜRKÇÜ, Merve TUTKUN, Selin OKTAN ve Çağlar AYDIN'a;

Tüm hayatım boyunca her konuda ilgi ve özveri göstererek her zaman destek olduklarını hissettiren annem, babam ve kardeşlerime;

Bu zorlu süreçte, koşulsuz olarak hep yanımda olan ve göstermiş oldukları sonsuz sevgi, güven ve anlayış için, çalıştığım ortama hareket katan oğlum Mirhan'a ve sevgili eşim Mustafa'ya;

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. İyi ki varsınız...

Güneş MUTLU AVİNÇ

Trabzon 2016

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hesaplamalı Tasarım Süreçleri: Tasarlama Evresi Üzerine Bir İnceleme” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Serbüent VURAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06/01/2016

Güneş MUTLU AVİNÇ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	2
1.3. Tasarım Süreci.....	3
1.3.1. Tasarım Süreci Araştırmaları .....	6
1.3.2. Tasarım Süreci Aşamaları .....	14
1.4. Tasarım Sürecinde Bilgisayarın Rolü .....	17
1.5. Hesaplamalı Tasarım.....	25
1.5.1. Hesaplamalı Tasarım Yöntemleri.....	27
1.5.2. Hesaplamalı Tasarım Modelleri .....	28
1.5.2.1. Formasyon Modeli .....	33
1.5.2.1.1. Topolojik Tasarım Yöntemi .....	35
1.5.2.1.2. Parametrik Tasarım Yöntemi .....	39
1.5.2.1.3. Animasyona Dayalı Tasarım Yöntemi .....	43
1.5.2.2. Üretken Model.....	47
1.5.2.2.1. Biçim Gramerleri ile Tasarım Yöntemi .....	48
1.5.2.2.2. Evrimsel Tasarım Yöntemi .....	50
1.5.2.3 Performans Modelleri.....	54
1.5.2.3.1. Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi .....	54
1.5.2.3.2. Performansa Dayalı Üretken Tasarım Yöntemi .....	58
1.5.2.4. Birleşik Model.....	60
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	61
2.1. Çalışmanın Yöntemi .....	61
2.2. Örnek Projelere Ait Tasarım Süreçlerinin Analizi .....	68
2.2.1. Formasyon Modeli Süreç Analizleri.....	68

2.2.1.1.	Örnek 1: Topolojik Örtü .....	69
2.2.1.2.	Örnek 2: Hangzhou Stadyumu.....	74
2.2.1.3.	Örnek 3: Aviva Stadyumu .....	81
2.2.1.4.	Örnek 4: Frozen Motion .....	87
2.2.1.5.	Örnek 5: The Sound Motion Streaks .....	93
2.2.2.	Üretken Model Süreç Analizleri .....	99
2.2.2.1.	Örnek 6: Froebel Form Türetici ile Konut Yerleşkesi Tasarımı .....	100
2.2.2.2.	Örnek 7: Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği.....	106
2.2.2.3.	Örnek 8: Bütünleyici Evrimsel Tasarım.....	114
2.2.2.4.	Örnek 9: Evrimsel Tasarım ile Konut Üretimi.....	119
2.2.2.5.	Örnek 10: Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası .....	123
2.2.3.	Performans Modelleri Süreç Analizleri.....	127
2.2.3.1.	Örnek 11: Kopenhag Fil Evi .....	128
2.2.3.2.	Örnek 12: Dubai Towers .....	135
2.2.3.3.	Örnek 13: Çift Katmanlı Strüktürel Duvar.....	140
2.2.3.4.	Örnek 14: Kule Tasarımı.....	145
2.2.3.5.	Örnek 15: Newyork'ta Gökdelen .....	150
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	155
3.1.	Örnek Tasarım Süreçleri İçerisinde Tespit Edilen Kavramlar .....	155
3.1.1.	Değişkenler.....	158
3.1.2.	Kısıtlamalar .....	163
3.1.3.	Kurallar.....	166
3.1.4.	İlişkiselik .....	169
3.1.5.	Bileşenler.....	173
3.1.6.	Varyasyonlar .....	175
3.1.7.	Animasyon .....	183
3.1.8.	Simülasyon .....	185
3.1.9.	Optimizasyon .....	189
3.1.10.	Dökümantasyon/ Rasyonelleştirme.....	193
3.2.	Tasarım Modeli, Belirlenen Kavramların ve Tekniklerin Tasarım Süreci İçerisindeki Rolü .....	195
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	203
5.	KAYNAKLAR.....	209
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

HESAPLAMALI TASARIM SÜRECİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Güneş MUTLU AVİNÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Serbüent VURAL  
2016, 235 Sayfa

Bilgisayar teknolojilerinin 1960'lı yıllarda mimarlık pratiğinde kullanılmaya başlanması bir çok değişimi beraberinde getirmiştir. Tasarım sürecine araç olarak dahil olan bilgisayar, sonraları tasarımın gerçekleştiği ortama dönüşmüştür. Bilgisayarın yeni bir tasarım ortamı oluşturması, tasarım süreci içerisinde yeni kavramların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Teknolojik yeniliklerle araç, ortam ve yöntemin farklılaşmasının, süreci değiştirdiği düşünülmektedir. Aynı zamanda bu durum, mimarlıktaki en önemli paradigma değişimi olarak kabul edilmektedir.

Bu bağlamda çalışma kapsamında, hesaplamalı tasarım yöntemlerinin tasarım süreçlerini inceleyerek, içeriğinde yer alan kavramların, tekniklerin ve bunları içeren tasarım süreci modelinin ortaya konulması ve geleneksel tasarım sürecinden farklı yanlarının tartışılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın genel bilgiler bölümünde, tezin kuramsal altyapısını oluşturan literatür çalışmasından sonra, hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait örnekler belirlenerek tasarım süreçleri analiz edilmiştir. Bulgular ve irdelemeler bölümünde süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiş, bu kavramları ve teknikleri içeren süreç modeli ortaya konulmuştur.

Çalışma sonucunda, düşünsel kökenleri geriye götürülebilmekle birlikte 1960'lardan itibaren mimarlık pratiğine yeni bir yaklaşım olarak katılan hesaplamalı tasarım, geleneksel yöntemlerden farklı bir süreç ortaya koymakta ve süreç tasarımını ön plana çıkarmaktadır. Hesaplamalı yöntemlerin erken tasarım evresinde kullanılması, tasarım sürecini rasyonel ve sistematik, tanımlanan bileşenlere ve sürece bağlı olarak varyasyonların üretildiği, yaratıcılığı barındıran veri-enformasyon-bilgi işleme süreci olarak dönüştürdüğü görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tasarım Süreci, Hesaplamalı Tasarım, Hesaplamalı Tasarım Süreci – Modeli



Master Thesis

SUMMARY

A STUDY ON COMPUTATIONAL DESIGN PROCESS

Güneş MUTLU AVİNÇ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Architecture Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Yrd. Doç. Dr. Serbülen VURAL  
2016, 235 Pages

As computer technologies started to be used in architecture practice in 1960's, various changes have come about. Computer that was a tool at design process before turned into medium where design is materialized later on. Computer's constituting of a new design medium brought new concepts at design process about. It is thought that the change of tool, medium and method through technological innovations, altered the process. At the same time, this situation has been accepted as the most important paradigm change in architecture.

In this respect, within the scope of this study, it is aimed to analyze the design process of computational design methods, exhibit the concepts and techniques therein and the design process model which consists them, and discuss different sides of it from conventional design process.

In general information section, after litterateur studies that is the theoretical substructure of the thesis, examples of computational design methods were determined and design processes were analyzed. In findings and research section, the concepts and techniques taking place at process were specified, and process model consisting of these concepts and techniques was produced.

At the end of the study, computational design, whose intellectual origin can be earlier and which joined as a new approach to architecture practice since 1960's, produces a process different form conventional methods and features design process. It is occurred that the usage of computational methods at early design process, changed design process as rational and systematical data-information-knowledge manipulation process consisting creativity and where variations are produced depending on defined components and process.

**Key Words:** Design Process, Computational Design, Computational Design Process-Models

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Saydam kutu ve kara kutu yaklaşımları ..... 7
Şekil 2.	Tasarım sürecinin şemalaştırılması ..... 8
Şekil 3.	Geri besleme döngüsü. .... 11
Şekil 4.	Goel tarafından 1995 yılında önerilen tasarımı “ardışık eylemler dizisi” olarak tanımlayan tasarım süreci modeli. .... 13
Şekil 5.	Tasarım Süreci. .... 14
Şekil 6.	Ivan Sutherland’a ait ilk Bilgisayar Destekli Tasarım Sistemi SKETCHPAD. .... 19
Şekil 7.	Mimarlık bürosundaki bilgisayar, Applicon 800 Sistemi. .... 20
Şekil 8.	URBAN 5’in örtüsü ve URBAN 5’te kullanılan IBM 2250 model 1 katot ışın tüpü. .... 21
Şekil 9.	MIT Mimarlık Makinesi Grubu’nun (Architecture Machine Group) hazırladığı Katılımcı Mimarlıkta Bilgisayar Destekleri. .... 22
Şekil 10.	Yona Friedman’ın FLATWRITER makinesinde kullanıcı alışkanlıklarının izlenmesi. .... 23
Şekil 11.	Genel şema, semboller, sınırlar ve bağlantılar. .... 30
Şekil 12.	Kağıt Tabanlı Tasarım. .... 30
Şekil 13.	Geleneksel CAD modeli Tasarım Süreci. .... 32
Şekil 14.	Üretici-Değerlendirme Modeli Tasarım Süreci. .... 33
Şekil 15.	Formasyon Modeli. .... 34
Şekil 16.	Torusun kahve bardağına dönüşümü. .... 36
Şekil 17.	Topolojik olarak eşdeğer olan şekiller ve kareye topolojik olarak eşdeğer olan şekiller. .... 36
Şekil 18.	Topolojik mimarlık: Frank Gehry, Guggenheim Müzesi, Bilbao. .... 37
Şekil 19.	Ghery Mimarlık, Vila Olimpica Complex, Barselon, İspanya, 1992; Üç boyutlu CATIA modeli. .... 41
Şekil 20.	Parametrik tasarım örneği; Grimshaw and Partners tarafından tasarlanan Waterloo Tren İstasyonu. .... 42
Şekil 21.	Frankfurt Forum Alanı ve BMW Pavyonundan görünüm. .... 42
Şekil 22.	BMW Pavyonu tasarım sürecinde çevre pavyonların etkisi ve araba hızına bağlı doppler etkisinin araştırılması. .... 43
Şekil 23.	Authority otobüs terminali, tasarıma etki eden çevresel güçlerin animasyonu. .... 46

Şekil 24.	Presbyterian Kilisesi. ....	46
Şekil 25.	Tasarım süreci içerisinde animasyon teknikleri kullanılarak mekânın biçimlenişi ve mevcut fabrika binasına eklenen mekânlar. ....	47
Şekil 26.	Üretken Model. ....	48
Şekil 27.	Belirlenen kural tarafından tasarımın üretilmesi. ....	49
Şekil 28.	Embriyolojik Ev'in (1997-2001) bilgisayar ortamındaki tasarım sürecinden görüntüler, 1. Microstation programında ilk geometrik formun oluşturulması, 2. Microstation'da Embriyolojik Ev'in gelişimini gösteren çizimler, 3. Embriyolojik Ev'in Maya programındaki modeli, 4. Mel script dosyası, 5. Embriyolojik Ev'in animasyonu. ....	52
Şekil 29.	Embriyolojik evlerin evrimsel süreci. ....	53
Şekil 30.	Performansa Dayalı Formasyon Modeli. ....	54
Şekil 31.	Future Systems mimari ofisi tarafından 1995 yılında akışkanlar dinamiği programı (CFD) kullanılarak gerçekleştirilen ZED projesi. ....	56
Şekil 32.	Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesinin güneşlenme verilerine göre performans analizleri. ....	57
Şekil 33.	Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesi Akustik verilerine göre performans analizleri. ....	57
Şekil 34.	Performansa Dayalı Üretim Modeli. ....	58
Şekil 35.	<i>eifFORM</i> programı strüktür üretme kuralları ve uygulanan prototip. ....	59
Şekil 36.	<i>eifFORM</i> prototip uygulama. ....	60
Şekil 37.	Birleşik Model. ....	60
Şekil 38.	Grasshopper formatında analiz araçları ve sürekli topolojik formasyon. ....	70
Şekil 39.	Sürekli topolojik formasyon, yüzey-kabuk-kolon formasyonu. ....	71
Şekil 40.	Phaeno Science Center (2000-2005), topolojik strüktürlerin hem strüktürel eleman hem de mimari eleman olarak kullanılması. ....	71
Şekil 41.	Güçler simülasyonu. ....	72
Şekil 42.	Geometrinin oluşturulması. ....	76
Şekil 43.	Hanzhou Stadyumu Kabuk formu varyasyonları. ....	77
Şekil 44.	Parametrik olarak tanımlanmış strüktürel model. ....	77
Şekil 45.	Hanzhou Stadyumunun optimizasyonu. ....	77
Şekil 46.	Kangaroo fizik motorunun kullanılması ile, makas üzerindeki yüklerin hesaplanması. ....	78
Şekil 47.	Grasshopper ile üretilmiş tanımlı geometrinin Revit programında çizimlerinin hazırlanması. ....	79
Şekil 48.	Süreç strüktürü. ....	82
Şekil 49.	Geometrinin oluşturulması ve kontrol yöntemi. ....	83

Şekil 50.	Kabuk geometrisinin elde edilme yöntemi ve strüktürel tasarımın kabuk ilişkili tasarımı.....	84
Şekil 51.	Panellerin tasarımı sırasında ve kavis yarıçapının ayarlanmasıyla oluşan varyasyonlar. ....	84
Şekil 52.	Paneller üzerinde solar, havalandırma ve rüzgar şiddeti hesaplanması. ....	85
Şekil 53.	Yapım için dökümantasyon, (soldan sağa) Cephe bölmelerinin detaylandırılması, Akustik panellerin rasyonelleştirilmesi. ....	85
Şekil 54.	Konsept olarak belirlenen karbon fiber aya. ....	88
Şekil 55.	Geometrinin oluşum süreci. ....	89
Şekil 56.	Gerçekleştirilen Fiziksel deneyler. ....	89
Şekil 57.	Halka malzemenin bükülme derecesinin eğim kontrolü. ....	90
Şekil 58.	Strüktürleri tanımlayan halka noktaları. ....	90
Şekil 59.	Dijital ortamda form bulma süreci ve varyasyonların animasyon teknikleri ile oluşturulması. ....	91
Şekil 60.	Strüktürel halkaların detaylandırılması. ....	91
Şekil 61.	Lineer Elemanların Mekandaki Hareketi ve Partikül Salınımı, Hareket Algısı. Dondurulmuş An. ....	95
Şekil 62.	Hibrid Sistem (Lineer Elemanlar+Partikül Sistemi+Mesh) Hareketleri. Formun Gelişmesi. ....	96
Şekil 63.	Sınırlandırılmış Bir Lineer Sistemde Yöntemin Denenmesi. Ön-Arka ve Yan Görünüşler ve Kentsel ölçekte bir prototip. ....	97
Şekil 64.	Seçilen arazi içerisinde konumlanması. ....	97
Şekil 65.	Süreç içerisinde kullanılacak bloklar. ....	102
Şekil 66.	A1 ile A2 arasındaki ilişki. ....	102
Şekil 67.	Kural setleri ve dönüşüm döngülerine bağlı olarak form üretilmesi. ....	103
Şekil 68.	Bir adet önüşüm noktası kullanılarak türetilen varyasyonlar ve seçilen form. ....	103
Şekil 69.	Türetilen konut seçeneklerinin tasarımcı tarafından yorumlanması. ....	104
Şekil 70.	Birim küp. ....	107
Şekil 71.	Örnek arsa, yarı açık mekanın yerleştirilmesi, açık mekanın yerleştirilmesi. ....	108
Şekil 72.	İkinci yarı açık mekanın rastlantısal ataması, ikinci yarı açık mekanın yerleştirilmesi. ....	108
Şekil 73.	Birinci, ikinci ve üçüncü yaşama mekanlarının belirlenmesi. ....	109
Şekil 74.	Mutfağın yerleşimi. ....	109
Şekil 75.	Boş ve açık alanların yerleşimi. ....	109
Şekil 76.	İkinci katın yerleştirilmesi. ....	110

Şekil 77.	Yarı açık mekanın ve odaların yerleştirilmesi. ....	110
Şekil 78.	Program arayüzü ve planların programda görünümü.....	110
Şekil 79.	3ds Max programında elde edilen konutun görselleri.....	111
Şekil 80.	Kat adedi ve oda sayısı ilişkisi. ....	111
Şekil 81.	Programda üretilen varyasyonların zemin ve 1. kat görselleri, Üstten görünüşü ve perspektifi. ....	112
Şekil 82.	Başlangıç şekli. ....	115
Şekil 83.	Olası populasyonlar.....	116
Şekil 84.	Değişkenler listesi. ....	116
Şekil 85.	Oluşan varyasyonlar.....	117
Şekil 86.	Kısıtlamalara göre şekillerin orta çıkması. ....	121
Şekil 87.	Optimizasyon süreci.....	122
Şekil 88.	Voxel binası tasarımı için tanımlanan mekansal kurallar. ....	125
Şekil 89.	Evrimsel süreç içerisinde oluşan populasyon varyasyonları.....	125
Şekil 90.	Norman Foster'a ait eskizler. ....	129
Şekil 91.	Norman Foster' ait ikinci eskiz. ....	130
Şekil 92.	Bilgisayarda üretilmiş strüktür ve Torus geometrisi.....	130
Şekil 93.	Torus geometrisinin dijital çizimi .....	131
Şekil 94.	Yaprak şekillerini cam panel üzerine yerleştirme için kullanılan program.	132
Şekil 95.	Cam üzerine işlenen yaprak deseni .....	132
Şekil 96.	Geometry Method Statement'daki proje anlatımları .....	133
Şekil 97.	Dubai Kuleleri, Geometrik dönüşümün Kule 29'a uygulanması a: Omurga eğrisi, b: Konik yükseliş, c: Kıvrılma; Kule 29'un Grasshopper programında üretilen başlangıç modeli, ETABS programında üretilen analitik model.....	136
Şekil 98.	Formun dış merkeziliğini azaltmak için tekrarlanan parametrik düzeltmeler.....	137
Şekil 99.	Kıvrılma derecesine göre parametrik çeşitlilik. ....	138
Şekil 100.	Grasshopper programı içerisinde Form Üretim sürecinin iş akışı .....	139
Şekil 101.	Strüktürel duvar ve dinamik parça strüktürlerin bileşiminden oluşan dış kabuk birimleri. ....	141
Şekil 102.	İki birimli bina duvar kabuğu.....	142
Şekil 103.	Rüzgar gücünün yüzeyi biçimlendirmesi.....	142
Şekil 104.	Solar etkinin kabuk üzerindeki dinamik formasyonu. ....	143
Şekil 105.	Oluşan varyasyonlar.....	147
Şekil 106.	Performans simülasyonu, kontrol katının simülasyonu .....	148

Şekil 107.	Başlangıç popülasyonu örnekleri .....	152
Şekil 108.	Değerler sonucunda ortaya çıkan varyasyonlar. ....	153
Şekil 109.	Varyasyonlar .....	153
Şekil 110.	Topolojik Formasyon Örneği .....	158
Şekil 111.	Hangzhou ve Aviva Stadyumu .....	159
Şekil 112.	Frozen Motion, The Sound Motion Streaks .....	160
Şekil 113.	Biçim gramerleri kullanılarak oluşturulmuş örnekler. ....	161
Şekil 114.	Evrimsel tasarım yöntemi ile oluşturulan örnekler .....	161
Şekil 115.	Fil evi, Dubai Towers, Çift katmanlı kabuk.....	162
Şekil 116.	Kule ve Newyork'ta gökdelen tasarımı .....	163
Şekil 117.	Geometrinin oluşturulması.....	166
Şekil 118.	Geometrinin oluşturulması ve kontrol yöntemi. ....	167
Şekil 119.	Taç yaprağı formunun oturma basamakları ile ilişkilendirilmesi ve Parametrik olarak tanımlanmış strüktürel model .....	170
Şekil 120.	Strüktürel tasarımın kabuk ilişkili tasarımı .....	170
Şekil 121.	A1 ile A2 arasındaki ilişki .....	171
Şekil 122.	Kat adedi ve oda sayısı ilişkisi .....	171
Şekil 123.	Yazılıma girilen veriler arasındaki ilişkisellik. ....	172
Şekil 124.	Oluşan varyasyonlar.....	176
Şekil 125.	Hanzhou stadyumu oluşan varyasyonlar.....	176
Şekil 126.	Kavis yarıçapının ayarlanmasıyla oluşan varyasyonlar. ....	176
Şekil 127.	Dijital ortamda form bulma süreci ve varyasyonların animasyon teknikleri ile oluşturulması.....	177
Şekil 128.	Hibrid Sistem (Lineer Elemanlar+Partikül Sistemi+Mesh) Hareketleri, sınırlandırılmış Bir Lineer Sistemde Yöntemin Denenmesi .....	178
Şekil 129.	Dönüşüm noktası kullanılarak türetilen varyasyonlar. ....	179
Şekil 130.	Türetme sonucu mekanizma tarafından oluşturulan varyasyonlar.....	179
Şekil 131.	Oluşan varyasyonlar.....	179
Şekil 132.	Kısıtlamalara göre şekillerin orta çık. ....	180
Şekil 133.	Doğal kurallar sonucunda oluşan varyasyonlar .....	180
Şekil 134.	Oluşan varyasyonlar.....	181
Şekil 135.	Formun dış merkeziliğini azaltmak ve kıvrılma derecesine göre oluşan varyasyonlar .....	181
Şekil 136.	Gün ışığının ve rüzgar gücünün kabuğu biçimlendirmesi optimizasyon süreci. ....	182

Şekil 137.	Üretken kurallar ve performans kriterleri sonucu oluşan varyasyonlar Optimizasyon süreci.....	182
Şekil 138.	Değerler sonucunda ortaya çıkan varyasyonlar .....	183
Şekil 139.	Frozen Motion Animasyon videosundan alınan görüntüler.....	184
Şekil 140.	Lineer elemanların mekandaki hareketi ve partikül Salınımı, hareket algısı, dondurulmuş An.....	184
Şekil 141.	Rüzgar gücünün kabuğu biçimlendirmesi.....	185
Şekil 142.	Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan bazı simülasyonlar .....	186
Şekil 143.	Kangaroo fizik motorunun kullanılması ile, makas üzerindeki maksimum yüklerin hesaplanması ve yüzey analizi.....	186
Şekil 144.	Paneller üzerinde solar, havalandırma ve rüzgar şiddeti hesaplanması .....	187
Şekil 145.	Yaprak şekillerini cam panel üzerine yerleştirme için kullanılan program.	187
Şekil 146.	Solar etkinin kabuk üzerindeki dinamik formasyonu .....	188
Şekil 147.	Performans simülasyonu, kontrol katının simülasyonu .....	188
Şekil 148.	Simülasyon programından elde edilen verilerin üretken süreç içerisinde kullanılması.....	189
Şekil 149.	Formun optimizasyonu .....	190
Şekil 150.	Optimizasyon süreci.....	191
Şekil 151.	Grasshopper ile üretilmiş tanımlı geometrinin Revit programında çizimlerinin hazırlanması.....	194
Şekil 152.	Yapım için dökümantasyon, (soldan sağa) Cephe bölmelerinin detaylandırılması, Akustik panellerin rasyonelleştirilmesi.....	194
Şekil 153.	Strüktürel elemanların detaylandırılması .....	194
Şekil 154.	Geometry Method Statement'daki proje anlatımları .....	195

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Tasarım sürecinde soyuttan-somuta giderken aşamalar içinde tasarlama işlemlerinin tekrarlanışına bir örnek .....	9
Tablo 2. Christopher Jones'un tanımladığı tasarım süreci evreleri.....	9
Tablo 3. Archer'e göre tasarım süreci .....	10
Tablo 4. Archer'in tasarım süreci evrelerinde gerçekleşen durumlar .....	12
Tablo 5. Asimow'un sistematikleştirdiği tasarım süreci aşamaları.....	13
Tablo 6. Topolojik tasarım yöntemi özellikleri ve içerdiği kavramlar .....	39
Tablo 7. Genetik algoritma için kullanılan genel terimler .....	52
Tablo 8. Çalışma Yönteminin Modeli.....	61
Tablo 9. Hesaplamalı Tasarım Modelleri.....	62
Tablo 10. Formasyon modeli süreç analizi için seçilen örnekler .....	64
Tablo 11. Üretken model süreç analizi için seçilen örnekler .....	65
Tablo 12. Performansa dayalı model süreç analizleri için seçilen örnekler .....	66
Tablo 13. Archer'e göre tasarım süreci .....	67
Tablo 14. Topolojik örtü deneysel çalışması .....	69
Tablo 15. Topolojik örtü çalışması sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler.....	73
Tablo 16. Hangzhou Stadyumu .....	74
Tablo 17. Hanzhou Stadyumu sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler .....	80
Tablo 18. Aviva Stadyumu.....	81
Tablo 19. Aviva Stadyumu sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler.....	86
Tablo 20. Frozen Motion.....	87
Tablo 21. Frozen Motion sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler.....	92
Tablo 22. The Sound Motion Streaks (Deneysel) .....	93
Tablo 23. The motion Streaks sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler .....	98
Tablo 24. Froebel form üretici ile konut yerleşkesi tasarımı (Deneysel).....	100
Tablo 25. Froebel form üretici ile konut yerleşkesi tasarımı sürecinde öne çıkan kavramlar .....	105
Tablo 26. Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği.....	106



Tablo 27.	Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği sürecinde öne çıkan kavramlar.....	113
Tablo 28.	Bütünleyici Evrimsel Tasarım, Mimarlık Erken Tasarım Süreci İle Birleştirilmesi Deneysel çalışması .....	114
Tablo 29.	Marin vd. 2008a tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmaya ait süreçte öne çıkan kavramlar .....	118
Tablo 30.	Konut Çalışması (Optimal Distribution of Architecture Programs with Multiple-constraint Genetic Algorithm) .....	119
Tablo 31.	Narahara ve Terzidis tarafından gerçekleştirilen konut çalışmasına ait tasarım sürecinde öne çıkan kavramlar .....	122
Tablo 32.	Voxel, Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası .....	123
Tablo 33.	Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası sürecinde öne çıkan kavramlar .....	126
Tablo 34.	Kopenhag Fil Evi (Copenhagen Elephant House) .....	128
Tablo 35.	Kopenhag Fil Evi projesine ait süreç modeli. ....	134
Tablo 36.	Dubai Towers.....	135
Tablo 37.	Dubai Towers tasarım süreci içerisinde öne çıkan kavramlar. ....	139
Tablo 38.	Çift katmanlı strüktürel duvar çalışması (Performance-Based Design: Current Practices And Research Issues) .....	140
Tablo 39.	Çift katmanlı strüktürel duvar sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler	144
Tablo 40.	Kule Tasarımı.....	145
Tablo 41.	Kule tasarımı süreci içerisinde öne çıkan kavramlar ve teknikler. ....	149
Tablo 42.	Newyork'ta Gökdelen Tasarımı.....	150
Tablo 43.	Newyork'ta Gökdelen projesi süreç içerisinde öne çıkan kavramlar ve teknikler. ....	154
Tablo 44.	Süreçler içerisinde belirlenen kavramlar ve teknikler.....	156
Tablo 45.	Tasarımların Tümevarım/Tümdengelim mantığına göre oluşturulması. ....	157
Tablo 46.	Tasarım Süreci Modeli.....	198
Tablo 47.	Oxman'nın (2006) yapmış olduğu sınıflandırmadan oluşturulmuş tablonun yorumlanması.....	201
Tablo 48.	Yorum sonucu ulaşılan sınıflama.....	202

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Bilgisayarın 1960'lı yıllardan itibaren tasarım süreci içerisinde yer alması ile bilgisayar ve hesaplamalı süreçler (computational processes) mimarlık pratiğinin ve eğitimin bir parçası olmaya başlamıştır. 1963 yılında Sutherland tarafından oluşturulan Sketchpad programı ile bilgisayarın sürece dahil olması, tasarım sürecinin son aşamalarında daha çok sonuç ürünün görselleştirilmesine ve uygulama çizimlerinin hazırlanmasına yardımcı olmuştur. 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar sadece tasarlanana aktarma görevini üstlenen bir araç olmaktan çıkmış, tasarımın erken aşamalarında kullanılması tartışılmaya başlanmıştır. Bu durum yeni yöntemleri, teknikleri ve yeni düşünme biçimlerini de beraberinde getirmiştir.

Bilgisayar teknolojilerinin tasarım pratiğine dahil olması ile bilgisayar ve tasarımcının süreç içerisinde nasıl bir rol oynadığı sorgulanmaya başlanmıştır. Bu durumun sorgulanması günümüzde hala devam etmektedir.

Tasarlananın çizimlerini ve temsilini oluşturmak için araç olarak kullanılan bilgisayar, erken tasarım aşamasında kullanılmasıyla birlikte ortama dönüşmüştür. Zaman içerisinde memur, vekil, sihirbaz, muhasebeci, ortak gibi insansı rollerin yanında ilham perisi, asistan gibi roller de bilgisayara yüklenmiştir. Bu duruma bağlı olarak, tasarım sürecine katılan bilgisayar konusunda, bilgisayarın tasarımcının rolünü tamamen üstleneceğini düşünenler ile tasarıma yardımcı olmakla birlikte aslında daha yaratıcı bir sürece engel olduğunu savunan olumlu/olumsuz görüşlerin bulunduğunu söylemek mümkündür.

Geleneksel tasarım<sup>1</sup> süreci, görsel düşünceye dayalı, tasarım düşüncesinin temsil ortamında çizim, maket gibi tekniklerle geliştirildiği ve biçimlendiği bir süreç olarak tanımlanmıştır (Akipek, 2004). Bu sürece ait erken tasarım aşamasında örtülü ve belirsiz olan işlemler, hesaplamalı<sup>2</sup> süreçler içerisinde algoritmalar, parametreler, kurallar, ilişkiler, değişkenlerin kullanıldığı açık işlemlere dönüşmektedir. Dino (2015) bu değişimi,

---

<sup>1</sup> Oxman'ın (2006; 2012), Kolarevic (2003) ve diğer bir çok makalede "traditional design" terimi literatürde "geleneksel tasarım" olarak yer almaktadır. Buradan hareketle çalışma içerisinde bu terim "geleneksel tasarım" olarak kullanılmaktadır.

<sup>2</sup> Oxman'ın (2012), Kolarevic (2000; 2003), Menges ve Ahlquist (2011) ve diğer birçok kaynakta "computational" terimi literatürde "hesaplamalı" olarak kullanılmaktadır. Çinici (2012), bu terimin kendi coğrafyamızda oluşan mimarlık ve tasarıma dair düşünme alışkanlıklarımızda tam karşılığını bulmakta güçlük çektiğimiz bir konu olduğunu dile getirmiştir. Literatürde dijital, sayısal, hesaplamalı, kompütasyonel, işlemsel olarak kullanılan "computational" terimi bu tez kapsamında "hesaplamalı" olarak kullanılmıştır.

mimarlıktaki en önemli paradigma değişimi olarak yorumlamakta ve hesaplamalı teknolojilerin tasarımda uygulanması ve bununla bağlantılı olarak tasarım düşüncesi, süreçleri ve form ile ilgili değişimler olduğunu söylemektedir.

Tasarım edimi “nesne tasarımı”ndan, eylem ve aktivitelerin mekandaki fiziksel ve sanal ilişkiler ağı içerisinde düzenlendiği bir “süreç stratejisi”ne doğru genişlemektedir (Gürer ve Alaçam, 2015). Bu bağlamda gelişen bilgisayar teknolojilerinin sürece dahil olması ile yeni tasarım yöntemlerinin varlığı tartışılmaya başlanmış ve süreç tasarımı ön plana çıkmıştır.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmeye devam etmesi her geçen gün bir çok yeni kavramı da beraberinde getirmiştir. Literatürde hesaplamalı, kompütasyonel, işlemsel, sayısal (computational) olarak adlandırılan bu yeni yöntem; geçmişten gelen ve hala kullanmaya devam ettiğimiz tasarım alışkanlığımız olan geleneksel tasarım yönteminden farklı yönleri sahiptir. Parametrik, evrimsel, performans dayalı tasarım yöntemlerini içeren hesaplamalı tasarım; fizik, kimya, biyoloji, genetik gibi bilim dalları ile ilişki içerisinde buldukça yeni yöntemler kazanmaya devam edecektir.

Hesaplamalı tasarım, nesneden çok sürecin tasarımına ve tasarım mantığının sistematik bir çerçevede tanımlanmasına öncelik vermektedir. Fakat burada hesaplamalı sistem tamamen tasarımcının yerine geçmemekte; aksine tasarımcı sistemin geliştiricisi olmaktadır. Tasarımcı, tasarım mantığını hesaplanabilir duruma getirmek için, algoritmalar, kurallar, parametrik bağlantılar, matematiksel ilişkiler ve data yapılarını kullanmaktadır (Dino, 2015). Hesaplamalı düşünme, çözüme ulaşmak için matematiksel ve mantıksal işlemlere ve süreçlere dayalı algoritmik bir düşünme şekli, bir problem çözme sürecidir (Çağdaş vd., 2015).

Bilgisayar teknolojilerinin mimarlık pratiğine dahil olmasıyla ürün, araç, ortam gibi değişikliklerin yanında sürecin de farklı olabileceği öngörülmüş ve araştırılmaya değer bulunmuştur.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Hesaplamalı tasarım süreci, günümüz mimarlığı açısından güncel bir tartışma alanı oluşturduğu ve değişimi sürekli vurgulandığı için çalışma konusu olarak belirlenmiştir. Çünkü, geleneksel tasarımda mimari son ürüne yönelen odağın, hesaplamalı tasarımda daha çok tasarım sürecine kaydığı görülmektedir.

Araştırmadaki üst hedef, tasarım ortamının ve biçime yaklaşımın değiştiği günümüz yaklaşımlarında, tasarım sürecinde yaşanan değişimlerle ilgili ipuçlarına ulaşmaktır. Bu üst hedef doğrultusunda araştırmanın amaçlarından biri, hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait süreçleri sistematikleştirmektir. Bilgisayar teknolojilerinin tasarım amaçlı kullanımı, bu süreçlerin geleneksel tasarım sürecinden farklı yanlarının ve hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait tasarım süreçlerinin belirlenmesi, içeriğinde yer alan kavramların, tekniklerin ve bunları içeren tasarım süreci modelinin ortaya konulması düşünülmüştür.

Bu bağlamda çalışmanın problemini “Hesaplamalı tasarım sürecini neler oluşturur?”, “Hesaplamalı tasarım sürecini sistematik biçimde ifade edilebilir mi?”, “Geleneksel ve hesaplamalı tasarım süreci arasında fark var mıdır?” soruları oluşturmaktadır. Bu kapsamda çalışma içerisinde bu sorulara yanıt aranmaktadır.

Çalışma kapsamında, hesaplamalı tasarım yöntemleri ile tasarlanan örnekler incelenmiştir. Analiz edilen örnekler, Oxman’ın (2006) yapmış olduğu sınıflandırma dikkate alınarak belirlenmiştir. Konunun sınırsızlığı ve genişliği düşünüldüğünde, örnek seçimlerinde ağırlıklı olarak tasarımları ve tasarım süreçleri ile ilgili düşüncelerini açıklayan ve yakın tarihte gerçekleştirilmiş örnekler seçilmiştir. Bu örnekler, tasarım sürecini sistematikleştiren araştırmacılardan biri olan Archer’ın (1965) ortaya koyduğu model üzerinden analiz edilmiştir. Örneklere ait süreçler tasarlanırken nasıl bir yol izlendiği, süreçler içerisinde kullanılan araçlar incelenerek, hesaplamalı tasarım süreçlerine ilişkin gözlem yapılmış ve tasarım sürecinin nasıl ilerlediği aşamalar üzerinden okunmaya çalışılmıştır.

### 1.3. Tasarım Süreci

Tasarım sürecini açıklamadan önce tasarım teriminin ne anlam ifade ettiğine değinmek gerekirse; tasarım genel anlamıyla, belirlenen problemin nasıl çözülebileceğini düşünmek ve bu durumu zihinde kurgulamaktır. Tasarımın burada, hem tasarım sürecini hem de bu süreç sonucunda ulaşılan çözümü anlatan iki anlamı bulunmaktadır.

Sanat, bilim, felsefe ve bu alanlarla ilişkili birçok disiplin içerisinde yer alan “tasarım” kelimesi “designare” sözcüğünden gelmekte olup, Türk Dil Kurumu (TDK) internet sözlüğünde “zihinde canlandırılan biçim, tasavvur, bir sanat eserinin, yapının veya teknik ürünün ilk taslağı, tasar çizim, dizayn, bir araştırma sürecinin çeşitli dönemlerinde izlenecek

yol ve işlemleri tasarlayan çerçeve, daha önce algılanmış olan bir nesne veya olayın bilinçte sonradan ortaya çıkması” olarak kullanılmıştır (URL-1, 2015).

Bayazıt (2000) tasarımı, çeşitli aşamalarda amaçlara ulaşmak için verilen kararlardan oluşan problem belirleme ve belirlenen problemi çözmeye eylemi olarak tanımlamaktadır. Aynı zamanda tasarım, bir plan ya da eskizi yapmak üzere zihinde canlandırmak, biçim vermek ya da üretilmek üzere zihinde canlandırılan bir plan ya da bir şey, bir sonucu hazırlayan adımların ortaya konulduğu zihni bir proje ya da şema olarak yorumlanmaktadır (Bayazıt, 1994). Lawson (2005)’ da benzer şekilde, tasarımı, “belirlenen gereksinimlere kendine özgü koşullar içerisinde uygun çözümlerin bulunması” olarak tanımlamıştır. Bu tanımlamalardan anlaşılacağı gibi, problemin tespit edilmesi ve bir gereksinimin ortaya çıkması ile tasarım eylemi başlamaktadır. Problemin belirlenmesiyle birlikte tasarım, tasarımcı tarafından zihinsel bir süreç olarak başlayıp, kısıtlamalar dikkate alınarak, en uygun çözüm bulunana kadar devam etmektedir.

Tasarım probleminin çözümü için gereken kısıtlamalar ve gereksinimler bir çok alanda farklı olmaktadır. Farklı yaklaşımlar, birbirinden farklı çözümler oluşmasını sağlamaktadır. Aynı probleme birden çok çözüm bulunabilmesi de tasarım eyleminin bir başka özelliğidir, çünkü tasarım olayının zihinde gerçekleştiği düşünülünce, her tasarımcının çözümü bulmak için izlediği yöntem ile birlikte, tasarımcının yaratıcılığı, bilgi ve deneyimi gibi özelliklerinden dolayı zihninde belirlenen çözüm de farklı olmaktadır.

Tasarım sırasında yararlanılan teknik ve araçlardan kurulu eylem düzenine tasarım süreci adı verilir. Bilgilerin nasıl elde edildiği ve yorumlandığı, tasarım projesinin amaçlarını gerçekleştirirken verilen kararlar dizisi ve kararların verilme biçimi tasarım sürecinin kapsamını oluşturur. Bu kapsam, öznel değer yargılarını da içermekte ve bir ihtiyacı karşılama amacı gütmektedir (Lawson, 2005).

Bayazıt (2000), tasarım sürecini, kronolojik bir düzen içerisinde bir örüntü şeklinde ilerleyen olaylar dizisi olarak tanımlar. Problemin belirlenmesi, bilgilerin elde edilişi, problem dâhilinde elde edilen bu bilgilerin yorumlanması ve uygulanması, tasarımcıların vermiş oldukları kararlar ve karar verme tarzı, tasarlama eylemi sonucunda elde edilen tasarımın nasıl etkilendiğinin belirlenmesi tasarım süreci kapsamı içerisinde yer almaktadır (Bayazıt,2000).

Tasarım süreci, problemin belirlenmesi, probleme uygun çözümün araştırılması ve bulunmasını içeren akışı tanımlamaktadır. Tasarım, kişisel değer yargılarını barındırdığı için

sürecin, herkeste aynı şekilde gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır. Yoğun zihinsel etkinlik içeren tasarım süreci, yaratıcılık ve rasyonellik barındırmaktadır.

Yaratıcılık ve yoğun zihinsel etkinlik barındıran mimari tasarım sürecinin, diğer alanlardaki tasarım süreçleri ile benzerlikleri olduğu gibi farklılıkları da bulunmaktadır. Vries ve Wagter (1991), mimari tasarım sürecinin iyi bir yapısının olmadığını çünkü tasarım süreci boyunca gerçekleşecek her yolu tahmin etmenin mümkün olmadığını söylemektedir. Mimari tasarım süreci açık uçludur. Erken tasarım evresinde baskın olmak üzere, tasarımın belirlenen amaçlara ulaşmasında tasarımcının kendisine ait özel tasarım prensiplerinin etkisi görülebilmektedir. Tasarım hiçbir zaman tam olarak bitmeyebilir ve pek çok aşamada yeniliklere açık olabilir. Tasarımcının değişmez, belirlenmiş ve uygun bir başlangıç noktasının olmayışı mimari tasarım sürecini diğer tasarım süreçlerinden ayıran bir diğer özelliktir. Başlangıçta belirlenen kriterler, değerlendirme ölçütleri, tasarım sürecinin sonuna kadar değişiklik gösterebilmektedir (Vries ve Wagter, 1991).

Onat (2006), mimari tasarım sürecini, mekânsal bir düzenleme ve biçimlendirme elde etmek amacıyla, zihinsel süreçlere dayalı arayış olarak tanımlamaktadır (Onat, 2006).

Süreç çok katmanlı, çok disiplinli, zihinsel kompleks bir süreç olarak değerlendirilebilir. Farklı disiplinlerden katılımcılar birbirleri ile sürekli iletişim halinde bulunmaktadır. Tasarım süreci içerisinde, tasarım problemi, tasarlayan kişiler, tasarım yöntemleri, tasarım araçları, zaman gibi değişkenler, her tasarım için farklılık gösterebilmektedir. Ortaya konulan problem aynı bile olsa, tasarımcıların sahip oldukları deneyim, seçtiği yöntem, araç, belirlediği kriterler, kısıtlamalar, gereksinimlerin önceliği farklılık gösterdiği için ortaya çıkan tasarım sonuç ürünü de farklı olmaktadır.

Arcan ve Evcı, mimari planlama süreci evrelerini;

- Programlama Evresi,
- Tasarlama Evresi,
- Uygulama Evresi
- Kullanım Evresi olarak adlandırmaktadır (Kıran ve Baytin, 2006).

Programlama evresi, bir mekanın, çevrenin veya elemanların tasarlanması için gerekli olan ihtiyaç programlarının listeler halinde düzenlendiği evredir. Tasarlama evresi, düşünülen yapının içinde yer alacak eylemler için gerekli alanların tasarlandığı, plan ve projelerin hazırlandığı proje yapma evresidir. Uygulama evresi; mimari projenin yüklenici firma tarafından inşa edildiği evredir. Kullanım evresi, yapı bittikten sonra kullanıcıların mekana yerleşimleri ve yaşamlarını sürdürmeleri evresidir (Kıran ve Baytin, 2006).

Mimari tasarım süreci disiplinlerarası, çok katmanlı zihinsel ve yaratıcı bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Mimarın yaratıcılığı, kullandığı araç, teknik, yöntem farklı olduğu için problemin çözümü için oluşan süreçte farklı olmaktadır.

### 1.3.1. Tasarım Süreci Araştırmaları

Endüstrileşen toplumlarda tasarım ve tasarım metodolojileri üzerine yapılan araştırmalar 1950 ve 1960'larda artarak görülmeye başlamış ve tasarım, bir eylem olarak çeşitli şekillerde tanımlanmıştır (Jones,1992).

II. Dünya Savaşı'nın etkisiyle yaşanan toplumsal, bilimsel ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak tasarım bilincinin geliştiği görülmüştür. 1960'lı yıllarda yaşanan bu gelişmelerle tasarımın bilimsel bir eylem olarak tartışılmaya başlanması, bilimde olduğu gibi, nesnel bir süreç gerekliliği hissedilmiş "tasarım yöntemleri hareketi" olarak adlandırılan ve tasarım süreçlerini anlamaya ve açıklamaya yönelik çalışmalar sonucunda sistematik aşamalar ile süreci rasyonelleştirme ve sistematikleştirme çabaları artarak devam etmiştir (Cross, 2001; Bayazıt, 1994; Bayazıt, 2000; Bayazıt, 2004; Rowe, 1998; Evbuowman, 1996; Arpak, 2012).

Tasarımın bilimsel, rasyonel ve sistematik süreçler olarak ele alınması 1960'larda düzenlenen bir dizi konferans ve sempozyum ile başlamış ve çeşitli dergiler, kitaplar ve uluslararası yayınlar ile gelişmiştir (Cross, 2001; Bayazıt, 2004; Rowe, 1998; Evbuowman, 1996; Arpak, 2012). "Tasarım" olgusunun derinlemesine analiz edildiği bu araştırmalar Morris Asimow'un (1962) deyimleştirdiği şekli ile "tasarım bilimi"ne dönüşmüştür (Arpak, 2014).

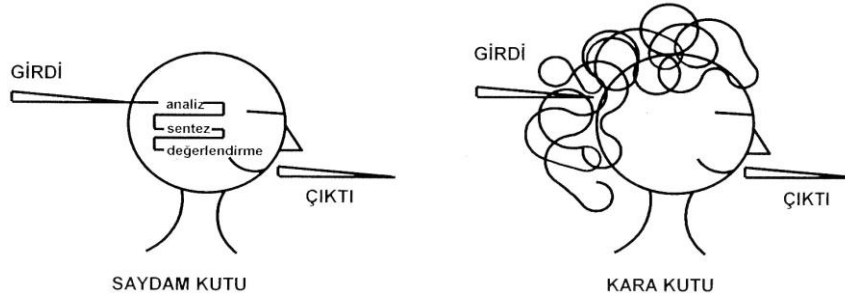
1. kuşak (nesil) tasarım araştırmalarında (1960'ın ilk yarısı) tasarım ürün/çözüm odaklı bir problem çözme eylemi olarak düşünülmüş ve sistematik tasarım yaklaşımları ortaya konulmuştur. Bu kuşağın öne çıkan araştırmacıları; Hall (1962), Asimow (1962), Jones (1963), Alexander (1964) ve Archer (1965)'dir (Bayazıt, 2004; Kahvecioğlu, 2001; Türkyılmaz, 2010).

2. kuşak (nesil) tasarım araştırmalarında (1960'ın ikinci yarısı ve 1970'in ilk yarısı), sosyal problem çözümü yeniden önem kazanmış, tasarım katılnmalı (participatory) ve tartışmalı (argumentative) bir eylem olarak düşünülmüştür. Bu kuşak, kullanıcıların tasarım yapma eylemine katılmasını öngören teknikler üzerinde çalışmış olup ilk kuşak kadar ürün vermemiştir. Bu kuşağın öne çıkan araştırmacıları; Rittel (1973) ve Altman (1975)'dir (Bayazıt, 2004; Kahvecioğlu, 2001; Türkyılmaz, 2010).

1970'in ve 1980'nin ilk yarısında tasarım bilişi araştırmaları hız kazanmış ve tasarım çok boyutlu bir eylem olarak tanımlanmıştır (Kahvecioğlu, 2001; Türkyılmaz, 2010).

1960'lar ve 1970'lerin ilk dönemlerinde yapılan tasarım araştırmalarında ortak özelliği, bir kuram ortaya koymadan önce, tasarımı kendi içinde parçalara ayırarak tanımlamalarıdır. Asimow (1962) tasarım elemanları (design elements), Alexander (1964) uyumsuz değişkenler (misfit variables), Archer (1965) alt problemler (sub-problems), Jones (1970) faktörler (factors) kavramları ile tasarımı tanımlamaya çalışmışlardır (Kahvecioğlu, 2001; Türkyılmaz, 2010).

Tasarım yöntemleri konusunda, önemli çalışmalar yapmış olan Jones, 1970 yılında yazmış olduğu Tasarım Yöntemleri (Design Methods: Seeds of Human Futures) kitabında; sezgisel ve sistemci yaklaşımları; sırasıyla kara kutu ve saydam kutu yaklaşımları olarak adlandırmıştır. Jones (1970)'a göre; kara kutu yaklaşımları, tasarımcının zihninde olup bitenlerin, hangi yöntem ve tekniklerin kullanıldığının bilinemeyeceği, açıklanamayacağı yaklaşımlarken; saydam (cam) kutu yaklaşımları, izlenebilir, girdilerin, yöntemlerin, sürecin ve çıktıların belirgin olduğu sistematik yaklaşımlardır (şekil 1).



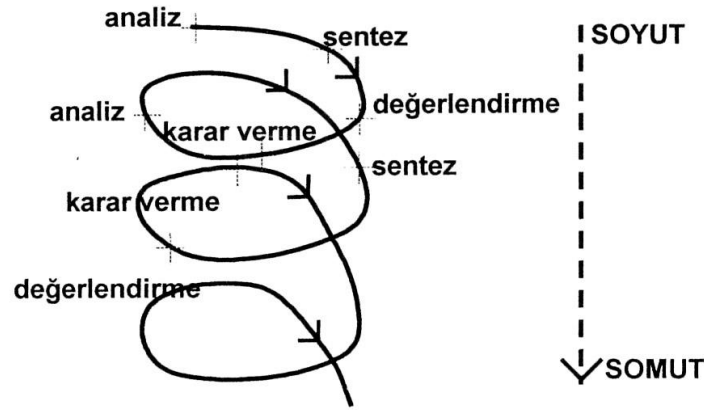
şekil 1. Saydam kutu ve kara kutu yaklaşımları (Bayazıt, 2004)

Tasarımcının kişisel özellikleri ve deneyimleri süreç içerisine katıldığında, tasarım süreci, belirsizlikler iğereren karmaşık bir süreç olarak tanımlanabilir. Araştırmacılar, süreç içerisindeki belirsizlikleri en aza indirmek ve anlaşılır bir duruma getirmek için süreci sistematikleştirmişlerdir.

Özellikle, modern mimarlıkla birlikte; Tasarım Yöntemleri Hareketi (Design Methods Movements) olarak adlandırılan "sistematik işlemler ile tasarımı rasyonelleştirme" çalışmaları giderek hız kazanmıştır (Cross, 2001). Tasarım sürecinin sistematikleştirilmesi ile ilgili yapılan bu yaklaşımlar, tasarımı zihinsel ve sezgisel (kara kutu yaklaşımı) olmaktan



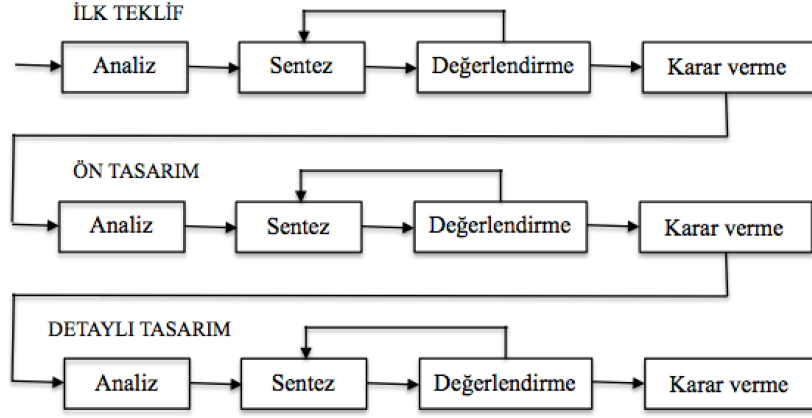
çıkartıp, sistemli, açık ve mantıklı olarak açıklamaktadır. Sistemci tasarlama da çok disiplinlilik ve çoğulculuk önem taşımakta, tasarımcıların tasarlarken içinde buldukları beyinsel faaliyetlerin olabildiğince şemalaştırılması, başkaları tarafından görülebilir, algılanabilir duruma getirilmesi yani dışlaştırılmasıyla ilgilidir. Dışlaştırılmadaki amaç, tasarlama eylemini tekrarlanır, anlaşılır ve denetlenir duruma getirmektir. Tasarlama eylemleri soyut zihinsel işlemlerden somut fiziksel durumlara doğru bir dizi halinde gelişmekte olup her aşamada analiz-sentez-değerlendirme-karar verme işlemleri gerçekleşmektedir (Şekil 2) (Bayazıt, 2004). Bu konuda Rowe (1998) araştırmacıların, 1950'li yılların sonu ile 1960'lı yıllarda tasarımda yaratıcı problem çözme sürecini, gerçekleşen aktiviteleri mantıksal bir strüktür içerisinde tanımlamak için bir dizi aşama olarak gördüklerini söylemektedir. Başka bir deyişle, tasarım analiz, sentez, değerlendirme ve buna benzer bir dizi aşama olarak görülmüştür (Rowe, 1998). Tasarım sürecinin bu şekilde aşamalara ayrılarak incelenmesi bilimsel yöntemlerin tasarıma etkisini göstermektedir.



Şekil 2. Tasarım sürecinin şemalaştırılması (Bayazıt, 2004)

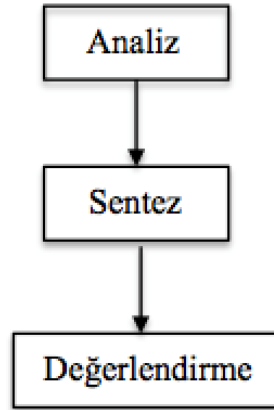
Bayazıt (2004), Building Performance Research Unit'in tasarım süreci yaklaşımının daha basite indirgenmiş ve genellenmiş olduğundan bahsetmiştir. Aynı zamanda, bu yaklaşımda görülen analiz, sentez, değerlendirme ve karar verme aşamalarının genel olarak birçok tasarlama yöntemcisi tarafından psikologların yapmış oldukları çalışmalara dayanarak ortaya konulan bir genelleme olduğunu belirtmiştir (Bayazıt, 2004). Bu genel şema, 1965 yılında Thomas A. Marcus (1969) ve Thomas W. Mawer (1970) tarafından da oluşturulmuştur (Tablo 1) (Lowson, 2004).

Tablo 1. Tasarım sürecinde soyuttan-somuta giderken aşamalar içinde tasarlama işlemlerinin tekrarlanışına bir örnek (Bayazıt, 2004)



Christopher Jones (1970), tasarım sürecini analiz (divergence), sentez (transformations and convergence), değerlendirme (evaluation) olarak tanımlamıştır. Bu aşamalar, sorunu parçalara bölmek, parçaları yeni bir biçimde bir araya getirmek ve yeni düzenlemenin uygulanabilirliğini denemek olarak özetlenebilir (Aksoy, 1987) (Tablo 2).

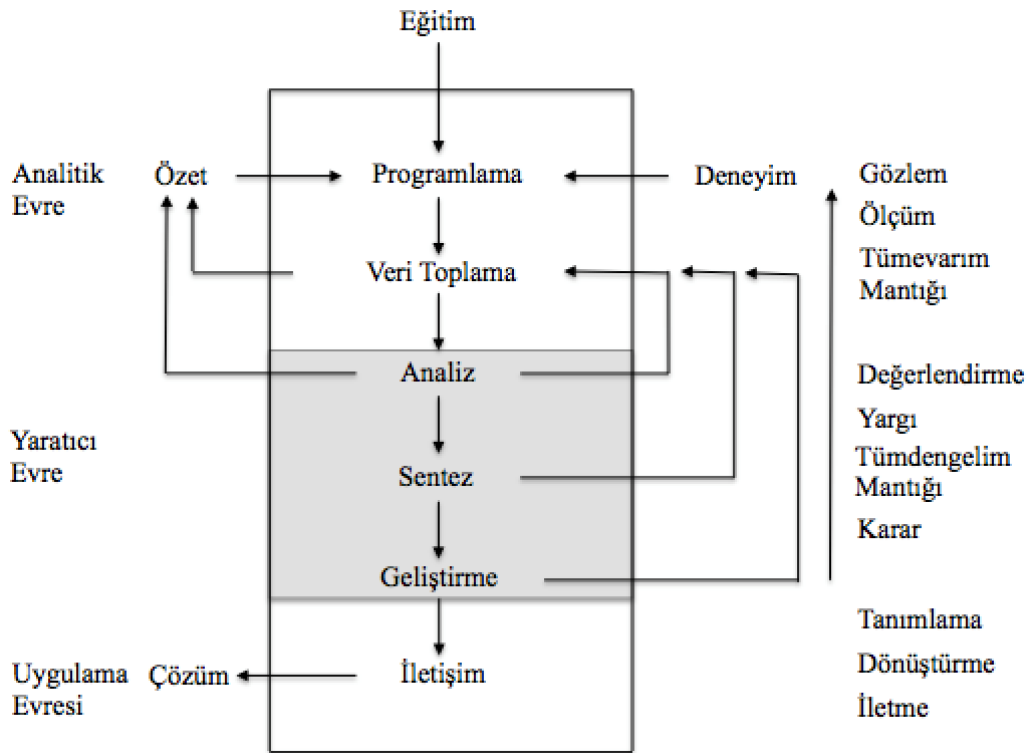
Tablo 2. Christopher Jones'un tanımladığı tasarım süreci evreleri (Aksoy, 1987; Bayazıt, 2000)



Tasarım sürecini sistematikleştiren bir diğer araştırmacı Bruce Archer'dır. Archer, tasarımı bir süreç olarak tanımlar (URL-2, 2015). Archer'ın metodunda, tasarım sürecinin her bir aşaması arasında dönüşümlü bir süreç işlemekte olup, bu geri dönüşümler tasarım sürecinin katı bir yapıda olmasını engellemiştir (Broadbent, 1966). Archer (1965; 1984), tasarımın altı farklı aşamadan oluştuğunu kabul etmektedir. Uygulamada belirsizlikler veya

zorluklarla karşılaşıldığında geri dönüşler olabildiğini belirtmekte ve modelde veri toplama, analiz, sentez ve geliştirme süreçleri arasında geri beslemeli bir döngü önermektedir. Ortaya konulan süreçler, 'analitik', 'yaratıcı' ve 'uygulama' olmak üzere üç ana evreden oluşmaktadır. Nesnel gözlem ve tümevarım mantığı ile süreç başlamaktadır. Programlama ve veri toplama analitik etkinlik içindedir. Öznel yargı ile tümdengelim mantığına dayanan, analiz, sentez ve geliştirme yaratıcı etkinlik içinde yer almaktadır. Son olarak iletişim ise uygulama etkinliği içerisinde yer almakta, tanımlama, betimle, çevirme ve aktarma görevlerini yerine getirmektedir (Tablo 3). Ayrıca, iletişim (communication) aşamasını süreç modeli içerisinde belirgin hale getiren ilk kişi Bruce Archer'dır. Archer (1965), tasarım sürecini yaratıcı bir sandviç olarak betimlemektedir. Objektif ve sistematik analize göre eklemek kalın ya da ince olabilir fakat, yaratıcı eylem orta kısımdır.

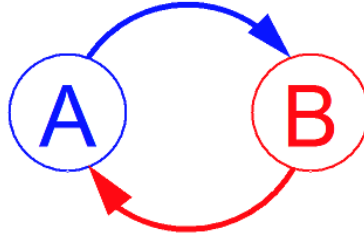
Tablo 3. Archer'e göre tasarım süreci (Archer, 1965)



Archer'ın ortaya koyduğu süreç, geri besleme döngüsüne sahiptir. Süreç incelendiğinde, problem tanımı programlama aşamasında tanımlanmakta, önemli noktalar, çalışma planı, zaman ve maliyet gibi konular belirlenmektedir. Verilerin bulunması ve düzenlenmesi veri toplama aşamasında gerçekleştirilmektedir. Problemlerin belirlenmesi,

ürünle ilgili gereksinimlerin ortaya konulması, üretimle ilgili problemler ve öncelikler analiz aşamasında belirlenmektedir. Sentez aşamasında analiz aşamasında elde edilen veriler ışığında tasarım fikirleri oluşmakta olup bu fikirlerin problem çözümü için uygunluğu ve ekonomik yapılabilirliği kontrol edilmektedir. Geliştirme aşamasında, seçilen tasarım düşüncesi içerisindeki eksiklikler giderilmekte, boşluklar doldurulmaktadır. Son olarak iletişim sürecinde ise üretime yönelik dökümanlar hazırlanmaktadır (Archer, 1984).

Bir sürecin basamaklarındaki bir değişimin önceki bir basamağa etki etmesi ve neden-sonuç ilişkisi içerisinde bir döngü oluşturması olayına geri besleme ya da geri bildirim denilmektedir (URL-3, 2015) (Şekil 3). Geri besleme döngüsü, sistem girdisi ve çıktısı ile birlikte düşünülmekte ve çıktıyı kontrol etmek ve bilgi kaybını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu döngü, tasarımcının algısı ve kontrolü ile ya da otomatikleştirilerek gerçekleştirilebilmektedir (Archer, 1967). Archer'ın ortaya koymuş olduğu süreçte aşamalar birbirlerinden bağımsız düşünülmemektedir. Geri besleme döngüsü (feedback loops) ya da aşamalar arasındaki ilişki Archer'ın modelini diğer modellerden ayırmaktadır (Rowe, 1998). Archer'ın tasarım sürecini sistemli bir şekilde ele alarak oluşturduğu model içerisinde geri dönüş bilgi toplama aşamasına doğru olmaktadır (Tablo 4).



Şekil 3. Geri besleme döngüsü (URL-3, 2015)

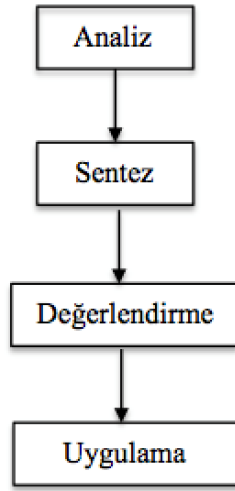
Tablo 4. Archer'ın tasarım süreci evrelerinde gerçekleşen durumlar

	Programlama	Problemin tanımı Önemli durumların belirlenmesi Çalışma planının hazırlanması Zaman, maliyet gibi kısıtlamaların belirlenmesi
Geri Besleme Döngüsü	Veri Toplama	Verilerin bulunması Verilerin düzenlenmesi Yer bilgilerinin toplanması
	Analiz	Problemin belirlenmesi Gereksinimlerin ortaya konulması Öncelikler Toplanan bilgilerin ilişkilendirilmesi (ilişkiselik) Tasarım kriterlerinin belirlenmesi Değişkenlerin belirlenmesi
	Sentez	Verilerin tasarım fikrine dönüşmesi Uygun çözümün belirlenmesi Çözümün uygunluğunun araştırılması Bilginin dönüşümü/değerlendirilmesi
	Geliştirme	Seçilen tasarım düşüncesini geliştirme Veri toplama evresine geri dönüş olasılığı Test aşaması Son kararların alınması Değerlendirme
	İletişim	Dökümantasyon Uygulama projelerinin hazırlanması

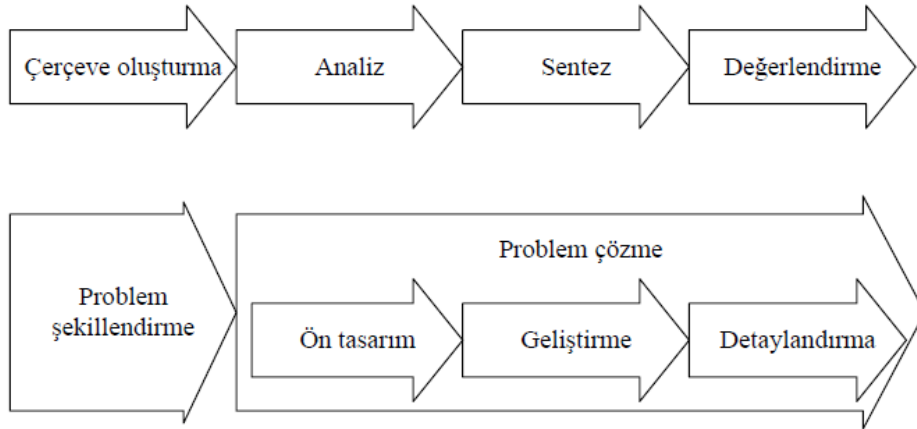
Asimow ise tasarımı zaman içinde ilerleyen döngüsel eylemlerden oluşan yatay ve düşey boyuta sahip bir süreç olarak ifade etmektedir (Rowe, 1998)(Tablo 5):

- Yatay Boyut: bilgi edinme, analiz, sentez, değerlendirme, uygulama aşamalarının kendi içindeki yinelenen döngüsel oluşumu,
- Düşey Boyut: tasarım süreci aşamalarının soyuttan somuta/tasarım probleminde sonuç ürüne ilerleyen ardışık yapısı (Rowe, 1998), olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 5. Asimow'un sistematikleştirdiği tasarım süreci aşamaları (Rowe, 1998)



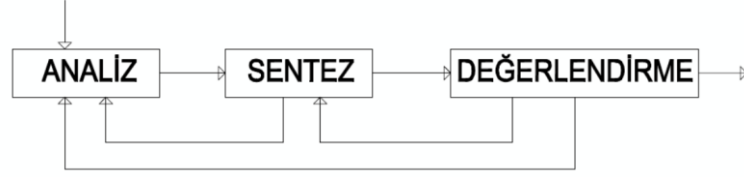
Goel (1995) ve RIBA'nın yaklaşımları (Şekil 4) çeşitli araştırmacılardan tasarım sürecinde evrelerin birbirinden bağımsız ve ardarda ilerleyemeyeceği yönünde eleştiriler almaktadır. Bunun yanında tasarım eylemine “problemi belirleme” ile başlandığı ve “detaylandırma” ile sonlandığı genel anlamda kabul edilmektedir (Lawson, 2004).



Şekil 4. Goel tarafından 1995 yılında önerilen tasarımı “ardışık eylemler dizisi” olarak tanımlayan tasarım süreci modeli (Lawson, 2004)

Lawson (2005), tasarım süreci ile ilgili yapılan bir çok araştırmanın temelde, analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere üç ana aşamadan oluştuğunu ifade etmektedir. Bütün olarak değerlendirildiğinde tasarım sürecinin başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen

bu ana aşamaların birbirlerini izlemesi gerektiğini, ancak uygulamada sıralı bir takibin pek de mümkün olmadığını belirtmektedir. Pratikte tasarım evrelerinin dinamik ve esnek olduğunu, ardışık da olmadığını söylemektedir (Şekil 5). Mimari tasarım sürecini de genel olarak yaratıcı süreçler kapsamında ele alarak benzer işleyişe sahip olduğunu, farklı olarak çok disiplinli tasarım ve yapım süreçlerinin de bu sürece eklenerek gerçekleştiğini vurgulamaktadır (Lawson, 2004).



Şekil 5. Tasarım Süreci (Lawson, 2004)

Sonuç olarak tasarım süreci, içerisinde araştırma, keşfetme, ilişkilendirme, düşünme ve seçim yapma gibi eylemler barındırmakta, veri toplama, analiz, sentez, değerlendirme/geliştirme, iletişim/uygulama aşamalarıyla ilerlemektedir.

### 1.3.2. Tasarım Süreci Aşamaları

Tasarım süreci ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde sürecin genel olarak “analiz, sentez ve değerlendirme” olmak üzere temelde üç ana aşamada ele alındığı görülmektedir (Rowe, 1998; Lawson, 2004; 2005; Bayazıt, 2004; Aksoy, 1987; 1975; Kahvecioğlu, 2001; Türkyılmaz, 2010). Bu tez kapsamında Bruce Archer (1965) tarafından oluşturulan süreç modeli, yapılan çalışmalar bölümünde örneklerin analizinde kullanılmaktadır. Bu nedenle bu başlık altında Archer’ın modelinde yer alan aşamalar açıklanmaktadır.

- Programlama: Nesnel gözlemin yapıldığı bu aşamada, problemin tanımı ortaya konulmakta ve bununla ilgili olarak önemli durumlar belirlenmektedir. Daha sonra çalışma planı hazırlanmakta ve zaman, maliyet gibi kısıtlamalar belirlenmektedir (Archer, 1965).

- Veri Toplama: Tasarım probleminin çözümüne yardımcı olabilecek uygun bilgilerin elde edilmesini kapsamaktadır. Bu aşamada, her türlü bilgi kaynağına ulaşmaya çalışılmakta ve bu bilgi kaynaklarının incelenmesi yapılmaktadır (Türkyılmaz, 2010).

Tokman (2012) veri toplama aşamasını, eğitimden, incelenen örneklerden elde edilen literatür taraması ile öğrenilen bilgiler, kullanıcının tanımlanması; mimari programın genel veya özele yönelik olması, yer ile ilgili bilgilerin toplandığı aşama olarak açıklamaktadır.

Archer veri toplama aşamasından önce problem hakkında egzersiz yaparak işe başlamakta ve bu durumda kendisini problemin çözümüne hazırlamaktadır. Programlama aşamasında problemin çözümü için program hazırlamakta ve bunun sonrasında problem hakkında mevcut olan bilgileri toplamaktadır (Kandemir, 2004).

- Analiz aşaması: Toplanan bilgilerin ilişkilendirilmesi ve bu ilişkilerin içinden seçim yapılmasını kapsamaktadır. Tasarım probleminin gereklilikleri gözönüne alınarak ilk olarak mevcut incelemesi yapılmakta ve ana tasarım hedefleri belirlenmektedir. Bilgi edinme aşamasında elde edilen pekçok bilgi, bu aşamada kullanılmakta ve şekillendirilmektedir. Analiz aşaması, ana tasarım hedeflerinin ifade edilmesi ile son bulmaktadır (Türkyılmaz, 2010).

Analiz aşaması, tasarım problemi ve amaçların belirlendiği fakat tasarım probleminin sınırlarının belirlenmediği aşamadır. Bu aşamada probleme çözüm bulmak için gereken tüm bilgiler toplanır ve her şey göz önüne alınır (Bayazıt, 2000). Asimow'un tanımladığı tasarım sürecinin yatay strüktürünün ilk aşaması analizdir. Bu evrede problem tanımı yapılarak analiz gerçekleştirilmektedir.

Mimari tasarım sürecinin başlangıcı olan "analiz aşaması" tasarımcının elindeki işi tanımaya, ayrıntılarını çözmeye çalıştığı bir evre olup tasarımla ilgili fizibilitenin yapıldığı aşamadır. Analiz aşaması müşteriyle yapılan mülakatlardan, geçmiş emsallerden, harita çalışmalarından, ekonomik ve fiziksel tahminlerden oluşan diğer kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında gerçekleştirilen analitik ve rasyonel bir süreçtir. Elde edilen verileri iyi organize edip tasarımın ilerleyen aşamalarında, doğru yerde doğru şekilde kullanmak önemlidir (Kalay, 2004).

Tokman (2012) analiz aşamasını, kullanıcının ihtiyaç duyduğu temel gerekler ile istediği bina programının analizi, anket ve/veya gözlem, mimari program hedefinin tam olarak ortaya çıkarılması, kültür ve sosyal çevrenin analizi olarak açıklamaktadır.

Yapılan araştırmaların özet bir ifadesi ile analiz aşaması, tasarım probleminin belirlendiği, tanımlandığı aşamadır. Aynı zamanda, kısıtlamalar, gereksinimler, tasarım kriterleri, kurallar, bileşenler gibi verilerin sentez aşaması içerisinde çözüm alternatiflerinin keşfedilmesinde kullanılmak üzere toplanmasını ve düzenlenmesini kapsamaktadır. Aynı zamanda elde edilen veriler, tasarım alternatiflerini üretmek için sınıflandırılmaktadır.



- Sentez aşaması: Analiz aşamasının bir sonraki adımı olup, tasarım problemine çözüm üretilmeye çalışılmaktadır. Ana tasarım hedefleri doğrultusunda, beyin fırtınası, modelleme, düşünce eskizleri gibi araçlar yardımıyla, tasarıma veri sağlayacak değişkenler tüm ölçeklerde çalışılmakta ve tasarım fikirleri geliştirilmektedir. Bu aşama, tasarım değerlendirme ölçütlerine göre irdelenecek şemaların/çözümlerin üretilmesi ile son bulmaktadır (Türkyılmaz, 2010).

İkinci etap olan “sentez” aşaması, yaratıcılık gerektiren bir evredir (Kalay, 2004). Tokman (2012) sentez aşamasını, “birkaç alternatif ile kullanıcıya dönülerek mümkünse bir arada değerlendirilmesi” olarak açıklamaktadır.

Toplanan bilgilerin yeterince analizi yapıldıktan sonra, bilgileri dönüştürme ve sentezleme aşamasıdır. Fakat bu aşama içerisinde sentezin ne zaman olacağı bilinmemektedir. Bu aşamada yaratıcılık ve yeni çözüm alternatifleri, analiz aşamasında elde edilen bilgilerin sentezlenmesiyle bir takım eskizlerle ortaya çıkmaktadır (Bayazıt, 2000).

Archer, sentez aşamasını yaratıcı evre içerisinde tanımlamıştır. Analiz evresinde elde edilen bilgiler değerlendirilmekte ve tündengelimli dışavurum ile yargı elde edilmektedir (Archer, 2004).

Sentez aşamasında analiz aşamasında tanımlanan probleme en uygun çözüm önerileri oluşturulmaktadır. Tasarımcının deneyimleri bu aşamada problemin çözümünü bulmada etkili olmaktadır.

- Değerlendirme/Geliştirme aşaması: Sentez aşamasında ortaya konan şemaların/çözümlerin eleştirilerek değerlendirilmesini kapsamaktadır. Bu aşamada, analiz aşamasında belirlenen ana tasarım hedeflerine ve tasarım değerlendirme ölçütlerine cevap veren uygun çözüm/tatminkâr çözüm (satisfied solution) seçilmektedir (Türkyılmaz, 2010).

Değerlendirme aşamasında önceki aşamalarda elde edilen veriler değerlendirilmekte, hazırlanan bu verilerin hedeflenen sonuçlara ulaşmada başarılı olup olamayacağı yönünde kararlar verilmektedir. Alınan kararlar doğrultusunda geri dönüşler olmakta ve bazı değişiklikler yapılmaktadır. Estetik algı, insan davranışları, binanın genel olarak verdiği his gibi sübjektif kriterlerin rolü olsa da, değerlendirme aşaması rasyonel bir aşama olup bir nevi test aşaması olarak adlandırılmaktadır (Kalay, 2004).

Bayazıt (2000) değerlendirme aşamasını, problemin çözümünün belirlendiği üretim öncesi aşama olarak tarif etmektedir. Aynı zamanda, problem için uygun çözüm bulunmaması halinde diğer aşamalara yeniden dönülebildiğini ve son kararların da bu aşamada verildiğini söylemektedir (Bayazıt,2000).

Archer'ın tasarım süreci modelinde, geliştirme aşamasında sonra karar verilen sonuç ürünün, uygulama öncesi aşama olan iletişim evresinde dökümantasyonu gerçekleştirilmektedir.

- İletişim/Uygulama Aşaması: Tatminkâr çözümün uygulama projelerinin hazırlanmasını kapsamaktadır. Bu aşamada, soyuttan somuta varılmakta, tasarım problemi sonuç ürün olarak karşımıza çıkmaktadır (Türkyılmaz, 2010). Tasarımı tamamlanmış tasarım ürününe ait dökümantasyonun yapıldığı aşamadır. Uygulama için tasarımın rasyonelleştirilmesi ve uygun tasarım sunumlarının hazırlanmasını içermektedir. Tasarım ürününü ilgili kişilere en iyi şekilde açıklayacak çizimler ve sunumlar gerçekleştirilmektedir.

Tasarım süreci içerisinde, bilgilerin toplanması, problemlerin bileşenlerinin bütünden çözümlenerek tek tek ele alınması, sonra bileşenlerin yeni ve farklı biçimlerde yan yana getirilerek yeni bütünler elde edilmesi ve buna çeşitli çözüm önerileri arasından seçim yapılarak varılması işlemleri ile açıklanan bilgi toplama, çözümlenme (analiz), birleşim (sentez) aşamalarından sonra değerlendirme ölçütleri ile karşılaştırmalar bir tasarım kararına götürmekte ancak bu kararın da uygulanabilirlik aşamasına varabilmesi için bir optimal çözüm bulma veya geliştirme çalışması ile tamamlanması gerekmektedir (Aksoy, 1975).

Tasarımla ilgili çalışmalar incelendiğinde tasarımı etkileyen faktörlerin karmaşıklığından dolayı tasarlama için tek bir yol ve tasarım süreci içinde tam bir uygun model bulunamayacağı kabul edilmektedir (Aksoy, 1975). Bunun yanında, tasarım süreci içerisindeki aşamaları kesin çizgilerle birbirlerinden ayrı bütünler olarak görmek yanlış olabilmektedir (Ertürk, 1979). Aşamalar arasında geri beslemeli döngüler gerçekleşmekte her bir aşama, bir sonraki aşamayı beslemektedir.

#### **1.4. Tasarım Sürecinde Bilgisayarın Rolü**

“Makina tasarlayabilir mi?” diye sormak “Makina düşünebilir mi?” ile benzerdir.

Nigel Cross (2001)

Bu başlık altında hesaplamalı tasarıma geçmeden önce CAD'in (Computer Aided Design) geçmişi ve bilgisayarın tasarım sürecine katıldığı ilk yıllarda bilgisayara atfedilen roller incelenmiştir.

Bilgisayarın tasarım üretmeye ve geliştirmeye dahil edilmeyen çizim ve görselleştirmeye dönük bir sunum aracı olarak kullanımını yansıtan iki boyutlu çizim çağı, 1980'li yılların ilk dönemlerinde başlamış olup, yapıların iki boyutlu çiziminin sunumu

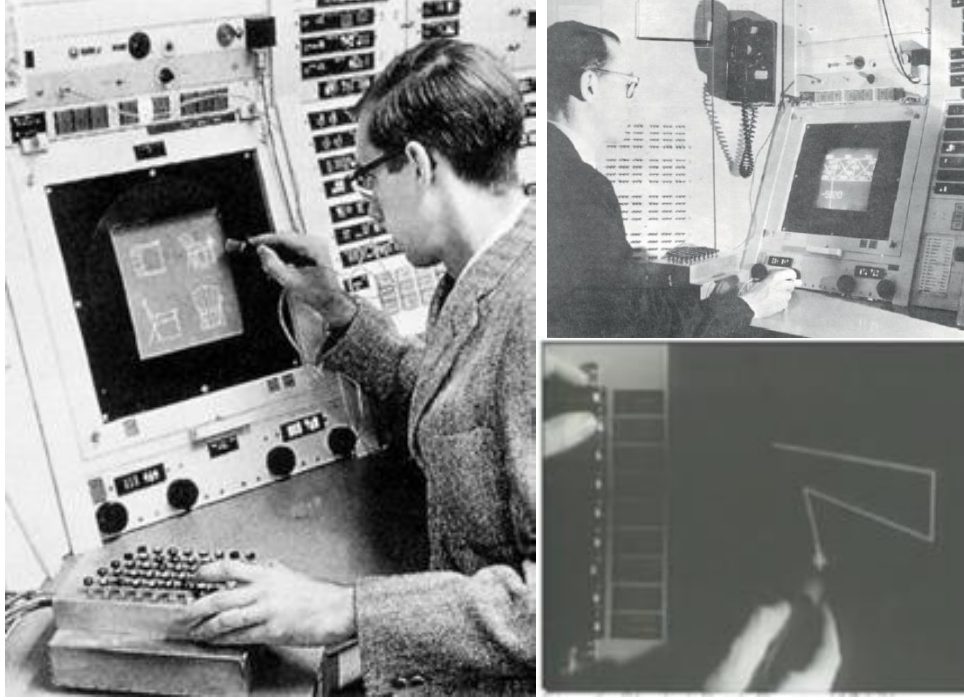
şeklinde devam etmiştir. İki boyutlu çizim teknolojileri, mevcut yetenekleri, profesyonel yöntemleri ve eğilimleri kullanarak mevcut tasarım pratiklerini iyileştirmiştir (Aish, 2013).

1980'li yılların ortalarına doğru tasarım sürecine, türetilmiş veri olarak kabul edilen, model için çizimleri otomatik olarak hazırlayan ve tekil üç boyutlu bina modeli oluşturma fikrine dayanana BIM (Building Information Modeling) dahil olmuştur (Aish, 2013). Yapı Bilgi Modeli olarak bilinen bu model, yapının planlanması, tasarımı, inşası ve işletimi için kullanılabilir. Yapı bilgi modellemesi ile görselleştirme, fabrikasyon işlemleri, kod değerlendirmeleri (yangın vb.), maliyet değerlendirme, inşaat işlerinin sıralanması (malzeme siparişi, imalat ve dağıtım gibi) gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir (Azhar, 2011).

Bilgisayarın tasarım sürecine donanımın yanı sıra yazılımlarla dahil olması yeni tasarım ve üretim süreçlerinin eklenmesini de beraberinde getirmiştir. Simülasyon, optimizasyon araçları ve dijital fabrikasyonun mimarlık pratiğine dahil olmasıyla gelişen hesaplamalı tasarım Aish'e (2013) göre, şimdiye kadar yaratılmış olan mimarlıktan tamamen farklı bir konumdadır. Yaşanan bu farklılığı, tasarım süreci ve tasarımcının yapıyı oluşturma şekli olarak açıklamaktadır. Bu bağlamda tasarımcı artık yapıyı doğrudan modellemek yerine, modeli üretecek olan grafik ya da kod geliştirmektedir. Ayrıca, hesaplamalı tasarımının amaçlarının, BIM'in sınırlamalarını aşmak için ilk olarak manuel bina modellemelerini ortadan kaldırmak ve yerine doğrudan programı, üretici tasarım aracı olarak kullanmak, ikincisinin de tasarımcıya kendi bileşenlerini oluşturması ve bileşenler arasındaki ilişkiyi tanımlaması için imkan tanımak olduğunu belirtmektedir (Aish, 2013).

Tasarımcılara yeni olanaklar tanıyan bilgisayarın tasarım yöntemleri içerisinde çizim, sunum, görselleştirme ve tasarım geliştirmek amaçlı, süreç içerisinde kullanılmasıyla üzerine çeşitli roller yüklenmeye başlanmıştır. Bu bağlamda bilgisayarın tasarıma yardımcı araç olarak kullanılmaya başlandığı yıllardan günümüze kadar tasarım süreci içerisinde bilgisayara yüklenen rollere değinilmiştir.

Ivan Sutherland'ın 1963 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde yazdığı doktora tezi sonucunda, ilk Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemi olan SKETCHPAD ortaya çıkmıştır (Vardoluli, 2012)(Şekil 6). Programını kullanmak için tasarımcı, ışık kalemi ile monitör üstünden çizimi gerçekleştirmiş ve bu şekilde bilgisayar ile iletişime geçmiştir (Holst, 2012).



Şekil 6. Ivan Sutherland'a ait ilk Bilgisayar Destekli Tasarım Sistemi SKETCHPAD<sup>3</sup>  
(Vardoluli, 2012; Aish, 2013; Holst, 2012)

Sketchpad'in tasarım ortamına katılması beraberinde tasarım aktörü olarak makine ile tasarımcı-müellif arasındaki ilişkiye yönelik olarak, geleneksel ve deneysel tasarım süreçlerinde bilgisayara “memur, “ortak”, “sihirbaz” ya da “muhasibeci” gibi insansı roller yüklenmesini getirmiştir (Vardouli, 2012). Vardouli (2012)'ye göre bilgisayarın insana benzetilmesi, tasarım süreçlerinde bilgisayarın oynadığı rolü anlama ve o dönemde tasarımcılar ile bilgisayar arasında oluşmaya başlayan soyut ilişkiyi betimleme amacı gütmektedir. Bilgisayara yüklenen insansı roller kısaca şöyledir (Vardouli, 2012):

- Memur (The Clerk): Bilgisayarın tasarımcıyı niteliksel, can sıkıcı işlerden kurtaracağı bununla birlikte tasarımcının enerjisini tasarım sürecinin yaratıcı olan bölümlerine yoğunlaştırabileceği, CAD'in ilk yıllarında yaygın olan söylemdir (Şekil 7).

<sup>3</sup> Kullanıcı 7'ye 7 inç aralıklı bir cihazda 1024'e 1024 bir ızgara üzerinde bir ışık kalemi kullanarak “çizim” yapmakta ve diğer eliyle de komut düğmelerine basmaktadır (Vardouli, 2012).yapmakta ve diğer eliyle de komut düğmelerine basmaktadır (Vardouli, 2012).



Şekil 7. Mimarlık bürosundaki bilgisayar, Applicon 800 Sistemi (Vardouli, 2012)

Bilgisayarın tasarımcıya desteği, Christopher Alexander tarafından “memurlar ordusu” olarak tanımlanmıştır. Mimarlık ve Bilgisayar konferansında, tasarım sorunlarının makineye verilmesi ve makine tarafından formalize edilmesi ile bilgisayarın tasarımda faydalı olacağını dile getirmiştir. Fakat daha sonra tasarımcıların hayal gücü olmayan memurlardan daha fazlasına ihtiyaç duydukları yönündeki eleştiriler artış göstermeye başlamıştır.

ABD’de yürütülen araştırma ve uygulamalarda ortaya çıkan durumu, Nicholas Negroponte, CAD’in ilk on yılına geriye dönük bir bakış sunmak amacıyla derlenen 1975 basımı *Tasarım ve Mimarlıkta Bilgisayar Desteği (Computer Aids to Design and Architecture)* adlı kitabında yansıtmaktadır. CAD hakkında tasarımcıların düşüncesi iyimserlikten çıkmış, makinanın kısıtlamaları ve çalışma biçiminin tasarımcıya dayatılması gibi olumsuz düşüncelere dönüşmüştür.

- Ortak (The Partner): MIT Mimari Makina Grubu (ArcMac), bilgisayarın bir memur olarak tanımlanmasına karşı çıkmıştır. Teknik şartnamelerin yazımı, çizim öncesi hazırlıklar, hesaplama gibi işler yerine, tasarım konusunda da mimarlara yardımcı olabilecek bir sistem geliştirme konusunda çalışmalara yoğunlaşmıştır.

IBM Cambridge Bilim Merkezi ve MIT’in birlikte finanse ettiği bilgisayar destekli mimarlık araştırma projesi olan KENTSEL 5 (URBAN 5), 1966 yılında ArcMac tarafından oluşturulmuştur (Şekil 8).

ArcMac’in ilk kitabı *Mimarlık Makinesi: Daha İnsancıl bir Çevreye Doğru (The Architecture Machine: Toward a More Human Environment)* ve MIT’in Yapay Zeka Bölümü

tarafından yürütülen bilgisayar vizyon deneyleri ile ele alınan Bilgisayar Desteği konusunda yeni olasılıkların önünü açmaya başlamıştır. Ayrıca, Vardouli (2012), Mimarlık Makinesinin (The Architecture Machine) merkezi bir ana makineye ve birbirine bağlı olduğunu belirtmekte, daha önce bilgisayara yüklenen memur (yani sorun çözme cihazı) rolünü aşarak sorunla ilgili kendisi de kaygı duyan bir ortak düzeyine çıkarıldığını ve bu durumun kişisel “evcilleştirilmiş” makineler vizyonu sunduğunu söylemektedir.



Şekil 8. URBAN 5'in örtüsü ve URBAN 5'te kullanılan IBM 2250 model 1 katot ışın tüpü (Vardouli, 2012)

Vardouli, Negroponte'nin, bilgisayar ile tasarımcı arasında ortaklık kurmayı öneren bir model ortaya koyduğunu, bunun yanında CR Licklider'in da 1960 yılında yazdığı bir metin içerisinde yer verdiği insan-bilgisayar ortak yaşamı fikri, bilgisayarı katı ve mantıksal bir makine olarak değil, yaratıcılığı yükseltme aracı, bir tasarım ortağı olarak görmekte olduğunu söylemektedir.

- Sihirbaz (The Wizard): ArcMac, Yapay Zekâ'nın taşıdığı potansiyelin yarattığı coşkulu iyimserlikten esinlenerek, zeki, kendi ayarlarını yapabilen, kullanıcının duygularına karşılık verebilen bir ortam olarak Mimarlık Makinesi vizyonu üzerinde çalışmaya başlamıştır.

Kullanıcıya ait tasarım niyetlerinin dile getirilmeden anlaşılması, hemen ve hatasız bir şekilde mekânsallaştırılması sihirbazlık olarak görülmüştür. 1975'de yazdığı Yumuşak Mimarlık Makineleri (Soft Architecture Machines) kitabında Negroponte, bu tür bir sihirbazlığın çok uzak olduğunu itiraf etmiştir.

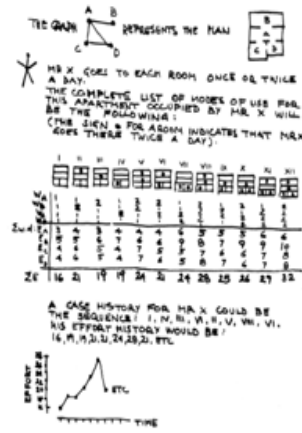
▪ Vekil (The Surrogate): “Sihirbaz makine” vizyonunu bir kenara bırakan Negroponte, profesyonel tasarımcı ile değil profesyonel olmayan kullanıcıyla ortaklık kuracak bir yaratıcı yükseltici fikrine geri dönmüştür. Tasarım konusunda çok az, fakat kendi yaşam tercihleri hakkında çok şey bilen, uzman olmayan kullanıcıların kendi niyetlerini mekânsallaştırma ve kendi tasarımlarını üretme imkânının makine yardımıyla olması amaçlanmıştır.



Şekil 9. MIT Mimarlık Makinesi Grubu'nun (Architecture Machine Group) hazırladığı Katılımcı Mimarlıkta Bilgisayar Destekleri (Vardouli, 2012)

Negroponte, Yumuşak Mimarlık Makineleri ile kullanıcı ile bilgisayar arasında görsel ve sözel etkileşim kurmaya çalışmıştır. Karşılıklı bir anlayış oluşturmadaki sebep hem “müşfik bir eğitmen” hem de “istekli bir öğrenci” rollerini yüklemektir. Bilgisayar kullanıcının vekili, uzman ikinci kişiliği ve yerli mimarı gibi, çizim ve açıklamalarından sonuçlar çıkararak, ideal olarak kullanıcının bir modelini oluşturarak çalışacaktır.

▪ Muhasebeci (The Accountant): Makinenin, tasarım sürecinde karar verici (decision making) bir aktör olarak görülmesine, Nicholas Negroponte'nin tasarımda katılım konusuna eğilmesinde etkili olan Yona Friedman, karşı çıkmıştır. O, makineyi muhasebeci olarak görmektedir. Muhasebecinin rolünü, kişisel ve kolektif geçmişleri nesnellikle kaydeden ve bunları kullanıcılara ve topluluklara “ajan” veya “zekâ” kullanmadan iade etmek olarak açıklamıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Yona Friedman'ın FLATWRITER makinesinde kullanıcı alışkanlıklarının izlenmesi (Vardouli, 2012)

Bilgisayara başka araştırmacılar tarafından zaman içerisindeki gelişimine bağlı olarak başka rol tanımlamaları da yapılmıştır. Bu tanımlamayı yapan araştırmacılardan biri, 1997 yılında “Design Medium-Design Object” adlı makalesinde bilgisayarın evrimini araç-ortam-ortak olarak yorumlayan Gerhard Schmitt'tir. Schmitt'in bilgisayara yüklediği kavramlara kısaca değinmek gerekirse:

- Araç (tool): Fiziksel çalışmaların dijital ortama aktarılması için kullanılan bir araç olarak tanımlanmıştır. Bilgisayarın araç olarak kullanımının, sıkıcı, zor ya da pahalı aktiviteleri gerçekleştirmek için olduğu görülmektedir. Hesaplama yaparak tablolar oluşturma, elektronik kalem olarak CAD programlarının kullanımı, masaüstü işlerini kapsayan otomasyon programları, müşteriye etkileyen render programları, uygulama çizimleri, görselleştirme ve analiz gibi geleneksel tasarım yöntemlerini destekleyen, ofiste bir yardımcı rolünde yorumlanmıştır. Bu özellikler ile bilgisayarın pahalı insan gücünün yerine kullanıldığı ve insan yeteneklerinin kişiselleştirilerek bilgisayara aktarıldığı görülmektedir (Schmitt, 1997).

- Ortam (medium): Araç ve yöntemden daha fazlası olarak tanımlanmıştır. Bilgisayarın ortam olarak kullanılmasının açık uygulaması simülasyondur. Bilgisayarın tasarım ortamı olarak kullanılmaya başlamasını kapsamaktadır. Mimari tasarım eyleminin erken tasarım aşamasından, uygulama süreçlerine ve hatta uygulama süreçlerinin de içinde planlandığı bir alanı tanımlamıştır (Schmitt, 1997). Erken tasarım evresinde kullanıldığı için araçtan ortama dönüşmüştür, denilebilir.



- Ortak (partner): Bilgisayar bağımsız bir şekilde belli görevleri yerine getirmektedir. Bu durum bilgisayarı insanlaştırmaz, insanı da bilgisayarlaştırmaz. Burada, makine ve insan anlamlı bir etkileşime girmekte ve tasarım objeleri fiziksel strüktürlerden daha çok tasarım için kullanılacak fazla bilgi içermektedir (Schmitt, 1997).

Bilgisayara araç, ortam dışında Asanowicz (1999) ve Chiu ve Chiu (2003) tarafından “asistan” rolü de yüklenmiştir.

- Asistan (assistant): Asanowicz (1999) bilgisayarın rolünü, tasarımın yaratıcı doğasından ötürü bilgisayara girilen veriler doğrultusunda yaratıcı çözümler ürettiği için asistan olarak tanımlamıştır. Bilgisayar tasarım nesnesi ile ilgili ortaya iyi iş çıkarmakta ve tasarımcının düşüncelerini genişletmesine yardımcı olmaktadır. Bilgisayarın asistan rolünü, Chiu ve Chiu (2003) da, dijital araçların günümüzde sadece çizim için ortam olarak sunum ve görselleştirme amaçlı araç olarak kullanılmadığını aynı zamanda tasarım düşüncesini geliştirmek için kullanılan güçlü bir asistan olduğunu belirtmektedir.

Frazer (1995) “An Evolutionary Architecture” adlı kitabında bilgisayarı “elektronik ilham perisi (The Electronic Muse)” olarak yorumlamıştır. Lawson (2004) ise, “kahin olarak bilgisayar (the computer as oracle)” ve “teknik ressam olarak bilgisayar (the computer as a draftsman)” gibi insansı roller yüklemiştir.

- Kahin olarak bilgisayar: Bu rol içerisinde bilgisayar tasarım önerisi üretmektedir. Bu varsayımda bilgisayar, tasarımcılardan daha az enerji harcayarak optimum çözümü elde etmektedir. Bilgisayar yazılımı, tasarıma ait kapalı ya da açık kısıtlamalar dahilinde yeni varyasyonlar üretir. Enerji kaybı, maliyet, aydınlatma gibi performans kriterlerine göre yapının optimizasyonunu sağlamaktadır.

- Teknik ressam olarak bilgisayar: Bilgisayar tasarlama aşamasında kullanılmamakta, sunum ve çizim aşamasında kullanılmaktadır. Manuel çizim tekniklerini kapsamaktadır.

Bilgisayarın süreç içerisinde hangi konumda yer aldığını, ne amaçla kullanıldığını anlayabilmek için süreç içerisine dahil olduğu andan itibaren yapılan betimlemelere değinmek faydalı olmaktadır. Bu şekilde geçmiş ve bugün arasında bazı çıkarımlar yapılabilir. Geçmişte yapılan çalışmalarda insansı roller dışında, “araç” ve “ortam” olarak kullanıldığı genel olarak kabul edilmiştir. Yüklenen insansı roller ile ilgili olarak, bazı araştırmacılar tarafından ortak benzetmeler yapıldığı görülmüştür. Süreç içerisinde kullanımı artarak devam eden bilgisayara yeni roller yüklenmeye devam edecektir.

### 1.5. Hesaplamalı Tasarım

Tasarımın ilk aşamasından sonuç ürüne kadar tüm süreç boyunca bilgisayar teknolojilerinin kullanılması, kompleks problemlerin analitik bir şekilde çözülmesini mümkün kılmaktadır. Bu başlık altında, hesaplamalı tasarım kelimesinin literatürde nasıl geçtiği, hangi kökten geldiği ve dilimizde nasıl karşılık bulduğu üzerinde durulacaktır.

Çolakoğlu (2011), ‘computational’ teriminin Türkiye’de terminolojisinin henüz tam olarak oturmamış olduğunu ve bu terimin farklı kaynaklarda “hesaplamalı” ya da “işlemsel” olarak kullanıldığını söylemiştir. “Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık” adlı yazısında Çolakoğlu (2011), terimi Türkçeye “işlemsel” olarak çevirmiştir. Literatürde terimi, dijital olarak çeviren araştırmacılar da bulunmaktadır. Turan (2009), “Dijital Tasarım Sürecinin Geleneksel Tasarım Stüdyosuna Etkileri” başlıklı doktora tezinde, mimarlıkta tasarım geliştirme amacıyla kullanılan, bilgisayar tabanlı teknolojileri kapsayan yöntemi “dijital tasarım” olarak tanımlamıştır. Aynı şekilde Marx (2000) da, tasarım kararlarının, eskiz üzerinde alınmayıp, bilgisayar ortamında ekran üzerinde alındığı, erken tasarım aşamasının üç boyutlu ortamda geçtiği tasarım yöntemini dijital tasarım (Digital Design) olarak adlandırmıştır. Akipek (2004) de tasarım teknolojileri kavramını kullandığı doktora tezinde, tasarım teknolojileri kavramının yerine dijital tasarım, dijital mimarlık, bilgisayar ortamında tasarım, bilgisayar ortamında mimarlık gibi terimlerin kullanıldığını söylemiştir. Buna ek olarak Akipek (2004) dijital kelimesinin Türkçe karşılığını “sayısal” olarak belirtmiştir.

Oxman (2006), “Theory And Design In The First Digital Age” başlıklı makalesinde, yeni tasarım modellerinden söz etmekte ve yeni yöntemleri “dijital tasarım” (digital design) olarak adlandırmaktadır. Oxman (2012) aynı zamanda “Novel Concepts in Digital Design” adlı makalesinde bu yeni tasarım modellerini hesaplamalı modeller (computational models) başlığı altında sıralamakta ve dijital tasarım terimini de kullanmaktadır. Oxman’a (2012) göre dijital tasarım, tasarım ve tasarlama durumundaki kavramsal algımızı değiştiren yeni ortam ve metodolojileri yansıtan bir terimdir.

TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi’ne ait derginin Dosya 29 adlı sayısında Gün (2012), tasarım eyleminin kompütasyon eylemi üzerinde tutulması gerektiğinden söz etmektedir. Dosya 29 içerisindeki tüm yazılarda “computation” kelimesi “kompütasyon”, “computational” kelimesi de “kompütasyonel” olarak çevrilmiştir (Gün, 2012).

Literatürde farklı tercüme edilen “Computation” kelimesinin etimolojik kökenine bakıldığında, Latince “Computare” kelimesinden geldiği görülmektedir. Kökündeki ‘com’ beraber, ile (with) anlamına gelirken, ‘putare’ ise yerli yerine oturtmak (to settle), açıklığa kavuşturmak (clear up), hesaba katmak/hesaplaşmak (reckon) anlamındadır (URL-4, 2015). “Computare” sözcüğü kısaca hepsini beraber açıklığa kavuşturmak, yerli yerine oturtmak ve hesaba katmak anlamlarını taşımaktadır (Çinici, 2012). İlişkisel olarak tanımlanan değişkenlerin ve veri girdilerinin, koşulların, gereksinimlerin bir arada yer aldığı bütünleşik bir hesap sistemini ifade etmektedir.

“Computation” kelimesinin tarihsel süreç içerisindeki kullanımına bakıldığında, terimin ilk kez 15.yy’da kullanıldığı görülmektedir (URL- 5). Antik Roma döneminden itibaren süregelen hem hesaplama ve aritmetik sayma hem de sayılarla olmayan bir hesaba katma, açıklığa kavuşturma anlamlarını aynı anda içinde barındırmaktadır (Çinici, 2012). Ayrıca, hesaplamanın/bilgisayarın eylemi ve süreci (the act or process of computing), hesaplama için bir yöntem (a method of computing), hesaplama sonucu (the result of computing) ve bir bilgisayar işletim eylemi (the act of operating a computer) anlamlarına gelmektedir (URL-6). Tasarım alanında ise, dijital teknolojilerin, tasarım aracı olarak tasarım süreci ile birleştirilmesi, tasarımı etkileyen kısıtlamalar ve gereksinimler gibi bir çok etkenin aynı anda hesaba katılmasını ifade etmektedir.

Çinici (2012), “computation” kelimesinin özellikle tasarım ilişkisinde kendi coğrafyamızda oluşan mimarlık ve tasarıma dair düşünme alışkanlıklarımızda tam karşılığını bulmakta güçlük çektiğimiz bir konu olduğunu dile getirmiştir. Bu yüzden literatürde, dijital, sayısal, kompütasyonel, işlemsel ve hesaplamalı olarak geçen “computational” kelimesi bu tez kapsamında “hesaplamalı” olarak kullanılmıştır.

Menges ve Ahlquist (2011) hesaplamalı tasarımı (“computational design”, bilgi- işlemsel, dijital, sayısal, kompütasyonel), tanımlı bir çevreyi oluşturan elemanlar arasındaki etkileşim ve bilginin işlenmesi olarak tanımlamaktadır. Hesaplamalı tasarım olarak adlandırılan yöntemin tasarım süreci içerisinde, tasarımcının problem çözmek için kod yazması ile (script), algoritma tasarımının bir parçası olmaya başlamakta ve daha sonra çözüm yaratıcı bir yolla araştırılmaktadır. Algoritma hem problemin tanımı hem de çözümüdür. Tasarım kararlarının temsilci olan algoritmalara yüklenmesi, önceden tanımlanmış yollara göre izlenmesi anlamını taşımaktadır. Çoğunlukla mevcut olan araçların kullanılması, mevcut çözümleri doğurmaktadır. Yeni araçların yaratıcılığı aracılığıyla yeni düşünme yolları ve yeni çözümler bulunabilmektedir. Algoritmik düşünce, üretken kodun sonuçlarını

anlamak ve kodu yeni seçenekler araştırmak ve başka tasarım olasılıkları üzerinde düşünmek için yorumsal bir rol üstlenmektedir (Peters ve Peters, 2013). Tasarımcılar enformasyon teknolojilerini kullanarak bilgiyi sayısallaştırmaktadır. Dijital ortama aktarılan tüm veriler ve bilgiler ilişkiyel kurgu içerisinde değerlendirilmekte ve ürüne dönüşmektedir. Bu tez kapsamında hesaplamalı tasarım olarak adlandırılan başlık altında hesaplamalı tasarım modelleri ve yöntemleri ele alınmıştır.

### **1.5.1. Hesaplamalı Tasarım Yöntemleri**

1960'lı yıllarda tasarlanan Sketchpad programı ile mimari tasarıma dahil olan bilgisayar, 1980'li yıllardan itibaren erken tasarım aşamasında çizim amaçlı kullanımın yanında tasarım amaçlı da kullanılmaya başlanmıştır. Bu değişim ve dönüşümler tasarıma yeni yöntemlerin katılmasını sağlamıştır. Oxman (2012) ve Ostwald (2012) dijital teknolojilerin kullanıldığı bu yeni tasarım yöntemlerini "Hesaplamalı Yöntemler" (Computational Methods) olarak adlandırmışlardır.

Hesaplamalı tasarım yöntemleri olarak adlandırılan bu yöntemi açıklamadan önce yöntem (metot) kelimesinin ne anlama geldiğinden kısaca söz etmek gerekir. Yöntem kelimesi, metod sözcüğü ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Yunanca "Meta+Hodes" sözcüklerinden türemiş olup, takip edilmesi gereken yol anlamına gelmektedir. Metotta zihinsel işlemlerle düzenli olarak izlenen ve tanımlanabilen bir yön bulunmaktadır (Bayazıt,1994).

Aksoy (1987) ve Van der Voortdt ve Van Wegen (2005) tasarımda yöntemi, amaca ulaşmak için tutulan düzenli yol olarak tanımlamaktadır. Belli bir amaca ulaşmak için belli düzenlerin sağlanması ve belli süreçlerin izlenmesi, bu süreçlere belli strateji ve tekniklerin uygulanması gerekli olmaktadır. Mimarlık alanına ait bileşenlerin eleştirisi ve mimarlık göstergelerine uyarlanması sonucunda ulaşılacak tasarım ürünü, tasarım yöntemi sonucunda elde edilmektedir (Aksoy, 1987).

Hesaplamalı tasarım yöntemlerinin geleneksel tasarım yöntemlerinden belli farklılıkları bulunmaktadır. Farklılık konusunda Kolarevic (2005), hesaplamalı tasarım yöntemlerini kullanan tasarımcının tasarımda bir bölüm üzerinde çalışmak yerine, formun üretim için üretken sistemi tasarladığını ve süreci kontrol ettiğini söylemiştir. Süreç sırasında tasarımcı istediği noktada süreci durdurabilir ve formu seçebilir. Burada geleneksel yöntemlerden farklı olarak önemli görülen değişimlerden biri "making of form" (form

yapmak)'dan çeşitli dijital dayalı üretken tekniklerin kullanılarak gerçekleştirilen (digitally-based generative techniques) "finding of form" (form bulma)'a geçmek olmuştur (Kolarevic, 2005).

Mevcut yöntemlerden farklılığı dile getirilen hesaplamalı tasarım yöntemleri konusunda literatür içerisinde, Kolarevic'e (2000) ve Oxman'a (2006; 2012) ait sınıflama yer almaktadır. Kolarevic (2000), "hesaplamalı mimarlıklar (computational architectures)" olarak, topolojik mimarlık (topological architectures), izomorfik mimarlık (isomorphic architecture), animasyon mimarlığı (animate architectures), başkalaşım mimarlığı (metamorphic architecture), parametrik mimarlık (parametric architecture), evrimsel mimarlık (evolutionary architecture) ve performans mimarlığı (performative architecture) olarak sınıflamaktadır. Oxman (2012) ise, "Novel Concepts in Digital Design" (Dijital Tasarım İçerisindeki Yeni Kavramlar) adlı makalesinde "Computational Models" (Hesaplamalı Modeller) bölümünde yer alan formasyon-üretken-performans modelleri içerisinde, topolojik tasarım, parametrik tasarım, animasyona dayalı tasarım, biçim gramerleri ile tasarım, evrimsel tasarım, performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemlerini açıklamaktadır. Bu tez kapsamında Oxman'ın (2006; 2012) sınıflamasına yer verilmiştir; çünkü bu yöntemler literatürde sıklıkla geçmekte, uygulanmış ya da deneysel bir çok örneği bulunabilmektedir.

### **1.5.2. Hesaplamalı Tasarım Modelleri**

Tasarım modelleri içerisinde tasarımcı, etkileşim içerisinde bulunduğu kavramlar, tasarımcının üretici mekanizma ile kurduğu iletişim, kullandığı teknikler, araçlar ve stratejiler yer almaktadır. Yöntem ve süreçler de model içerisinde bulunmakta ve tasarımcının kullandığı yönteme göre süreç farklılaşmaktadır. Bu başlık altında Oxman (2005) tarafından oluşturulan tasarım modellerine değinilmiştir. Oxman (2006) "Theory and Design in the First Digital Age" (İlk Dijital Çağda Teori ve Tasarım) adlı makalesinde dijital tasarım modelleri başlığı altında; (2012) "Novel Concepts in Digital Design" (Dijital Tasarım İçerisindeki Yeni Kavramlar) adlı makalesinde ise hesaplamalı modeller (computational models) başlığı altında dijital tasarım ortamında gerçekleşen tasarım modellerini incelemiştir. Bu başlıklar altındaki sınıflandırmalar ile farklı dijital süreçlerin rolünü, sunum, üretim ve performans aşamalarını bilgi akışı ve etkileşim ile açıklamak için, şimdi geçerli olan dijital tasarımın modellerinin tanımlamaları yapılmış ve farkları ortaya

konulmuştur. Bu modeller uygulama aşamasını içermemektedir. Oxman (2006) ilk olarak tasarımcının etkileşim halinde bulunduğu aşağıda yer alan kavramlara değinmiştir:

- Serbest form sunumuyla etkileşim (Dijital olmayan kağıt tabanlı temsil ile etkileşim): Bu tür etkileşim kağıt tabanlı tasarımdır. Bu durumda tasarımcı, eskiz sonucunda oluşan tasarım objesinin sunumuyla, çizim ya da model ile doğrudan etkileşim içerisinde.
- Dijital yapı ile etkileşim: Bu tip etkileşim CAD tabanlı tasarımdır. Bu durumda tasarımcı, dijital ortamda oluşturulan eskiz, çizim veya modelle etkileşim içerisinde.
- Bir mekanizma tarafından üretilen dijital temsil ile etkileşim: Bu tip etkileşim üretici tasarım mekanizmalarıyla yapılan etkileşimdir. Bu durumda tasarımcı, tanımlanmış kurallar ve ilişkiler çerçevesinde üretici mekanizmalar tarafından üretilmiş dijital yapı ile ilişki içerisinde.
- Dijital temsili oluşturan dijital ortam ile etkileşim: Bu tip etkileşim, üretici tasarım mekanizmalarının işlemsel yönü ile gerçekleştirilen etkileşimdir. Bu durumda tasarımcı, dijital temsili üreten hesaplamalı mekanizma (computational mechanism) ile etkileşim içerisinde.

Model içerisinde yer alan semboller ise şu şekildedir (Oxman, 2006):

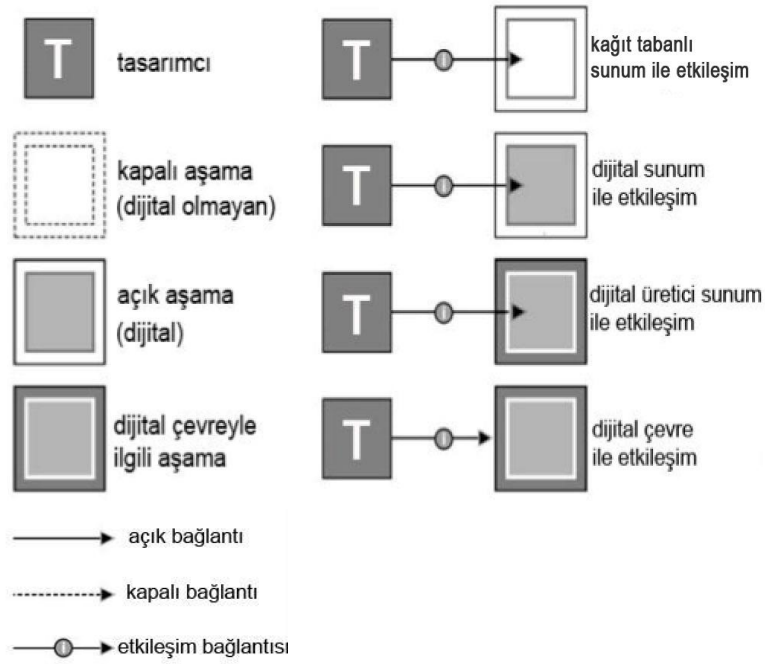
S = sunum ve biçimsel içerik

Ü = üretim

D = değerlendirme

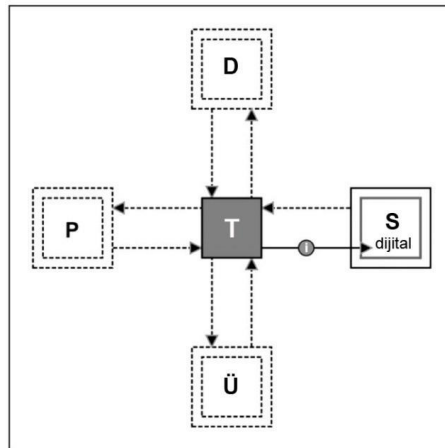
P = performans

Sınırlar ve ok işareti, tasarımcı ile temsil ortamı arasındaki etkileşimi göstermektedir. Bağlantı çizgi ile gösterilmektedir. Çizgiler ve ok işaretleri model bileşenleri arasındaki karşılıklı bağlantıyı açıklamaktadır. Kapalı ve kavramsal bağlantılar nokta ile ve hesaplamalı bağlantılar düz çizgi ile ifade edilmektedir. Tasarımcı, performatif gereklilikler, üretici ve değerlendirici yöntemler ile doğrudan etkileşime girmektedir (Şekil 11) (Oxman, 2006).



Şekil 11. Genel şema, semboller, sınırlar ve bağlantılar (Oxman, 2006)

○ Kağıt Tabanlı Model (Paper-based model): Tasarımcı, performatif gereklilikler, üretici ve değerlendirici yöntemlerle dolaylı olarak etkileşime girerken, biçimsel sunumla doğrudan etkileşime girmektedir (Şekil 12) (Oxman, 2006). Bu modelde tasarımcı, erken tasarım evresini kağıt ortamında gerçekleştirmektedir.



Şekil 12. Kağıt Tabanlı Tasarım (Oxman, 2006)

Değerlendirme, performans ve üretim aşamaları ve onların biçimsel yöntemlerle olan bağlantısı tasarımcının kapalı olan bilişsel davranışlarını açıklamaktadır (Oxman, 2006).

o Dijital Tasarım Modelleri: Modelleme yaklaşımı, tasarımcı, tasarımcının bağlamsal yaklaşımı, tasarım sürecinin ve tasarım objesinin uygulanması, dijital tasarım modellerinin genel olasılıkların haritalanması ve kapsamlı bir yapılanma için iyi bir ortam sunmaktadır. Dijital tasarım modelleri beş başlıkta sınıflandırılmıştır (Oxman, 2006).

1. CAD Modelleri (CAD Models)
2. Formasyon (Biçimlendirme) Modelleri (Formation Models)
3. Üretken Modeller (Generative Models)
4. Performans Modelleri (Performance Models)
5. Birleşik Model (Integrated compound Models) (Oxman, 2006).

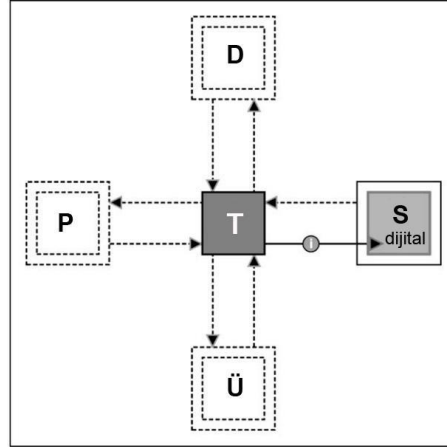
Daha sonra Oxman (2006) bu genel başlıkları sınıflandırmış ve modeller içerisinde yer alan tasarım yöntemlerini; CAD modelleri, dijital formasyon modelleri ve Birleşik model olarak ifade etmiştir.

- o CAD Modelleri (CAD Models)
  - Tanımlayıcı CAD Modeli (CAD Descriptive Model)–Geleneksel CAD Modeli (Traditional CAD Model)
  - Üretici-Değerlendirme Modeli (Generation-Evaluation CAD Model)
  - Tanımlayıcı CAD modeli ve çift yönlü dijital sürece evrimi (CAD descriptive models and their evolution to dual- directional digital processes)
- o Dijital Formasyon (biçimlendirme) Modelleri (Digital Formation Models)
  - Topolojik Biçimlendirme Modelleri (Topological Formation Models)
  - İlişkili Tasarım Biçimlendirme Modelleri (Associative Design Formation Models)
  - Hareket Tabanlı Biçimlendirme Modelleri (Motion-Based Formation Models)
- o Üretken Tasarım Modelleri (Generative Design Models)
  - Gramatik Olarak Dönüştürülebilir Tasarım Modeli (Grammatical Transformative Design Models)
  - Evrimsel Tasarım Modeli (Evolutionary Design Models)
- o Performans Modelleri (Performance Models)
  - Performansa Dayalı formasyon Model (Performance-Based Formation Models)
  - Performansa Dayalı Üretken Model (Performance-Based Generation Models)
- o Birleşik Model (Compound Models)
- o Geleneksel CAD Modelleri (Traditional CAD Models): Kağıt-tabanlı ortamdan dijital ortama geçişin başlangıcı sayılmaktadır. Geleneksel kağıt-tabanlı model ile



karşılaştırıldığında tasarım üzerindeki etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Geleneksel CAD içerisinde, görsel modellerin ve tasarım çizimlerinin dijital aktarımı gerçekleştirilmekte ve çeşitli geometrik modellemeler yapılmaktadır (Oxman, 2012). Erken CAD teknolojileri kağıt tabanlı ortamdaki farklılık göstermektedir. Bu ayrımı daha net ortaya koymak için tanımlayıcı ve üretici-değerlendirici olmak üzere iki tane geleneksel CAD modeli tanımlanmıştır (Oxman, 2006).

- **Tanımlayıcı CAD Modeli (CAD Descriptive Model):** Tasarımın görsel modelleri ve çizimleri dijital ortama aktarıldıktan sonra geleneksel CAD ile iki ve üç boyutlu biçimsel sunumlar oluşturulmaktadır. Fiziksel modeller CAD yardımıyla dijital ortama aktarılmaktadır. Tanımlayıcı CAD modeli süreç odaklı olmayıp sonuç ürün odaklıdır. Çizim, modelleme ve render gibi işlemleri, sonuç ürünün benzetimine yönelik kullanılmaktadır. İki ve üç boyutlu temsillerle etkileşim, tasarıma yönelik olmaktan çok temsilin üretimi ve otomasyona yöneliktir (Şekil 13)(Oxman, 2006).

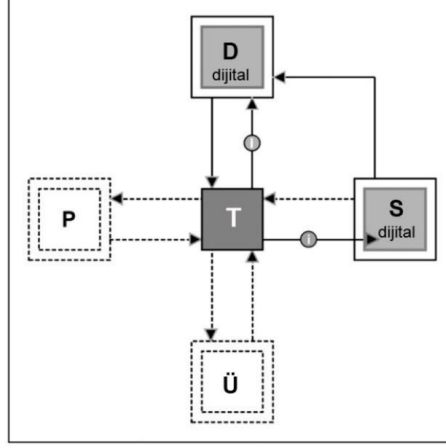


Şekil 13. Geleneksel CAD modeli (Oxman, 2006)

Geleneksel CAD'in en yaygın kullanımı, dijital objelerin grafiksel sunumunun hazırlanması ve istenen değişikliklerin yapılması şeklindedir (Oxman, 2006).

- **Üretici-Değerlendirici Model (Generation-evaluation CAD Model):** Bu modelde, diğer aşamalar kapalı iken, CAD sunumu ve değerlendirme aşaması açıktır. Dijital sunumda değerlendirme yapılmaktadır. Değerlendirme aşamasında, hesaplamalar, strüktürel hareketler ve çevresel performans değerlendirmeleri gerçekleştirilmekte, ayrıca bu aşama mimarlar ve strüktür mühendisleri gibi meslek gruplarının birlikte çalışmasını sağlamaktadır (Şekil 14) (Oxman, 2006). Model içerisinde tasarım ürününe ait, modelleme, çizim gibi

görselleştirme işlemlerinin yanında tasarıma yönelik analitik değerlendirmeler yapılmaktadır.



Şekil 14. Üretici-Değerlendirme Modeli (Oxman, 2006)

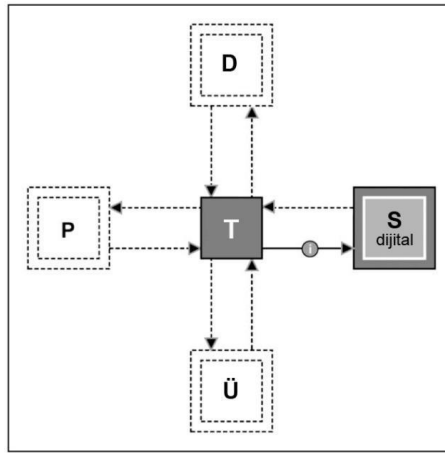
Buraya kadar incelenen modeller içerisinde, tasarımcının dijital ortamı sunum ya da sunum ve değerlendirme amaçlı kullandığını tasarımın erken aşamasının fiziksel ortamda (kağıt ortamı) gerçekleştiği görülmüştür. Aynı zamanda bu modeller içerisinde geleneksel tasarım yöntemleri kullanılmakta ve tasarımcı fiziksel ortamda temsil ile doğrudan etkileşim içerisinde bulunmaktadır. Bu modeller içerisinde tasarımcı, zihninde kurguladığı bileşenleri, ilişkileri temsiller aracılığıyla görselleştirir ve oluşturduğu görsel dil aracılığıyla düşünür. Örneğin tasarımcının, konut tasarımı için farklı boyutlardaki küpleri üstüste kurguladığı düşünülürse, oluşturduğu küplerin boyutları, hangi yönde kaç küp yerleşeceği, kaç farklı boyuta sahip küp tasarlanacağı gibi soruları tasarımcı zihinsel olarak düşünüp makete aktardıktan sonra, maket üzerinden düşünmeye başlar. Zihinsel olarak başlayan süreç temsillerle etkileşimli olarak devam etmektedir.

#### 1.5.2.1. Formasyon Modeli (Digital Formation Models)

Dijital tasarım biçimleri, farklı ifade tekniklerinin kullanıldığı yeni dinamik konseptler oluşmasını sağlamaktadır. Gelişmiş dijital tekniklerin, tasarım temsilinin biçimini değiştirmesi kolay olmamaktadır. Temsil, geleneksel mantıktan kurtularak, ortaya çıkan tasarım teorileri, parametreler, animasyon ve topoloji gibi kavramlarla birleşerek form kavramından formasyon (formation) kavramına dönüşmektedir (Oxman, 2006; Oxman,

2012). Strüktürel ilişkilerin geometrik yönleri tanımlanmakta, ancak biçimsel özellikler önceden tanımlanmamaktadır. Bu yüzden formasyonun (biçimlenme), görsel tasarım düşüncesinin geleneksel anlamı içerisinde biçimsel temsilin önüne geçtiği açıktır. (Oxman, 2006)

Şekillerin ve formların biçimlenmesi (formation) için kullanılan dijital teknikler bu tasarım modelinin temelini oluşturmaktadır. Bu yüzden bu model formasyon modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde tasarımcı, strüktürel geometri ve biçimsel dijital süreçte, dijital tekniklerle yüksek seviyede etkileşim ve kontrol içerisinde. Dijital biçimlenme ortamı ile olan etkileşim ve kontrol seviyesi, dijital tasarım performansının kalitesini arttırmaktadır (Şekil 15)(Oxman, 2006). Dijital ortam sadece görselleştirme amaçlı kullanılmamakta aynı zamanda tasarımcının düşüncesini de şekillendirmektedir. Bununla birlikte geleneksel tasarımdan farklı olarak biçim kavramı yerine biçimlenme kavramı ön plana çıkmaktadır. Tasarımcı biçim ile uğraşmaktan çok tasarım sürecini tasarlayarak biçimlenmeyi sağlamaktadır. Bu bağlamda tasarımcı aslında biçimle etkileşime girmekten çok biçimi oluşturan ortam ile etkileşime girmektedir. Dijital ortam ile kurduğu bu etkileşim sayesinde biçimi oluşturan bileşenlerin, kuralların, değişkenlerin, kısıtlamaların değerleriyle veya özellikleriyle oynayarak biçimi oluşturmaktadır. Aynı zamanda tasarımcının sayısal düşünme yönü artmıştır. Çünkü tasarımcı hep etkileşim halinde bulunduğu araçlara, ortama ve temsillere göre düşünmüştür, düşünecektir de diyebiliriz. Dolayısıyla kullandığı ortam ve araçlar sayısal olarak düşündüğü için tasarımcı da iletişim kurmak için sayısal bir dili tercih etmek durumundadır.



Şekil 15. Formasyon Modeli (Oxman, 2006)

Formasyon modeli (Şekil 15) alt başlıklarından birincisi, topoloji ve öklidyen olmayan geometrilerin biçimlenme amaçlı yaratıcı tasarım ortamında kullanıldığı topolojik tasarım, ikincisi parametrik ve üretken bileşen (generative components) prensiplerine dayanan ilişkiyel tasarım (associative design) ve üçüncüsü ise, animasyon, hareket ve zaman tabanlı modelleme tekniklerine dayanan, dinamik süreçlerin oluşmasını sağlayan dinamik tasarımdır (Dynamic design) (Oxman, 2006; Oxman, 2012). Oxman (2008) aynı zamanda “Digital Architecture as a Challenge for Design Pedagogy: Theory, Knowledge, Models and Medium” adlı makalesinde de, animasyon ve parametrik tasarımın bu model ile ilişkili olduğunu söylemiştir. Ayrıca her iki yaklaşımda da topolojinin önemli olduğunu vurgulamıştır.

#### 1.5.2.1.1. Topolojik Tasarım Yöntemi

Geometri ve matematik alanında yaşanan gelişmeler mimarlık disiplinini de etkilemiştir. Bu gelişmelerle birlikte bilgisayar teknolojilerinin mimari tasarımda kullanımı beraberinde topoloji, eğrisellik ve öklid dışı kavramların mimarlığa aktarılmasını sağlamıştır.

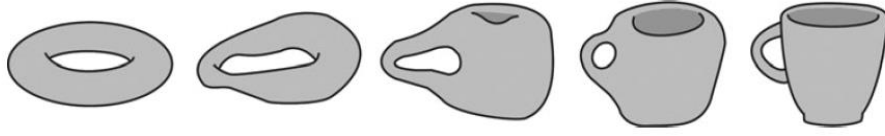
Mimarlığa aktarılan kavramlardan biri olan topoloji terimi, TDK sözlüğünde; geometrik cisimlerin nitelikleriyle ilgili özelliklerini ve bağıl konumları, biçim ve büyüklüklerinden ayrı olarak alıp inceleyen geometri dalı, olarak tanımlanmaktadır (URL-7,2015 ).

Matematiğin ana dallarından biri olan topoloji terimi, Yunanca’ da yer, yüzey veya uzay anlamına gelen topos ve bilim anlamına gelen logos sözcüklerinden türetilmiştir (URL-8, 2015). Topoloji geometrisinde amaç, nesnelerin eğilip bükülerek bir başka nesneye yırtılma ve kopma gibi deformasyonlara maruz kalmadan dönüşebilmesidir (URL-9, 2015).

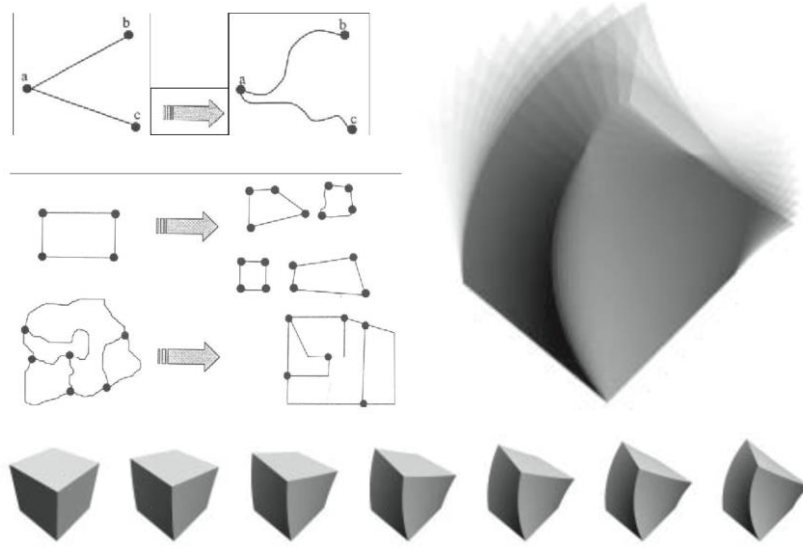
Yırtılma ya da kopma gibi deformasyonlar olmadan bir çay bardağının, çay tabağına dönüşümü “homeomorfizma” olarak adlandırılmaktadır. Çay bardağı ya da tabağından birinin kauçuktan yapıldığını düşünülürse, o objeyi yırtmadan, kesip koparmadan sadece çekip uzatarak ve eğip bükerek diğer objeye dönüştürülebildiği görülmektedir (URL- 10, 2015). Bu şekilde parçalamadan veya farklı iki noktasını yapıştırılmadan meydana getirilebilen tüm değişimlere “homeomorfizma” denmektedir (Çıltık, 2008).

Homeomorfizma terimi, Yunanca *homoios* "benzer" ve *morphē* "şekil-şeklini bozmak" kelimelerinden türemiştir. Topolojik cisim geometrik bir nesne ise,

homeomorfizma, nesnenin yeni şeklini sürekli esneyerek kaplar. Örneğin, bir kare ve çember birbirlerinin homeomorfudurlar (URL-11, 2015). Kulplu bardak ve torusun (halka, simit) birbirlerine aynı yöntemle dönüştürülebileceği, homeomorfizmaya verilen başka bir örnektir (Şekil 16) (URL-12, 2015). Bu konuda Hacısalihoğlu (1998), bir topolojik dönüşüm ile birbirine dönüştürülebilen iki şeklin topolojik eşdeğer veya *homeomorfik* olduğunu ve her birine diğersinin topolojik resmi ya da *homeomorfu* denildiğini söylemektedir (Şekil 17)(Tarım, 2006).



Şekil 16. Torusun kahve bardağına dönüşümü (URL- 13 , 2015)



Şekil 17. Topolojik olarak eşdeğer olan şekiller (Karaş ve Batuk, 2005), kareye topolojik olarak eşdeğer olan şekiller (Kolarevic, 2003)

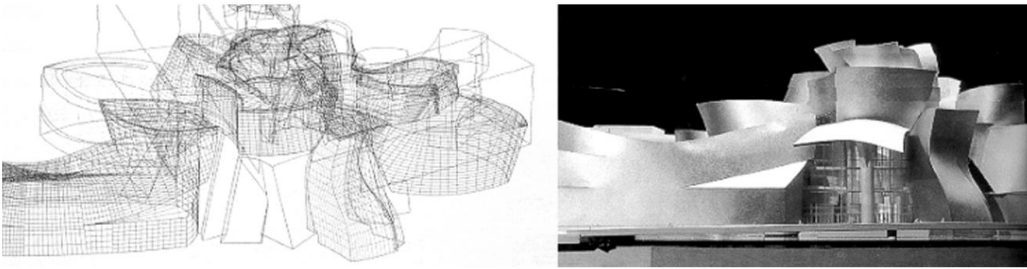
Mimarlık pratiğine topolojinin kazandırılması sonucu oluşan topolojik tasarımı Oxman (2006), “Topolojik Formasyon Modelleri” (Topological Formation Models) başlığı altında sınıflandırmıştır. Oxman’a göre; topolojinin yeniden düşünülmesi ve öklidyen olmayan geometrilerin dijital tasarımda biçimlenme amaçlı kullanımı, yeni biçimlenme olasılıklarının incelenmesine katkıda bulunmuştur. Topolojinin geometriden çok objelerin

ilişkisel yapılarını incelediğini ve benzer şekilli dönüşüm gerçekleştiğinde objenin özelliklerinin değişmediğinden bahsetmiştir.

Topolojik tasarım ile oluşan farklı biçimleri, Greg Lynn “*architectural curvilinearity* (Eğriçizgisel/Eğrisel Mimari)” adlı makalesinde akışkan mantığıyla tanımlamaktadır. Aynı zamanda makalesinde, tasarımda yeni yaklaşımların dekonstrüktivizmin zıtlık ve çelişki mantığından akışkan bağlantılara sahip tasarımlara doğru geliştiğini gösteren örnekler sunmaktadır. Bu yeni akışkan bağlantı, kartezyen uzayda oluşturulan öklidyen geometrilere ayrılan ve sürekli eğrilerden ve yüzeylerden oluşan “lastik levha (rubber-sheet)” geometrisine sahip bir tasarım stratejisi olan kıvrım aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Akışkan bağlantı, sürekli eğriler ve yüzeyler, matematiksel olarak, kontrol noktası aracılığıyla değiştirilebilen NURBS eğrileri kullanılmaktadır. Topolojik uzayda geometri, kapalı denklemler yerine bir dizi olasılığı tanımlayan parametrik fonksiyonlarla ifade edilmektedir (Kolarevic, 2000a).

Mimarlıktaki eğri yüzeylerin matematikteki karşılığı olan NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines / tek biçimli olmayan rasyonel B-eğrileri) yüzeyleri ya da eğrileri, topolojik uzayda hesaplamalı ve heterojen olup uyumlu görünen formlar oluşturulması imkanını tanımaktadır. Kontrol noktalarının (control points), etki merkezlerinin (weight) ve düğümlerin (knots) konumunun değiştirilmesi ile çok sayıda eğri ve yüzeyler elde edilebilmektedir (Kolarevic, 2000a).

Özetle ifade edildiğinde, topolojik tasarımın, şekil olarak farklı algılanan fakat kendi içerisinde uyuma sahip formların tasarımını ifade ettiği anlaşılmaktadır. Topolojik tasarımın şekilsel olarak algılanması için literatürde sıklıkla geçen, Frank Gehry tarafından tasarlanan Guggenheim Müzesi örnek olarak verilebilir (Şekil 18). Bu örnekte, üretilen formun eğilip bükülebilen esnek özelliklere sahip yüzeylerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 18. Topolojik mimarlık: Frank Gehry, Guggenheim Müzesi, Bilbao (Kolarevic, 2000a)

Topolojik tasarımın mimarlık alanında kullanılması, animasyon yazılımı, bilgisayar-destekli tasarım ve bilişim teknolojileri ile mümkün olmaktadır. Bilgisayar teknolojileri ile birlikte kullanılan topoloji, dinamik ve kompleks şekillerin oluşmasını sağlamaktadır (Emmer, 2010). Tasarım esnasında bilgisayar teknolojilerinin kullanımının avantajları, formun dinamik türevlerinin çoğaltılması ve animasyon ile birlikte forma esneklik, akışkanlık gibi özelliklerin kazandırılmasıdır. Bunun dışında topolojik yaklaşımların mimaride kullanılmasını Kolarevic (2003), iç ve dış ayrımının net olmaması olarak yorumlamaktadır.

Mimari tasarımda topolojik tasarım ile, birbirinden kopuk zemin-duvar ilişkisinden, zeminin duvar, duvarın zemin olduğu akışkan ve sürekli bir geometri üretilmektedir. Oluşan formun geometrisi deformasyon yoluyla farklılaşmaktadır (Yetgin, 2011).

Greg Lynn (1999), form üretmede bilgisayar teknolojilerinin rolünü zaman, topoloji ve parametreler olarak açıklamaktadır. Zaman, formda *key-frame* animasyonu sağlamakta ve formun diğer bir formla etkileşimine izin vermektedir. Topoloji, formun esneklik kazanmasına olanak sağlamaktadır. Parametreler ise zaman ve topoloji etkenleri içinde kuralların forma uygulanmasını gerçekleştirmektedir.

Özetlemek gerekirse, matematik ve geometri terimi olan topoloji ile birlikte mimarlık pratiğinde, öklidyen olmayan esnek, akışkan plastik formların üretildiği görülmektedir. Bu formların üretilmesi için bilgisayar teknolojilerinin kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Topolojik tasarımın forma kazandırdığı özellikler ve bu özellikler sonucunda oluşan kavramlar aşağıda tabloda gösterilmektedir:

Tablo 6. Topolojik tasarım yöntemi özellikleri ve içerdiği kavramlar

<b>TOPOLOJİK TASARIM</b>	
<b>Özellikler</b>	<b>Kavramlar</b>
Esnek özelliklere ve eğilip bükülebilen yüzeylere sahip formların üretimi	Esneklik
Bilgisayar teknolojilerinin yardımıyla formun dinamik türevlerinin üretilmesi, dinamik mekanların oluşması	Dinamizm
Animasyon yazılımlarının kullanılması	Animasyon
Mimari mekan sürekliliğinin oluşması	Akışkan mekan
Duvar, zemin, tavan, mekan, taşıyıcı gibi yüzeylerin ayrımının yapılamaması	Hem yüzey/Akışkan yüzey
NURBS kullanımı	-----
İç-dış ayrımının net olmaması	-----
Objelerin ilişkisel yapılarının incelenmesi	İlişkisel
Dekonstrüktivizmin zıtlık ve çelişki mantığından akışkan bağlantılara sahip tasarımlara doğru gelişmesi	Akışkanlık

#### 1.5.2.1.2. Parametrik Tasarım Yöntemi

Parametre, cebirde bir denklemin katsayılarına girilen değişken nicelik olarak tanımlanmaktadır (URL-14, 2015). Özel bir program için verilmiş değeri gösteren değişken, bir sistem, araç veya birimin sonradan belirlenebilen değişkeni (URL-15, 2015), bilgisayar bilminde ise bir dizi komutun, sisteme girilen çeşitli veriler üzerinde işlem yapmasıyla ilgili bir terim olarak kullanılmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Tasarım alanındaki anlamı ise tasarım problemini çözmek için tanımlanan değişkenlere verilen değerdir.

Parametrik tasarımın tasarım alanında ne zaman kullanıldığıyla ilgili olarak Kolarevic (2013), 1980'lerin sonu ve 1990'ların başında mimarlıkta büyük değişikliklerin gerçekleştiğini söylemiştir. Aynı zamanda, tarihte ilk kez mimarların, binaları bilinen şekillerde tasarlamak yerine bir takım ilkelere göre dijital olarak kodladığını, bir dizi parametrik eşitlik olarak tanımladığını basit parametrik değerler kullanarak ürettiğini belirtmiştir (Kolarevic, 2013).



Oxman (2006) parametrik tasarımı, ilişkisel tasarım (associative design) olarak “İlişkisel Tasarım Formasyon Modeli (Associative Design Formation Models)” başlığı altında sınıflandırmıştır. Bu modelin, ilişkisel geometriden faydalanan parametrik tasarım tekniklerine dayandığını söylemiştir. Parametrik tasarımda, nesnelar arasında ilişki açıkça tanımlanmakta ve bu nesnelar arasında bağlantı kurulmaktadır. Bu durum varyasyonların üretildikten sonra, kolayca değiştirilebilmesini ve dönüştürülebilmesini sağlamaktadır (Oxman, 2006).

Tasarımcı tasarımı oluşturmak için kullandığı parametrik tasarım sistemi içerisinde geometriyi, geometrik sınır şartlarını ve boyutlarını belirler. Parametreler model oluşturma işlemini tümünden ele alır ve bir parametre değiştiğinde işlem modeli güncelleyerek ardışık düzende kendisini yeniler (Utanır, 2007). Parametrik tasarım sürecinde, tasarımı etkileyecek veriler çizgi çizmeden parametre olarak belirlenmektedir. Ayrıca her bir parametre arasındaki ilişkinin sayısal ve geometrik olarak tanımlanması gerekmektedir. Parametreler arasındaki ilişki tanımlandığında bir parametrede gerçekleştirilecek değişiklikler ilişkili olan diğer parametrelere de yansıtacaktır. Parametreler arasında oluşturulan ilişkisel durum sayesinde model üzerinde gerçekleştirilen değişimler hızlı yapılabilmektedir. Parametreler üzerinde yapılan değişiklikler, tasarım seçenek sayısının artmasını yani varyasyonların oluşmasını sağlamaktadır.

Kolarevic (2003), parametrik tasarımda tanımlanan belirli bir tasarımın parametreleri olup şekilleri olmadığını, tanımlanan parametrelere farklı değerler verilerek, farklı nesnelar veya yapılandırmalar oluşturulabildiğini söylemektedir. Objeler arası ilişkiler tanımlamak için denklemler kullanılır ve birbiriyle bağlantılı kompleks geometriler elde edilir. Nesnelar arasındaki bağ bu şekilde kurulabilir ve bu durum nesneların davranışlarını dönüştürmeye olanak verebilir (Kolarevic, 2003). Parametrik tasarımı gerçekleştirmek için kullanılan yazılımlar içerisinde üç boyutlu modelin her bir bileşeni diğer bileşenle ilişkili olarak oluşturulur ve sayısal değerler her an değiştirilebilir (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Birbirleriyle ilişkili olan parametrelere birinin özelliğinin değişmesi tüm sistemi etkilemektedir.

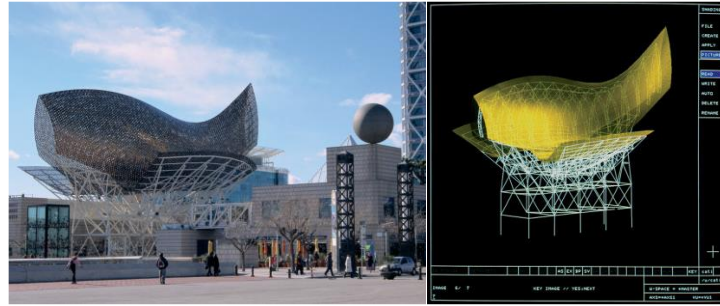
Parametrik tasarım yaklaşımında, parametreler diğer parametrelerle denklemler ve ilişkiler yoluyla bağlantılı olduklarından dolayı, modeldeki her birimde yapılan değişiklik (duvarın uzunluğu gibi), diğer ilişkili birimlerin otomatik olarak yeniden (duvar kalınlığı, pencere boyutu gibi) güncellenmesini sağlar. Varyasyonların böylesi etkileşimli bir şekilde simüle edilebilmesi, parametrelerin dönüştürülmesi ve değiştirilmesi ile mümkün olur.

Başka bir deyişle, bir parametrik sistemin, modelin geometrisini tanımlayıp değiştirebilme becerisi, mantıksal olarak düşünüldüğünde modelin birbirleriyle dinamik olarak bağlantılı parametrelerden oluşmasıyla ilgilidir (Senagala, 2002). Parametrik model içerisindeki ilişkisellik, günler alabilecek işlerin kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Mimari tasarım sürecinde tasarım için tanımlanan parametrik değerler, rüzgâr şiddeti, deniz tuzluluk oranı, su miktarı, insan akışındaki yoğunluk gibi çevresel veriler olarak belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında kurgulanan sistemler, parametrelere girilen farklı değerler sonucu oluşan değişim, tasarım aşamasında form üretimi için ya da fiziksel mekânda ışık, ses, biçim değerlerini ölçmek için kullanılabilir (Akipek, 2004).

Parametrik tasarıma örnek olarak, 1990'ların başında parametrik tasarım ve dijital fabrikasyon gibi dijital teknolojilerin kullanıldığı iki proje verilebilir. Bunlar, Barselona'da 1992 yılında Frank Ghery tarafından tasarlanmış olan "The Olympic Fish" ve Londra'da 1993 yılında Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanmış "International Terminal at Waterloo Station" projeleridir (Kolarevic, 2013).

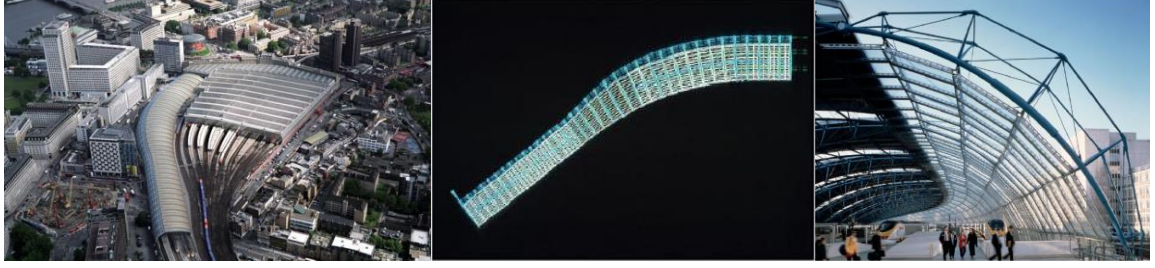
Barselona 'fish' projesi (Şekil 19), Frank Gehry'nin ofisi tarafından 1990'ların başında gerçekleştirilmiş bilgisayar destekli ve üç boyutlu etkileşimli CATIA uygulaması olan ilk 'kağıtsız (paperless)' projedir. Geometrisi, CATIA programı ile parametrik olarak tanımlanmış strüktürel çeliği örtmek için tasarlanmıştır. Tasarımın izlenmesi ve düzeninin takibi için, sadece altı adet el çizimi ve bir bilgisayar modeli kullanıldığı söylenmektedir (Kolarevic, 2013).



Şekil 19. Ghery Mimarlık, Vila Olimpica Complex, Barselona, İspanya, 1992; Üç boyutlu CATIA modeli (Kolarevic, 2013)

1993 yılında inşa edilen Waterloo Tren İstasyonu'ndaki geniş çatı örtüsü, Nicholas Grimshaw tarafından parametrik tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Yapı özünde 50 metreden 35 metreye doğru gittikçe daralan makaslar ile 400 metre uzunluğunda cam

örtülü çatı ile kaplıdır. Arazinin gittikçe daralan biçimine uyumlu olarak tasarlanan eğrisel çatı, ölçü ve biçim açısından farklılık gösteren strüktürel elemanların tasarımı için tek bir makas modellenip, bu modelden türeyecek diğer makaslar için tasarım kuralları belirlenmiştir (Şekil 20) (Kolarevic, 2003).



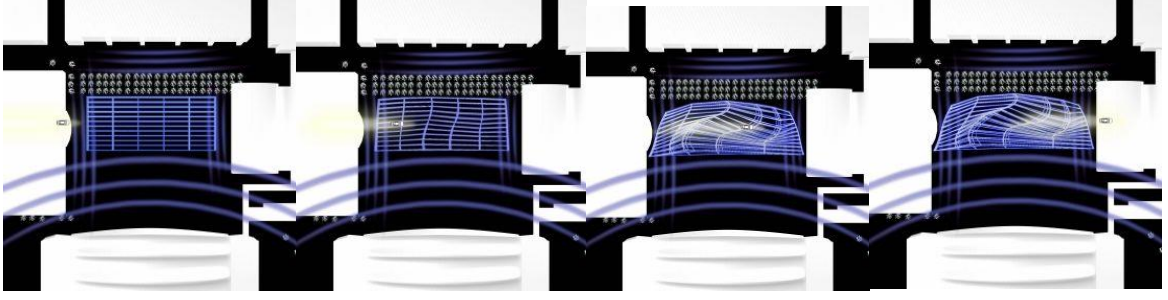
Şekil 20. Parametrik tasarım örneği; Grimshaw and Partners tarafından tasarlanan Waterloo Tren İstasyonu (URL- 16, 2015; Kolarevic, 2003; Kolarevic,2013)

Parametrik tasarımda, çevre verileri ya da belirlenen diğer faktörler parametre olarak kullanılarak etki-tepki yöntemi ile formun oluşması sağlanmaktadır. 2001 Frankfurt Uluslararası Otomobil Fuarı'nda yer alan BMW Pavyonu-Dynaform projesinin tasarım sürecinde konsept geliştirme aşamasında parametrik tasarım yöntemi kullanılmıştır (Şekil 21) (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 21. Frankfurt Forum Alanı ve BMW Pavyonundan görünüm (URL- 17, 2015)

BMW Pavyonu projesinin tasarım sürecinde, pavyonun içerisinde yer alacağı çevre, bir güçler alanı olarak yorumlanmakta, çevredeki mevcut pavyonlara niceliksel ve niteliksel özelliklerine göre birer etki değeri verilerek, bu güçlerin pavyonun biçimlenmesinde etkin parametreler olarak kullanılması sağlanmaktadır (Şekil 22) (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 22. BMW Pavyonu tasarım sürecinde çevre pavyonların etkisi ve araba hızına bağlı doppler etkisinin araştırılması (URL-17, 2015)

Parametrik tasarımda, tasarımcı komutları kullanarak araçla iletişime girmekte ve tasarımda özgürlük ve kontrolü arttırmaktadır. Tasarımda bu yaklaşım, tasarımcı için yeni rollerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Geleneksel rolü “araç kullanıcı olarak tasarımcı (the designer as a tool user)” rolünden “araç yapıcı olarak tasarımcı (the designer as a tool builder)” rolüne doğru genişlemektedir (Oxman, 2006). Bütünün parçalar üzerinden kurgulandığı bu yöntemde tasarımcının düşünsel yönü gelişmektedir. Bir çok parametreyi aynı anda kurgulayabilme ve karmaşık ilişkileri düzenleme durumu yeni problem çözme teknikleri üretmeyi gerektirmektedir. Tasarımcı ilişkileri kurgular, kurguladığı ilişkileri tanımlar daha sonra tanımlanan bu ilişkileri yeniden düzenler. Bu bağlamda çözülmesi gereken her problem tasarımcıya ait tasarım hafızasını genişletmektedir.

#### 1.5.2.1.3. Animasyona Dayalı Tasarım Yöntemi

Oxman (2006), Animasyona dayalı tasarımı “Hareket Tabanlı Formasyon Modelleri (Motion-Based Formation Models)” başlığı altında sınıflandırmıştır. Form oluşumunda animasyon tekniklerinin kullanıldığı yöntem olup etileşimli, dinamik ve esnek tasarımların oluşmasını sağlamaktadır (Oxman, 2006).

Dijital ortamda temsil aracı olarak kullanılan animasyon teknikleri son zamanlarda erken tasarım evresinde formasyon amaçlı kullanılmaya başlanmıştır.

Animasyon genel anlamda, birkaç resmin arka arkaya hızlı bir şekilde gösterilmesiyle elde edilen hareketli görüntü olup TDK sözlüğünde “canlandırma” anlamında kullanılmaktadır (URL-18, 2015). El çizimleri, fotoğraf teknikleri, bilgisayar ortamında iki boyutlu imajlar, üç boyutlu dijital modeller ya da fiziksel modeller kullanılarak görüntüler tek tek oluşturulur. Aynı ayrı oluşturulan kareler saniyede minimum 16 kare hızla gösterildiğinde göz bunu hareketli görüntü olarak algılamaktadır. Mimari tasarım süreci

içerisinde, üç boyutlu dijital modelin animasyonu genellikle projenin sunum aşamasında kullanılmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Animasyon teknikleri, genel olarak tasarım aşaması ve modellemesi tamamlanan mimari projenin mekanlarını daha iyi anlatmak amacıyla sunum tekniği olarak kullanılmaktadır. Bunun aksine animasyon tekniğini formasyon amaçlı kullanan ilk tasarımcı Greg Lynn olarak kabul edilmektedir.

Lynn (2006) canlandırma teriminin sıklıkla devinim ile karıştırıldığını söylemektedir. Devinim durumunu, hareketler ve olay olarak, canlandırma durumunu ise formun evrimi ve onu biçimlendiren kuvvetler olarak tanımlamaktadır. Canlandırma aynı zamanda, diriksellik (animalizm), büyüme, devinim, canlılık ve sanallık önermektedir. Biçimsel oluşum hareket ve gücün birlikteliği sonucu oluşmaktadır. (Lynn, 1999).

Greg Lynn'e göre (Kolarevic, 2000a), animasyon, bir biçimi ve onu şekillendiren güçlerin evrimini içerir. Hareket eden kareler değil, binalar ve binayı etkileyen güçlerdir. Bu güçler zaman ve evrim tarafından kontrol edilirler. Parametre olarak kabul edilen ışık, rüzgar, yağış ve ses gibi dış etkenler karşısında yapının davranışının öngörülmesi animasyon teknikleri ile mümkün olabilmektedir (Lynn, 1999). Hareket ve zaman, dijital ortamda evrim geçiren formun biçimlenişini göstermektedir. Tasarımcı istediği biçimlenişi en uygun olduğunu düşündüğü kareyi durdurarak elde etmektedir.

Animasyona dayalı tasarım anlayışında, zamansızlık, kalıcılık ve ideal nötr boşlukla tariflenen bir mimari anlayışa karşılık, yaşayan bir çevrede, yerçekiminden başka birçok etkili gücün bağlam olarak algılandığı aktif bir sanal çevrede biçimlenebilen, topolojik yüzeylerle mimari proje oluşmaktadır (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Lynn'e göre sayısal ortamda tasarım, temsil ortamında tasarımdan üç önemli açıdan farklılaşmaktadır: topoloji, parametre ve zaman. Zamanın tasarıma animasyon teknikleri ile katılmasıyla, hareketin tasarımda belirleyici olması sağlanmaktadır. Mimarinin formları da dinamik bir kavrayışla, sanal hareket ve kuvvetlerle biçimlenebilmektedir. Bu nedenle çağdaş animasyon tekniklerine tasarımın bir anlatım aracı olarak değil imgenin tasarımı için gerekli olan bir araç olarak yaklaşmak gerekmektedir (Lynn, 1999).

Greg Lynn, mimari biçimin, sosyo-ekonomik bağlamın ve bulunduğu çevrenin dinamiklerine cevap vermesi gerektiğini söylemektedir. Rüzgâr, güneş etkileri, yaya ve taşıt akışları, vistalar gibi çevresel faktörler oluşturulan sanal çevrede şiddeti artıp azalan güçler olarak yorumlanmakla birlikte bağlam, aktif bir soyut mekâna dönüşmektedir. Hareket, güç alanlarındaki değişimler ile oluşmakta ve bu güçlerin etkisi ile birlikte mekânın biçimi dönüşüme uğramaktadır. Bu güçlerin etkisiyle, sayısal ortamda kurgulanan sanal güçler

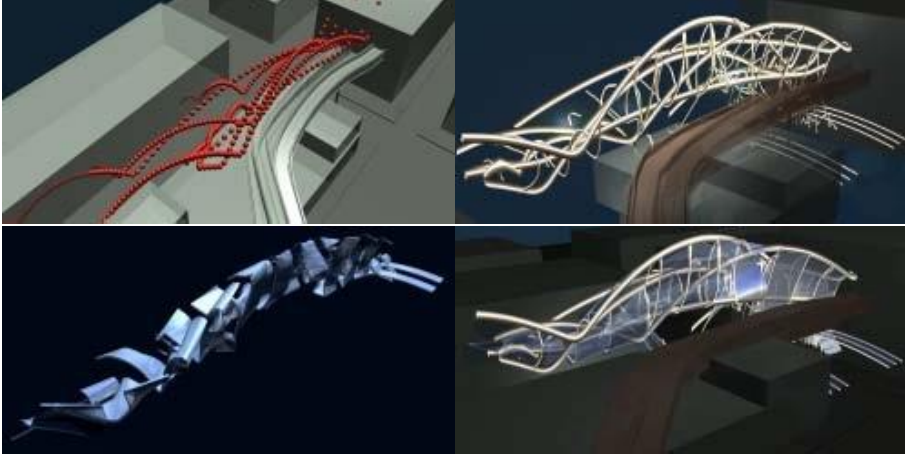
çevresi, biçimlendirme işlemine katılmaktadır. Animasyon tekniklerinin tasarım teknolojisi olarak kullanımı (Akipek ve İnceoğlu, 2007):

- Form oluşturma amaçlı kullanım: Belirlenen zaman dilimi içerisinde belirlenen parametreler ve performans kriterlerine göre biçim değişikliklerinin oluşturulması ve animasyonun istenilen bir aralıkta durdurularak mekânın belirli bir görünümünün seçilmesi; ya da belirlenen rotalarda hareketlendirilen kütle parçalarının oluşturduğu kompozisyonun istenilen bir noktada durdurularak seçimi.

- Analiz amaçlı kullanım: Güneş, rüzgar etkileri ya da yaya-araç akışları gibi çevresel faktörlerin, mekâna etkilerinin gözlemlenebildiği simülasyon ortamları kurularak gerçekleştirilmesi.

Animasyona dayalı tasarıma Greg Lynn'nin 1995 yılında tasarladığı bir yarışma projesi olan New York Port Authority Otobüs Terminali, örnek olarak verilebilir. Proje, terminale ulaşan otobüs rampalarının alt kısmına koruyucu bir çatı tasarımı ve aydınlatma ünitesi tasarımını içermektedir. Alan üzerindeki dört otobüs rampasının yoğunluğu ve her biri farklı hıza sahip yayaların, arabaların ve otobüslerin akışına bağlı hareket kuvvetlerinin kullanımıyla modellenmiştir. Alan ve mevcut çekimin eğilim alanlarını görselleştirmek için kuvvetin etkisine bağlı pozisyon ve şekil değiştiren geometrik parçacık sistemleri kullanılmıştır. Kullanılan her parçanın belirli bir yoğunluğu, elastikliği bulunmakta olup parçalar, bu yoğunluğa göre hareket etmektedirler (Şekil 23) (URL- 19, 2015).

Parçacıkların hareketinin tek bir anını dondurmak yerine, parçacıkların hareketi sırasında “süpürme” (sweep) tekniğiyle belirli aralıklarda kesitler alınarak, oluşan hareket döngülerinin evre portreleri (phase portraits) serisi oluşturulmuştur. Bu evre portreleri, rampaları mevcut binaya ve Otobüs Terminali'ne bağlayan boru şeklinde olan çerçeve strüktürlere götürmektedir. On bir adet yüzey bu tüplere gerilerek koruyucu bir yüzey ve yarı geçirgen bir zar oluşturmaktadır (Şekil 23) (URL- 19, 2015).



Şekil 23. Authority otobüs terminali, tasarıma etki eden çevresel güçlerin animasyonu (Kolarevic, 2003)

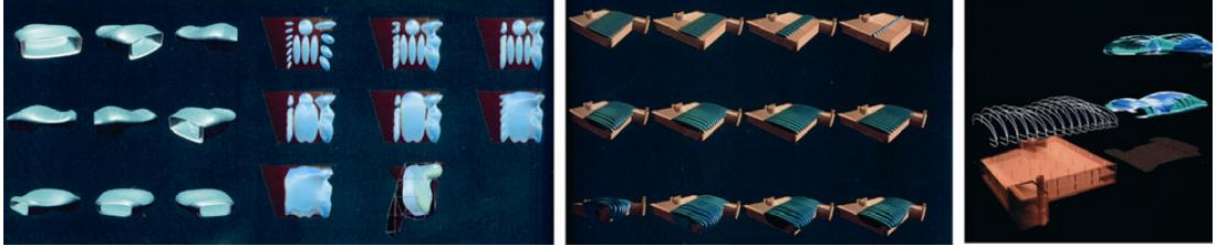
Animasyona dayalı tasarıma diğer bir örnek olarak, Lynn ve diğer proje müellifleri tarafından gerçekleştirilen New York Presbyterian Church projesini verebiliriz (Şekil 24). 1999 yılında mevcut yapının kiliseye dönüştürülmesi ve ek bir yapı ile geliştirilmesi projesi için animasyona dayalı bir tasarım stratejisi ortaya konulmuştur. Mevcut fabrika binasıyla belirli bir dereceye kadar birleşen, bir noktadan sonra da onu saran, içine alan uyumlu bir yapının oluşturulması hedeflenmiştir. Ek mekânlar kullanılarak, mevcut yapının düşey etkisi azaltılmaya çalışılmış, yapının caddeye doğru olan yönelişi, kente doğru çevrilmiştir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 24. Presbyterian Kilisesi (1999), (URL-20, 2015)

Proje için (Şekil 23), film sektöründe kullanılan animasyon programları tasarımın biçim oluşturma aşamasında, animasyon platformu ise, mekân programlarını kapsayacak hacimlerin oluşturulmasında ve bunları istenilen biçimlere dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Zaman içinde biçimlerin dönüşümü izlenmiş ve program istenilen noktada

durdurulmuştur. Geniş açıklıklı ibadet mekânında önce yumuşak hatlı hacimler oluşturulmuş (blob), sonra bu hacimler daha keskin hatlara dönüştürülerek optimize edilmiştir. Ek yapının strüktürel çözümleri ve mevcut yapının strüktürüyle ilişkisi için CAD çizimleri kullanılmıştır (Şekil 25) (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 25. Tasarım süreci içerisinde animasyon teknikleri kullanılarak mekânın biçimlenişi ve mevcut fabrika binasına eklenen mekânlar (Akipek ve İnceoğlu, 2007)

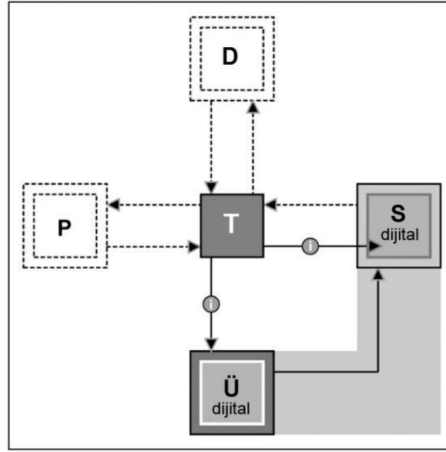
Animasyon teknikleri forma dinamik bir yapı kazandırmakta ve süreci ön plana çıkarmaktadır. Belirlenen süreç içerisinde, performans kriterlerine zaman içerisinde tepki veren formun gelişimi gözlenmektedir.

### 1.5.2.2. Üretken Model (Generative Design Models)

CAD modellerinde tasarımcı, önceden tasarlanan tasarım nesnesinin geometrik strüktürü ile ilgilenmektedir. Buna karşın, dijital formasyon modellerinde ise topolojik kontrol şartları içerisinde farklı biçimsel üretimlerin topolojik ve geometrik kontrolü için tasarım ortamının etkinleşmesi sağlanmaktadır (Oxman, 2006).

Üretken tasarım modellerinde tasarımcı üretken mekanizma ortamı ile etkileşim içerisinde. Süreç içerisinde algoritmalar ve matematiksel ifadeler kullanılarak form çeşitlenmeleri araştırılmaktadır. Türetici kurallar, ilişkiler, kısıtlamalar, değişkenler aracılığıyla ürün üretici mekanizma yardımıyla oluşmaktadır.





Şekil 26. Üretken Model (Oxman, 2006)

Dijital tasarımın üretici modelleri, hesaplamalı mekanizmaların üretim aşamasının karşılığı olmaktadır (Şekil 26). Formasyon model ile karşılaştırıldığında, tasarımcı türetici mekanizma ile etkileşim halindedir. Üretken model, üretken kurallar, ilişkiler ve prensipler ile oluşan formlarla ilgili kompleks mekanizmaların etkileşimidir. Şekiller, önceden formüle edilen üretken süreçlerin sonucu olarak düşünülmektedir. (Oxman, 2006; Oxman, 2012)

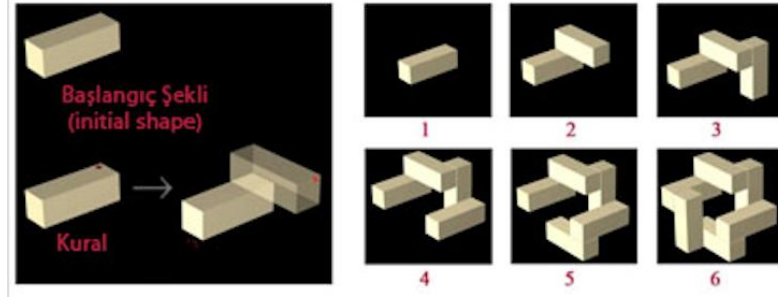
Üretken model içerisinde matematiksel kural ifadelerine dayanan biçim gramerleri ve evrim sürecini dikkate alan evrimsel tasarım yöntemleri yer almaktadır (Oxman, 2006; Oxman, 2012).

#### 1.5.2.2.1. Biçim Gramerleri ile Tasarım Yöntemi

Biçim gramerleri, Oxman'ın (2006) makalesinde, “Gramatik Olarak Dönüşebilir Tasarım Modeli (Grammatical Transformative Design Models)” başlığı altında sınıflandırılmıştır. Biçim gramerleri, dönüşümsel kurallar ile hesaplamalı mekanizmaların üretken süreçleri için kullanılan matematiksel ifadelerdir. Biçim gramerleri üretken bir mekanizma olup, şekilsel hesaplamalı kurallara dayanmaktadır (Oxman, 2006).

Biçim gramerleri 1972 yılında George Stiny ve Jim Gibs tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemin en büyük özelliği ve diğer türetici tasarımlardan farklılığı, soyut sembollerle veya harflerle değil, şekillerle ve biçimlerle çalışmasıdır. Bu, tasarımın görselleştirilmesi açısından önemlidir. Ayrıca daha önce yapılmış olan tasarımların incelenmesi ve deşifre edilebilmesi açısından da gereklidir (Stiny ve Gibs, 1992).

Stiny ve Gibs (1978) biçim gramerleri ile cümle yapıları arasında benzerlik kurmuştur. Bu bağlamda bir cümle yapısının oluşması için gerekli olan alfabenin bir dizi sembolden oluştuğunu ve bir dizi biçim gramerinin oluşması için de bir dizi biçimin gerekli olduğunu dile getirmişlerdir.



Şekil 27. Belirlenen kural tarafından tasarımın üretilmesi (URL- 21, 2015)

Biçim gramerleri biçimlerle aritmetik hesaplamalar yapan algoritmalarıdır (March ve Stiny, 1984). Aynı zamanda biçim gramerleri, bir üretken tasarım yöntemidir. Türetici gramerlerde sayılar ve karakter dizileriyle oluşan kural setleri yine bir türetici gramer olan biçim gramerlerinde biçimler ve biçimler arası ilişkiler ile tanımlanmaktadır. Biçimler nokta, çizgi, yüzey ve masif gibi iki ve üç boyutlu geometrik elemanlardan oluşmaktadır (Çolakoğlu, 2006).

Bilgisayar teknolojilerinin kullanılmasından önce kullanılmaya başlanan biçim gramerleri, yeni formlar üretmek ve yeni tasarım dillerinin oluşturulması amacıyla, karakter ve sembollerin kullanıldığı türetici tasarım yöntemidir. Geçmişte tasarlanmış ve /veya uygulanmış yapılardan eksik olanların tamamlanması, yeniden inşa edilmesi ya da aynı gramer kuralları ile yeni yapılar üretmek için biçimsel temsil dilini kullanarak biçim kompozisyonları üreten kural tabanlı bir tasarım yöntemidir. Bu yöntemi kullanan tasarımcı, süreç içerisinde malzemeyle ya da ürünle doğrudan etkileşim halinde olmayıp türetici mekanizma ile ilişki içerisinde. Tasarımcı biçim kompozisyonlarını oluşturmak için geometri ve matematik temelli nokta, çizgi, yüzey ve kütle gibi elemanlara toplama, çıkarma, bölme, katlarını alma, döndürme, hareket ettirme, yansıtma, simetrisini alma gibi işlemler tanımlamaktadır. Son ürüne karar verme işlemi sezgisel olup tasarımcının kararına bağlıdır.

### 1.5.2.2.2. Evrimsel Tasarım Yöntemi

Evrimsel tasarım, Oxman (2006) tarafından “Evrimsel Tasarım Modeli (Evolutionary Design Models)” başlığı altında yorumlanmıştır. Evrim, biyolojik büyüme ve gelişim, genetik kodlar gibi olguların tasarıma model alınmasıyla evrimsel gelişime ve kendini organize eden sistemlere dayalı tasarım teknolojileri ortaya çıkmıştır. (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Evrimsel form üretim teknikleri, form üretimi için kullanılan hesaplamalı mekanizmalar olup, tasarımda üretken süreçleri uygulamak için kullanılan mutasyon ve çoğalma gibi doğal üretimin evrimsel modellerine dayanmaktadır. Tasarımda evrimsel model içerisinde formun belirmesi (form emergence) evrimsel sürecin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Oxman, 2006; Oxman, 2008).

Akipek ve İnceoğlu (2007), tasarımda evrimsel sistemlerin model alındığı örneklerin algoritmik tasarım ana başlığı altında ele alındığını söylemektedir. Algoritmik tasarım yaklaşımında, ürün ya da olası ürünler ailesi, tanımlanan kurallar ve ilişkiler sistemi sonucunda kendiliğinden oluşmaktadır. Mevcut çizim ya da modelleme programlarının betiklerine (script) yapılan eklerle ya da özel olarak yazılan programlar ile tasarlanırlar. Bu yaklaşım ile beraber evrimsel sistemler, biyolojik büyüme ve biçimlenme kavramlarının mimari tasarım süreci içerisinde, tasarıma model olarak kullanılması ile ilişkilidir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Evrimsel tasarım süreci içerisinde, mimari konseptler, bir dizi üretim kuralı olarak tanımlanmakta, bu konseptlerin evrimi, gelişimi sayısal olarak şifrelenmektedir. (Frazer, 1995) Tasarım, belirlenen kurallar ve sınıflandırmalar çerçevesinde kendi kendine gelişen, önceden tahmin edilemeyen sonuçların olduğu bir süreç olup, doğrusal olarak gelişen, ön tahminlere dayalı ve biçimsel kararlarla ilgili bir süreç değildir. Bu tasarım süreci sonucunda genellikle geleneksel temsil teknikleriyle üretimi zor olan formlar ortaya çıkmaktadır ve bu formlar, basit kuralların tekrarı ve belirli bir düzen içerisinde karmaşık bir görüntüye sahip olmaktadır. Bu bağlamda evrimsel süreç, bilgisayar teknolojileri yardımıyla hızlanmakta, tasarımcı tarafından oluşturulan bir dizi üretim kuralı, çok sayıda prototip biçim türetebilmektedir. Daha sonra oluşturulan ürünler benzeşik bir çevredeki performanslarına göre değerlendirilmektedir. Mimari tasarım kararları, üretken kurallarla ifade edilmekte, bu sayede evrimleri ve gelişimleri hesaplamalı modeller ile hızlandırılabilen ve test edilebilmektedir (Frazer, 1995). Tasarımcı tarafından oluşturulan üretken kurallar için genetik algoritmalar kullanılmaktadır.

Genetik Algoritmalar, evrimsel tasarımın özünü oluşturan ve doğadaki evrim, doğal seçim, çoğalma gibi süreçleri dijital ortamda taklit ederek çalışan bir arama ve optimizasyon yöntemidir (Emel ve Taşkın, 2002). Doğada, canlıların oluşumunda ve biçimlenmesinde etkili olan genler, bilgisayar ortamında algoritmalar ve genetik kodlar olarak karşılık bulmaktadır. Sayısal ortamdaki genetik algoritmalar, kural dizili bir yapıya sahip olup, gen geçişi, çoğalma ve mutasyon gibi kurallarının işlendiği kromozom sarmalı benzeridirler. Tasarım süreci boyunca bu sarmala işlenen parametrelerin değerleri değişmektedir. Süreç içerisinde, birbirine benzer biçimde yapay organizmalar oluşturulur. Bu oluşturulan organizmalar belirlenen güçlülük kriterlerine uyum gösterip göstermediklerine göre elenirler (Kolarevic, 2003).

Genetik algoritmanın işleyişindeki ilk adım, olası çözümleri içeren bir çözüm kümesi oluşturmaktır. Genellikle rastlantısal seçilen çözüm kümesi başlangıç popülasyonu, popülasyonun üyeleri birey, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Genetik algoritmalar, çözüm kümesindeki her bireyi, ikili bit dizisi olarak kodlar. Her bireyin problemin önceden belirlenmiş kısıt/sabit ve parametrelerini ne derece karşıladığını gösteren bir uygunluk değeri vardır. Her kuşakta genetik algoritma başlangıç popülasyonundan ebeveyn olarak seçilen bireyler üzerinde çaprazlama, mutasyon gibi genetik operatörleri kullanarak yeni bir popülasyon oluşturur. Yeni bireyler üretilirken düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha az kullanılacağından bu bireyler bir süre sonra popülasyon dışında kalır. Yeni popülasyon, uygunluk değeri yüksek bireylerin biraraya gelmesiyle oluşur. Böylelikle birkaç kuşak sonunda popülasyonda daha yüksek uygunluk değerine sahip bireylerin sayısı artar. Algoritma defalarca çalıştırılır ve bulunan en iyi kromozom sonuç olarak nitelenir. Bu, Darwin'in rastsal mutasyona ve doğal seçime dayanan evrim modellerini andırır (Emel ve Taşkın, 2002).

Genetik algoritmalar, optimizasyon (en iyileme), mekan tasarımı, sunum stillerinin oluşturulması ve mimari formun üretimi gibi çeşitli amaçları gerçekleştirmek için kullanılırlar. Genetik algoritmalar içerisinde yer alan genel terimler şunlardır (Singh ve Gu, 2012):

Tablo 7. Genetik algoritma için kullanılan genel terimler (Singh ve Gu, 2012)

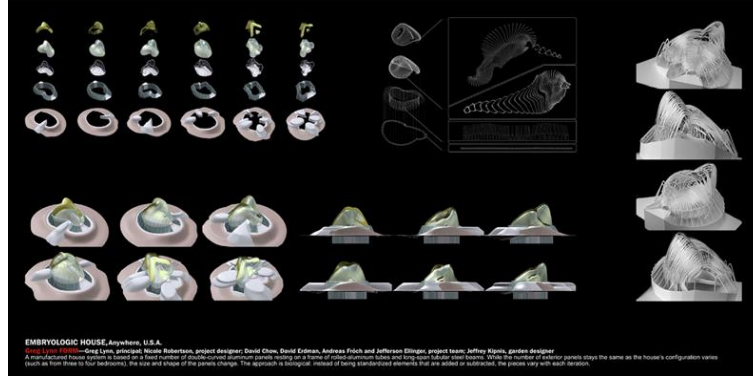
Terminoloji	Tanımı
<b>Gen</b>	Genotipin en küçük birimi. Aleller genlerin alternatif şekilleridir.
<b>Genetik kod</b>	Sayılar ve alfabetik harfler genotip içerisinde kodlama yapmak için kullanılır.
<b>Genetik Tanımlama</b>	Tanım genetik terimi içerir. Genetik işlem evrimsel sistem içerisinde kullanılır. Daha sonra genetik tanımı üzerinden gerçekleştirilir.
<b>Genetik strüktür</b>	Belli bir düzen ve ilişki içerisinde olan bir dizi gen.
<b>Genotip</b>	Tasarımın genetik oluşumu
<b>Fenotip</b>	Tasarımın gözlenebilir özellikleri, formu.

Genetik algoritmaların dijital ortamda kullanımına örnek olarak deneysel çalışmalar yapan Greg Lynn'in Embriyolojik Ev (1997-2001) projesi verilebilir (Şekil 28).



Şekil 28. Enbriyolojik Ev'in (1997-2001) bilgisayar ortamındaki tasarım sürecinden görüntüler, 1. Microstation programında ilk geometrik formun oluşturulması, 2. Microstation'da Embriyolojik Ev'in gelişimini gösteren çizimler, 3. Embriyolojik Ev'in Maya programındaki modeli, 4. Mel script dosyası, 5. Embriyolojik Ev'in animasyonu (URL-22, 2015).

Projenin başlangıç aşamasında birbirinden farklı genetik yapıya sahip altı ev oluşturulmuştur. Başlangıç aşamasında tasarlanan altı evin genetik kodlarıyla yapılan çaprazlama ve doğal seçim işlemleri sonucunda, altı ana evden birçok farklı alternatif embriyolojik ev türetilmiştir (Şekil 29) (Altunbaş, 2009).



Şekil 29. Embriyolojik evlerin evrimsel süreci (URL-23, 2015)

Genetik kodlama süreci içerisinde dış kabuk formunun oluşumundan önce iç ilişkilerin kurulumu gerçekleştirilmektedir. Öncelikli özelliklerden bir diğeri ise, iyi tanımlanmamış ve çelişkili kriterlerin de var olması ve tüm kriterlerin işlenerek en ‘uygun’ (fittest) olabilecek seçeneklerin üretilmesidir. Yapılı formun çevresi ile olan ilişkisinin morfolojik ve metabolik olarak tanımlanması da bir diğer özelliktir (Kolarevic, 2000).

Evrimsel tasarım yaklaşımı, etkileşime açık, aşağıdan yukarı tasarım süreci için uygun bir yaklaşımdır. Bilgisayar, “evrimsel hızlandırıcı” (evolutionary accelerator) olarak kullanılmaktadır. Çevre koşullarının simülasyonu dijital ortamda gerçekleştirilmekte ve bu durum da forma doğrudan etki etmektedir. Frazer’ın önerdiği evrimsel tasarım modeli form bazlı değil (form-driven), süreç bazlı (process-driven) bir yaklaşımdır. Evrim süresince fenotipler değil, genotipler geliştirilir. Fenotipler, genotiplerin özelliklerinin dış yapısını tarif etmektedir (Arida, 2004).

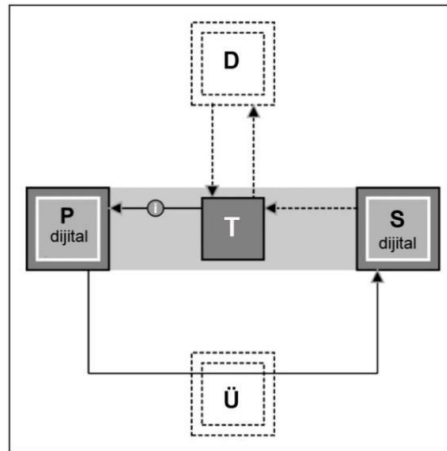
Evrimsel tasarım süreci temel olarak, tanımlama, üretim ve değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Problem kısıtları, değişkenler kümesi ve problemin halihazırda varılan çözümlerinden oluşan yeni tasarımlara ebeveynlik yapacak bir başlangıç popülasyonu, tanımlama evresinde sayısal veri olarak oluşturulur. Daha sonraki aşama olan üretim aşamasında belirlenen ölçütler dahilinde tasarım süreci yürütülür. Son aşama olan değerlendirme aşamasında ise oluşturulan yeni çözüm alternatifleri arasından uygun olanlar seçilir. Sistem en uygun alternatiflere ulaşana kadar üretim ve değerlendirme aşamaları tekrarlanır (Akbulut, 2009). Tanımlanan sayısal verilerin değişmesi ve gelişmesi yeni varyasyonların oluşmasını sağlamaktadır.

### 1.5.2.3. Performans Modelleri (Performance Models)

Performans modelleri, istenen performans kriterlerine göre biçimlenme süreci olarak düşünülebilmektedir. Bu model içerisinde performans, biçimlendirme tekniği olarak ya da problem tarafından parametrik olarak tanımlanmış farklı üretken süreçler olarak tanımlanabilmektedir. Performansa dayalı tasarımda nesne, performans simülasyonu ile üretilmektedir. Performansa dayalı model, performansın formasyon ve üretken süreçlerle birleştirilmesi sonucu oluşmaktadır. Bağlam içerisinde tanımlanan güçler (forces), dijital tasarımda form oluşturulmasında kullanılmaktadır. Dış güçler, strüktürel yükler, akustik, ulaşım, yerleşim yeri, program gibi çevresel güçler olarak düşünülebilir. Enformasyonun (information) kendisi de tasarımı değiştiren dış güç olarak tanımlanabilmektedir (Oxman, 2012). Oxman (2006) bu başlık altında performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım adlı iki yöntem açıklamaktadır:

#### 1.5.2.3.1. Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi

Oxman (2006), performansa dayalı tasarımı “Performansa Dayalı Formasyon Modeli (Performance-based formation models)” başlığı altında sınıflandırmıştır. Tasarımın performans kriterleri tarafından yönlendirildiğini ve tasarımı yönlendiren performans kriterlerini, çevresel performans, finansal maliyet, mekansal, sosyal, kültürel, ekolojik ve teknolojik olarak açıklamıştır. Açıklamış olduğu performans kriterlerinin dijital ortamda formasyon amaçlı kullanılmasıyla oluşan model Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30. Performansa Dayalı Formasyon Modeli (Oxman, 2006)

Performansa dayalı tasarım yönteminin tarihsel gelişimi hakkında Kolarevic (2006), dijital bina performansı (digital building performance) değerlendirme ve performansa dayalı tasarımın (performance-based design) otuz yıldan daha da önce bilgisayar destekli bina tasarım (computer-aided building design) araştırmalarının merkezinde yer aldığını söylemektedir. Gerekli kavramların ve tekniklerin çoğunun 1960'ların sonu ve 1970'lerin başında öncülük ettiğini; örneğin, ilk bina değerlendirmesi için bilgisayar grafiklerinin kullanımının, 1966 yılında, ilk bina performans değerlendirmesi için paket programın 1972 yılında, ilk bilgisayarla üretilmiş perpektif çizimlerinin 1973 yılında ortaya çıktığını belirtmektedir (Kolarevic, 2005).

1970'ler, tasarımcıların kendi tasarım önerilerini değerlendirmesini yapabilmek için bilgisayar, ısı kaybı, gün ışığı, gölge yönleri ve akustik gibi bina performans ölçütleri hakkında eksiksiz sonuç almalarını sağlamıştır (Kolarevic, 2005).

İlk dijital performans analiz araçlarından biri olan PACE (Package for Architectural Computer Evaluation), ABACUS tarafından geliştirilmiş ve 1970 yılında tanıtılmıştır. Mimari tasarımda stratejik yaklaşım için bilgisayar destekli değerlendirme, basit parametrelerin optimizasyonu olup geniş kapsamlı bir dizi değerlendirme ölçütü üretmektedir. Program, maliyet, mekânsal, çevresel aktivitelerin performans değerlendirmelerini gerçekleştirmekte, mekansal performans olarak arsaya en uygun yerleşim yeri, uygun oran, plan ve kütledeki doluluk hakkında bilgi vermekteydi. Çevresel performans hesaplamasında, yeterli çevresel durumlar için plan ölçüleri, sıcaklık kazancı ve kaybı gibi verileri sunmaktaydı. Program tasarımcıya, geometrik ve konstrüksiyon bilgisini nasıl değiştireceği konusunda bilgi vermekte bunun yanında tasarım konseptinin performans değerlerine göre nasıl değiştirileceğini nasıl yeniden değerlendireceği hakkında da yardımcı olmaktaydı. Sonuç olarak tekrarlanan insan- makine etkileşimi (man-machine interaction) tasarım çözümünde optimum sonucu bulmayı kolaylaştırmaktaydı (Kolarevic, 2005).

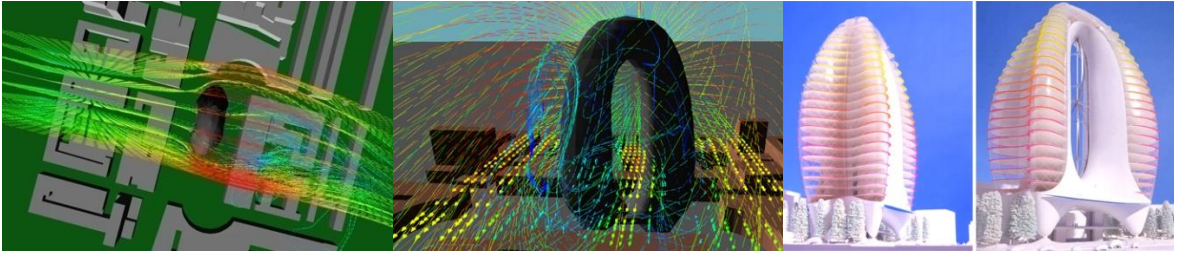
Dijital ortamda, performans ya da performansa dayalı tasarım, mekansal, strüktürel ve akustik, maliyet ve sosyal yaşam gibi bina konfor koşulları; rüzgâr, güneş, gibi dışarıdan gelen fiziksel etkenler, teknik simülasyonlar kullanılarak iyileştirilmektedir. (Oxman, 2012; Lobsinger, 2000) Performans kelimesi burada, fiziksel şartlar karşısında tasarımın göstermiş olduğu tepki olarak tanımlanmaktadır (Oxman, 2012).

Analitik hesaplamalı teknikler (Analytical computational techniques) sonlu elemanlar yöntemine (finite-element method FEM) dayanmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda, geometrik model birbirine tel örgü elemanları ile bağlanmış küçük elemanlara ayrılmaktadır.



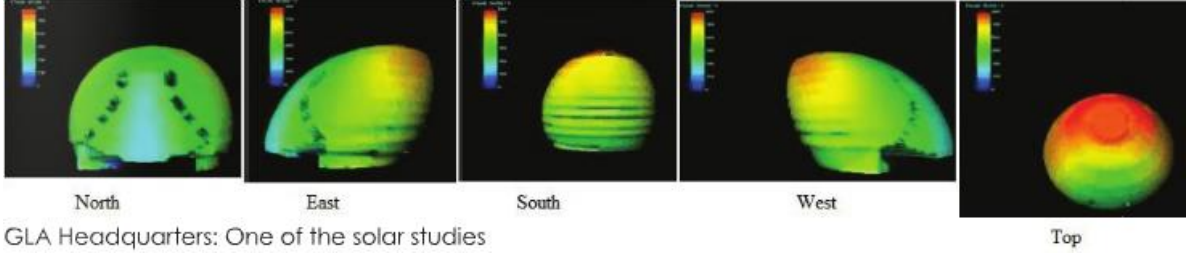
Bu şekilde binanın şekilsel karmaşıklığının akıcı dinamikler, enerji ve strüktürel performans analizleri eksiksiz bir şekilde yapılmaktadır. Önerilen tasarımın niceliksel değerlendirmeleri grafiksel çıktı ve görselleştirme teknikleri ile değerlendirilmektedir (Kolarevic, 2005).

1995 yılında gerçekleştirdiği ZED projesinde Future Systems mimarlık ofisi, çok amaçlı bir binada enerji kullanımı açısından sürdürülebilir bir sistem kurabilmek amacıyla, sayısal tabanlı akışkan dinamiği programını kullanmıştır. Performansa dayalı tasarım yöntemleri kullanılarak, cephedeki güneş kırıcılara yerleştirilen fotovoltaik birimler ve binanın merkezinde geniş bir boşluk açarak bir rüzgâr tribünü oluşturulması gibi kararlar geliştirilmiştir. Cephenin eğrisel biçimlenişi bina merkezindeki rüzgâr etkisini minimuma indirmiş ve açılan boşlukla rüzgâr kanallara ayrılmıştır. Performansa dayalı tasarım teknolojilerinin kullanımı, bina kabuğunun optimum performansa uygun biçimlendirilmesi açısından önemli olmaktadır (Şekil 31) (Kolarevic,2003).



Şekil 31. Future Systems mimari ofisi tarafından 1995 yılında akışkanlar dinamiği programı (CFD) kullanılarak gerçekleştirilen ZED projesi (URL-24, 2015)

Performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ve literatürde sıklıkla adı geçen bir diğer proje, 2002 yılında Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binasıdır (Şekil 32, 33). Bu bina, akustik performansa dayalı simülasyon programlarıyla yapılan analizlere ve yıl içindeki güneşlenme verilerine göre biçimlenmiştir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 32. Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesinin güneşlenme verilerine göre performans analizleri (URL-25, 2015)



Şekil 33. Foster ve ortakları tarafından gerçekleştirilen GLA Yönetim binası projesi Akustik verilerine göre performans analizleri (URL-25, 2015; URL-26, 2015)

Yapılan analiz sonucunda, performans analizlerine dayalı tasarım tekniklerinin mimarlık alanında iki şekilde kullanıldığı görülmektedir:

- Ana kararları verilmiş ve dijital modeli oluşturulmuş bir proje, çeşitli performans analizlerine göre test edilir ve bu sonuçlara göre revize edilir.
- Performans analizleri tasarımın erken aşamalarından itibaren tasarım girdisi olarak ele alınır ve tasarımda belirleyici rol üstlenir; mekânın biçimlenmesi bu analizlere göre gelişmektedir (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Performansa dayalı üretken tasarım araçları mimarlar ve mühendisler arasında yeni bir sinerjinin oluşmasını ve bu işbirliği ile hayal edilemeyen formların inşa edilmesini sağlayacaktır (Kolarevic, 2005).

Performansa dayalı yöntem içerisinde tasarım, bulunduğu ortamla bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Bütün olarak değerlendirilmesi, çevresel koşullarının simülasyonunun bilgisayar ortamında yapılmasını ve bununla birlikte tasarımın optimizasyonunu gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

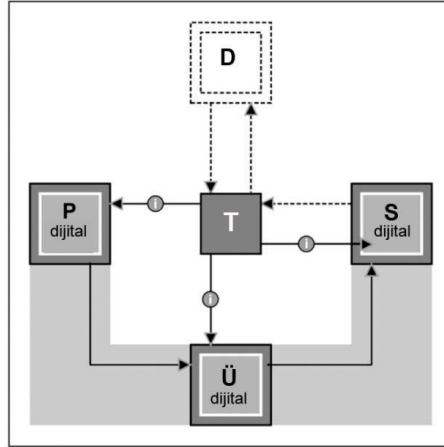
### 1.5.2.3.2. Performansa Dayalı Üretken Tasarım Yöntemi

Oxman (2006) performansa dayalı tasarım ve üretken tasarım prensiplerine dayanan, performansa dayalı üretken tasarımı “Performansa Dayalı Üretken Model (Performance-based generation models)” içerisinde tanımlamıştır.

Performansa dayalı üretken tasarım, formasyon süreci ile performansın birleştiği üretken sürece dayanmaktadır. Dijital tasarımda form oluşturmak için esas bileşen kuvvetlerdir ve strüktürel yükler, akustik, arazi koşulları, ulaşım, program gibi dış kuvvetler olarak düşünülmektedir. Bunların yanında bilginin kendisi de tasarımcı için dijital tasarım süreçlerini etkinleştirebilen ve işleyebilen bir dış kuvvet olarak düşünülmektedir (Şekil 34)(Oxman, 2006).

Tasarımcı, performansa dayalı üretken tasarımı gerçekleştirirken üç modül ile etkileşime girmektedir:

- Performans kriterlerinin tanımlandığı performans modülü,
- Üretimin tanımlandığı üretim modülü,
- Dijital temsil ile doğrudan etkileşim (Oxman, 2006).

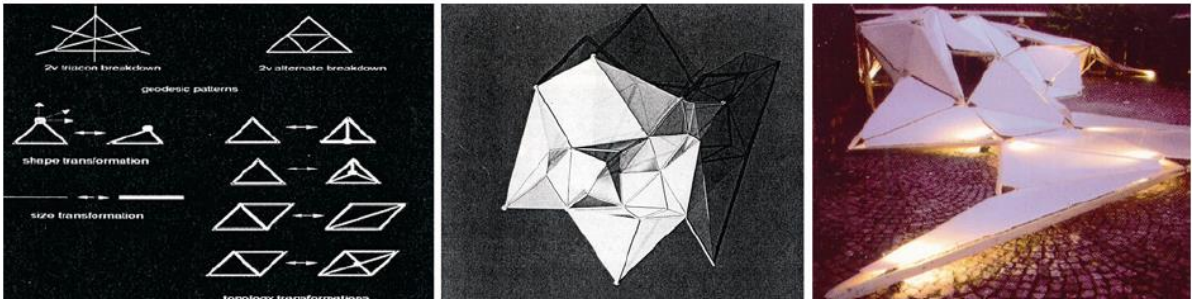


Şekil 34. Performansa Dayalı Üretim Modeli (Oxman, 2006)

Bu prensiplere ve kavramlara dayalı olarak Oxman (2006), Kristina Shea tarafından tasarlanan olasılıksal optimizasyon yazılımı olan *eifForm* programını ve bu programla tasarlanan strüktürel sistemi örnek olarak vermektedir. Aynı zamanda bu örnek literatürde sıklıkla “evrimsel sistemlere dayalı tasarım yöntemleri” başlığı altında yorumlanmaktadır.

Proje, 2002 yılında Amsterdam'da Academie van Bouwkunst'un avlusunda bir sistem prototipi olarak sergiye açılmıştır (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

Belirlenen kombinasyon ve dönüşüm kuralları doğrultusunda, *eifForm* programı strüktürel kompozisyonlar üretme özelliğine sahip bir programdır. Uzay kafes sistemindekine benzer bir biçimde, düzlemsel çatı makaslarının belirli mafsal noktalarıyla bir araya geldiği, kendini taşıyan, açıklık geçebilen ve biçimsel sürekliliğini koruyan bir taşıyıcı sistem modeli üretilmiştir. Program, tasarımcının belirlediği koordinatlara göre çeşitli strüktürel konfigürasyonlar üretmektedir (Şekil 35)(Akipek ve İnceoğlu, 2007).



Şekil 35. *eifFORM* programı strüktür üretme kuralları ve uygulanan prototip (Akipek ve İnceoğlu, 2007)

Program düzensiz seçimlere (random) dayalı yapısıyla birbirinden farklı konfigürasyonlar türetebilmektedir. Türetici sistemdeki başlangıç elemanı olarak düzlemsel çatı makasları belirlenmiştir; destek noktaları, geçilen açıklık, gerekli yükseklik, yer çekimi ve yükler gibi parametrelere ve topolojik kararlara göre bir araya gelme ve dönüşüm kuralları oluşturulmuştur; ancak bu kurallar belirli bir sırada uygulanmaz; farklı biçimler türetebilmek için, program bu kurallar arasından düzensiz seçimler yapmaktadır. Hangi kuralın hangi koşullarda uygulanabileceğiyle ilgili sınırlandırmalarla yönlendirilen ve aynı zamanda düzensiz seçimleri kontrol eden program, evrim konseptine uygun şekilde kendi kendine gelişmekte olup tasarımcıya strüktürel kompozisyon alternatifleri sunabilmektedir (Akipek ve İnceoğlu, 2007). Sistem, kural tabanlı şekil üretimini, performans değerlendirmesini, davranışsal analizi ve tahmini optimizasyonu içermektedir (Oxman, 2006).

Prototipin strüktürü, ahşap dikmelerin mafsal noktalarında çelik bulon ve kancalarla birleştirilmesiyle oluşturulduktan sonra plastik yüzeylerle kaplanmıştır (Şekil 36) (Akipek ve İnceoğlu, 2007).

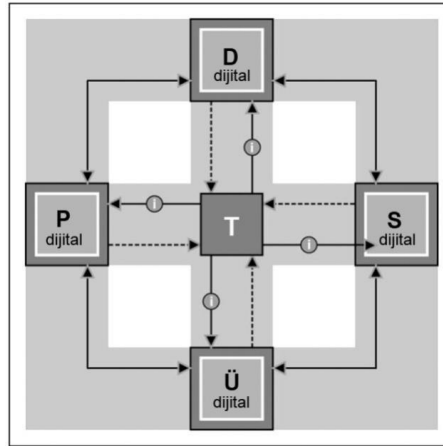


Şekil 36. *eifFORM* prototip uygulama (Akipek ve İnceoğlu, 2007)

#### 1.5.2.4. Birleşik Model (Compound Models)

Bütünleşik modeller, gelecek tasarım ortamı için önemli potansiyele sahip gelecek zaman dijital tasarım araçlarının bir sınıfını temsil etmektedir. Biçimlendirme, üretim, değerlendirme, ve performans aşamalarının hepsini içermektedir. Performans simülasyonu, üretken ve biçimlendirme aşamaları dijital ortam ile ilişkilendirilebilir (Şekil 37) (Oxman, 2006).

Bütün bu modeller, büyüyen dijital tasarım ortamının karmaşıklığının, interaktif dijital ortam fonksiyonu ve konsept aşamasından inşa aşamasına kadar geçen sürenin kısaldığını ve tasarımcının yeni rolünün araç yapıcı (tool maker) olarak değiştiğini göstermektedir (Oxman, 2006).



Şekil 37. Birleşik Model (Oxman, 2006)

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

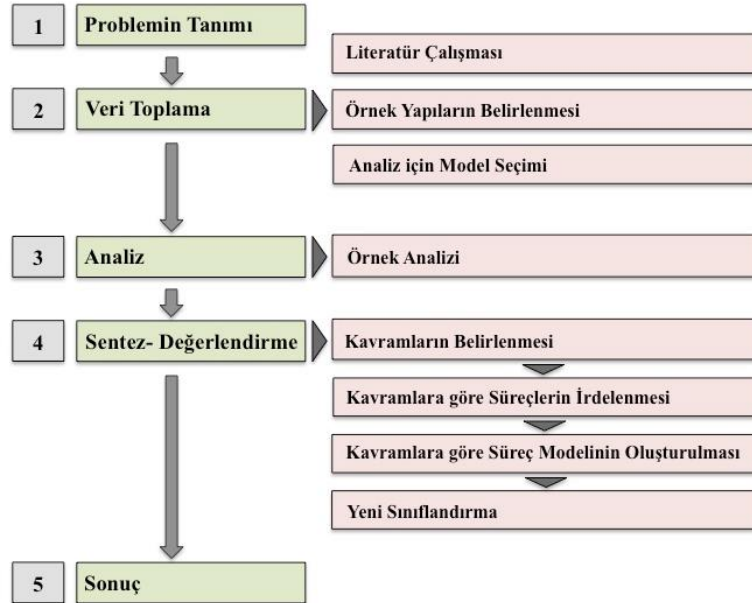
Bu bölümünde, çalışmanın amacı doğrultusunda hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait süreçleri ortaya koymak için çalışmanın kapsamı dahilinde belirlenen örneklere ait analizler yer almaktadır.

### 2.1. Çalışmanın Yöntemi

Bilgisayar teknolojilerinin sürece dahil olması beraberinde yeni yöntem ve süreçleri getirmiştir. Bu tez kapsamında hesaplamalı tasarım sürecini ortaya koymak için, mimari tasarım eğitimi ve mimari tasarım pratiğine ait projelerin süreçleri incelenmiştir.

Bu çalışmada, nitel araştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Nitel araştırma, gözlem, görüşme ve döküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırma olarak tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2008). Bu bağlamda, hesaplamalı tasarım süreçlerini inceleyen bu çalışmaya ait nasıl bir yol izleneceği Tablo 8’de verilen çalışma modeli ile belirlenmiştir.

Tablo 8. Çalışma Yönteminin Modeli



Hesaplamalı tasarım yöntemlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmada, henüz yeni oluşan literatürde çeşitli sınıflamalar bulunmakla birlikte daha sistematik olduğu için Oxman'ın (2006) yapmış olduğu sınıflama tez kapsamında esas alınmıştır. Bu amaçla, Oxman'ın (2006) "Theory and Design in the First Digital Age" adlı makalesi ile "Novel Concepts in Design" (2012) adlı makalesinde "Hesaplamalı Tasarım Modelleri" içerisinde sınıfladığı yöntemler Oxman'dan uyarlanarak tablolştırılmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. Hesaplamalı Tasarım Modelleri

Hesaplamalı Tasarım Modelleri				
CAD Modelleri	<b>Formasyon modeli</b>	<b>Üretken Modeller</b>	<b>Performansa dayalı modeller</b>	Birleşik Model
	1. Topolojik Tasarım Yöntemi	4. Biçim Gramerleri ile Tasarım Yöntemi	6. Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi	
	2. Parametrik Tasarım Yöntemi	5. Evrimsel Tasarım Yöntemi	7. Performansa Dayalı Üretken Tasarım Yöntemi	
	3. Animasyona Dayalı Tasarım Yöntemi			
				Analiz edilmeyen modeller
				Analiz edilen modeller
				Analiz edilen yöntemler

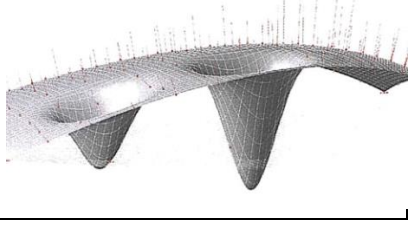

Dijital tasarım modelleri başlığı altında yer alan CAD modellerine ve Birleşik modele ait örnekler tez kapsamında analiz edilmemiştir (bkz. Tablo 9). CAD modelleri, mimari tasarım sürecinde kağıt tabanlı ortamdaki dijital ortama geçişin başlangıcı olup ürün odaklıdır. Projenin tasarlama aşaması tamamlandıktan sonra, tasarıma yönelik sunum, çizim, modelleme ve analitik değerlendirmeler dijital ortamda yapılmaktadır. Aynı zamanda CAD modelleri süreç odaklı değildir. Birleşik model ise, süreç odaklı olup, geleceğin tasarım ortamlarını temsil etmektedir. Bu model; formasyon, üretim, değerlendirme ve performans aşamalarının hepsini içermektedir. Bütün bu aşamaların bir arada kurgulandığı bir örneğe ulaşılamadığı için bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

Tez kapsamında incelenecek modellere karar verildikten sonra, Tablo 9'daki modeller içerisinde yer alan hesaplamalı tasarım yöntemleri ile ilgili araştırma gerçekleştirilmiştir.


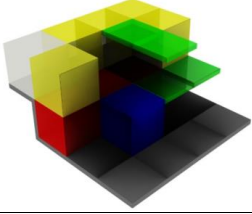
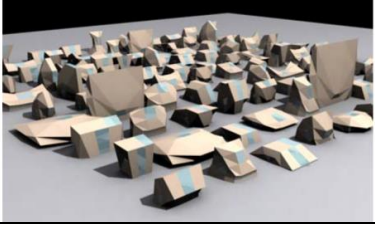
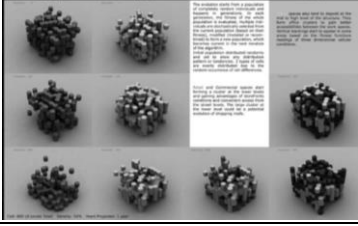

Formasyon, üretken ve performans modelleri başlığı altında sınıflandırılan yöntemler, tasarım süreci aşamaları incelenen örnekler üzerinden ortaya konulmaya çalışılmıştır. Konunun sınırsızlığı ve genişliği düşünüldüğünde, örnek seçimlerinde ağırlıklı olarak tasarımları ve tasarım süreçleri ile ilgili düşüncelerini açıklayan, yakın tarihte gerçekleştirilmiş örneklerin incelenmesine karar verilmiştir. Literatürde uygulanmış ya da deneysel çalışmalar ile ilgili yazılı kaynaklar ve internet kaynakları taranmıştır. Yapılan tüm bu taramalar sonucunda, tasarım sürecinin detaylı olarak açıklanması örnek seçiminde kriter olarak belirlenmiş ve bazı örnekler elenmiştir. Sonuç olarak formasyon modeli, üretken model ve performans modelleri başlıklarında eşit sayıda olmak üzere toplam 15 örnek incelenmiştir. Tez kapsamında süreçleri analiz edilecek örnekler Tablo 10,11 ve 12’te verilmiştir.





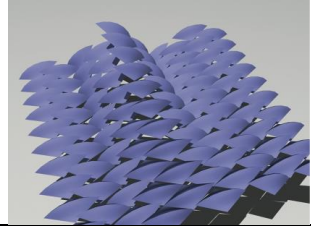
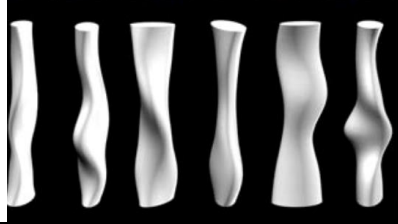
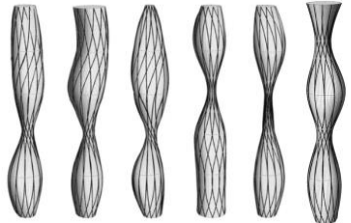
Tablo 10. Formasyon modeli süreç analizi için seçilen örnekler

<b>FORMASYON MODELİ SÜREÇ ANALİZİ- ÖRNEK PROJELER</b>		
<b>Topolojik Tasarım Yöntemi</b>		<b>Mimari Ürün Örn: 1</b>
<b>1</b>	<p>Proje Adı: Topolojik Örtü            Proje Yılı: 2010            Proje Tasarımcısı: Murat MUTLU            Kullanılan Programlar: Rhinocheros, Grasshopper</p>	
<b>Parametrik Tasarım Yöntemi</b>		<b>Mimari Ürün Örn: 2-3</b>
<b>2</b>	<p>Proje adı: Hangzhou Stadyumu            Proje Yılı: 2009-2013            Proje Tasarımcısı: NBBJ-CCDI            Kullanılan Programlar: Rhinocheros, Grasshopper, Kangaroo Physics</p>	
<b>3</b>	<p>Proje adı: Aviva Stadyum            Proje Yılı: 2006-2010            Proje Tasarımcısı: Scott Tallon Walker Mimarlık ve Populous Mimarlık Ortaklığı            Kullanılan Programlar: Generative Components, Robot Millennium, Rhinoceros, Excel</p>	
<b>Animasyona Dayalı Tasarım Yöntemi</b>		<b>Mimari Ürün Örn: 4-5</b>
<b>4</b>	<p>Proje adı: Frozen Motion            Proje Yılı: 2011            Proje Tasarımcısı: Xing Wang ve Matthijs La Roi            Kullanılan Programlar: Rhino, Grasshopper ve Grasshopper ile çalışan animasyon eklentisi</p>	
<b>5</b>	<p>Proje adı: The Sound Motion Streaks            Proje Yılı: 2012            Proje Tasarımcısı: Pınar ÇALIŞIR, İnes GAVELLI, Wei WEIWEI, Daniel WIDRIG, Fulvio WIRZ            Kullanılan Programlar: Autodesk Maya</p>	

Tablo 11. Üretken model süreç analizi için seçilen örnekler

ÜRETKEN MODEL SÜREÇ ANALİZİ – ÖRNEK PROJELER		
Biçim Gramerleri ile Tasarım		Mimari Ürün Örn: 6-7
6	<p>Proje adı: Froebel Form Türetici ile Konut Yerleşkesi Tasarımı</p> <p>Proje Yılı: 2008</p> <p>Proje Tasarımcısı: Gökhan KESKİN</p> <p>Kullanılan Programlar: 3dsMax, Maxscript, Archicad</p>	
7	<p>Proje adı: Mardin Konut Analizi ile konut Üretimi</p> <p>Proje Yılı: 2008</p> <p>Proje Tasarımcısı: Belinda TORUS</p> <p>Kullanılan Programlar: 3ds Max, MaxScript</p>	
Evrimsel Tasarım Yöntemi		Mimari Ürün Örn: 8-9-10
8	<p>Proje adı: Bütünleyici Evrimsel Tasarım</p> <p>Proje Yılı: 2008</p> <p>Proje Tasarımcısı: Philippe Marin; Jean-Claude Bignon; Hervé Lequay</p> <p>Kullanılan Programlar: 3dsMax, maxscript, Unified Day Degree method (UDD)</p>	
9	<p>Proje adı: Konut</p> <p>Proje Yılı: 2006</p> <p>Proje Tasarımcısı: Toro Narahara, Kostas Terzidis</p> <p>Kullanılan Programlar: -</p>	
10	<p>Proje adı: Stuttgart Hochschule Technik Yüksek Okulu</p> <p>Proje Yılı: 2009</p> <p>Proje Tasarımcısı: Klaus Bollinger, Manfred Grohmann, Oliver Tessmann</p> <p>Kullanılan Programlar: -</p>	

Tablo 12. Performansa dayalı model süreç analizleri için seçilen örnekler

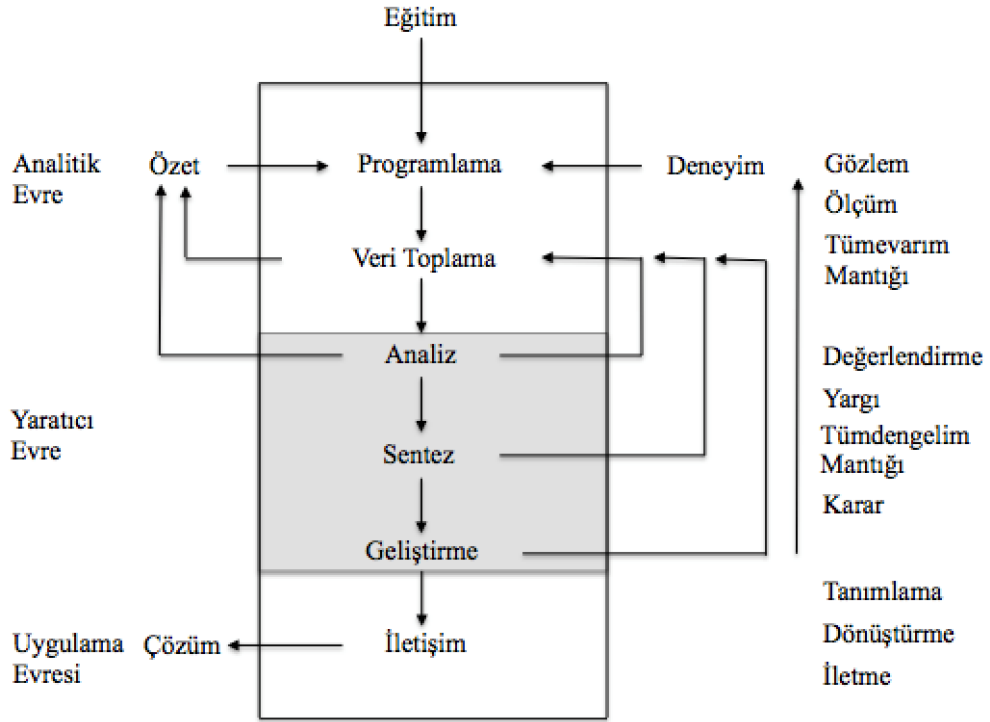
<b>PERFORMANSA DAYALI MODEL SÜREÇ ANALİZİ – ÖRNEK PROJELER</b>		
<b>Performansa Dayalı Tasarım Yöntemi</b>		Mimari Ürün Örn: 11-13
<b>11</b>	Proje adı: Kopenhag Fil Evi Proje Yılı: 2002-2008 Proje Tasarımcısı: Norman Foster And Partners +SMG Kullanılan Programlar: Microstation, CAD	
<b>12</b>	Proje adı: Dubai Towers Proje Yılı: 2010 Proje Tasarımcısı: TVS DESIGN / Almusharaf, Ayman M.; Mahjoub Elnimeir Kullanılan Programlar: Grasshopper, CSI ETABS	
<b>13</b>	Proje adı: Çift Katmanlı Strüktürel Duvar Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Rivka Oxman-Shoham Ben Arı- Roey Hamer Kullanılan Programlar: 3dMax, Reaktör (Plug-in)	
<b>Performansa Dayalı üretken Tasarım Yöntemi</b>		Mimari Ürün Örn: 14-15
<b>14</b>	Proje adı: Kule Tasarımı Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Eleftheria Fasoulaki Kullanılan Programlar: Rhino script, Ecotect, Daysim, MS Excel	
<b>15</b>	Proje adı: Newyork'ta Gökdelen Tasarımı Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Eleftheria Fasoulaki Kullanılan Programlar: Rhino script, Ecotect, MS Excel	

Bruce Archer (1965) tarafından geleneksel tasarım sürecini sistematikleştirmek için ortaya konulan model (Tablo 13), örneklerin analizini gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Broadbent (1966) ve Rowe (1998), bu modelde yer alan her bir aşama arasında dönüşümlü bir süreç işlemlerini sağlayan geri beslemelerin, bu modeli diğer modellerden ayıran özellik olduğunu vurgulamaktadır. Diğer modellerde “değerlendirme” olarak geçen aşama bu

modelde “gelişme” olarak adlandırılmıştır. Bu konuda Aksoy (1975), bilgi toplama, çözümleme (analiz), birleşim (sentez) aşamalarından sonra değerlendirme ölçüleri ile karşılaştırmalar bir tasarım kararına götürmekte ancak bu kararın da uygulanabilirlik aşamasına varabilmesi için bir optimal çözüm bulma veya geliştirme çalışması ile tamamlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu amaçla örnek analizinde kullanılacak bu modelin tasarım sürecini iyi yansıttığı düşünülmüş, “analiz-sentez-geliştirme-iletişim” aşamaları sürecin sistematikleştirilmesi için uygun bulunmuştur.

Archer’ın ortaya koyduğu model (Tablo 13) analitik, yaratıcı ve uygulama olmak üzere üç evreden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında model içerisinde yer alan analitik evreye (programlama-veri toplama) değinilmemiştir çünkü; incelenen örnekleri ele alan metinlerde bu evreyle ilgili detaylı bilgiye ulaşılamamıştır.

Tablo 13. Archer’e göre tasarım süreci (Archer, 1965)



Yaratıcı evre ve uygulama evresi içerisinde yer alan analiz-sentez-geliştirme-iletişim aşamaları örneklere ait süreçler içerisinde araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda çözümlenen aşamalarda, ortak kavramlar ve teknikler olduğu görülmüştür. Çalışmanın 3. kısmını oluşturan bulgular ve irdelemeler bölümünde, tespit edilen kavramlar ve teknikler

tanımlanmıştır. Daha sonra bunların süreçler içerisinde hangi aşamada ve nasıl tanımlandığı açıklanmıştır. Burada amaç ulaşılan kavramların ve tekniklerin hangi süreçte nasıl gerçekleştiğine ulaşmaktır. Yapılan bu incelemeler sonucunda kavramların ve tekniklerin hangi aşamada gerçekleştiği göz önünde bulundurularak, tüm örneklerin süreçlerini kapsayan bir model oluşturulmuştur.

İncelenen örneklerde birden çok yöntem kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca, farklı modeller içerisinde aynı yöntemlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu amaçla Oxman'a (2006) ait model (Tablo 9) yeniden yorumlanmıştır.

Tüm bu araştırmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek sonuç bölümünde sunulmuştur.

## **2.2. Örnek Projelere Ait Tasarım Süreçlerinin Analizi**

Bu başlık altında formasyon modeli, üretken model ve performans modeli süreçleri başlığı altında toplam 15 örnek, Archer'ın modelinde yaratıcı evre ve uygulama evresi içerisinde yer alan analiz-sentez-geliştirme-iletişim aşamalarına göre analiz edilmiştir.

### **2.2.1. Formasyon Modeli Süreç Analizleri**

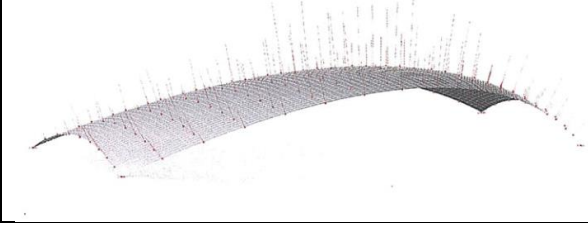
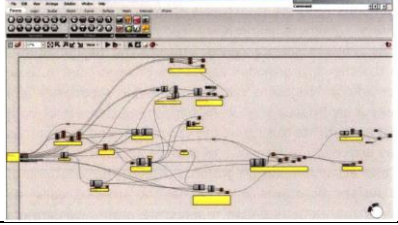
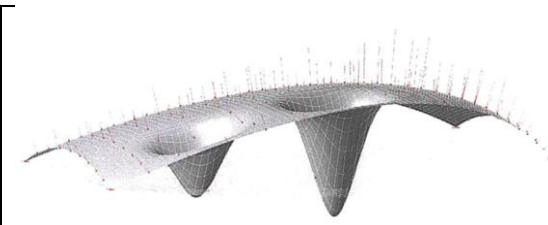
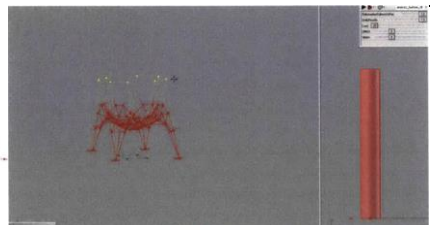
Oxman (2006; 2012) formasyon modeli içerisinde; topolojik tasarım, parametrik tasarım, animasyona dayalı tasarım yöntemlerini sınıflandırmıştır. Sınıflandırma içerisinde yer alan yöntemler kullanılarak tasarlanmış toplam 5 örnek incelenmiştir. Bunlar;

- Topolojik Örtü (Deneysel- Topolojik tasarım yöntemi)
  - Hangzhou Stadyumu (Uygulama- Parametrik tasarım yöntemi)
  - Aviva Stadyumu (Uygulama- Parametrik tasarım yöntemi)
  - Frozen Motion (Deneysel- Animasyona dayalı tasarım yöntemi)
  - The Sound Motion Streaks (Deneysel- Animasyona dayalı tasarım yöntemi)
- örnekleri incelenmiştir. Örnekler, analiz-sentez-geliştirme-iletişim aşamalarına göre analiz edilmiştir.

### 2.2.1.1. Örnek 1: Topolojik Örtü

Formasyon modeli içerisinde yer alan topolojik tasarım yöntemine örnek olarak seçilmiştir. Süreç içerisinde, oluşturulan yüzeye, performans kriterleri doğrultusunda oylum kazandırmak amaçlanmıştır.

Tablo 14. Topolojik örtü deneysel çalışması

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / FORMASYON SÜRECİ / TOPOLOJİK TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 1: TOPOLOJİK ÖRTÜ (DENEYSEL)</b>	
	Proje Yılı: 2010 Proje Tasarımcısı: Murat MUTLU Kullanılan Yöntem: Topolojik Tasarım Kullanılan Programlar: Rhinocheros, Grasshopper	
	<b>AÇIKLAMA</b>	
	MIT üniversitesinde gerçekleştirilen “Generative Morphologies of Architectural Organization Matter Force Field” adlı yüksek lisans tez çalışmasında “Continuous Topology Formations” başlığı altında gerçekleştirilen bir çalışmadır. Bu deneysel çalışmada, düz yüzeye sahip geometriye strüktürel performans kriteri düşünülerek oylum kazandırılması amaçlanmıştır.	
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>	
		
Yüzey üzerindeki noktalar (Mutlu, 2010)	Grasshopper ekranı (Mutlu, 2010)	
		
Görünüş (Mutlu, 2010)		

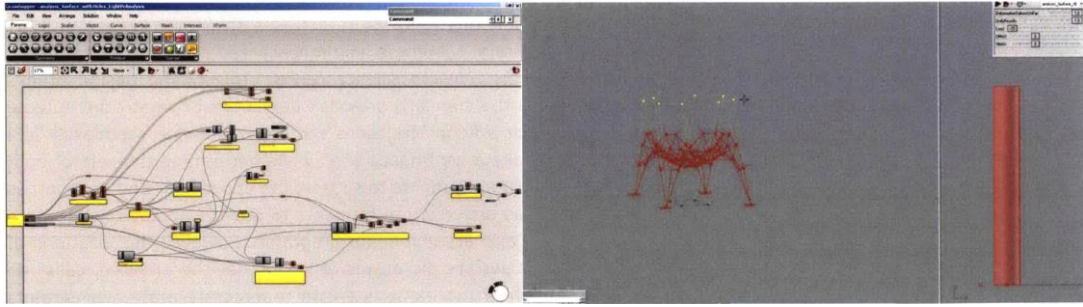
- Yaratıcı Evre
- Analiz Aşaması

Sürekli topolojik formasyonun araştırıldığı bu çalışmada problemin tanımı yapılmış çözüm için gereken yöntem belirlenmiştir. Hangi araçların ve tekniklerin kullanılacağına karar verilmiştir. Tasarım içerikleri ve değişkenleri belirlenmiş toplanan veriler analiz edilmiştir.

- Sentez Aşaması

Bu araştıma için, ayrı bir analiz aracı programlamak yerine, tasarlarken değerlendirmeyi de gerçekleştirmek için Rhino programına plug-in (eklenti) kodu yazılmıştır. Ölçüleri belirlenmiş matris yüzey üzerinde topolojik yüzeyler oluşturulması amaçlanmıştır. Bu yüzden sentez aşamasında ilk olarak matrisin geometrik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra süreç içerisinde gerekli olan veriler programa girilmiştir.

Formun oluşumu için ilk olarak programa düşey yüklemeler, düğüm noktalarının analiz sayıları, destek noktalarının sayısı ve onların yerleri kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Şekil 38’de sağ tarafta yer alan kolon, yüzey üzerindeki deformasyon miktarının toplamını göstermektedir (Mutlu, 2010).

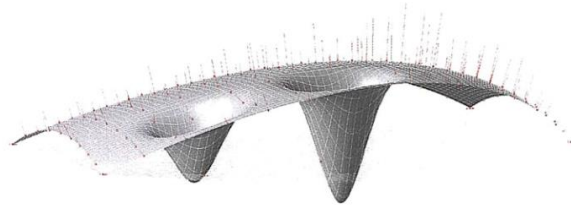


Şekil 38. Grasshopper formatında analiz araçları ve sürekli topolojik formasyon (Mutlu, 2010)

Yüzey üzerinde, kavis benzeri ve yassı bölümler gibi düzenlemeler olduğunda, deformasyon miktarı azalmaya başlar. Bu aşamada düşey yüklerin, yüzeyin “z” yönünde derinleşmesiyle oluşan oylumlar sayesinde zemine daha rahat aktarıldığı düşünülmektedir. Yüklemeler, destek noktalarından, analiz noktalarını birleştiren her bir çatı makası boyunca aktarılmaktadır. Bölümlenmelerin miktarı ve yüzey, parametrik olarak ayarlanmıştır. Farklı aşamalarda oylumsal hacimler, farklı çeşitlenmeler oluşturmaktadır. Gauss Elimination

method (Gauss Eleme Yöntemi), yüzeyi manyetik alan gücü ile ayrıştırmak için kullanılmıştır (Mutlu, 2010).

Koordinat düzlenminde 'z' değeri arttıkça cosinus değeri de artacak bu artış yeni düzenlenişi sağlamlaştıracaktır. Burada, 'z' değeri değişken olarak tanımlanmıştır. Yüksekliğin artması strüktürel düzenlenişin iyi olmasını sağlamıştır. İstenilen yüksekliğe ulaşıldığında, yüzey strüktürü üzerindeki gerginlik azalmış, gerçekleştirilen topolojik değişiklikler ile transfer yükler oluşan yeni bölümlerden aktarılmıştır. Aşağı doğru olan topolojik derinlikler kolon gibi hareket etmektedir (Şekil 39) (Mutlu, 2010).



Şekil 39. Sürekli topolojik formasyon, yüzey-kabuk-kolon formasyonu (Mutlu, 2010)

Bu deneysel çalışmada kolonların levha şeklindeki strüktürel yapısı, mimari elemanlarla bütünleşik değildir. Levha (slab), yüzeyin yukarı ve aşağı sınırını tanımlamaktadır. Bunun dışında sürekli topolojik yüzeylerin strüktürel ve mimari sistem olarak çalışmasını sağlamak Zaha Hadid'in ilk projelerinde görülmektedir (Mutlu, 2010).



Şekil 40. Phaeno Science Center (2000-2005), topolojik strüktürlerin hem strüktürel eleman hem de mimari eleman olarak kullanılması (URL- 27, 2015)

Phaeno Science Center projesi (Şekil 40), bir duvarı ya da bir katı neyin oluşturduğuna dair geleneksel standart tanımları yıkmaktadır. Koni ve levha, üst katı ve çatıyı desteklemek

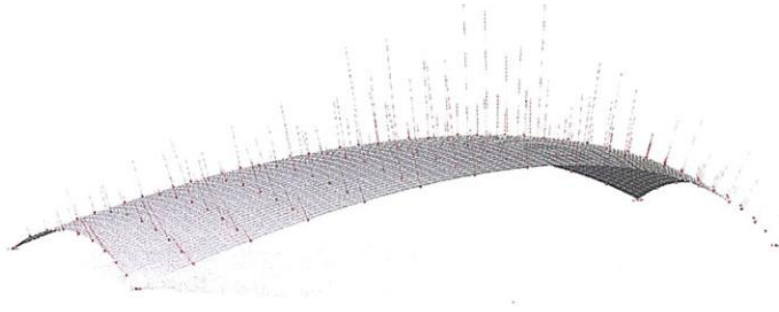


için strüktürel eleman görevi görürken aynı zamanda üst kata giriş sağlamak ve programları yerleştirmek için mimari eleman rolünü üstlenerek sorunsuz bir şekilde devamlı bir ağ oluşturmaktadır. Fakat yüzeylerin topolojik olarak aşağı doğru oylum oluşturmaları ya da mimarların dediği gibi ‘konilerin’ konumları durum kısıtlamalarını ve mimari organizasyonu bütünleştirmede aynı amacı gütmeyebilir. Tasarım konsepti lokasyonlarının sadece arazi içerisinde yer alan yollar ve manzara yönü tarafından kısıtlanmasını önerir (Mutlu, 2010).

Oylumların yerleşimi arazi içerisindeki yollar ve manzara yönüne göre gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında matris, bölümlenme, bölümlenme numarası, yüzeyi/hacmi noktalarla bölmek gibi bir çok kriter arasında ilişkisellik kurgulanmıştır.

Matrisi ve matris üzerinde yapılacak topolojik bölümlenmeleri oluşturmak için bir dizi kural tanımlanmıştır. Yüzey/hacim, bölümlenme sayıları (ölçü;  $m \times n$ ), kuvvet kolonu matrisi (ölçü;  $1 \times (m \times n)$ ), bölümlenme numarasını vermek, yüzeyi/hacmi noktalarla bölmek (noktaların sayısı;  $m \times n$ ), tanımlanan noktalar arasında parça üretmek (parçaların sayısı;  $m \times (n+1+n \times (m+1))$ ), destek noktalarını seçmek ( $m \times n$ 'den az olmak zorunda),... sıralanmış noktaların dizilişini kullanarak sıfır değerdeki matrisin başlangıcını oluştur (matris ölçüsü  $3 \times m \times 3 \times n$ ) gibi belli kurallar tanımlanmıştır (Mutlu, 2010).

Parametrik olarak tanımlanan yüzey hacmi üzerinde Gauss Elimination method kullanılarak devamlı topolojik formasyonlar gerçekleştirilmiştir. Güçler simülasyonu ile düğüm noktaları özel noktalar ile birleştirilmekte ve topolojik deformasyon gerçekleştirilmektedir (Şekil 41) (Mutlu, 2010). Bu çalışmada simülasyon erken tasarım aşamasında formun oluşumu için kullanılmıştır.



Şekil 41. Güçler simülasyonu (Mutlu, 2010)

- Geliştirme Aşaması

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada formun topolojik deformasyonu araştırılmış seçilen tek bir form geliştirilmemiştir.

- Uygulama Evresi

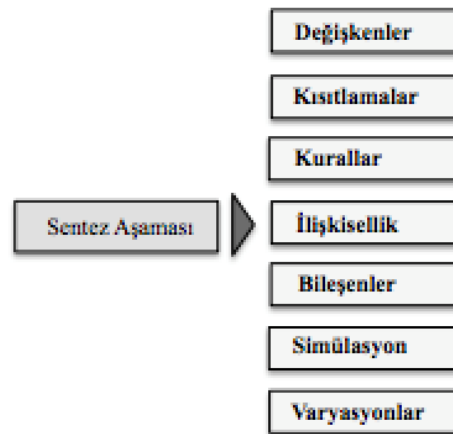
- İletişim Aşaması

Araştırma projesi olarak gerçekleştirilen bu çalışmada uygulama evresine yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla tek bir sonuç üzerinden gidilmemiş ve dökümantasyon gerçekleştirilmemiştir.

- Değerlendirme

Topolojik tasarım yöntemi ve parametrik tasarım yönteminin kullanıldığı deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmayı özetlemek gerekirse, sentez aşaması içerisinde tündengelim mantığıyla form oluşturulmuştur. Çünkü tasarımcı bütün bir örtü tasarlamıştır. Dolayısıyla Archer'ın modelinde (bkz. Tablo 10) sentez aşamasında yer alan tündengelim mantığı burada da görülmektedir. Tasarımcı sürece başlarken mevcut yazılım içerisinde kendi aracını oluşturmuştur. Simülasyon teknikleri sentez aşamasında formasyon amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca, sürekli topolojik formasyonun araştırıldığı bu çalışmada geliştirilmiş bir ürün bulunmamaktadır. İncelenen süreç içerisinde, değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşen, varyasyon gibi kavramlar ve simülasyon teknikleri belirlenmiştir (Tablo 15).

Tablo15. Topolojik örtü çalışması sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.2.1.2. Örnek 2: Hangzhou Stadyumu

Parametrik tasarım yöntemine örnek olarak analiz edilen bu çalışma 2013 yılında tamamlanmıştır.

Tablo 16. Hangzhou Stadyumu

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / FORMASYON MODELİ / PARAMETRİK TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 2: HANGZHOU STADYUMU</b>	
	Proje Yılı: 2009-2013 Proje Tasarımcısı: NBBJ-CCDI Kullanılan Yöntem: Parametrik Tasarım Kullanılan Programlar: Rhinocheros, Grasshopper, Kangaroo Physics	
	<b>AÇIKLAMA</b>	
	<p>İki farklı ülkede yer alan, NBBJ ve CCDI ofisleri tarafından tasarlanan Çin Hangzhou'da yapılan Hangzhou stadyumu proje ekibinde farklı disiplinlerden katılımcılar yer almaktadır. Hesaplamalı tasarım araçlarının etkin bir şekilde kullanıldığı süreçte, mimari tasarım, yapı mühendisliği ve uygulama çizimlerini yapmak üzere üç ayrı ekip kurulmuştur. NBBJ ve CCDI tarafından tasarlanan, 80.000 kişi kapasiteli, tenis merkezi, yüzme havuzu, kongre ve sergi merkezini içeren, atletik faaliyetlere izin veren Hangzhou Stadyumu, Qian Tang nehir kıyısında canlı, yaya merkezli bir çekim alanı oluşturmaktadır. Projenin konsepti, nehir kıyısından gelen peyzajın akan formlarından oluşan alanın ana kurgusundan gelişmiştir. Proje, yol ağları, bahçeler ve ticaret merkezleri şehre ihtiyaç duyduğu kamusal alanları sağlamaktadır (Miller, 2009).</p>	
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>	
Görünüş (URL-28, 2015)	Görünüş (Miller, 2011)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Problemin tanımı ortaya konulmuş ihtiyaç programına göre çıkarımlar yapılmıştır. 80.000 oturma kapasiteli, yüzme havuzu, kongre ve sergi merkezini içeren, atletik faaliyetler gerçekleştirilecek şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. Qian Tang nehri kıyısında canlı, yaya merkezli bir çekim alanı oluşturmak hedeflenmiştir. Konsept, nehir kıyısından gelen peyzajın akan formlarından oluşan alanın ana kurgusundan geliştirilmiştir. Proje, yol ağları, bahçeler ve plazalarla şehre ihtiyaç duyduğu kamusal alanı sağlamaktadır (Miller, 2009). Problemin tanımı ortaya konulduktan sonra yöntem olarak parametrik tasarım belirlenmiştir.

- Sentez Aşaması

Tasarım probleminin çözümü için seçeneklerin araştırıldığı, toplanan verilerin değerlendirilerek tasarım ürününün/ürünlerinin ortaya konulduğu aşamadır. Archer'ın tasarım süreci modelinde sentez aşaması, yaratıcı evre içerisinde yer alır. Bu evre içerisinde bir yargıya varılmakta ve tümdengelim mantığı kullanılmaktadır.

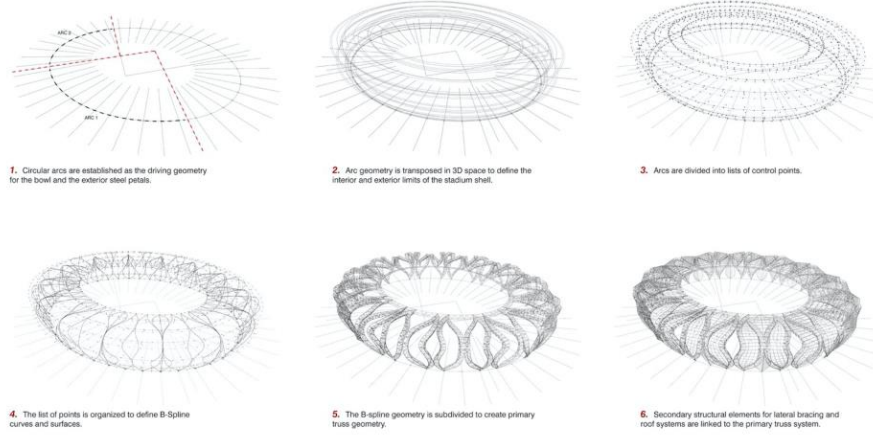
Bu çalışmada, sentez aşaması içerisinde ilk olarak tasarımcı tarafından parametrik tanımlama gerçekleştirilmekte ve oluşan kabuk geometrisi kontrol edilmektedir. Hangzhou stadyumunun geometrik konsepti, hassas bir copy-mirror işlemi sonucu ortaya çıkan simetrik 3d b-spline desenleri (pattern) çalışılarak türetilmiştir (URL- 29, 2015).

Noktasal bulutun parametrik tanımlanması ile form kontrol altında tutulmaktadır. Noktasal bulut için, sıralama ve dönüştürme komutları parametrik algoritma içerisine değişken olarak eklenmiştir. Stadın saha alanı için en uygun görüş açısını elde etmek amacıyla çok katmanlı saha kesitleri üretebilen, tipik stadyum standartlarına dayalı saha geliştirici bir kod yazılmıştır. Kod, güncel görseller yaratmak için tribünün kesitini plandaki belirli bir eğri doğrultusunda uzatmaktadır. Oluşturulan dış kabuk dairesel bir yayın etrafını çevreleyen 24 çatı makasından oluşmaktadır (Miller, 2009).

Dairesel yaylar ile hareket eden noktasal bulut ve NURBS yüzeyleri için kontrol sistemleri oluşturulmuştur. Başlangıçtaki yüzey geometrisi, sonraki aşamalarda kabuk içerisindeki karmaşıklığı düzenlemek için kısıtlama sistemi olarak algoritma içerisine eklenmiştir (Miller, 2011).

Tasarımcı geometrik tanımlama için girdiği parametrelere belli kurallar uygulayarak forma ulaşmaktadır (Şekil 42). Oyun alanında mesafe ve görüş açısı standartları gibi parametreler tasarımcı tarafından ayarlanabilmektedir. Bunun dışında oturma kapasitesi,

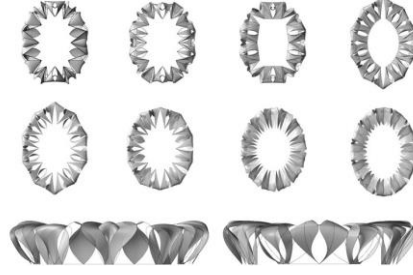
oturma alanlarının açıları, 2d tribün kesiti ve diğer tasarım kriterlerine ait veriler de kullanıcıya kodla sağlanmaktadır (Miller, 2009).



Şekil 42. Geometrinin oluşturulması (URL-30, 2015)

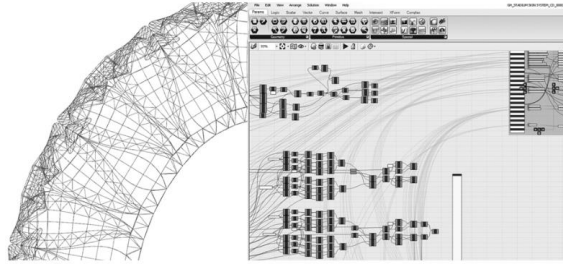
Tasarım süreci içerisinde gelişmiş parametrik araçlar özelleştirilmiş taç yaprak geometrinin, oturma alanlarının, kafe yapısının ve saha çizgisinin eş zamanlı geliştirilebilmesi için kullanılmıştır. Projede oturma alanlarını uzatmak için parametrik sistem kurulmuş ve dış taç yaprak strüktür saha alanı ile ilişkisel olarak kurgulanmıştır. Bu durum, oturma bölümü parametrelerinin değişmesine dayalı olarak taç yaprak sisteminin adapte olmasına ve dönüşmesine olanak vermiştir. Aynı zamanda, oturma alanı sayısında veya görüş açısında gerçekleşen değişiklik sonucu dış kabuğun yeni sahaya uygun hale getirilmesi kolaylaşmıştır. Sistemleri parametrik olarak birbirine bağlamak, bütünsel olarak bütün ana tasarım elemanları arasındaki ilişkileri araştırmaya olanak tanımıştır (Miller, 2009). Tanımlanan tüm bu değişkenler, kısıtlamalar, kurallar bileşen olarak tanımlanmıştır.

Proje içerisinde taç yaprağı şeklindeki modüllerin sayısının artırılması ya da azaltılması ile varyasyonlar (form çeşitlemeleri) elde edilmiştir (Şekil 43).



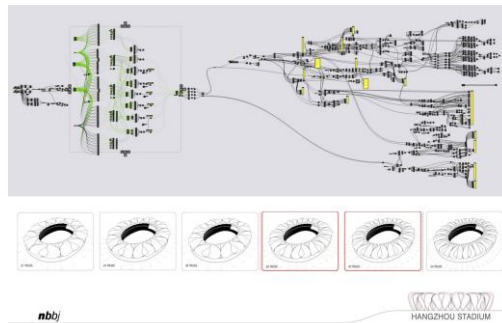
Şekil 43. Hanzhou Stadyumu Kabuk formu varyasyonları (URL-30, 2015)

Strüktür mühendisleri tarafından, merkez noktası verilmiş her bir elemanın boyutları NBBJ'nin parametrik modeli üzerinden hesaplanmıştır (Şekil 44) (Miller, 2011).



Şekil 44. Parametrik olarak tanımlanmış strüktürel model (Miller, 2010)

Geometrik, strüktürel ve modüler, malzeme tabanlı ve programatik parametreler kısıtlamalar doğrultusunda geometrinin optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir (Şekil 45) (Miller, 2009). Bu evre sentez aşaması içerisinde düşünülmüştür çünkü, form bulma çalışmaları devam etmektedir. Henüz netleştirilmeyen formların optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.



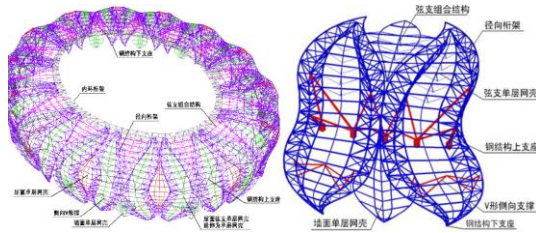
Şekil 45. Hanzhou Stadyumunun optimizasyonu (URL-30, 2015)

- Geliştirme Aşaması

Bu aşama içerisinde, performans kriterleri doğrultusunda formun geliştirildiği aşamadır. Estetik, gölgeleme, suyun tahliye edilmesi, strüktürel performans, teknik özellikler gibi değerlendirme kriterleri formun son halini almasında etkili olmaktadır (Miller, 2011). Bu kriterlerin dijital ortamda forma yansımaları simülasyon araçlarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu örnekte öne çıkan geliştirme aşaması kavramı simülasyon ve optimizasyondur.

Deneysel fizik motoru, yerçekiminin strüktürel makaslar üzerindeki etkisini simülasyon ile test etmek için kullanılmıştır. Kangaroo physics görselleştirme komutu ile, kuvvetlerin strüktür üzerinde nasıl hareket ettiği görüntülenmiştir. Aynı zamanda kabuk üzerindeki gerilme ve basınç kuvvetleri görselleştirilmiştir (Miller, 2011).

Yüzey analizi, kabuğun eğim derecesini ölçmek ve görselleştirmek için parametrik algoritma içerisine eklenmiştir. Taç yaprağın çizgili yüzeyi, yüzeyin UV koordinasyonları kullanılarak kaplanmıştır. Her bir panel, düzlemsellik için test edilmiştir. Kaplama sistemi parametrik olarak modellenmiştir (Şekil 46) (Miller, 2011). Kullanılan bu teknikler sonucunda formun optimizasyonu gerçekleşmektedir.



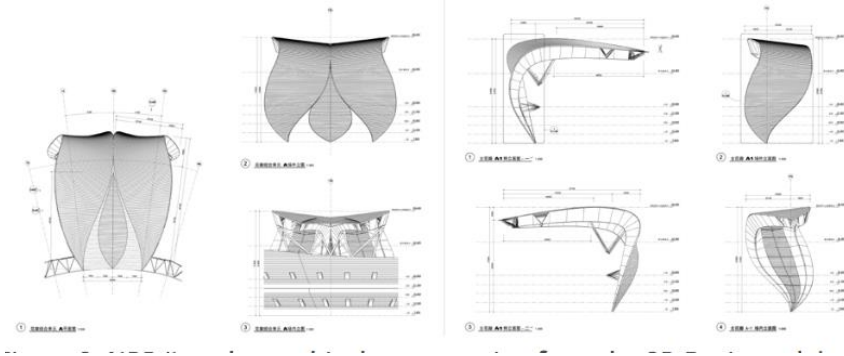
Şekil 46. Kangaroo fizik motorunun kullanılması ile, makas üzerindeki yüklerin hesaplanması (Miller, 2010)

- Uygulama Evresi

- İletişim Aşaması

Uygulama projelerinin hazırlandığı aşama olarak değerlendirilmektedir. Bu örnekte üreticinin sorunsuz bir şekilde yapıyı uygulaması için çizimlerin dökümantasyonu (belgeleme) gerçekleştirilmiştir. Parametrik algoritma kaplama ve malzeme metrajlarını çıkarmak için büyük kolaylık sağlamıştır. Dökümantasyonu rasyonelleştirme olarak da yorumlayabiliriz çünkü; belgeleme gerçekleştirilirken aslında çizimlerin ayrıntıları, üretim sırasında forma ait tüm detayların oluşum aşamaları ayrıntılı olarak hazırlanmıştır.

Grasshopper algoritması, form gelişimi ve strüktürel tasarım için ortak belgeleme aracı olmuştur. Çalışmalar 3D DWG olarak kaydedilmiştir. Tasarım ekibi bu 3D bilgileri daha sonra Autodesk Revit modeline dönüştürmüşlerdir (Şekil 47).



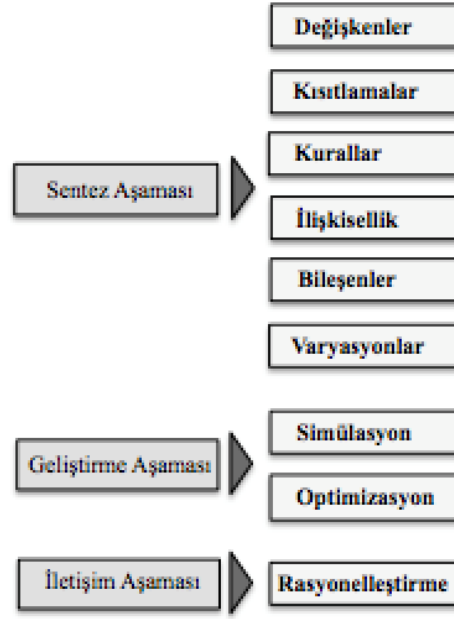
Şekil 47. Grasshopper ile üretilmiş tanımlı geometrinin Revit programında çizimlerinin hazırlanması (Miller, 2010)

#### ➤ Değerlendirme

Bu çalışma içerisinde parametrik tasarım, performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılmıştır. Sentez aşaması içerisinde ise tasarım tümevarım mantığıyla gerçekleştirilmiştir. Çünkü, bütün alt parçaları oluşturan taç yapraklardan oluşmaktadır. Sentez aşaması içerisinde şekilsel optimizasyon gerçekleştirilirken, forma karar verildikten sonra geliştirme aşamasında simülasyon teknikleri kullanılarak performans kriterlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tamamlanan projenin dökümantasyonu iletişim aşamasında gerçekleştirilmiştir. Sürece ait incelenen aşamalarda belli kavramlar ve tekniklerin yer aldığı görülmüştür (Tablo 17).




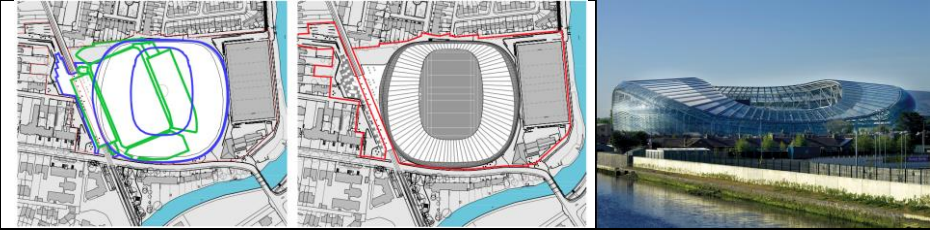
Tablo 17. Hanzhou Stadyumu sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.2.1.3. Örnek 3: Aviva Stadyumu

Parametrik tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanan Aviva stadyumu 2010 yılında tamamlanmıştır.

Tablo 18. Aviva Stadyumu

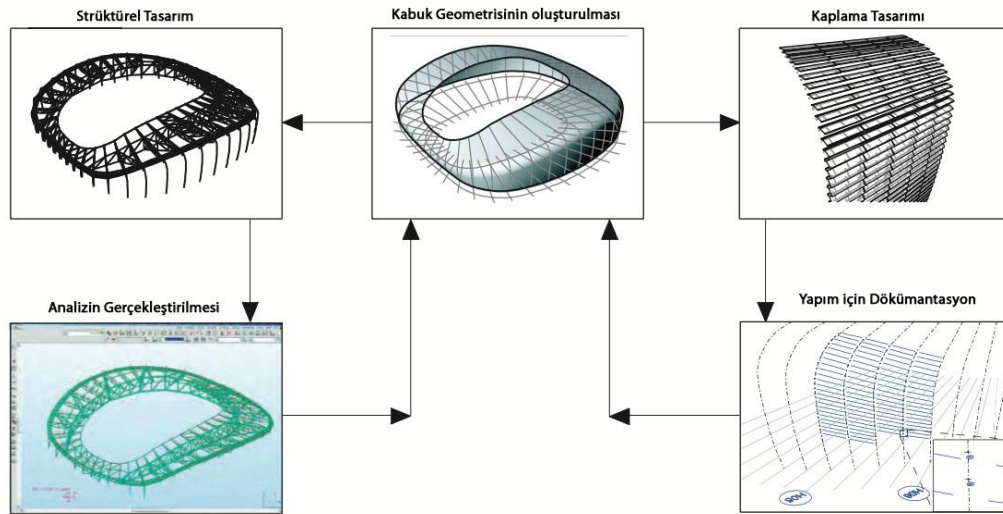
HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / FORMASYON MODELİ / PARAMETRİK TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 3: AVIVA STADYUMU</b>
	Proje Yılı: 2006-2010 Proje Tasarımcısı: Scott Tallon Walker Mimarlık ve Populous Mimarlık Ortaklığı Kullanılan Yöntem: Parametrik Tasarım Kullanılan Programlar: Generative Components, Robot Millennium, Rhinoceros, Excel, Solid Works.
	<b>AÇIKLAMA</b>
	Eski bir stadyum yapısının zaman içerisinde yetersiz kalması sonucunda, aynı yerde yeni bir stadyum yapılması kararı alınmıştır (URL-31, 2015). Stadyum arazisi, kuzey ve güney yönlerinde düşük katlı konut grubu ile çevrili sıkıntılı bir alandır. Bu durum, bazı planlama kısıtlamalarına neden olmaktadır. Stadyumun yüksekliği 50 metre olup kuzey yönü gelişebilirlik için planlanmıştır. Batı yönündeki genişleme metro hattı bağlantılarından dolayı sınırlıdır. Sıkışık alanda yer alıp çevredeki yapılara olan etkisini en aza indirmek amacıyla kabuk şeffaf olarak tasarlanmıştır (Hudson vd, 2011). 50.000 oturma kapasiteli bir stadyum olarak düşünülmüştür. Çim sahanın yeterli ışık almasını sağlamak için, kapsamlı gün ışığı analizleri yapılmıştır (Hudson, 2010).
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Stadyum arazisi (sağdaki), Önerilen stadium (Hudson, 2010)	
	
Vaziyet Planı (URL-31, 2015) <span style="float: right;">Görünüş (URL-32, 2015)</span>	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Eski bir stadyum yapısının zaman içerisinde yetersiz kalması sonucunda, aynı yerde yeni bir stadyum yapılması kararı alınmıştır (URL-1, 2015). Stadyum arazisi, kuzey ve güney yönlerinde düşük katlı konut grubu ile çevrili sıkıntılı bir alandır. Bu durum, bazı planlama kısıtlamalarına neden olmaktadır. Stadyumun yüksekliği 50 metre olup kuzey yönü gelişebilirlik için planlanmıştır (Hudson, 2010). Bu aşamada arazi analizleri gerçekleştirilmiş, çevredeki yapı yüksekliklerinin tasarımda etkili olması aynı zamanda stadyumun, mevcut binalar üzerindeki etkisinin azaltılması amaçlanmıştır (Hudson vd, 2011).

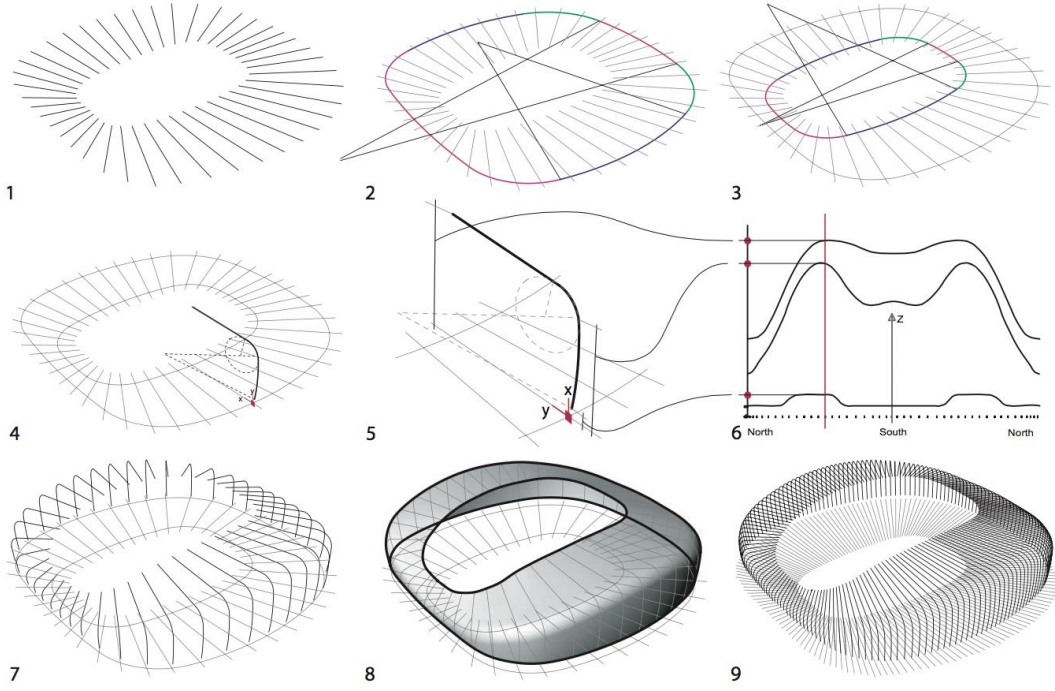
- Sentez Aşaması

Aviva stadyumunun kabuk formu, strüktürü, detayları ve üretim süreçleri içerisinde parametrik tasarım araçları etkili bir şekilde kullanılmıştır (Hudson vd, 2011). Formun oluşması için kullanılan parametrik süreç, dört aşama olarak tanımlanmıştır (Şekil 48). Stadyumu oluşturan kabuk geometrisi; sayısal (numerical) parametreler, statik geometri dosyası ve Generative Components komut dosyası olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Parametreler ya da sayısal bilgiler, Excel tablolarında yer almakta ve Generative Components yazılımında komut dosyası olarak kullanılmaktadır. Statik geometri, CAD dosyasında yer almaktadır. Başlangıç bilgisi ve kurallar ise komut dosyasına tanımlanmıştır (Hudson, 2010).



Şekil 48. Süreç strüktürü (Hudson, 2010)

Geometrik formun oluşması için ilk olarak, çatının strüktürü ile uyuşan ışınsal grid CAD dosyasından alınmıştır (Şekil 49-1). Parametrik olarak kontrol edilen sekiz tane teğetsel yay kısıtlama olarak stadyumun taban alanı olarak tanımlanmıştır (Şekil 49-2). Aynı sistem çatının iç kenar noktasını tanımlamak için kullanılmıştır (Şekil 49-3). Işınsal grid ve taban alanının kesişimi, her bir bölümsel eğrinin orjini olarak tanımlanmıştır (Şekil 49-4). Her bölüm, teğetle kesişen düz çizgi ve iki yay kapsamaktadır (Şekil 49-5) (Hudson, 2010).



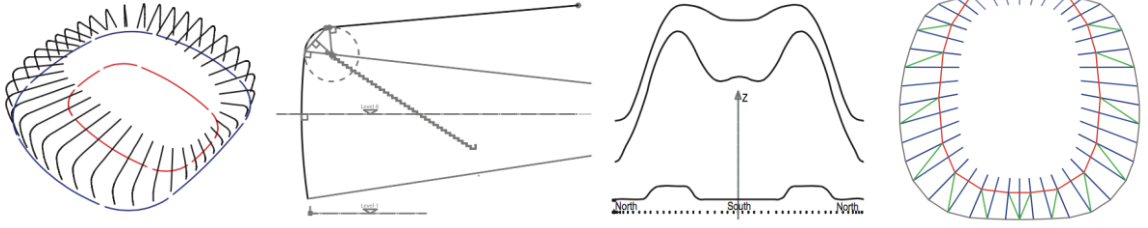
Şekil 49. Geometrinin oluşturulması ve kontrol yöntemi (Hudson, 2010)

Her bölüm için dik koordinatlar, üç tane düzlemsel kontrol eğrisi ile tanımlanmıştır (Şekil 49-6). Yatay koordinatlar, ışınsal gridin kesişmesi, taban alanı eğrisi ve iç çatı kenar eğrisinin kesişimi ile tanımlanmıştır. Her bir bölümsel eğri bir yüzeyi oluşturmaktadır (Şekil 49-7-8). Işınsal grid değişken olarak tanımlanmıştır. Çünkü ışınsal grid daha fazla grid çizgisi ile yandan tanımlandığında, devamlı kontrol eğrisi, daha fazla bölüm eğrisi oluşturmaktadır (Şekil 49-9) (Hudson, 2010).

Kabuk sistem tasarlandıktan sonra, uygun strüktürün tasarlanabilmesi için strüktür mühendisleri “Robot Millennium” adındaki strüktürel analiz programıyla uyumlu bir şekilde çalışan Excel dosyası üzerinden parametrik model oluşturmuştur (Stepherd vd., 2011).

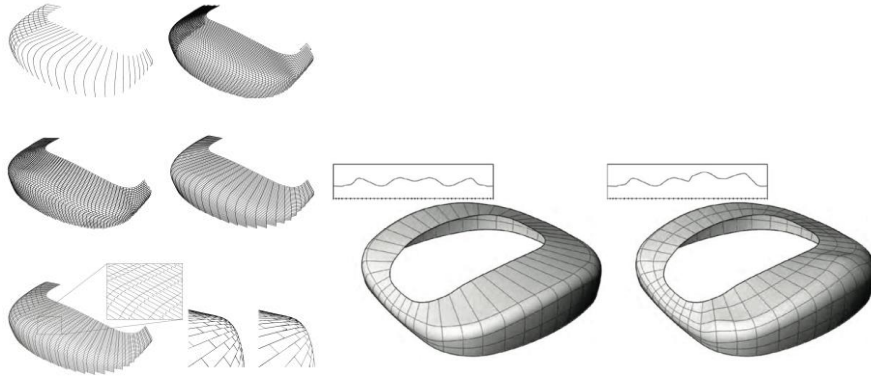
Süreç içerisinde, tabanda ııınsal gridin oluşturulması, sekiz tane teğetsel yayın taban alanına tanımlaması, kabuk yüzeyinin eğim açıları gibi kurallar (Şekil 50) tanımlanmıştır. (Stepherd vd., 2011).

Kaplama tasarımı, geometrik ilişkiler ile tanımlanan modelin üretimini içermekte aynı zamanda çatı ve cephe geometrisini etkileyen parametrelerin kontrolüne imkan tanımaktadır. Kaplama tasarımı, kabuk geometrisine bağlı olarak gelişmektedir (Şekil 50) (Hudson, 2008).



Şekil 50. Kabuk geometrisinin elde edilme yöntemi ve strüktürel tasarımın kabuk ilişkili tasarımı (Hudson, 2008; Hudson vd, 2011)

Stadyum tasarımında kabuk üzerindeki kavis açısının ve iç çatı kenar eğrisinin değiştirilmesi ile farklı varyasyonlar oluşturulmuştur. Bunun dışında kabuk desenine karar verilirken de farklı varyasyonlar kısa sürede oluşturulmuştur (Şekil 51).

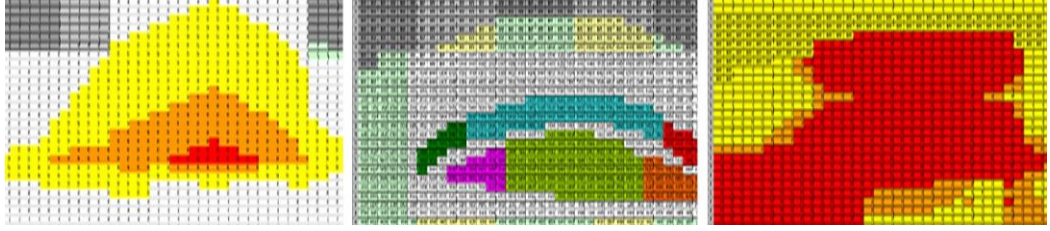


Şekil 51. Panellerin tasarımı sırasında ve kavis yarıçapının ayarlanmasıyla oluşan varyasyonlar (Hudson vd, 2011)

#### ▪ Geliştirme Aşaması

Sonuç ürüne karar verildikten sonra geliştirme aşamasında strüktürel, solar rüzgar şiddeti gibi performans kriterleri simülasyon testleriyle analiz edilmiştir (Şekil 52).

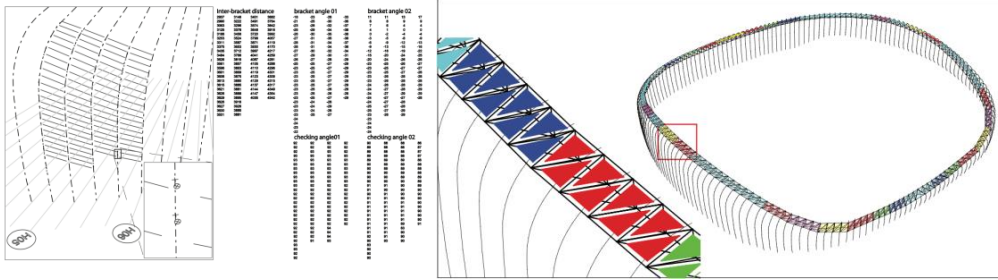
Gerçekleştirilen bu analizler sonucunda, gerekli düzenlemeler yapılmış ve form iyileştirilmiştir (optimizasyon). Örneğin, güneş ışığını fazla alan bölgelere güneş kırıcılar yerleştirilmiştir.



Şekil 52. Paneller üzerinde solar, havalandırma ve rüzgar şiddeti hesaplanması (Hudson, 2008)

- Uygulama Evresi
- İletişim Aşaması

Aviva stadyumunda iletişim aşamasında uygulamanın gerçekleştirilebilmesi için dökümantasyon yapılmıştır (Şekil 53). Uygulamayı gerçekleştirecek olan yüklenicilere, yapının sorunsuz bir şekilde uygulanması için yapı, en küçük ayrıntısına kadar detaylandırılarak ifade edilmiştir.



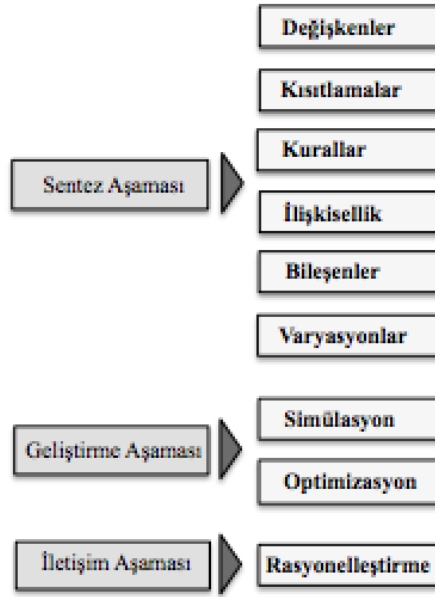
Şekil 53. Yapım için dökümantasyon, (soldan sağa) Cephe bölmelerinin detaylandırılması, Akustik panellerin rasyonelleştirilmesi (Hudson vd, 2011)

#### ➤ Değerlendirme

Aviva stadyumu tasarımında parametrik tasarım ve performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılmıştır. Analiz aşamasında tasarımcı problemi ortaya koyduktan sonra yöntemini belirlemiştir. Sentez aşaması içerisinde parametrik tasarım yöntemi kullanılmış, form parametrik olarak modellenmiştir. Archer'ın modelindeki tümdengelim mantığı yerine

bu projede tümevarım mantığı ile tasarım gerçekleştirilmiştir. Çünkü, form ışınsal grid ve teğetsel yaylardan oluşturulmuştur. Geometrik tanımlama gerçekleştirildikten sonra tanımlanan veriler arasında geri beslemeler olmuştur. Sentez aşamasında formun son hali oluşturulduktan sonra geliştirme aşamasında strüktürel proje hazırlanmıştır. Performansa dayalı tasarım yöntemi geliştirme aşamasında kullanılmıştır. İstenen strüktürel ve performans testleri için simülasyon analizleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizler sonucunda form iyileştirilmiştir. İletişim aşamasında ise dökümantasyon yapılmıştır. Analizi gerçekleştirilen Aviva Stadyum'una ait süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir.


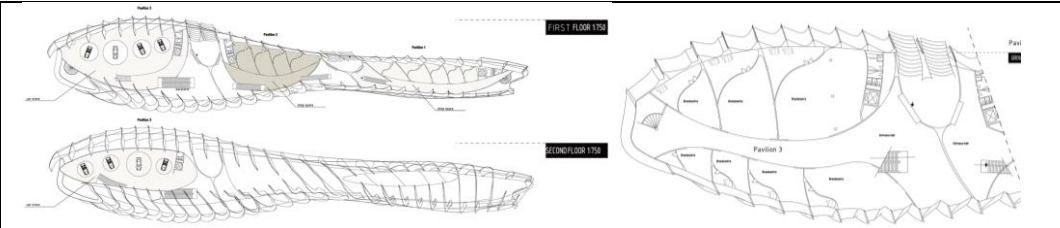
Tablo 19. Aviva Stadyumu sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.2.1.4. Örnek 4: Frozen Motion

Animasyona dayalı tasarım yöntemi ile formasyonun gerçekleştirildiği bu çalışmada dinamizm amaçlanmıştır. Tasarımcı süreç içerisinde, fiziksel ve dijital ortamı da kullanmaktadır.

Tablo 20. Frozen Motion

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / FORMASYON MODELİ / ANIMASYONA DAYALI TASARIM YÖN.	<b>ÖRNEK 4: FROZEN MOTION</b>
	<p>Proje Yılı: 2011          Proje Tasarımcısı: Xing Wang ve Matthijs La Roi          Kullanılan Yöntem: Animasyona Dayalı Tasarım          Kullanılan Programlar: Rhino, Grasshopper ve Grasshopper ile çalışan animasyon eklentisi</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>“Avie4you architecture competition Bohemen B.V.” adlı proje yarışmasında birincilik elde eden projedir. Tasarımcılar Delft Teknoloji Üniversitesinde yüksek lisans öğrencileridir. Tasarımcılar projede, geleneksel mimarlık ve strüktürü tasarlamak yerine, standart dışı (non-standart), aerodinamik ve dinamik yüzeye sahip, zarif ve devamlı olan strüktürel sisteme sahip bir modern yapı üretmek istemişlerdir. Bu bağlamda projenin konsepti hız ve hareket olarak belirlenmiştir. Hareket, dijital ortamda animasyon teknikleri ile forma kazandırılmıştır. Üç pavilyon tasarlanmış ve bu üçü de strüktürle kaplanmıştır. Bu yapı organizmanın donmuş hareketine benzemektedir. Aynı zamanda tüm bu estetik kaygıların yanında tasarım ürünü, yarışma programındaki bütün istenilenleri karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Görünüş (URL-33 , 2015)	
	
Planlar (URL-34 , 2015)	

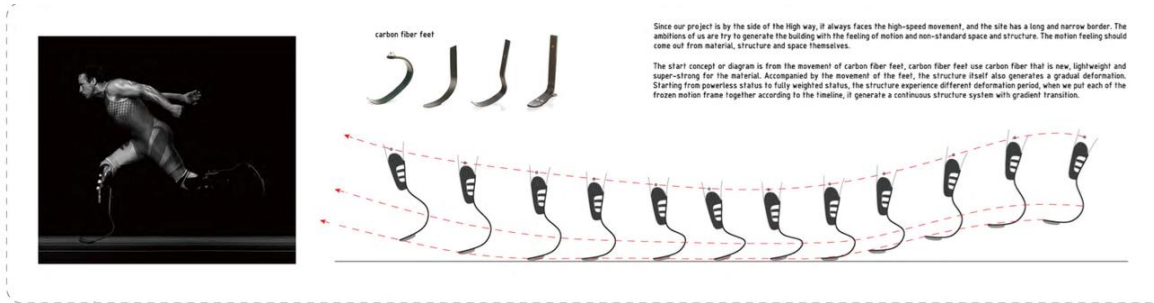


- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Bu projede konsept olarak, hızı ve hareketi yakalamak amaçlanmıştır. Geleneksel mimarlık ve strüktürü tasarlamak yerine, standart dışı (non-standart), aerodinamik ve dinamik yüzeye sahip, zarif ve devamlı olan strüktürel sisteme sahip bir modern yapı üretilmek istenilmiştir. Binanın hareketi ve standart dışı mekan ve strüktürü yansıtacak şekilde tasarlanması amaçlanmıştır. Hareket hissinin malzeme, strüktür ve mekan birlikteliğinden algılanması düşünülmüştür. Rhino, Grasshopper programları ve Grasshopper ile çalışan animasyon eklentisi araç olarak belirlenmiştir (URL-34, 2015). Problemin tanımı yapıldıktan sonra hareketin forma aktarılması amacıyla animasyon tekniklerinin kullanılması kararlaştırılmıştır.

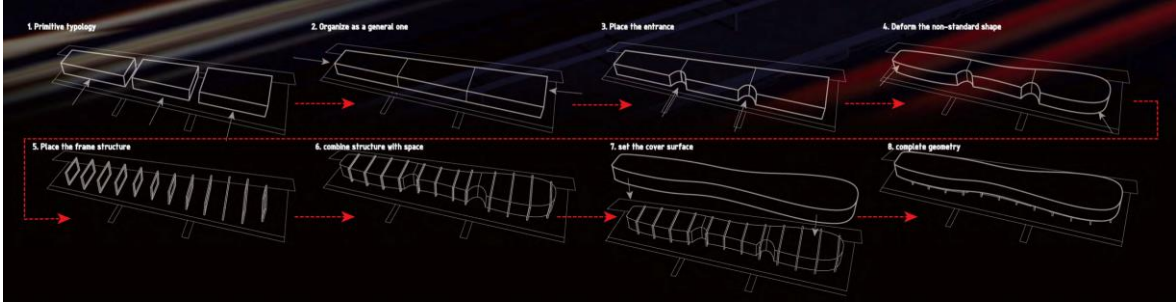
- Sentez Aşaması

Hareketi yansıtmak için de konsept ya da diyagram olarak deformasyona olanak tanıdığı için, karbon fiber ayağın hareketi seçilmiştir. Genel konseptte dayanan bazı fiziksel testler, genel geometri ve deforme olmuş malzeme arasındaki ilişkiyi bulmak için gerçekleştirilmiştir (URL-34, 2015).



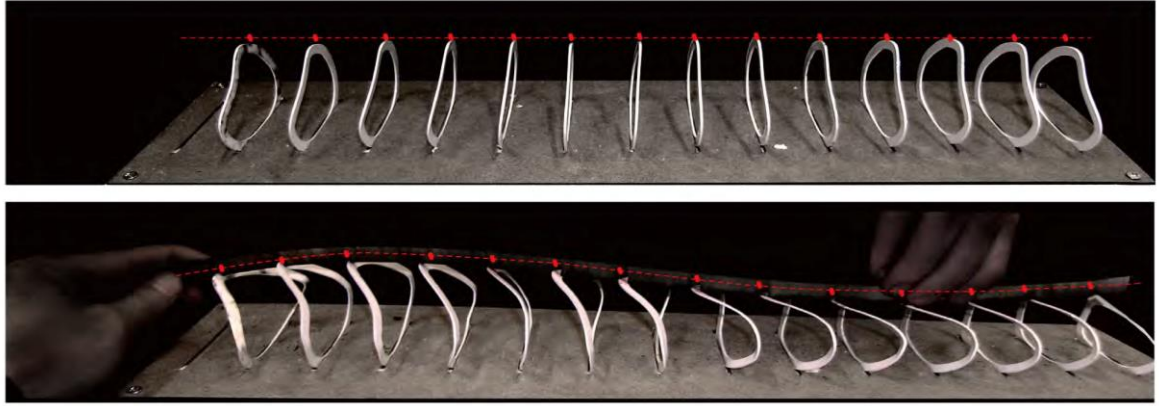
Şekil 54. Konsept olarak belirlenen karbon fiber ayak (URL-34, 2015)

Projede ilk olarak, üç farklı pavyon için birbirinden bağımsız üç dikdörtgen şekil seçilmiştir. Daha sonra geometrinin tek bir parçaymış gibi organize edilmesi için, üç şekil aralarında boşluk kalmayacak şekilde birleştirilmiş ve giriş yerleri açılmıştır. Standart olmayan şekil oluşturacak biçimde deforme edilmiştir. Deformasyon gerçekleştirildikten sonra çerçeve strüktür oluşturulan geometrinin üzerine yerleştirilmiştir. Oluşturulan çerçeve strüktürler ana kütle ile birleştirilmiştir. Son olarak kaplama yüzeyi yerleştirilmiş ve geometrinin oluşumu tamamlanmıştır (Şekil 55) (URL-34, 2015).



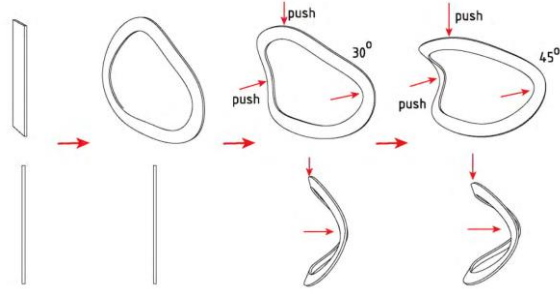
Şekil 55. Geometrinin oluşum süreci (URL-34, 2015 )

Halka malzemenin bükülme derecesinin eğim kontrolü boyunca devamlı bir yüzey ve mekan hacmi elde edilmiştir (Şekil 56) (URL-34, 2015).



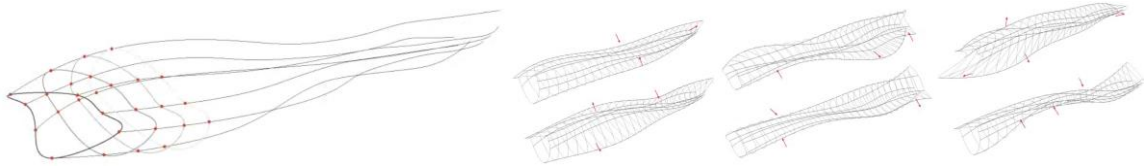
Şekil 56. Gerçekleştirilen Fiziksel deneyler (URL-34, 2015)

Geometrik form tanımlandıktan sonra gerçekleştirilen fiziksel ve dijital deneylerle proje son halini almıştır. Bu projede form bulma (form-finding) kavramı öne çıkmaktadır. Dijital ortamda deneyler animasyon teknikleriyle gerçekleştirilmiş görüntüler belli zamanlarda durdurularak, zaman karesinde oluşan form seçilmiştir.



Şekil 57. Halka malzemenin bükülme derecesinin eğim kontrolü (URL- 34, 2015)

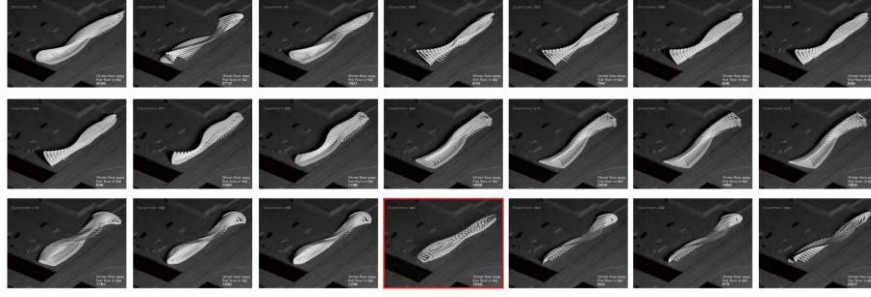
Eğim derecelerinin kontrolü ve halka çerçevenin geometrideki kontrolü dijital ortamda gerçekleştirilmiştir (Şekil 57). Bir kaç eğri, mekan iç yüzeylerini göstermek için değişken olarak üretilmiştir. Eğrileri bölen noktalar, bükülmüş halka strüktürü tanımlamaktadır (Şekil 58). Dijital ortamda strüktürlerin sayısı, animasyon sırasında ayarlanan sesin şiddeti kısıtlama olarak belirlenmiştir (URL-34, 2015).



Şekil 58. Strüktürleri tanımlayan halka noktaları (URL-34, 2015)

Dijital ortamda, eğrileri taşımak ve deforme etmek için bazı kural setleri tanımlanmıştır. İç ortam ses kuvvetine maruz kalan strüktürler bu kurallar doğrultusunda eğrisel olarak her seferinde yeniden üretilmiştir. Çalışma içerisinde strüktürel, mekansal ve formel ilişki, parametrik olarak kurgulanmıştır (URL-34, 2015).

Hareketin şiddetinin animasyon teknikleri ile dijital ortamda forma dinamik bir görüntü kazandırmıştır. Bu bağlamda form bulma, belirlenen performans kriterleri doğrultusunda animasyon teknikleri ile elde edilmiştir.



Şekil 59. Dijital ortamda form bulma süreci ve varyasyonların animasyon teknikleri ile oluşturulması (URL-34, 2015)

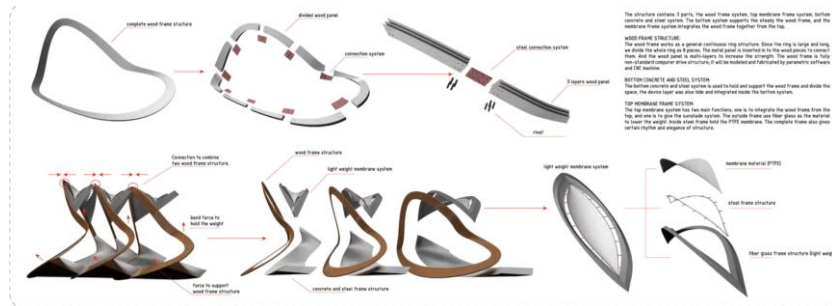
#### ▪ Geliştirme Aşaması

Bu aşama içerisinde fiziksel ve dijital deneyler tamamlandıktan ve form bulma (form-finding) gerçekleştirildikten sonra geometri ve çevresi arasındaki ilişkiye bağlı olarak optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak, güncel programlar ve çevre şartlarına göre son aşamada üretilen temel bükülmelerin deformasyonu ve basitleştirilmesi yapılmıştır. Daha sonra, bükülmelere göre ortaya çıkan halka çerçevelerin noktaları kontrol edilmiştir. Malzeme ve gerçek strükture dayanan ahşap çerçeve kesin olarak kontrol edildikten sonra, 3 boyutlu hesaplamalı strüktürel geometri ortaya çıkmıştır. Proje için birbirinden farklı toplam 29 adet çerçeve strüktür oluşmuştur (URL-34, 2015).

#### ○ Uygulama Evresi

#### ▪ İletişim Aşaması

Projenin yarışmaya uygun sunumu hazırlanmıştır. Üç boyutlu modellemeler ve plan çözümlenmeleri görselleştirilmiştir. Bu projede sunuma ağırlık verilmiştir. Kaç adet strüktürel halkanın kullanıldığı ve hangi malzemelerin kullanılacağı belirlenmiş ve detaylandırılmıştır. Bu amaçla form son şeklini aldıktan sonra strüktürel elemanların detaylandırılması gerçekleştirilmiş ve plan çözümlenmeleri yapılmıştır (rasyonelleştirme).

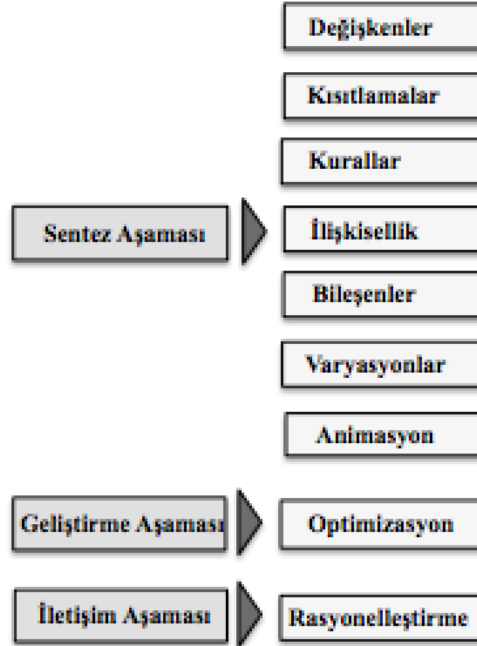


Şekil 60. Strüktürel halkaların detaylandırılması (URL-34, 2015)

➤ Değerlendirme

Hareketin animasyon etkisiyle formasyonunu (biçimlenişini) araştıran bu çalışmada, parametrik tasarım, animasyona dayalı tasarım ve performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılarak, sentez aşamasında fiziksel ve dijital deneyler gerçekleştirildikten sonra animasyon teknikleriyle form (form-finding) araştırılmıştır. Animasyon karelerinin belli zaman aralığında durdurulmasıyla form elde edilmiştir. Sentez aşamasında, tümevarım mantığı ile form oluşturulmuştur. Çünkü bütün, strüktürel halkalar ve üç ayrı dikdörtgenin biraraya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Geliştirme aşamasında, seçilen formun strüktürel optimizasyonu yapılmıştır. Aynı zamanda dijital ortama geçildiğinde fiziksel ortamdan geri beslemeler devam etmiştir. Süreç içerisinde incelenen aşamalarda yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 21).

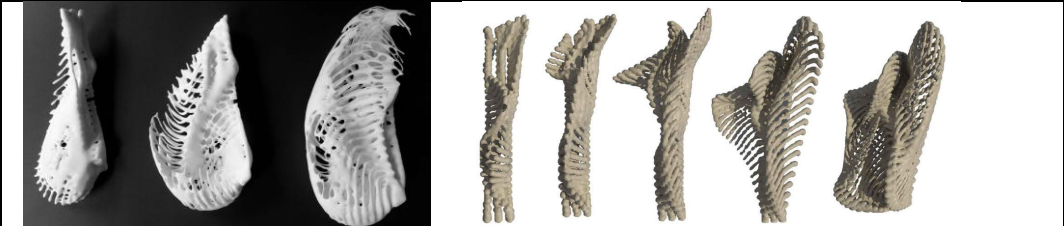
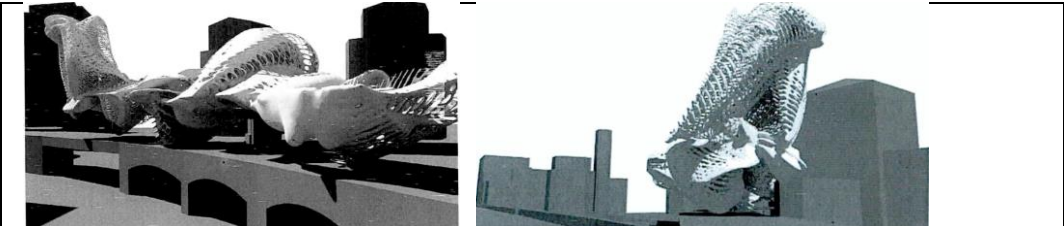
Tablo 21. Frozen Motion sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.2.1.5. Örnek 5: The Sound Motion Streaks

Animasyona dayalı tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, fiziksel ve dijital deneyler yapıldıktan sonra formasyon gerçekleştirilmiştir.

Tablo 22. The Sound Motion Streaks (Deneysel)

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / FORMASYON MODELİ / ANİMASYONA DAYALI TASARIM YÖN.	<b>ÖRNEK 5: THE SOUND MOTION STREAKS</b>
	<p>Proje Yılı: 2012          Proje Tasarımcısı: Pınar ÇALIŞIR, İnes GAVELLI, Wei WEIWEI          Proje Yürütücüleri: Daniel Widrig, Fulvio Wirz          Kullanılan Yöntem: Animasyona Dayalı Tasarım          Kullanılan Programlar: Autodesk Maya</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>The Sound Motion Streaks projesi Bartlett Mimarlık Okulu Mimari Tasarım Yüksek lisans programı kapsamında yürütülen bir senelik stüdyo projesinin sonuç ürünüdür. Bu projede ses fenomeni ile ilgili Cymatics çalışmalarından ilham alınmış ve bu fenomenle veri toplamak amacıyla ses dalgalarının maddeleri şekillendirmesi üzerine ilk olarak fiziksel, daha sonra dijital ortamda deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiziki ve dijital deneysel verilerden yararlanılarak, sesin madde üzerine etki eden bileşenleri (amplitüt, frekans) ortaya çıkarılmış ve dijital araç ve malzemelerden yararlanarak bir form bulma yöntemi oluşturulmuştur. Sonuç olarak, The Sound Motion Streaks projesi, temel olarak ses dalgalarının madde üzerinde olan şekillendirici etkisini önce dijital ortamda taklit yoluyla deneyimleyerek daha sonra kendi özgün form yaratma sürecini oluşturan bir form-bulma çalışmasıdır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Form bulma yöntemi sonucu ortaya çıkan ürünler (Çalışır, 2014b)	
	
Gürültülü alan üzerinde form bulma çalışmaları (Çalışır, 2012)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Sesin form oluşturmadaki etkisini araştıran bu çalışmada ses üzerinde gerçekleştirilen fiziksel deneyler incelenmiştir. Daha sonra fiziksel ve dijital deneyler yapılmasına aynı zamanda deneylerde kullanılacak olan malzemelerin seçimine ve hangi araçlar kullanılarak deneylerin gerçekleştirileceğine karar verilmiştir. Problemin tanımı yapılmış, çözüm için gereken yöntem belirlenmiştir.

- Sentez Aşaması

Bu çalışmada ilk olarak geçmişte yapılan ses görselleştirme deneyleri (Cymatics) hakkında araştırma yapılmış daha sonra sestem ilham alan mimari tasarımların sesi ve müziği tasarım süreçlerinde hangi yönlerden kullandıkları belirlenmiştir. Mimaride sestem faydalanan çoğu tasarım, sesi bir ilham kaynağı ya da metafor olarak kullanırken The Sound Motion Streaks projesinde ses, formun oluşmasında direk rolü olan şekillendirici bir kuvvet olmuştur (Çalışır, 2012).

The Sound Motion Streaks yöntemi, dijital araçlar yardımıyla sesin form üretme özelliğine dayanılarak oluşturulmuş bir form bulma çalışmasıdır. Bu yöntem içerisinde sesin dijital malzemelerle etkileşimi sayesinde lineer elemanlar mekanda salınım ve dalgalanmalar oluşturmaktadır. Lineer elemanların üretmiş olduğu granüler malzeme ile bu hareket ve salınım mekanda donmakta ve görünür kılınmaktadır. Sonuç olarak mekan üzerinde sesin etkilediği lineer elemanların dalgalanmalarının izlerinin takip edildiği bir süreç oluşmaktadır (Çalışır, 2012).

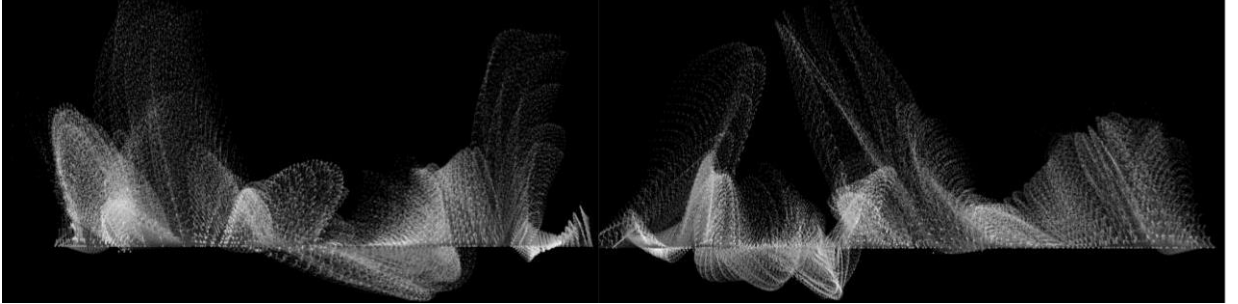
Bu sistem oluşturulmadan önce, fiziksel deneyler yapılarak, sesin malzemeler ile etkileşimi incelenmiş ve ses dalgalarının etkileri gözlemlenmiştir. Daha sonraki aşamada dijital benzetim modelleri oluşturulmuş, dijital ortamda oluşturulan dijital malzemeler üzerinde sesin dinamik bir kuvvet olarak göstereceği davranışlar belirlenmiştir. Yapılan fiziksel ve dijital deneyler sonucunda edinilen verilerle farklı malzemelerin ve parametrelerin birlikte kurgulandığı bir sistem oluşturulmuştur (Çalışır, 2012).

İlk olarak, fiziksel deneyler dijital ortamda sesin görselleştirilebilmesi için kullanılacak malzemeleri test etmek için gerçekleştirilmiştir. Projeye başlarken tanımlanan geometrik bir form bulunmamaktadır. Malzeme, sesin şiddeti, zaman gibi parametreler ise başlangıçta tanımlanmıştır. Bunların dışında, dijital ortamda gerçekleştirilen deneyler için partiküllerin içerisinde salınacağı ortamın boyutları kısıtlama olarak belirlenmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra Londra'da kendine özgü bir gürültü

karakteri olan kentsel bir mekanda, yöntem test edilmiş ve oluşturabileceği mimari form deneyimlenmiştir. Bu kentsel alanda iki adet köprü bulunmaktadır. Bu köprülerden biri terk edilmiş diğeri ise günün belli saatleri yüksek hıza ve gürültüye sahip banliyö treninin geçtiği hattı taşımaktadır. Bunun dışında çalışma alanında tren hattının sağ tarafında kalan bir ana cadde ve sol tarafında kalan trafikten uzak ve sessiz bir koy yer almaktadır. Bu çalışma alanını baştan sona turlayan bir kişi, önce tamamen sessiz bir alandan sonra tren sesinin yankı yaptığı köprü altından geçecek ve daha sonra ana cadde üzerinde sürekli bir gürültü ile yürümeye devam edip çalışma alanının sonunda yine sessiz koy mekanına ulaşacaktır. Bu alanda yapılan ses kayıtları sonucu oluşturulan mekanın sesi ve müziği çalışmada kullanılan ses kuvvetini oluşturmaktadır (Çalışır, 2014a).

Bu projede sesin frekansının ya da şiddetinin (amplitüd) değeri, malzemenin etkileşimi, sesin malzemeyi etkilediği sürecin uzunluğu ya da kısalığı (zaman) formun oluşumunu etkileyen değişkenler olarak kabul edilmektedir.

Tasarlanan formun ana strüktürünü aynı zamanda formun sınırlarını belirleyen lineer elemanlar oluşturmaktadır. Lineer elemanların sesin etkileşimi ile hareketi, yine bu lineer elemanlardan salınan partiküller sayesinde mekanda takip edilmektedir. Lineer elemanların hareketlerini dondurmak içinse partiküller mesh'e çevrilerek, daha kararlı ve rijit formlar elde edilmiştir (Şekil 61) (Çalışır, 2012).

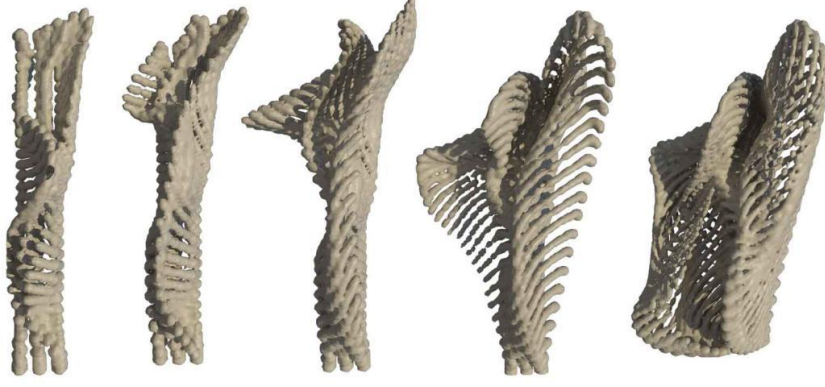


Şekil 61. Lineer Elemanların Mekandaki Hareketi ve Partikül Salınımı, Hareket Algısı. Dondurulmuş An (Çalışır, 2012)

Partiküller, dijital ortamdaki noktasal elemanlardır. Doğada var olan tanecikli yapılar gibi hareket eden partiküller, hava, yer çekimi, rüzgar gibi dinamik kuvvetlerin etkisiyle kendi kendilerine organize olabilmektedir. Lineer elemanlar olarak bahsedilen “curve” sistemi ise, dinamik bir yapıya çevrilerek yine program içerisinde dinamik kuvvetlerle etkileşime girebilmektedir. Dinamik bir yapıya dönüşen lineer elemanlar, elastik bir yapıya



dönüşmekte ve mekanda daha serbest hareket etmektedirler. Son olarak polygon'lar (mesh), tüm sistemi örten mimari bir kabuk oluşturmaktadır. Bu üç sistemin bir araya gelmesi sonucu ise hibrid bir malzeme oluşmaktadır (Şekil 62) (Çalışır, 2012).



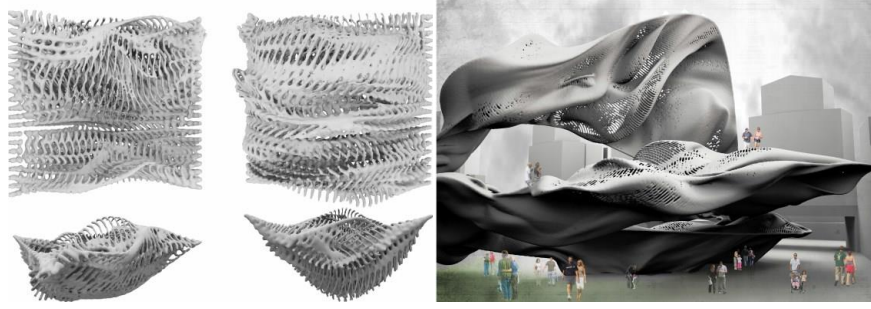
Şekil 62. Hibrid Sistem (Lineer Elemanlar+Partikül Sistemi+Mesh) Hareketleri. Formun Gelişmesi (Çalışır, 2012)

Lineer elemanların sınırları, partikül salınımı sırasında yoğunluğun miktarının nerede az nerede fazla olacağı tasarımcı tarafından kural olarak belirlenmekte ve animasyon sırasında değiştirilebilmektedir (Çalışır, 2012).

Son olarak, Autodesk Maya içerisinde yer alan HyperShade iletişim kutusu yardımıyla AudioWave'den alınan sayısal değerler ve etkileyeceği dijital malzemelerle ilişkileri kontrol ve manipüle edilmiştir. AudioWave Autodesk Maya'da yer alan ve sesin amplitüt değerini okuyan bir eklentidir (Çalışır, 2012).

Maya içerisinde sesin form oluşturma üzerindeki etkisini araştıran bu deneysel projede sesin şiddetinin değeri, zaman, malzemenin etkileşimi gibi özelliklerin değişimi bir çok varyasyonun oluşmasını sağlamaktadır. Belli bir zamanda dijital ortamda hareket eden kare durdurularak form elde edilmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan form aslında mekanda donmuş bir harekettir (frozen motion).

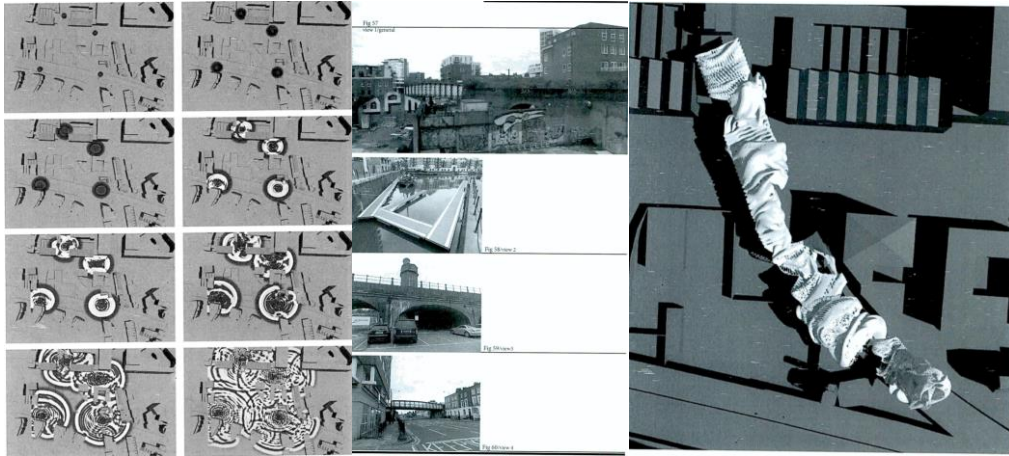
Süreç içerisinde tanımlanan tüm değişkenler, kısıtlamalar, kurallar bileşen olarak belirlenmiştir.



Şekil 63. Sınırlandırılmış Bir Linear Sistemde Yöntemin Denenmesi. Ön-Arka ve Yan Görünüşler. (Çalışır, 2012) ve Kentsel ölçekte bir prototip (Çalışır, 2014a)

- Geliştirme Aşaması

Deneysel proje kent içinde belirlenen gürültülü bir alanda geliştirilmiştir. İlk olarak Londra'da Dockland Light Railways bölgesi, gürültülü bir alan olarak sesi kaydedilmiş ve burada sesin dijital ortamda harekete dönüştürülmesiyle form elde edilmiştir (Şekil 64).



Şekil 64. Seçilen arazi içerisinde konumlanması (Çalışır, 2012)

- Uygulama Evresi

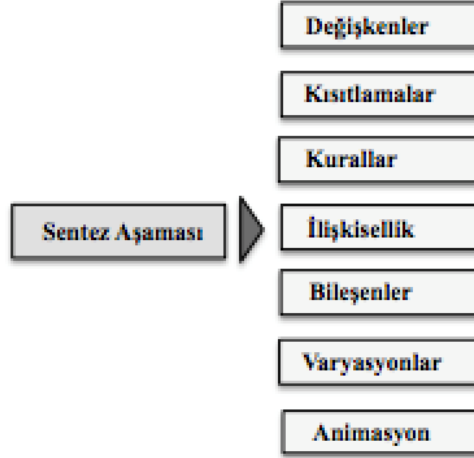
- İletişim Aşaması

Bu proje deneysel bir çalışma olup uygulaması gerçekleştirilmemiştir. İletişim aşamasında tasarımcının deneysel çalışma ile ilgili bilgilerin aktarımı için sunuma yönelik çizimler hazırlanmıştır.

➤ Değerlendirme

The Sound Motion Streaks projesi içerisinde fiziksel ve dijital deneyler ile form (form-finding) araştırılmıştır. Sentez aşaması içerisinde animasyona dayalı tasarım ve performansa dayalı tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, tümevarım mantığı ile form oluşturulmuştur. Çünkü, form partiküllerin salınımı sonucu oluşmakta ve başta tanımlanan katı bir geometrik form bulunmamaktadır. Animasyon teknikleri ile form araştırılırken başta tanımlanan değerlere geri dönüşler yapılarak farklı varyasyonlar elde edilmiştir. Geliştirme aşamasında belirlenen arazi üzerinde, araziye ait veriler doğrultusunda yeni formlar oluşturulmuştur. Form oluşturulurken sentez aşamasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kullanılmıştır. Bu proje içerisinde incelenen aşamalarda yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 23).

Tablo 23. The motion Streaks sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.2.2. Üretken Model Süreç Analizleri

Oxman (2006; 2012) üretken model içerisinde; biçim gramerleri ve evrimsel tasarım yöntemlerini sınıflandırmıştır. Sınıflandırma içerisinde yer alan yöntemler kullanılarak üretilmiş toplam 5 örnek incelenmiştir.



Bu başlık altında;

- Frobel Form Türetici ile Konut Yerleşkesi Tasarımı (Deneysel- Biçim gramerleri ile tasarım)
- Mardin konutlarının analizi ile yeni konut üretimi (Deneysel- Biçim gramerleri ile tasarım)
- Bütünleyici Evrimsel Tasarım (Deneysel- Evrimsel tasarım yöntemi)
- Konut Çalışması (Deneysel- Evrimsel tasarım yöntemi)
- Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası (Uygulama- Evrimsel tasarım yöntemi) örnekleri incelenmiştir. Örnekler, analiz-sentez-geliştirme-iletişim aşamalarına göre analiz edilmiştir.

### 2.2.2.1. Örnek 6: Froebel Form Türetici ile Konut Yerleşkesi Tasarımı

Biçim gramerleri kullanılarak tasarlanan bu projede üretimi gerçekleştirmek için tasarımcı kendi aracını oluşturmuştur. Analiz kurallarını belirledikten sonra üretim yapılmıştır.

Tablo 24. Froebel form türetici ile konut yerleşkesi tasarımı (Deneyisel)

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / ÜRETKEN MODEL / BİÇİM GRAMERLERİ İLE TASARIM	<b>ÖRNEK 6: FROEBEL FORM TÜRETİCİ İLE KONUT YERLEŞKESİ</b>
	<p>Proje Yılı: 2008          Proje Tasarımcısı: Gökhan KESKİN          Kullanılan Yöntem: Biçim Gramerleri          Kullanılan Programlar: 3dsMax, Maxscript, Archicad</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Lisansüstü Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan deneysel bir çalışmadır. Bu çalışmada Froebel form türetici eklentisi (Plug-in) yardımıyla konut yerleşkesi tasarlamak amaçlanmıştır. Form türetme belli analiz kurallarına göre gerçekleştirilmemekte tamamen tasarımcının öngörüsü ve sezileriyle rastgele yapılmaktadır. Konut yerleşkesi tasarımını gerçekleştirmek için kullanılan form türetici, biçim gramerleri kurallarını kullanarak froebel blokları ile form üretmek için 3dsMax üzerinde bir arayüz ile çalışan, maxscript ile geliştirilmiş bir eklenti' (Plug-in) dir (Keskin, 2008).</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Konut yerleşkesi görünüşler (Keskin, 2008)      Konut seçeneği	
	
Görünüşler (Keskin, 2008)	

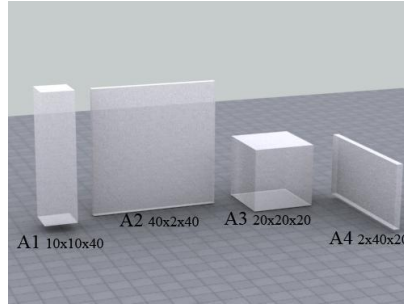
- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Bu çalışma gramer tabanlı tasarım yönteminin, konut projeleri tasarımında uygulanabilirliğini sorgulamak amacıyla gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmadır. Froebel form türetici arayüzünü kullanarak konut yerleşkesi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Konutların tasarlanacağı arazi hipotetik (varsayımsal) olarak belirlenmiştir. Arsada üç ayrı konut tipine sahip toplam on tane konut yerleştirilmesine karar verilmiştir. Deneysel olan bu çalışmada arazinin eğimi, imar durumu ve konut mekanı ölçüleri tasarımda dikkate alınan parametrelerdir. Bu proje uygulama projesi olarak düşünüldüğünde çevre, arazi, malzeme, maliyet, strüktür, kullanıcı talepleri gibi daha çok parametrenin sürece dahil edilmesi gerekmektedir (Keskin, 2008). Problemin tanımı net bir şekilde ortaya konulduktan sonra yöntem belirlenmiştir. Tasarımcı problemin çözümü için kendi aracını oluşturmuştur.

- Sentez Aşaması

3dsMax programı içerisinde bir arayüz olarak tasarımcı tarafından tasarlanan Froebel Form Türetici beş dönüşüm noktası ile türetmeler yapılacak şekilde tasarlanmıştır. 5 adet dönüşüm noktasının olmasının sebebi, daha fazla kontrol noktasında arayüzün daha da uzayıp kontrolün karmaşıklaşması ve beş adet dönüşüm noktasının form türetmek için yeterli görülmesidir. Türetici ile tasarıma başlarken ilk olarak tercihe göre kullanılacak blok sayısı, kural dizisi seçeneğinden belirlenmiştir. Daha sonra blok boyutları belirlenip blok ilişkileri tanımlandıktan sonra üretmeler gerçekleştirilmiştir. Plug-in, kontrollü olarak, dönüşüm noktalarında tanımlanmış blok parametrelerinin değiştirilmesine imkân vermekte ve türetilen formları dönüştürmeye olanak sağlamaktadır. Daha sonra üret butonuna tıklanarak tasarıma yön verilmektedir. Tasarımcı üretilen formlarda kurduğu ilişkinin ürünlerinde görmek istediği değişiklikleri, tekrar tekrar düzenleyip formu uygun duruma getirmektedir. Tasarımcının sezgileri ve öngörülerini tasarımın ilerlemesinde önemli olmaktadır (Keskin, 2008).

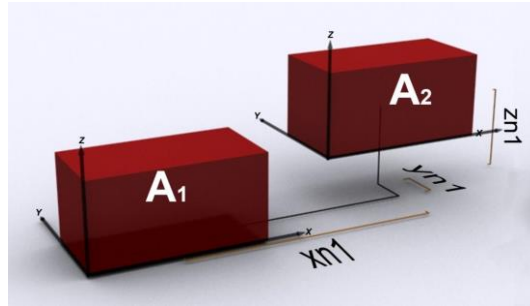
Froebel form türetici ile konut tasarımı için 3 boyutlu eskizler elde etmek üzere türetme çalışmalarına başlarken öncelikle froebel form türeticide kullanılacak blok sayısı belirlenir. Kullanılacak blokların boyutları froebel form türeticiye girildikten sonra blokların birbirileri ile olan ilişkileri türetmeler ve denemeler yapılarak değerlendirilir. Tasarımcı blok boyutları ile ilgili seçimi sezgisel olarak, anlam yükleyerek ya da rastgele yapmaktadır. Konut tasarımı için 4 adet blok boyutu belirlenmiştir (Şekil 65) (Keskin, 2008).



Şekil 65. Süreç içerisinde kullanılacak bloklar (Keskin, 2008)

Yukarıdaki formlardan seçilen iki tane blok, döngü sayısı değiştirilerek yeniden türetilmiştir. Bu türetmeler sonucunda iki seçenek teke düşürülmüştür. Daha sonra seçilen bu formun dönüşüm noktaları değiştirilerek konut seçenekleri üretilmiştir (Keskin, 2008).

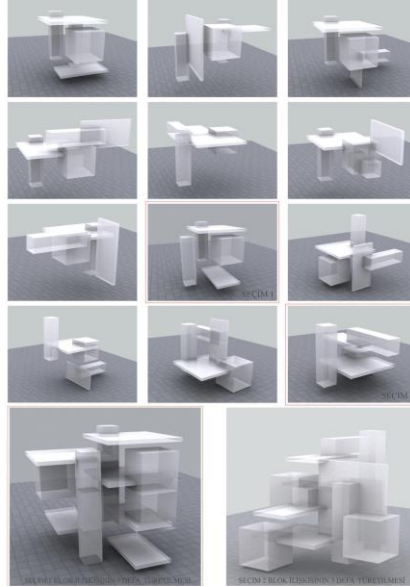
Proje bileşenlerinden olan bloklar arasında ilişki tanımlanmakta ve bu ilişki biçim gramerleri kurallarına göre belirlenmektedir. Arayüz içerisinde yer alan blok ilişkileri ile blokların birbirilerine göre konumları öteleme ve döndürme transformasyonları ile tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde A1 ile A2 arasındaki ilişki tanımlanmıştır (Şekil 66) (Keskin, 2008).



Şekil 66. A1 ile A2 arasındaki ilişki (Keskin, 2008)

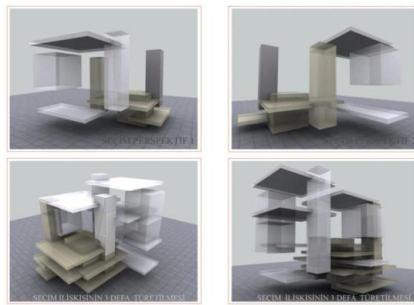
Tasarımcı tarafından tasarlanan programda, blok boyutları ve bloklar arası ilişkileri girilerek kural setleri oluşturulmuştur. Kural dizisi seçeneği ile, kullanılmak istenilen blok sayısı belirlenir. Örneğin, A1A2A1 ile 2 adet blok kullanılırsa kural dizisi, A1A2A1A2A1A2A1 şeklinde devam edecektir. Bu durumda A1 ile A2 ve A2'nin tekrar A1 ile olan ilişkisi tanımlanır. Döngü sayısı 3 olarak belirlenirse oluşacak blok seti A1A2A1A2A1A2A1 olacaktır. Bu şekilde proje başlangıcında arayüz içerisinde bir çok kural tanımlanmıştır (Keskin, 2008). Aynı zamanda tanımlanan bu kural setleri ve diğer değişkenler süreç içerisinde kısıtlama olarak belirlenmiştir. Sürece başlarken belirlenecek

kurallar değişkindir. Süreç içerisinde dönüşüm noktaları, blok ilişkileri, kural setleri değişken olarak görülmektedir. Yazılım üretime başlarken bu değişkenler sabitlenmektedir. Ayrıca tanımlanan tüm bu değerler sürecin bileşenleri olarak yorumlanmıştır.



Şekil 67. Kural setleri ve dönüşüm döngülerine bağlı olarak form üretimi (Keskin, 2008)

Blok ölçülerinin sabit kalması ve dönüşüm noktalarının değiştirilmesi ile farklı çözüm alternatifleri elde edilmiştir (Şekil 68).



Şekil 68. Bir adet dönüşüm noktası kullanılarak türetilen varyasyonlar ve seçilen form (Keskin, 2008)

- Geliştirme Aşaması

Tasarımcı dijital ortamda bir nevi üç boyutlu eskizler gerçekleştirmiş ve bu eskizler içerisinde uygun seçeneği belirlemiş, araziye uygulanması için yorumlarını katarak



müdahalede bulunmuştur. Kat planlarını Archicad programında çözümlenmiş, cephelerde görülen hareketler, cephe tasarımı sırasında cepheyi zenginleştirmek için kullanılmıştır (Şekil 69) (Keskin, 2008).



Şekil 69. Türetilen konut seçeneklerinin tasarımcı tarafından yorumlanması (Keskin, 2008)

- Uygulama Evresi
  - İletişim Aşaması

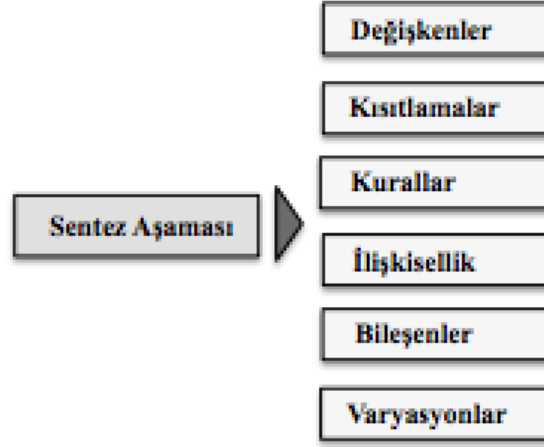
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada sunuma yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup uygulamaya yönelik çizimler hazırlanmamıştır. Fakat seçilen formların sunumu hazırlanmıştır.

Bu projede, 3sMax programı içerisinde çalıştırmak üzere froebel form üretici arayüzü tasarımcı tarafından tasarlanmıştır. Bu bağlamda tasarımcılar kendi araçlarını ürettikleri için literatürde sıklıkla değişimi vurgulanan araç kullanıcı rolünün yanında (designer tool user) araç yapıcı rolünü de (designer tool maker) kazanmıştır.

#### ➤ Değerlendirme

Üreken tasarım yöntemlerinden biri olan, biçim gramerleri kullanılarak gerçekleştirilen bu projede tümevarım mantığı ile form üretilmiştir. Başlangıçta dört adet blok boyutu belirlenmiş, uygulanan kuralla sonucunda bütün oluşturulmuştur. Tasarımcı bütün bileşenleri mekanizmaya tanımladıktan sonra üretim gerçekleştirilir. Türetilen formlardan hangisinin seçileceği tasarımcıya bağlıdır. Tasarımcının yaratıcılığı, başlangıçta tanımladığı bileşenlerde ve üretim gerçekleştirildikten sonra ortaya çıkan formların hangisinin seçileceğinde etkili olmaktadır. Bu çalışmada üretimden sonra ortaya çıkan formlarda üç konut tipi seçilmiş ve tasarımcı seçilen formları geliştirmiştir. Mekanizmaya başlangıçta tanımlanan değerler üzerinde geri dönüşümler yapılarak değişiklikler gerçekleştirilmiş mekanizma bu doğrultuda yeniden üretim yapmıştır. Analiz edilen aşamalar içerisinde yer alan kavramlar belirlenmiştir.

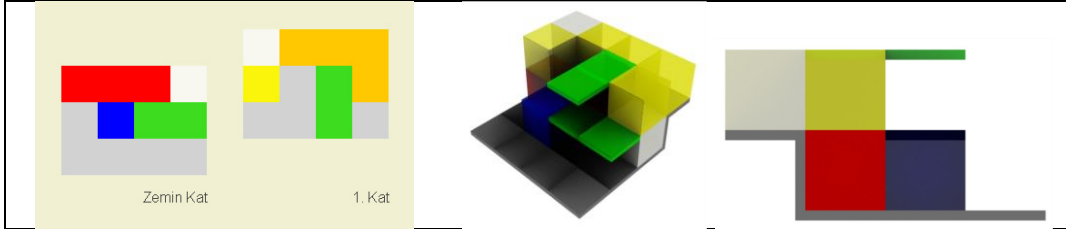
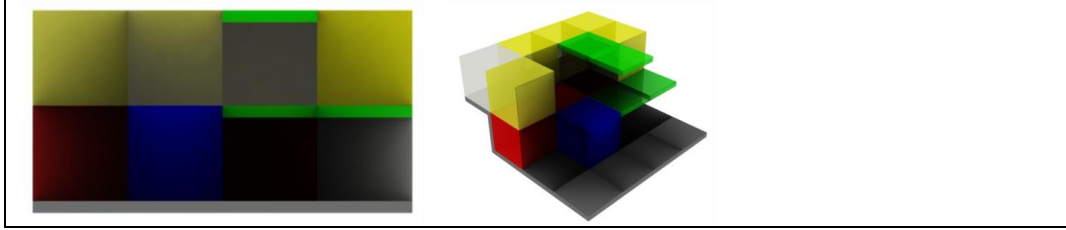
Tablo 25. Froebel form üretici ile konut yerleşkesi tasarımı sürecinde öne çıkan kavramlar



### 2.2.2.2. Örnek 7: Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği

Bu çalışma içerisinde, Mardin konutları analiz edilerek gramer kuralları çıkarılmıştır. Tasarımcı türetimi gerçekleştirmek için kendi aracını tasarlamıştır.

Tablo 26. Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / ÜRETKEN MODEL / BİÇİM GRAMERLERİ İLE TASARIM YÖN.	<b>ÖRNEK 7: KONUT TASARIMI</b>
	Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Belinda TORUS Kullanılan Yöntem: Biçim Gramerleri Kullanılan Programlar: 3ds Max, MaxScript
	<b>AÇIKLAMA</b>
	Mardin ilinde yer alan geleneksel konutların mimari dili ve gramer kuralları tasarımcı tarafından, literatür taraması sonucu tezler ve yapılan projeler kapsamında çıkarılmıştır. Daha sonra oluşturulacak programın geliştirilmesinde kullanılacak olan kurallar ve kısıtlamalar belirlenmiştir. Elde edilen veriler, türetme yapılacak olan programın algoritmasının çıkarılmasını sağlamıştır. Algoritma temel alınarak kural setlerinin kullanılan program diline aktarılması sağlanmış ve program “java” dilinde ortak bir çalışmayla yazılmıştır. Program çalıştırılarak soyut ürün seçenekleri elde edilmiştir. Elde edilen ürünler incelenerek, gerektiğinde yeni kurallar eklenerek veya çıkartılarak geri dönüşlerle program üzerinde çalışılmış ve programın geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma için on kişilik bir kullanıcı grubu ile bir atölye çalışması yapılmıştır. Atölye çalışmasında yapılan tartışmalar ve elde edilen yorumlar programın geliştirilebilmesi üzerine olmuştur.
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Üstten görünüş, perspektif ve yan görünüş (soldan sağa) (Torus, 2008)	
	
Üstten görünüş ve perspektif (soldan sağa) (Torus, 2008)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

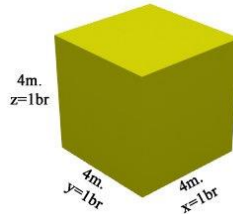
Bu çalışmada, Mardin konut grameri analizleri ve kuralları referans alınarak yerinde analizler ve çalışmalar gerçekleştirilmiş bunun sonunda Mardin’de geleneksel kurallar uygulanarak aynı ilde toplu konut çalışılmasına karar verilmiştir. Yapılan analizler ve çalışmalar, programda kullanılacak olan kuralların belirlenmesini sağlamıştır. İlk olarak 3ds Max programında “script (betik)”ler yazılarak rastlantısal bir türetme yapılmıştır (Torus, 2008). Tasarımcı problem belirledikten sonra, gereksinimlerini belirlemiş, önceliklerini ortaya koymuştur. Daha sonra kendi aracını tasarlamış ve tasarım kriterlerini belirlemiştir. Türetilen konuta ait planlar incelenmiş ve gramer kuralları oluşturulmuştur.

- Sentez Aşaması

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada ilk olarak geometrik tanımlama yapılmış bu amaçla gramer kuralları belirlenmiştir. Çalışmada seçeneklerin oluşturulması için genel kurallara, zemin katta mutfak ve yaşama alanlarına üst katlarda ise odaların olmasına ve bu mekanların boyutlarına karar verilmiştir (Torus, 2008).

Zemin boyutları, kat adedi, oda sayısı, yarı açık mekan sayısı, açık mekanlar, diğer odalar ve ekstra odalar değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin değerleri türetme yapıp yapılmayacağını belirlemekte ve kurallar bu değişkenlere göre oluşturulmaktadır.

Programda kenar uzunluğu 4m. olan birim küpler kullanılmıştır (Şekil 70). Mardin’deki oda boyutunun yaklaşık 3 ile 5.5 m arasında değiştiği düşünülerek ortalama birim boyutu 4 m olarak alınmıştır. Bu durumda girilecek arsa uzunluk ve genişlikleri 4m x 4m olan birim küp, 1br x 1br olarak belirlenmiştir (Torus, 2008).

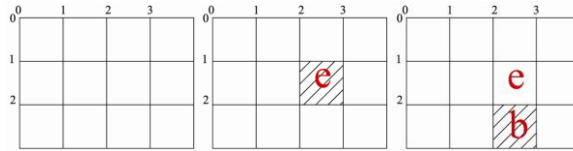


Şekil 70. Birim küp (Torus, 2008)

Programda arsa boyutları (birim olarak), kat adedi ve oda sayısı olmak üzere dört değer girildikten sonra ‘türet’ butonuna basılarak türetme gerçekleştirilmektedir (Torus, 2008).

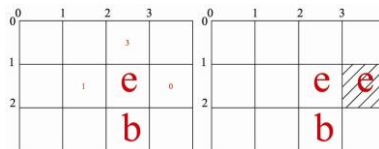
Tüm değerler istenilen aralıklarda girildikten sonra kat adedi ile oda sayısı arasındaki ilişki ve verilen arsanın istenilen konut için yeterli alana sahip olup olmadığının kontrolü olmak üzere iki kontrol gerçekleştirilmektedir. Değerler girildikten hemen sonra ilk kontrol gerçekleştirilir. Konutların kat sayısı, oda sayısına göre belirlenmektedir. İkinci kontrol yapılması için, kullanılacak tüm alanların ve boyutlarının belirlenmiş olması gerekmektedir. Tüm alanlar belirlendikten sonra istenilen konutun genel alanı hesaplanmıştır. Daha sonra konutun genel alanı kat adedine bölünerek gerekli zemin alanı bulunmuştur. Arsanın zemin alanı girilen değerlere göre hesaplanmıştır. Daha sonra bu iki alan karşılaştırılmıştır. Eğer girilen alan hesaplanan alandan büyükse türetme yapılmakta küçük ise türetme gerçekleştirilmemektedir (Torus, 2008).

Türetme kısmına yarı açık mekanla başlanmaktadır. İlk olarak, arsanın merkezine yarı açık mekan yerleştirilmektedir. Daha sonra yarı açık mekan, arsanın boyutuna göre planda sol üst köşeden başlayacak şekilde merkez nokta hesaplanarak yerleştirilmektedir. Yerleştirilen yarı açık mekanın önünün açık olması gerektiği düşünüldüğü için açık mekanlar 'y' ekseninde yerleştirilmiştir (Şekil 71) (Torus, 2008).



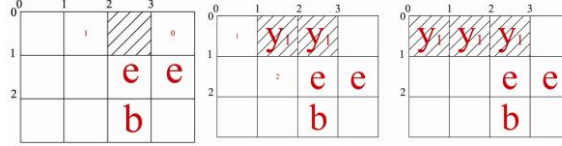
Şekil 71. Örnek arsa, yarı açık mekanın yerleştirilmesi, açık mekanın yerleştirilmesi (soldan sağa), (Torus, 2008)

Daha sonra istenilen yarı açık mekan sayısına ulaşılan kadar yarı açık mekan yerleştirilmektedir. İkinci yarı açık mekan rastlantısal olarak atanmaktadır. Program, yarı açık mekanlara ulaşılan kadar atamaya devam etmektedir (Şekil 72).



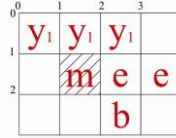
Şekil 72. İkinci yarı açık mekanın rastlantısal ataması, ikinci yarı açık mekanın yerleştirilmesi (soldan sağa), (Torus, 2008)

Yarı açık mekanlar yerleştirildikten sonra en büyük birleşik yaşama mekanları yerleştirilmiştir. Üç birimlik bir alan olan yaşama mekanı, yarı açık mekana komşu bir birime rastlantısal olarak atanmaktadır (Şekil 73) (Torus, 2008).



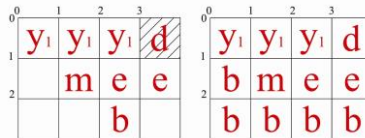
Şekil 73. Birinci, ikinci ve üçüncü yaşama mekanlarının belirlenmesi (Torus, 2008)

Yaşama mekanları yerleştirildikten sonra mutfağın konumunun belirlenmesinde ilk yerleştirilen yarı açık mekanın çevresine bakılır. Dolu değilse buraya yerleştirilir, doluyrsa diğer yarı açık mekanların çevresine bakılır (Şekil 74) (Torus, 2008).



Şekil 74. Mutfağın yerleşimi (Torus, 2008)

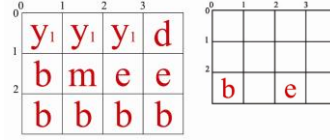
Kat ve oda sayısı kontrolü gerçekleştirilir. Tek katlı ise gerekli sayıdaki oda atamaları yapıldıktan sonra boş alanlar ve açık alanlar yerleştirilir. Eğer kat adedi '1'den büyükse boş alanlar ve kullanılmayan alanlar yerleştirildikten sonra ikinci kata geçilir (Şekil 75) (Torus, 2008).



Şekil 75. Boş ve açık alanların yerleşimi (Torus, 2008)

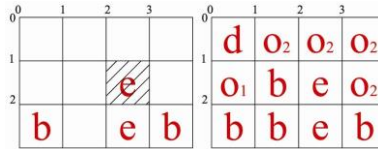
İkinci kata geçildiğinde iki önemli duruma dikkat edilmesi gerekmektedir. Birincisi, teras evler örnek alındığı ve kademelenme olduğu için ikinci kat bir birim kaydırılarak

yerleştirilmelidir. Bu birinci kattaki ‘y’ alanlarının pozisyonları bir arttırılarak gerçekleştirilir (Şekil 76) (Torus, 2008).

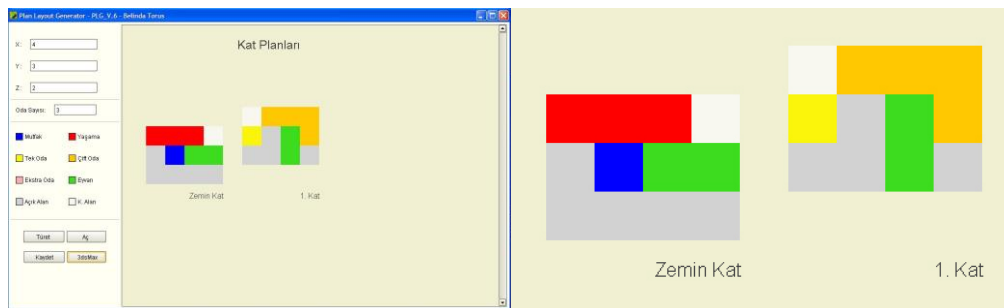


Şekil 76. İkinci katın yerleştirilmesi (Torus, 2008)

İkinci önemli nokta ise, zemin katta yer alan açık ve yarı açık alanların nerede konumlanacağıdır. Zemin kattaki türetme mantığı kullanılarak önce diğer yarı açık mekanlar, sonra da sırayla iki birimlik ve tek birimlik odalar yerleştirilir. Bu yerleştirme mantığı kat sayısı ve oda kontrolüyle birlikte yapılır. Yarı açık mekan yerleştirilirken bir birim kaydırılmıştır. Bu yarı açık mekan ikinci katta düşey bağlantıyı sağlamaktadır. Daha sonra odalar yerleştirilmektedir. Önce iki birimlik odalar daha sonra bir birimlik odalar yerleştirilir. Oda sayıları kontrol edildikten sonra kullanılmayan alanlar ve açık alanlar yerleştirilir (Şekil 77) (Torus, 2008).

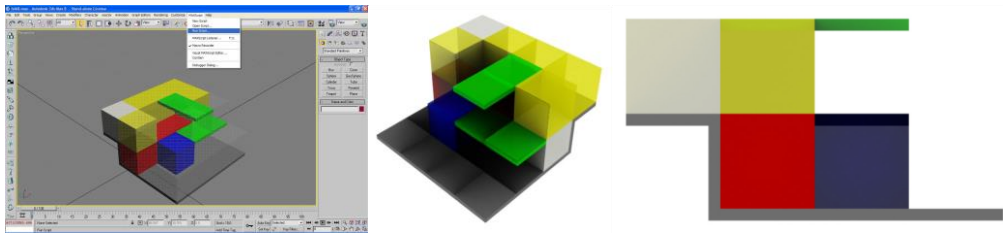


Şekil 77. Yarı açık mekanın ve odaların yerleştirilmesi (Torus, 2008)



Şekil 78. Program arayüzü ve planların programda görünümü (Torus, 2008)

Program içerisinde turetmenin gerçekleştirilebilmesi için bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin; zemin boyutları (x, y), kat adedi isteilen değerler dışında olunca program, x '2' ile '5' birim arasında olmalıdır, y '2' ile '5' birim arasında olmalıdır, kat adedi '1' ile '3' arasında olmalıdır gibi uyarılar vermektedir. Oda sayısı da bir başka kısıtlama olarak programa girilmiştir. '1' ile '10' arasında olmadığı zaman program oda adedinin uygun olmadığına dair uyarı vermektedir. Bütün bu tanımlamalardan sonra Max Script kullanılarak konutların üç boyutlu görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 79) (Torus, 2008).



Şekil 79. 3ds Max programında elde edilen konutun görselleri (Torus, 2008)

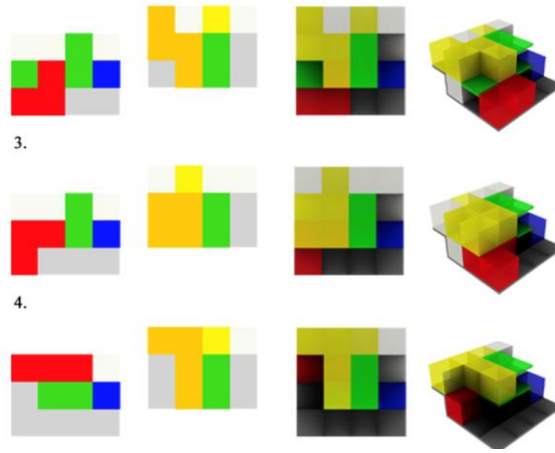
Oda sayısı ile kat sayısı arasında ilişki bulunmakta olup, kat sayısı oda sayısına göre belirlenmektedir. Bu ilişki programa değerler girildikten sonra kontrol edilmektedir. Örneğin, oda sayısı 1 ise kat adedi 1, oda sayısı 2 ve 3 ise kat adedi 1 veya 2 olabilmektedir (Şekil 80) (Torus, 2008).

		oda sayısı										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
kat adedi	1	■										
	2		■									
	3			■								

Şekil 80. Kat adedi ve oda sayısı ilişkisi (Torus, 2008)

Çalışma içerisinde gramer kuralları varyasyonların oluşturulması için arsa boyutu (Kural 1), oda sayısı (Kural 2), kat adedi ve oda sayısının kontrolü (Kontrol 1), yarı açık mekan sayısı ve seçimi (Kural 3), diğer alanlar ve ekstra odalar (Kural 4), toplam alan ve zemin alanı (Kural 5) ve zemin alanı kontrolü (Kontrol 2) kural olarak tanımlanmıştır (Torus, 2008). Süreç içerisinde tanımlanan değişkenler, kısıtlamalar, kurallar sürecin bileşenleri olarak belirlenmiştir. Bileşenler üzerinde yapılan değişiklikler ile bir çok varyasyon türetilmektedir (Şekil 81).





Şekil 81. Programda üretilen varyasyonların zemin ve 1. kat görselleri, Üstten görüşüve perspektifi (Torus, 2008)

- Geliştirme Aşaması

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada birden fazla form türetilmiş olup tek bir form seçilip geliştirilmemiştir.

- Uygulama Evresi

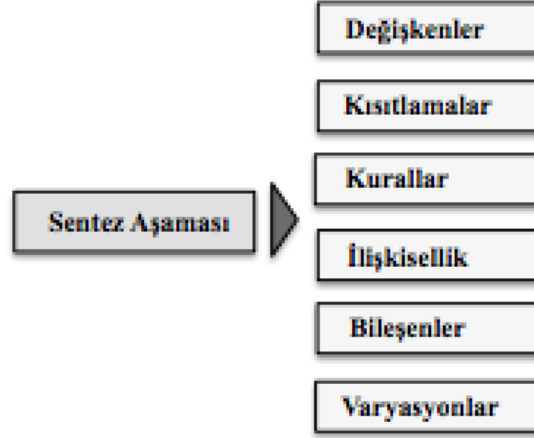
- İletişim Aşaması

Bu çalışma içerisinde sunuma yönelik çalışmalar hazırlanmıştır.

- Değerlendirme

Üretken tasarım yöntemlerinden biçim gramerleri ile tasarımların üretildiği bu çalışmada geleneksel Mardin konutlarının analiz edilmesiyle şekilsel hesaplamalı kurallar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hesaplamalı kurallar ve birimler mekanizmaya tanımlandıktan sonra üretim yapılmıştır. Tümevarım mantığı ile form oluşturulmuştur. Çünkü bütün, 4x4 birimlik küplerden oluşmaktadır. Arayüz tasarımcı tarafından oluşturulmuştur. Sentez aşaması içerisinde üretim yapıldıktan sonra aynı kural setleriyle yeni üretimler gerçekleştirilmiş, oluşan varyasyonlar uygulama için geliştirilmemiştir. İncelenen aşamalar içerisinde yer alan kavramlar belirlenmiştir (Tablo 27).

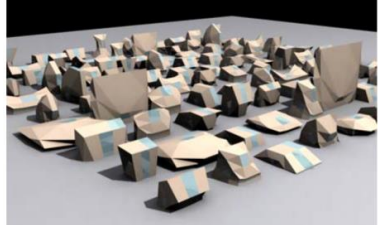
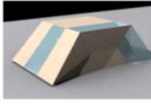
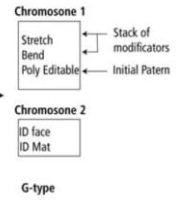
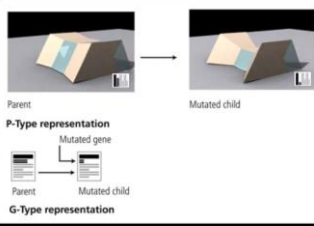
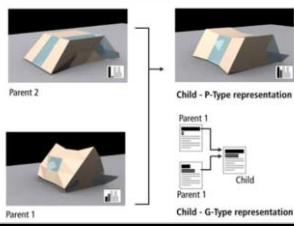
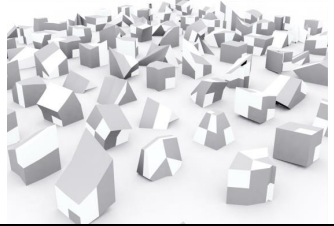
Tablo 27. Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği sürecinde öne çıkan kavramlar



### 2.2.2.3. Örnek 8: Bütünleyici Evrimsel Tasarım

Bu çalışma içerisinde, evrimsel tasarım yönteminin kullanılmaktadır. Üretim tasarımcı tarafından oluşturulan arayüz ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 28. Bütünleyici Evrimsel Tasarım, Mimarlık Erken Tasarım Süreci İle Birleştirilmesi Deneysel çalışması

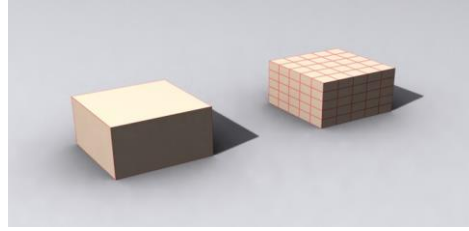
HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / ÜRETKEN MODEL / EVRİMSEL TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 8: BÜTÜNLEYİCİ EVRİMSEL TASARIM (DENEYSSEL)</b>
	Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Philippe Marin; Jean-Claude Bignon; Hervé Lequay Kullanılan Yöntem: Evrimsel Tasarım Kullanılan Programlar: 3dsMax, maxscript, Unified Day Degree method (UDD)
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Bu projede amaç; çevresel parametrelerin kullanıldığı ve mimari formu elde etmek için tasarımcı ile etkileşim halinde olan genetik algoritmalara dayalı dijital bir araç oluşturmaktır. Bu projenin odak noktası, tasarımcının fikirlere odaklandığı tasarım sürecinin başlangıç aşamasıdır. 3dsMax yazılımı, maxscript içerisinde bulunan, pasif güneş değerlendirmesi (solar passive evaluation), Unified Day Degree method (UDD) yöntemine dayanmaktadır. Bu proje, çevresel parametrelerin tasarım süreci içerisinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamak için gerçekleştirilmiş bir çalışmadır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">  <div style="text-align: center;">  <p>P-type</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>G-type</p> </div> </div>
Sonuç ürünler (Marin vd. 2008a)      Fenotip (Marin vd. 2008a)	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
Genotip ve Fenotip (Marin vd. 2008a)      Sonuç ürünler (Marin vd. 2008a)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Bu projede amaç; çevresel parametrelerin kullanıldığı ve mimari formu elde etmek için tasarımcı ile etkileşim halinde olan genetik algoritmalara dayalı dijital bir araç oluşturmaktır. Süreç içerisinde hangi çevresel parametrelerin kullanılacağına karar verilmiştir. Tasarımcı problemini belirledikten sonra problemin çözümü için en uygun yöntemi belirlemiştir.

- Sentez Aşaması

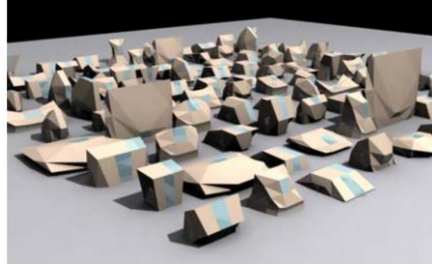
Tasarımcı yöntemi gerçekleştirmeye başlarken ilk olarak başlangıç şeklini başlangıç genomunun tanımlaması ile eşleştirmiştir. Başlangıç şekli, 3 yükseklik, 3 genişlik ve uzunluk bölünmesine sahip basit bir kutu olarak arayüz içerisinde tanımlanmıştır (Şekil 82) (Marin vd. 2008a). Çevre koşulları, başlangıç şeklinin ölçüleri, kromozomlar içerisinde tanımlanan değerler kısıtlama olarak belirlenmiştir.



Şekil 82. Başlangıç şekli (Marin vd. 2008a)

Başlangıçta rastgele bir populasyon tanımlanmıştır. Şekil araştırmayı başlatmak için girdi olarak başlangıç modeli girilmiş ve otomatik olarak doğal evrimin simülasyonu olan genomların, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal kurallar uygulanarak üretilmiştir (Marin vd. 2008a).

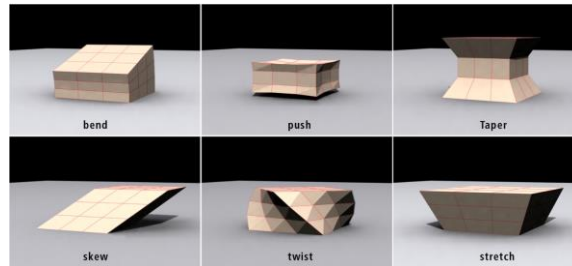
Tanımlanan her bir birey UDD motoru aracılığıyla değerlendirilmiştir. Daha sonra iki ebeveyn alınmış ve onların kromozomları rastgele bir noktada kesilmiş ve birbiri ile çaprazlanmıştır. Birinci ebeveynin “değişkenleri” ikinci ebeveynin “değişkenleri” ile değiştirilmiştir. Görünüşlerin malzemeleri aynı şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra “çocuklar” populasyonun yeni üretimi içerisinde konulmuş ve uygun çözüm ya da üretim dizisine ulaşılan kadar tekrar değerlendirilmiştir (Şekil 83) (Marin vd. 2008a).



Şekil 83. Olası populasyonlar (Marin vd. 2008a)

Deney, genotip türetme yaklaşımına dayanmakta olup genotiplerin dizileri çalıştırılarak form türetilir. Genotip içerisindeki küçük bir değişiklik fenotip içerisinde beklenmedik büyük değişiklikler gösterebilmektedir (Marin vd. 2008a). Bu bağlamda genotipler ve fenotipler arasında ilişkisellik mevcuttur.

Tasarımcı tarafından, deformasyonu gerçekleştirmek için; eğilme (bending), itme (pushing), inceltme (tapering), eğiklik (skewing), bükme (twisting) ve esnetme (stretching) gibi değişkenler yazılıma tanımlanmıştır (Şekil 84) (Marin vd. 2008a).



Şekil 84. Değişkenler listesi (Marin vd. 2008a)

Genotiplerin temsili ve strüktürü ile ilgili olarak iki önemli kromozom genomu oluşturulmuştur; birincisi, her bir görünüşün fiziksel özelliklerini birleştirmiş, ikincisi şeklin tanımını temsil etmiştir. Mutasyon, çaprazlama gibi doğal kurallar genotipler üzerinde etkili olan mekanizmalardır (Marin vd. 2008a).

Yukarda bahsedilen tüm değişkenler, kısıtlamalar gibi bileşenlerin yazılıma tanımlanması ve çaprazlama, mutasyon gibi evrimsel doğal kuralların kromozomlar üzerine uygulanmasıyla birbirinden farklı varyasyonlar oluşmaktadır (Şekil 85).



Şekil 85. Oluşan varyasyonlar (Marin vd. 2008a)

Bu çalışma içerisinde kütle üzerinde pasif güneş değerlendirmeleri gerçekleştirilerek en uygun bireye ulaşmak amaçlanmıştır. En uygun bireyi elde etmek için yapılan optimizasyon evrimsel süreç ile birlikte gerçekleşmiştir.

- Geliştirme Aşaması

UDD yöntemi ile pasif güneş değerleri arasındaki ilişki ile oluşan bireylerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (Marin vd. 2008a).

- Uygulama Evresi

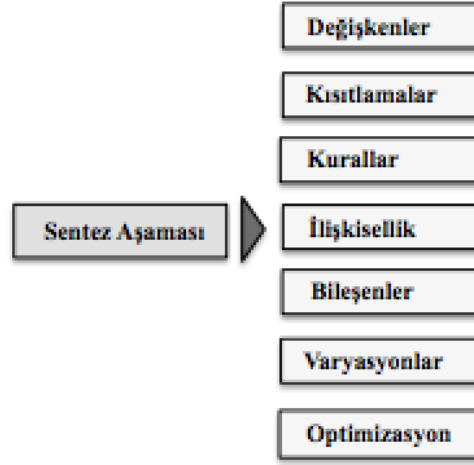
- İletişim Aşaması

Deneysel çalışma olarak hazırlandığı için uygulamaya yönelik herhangi bir şey yapılmamıştır. Bunun yanında bu projeye belli bir işlev de tanımlanmamıştır. Bu projenin amacı, tasarımcıya çevre koşulların ve genetik algoritmaların süreç içerisinde kullanması konusunda yardımcı olmaktır.

- Değerlendirme

Tasarlanacak ürünlerin performans kriterleri ile optimizasyonunu yapmak için evrimsel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Geometrik tanımlama ve bununla ilişkili tüm parametreler mekanizmaya tanımlanmış, ilk popülasyon oluşturulduktan sonra türetme başlatılmıştır. Türetici mekanizma içerisinde üretim-değerlendirme-seçim aşamaları görülmüştür. Mekanizma içerisinde bu aşamalar sonucunda döngüsel bir süreç oluşmuş ve türetilen ürünler tasarımcı tarafından değerlendirilmiştir. Tasarımcı oluşan ürünleri uygun bulmazsa mekanizmaya başta tanımladığı değerlerde değişiklikler yaparak yeniden türetmeyi gerçekleştirir. Ortaya çıkan beklenmedik ürünler tasarımcı tarafından sezgisel olarak belirlenmektedir. Bu çalışma içerisinde Archer'ın modelindeki gibi tündengelim mantığı görülmektedir. Çünkü 3x3x3 cm ölçülerine sahip bütün kutular tanımlanmıştır. Çalışma içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 29).

Tablo 29. Marin vd. 2008a tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmaya ait süreçte öne çıkan kavramlar



### 2.2.2.4. Örnek 9: Evrimsel Tasarım ile Konut Üretimi

Evrimsel tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada artan konut ihtiyacına hızlı çözüm getirmek amaçlanmıştır.

Tablo 30. Konut Çalışması (Optimal Distribution of Architecture Programs with Multiple-constraint Genetic Algorithm)

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / ÜRETKEN MODELİ / EVRİMSEL TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 9: KONUT ÇALIŞMASI (DENEYSEL)</b>
	<p>Proje Yılı: 2006          Proje Tasarımcısı: Toro Narahara, Kostas Terzidis          Kullanılan Yöntem: Evrimsel Tasarım          Kullanılan Programlar: Çalışma içerisinde değinilmemiştir.</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Bu çalışma, çevresel, fonksiyonel ve ekonomik kısıtlamalar ile mesken, ofis ve perakende satış, ticaret gibi mimari programların dağılımını içermektedir. Her bir kuşak (nesil), bütün populasyonun uygunluğu değerlendirilmekte, bir çok birey uygunluk değerlerine dayanan güncel populasyondan tahmini seçilmekte, mutasyon geçirerek ya da yeniden şekillenerek yeni bir forma dönüşmek için değişime uğramaktadır. Küreselleşme ve ekonomik gelişim hızla artmakta, büyük şehirselleşmelere olan ihtiyaç sıradan hale gelmektedir. Sonuçta, büyük şehirlerde, yüzbinlerce insana konut projesi ihtiyacı oluşmaktadır. Bu amaçla bu projede fonksiyonel, çevresel ve ekonomik kısıtlamalar gibi çeşitli alanları karşılaması için düzenli şemaların oluşturulması amaçlanmıştır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
<b>Çalışmaya ait Görseller (Narahara ve Terzidis, 2006)</b>	
<b>Çalışmaya ait Görseller (Narahara ve Terzidis, 2006)</b>	



- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Hesaplamalı araştırmaların yeni teknik uygulamalara imkan tanıdığı 1980'lerin ortalarında kavramsal olarak gelişen evrimsel tasarım mimarlıkta problem çözümü için çeşitli olası çözümler sunmaktadır. Evrimsel tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışma, küreselleşmenin ve ekonomik gelişimin hızla arttığı büyük şehirlerde yüzbinlerce insanın artan konut ihtiyacını sağlamak için geliştirilmiş deneysel bir çalışmadır. Konut ihtiyacını giderilirken ihtiyaç programının yanında ekonomik, fonksiyonel, çevresel kısıtlamalara da çözüm getirmek amaçlanmıştır (Narahara ve Terzidis, 2006).

Küreselleşmenin ve ekonomik gelişimin hızla artmasıyla birlikte ihtiyaç duyulan büyük şehirselleşmelerde yüzbinlerce insanın konut ihtiyacını karşılamak bu projenin problem alanı olarak belirlenmiştir. Bu projede, fonksiyonel, çevresel ve ekonomik kısıtlamalar gibi çeşitli alanların karşılanması için düzenli şemaların oluşmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımcı problemini belirledikten sonra, kısıtlamaları, gereksinimleri belirlemiştir.

- Sentez Aşaması

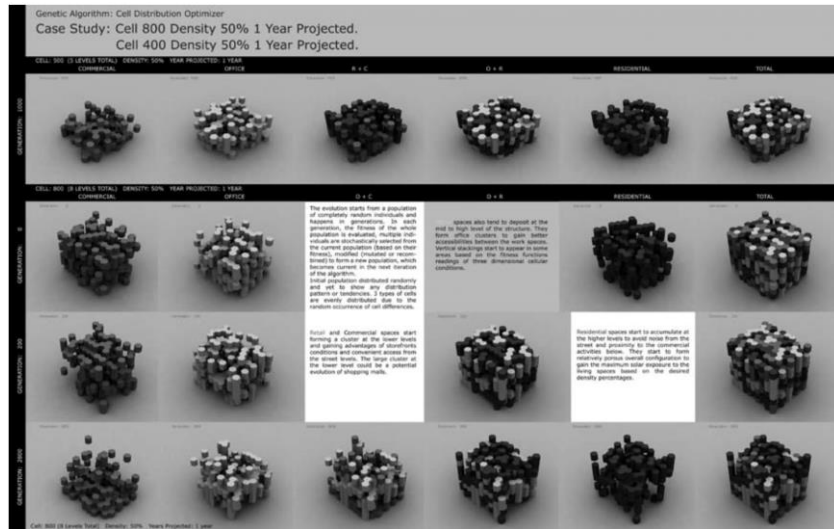
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada geleneksel çok katlı şekillerin tekrarını kullanmadan karmaşık gereksinimlerin tümünü karşılamak problem olarak sunulmuştur. Problemin çözümü sentez aşaması içerisinde çözülmüş olup bunun için ilk olarak altıgensel grid (ızgara) oluşturulmuştur. Bu grid ile çevrelenmiş ve çeşitli bitişik ilişkiler farklı hücreler arasında tanımlanmıştır. 10x10x10 gibi üç ölçüye sahip gridler, üç hücre tipi deseninin dağıtımını verilen çevrede genel olarak kullanılmıştır. Altıgensel grid homojen hücreli ilişkileri benzetmek için yatay yönde seçilmiştir. Grid içerisinde tanımlanan hücrelere ihtiyaç programı içerisinde yer alan ticari alanlar kırmızı, konut alanları mavi ve ofis alanları yeşil ile renklendirilmiştir. Altıgensel grid (ızgara) ile çevrelenmiş ve çeşitli bitişik ilişkiler farklı hücreler arasında tanımlanmıştır. Komşu hücreler arasındaki tanımlanan ilişkiler, strüktürlerin değerlerinde farklılığa neden olmaktadır (Narahara ve Terzidis, 2006).

Ölçek uygulaması, hücrelerin değerlendirme kriterlerine dayanmaktadır. Projenin gündemini oluşturan en düşük maliyet ve en yüksek yarar sağlamak için gerekenleri karşılayan dağıtım oluşturulmuştur (Narahara ve Terzidis, 2006).

Yapay kromozomlar içerisinde karakter dizileri kodlanmıştır. Karakterler dört farklı mekansal hücre tipinden oluşan ASCII kodlarının oluşumunu göstermektedir ("0" boş alanı, "1" konut alanını, "3" ticari alanı). Karakter dizisinin başlangıç popülasyonları, genetik

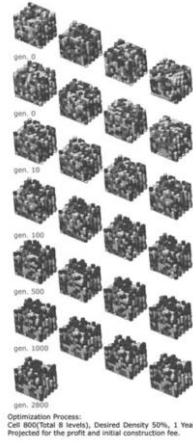
algoritmaların manipülasyonu için rastgele oluşturulmuştur ve uygunluk fonksiyonu kısıtlama etmeni üzerinde tanımlanmıştır (Narahara ve Terzidis, 2006). Tanımlanan başlangıç popülasyonu değişken olarak belirlenmiştir.

Genetik algoritmanın işleyiş mantığı, çaprazlama ve mutasyon kuralları varyasyonların oluşmasında etkili olmuştur. Çalışma içerisinde evrimsel kuralların uygulanması ve uygunluk değeri, ekonomik, fonksiyonel, çevresel kısıtlamaların tanımlanmasıyla farklı popülasyonlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin en düşük maliyet ve en yüksek yarar kısıtlama olarak girildiğinde birden çok varyasyon üretilmektedir (Şekil 86) (Narahara ve Terzidis, 2006). Geometrinin oluşturulması için kullanılan tüm bu değişkenler, kısıtlamalar sürecin bileşenleridir.



Şekil 86. Kısıtlamalara göre şekillerin orta çıkması (Narahara ve Terzidis, 2006)

Evrimsel sürecin temelini oluşturan genetik algoritmalar, bu projede tasarım/optimizasyon metodu olarak seçilmiştir. Optimizasyon gerçekleştirilmeden önce, gerekli yoğunluk oranı, program kullanıcısı tarafından veri olarak girilmiştir. Gerekli yuzdeden sapan genetik algoritmaların optimizasyon süreci istenen yoğunluk oranı sağlanana kadar sürmektedir (Şekil 87) (Narahara ve Terzidis, 2006).



Şekil 87. Optimizasyon süreci

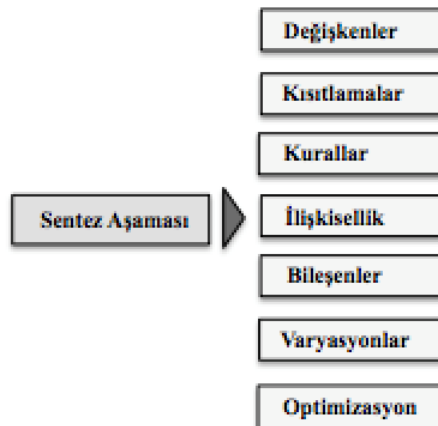
- Geliştirme Aşaması ve İletişim Aşaması

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada tek bir sonuç üzerinden gidilmemiştir. Bu araştırmayı içeren metin okumasında da bu konuda herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır. Uygulamaya yönelik herhangi bir dökümantasyon hazırlanmamıştır.

- Değerlendirme

Evrimsel tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada formun tümevarım mantığıyla üretildiği görülmüştür. Form, 10x10x10 ölçülerine sahip, çeşitli işlevlerin tanımlandığı gridlerden oluşmaktadır. Yerleşimde, performans kriterlerine göre optimizasyon sentez aşamasında mekanizma tarafından yapılmıştır. İncelenen süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 31).

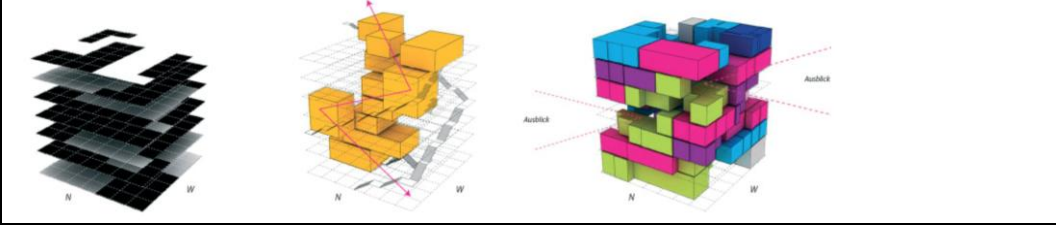

Tablo 31. Narahara ve Terzidis (2006) tarafından gerçekleştirilen konut çalışmasına ait tasarım sürecinde öne çıkan kavramlar



### 2.2.2.5. Örnek 10: Stuttgart Hochschule Technik Yüksek Okulu Ek Binası

Evrimsel tasarım yöntemi ile mekânsal ve strüktürel kararların alındığı bu proje 2009 yılında uygulanmıştır.

Tablo 32. Voxel, Stuttgart Hochschule Technik Yüksek Okulu Ek Binası

HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / ÜRETKEN MODEL / EVRİMSEL TASARIM YÖNTEMİ	<b>ÖRNEK 10: Stuttgart Hochschule Technik Yüksek Okulu Ek Binası</b>
	<p>Proje Yılı: 2009          Proje Tasarımcısı: LAVA, Klaus Bollinger, Manfred Grohmann, Oliver Tessmann          Kullanılan Yöntem: Evrimsel Tasarım          Kullanılan Programlar: --</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Stuttgart'ta, LAVA (Laboratory For Visionary Architecture) ve Bollinger+Grohmann ortaklığı ile 2009 yılında yapılmış olan yeni mimarlık fakültesi binasının yarışmasında, evrimsel tasarım yöntem olarak kullanılmıştır. Tasarım alternatifleri, mekan, strüktür, boşluk ve diğer fonksiyonların birbiriyle ilişkisini sağlayan, üç boyutlu mekansal sürekliliğe dayanmaktadır. Bu projede amaç strüktürel sistemi evrimsel süreç içerisinde geliştirmektir.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Şekil 1. Voxel binası için tanımlanan diyagramlar (Bollinger, vd. 2010)	
	
Stuttgart Hochschule Technik Yüksek Okulu Ek Binası (URL-35, 2015)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

LAVA (Laboratory For Visionary Architecture) ve Bollinger+Grohmann ortaklığı ile oluşturulmuştur. Tasarım yöntemi belirlendikten sonra, süreci oluşturan gereksinimler, kısıtlamalar, kurallar gibi bileşenler belirlenmiştir. Mimari ve strüktürel konsept, perde duvarlar ve döşemelerin hiyerarşik bir organizasyon ihtiyacı duymadan üç boyutlu matris üzerinde strüktürel ve fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak şekilde yerleştirilmesine dayanmaktadır. Problemin tanımı ortaya konulduktan sonra çözüm için gerekli olan yöntemle karar verilmiştir.

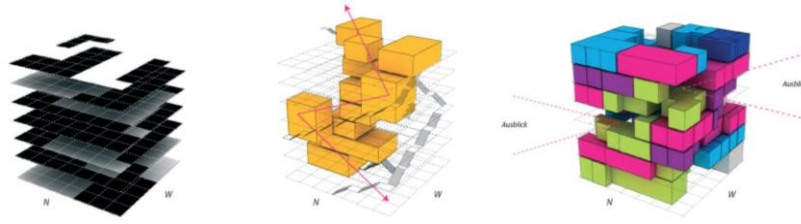
- Sentez Aşaması

Yarışma projesi olarak hazırlanan bu çalışmada ilk olarak, üç boyutlu ızgara oluşturulmuş ve bu ızgara üzerinde her hücre, strüktürel özelliği yoğun olan hücreler ve strüktürel özelliği olmayan boşluk olabilecek hücreler olarak tanımlanmıştır. Geometrik tanımlamayı oluşturan bu bileşenler kısıtlama olarak belirlenmiştir. Bunlar oluşturulduktan sonra, düşeyde ve yatayda eğilme momenti, perde duvarların yerleşimi gibi değişkenler tanımlanmıştır. Hücre tipleri iki özellikten biriyle eşleştirilince populasyonun tanımlanması gerçekleştirilmiştir. 50 tane rastgele boşluklu yapıya sahip alternatif üretilmiş ve analiz edilmiştir. Üç evrimsel kriter, çözüm alternatiflerinin sıralanmasında kullanılmıştır. Bunlar:

- Düşeyde döşeme plaklarının eğilme momenti,
- Yatayda perde duvarların eğilme momenti,
- Hücreler içinde perde duvarın yerleşimi olarak belirlenmiştir (Bollinger, vd. 2010).

İlk ebeveynleri oluşturmak için, en az eğilme momenti olan ve hücre tipine göre en uygun duvar kompozisyonu olan düzenlemeler değişken olarak kullanılmıştır. Bu yüzden, sonraki üretim önceki aşamadan başarılı olan sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Populasyon üretiminde çeşitlilik (varyasyon), genotip üzerinde yapılacak çaprazlama ve rastgele mutasyon gibi doğal kurallarla sağlanmıştır. 200 alternatif üretiminden sonra, süreç birden çok mimari ve strüktürel kriterleri sağlayan bir sonuca ulaşmıştır. Tasarım evrimleşme sürecinde üretim, analiz, değerlendirme, seçim, tekrar üretim ve sonlandırma gibi aşamalar kaydedilmiştir (Bollinger, vd. 2010).

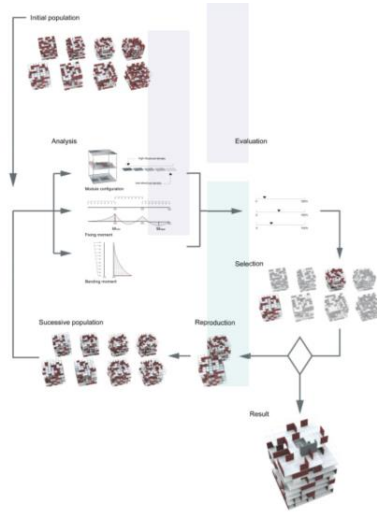
Voxel binası için önemli üç diyagram; farklı yoğunlukların alanını gösteren bit haritası (nokta esaslı), kümelenmiş kutular boşluğu ve program dağılımını gösteren 3 boyutlu grid olarak tanımlanmıştır (Şekil 88) (Bollinger, vd. 2010).



Şekil 88. Voxel binası tasarımı için tanımlanan mekansal kurallar (Bollinger, vd. 2010)

Eğilme momenti ve hücre tipine göre en uygun duvar kompozisyonu popülasyonun oluşması ile ilişkilidir. Bu iki değişkenin değeri popülasyonun değerini etkilemektedir. Buna ek olarak hücreler, grid ve boşluk olan mekanlar arasındaki ilişki de süreç başlangıcında tanımlanmıştır. Süreç içerisinde tanımlanan tüm değişkenler, kısıtlamalar bileşen olarak yorumlanmıştır.

Popülasyon üretiminde çeşitlilik, genotip üzerinde yapılacak çaprazlama ve rastgele mutasyonlarla sağlanmıştır. 200 alternatif üretiminden sonra, süreç birden çok mimari ve yapısal kriterleri sağlayan bir sonuca ulaşmıştır (Şekil 89) (Bollinger, vd. 2010).



Şekil 89. Evrimsel süreç içerisinde oluşan popülasyon varyasyonları (Bollinger, vd. 2010)

Bu çalışmada, evrimsel kriterler, sadece yapısal gereklilikler için kullanılmayıp mimari açıdan da kullanılmıştır. Çalışmada elde edilmeye çalışılan optimizasyonu gerçekleştirilmiş bir yapı değil, birden fazla kriterin dengede olduğu, birbirleriyle uyumlu olduğu bir çözümdür (Bollinger, vd. 2010).

- Geliştirme Aşaması

Projenin yer aldığı metinler içerisinde bu aşamaya yönelik bir bilgiye ulaşılamamıştır. Evrimsel süreç sonucunda en iyi sonucun seçildiği ve bunun geliştirilip uygulandığı varsayılmıştır.

- Uygulama Evresi

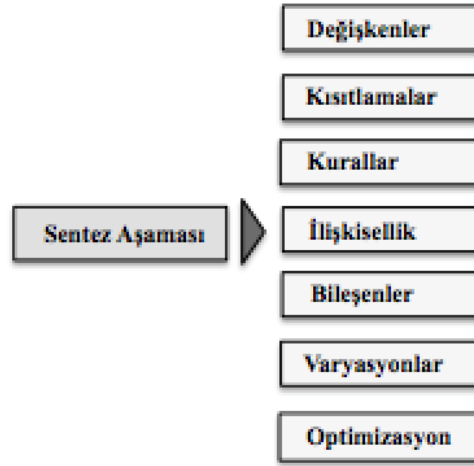
- İletişim Aşaması

Bu çalışma uygulandığı için, uygulama projelerinin çizildiği ve rasyonelleştirmenin yapıldığı düşünülmektedir. İncelenen metinler içerisinde ve tasarımcılara ait internet adreslerinde böyle bir bilgiye ulaşılamamıştır.

- Değerlendirme

Tümevarım mantığının kullanıldığı bu çalışmada, tasarımcı doğrudan mekanizma ile etkileşim kurmaktadır. Bütün, ızgara ve tanımlanmış hücrelerden oluşmaktadır. Süreç içerisinde analiz edilen aşamalarda yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 33).

Tablo 33. Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası sürecinde öne çıkan kavramlar



### 2.2.3. Performans Modelleri Süreç Analizleri

Oxman (2006; 2012) performans modeli içerisinde; performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemlerini sınıflandırmıştır. Sınıflandırma içerisinde yer alan yöntemler kullanılarak üretilmiş toplam 5 örnek incelenmiştir.

Bu başlık altında;






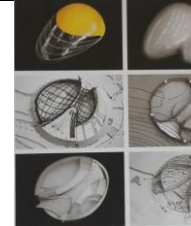
- Kopenhag fil evi (Uygulanmış- Performansa Dayalı tasarım yöntemi)
- Dubai Kuleleri (Deneysel- Performansa Dayalı tasarım yöntemi)
- Çift katmanlı strüktürel duvar (Deneysel- Performansa Dayalı tasarım yöntemi)
- Kule Tasarımı (Deneysel- Performansa Dayalı Üretken tasarım yöntemi)
- Newyork'ta Gökdelen tasarımı (Deneysel- Performansa Dayalı Üretken tasarım yöntemi) örnekleri incelenmiştir. Örnekler, analiz-sentez-geliştirme-iletişim aşamalarına göre analiz edilmiştir.



### 2.2.3.1. Örnek 11: Kopenhag Fil Evi

Performansa dayalı tasarım ve parametrik tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, tasarımcı eskiz üzerinde formu tasarladıktan sonra dijital ortama aktarmıştır.

Tablo 34. Kopenhag Fil Evi (Copenhagen Elephant House)

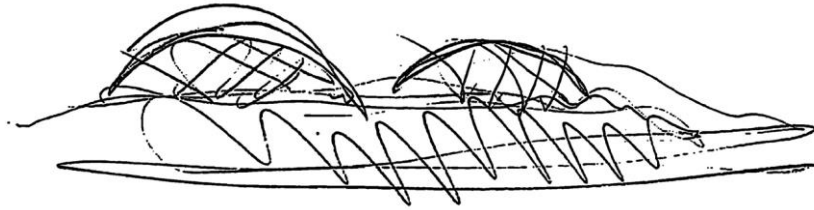
HESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / PERFORMANS MODELİ / PERFORMANSA DAYALI TASARIM YÖN.	<b>ÖRNEK 11: KOPENHAG FİL EVİ</b>
	<p>Proje Yılı: 2002-2008          Proje Tasarımcısı: Norman Foster And Partners +SMG          Kullanılan Yöntem: Parametrik tasarım+Performansa Dayalı Tasarım          Kullanılan Programlar:</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Frederiksberg Sarayı bitişiğinde, tarihi bir kraliyet park içerisinde yer alan, Kopenhag Hayvanat Bahçesi, yılda 1.2 milyon ziyaretçi çeken, Danimarka'nın en büyük kültür kurumudur. Bu projede dijital modeldeki tasarım fikirleri ilk olarak eskiz üzerinde gerçekleştirilmektedir. Geometrik kurallar ve yapı detayları kurgulandıktan sonra parametrik model oluşturulmaktadır (Peters, 2008). Proje için erken tasarım konseptleri eskiz modelleri ile denenmiştir. Erken tasarım konseptinin geometrik karmaşıklığı Uzman modelleme Grubunun (Specialist Modelling Group) katılımı ve bilgisayarın kullanımıyla dijital ortamda üç boyutlu CAD modelleri oluşturulmuştur (Peters, 2008).</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>
Görünüşler (URL-36, 2015)	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>	
Görünüşler (URL-36, 2015)	Model üzerinde çalışmalar (Woodbury, 2010)

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Süreç içerisinde ihtiyaç programı ve arazi analizlerine göre bazı çıkarımlar yapılmıştır. Projenin tarihi alanda konumlanması, ziyaretçi sayısı, hayvanat bahçesi ve park arasındaki görsel ilişkinin sağlanması, fillere rahat edebilecekleri kullanışlı bir çevre sunulması, park içerisinde kolay erişilebilir bir alanda konumlanması, ışık ve açıklık iki önemli kriter olarak kullanılması, vahşi boğa fillerinin (bull elephants) ana sürüden ayrı dolaştıkları için planda, iki ayrı çevrelenmiş alan olması, bu iki ayrı alanın park içerisinde kapladığı alanı küçültmek ve termal performansını en iyi şekilde olması için arazi içerisine kazılarak yerleştirilmesi gibi kriterler belirlenmiştir. Ayrıca, fillerin kışın  $-12\text{ C}^{\circ}$ 'nin altına düşen sıcaklıkta dışarı çıkamadıkları ve iç ortamda doğal ışığa ihtiyaç duydukları için bu da bir problem olarak belirlenmiş ve buna göre çözüm alternatifleri oluşturulmuştur (Peters, 2008).

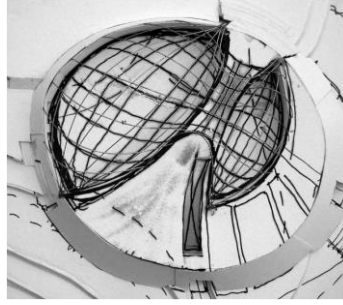
- Sentez Aşaması

Erken tasarım aşamasının eskiz üzerinde gerçekleştiği bu çalışmada dijital ortamda, parametrik tasarım ve performansa dayalı tasarım yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür (Şekil 90).



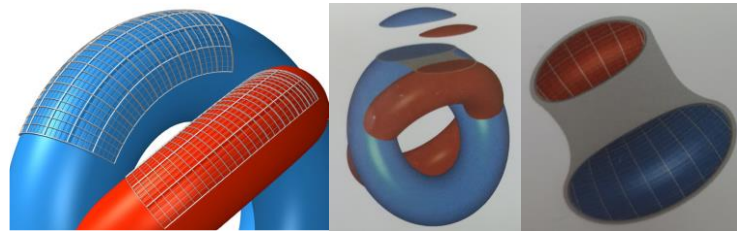
Şekil 90. Norman Foster'a ait eskizler (Peters, 2008)

Norman Foster'a ait eskizde, biri daha büyük olan iki bölüm ve peyzaj içerisinde yükselen fakat asıl kısmı toprak içerisinde konumlanmış iki gölgelik strüktür görülmektedir. Gölgelik (canopy) geometrisi, peyzaj ve fillerin yaşayacağı plan düzenlemesi ile ilişkili olarak kurgulanmıştır (Şekil 91) (Peters, 2008).



Şekil 91. Norman Foster' ait ikinci eskiz (Peters, 2008)

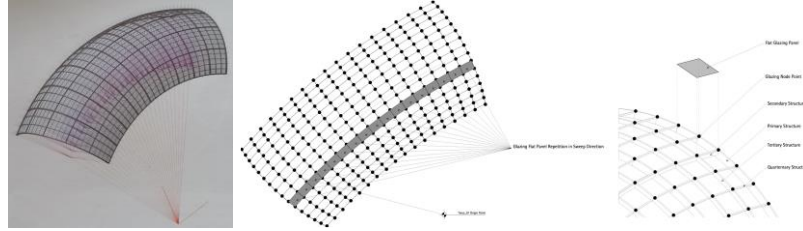
Dijital ortamda gölgelikler (canopies), halka (torus) <sup>4</sup> geometrisiyle rasyonelleştirilmiştir (Şekil 92). Gölgelik strüktürünün ve kaplamalarının modellenmesi için bilgisayar programı (structure generator) yazılmıştır. Bu parametrik sistem grupla birlikte çalışan bir mimari tasarımcı tarafından tasarım aracı olarak geliştirilmiştir. Bu üretken araç CAD ile uyumlu çalışmaktadır. Ayrıca bu araç, tasarımcıların tasarım süreci içerisinde daha fazla tasarım seçeneği araştırmasına ve değişiklikler yapmasına yardımcı olmaktadır. Süreç içerisinde, başka bir bilgisayar programı da çevresel analizlere dayalı olarak gölgelik üzerinde desen oluşturmak için yazılmıştır. Yazılan bu program, kaplama ve strüktür tasarımı için üretilen programın aksine, karmaşık geometrik strüktürlerin tasarımını yapmak için geliştirilmemiştir. Bu program, bilgisayar kullanılmadan gerçekleştirilemeyen hesaplamalı yaklaşımları araştırmaktadır. Bu bağlamda tasarımcı kalemle çizmek yerine, kod ile dijital eskizler yapmaktadır (Peters, 2008).



Şekil 92. Bilgisayarda üretilmiş strüktür ve Torus geometrisi (Peters, 2008; Woodbury, 2010)

<sup>4</sup> Torus konuşma dilinde simit (donut) olarak kullanılan matematiksel bir tanımlamadır. Topolojide ve geometride simit (torus) bir yüzeydir. Üç boyutlu uzayda bir çemberin, aynı düzlemde yatan ve çembere değmeyen bir doğru etrafında döndürülmesiyle elde edilir (Woodbury, 2010).

Mekânın ve strüktürlerin boyutsal özelliklerine karar verebilmek için CAD çizimleri üretilmiştir. Gölgeleklerin (canopies) karmaşık geometrilerini incelemek için sadece 2D çizimler yeterli olmamış bunun yanında 3D CAD modellemeleri de kullanılmıştır (Şekil 92) (Peters, 2008). Parametrik modelin geliştirilmesinde geometrik kurallar (geometric rules) ve yapı detayları (construction rules) etkili olmaktadır (Woodbury, 2010).



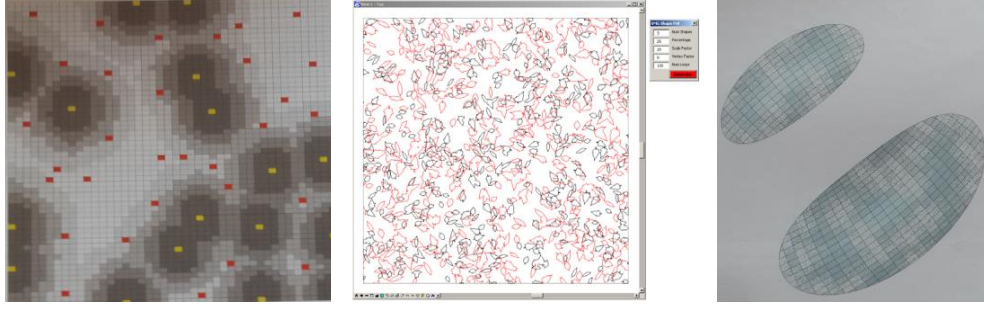
Şekil 93. Torus geometrisinin dijital çizimi (Woodbury, 2010; Peters, 2008)

Gölgeleklerin üretimi için kullanılan programa veriler kod olarak girilmektedir. Fil evinin gölgeleğinin üretimi için seçilen büyüklük, aralık, strüktürel parçaların çeşidi, birinci ve ikinci torusun yarıçapı gibi 26 adet değişken oluşturulmuştur. Bu sayısal değişkenler koordinat sistemlerini ifade eden torus akslarıyla ilişkili olarak kurgulanmıştır (Peters, 2008). Süreç içerisinde tanımlanan tüm bu değişkenler ve kısıtlamalar bileşen olarak yorumlanmaktadır.

#### ▪ Geliştirme Aşaması

Gölgeleklerin tasarımı tamamlandıktan sonra, gölgelek camının sırcalaştırılmasına karar verilmiştir. Gün ışığını kontrol etmek için bir tür ipek baskı sanatı olan (silk-screen) sırcalaştırılma (fritting) işlemi cam yüzeylere uygulanmıştır (Peters, 2008).

Yerel bitkilere ait ağaç yaprağı formu peyzaj mimarı tarafından desen olarak belirlenmiştir. Yaprak şeklini sırcalaştırma işleminde desen oluşturmak için yeni bir bilgisayar programı yazılmıştır. Program farklı yaprak şekillerini cam paneller üzerine döndürme, ölçeklendirme ve rastgele formunu değiştirme işlemleri gibi kurallar uygulayarak yerleştirmektedir (Şekil 94) (Peters, 2008).

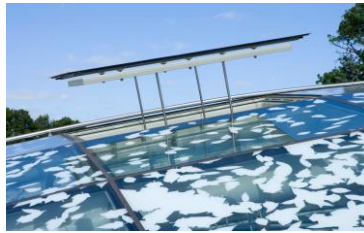


Şekil 94. Yaprak şekillerini cam panel üzerine yerleştirme için kullanılan program (Peters, 2008; Woodbury, 2010)

Gölgelik camının alacağı gün ışığı simülasyon teknikleri ile belirlendikten sonra bu değerlere göre sırcalaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaprak desenlerinin nerede fazla nerede az olacağı simülasyon sonucunda oluşan görüntü ile ilişkili olarak yapılmıştır. Program, gün ışığı gölgeleme yüzdesi istenilen seviyeye ulaşınca desenleme işini sonlandırmıştır. Bu bağlamda gün ışığı gölgeleme yüzdesi kısıtlama olarak tanımlanmıştır (Şekil 94).

Bu programda ilk olarak kod yazılmış olup kullanılan algoritmanın basit olduğu düşünülmektedir. Strüktür ve cam kaplama tasarımını üretiminin aksine sırcalaştırma algoritmasının gelişimi performansa dayalı kompleks desenlerin geliştirilmesinde tasarımcının hesaplamalı kurallar uygulaması ile daha yararlı ve hızlı seçenek üretilmesini sağlamıştır (Peters, 2008).

Sırcalaştırma (fritting) desenleri bir kez tasarlanıp üretilince, cam üzerine işlenecek bu desenlerin nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesi için yeni bir strateji ve yeni bir program gerekmiştir. Bu amaçla, orman gölgeliklerinden esinlenilmiş, yaprak şeklindeki sırcalaştırma işlemi merkeze doğru yoğunluğu azalan üç bölgeye ayrılmıştır. Her bir panelin strüktür içerisinde tam olarak nereye yerleşeceğini bulmak için yeni bir hesaplamalı yaklaşım düşünülmüştür (Peters, 2008).



Şekil 95. Cam üzerine işlenen yaprak deseni (URL-37, 2015)

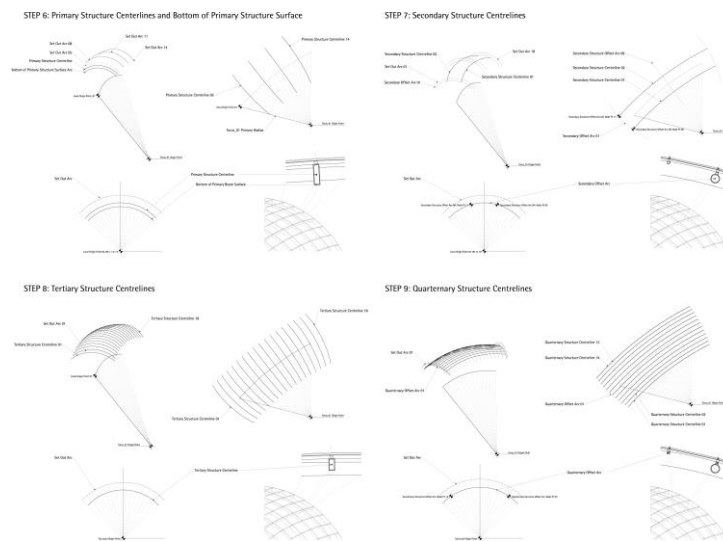
Cam paneller, kullanışlı pencerelerin yeri, üç bölgenin sayısı ve panel tiplerinin numarası bilgisayar programına veri olarak girilmiştir. Tekrarlamaları incelemek ve algoritmik yaklaşımlar bu durumun optimizasyonunda (en iyileme) önemli olmuştur. Bu tekrarlamalı yaklaşımın hesaplamalı araçlar olmadan imkansız olduğu düşünülmektedir. Şekil 95’te Fil evi gölgeliklerinin (Elephant House Canopies) üzerindeki sırcalaştırılmış desenlerin yerleşimi görülmektedir (Peters, 2008).

- Uygulama Evresi
- İletişim Aşaması

Bu projede iletişim aşamasında rasyonelleştirme gerçekleştirilmiştir. Üretim öncesinde yükleniciye karmaşık geometriyi parçalara bölerek doğru aktarmak amaçlanmıştır. Bu durum tasarım ürünün sorunsuz gerçekleşmesi imkanı tanımaktadır.

SMG ile Foster ve Ortakları’nın diğer birçok projesinde olduğu gibi, tasarım, fabrika işleriyle ilgilenen kişilerle dijital biçim üzerinden değil, Geometry Method Statement (Geometrik yöntem yaklaşımı) diye adlandırılan bir dosya üzerinden anlatılmaktadır (Peters, 2008).

Dökümanlar basit geometrik kuralları anlatmak için tasarım terimlerinden oluşmaktadır. Bu planlanmış eğitici yaklaşım, üreticinin projenin geometrik karmaşasını anlamasını sağlamaktadır. Şekil 96’daki diyagramda gölgeliklerdeki strüktürel elemanların merkez hattındaki üretimini göstermektedir.

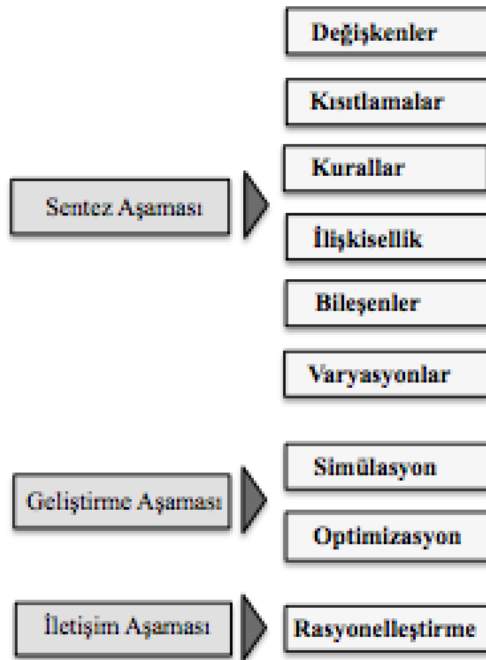


Şekil 96. Geometry Method Statement’deki proje anlatımları (Peters, 2008)

### ➤ Değerlendirme

Parametrik tasarım ve performansa dayalı tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada tündengelim mantığıyla form oluşturulmuştur. Form oluşturma aşamasında parametrik tasarım yöntemi kullanılırken, performansa dayalı yöntem geliştirme aşamasında kullanılmıştır. Performans kriteri cam tavan gölgelemesinde kullanılmıştır. Bu aşamada, proje ekibi içerisinde çalışan mimar tarafından yazılım geliştirilmiştir. Bu da tasarımcıların ihtiyaç duyduklarında gerekli yazılımları kendilerinin üretebildiklerini göstermektedir. Tasarımcı tarafından gerçekleştirilemeyen ya da gerçekleştirilmesi çok zor olan hesaplamalar yazılım tasarımıyla kolay hale gelebilmektedir. Süreç içerisinde analiz edilen aşamalarda yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 35).

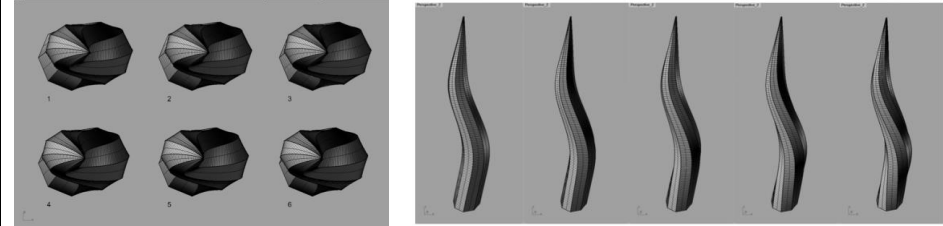
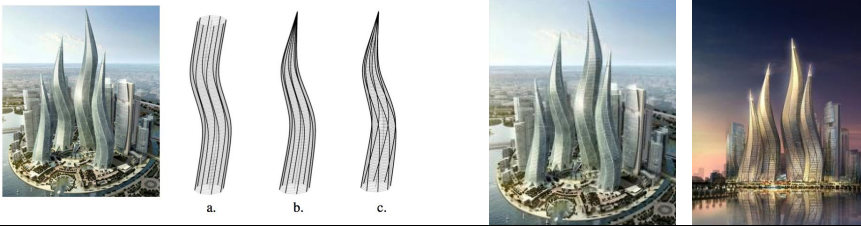
Tablo 35. Kopenhag Fil Evi projesine ait süreç modeli



### 2.2.3.2. Örnek 12: Dubai Towers

Performansa dayalı tasarım ve parametrik tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışma uygulanmış bir projenin erken tasarım aşamasını yeniden kurgulamaktadır.

Tablo 36. Dubai Towers

ESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / PERFORMANS MODELİ / PERFORMANSA DAYALI TASARIM YÖN.	<b>ÖRNEK 12: DUBAI TOWERS (DENEYSSEL)</b>
	<p>Proje Yılı: 2010          Proje Tasarımcısı: TVS DESIGN / Almusharaf, Ayman M.; Mahjoub Elnimeir          Kullanılan Yöntem: Parametrik tasarım+Performansa Dayalı Tasarım          Kullanılan Programlar: Grasshopper, CSI ETABS</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Üretken ve analitik araçların erken tasarım aşamasında kullanılması, geleneksel forma dayalı yaklaşımlara göre daha geniş imkanlar sunmaktadır. Bu çalışma, strüktürün yüksek yapıların form üretim aşamasına entegre edildiği metodolojik bir yaklaşım için zemin hazırlamayı amaçlamaktadır. Formel ve strüktürel tasarım düşüncelerinin erken tasarım evresinde paralel gelişmesi için bir taslak çalışma sunmaktadır. Yüksek yapıların tasarımında sadece formel ya da planlama tercihlerinin değil yüksek yapılarla ilişkili temel strüktürel prensiplerin de düşünüldüğü bir sürecin mimarlara yardımcı olması amaçlanmıştır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Tasarım aşaması ve Görünüşler (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010), (URL-38, 2015)	
	
Grasshopper çizimleri (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)	



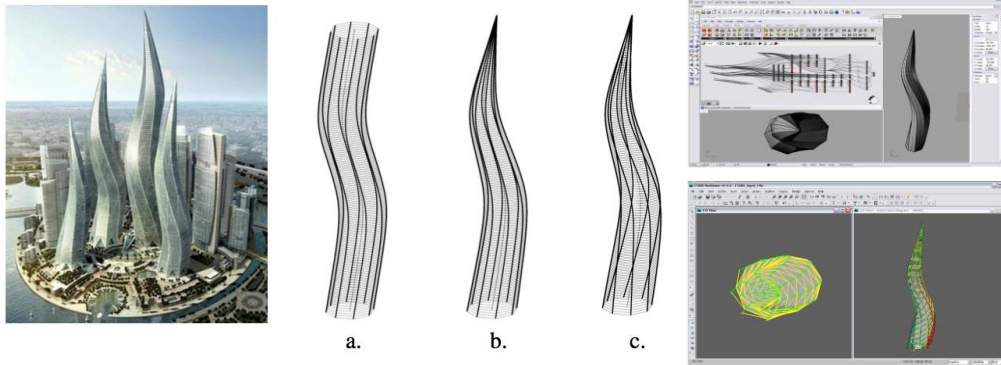
- Yaratıcı Evre
- Analiz Aşaması

Yüksek yapıların gelişimi için kullanılan hesaplamalı araçlar ve teknikler, strüktürel performans kriterlerine dayanmaktadır. Performansa dayalı tasarım yaklaşımlarını tasarımda kullanabilmek için parametrik ilişkili modelleme sistemleri ve strüktürel analiz araçları ile birleştirilerek tasarıma aktarılmaktadır. İki aracın birleşimi ile oluşan kapalı tasarım/analiz geri besleme döngüsü, erken büyüebilme ve formel ve strüktürel tasarım girdilerinin eş zamanlı işlenmesi üzerine kurulmuştur (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).

Problem olarak yüksek yapıların formel ve strüktürel tasarımların aynı aşamada gerçekleştirilmesi için yapılmış deneysel bir çalışmadır. Bu amaçla yeni bir tasarım yapılmamış, uygulanmış bir proje olan Dubai Towers belirlenen programlarla yeniden oluşturulmuştur.

- Sentez Aşaması

Bu çalışmada kullanılan form, TVS Tasarım tarafından Dubai'deki en yüksek kule olarak tasarlanan Kule 29 üzerinde önerilen tasarım sürecinin başlangıç uygulamasını göstermektedir (Şekil 97) (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).



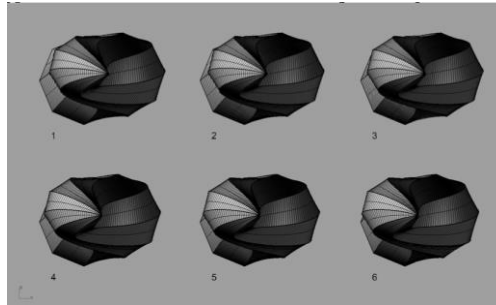
Şekil 97. Dubai Kuleleri (soldaki, TVS Tasarım), Geometrik dönüşümün Kule 29'a uygulanması a: Omurga eğrisi, b: Konik yükseliş, c: Kıvrılma; Kule 29'un Grasshopper programında üretilen başlangıç modeli (üstte), ETABS programında üretilen analitik model (altta) (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

Kulenin tasarımında ilk olarak parametrik başlangıç modeli Grasshopper programında üretilmiştir. Çeşitli parametrik girdiler Grasshopper yazılımına ya sayısal olarak (değişkenler için özel değerler atayarak) ya da grafiksel olarak (noktaların, çizgilerin ya da B-spline eğrilerin doğrudan el ile işlenmesi) girilmektedir (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).

Çeşitli parametrik değerler (girdiler) tanımlandıktan sonra, sentez aşaması içerisinde başlangıç geometrisinin üretimi gerçekleştirilir. Yalnızca geometrik kurallara dayanan ön kontrol sentez aşamasının bir parçasıdır. Başlangıç formunun kabul edilebilir strüktürel sınırlara göre belirlenip belirlenmediği kontrol edilir (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).

Kod yükseklik, açı, yön, yarı çap, kütle merkezi gibi özellikleri kontrol etmeye yaramaktadır. Bunlar süreç içerisinde tanımlanan değişkenlerdir. Başlangıç geometrisi onaylanmışsa bir sonraki aşamaya geçilir. Geometrik modifikasyon, süreci performansa dayalı kriterlere göre yönlendirmektedir (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).

Bağımsız geometrik parametreler kulenin sekizgen tabanını oluşturmuştur. Yılkavi şekilde yükselme, kulenin düşeyde eğimli oturması içindir. Bezier eğrisine dayanan yükseklik artışı ve kat çapının azalması ile yukarı doğru sivrileşme gerçekleşmektedir; birbirleriyle ilişkili her katın dönmesi kıvrım ile gerçekleşmiştir. Aynı zamanda formun merkezinin dışa doğru kaymasını azaltmak için bazı parametrik düzeltmeler yapılmıştır (Şekil 98) (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010). Kat yüksekliği, strüktürün en fazla ne kadar büküleceğini gösteren değer gibi kısıtlamalar formun son halini almasında etkili olmaktadır. Yükselme, kıvrılma, sivrileşme belli kuralların uygulanmasıyla elde edilmiştir.

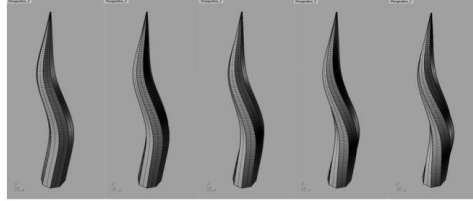


Şekil 98. Formun dış merkeziliğini azaltmak için tekrarlanan parametrik düzeltmeler. (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

Fonksiyonel parametreler; yapının en geniş alanı, temel geometrik alanı, kattan kata yüksekliği ve kat sayısını içermektedir. Kavramsal tasarım aşamasında parametrik girdi setleri, formu doğrudan etkileyen çeşitli tasarım değişkenlerini kapsamaktadır. Bu gibi parametrik değişkenler, geometrik, fonksiyonel ve strüktürel olmak üzere üç belirgin şekilde kategorize edilmiştir. Geometrik parametreler, mimari formun geometrik boyutsal özelliklerini ve bağlantılarını belirlemektedir. Fonksiyonel parametreler, fonksiyon

çeşitlerini, brüt alan, kat sayısı, kat yükseklikleri gibi özellikleri düzenlemeye yardımcı olmaktadır. Strüktürel parametreler, strüktürel tasarım modelinin ve geometrik olmayan strüktürel özelliklerin 3 boyutlu montajını düzenlemek için bir dizi girdi içermektedir. Strüktürel sistemin türü, strüktürel elemanların türü, dikme ölçülerinin sayısı, strüktürel sistemin yatay/düsey modülleri, rüzgar bölgesi gibi verileri içermektedir (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010). Tanımlanan tüm bu değerler sürecin bileşenleri olarak kurgulanmıştır.

Sentez aşamasında strüktürel tasarım formun gelişimi ile birlikte (ilişkisel) yürütülmüştür. Bu aşamada strüktürel davranış üzerinde bükülme etkisi araştırılmıştır. Fonksiyonel ve strüktürel analizler ETABS programında yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda birden çok varyasyon elde edilmiş ve eğim açısı için 120 derece uygun bulunmuştur (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010). Kıvrılma etkisinin araştırılması ile bir çok varyasyon kısa sürede elde edilmiştir (Şekil 99).

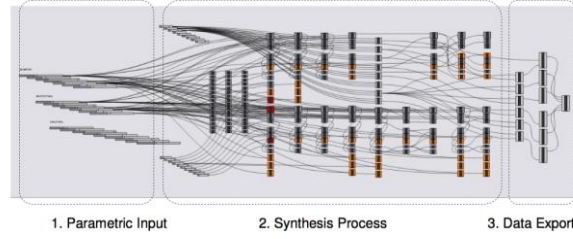


Şekil 99. Kıvrılma derecesine göre parametrik çeşitlilik (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

Bu çalışmada, bir dizi kriter, strüktürel performans değerlendirmeleri yapmak için oluşturulmuştur. Bu kriterler yanal yer değiştirmeler, dönme momenti ve strüktürel ağırlık gibi özellikleri içermektedir. Bunun gibi kriterler strüktürel performans üzerinde geri bildirim sağlayacak ve daha sonra geometrinin bu performans değerlerine göre güncelleşmesini ve üretilmesini sağlayacaktır. Parametrik olarak tanımlanmış başlangıç geometrisi ile performans kriterlerine maruz kalmış geometrik değişimleri yapmak kolay olmaktadır (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).

#### ▪ Geliştirme Aşaması

Başlangıç geometrisi onaylandıktan modifikasyonun ikinci aşaması, formu değiştirmeden strüktürel sistem bileşenlerinin optimizasyonunu içerir. Bu durum, strüktürel elemanların boyutları, strüktürel tasarım modelinin biçimlenen geometrisinin düzenlenişi ya da ihtiyaç duyuluyorsa farklı bir strüktürel sistem önerme gibi düzeltmeleri içermektedir (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010).



Şekil 100. Grasshopper programı içerisinde Form Üretim sürecinin iş akışı (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

○ Uygulama Evresi

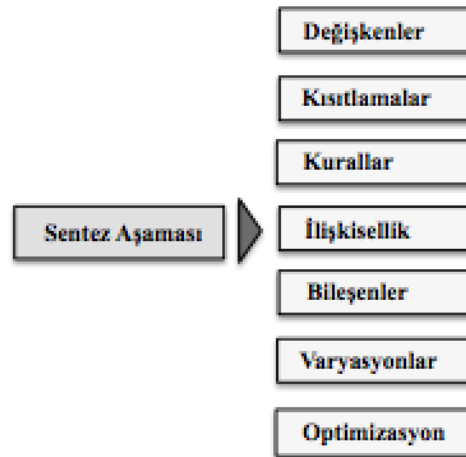
▪ İletişim Aşaması

Uygulanmış bir projenin tasarım sürecinin yeniden kurgulandığı ve deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma içerisinde bu aşamada gerçekleştirilmiş bir eyleme rastlanmamıştır.

➤ Değerlendirme

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma içerisinde parametrik tasarım ve performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılmıştır. Performans kriterleri geliştirme aşamasında parametrik olarak oluşturulan formun modifikasyonunu gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Sentez aşamasında form tümevarım mantığıyla oluşturulmuştur. Çünkü, strüktürel parçalar, kat yükseklikler ve dairesel çap bütünü oluşturan parçalardır. Bu çalışmaya ait süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir.

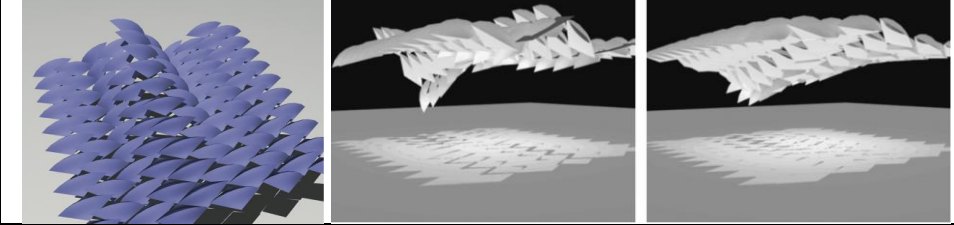
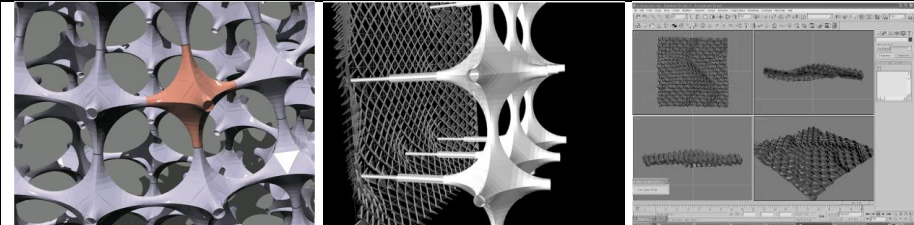
Tablo 37. Dubai Towers tasarım süreci içerisinde öne çıkan kavramlar



### 2.2.3.3. Örnek 13: Çift Katmanlı Strüktürel Duvar

Performansa dayalı tasarım, parametrik tasarım ve animasyona dayalı tasarım yönteminin kullanıldığı bu çalışmada yapıyı dış etkenlere karşı koruyacak bir strüktürel duvar tasarlanması amaçlanmıştır.

Tablo 38. Çift katmanlı strüktürel duvar çalışması (Performance-Based Design: Current Practices And Research Issues)

ESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / PERFORMANS MODELİ / PERFORMANSA DAYALI ÜRETKEN TAS. YÖN.	<b>ÖRNEK 13: ÇİFT KATMANLI STRÜKTÜREL DUVAR (DENEYSSEL)</b>
	Proje Yılı: 2008 Proje Tasarımcısı: Rivka Oxman-Shoham Ben Arı- Roey Hamer Kullanılan Yöntem: Performansa dayalı tasarım+Animasyona Dayalı Tasarım+Parametrik Tasarım Kullanılan Programlar: 3dMax, Reaktör (Plug-in)
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Bu çalışma, profesör Rivka Oxman öncülüğünde, ITT üniversitesi Mimarlık ve Şehir planlama fakültesi deneysel tasarım stüdyosunda, Shoam Ben Ari ve Roey Hamer ile birlikte yürütülmüştür. Bu çalışmanın amacı, performansa dayalı simülasyon süreci ile (performative simulation processes) tasarımın nasıl üretildiğini araştırmaktır. Yaklaşımı geliştirmek için, dijital tasarım stüdyosunda araştırma projesi olarak gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışma sunulmuştur. Bu proje, dinamik simülasyonların tasarım üretimi için kullanılmasını araştırmaktadır. Bir diğer amaç, güneş ışınlarının yayılmasından binayı koruyabilecek bir kabuk tasarlamaktır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Görünüşler (Oxman, 2008)	
	
Süreç içerisindeki görseller (Oxman, 2008)	

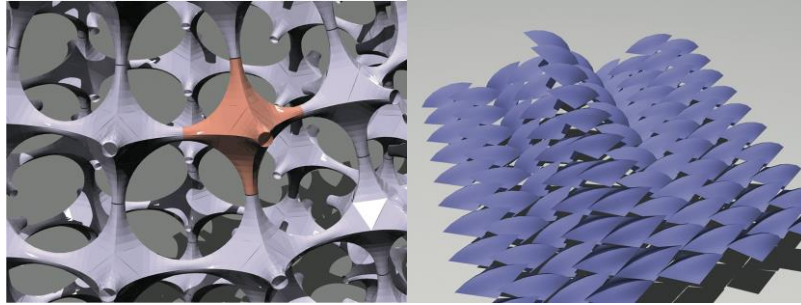
- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Bu projede, güneş ışınlarının yayılmasından binayı koruyabilecek bir kabuk tasarlamak amaçlanmıştır. Performasyona dayalı simülasyon süreci ile (performative simulation processes) tasarımın nasıl üretildiğini araştırmak için dijital ortamda kullanılacak yöntem ve araçlar belirlenmiştir.

- Sentez Aşaması

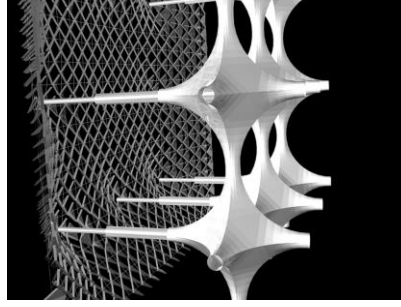
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada duyarlı yapı kabuğu tasarlamak amaçlanmıştır. Tasarlanacak olan kabuğun yapıyı aşırı rüzgar yükünden, güneş etkisinden, kentsel gürültü gibi akustik problemlerden koruması istenmiştir (Oxman, 2009).

Yapı kabuğu, iki katmanı birleştiren hassas bir yüzeye sahiptir. İç katman, dış kabuk yüzey katmanını destekleyen yapıcı iskeletten oluşmaktadır. Dış kabuk ise, dinamik ölçekli birimlerin birleşiminden oluşan kabuk yüzeyidir (Şekil 101) (Oxman, 2008).



Şekil 101. Strüktürel duvar ve dinamik parça strüktürlerin bileşiminden oluşan dış kabuk birimleri (Oxman, 2008)

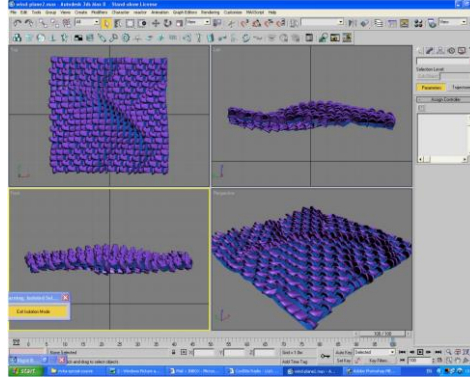
Dış katman, kullanışlı modüllerin birleşiminden oluşan bir sistem içerisinde hareket eden parçalı birimlerden oluşmaktadır. Kabuk boyutları ve modüllerin sayısı kısıtlama olarak belirlenmiştir. Dinamik hareketleri ve parçaların açılışını hafifletmek ve desteklemek ve iskelet içerisinde yer alan saklı mekanizmaları etkinleştirmek için kullanılacak sensörler duvar üzerinde tasarlanmıştır (Şekil 102) (Oxman, 2009).



Şekil 102. İki birimli bina duvar kabuğu (Oxman, 2009)

Bu çalışmada, bağlam (rüzgar) ve form (yüzey) dinamikdir. Statik form tasarımı yerine, animasyon; dinamik form üretmek için dinamik güçlerin simülasyonu kullanılmıştır. Aynı zamanda; animasyon teknikleri, karmaşık yüzey kabuğun hareketini çalışmak için kullanılmıştır. Bir yüzey değişikliğinin eğim derecesi, dinamik simülasyonun harekete geçmesiyle elde edilmiştir (Oxman, 2000).

Kabuk yüzeyinin temel geometrisi, standart yüzey düzlemi olarak tanımlanmıştır. Modüller, yüzey düzlemi ile ilişkili olarak kopyalanmış ve modellenmiştir. Süreç içerisinde kütle, yoğunluk, gerilme, elastisite gibi fiziksel değişkenler tasarıma yön vermede etkili olmuştur (Oxman, 2008).



Şekil 103. Rüzgar gücünün yüzeyi biçimlendirmesi (Oxman, 2007)

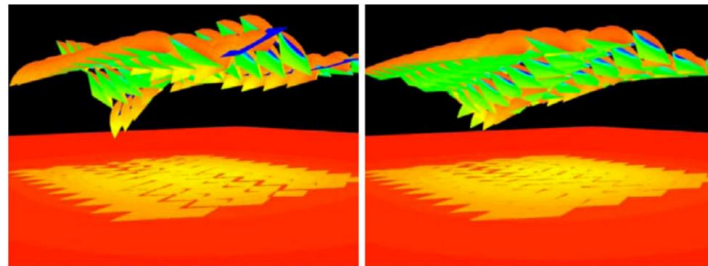
Bu projede animasyon teknikleri sentez aşaması içerisinde, form oluşturma mekanizması olarak kullanılmıştır. Yüzeyin hareketi ve ilişkili olduğu modüllerin animasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 103). Dinamik hareket kabuk yüzeyinin eğimli

üretilmesini sağlamıştır. Eğim derecesindeki değişiklik, parçacıkların konumunu ve ilişkisini değiştirmektedir (ilişkisellik) (Oxman, 2009).

Güçler simülasyonu (force simulation) ve hareket ile (animasyon) form üretilmiştir. İstenen ışık yayılma şekli modül parametrelerini değiştirmiştir. İleri düzeydeki sistemin gelecekteki gelişimi için, performansa dayalı model tarafından otomatik olarak kullanılabilirlik değişikliklerin gerçekleştirilmesi istenmiştir. Form üretim sürecini desteklemek için parametrik model kullanılmıştır (Oxman, 2008).

Yüzeyin her bir dinamik hareketini çalışmak için, rüzgar gücü seçilmiştir. Dinamik faktörlerin simülasyonu ve yüzey üzerindeki etkisi reaktörler kullanılarak formüle edilmiştir. Reaktör, 3DS Max için plug-in olup, plug-in'ler, karmaşık fiziksel görünümüleri simüle etmek için animasyon olarak kullanılmıştır. Reaktör, 3ds max için geliştirilmiş en kapsamlı fiziksel etkileşimli canlandırma sistemidir. Reaktör, gerçek dünya fizik kurallarına uygun olarak yumuşak nesne dinamiği (soft-body dynamics), katı nesne dinamiği (rigid-body dynamics), kumaş, sıvı ve ip canlandırmalarını çözümlenmektedir. Bu sayede, Reaktör ile hazırlanan canlandırmalarda nesnelere arası etkileşimin yanı sıra yerçekimi, rüzgâr ve kütle yoğunluğu gibi tanımlamalar da kullanılabilir. (Oxman, 2009) Bütün bu animasyon, simülasyon teknikleri zaman parametresi kullanılarak belli kurallar oluşturularak forma etkisi araştırılmıştır. Süreç içerisinde tanımlanan tüm bu kısıtlamalar, değişkenler ve kurallar bileşen olarak belirlenmiştir.

Rüzgar simülasyonu, kabuk yüzeyinin şeklini üretmiştir. İkinci performans kriteri aydınlatma (ışık)'tır. Kabuk yüzeyinin aydınlatma kriteri, rüzgarın etkisinin açma ya da kapama sonucunda oluşur. Bu aşamada, kabuk geometrisinin etkisini çalışmak için görsel değerlendirme sağlamıştır. Bir sonraki aşamada, rüzgar etkisinin ve aydınlatmanın iki üretici faktör olarak simülasyonu yapılmıştır (Şekil 104) (Oxman, 2008). Rüzgar etkisi ve aydınlatma kriterlerinin belli bir zamanda etki etmesi sonucu varyasyonlar oluşmaktadır.



Şekil 104. Solar etkinin kabuk üzerindeki dinamik formasyonu (Oxman, 2009)



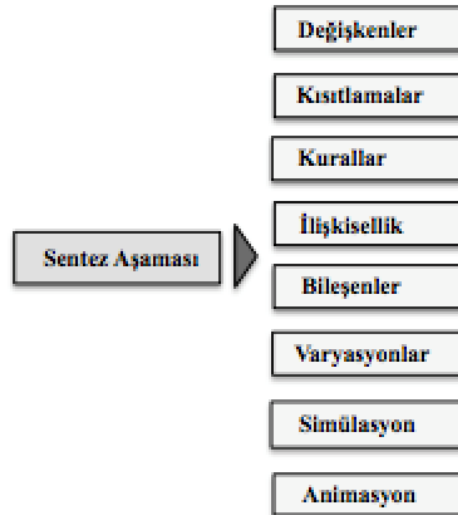
▪ Geliştirme Aşaması / İletişim Aşaması

Animasyon ve simülasyon tekniklerinin duvar üzerindeki formasyonunu araştıran ve deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma içerisinde, tasarlanan yapı kabuğu için tek bir form üzerinden gidilmemiştir. Uygulamaya yönelik herhangi bir çalışmaya incelenen metinler içerisinde rastlanmamıştır.

➤ Değerlendirme

Bu proje içerisinde, animasyona dayalı tasarım, performansa dayalı tasarım ve parametrik tasarım yöntemlerinin üçü de kullanılmıştır. Ayrıca simülasyon kavramı formu biçimlendirmek için önemli bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. İncelenen diğer örneklerde performans kriterleri formun geliştirme aşamasında yapılmakta iken bu projede formu biçimlendirmek amacıyla dijital ortamda simülasyon ve animasyon teknikleri ile birlikte kullanılmıştır. Animasyon ve simülasyon formu biçimlendiren iki önemli kavramdır. Formun bütünü, modüler alt parçalardan oluştuğu için tümevarım mantığı kullanılmıştır denilebilir. Sentez aşamasında, animasyon, simülasyon, simülasyonla gerçekleşen optimizasyon, bunların sonucunda oluşan varyasyonlar ve tanımlanan tüm bu kavramlar ve teknikler arasında geri besleme döngüsü bulunmaktadır (Tablo 39).

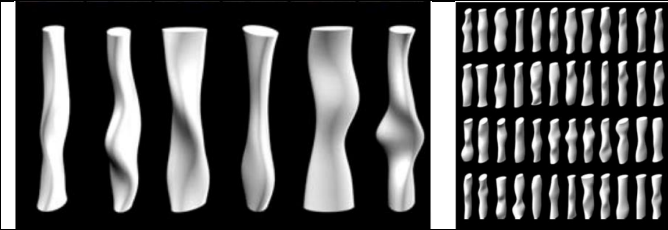
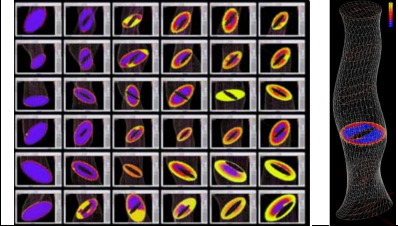
Tablo 39. Çift katmanlı strüktürel duvar sürecinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.3.3.4. Örnek 14: Kule Tasarımı

Performansa dayalı tasarım ve evrimsel tasarım yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada, çevreye duyarlı bir yapı tasarlamak amaçlanmıştır.

Tablo 40. Kule Tasarımı

ESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / PERFORMANS MODELİ / PERFORMANSA DAYALI ÜRETKEN TAS. YÖN.	<b>ÖRNEK 14: KULE TASARIMI</b>
	<p>Proje Yılı: 2008          Proje Tasarımcısı: Eleftheria Fasoulaki          Kullanılan Yöntem: Performansa dayalı üretken tasarım          Kullanılan Programlar: Rhino script, Ecotect, Daysim, MS Excel</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>Bu çalışma Eleftheria Fasoulaki (2008) tarafından gerçekleştirilen “Integrated Design A Generative Multi-Performative Design Approach” başlıklı yüksek lisans tezi içerisinde çalışılmıştır. Üretken ve optimizasyon algoritmaları kullanılarak gün ışığının tasarımda, tasarım çözümleri için kullanılmasını araştırmaktadır. Tasarım süreci içerisinde, performansa dayalı üretken tasarım paradigmasını ve tasarım varyasyonlarının araştırılması, optimizasyon, simülasyon yöntemlerini ve tekniklerini kapsamaktadır (Fasoulaki, 2008).</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Form çeşitlenmeleri (Fasoulaki, 2008)	
	
Performans Simülasyonu (Fasoulaki, 2008)	

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Yüksek yapıların tasarımında performans kriterlerinin optimizasyonunu araştıran bu çalışmada bu amaçla kullanılacak yöntemler belirlenmiştir. Problemin tanımı yapıldıktan sonra süreç tasarlanmıştır. Kullanılacak bileşenler, araçlar ve teknikler düşünülmüştür. Türetici mekanizmaya girilecek veriler oluşturulmuştur.

- Sentez Aşaması

Performansa dayalı üretken tasarım olarak adlandırılan yöntem performansa dayalı tasarım ve üretken tasarımın süreç içerisinde birlikte kullanılmasını ifade etmektedir. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma içerisinde sentez aşamasında optimizasyon ve simülasyon adımları da gerçekleşmektedir.

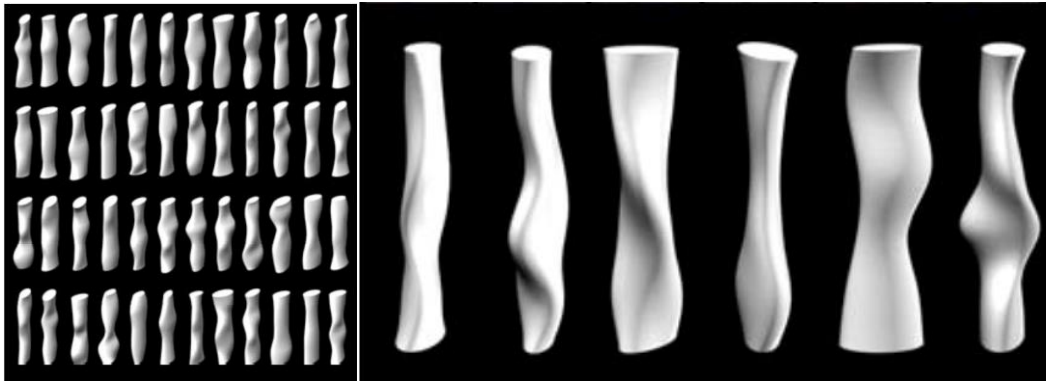
Bu çalışma içerisinde ilk olarak geometrik tanımlama gerçekleştirilmiş ve bu amaçla Rhino script içerisinde başlangıç popülasyonu olarak bir tasarım algoritması oluşturulmuştur. Genetik algoritma, popülasyonun evrimini gerçekleştirmek üzere oluşturulmuştur (Fasoulaki, 2008).

Başlangıç popülasyonunun oluşturulmasından sonra uygunluğa göre sıralanmasında çaprazlama fonksiyonu kullanılmıştır. Çaprazlama eşleşmesi belli bir sıraya göre ilerlemektedir: En iyi ilk birey ile sonuncu en iyi, en iyi ilk ile ikinci en iyi bireylerin çaprazlanması gibi. Her bir çocuk (döl), her bir ebeveyn den ötürü en uygun kontrol katlarının kombinasyonudur. Mutasyon fonksiyonu, yeni üretimler üzerinde rastgele uygulanmıştır ve kontrol katlarını eliptik şekilden dögüsel bir şekle dönüştürmüştür. Çaprazlama ve mutasyon fonksiyonlarının uygulanmasından sonra, kod, çocuk popülasyonunu yeniden tasarlamaktadır (Fasoulaki, 2008). Bu projede formun oluşması için doğal kurallar uygulanmaktadır.

Süreç içerisinde, tasarımcının fikirleri veriler olarak yazılıma kodlanarak üç boyuta dönüşmektedir. Uygunluk fonksiyonu, kontrol katlarının şekli, çekirdek alanı yazılıma tanımlanmaktadır. Oluşturulan tasarım algoritması, gökdelen olarak seçilmiş yapı tipinin başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, çekirdek alanı, toplam yükseklik, meydana gelecek dönüşümün en alt ve en üst sınırları gibi kısıtlamalar belirtilmiştir. Her bir yapı, zemin, 10., 20., 40., 60., 80. ve 100. katlar olmak üzere eliptik katlardan oluşmaktadır. Gökdelenin her kontrol katı tanımlanan her bir dönüşüm aralığı içerisinde döndürülecek, taşınacak ya da derecelendirilecektir (Fasoulaki, 2008).

Tanımlanan katlar “kontrol katları” olarak belirlenmiştir, çünkü bütün olası mekanların dönüşümleri bu katlar üzerinden uygulanmaktadır. Aynı zamanda bütün simülasyonlar kontrol katları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak yapının kabuğu altı tane kontrol katının her birinin “yükseltmesi (lofting)” olarak tanımlanmıştır (Fasoulaki, 2008).

Tasarım süreci içerisinde gerçekleştirilen her kurguda değişiklik gerçekleştirilerek farklı varyasyonlar elde edilmektedir. Bu bağlamda evrim kriterleri olan, çaprazlama ve mutasyon fonksiyonlarının süreç içerisinde uygulanması sonucu farklı formlar oluşmaktadır. Bu fonksiyonların kontrol katları üzerine olan etkisi farklı yapı kabukları oluşturmaktadır (Şekil 105) (Fasoulaki, 2008).

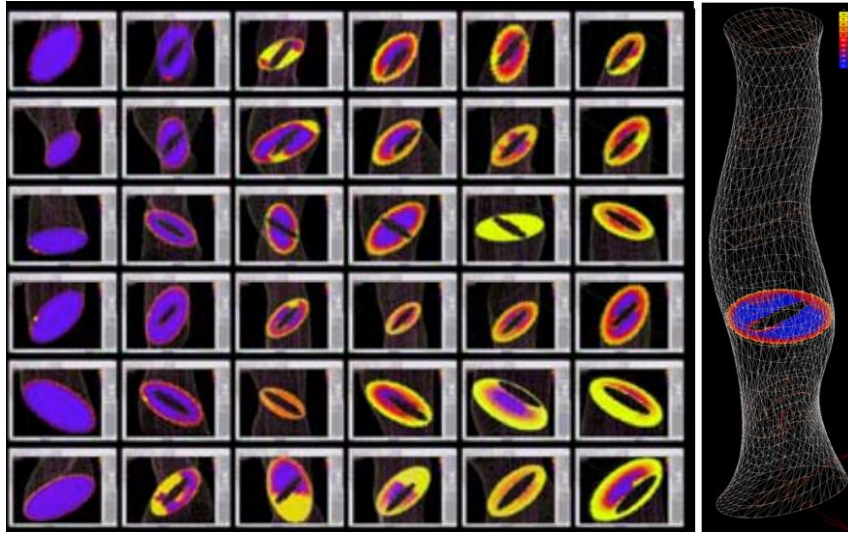


Şekil 105. Oluşan varyasyonlar (Fasoulaki, 2008)

Tasarım süreci içerisinde form üretiminde performans kriterleri, simülasyon teknikleri ile araştırılmış ve bu adım sentez aşamasında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon amaçlı, uygunluk fonksiyonu (fitness function), gün ışığı ilkeleri olan (three daylight principles); Gün ışığı otonomisi (Daylight Autonomy) [DA], yararlı gün ışığı göstergesi (usefull daylight index) [UDI] ve gün ışığı faktörü [DF] kullanılmıştır (Fasoulaki, 2008).

Gün ışığı otonomisi, minimum aydınlık eşiği, yalnız gün ışığı ile karşılaştırıldığında yıl boyunca zaman yüzdesini belirleyen dinamik bir ölçümdür. Yararlı gün ışığı göstergesi, günışığı değerleri kullanıcı için kullanışlı olduğunda yani ne çok karanlık ne de çok aydınlık, yıl boyunca zaman yüzdesini belirleyen dinamik bir ölçümdür. Gün ışığı faktörü CIE bulutlu gökyüzü altında gölgelenmeyen dış yatay aydınlık bir binanın bir noktasındaki iç aydınlık oranını belirleyen statik bir ölçümdür (Fasoulaki, 2008).

Simülasyon, Ecotect ve Daysim içerisinde gerçekleştirilmiştir. Herbir popülasyon üyesinin değeri MS Excel içerisinde algoritma tarafından hesaplanmıştır ayrıca simülasyonun gerçekleştirilmesi el ile yapılmıştır (Şekil 106). Bu kısıtlayıcı faktör geniş bir zaman gerektirmiştir. Bu durum kaçınılmaz bir şekilde tekrarların sınırlanmasına neden olmaktadır. Ancak ortaya çıkan tasarım çözümleri, başlangıç popülasyonu ile karşılaştırıldığında günışığı performansının iyileştirildiği görülmüştür (Fasoulaki, 2008).



Şekil 106. Performans simülasyonu, kontrol katının simülasyonu (Fasoulaki, 2008)

Süreç içerisinde, tasarım ve optimizasyon otomatikleştirilmiştir. Optimizasyon uygunluk fonksiyonuna göre gerçekleştirilmiştir. Simülasyon teknikleriyle gerçekleştirilen optimizasyonda gün ışığı performansı iyileştirilmiştir (Şekil 106) (Fasoulaki, 2008).

#### ▪ Geliştirme Aşaması / İletişim Aşaması

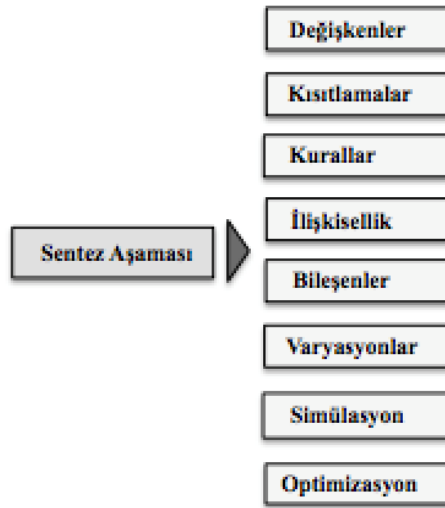
Tasarım süreci içerisinde üretken ve performans kriterlerinin bir arada kurgulandığı bu çalışmada tek bir formun gelişimi gözlenmemiştir. Optimizasyon, simülasyon ve performans kriterlerinin sentez aşamasında üretken süreç içerisinde kurgulanmıştır. Daha sonra oluşan optimize edilmiş formlar içerisinde tek bir form seçilmediği için geliştirilmemiştir. İletişim aşamasında uygulamaya yönelik çizimler hazırlanmamıştır.

#### ➤ Değerlendirme

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu projede, performansa dayalı tasarım ve evrimsel tasarımın birleşmesi ile bütünleşik tasarım olarak adlandırılan performansa dayalı üretken tasarım yöntemi kullanılmıştır. Performans kriteri olarak analiz edilen gün ışığı değerlerinin

simülasyon teknikleri ile yapı kabuğu üzerindeki etkisi aynı zamanda genetik algoritmalar kullanılarak araştırılmıştır. Simülasyon teknikleri, yapının iyileştirilmesini yani optimizasyonunu da sağlamıştır. Bütün form, kontrol katları, eliptik kat tabanı ve performans kriterlerinden oluşturmaktadır. Archer'ın modelinde tündengelim yerine bu proje tümevarım mantığıyla tasarlanmıştır. Türetici mekanizma içerisinde üretim-değerlendirme-seçim aşamaları arasında döngüsel bir süreç oluşmuştur. İncelenen süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir (Tablo 41).

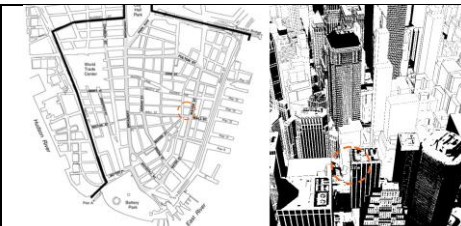
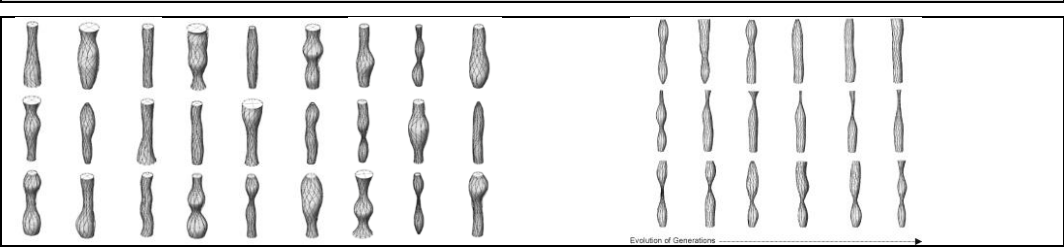
Tablo 41. Kule tasarımı süreci içerisinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### 2.3.3.5. Örnek 15: Newyork'ta Gökdelen Tasarımı

Performansa dayalı tasarım ve evrimsel tasarım yöntemlerinden oluşan bu proje, Newyork'ta yer alan gökdelenlerle çevrili bir alanda tasarlanmıştır.

Tablo 42. Newyork'ta Gökdelen Tasarımı

ESAPLAMALI TASARIM MODELLERİ / PERFORMANS MODELİ / PERFORMANSA DAYALI ÜRETKEN TAS. YÖN.	<b>ÖRNEK 15: NEWYORK'TA GÖKDELEN TASARIMI</b>
	<p>Proje Yılı: 2008          Proje Tasarımcısı: Eleftheria Fasoulaki          Kullanılan Yöntem: Performansa dayalı üretken tasarım          Kullanılan Programlar: Rhino script, Ecotect, MS Excel</p>
	<b>AÇIKLAMA</b>
	<p>“Integrated Design A Generative Multi-Performative Design Approach” tezi içerisinde Eleftheria Fasoulaki (2008) tarafından bölgeleme, solar ve strüktürel ve estetik kriterlerin göz önünde bulundurularak performansa dayalı üretken tasarım yöntemi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmadır. Gökdelen tasarımında etkili olan performans, simülasyon, optimizasyon ve evrimsel kriterler form üretim aşamasında dikkate alınmaktadır.</p>
	<b>PROJEYE AİT GÖRSELLER</b>
	
Seçilen Arazi (Fasoulaki, 2008)	
	
Başlangıç popülasyonları (Fasoulaki, 2008)	Kuşak Üretimi (Fasoulaki, 2009)

- Yaratıcı Evre
  - Analiz Aşaması

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, evrimsel tasarım teknikleri ile performansa dayalı tekniklerin birleşimi sonucu oluşan performansa dayalı üretken tasarım yöntemi kullanılarak gökdelen tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma içerisinde, bu iki yöntemin ortak olarak kullanıldığı yaklaşım “Bütünleşik tasarım yaklaşımı” olarak adlandırılmaktadır. Durum çalışması içerisinde, yaklaşımın geçerliliği kavramsal olarak ıspatlanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma hesaplamalı model üzerinde birbirini etkileyen bir dizi performans kriterlerinin ve bu kriterlerin birbiriyle olan ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu deneysel çalışmada, bölgeleme (zoning), strüktürel, solar ve estetik kriterlerin tasarımında etkili olduğu gökdelen yapısı çalışılmaktadır. Strüktürel ve solar performans kriterlerinin gökdelen tasarımında önemli faktörler olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak gökdelenler, şehir içerisinde önemli anlamlar barındırmakta olup tasarımı önem kazanmaktadır (Fasoulaki, 2008).

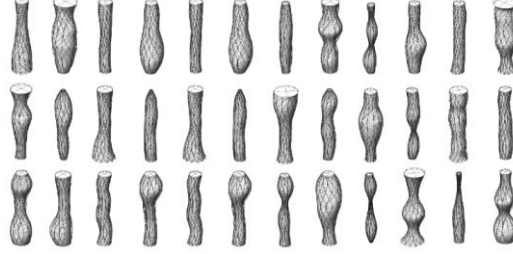
Newyork, Manhattan’da planlanması düşünülen bu projenin yerleşeceği arazi gökdelenlerle çevrilidir. Bu bağlamda tasarlanacak olan yapının kendine özel bir konsepti ve yapı tipi olması gerektiği düşünülmüştür. Tasarlanacak olan yapının oluşumunda bölgeleme, strüktürel performans ve solar performans kriterleri dikkate alınmıştır. Bunlara kısaca değinmek gerekirse, bölgeleme (zoning), yapılması uygun görülen yapı alanının tamamının sınırlanması ve arsanın kapladığı alanın tasarım kriteri olarak hareket etmesi anlamına gelmektedir. Strüktürel performansta temel amaç maliyetin azaltılmasıdır. Bunu sağlamak için malzemelerin ağırlığının azaltılması gerektiği düşünülmüştür. Bunun yanında, yerçekimi ve yanal rüzgar yükleri için herhangi bir kattaki sütunların toplam ağırlığının malzemenin yani çeliğin ağırlığını geçmemesi gerekir. Solar performanstaki amaç ise gün ışığının içeri girmesini maksimuma çıkarmaktır. Son olarak estetik faktörü, tasarım algoritmasının oluşturulmasında önemli olmaktadır (Fasoulaki, 2008). Arazi verileri, performans kriterleri ve program doğrultusunda süreç bileşenleri belirlenmiştir.

- Sentez Aşaması

Bu çalışma içerisinde Rhino programında kullanılmak üzere VBScript içerisinde tasarım algoritması oluşturulmuştur. Tasarımcı araziye ait genişlik, uzunluk ve yapının geometrisine ait yükseklik, kat şekli ve çekirdek bilgilerini kısıtlama olarak programa girmiştir. Daha sonra betik (script) tanımlanan bu kısıtlamalara dayanan ve çeşitli mekânsal



dönüşümleri rastgele uygulayarak rastgele popülasyon oluşturmuştur (Şekil 107) (Fasoulaki, 2009).

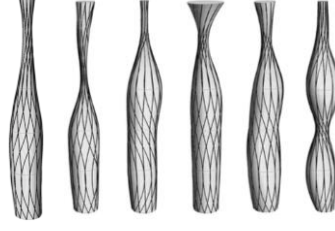


Şekil 107. Başlangıç popülasyonu örnekleri (Fasoulaki, 2009)

Üretimin gerçekleştirilmesiyle oluşan formlar en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Sıralama her bir performans kriterinin uygunluğuna göre gerçekleştirilmiştir. Excel dosyasına aktarılan bu girdiler mutasyon ve çaprazlama için kullanılmıştır. Çaprazlama ile yapılar eşleştirilerek katlar birbiriyle, mutasyonda ise rastgele bir katın ölçüğü değiştirilmiştir. Popülasyonun bu süreçten geçmesi yeni döllerin oluşmasını sağlamaktadır. Yeni oluşturulan döllerin uygunluğu değerlendirilmiş ve geri besleme yapılarak betik (script) ile yeniden üretim gerçekleştirilmiştir aynı zamanda oluşan ürünlerin iyiden kötüye doğru sıralaması yapılmıştır (Fasoulaki, 2009).

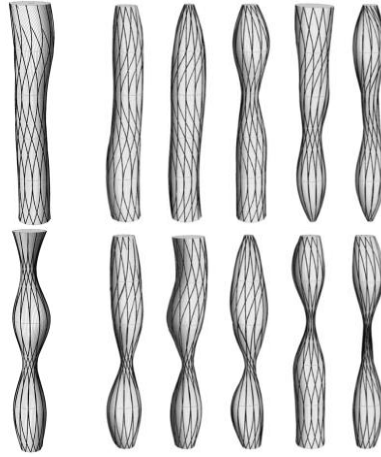
Oluşturulacak silindir formunun, dönüşümü gerçekleştirecek olan, dönme, taşıma ve ölçeklendirme kural olarak tanımlanmıştır. Herbiri kırk metre yüksekliğe sahip olan altı adet kontrol katı formun tasarımını oluşturmakta ve bu kurallar bu katlar üzerinde uygulanmaktadır (Fasoulaki, 2008).

Başlangıç popülasyonu tanımlandıktan sonra, çaprazlama ve mutasyon gerçekleştirilerek yeni döller elde edilmiştir. Bunların performans kriterlerine göre oluşturulması için bölgeleme 0.5, strüktür için 0.1 ve solar performans için 0.4 değerleri girilerek Şekil 108'de yer alan yeni alternatifler üretilmiştir. Performans kriteri olarak belirlenen bölgeleme kriteri, kontrol katları ve kat derinliği ile ilişkili olarak kurgulanmıştır (Fasoulaki, 2008).



Şekil 108. Değerler sonucunda ortaya çıkan varyasyonlar (Fasoulaki, 2008)

Bu proje için bölgeleme, strüktürel performans ve solar performans değerleri değişken olarak belirlenmiştir. Bölgeleme 0.3, strüktürel performans 0.3, solar performans 0.3 olarak girilerek yeni varyasyonlar elde edilmiştir. Tekrar bölgeleme için 0.15, strüktürel tasarım için 0.15, solar performans için 0.7 değerleri girilerek yeni varyasyonların oluşturulması sağlanmıştır (Şekil 109) (Fasoulaki, 2008).



Şekil 109. Varyasyonlar (Fasoulaki, 2008)

Süreç içerisinde performans kriterlerinin yapı üzerindeki etkisi simülasyon teknikleri kullanılarak ölçülmüştür. Bu bağlamda simülasyonu gerçekleştirecek algoritma kullanılmıştır. Solar performans, rüzgar yükü gibi performans kriterlerinin dijital ortamda benzetimlerinin yapılması, oluşan formların uygunluğunun test edilmesini sağlamaya yardımcı olmaktadır (Fasoulaki, 2009).

Optimizasyonu gerçekleştirmek üzere algoritma üretilmiştir. Rhino yapıya ait popülasyonu ürettiği sırada yapı performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bölgeleme performansı Excel dosyası kullanılarak ölçülmüştür. Strüktürel performans için herhangi bir

kolonun toplam gerilimi ve yapının toplam ağırlığı ölçülmüştür. Ms Excel ile rüzgarın yapı üzerinde oluşturduğu yük hesaplanmıştır. Gün ışığı performansı ölçülmüştür. Solar performans Ecotect programı ile simülasyon kullanılarak değerlendirilmiştir. Bütün bu performans kriterlerinin birleşimi sonucu yapının optimizasyonu detaylandırılmıştır. Daha sonra kullanılan değerlendirme algoritması yapıyı en iyiden en kötüye doğru sıralandırmıştır. Bu sıralama uygunluk değeri kullanılarak her birinin göstermiş olduğu performansa göre gerçekleştirilmiştir (Fasoulaki, 2009).

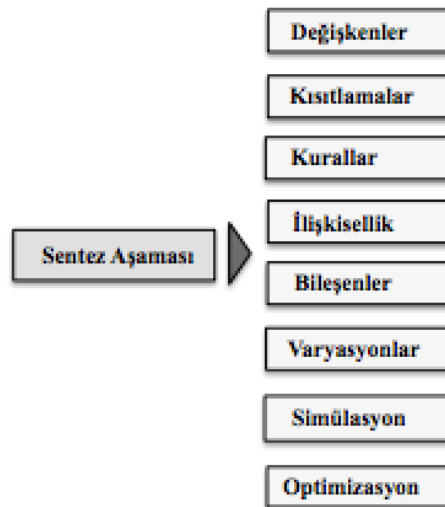
▪ Geliştirme Aşaması / İletişim Aşaması

Bu çalışma içerisinde geliştirme aşaması gözlenmemiştir. Optimizasyon ve simülasyon teknikleri tek bir form yerine bir çok form üzerinde form üretme aşaması olan sentez aşamasında çalışılmıştır.

➤ Değerlendirme

Evrimsel tasarım ve performansa dayalı tasarım yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmada sentez aşaması içerisinde form tümevarım mantığıyla oluşmaktadır. Çünkü form yükseklik, kat şekli, çekirdek birimleri ve tanımlanan performans kriterlerinden oluşmaktadır. Optimizasyon ve simülasyon teknikleri sentez aşamasında kullanılmaktadır. Süreç, performans kavramları, varyasyonlar, geri besleme döngüsü, simülasyon, optimizasyon gibi kavramları ve teknikleri içermektedir (Tablo 43).

Tablo 43. Newyork'ta Gökdelen projesi süreç içerisinde öne çıkan kavramlar ve teknikler



### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

Çalışmanın bu aşamasında hesaplamalı tasarım modellerine ait süreçler içerisindeki aşamalar ve örnek süreçler üzerinden elde edilen bulgular ortaya konulmuş ve tartışılmıştır. Yapılan çalışmalar içerisinde, örneklere ait süreçlerin analiz edilmesiyle, süreç içerisinde yer alan kavramlar ve teknikler belirlenmiştir. Aynı zamanda bileşenlerinin hangi aşamada ne şekilde gerçekleştiği ortaya konulmuştur.

#### **3.1. Örnek Tasarım Süreçleri İçerisinde Tespit Edilen Kavramlar**

Bu çalışma içerisinde Oxman'ın (2006), hesaplamalı tasarım modelleri olarak sınıflandırdığı formasyon modeli, üretken model ve performansa dayalı modellere ait süreçler yapılan çalışmalar bölümünde 15 örnek üzerinden analiz edilmiştir. Hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak oluşturulmuş bu 15 örnek analizi sonucunda tasarım ürünü oluşturulurken kullanılan belirli kavramlar ve teknikler olduğu saptanmıştır. Bu kavramlar ve teknikler;

- Değişkenler (variable)
- Kısıtlamalar (constraints)
- Kurallar (rules)
- İlişkiselik (relationality/relationship)
- Bileşenler (components)
- Varyasyon (variations)
- Animasyon (animation)
- Simülasyon (simulation)
- Optimizasyon (optimization)
- Rasyonelleştirme (rationalization)/dökümantasyon (documentation)'dur.

Literatürde yukarıda belirtilen kavramlar ve teknikler hakkında yapılan araştırmalarda, Gane ve Heymaker (2007) parametrik tasarım içeriğini, değişkenler, kısıtlamalar (sabitler), bileşenler ve kurallar olarak belirlemiştir. Fakat yapılan çalışmalar sonucunda bu kavramlara ve tekniklere parametrik tasarım yöntemi dışında da rastlanmıştır. Örneklerin analizi sonucunda süreç içerisinde belirlenen kavramlar ve teknikler tablolaştırılmıştır (Tablo 44).

Tablo 44. Süreçler içerisinde belirlenen kavramlar ve teknikler

SÜREÇ İÇERİSİNDE ORTAYA ÇIKAN KAVRAMLAR VE TEKNİKLER									
	Örnek	Değişkenler	Kısıtlamalar	Kurallar	İlişkiselik	Bileşenler	Optimizasyon	Simülasyon	Animasyon
1	Topolojik Örtü	●	●	●	●	●	●	●	
2	Hangzhou Stadyumu	●	●	●	●	●	●	●	
3	Aviva Stadyumu	●	●	●	●	●	●	●	
4	Frozen Motion	●	●	●	●	●	●		●
5	The Sound Motion Streaks	●	●	●	●	●			●
6	Froebel Form Türetici	●	●	●	●	●			
7	Biçim Gramerleri ile Konut Tasarımı 2	●	●	●	●	●			
8	Bütünlüyci Evrimsel Tasarım	●	●	●	●	●	●		
9	Konut çalışması	●	●	●	●	●	●		
10	Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası	●	●	●	●	●	●		
11	Kopenhag Fil Evi	●	●	●	●	●	●	●	
12	Dubai Towers	●	●	●	●	●	●	●	
13	Çift Katmanlı Strüktürel Duvar	●	●	●	●	●	●	●	●
14	Kule Tasarımı	●	●	●	●	●	●	●	
15	Newyork'ta Gökdelen Tasarımı	●	●	●	●	●	●	●	

İncelenen süreçler içerisinde belirlenen bu kavramlar ve teknikler, yorumlamalar yapılarak belirlenmiştir. Örneğin zaman, sesin frekansı gibi parametrelerin değerinin artması ya da azalması değişken kavramının belirlenmesine yardımcı olmuştur. Grafikselleştirme, performans kriterleri gibi parametrelerin süreç içerisinde sabit kalması ile kısıtlama kavramı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar bölümünde kavramların ve tekniklerin kullanıldığı sentez aşaması içerisinde genel olarak tümevarımlı bir yol izlenmiştir. Analizi gerçekleştirmek için kullanılan Bruce Archer'a (1965) ait modelde ise, yaratıcı evre içerisinde tasarımların tümdengelim mantığı ile oluşturulduğunu görülmektedir. Bu tez kapsamında incelenen örneklerin sadece üç tanesi tümdengelim mantığı ile oluşturulmuştur (Tablo 45).

Tablo 45. Tasarımların Tümevarım/Tümdengelim mantığına göre oluşturulması

HESAPLAMALI TASARIM SÜREÇLERİ					
Formasyon Modeli		Üreken Model		Performans Modelleri	
<b>Topolojik Örtü</b>	Tümdengelim	<b>Froebel Form Türetici</b>	Tümevarım	<b>Kopenhag Fil Evi</b>	Tümdengelim
<b>Hangzhou Stadyumu</b>	Tümevarım	<b>Biçim Gramerleri ile Konut Tasarımı 2</b>	Tümevarım	<b>Dubai Towers</b>	Tümevarım
<b>Aviva Stadyumu</b>	Tümevarım	<b>Bütünleyici Evrimsel Tasarım</b>	Tümdengelim	<b>Çift Katmanlı Strüktürel Duvar</b>	Tümevarım
<b>Frozen Motion</b>	Tümevarım	<b>Konut çalışması</b>	Tümevarım	<b>Kule Tasarımı</b>	Tümevarım
<b>The Sound Motion Streaks</b>	Tümevarım	<b>Stuttgart Teknik Meslek Yüksek</b>	Tümevarım	<b>Newyork'ta Gökdelin Tasarımı</b>	Tümevarım

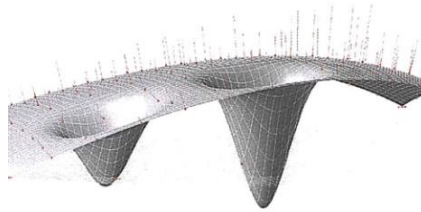
Bulgular ve irdemeler başlığı altında, yapılan çalışmalar içerisinde belirlenen kavramların ve tekniklerin örneklere ait süreçler içerisinde, hangi aşamada nasıl gerçekleştiği sunulmuştur.

### 3.1.1. Değişkenler

Geometrik çeşitlemelerin oluşturulmasında kullanılan temel parametrelerdir. Değişkenler, bağımsız ve bağımlı olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Bağımsız değişkenler, kullanıcı tarafından tanımlanan sayısal girdiler olup (örn: bir üçgenin yüksekliği), değeri değiştirilebilir kontrol edilebilmektedir. Bağımlı değişkenler ise değişen değerlerin sonucunda oluşan çıktılardır (örn: üçgenin alanı). Değişkenler aynı zamanda, geometrik elemanlarla olan bağlantısına göre genel ve bölgesel olarak da ayrılmaktadır. Örneğin bir değişken, tasarlanan bir bina içerisindeki tüm kolonların yarıçapları ile bağdaştırılırsa, bu genel bir değişkendir. Değişkenin değerinin değişmesi genel olarak tüm kolonları etkilemektedir. Buna karşın, bölgesel değişken yalnızca kendisine bağdaştırılmış olan geometrik elemanı etkilemektedir (Gane ve Heymaker, 2007). Örnek analizlerinde değişken kavramı, tasarımcı tarafından kontrol edilebilen ve değeri değiştirilebilen olarak yorumlanmıştır. Değişken olarak belirlenen kriterlerin değerlerinin düşürülüp arttırılması ile yeni varyasyonlar elde edildiği ve geometri üzerinde değişiklik yapılabildiği görülmüştür.

Tasarım değişkenleri en uygun çözümün bulunması sürecinde değiştirilebilen değerleri temsil etmektedir. Değişken kavramı ile ilgili yukarıda bahsedilen tüm bilgiler ışığında örnekler analiz edildiğinde:

Formasyon süreci içerisinde incelenen topolojik yüzey örneğinde; z yönünde tanımlanan değer ve buna bağlı olarak değişen cosinus değeri, kontrol noktalarının koordinatları gibi değişkenler tanımlanmıştır.



Şekil 110. Topolojik Formasyon Örneği (Mutlu, 2010)

Parametrik olarak oluşturulan; Hangzhou stadyumunda, noktasal bulut için, sıralama ve dönüştürme komutları parametrik algoritma içerisine değişken olarak tanımlanmıştır.

Noktasal bulut<sup>5</sup> için tanımlanan parametreler (sıralama, dönüştürme), tasarımcılara dış kabuk oluşturulurken farklı konfüğürasyonların elde edilmesini sağlamıştır. Stadın saha alanı için en uygun görüş açısını elde etmek amacıyla çok katmanlı saha kesitleri üretebilen, stadyum standartlarına dayalı saha geliştirici bir kod yazılmıştır. Kod, güncel görseller yaratmak için tribünün kesitini plandaki belirli bir eğri doğrultusunda uzatmaktadır. Kullanıcı, satır sayısı, oyun alanında mesafe ve görüş açısı standartları gibi parametreleri ayarlayabilir. Bunları bağımsız değişkenler olarak tanımlayabiliriz çünkü, aktif olarak değerleri değiştirilip kontrol edilebilmektedir. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin değişmesi sonucu bağımlı değişkenler olan, oturma kapasitesi, oturma alanlarının açıları, 2d tribün kesiti ve diğer tasarım kriterleri verileri de değişmektedir. Bunları değişken değerlerin sonucu olarak yorumlayabiliriz. Dış kabuk dairesel bir yayın etrafını çevreleyen 24 çatı makasından oluşmaktadır. Bu bağlamda, dairesel yayı da değişken olarak tanımlayabiliriz. Çünkü yayda meydana gelebilecek bir değişiklik noktasal bulutu ve oluşturulacak taç yaprak sayısını etkileyecektir. Aviva stadyumunda ise, kabuk yüzeyinin kavis açıları, tanımlanan kontrol eğrileri, her bir bölümsel eğri, ışınsal grid çizgileri, iç çatı kenar eğrisi değişken olarak tanımlanmıştır. Işınsal grid üzerindeki grid çizgilerinin arttırılmasıyla kabuk üzerinde daha fazla bölüm elde edilmiştir. İç çatı kenar eğrisinin değişmesi kabuğun eğim derecesini etkilemiştir.



Şekil 111. Hangzhou ve Aviva Stadyumu (Miller, 2011; URL-32, 2015)

Animasyon teknikleri kullanılarak biçimlendirilen Frozen Motion örneğinde, strüktürleri oluşturan halkaların eğim derecesi strüktürlerin, üzerinde tanımlanan noktalar ve halka çerçevenin geometri üzerindeki kontrolü değişkendir. Ayrıca, hareket etkisini animasyon teknikleri ile form üzerindeki etkisi esin şiddeti ile ölçülmüştür. Sesin şiddeti ve

<sup>5</sup> Noktasal bulut: Koordinat sisteminde bir dizi verinin noktasını göstermektedir. Üç boyutlu koordinat sisteminde, bu noktalar genellikle X, Y ve Z koordinatlarını ve sıklıkla bir objenin dış hatlarını tanımlamaktadırlar (URL-39 ,2015).



sesin geometriyi etkilediği zamanın uzunluğu ya da kısalığı değişken olarak düşünülebilir. The Sound Motion Streaks örneğinde ise, sesin frekansının ya da şiddetinin (amplitüd) değeri, malzemenin etkileşimi, sesin malzemeyi etkilediği sürecin uzunluğu ya da kısalığı (zaman) formun oluşumunu etkileyen değişkenler olarak kabul edilmiştir. Bunun dışında Autodesk Maya programında oluşturulan çizgisel elemanların elastisitesi ve ekranda yer alan temsili bir ses kaynağına malzeme sisteminin uzaklık ya da yakınlığı da biçimsel süreci etkileyen değişken olarak düşünülmüştür. Bu analizlerde, değişkenlerin sadece boyutları değiştirilebilen geometrik elemanlar olarak tanımlanmadığı aynı zamanda zaman, sesin frekansı, hareket gibi kavramların animasyon teknikleri ile birlikte formu şekillendiren değişkenler olduğu görülmüştür.



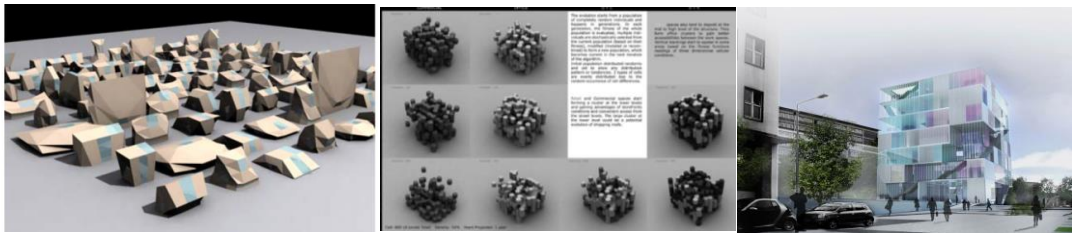
Şekil 112. Frozen Motion, The Sound Motion Streaks (URL-33 , 2015; Çalışır, 2015)

Üretken süreç içerisinde incelenen örneklerde, Keskin (2008) tarafından oluşturulan tasarımda, Frobel form üretici arayüzü içerisinde yer alan dönüşüm noktaları, kural setleri, döngü sayısı, blok boyutları, blok ilişkileri, dönüşüm noktaları gibi değişkenler tanımlanmıştır. Torus (2008) tarafından tasarlanan bir diğer biçim grameri örneğinde, Mardin konutları analiz edilip gramer kuralları belirlendikten sonra yazılıma, zemin boyutları, kat adedi, oda sayısı, yarı açık mekan sayısı, açık mekanlar, diğer odalar ve ekstra odalar değişken olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin değerleri türetme yapılıp yapılmayacağını belirlemekte ve kurallar bu değişkenlere göre oluşturulmaktadır. Her iki örnekte de tanımlanan bu değişkenler üretici mekanizmaya tanımlanmaktadır. Bu değerler değiştirildiğinde üretici mekanizma bir çok varyasyon üretmektedir.



Şekil 113. Biçim gramerleri kullanılarak oluşturulmuş örnekler  
(Keskin, 2008; Torus, 2008)

Bir diğer üretken tasarım yöntemi olan evrimsel tasarım yöntemi içerisinde de form üretmek için türetici mekanizma bulunmaktadır. Marin vd. (2008a) tarafından gerçekleştirilen tasarımda ilk olarak, türetici mekanizmaya, başlangıç genomu tanımlaması ile eşleştirmiş olan, başlangıç şekli 3 yükseklik, 3 genişlik ve 3 uzunluk olan bir kutu tanımlanmıştır. Daha sonra deformasyonu gerçekleştirecek değişkenler, eğilme (bending), itme (pushing), inceltme (tapering), eğiklik (skewing), bükme (twisting) ve esnetme (stretching) yazılıma girilmiştir. Narahara ve Terzidis (2006) tarafından gerçekleştirilen tasarımda süreç içerisinde, uygunluk değeri, başlangıç popülasyonu gibi değişkenler belirlenmiştir. Son olarak Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası tasarımında, üç boyutlu ızgara oluşturulduktan sonra, ızgara üzerine strüktürel özelliği yoğun olan ve strüktürel özelliği yoğun olmayan (boşluk olan) hücreler tanımlandıktan sonra, düşeyde ve yatayda eğilme momenti, perde duvarların yerleşimi gibi değişkenler belirtilmiştir.



Şekil 114. Evrimsel tasarım yöntemi ile oluşturulan örnekler (Marin vd. 2008a; Narahara ve Terzidis, 2006; URL-35, 2015)

Üretken süreçlerde başlangıç popülasyonunun değişken olarak tanımlandığı görülmüştür. Yeni bireyler elde etmek için tasarımcı türetici mekanizmaya popülasyonda değişiklikler yaparak, uygunluk değerlerini tanımladığı, ebeveynleri değiştirerek yeni

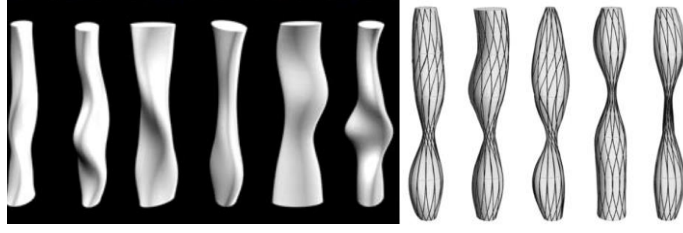
varyasyonlar elde etmiştir. Süreç içerisinde değişkenler kromozomlara dizilerek başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır.

Tez kapsamında değinilen, performansa dayalı süreçler içerisinde incelenen Kopenhag Fil evi projesinde, eskiz ortamında tasarlanan gölgeliklerin dijital ortamda oluşturulması için 26 adet değişken, büyüklük, aralık, strüktürel parçaların çeşidi, birinci ve ikinci torusun yarıçapı, kaç tane farklı strüktürün oluşturulacağını belirlemek için değişken olarak kullanılmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen Dubai Towers tasarımında ise, sekizgen taban şeklinde oluşturulan başlangıç modeli parametrik olarak tanımlandıktan sonra, yükseklik, açı, yön gibi değişkenler belirlenmiştir. Çift yüzeyli yapı kabuğu olarak tasarlanan proje içerisinde (Oxman, 2008) ise, kütle, yoğunluk, gerilme, elastisite gibi fiziksel değişkenler tasarıma yön vermede etkili olmuştur. İncelenen bu üç örnek içerisinde geometriler parametrik olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle değişkenlerin değerlerinde gerçekleştirilecek düzenlemeler, ürüne kısa sürede yansımaktadır.



Şekil 115. Fil evi (Peters, 2008), Dubai Towers (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010), Çift katmanlı kabuk (Oxman, 2008)

Fasoulaki (2008) tarafından performansa dayalı üretken tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanan projede ilk olarak, yazılım içerisinde başlangıç popülasyonu için tasarım algoritması oluşturulmuştur. Daha sonra uygunluk fonksiyonu, çekirdek alanı, kontrol katlarının şekli gibi değişkenler kullanılmıştır. Fasoulaki (2008) tarafından aynı yöntem kullanılarak tasarlanan bir diğer proje olan Newyork'da Gökdelen projesinde, yazılım içerisinde tasarım algoritması oluşturulmuş ve ilk popülasyon silindir biçimli olarak tanımlanmıştır. Daha sonra değişken olarak, bölgeleme, solar ve strüktürel performans gibi kavramlar belirlenmiştir.



Şekil 116. Kule ve Newyork'ta gökdelen tasarımı (Fasoulaki, 2008)

#### ➤ Değerlendirme

Sentez aşamasında, değişken olarak grafiksel, üç boyutlu geometrik elemanlar dışında, performans kriterleri, zaman, elastisite, sesin frekansı gibi kavramların da tanımlandığı görülmüştür. Bu bileşenlerin değerlerinde yapılan değişiklikler sürece kısa sürede yansımakta ve bu değişim varyasyon oluşumunu etkilemektedir.

### 3.1.2. Kısıtlamalar

Süreç içerisinde sabit kalan değiştirilmeyen ve çözüm aralığını sınırlandıran değerler kısıtlama olarak yorumlanmıştır. Gane ve Heymaker (2007) ise kısıtlamaların, parametrik modeldeki çeşitlilik (variations) aralığının belirlenmesine yardımcı olduğunu söylemektedir. Bu aralığın genişliği ve her bir geometrik kısıtlamanın esas sonucu, geometrinin tanımlama sürecinde kullanılacak olan kısıtlamaların tiplerinin belirlenmesi ile kararlaştırılmaktadır. Kısacası değişkenlerin oluşturacağı çeşitlemelerin sınırlarını çizen değerlerdir. Fiziksel/boyutsal (ölçüsel) ve geometrik olmak üzere iki farklı tipe ayrılmıştır. Fiziksel kısıtlamalar, bağdaştırılmış sayısal bir değer değiştirilene kadar bir kısıtlama olarak görev almaktadır. Esas olarak fiziksel/boyutsal kısıtlamalar, tasarım konsepti olarak bir geometrinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin bir yay parçasının yarıçapının ya da uzunluğunun sabitlenmesi ile oluşabilecek çeşitlemeler sınırlandırılmaktadır. Geometrik kısıtlamalar ise, başka bir seviyede bağımlılık oluşturarak, geometrik bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Örneğin, iki eğrinin tanjantları birbirleri ile ilişkilendirilip geometrik olarak kısıtlandığı durumda bir eğrinin boyutu diğerine bağımlı olmaktadır. Geometrik ve fiziksel/boyutsal kısıtlamalar parametrik modeldeki dinamik karakterin oluşması için eş zamanlı çalışmaktadırlar. (Gane ve Heymaker, 2007)

Tasarım süreci içerisinde kısıtlama olarak belirlenen elemanların değeri, boyutları sabit kalmaktadır. Formasyon süreci örneklerinden, Topolojik örtü tasarımında (Mutlu, 2010), yüzey boyutları (genişlik ve uzunluk), düşey yüklemeler, düğüm noktalarının analiz sayıları, destek noktalarının sayısı ve yeri kısıtlama olarak belirlenmiştir. Oylumların yerleşimi arazi içerisindeki yollar ve manzara yönüne göre gerçekleştirilmektedir. Bu durumda arazi içerisindeki yollar ve manzara yönü de kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Hangzhou stadyumunda ise başlangıçtaki yüzey geometrisi, algoritma içerisine kısıtlama olarak eklenmiştir. Bunun dışında noktasal bulut kısıtlama olarak belirlenmiştir. Aviva Stadyumunda ise, çatının strüktürü ile oluşan taban alanını tanımlayan ışınsal grid ve teğetsel yaylar kısıtlama olarak tanımlanabilir. Çünkü taban alanına ait değerler sıkışık araziye göre CAD dosyasında oluşturulmuş ve değiştirilmemiştir. Ayrıca taban alanında tanımlanan sekiz adet teğetsel yay, çevre yapılarının yüksekliklerine göre ayarlanmış olup kabuk taban alanında tanımlanan farklı bölgesel aralıkları göstermektedir. Gane ve Heymaker (2007) bu tür kısıtlamaları ölçüsel kısıtlamalar olarak tanımlamaktadır. Animasyon teknikleri kullanılarak oluşturulan Frozen Motion projesinde geometrinin oluşması sırasında, dijital ortamda, strüktürel halkaların sayısı kısıtlama olarak belirlenmiştir. Böylelikle formun uzunluğu dijital ortamda sabit tutulmuş, bunun dışında mekânsal, strüktürel açılar değişmiştir. Bunun dışında, dijital ortamdaki form bulma (form-finding) süreci için gerekli olan zaman bileşeni de kısıtlama olarak alınabilir. Animasyon tekniği ile tasarlanan bir diğer proje olan The Sound Motion Streaks projesi içerisinde tanımlanan kısıtlamalar ise lineer elemanlar ve partikül salınımının gerçekleştiği ortamın boyutlarıdır. Formasyon süreci içerisinde tanımlanan kısıtlamalara baktığımızda bunların tıpkı değişkenlerde olduğu gibi sadece geometrik elemanlar olmadıklarını, zaman ve ortam boyutları gibi faktörlerinde etkili olduklarını görebiliriz.

Üretken süreç içerisinde incelenen örneklere baktığımızda; Keskin (2008) tarafından oluşturulan tasarımda, Frobel form üretici arayüzü içerisinde blok boyutları, kural setleri, döngü sayısı, dönüşüm noktaları süreç içerisinde tanımlanan kısıtlamalardır. Bu çalışma içerisinde blok boyutları geometrik kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Torus (2008) tarafından yazılım içerisinde üretmenin gerçekleştirilebilmesi için bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin; zemin boyutları (x, y), kat adedi istenilen değerler dışında olunca program, x '2' ile '5' birim arasında olmalıdır, y '2' ile '5' birim arasında olmalıdır, kat adedi '1' ile '3' arasında olmalıdır gibi uyarılar vermektedir. Oda sayısı da bir başka kısıtlama olarak

programa girilmiştir. '1' ile '10' arasında olmadığı zaman program oda adedinin uygun olmadığına dair uyarı vermektedir.

Marin vd. (2008a) tarafından gerçekleştirilen tasarımda başlangıç şeklinin ölçüleri, kromozomlar içerisinde tanımlanan değerler, çevre koşulları, başlangıç şeklinin ölçüleri kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Narahara ve Terzidis (2006) tarafından gerçekleştirilen tasarımda süreç içerisinde, 10x10x10 ölçülerine sahip gridler, ekonomik, fonksiyonel ve çevresel veriler gibi kısıtlamalar tanımlanmıştır. Örneğin, yapım maliyeti ekonomik kısıtlama olarak, doğal ışıklandırma durumu çevresel kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Aynı zamanda uygunluk fonksiyonu kısıtlama etmeni üzerinden tanımlanmıştır. Son olarak Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası tasarımında ise, üç boyutlu ızgara, hücrelerin strüktürel özelliği kısıtlama olarak belirlenmiştir.

Performansa dayalı süreç içerisinde incelenen Fil evi projesinde, sırcalaştırma sırasında kullanılan gün ışığı, yaprak boyutları gibi kısıtlamalar belirlenmiştir. Dubai Towers'ın sentez aşamasında strüktürel ve formel tasarımının bir arada yürütülmesini amaçlayan deneysel çalışmada, formasyon içerisinde yürütülen strüktürel tasarım için kullanılan bükülme etkisi araştırılırken kısıtlamalar belirlenmiştir. Kat yüksekliği, en fazla bükülme etkisi gibi kısıtlamalar tanımlanmıştır. Çift yüzeyle duvar kabuğu olarak tasarlanan proje içerisinde (Oxman, 2008) ise, kabuk boyutları, modül sayısı gibi kısıtlamalar tanımlanmıştır. Bu örnekler içerisinde geometrik kısıtlamalar ve performans değerlerine ait kısıtlamalar görülmektedir. Performansa dayalı üretken süreçler içerisinde; Fasoulaki (2008) tarafından tasarlanan kule örneğinde, başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra çekirdek alanı, toplam yükseklik, meydana gelecek dönüşüm gibi elemanlar için en alt ve en üst kısıtlamalarının tanımlanması gerçekleştirilmiştir. Fasoulaki (2008) tarafından performansa dayalı üretken tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanan bir diğer proje olan Newyork'da Gökdelen projesinde ise, form silindir olarak tanımlanmıştır. Bu projede silindir formun toplam çevresi, çekirdek alanı toplam yüksekliği, maksimum ve minimum zemin çevresi uzunluğu ve genişliği, en yüksek ve en düşük dönüşüm sınırı, katların şekli, araziye ait genişlik ve uzunluk kısıtlama olarak belirlenmiştir. Bu çalışmalar içerisinde geometrik kısıtlamaların yanında, geometrinin dönüşümü için en alt ve en üst sınır da kısıtlama olarak kullanılmıştır. En alt ve en üst sınırların belirlenmesi süreç içerisinde tasarıma netlik kazandırmaktadır. Ayrıca bu tür kısıtlamalar sayesinde birden çok varyasyon üretimi gerçekleşmektedir.

### ➤ Değerlendirme

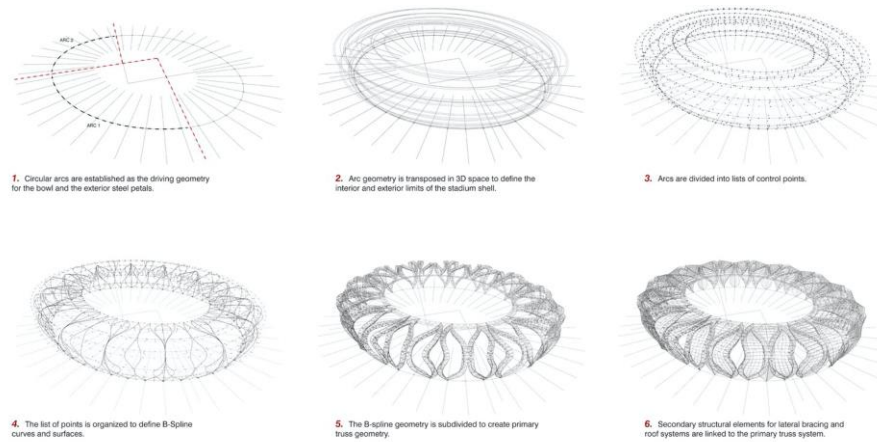
Ortam boyutları, zaman, performans kriterleri, fiziksel-boyutsal ve geometrik kısıtlamaların yanında geometrilerin dönüşümü için en alt ve en üst sınırlar kısıtlama olarak tanımlanmaktadır.

### 3.1.3. Kurallar

Girdilerden içerik yaratmak için kullanılmaktadır. Girdi tiplerinin çeşitliliği, sayısal ve geometrik değişkenlerden başlayarak kısıtlayıcı olmakta ve diğer bileşenlere uygulanarak devam etmektedir. Aynı zamanda geometrilerin bileşenleri oluşturması için kullanılacak tanımları içermektedir. (Gane ve Heymaker (2007))

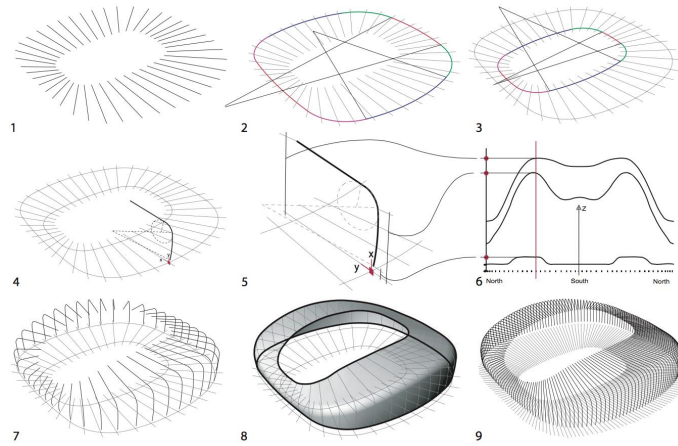
Formasyon süreci içerisinde “Topolojik Örtü” örneğinde, matrisi ve matris üzerinde yapılacak topolojik bölümlenmeleri oluşturmak için bir dizi kural tanımlanmıştır. Deneysel çalışmayı elde etmek amacıyla; yüzey/hacim, bölümlenme sayıları (ölçü;  $m \times n$ ), kuvvet kolonu matrisi (ölçü;  $1 \times (m \times n)$ ), bölümlenme numarasını vermek, yüzeyi/hacmi noktalarla bölmek (noktaların sayısı;  $m \times n$ ), tanımlanan noktalar arasında parça üretmek (parçaların sayısı;  $m \times (n+1+n \times (m+1))$ ), destek noktalarını seçmek ( $m \times n$ 'den az olmak zorunda),..., sıralanmış noktaların dizilişini kullanarak sıfır değerdeki matrisin başlangıcını oluştur (matris ölçüsü  $3 \times m \times 3 \times n$ ) gibi belli kurallar tanımlanmıştır.

Hangzhou stadyumu örneğinde ise, geometrinin oluşturulması için tanımlanmış altı kural aşaması bulunmaktadır (Şekil 117).



Şekil 117. Geometrinin oluşturulması (URL-30, 2015)

Aviva Stadyumunun geometrisinin tanımlanması için, tabanda ışınsal gridin oluşturulması, sekiz tane teğetsel yayın taban alanına tanımlanması, kabuk yüzeyinin eğim açıları gibi (Şekil 118) belirli kurallar tanımlanmıştır. Kabuk tasarımı için oluşturulan zemin ışınsal gridi, teğetsel yaylar çevresel bağlam sonucunda kural olarak tanımlanmıştır.



Şekil 118. Geometrinin oluşturulması ve kontrol yöntemi (Hudson, 2010)

Animasyona dayalı tasarım yöntemi kullanılarak üretilen Frozen Motion örneğinde fiziksel ortamda elde edilen veriler üç boyutlu ortama aktarılırken, eğrileri taşımak ve deforme etmek için bazı kural setleri tanımlanmıştır. İç ortam ses kuvvetine maruz kalan strüktürler bu kurallar doğrultusunda eğrisel olarak her seferinde yeniden üretilmiştir.

Bir diğer animasyona dayalı tasarım örneği olan “The Sound Motion Streaks” deneysel çalışmasında, lineer elemanların sınırları, partikül salınımı sırasında yoğunluğunu miktarının nerede az nerede fazla olacağı tasarımcının koymuş olduğu ve animasyon sırasında kolayca değiştirip formda oluşan farklılıkları gözlemleyebildiği kurallardır. Bu nedenle kurallar sabit olmamakla beraber süreç içerisinde tasarımcı tarafından istenilen sonuç elde edilene kadar değiştirilebilir.

Üretken tasarım süreci içerisinde kural setleri üretici mekanizmaya tanımlanmaktadır. Biçim gramerleri ile tasarım yönteminin kullanıldığı Frobel form üretici örneğinde, tasarımcı tarafından tasarlanan programda blok boyutları ve bloklar arası ilişkilerin girilerek kural setleri oluşturulmuştur. Kural dizisi seçeneği ile kullanılmak istenilen blok sayısı belirlenmiştir. Örneğin, A1A2A1 ile 2 adet blok kullanılırsa kural dizisi, A1A2A1A2A1A2A1 şeklinde devam edecektir. Bu durumda A1 ile A2 ve A2'nin tekrar A1



ile olan ilişkisi tanımlanır. Döngü sayısı 3 olarak belirlenirse oluşacak blok seti A1A2A1A2A1A2A1 olacaktır. Bu şekilde proje başlangıcında arayüz içerisinde bir çok kural tanımlanmıştır. Bir diğer biçim gramerlerinin kullanıldığı ve Mardin konutlarının analiz edilerek kullanıldığı örnek içerisinde tanımlanan kurallar, arsa boyutu (Kural 1), oda sayısı (Kural 2), kat adedi ve oda sayısının kontrolü (Kontrol 1), yarı açık mekan sayısı ve seçimi (Kural 3), diğer alanlar ve ekstra odalar (Kural 4), toplam alan ve zemin alanı (Kural 5) ve zemin alanı kontrolüdür (Kontrol 2). Biçim gramerlerinin gramer tabanlı bir yöntem olduğunu ve bu gramer kurallarına göre varyasyonların oluştuğunu anlamaktayız. Tasarımcılar örneklerden anlaşıldığı üzere, geometri temelli kütle gibi elemanlarla döndürme, çıkarma, arttırma, yükseltme gibi kurallar uygulayarak farklı ürünler elde etmektedir.

Üretken süreç içerisinde sınıflandırılan evrimsel tasarım örneği olarak incelen Marin vd. (2008a), Narahara ve Terzidis (2006) ve Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası tasarımda, mutasyon ve çaprazlama gibi doğal kurallar uygulanmıştır. Genetik algoritmaların işleyişine ait kurallar süreç içerisinde etkili olmaktadır.

Performansa dayalı süreçler içerisinde performansa dayalı yöntem kullanılarak oluşturulmuş, Kopenhag Fil evi projesinde gölgelik cam tavanı tasarımında döndürme, ölçeklendirme ve rastgele formunu değiştirme adımları kural olarak uygulanmıştır. Dubai Towers deneysel çalışmasında yükseklik artışı ve kat çapının azaltılması gibi kurallar ile varyasyonlar oluşturulmuştur. Son olarak, Çift yüzeyli duvar kabuğu projesinde ise reaktörler, simülasyon, animasyon, zaman gibi parametreleriyle tanımlanan kurallar bulunmaktadır.

Performansa dayalı üretken süreçler içerisinde “Kule” tasarımı örneğinde, kulenin her kontrol katı tanımlanan her bir dönüşüm aralığı içerisinde döndürülecek, taşınacak ya da derecelendirilecektir. Bu bağlamda, her bir dönüşüm aralığı, döndürme, taşıma ve derecelendirme kural olarak tanımlanmıştır. Son olarak Newyork'ta tasarlanan gökdelen projesi içerisinde, dönüşümü gerçekleştirecek olan, dönme, taşıma ve ölçeklendirme kural olarak tanımlanmıştır. Herbiri kırk metre yüksekliğe sahip olan altı adet kontrol katı formun tasarımını oluşturmakta ve bu kurallar bu katlar üzerinde uygulanmaktadır.

#### ➤ Değerlendirme

Tasarımcı değişkenleri, kısıtlamaları nasıl kullanacağını, uygulayacağını oluşturmuş olduğu kurallarla belirlemektedir. Aynı zamanda tasarımcı zihnindekileri bu kurallar

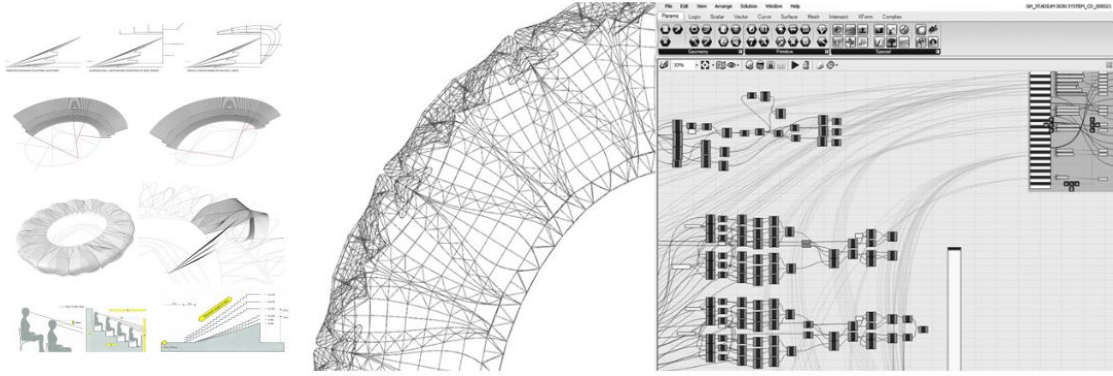
sayesinde sürece aktarmaktadır. Kurallar ile içerikleri (kısıtlama, değişken gibi) belirler ve bunlara verdiği yön ile varyasyonlar oluşur.

#### 3.1.4. İlişkiselik

Süreç içerisinde birbirini etkileyen elemanlar arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılmaktadır. Bileşenler arasında kurulan ilişkiselik sayesinde süreç içerisinde değişim çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu konuda Çağdaş vd. (2015), hesaplamalı tasarım ile birlikte mimari tasarımın sayısal ortamdaki temsili, geometrik ‘semboller’ yerine geometrik ‘ilişkiler’ olarak değiştiğini belirtmektedir. Gürer ve Alaçam (2015) da dijital (sayısal) ilişki durumunu şu şekilde yorumlamışlardır: “... tasarım bağlamında geleneksel, statik, analog, tasarım(cı) odaklı, spekülatif, tek merkezli anlayış yerini zaman, mekan, ve çokluğun bağlamına uygun, dinamik, hesaplamalı, veri ve süreç odaklı, şeffaf ve ilişkisel bir anlayışa bırakmaktadır. Mimarlık bu bağlamda artık mekanda yaratılan biçimlerin değil ilişkilerin sonucudur”.

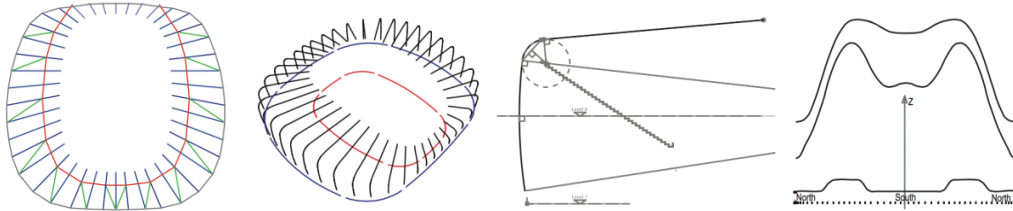
Bu çalışmada süreç içerisinde sadece birbiriyle ilişkili kurgulanan grafiksel, geometrik, matematiksel veriler dışında performans kriterleri, genotip-fenotip gibi ilişkiseliklerde göz önünde bulundurulmuş ve örnekler bu açıdan da analiz edilmiştir.

Formasyon süreci içerisinde topolojik tasarım yöntemi kullanılarak tasarlanmış Topolojik Örtü (Mutlu, 2010) örneğinde, oylumların yerleşimi ile arazi içerisindeki yollar ve manzara yönü arasında ilişkiselik bulunmaktadır. Bunun yanında matris, bölümlenme, bölümlenme numarası, yüzeyi/hacmi noktalarla bölmek gibi bir çok kriter arasında ilişkiselik mevcuttur. Hangzhou stadyumu projesinde ise parametrik tasarım taç yaprak geometrinin, oturma alanlarının, kafe yapısının ve saha çizgisinin eş zamanlı geliştirilebilmesi için kullanılmıştır. Projede oturma alanlarını uzatmak için parametrik sistem kurulmuş ve dış taç yaprak strüktür saha alanına bağlanmıştır. Bu durum, oturma parametrelerinin değişmesine dayalı olarak taç yaprak sisteminin adapte olmasına ve değişmesine olanak vermiştir. Aynı zamanda strüktürel tasarım oluşturulan parametrik model ile ilişkili olarak tasarlanmıştır. Burada sistemlerin birbiri ile ilişkili olduğu görülmüştür.



Şekil 119. Taç yaprağı formunun oturma basamakları ile ilişkilendirilmesi ve Parametrik olarak tanımlanmış strüktürel model (Miller, 2009; Miller, 2011)

Parametrik tasarım ile oluşturulmuş Aviva Stadyumu tasarımında kabuk, strüktür ve kaplama problemleri birbiriyle ilişkilidir. Kaplama tasarımı, geometrik ilişkiler ile tanımlanan modelin üretimini içermekte aynı zamanda çatı ve cephe geometrisini etkileyen parametrelerin kontrolüne imkan tanımaktadır. Kaplama tasarımı, kabuk geometrisine bağlı olarak gelişmektedir (Şekil 120).

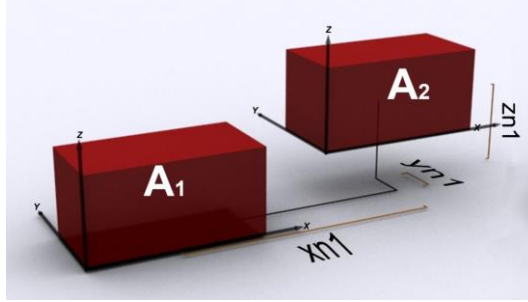


Şekil 120. Strüktürel tasarımın kabuk ilişkili tasarımı (Hudson vd, 2011)

Animasyona dayalı tasarım yöntemi kullanılarak üretilen Frozen Motion projesinde, strüktürel, mekansal ve formel tasarımın birbiri ile ilişkisi parametrik olarak kurgulanmıştır. Form oluşumu, dijital ortamda animasyon tekniğiyle hareket eden strüktüre bağlı olarak belirlenmektedir. Bunun yanında animasyon teknikleri sesin şiddeti ile ilişkili olarak forma etki etmektedir. The Sound Motion Streaks projesinde ise, Autodesk Maya içerisinde yer alan HyperShade iletişim kutusu yardımıyla AudioWave'den alınan sayısal değerler ve etkileyeceği dijital malzemelerle ilişkileri kontrol ve manipüle edilmiştir. AudioWave Autodesk Maya'da yer alan ve sesin amplitüt değerini okuyan bir eklentidir.

Üretken süreç içerisinde tanımlanan ilişkilere bakıldığında, Keskin (2008) konut üretiminde, Mardin konutlarının analiz edilmesiyle çıkarılan gramer kurallarına göre bloklar

arasında ilişki tanımlanmaktadır. Arayüz içerisinde yer alan blok ilişkileri ile blokların birbirilerine göre konumları öteleme ve döndürme transformasyonları ile tanımlanmıştır. Aşağıdaki şekilde A1 ile A2 arasındaki ilişki tanımlanmaktadır (Şekil 121).



Şekil 121. A1 ile A2 arasındaki ilişki (Keskin, 2008)

Torus (2008) biçim gramerleri ile konut tasarımı örneğinde, kat adedi ile oda sayısı arasında ilişki bulunmaktadır (Şekil 122). Bu ilişki programa değerler girildikten sonra kontrol edilmektedir. Kat sayısı ile oda sayıları arasında ilişki bulunup, kat sayısı oda sayısına göre belirlenmektedir. Örneğin, oda sayısı 1 ise kat adedi 1, oda sayısı 2 ve 3 ise kat adedi 1 veya 2 olabilmektedir. Bunun dışında kat adedi ve oda sayısı yarı açık mekan boyutlarını etkilemektedir. Örneğin, oda sayısı 1 ile 3 arasında ve kat adedi 1 ise yarı açık mekan sayısı 2 olmaktadır.

		oda sayısı												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
kat adedi	1	■												
	2		■											
	3			■										

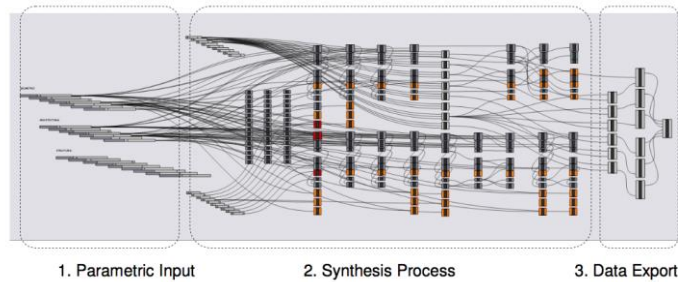
Şekil 122. Kat adedi ve oda sayısı ilişkisi (Torus, 2008)

Marin vd. (2008a) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada genotipler arasındaki ilişkisellik yeni fenotiplerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda genotipler ve fenotipler arasında da ilişki kurulduğunu söyleyebiliriz. Çünkü genotipin değişmesi otomatik olarak fenotipi de etkilemektedir. Narahara ve Terzidis (2006) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada ise, altıgensel grid (ızgara) ile çevrelenmiş ve çeşitli komşu hücreler arasında ilişkisellik tanımlanmıştır. Aynı zamanda komşu hücreler arasındaki tanımlanan ilişkiler, yapıların değerlerinde farklılığa neden olmaktadır. Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek

Okulu Ek Binası projesinde, eğilme momenti ve hücre tipine göre en uygun duvar kompozisyonu populasyonun oluşması ile ilişkilidir. Bu iki değişkenin değeri populasyonun değerini etkilemektedir. Buna ek olarak hücreler, grid ve boşluk olan mekanlar arasındaki ilişki de süreç başlangıcında tanımlanmıştır.

Performansa dayalı süreç içerisinde incelenen Kopenhag fil evi projesinde iki gölgelik arasındaki görsel ilişkisellik, torus geometrisinin yarıçapı ile strüktürlerin boyutu arasında, oluşturulan sayısal değişkenler ile koordinat sistemlerini ifade eden torus aksları arasında, gölgelik cam tavanı sırcalaştırılması sırasında gün ışığı değerleri ile yaprak deseninin yerleştirilmesi arasında ilişkisellik tanımlanmıştır.

Bir diğer performansa dayalı tasarım yöntemi kullanılarak üretilen Dubai Towers (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010) deneysel çalışmasında formel ve strüktürel parametreler birbirleriyle ilişkili olarak kurgulanmıştır. Çünkü bu çalışmada formel ve strüktürel tasarım girdilerinin eş zamanlı olarak kontrol edilebilmesi durumu araştırılmıştır. Süreç içerisinde yaşanan değişimler her ikisini birlikte etkilemiştir. Dolayısıyla süreç içerisinde strüktürel ve biçimsel tasarım ilişkisel olarak kurgulanmıştır.



Şekil 123. Yazılıma girilen veriler arasındaki ilişkisellik (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

Animasyon ve simülasyon gibi tekniklerin performans amaçlı kullanıldıkları “Çift Katmanlı Strüktürel Duvar” çalışmasında (Oxman, 2008), parametrik olarak modellenen kabuk üzerindeki parçalar birbirleri ile ilişkilidir. Dolayısıyla süreç içerisinde ilişkili elemanlar değerler değiştirildiğinde aynı şekilde değişmektedir.

Fasoulaki (2008) tarafından gerçekleştirilen performans kriterlerinin sentez aşamasında kullanıldığı kule tasarımında, kontrol katları arasında ve kontrol katları ile yapı kabuğu arasında ilişkisellik tanımlanmıştır. Bütün simülasyonlar ve mekan dönüşümleri bu katlar üzerinde gerçekleştirilmiş ve bu dönüşüm yapının kabuğunu etkilemiştir. Newyork’ta

gökdelen olarak tasarlanan deneysel çalışmada ise (Fasoulaki, 2008), performans kriteri olarak belirlenen bölgeleme kriteri, kontrol katları ve kat derinliği ile ilişkili olarak kurgulanmıştır. Bölgeleme aralığının artması kat alanını arttırmakta bu da kat derinliğinin artmasına yol açmaktadır. Bu durumda kat derinliği ile ilişkili olarak alınan gün ışığı miktarı azalmaktadır.

#### ➤ Değerlendirme

Veriler arasında tanımlanmış bağlantıyı ifade eden ilişkisellik, süreç içerisinde kısa sürede değişim ve düzeltme yapma imkanı tanımaktadır. Parametreler, mekansal, strüktürel amaçlı geometrik kriterler ve genotip-fenotip, performans kriterleri ile yapı arasında ilişkisellik tanımlanmaktadır.

### **3.1.5. Bileşenler**

Değişkenler ve kısıtlamalar ile oluşan geometrik elemanlardır (Örn. Herhangi dört adet birbirine dik olarak kısıtlanmış çizgilerin, kısıtlanmış uzunlukları ve değişken genişlikleri, bir kolonun profilini oluşturur). Aynı zamanda bileşenler, bir araya getirilmiş ve bağlam içerisinde kullanılabilen bir dizi yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır (Gane ve Heymaker, 2007). Çalışma içerisinde incelenen örneklere ait bütün veriler bileşen olarak kabul edilmektedir. Tasarım süreci içerisinde aralarında ilişkisellik tanımlanan fiziksel ya da kavramsal öğeler, performans kriterleri, kısıtlamalar, değişkenler, kurallar gibi bütün elemanlar sistemin bileşenleri olarak yorumlanmıştır.

Formasyon süreci içerisinde; Topolojik yüzey (Mutlu, 2010) örneğinde, matris ve matris üzerinde yapılacak topolojik bölümlenmeleri oluşturmak için bir dizi kural ve bunlar gibi yüzeyi oluşturan tüm elemanlar bileşen olarak yorumlanabilir. Hangzhou stadyumunda ise stadyumun oluşumunda etkili olan bir çok eleman (taç yaprak, noktasal bulut, oturma alanı vb.) Aviva Stadyumunda ise form oluşturan tüm strüktür, kabuk ve cephe elemanları tasarımın bileşenleridir. Animasyon teknikleri kullanılarak oluşturulan Frozen Motion projesinin bileşenleri, strüktürel halkaların sayısı, zaman, geometri boyutları gibi tüm strüktürel ve mekansal elemanlardır. Animasyon tekniği ile tasarlanan bir diğer proje olan The Sound Motion Streaks projesi içerisinde, partiküller, lineer elemanlar, poligonlar bileşen olarak tanımlanmıştır. Formasyon süreci içerisinde tüm örneklerde tanımlanan değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik ve diğer tüm elemanları tasarım süreci bileşenleri olarak yorumlayabiliriz.

Üretken süreç içerisinde Keskin (2008) tarafından gerçekleştirilen konut tasarımında bloklar, bloklar arası ilişkiler, dönüşüm noktaları gibi tüm sistemi oluşturan bileşen olarak tanımlanmıştır. Bir diğer biçim gramerleri örneği olan Torus (2008) projesinde, tüm konutu oluşturmak için kullanılan kısıtlamalar, değişkenler, kural setleri, 4x4 m.lik mekanları oluşturmak için kullanılan tüm veriler konutu oluşturan bileşenlerdir.

Üretken süreç içerisinde yer alan evrimsel tasarım yöntemi ile tasarlanan örneklerle baktığımızda, geometrik, matematiksel veriler dışında biyoloji bilimi içerisinde yer alan evrimsel verilerinde bileşen olarak kullanıldığını görürüz. Örneğin, Marin vd. (2008a), tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada kromozom, fenotip, genotip, populasyon, ebeveynler, oluşan bireyler, tanımlanan geometrik kutular gibi bileşenler bir arada düşünülmüştür. Aynı şekilde Narahara ve Terzidis (2006) tarafından tasarlanan çok işlevli ve katlı deneysel çalışmada, oluşturulan başlangıç populasyonları, tanımlanan hücreler, grid gibi tüm elemanlar bileşendir. Son olarak Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası projesinde, başlangıç populasyonu, boşluk özelliği olan ve olmayan duvarlar, strüktürel elemanlar yapının bileşenleri olarak yorumlanmıştır.

Performans süreçlerine baktığımızda, performansa dayalı tasarım içerisinde performans kriterlerinin (zaman, rüzgar, gün ışığı, solar gibi) dışında, formasyon için, parametrik olarak tanımlanan matematiksel ve geometrik bileşenler görürüz. Örneğin, Kopenhag fil evi (Peters, 2008) tasarımında, 26 adet değişken, aralık, torus geometrisi, gün ışığı verileri gibi strüktürü oluşturan bileşenler, Dubai Towers'ta (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010) ise geometrik, strüktürel, fonksiyonel bileşenler kullanılmıştır. Parametrik olarak oluşturulan çift katmanlı strüktürel duvar kabuğu projesi (Oxman, 2008) iç-dış katmanlar, modüller, eğim derecesi, rüzgar şiddeti, aydınlatma gibi bir bileşenler tarafından oluşturulmuştur. Performansa dayalı üretken tasarım içerisinde ise, performans kriterleri, matematiksel ve geometrik gibi bileşenlerin yanında üretimin gerçekleşmesi için tanımlanan biyolojik bileşenler görürüz. Örnek olarak, Fasoulaki (2008) tarafından tasarlanan kule projesinde, zemin, 10., 20., 40., 60., 80. ve 100. katlar olmak üzere eliptik katlardan, oluşturulan popülasyon, genetik algoritmalar ve diğer tüm katlar bu projenin bileşenleridir. Yine Fasoulaki (2008) tarafından gerçekleştirilen bir diğer proje olan, Newyork'ta gökdelen projesi tasarımında, bölgeleme, strüktürel, solar veriler projenin bileşenleridir. Aynı zamanda başlangıçta oluşturulan popülasyon ve genetik algoritmalarda süreç içerisinde bileşen olarak kullanılmaktadır. Bütün bunlara ek olarak tüm örneklerde bahsedilen, kısıtlamalar, değişkenler, kural setleri süreci ve tasarımı oluşturan bileşenlerdir.

### ➤ Değerlendirme

Geometrik tanımlamayı oluşturan tüm elemanlar tasarımın bileşenleridir. Hangi bileşenin değişken, kısıtlama olacağına, hangisi arasında ilişki tanımlanacağına ve süreç içerisinde nasıl bir strateji izleyerek formu oluşturacağına tasarımcı karar vermektedir. Bileşenler; geometrik, biyolojik, matematiksel, performans kriterleri dışında tanımlanan tüm kısıtlamalar, değişkenler, kurallar gibi süreç kurgusunu oluşturan bütün kriterler olarak tanımlanmaktadır.

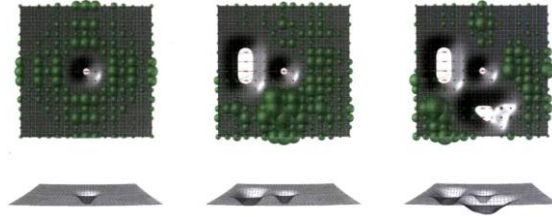
### 3.1.6. Varyasyonlar

Kelime anlamı TDK sözlüğünde “değişik biçim, varyete” olarak geçen (URL-40, 2015) varyasyon (çeşitleme), parametrelerin doğrudan yönetimi sonucu ya da tasarımı parametreleri yoluyla etkileyecek kuralların uygulanması sonucu ortaya çıkmaktadır (Yu, 2009). Varyasyonlar tasarım süreci içerisinde yaratıcı evre içerisinde sentez aşamasında ortaya çıkmakta ve süreç içerisinde büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, tasarım süreci içerisinde tasarım problemine en uygun çözüm ortaya çıkan varyasyonlar içerisinde seçilmektedir. Problemin çözümü için belirlenen kısıtlamalar ve değişkenler doğrultusunda farklı yeni tasarım alternatifleri ortaya çıkmaktadır. Dijital ortam, farklı varyasyonların kısa sürede oluşturulmasına imkan tanımaktadır.

Tasarım süreci, tatmin olunan sonuç ürününe ulaşılan kadar devam eden tekrarlı bir yapıya sahiptir. Bu süreçte tasarımcı geri beslemeli bir döngü içerisinde bir çok kez geri dönüşler gerçekleştirerek bir dizi değişkeni ve kısıtlamaları gözden geçirmekte buna bağlı olarak bir çok alternatif sonuç elde etmektedir. Bir başka ifadeyle parametrelerin değerleri değiştirilerek varyasyonlar elde edilmektedir. Bu açıdan varyasyonlar, tasarımcının oluşturduğu kurguyu görmesini sağlamaktadır. Tasarımcı oluşturduğu kurgu sonucunda ortaya çıkan varyasyonlardan tatmin olmadığında süreç içerisinde geri dönüşler yaşamakta ve kurguyu yeniden organize etmektedir.

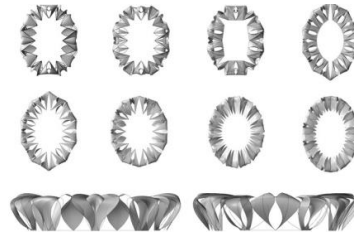
Formasyon süreci içerisinde yer alan varyasyonlara baktığımızda, Topolojik yüzey örneğinde, manyetik gücün değerinin artırılması ya da azaltılmasıyla yeni topolojik formasyonlar elde edilmektedir (Şekil 124).





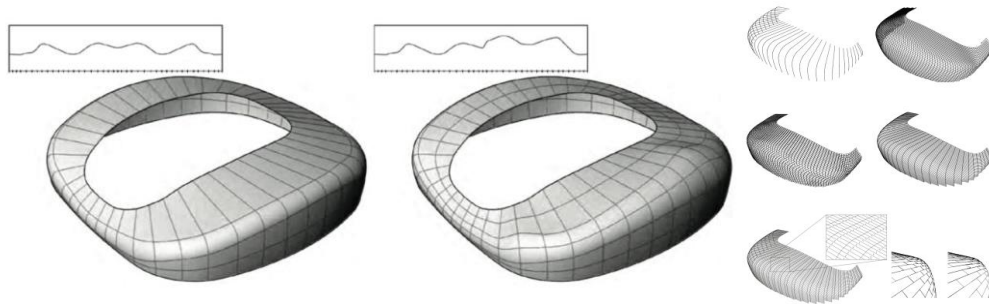
Şekil 124. Oluşan varyasyonlar (Mutlu, 2010)

Hanzhou stadyumunda ise parametrik olarak modellenen formu oluşturan taç yaprak modüllerinin sayısının arttırılması azaltılmasıyla ve noktasal bulutun kısıtlamaları, farklı geometrik efektler oluşturmak için manipüle edilerek varyasyonlar kolayca elde edilmektedir (Şekil 125).



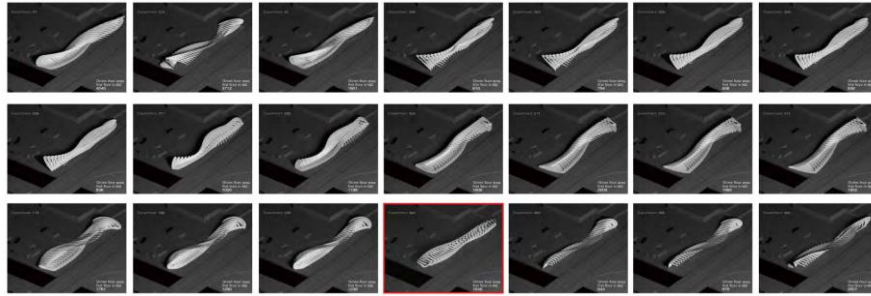
Şekil 125. Hanzhou stadyumu oluşan varyasyonlar (URL-41, 2015; Miller, 2011)

Aviva stadyumu tasarımında kabuk üzerindeki kavisin açısının, iç çatı kenar eğrisinin değiştirilmesi ile farklı varyasyonlar oluşturulmuştur. Bunun dışında kabuk desenine karar verilirken de farklı varyasyonlar kısa sürede oluşturulmuştur (Şekil 126).



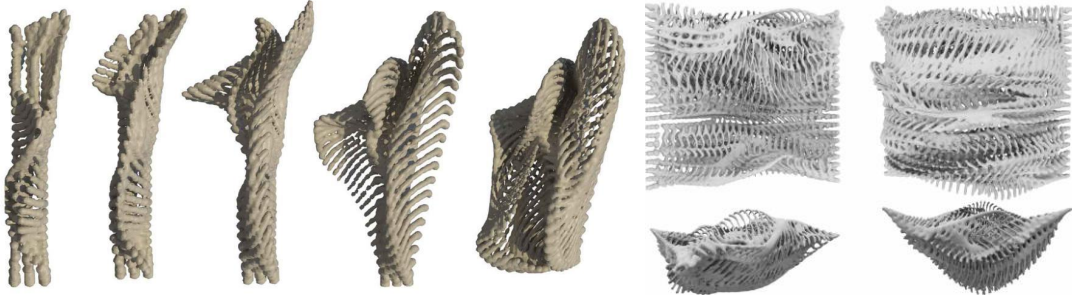
Şekil 126. Kavis yarıçapının ayarlanmasıyla oluşan varyasyonlar (Hudson vd, 2011)

Animasyon teknikleri kullanılarak form bulma (form-finding) araştırmalarının yapıldığı Frozen Motion örneğinde, hareket animasyon etkisiyle forma dinamik bir görüntü kazandırmıştır. Bu bağlamda formasyon sırasında oluşturulan varyasyonlar, belirlenen performans kriterleri doğrultusunda animasyon teknikleri ile elde edilmiştir. Bu çalışma içerisinde öngörülebilir topolojik varyasyonlar elde edilmiştir. Animasyon teknikleri kullanılarak hareketin forma yansması ile form topolojik formasyonlar geçirek dinamik etki kazanmıştır (Şekil 127).



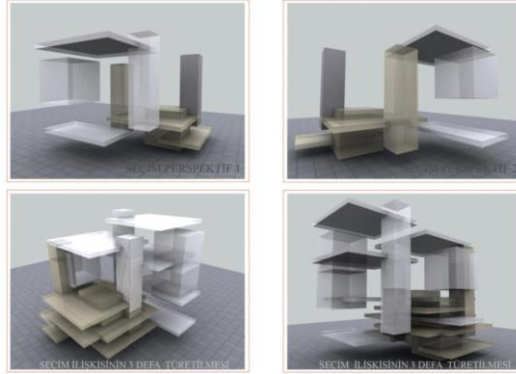
Şekil 127. Dijital ortamda form bulma süreci ve varyasyonların animasyon teknikleri ile oluşturulması (URL- 34, 2015)

Animasyona dayalı tekniklerin kullanıldığı bir diğer örnek olan The Sound Motion Streaks deneysel çalışmasında sesin şiddetinin değeri, zaman, malzemenin etkileşimi gibi özelliklerin değişimi bir çok varyasyonun oluşmasını sağlamaktadır. Belli bir zamanda dijital ortamda hareket eden kare durdurularak form elde edilmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan form aslında mekanda donmuş bir harekettir (frozen motion). Bu çalışma içerisinde oluşacak varyasyonlar partiküllerin salınımını gerçekleştirdiği ortamın boyutlarına bağlı olarak oluşmaktadır. Animasyon teknikleri ve sesin etkisiyle form dinamik bir hareket kazanmıştır. Buradan hareketle animasyona dayalı tasarımda oluşan varyasyonların dinamik bir etkiye sahip olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 128).



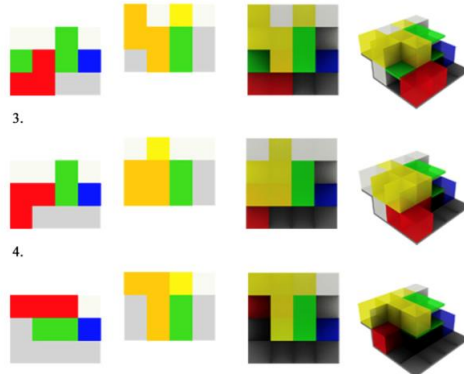
Şekil 128. Hibrid Sistem (Lineer Elemanlar+Partikül Sistemi+Mesh) Hareketleri, sınırlandırılmış Bir Lineer Sistemde Yöntemin Denenmesi (Çalışır, 2012).

Üretken süreçler içerisinde Froebel form üretici (Keskin, 2008) ile oluşan ürünlere bakıldığında, arayüz içerisinde dönüşüm noktaları, kural setleri, döngü sayısı, blok boyutları, blok ilişkileri olarak tanımlanan değişkenlerin değerlerinin değiştirilmesi birden fazla varyasyonun oluşmasını sağlamaktadır. Örneğin blok ölçülerinin sabit kalması ve dönüşüm noktalarının değiştirilmesi ile farklı çözüm alternatifleri elde edilmiştir (Şekil 129).



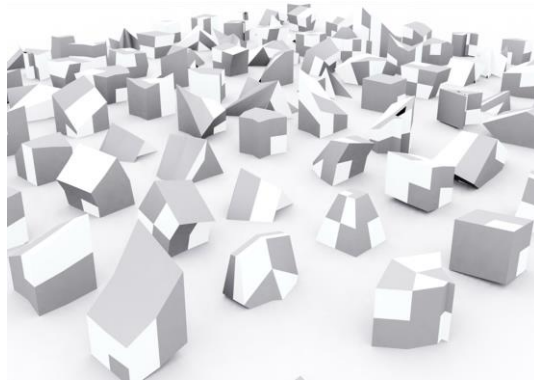
Şekil 129. Dönüşüm noktası kullanılarak türetilen varyasyonlar (Keskin, 2008)

Biçim gramerleri ile tasarım yönteminin kullanıldığı konut tasarımı (Torus, 2008) örneğinde kat adedi, oda sayısı, tanımlanan kural setleri, dönüşüm noktaları gibi kriterler varyasyon oluşumunu etkilemektedir. Bu çalışmalarda üretici mekanizmaya tanımlanan biçimler ve yeni biçim konfigürasyonları araştırmak için tutulan yol olan gramer kuralları birden çok varyasyonun oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 130).



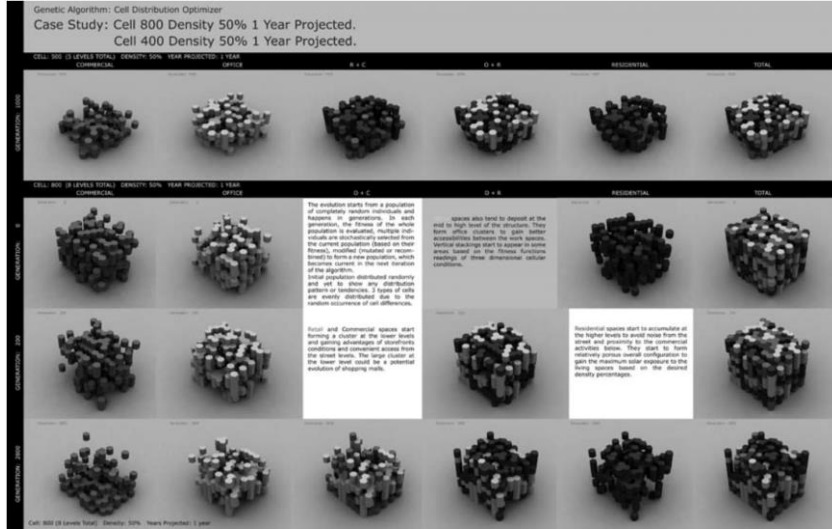
Şekil 130. Üretim sonucu mekanizma tarafından oluşturulan varyasyonlar (Torus, 2008)

Evrimsel tasarım yönteminin kullanıldığı Marin vd. (2008a) tarafından oluşturulan tasarımda çaprazlama, mutasyon gibi doğal kuralların kromozomlar üzerine uygulanmasıyla birbirinden farklı varyasyonlar oluşmaktadır (Şekil 131).



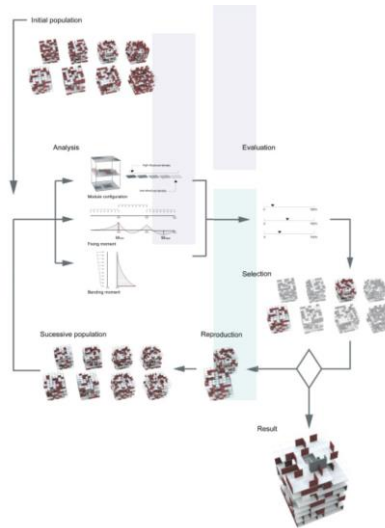
Şekil 131. Oluşan varyasyonlar (Marin vd., 2008a)

Narahara ve Terzidis (2006) tarafından çok katlı ve çok fonksiyonlu konut sorunu çözümü için gerçekleştirilen deneysel çalışmada performans kriterlerinin varyasyon üretmede etkili olduğu görülmektedir. Uygunluk değeri, ekonomik, fonksiyonel, çevresel kısıtlamalara göre farklı popülasyonlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin en düşük maliyet ve en yüksek yarar kısıtlama olarak girildiğinde birden çok varyasyon üretilmektedir (Şekil 132).



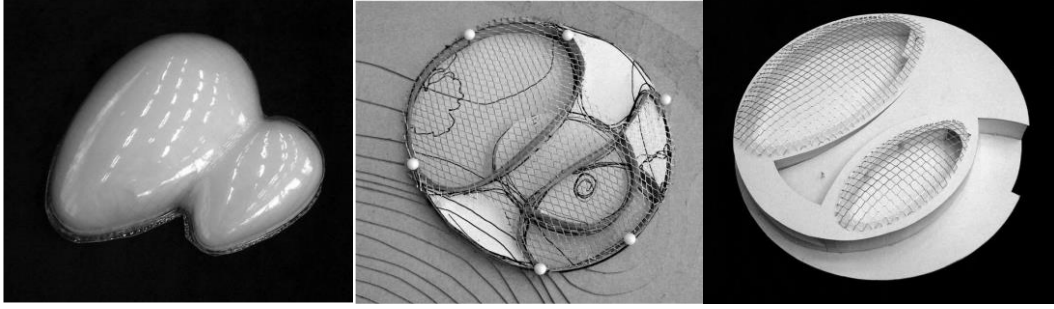
Şekil 132. Kısıtlamalara göre şekillerin orta çıkması (Narahara ve Terzidis, 2006)

Strüktürel optimizasyon ve mekansal kurgu için evrimsel tekniklerin kullanıldığı Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası (Bollinger, vd. 2010) tasarımında, populasyon üretiminde çeşitlilik, genotip üzerinde yapılacak çaprazlama ve rastgele mutasyonlarla sağlanmıştır. 200 alternatif üretimden sonra, süreç birden çok mimari ve strüktürel kriterleri sağlayan bir sonuca ulaşmıştır (Şekil 133).



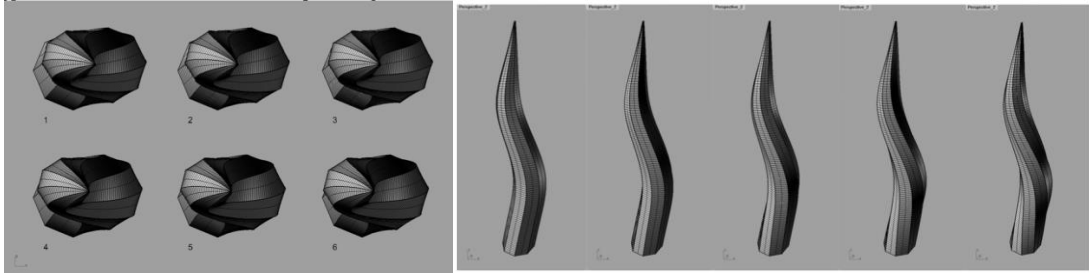
Şekil 133. Doğal kurallar sonucunda oluşan varyasyonlar (Bollinger, vd. 2010)

Performansa dayalı süreçler içerisinde oluşan varyasyonlara baktığımızda, Kopenhag Fil evi projesinde (Peters, 2008), gölgelik tasarımı geometrisi için kullanılan torus geometrisinin yarıçaplarının değiştirilmesiyle farklı varyasyonlar elde edilmektedir. Parametrik olarak modellenen gölgelik strüktürü tasarımında oluşan varyasyonlar öngörülebilirdir (Şekil 134).



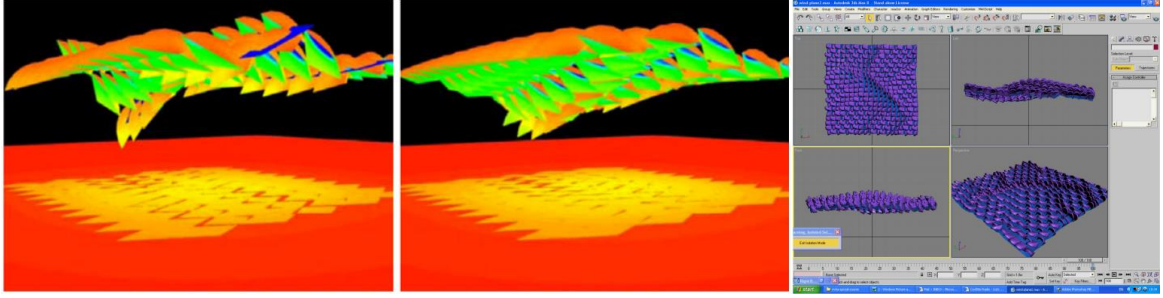
Şekil 134. Oluşan varyasyonlar (Peters, 2008)

Dubai Towers (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010), formun merkezini dışa doğru kaymasını azaltmak için bazı parametrik düzeltmeler yapılmıştır. Bu parametrik düzenlemeler sonucunda varyasyonlar oluşmuştur (Şekil 135).



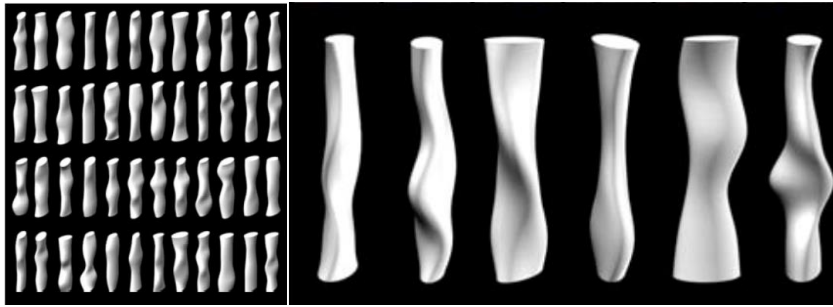
Şekil 135. Formun dış merkeziliğini azaltmak ve kıvrılma derecesine göre oluşan varyasyonlar (Almusharaf ve Elnimeiri, 2010)

Yapıyı rüzgar ve gün ışığı etkisinden koruyacak çift katmanlı kabuk tasarımında (Oxman, 2008) yüzeylerin eğim derecesi, aydınlatma etkisi, zaman, rüzgar şiddeti gibi değişkenlerin değişmesi varyasyonların oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 136).



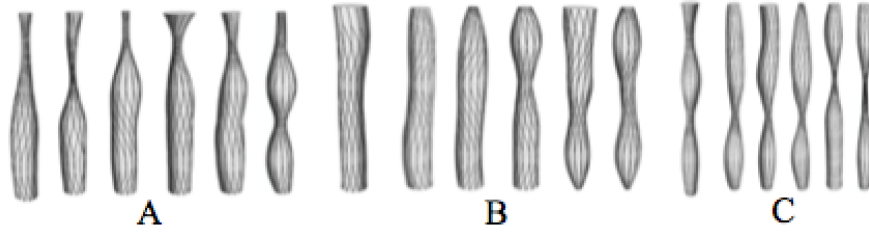
Şekil 136. Gün ışığının ve rüzgar gücünün kabuğu biçimlendirmesi (Oxman, 2009; Oxman, 2007)

Performansa dayalı üretken tasarım yöntemi kullanılarak Fasoulaki (2008) gerçekleştirilen kule tasarımında, çaprazlama ve mutasyon gibi doğal kuralların uygulanması ve performans kriterlerinin dahil edilmesi sonucu form varyasyonları oluşmaktadır (Şekil 137).



Şekil 137. Üretken kurallar ve performans kriterleri sonucu oluşan varyasyonlar (Fasoulaki, 2008)

Newyork'da tasarlanan gökdelen tasarımında (Fasoulaki, 2008), başlangıç popülasyonu tanımlandıktan sonra, çaprazlama ve mutasyon gerçekleştirilerek yeni döller elde edilmiştir. Bunların performans kriterlerine göre oluşturulması için bölgeleme 0.5, strüktürel performans için 0.1 ve solar performans için 0.4 (Şekil 138A) daha sonra bölgeleme için 0.3, strüktürel performans 0.3, solar performans 0.3 (Şekil 138B) ve son olarak bölgeleme için 0.15, strüktürel tasarım için 0.15, solar performans için 0.7 değerleri girilerek (Şekil 138C) yeni varyasyonların oluşturulması sağlanmıştır.



Şekil 138. Değerler sonucunda ortaya çıkan varyasyonlar (Fasoulaki, 2008)

Performansa dayalı tasarımda varyasyonlar formasyonun sonucu oluşmaktadır. Performansa dayalı üretken tasarımda ise varyasyonlar üretken sürecin sonucunda doğal kuralların uygulanmasıyla oluşmaktadır. Varyasyonların oluşmasında performans kriterlerine, evrimsel kriterlere ve oluşturulan geometriye ait kısıtlamalar, değişkenler, kurallar, ilişkisellik gibi bir çok parametre etkili olmaktadır.

#### ➤ Değerlendirme

Parametrik olarak tanımlanan projelerde öngörülebilir varyasyonlar, algoritmik olarak tanımlanan projelerde öngörülemez varyasyonlar oluşmaktadır. Animasyon teknikleri ile dinamik varyasyonlar oluşmaktadır.

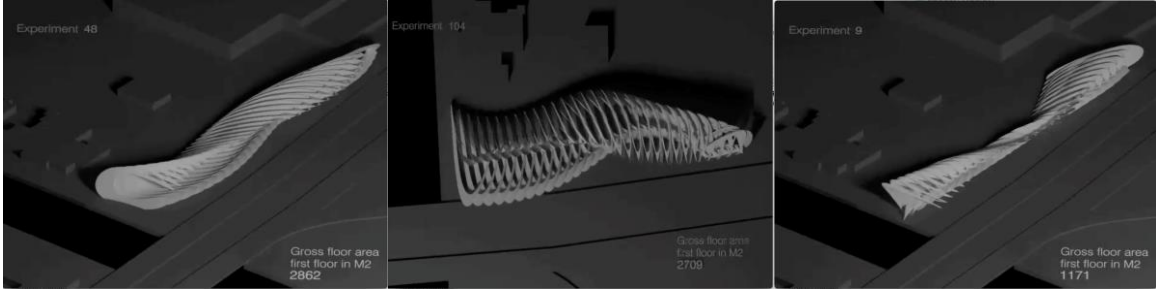
### 3.1.7. Animasyon

Animasyon kelimesi; TDK sözlüğünde “canlandırma” olarak kullanılmaktadır. (URL-43, 2015). Animasyona dayalı tasarım teknikleri içerisinde değinilen bu kavram süreç içerisinde formasyon amaçlı kullanılmaktadır. İncelenen örnekler içerisinde performansa dayalı süreç içerisinde de animasyon kavramının kullanıldığı görülmüştür. Bu teknik genel olarak süreç içerisinde sentez aşamasında formasyon amaçlı kullanılmaktadır.

Animasyon teknikleri genel olarak animasyona dayalı tasarım yöntemi içerisinde kullanılan bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Fakat literatürde performansa dayalı tasarım yöntemi içerisinde örneklenen Oxman (2008) tarafından deneysel olarak gerçekleştirilen ve tez kapsamında performansa dayalı süreç içerisinde incelediğimiz “Çift katmanlı yapı kabuğu” projesine ait formasyon sürecinde animasyon tekniğinin kullanıldığı dile getirilmiştir.

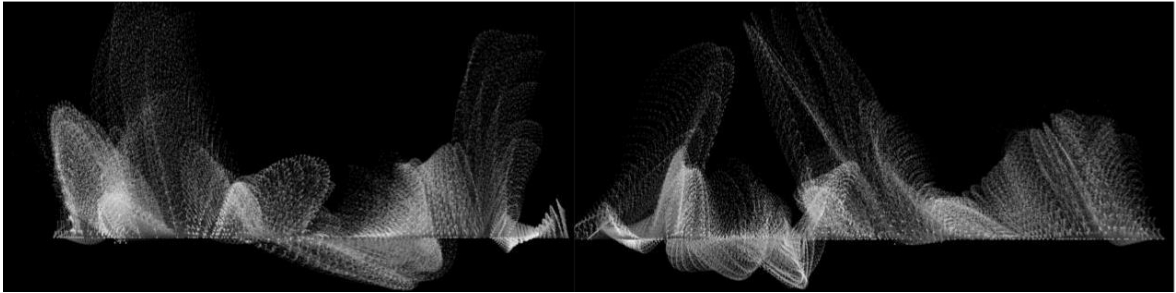
Animasyona dayalı yöntem içerisinde ele alınan “Frozen Motion”(URL-34, 2015) örneğinde dinamik form elde etmek amacıyla hareket etkisinin form üzerindeki etkisi animasyon teknikleri ile araştırılmıştır (Şekil 139).





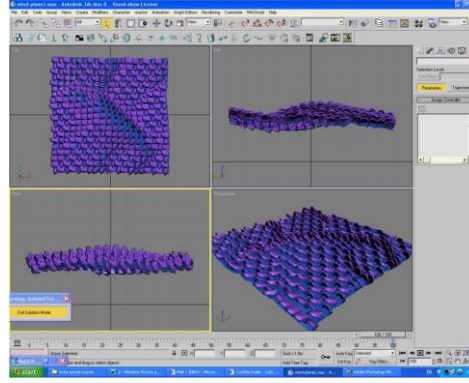
Şekil 139. Frozen Motion Animasyon videosundan alınan görüntüler (URL-34, 2015)

Animasyon tekniklerinin kullanıldığı bir diğer proje olan The Sound Motion Streaks deneysel çalışmasında, animasyon ortamında mekan sınırları tanımlanmış, içerisindeki partiküller sesin etkisiyle hareket ederek formu oluşturmuştur (Şekil 140).



Şekil 140. Lineer elemanların mekandaki hareketi ve partikül Salınımı, hareket algısı, dondurulmuş An (Çalışır, 2012)

Performansa dayalı tasarım ile formasyonu gerçekleştirilen “Çift katmanlı yapı kabuğu”(Oxman, 2008) projesinde animasyon teknikleri, kabuğun rüzgar gücüne verdiği tepkiyi canlandırmak için kullanılmıştır. Güçler simülasyonun etkisiyle modüller hareket etmiş ve formasyon gerçekleşmiştir (Şekil 141).



Şekil 141. Rüzgar gücünün kabuğu biçimlendirmesi (Oxman, 2007)

#### ➤ Değerlendirme

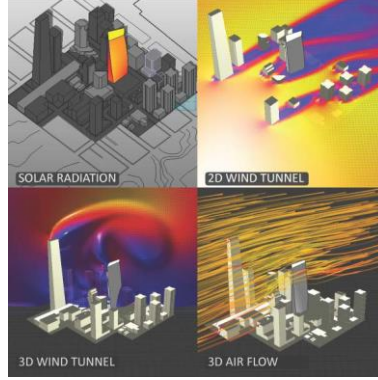
Animasyon tekniklerinin form geliştirmek amaçlı olarak sentez aşaması içerisinde kullanıldığı ve forma dinamizm kattığı görülmüştür. Oluşturulan süreç kurgusu içerisinde form animasyon teknikleri ile geometri kazanmasının yanında, belli bir geometriye sahip forma performans güçleri ile topolojik hareket de kazandırılabilir.

### 3.1.8. Simülasyon

Sözlük anlamı “benzetim” olan simülasyon (URL- 44, 2015), dijital ortamda oluşturulan model üzerinde zaman parametresinin değişimi ile sistem davranışının ortaya konulmasıdır. Aynı zamanda Harputlugil (2011) simülasyonu, karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek ve analiz etmek üzere bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanmaktadır. Simülasyonlar gerçek ortamdaki kuvvetlerin dijital ortamda benzetimlerinin gerçekleştirilmesidir. Böylece dijital ortamda bu kuvvetler zaman parametresinin değişimi ile modelin davranışı haritalanmaktadır. Bir başka ifadeyle, simülasyon araçları yardımıyla kuvvetlerin yapı üzerindeki etkisi renklerle kodlanmaktadır (Şekil 142). Ören (2006), dijital ortamda gerçekleştirilen performans çalışmalarının, süreçlerle ilgili net ya da yaklaşık bilgiler vererek kestirimler ve çıkarımlar yapmayı sağladığını ve bu durumda bir nevi deney ortamı imkanı sunduğunu söylemektedir (İpek, 2014).

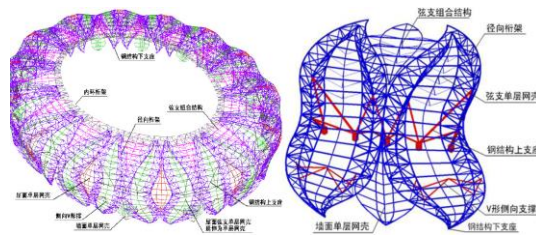
Solar, gün ışığı, rüzgar akışı, yük dağılımı, deprem yükleri, akustik gibi performans kriterlerinin simülasyonu hesaplamalı tasarım süreci içerisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Tasarımcılar dijital ortamda gerçekleştirilen simülasyon testleri ile tasarımlarını

geliştirmekte, optimizasyonunu gerçekleştirmekte bunun yanında tasarım oluşturma aşamasında da kullanılmaktadır.



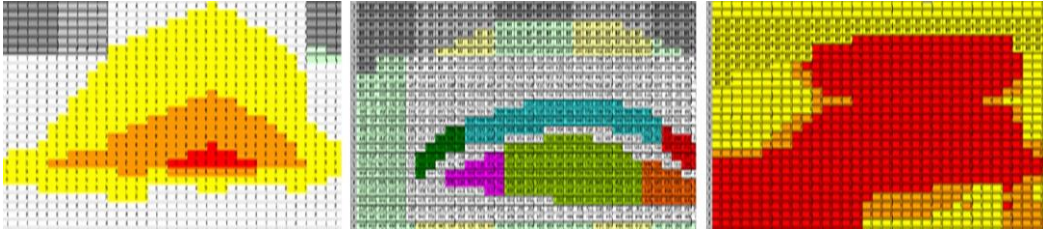
Şekil 142. Mimari tasarım süreçlerinde kullanılan bazı simülasyonlar (İpek, 2014)

Formasyon süreci içerisinde simülasyonun hangi aşamada kullanıldığına baktığımızda; Hanzhou stadyumunda geliştirme aşamasında kullanıldığı görülmüştür. Çünkü sentez aşamasında formasyon çalışması ile birlikte yürütülmüştür. Kabuk formu netleştikten sonra strüktürel, gün ışığı gibi performans analizleri gerçekleştirilerek form iyileştirilmiş ve uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Bunun için ilk olarak strüktürel düğüm noktaları tanımlanmış, çatı makasının merkez hattı belirlenmiştir. Çatı elemanlarının koordinasyonu sağlandıktan sonra Kangaroo fizik motoru ile yerçekimi yüklerinin (gravity loading) çelik çatı makasları üzerindeki basınç ve gerilim simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 143).



Şekil 143. Kangaroo fizik motorunun kullanılması ile, makas üzerindeki maksimum yüklerin hesaplanması ve yüzey analizi (Miller, 2011).

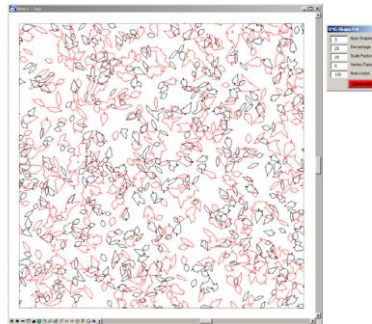
Aviva stadyumu örneğinde ise simülasyon araçlarının kullanılmasıyla saydam cephe üzerinde güneş ışığı etkisi, rüzgar şiddeti gibi performans kriterleri doğrultusunda analizleri gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Örneğin, güneş ışığını fazla alan alanlara güneş kırıcılar yerleştirilmiştir (Şekil 144).



Şekil 144. Paneller üzerinde solar, havalandırma ve rüzgar şiddeti hesaplanması (Rudson, 2008).

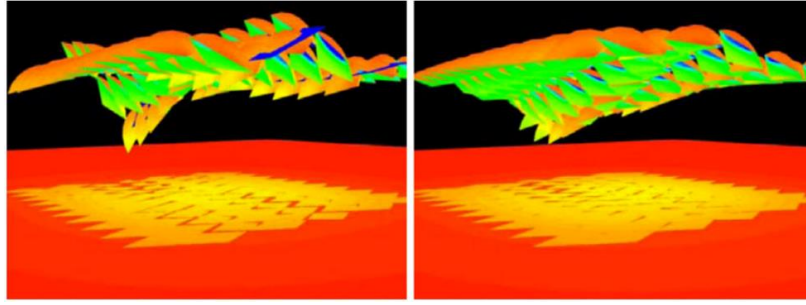
Bu çalışma kapsamında incelenen diğer formasyon modeline ait süreçler ve üretken modele ait süreçler içerisinde simülasyonun gerçekleştirildiğine dair bir bilgiye ulaşılmamıştır.

Performansa dayalı modele ait süreçler içerisinde simülasyonun hangi aşamada gerçekleştiğine göz atığımızda “Kopenhag Fil evi” projesinde simülasyon analizleri gölgelik camının sırcalaştırılması sırasında kullanılmıştır. Gün ışığına ait verilerin simülasyonu gölgelik üzerinde gerçekleştirilmiş ve gün ışığı alan bölgeler, ışığı alma miktarına bağlı olarak üçe ayrılmıştır. Daha sonra yerel bir bitki yaprağı şekli seçilerek, yeni bir yazılım üretilmiştir. Bu yaprak şekli, algoritma yardımı ile gün ışığını çok alan yerlerde yoğun az alan yerlerde seyrek olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yazılım, gün ışığı gölgeleme yüzdesi istenilen seviyeye ulaşıncaya desenleme işini sonlandırmıştır (Şekil 145).



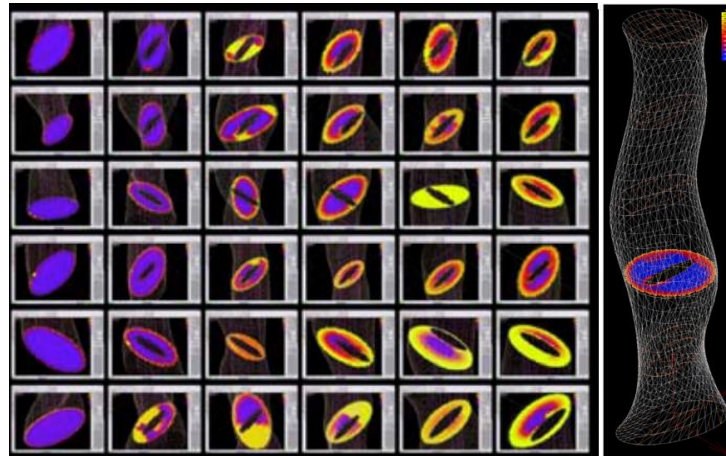
Şekil 145. Yaprak şekillerini cam panel üzerine yerleştirme için kullanılan program (Peters, 2008).

Performans kriterlerinin formasyon amaçlı kullanıldığı “Çift katmanlı yapı kabuğu” (Oxman, 2007; 2008; 2009) örneğinde, rüzgar gücü ve aydınlatma simülasyonu sentez aşaması içerisinde yapılmıştır. Kabuk yüzeyinin aydınlatma kriteri (Şekil 146), rüzgarın etkisi sonucunda modüllerin açılması ya da kapanması sonucunda oluşmaktadır.



Şekil 146. Solar etkinin kabuk üzerindeki dinamik formasyonu (Oxman, 2009)

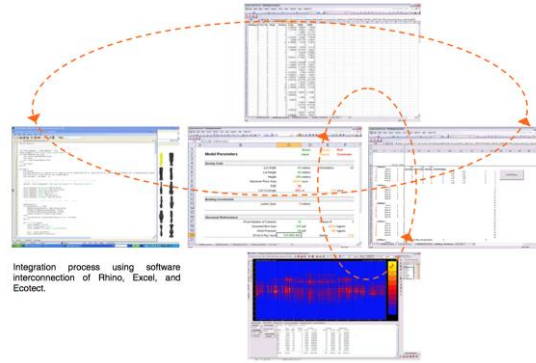
Fasoulaki (2008) tarafından gerçekleştirilen kule tasarımında, tasarım süreci içerisinde form üretiminde performans kriteri simülasyon teknikleri ile araştırılmış ve bu adım sentez aşamasında gerçekleştirilmiştir. Çeşitli programlar aracılığıyla hesaplanan gün ışığı analizleri ve uygunluk fonksiyonu simülasyon amaçlı kullanılmıştır (Şekil 147).



Şekil 147. Performans simülasyonu, kontrol katının simülasyonu (Fasoulaki, 2008)

Newyork’da gökdelenlerin yoğun olarak yer aldığı bir bölgede tasarlanan gökdelen projesinde performans kriterleri erken tasarım aşamasında kullanılmıştır. Projede, performans kriterlerinin yapı üzerindeki etkisi simülasyon teknikleri kullanılarak

ölçülmüştür (Şekil 148). Bu bağlamda simülasyonu gerçekleştirecek algoritma kullanılmıştır. Solar performans, rüzgar yükü gibi performans kriterlerinin dijital ortamda benzetimlerinin yapılması oluşan formların uygunluğunun test edilmesini sağlamaya yardımcı olmaktadır.



Şekil 148. Simülasyon programından elde edilen verilerin üretken süreç içerisinde kullanılması (Fasoulaki, 2008)

#### ➤ Değerlendirme

İncelenen süreçlerde simülasyon tekniklerinin iki amacı gerçekleştirmek için kullanıldığı görülmüştür. Birincisinde, sentez aşamasında form oluşturmak, ikincisinde ise oluşturulan formu geliştirmek amaçlı olarak kullanıldığı görülmüştür. Sentez aşaması içerisinde kullanıldığında formun içeriğini, biçimini oluşturan önemli bir bileşen olmaktadır.

### 3.1.9. Optimizasyon

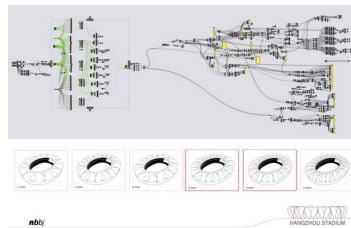
Optimizasyon TDK sözlüğünde "en uygun duruma getirme" olarak tanımlanmaktadır (URL-45, 2015). Aynı zamanda bir işlemin en iyi sonucu, belirli kısıtlamaları yerine getirirken sağlaması ile ilgilidir (Yazıcı ve Tanaça, 2009). Belli sayıda mümkün çözüm arasından en uygun olanını seçmektir. Bu bağlamda optimizasyonu yapılan tasarım ürünü, optimal nitelik ve nicelikteki tasarım parametrelerinden oluşmaktadır. Bu durum belli kriterler yardımıyla elde edilmektedir (Aksoy, 1975). Optimizasyon verilen problemle ilişkili olarak problem çözme stratejisi olarak kullanılmaktadır. Optimizasyonda tasarımcı en iyi çözümü sezgisel olarak belirleyebilmektedir. Bunun dışında genetik algoritmalar da birden çok kriteri bir arada optimize etmek için kullanılmaktadır. Aynı zamanda, süreç

içerisinde elde edilen varyasyonların çözülmek istenen problem doğrultusunda daraltılmasını kapsamaktadır.

Hesaplamalı tasarım araçlarının sayısının her geçen gün artması performans kriterlerinin tasarıma daha fazla dahil olmasını sağlayarak tasarım ürününün performans optimizasyonunu mümkün kılmaktadır. Tasarımın optimize edilmesi, belirlenen kriterlere göre test edilmesi ve seçilen kriterlerin değerlerinin azaltılarak veya artırılarak en uygun duruma getirilmesi ile mümkün olmaktadır. Tasarım ürününün optimizasyonunun gerçekleştirilmesi onu tamamen sorunsuz ya da optimum çözüm yapmaz. Çevresel veriler doğrultusunda sorunsuz optimizasyon yapılsa bile maliyet açısından bu mümkün olmayabilir. Tasarımın tamamen optimuma ulaşması için süreç içerisindeki tüm tasarım kriterlerine göre optimizasyon sürecinin gerçekleştirilmesi gerekir.

Aksoy (1975), geleneksel tasarım süreci içerisinde optimizasyonu geliştirme aşaması içerisinde yorumlamaktadır. Tasarım zorunluluklarını yerine getiren ve işleme beklenen çözüm kombinasyonlarından birinin diğer alternatiflere göre daha iyi olduğunu, bunun da optimum çözüm olduğunu belirtmektedir. Optimum çözüme deneme yanılma yoluyla, birbirini izleyen tasarımları değiştirerek varılabilmektedir. Bunun dışında matematik araçlar kullanılabilir. Bilgisayar benzetimi (modelleri) ile deneysel yolun soyut plandaki karşıtı izlenebilir. Aynı zamanda, tek bir değer yargısının geliştirme aşamasında sonuca gittiğini, aynı zamanda birden çok değer yargısını uygulamanın mümkün olmadığını araştırmacılar tarafından gözlemlendiğini söylemektedir.

Formasyon süreçleri içerisinde yer alan, Hanzhou stadyumu içerisinde, geometrik, modüler, strüktürel, malzeme tabanlı ve programatik parametreler kısıtlamalar doğrultusunda geometrinin optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir (Şekil 149) (Miller, 2009). Sentez aşaması içerisinde şekilsel optimizasyonun yapıldığı görülmüştür. Fakat, geliştirme aşamasında gerçekleştirilen simülasyon teknikleri ile de formun strüktürel optimizasyonu yapılmıştır.



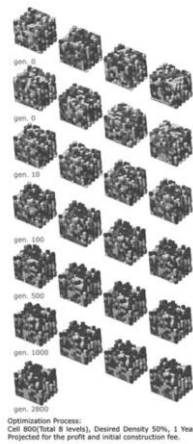
Şekil 149. Formun optimizasyonu (URL-30, 2015)

Aviva Stadyumu tasarımı, performans optimizasyonu geliştirme aşamasında uygulanmıştır. İlk olarak performans simülasyonları yapılmış sonra form bu yönde geliştirilmiştir. Örneğin, gün ışığı simülasyonları yapıldıktan sonra çıkan haritalanma sonucunda güneş kırıcılar yerleştirilmiştir.

Animasyon teknikleri kullanılarak formasyonu gerçekleştirilen Frozen Motion projesi için ilk olarak, güncel programlar ve çevre şartlarına göre son aşamada üretilen temel bükülmelerin deformasyonu ve basitleştirilmesi yapılmıştır. Daha sonra, bükülmelere göre ortaya çıkan halka çerçevelerin noktaları kontrol edilmiştir. Malzeme ve gerçek strüktüre dayanan ahşap çerçeve kesin olarak kontrol edilmiştir. Sonuçta, 3 boyutlu hesaplamalı strüktürel geometri ortaya çıkmıştır. Proje için birbirinden farklı toplam 29 adet çerçeve strüktür oluşmuştur.

Genetik algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyon yönteminde birden çok çözüm üretebilirken aynı zamanda çok kriterli optimizasyon görevleri gerçekleştirilmektedir. Genetik algoritmaların kullanıldığı Marin vd. (2008a) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, kütle üzerinde pasif güneş değerlendirmeleri gerçekleştirilerek en uygun bireye ulaşmak amaçlanmıştır. En uygun bireyi elde etmek için yapılan optimizasyon evrimsel süreç ile gerçekleştirilmektedir.

Narahara ve Terzidis (2006) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada ise optimizasyon gerçekleştirilmeden önce, gerekli yoğunluk oranı program kullanıcısı tarafından veri olarak girilmiştir. Gerekli yüzdeden sapan genetik algoritmaların optimizasyon süreci istenen yoğunluk oranı sağlanana kadar sürmüştür (Şekil 150).



Şekil 150. Optimizasyon süreci



Stuttgart Hochschule Teknik Yüksek Okulu Ek Binası (Bollinger, vd. 2010) projesi evrimsel tasarım süreci ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilmeye çalışılan optimize edilmiş bir strüktür değil, birden fazla kriterin dengede olduğu, birbiriyle uyumlu olduğu bir çözümdür.

Performans süreçleri içerisinde incelenen örneklere bakıldığında, Kopenhag Fil Evi (Peters, 2008) projesi içerisinde gölgelik tasarımında, cam paneller, kullanışlı pencerelerin yeri, simülasyon sonucu oluşan gün ışığına göre haritanlanmış üç bölgenin sayısı ve panel tiplerinin numarası bilgisayar programına veri olarak girilmiştir. Daha sonra sıralama işlemi gerçekleştirilmiş ve kullanılan algoritma optimizasyonu da yapmıştır.

Dubai Tower Projesinde strüktürel optimizasyon geliştirme aşamasında gerçekleştirilmiştir. Çift Katmanlı Strüktürel Duvar tasarımında da rüzgar ve aydınlatma kriterlerine göre optimizasyon yapılmıştır. Fasoulaki (2008) tarafından gerçekleştirilen kule tasarımında ise birden çok performans kriterinin (uygunluk fonksiyonu, gün ışığı, yararlı gün ışığı göstergesi gibi) tasarımda algoritmalar kullanılarak erken tasarım aşamasında optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan tasarım çözümleri, başlangıç popülasyonu ile karşılaştırıldığında günışığı performansının iyileştirildiği görülmüştür.

Newyork'ta gökdelen (Fasoulaki, 2008) projesinde, optimizasyonu gerçekleştirmek üzere algoritma üretilmiştir. Rhino yapıya ait popülasyonu ürettiği sırada yapı performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bölgeleme performansı, Excel dosyası kullanılarak ölçülmüştür. Strüktürel performans için herhangi bir kolonun toplam gerilimi ve yapının toplam ağırlığı ölçülmüştür. Ms Excel ile rüzgarın yapı üzerinde oluşturduğu yük hesaplanmıştır. Gün ışığı performansı ölçülmüştür. Solar performans Ecotect programı ile simülasyon kullanılarak değerlendirilmiştir. Bütün bu performans kriterlerinin birleşimi sonucu yapının optimizasyonu detaylandırılmıştır. Daha sonra kullanılan değerlendirme algoritması yapıyı en iyiden en kötüye doğru sıralandırmıştır. Bu sıralama uygunluk değeri kullanılarak her birinin göstermiş olduğu performansa göre gerçekleştirilmiştir.

Performansa dayalı üretken süreçler içerisinde optimizasyon için algoritmalar kullanıldığı görülmüştür. Süreç içerisinde aynı anda birden çok performans değeri yazılıma girilmekte ve yazılım bu değerlere bağlı olarak birden çok varyasyon üretmektedir. Aynı zamanda bu varyasyonlar, en iyi çözümden en kötü çözüme doğru sıralanmaktadır.

#### ➤ Değerlendirme

İncelenen süreçlerde optimizasyon tekniklerinin iki amacı gerçekleştirmek için kullanıldığı görülmüştür. Birincisinde, sentez aşamasında form oluşturmak, ikincisinde ise

oluşturulan formu geliştirmek amaçlı olarak kullanıldığı görülmüştür. Sentez aşaması içerisinde kullanıldığında formun içeriğini, biçimini oluşturan önemli bir bileşen olmaktadır.

➤ Belirlenen Kavramlara ve Tekniklere Yönelik Genel Değerlendirmeler

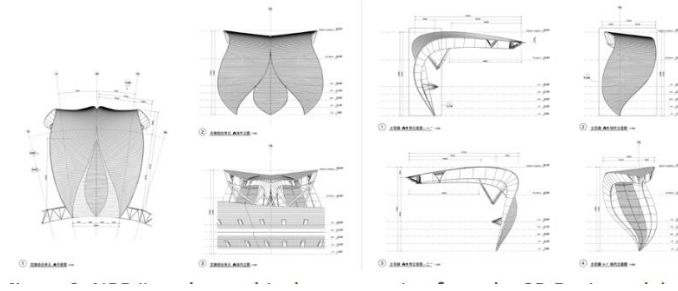
Animasyon, simülasyon ve optimizasyon performans teknikleri olarak düşünülmektedir. Performans kelimesi TDK (URL, 42, 2015) sözlüğünde “başarım” olarak geçmektedir. Başarım ise “herhangi bir olayı başarma isteği ve gücü” olarak kullanılmaktadır. Animasyon tekniklerinin kullanılarak formasyonun gerçekleştirildiği örneklerde geometrinin performansı zaman karesinde dondurulmaktadır. Geometrinin hareket etmesi için kullanılan ses, rüzgar gibi güçler formu animasyon teknikleri ile birlikte biçimlendirmektedir. Simülasyon ve optimizasyon ise doğrudan formun performansını ölçmeye yönelik olarak kullanılmaktadır.

Buraya kadar anlatılan değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik ve bileşen kavramları ve performans teknikleri olarak sınıflandırılan animasyon, simülasyon ve optimizasyon tekniklerinin hepsi “geometrik tanımlama” içerisinde düşünülmektedir. Tasarımcı geometrinin içeriklerini belirler; bu içerikler grafiksel, geometrik, malzemenin partikülleri olabildiği gibi animasyon, simülasyon, optimizasyon değerleri de olabilir. Tanımlanan tüm bu değerler geometriyi oluşturan bileşenlerdir. The Sound Motion Streaks projesinde oluşan formun geometrisi sadece, belirlenen ortam boyutları, partiküllerin sayısı, elastisite gibi bileşenler ile oluşmaz. Animasyon geometrinin tanımlanmasını gerçekleştiren en önemli bileşendir. Bu amaçla oluşturulan model içerisinde tüm bu kavramlar ve teknikler geometrik tanımlama içerisinde düşünülmektedir.

### 3.1.10. Dökümantasyon/Rasyonelleştirme

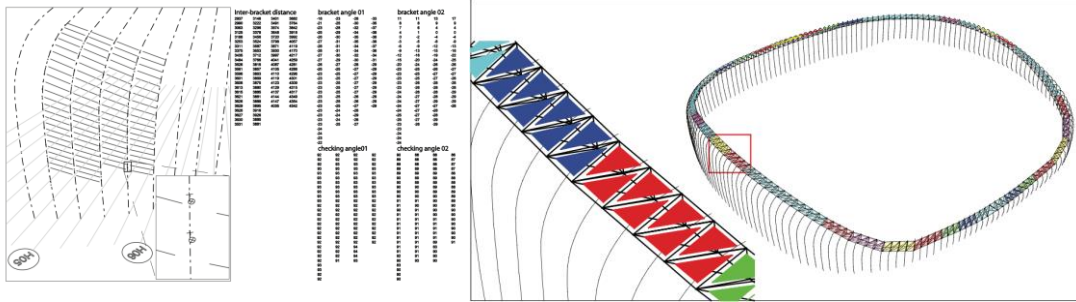
Projenin uygulamasının gerçekleştirilebilmesi için, yapım tekniklerinin ve geometrik kararların detaylı olarak açıklanmasını anlatmaktadır. Örneğin Norman Foster’ın bir çok projesinde olduğu gibi City Hall projesinde de yapım aşamasından önce üretimi yapacak olan yüklenicilere ve üreticilere tasarım rasyonelleştirilerek verilmektedir. Beton çekirdek, çelik strüktür, rampa, atriyum, giriş cam giydirme kaplaması ve ofislerin kenar kaplamaları belli bir sıra ile yapım için rasyonelleştirilmektedir. Bu projede Geometry Method Statement dosyası içerisinde yapım dokuz aşamada anlatılmıştır (Whitehead, 2003).

Hanzhou stadyumu projesinde dökümantasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Geometri uygulama öncesi rasyonelleştirilmiştir (Şekil 151).



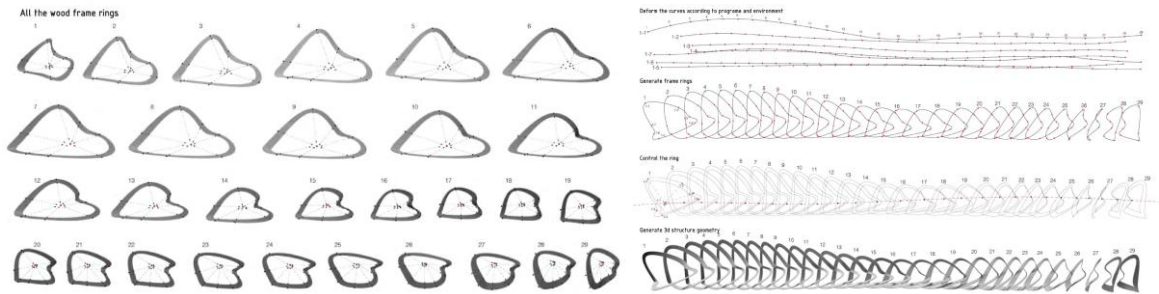
Şekil 151. Grasshopper ile üretilmiş tanımlı geometrinin Revit programında çizimlerinin hazırlanması (Miller, 2011)

Aviva stadyumu tasarımında da uygulama öncesi dökümantasyon gerçekleştirilmiştir (Şekil 152).



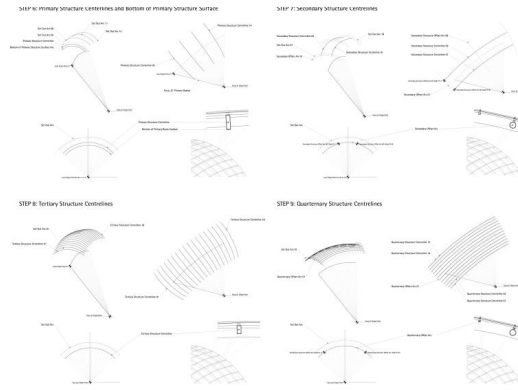
Şekil 152. Yapım için dökümantasyon, (soldan sağa) Cephe bölmelerinin detaylandırılması, Akustik panellerin rasyonelleştirilmesi (Hudson vd, 2011)

Formasyon süreci içerisinde örnek olarak verilen “Frozen Motion” örneğinde de strüktürel elemanlar rasyonelleştirilmiştir (Şekil 153).



Şekil 153. Strüktürel elemanların detaylandırılması (URL-34, 2015)

Performans süreçleri içerisinde “Kopenhag Fil evi” projesinde gölgelik üretimi tamamlandıktan sonra “Geometry Method Statement” dosyası içerisinde rasyonelleştirilme gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan dökümanlar, basit geometrik kuralları anlatmak için tasarım terimlerinden oluşmaktadır. Bu planlanmış eğitici yaklaşım, üreticinin projenin geometrik karmaşasını anlamasını sağlamaktadır. Şekil 154’deki diyagramda gölgeliklerdeki strüktürel elemanların merkez hattındaki üretimini göstermektedir (Peters, 2008).



Şekil 154. Geometry Method Statement’deki proje anlatımları (Peters, 2008).

Çalışma kapsamında incelenen diğer örneklerde bu aşamayla ilgili bilgiye ulaşılamamıştır.

### 3.2. Tasarım Modeli, Kavram ve Tekniklerin Tasarım Süreci İçerisindeki Rolü

Hesaplamalı tasarım süreçleri içerisinde analiz edilen tüm kavramları ve tekniklerler, tasarımcının tıpkı sinema filmi kurgusunda olduğu gibi tasarıma dair her kriteri sürece başlamadan kurguladığı görülmektedir. Film çekimine başlamadan önce nasıl mekana, açılara, planlara, karakterlere karar veriliyorsa tasarım sürecine de başlamadan önce kısıtlamalara, gereksinimlere, değişkenlere, kurallara, bileşenlere, tekniklere vb. karar verilmektedir. Aynı zamanda kurgulanan süreç, katı bir yapıda olmadığı için tasarımcı, fiziksel ve dijital deneyler ya da oluşturduğu dijital üç boyutlu eskizler sonucunda bazı çıkarımlar yaparak geri dönüşler, değişimler, eklemeler yapmaktadır.

Tasarımcı, analiz aşamasında, konsept, başlangıç amaçları, geometriye ait kararlar, kullanılacak teknikler, yöntemler gibi tasarım kriterlerini belirlemektedir. Belirlediği kriterler doğrultusunda, sentez aşamasında tümevarım mantığı ile formu oluşturmaktadır.

Fakat “Topolojik Örtü, Bütünleyici Evrimsel Tasarım ve Kopenhag Fil Evi” projelerinde tündengelim mantığı ile formu oluşturduğu görülmektedir.

Sentez aşaması içerisinde, değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenlerin geometrik tanımlamayı oluşturduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, bu aşamada animasyon, simülasyon ve optimizasyon teknikleri kullanıldığında, bunlar geometrik tanımlamanın bileşenleri durumuna gelmektedir. The Sound Motion Streaks örneğinde (bkz. Formasyon modeli süreci), tasarımcı partiküllerin salınacağı ortamın boyutları, elastisite, partiküllerin sayısı ve animasyonu geometriyi oluşturması için yazılıma tanımlamaktadır. Kule ve Newyork’ta gökdelen tasarımında ise (bkz. Performansa dayalı model süreci), çekirdek alan, kontrol katları, eliptik plan gibi bileşenlerin yanında tasarımcı optimizasyon ve simülasyon değerlerini de geometrik tanımlama için kullanmaktadır. Animasyon, simülasyon ve optimizasyon teknikleri grafiksel, geometrik biçimler dışında formu oluşturan, dönüştüren, oluşumunda etkili olan içeriklerdir.

Geometrinin oluşturulması için gerekli olan içerikler tüm modellere ait süreçlerde geçerli olmaktadır. Formasyon, üretken modele ve performans modeline ait süreçlerde, tasarımcı, geometrik tanımlama başlangıcında, değişkenler ve kısıtlamaları belirlemektedir. Belirlediği bazı bileşenler arasında ilişkisellik tanımlamaktadır. Bundan sonra, süreç içerisinde stratejik adımlar olan kuralları oluşturmaktadır. Tasarımcının zihnindeki süreç adımlarının ifadesi olan bu kurallar, formun meydana gelmesi için önem teşkil etmektedir. Aynı zamanda kurallar, kullanılan yöntemlere göre de farklılaşabilir. Örnek vermek gerekirse, evrimsel tasarım süreci içerisinde doğal kurallar (mutasyon, çaprazlama gibi) uygulanmaktadır.

Tasarımcının varyasyon elde etmek için kullandığı bir kaç yol bulunmaktadır. Örneğin, değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik ve tüm bileşenleri tanımladıktan sonra varyasyonlar elde edebilir (bkz. Biçim gramerleri, parametrik tasarım, performansa dayalı tasarım örnekleri). Ya da bunları tanımladıktan sonra performans tekniklerini kullanarak varyasyon üretebilir (Animasyona dayalı tasarım, evrimsel tasarım, performansa dayalı tasarım, performansa dayalı üretken tasarım).

Geometrik tanımlamanın değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenler adımını oluşturduktan sonra kullandığı yöntemlere göre performans tekniklerini belirlemektedir. Bütün yöntemlerde bunları tanımlama zorunluğu yoktur. Animasyon, simülasyon ve optimizasyon tekniklerinden istediğini kullanarak geometrik tanımlamayı bitirmektedir. Örneğin animasyona dayalı tasarım içerisinde animasyonu, performansa

dayalı yöntem içerisinde animasyon ve simülasyonu, performansa dayalı üretken tasarım yöntemi içerisinde simülasyon ve optimizasyon değerlerini formu oluşturmak için girmektedir.

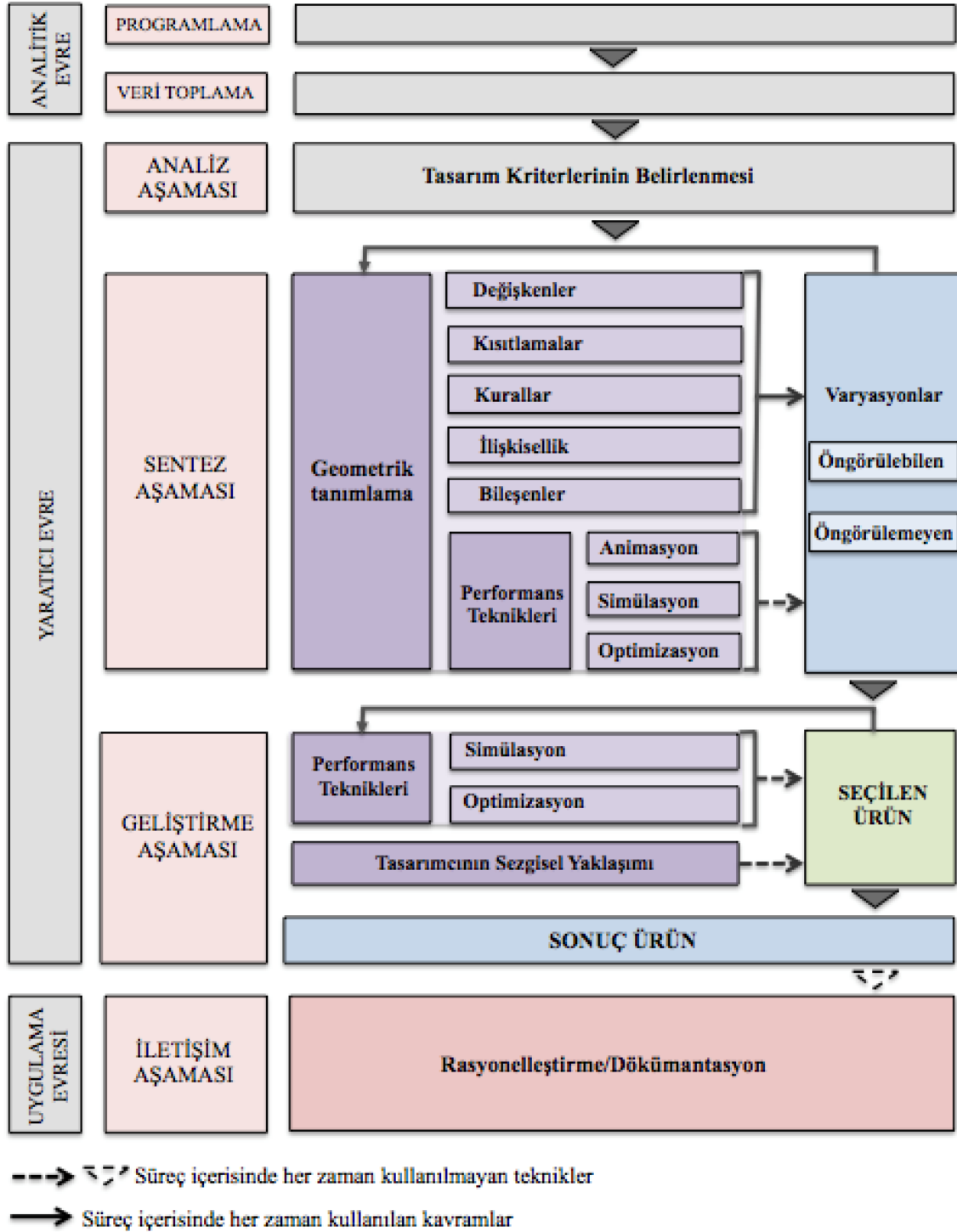
Geometrik tanımlama verilerini belirttikten sonra, tasarımcı, oluşturduğu süreç kurgusunun sonucunu, varyasyonlar üzerinden okumaktadır. Varyasyonlara göre, istediği zaman geometrik tanımlama verilerine geri dönüş yapabilmektedir. Bu dönüşler kısa sürede yeni varyasyonlar oluşturmaktadır.

Tasarımcı sentez aşamasında performans tekniklerini kullanmadıysa varyasyonlar arasından seçtiği ürünü, geliştirme aşaması içerisinde genel olarak simülasyon ve optimizasyon teknikleri ile geliştirmektedir (bkz. Hangzhou stadyumu, Aviva stadyumu).

Geliştirme aşamasında geliştirilen ve eksiklikleri, değerlendirmesi yapılan form, iletişim aşaması içerisinde uygulamaya hazır duruma getirilmektedir. Kompleks geometrilerin rasyonelleştirilmesi bu aşamada olmaktadır. Rasyonelleştirme için, tasarımcı, üretici ile ortak dosya formatını kullanarak geometrinin oluşturulma adımlarını üreticiye aktarmaktadır.

Bu tez kapsamında, hesaplamalı tasarım örneklerinin analizleri sonucunda bir süreç modeli oluşturulmuştur (Tablo 46). Bu model tüm örneklere ait süreçleri kapsamaktadır.

Tablo 46. Tasarım Süreci Modeli



Oluşturulan tasarım süreci modelini özetlemek gerekirse;

- Model için ilk olarak Archer'a (1965) ait "Analitik Evre", "Yaratıcı Evre" ve "Uygulama Evresi" kullanılmış daha sonra bu evreler içerisinde yer alan aşamalar modele yerleştirilmiştir.

- Örnek projelere ait kaynaklarda analitik evre ile ilgili veriye ulaşamadığı için bu evre içerisinde yer alan programlama ve veri toplama aşamalarına yönelik bir analiz yapılmamıştır.

- Yaratıcı evre içerisindeki ilk aşama olan analiz aşaması içerisinde tasarım kriterleri belirlenmektedir. Örneğin “Frozen Motion” projesinde hareket kavramının forma yansıtılması, “The sound motion streaks” projesinde sesin form oluşturmadaki etkisi gerçekleştirilmesi düşünülen kriterler olarak belirlenmiştir.

- Model içerisinde yer alan örneklerin analizi doğrultusunda oluşturulmuş birinci süreçte, sentez aşamasında tasarımcı ilk olarak geometrik tanımlamanın içeriğini oluşturan değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik ve bileşenleri tanımlamaktadır. Bu veriler doğrultusunda varyasyonlar elde etmektedir. Yeni varyasyonlar elde etmek için başlangıçta tanımladığı değerlere geri dönüşler yapmaktadır. Daha sonra bu varyasyonlar arasından seçilen ürün geliştirme aşamasında, tasarımcının sezgisel yaklaşımı doğrultusunda yapmış olduğu düzenlemeler ile sonuç ürüne dönüşmektedir (Bkz. Biçim gramerleri ile tasarım).

- İkinci süreçte ise tasarımcı geometrik tanımlama içerikleri olan değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik ve bileşenlerin yanında performans teknikleri içerisinde yer alan animasyon tekniğini kullanmaktadır (bkz. Frozen Motion ve The Sound Motion Streaks projeleri). Bu tanımlamaları yaptıktan sonra, varyasyonlar elde etmektedir. Oluşan varyasyonları yeterli bulmazsa tekrar geometrik tanımlamaya geri dönüş yaparak yeni varyasyonlar oluşturmaktadır. Oluşan varyasyonlar arasından seçtiği ürünü geliştirme aşamasında optimizasyonunu yapmaktadır (Frozen Motion projesi). Daha sonra iletişim aşamasında oluşan sonuç ürününü rasyonel duruma getirerek dökümantasyonunu hazırlamaktadır. The Sound Motion Streaks projesinde tasarımcı geliştirme aşamasında performans tekniklerini kullanmamış ve iletişim aşamasında rasyonelleştirme yapmamıştır.

- Üçüncü süreçte, tasarımcı geometrik tanımlama içerisinde değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenleri içeren ilk popülasyonu ve optimizasyon değerini mekanizmaya tanımladıktan sonra (Bkz. Evrimsel tasarım örnekleri), mekanizma içerisinde üretim-değerlendirme-seçim gerçekleşerek, varyasyonlar oluşmaktadır. Mekanizma en uygun değerden en düşük değere doğru sıralama yapmaktadır. Daha sonra bu varyasyonlar arasından seçilen en uygun ürün, geliştirme aşamasında düzenlenip iletişim aşamasında dökümantasyonu hazırlanmaktadır.

- Dördüncü süreçte, tasarımcı geometrik tanımlamaya ait değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenler, animasyon ve simülasyon değerlerini tanımladıktan sonra



(bkz. Çift katmanlı strüktürel duvar projesi) varyasyonlar elde etmektedir. Geometrik tanımlamayı oluşturan değerlerde değişiklikler yaparak yeni varyasyonlar oluşturabilmektedir.

- Beşinci süreçte, tasarımcı değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisellik, bileşenler, simülasyon ve optimizasyon değerlerini içeren ilk populasyonu mekanizmaya tanımladıktan sonra, mekanizma kendi içerisinde üretim-değerlendirme-seçim yapmakta ve tasarımcının belirlediği en alt ve en üst sınır değerlerine sahip varyasyonları oluşturmaktadır. Oluşturulan varyasyonlar yeterli bulunmazsa tasarımcı geometrik tanımlama verilerine geri dönüş yaparak yeni populasyonu oluşturabilmektedir (bkz. Performansa dayalı üretken tasarım/Kule ve Newyork'da gökdelen tasarımı)

Son olarak; yapılan çalışmalar içerisinde analiz edilen tasarım ürünlerine ait süreçler üzerinden Oxman'ın (2006) yapmış olduğu sınıflandırma ile ilgili olarak bazı yorumlamalar gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda ilk olarak topolojik tasarım, parametrik tasarım, ve animasyona dayalı tasarım yöntemlerini içeren formasyon modeli sürecine göz atıldığında, geometrinin parametrik olarak tanımlandığı görülmüştür. Parametrik tanımlama gerçekleştirildikten sonra animasyon, simülasyon ve optimizasyon tekniklerini kullanılmaktadır. Geometrinin parametrik olarak tanımlanması topolojik tasarım, parametrik tasarım ve animasyona dayalı tasarım dışında performansa dayalı tasarım içerisinde de görülmektedir.

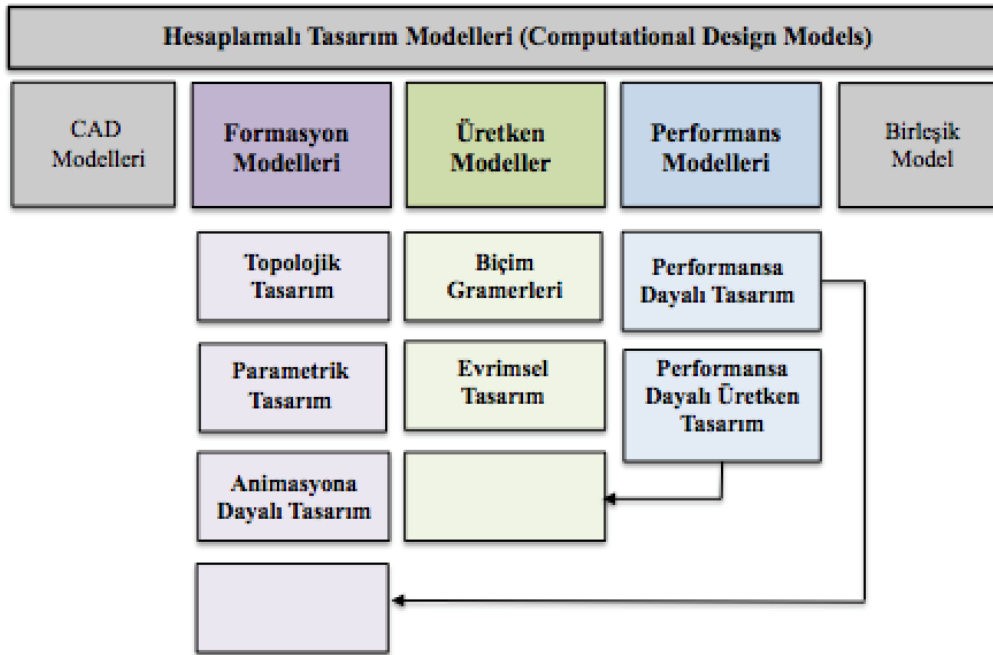
Üretken model içerisinde biçim gramerleri ve evrimsel tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Biçim gramerleri ile tasarımda oluşturulan gramer kuralları çerçevesinde üretim gerçekleştirilmektedir. Evrimsel tasarım ise, genetik algoritmalar kullanılmakta ve bunların geleneksel yöntemlerin çözmekte zorlandığı kompleks problemlerin çözümünde kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda, geleneksel yöntemlerle üretimi çok zaman alabilen çok sayıda birbirinden farklı varyasyonun üretilmesi evrimsel süreçlerle mümkün olmaktadır. Evrimsel süreç, performans modelleri içerisinde yer alan performansa dayalı üretken tasarımda da görülmektedir.

Üretken modele ait süreçler içerisinde tasarımcı, geometrik tanımlama verilerini mekanizmaya tanımlamakta, tanımlanan bu veriler sonucunda mekanizma tasarımcıya üretim-değerlendirme-seçim işlemlerini yaparak seçenek sunmaktadır. Tasarımcı bu seçenekler arasından seçim yapabilir ya da tekrar üretim için mekanizmayı görevlendirir. Tasarımcı istediği sonuç ürüne ulaşana kadar bu işlem tekrarlanmaktadır.

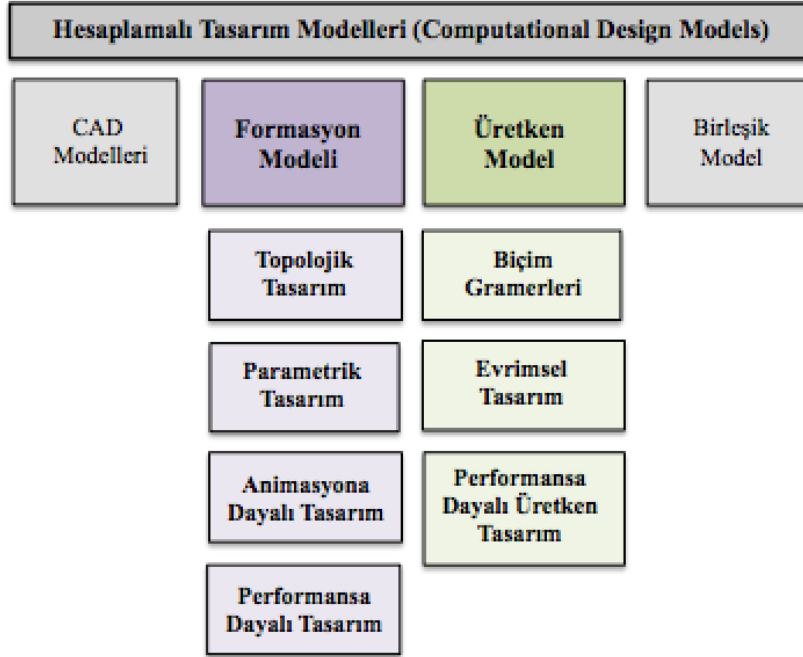
Performansa dayalı modellerde, performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemleri yer almaktadır. Performansa dayalı tasarım yöntemi içerisinde geometri, parametrik olarak tanımlanmaktadır. Performansa dayalı üretken tasarımda ise genetik algoritmalar kullanılmakta ve oluşan üretken süreç içerisinde performans kriterleri sentez aşamasında geometrinin oluşturulmasında etkili olmaktadır.

Bu bağlamda, Oxman (2006) tarafından ayrı bir model olarak sınıflandırılan “Performans Modelleri” içerisinde yer alan “Performansa Dayalı Tasarım Modeli”nin “Formasyon Modeli” içerisinde, “Performansa Dayalı Üretken Tasarım Modeli”nin ise “Üretken Model” içerisinde sınıflandırılması gerektiği düşünülmektedir. Bu bağlamda Tablo 47’de görülen mevcut sınıflandırma, Tablo 48’deki gibi düzenlenmiştir.

Tablo 47. Oxman’ın (2006) yapmış olduğu sınıflandırmadan oluşturulmuş tablonun yorumlanması



Tablo 48. Yorum sonucu ulaşılan sınıflama



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bilgisayar teknolojilerinin tasarım pratiğine ve eğitime dahil olmasıyla sürecin değişimi ile ilgili düşünce ve söylemlerde artış olmuştur. Bu çalışma kapsamında, bu söylemlerden ve düşüncelerden yola çıkarak hesaplamalı tasarım sürecinin araştırılması amaçlanmış ve araştırmalar sonucunda süreci özetleyen bir model oluşturulmuştur.

Tasarımı problem çözme süreci olarak kabul ettiğimizde, sürecin yapısı problemin çözümü için önem kazanmaktadır. Böyle düşündüğümüzde sürecin kendisi problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü tasarlama eylemini gerçekleştiren her tasarımcı kendi sürecini tasarlar. Süreci tasarlarken çözülmesi gereken problem doğrultusunda düşünür. Aynı zamanda problemin çözümü için hangi teknolojileri kullanması gerektiğini sorgular. Tasarımcı sürece başlarken problemin çözümü için kullanacağı, yöntem, teknik, ortam, bileşenler, strateji, araçlar üzerine düşünür. Bir çok varyasyon arasında uygun olanı keşfeder. Örneğin analiz edilen projeler içerisinde “The sound motion streaks” (Çalışır, 2012) projesi içerisinde problem, ses dalgalarının malzeme üzerine olan etkileri (form-finding) olarak belirlenmiştir. Bunun için ilk olarak hangi malzemenin kullanılacağına fiziksel deneyler gerçekleştirilerek karar verilmiş, bu malzemelerin dijital ortamda benzerleri oluşturulmuştur. Sesin malzeme üzerine etkisinin nasıl aktarılacağı ve süreç içerisinde hangi tekniklerin, araçların kullanılacağı düşünülmüştür. Bu amaçla animasyon tekniği kullanılmıştır. Animasyon teknikleri, sesin süreç içerisinde malzeme üzerine etkisi araştırılarak form bulma çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece tasarımcı, problemin çözümü için süreci kurgulamıştır. Başka bir örnek vermek gerekirse, “çift yüzeyle kabuk” (Oxman, 2006) projesinde yapıyı rüzgar ve gün ışığının zararlı etkilerinden korumak için performansa dayalı simülasyon süreci (performative simulation processes) ile tasarımın nasıl üretildiği sorgulanmaktadır. Belirlenen süreç ile formun oluşumu araştırılmıştır. Süreç içerisinde kabuk, çift katmanlı ve parametrik olarak kurgulanmıştır. Rüzgar gücünün simülasyon tekniği kullanılarak kabuğa etki etmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, doğrultuda kabuğun rüzgar etkisiyle hareket kazanması için animasyon tekniği kullanılmıştır. Aydınlatma için tekrar simülasyon tekniği kullanılmıştır. Bu bağlamda, tasarımcı tanımladığı problem doğrultusunda sürecin içeriklerini belirleyerek uygun çözümü keşfetmektedir.

Hesaplamalı tasarım süreci içerisinde tasarımcının disiplinler arası ve veriler arasındaki ilişkiyi düzenleyen bir koordinatör görevi üstlendiği görülmektedir. Hangi yöntem, teknik ve verileri kullanacağına karar veren tasarımcı, süreç içerisinde gereksinimler, kısıtlamalar, değişkenler gibi tasarım ürününün çözümüne ait bileşenleri tanımlamaktadır. Aşamalar içerisinde tanımlamış olduğu tüm bileşenleri yazılım ekranında görmektedir. Bu konuya eleştirel yaklaşan Kilian (2012); “Bu isabetli durumun belki de daha yaratıcı bir sürece engel olduğunu, çünkü unutmanın aynı zamanda elde olanları, yeniden yaratmayı veya yeniden birleştirmeyi gerektirdiğini” söylemektedir.

Bu çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar,

- Formasyon modeline, üretken modele ve performansa dayalı modellere ait süreçlere yönelik sonuçlar,
- Süreç içerisinde belirlenen kavramlara ve tekniklere yönelik sonuçlar,
- Hesaplamalı tasarım süreçleri ve geleneksel tasarım süreci farklılığına yönelik sonuçlar,

olarak sınıflandırılmıştır.

- Formasyon modeline, üretken modele ve performansa dayalı modellere ait süreçlere yönelik sonuçlar:

Formasyon modeline ait süreçler kapsamında analizi yapılan örneklerden dördü parametrik olarak oluşturulmuştur. Animasyona dayalı tasarım yöntemi içerisinde parametrik olarak modellenen “Frozen Motion” örneğinde form, animasyon etkisiyle topolojik hareket etmektedir. Bu nedenle, aynı süreç içerisinde animasyona dayalı tasarım, performansa dayalı tasarım ve parametrik tasarım yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Bu durum aynı model içerisindeki diğer projeler için de geçerlidir.

Üretken modele ait süreçler, algoritmik ya da kural tabanlı süreçler olarak tanımlanmaktadır. Biçim gramerleri ile tasarım yönteminde belirlenen gramer kurallarını ve diğer tüm bileşenleri tasarımcı, oluşturduğu yazılıma tanımlamaktadır. Üret komutu verildikten sonra bir çok varyasyon elde edilmektedir. Evrimsel tasarım yöntemi içerisinde de aynı mantık görülmektedir. Geometrik tanımlama ve performans tekniklerinden optimizasyon değeri, yazılıma tanımlanmaktadır. Yazılım tarafından üretimi gerçekleştirilen varyasyonlar başta tanımlanan değerler değiştirilerek tekrar üretilebilmektedir.

Performans modeli içerisinde, performansa dayalı tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemleri yer almaktadır. Performansa dayalı tasarımda form, parametrik olarak oluşturulmakta, performans kriterleri hem sentez hem de geliştirme aşamasında

kullanılmaktadır. Sentez aşamasında kullanıldığında bu teknikler, geometrik tanımlama içerisinde yer almaktadır. Geliştirme aşamasında ise seçilen formun, performans kriterleri doğrultusunda analiz edilerek gerekli görülen değişiklikler yapılmaktadır. Performansa dayalı üretken tasarım yönteminde ise sentez aşamasında evrimsel süreç, optimizasyon ve simülasyon için de genetik algoritmalar kullanılmaktadır.

Hesaplamalı tasarım süreçleri içerisinde, sentez aşamasının karşılığı formasyon ve üretim olarak kullanılmaktadır. Bu aşamada, verilerin yazılıma, sayısal olarak (değişkenler için özel değerler), grafiksel olarak (noktalar, çizgiler, B-Spline, NURBS eğriler) ya da üç boyutlu geometrik elemanlar (kare, dikdörtgen gibi şekiller) olarak girildiği görülmektedir.

➤ Süreç içerisinde belirlenen kavramlara ve tekniklere yönelik sonuçlar:

Analizi gerçekleştirilen tüm projelerde, tasarımcı tarafından yazılıma girilen veri (data)-enformasyon (information)-bilgi (knowledge) ile tasarımcının fikirleri ve belirlediği konsept, üç boyutlu bir geometriye dönüşmektedir. Tasarımcı ve bilgisayar, işbirliği içerisinde ortak gibi çalışmakta, veri olarak tanımlanan kısıtlamaları, değişkenleri, kuralları, bileşenleri, ilişkiselliği bilgisayara girmektedir. Tanımlanan bu veriler ve uygulanan yöntem sonucunda tasarımcı varyasyonları oluşturabilir (bkz. Hangzhou Stadyumu ve Aviva Stadyumu). Varyasyonların oluşumunda bilgisayarla birlikte hareket edebilir (The sound motion streaks), ya da sadece bilgisayar, varyasyon üretebilir (üretken modeller).

Tasarımcı formu oluşturmaya başlarken kısıtlamalar, değişkenler, kurallar, bileşenler, ilişkisellik gibi tasarım içeriklerini geometrik tanımlama için sentez aşamasında kullanılmaktadır. Tanımlanan sayısal girdilere, matematiksel, geometrik değişkenlere ek olarak zaman, ortam boyutları gibi değişkenlerin de kullanıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmada değişkenlerin kullanılan yöntemlere göre değişebildiği görülmüştür. Örneğin, parametrik tasarım ve topolojik tasarım yöntemi içerisinde daha çok geometrik ve matematiksel, animasyona dayalı tasarımda ise zaman ve sesin şiddeti gibi değişkenler tanımlanmaktadır. Üretken tasarım yöntemleri içerisinde ise sınıflandırılan biçim gramerleri ile tasarımda tanımlanan değişkenler gramer kurallarına göre belirlenirken, evrimsel tasarım yöntemi içerisinde başlangıçta şekilsel değişkenler tanımlanmaktadır. Performansa dayalı tasarım yöntemi içerisinde form parametrik olarak tanımlandığı için tanımlanan değişkenler yine geometrik, matematiksel ve sayısal olmaktadır.

Tüm yöntemler içerisinde tanımlanan kısıtlamalar geometrik, matematiksel veya sayısal değerler olmaktadır. Bunların dışında geleneksel tasarım süreçlerinde de kullanılan araziye yönelik, yollar, sınırlar, çevre binaların kat yükseklikleri gibi kısıtlamalar da

kullanılmıştır. Evrimsel tasarım ve performansa dayalı üretken tasarım yöntemleri içerisinde performans değerleri gibi kısıtlamalar sayısal değerler olarak yazılıma tanımlanmaktadır.

Geometrik tanımlama içerisinde yer alan kurallar süreç içerisinde stratejik bir öneme sahiptir. Bilgisayara aktarılan verilerin nasıl kullanılacağı bu kurallar ile belirlenmektedir. Parametrik olarak tanımlanan örneklerde döndürme, arttırma, eksiltme, yükseltme gibi kurallar tanımlanmaktadır. Genetik algoritmaların kullanıldığı yöntemlerde ise mutasyon, çaprazlama gibi doğal kurallar uygulanmaktadır.

İlişkisel kavramı geometrinin oluşturulmasında zaman açısından tasarruf sağlamaktadır. Süreç içerisinde grafiksel, geometrik, matematiksel verilerin yanında genotip-fenotip gibi doğal ilişkiler de gözlenmiştir.

Değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkisel ve diğer tüm veriler, sürecin bileşenleri olarak düşünülmüştür. Bileşenler, tasarımın içeriğini belirlemede ve varyasyon oluşumunda etkili olmaktadır.

Varyasyon kavramı sentez aşamasında oluşan tasarımları ifade etmektedir. Verilerin parametrik olarak tanımlandığı süreçlerde öngörülebilir varyasyonlar, algoritmalar olarak tanımlandığı süreçlerde ise öngörülemeyen varyasyonlar oluşmaktadır.

Geometrik tanımlama için sentez aşamasında belirlenen animasyon, simülasyon ve optimizasyon teknikleri formun oluşumuna etki etmektedir. Tasarımcı, bu tekniklere ait verilerin değerlerini değiştirdiğinde farklı varyasyonlar elde etmektedir.

Performans tekniklerinden simülasyon ve optimizasyonun, geliştirme aşamasında da kullanımı görülmektedir. Varyasyonlar arasından seçilen formun eksikliklerinin giderilmesi için ekolojik veriler kullanılarak eniyileştirilmektedir. Böylelikle gerçekleştirilen tüm analizler sonucunda sonuç ürüne ulaşılmaktadır.

Sonuç ürüne karar veren tasarımcı, üretim aşaması için uygulama çizimlerini hazırlamaktadır. Elde edilen kompleks geometrilerin sorunsuz bir şekilde üretilmesi için rasyonelleştirme gerçekleştirilmekte ve uygulama adımları oluşturulmaktadır.

➤ Hesaplamalı tasarım süreçleri ve geleneksel tasarım süreci farklılığına yönelik sonuçlar:

Hesaplamalı tasarım süreçleri, kullanılagelen geleneksel tasarım süreçleri ile karşılaştırıldığında; düşünsel (sayısal düşünme, hesaplama), tasarımcı-temsil etkileşimi, tasarımcı-mekanizma etkileşimi, tasarımcı-ortam etkileşimi ve araç gibi değişimler görülmektedir.

Geleneksel tasarımda, tasarım ürünü, tasarımcının düşüncesi ile temsil (çizim, maket gibi) arasında karşılıklı ilerleyen, doğrudan tasarımcı-temsil etkileşiminin yaşandığı bir süreçtir. Hesaplamalı tasarım sürecinde bu etkileşim, sürece dahil olan bilgisayar ile kurulmaktadır. Dolayısıyla tasarımcı ile temsil arasına ortam, araç ve ortak girmiştir. Temsil, fiziksel ortamdaki dijital ortama geçmiş; tasarımcı, fare-klavye-ekran aracılığıyla iletişim kurmaya başlamıştır. Geleneksel tasarım sürecinde tasarımcı, bulunduğu aşamada düşünür. Hesaplamalı tasarım sürecinde ise tasarımcı, tasarım ürünü ile ilgili tüm verileri, bilgileri yazılıma kodladığı için tüm aşamaları ekranda görebilir. Bu durumda tasarımcının, kara kutusunda neyi düşündüğü veriler ve bilgi aracılığıyla belirgin hale gelmeye başlamaktadır. Bu veriler ve bilgiler sistematik bir şekilde, parametrelere ya da algoritmalara tanımlanmaktadır.

Tüm aşamaların ekranda yazılı olarak görülebildiği hesaplamalı tasarım sürecinde, tasarımcı, tasarım ürününü oluşturmak için girdiği değişkenler, kısıtlamalar, kurallar, ilişkiler ve bileşenler arasında sayısal örüntülü bir dil oluşturmaktadır. Bu şekilde, tasarımcının yöntemi görünür kılınmıştır. Bir nevi tasarımcı düşündüğünü sayısal olarak dile getirmiştir. Geleneksel tasarım sürecinde ise tasarımcı formu sayısal olarak düşüncede bu genellikle dışarı yansımamaktadır.

Hesaplamalı tasarım süreci içerisinde tasarımcının imgelem gücünü ve sayısal düşünme yönünü geliştirdiği söylenebilir. Çünkü tasarımcı, etkileşim halinde bulunduğu araçlar, ortamlar ve temsiller aracılığıyla düşünmektedir. Bu bağlamda kullandığı ortam ve araçlar sayısal olarak düşündüğü için, tasarımcı da iletişim kurmak için sayısal bir dili tercih etmek durumundadır. Bu konuda Gürer ve Alaçam (2015), "... sayısal teknolojiler ile mimarın kurduğu diyalogda, mimarın bilişsel süreçlerinin ve bu bilişsel süreçleri deneyimler biçiminde inşa eden bir arayüz olan "bedenin" rolünü unutmamak gerektiğini" vurgulamaktadır.

Bilgisayarın "memur", "ortak", "sihirbaz", "vekil", "muhasibeci", "elektronik ilham perisi", "asistan" betimlemeleri, bugün yeniden değerlendirildiğinde, süreç içerisinde tasarıma hangi aşamada, ne kadar dahil olduğu, üstleneceği rolü belirleyeceği için, farklı yöntemler içerisinde farklı roller kazandığı söylenebilir. Bilgisayarın, parametrik tasarımda üstlendiği rol ile evrimsel tasarımda üstlendiği rol farklı olarak düşünülebilir. Fakat bu konuda, bilgisayarın "elektronik kalem", "araç", "ortam", "teknik ressam" gibi betimlemelerin ötesinde tasarım desteği sunduğu açıktır.



Bilgisayar teknolojileri tasarım desteği sunmasına karşın, tasarım süreci içerisinde hala en önemli görev, tasarımcıya aittir. Çünkü bilgisayar, insan zekasını taklit etmediği sürece (yapay zeka) yaratıcı ve üretici olamaz. Bilgisayarın 1960'lı yıllardan günümüze olan değişimi düşünülünce gelecekte bunun olması muhtemel görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında araştırmacılara öneride bulunmak gerekirse; literatürde bütün yöntemleri kapsayan net bir sınıflamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, üretken yöntemler ve formasyon yöntemleri içerisinde yeni bir sınıflama gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve disiplinler arası çalışmalar biyoloji ve genetik dışında kimya, fizik gibi diğer bilim dallarıyla da disiplinler arası çalışmaların artacağını göstermektedir.

Süreç, çalışma kapsamında çok net sorgulanmayan tasarımcının bilişsel yönüyle birlikte incelenebilir. Bu amaçla protokol analizi yöntemi ile geleneksel ve sayısal düşünme mantığının süreç içerisinde nasıl etkili olduğu araştırılabilir.

Geçmişten günümüze kadar tasarım süreci içerisinde tasarımcıya yüklenen roller araştırılabilir (Örneğin, usta-çırak, koordinatör, araç kullanan tasarımcı (designer as a tool user), araç üreten tasarımcı (designer as a tool maker) vb.).

Yapılan bu çalışmada, bilgisayar teknolojilerinin erken tasarım evresinde kullanılması, tasarım sürecinin rasyonel ve sistematik, tanımlanan bileşenlere ve sürece bağlı olarak varyasyonların üretildiği, yaratıcılığı barındıran veri-enformasyon-bilgi işleme süreci olarak dönüştürmektedir. Süreç içerisinde yer alan kavramlar, tekniklerin anlamları, amaçları ve kullanıldıkları aşamalar değişmektedir.

Tez kapsamında incelenen hesaplamalı tasarım yöntemleri ve incelenen örnek projelerin süreçleri aracılığıyla ulaşılan sonuçlar hesaplamalı tasarım süreçleri konusunda genel bir tablo ortaya koymaz, bu çalışma tablo ardındaki düşünsel arka planı ortaya çıkarmaya çalışmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Aish, R., 2013. First Build Your Tools AD smart 01 Inside Smartgeometry, Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design, 36-49.
- Akbulut, D., 2009. Evrimsel Tasarım Yöntemi ve Yaratıcılığın Süreç İçerisindeki Yeri, Gazi Sanat Tasarım, 2, 21-33.
- Akipek, F. ve İnceoğlu, N., 2007. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları, YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, 2, 4, 239-245.
- Aksoy, E., 1975. Mimarlıkta Tasarım İletim ve Denetim, 1. Baskı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları, Trabzon.
- Aksoy, E., 1987. Mimarlıkta Tasarım Bilgisi, 1. Baskı, Hatiboğlu Yayınevi, Ankara.
- Almusharaf, A. M. ve Elnimeiri, M., 2010. A Performance-Based Design Approach For Early Tall Building Form Development CAAD - Cities – Sustainability, 5th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD / ISBN 978-1-907349-02-7), Fez Morocco, October, 39-50.
- Altunbaş, E. E., Mimaride Evrimsel Tasarım Sistemleri, Yüksek Lİsans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , 2009.
- Archer, L. B., 1965. Systematic Method for Designers, The Design Council, London.
- Archer, B., 1967. The Structure of the Design Process In Design Methods in Architecture. Eds. Geoffrey Broadbent and Anthony Ward New York: G. Wittenborn, 84-85.
- Archer, B., 1984. Systematic Method for Designers, Developments in Design Methodolog, Cross, N., John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, 57-82.
- Arpak, A., 2012. Tasarım Yöntemleri Hareketi: 1960'larda Pozitivist ve Fenomenolojik Modeller ile Tasarımın Rasyonalizasyonu (Ussallaştırılması), Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Arida, S., 2004. Contextualizing Generative Design, PhD Thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Asanowicz, A., 1999. Evolution of Computer Aided Design: Three Generations of CAD, Architectural Computing from Turing to 2000, eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9523687-5-7, 15-17 September, Liverpool (UK), 94-100.

- Azhar, S., 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, *Leadership and Management in Engineering*, 11, 241-252.
- Bayazıt, N., 1994. Endüstri Ürünlerinde ve Mimarlıkta Tasarlama Metotlarına Giriş, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Bayazıt, N., 2000. Endüstriyel Tasarımcılar için Tasarlama Kuramları ve Metotları, Birsen Yayınevi, 1. Baskı, İstanbul.
- Broadbent, G. H., 1966. Mimarlıkta Tasarlama Metotları, *The Architects' Journal*, çev. Ayla Atasoy.
- Bollinger, K., Grohmann, M. ve Tessman, O. 2010. Structured Becoming: Evolutionary Process in Design Engineering, *Architectural Design*, 80, 34-39.
- Chiu, Y.-C. and Chiu, M.-L., 2003. Right Tools for Designing Free-form Geometry, *CAAD FUTURE*, Tainan, Taiwan Kluwer Academic, 433-443.
- Cross, N., 2001. Can a machine design?, *MIT Design Issues*, 17, 4, 44-50
- Cross, N., 2001. Designerly Ways of Knowing: Design Dicine versus Design Science. *Design Issues*, Volume:17, Number:3, 49-55.
- Çağdaş, G. ve Bacınoğlu, Z. ve Çavuşoğlu, Ö. H. 2015. Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar, Dosya 35 Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar; Bilgisayar Mimarlığın Neresinde?, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Çalışır, P., 2012. Architectural Kinetic Forms and Sound, Emergence of Architectural Kinetic Space Driven by Sound, Master Thesis, Barlett School of Architecture.
- Çalışır, P., 2014. Doğadan Esinli Tasarım: Ses Etkisiyle Oluşturulan Deneysel Bir Form Bulma Yöntemi, VIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Haziran, Bildiriler Kitabı: 207-217.
- Çalışır, P., 2014. Form-Finding With Experimentation On Natural Periodic Forces: The Sound Motion Streaks Project, ICONARCH-II - International Congress Of Architecture, November, Konya, Bildiriler Kitabı: 200-212.
- Çıltık, A., 2008. Sayısal Tasarım Kavramları ve Algoritmik Düşüncenin Mimari Tasarıma Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çinici, Ş., 2012. Computation Çevirisi ve Anlaması Kolay Olmayan Dil, Düşünce ve Mimarlık, Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Çolakoğlu, B., 2006. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, BOM Yüksek Lisans Programı, Biçim Gramerleri Ders Notları.

- Çolakoğlu, B. 2011. Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık, METU. JFA, 2, 10, 205-208.
- Emel, G. G., ve Taşkın, Ç., 2002. Genetik Algortimalar ve Uygulama Alanlar, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, XXI, I, 129-152.
- Ertürk, Z., 1979. Mimari tasarımda insan bilimleri, Tasarım ve İnsan bilimleri, Karadeniz matbaacılık ve gazetecilik A.Ş.
- Evbomwan, N. F. O., 1996. A Survey of Design Philosophies, models, methods and Systmes, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 210, 301-320.
- Fasoulaki, E., 2008. Integrated Design, A Generative Multi-Performative Design Approach, Master Thesis, MIT.
- Fasoulaki, E., 2009. Towards Integrated Design. In Between Man and Machine: Proceedings of the 14th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA, Yunlin, Taiwan: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 13-22.
- Foged, I., 2008. Computational Sustainable Architecture/Informed Morphology, University of Aalborg, Institut of Architecture.
- Franken, B., 2003. Real as Data, Edited by Branko Kolarevic, Architecture in the DigitalAge: Design and Manufacture, Spon Press, London, 177-202.
- Frazer, J., Frazer, J., Liu, X., Tang, M., and Janssen, P., 2002. Generative and Evolutionary Techniques for Building Envelope Design, Fifth International Conference on Generative Art, Milano, 11-13, 12, 1-16.
- Gane, V., & Haymaker, J., 2007. Conceptual design of high-rises with parametric methods. In Predicting the Future, 25th eCAADe Conference Proceedings, ISBN, 978-0.
- Gün, O. Y., 2012. Tasarım ve Kompütasyon Kuramcıları, Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Gürer, E. ve Alaçam, S. 2015. Sayısal Düşünmenin Yaratıcılık Bağlamında Sökümü, Dosya 35 Mimarlıkta 'Sayısal' Fırsatlar; Bilgisayar Mimarlığın Neresinde?, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Gürsel Dino, İ., 2012. Creative Design Exploration by Parametric Generative Systems In Architecture, METU JFA, 29, 1, 207-224.
- Harputlugil, G. U., 2011. Enerji Performansına Dayalı Tasarımda analiz ve Simülasyon, Megaron, 6, 11, 1-12

- Hudson, R., 2008. Frameworks for Practical Parametric Design in Architecture, Architecture in Computro, 26th eCAADe Conference Proceedings, Aralık, Antwerpen, Belçika, 847-854.
- Hudson, R., 2008. Strategies For Parametric Design In Architecture, An application of practice led research, Doktora Tezi, Bath Üniversitesi, Birleşik Krallık.
- Hudson, R., Shepherd, P. ve Hines, D., 2011. Aviva Stadium: A Case Study in Integrated Parametric Design, International Journal of Architectural Computing, 2, 9, 187- 203.
- Holst, R., 2012. Think, Script, build. Architectural engineering through parametric modelling of intelligent systems in architecture, Master thesis, Technical University of Denmark.
- İnceoğlu, M ve İnceoğlu, N., 2004. Mimarlıkta söylem Kuram ve Uygulama, TasarımYayın Grubu, İstanbul, 46.
- İpek, Y., 2014. Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımları: Bütünleşik Bir Tasarım Önerisi, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jormakka, K., 2012. Adım Adım Tasarım Yöntemleri, Birinci Baskı, YEMYayın, İstanbul, Ocak, Çeviren: Zeynep YAZICIOĞLU HALU.
- Kahvecioğlu, N. P., 2001. Mimari Tasarım Eğitiminde Bilgi ve Yaratıcılık Etkileşimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kalay, Y.E., 2004. Architecture's New Media, MIT Pres, USA.
- Kandemir, Ö., 2004. Mimari Tasarım Sürecinde Bilgisayar Teknolojileri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Karaş, İ. ve Batuk F., 2005. Coğrafi bilgi sistemlerinde topoloji kavramı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart -Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı: 1-7.
- Keskin, G., 2008. Dijital form Türetici (Froebel Form Türetici) ile Bir Konut Yerleşkesinin Tasarım Süreci, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kıran, A. ve Baytin, P. Ç., 2006. Bina Bilgisi'ne Giriş, 2. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım- Yayın Merkezi, İstanbul.
- Kızılırmak, H., 2012. Mimari Tasarım Sürecinin Betimlemesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Kilian, A., 2012. Tasarımın Onayı Yerine Tasarım Araştırmasına Yönelik bir Süreç Olarak Kompütasyonel Tasarım, Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Kolarevic, B., 2000a. Digital Morphogenesis And Computational Architectures In Construindo (n)o espacio digital (constructing the digital Space): Proceedings of the 4th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, SIGraDi. Rio de Janeiro, Brazil: Universidade Federale do Rio de Janeiro, 98-103.
- Kolarevic, B., 2000b. Digital Architectures In Eternity, Infinity and Virtuality in Architecture: Proceedings of the 22nd Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture, ACADIA, Washington D.C.: Catholic University, 251-256.
- Kolarevic, B., 2003. Digital Morphogenesis B. Kolarevic (Ed.), Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing, Spon Press, London, 11-28.
- Kolarevic, B., 2013. Parametric Evolution AD smart 01 Inside Smartgeometry, Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design, 50-59.
- Kolarevic, B., 2005. Computing the Performative, B. Kolarevic and Ali M. Malkawi (Ed.), Performative Architecture beyond Instrumentality, Newyork an London: Spon Press.
- Lawson, B., 2005. Problems, solutions and The Design Process, How Designers Think, ArchitecturalPress, Great Britain, 7, 121-125.
- Lawson, B., 2004. Exchanging design knowledge with computers, What Designers Know, ArchitecturalPress, Burlington, 6, 64-83.
- Lawson, B., 2004. Why might Design Knowledge be Special?, What Designers Know, ArchitecturalPress, Burlington, 2, 6-20.
- Lawson, B., 2005. Route maps of the design process, How Designers Think, ArchitecturalPress, Great Britain, 3, 31-50.
- Lobsinger, M. L., 2000. Cedric Price: An Architecture Of The Performance, Daidalos, Berlin, 22-29.
- Lökçe, S., 2002. Mimarlık Eğitim Programları: Mimari Tasarım ve Teknoloji ile Bütünleşme, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 17, 3, 1-16.
- Lynn, G., 1999. Animate Form, Princeton Architectural Press, Newyork.
- March, L. ve Stiny, G., 1984. Spatial Systems in Architecture and Design: Some History and Logic, Envionment and Planning B: Planning and Design, 12, 31-53.

- Marin, Ph., Bignon, J.C., Lequay, H. 2008a. Integral evolutionary design, integrated to early stage of architectural design process Generative exploration of architectural envelope responding to solar passive qualities H.J.P. Timmermans, B. de Vries (eds.) *Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, ISBN 978-90-6814-173-3, University of Technology Eindhoven.
- Marin, Ph., Bignon, J.C., Lequay, H., 2008b. A Genetic Algorithm for Use in Creative Design Processes, In *Silicon + Skin: Biological Processes and Computation: Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture ACADIA*, Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota, 332-339.
- Marin, P., Bignon, J. C., Lequay, H., 2008c. Integral Evolutionary Design, Integrated to Early Stage of Architectural”, *Architecture in Computro*, 26th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 978-0-9541183-7-2, September, Antwerpen (Belgium), 19-26.
- Marx, J., 2000. A Proposal for Alternative Methods for Teaching Digital Design, *Automation in Construction*, 9, 5-7.
- Maver, T. W., 1971. Pace 1: Computer Aided Design Appraisal, *Architects Journal*, 207-214.
- Mahadev, R., 2005. Sustainable Design: An American Perspective, Edited by Branko Kolarevic and Ali M. Malkawi, *Performative Beyond Instrumentality*, Spon Press, London, 41-54.
- Menges A., ve Ahlquist, S. 2011, Computational Design Thinking, in Achim Menges, Sean Ahlquist (eds.), *Computational Design Thinking*, John Wiley and Sons, West Sussex, United Kingdom, 10-19.
- Miller, N., 2009. Parametric Strategies in Civic Architecture Design ACADIA 09: reForm- Building a Better Tomorrow : Proceedings of the 29th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), 22-25 November, Chicago (Illinois), 144-152.
- Miller, N., 2009. NBBJ: Parametric Strategies in the Design of Hangzhou Stadium, <http://nmillerarch.blogspot.com/2009/12/parametric-strategies-in-design-of.html> 11 Eylül 2015
- Miller, N., 2010. [make]Shift: Information Exchange and Collaborative Design Workflows. Proceedings of the 30th ACADIA, October, New York, USA., 139-144.
- Miller, N., 2011. The Hangzhou Tennis Center: A Case Study in Integrated Parametric Design, *Parametricism (SPC) ACADIA Regional*, December, Lincoln – Nebraska, 203-209.

[http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?acadiaregional2011\\_016](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?acadiaregional2011_016), 12 Eylül 2015

Narahara, T. ve Terzidis, K., 2006. Optimal Distribution of Architecture Programs with Multiple-constraint Genetic Algorithm, SIGraDi- Proceedings of the 10th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, November, Santiago de Chile - Chile, 299-303.

Peters, B., Copenhagen Elephant House: A Case Study of Digital Design Processes, Silicon + Skin: Biological Processes and Computation, Proceedings of the 28th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA) / ISBN 978-0-9789463-4-0 , October, Minneapolis, 134-141.

[http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?acadia08\\_134](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?acadia08_134), 13 Eylül 2015

Stiny, G. ve Gips, J., 1972. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture in C.V. Freiman, ed, Information Processing, North Holland.

Stiny, G. ve Gips, J., 1978. Algorithmic aesthetics. Los Angeles: University of California Press.

Onat, E., 2006. Mimari Tasarımla Yüz Yüze Gelmek, Mimarlığa Yolculuk, Yem Yayın, İstanbul, 111, 119, 134.

Ostwald, J. M., 2012. Systems And Enablers: Modeling The Impact of Contemporary Computational Methods and Technologies on The Design Process, Contemporary And The Digital Design Process, Architectural Press, 18-33.

Oxman, R., Theory and Design in The First Digital Age, Design Studies, 27, 3 (2006) 229-265.

Oxman, R., Performance-based Design: Current Practices and Research Issues, international journal of architectural computing, 1,6 (2008) 1-17.

Oxman, R., Performative design: a performance-based model of digital architectural design, Environment and Planning B: Planning and Design, 36 (2009), 1026-1037

Oxman, R., 2012. Novel Concepts İn Digital Design, Contemporary And The Digital Design Process, Architectural Press, 18-33.

Öke, A., Bayazıt N., İnceoğlu M., ve Tapan M., 1978. Mimari Tasarlama Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Özsel Akipek, F., Bilgisayar Teknolojilerinin Mimarlıkta Tasarımı Geliştirme Amaçlı Kullanımları, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.



- Rowe, P. G., 1998. Design Thinking, The MIT Press, London.
- Senagala M., 2002. Time-like Architectures: the Emergence of Post-spatial Parametric Worlds." In Thresholds - Design, Research, Education and Practice in the Space Between the Physical and the Virtual: Proceedings of the 2002 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA, Pomona, California: Cal Poly, Pomona, 69-76.
- Singh, V., ve Gu, N., 2012. Towards an Integrated Generative Design Framework, Design Studies, 33, 185-207.
- Schmitt, G., 1997. Design Medium-Design Object, CAAD futures, 3-13.
- Stepherd, P., Hudson, R. ve Hines, D., 2011. Aviva Stadium: A Parametric Success, International Journal of Architectural Computing, 2, 9, 167-186.
- Stiny, G. ve Gün, O. Y., 2012. George Stiny ile Hesaplama ve Tasarım üzerine Açık Bir Söyleşi, Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Stiny, G., 1977. Ice Ray: A note on Chinese Lattice designs, Environment and Planning B: Planning and Design-4, 89.
- Stiny, G. ve Gibs, J., 1972. Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture in C.V. Freiman, ed, Information Processing, North Holland, 1460-1465.
- Peters, B. ve Peters, T., 2013. The origins of SMARTGEOMETRY AD smart 01 Inside Smartgeometry, Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design, 8-19.
- Tarım, M., 2006. Mimari Tasarımda Topoloji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Turan, B. O., 2011. 21. Yüzyıl Tasarım Ortamında Süreç, Biçim ve Temsil İlişkisi, MEGARON Cilt, İstanbul, 6, 3, 162-170.
- Türkyılmaz, Ç. C., 2010. Mimari tasarım eğitiminde erken tasarım evresinde bilginin dönüşümünün irdelenmesi ve bir model önerisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tokman, L. Y., 2012. Mimarlık Üzerine Bir Bilimsel Araştırma Tasarım Yöntem Uygulama, Elif Yayınevi, Ankara, 24.
- Torus, B., 2008. Konut Ön Tasarım Sürecinde Kural Tabanlı Bir Yazılım Modeli: Mardin Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Tsamis, A., 2012. Barberalla'nın Penceresinden Dışarıya Baktınız mı? Bilgisayar Destekli Tasarım' (CAD) Yönelik Bir Yazılım Yaklaşımı, Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Utandır, İ., 2007. Catia Ortamında Makine Elemanları ile Tasarımda Otomasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Vardouli, T., 2012. Bilgisayarın Bin Yüzü: Bilgisayarın Tasarımda İnsanlaştırılması (1965-1975), Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Van der Voordt, T.JM., and Van Wegen H.BR., 2005. Architecture in Use, An Introduction to the Programming, Design and Evaluation of Buildings, Elsevier, UK.
- Vries, M., and Wagter, H., 1991. ACAADModel For Use in Early Design Phases The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge on the Media in the Computer Era, Mc Cullough, M., Mitchell, W. J., Purcell, P., The MIT Pres, United States of America, 215-218.
- Yazıcı, S. ve Tanaçan, L., 2013. Doğal Sistemlerdeki Optimizasyon Süreçleri ve Malzeme Üzerinden Hesaplamalı Morfogenez, VII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu, Haziran, İstanbul Bildiriler Kitabı: 179-188.
- Yetgin, S., 2011. Sayısal Tasarım Araçları: Tasarım sürecindeki rolleri bağlamında bir inceleme, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H., 2008. Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Yu, H. S., 2009. Parametric Architecture: Performative/Responsive Assembly Components, Master Thesis, MIT, Cambridge.
- Whitehead, H., 2003. Laws of Form, Edited by Branko Kolarevic, Architecture in the DigitalAge: Design and Manufacture, Spon Press, London, 116-148.
- Woodbury, R., 2010. Elements of Parametric Design, Routledge, Londra.
- URL-1, [http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.53e8672aec6f44.22493602](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.53e8672aec6f44.22493602) 26 Eylül 2014.
- URL-2, [http://idater.lboro.ac.uk/wp-content/uploads/AR\\_LP2\\_Bruce\\_Archer.pdf](http://idater.lboro.ac.uk/wp-content/uploads/AR_LP2_Bruce_Archer.pdf) 20 Ekim 2015.
- URL-3, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Geri\\_bildirim](https://tr.wikipedia.org/wiki/Geri_bildirim) 19 Eylül 2015.
- URL-4, <http://www.cse.buffalo.edu/~rapaport/584/computetymology.html> 20 Haziran, 2015.

- URL-5, <http://www.etymonline.com/index.php?term=computation> 20 Haziran, 2015.
- URL-6, <http://www.thefreedictionary.com/computation> 20 Haziran, 2015.
- URL 7, [http://tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56093e6bd00d19.84391389](http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.56093e6bd00d19.84391389) 28 Eylül 2015.
- URL-8, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Topoloji> 20 Ağustos 2015.
- URL- 9, <http://fen.ege.edu.tr/~ismetkaraca/topoloji.pdf> 20 Ağustos 2015.
- URL- 10, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Topoloji> 20 Ağustos 2015.
- URL- 11, URL- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Homeomorfizma> 20 Ağustos 2015.
- URL- 12, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Topoloji> 20 Ağustos 2015.
- URL- 13, <http://rioranchomathcamp.com/topology.asp> 20 Ağustos 2015.
- URL- 14, <http://parametre.nedir.com/> 10 Haziran 2015.
- URL- 15, [http://www.turkcesozlukler.com/parametre\\_nedir](http://www.turkcesozlukler.com/parametre_nedir) 10 Haziran 2015.
- URL- 16, <http://www.theguardian.com/travel/gallery/2007/nov/13/railtravel> 11 Haziran 2015.
- URL- 17, <http://free-d.nl/project/show/id/457> 18.02.2015.
- URL- 18, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Animasyon> 20 Haziran 2015.
- URL-19,<http://www.archilab.org/public/1999/artistes/greg01en.htm#> 30 EYLÜL 2015.
- URL-20, [http://courses.washington.edu/arch587/3.assignments/4.Form\\_Making/form-chenje.pdf](http://courses.washington.edu/arch587/3.assignments/4.Form_Making/form-chenje.pdf) 29 Eylül 2015.
- URL-21,[http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset\\_grammars.htm](http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/frameset_grammars.htm) 30 Eylül 2015.
- URL-22,[http://www.docam.ca/en/component/content/article/106-embryological-house-greg\\_lynn.html](http://www.docam.ca/en/component/content/article/106-embryological-house-greg_lynn.html) 3 Ekim 2015.
- URL-23,<http://archives.docam.ca/en/wp-content/GL/GL3ArchSig.html> 03.10.2015.
- URL-24, <http://www.chapmanbdsp.com/our-work/r-and-d/project-zed.html> 12 Ekim 2014.
- URL-25, [http://issuu.com/kwanling/docs/lam\\_kwan\\_ling\\_658368\\_air\\_journal\\_70438bc63270db](http://issuu.com/kwanling/docs/lam_kwan_ling_658368_air_journal_70438bc63270db) 14 kasım 2014.

- URL-26, <http://www.fosterandpartners.com/projects/city-hall/> 14 Kasım 2014.
- URL-27, [http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/?doing\\_wp\\_cron](http://www.zaha-hadid.com/architecture/phaeno-science-centre/?doing_wp_cron) 12 Ekim 2015.
- URL-28, <http://www.archdaily.com/56594/nbbj-and-ccdi-break-ground-on-hangzhou-sports-park> 10 Eylül 2015.
- URL-29, [http://cumincad.architecturez.net/system/files/pdf/acadia09\\_144.content.pdf](http://cumincad.architecturez.net/system/files/pdf/acadia09_144.content.pdf) 10 Eylül 2015.
- URL-30, <http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/nbbj-parametric-strategies-in> 5 Eylül 2015.
- URL-31, <http://www.stwarchitects.com/data/sketchbook/publications/journals/aviva.pdf> 20 Ağustos 2015.
- URL-32, <http://www.archdaily.com/60213/aviva-stadium-opens-today-in-dublin/aviva-stadium-at-lansdowne-road-dublin> 8 Ekim 2015.
- URL-33, <http://www.bk.tudelft.nl/en/current/latest-news/article/detail/bouwkunde-studenten-winnen-prijsvraag-voor-snelweggebouw/> 9 Ekim 2015.
- URL-34, <http://www.matthijslaroi.nl/cnc-manufacturing/frozen-motion-aview4you-competition/#respond> 10 Mayıs, 2015.
- URL-35, <http://www.l-a-v-a.net/projects/stuttgart-university-voxel/> 18 Haziran 2015.
- URL-36, <http://www.fosterandpartners.com/projects/elephant-house-copenhagen-zoo/> 13 Ekim 2015.
- URL-37, <http://www.fosterandpartners.com/projects/elephant-house-copenhagen-zoo/> 1 Nisan 2015.
- URL-38, [https://en.wikipedia.org/wiki/Dubai\\_Towers\\_Dubai](https://en.wikipedia.org/wiki/Dubai_Towers_Dubai) 14 Ekim 2015.
- URL-39, [https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud) 3 Aralık 2015.
- URL-40, [http://tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5616a43e7d6dc8.83586036](http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5616a43e7d6dc8.83586036) 10 Ekim 2015.
- URL-41 <http://www.theprovingground.org/2009/12/parametric-strategies-in-designof.html> 17 Eylül 2015.
- URL-42, [http://tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_karsilik&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5638a91568fcb8.91005657](http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_karsilik&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5638a91568fcb8.91005657) 8 Kasım 2015.

URL-43, [http://tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_karsilik&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5638a8d56d06c3.70007542](http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_karsilik&arama=kelime&guid=TDK.GTS.5638a8d56d06c3.70007542) 10 Ekim 2015.

URL-44, [http://tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5616a447d0a6e4.76987627](http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5616a447d0a6e4.76987627) 7 Kasım 2015.

## ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Muş'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Muş'ta tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2009 yılında Fakülte ve bölüm birincisi olarak tamamladı. Ağustos 2012'de Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aralık 2012'de Karadeniz Teknik Üniversite'sine lisansüstü eğitimi için görevlendirildi. Akademik çalışmalarına burada devam etmekte olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.