

**MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HESAPLAMALI TASARIMIN MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDEKİ  
DÖNÜŞÜME ETKİLERİ: FORM BULMA MİMARİSİNİN GELENEKSEL  
ÇADIR FORMU ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**NURŞAH ODABAŞ**

**Anabilim Dalı: Enformatik Anabilim Dalı**

**Programı: Bilgisayar Ortamında Sanat ve Tasarım**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent Onur TURAN**

**TEMMUZ 2022**



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.







## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	vii
<b>KISALTMALAR</b> .....	ix
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	xiii
<b>ÖZET</b> .....	xvii
<b>SUMMARY</b> .....	xix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	21
1.1 Araştırmanın Amacı .....	24
1.2 Araştırmanın Kapsamı .....	24
1.3 Araştırmanın Yöntemi .....	26
<b>2. HESAPLAMALI TASARIM</b> .....	27
2.1 Hesaplamalı Tasarımın Tanımı .....	27
2.2 Hesaplamalı Tasarımın Gelişimi .....	28
2.3 Biçimsel Hesaplama Teorileri .....	29
2.4 Hesaplama Teorisi .....	32
2.4.1 Otomata .....	32
2.4.2 Hesaplanabilirlik .....	33
2.4.3 Karmaşıklık teorisi .....	33
2.5 Biçim Gramerleri .....	33
<b>3. MİMARİ TASARIMDA TEMSİL ORTAMI OLARAK HESAPLAMALI TASARIM VE DÖNÜŞÜMLER</b> .....	35
3.1 Temsil .....	35
3.2 Mimari Temsil .....	36
3.3 Bilgisayar Destekli Temsil Ortamı .....	37

3.4	Hesaplamalı Tasarım Kavramları.....	40
3.4.1	Algoritmik tasarım (Algorithmic design).....	41
3.4.2	Parametrik tasarım (Parametric design).....	43
3.4.3	Evrimsel sistemler (Evolutionary systems).....	46
3.4.4	Üretken sistemler (Generative systems).....	48
3.4.5	Uzman sistemler (Expert systems).....	49
3.5	Hesaplamalı Tasarımın Mimari Tasarımda Dönüştürdükleri.....	49
3.5.1	Temsilin Dönüşümü.....	49
3.5.2	Sürecin Dönüşümü.....	50
3.5.3	Üretim İlişkilerindeki Dönüşüm.....	50
3.5.4	Bilişsel Dönüşüm.....	522
<b>4.</b>	<b>HESAPLAMALI TASARIM KAVRAMININ GELENEKSEL ÇADIR FORMU ÜZERİNDEN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>55</b>
4.1	Form Bulma Mimarisi.....	57
4.2	Form Bulma Metotları.....	59
4.3	Göçebe Mimarisi.....	59
4.3.1	Göçebe konut türleri.....	60
4.3.2	Çadır.....	60
4.3.3	Kara çadır(Black tent).....	62
4.4	Grasshopper Kangaroo Eklentisi ile Form Bulma.....	65
4.5	Malzeme Teknolojisi.....	73
4.6	Grasshopper Galapagos Eklentisi ile Form Optimizasyonu.....	76
4.7	Membran Yapılarda Easy Yazılımı ile Form Bulma.....	81
4.8	Bulgular.....	88
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>95</b>
5.1	Genel Değerlendirmeler.....	98
<b>KAYNAKLAR.....</b>		<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>		<b>105</b>



## **KISALTMALAR**

**M.Ö.:** Milattan Önce

**3B:** Üç Boyutlu

**2B:** İki Boyutlu

**BIM:** Bina Bilgi Modellemesi(Building Information Modelling)

**CAD:** Bilgisayar Destekli Tasarım(Computer Aided Design)

**CAAD:** Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım(Computer Aided Architectural Design)

**GDL:** Geometrik Tanımlayıcı Dil(Geometric Descriptive Language)

**MEL:** Maya Gömülü Dil(Maya Embedded Language)

**CAM:** Bilgisayar Destekli Üretim(Computer Aided Manufacturing)

**CNC:** Sayısal Kontrol(Computer numerical control)



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Çizelge 2.2.1:</b> Hesaplamanın Tarihi (Özkar ve diğ, 2008, s.3) .....	29
<b>Çizelge 3.3.1:</b> Bilgisayar destekli mimari tasarım yazılımları ve kategorileri (Aksamija, 2016, s.80-81).....	39
<b>Çizelge 4.8.1:</b> Easy ve Grasshopper Yazılımlarının Yeterlilikleri .....	93



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 3.4.1.1:</b> Çeşitli fraktallar (Harvard Üniversitesi'nde Kostas Terzidis tarafından öğretilen GSD2311 dersi için K. Hopkins tarafından yapılan sınıf projesi) (Terzidis, 2006) .....	43
<b>Şekil 3.4.2.1:</b> Sagrada Familia Kilisesi'nde form oluşturma süreci için doğru değer kombinasyonunu bulma işlemi (Burry ve diğ. 2008: Makert ve diğ., 2016) .....	45
<b>Şekil 4.3.2.1:</b> Çadır yapılarının veya formlarının benzerlikleri ve evrimleri (Giller, 2012, s.22).....	61
<b>Şekil 4.3.3.1:</b> Karaçadırın strüktürü (Kademoğlu, 1974).....	653
<b>Şekil 4.3.3.2:</b> Kara çadırın konvansiyonel kuruluş akış şeması .....	654
<b>Şekil 4.4.1:</b> Kara çadır Rhino grasshopper ile oluşturulmuş modeli .....	65
<b>Şekil 4.4.2:</b> Kara çadır rhino grasshopper algoritması .....	66
<b>Şekil 4.4.3:</b> Kara çadır rhino grasshopper algoritmasının diagram şeması .....	66
<b>Şekil 4.4.4:</b> Kara çadır konvansiyonel kuruluş şeması ile grasshopper algoritması şemasının karşılaştırılması .....	67
<b>Şekil 4.4.5:</b> Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 1 .....	68
<b>Şekil 4.4.6:</b> Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 2 .....	69
<b>Şekil 4.4.7:</b> Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 3 .....	69
<b>Şekil 4.4.8:</b> Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 4 .....	70
<b>Şekil 4.4.9:</b> Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 5 .....	70
<b>Şekil 4.4.10:</b> Grasshopper yük değişim adımı .....	71
<b>Şekil 4.4.11:</b> Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 1.....	71
<b>Şekil 4.4.12:</b> Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 2.....	72
<b>Şekil 4.4.13:</b> Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 3.....	72

<b>Şekil 4.5.1:</b> Düz dokuma bir yapının plan (a), örgü gösterimi (b), atkı (c) boyunca enine kesit görünümü ve çözgü (d) boyunca enine kesit görünümü (Behera, 2012).	74
<b>Şekil 4.5.2:</b> Braced grid 2D Komutu ile oluşturulmuş algoritma .....	75
<b>Şekil 4.5.3:</b> Braced grid 2D komutu ile oluşturulmuş algorithmadan elde edilen form .....	75
<b>Şekil 4.5.4:</b> Kangaroo Warpweft komutu ile oluşturulmuş algoritma .....	75
<b>Şekil 4.5.5:</b> Kangaroo - Warpweft komutu ile oluşturulmuş algorithmadan elde edilen form .....	75
<b>Şekil 4.6.1:</b> Galapagos optimizasyon grafiği .....	77
<b>Şekil 4.6.2:</b> Yükün +5 değerinde olduğu durumda elde edilen yüzey gerilmeleri ....	77
<b>Şekil 4.6.3:</b> Galapagos optimizasyon grafiği .....	78
<b>Şekil 4.6.4:</b> Yükün 0 değerinde olduğu durumda elde edilen yüzey gerilmeleri.....	78
<b>Şekil 4.6.5:</b> X yönünde +20 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form .....	79
<b>Şekil 4.6.6:</b> X yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri.....	79
<b>Şekil 4.6.7:</b> Y yönünde +20 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form .....	79
<b>Şekil 4.6.8:</b> Y yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri.....	80
<b>Şekil 4.6.9:</b> Z yönünde +7 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form	80
<b>Şekil 4.6.10:</b> Z yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri.....	80
<b>Şekil 4.7.1:</b> Easy programı ile oluşturulmuş çadır formu .....	81
<b>Şekil 4.7.2:</b> Formun kenar kuvvetlerinin sehim yüzdesi girilerek elde edilmesi.....	82
<b>Şekil 4.7.3:</b> Sag değeri arttırılmış çadır formu.....	82
<b>Şekil 4.7.4:</b> Tepe noktasının yüksekliği arttırılmış çadır formu .....	83
<b>Şekil 4.7.5:</b> Kar kablolarının kuvvet değerleri arttırılmış çadır formu .....	83
<b>Şekil 4.7.6:</b> Radyal eklenmiş çadır formu .....	83
<b>Şekil 4.7.7:</b> Forma halat eklenmesi aşaması .....	84
<b>Şekil 4.7.8:</b> Köşe noktalarına eklenen halatlar sonucu oluşan membran formu .....	85
<b>Şekil 4.7.9:</b> Easy yazılı form statik analizi ara yüzü .....	85
<b>Şekil 4.7.10:</b> Form yüzeyine kar yükü yüklenmesi.....	86
<b>Şekil 4.7.11:</b> Yüzeye eklenen kar yükü sonucu görülebilen su birikmesi analizi.....	86

<b>Şekil 4.7.12:</b> Easy yazılımı kesme kalıplarının oluşturulması ara yüzü .....	87
<b>Şekil 4.7.13:</b> Kesme kalıplarında yapıştırma hatlarının belirlenmesi .....	87
<b>Şekil 4.8.1:</b> Form yüzeyine gelen rüzgarın yönü ve yüzeye ait çözgü hattı gösterilmiştir .....	89
<b>Şekil 4.8.2:</b> Grasshopper ve Easy yazılımlarında aynı koşullarda oluşturulan form örnekleri .....	91
<b>Şekil 4.8.3:</b> Tasarım ve üretim süreci döngüsü .....	92







# HESAPLAMALI TASARIMIN MİMARİ TASARIM SÜREÇLERİNDEKİ DÖNÜŞÜME ETKİLERİ: FORM BULMA MİMARİSİNİN GELENEKSEL ÇADIR FORMU ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZET

Hesaplamalı tasarım başlığı altında yer alan ve mimari tasarımda kullanılan parametrik tasarım, algoritmik tasarım, evrimsel sistemler, üretken sistemler ve uzman sistemler gibi yöntemler mimari tasarım süreçlerinde önemli rol oynamaktadır. Hesaplamalı tasarımın mimaride kullanılması için her zaman bir bilgisayara ihtiyaç duyulmazken, sayısal tasarım mimari temsilin ifadesinde bilgisayar araçlarının kullanımını ifade eder. Hesaplamalı tasarım ile bahsedilen yöntemler mimari tasarım süreçlerinde ve üretim ilişkilerinde dönüşümleri başlatmış ve çeşitli tartışma başlıklarını da beraberinde getirmiştir. Bu çalışma kapsamında hesaplamalı tasarım başlığı form bulma mimarisi üzerinden incelenmektedir. Form bulma mimarisinde ise bugün hesaplamalı tasarım yöntemleri ideal denge formunun bulunmasına yardımcı olur ve yeni optimizasyon araçlarını ortaya koyar. Form bulma mimarisinin en eski geleneksel tasarım örnekleri göçebe mimarisi ile ortaya çıkar. Göçebe mimarisinde yer alan çadır formlarından bazıları bugün form bulmada yer alan germe yapıları mantığıyla çalışır. Bu germe yapıları örneklerinin başında gelen kara çadır formu çalışma örneği olarak seçilmiştir. Belirlenen kara çadır formu hesaplamalı tasarım yöntemleri ile tekrar ifade edilmektedir. Bu sayede aynı tasarım düşüncesi korunarak seçilen geleneksel tasarım örneği hesaplamalı tasarım yöntemi ile oluşturulduğunda tasarım sürecinin nasıl dönüştüğü ortaya koyulmaya çalışılmış; yeni sürecin oluşan sonucun çeşitlenmesini sağladığı ve çeşitli varyasyonlar arasından seçim yapılmasına olanak tanıdığı ifade edilmektedir. Oluşan varyasyonlar arasından en uygun seçimin yapılabilmesi için ise yine hesaplamalı tasarım yöntemleri sayesinde form optimizasyonu yapılabilmektedir ve bu durum belirlenen koşullara göre en iyi sonucun üretilmesine olanak tanımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Hesaplamalı tasarım, Form bulma mimarisi, Kara çadır, Form optimizasyonu.



**THE EFFECTS OF COMPUTATIONAL DESIGN ON TRANSFORMATION  
IN ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS: AN EVALUATION OF FORM  
FINDING ARCHITECTURE THROUGH THE TRADITIONAL TENT  
FORM**

**SUMMARY**

Methods such as parametric design, algorithmic design, evolutionary systems, generative systems and expert systems, which are under the heading of computational design and used in architectural design, play an important role in architectural design processes. While a computer is not always needed to use computational design in architecture, digital design refers to the use of computer tools in the expression of architectural representation. The methods mentioned with computational design have started the transformations in architectural design processes and production relations and brought along various discussion topics. Within the scope of this study, the computational design title is examined through the form-finding architecture. In form-finding architecture, computational design methods help find the ideal equilibrium form and introduce new optimization tools. The earliest traditional design examples of form-finding architecture emerge with nomadic architecture. Some of the tent forms in nomadic architecture today work with the logic of tension structures involved in finding form. The black tent form, which is one of the leading examples of these tension structures, was chosen as a working example. The determined black tent form is re-expressed with computational design methods. In this way, it has been tried to reveal how the design process is transformed when the traditional design sample chosen by preserving the same design idea is created with the computational design method; It is stated that the new process enables the result to be diversified and allows to choose among various variations. In order to make the most appropriate selection among the variations that occur, form optimization can be made thanks to the computational design methods, and this allows the best result to be produced according to the determined conditions.

**Keywords:** Computational design, Form-finding architecture, Black Tent, Form optimization.



## 1. GİRİŞ

Hesaplamalı tasarım kavramının mimarlık literatürüne girmesiyle mimari tasarım ürününün temsilinde kullanılan araç ve yöntemler de farklılaşmaya başlamıştır. Mimari tasarım ürününün ifadesi geleneksel tasarım yöntemleriyle sınırlı ifade şekillerine sahip iken sayısal tabanlı teknolojilerin mimari temsilde kullanılmaya başlamasıyla temsil araçları ve yöntemleri zamanla çeşitlenmiştir; hatta mimaride sayısal teknolojiler “araç” olmaktan çıkıp tasarımcı için “yardımcı” rolünü üstlenmeye başlamıştır.

Sayısal teknolojiler ile ifade edilen tasarım ürünleri sadece tasarım bilgisinin aktarımı ile sınırlı kalmamış bilginin çeşitli anlamlarda dönüşümünü de ifade etmeye başlamıştır. Mimaride sayısal teknolojilerin tasarıma yardımcı araçlar olarak anılmasıyla “hesaplamalı tasarım” başlığı altında tanımlanan; parametrik tasarım, algoritmik tasarım, evrimsel sistemler, üretken sistemler ve uzman sistemler gibi yöntemler mimarlıktaki kuramsal dönüşümün ve üretim ilişkilerinin incelenmesinde en çok bahsedilen başlıkları oluşturmuştur. Bu tasarım süreçleriyle birlikte pek çok sayısal tasarım aracı da üretime katılmaya başlamış ve üretim süreçleri de ön plana çıkmaya başlamıştır. Sayısal tasarım araçları disiplinler arası bütünleşmiş çalışma imkânı sunmakta ve tasarımın en başından itibaren üretim aşaması ile birlikte düşünülmesini sağlamaktadır. Sayısal tasarım süreci, hesaplamalı kavramlara dayalı tasarım ve üretim stratejilerini kullanmaktadır ve sayısal üretim de değişken, tekrarlayıcı olmayan tasarıma olanak sağlamaktadır.

Mimarlığın kendini yeniden tanımlama süreci, sayısal tasarım araçlarının mimarlıkta etkileşimli kullanılabilmesiyle başlamış ve sonrasında parametrik tasarım süreçlerinin etkinliğinin artmasıyla birlikte, bu araçların mimari tasarımlara da etki eden ve neredeyse “yardımcı tasarımcı” unvanına sahip bir duruma dönüşmesiyle devam etmiştir (Schmitt,1997).

Sayısal tasarım araçları ile artık mimaride biçimden çok sürecin önem kazandığından bahsedilebilmektedir. Tasarım ürününün kendisi kadar, ürün ortaya çıkıncaya kadar geçen süreç ve başvuru yöntemleri de önemli olmaya başlamıştır. Sonuç ürünün

nasıl olması gerektiği konusundan çok, ürünü ortaya koyana kadar geçen süreçte bilginin nasıl işlendiği konusu önemli olmaya başlamıştır. Bu durum aynı zamanda mimari tasarım ürünlerinde hesaplamalı düşüncenin sonucu olarak yaşanan dönüşümleri gözler önüne sermektedir.

Bu süreç, daha kümülatif, aşamalı bir süreci gerektiren geleneksel yaklaşımlardan daha fazla tasarım üretimi, geliştirme ve imalat arasında daha fazla akışkanlık sağlamaktadır. Tasarım bilgisinden doğrudan bir şeyler yapma potansiyeli, tasarım disiplininin nihai ürüne kadar tüm sürecini benzeri görülmemiş bir şekilde gerçekleştirmesine izin verdiği için tasarım disiplinlerinde bir dönüşüm yaratmıştır (Dunn, 2012). Bununla birlikte temsilin üretim aşamasında yaşadığı dönüşüm kadar aslında yeni düşüncel süreçle birlikte mimari ürünün nasıl olması gerektiği düşüncesi de dönüşmektedir. Mimari tasarım ürününün kendisi sayısal temsille oluştuğunda baştaki tasarım ürünündeki değişim aynı zamanda ona karşı olan bakış açısını da dönüştürmektedir.

Mimari ürünün tasarımında bahsedilen düşünsel kavramlar, uygulama alanları, süreç ve üretim ilişkisindeki dönüşümlere nedeni olan hesaplamalı tasarım kavramını bu konular ışığında incelemek ve yeni çıkarımlarda bulunmaya çalışmak bu çalışmanın konusu olacaktır.

15. yüzyılda ortaya çıkan hesaplama kavramı 1960'lı yıllara gelindiğinde mimarlığın literatürüne girmeyi başarmıştır. 1930'lu yıllarda ise hesaplama üzerine ortaya çıkmaya başlayan teoriler mimarlığın ve tasarımın gelişiminde geleneksel tasarım yöntemlerinin dışında yeni bilgi işleme yöntemleri sunmaya ve tartışma başlıkları oluşturmaya başlamıştır. Geleneksel tasarımda kullanılan araç ve yöntemler 1960'lı yıllardan sonra dönüşüme uğramış, tasarım bilgisinin çeşitli şekillerde ifadeleri oluşmaya başlamıştır. Hesaplamalı tasarım kavramı başlığı altında pek çok tasarım yönteminden bahsedilmeye başlanmıştır. Bahsedilen tasarım araç ve yöntemleri bugün parametrik tasarım, algoritmik tasarım, üretici sistemler, uzman sistemler, evrensel sistemler, evrimsel sistemler gibi ana başlıklar altında incelenmektedir.

Hesaplama kavramıyla ortaya çıkan bu çeşitli başlıklar beraberinde geleneksel tasarımdan ayrı olarak pek çok soru işaretini ve tartışma konusunu da beraberinden getirmiştir. Mimarlık disiplini ile ilgili algılar ve tanımlamaları değiştirmeye başlamıştır. Sayısal tasarımdan önce mimarlık farklı kültürlerin ve dönemlerin

özelliklerini aktarmada etkili olan fiziki, inşa edilebilir ürünler iken hesaplamalı tasarım ile birlikte sadece bilgisayarın ürettiği ve mimarın ya da tasarımcının öneminin kalmadığı şekilde algıları beraberinde getirmeye başlamıştır. Oysaki mimari tasarım ürününün sadece fiziksel olarak üretilebilir bir ürün olması gerektiği düşüncesi kabul görmemelidir ve sadece hesaplamalı tasarım yöntemlerinin tasarım ve üretimde sağladığı avantaj ve potansiyeller göz önünde bulundurulmalıdır.

Hesaplamalı tasarımın beraberinde getirdiği, hesaplamalı tasarım süreçlerinin mimari tasarım ürününün insan ve makine zekâsının ortak ürünü olarak ortaya çıktığı dolayısıyla tasarımcının önemi kaybettiği, gelişen yeni sürecin geleneksel tasarımdan ayrıştığı ve belki de yeni bir dönemin başladığına dair tartışma sorularına yanıt aramaya çalışmak bu çalışmanın başlangıç fikirlerini oluşturmuştur.

Bu sorulara yanıt aramaya çalışırken, 1930'lu yıllardan önce geleneksel mimari ile üretilmiş ve geniş bir zaman aralığına yayılmış farklı mimari üretim teknikleri ile bugün hesaplamalı yollarla üretilmiş örneklerin arasında süreç olarak nasıl bir dönüşüm yaşandığı konusu ele alınmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda hesaplamalı tasarım yöntemleri altında mimaride form bulma (form finding) konusu göçebe mimarisi üzerinden işlenmeye çalışılmaktadır. Hesaplamalı tasarım altında çalışılan form bulma mimarisinin ortaya çıkış noktası çadırlara dayanmaktadır. Göçebe mimarisinde ana mimari ürün olan çadırlar, kaplama ve germe mantığına bağlı olarak kurulmaktadırlar. Yüksek gerilme mukavemetine sahip malzemelerin keşfedilmesi, geleneksel çadırların biçimlerini belirlemiş ve modern gerilme mühendisliği alanında devrim yaratmıştır. Kara çadır ise germe yapısı mantığı ile ortaya çıkan ilk göçebe mimarisi örneğidir; dolayısıyla form bulma konusunun temellerini oluşturmaktadır ve çalışmaya bu nedenle kaynaklık etmektedir.

Ele alınan kara çadır form örneği üzerinden konvansiyonel yollarla üretilen ürünlerin aslında tasarım metodolojisi olarak hesaplamalı tasarım mantığından ayrışmadığı; ancak hesaplamalı tasarımda aynı metotların uygulanması kısmında kullanılan araçların ve yöntemlerin dönüşüme uğradığı sonrasında ise dönüşüme uğrayan bu yöntemler sayesinde farklı varyasyonların oluşacağı ve bu varyasyonlar arasından optimize sonuçların seçilebileceği sonuçlarına ulaşılmaya çalışılmaktadır. Mimari tasarım ürününün hesaplamalı yollarla üretilmesinin sonuç ürünün ve tasarımcının değerini azaltmadığı; ancak hesaplamalı tasarımının sunduğu potansiyeller sayesinde

mimari temsil şekillerinde, tasarım süreçlerinde, üretim ilişkilerinde yaşanan dönüşümlerin neler olduğu konuları araştırılmaya çalışılmaktadır.

Hesaplamalı tasarımın bugün konvansiyonel tasarım ile üretilmiş örnekleri hızlı şekilde modellenebilir ve uygulanabilir kılması, sayısal ortamda temsillerinin oluşturulabilirliği aynı zamanda yeni varyasyonların oluşturulabilirliğine de olanak tanımaktadır. Bu sayede geçmişte tasarlanmış örneklerin algoritmalarından hareketle bugün alınabilecek sonuçların çeşitliliği, yeni tasarım konseptlerinin üretilmesine tuttuğu ışık ve sahip olduğu potansiyeller ile farklı sonuçların üretilebilirliğinin sorgulanması amaçlanmaktadır.

### **1.1 Araştırmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı form bulma mimarisinde kullanılan hesaplamalı tasarım yöntemlerinin geleneksel tasarımda yer alan form örnekleri üzerinde kullanıldığında mimari tasarım süreçlerinde ne gibi dönüşümlerin yaşandığını ortaya koymaktır. Bu araştırma kapsamında hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak üretilen form örneklerinin nasıl çeşitlenebildiği, oluşan örneklerin hangi parametrelere bağlı olduğunu ve oluşan varyasyonlar arasından nasıl optimizasyon çalışması yapılabileceği sorularına yanıt aranmaya çalışılmaktadır.

### **1.2 Araştırmanın Kapsamı**

Hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak oluşturulan mimari temsillerin geleneksel temsillere göre nasıl bir dönüşüm yaşadığı üzerine kurulan bu araştırma, konvansiyonel yollarla ortaya çıkan kavramların hesaplama üzerinden yeniden ifadesi ile konunun özgünlüğünü oluşturmaktadır. Konvansiyonel örnekler hesaplamalı tasarım mantığıyla yeniden ifade edildiğinde tasarım bilgisinin değişmediği; fakat tasarım yönteminin değiştiği düşüncesinin anlaşılabilmesi için öncelikli olarak hesaplama kavramının tanımlanması ve gelişim süreci, hesaplamalı tasarım yöntemlerinin neler olduğu ve bu yöntemlerin sonucu olarak mimari tasarım ürününün süreç ve üretim aşamalarında yaşadığı dönüşümler ifade edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın devamında ise göçebe mimarisinde görülen geleneksel kara çadır formunun bugün hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak üretildiğinde nasıl ifade edilebileceği, üretken tasarım sayesinde geleneksel tasarım mantığından



yola çıkılarak hesaplama ile nasıl çeşitli sonuçların elde edilebileceği ve belli parametrelerin sabit tutularak yapılan optimizasyon çalışması ile oluşan formların nasıl varyasyonlarının olabileceği ifade edilmeye çalışılmaktadır.

Bu kapsamda araştırmanın birinci bölümünde problem tanımı ve araştırmanın amacı ve yöntemi üzerinde durulmaktadır. Araştırmanın ikinci bölümünde ise hesaplama kavramının epistemolojik kökeni ve tanımı ortaya koyulmaya çalışılmaktadır. Daha sonrasında ise hesaplamalı tasarımda kronolojik olarak yaşanan gelişmeler üzerinde durulmakta ve mimarlık üzerine tartışılan konuların zaman içerisinde tasarım düşüncesinin ve uygulama alanlarını nasıl dönüştürdüğü sorgulanmaya çalışılmaktadır.

Araştırmanın üçüncü bölümünde mimari tasarım ürününün geleneksel yollarla temsili ve hesaplamalı tasarım ortamında temsili konuları ifade edilmeye çalışılarak, hesaplamalı tasarım yöntemiyle gerçekleşen temsil yöntemleri ifade edilmeye çalışılıp; geleneksel ve sayısal temsiller arasındaki farklar ile hesaplamalı tasarımın temsilde sağladığı avantajlar sayesinde ortaya çıkardığı potansiyeller açıklanmaya çalışılmaktadır.

Araştırmanın dördüncü bölümünde oluşturulan sayısal temsillerin sahip olduğu potansiyeller sayesinde mimari tasarımda yaşanan dönüşümlerin hangi bağlamlarda gerçekleştiği açıklanmaya çalışılmaktadır. Sayısal temsiller mimari tasarım ürününü temsil şekli ile birlikte tasarım düşüncesini, tasarım sürecini, tasarım ürününün üretim ilişkilerini ve bunlarla beraber tasarım düşüncesine dair belli kavramları da dönüştürmektedir. Bütün bu dönüşümden hareketle özellikle üretimdeki dönüşümlerin nasıl olabileceği ve elde edilen bilgilerden hareketle oluşan temsillerin varyasyonları ve bu varyasyonlardan yola çıkarak optimizasyon çalışması yapılarak en iyi sonucun üretilebileceği sonucuna ulaşmaya çalışılmaktadır.

Araştırmanın beşinci bölümünde yapılan çalışmalardan hareketle ulaşılan bulgular altıncı bölümde ortaya koyularak değerlendirilip, yedinci bölümde ulaşılan sonuçlar açıklanmıştır.

### 1.3 Araştırmanın Yöntemi

Araştırmanın bütününe oluşturulmasında izlenen yöntem, ele alınan hesaplamalı tasarım konusuna ait kavramları, gelişimini ve altında barındırdığı çalışma yöntemlerini, uğradığı dönüşümleri ele alarak tezin asıl amacı olan hesaplamalı tasarım yöntemleri ile geleneksel tasarım örnekleri arasındaki ilişkileri ortaya koyarak, bu örnekler üzerinden yeni potansiyellerin ortaya koyulması üzerine odaklanmaktadır.

Araştırmaya başlarken bu araştırmanın başlangıç noktasını oluşturan sorular sorulmuş ve problem tanımı yapılmıştır. Araştırmanın kapsamı doğrultusunda literatür taraması yapılmıştır. Hesaplamalı tasarım kapsamında belirlenen yöntemler irdelenmiş ve bu yöntemler kullanıldığında mimari tasarımda ne gibi dönüşümlerin yaşandığı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında seçilen geleneksel kara çadır formu hesaplamalı tasarım metotları ile yeniden ifade edilmiştir. Form yeniden ifade edilirken Grasshopper yazılımı altındaki form bulma metotlarına bağlı çalışan Kangaroo eklentisi kullanılarak formun algoritması oluşturulmuştur. Sonrasında ise algoritma üzerinden ana formdan yola çıkılarak çeşitli varyasyonlar üretilmiş ve bu formlar belli parametreler doğrultusunda Grasshopper'daki form optimizasyonuna olanak veren Galapagos eklentisi kullanılarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda üretim aşaması için de kullanılan Easy yazılımı ile form bulunarak, form ile ilgili statik analizler ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

## 2. HESAPLAMALI TASARIM

Tasarımcıların bilgisayarları tasarımda kullanmaya başlamasıyla sayısal tasarım kavramı ortaya çıkmaktadır; ancak tasarımda hesaplamanın varlığı çok daha eskiye dayanmaktadır ve sayısal tasarım ile bahsedilen araçlar hesaplamalı tasarım ile yerini tasarım yöntemlerine bırakmaktadır. Bu anlamda sayısal tasarım araçları ise hesaplamalı tasarımda birer yardımcı rolü üstlenmektedir. Bu nedenle hesaplamalı tasarımı sayısal tasarımdan ayırmak gerekmektedir. Sayısal tasarım bilgisayar araçlarının kullanımı olarak tanımlanabilirken, hesaplamalı tasarım hesaplamanın kullanılmasını gerektirir yani sayısal araçları kullanmadan hesaplamalı tasarıma sahip olunabilir (Caetano ve diğ., 2019).

### 2.1 Hesaplamalı Tasarımın Tanımı

Hesaplamalı tasarımın kavramından önce hesaplama (computation) ve tasarım kavramlarının ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir. Hesaplama kavramı bu tez çalışması kapsamında İngilizce'deki computation kelimesi ile eşleştirilse de Türkçe'deki kompütasyonel kelimesi ile de ifade edilebilmektedir; ancak çalışmanın devamında hesaplamalı tasarım olarak bahsedilecektir.

Hesaplama (*Computation*) kelimesinin zaman içinde bugüne geldiği noktada evrildiği hali anlamak için etimolojik kökenine bakıldığında Latince *computare*'den geldiğini görülmektedir. Kökündeki 'com' beraber, ile (with) anlamına gelirken 'putare' ise açıklığa kavuşturmak (clear up), yerli yerine oturtmak (settle), hesaba katmak/hesaplaşmak (reckon) anlamlarına gelir; yani *computare* hepsini beraber açıklığa kavuşturmak, yerli yerine oturtmak ve hesaba katmak anlamlarına gelmektedir. Hesaplama (*Computation*) kelime olarak 15.yy'da yani henüz bilgisayarın olmadığı bir zamanda ilk kez kullanılmıştır. Dolayısıyla kelime bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle kullanıma girmiş yeni bir sözcük değildir (Yalınay Çinici, 2012, s.12).

Hesaplama tasarımı konusu ile ilgili akla gelen ilk kavramlar sayısal bilgisayar teknolojileri ile ilgili olsa da aslında Theodora Vardoli'nin de öne sürdüğü tasarım süreçlerinde bilgisayarın oynadığı rolü anlamak ve tasarımcılar ile bilgisayar arasında oluşmaya başlayan soyut ilişkiyi betimlemeye çalışmak, ön planda tutulması gereken iki ana amaç olmalıdır. Bu terimi tanımlamak için yapılan girişimler eldeki tasarım ve üretim teknolojilerinin ve bunların ne şekilde kullanıldıklarının kapsamlı bir şekilde listelenmesi biçiminde olmuştur; fakat “kompütasyonel tasarımın” mevcut bilgisayar araçları ve bunların kullanım süreçlerinin toplamı olarak tanımlanması, terimin esas anlamını, içeriğini ve potansiyellerini yansıtmada konusunda yetersiz kalmaktadır (Vardouli, 2012, s.25-26).

George Stiny de hesaplama kavramının tasarımda kullanılması için bilgisayara ihtiyaç duyulmadığını ve hiçbir bilgisayar teknolojisi kullanılmadan dahi hesaplama tasarımının var olabileceği gerçeğinin altını çizmektedir (Stiny, 2012). Dolayısıyla Çinici'nin de belirttiği hesaplama kelimesinin etimolojik geçmişine bakıldığında bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle kullanıma girmiş bir kelime olmadığı gerçeğini savunur nitelikte söylemlere yer vermektedir. Bu anlamda hesaplamanın en iyi örneği yaklaşık 30 yıl önce MIT'deki çalışmaları sonucu George Stiny ve Jim Gips tarafından ortaya koyulmuş olan biçim gramerleri konusudur. Biçim gramerleri, dolaylı olarak metin veya semboller üzerinden hesaplamalar yapmak yerine doğrudan şekiller üzerinden hesaplamalar yoluyla tasarım yapmak için en eski hesaplama sistemlerinden biridir. Bu buluş, tasarım için sözlü, metin tabanlı olmaktan çok, tamamen görsel bir hesaplama sistemidir (Stiny ve diğ., 2015).

## **2.2 Hesaplama Tasarımının Gelişimi**

Hesaplama kelimesi ilk olarak 15. yüzyılda henüz bilgisayarın olmadığı bir dönemde kullanılmış (Yalınay Çinici, 2012) olsa da hesaplama tasarımı yöntemlerinin mimarlıkta kullanımı 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Hesaplama tarihindeki önemli gelişmelerin özeti Çizelge 2.2.1'deki şekilde ifade edilebilir (Özkar ve diğ., 2008).

**Çizelge 2.2.1:** Hesaplamanın Tarihi (Özkar ve diğ, 2008, s.3)

1930'lar	Biçimsel hesaplama teorileri (Turing, Godel, Church, ...)
1940'lar	İlk bilgisayar Sinir ağları (McCulloch ve Pitts) Üretim sistemi
1950'ler	Paralel hesaplama (von Neuman) Hücreli otomata (Ulam, von Neuman) Üretken gramerler (Chomsky)
1960'lar	Evrimsel Hesaplama Patern gramerleri (Fu)
1970'ler	Biçim gramerleri (Stiny, Gips)
1980'ler	Yapay yaşam (Longton) Kendi kendini organize eden sistemler

### 2.3 Biçimsel Hesaplama Teorileri

Hesaplama üzerine olan çalışmalar 1930'lu yıllarda Godel, Church ve Turing gibi isimlerin 'Hesaplanabilirlik Teorisi' (Computability Theory) adı altında yaptıkları çalışmaları ile başlamaktadır. Modern hesaplanabilirlik teorisi, Turing(1936) ile başladı ve Turing makinesi tarafından hesaplanabilen bir fonksiyonun hareketini tanıttı. Kısa bir süre sonra, bu tanımın daha önce önerilen diğer bazı tanımlara eşdeğer olduğu ve Turing'in hesaplanabilirliğinin tam olarak yakalandığı Church-Turing tezinin gayri resmi hesaplanabilirlik kavramının yaygın olarak kabul edildiği gösterildi. Hesaplanabilir fonksiyon kavramının bu izolasyonu, yirminci yüzyıl matematiğinin en büyük ilerlemelerinden biriydi ve hesaplanabilirlik teorisi alanına yol açtı (Ambos-Spies ve diğ, 2014).

Turing makinesi, ilk olarak Alan Turing tarafından 1936-7'de tanımlanan, neyin hesaplanabileceğinin kapsamını ve sınırlarını araştırmaya yardımcı olmayı amaçlayan basit soyut hesaplama cihazıdır. Turing'in makinesi bugün hesaplanabilirliğin ve teorik bilgisayar biliminin temel modellerinden biri olarak kabul edilmektedir. Turing makinesinin yanı sıra, Turing'in tezine mantıksal olarak

eşdeğer tezlerle sonuçlanan matematiğin temeline yönelik araştırma bağlamında Turing'den bağımsız olarak birkaç başka model tanıtıldı. Bu modellerin her biri için Turing hesaplanabilir fonksiyonlarını yakaladıkları kanıtlandı (De Mol, 2018).

Turing makinesi, bir bant şeridindeki sembolleri belirli kurallar tablosuna göre işleyen, soyut bir makineyi tanımlayan matematiksel bir hesaplama modelidir. Modelin basitliğine rağmen, herhangi bir bilgisayar algoritması verildiğinde, bu algoritmanın mantığını simüle edebilen bir Turing makinesi inşa edilebilir. Bugün sayaç, yazmaç ve rastgele erişimli makineler ve onların babası Turing makinesi, hesaplama teorisindeki (Theory of Computation) soruları araştıran teorisyenlerin tercih ettiği modeller olmaya devam etmektedir. Özellikle, hesaplama karmaşıklığı teorisi (Computational Complexity Theory) Turing makinesini kullanmaktadır (Url-1).

1940'lı yıllara gelindiğinde sibernetik, erken dönem bilişsel bilimler ve erken dönem yapay zekâ gibi disiplinler ile birlikte tasarım etkinliği davranışsal, algısal ve bilişsel temeller üzerinde tekrar düşünüldü ve yeniden şekillendirildi (Wiener 1948, Ruesch ve Bateson 1951, Skinner 1953, Skinner 1957) (Arpak, 2012).

Tasarım yöntemleri üzerine ilk İngiliz konferansı 1962'de Imperial College'da yapıldı. Mühendislik, mimarlık, planlama, bina, endüstriyel tasarım, grafik, resim, psikoloji ve sibernetik alanlarından on sekiz katılımcı, bazı yeni tasarım yöntemleri önerdiler ve tasarım sürecinin birçok tanımını sundular ve tasarımı ilk defa bilimsel bir bakış açısı ile ele almaya başladılar (Jones,1966). Tasarım yöntemleri kitabı ise günümüzün daha karmaşık gerçeklikleri için yeni yöntemlere ihtiyaç olduğunu savunuyor, tasarım sürecini üç aşamaya ayırıyor ve her aşama için bir tasarım yönteminin nasıl seçileceğini gösteriyor. Bu yöntemler şunları içeriyor: mantıksal prosedürler, veri toplama (Hileman, 1998).

Christopher Alexander, 1964 yılında Biçimin Sentezi Üzerine Notlar (Notes on the Synthesis of Form) kitabında tasarımı bir problem çözme süreci olarak tanımlamıştır. Bu notlar tasarım süreci hakkındadır ve işleve yanıt olarak yeni fiziksel düzen, organizasyon, biçim sergileyen fiziksel şeyler icat etme sürecidir. Alexander'a göre bugün işlevsel problemler her zaman daha az basit hale gelmektedir; ancak tasarımcılar nadiren onları çözemediklerini itiraf ederler. Bunun yerine, bir tasarımcı bir sorunu gerçekten aradığı düzeni bulmak için yeterince açık bir şekilde

anlamadığında, keyfi olarak seçilmiş bir resmi düzene geri döner. Sorun, karmaşıklığı nedeniyle çözümsüz kalır. Bir problemin çözümü olarak program gerçekten bir dizi daha basit alt problem verir ve bunları hangi sırayla çözüleceğini söyler. Bir ayrıştırma kriteri tanımlamaya çalışmadan önce, böyle bir ayrıştırmanın bir tasarımcı için herhangi bir şekilde yararlı olabileceği varsayımı sorgulanmak istenebilir. Tasarımcı, form yapıcı olarak bütünlük arar (teklik anlamında); bir birim oluşturmak, sentezlemek, öğeleri bir araya getirmek ister. Bir tasarım programının kökeni ise analitiktir ve etkisi sorunu parçalara ayırmaktır. Bu iki amaç, analiz ve sentez arasındaki karşıtlık, bazen insanların tasarımda zeka ve sanatın uyumsuz olduğunu ve hiçbir analitik sürecin bir tasarımcının birleşik, iyi organize edilmiş tasarımlar oluşturmaya yardımcı olamayacağını ileri sürmelerine yol açmıştır (Alexander, 1964).

Gordon Pask, 1969'da Mimari Tasarım (Architectural Design) kitabında bir binanın sadece statik bir malzeme nesnesi olarak algılanmasının aksine, mimarlığın aktif sistemlerin bir derlemesi olarak anlaşılmasının temelleri olarak ifade etmiştir. Gordon Pask'ın bu entelektüel alanın ilerlemesinde önde gelen isimlerinden biri olduğu sibernetik disiplini, prensip olarak, sistemlerin düzenleme, kontrol, ayarlama ve amaca dayalı olduğunu ve geri bildirim yoluyla filtrelendiğini belirtir. Mühendislik, biyoloji, sosyoloji, ekonomi ve tasarım gibi farklı alanlara nüfuz eden disiplinler ötesi alan, döngüsel akıl yürütmeyi, çıktıları ilişkilendirmeyi, uyarlamayı ve kendi kendini örgütlemeyi vurgulayan bir düşünme paradigması kurar. Pask'ın birleştirici bir teori olarak tasarladığı ve burada mimarlıkla ilgili olan sibernetik, bilişimsel düşünmenin mimariyi çevresel, sosyal ve kültürel bir araç olarak algılama mantığına katkıda bulunur ve bu tür sistemleri hesaplayabilen, belirleyebilen ve tahmin edebilen tasarım süreçlerinin temel bileşenlerini önerir. Sibernetik teori, mimari tasarımın belirli yönlerini yapay zekâ bilgisayar programıyla taklit etmek mümkün olduğu sürece (bu arada, programın mimarlar hakkında ve mimarlardan bilgi edinebilmesi ve mimarların dilinde deneyler yapabilmeleri şartıyla) planları, malzeme özelliklerini, müşterilerin yorumlarının yoğunlaştırılmış versiyonlarını vb. keşfederek bazı açıklayıcı güç iddiasında bulunabilir (Pask, 1969).

1930'larda, modern bilgisayarlarda hesaplanabilen her şeyi de yakalayan kesin bir matematiksel hesaplama kavramı geliştirildi. Bununla birlikte, matematiksel hesaplama kavramı, doğal sistemlerde bilgi işlemeyi 'tanımlamak' için uygun ve çok

yararlı bir form olduğunu kanıtladı. Wiener (1948), insan gibi doğal sistemler de dahil olmak üzere kontrol sistemleriyle ilgilenen sibernetik disiplini tanıttı. Sonraki yıllarda, biyolojik sistemlerin hesaplamalı modelleri geliştirildi ve geleneksel çözümlerin hazır olmadığı çeşitli zor problemleri ele almak için kullanıldı. Doğal hesaplama modelleri üzerine yapılan araştırmalar, temel olarak bir yanda insan beyni ve nöronlarının modellerine, diğer yanda biyolojik evrimsel süreçlere odaklanmıştır. Evrimsel hesaplama, güçlü bir şekilde doğadan ilham alan başka bir alandır. Bu alana bağımsız olarak 1960'larda Fogel ve diğerleri tarafından öncülük edilmiştir (1966): Holland 1975, Rechenberg 1973. Son iki yazar, çalışmalarını geniş çapta erişilebilir bir biçimde ancak 1970'lerde yayımladı. Evrimsel hesaplamada, doğal evrim süreci bir rol olarak kullanılır. Belirli bir problem için optimal veya optimale yakın çözümleri bulmak için bir strateji modelidir (Hoffmann, 2001).

## 2.4 Hesaplama Teorisi

Hesaplama teorisi geleneksel olarak üç merkezi alana odaklanmaktadır:

**Otomata** (Automata), **Hesaplanabilirlik** (Computability) ve **Karmaşıklık** (Complexity)

Hesaplama teorisi şu soru ile ilişkilendirilmektedir: Bilgisayarların temel yetenekleri ve sınırlamaları nelerdir? (What are the fundamental capabilities and limitations of computers?) Bu soru, matematiksel mantıkçıların ilk başladığı 1930'lara kadar uzanmaktadır ve o zamandan beri teknolojik gelişmeler, hesaplama yeteneğini büyük ölçüde arttırdı ve bu soruyu teori alanından pratik ilgi dünyasına getirdi (Sipser, 1997, s.1).

### 2.4.1 Otomata

Otomata teorisi, matematiksel hesaplama modellerinin tanımları ve özellikleri ile ilgilenir. Bu modeller bilgisayar biliminin çeşitli uygulamalı alanlarında rol oynamaktadır. Sonlu otomat adı verilen bir model, metin işleme, derleyiciler ve donanım tasarımında kullanılır. Bağlamdan bağımsız dilbilgisi adı verilen başka bir model, programlama dillerinde ve yapay zekâda kullanılır. Otomata teorisi, hesaplama teorisi çalışmasına başlamak için mükemmel bir yerdir. Hesaplanabilirlik ve karmaşıklık teorileri, bir bilgisayarın kesin bir tanımını gerektirir. Otomata teorisi,



bilgisayar biliminin teorik olmayan diğer alanlarıyla ilgili kavramları tanıttığı için resmi hesaplama tanımlarıyla uygulamaya izin verir (Sipser, 1997, s.3).

#### **2.4.2 Hesaplanabilirlik**

Yirminci yüzyılın ilk yarısında Kurt Gödel, Alan Turing ve Alonzo Church gibi matematikçiler bazı temel problemlerin bilgisayarlarla çözülemeyeceğini keşfettiler. Bu olgunun bir örneği, matematiksel bir ifadenin doğru mu yanlış mı olduğunu belirleme problemidir. Sonunda gerçek bilgisayarların inşasına yardımcı olacak teorik bilgisayar modelleriyle ilgili fikirlerin geliştirilmesi vardı. Hesaplanabilirlik ve karmaşıklık teorileri yakından ilişkilidir. Karmaşıklık teorisinde amaç, problemleri kolay olanlar ve zor olanlar olarak sınıflandırmaktır; hesaplanabilirlik teorisinde, problemlerin sınıflandırılması çözülebilenler ve çözülmeyenler tarafından yapılır. Hesaplanabilirlik teorisi, karmaşıklık teorisinde kullanılan bazı kavramları tanıtır (Sipser, 1997, s.3).

#### **2.4.3 Karmaşıklık teorisi**

“Bazı problemleri hesaplama açısından zor ve diğerlerini kolaylaştıran nedir?” sorusu karmaşıklık teorisinin temel sorusudur. Karmaşıklık teorisinin şimdiye kadarki önemli bir başarısında, araştırmacılar problemleri hesaplama zorluklarına göre sınıflandırmak için zarif bir şema keşfettiler. Bu şemayı kullanarak, kanıtlanamasa bile, belirli problemlerin hesaplama açısından zor olduğuna dair kanıt vermek için bir yöntem gösterilebilir (Sipser, 1997, s.2).

#### **2.5 Biçim Gramerleri**

70'lerin başında, biçim gramerleri ilk olarak George Stiny ve James Gips tarafından tanıtıldı. 1971'in en iyi bilgisayar makalelerinden biri olarak yayınlanan “Biçim Gramerleri ve Üretken Belirtim” (Shape Grammars and Generative Specification) makalesi, Stiny'nin kendisi tarafından yapılan birkaç resim için bir dizi üretici kural getirdi. Stiny (2006), şekil gramerleri teorisi aracılığıyla tasarımın hesaplamanın anlamını görsel düşünceye genişlettiğini iddia eder. “Tasarım hesaplıyor” mottosu 1971'de de bir çıkış noktasıydı. Görsel bir ürünün arkasındaki mantık, bir kelime dağarcığı, bir dizi kural ve tasarımları “cümleler” gibi üreten bir dizi hesaplama ile dilbilgisine benzer bir biçimcilik kullanılarak tanımlandı. Stiny genellikle tasarım,

görsel akıl yürütme ve hesaplama terimlerini eşitler. Bu iddia, öncelikle tasarımın içinde akıl yürütmenin olduğu bir anlayışı dile getirmektedir. İkinci olarak, biçim gramerleri teorisinde, sıklıkla birbirinin yerine kullanılan hesaplama ve hesaplama terimleri yeni bir ışık altında görülür. Hesaplama ve hesaplamanın temelinde sayma vardır (Özkar ve diğ., 2008).

İlkel olarak şekil alan ve şekle özgü kuralları olan biçim gramerlerini kullanarak bir şekil oluşturma yöntemi sunulmaktadır. Birincil yapısal bileşeni olarak biçim gramerlerine sahip olan, temsili olmayan, geometrik resim veya heykellerin bir sınıfının eksiksiz, üretken belirtimi için bir formalizm tanımlanmıştır. Resimler, biçim gramerleri, üç boyutlu biçimlerin heykelleri tarafından oluşturulan iki boyutlu biçimlerin maddi temsilleridir. Görsel sanatlarda estetik ve tasarım teorisi için çıkarımlar tartışılır. Estetik, spesifikasyonel basitlik ve görsel karmaşıklık açısından ele alınır. Üretken özelliklere dayalı tasarımda sanatçı, yapısal ve malzeme ilişkilerini seçer ve ardından ortaya çıkan sanat nesnelerini algoritmik olarak belirler (Stiny ve diğ., 1971).

Biçim gramerleri ve parametrik biçim gramerleri arasındaki ayırım ise öklid (benzerlik) dönüşümleri ile simetri gruplarını kullanan uzamsal desenlerin incelenmesinde geleneksel olan diğer daha genel dönüşümler arasındaki olağan ayırımı yansıtır. Sonuç olarak, biçim gramerleri en iyi şekilde aritmetik veya geometrik seriler tarafından belirlenen orantısal ilişkilere sahip biçim dillerini tanımlamak için kullanılır. Parametrik biçim gramerlerinde izin verilen daha genel dönüşüm türleri, düz çizgileri korur, ancak bunların görelî boyutlarını ve aralarındaki açıları değiştirebilir. Parametrik biçim gramerleri, herhangi bir şekilde belirlenen orantısal ilişkilere sahip biçim dillerini tanımlamak için kullanılabilir. Bu anlamda parametrik biçim gramerlerinin değerini tam olarak anlamak için parametrik biçim grameri tarafından tanımlanan dilde sadece şekilleri üreten bir biçim dilbilgisi bulmaya davet edilir (Stiny, 1980).

### **3. MİMARİ TASARIMDA TEMSİL ORTAMI OLARAK HESAPLAMALI TASARIM VE DÖNÜŞÜMLER**

Geleneksel tasarımda tasarım düşüncesini aktarmak için kullanılan konvansiyonel yöntemler hesaplamalı tasarım kavramı ile dönüşmektedir. Daha iki boyut halde ifade edilebilen temsillerin hesaplamalı temsil yöntemleri ve sayısal tasarım araçları ile üç boyutlu ortamlara aktarılabilmesi sağlanmıştır. Bu durum mimari temsil ortamının ve tasarım süreçlerinin dönüşmesine neden olmaya başlamıştır.

#### **3.1 Temsil**

Temsil dilde, anlatıda, görüntüde, mimaride ve daha birçok disiplinler arası konuda her dönem için çeşitli fikirlerin ifade biçimi olarak kullanılmıştır. Tarih öncesi çağlarda dahi fikirleri ifade etmek için çeşitli imgeler kullanılmıştır.

Temsil zihinde oluşan imgeyi aktarmak için kullanılan her türlü araç ve yöntemlerdir. Mimari temsiller ise mimarlığın yapıtlarını betimleyen ve kuramsal birikimini aktarmak adına mimarlığın anlamsal varlığını indirgeyen ya da sıkıştıran temsil etme ifadeleridir (Kıyıcı, 2016).

Mimari temsiller, mimari fikirlerin dışlaştırılmasını sağlayan araçlardır. Mimari temsiller zihindeki düzenler ve onun başkalarına aktarılabilir hale gelmesine yardımcı olur. Mimari temsiller mimarların ya da tasarımcıların, fikirlerini zihinleri dışında başka bir ortamda görebilmelerini, deneyimleyebilmelerini ve sunabilmelerini sağlarlar (Sönmez, 2007). Mimari temsil, tasarımcılara ve halka mimari tasarımların ve mimari eserlerin önceden belirlenmiş hedeflere göre test edilebileceği, doğrulanabileceği ve değerlendirilebileceği bir yol sunar. Mimari temsiller, mimarların belirli amaçlara yanıt olarak ve mimari kriterlere göre, diğer alanlarla bütünleşik olarak geliştirilen çeşitli araçları kullanabilmelerini sağlar (Maller, 2003).

Geleneksel tasarımda mimari tasarım ürününün temsili için mimari ürün imal edilmeden önce mimari teknik kurallar göz önüne alınarak iki boyutlu plan, kesit,

görünüş çizimleri; malzemesi, boyutları ve iç mekân ilişkilerini yansıtan gerçek mekân algısına yaklaşmak için perspektif çizimleri; mimari ürünün belirli ölçeklerde küçültülmüş biçimini ifade etmek için maket gibi araç ve yöntemlere başvurulmaktadır (Yıldırım ve diğ, 2010).

Temsil farklı dönemlerde farklı araç ve yöntemler kullanılarak ifade edilmiş olup, bugün ise sayısal tasarım araçları ve hesaplamalı tasarım yöntemleri sayesinde mimari tasarım ürününün temsilde yeni bir döneme geçilmiştir. Yeni hesaplamalı tasarım yöntemleri ve düşünceleri sayesinde temsil şekilleri ve bilginin aktarım yöntemleri de dönüşmektedir.

### **3.2 Mimari Temsil**

Mimari tasarım ürünü sadece geleneksel yollarla daha iki boyutlu ortamlarda temsil edilebilirken sayısal teknolojilerin ve hesaplamalı tasarım modellerinin gelişimiyle temsil farklı anlamlar kazanmaya başlamıştır. Sayısal teknolojiler ve hesaplamalı tasarım yöntemlerinin getirdiği temsil ortamının tasarımcılara sağladığı potansiyellerin yanı sıra mimarlık üzerine olan algıları da değiştirmektedir. Mimari tasarım ürünü artık sadece fiziki sonuç ürün olmaktan çıkıp, sadece tasarlama sürecinin dahi deneyimlenebilir bir durum olduğunu ortaya koymaktadır.

Geleneksel tasarımda tasarımın temel ilkeleri olarak tümünden gelim ve tüme varım yöntemleri kabul edilebilir. Bütünden parçaya ya da parçadan bütüne olarak açıklanabilen bu yöntemler ayrı olarak avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Ünügür Bina Tasarımının Temel İlkeleri adlı kitabında geleneksel mimari tasarımda tümünden gelim ya da tüme varım yöntemlerinden birisinin seçilerek tasarım yapılabileceğinden; fakat seçilen her iki yöntem için de belirli avantajların yanı sıra dezavantajlarında olduğundan bahseder (Ünügür, 1989). Sayısal tasarım yöntemlerinden bahsederken ise geleneksel yöntemler olarak ifade edilebilen tümünden gelim ve tüme varım yöntemlerinin avantajları göz önünde bulundurulurken dezavantajlarının ise göz ardı edildiği söylenebilir. Tüme varımda tasarımcının tekilden tüme; parçadan bütüne doğru ekleyerek, toplayarak, mafsallandırarak, deneme-yanılma yordamı ile karmaşık bir tümel formu araması olarak açıkladığı tasarım yöntemi sayısal tabanlı ortamlarda yapılan tasarımın araçlarının sahip olduğu bir avantajdır. Diğer yandan ise tümünden gelimde sistematik çözümlerle bina bileşeni

açısından tümel formun test edilebilir olması konusu sayısal teknolojilerle sahip olunabilen olumlu yönlerden birisidir. Aynı zamanda geleneksel tasarımda tümden gelim ve tüme varım yöntemlerinin neden olabileceği; gelişme, yayılma, esneklik özgürlüğü tanımaması, kendi biçimini bulma olanaksızlığı ve ya tasarımcının parçaları bir araya getirmekte zorlanması gibi durumlar iki boyutta söz konusu iken sayısal teknolojilerle ifade edildiğinde bu durumları ortadan kaldırır. Sayısal tabanlı teknolojilerin getirdiği temsil ortamı, tasarımda biçim bulma konusunda daha serbest olmayı da sağlamaktadır.

Sayısal tasarımın mimarlık pratiğindeki 1990'lı yıllarda başlayan kuramsal söylemi gün geçtikçe önemli bir konu olmuş; tasarım ve mimari üzerindeki önemli etkilerden biri haline gelmiştir. Tasarım teorisinin evrimsel gelişimi bugün sayısal tasarımı benzersiz derecede önemli sonuçlar üretebilen, metodolojik olarak eşsiz bir tasarım biçimi olarak ayırt etmeyi sağlamış ve sayısal tasarımın özgün içeriğini tanımlanmıştır (Oxman, 2005).

### **3.3 Bilgisayar Destekli Temsil Ortamı**

Sayısal tasarım kavramının mimarlık literatürüne girmesiyle mimari tasarım ürününün temsilinde kullanılan araç ve yöntemler de farklılaşmaktadır. Sayısal teknolojilerle tasarım ürününün görselleştirme ve modellenmesinde çeşitli uygulamalar kullanılmaktadır. Kullanılan uygulamalar ilk olarak tasarım fikrini ifade etmek için kullanılır, yani tasarım bilgisini iki boyutta çizim veya eskizlerle sunar. Diğer aşamalarda ise tasarım ürününün üç boyutta algılanması için modellemeye başvurulur ve gerçekçi hale getirir. Oluşturulan temsil aynı zamanda kağıt üzerinde veya zihinde canlandırılmayan olasılıkları görerek, sonucun daha sağlıklı hale gelmesine yardımcı olur.

Temsil için yaygın olarak kullanılan uygulamaların sınıflandırması yapılabilir. Bu sınıflandırma bilgisayar destekli tasarım ve 3B modelleme, bina bilgi modellemesi, görselleştirme, parametrik tasarım ve üretim, simülasyon araçları başlıkları altında Çizelge 3.3.1'de toplanmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve 3B modelleme uygulamaları, modelleme ve tasarımın görselleştirmesi için kullanılır. Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) uygulamaları, model bazlı tasarım ve yapım için kullanılır. Render için görselleştirme uygulamaları

kullanılırken, parametrik tasarım yetenekleri için parametrik tasarımlı form oluşturma kullanılır. Hem görselleştirme motorları hem de bazı parametrik araçlar birlikte çalışabilir ve 3B modelleme uygulamaları tarafından kullanılır (örneğin, Grasshopper Rhino3D için bir eklentidir ve V-Ray, Rhino3D için bir oluşturma motoru olarak kullanılabilir). Simülasyon uygulamaları farklı türler için kullanılır; performans analizi, yapısal analiz (SAP20000), enerji modelleme (EnergyPlus ". Questo IDA ICE, IES vb.), gün ışığı simülasyonları (DAYSIM ve Radiance) ve termal analiz (THERM ve WUFO) vb. Tüm bilgisayar destekli mimari tasarım (Computer Aided Architectural Design - CAAD) ve bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design - CAD) sistemleri bir nesnenin geometrik ve diğer özelliklerine sahip veritabanı, görsel temsilleri değiştirmek için grafik kullanıcı ara yüzlerine sahiptir ve tümü, tasarımları standart ve standart olmayan bileşenlerden oluşturmak veya analiz etmek için kullanılır. Bilgisayar destekli mimari tasarım (Computer Aided Architectural Design - CAAD) ve bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design - CAD) sistemleri arasında iki fark vardır; bilgisayar destekli mimari tasarım (Computer Aided Architectural Design - CAAD) sistemleri, yapı parçaları ve inşaat bilgisine ilişkin açık bir nesne veri tabanına sahiptir ve mimari nesnelerin oluşturulmasını açıkça desteklerler. Komut dosyası oluşturma teknikleri, nesnelerin geleneksel olmayan bir şekilde değiştirilmesine izin verir; çünkü kullanıcılar, nesnelerin model tabanlı görünümünü doğrudan değiştirmeden, programlama kullanarak özelliklerini değiştirebilir. Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) sistemleri, yaşam döngüsünü oluşturan bina verilerini oluşturma ve yönetme sürecidir ve bina tasarımı ve inşaatı için 3B, gerçek zamanlı, dinamik modelleme yazılımı uygulamalarının kullanımına dayanır. Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) sistemi geometriyi, mekânsal ilişkileri, yapı bileşenlerinin özelliklerini ve miktarlarını içerir. Bina ve dozaj bilgilerinin sayısal bir formatta değiş tokuşunun yanı sıra, bina sürecinin sayısal temsillerine de izin verir. Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) uygulamalarında parametrik modelleme, parametrik nesnelere programlayarak veya komut dosyası oluşturularak gerçekleştirilebilir. Örneğin, Geometrik Tanımlayıcı Dil (Geometric Descriptive Language - GDL), ArchiCAD ve Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) yazılımında kullanılır ve nesnelere bu programlama dili kullanılarak tanımlanır. Kullanıcılar, Geometrik Tanımlayıcı Dil (Geometric Descriptive Language - GDL) aracılığıyla parametreleri değiştirerek

nesnelerin özelliklerini değiştirme yeteneğine sahiptir. Dynamo, Bina bilgi modelleme (Building Information Modelling - BIM) öğelerinin parametrik kontrolüne ve algoritmik düzenlemesine izin veren bir Revit eklentisidir (Aksamija, 2016, s.80-81).

**Çizelge 3.3.1:** Bilgisayar destekli mimari tasarım yazılımları ve kategorileri (Aksamija, 2016, s.80-81)

Bilgisayar Destekli Tasarım ve 3B Modelleme	Bina Bilgi modellemesi	Görselleştirme	Parametrik Tasarım ve Üretim	Simülasyon Araçları
Allplan	ArchiCAD	Atlantis	CATIA	bSol
AutoCAD	Digital Project	Flamingo	Dynamo	DAYSIM
Blender	Microstation		Generative Components	DesignBuilder
Bricscad	Revit	LightWave	Grasshopper	Ecotect
Caddie	Vectorworks	LuxRender	Maya	ENERGIEplanner
CINEMA 4D		Maxwell Render	SolidWorks	eQuest
DDS-CAD		mental ray	3ds Max	EnergyPlus
form Z		POV-Ray		IDA ICE
Google SketchUp		RenderMan		IES VE
Houdini		RenderWorks		SAP200
IntelliPlus Architecturals		VRenderZone		Radiance
Rhinoceros 3D		V-Ray		THERM
Spirit		YafaRay		WUFI

Sayısal modelleme ve animasyon programlarının kullanılması, mimaride geleneksel yollarla tasarlanamayan formların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Sayısal teknolojiler ile yeni biçimler, karmaşık formlar üretmek mümkün hale gelmektedir. Başlıca kullanılan tasarım metotları içinde parametrik tasarım, algoritmik tasarım, uzman sistemler gibi daha pek çok yöntem yer almaktadır.

### 3.4 Hesaplamalı Tasarım Kavramları

Sayısal tasarım yöntemleri mimari tasarım ürününün geliştirilmesinde bilgisayar destekli araçların kullanılması olarak ifade edilebilirken, tasarım geliştirilmesi adına çeşitli avantaj ve potansiyelleri barındırır. Hesaplamalı tasarım ise bilgisayar araçlarının kullanılmasının dışında, tasarımı geliştirmek için hesaplama kullanımını gerektirir. Hesaplamalı tasarım yaparken sayısal tasarım araçlarını kullanmadan da tasarım yapılabilir ya da her ikisi de eş zamanlı olarak kullanılabilir.

Tipik olarak, bilgisayarın mimari tasarımdaki rolüne ilişkin pozisyonlar iki kategoriye ayrılır. Birçok tasarımcı için bilgisayar, karmaşık formlar üretmelerini ve bunların gerçekleştirilmelerini daha iyi kontrol etmelerini sağlayan programları çalıştıran gelişmiş bir araçtır. Bu anlayışı benimseyen tasarımcılar için bilgisayar sadece tasarım sürecinde kullanılan bir araçtır ve süreçlerin geri planındaki ayrıntılara girmeyi gerekli görmezler. Birçok tasarımcı ilk bahsedilen kategoriye girmektedir; Terzidis ise bunun aksini düşünen diğer gruptandır. Tasarımda sadece modellemenin yani doğrudan programlamanın kullanılması yerine üç boyutlu programlarda bulunan yazılım dillerinin (yani Maya Embedded Language (MEL), 3dMaxScript ve FormZ gibi) kullanılarak tasarım amacının kodlanabileceği, bilgisayarla 3B formda tutarlılık, izlenebilirlik ve zeka oluşturulabileceğini söylemektedir. Bu sayede tasarımcılar komut dosyası dillerini kullanarak farenin ötesinde mevcut 3B yazılımın fabrikada ayarlanan sınırlamalarını aşabilirler (Terzidis, 2006). Bu da hesaplamalı tasarım yöntemleri ile mümkündür.

Hesaplamalı tasarımın diğer pek çok alanda olduğu gibi, tasarımdan üretime kadar tüm yönleri üzerinde etkisi vardır. Şimdiye kadar, çok tartışılan hesaplamalı tasarım süreçlerin nihayetinde mimarideki konvansiyonel süreçlerin yerini alıp almayacağı sorusu giderek eskimektedir. Bununla birlikte, bu geçiş aşamasının nasıl ortaya çıktığı sorusu, mimariye tasarımcıların karmaşık problemlerini çözmek için yeni model ve sistem yaklaşımları, yeni olasılıklar önerdiği için önemlidir. Hesaplamalı tasarıma özgü bu olasılığı tam olarak anlamak için, önce bilgisayar destekli tasarım (CAD– Computer Aided Design) ile hesaplamalı tasarım arasındaki kritik ayrımın açıklanması gerekmektedir.

Bilgisayar destekli tasarım (CAD – Computer Aided Design), bilgisayarı, tasarlanmış nesneyi veya mimariyi üç boyutlu olarak temsil edebilen; tasarımı noktalar, çizgiler,



yüzeyler ve katılardan oluşan bir metrik yapı olarak temsil eden geometrik bilgilere dayalı yerleşik tasarım süreçlerinin yararlı bir uzantısı olarak kullanır. Bilgisayar destekli tasarımda daha önce konvansiyonel olarak yürütülen çizim ve modelleme teknikleri artık sayısal tabanlı ortama aktarılıyor. Bilgisayar destekli tasarımda form ve bilgi eşzamanlı olarak oluşturulur ve kavramsal olarak ayrılmaz bir bütün oluşturur. Bilgisayar destekli tasarım yaklaşımı, bilgi toplama ve onu sembolik temsiline dayanır; bu sayede bilginin miktarı ve özgünlüğü çizim veya modelleme adımlarında başlangıçta sağlananları asla aşamaz. Bu bağlamda bilgisayar destekli tasarım, mimarların tasarım şeklini gerçekten değiştirmemektedir; sadece "bilgisayarlaştırılmış" iyi kurulmuş geometrik tanımlama yöntemlerini sunmaktadır (Menges, 2011). Bu durum da bilgisayarın mimari tasarım ürününün ifadesinin güçlendirmekle birlikte tasarım bilgisini başlangıçta olandan ileri taşımayacağı anlamına gelebilir.

Hesaplamalı tasarım temel olarak bilgisayar destekli tasarımdan farklıdır. Konvansiyonel tasarım yöntemlerinin bilgisayarlaştırılmasında bilgiler yalnızca derlenir ve ilişkilendirilir; hesaplamalı tasarım ise bilgilerden yeni bilgilerin oluşturulacağı şekilde açıklanabilir. Temsili bilgisayar destekli tasarımın doğasında var olan form ve bilginin uyumluluğunun aksine, hesaplamalı tasarım, oluşum süreci, üretilen form ve sonuçta ortaya çıkan performans arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarır ve bu karşılıkları tasarım sürecinin araçsal yönleri olarak tasarımcıya sunar. Özetle, bilgisayar destekli tasarımdan gerçek anlamda hesaplamalı tasarıma geçişin, nesnelerin modellenmesinden modelleme süreçlerine, şekil tasarımından davranış tasarımına, statik sayısal yapıların tanımlanmasından bilgisayar sistemlerini tanımlamaya geçişi gerektirdiği söylenebilir (Menges, 2011)

### **3.4.1 Algoritmik tasarım (Algorithmic design)**

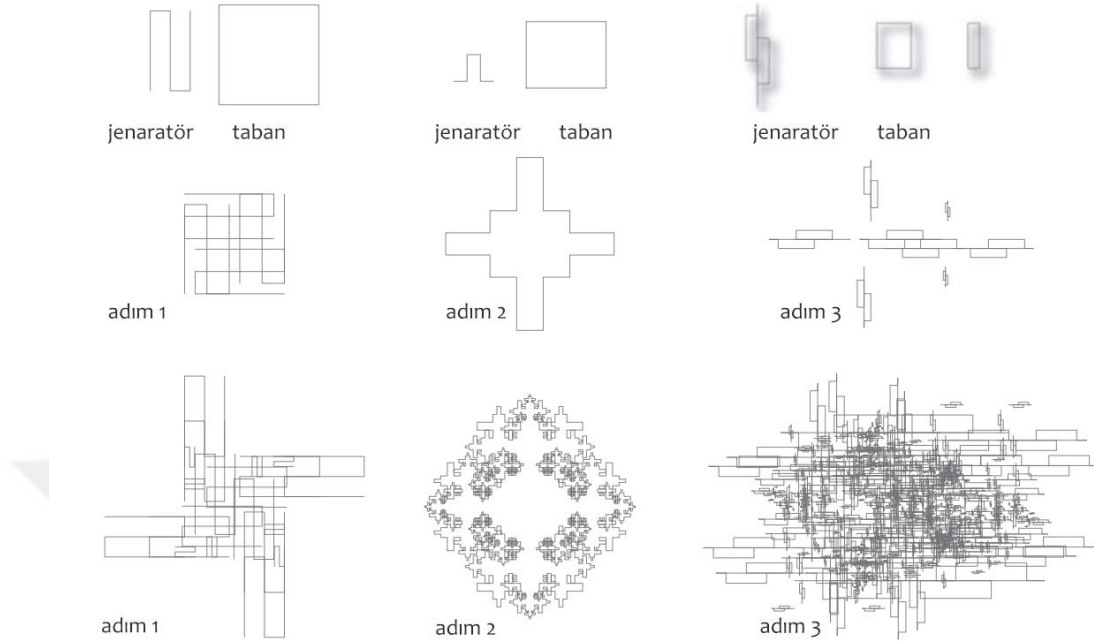
Algoritma kelimesi Arapça olup, Al-Khwarizmi adlı bir 8. yüzyıl İranlı matematikçisine atfedilen bir kavrama dayanmaktadır. Algoritma, bir problemi sonlu sayıda adımla ele alma sürecidir. Bilinen bir sorunu çözmek için stratejik bir planın veya kısmen bilinen bir soruna olası çözümlere yönelik rastlantısal sonuçların üretilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bunu yaparken, bir dizi sonlu, tutarlı ve rasyonel adım yoluyla sorunun kodlanması, tanımlanması işlevi görür. Çoğu algoritma, bir problem için belirli bir çözüm düşünülerek tasarlanırken, çözümü

bilinmeyen, belirsiz veya kötü tanımlanmış bazı problemler vardır. İkinci durumda, algoritmalar, potansiyel çözümlere yol açabilecek olası yolları keşfetmenin araçları haline gelir (Terzidis, 2006).

Geleneksel olarak algoritmalar, pratik problemleri çözmek için matematiksel veya mantıksal mekanizmalar olarak kullanılmıştır. Bilgisayarın icadı ile algoritmalar, bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilecek problemlerin uygulanması için çerçeveler haline geldi. Algoritmik tasarım farklılıkları ortadan kaldırmaz, ancak hem hesaplama karmaşıklığını hem de bilgisayarların yaratıcı kullanımını içerir. Mimarlar için algoritmik tasarım, tasarımcının rolünün "mimari programlamadan", "programlama mimarisine" geçmesini sağlar. Durdurulan çatışmalara yatırım yapmak yerine, bu alternatif seçim, hesaplama terimlerinden daha iyi faydalanabilir. Belki de ilk kez, mimari tasarım ne biçimcilik ne de rasyonalizm ile değil, akıllı biçim ve izlenebilir yaratıcılıkla uyumlu olabilir. Bir algoritma, insan zihni ile bilgisayarın işlem gücü arasında bir arabulucu olarak görülebilir. Bir algoritmanın çevirmen olarak hizmet etme yeteneği, iki yönlü olarak ya sorunu nasıl çözeceğini bilgisayara dikte etme aracı olarak ya da bir insan düşüncesinin bir algoritma biçiminde yansımaları olarak yorumlanabilir. Algoritma, bir bilgisayar tarafından gerçekleştirilmek üzere bir insan tarafından verilen bir dizi talimattır. Bu nedenle, bir algoritma ya bir problemin bir insan tarafından çözülecekmiş gibi ele alınacağını ya da bir bilgisayar tarafından anlaşılması için nasıl ele alınması gerektiğini tanımlayabilir (Terzidis, 2006).

Algoritmik tasarım konusu çoğunlukla fraktal kavramı üzerinden örneklendirilebilir; çünkü fraktallar, fraktal boyut olarak adlandırılan bir matematiksel parametredir. Fraktal, tipik olarak özyinelemeli veya yinelemeli bir işlemde yinelenen bir desen tarafından oluşturulan geometrik bir nesnedir. Genellikle, sonuç şekli, her biri orijinal şekle benzer olan parçalara ayrılabilir. Fraktal bir süreçte en az iki şekil vardır: bir taban ve bir jeneratör. Her yinelemede, jeneratör taban şeklinin her parçasının yerini alır. Teorik olarak bu süreç sonsuza kadar devam eder. Fraktal oluşturma algoritması, iki nokta arasındaki bir şekle uyan temel bir prosedürden oluşur. Takma işlemi, jeneratörün iki nokta arasına sığacak şekilde ölçeklendirilmesini, döndürülmesini ve çevrilmesini içerir. Şekil 3.4.4.1'de farklı jeneratörlerin oluşturabileceği fraktal örnekleri yer almaktadır. Bu algoritma mantığı

yer değiştirme koşulları çeşitli mimari şartları karşılayacak kadar karmaşık koşullar olabilir (örn. kamusal alan, güneşe maruz kalma, imar zarfı, vb.) (Terzidis, 2006).



**şekil 3.4.1.1:** Çeşitli fraktallar (Harvard Üniversitesi'nde Kostas Terzidis tarafından öğretilen GSD2311 dersi için K. Hopkins tarafından yapılan sınıf projesi) (Terzidis, 2006)

### 3.4.2 Parametrik tasarım (Parametric design)

Parametrik tasarım, tasarım amacı ve tasarım yanıtı arasındaki ilişkiyi tanımlayan, kodlayan ve netleştiren parametrelerin ve kuralların ifade edilmesini sağlayan algoritmik düşünceye dayalı bir süreçtir. Parametrik tasarım, karmaşık geometrilerin ve yapıların tasarımını yönlendirmek ve bilgilendirmek için elemanlar arasındaki ilişkinin kullanıldığı bir tasarım paradigmasıdır (Url-3).

Parametrik mimari söz konusu olduğunda, terimin kavramı ve kullanımı, bugünkü hesaplama süreçlerini kullanımından eskiye dayanmaktadır ve 1940'larda 'Architettura Parametrica' terimini icat eden İtalyan mimar Luigi Moretti'den kaynaklandığı görölmektedir. Mimari tasarım ve parametrik denklemler arasındaki ilişki, 1940-1942 yılları arasında 'Parametrik Mimarlık' ('Architettura Parametrica') başlığı altında, başlangıçta bilgisayarların faydaları olmadan; ancak 1960 yılına gelindiğinde, bir 610 IBM bilgisayarının yardımıyla, XII Triennale di Milano'da parametrik olarak tasarlanmış stadyum modellerini örnekleriyle ortaya çıkmaktadır (Frazer, 2016).

Bugün anlaşıldığı şekliyle parametrik tasarım, Moretti'nin 1940'larda tarif ettiğinden temelde farklı değildir; ancak terminoloji değişmiştir. Wassim Jabi'nin bir tanımı şöyledir: parametrik tasarım, tasarım amacı ve tasarım yanıtı arasındaki ilişkiyi birlikte tanımlayan, kodlayan ve netleştiren parametrelerin ve kuralların ifade edilmesini sağlayan algoritmik düşünmeye dayalı bir süreçtir (Frazer, 2016, s.20).

Kolarevic'e göre ise parametrik tasarım, formun değil belli bir tasarımın parametreleridir. Parametrelere farklı değerler atanarak farklı nesnelere veya varyasyonlar yaratılabilir. Nesnelere arasındaki ilişkileri tanımlamak için denklemler kullanılabilir; böylece ilişkisel bir geometri tanımlanabilir. Parametrik tasarım genellikle geometrinin işlemsel, algoritmik bir tanımını gerektirir; bu algoritmik değişkenler de matematik yazılımı kullanarak sayısız değişken tarafından sınırlandırılan matematiksel modelleri içerir. Parametrik tasarım, sabit çözümlerin reddedilmesini ve sonsuz değişkenlikte potansiyellerin araştırılmasını gerektirir. Parametrik tasarım yöntemiyle oluşturulan tasarım ürünleri sayısız modelin oluşmasını ve öngörülemezliğin kontrol altında tutulmasını sağlar (Kolarevic, 2003).

Antoni Gaudí'nin daha önceki çalışmaları da esasen parametrikdir. Bugün bu durum kendi yazılarından değil, halen İspanyol mimarın Barselona'daki tamamlanmamış Sagrada Família Bazilikası'nın amaçlanan biçimlerinin yeniden inşasına yardımcı olan Mark Burry'nin özenli ve anlayışlı analiz sonrası çalışmalarından görülebilmektedir. Sagrada Família tasarımıdaki parametrik hesaplama ise Gaudí'ye değil, daha çok Burry'ye aittir. Parametrik olarak tanımlanmış üç boyutlu formların daha eski örnekler olmasına rağmen, Moretti'nin sayısal hesaplama ile çözülen karmaşık bir parametrik ilişkiler seti kullanarak üç boyutlu mimari form yaratan ilk kişi olduğu görülmektedir (Frazer, 2016).

Gaudí'nin Sagra da Família tasarımı, mimari tasarım ürününün şekillenmesi sürecinin parametrik tasarım üzerinde bir örneği olarak gösterilebilir. Bu örnekte hesaplamalı tasarım, mimari tasarım süreci ile uygulama süreci arasındaki etkileşimin örneği olarak gösterilebilir. Sagra da Família örneği de Gehry örneğindeki gibi mimarın başta kâğıt üzerinde tasarladığı, yapımına başlanan; ancak hala tamamlanamamış bir yapıdır. Gehry de Bilbao'daki Guggenheim Binası tasarımını başta kâğıt üzerinde tasarlamış; ancak uygulama aşamasına geldiğinde nasıl olacağını öngörememiştir. Daha sonra sayısal araçlara başvurarak tasarımını hayata geçirebilmiştir.

Mimarın ölümünden sonra Burry, Grifoll ve Serrano, Sagrada Familia Kilisesi'nin unsurlarını sayısal temsil ortamında incelemiştir. Sayısal tasarım yönünden dolayı, Burry, Grifoll ve Serrano kitaplarında Sagrada Familia Kilisesi'nin bazı yapı ve tasarım öğelerini (sütunlar, pencereler, kubbeler, ana nefin çatısı, kutsallar ve kuleler gibi) el yapımı tasarımla birlikte sayısal tasarım ve fabrikasyon yaklaşımı ile vurgulamaktadır. Bu süreçler, el ile gerçekleştirildiği zamana kıyasla temsilin odağını değiştirir. Süreci programlarken, nesnelerin ve bunun gibi mimari öğelerin modellenmesi sürecin etkinliğini artırır, ancak soyutlama ve yorumlama düzeyini azaltır (Makert ve diğ., 2016). Şekil 3.4.2.1'de form oluşturma sürecinin kombinasyonları verilmiştir.



**Şekil 3.4.2.1:** Sagrada Familia Kilisesi'nde form oluşturma süreci için doğru değer kombinasyonunu bulma işlemi (Burry ve diğ. 2008: Makert ve diğ., 2016)

Hesaplamalı tasarım süreçleri, durumları test etmek ve değerlendirmek için daha kolay ve daha hızlı olma eğilimindedir; belki de en büyük avantaj, analiz, değerlendirme ve tasarımın doğrudan uygulamasındaki göreceli değişim kolaylığı arasındaki eşzamanlı etkileşimdir. Sayısal üretim olanakları ile ilişkili hesaplamalı

tasarım süreçleri, üretilecek projenin bir işareti olarak, mimari tasarımı geliştirmek için sürekli kontrol edilen inşaat yöntemlerinin geliştirilmesine izin verir. Yukarıdaki örnekte yer alan Sagrada Familia tasarımı hesaplamalı tasarım yöntemlerini benimseyen ya da üretimde hesaplamalı tasarım yönteminin kullanıldığı ilk projelerden birisidir ve bu örnekle hesaplamalı tasarım sayesinde neyin tasarlanabileceği ve neyin inşa edilebileceği arasında doğrudan bir bağlantı yaratmıştır (Burry ve diğ., 2008; Makert ve diğ., 2016).

Patrik Schumacher ise üslupsal bir yönelimi belirtmek için 'Parametriklik' terimini ve daha sonra, daha yakın zamanda, gerçek dünyadaki sosyal ve çevresel sorunları ele almaya odaklanan ikinci bir aşamayı vurgulamak için 'Parametrikçilik 2.0' terimini türetmiştir. Patrik Schumacher yayınladığı Parametrisizm manifestosu ile bu dönemin Modernizmden sonraki en büyük yeni stil olduğunu vurgulamıştır. Parametrikçilik, son avangart mimaride yeni bir tarzın ifade edilmesini haklı çıkaran küresel bir yaklaşımdır. Tarz, sayısal animasyon tekniklerine dayanmaktadır. En son iyileştirmeleri, gelişmiş parametrik tasarım sistemlerine ve komut dosyası oluşturma tekniklerine dayanmaktadır. Bu yeni tarz, nihayet modernizm krizinin doğurduğu ve Postmodernizm, Dekonstrüktivizm ve Minimalizm gibi bir dizi kısa ömürlü dönemle işaretlenen belirsiz geçiş dönemini kapatmaktadır. Schumacher'e göre parametrikçilik, modernizmden sonraki harika yeni stildir. Yeni stil, mimari ve iç tasarımdan büyük ölçekli kentsel tasarıma kadar tüm ölçeklerde geçerli olduğunu iddia etmektedir. (Schumacher, 2009).

### **3.4.3 Evrimsel sistemler (Evolutionary systems)**

Evrimsel tasarım sistemleri, doğal seçim yoluyla neo-Darwinci evrim modeline gevşek bir şekilde dayanmaktadır. Bir birey popülasyonu korunur ve yinelenmeli bir süreç, popülasyondaki bireyleri yaratan, dönüştüren ve silen bir dizi evrim adımı uygular. Her bireyin bir genotip temsili ve bir fenotip temsili vardır. Genotip temsili, tasarımın bir modelini oluşturmak için kullanılacak bilgileri kodlarken, fenotip temsili gerçek tasarım modelidir. Popülasyondaki bireyler etkinliklerine göre derecelendirilir ve bu değerlendirmelere göre çaprazlama ve mutasyon gibi 'genetik operatörler' kullanılarak yeni bireyler oluşturulur. Nüfusun bir bütün olarak gelişmesini ve uyum sağlamasını sağlamak için süreç birkaç nesil boyunca devam ettirilir (Janssen ve diğ., 2005).

Evrimsel mimariler, mimari form için üretim süreci olarak doğanın evrimsel modelini önerir. John Frazer'e (1995) göre bu tasarım yaklaşımında, "mimari kavramlar, evrim ve gelişimlerinin bilgisayar modelleri kullanılarak hızlandırılabilmesi ve test edilebilmeleri için üretici kurallar olarak ifade edilir. Çeşitli parametreler "string benzeri bir yapıya" kodlanır ve değerleri üretim sürecinde değiştirilir. Bir dizi benzer form, "sözde organizmalar" üretilir ve bunlar daha sonra önceden tanımlanmış "uygunluk" kriterlerine dayalı olarak oluşturulan popülasyonlardan seçilir. Seçilen "organizmalar" ve karşılık gelen parametre değerleri, daha sonra eşlik eden "gen çapraz geçişleri" ve "mutasyonlar" ile melezlenir, böylece faydalı ve hayatta kalma arttırıcı özellikler yeni nesillere aktarılır. Optimum çözümler, birkaç nesil boyunca küçük artımlı değişikliklerle elde edilir (Kolarevic, 2003).

Hesaplamalı optimizasyon için evrimsel stratejiler, kırk yılı aşkın bir süredir mühendislik ve bilgisayar bilimlerinde araştırılmaktadır. Burada kalıtım, üreme, genetik rekombinasyon, mutasyon ve seleksiyon gibi doğal evrim ilkeleri, hesaplamalı arama süreçlerine entegre edilmiştir. Hesaplamalı olarak bir problem, tanımlanmış bir problem içindeki tüm mevcut parametrelerin teorik uzayı olan bir arama uzayı olarak tanımlanabilir. Potansiyel çözümler, parametrelerin yinelemeli, stokastik örneklenmesiyle birçok nesil boyunca bireylerin popülasyonları olarak üretilir. Evrimsel algoritma, bu birçok çözüm arasından en iyisini izlemek için arama uzayında gezinir. Anahtar yönlerden biri, her oluşturulan bireyin, seçimi ve yeniden üretimi yönlendiren ve böylece gelişimi belirli bir hedefe yönlendiren önceden tanımlanmış uygunluk kriterlerine göre değerlendirilmesidir. Bu şekilde, evrimsel algoritmalar ve evrimsel hesaplama, esas olarak önceden belirlenmiş bir hedef fonksiyonuna dayalı olarak tahminsel optimizasyon süreçlerinde kullanılır. Bilinen problemler için optimize edilmiş çözümler üzerinde yakınsama niyetine dayalı olarak, bu süreçlerin deterministik, amaca yönelik karakteri, doğal evrimin deterministik olmayan, açık uçlu kalitesine zıttır. Doğal gelişim için çok önemli olan ön adaptasyon (önceden var olan yapıların yeni işlevler için kullanılması) gibi fenomenleri doğası gereği ihmal eder. Bugün evrimsel hesaplama, nispeten verimsiz bir optimizasyon süreci olarak anlaşılmaktadır; ancak genel bir performans seviyesini korurken, şimdiye kadar düşünülmemiş veya şimdiye kadar bilinmeyen olasılıkları

türetmede çok etkili olduğu kabul edilmeye başlanmıştır. Evrimsel hesaplamanın bu yaratıcı potansiyeli birçok alanda değerlendirilmiştir (Menges, 2011).

#### **3.4.4 Üretken sistemler (Generative systems)**

Cambridge Sözlüğü, üretkenliği " bir şey üretmek veya yaratmak için gerekli kapasite" olarak tanımlar. Bazı yazarlar üretken sistemleri tasarım çözümlerinin hem yaratım hem de üretim süreçlerinde esas olarak evrimsel tekniklere atıfta bulunan bir tasarım süreci olarak tanımlarken diğerleri kısıtlamaz. Üretken sistemler, evrimsel süreçlere çoklu ve muhtemelen karmaşık çözümler üreten algoritmik veya yönetilen tabanlı süreçlere dayalı bir tasarım yaklaşımı olarak kabul edilir. Ayrıca, bazı yazarlar algoritmik üretim, hücreyel otomatlar, evrimsel yöntemler, üretici sistemler, biçim gramerleri, L sistemleri, kendi kendine organizasyon, etmen tabanlı modeller ve sürü sistemleri gibi yaklaşımları üretken sistemlerin bir parçası olarak değerlendirir (Caetano ve diğ, 2019).

Üretken sistemler, girdi tarafından yönlendirilen beklenmedik değışim üretme kapasitesi olan teknolojilerdir (Kaynak: Url-4).

Üretken tasarım, tasarım disiplininin yalnızca ürünlerin yaratılması açısından değıl, aynı zamanda yaratım süreci açısından da doğal ilhamı uygulamaya yönelik ilgisini temsil eder. Üretken tasarım çözümleri, gerçek (örneğin fiziksel) modelleme, üretim veya uygulamadan önce erken değerlendirmelere izin veren sayısal temsiller biçiminde ortaya çıkar. Bu açıdan, üretken tasarım, tasarımları en kör ve vicdansız yollarla deneyen, üreten ve söndüren doğal ilhamından hayati bir şekilde farklıdır. Bilgisayar destekli üretken tasarım, veri işleme, iletişim prosedürleri ve ekipmanla kolayca entegre edilebilir. Sonuç olarak üretken tasarımın; matematiğı, programlamayı ve bilgisayarları kullanmak için iyi nedenleri vardır ve genellikle sayısal araç yapımını içerir (Fischer, ve diğ, 2001).

Performansa dayalı üretken tasarım sistemleri, üretken sistem yöntemlerinin uygulanmasına iyi örneklerdir. Bu sistemlerde tasarımcı bir performans hedefi belirler ve bir algoritma istenen hedefe en iyi yaklaşan tasarım çözümlerini bulur (Caetano, ve diğ, 2019).



### **3.4.5 Uzman sistemler (Expert systems)**

Uzman sistemler, belirli bir uzmanlık alanında, gerçek kişilerden derlenen bilgileri temel alarak sebepten sonuca veya sonuçtan sebeplere ulaşabilen sistemlerdir. Bu programlar, belirli bir problem hakkındaki bilgiyi çözümleyen, problemlere çözümler sağlayan, tasarımına bağlı olarak düzeltmeleri yapmak için bir iş dizisi öneren programlardır. Sistem çıkarım motoru kullanarak bilgi tabanı üzerinde çözümlemeler yaparak uzmanlık gerektiren soruları cevaplar (Kaynak Url-5).

Yapay Zeka (AI), kendi alanındaki alanlardan biri olarak uzman sistemlere sahiptir. Yapay zeka, kendisini neredeyse faydalı veya ilginç görevlerin yerine getirilmesinde bilgisayarların, sensör sistemlerinin ve diğer teknolojilerin kullanılmasıyla bir dereceye kadar insan zekasının kopyalanması olarak tanımlar (Leondes, 2002).

Uzman Sistemler, problem çözümede yapay zekanın önemli alanlarından biridir. Bilgi Tabanlı Uzman sistemler, özellikle sentez, değerlendirme ve modelleme ve karar verme sürecini içeren tasarım faaliyetlerinde olduğu gibi, bilgisayarın kötü yapılandırılmış ve deterministik olmayan problemlerin çözümüne yardımcı olmasını sağlar (Janjanam, ve diğ, 2020).

## **3.5 Hesaplamalı Tasarımın Mimari Tasarımda Dönüştürdükleri**

Mimari tasarım ürünü sayısal tabanlı teknolojiler ile temsil edilmeye başladığında oluşan ürünler zihinde tasarlanamayan ürünlerin dönüşmüş halleri ile sonuçlanabilir. Kullanılan araç ve yöntemler geleneksel tasarımdan farklı olarak bir tasarım sürecinin sonucu olarak ortaya çıkmakta; bu durum başta öngörülemeyen formların analizler ve tasarım metotları sayesinde farklılaşması ve sürecin sonucu olarak dönüşümün yaşanmasını sağlamaktadır.

### **3.5.1 Temsilin Dönüşümü**

Mimari tasarımda, tasarlanan olgular genellikle simüle edilmiş, yapay olarak tasarlanmış fikirlerdir, fiziksel ortamlara çeşitli temsil modları, özellikle görsel modlar aracılığıyla hitap ederler. Mimarlık tasarımın ürünü, bütün, tamamlanmış bina olarak düşünülürse, o zaman çizimler mimari değildir; eğer mimarlık tasarım süreci olarak tanımlanırsa o zaman birçok formda temsiller vardır (Maller, 1991).

Kolarevic, dönüşümü sayısal morfogenez olarak tanımlamaktadır ve mimari tasarımda sayısal medyanın giderek görselleştirme için temsili bir araç olarak değil, formun türetilmesi ve dönüştürülmesi için üretken bir araç olarak kullanıldığını söylemektedir. Hesaplamalı tasarım, hesap temelli form oluşturma ve dönüşüm işlemleriyle yani sayısal morfogenez süreci ile tanımlanır (Kolarevic, 2003).

### **3.5.2 Sürecin Dönüşümü**

Mimari tasarım ürünü artık sadece sonuç ürünün, ortaya çıkarılmış veya uygulanmış olanı değildir. Mimarlık üzerine olan düşüncelerde gün geçtikçe değişmekte; yeni düşünsel yaklaşımlar doğmaktadır. Tasarım ürününün kendisi kadar, ürün ortaya çıkıncaya kadar geçen süreç ve başvurulan yöntemler de önemli olmaya başlamıştır. Tanyeli de sonuç ürünün nasıl olması gerektiği üzerine değil, mimarlık eyleminin nasıl yürütüleceği üzerine düşünmek gerektiğinin öngörüldüğünden, mimarlık ürününü merkeze almak yerine, mimari eylemi, mimari pratikleri ve mimarın varlık alanının merkeze alan bir düşünce biçiminin gündeme geldiğinden bahsetmektedir (Tanyeli, 2017).

Sayısal tasarım teknolojileri ile oluşturulan modeller aynı zamanda tasarım süreci içinde tasarım kararlarının verildiği ve biçimin araştırıldığı temsil araçları haline gelmiş, bu durum tasarımın her aşamasında mimarın sonuç ürünü görerek süreci değerlendirmesine ve dönüştürmesine olanak sağlamaktadır. Dönüşen kişisel süreç, fikir araştırmanın yeni yollarını ortaya çıkarmış, fizikselden sayısala, sayısaldan fiziksele iki ve üç boyutlu dönüşümler, sayısal teknolojiler sayesinde mümkün hale gelmiştir (Turan, 2011).

### **3.5.3 Üretim İlişkilerindeki Dönüşüm**

Sayısal tasarım ve sayısal üretim kavramları üzerinden mimari temsilin dönüşümü sayısal fabrikasyon yani sayısal üretim ile ilişkilendirilebilir. Sayısal üretim, sayısal verilerin çeşitli parça geometrileri oluşturmak için üretim ekipmanını doğrudan yönlendirdiği bir tasarım ve üretim iş akışıdır. Bu veriler çoğunlukla bilgisayar destekli tasarımdan gelir ve daha sonra bilgisayar destekli üretim (CAD-CAM akışı) yazılımına aktarılır. Bilgisayar destekli üretim yazılımının çıktısı, 3B yazıcı veya CNC freze makinesi gibi belirli bir eklemeli ve çıkarmalı üretim aracını yönlendiren verilerdir (Kaynak: Url-6).

Hali hazırda mevcut olan ancak genellikle inşaat işlerinde yeterince kullanılmayan bilgisayar kontrollü üretim araçlarının kullanımı, yenilikçi ve aynı zamanda inşaat mantığına bağlı kalan bir tasarım özgürlüğü için yeni fırsatlar sunmaktadır. Malzeme elemanı ve imalat makinesi, yapım sürecini bilgilendirir ve tasarım süreci için parametreler ve kısıtlamalar sağlar. İmalatla ilgili kararların kodlanmış tasarımlara entegrasyonu, mimarın tekil malzeme öğeleri arasındaki karmaşık etkileşimleri kontrol etmesine olanak tanır ve işleme verilerinin doğrudan oluşturulmasını kolaylaştırır. Bu, geometrik elemanların çizilmesinden malzeme bileşenlerinin ve bunların montaj mantığının tanımlanmasına doğru gelişen tasarım programlamasının temeli olarak malzeme özelliklerinin yanı sıra mimarın fiziksel koşullarının anlaşılmasını gerektirir. Böylece sayısal ile malzeme arasında tasarım odaklı bir ilişki ortaya çıkabilir (Gramazio ve diğ, 2010).

Sayısal üretim ve hesaplamanın bağlantısı, üretim verilerinin anında programlanmasını sağlar ve tasarımı doğrudan mimarın yapımıyla ilişkilendirir. Sonuç olarak mimar, inşaat sürecini en küçük ayrıntısına kadar tamamen kontrol edebilir. Bu, yapı bileşenlerinin, öncelikle bileşenleri ve bunların bağlantılarını oluşturan geniş bir dizi bağımsız parçadan oluşan bilgi düzeyinin artırılmasını sağlar. İkincisi, işlevsel ve maddi yönler hakkında bilgi içerebilir. İş akışının salt rasyonelleştirilmesi, tasarım ve fabrikasyonun karşılıklı bağımlılığından doğabilecek yaratıcı potansiyeli ortadan kaldıracaktır. Yeni bir tasarım alanı, yalnızca artan malzeme ve üretim parametrelerini basit ve yönetilebilir yöntemlerle kapsayan detay sistemlerinin yapılandırılması yoluyla gelişebilir. Bu, bir inşaat sürecinin belirli özellikleriyle tasarım yapılmasına ve aynı zamanda sürecin kendisini şekillendirmesine olanak tanır. Bu durumda, kesin sayısal tasarım ile fiziksel dünya arasında büyük bir fark olduğunun farkında olunmalıdır. Geometrik ve üretim verileri, yerçekimi veya malzeme özellikleri gibi fiziksel koşullar hakkında bilgi içermez. Tersine, bu, parametrik tasarım sürecinin başlangıcında fiziksel gereksinimlerin önceden tahmin edilmesi ve malzeme koşullarının yanı sıra montaj mantığının kodlama için temel olarak kullanılması anlamına gelir (Gramazio ve diğ, 2010).

Geleneksel tasarımın yanı sıra sayısal tasarım diğer disiplinlerle bütünleşmiş çalışma imkânı sunmakta; böylece tasarım ürünü en başından itibaren üretim aşaması ile birlikte düşünülmektedir. Sayısal tasarım süreci, tasarımın üretime sorunsuz bir

şekilde birleştirilmesini ifade eder. Sayısal üretim bir 3B modelleme yazılımından bilgisayar kontrollü bir makineye doğrudan veri aktarımını içerir. Hesaplamalı kavramlara dayalı sayısal tasarım ve üretim stratejileri kullanır. Bunlar, doğrudan 3B sayısal modellerden küçük ölçekli modellerin ve tam ölçekli bina bileşenlerinin üretilmesine izin verir (Oosterhuis, 2004).

Sayısal üretim aynı zamanda, değişken, tekrarlayıcı olmayan tasarıma olanak tanır. Sayısal tasarım olanakları sayesinde zihindeki imgenin aktarımı daha başarılı sayılabileceği için oluşan ürünler de özgün ve üretime girdiğinde her zaman için daha uygulanabilir olmaktadır; ancak buradaki üretim ve uygulanabilirlik yalnızca yapısal olarak düşünülmemelidir. Sayısal üretim aynı zamanda animasyon mimarlığını ya da sanal üretim başlıklarını ifade edebilir.

### **3.5.4 Bilişsel Dönüşüm**

Bilişsel modellerin kökenlerinden parametrik tasarım düşüncesine kadar tasarım düşüncesi modellerinin kronolojik evriminin sistematik teorik analizi ve tanımı, tasarım düşüncesi modellerinin evrimindeki hem sürekliliği hem de değişimi gösterdi. Geleneksel kağıt tabanlı medyadan hesaplamalı medyaya geçiş, parametrik tasarım düşüncesinde medya ile ilgili yöntem, ilke ve tekniklerde önemli bir değişiklik ile yeni ufuk açan bilişsel kavramları getirmiştir. Bu bilişsel kavramlar: parametrik tasarım modelleri ve araçları, mimari bilginin bilişsel ve hesaplamalı modelleri, sayısal tasarım süreç modelleri şeklindedir (Oxman, 2017).

Mimari tasarımdaki dönüşümler bugün mimaride sayısal teknolojilerin deneysel tasarıma olanak vermesi ile yeni malzemelerin kullanılabilirliği ile de sonuçlanmaktadır. Bu dönüşüm aynı zamanda malzeme ve üretim teknolojilerinin entegrasyonu ile materyalizasyon süreçlerini meydana getirir. Oxman (2017), parametrik tasarım düşüncesi ve malzeme üretimi konularının entegrasyonu üzerine olan çalışmalarında bu süreci form, yapı ve malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler üzerinden tanımlamaktadır. Mimaride geleneksel tasarımda süreç biçim-yapı-malzeme şeklinde ilerlerken, parametrik tasarımla malzeme-yapı-biçim şeklinde dönüşmektedir. Geleneksel tasarımda malzeme seçimi form ve yapı tasarımını takip ederken, bugün sayısal üretim sayesinde malzeme seçimi tasarımın başlangıcını oluşturabilmektedir. Hesaplamalı form oluşturma sürecinde, bilgi doğrudan materyalizasyon süreçlerini yönlendiren kontrol verilerine çevrilir. Sayısal tasarım

teknolojileri ve üretim teknolojileri arasındaki iletişim mimarlık ve diğer tasarım disiplinlerinde yeni tasarım düşüncesi yolları da yaratmaktadır (Oxman,2017).





#### 4. HESAPLAMALI TASARIM KAVRAMININ GELENEKSEL ÇADIR FORMU ÜZERİNDEN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mimarlık veya mimari, binaları ve diğer fiziki yapıları tasarlama ve kurma sanatı ve bilimidir. İnsanların yaşamalarını kolaylaştırmak ve barınma, dinlenme, çalışma, eğlenme gibi eylemlerini sürdürebilmelerini sağlamak üzere gerekli mekânları, işlevsel gereksinimleri ekonomik ve teknik olanaklarla bağdaştırarak estetik yaratıcılıkla inşa etme sanatı; başka bir tanımlamayla, yapıları ve fiziksel çevreyi uygun ölçülerde tasarlama ve inşa etme sanat ve bilimidir. İnsanlık tarihinin her döneminde önemli olmuştur. Dini yapıların tanrıya ulaşma arzusundan, iktidarı simgeleyen saraylara ya da bir kentin dokusunu oluşturan basit konut tiplerine kadar her türlü açık ve kapalı mekânı tasarlar (Kaynak Url-7).

Tarih boyunca kültürün aktarımında en önemli öğelerden birisi olan mimarlık, 1930'lu yıllara kadar konvansiyonel yani geleneksel tasarım yöntemleri ile ortaya çıkarılmıştır. Tarih öncesi çağlardan bugüne kadar Mısır, Yunan, Antik Roma, Rönesans, Modern Mimarlık ve daha fazlası gibi pek çok mimari farklı kültürlerin anlayışlarını ifade etmede önemli bir araç olmuştur. 1930'lu yıllardan önce ortaya çıkarılan mimari eserler bilgisayar teknolojileri kullanılmadan geleneksel yollarla üretilmiş ve pek çok eser halen tarihi öneme sahiptir. Bugün bahsedilen hesaplamalı tasarım yöntemleri ile üretilen mimari öğeler ise geleneksel eserlerden mimarlık bilgisinin işleniş biçimi olarak ayrılrsa da mimari değer olarak öncekilerle eş değer görülmelidir.

Stiny'nin savunduğu hesaplama kavramının bilgisayar teknolojilerine ihtiyaç duyulmadan da var olabileceği gerçeği; geleneksel tasarım örneklerindeki tasarım mantığının aslında hesaplama kavramının varlığından habersiz ama hesaplama metodolojisiyle üretildiği gerçeği şeklinde yorumlanabilir. Konvansiyonel yollarla üretilmiş dönemi için önemli görülen mimari tasarım örnekleri bugün üretilmiş olsalardı hesaplamalı tasarım araç ve yöntemleri ile kolay birer modeli ortaya koyulabilirdi ve yine aynı değere sahip olurlardı. Hesaplama bir yöntem olmakla beraber konvansiyonel örneklerin oluşturulma matematiğini sadece bilgisayar

programlamaları ile ifade etmek ve üretimini kolaylaştırmak için kullanılabilir. Diğer yandan hesaplamalı tasarım mimari dönem olarak yeni bir dönemin başlangıcı olmaktan öte dönemin özelliklerini ortaya çıkarmak için potansiyelleri görmeyi sağlamaktadır. Bu bağlamda farklı dönemlerden seçilmiş geleneksel tasarım örneklerindeki bilginin işleniş metodolojileri hesaplamalı yollarla yeniden ifade edilebilir.

Bu çalışma form bulma mimarisi üzerinden geleneksel çadır formu olan kara çadır formu üzerine odaklanmaktadır. Kara çadır, form ve kuruluş metodolojisi olarak bugün malzemenin potansiyellerine odaklanan ve denge formunun bulunması sonucu ortaya çıkan germe yapıları mantığına dayanmaktadır dolayısıyla form bulma mimarisinin temellerini oluşturmaktadır. Bu bağlamda göçebe mimarisinde önemli yer tutan kara çadır formunun konvansiyonel yollarla üretilmesi ve germe yapıları mantığının temeline dayanması hesaplamalı tasarımın mimari tasarımda yarattığı dönüşümleri incelemeye kaynaklık edebileceği düşünülmüştür. Kara çadır formunun hesaplamalı modelinin oluşturulmasıyla mimarideki temsilinin, tasarlama ve kurulma sürecinin aynı zamanda üretime için optimal formun seçilme sürecinin nasıl dönüşebileceği seçilen form üzerinden değerlendirilmeye çalışılmaktadır. Diğer yandan kara çadırdaki kullanılan malzemenin dokuma özelliğine sahip bir ürün olması bugün form bulma mimarisinde en önemli yeri tutan membran yapıların malzeme özelliğiyle de örtüşmektedir. Dolayısıyla form bulma üzerinden malzeme ve yapı ilişkisini incelemede kaynaklık edebilecek potansiyeli de barındırmaktadır.

Form bulma mimarisinde bilişsel dönüşüm başlığı altında bahsedilen biçim-yapı-malzeme sıralamasının yerini malzeme-yapı-biçim sıralamasının aldığı ifadesine bırakır. Form bulma mimarisinde malzemenin potansiyelleri formun tasarlanmasında önemli yer tutar. Çalışmanın devamında yer alan kara çadır formunun algoritması başta sadece var olan formun oluşturulması ve belli parametrelerin değiştirilmesiyle oluşabilecek çeşitli varyasyonlarını ortaya koyar. Ancak bugün malzeme teknolojilerinde yaşanan gelişmeler sayesinde malzemenin sahip olduğu potansiyeller göz önünde bulundurulursa malzeme seçimi de formun oluşumunda değişken kabul edilebilir. Çalışmanın sonraki adımında yer alan algoritma ise form oluşumuna etki eden malzeme özelliklerinin algoritmaya eklenmesiyle devam eder. Bu sayede oluşturulan simülasyonla elde edilebilecek form varyasyonları malzeme seçimine göre oluşabileceği gibi istenilen ideal forma ulaşmak için gerekli olan



malzeme bilgileri istenilen formun sonucu olarak da elde edilebilir. Bunun için bir takım optimizasyon adımları algoritmaya eklenmiştir. İdeal koşullar altında oluşturulan formun, forma etki edecek yükler altında deforme olmaması için malzeme verilerinin değiştirilmesini gerektirir. İlk aşamada elde edilen form ve etki eden fiziki koşulların sonucu olarak ideal forma ulaşmak bir optimizasyon çalışmasını yapılmıştır. Kara çadır formunun simülasyonu için oluşturulmuş algoritmada form bulma metodu için Grasshopper Kangaroo eklentisi kullanılırken, optimizasyon çalışması için Grasshopper Galapagos eklentisi kullanılmıştır.

Bugün germe yapılarında malzeme olarak membranlar sahip olduğu potansiyeller nedeniyle kullanılmaktadır. Germe mantığıyla çalışan formların sayısal temsillerinin oluşturulması için Easy adı verilen bir yazılım geliştirilmiştir. Easy yazılımı form oluşturulması, formun statik analizleri, gerekli malzeme verilerine ulaşmak ve üretime hazırlamak için kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan algoritma ile elde edilen kara çadır formları ile gerçek verilere göre çalışan Easy yazılımı ile elde edilen formlar çalışmada karşılaştırılmaktadır. Bu sayede var olan yazılım teknolojisi ile çalışmada yer alan algoritmanın ilişkisi ve farkları ortaya koyulabileceği gibi, form bulmada kullanılan yazılımlarda eksik ve geliştirilmeye değer yönler ortaya koyulabilecektir.

#### **4.1 Form Bulma Mimarisi**

Geleneksel yaklaşım, doğal sistemlerin süreçlere dayandığı ve koordinasyonun başlangıçta düzensiz olan sistemlerin bileşenleri arasındaki etkileşimlerden ortaya çıktığı bir form bulma yerine, kişisel görselleştirmelere dayalı bir şekil bulma tasarım yaklaşımını teşvik eder. Bu durumda öncelikle form bulma ve şekil bulma kavramları arasındaki farkın ayırt edilmesi gerekir. Form bulma sürecinde tasarımcı, yapı projesini organize etmenin yollarını ortaya çıkarmak için doğadaki süreçlere bakar. Optimum form ve dinamik uyarlanabilirliği keşfetme yeteneği üzerine bir çalışmadır. Formun güzelliğinin tasarlanması gerekmez; daha ziyade gelişmiş doğal formlardan ortaya çıkan bir özellik haline gelir. Bununla birlikte, merak sadece estetikte değil, aynı zamanda formların görünüşte plansız, çok sayıda ölçekte ve geniş bir malzeme yelpazesinde ortaya çıkma biçiminde yatmaktadır. Doğadaki örüntü, yeni mimari tasarım yöntemlerinin araştırılması için çok çeşitli olanaklar sunar (Goldsmith, 2014).

Mimari tasarım bilimi temelde biçim bulma bilimidir: mimarlar mimari katılara (zarf) ve boşluklara (eylemlerin gerçekleştiği alan) şekil vermeye çalışırlar. Bu konuyu önemli kılan şey, aynı aracın farklı bina tiplerine uygulanmasının farklı yolları ve aynı araştırma alanının farklı araçlar aracılığıyla keşfedilebilmesidir (Williams, 2022).

Hem çağdaş hem de gelecekteki yatırımların karlılığı için temel gereksinimler, tasarımcıların anlayabileceği yeni optimizasyon araçlarıdır. Erken tasarım aşamasında mimarlar ve yapısal tasarımcıların işbirliği olarak anlaşılan “tasarım mühendisliği”, çözümlerin etkinliğini ve rasyonalizasyonunu artırmaya olanak tanır. Hesaplamalı teknolojiler, evrim, adaptasyon, mutasyon, genetik kodlama veya morfogenetik gibi sorunlardan yararlanmak için yeni araçlar elde etti. Doğada gözlemlenen fenomenlerin kullanımı ve tasarımcı ortamı tarafından anlaşılabilir genetik algoritmalara çevrilmesi, bunların mimaride kullanılmasına izin verdi. 20. ve 21. yüzyılın başında görülen bilgisayar destekli tasarımın gelişimi, hesaplama yöntemlerini geliştiren birçok aracı ortaya çıkardı ve ilk tasarım aşamasında “form kuvveti takip eder (form follows force) ilkesine göre şekiller oluşturan algoritmaların geliştirilmesine olanak sağladı. Topolojik optimizasyon, yalnızca yapının hesaplama yöntemlerinin değil, aynı zamanda diğerlerinin yanı sıra fabrikasyonun otomasyonunun da iyileştirildiği bir teknoloji haline geldi. Nano ölçekte malzemelerin özelliklerini araştırmak, minimum enerji kullanmak ve gelişmiş geometri ile yapıları optimize etmek için biyonomilerden ilham almak mümkün hale geldi. Matematiksel algoritmaların bilgisi ve etki eden kuvvetler arasındaki ilişkiler, doğada bulunan kalıplarla tanımlanır, çağdaş tasarımın temel bir aracıdır (Dixit, ve diğ., 2020).

Geleneksel form yaratma biçimleri, mimari formun niteliksel, bilişsel ve algısal yönlerine önemli bir ağırlık vermiştir. Mimarlık tarihi boyunca, bu fikir logosentrik çalışma modlarını ve teorileri destekledi ve bu da sırayla tipoloji ve şekil dilbilgisi gibi biçime yönelik görüntü temelli yaklaşımları teşvik etti. 1960'ların sonlarından başlayarak, bilgisayarların mimari tasarıma girişi, nicel veriler kullanarak mimari form oluşturmak için bilgisayarların kullanılması olasılığını ortaya çıkardı (Grobman, ve diğ., 2011).

## 4.2 Form Bulma Metotları

Mimari formların üretilmesi, çeşitli tekniklere veya biçimlendirme metodolojilerine dayanmaktadır. Bununla birlikte, tüm bu teknikler ya bir form oluşturma sürecinden ya da bir form bulma sürecinden türetilmiştir. Sezgi ve öngörülemezlik, biçim oluşturma sürecinin özüdür. Form oluşturma, fikirleri doğrudan formlara dönüştürme sürecidir. Tesadüf ve mantıksız veya taklit ve metafor kullanma ile karakterize bir oluşturma sürecidir. Matematiksel kurallar, tarih boyunca sanatta ve mimaride form oluşturma sürecinde her zaman önemli bir rol oynamıştır. Böyle bir kural tabanlı veya kısıtlı form arama metodolojisinin kullanılmasına form bulma süreci denir. Matematik ve bilgi teknolojileri arasındaki karşılıklılık, işlevsel çözümlerin varyantlarını oluşturmak, taslak oluşturmak, modellemek ve sunmak yerine, aynı zamanda formlar üretmek yerine farklı etkinliklere sahip yeni matematiksel araçları detaylandırır. Bu yaklaşım, form oluşturma işlemiyle bilinir. Mimari biçimlendirme sürecinde tek yönlü bir süreçte yalnızca kurallar ve algoritmalar kullanmaktan, herhangi bir tasarım aşamasında herhangi bir parametreye geri dönmek ve onu geliştirmek ve değiştirmek için kaydedilebilen tam bir parametrik denklem yelpazesi kullanmaya kadar geliştirilmiştir. Günümüzde formlar parametreleri ve işlevi takip etme eğilimindedir (El İraqi ve diğ, 2017).

Form bulma, bilgisayar simülasyonlarına veya sayısal modellere dayalı bir form bulma işlemidir. Form bulma işleminde, formun belirli yükler altında optimum geometriye ulaşması belli parametrelerle kontrol edilir. Form bulma, bir başlangıç geometrisi ile daha sonra sayısal veya hesaplamalı simülasyonlardan gelen geri bildirimlerle güncellenen sürekli bir süreçtir. Form bulmanın ardından farklı amaçlarla optimizasyon yapılabilir. Bu hedefler ağırlık, malzeme ve sehim minimizasyonu ve rijitlik maksimizasyonu olabilir. Ayrıca bu optimizasyon form optimizasyonu, topoloji optimizasyonu ve boyutlandırma optimizasyonu olabilir.

## 4.3 Göçebe Mimarisi

Göçebelik, sürekli aynı yerde yaşamayan, döngüsel veya periyodik olarak hareket eden halkların yaşam tarzıdır. Göçebelik, sınırsız ve yönsüz dolaşmayı ima etmez; daha ziyade, istikrarı gıda arzının mevcudiyetine ve onu kullanma teknolojisine bağlı olan geçici merkezlere dayanmaktadır (Url-8).

İç Asya yalnızca coğrafi bir terim değil, Asya'da farklı göçebe toplulukların ortaya çıkmasına neden olan daha geniş bölgeyi tanımlayan kültürel-tarihsel bir terimdir. Bu medeniyetler ve halklar, çoğunlukla kıtanın iç kısımlarındaki kurak bozkır bölgelerinde yaşıyorlardı. Ekonomi daha çok sığır gütmeye üzerine kuruluydu; bozkırın ekolojisi, aşırı otlatmayı önlemek için hayvanların belirli aralıklarla taşınmasını gerekli kılmıştır. Hayvancılığın gerekleri ve yararları ile birlikte bu sık yer değişikliği, modern çağda bile günümüze kadar gelen ve halen kullanılmakta olan belirli konut biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu binaların hala mevcut olması, onların gelişmişliklerinin, yerel iklime ve hakim yaşam tarzına uyumlarının bir kanıtı olabilir. Ancak her yerde olduğu gibi birçok İç Asya ülkesinde de insanların yaşam tarzları ve ekonomileri değişmekte ve bu değişimler birçok yerde yerleşik hayatın ve göçebe alışkanlıkların terk edilmesine yol açmaktadır (Zamolyi, 2016).

#### 4.3.1 Göçebe konut türleri

Tarihsel olarak, İç Asya'da kullanılan çeşitli göçebe konut türlerini ayırt edebiliriz:

- Taşıyıcı iç yapıya sahip çadırlar
- **Yurt** (Türkler'de) veya **ger** (Moğollar'da), yük taşıyan bir içyapıya ve keçe kaplamaya sahip bir kafes çadır
- Üzerinde çadır bulunan arabalar
- Siyah keçi kılından ya da yak kılından yapılan çok özel bir çadır şekli olan **kara çadır**
- Farklı çadırlar, genellikle çok geçici amaçlar için kullanılır ve kalıcı ikamet için tasarlanmamıştır.

Şu anda, İç Asya göçebelere arasında kalıcı konut için yalnızca kafes çadır (yurt veya ger denilen) ve kara çadır hala kullanılmaktadır. Yük taşıyan bir içyapıya sahip çadırlar (çardakların öncüleri) ve bağlı çadırlara sahip arabalar sadece tarihi öneme sahiptir (Zamolyi, 2016).

#### 4.3.2 Çadır

Çadır olarak tanımladığımız biçimlerin çeşitliliği, içinde buldukları kültürler ve ortamlar gibi çeşitlidir. Çadır tek bir formla sınırlı değildir. Çadırın ayırt edici özelliği esnek bir membranın kaplama derisi olarak kullanılması olan hafif ve

taşınabilir bir inşaat yöntemini tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. 'Çadır' kelimesinin kökeni Latince'de uzatmak veya esnetmek anlamına gelen 'tendere' kelimesinden gelir. Tüm çadırlar, ya kaplama derilerinde, gergi halatlarında veya çevreleme halatlarında bir şekilde gerilimi kullanır. Bu ortak yapısal çözüm, nakliyeyi kolaylaştırmak için mümkün olan en hafif yapı arayışından gelir (Giller, 2012).



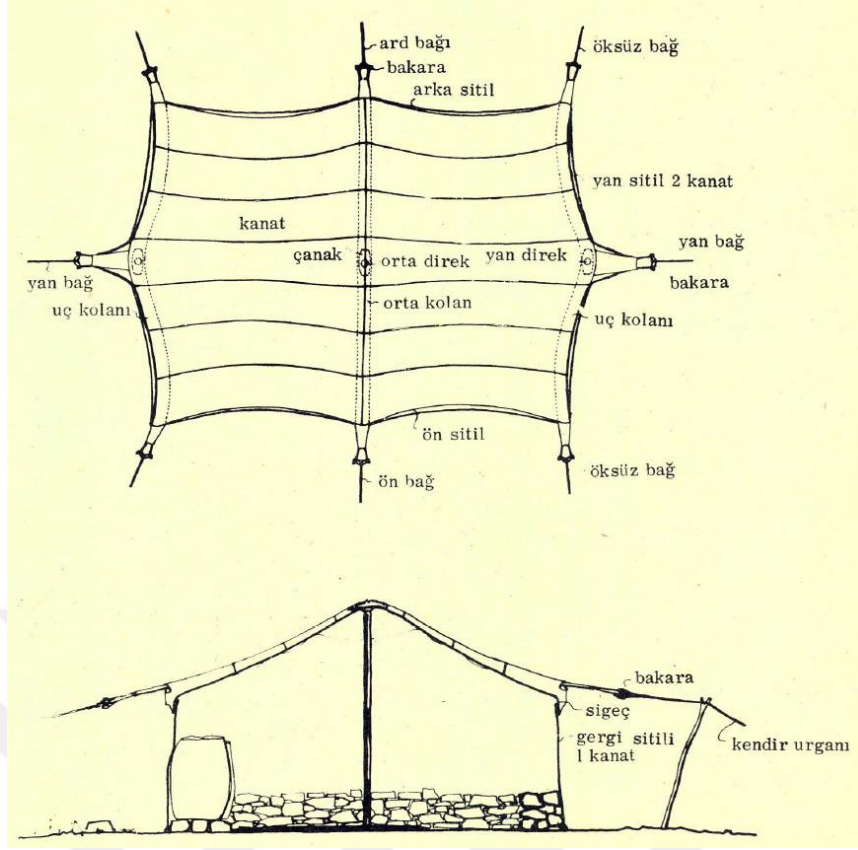
**Şekil 4.3.2.1:** Çadır yapılarının veya formlarının benzerlikleri ve evrimleri (Giller, 2012, s.22)

Çoğu çadır merkezi ve simetrik açıklıklara sahip koniler, silindirler ve kubbeler gibi basit geometrik şekillerdedir. Çadırlar yuvarlaklıkları ile sıkıştırma yapılarının kare açılarından farklıdır ve çok farklı mekânsal atmosfer sunarlar. Herhangi bir malzemenin gerilme mukavemeti, yırtılmadan bir gerilme kuvvetine dayanma kabiliyetinin bir ölçüsüdür ve yüksek gerilme mukavemetine sahip malzemelerin varlığı, geleneksel çadırların biçimlerini belirlemiş ve modern gerilme mühendisliği alanında devrim yaratmıştır. Gerilme mukavemeti, kaplamalara, halatlara veya destekleyici çerçevelere yapısal güveni tanımlar; çünkü bir kaplama bulmak veya yapmak bir şeydir, ancak yırtılmayacak kadar güçlü bir kaplamaya sahip olmak başka bir şeydir. Bu yapısal gerçek, yurt ve kara çadır arasındaki farklarda gerçekleşir. İlkinde cilt sarılır ve ikincisinde cilt gerilir. İlkinde çekme dayanımı düşük olup kaplama olarak kullanılır, ikincisinde çekme dayanımı yüksektir ve yapısal bir rol üstlenir (Giller, 2012).

### 4.3.3 Kara çadır(Black tent)

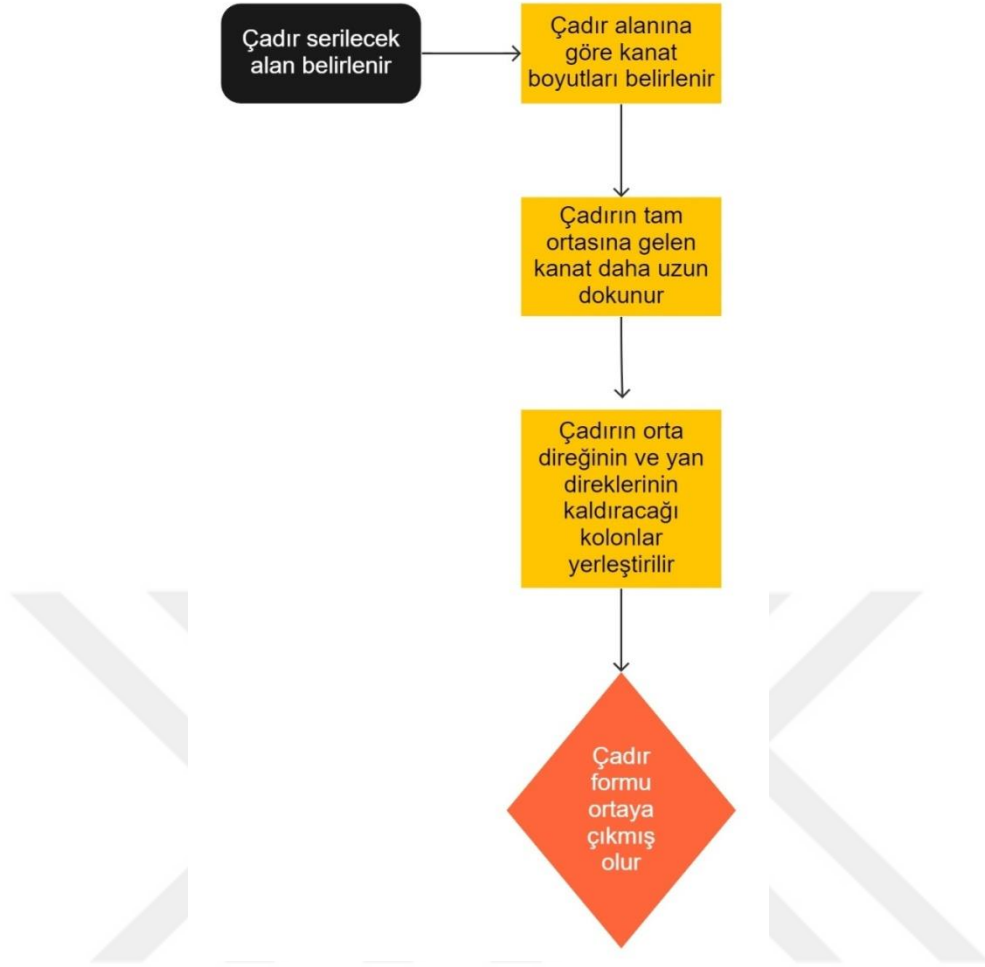
Kara çadır karayün veya kıldan dokunmuş yörük evi olarak tanımlanabilir. Karaçadır deve, keçi ve koyun kılından dokunur. Karaçadırın dokuma türüne çul denir. Çulun dokuma aralıkları, yani gözeneklerini yün ipliklerin üzerindeki uzantı kıllar kısmen kapatarak yağmur, kar, toz gibi unsurların çadırın içine girmesini önler. Karaçadır üç kısımdan meydana geliyor (Kademoğlu, 1974).

Bu üç bölüm çadır, direkler-çanaklar, bakaralar-bağlar olarak Kademoğlu'nun araştırmalarında gruplandırılmaktadır. Birinci bölüm olan çadır; kara çadırın ana örtüsünü oluşturmaktadır. Ana örtü 50-70 cm eninde dokunan yedi kanattan meydana gelir. Bu yedi kanat birbirine dikilir ve ortaya gelen kanat diğer kanatlardan daha uzun dokunur. Çadırı kaldıracak olan , orta direk ve yan kısımlarda yan direkler bulunur. Çadırın kolonları da 15 cm enindedir ve kara yünden dokunurlar. Bu durum aynı zamanda direklerin çadır üzerine basacağı yerlerde, çadır dokumasını takviye ederler. Direklerin çapları ortalama 7-9 cm olup, genellikle gürgen, meşe, ardıç ağacındandır. Orta direk, diğer direklerden biraz daha uzundur ve yaklaşık 200-230 cm boyundadır. Yedi kanattan oluşan çadırın uçlarında yer alan kolonların uç kısımlarına bağlar eklenir. Bu bağlara ise bakara ismi verilir. Bakara çadır ile çadırı toprağa çakılı kazıklara bağlayan gergin bağlar arasında bir mafsal görevi taşır. Direkler ve bağlar çadırın ayakta durmasını sağlayan statik sistemi meydana getirirler. Ancak bu sistem esnek bir kuruluştur. Rüzgârda, fırtınada veya insan eliyle salınabilir. Kara çadırın açıklanan strüktür yapısı şekil 4.3.3.1'de yer almaktadır (Kademoğlu, 1974).



**Şekil 4.3.3.1:** Karaçadırın strüktürü (Kademoğlu, 1974)

Kara çadırın konvansiyonel yöntem ile kuruluş aşamalarının akış şeması oluşturulduğunda ifadesi kısaca Şekil 4.3.3.2'deki gibidir.



**Şekil 4.3.3.2:** Kara çadırın konvansiyonel kuruluş akış şeması

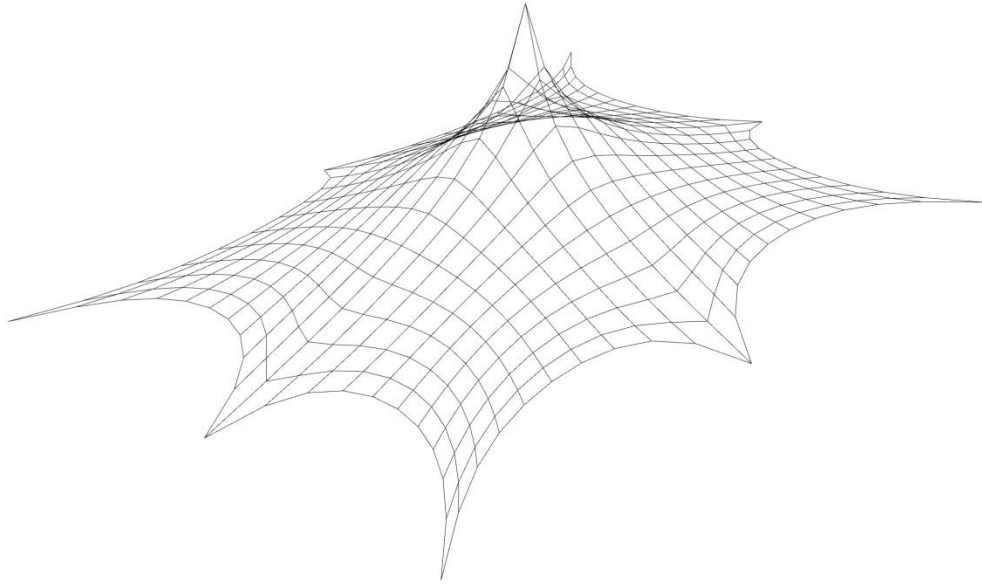
Form bulma mimarisinin bilgisayar destekli tasarımdan önceki en erken örneklerinden biri olan çadır mimarisinde bugün hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak sayısız varyasyona ulaşılabilir. Konvansiyonel yollarla ortaya çıkan çadırın grafik tabanlı bir algoritması oluşturulduğunda aşamalar eşleştirilebilir ve aynı zamanda sadece değişkenler yönetilerek çok fazla sayıda farklı sonuç elde edilebilir. Bu durumda hesaplamalı tasarım altındaki üretken sistem tasarımının örneği olarak ele alınabilir ve hesaplamalı olarak ifade edildiğinde başlangıç noktası aynı olan bir formun ortaya çıkışındaki süreçlerin nasıl dönüştüğü üzerine çıkarımlar yapılmasını sağlar.



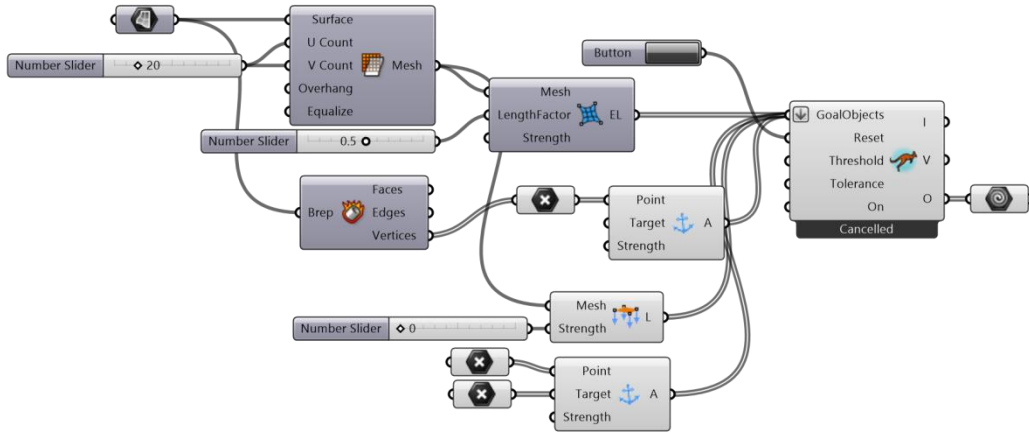
#### 4.4 Grasshopper Kangaroo Eklentisi ile Form Bulma

Kangaroo, Daniel Piker tarafından geliştirilmiş olan, etkileşimli simülasyon, form bulma, optimizasyon ve kısıtlama çözme için bir canlı fizik motorudur (Kaynak Url-9). Daniel Piker'ın Kangaroo\_fiziği , grasshopper'da fiziksel bir denge bulmak ve bir fikrin farklı konfigürasyonlarını etkileşimli olarak keşfetmek için kullanılabilir. Form bulma genel olarak deneysel tasarım ve tasarım optimizasyonu için kullanılabilir. Kangaroo dinamik gevşeme metoduna dayalıdır ve bileşenleri simülasyona farklı parametreler getirir (Kaynak Url-10).

Form bulma mimarisi altında çalışma örneği olarak belirlenen kara çadırın konvansiyonel olarak gerçekleşen tasarım ve kurulum aşaması grasshopper kangaroo eklentisi ile sayısal ortama aktarılmış ve her adım parametrelere bağlanmıştır. Kara çadırın kuruluş aşamalarının grasshopper kodu oluşturularak elde edilmiş formu şekil 4.4.1'deki gibidir. Formun bulunması için yazılan algoritma ise şekil 4.4.2'deki yer almaktadır.

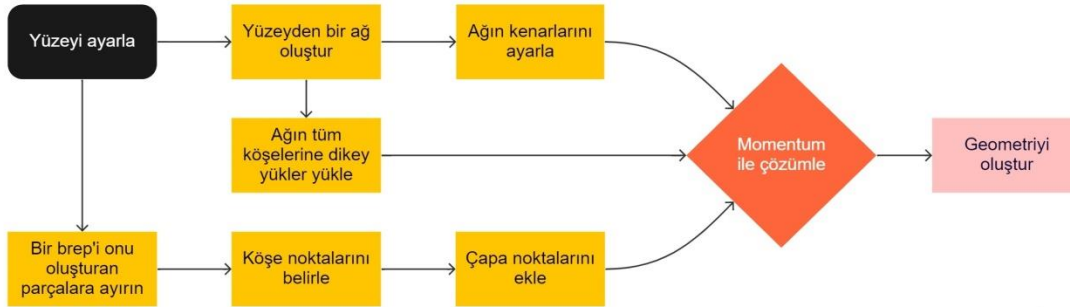


**Şekil 4.4.1:** Kara çadır Rhino grasshopper ile oluşturulmuş modeli



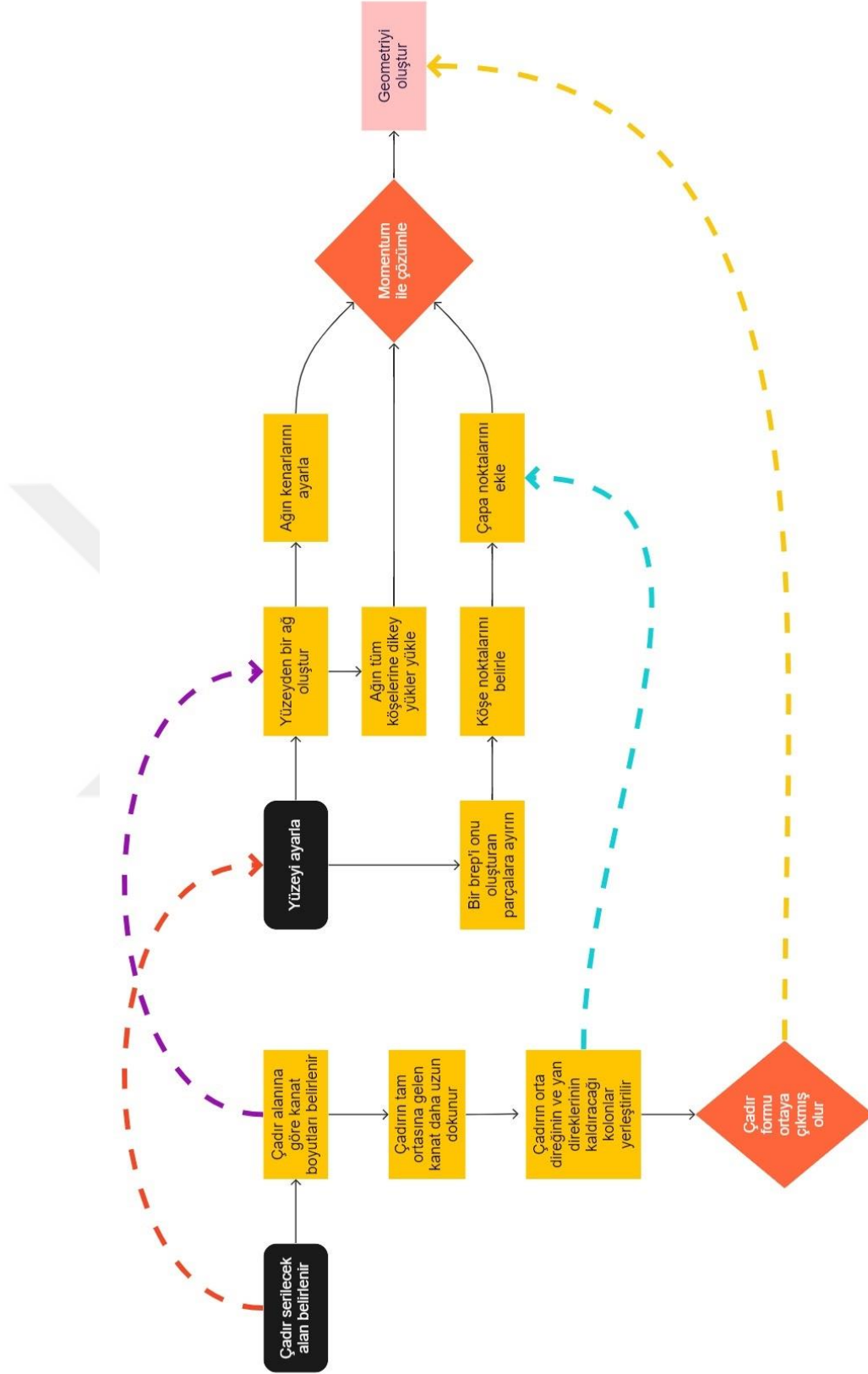
**Şekil 4.4.2:** Kara çadır rhino grasshopper algoritması

Çalışmanın bu aşamasında şekil 4.4.2’de yer alan kara çadırın algoritması oluşturulurken önce yüzey tanımlanmış ve mesh haline dönüştürülmüştür. Meshi oluşturan köşe noktaları sabit tutulmuş, meshin üzerindeki çizgilerin kesişim noktalarından yükseklik koordinatları değiştirilecek olanlar tanımlanarak form bulma aşamasında değişken olabilecek şekilde tanımlanmıştır. Çadır formunun grasshopperda oluşturulan algoritmasının diagram şeması şekil 4.4.3’deki gibi ortaya koyulabilir.



**Şekil 4.4.3:** Kara çadır rhino grasshopper algoritmasının diagram şeması

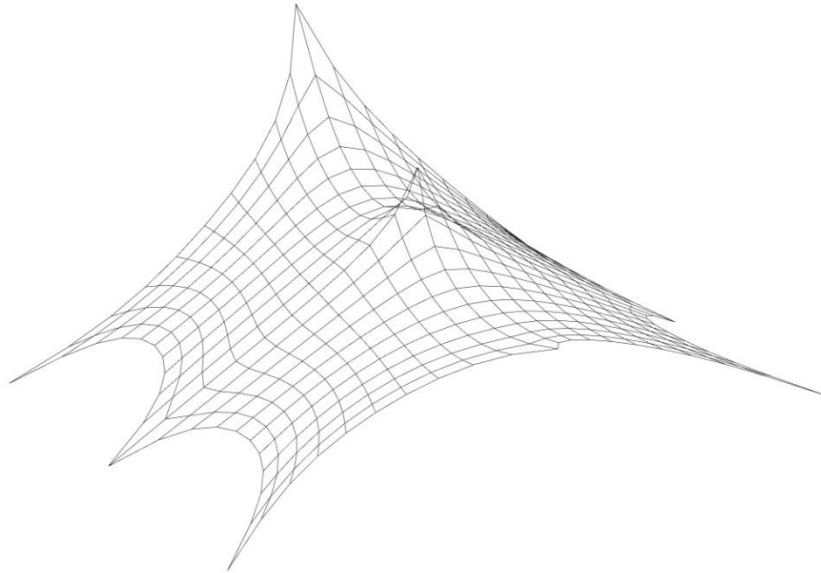
Konvansiyonel yollarla kurulan çadır formunun kuruluş aşamalarının diagramı ile hesaplamalı yollarla oluşturulan formun algoritmasının adımlarını içeren diagram şeması birbiriyle ilişkilendirilebilir. Farklı dillerde oluşturulan şemalar aslında aynı aşamalara işaret etmektedir. İki ayrı şemanın birbiriyle eşleşen adımları ise şekil 4.4.4’de ifade edilmektedir.



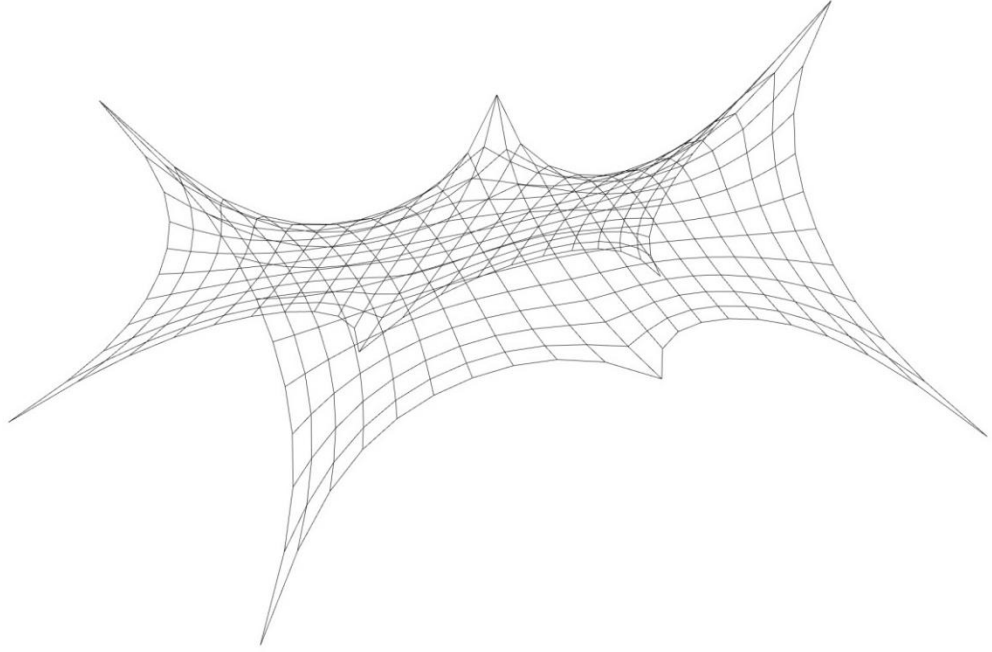
Şekil 4.4.4: Kara çadır konvansiyonel kuruluş şeması ile grasshopper algoritması şemasının karşılaştırılması

Çadır formunun ortaya çıkış aşamalarının konvansiyonel ve hesaplı yollarla karşılaştırılması yukarıdaki grafikte ifade edilmiştir. Grafiğe göre çadır alanı belirlendikten sonra geleneksel mimaride belirlenen kanat boyutları birbirine dikilirken; algoritmanın adımlarında yüzey ağlara bölünür, ağın genişlikleri ise eklenen parametreye göre her adımda değiştirilebilir. Geleneksek form kurulum aşamasında çadırı kaldıracak direkler yerleştirilerek kenar noktaları gerilirken; algoritmaya göre ağ üzerinde belirlenen bütün noktalar istenilen doğrultuda taşınabilir. Form yüzeyine gelebilecek olası yükler ise hesaplamalı tasarımda öngörülen formun yük altındaki değişimlerini önceden görmeyi sağlar.

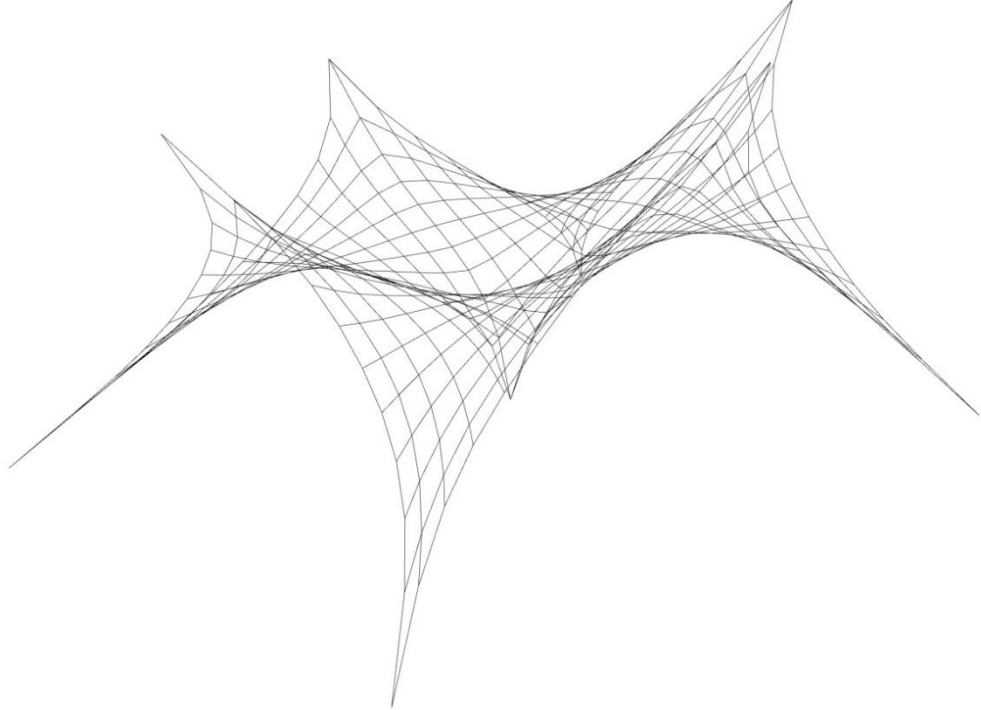
Rhino grasshopper'da oluşturulan kara çadır formundan yola çıkarak sadece algoritmada yer alan çapa noktaları değiştirilerek bile sayısız yeni form hızlıca elde edilebilir. Elde edilen her bir form, mimaride germe yapılar da farklı bir tasarım veya fonksiyon olarak kullanılabilir. Asma germe yapıların ilk ortaya çıkışında yer alan çadır mimarisinden yola çıkarak gelinen bugünkü nokta çok daha gelişmiştir ve hem tasarım aşamasında hesaplamalı tasarım araçlarının kullanılmasıyla çok sayıda form tasarlanması mümkün olurken aynı zamanda tasarlanan formaların üretimi de gelişen teknolojiyle mümkün hale gelebilmektedir. Algoritmada yer alan köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkabilecek varyasyonlardan bazıları aşağıda verilmiştir.



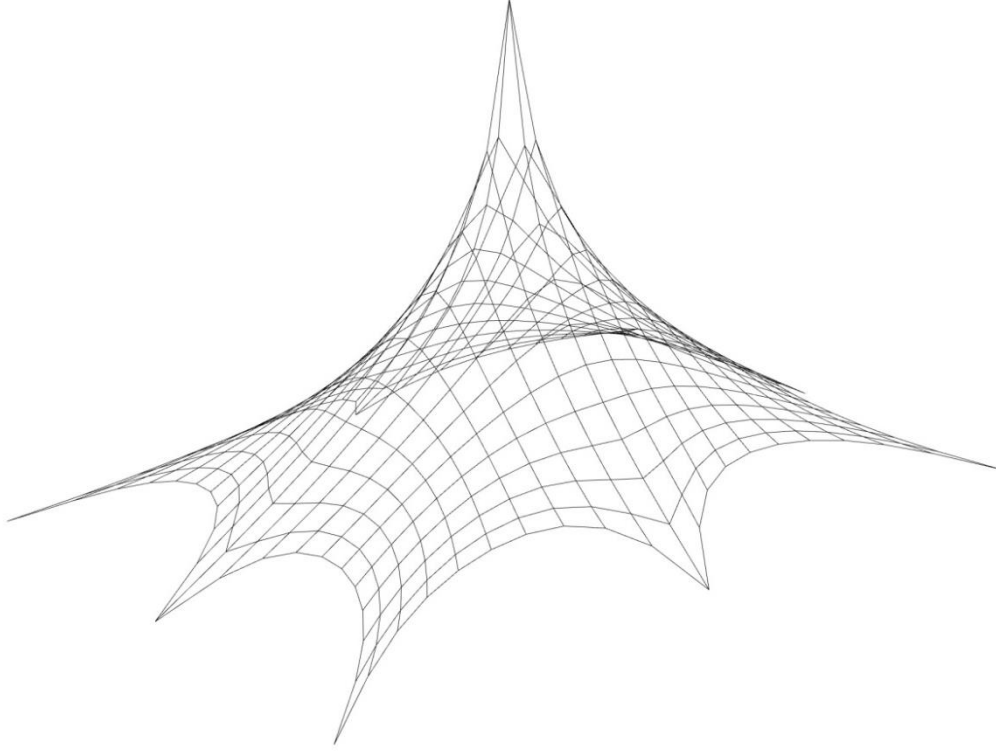
**Şekil 4.4.5:** Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 1



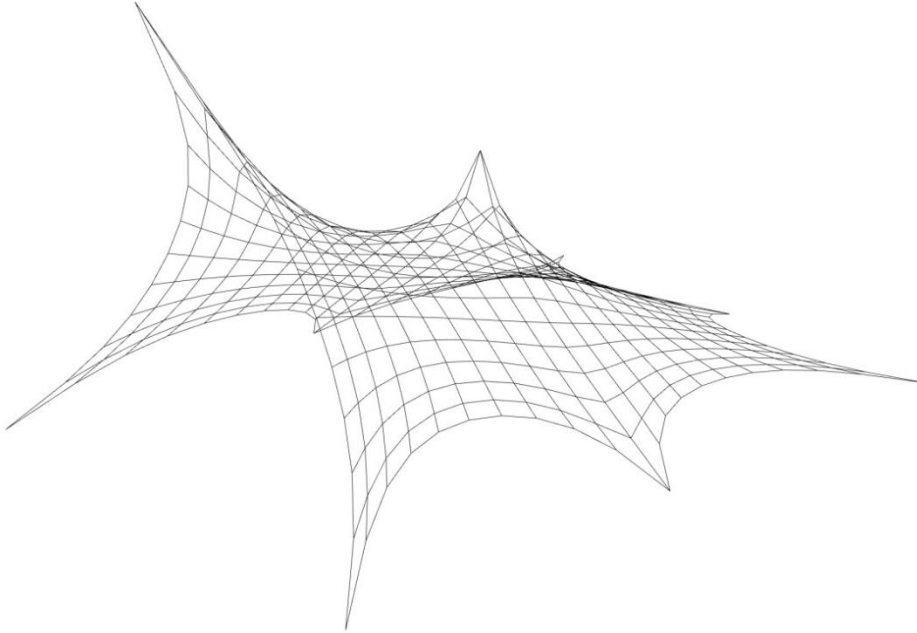
**Şekil 4.4.6:** Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 2



**Şekil 4.4.7:** Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 3

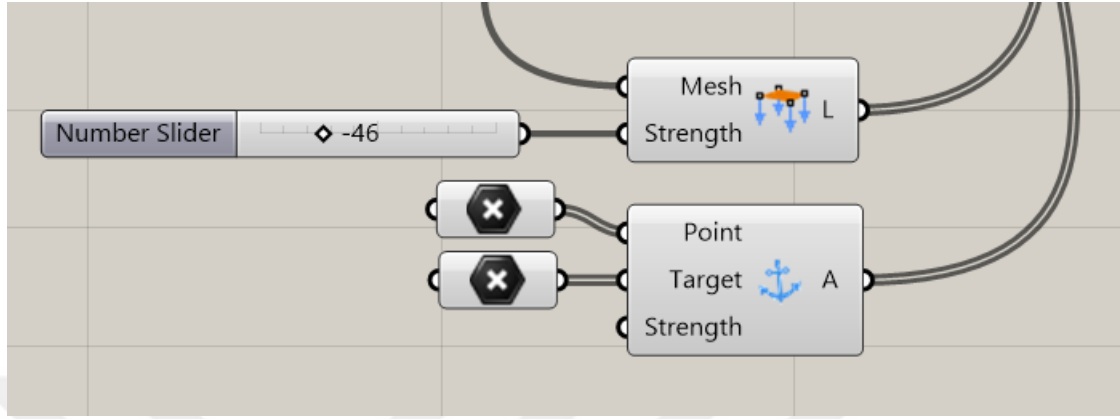


**Şekil 4.4.8:** Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 4

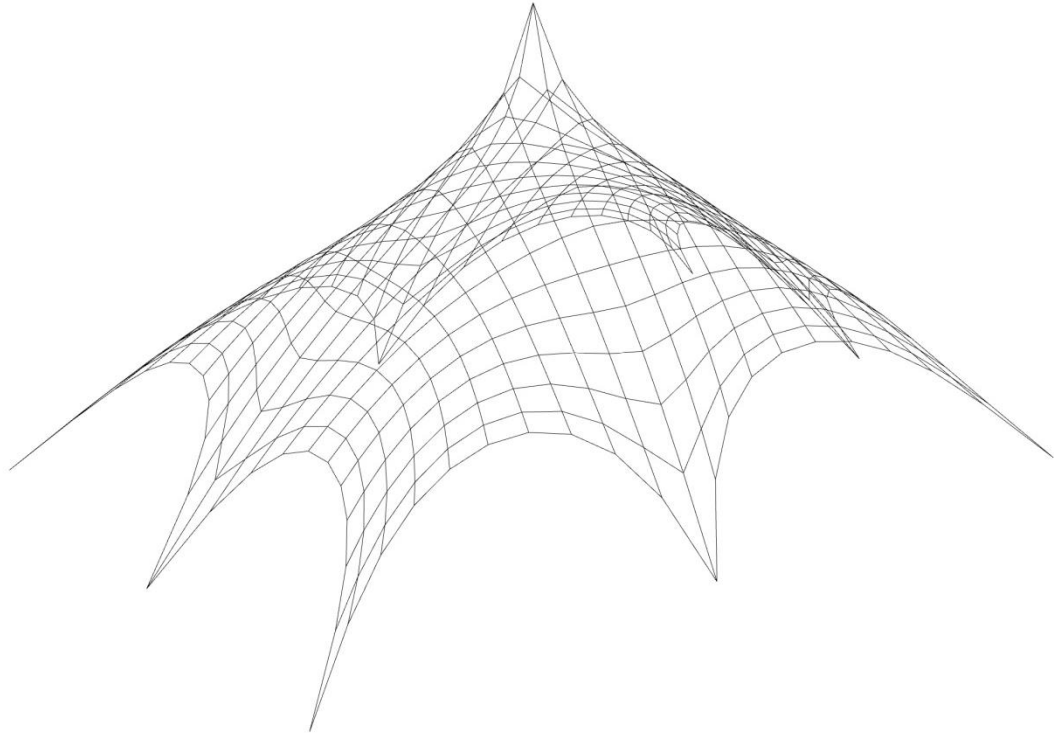


**Şekil 4.4.9:** Köşe ve tepe noktalarının hareket ettirilmesiyle ortaya çıkan bazı form örnekleri – Varyasyon 5

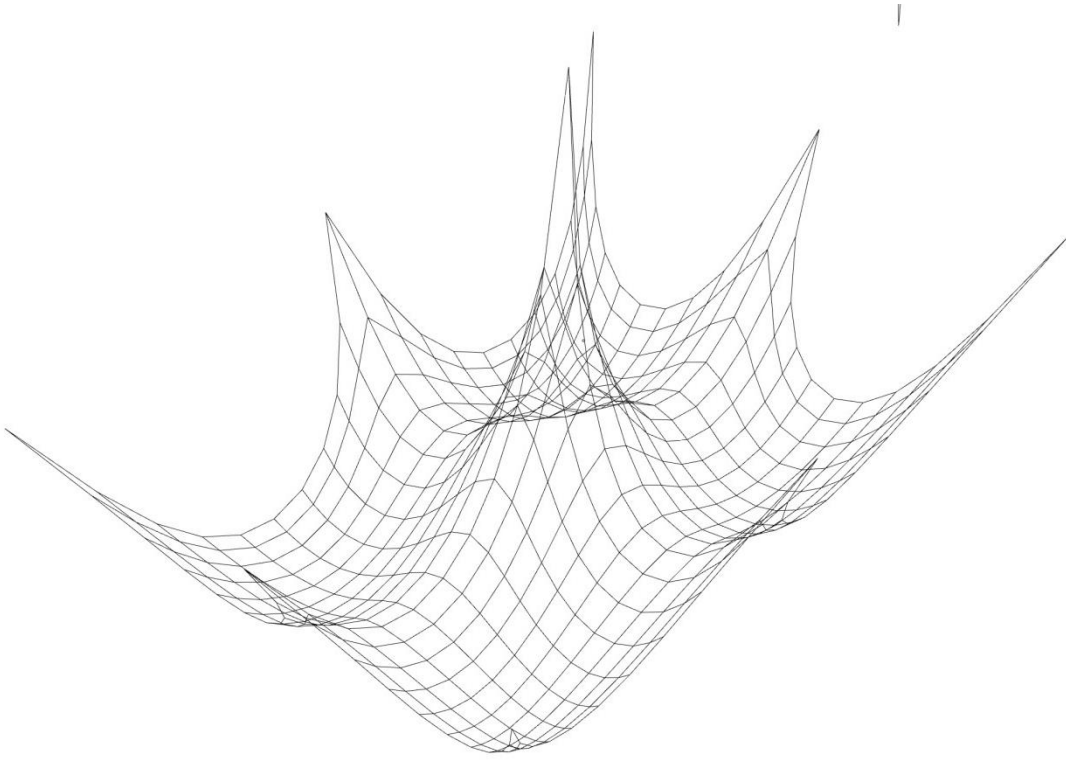
Mevcut formdan yola çıkarak forma yukarıdan ve aşağıdan gelebilecek olası yüklerin (kar, yağmur, rüzgar gibi) göz önünde bulundurulduğunda ve algoritmaya eklendiğinde oluşan sonuçlar ise aşağıdaki form varyasyonları ile sonuçlanabilmektedir.



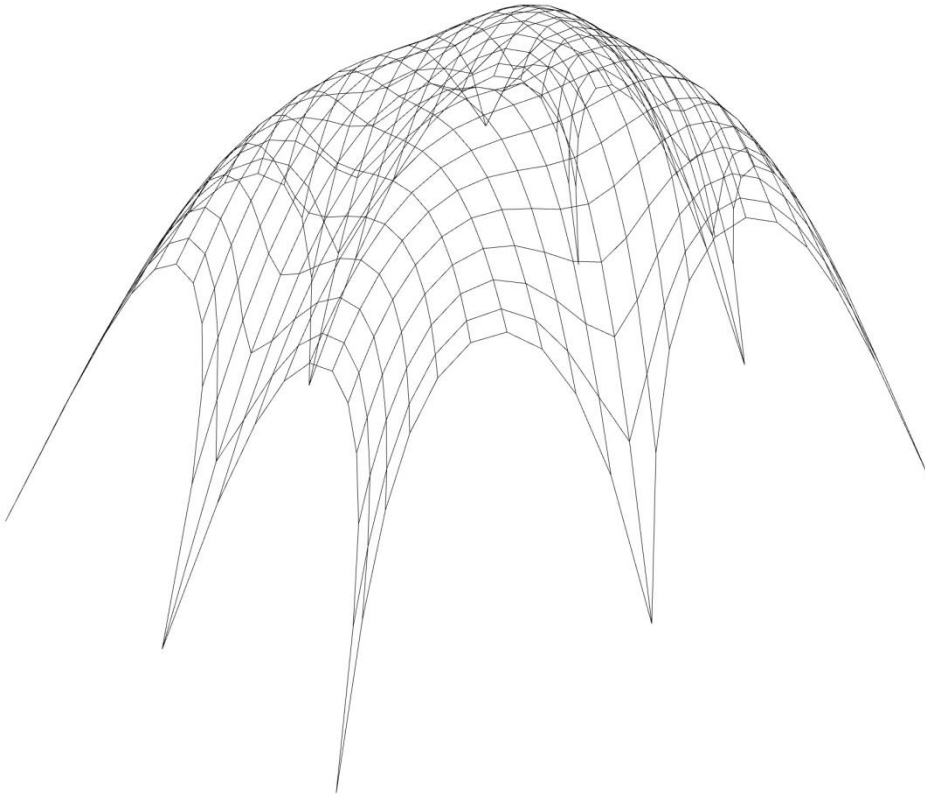
Şekil 4.4.10: Grasshopper yük değişim adımı



Şekil 4.4.11: Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 1



**Şekil 4.4.12:** Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 2



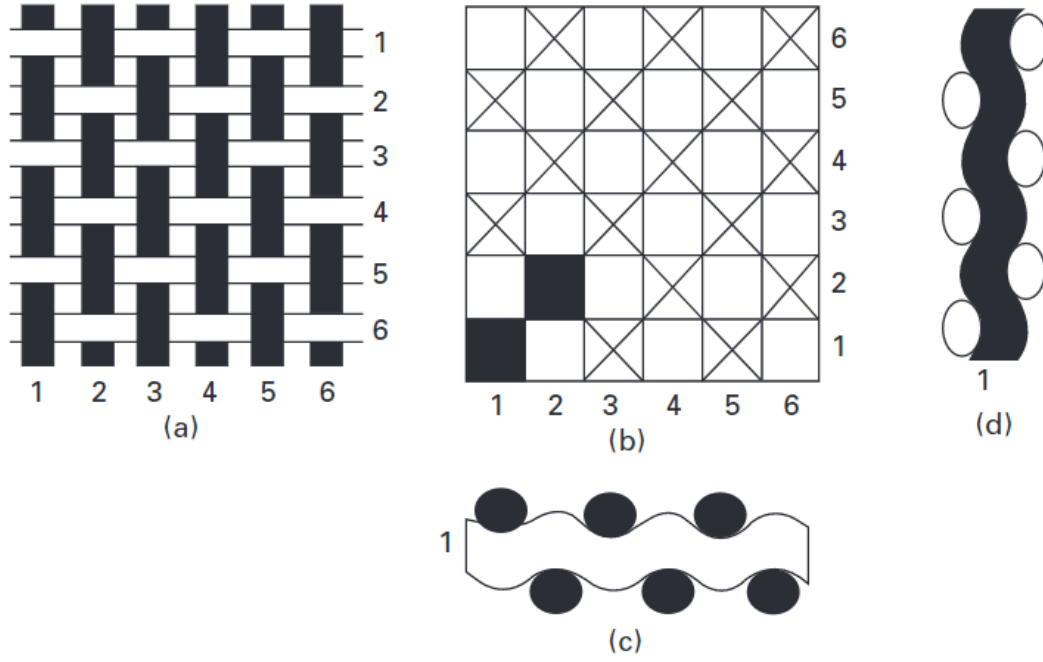
**Şekil 4.4.13:** Farklı yükler altında oluşan bazı form örnekleri – Varyasyon 3



#### 4.5 Malzeme Teknolojisi

Modern öncesi çadırlar, hayvan derilerinden, ağaç kabuğundan, keçe veya kamyş hasırlardan, iplik haline getirilmiş kenevir veya pamuk gibi bitki liflerinden dokunmuştur. Keten veya pamuğa erişimi olmayan eski göçebe insanlar ise bunun yerine keçi, deve veya yak kılı veya sürülerinden yün lifleri kullanmaya durumunda kalmıştır. Siyah veya koyu keçi kılı, ıslandığında şişen, kumaşı kapatan ve sert havalarda daha su geçirmez hale getiren, düşük ışık geçirgenliğine sahip kaba, açık dokulu bir kumaş üretilmesini sağlamıştır. Açıklık aynı zamanda havanın kumaş ipliklerinin etrafında dolaşmasına ve bugün sentetik liflerinin aksine onları güneşte serin tutmasına izin vermiştir. Aynı şekilde yağlı koyun yününden yapılan keçe de nemi iten harika bir ısı yalıtkanıdır. Ancak geleneksel dokuma kumaşlar kolayca yanar ve nispeten hızlı bir şekilde bozulur. Yeni sentetik elyaflar (esas olarak naylon, polyester ve fiberglas) kullanılabilir hale gelir gelmez hizmete girmiştir (Drew, 2008).

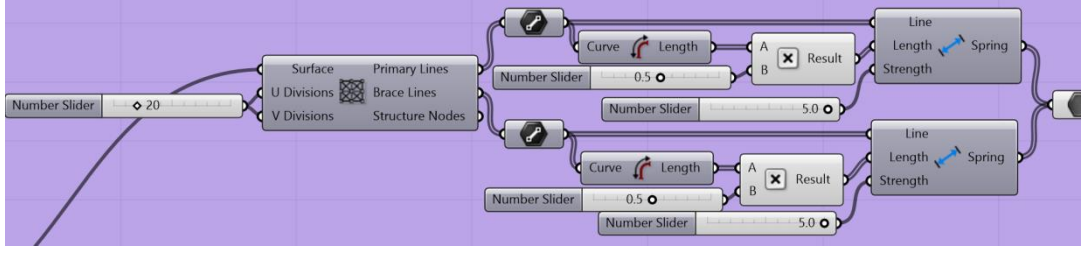
Dokuma kumaş, çözgü ve atkı adı verilen iki iplik takımının kumaş düzleminde birbirine dik açılarda geçmesiyle üretilir. Çözgü uzunluğu boyunca ve atkı kumaşın eni boyuncadır. Bu kumaş oluşturma sürecinde, belirli özelliklere sahip liflerin seçilmesinde, liflerin iplikte çeşitli şekillerde düzenlenmesinde ve kumaş içinde geçmeli ipliklerin çeşitli şekillerde düzenlenmesinde büyük bir kapsam vardır. Bu, tekstil tasarımcısına kumaş yapısını kontrol etmek ve değiştirmek için büyük bir özgürlük ve çeşitlilik sağlar. Şekil 4.5.1 düz örgüyü plan görünümde çözgü ve atkı boyunca enine kesitte göstermektedir. Örgü temsili, dikey çizgilerin çözgüyü ve yatay çizgilerin atkıyı temsil ettiği bir ızgara ile gösterilir (Behera, 2012). Yeni malzeme teknolojisiyle dokunan tekstillerde, çözgü ve atkının iki dik yönünde, çözgü tezgâhtan aşağı ve atkı ipliği çözgünün altından ve üstünden geçecek şekilde dokumalar iç içe geçer. Çözgü iplikleri gergin bir şekilde gerildiğinden, bunların etrafında dönen geçmeli atkı iplikleri yük altında daha fazla gerilir. Önceden düz bir çizgi olan şey, bu nedenle, bir yay gibi yeniden yapılandırılır ve düz çizginin uzunluğunun yaklaşık iki katı kadar uzar (Drew, 2008).



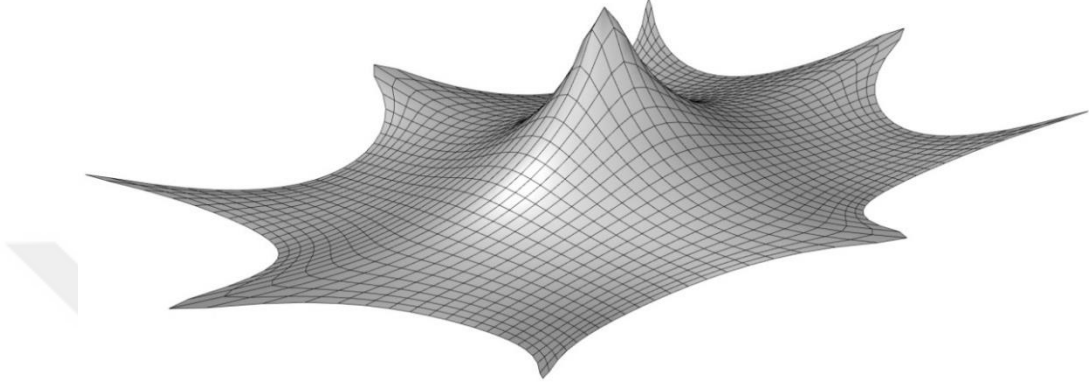
**Şekil 4.5.1:**Düz dokuma bir yapının plan (a), örgü gösterimi (b), atkı (c) boyunca enine kesit görünümü ve çözgü (d) boyunca enine kesit görünümü (Behera, 2012)

Form bulma mimarisi ile ilgili kısımda grasshopperda oluşturulan algoritmanın ilk aşamasında malzeme ile ilgili bir tanımlama yapılmamıştır; ancak ikinci aşama olarak malzemenin teknik özelliklerini de hesaba katarak bir form bulma çalışması yapılabilir. Kara çadırın geleneksel üretiminde o günkü koşullarda kullanılan kara keçi kılının yerine bugün sahip olunan malzeme teknolojisindeki teknik verilerin kontrol edilebilir olması, oluşturulan simülasyonların da kontrol edilebilir ya da optimize edilebilir olduğunu göstermektedir. Oluşturulan algoritma ile bulunan kara çadır formunun simülasyonunda malzemenin özelliklerine göre varyasyonlar elde etmek için kumaşın dokumasına ait değerler algoritmaya eklenmiştir. Bu aşamada kumaşın atkı-çözgü yönündeki uzamaları ve hatta dokumalara ait gerilme değerleri iki farklı şekilde eklenmiştir.

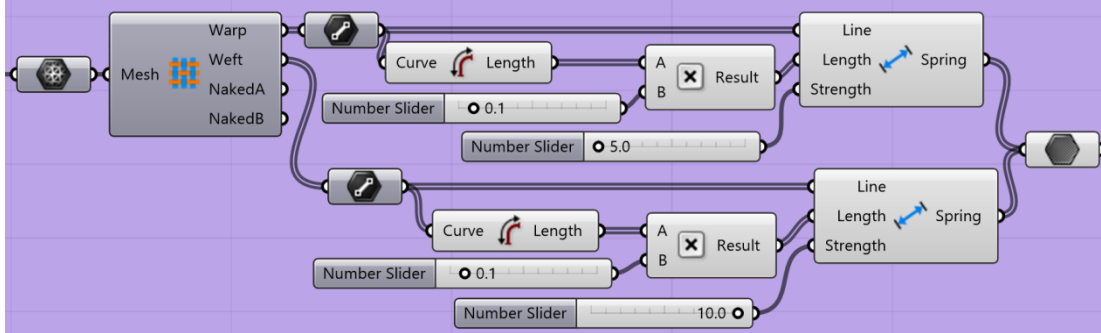
Çadır alanı yani yüzey belirlendikten sonra alanı mesh olarak tanımlamak yerine oluşturulan yüzeyin atkı-çözgü yönündeki uzamaları ve atkı-çözgü dokumalarına gelen gerilme değerleri kontrol edilebilir hale getirilmeye çalışılmıştır. Bu verilerin girilebilir olması aslında tanımlanan malzemenin kontrol edilebilmesine olanak tanımaktadır.



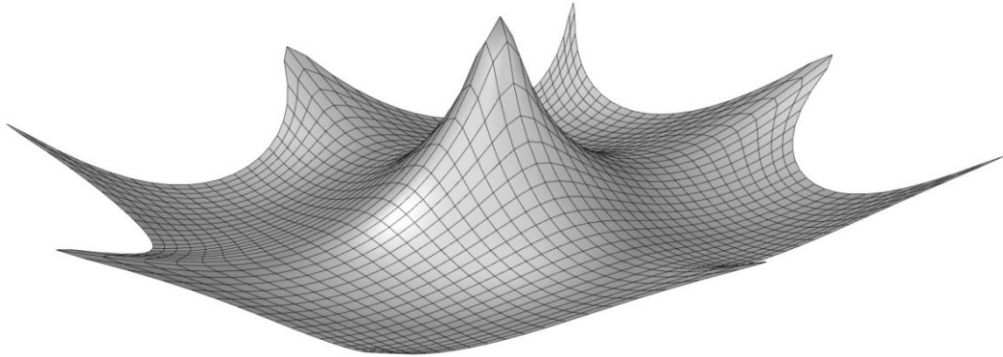
Şekil 4.5.2: Braced grid 2D Komutu ile oluşturulmuş algoritma



Şekil 4.5.3: Braced grid 2D komutu ile oluşturulmuş algırtmadan elde edilen form



Şekil 4.5.4: Kangaroo Warpwef komutu ile oluşturulmuş algoritma



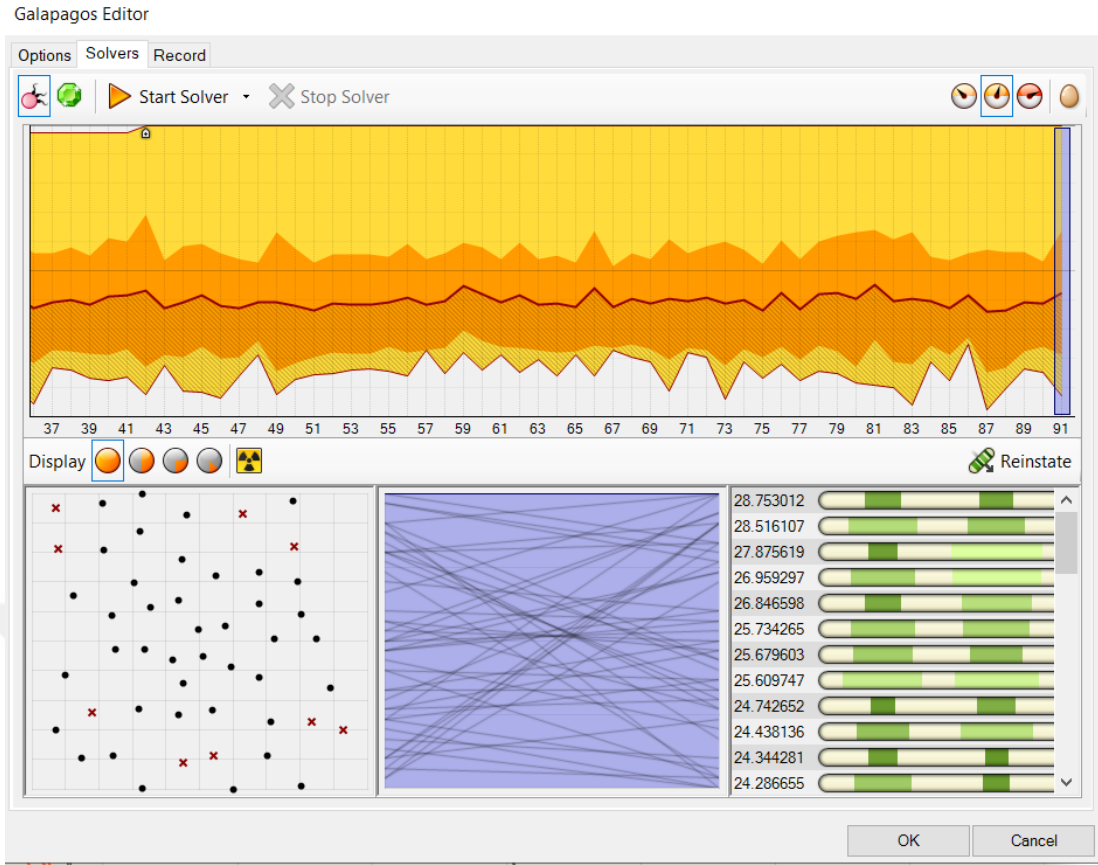
Şekil 4.5.5: Kangaroo - Warpwef komutu ile oluşturulmuş algırtmadan elde edilen form

#### 4.6 Grasshopper Galapagos Eklentisi ile Form Optimizasyonu

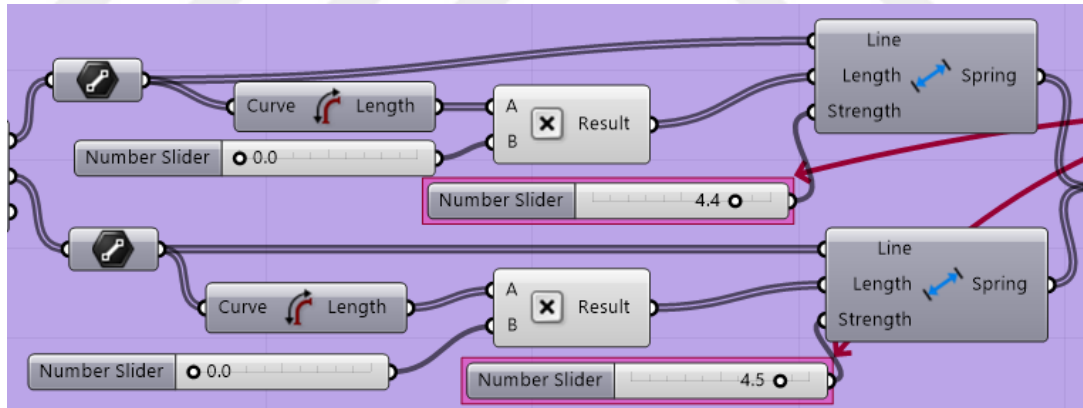
Form bulma işleminde, öncelikle geometrinin optimum hali malzemeye ait veriler, formu belirlenmesinde etkili olan noktaların koordinatları gibi parametreler girilerek optimum hale getirilir; ancak belirli yükler altındaki optimum geometriye ulaşmak için hesaplamalı tasarım sayesinde belli parametreler sabit tutulup belli parametreler değişken tanımlanarak optimizasyon çalışması yapıldığında mümkün olabilir. Form bulma, bir başlangıç geometrisi ile daha sonra fiziksel veya hesaplamalı simülasyonlardan gelen geri bildirimlerle güncellenen sürekli bir süreçtir.

Çalışmanın devamında başta elde edilen kara çadır formuna ait algoritmaya malzemenin dokumasına ait özellikler eklenmiş ve daha sonra farklı yükler altında malzemenin özelliklerinin optimum sonuçları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu aşamadaki optimizasyon çalışması için grasshopper kangaroo eklentisine ek olarak galapagos eklentisi kullanılmıştır. Galapagos, Grasshopper'ın içinde yer alan ve tanımlanmış hedefe en iyi şekilde ulaşmak için formu optimize edebilen bir bileşendir ve evrimsel hesaplama mantığına göre çalışmaktadır.

İlk olarak grasshopper braced grid 2D komutu ile oluşturulan yüzeye ait algoritmada, forma yük eklenmesi durumunda optimum forma yaklaşmak için yüzeyin gerilme değerlerinin nasıl değişeceğine ulaşılmaya çalışılmıştır. Braced grid 2D komutu ile tanımlanan yüzeyin algoritmasında önce yüzey atkı çözgü ve çapraz olan dokumalara ayrılır. Sonrasında atkı-çözgü yönündeki çizgiler ve çaprazları oluşturan çizgiler ayrılır ve uzama boyları ve gerilme değerleri parametrelere bağlanır. Form üzerine gelen yükün +5 değerinde olduğu varyasyon için malzemenin gerilme değerlerinin optimizasyon grafiği şekil 4.6.1'de, optimizasyondan elde edilen değerler şekil 4.6.2'deki gibidir.

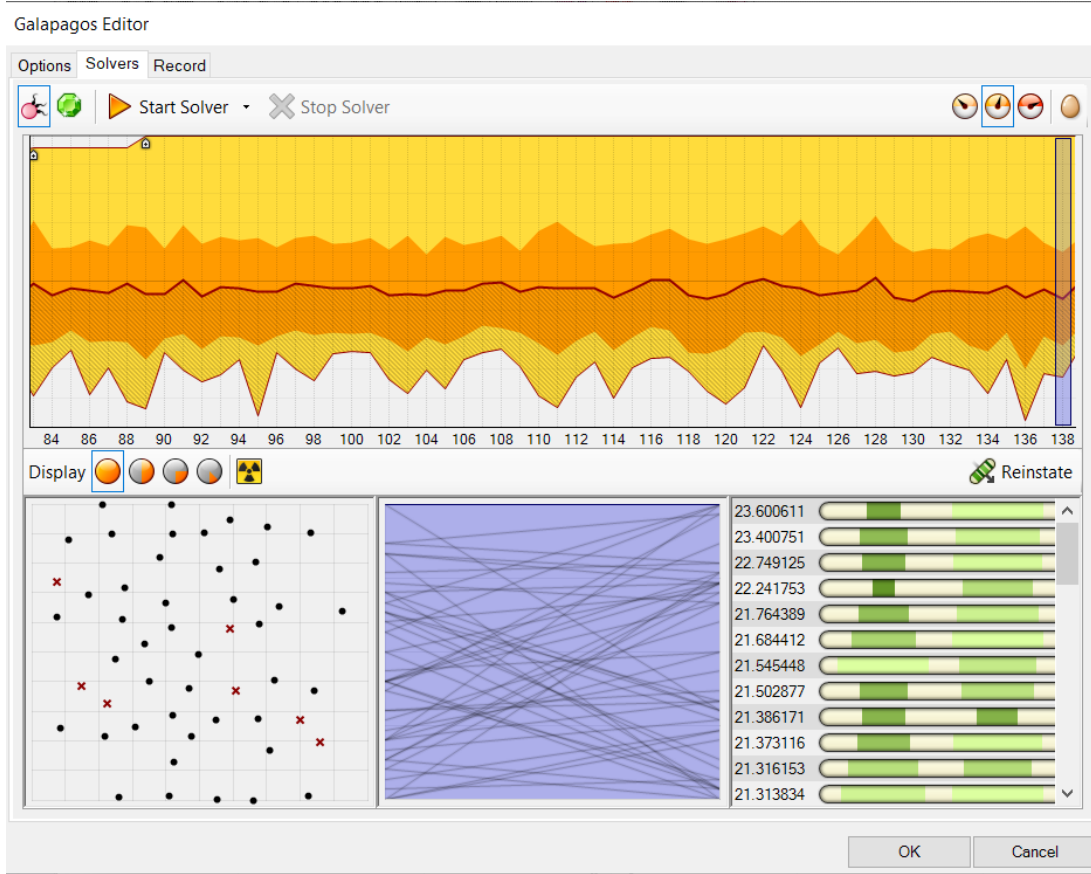


Şekil 4.6.1: Galapagos optimizasyon grafiği

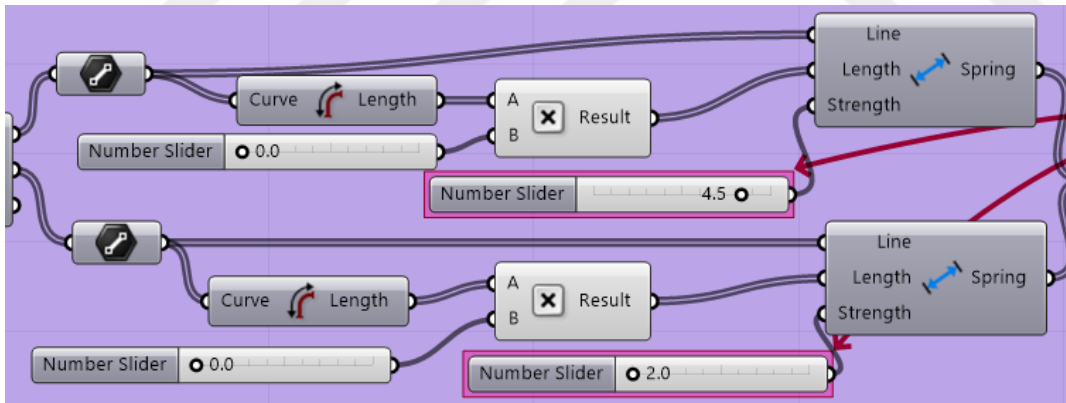


Şekil 4.6.2: Yükün +5 değerinde olduğu durumda elde edilen yüzey gerilmeleri

Aynı koşullar altında sadece malzeme üzerine yüklenen yük 0 değerinde iken ise çıkan malzemenin gerilme değerlerinin optimizasyon grafiği şekil 4.6.3'de, optimizasyondan elde edilen değerler şekil 4.6.4'deki gibidir.



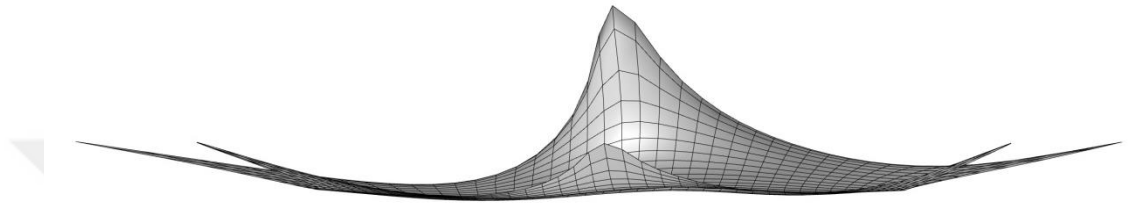
Şekil 4.6.3: Galapagos optimizasyon grafiği



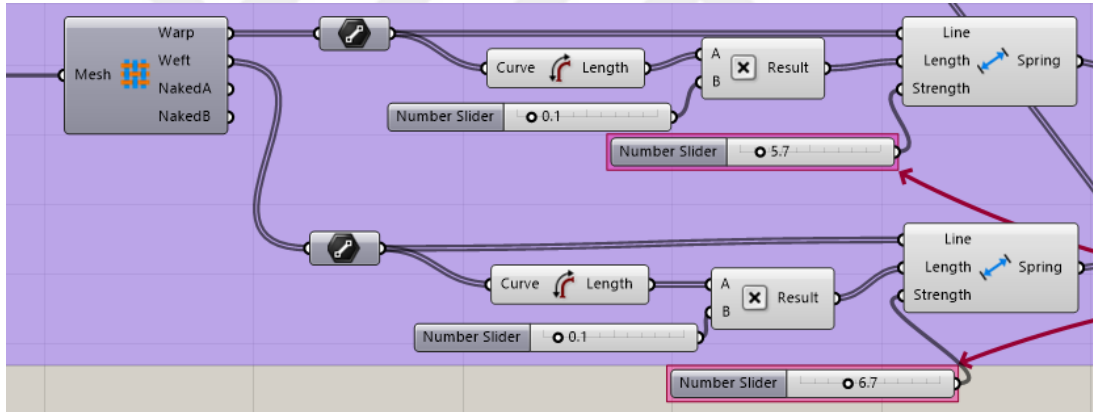
Şekil 4.6.4: Yükün 0 değerinde olduğu durumda elde edilen yüzey gerilmeleri

İkinci aşamada ise forma üç farklı yönde rüzgar yükü eklendiğinde formun optimuma ulaşmak için yüzeyinde atkı ve çözgü yönünde oluşan gerilme değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu aşamada malzeme özellikleri algoritmaya eklenirken sadece atkı-çözgü yönündeki dokumalara ayrılmıştır ve yine uzama ve gerilmeler parametrelere bağlanmıştır. Bu aşamada sadece atkı ve çözgülerin değerlendirilmesinin nedeni verilen xyz yönlerindeki rüzgar yüklerinin atkı ve çözgü yönleri paralelinde daha iyi değerlendirileceği içindir. Şekil 4.6.3'de x yönünde +20

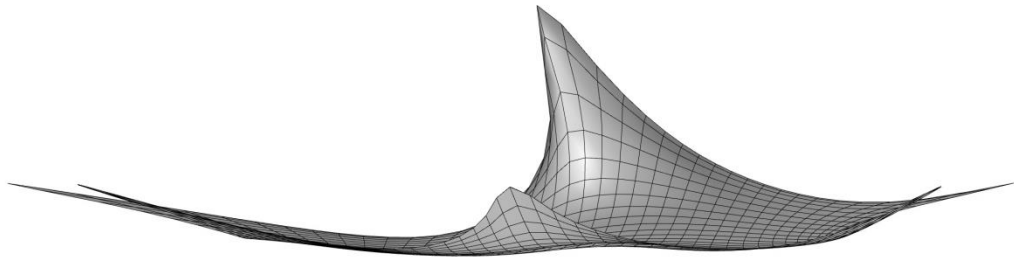
değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form verilmiş daha sonra ise optimizasyon çalıştırıldığında formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri şekil 4.6.4'de verilmiştir. Aynı şekilde, şekil 4.6.5'de y yönünde +20 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form ve daha sonra optimizasyon çalıştırıldığında oluşan optimum forma ait yüzey gerilmeleri şekil 4.6.6'da, şekil 4.6.7'de z yönünde +7 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form ve daha sonra ise optimizasyon çalıştırıldığında oluşan optimum forma ait yüzey gerilme değerleri şekil 4.6.8'de verilmiştir.



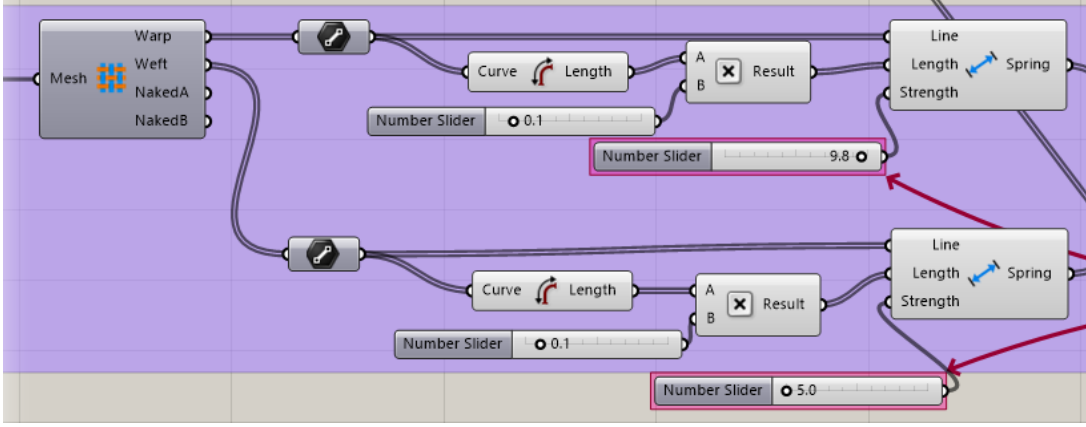
**Şekil 4.6.5:** X yönünde +20 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form



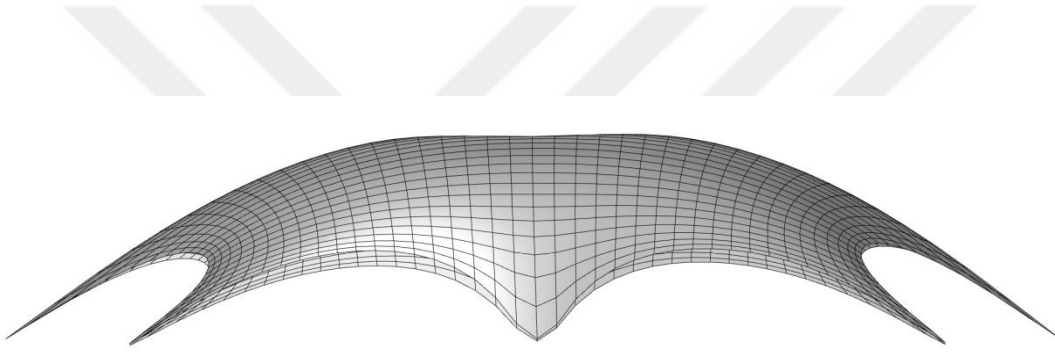
**Şekil 4.6.6:** X yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri



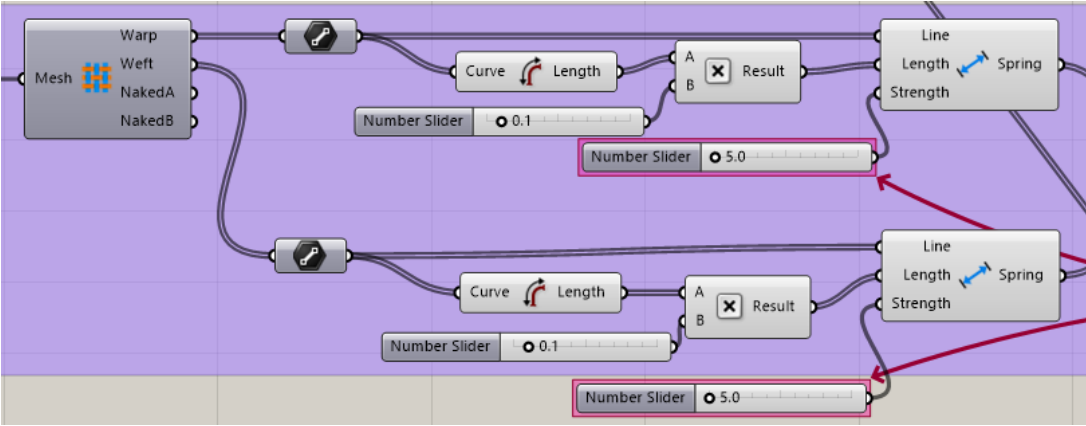
**Şekil 4.6.7:** Y yönünde +20 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form



Şekil 4.6.8: Y yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri



Şekil 4.6.9: Z yönünde +7 değerinde rüzgar yükü eklendiğinde deforme olan form



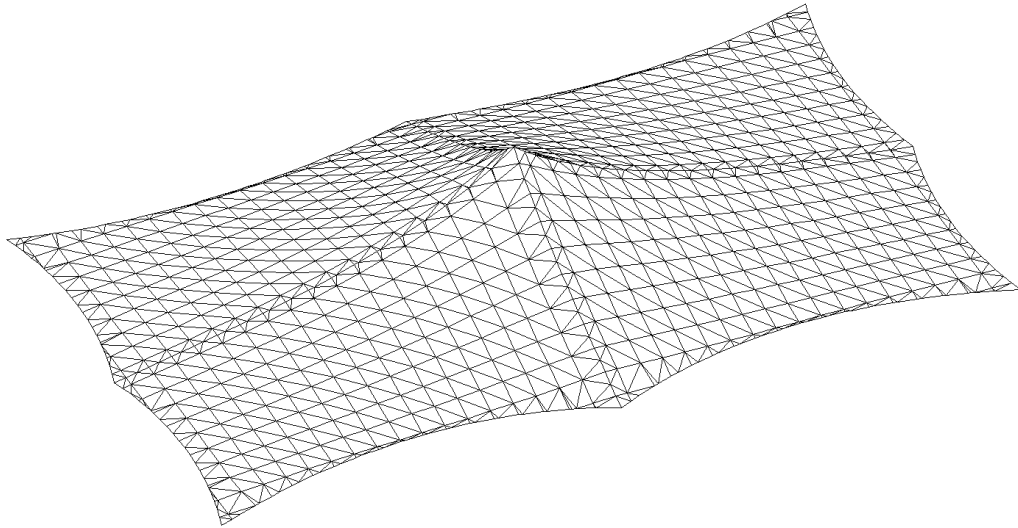
Şekil 4.6.10: Z yönünde rüzgar geldiğinde formun optimuma ulaşmak için oluşturduğu yüzey gerilmeleri



#### 4.7 Membran Yapılarda Easy Yazılımı ile Form Bulma

Easy, membran ve kablo ağ yapılarının entegre planlanması ve hesaplanması için Technet-gmbh firması tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Program sayesinde asma germe yapılarda form bulma, statik analiz ve kesim kalıbı oluşturulması aşamaları yapılabilmektedir (Kaynak: Url-11).

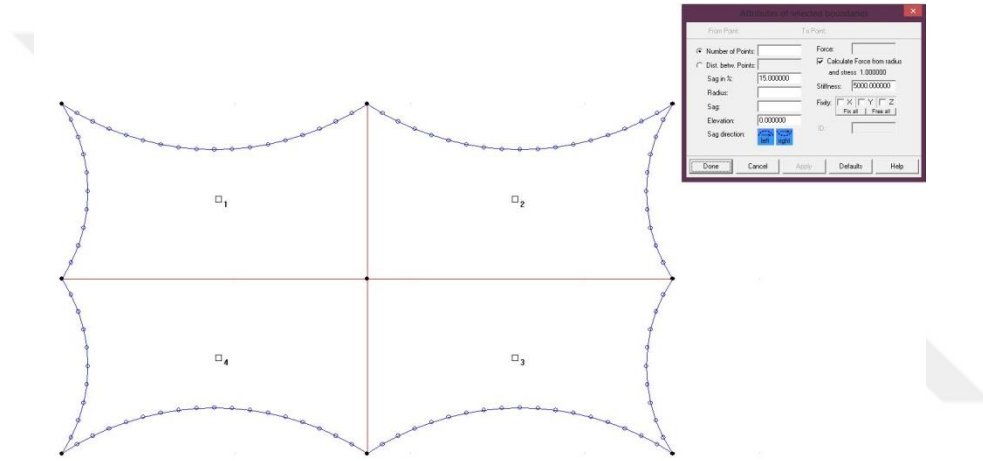
Konvansiyonel yollarla kurulan çadır formu ve algoritmik olarak oluşturulan formun yanı sıra bugün uygulama aşamasında membran yapılar için kullanılan Easy yazılımı ile aynı form oluşturulduğunda formun kenar ve yüzeyine gelen kuvvetlerden başlayarak atanabilmekte ve form bulunduktan sonrasında ise statik analizleri yapılarak, uygulama için kesme kalıpları hazırlanabilmektedir.



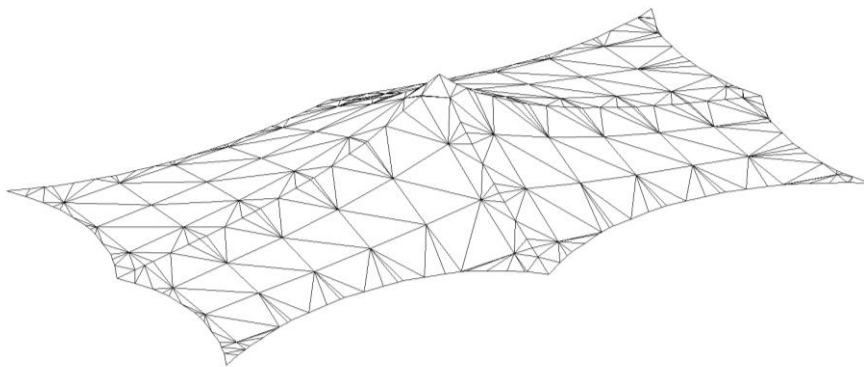
**Şekil 4.7.1:** Easy programı ile oluşturulmuş çadır formu

Mimari yapılar için membran tasarımında yer alan üç ana süreç; Form bulma, Statik Yük Analizi ve Kesim Modeli oluşturmaktır. Form bulma, çoğu durumda kuvvet dengesi olan ve ek tasarım kısıtlamalarını karşılayan bir yüzey olan yapısal bir form belirleme problemine verilen isimdir. Statik yük analizi, formda bulunan yüzeyin nihai ve servis verilebilirlik kısıtlamalarını karşıladığını kontrol etmek için tipik olarak geometrik olarak doğrusal olmayan yapısal analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmelidir. Son olarak, formda bulunan yüzey, imalat için bir dizi düzlemsel kumaşa dönüştürülmelidir, buna kesme modeli üretimi denir (Gründig ve diğ, 1996).

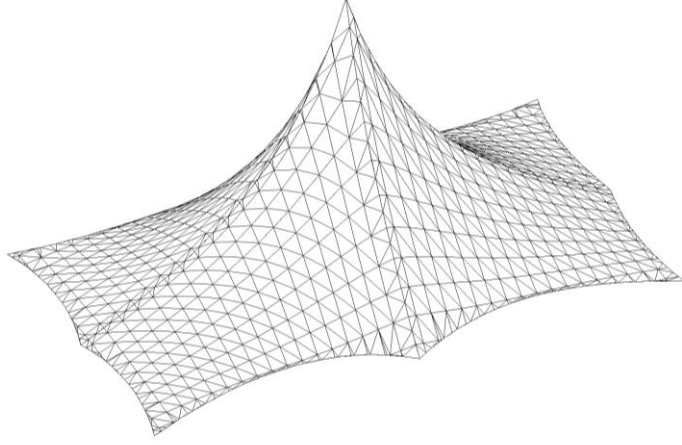
Mimari form bulma sürecinde Easy programı tarafından yüzeyin kenarlarına gelen kuvvetler bulunabilir ve gerektiğinde form üretimi için istenilen kuvvet değeri forma girilebilir. Şekil 4.7.2’de form bulma aşamasında istenilen kenar sehimleri nasıl olması isteniyorsa yüzde değeri girilerek kuvvet değerinin eş zamanlı olarak elde edilebileceği gösterilmektedir. Diğer yandan formun verilen noktalarının koordinatlarının program üzerinde değiştirilebileceği Şekil 4.7.3’de ifade edilmektedir. Aynı zamanda formun üstündeki kar kablolarının kuvvet değerleri girilerek ise formun gerilmesinin kontrol edilebileceği Şekil 4.7.4’de gösterilmektedir. İstenildiği durumda forma tepe noktası koordinatı ve çapı girilerek radyal membran formu da elde edilebilmektedir (Şekil 4.5.2).



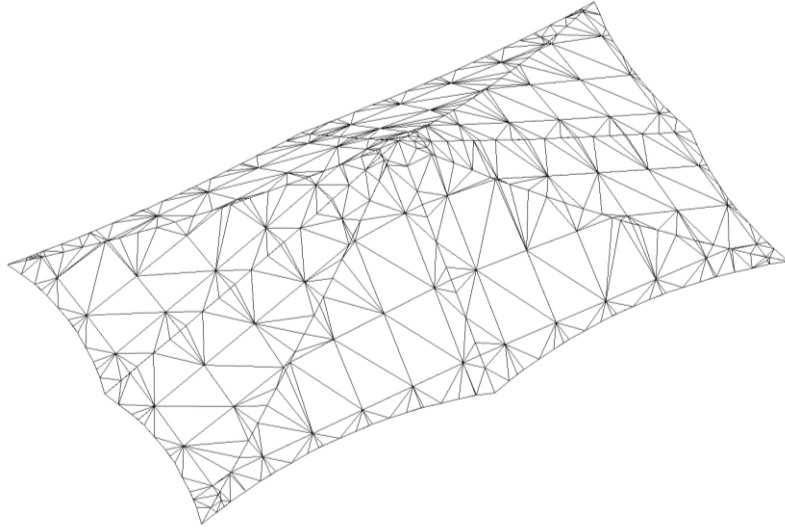
**Şekil 4.7.2:** Formun kenar kuvvetlerinin sehim yüzdesi girilerek elde edilmesi



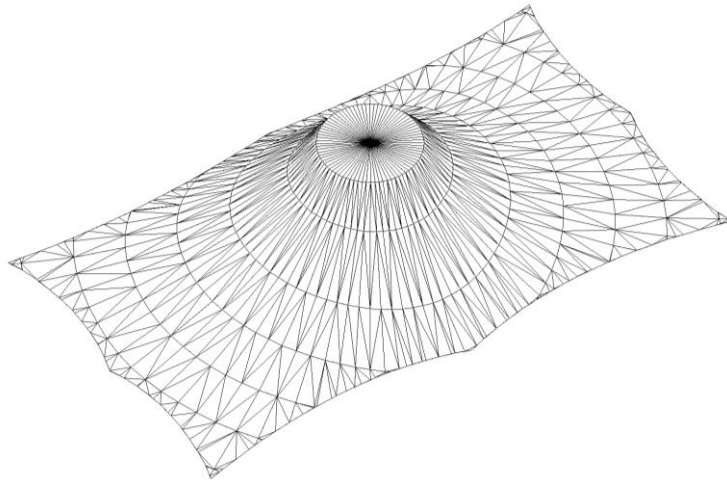
**Şekil 4.7.3:** Sag değeri arttırılmış çadır formu



**Şekil 4.7.4:** Tepe noktasının yüksekliği arttırılmış çadır formu



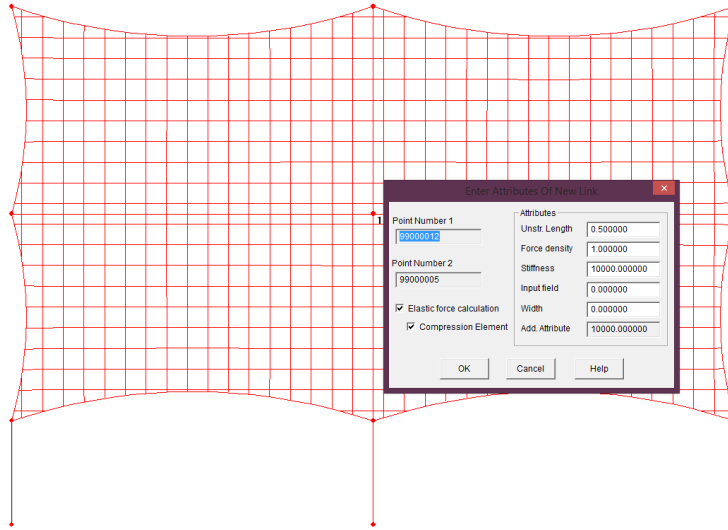
**Şekil 4.7.5:** Kar kablolarının kuvvet değerleri arttırılmış çadır formu



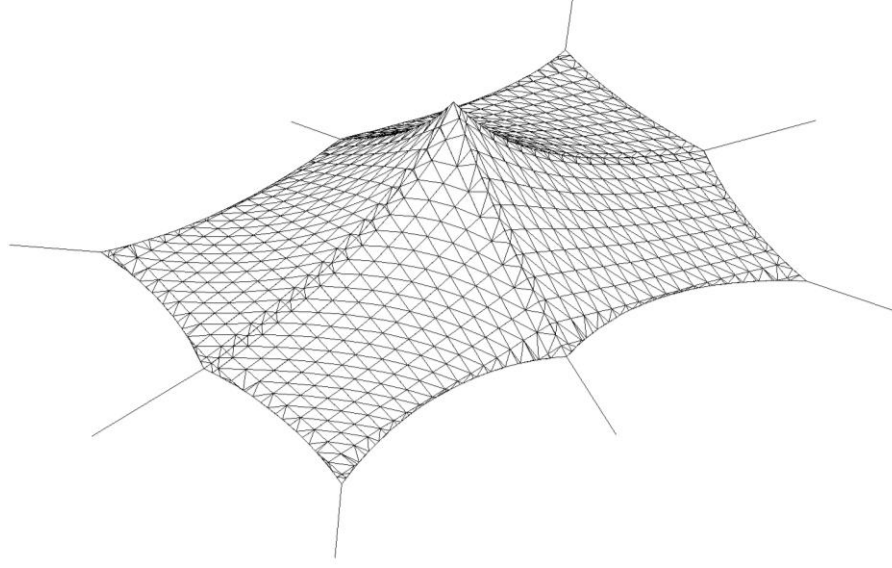
**Şekil 4.7.6:** Radyal eklenmiş çadır formu

Kara çadırın formu oluşturulurken kenar noktalarına eklenen halatlar ile gerdirilen çadır formunu tam olarak elde edebilmek için ise yüzey bulunduktan sonra kenar noktalarına uzaklıklarına göre yeni noktalar eklenir. Sonrasında ise noktalar arasına kablolar eklenir ve form analizi tekrar çalıştırılarak kabloların çekmesi sonucunda oluşacak yeni form analiz ile elde edilebilir.

Kara çadırın kurulumunda köşe noktalarında yer alan halatlar gerdirilerek kazıklara bağlanmaktadır. Köşe noktalarından gerdirildiğinde oluşan çadır formu ise değişmektedir. Bu nedenle köşelerden halatlar ile gerdirilen membran formunun nasıl olacağı easy yazılımda başta oluşturulan forma halat eklenerek elde edilebilmektedir. Easy programında halat boyu belirlenerek oluşacak ek noktalar girilir ve araya halatlar eklenir (Şekil 4.7.7). Easy ile form oluşturulduğunda halat ve yüzeylerin analizi yapılarak gerekli olan halat kalınlıkları ve membran teknik özellikleri doğrudan elde edilebilmektedir.

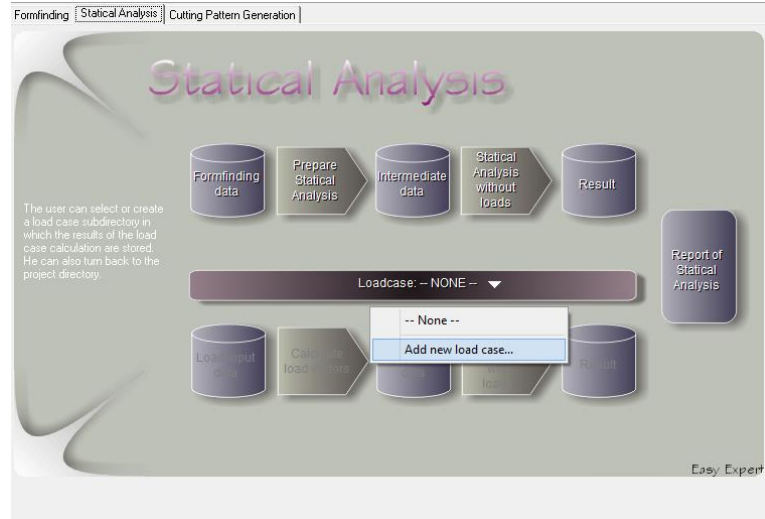


Şekil 4.7.7: Forma halat eklenmesi aşaması

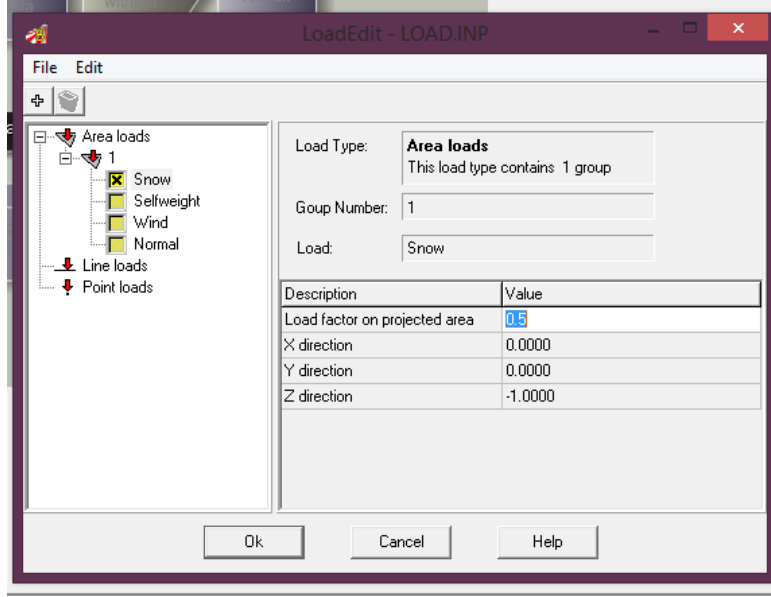


**Şekil 4.7.8:** Köşe noktalarına eklenen halatlar sonucu oluşan membran formu

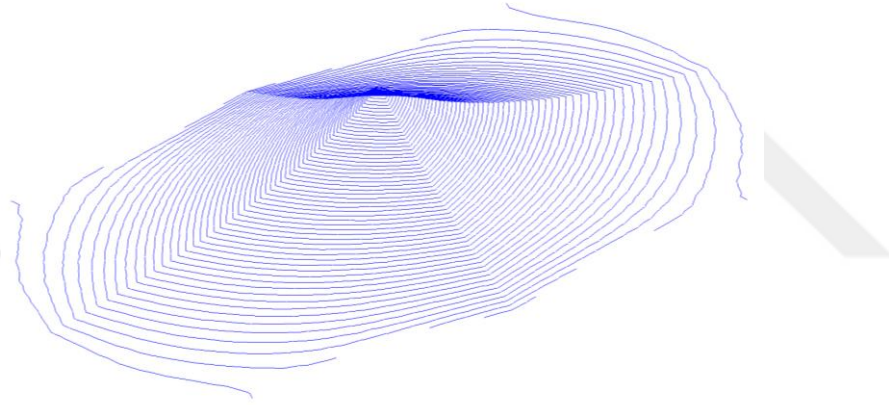
Easy yazılımı kullanıldığında elde edilen form üzerinden belli statik analizler yapılabilmektedir. Uygulama sonrası forma etki edecek çeşitli yükler statik analiz kısmında eklenebilmekte ve formun alacağı haller öngörülebilmektedir (Şekil 4.7.8). Diğer yandan örneğin kar yükü yüklenmesi durumunda form yüzeyinde oluşabilecek su birikmesi durumu kar yüküne göre kontrol edilebilmekte ve önüne geçmek amacıyla geriye dönük form üzerinde değişiklikler eş zamanlı olarak yapılabilmektedir (Şekil 4.7.9).



**Şekil 4.7.9:** Easy yazılı form statik analizi ara yüzü

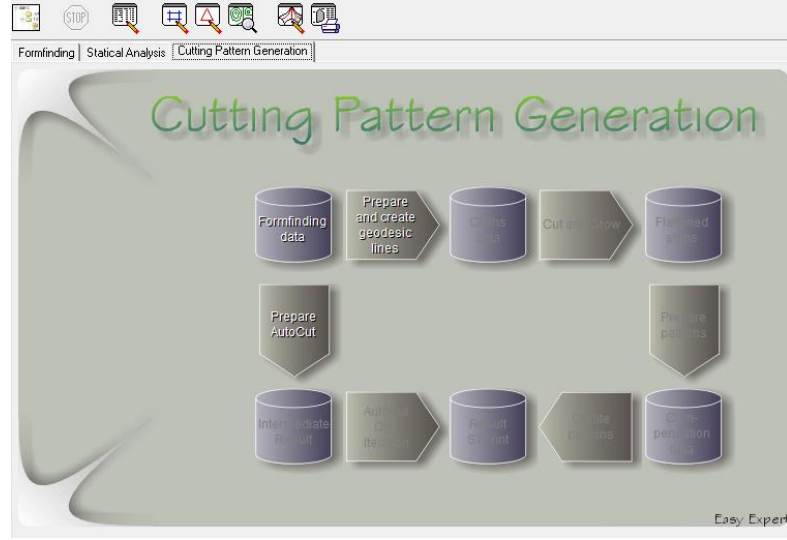


Şekil 4.7.10: Form yüzeyine kar yükü yüklenmesi

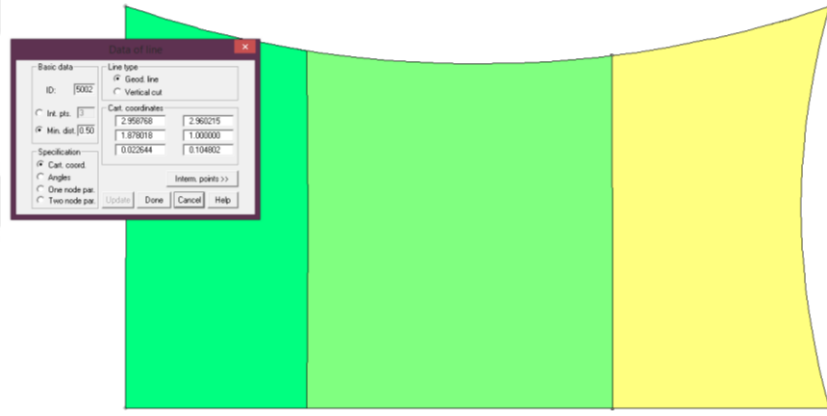


Şekil 4.7.11: Yüzeyle eklenen kar yükü sonucu görülebilen su birikmesi analizi

Tüm bu form bulma ve statik analizler sonucunda ise üretim aşamasına geçebilmek için gerekli olan kesme kalıplarının oluşturulması aşaması elde edilen form üzerinden easy yazılımında elde edilebilmektedir. Seçilen malzemenin teknik özellikleri ise kalıp oluşturulması aşamasında yazılıma girilerek oluşabilecek kompenzasyonlar da öngörülmektedir.



Şekil 4.7.12: Easy yazılımı kesme kalıplarının oluşturulması ara yüzü



Şekil 4.7.13: Kesme kalıplarında yapıştırma hatlarının belirlenmesi

## 4.8 Bulgular

Üretken sistemler ile ilgili tanımlamalarda fiziksel modelin üretim ve uygulama öncesi erken değerlendirmelere izin verildiği sayısal modeller oluşturması durumu literatürde pek çok kez ifade edilmiştir. Tasarım süreçlerinde hesaplamalı yöntemler ve üretken tasarım yöntemleri çokça kullanılmaktadır ve her geçen gün kullanımı ve üzerine yapılan çalışmalar çeşitlenmektedir. Bugün hesaplamalı yöntemlerle üretilen formlar tasarım sürecini ve sonrasında üretim sürecini etkilemektedir. Form bulma mimarisi ile ilgili yapılan çalışmalarda hesaplamalı yöntemlerin sürece dahil edilmesi sürecin artık tek yönlü değil, döngüsel olduğunu yani tasarım aşamasının herhangi bir adımında başka bir adıma geçilebildiğini göstermektedir.

Kara çadır formu üretilirken; ne kadar alan kaplayacağı, yüksekliğinin ne olacağı, işlevinin ne olacağı sorularına yanıt olarak form ortaya çıkarken; bugün aynı sorulardan yola çıkarak form üretilirken aynı zamanda forma etki edebilecek birçok faktör göz önünde bulundurulabiliyor. Bu faktörler forma etki edecek yükler, iklim koşulları gibi çeşitlendirilebilmektedir. Bu etkiler altında elde edilebilecek formların simülasyonları tasarım süreci içinde elde edilebilmekte ve oluşan varyasyonlar arasından da kullanıma göre en avantajlısı üretim için seçilebilmektedir.

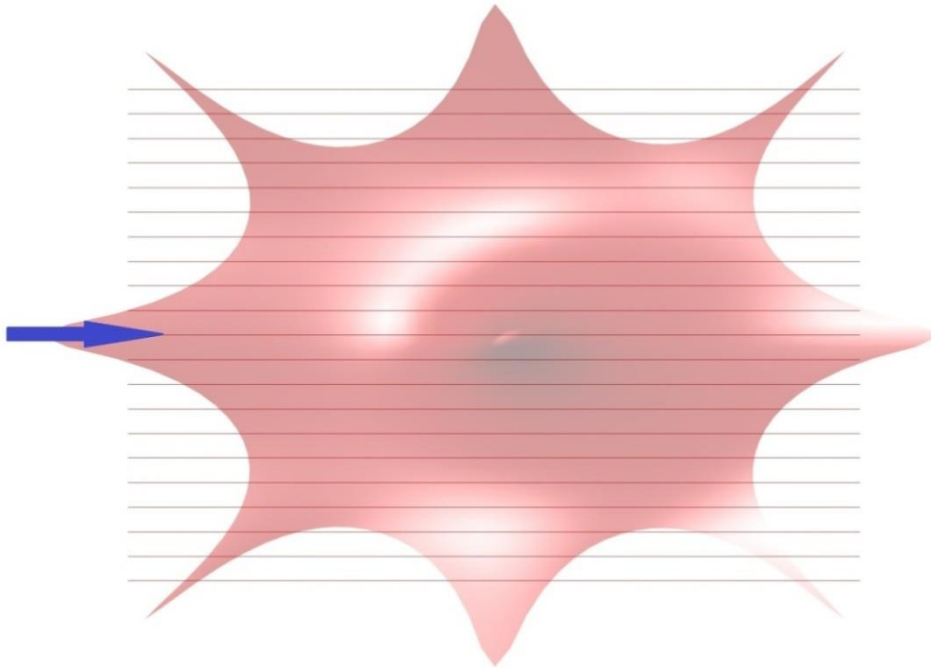
Kara çadır formunun hesaplamalı modeli ortaya koyulurken kuruluş mantığının değişmediği sadece yöntemlerin değiştiği şekil 4.8.1'deki diagramda ifade edilmiştir. Bugün hesaplamalı modellerin varlığı tasarım bilgisine ait verilerin parametre bağlı çalıştırılabileceği dolayısıyla algoritma şemalarıyla ifade edilebileceğini göstermektedir. Kara çadır formunun oluşum algoritması algoritmanın ilk versiyonunda sadece formun bulunması olarak ifade edilirken sonraki aşamalarda geliştirilerek farklı malzeme olanaklarına ulaşılması ve farklı fiziki koşullara taşınması durumları için hızlıca simüle edilebilir. Bu durum malzemenin teknik özelliklerinin algoritmaya eklenmesiyle çalışmanın devamında yer alır ve parametrelerin çeşitlenmesiyle form üzerinden bir optimizasyon çalışmasına da olanak verir.

Çalışmanın devamında yer alan Grasshopper Galapagos eklentisi ile form optimizasyonu bölümünde yapılan çalışmadan elde edilen bulgular şu şekildedir: ilk adımda branch grid 2D komutu ile oluşturulan yüzeyler için yüklenen yükler,



yüzeyde oluşan her bir üçgen alan için eşit olarak dağılmaktadır. Branch grid 2D ile oluşturulan yüzeylerde malzeme atkı-çözgü ve arada kalan üçgen alanların uzunluğuna göre ayrılmaktadır. Bu durum için +5 değerinde yapılan yüklemeye optimizasyon sonucu oluşan yüzey gerilmesi değerleri verilen 0-5 aralığı için +4.4 ve +4.5 olarak kaydedilmiştir. Diğer durumda yükün 0 olarak alındığı optimizasyon denemesinde ise +4.5 ve +2 değerleri kaydedilmiştir.

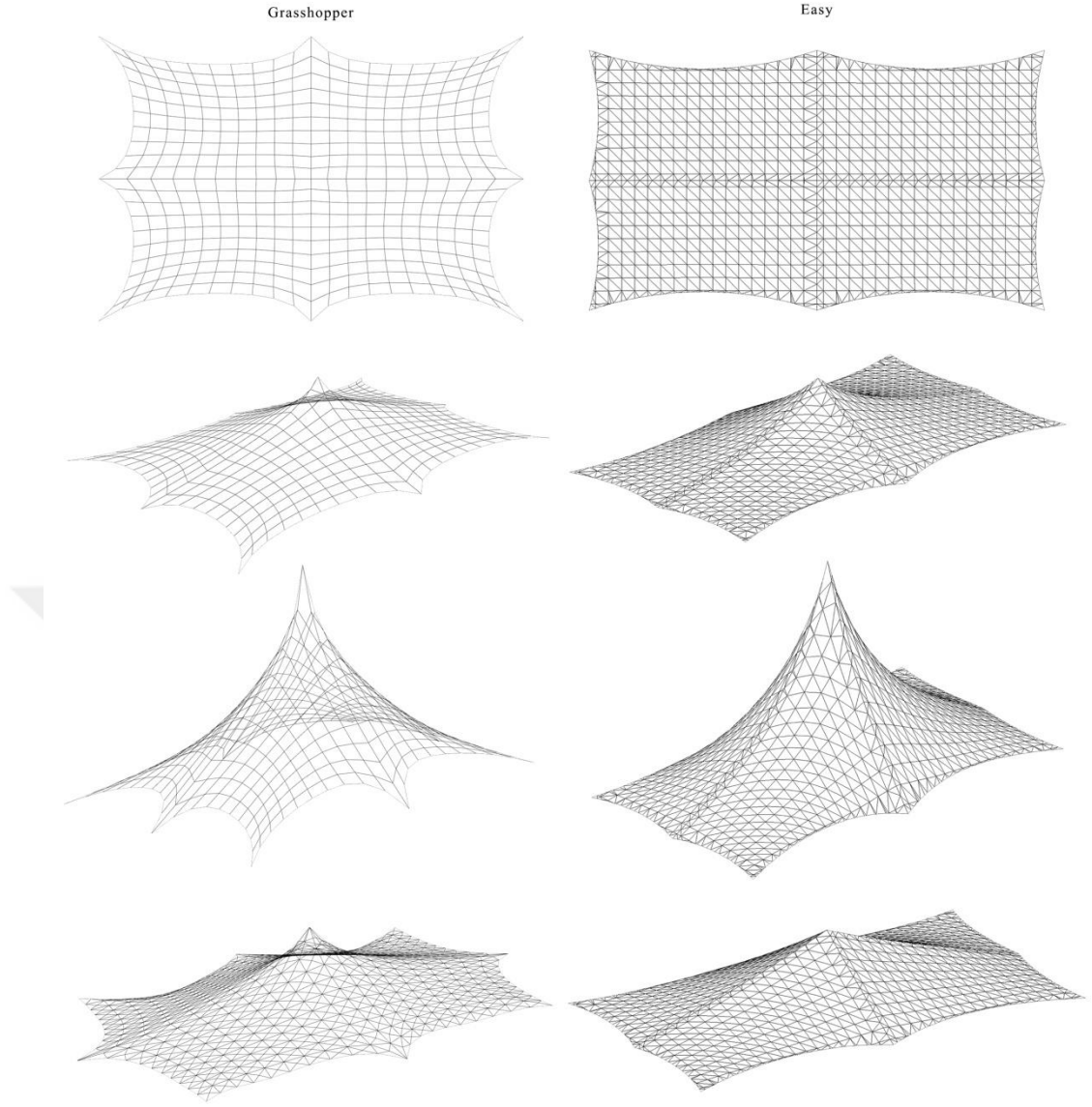
Rüzgar yüklemelerin yapıldığı aşamalarda ise yüzey özellikleri sadece atkı-çözgü yönlerine göre değerlendirilmiştir. XYZ yönlerinde uygulanan rüzgar yükleri sonucu form yüzeyindeki gerilmelerin yönlerle ilişkisi sorgulanması istenildiği için sadece atkı-çözgü yönleri ele alınmıştır. X yönünde rüzgar verildiğinde deforme olan form, optimizasyon sonucu çözgü yönünde atkı yönüne göre daha yüksek, maksimuma yakın bir değerde gerilmeye ulaşmaktadır.



**Şekil 4.8.1:** Form yüzeyine gelen rüzgarın yönü ve yüzeye ait çözgü hattı gösterilmiştir

Y yönünde uygulanan rüzgar yüklemesi durumunda ise X durumunun tam tersi sonuç elde edildiği görülmüştür. Y yönünde rüzgar geldiğinde ise atkı yönündeki yani yük gelen yöndeki yüzey gerilmesi değerinin maksimuma yaklaştığı gözlenmiştir. Form optimize edildiğinde optimuma yaklaşmak için atkı yönünde gerilme göstermektedir. Z yönünde yani aşağıdan bir rüzgar geldiğinde ise form yüzeyine ait gerilmelerin minimumda kaldığı görülmektedir.

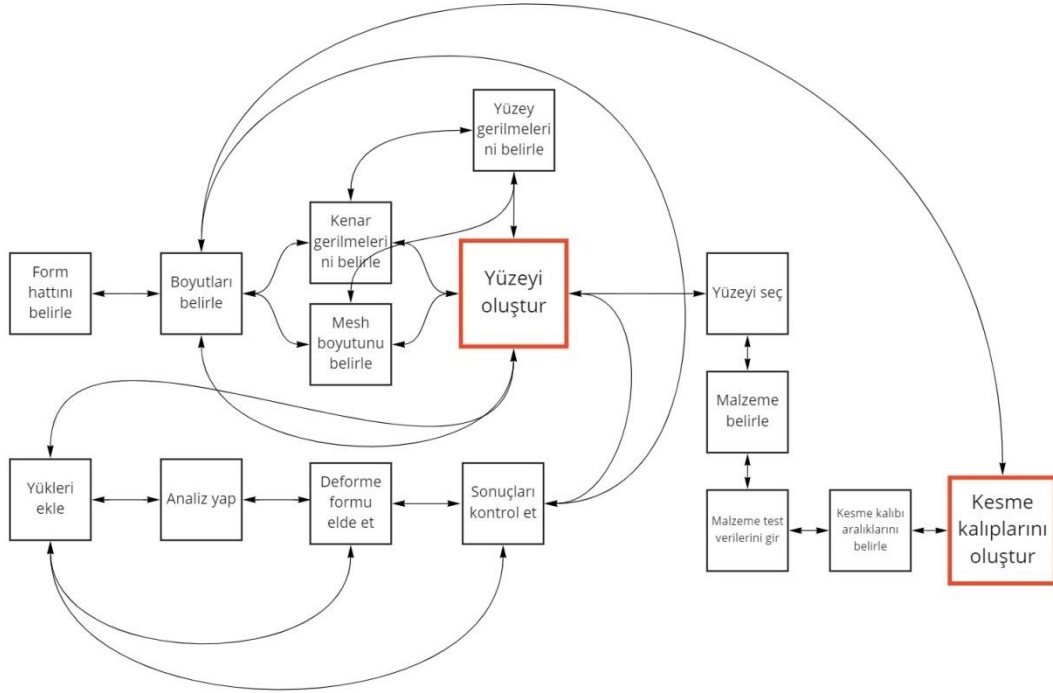
Membran yapılar bugün malzemenin potansiyellerinin form oluşumuna etkisinin gözlemlenebildiği bir alan sunar. Easy yazılımı daha çok mühendislerin kullandığı ve form bulmaya olanak tanıyan bir ortamdır. Easy ile oluşturulan formlar belli statik verilerin de işlenebildiği ve eklenen fiziki koşullara göre deforme formu ve bu koşullar altında formda oluşan gerilme değerlerini elde edebildikleri, elde edilen verilere göre ise malzemeyi belirleyebildikleri bir analiz sunar. Dolayısıyla geleneksel tasarımdaki biçim-yapı-malzeme sıralamasından ayrılmaz. Çalışmada geliştirilen algoritma ise var olan form bulma yazılımının bu yönünü geliştirmeye yöneliktir ve malzeme ile ilgili kararlar farklı fiziki kurallara göre eş zamanlı olarak yürütülebilir. Bu durumda hesaplamalı tasarımın ile mimaride bahsedilen biçim-yapı-malzeme sıralamasının yerini malzeme-biçim-yapı halini alması durumu gözlemlenir. Algoritma oluşturularak bulunan form varyasyonları ile Easy yazılımdaki form oluşum varyasyonları aynı parametre değerleri ile oluşturulduğunda birbirine çok yakındır. Bu durum da algoritmanın geliştirilmiş halindeki verilerin de gerçeğe yakınlığı hakkındaki yaklaşımların olumlu yönde olduğuna işaret eder. Grasshopper ve Easy ile aynı parametreler dâhilinde oluşturulan form karşılaştırmaları şekil 4.8.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.8.2:** Grasshopper ve Easy yazılımlarında aynı koşullarda oluşturulan form örnekleri

Şekil 4.8.3’de tasarım ve üretin sürecinin nasıl döngüsel bir şekilde ilerlediği yapılan çalışmalardan hareketle gösterilmektedir. Tasarıma başlarken ilk adımda fonksiyona göre formun alanı belirlenmektedir daha sonrasında formun boyutları, form üzerindeki noktaların koordinatları girilmektedir. Daha sonra ise forma etki edecek kenar gerilmeleri, yüzey gerilmeleri, mesh boyutları gibi pek çok faktör işlenerek form yüzeyi elde edilebilmektedir. Elde edilen yüzeyden yola çıkarak ise statik analizler yapılabilmektedir. Bu analizler forma etki edebilecek yüklerin önceden girilerek yük altında formun nasıl çalışacağı sonucunu önden görebilmeyi sağlamaktadır. Elde edilen analiz sonuçlarından ise çıkarımlar yapılarak formun yüzeyinin oluşturulmasından önceki adımlara geri dönülebilmesini sağlamaktadır.

Diğer yandan analiz verilerinin uygun görülmesi durumunda imalat aşamasına geçilmeden önce imalat çizimleri hazırlanabilmektedir. İmalat çizimleri hazırlanırken ise malzeme teknik özellikleri göz önünde bulundurulabilmekte ve malzemeye göre kesme kalıbı boyutları ve kompenzasyonları öngörüleabilmektedir. Gerekirse imalata geçilmeden hazırlanan sonuçlardan yine geriye dönük bir çalışma yapılabilir. Bütün bu durumlar aslında hesaplamalı tasarımın ve form bulma mimarisindeki süreçlerin nasıl bir döngü halinde çalıştığını ifade etmektedir.



**Şekil 4.8.3:** Tasarım ve üretim süreci döngüsü

Easy yazılımı ve grasshopper ile geliştirilen algoritmanın form bulma ve forma dair yapılan analizler için sağladığı yeterlilikler çizelge 4.8.1’de ifade edilmiştir. İki yazılıma göre form bulma için Easy ile mesh boyutu belirlenmesi, kenar sehimlerinin belirlenmesi, kenar rijitliğinin belirlenmesi, form noktalarının koordinatlarının belirlenmesi ve mesh yönünün belirlenmesi adımları söz konusu iken grasshopper kısmında geliştirilen algorithmada kenar rijitlikleri ve mesh yönü ile ilgili bir parametre yer almamaktadır. Form bulduktan sonraki aşamada yapılan analizlerde ise Easy ile yük analizi, su biriktirme analizi, kablo ve kenar gerilme değerleri, yüzey gerilme değerleri elde edilebilirken grasshopper ile su biriktirmesi analizi, kablo ve kenar gerilme değerlerine ulaşmak için bir adım yer almamaktadır. Ancak grasshopperda geliştirilen algoritma ile Easy yazılımından farklı olarak optimizasyon çalışması yapılabilir olmasıdır ve bu durum hesaplamalı tasarımın form bulma

konusunda çalışmaya özgün ve geliştirilmeye değer en önemli adımı olarak görülmektedir. Bu optimizasyon çalışması ile yüzey gerilmeleri ve yüzeyin atkı-çözgü yönündeki uzamalarına ait parametrelerin yani malzeme seçiminin analizinin yapılabilirliği ortaya koyulmaktadır ve grasshopper ile oluşturulan modele ait mevcut yazılımlardan ayrılan en önemli nokta optimizasyona olanak sağlayabiliyor olmasıdır. Easy ve grasshopper yazılımlarının yeterliliklerine ait karşılaştırma Çizelge 4.8.1’de yer almaktadır.

**Çizelge 4.8.1:** Easy ve Grasshopper Yazılımlarının Yeterlilikleri

	EASY	GRASSHOPPER	
Mesh boyutu belirleme	✓	✓	Form bulma aşaması
Kenar sehimlerini belirleme	✓	✓	
Kenar rijitliğini belirleme	✓	×	
Form noktalarının koordinatlarını belirleme	✓	✓	
Mesh yönü belirleme	✓	×	
Yük (kar, rüzgar vb.) analizi	✓	✓	Analiz aşaması
Su biriktirme analizi	✓	×	
Kablo/Kenar gerilmeleri	✓	×	
Yüzey gerilmeleri	✓	✓	
Optimizasyon*	×	✓	

Çalışma kapsamında elde edilen verilerden hareketle mevcut form bulma yazılımı olan Easy ile geliştirilen grasshopper algoritmasının yeterlilikleri ortaya koyulmuştur. Easy ile elde edilen formlar, formun oluşumuna ait birçok verinin girilmesiyle elde edilip, form üzerinde çeşitli statik analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Grasshopperda form oluşturulması aşamasında yine çeşitli veriler girilerek form elde edilmiş ve statik analizler sonucu ulaşılan denge formu Easy yazılımındaki gibi elde edilebilmiştir. Diğer yandan mevcut yazılımdan farklı olarak grasshopperda elde edilen formlar analiz aşamasındaki koşullara göre eş zamanlı optimize edilebilmektedir. Bu durum da geliştirilen çalışmanın mevcut yazılımlardan ayrılan en önemli noktasını oluşturmaktadır. Çalışmada form üretiminde malzeme seçimi başlangıç aşamasında kararların verilmesinin sağlandığı bir kurgu sunmaktadır.



## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hesaplamalı tasarımın, tasarım ürününün hesaplamalı bir modelini ortaya koyuyor olması mimari tasarımda formun temsilini dönüştürmektedir. Hesaplamalı modeller sadece formun görselleştirilmesinden öte formun simülasyonunu ortaya koyar ve çeşitli temsillerin türetilmesini sağlar. Çalışma kapsamında oluşturulan kara çadır simülasyonu ile formun temsili farklı koşullara göre eş zamanlı dönüştürülebilmektedir.

Tasarım ürününün temsilinde yaşanan dönüşümün yanı sıra tasarlama süreci de dönüşmektedir. Kara çadır formunun modeli aynı zamanda farklı koşullar altında formun araştırılmasına olanak sağlamış ve farklı koşullara göre her aşamada sonuç ürünü görerek tasarım kararlarının verilmesini sağlamıştır.

Çalışmanın örneğinde yer alan kara çadır formu için grasshopperda geliştirilen algoritma bir form bulma yöntemi olarak ele alınmaktadır. Kara çadır formunun oluşturulmasında geliştirilen yöntem mevcut form bulma yöntemlerine de dayanmakta olup diğer yandan mevcut yazılımların eksikliklerini ve ne yönde geliştirilebileceğini araştırmak için bir başlangıç çalışmasını oluşturmaktadır. Gelecekteki çalışmaların belirlenmesi için yapılan çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi yapıp, çalışmanın taşıdığı potansiyeller açıklanmaktadır.

Hesaplamalı tasarımın geleneksel çadır formu üzerinden yeniden değerlendirmesi bölümünde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi şu şekilde yapılır: şekil 4.8.1'de yer alan optimizasyon çalışması durumu için elde edilen forma etki eden yükler altında formda oluşan deformasyonları göz ardı etmek için yüzeydeki gerilme değerleri değişkende tanımlanan aralığın maksimum olduğu değere yaklaşmaya çalışmaktadır. Gerilme değeri arttıkça formun deforme olması durumu azalmakta ve form başlangıçtaki optimum forma yaklaşmaktadır. Bu sonuç da malzemeye etki eden yüklerin artması halinde daha yüksek gerilme değerlerine sahip bir malzeme kullanılarak form yüzeyindeki deformasyonların tolere edilebileceği şeklinde yorumlanır. Çalışmanın sonraki adımında eklenen rüzgar kuvvetleri sonucu yapılan optimizasyon çalışmasının bulguları ise şu şekilde

yorumlanır: atkı yönünde uygulanan rüzgar kuvveti formu atkı yönünde deforme etmekte, çözü yönünde uygulanan kuvvet sonucu ise çözü yönünde deforme etmektedir. Optimizasyon sonucu ise form deformasyonları tolere etmek için kuvvet gelen yöndeki gerilme değerlerini yükseltmektedir, bu sayede başta oluşturulan ideal denge formu korunmaktadır. Aşağıdan uygulanan bir rüzgar kuvveti sonucu ise optimizasyon verileri gerilmelerin minimuma yaklaştığını göstermektedir. Bu durum ise formun böyle bir deformasyona uğradığında fazla gerilme göstererek yırtılma gibi kalıcı bir deformasyona uğramamak için gösterdiği reaksiyon olarak yorumlanabilir.

Bu çalışmada geleneksel kara çadır formu çalışmanın geleneksel üretim örneği olarak seçilmiş ve formun potansiyelleri üretken sistemler aracılığıyla sayısal ortama aktırılarak bir simülasyon elde edilmiştir. Elde edilen bu simülasyon üzerinde farklı yük yüklemeleri, yükseklik verileri ve germe kuvvetleri uygulanarak kara çadır formunun varyasyonları ortaya konulmuş ve çeşitli analiz yöntemleri ile form üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Rhino grasshopper ortamında temsili kurulan hesaplamalı kara çadır form modeli çalışmasının, bağlı olduğu parametreler dahilinde farklı koşullarda gösterdiği form değişiklikleri ve deformasyonları anlık analiz edilebilir bir sisteme dönüştürülmüştür. Analiz sonuçları tasarım aşamasında değerlendirilebilir geri bildirimlerle eş zamanlı çalışmaya imkân sunmuştur. Karar-sonuç aşamalarının iç içe geçtiği bu tür bir tasarım sürecinde temsilin sahip olduğu problemlere farklı cevaplar üretilebilmekte ve sonuçları yine anlık olarak değerlendirilebilmektedir. Hesaplamalı bir sürece dönüşen bu tür tasarım süreçleri tasarımcıların karar verme mekanizmalarını da etkilemekte ve dönüştürmektedir. Sayısal kara çadır formu üzerinde yapılan optimizasyon çalışmalarında; germe sistemlerdeki malzeme seçiminin önemi ortaya konulmuş ve form tasarımını doğrudan etkileyen bir unsur olduğu görülmüştür. Germe yapılarıdaki malzeme seçiminin formu doğrudan etkileyen bir unsur olması form üretimindeki karar verme mekanizmalarında da birincil unsurlardan biri olarak çalıştığı sonucuna varılmıştır. Optimizasyon işlemleri sırasında belli parametrelerin kısıtlayıcı, belli parametrelerin değişken kabul edilmesiyle ulaşılan optimum formların malzeme alternatiflerine bağlı olarak farklı alternatiflerin oluşturulmasını sağlamaktadır.



Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar form bulma konusunda geliştirilmiş bir yöntem olarak görülebilir; ancak optimizasyon çalışmalarından elde edilen veriler nihai uygulama verileri olarak görülmemelidir. Bu çalışmalar form optimizasyonunda tutarlı sonuçların elde edilebilirliği için bir başlangıç çalışması kabul edilebilir.

Uygulama amaçlı form bulma konusunda kullanılan Easy yazılımı ile elde edilen sonuçlar üretime geçirilebilir; ancak yöntem olarak istenilen form belirli teknik bilgilerin girilmesiyle elde edilebilir. Formu oluşturacak başlangıç verileri girildikten sonra ideal denge formu oluşturulur ve oluşan forma uygun malzeme teknik özellikleri elde edilir. Bu çalışma için oluşturulan form bulma algoritmasıyla, ideal forma etki eden değişkenlerin tanımlanmasını sağlamış ve bu değişkenlere bağlı olarak tasarıma dahil edilen kısıtlayıcılar dahilinde anlık analizler yapılabilmekte ve sonuçlara bağlı optimizasyon işlemleri ile optimum form sonucu elde edilebilmektedir.

Bu durumda germe yapıların tasarımında denge formu optimize edilerek değişkenler kontrol edilebilir bir hale dönüştürülmüştür. Bu çalışma dahilinde kurgulanan algoritma programlanabilirlik yetisine sahip olması ile açık bir sistem olarak çalışmakta ve geliştirilmeye elverişli bir kurgu olarak kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçların tutarlılığı ileriki aşamada bu çalışmayı kullanacak olan araştırmacılar tarafından geliştirilebilir. Çalışmanın geliştirilmesi ile denge formunun bulunması aşamasında malzeme verisinin başlangıçta belirlenebilir olması aynı zamanda üretim aşamaları için malzeme teknolojilerinin geliştirilmesi ve maliyet çalışmalarının programlanarak sisteme dahil edilmesi gibi çalışmalarda kullanılabilir.

## 5.1 Genel Değerlendirmeler

Hesaplamalı tasarımın yöntemlerinin mimari tasarıma dâhil olmasıyla birlikte mimarlık literatüründe pek çok kez bahsedilen ifadeler çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar ile örtüşmektedir. Hesaplamalı tasarımın mimari tasarım sürecini nasıl dönüştürdüğüne dair bulgular var olan literatüre ek olarak araştırma bulguları üzerinden de tekrar bir genel değerlendirme sunmaktadır.

Kara çadırın üretimi konvansiyonel yollarla daha deneysel ve deneme yanılma yöntemine dayalıyken; bugün hesaplamalı tasarımla sistemlerin üretiliyor olması daha kural olarak işin içine girmektedir. Kara çadırda malzeme olarak keçi kılının kullanılıyor olması daha deneyselken, şimdi malzeme daha iyi tanınıyor ve bütün olasılıklar göz önünde bulundurularak malzeme seçimi yapılabiliyor. İmalat aşaması için artık malzemenin potansiyelleri de daha iyi araştırılabilir ve tasarım sürecinin adımlarında malzemenin özelliklerine göre süreçten farklı sonuçlar da elde edilebilir. Örneğin formun gerilme değerlerinin biliniyor olması malzeme seçimi yapılırken malzemenin teknik özellikleri göz önünde bulundurularak seçim yapılabilmesini sağlıyor. Aynı zamanda form analizi sırasında kullanılan program ara yüzleri sayesinde matematik ve mühendislik kuralları kullanılabilir. Tasarımcı ya da mimar da artık belli kuralları ve hesaplamaları bilirse dahi yazılımlar sayesinde sonuçları görebiliyor ve bunu tasarım sürecini etkileyecek bir araç olarak kullanabilir. Bu durumda da çokça bahsedilen, hesaplamalı tasarımın disiplinler arası çalışmaya olanak sağladığı olgusunu ortaya koymuş oluyor. Bugün form üretiminde malzemenin potansiyellerinin daha iyi biliniyor olması ve tasarım sürecinde malzeme özelliklerinin formun oluşumuna etki etmesi durumu aynı zamanda yeni malzemelerin üretimini de etkilemektedir. Tasarım sürecinde forma ait olasılıkları görmek, malzeme üretimindeki olasılıkları da arttırmaktadır. Bu durum da aynı şekilde malzeme teknolojisini etkilemekte ve yine disiplinler arası eş zamanlı gelişmelerin yaşanmasını sağlayabilmektedir.

Tasarım sürecinin döngüsel olarak ifade edilmesi aynı zamanda aslında sonucun hiçbir zaman tam olarak sonuçlanmadığını yani ürettikten sonra da sürecin devam ettiğini söyleyebilmektedir. Üretim sürecinin başı ve sonu olmaması hesaplamalı tasarım ile mümkün hale gelmekte ve bir sonuca odaklı gitmek yerine süreçte keşfetmeyi ve sürecin karmaşık bir ağ şekline getirmeyi sağlamaktadır. Süreç ağ

halini alırken ise kullanılan yöntemler sayesinde tasarım ürününe ulaşmak daha da kolaylaşmaktadır.

Hesaplamalı tasarımın mimarideki kullanımı gün geçtikçe sayısal temsillerin üretiminden çıkıp, form üretimine dönüşmektedir. Üretilen formlar tasarlanma süreçleriyle birlikte üretim aşamalarını da dönüştürmektedir. Mimaride fiziksel koşulların tanımlanabilir olması malzeme parametrelerinin de yönetilebilir olmasını sağlar ve üretimle entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Tasarım sürecindeki etken ve değişkenlerin tanımlı birer parametre ile algoritmaya dâhil edildiği bu sistemler üretim sürecini programlanabilir bir hale dönüştürür. Form bulma süreci, mimari tasarımda ideal denge formuna ulaşmak için formu oluşturan parametrelerin kontrol edilmesi olarak tanımlanabilir. Bu parametreler farklı kısıtlamalar dâhilinde kontrol edilerek mimari formun farklı varyasyonlarını oluşturulur. Hesaplamalı tasarımın sürece dâhil olması form zenginliği sağlar. Çeşitli bilginin eş zamanlı olarak sürece dahil olmasını sağlayan hesaplamalı tasarım sistemleri, süreç içerisinde çözüm üretimi sağlayarak konvansiyonel yollarla üretilemeyen formların mimariye dâhil olmasında büyük rol oynar.

Konvansiyonel tasarımda formun özelliklerinde yapılan küçük değişiklikler, yeniden tasarım yapılmasını gerektirebilmektedir. Form bulma konusu birçok parametreyi içine dâhil eden bir tasarım sürecidir ve oluşturulan hesaplamalı tasarım modeli; modelin sınırları, yükseklikleri, malzeme ve yükler hakkında bilgileri bir arada çalıştırır. Bu sayede tasarım aşamasında yapılabilecek küçük veya büyük bir adım tasarım sonuçlarının eşzamanlı olarak dönüşmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada oluşturulan form bulma algoritması farklı tasarım problemleri karşısında, fiziksel koşulları tanımlayan parametreler yenilenerek doğrudan yeni form üretimini sağlayacak yetide kurgulanmıştır. Bu algoritma kullanılarak yapılacak farklı bir form tasarımı sürecinde form bulma konusunda gerekli bilgisi olmayan bir tasarımcının sadece kendi parametrelerini girerek yeni form üretebilecektir. Bu çalışmada kurgulanmış olan algoritma ya da benzeri hesaplamalı tasarım kurgularının tasarım sürecine dâhil edilmesiyle, tasarımcı form analizi ve optimizasyonlar hakkında bilgi sahibi olmadan da yeni alternatifleri üretebilecektir.



## KAYNAKLAR

**Aksamija, A.**, (2016) Integrating Innovation in Architecture, Design Methods and Technology for Progressive Practice and Research, s.80-81. Wiley.

**Alexander, C.** (1964). Notes on the Synthesis of Form, Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.

**Al-Kashi, J.** (1427). Key to Arithmetic: aktaran Old-Samplonius, Y., Armsen, Y.L., 2005, The Muqarnas Plate Found at Takht-I Sulayman: A New Interpretation, Muqarnas, Vol. 22 (2005), (s. 85-94). Brill.

**Arpak, A.** (2012). TASARIM YÖNTEMLERİ HAREKETİ: 1960'LARDA POZITIVİST VE FENOMENOLOJİK MODELLER İLE TASARIMIN RASYONALİZASYONU (USSALLAŞTIRILMASI), MIT, Dosya 29. TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.

**Ambos-Spies, K., Fejer, F.A.** (2014). Handbook of the History of Logic, Elsevier, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands.

**Behera, B.K.** (2012). Modelling the structure of woven fabrics, Woven Textiles, Indian Institute of Technology Delhi, India.

**Burry, M., Grifoll, J. C., Serrano, J. G.** (2008). Sagrada Família s. XXI Gaudí Ara / Ahora / Now, Edicions UPC, Barcelona: aktaran Makert, R., Gilfranco, A., 2016, Between Designer and Design: Parametric Design and Prototyping Considerations on Gaudí's Sagrada Família, Periodica Polytechnica Architecture.

**Caetano, I., Santos, L., Leitaõ, A.** (2019). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design, INESC-ID/Instituto Superior Técnico, University of Lisbon, Lisbon, Portugal, College of Architecture and Environmental Design. Kent State University. Kent, USA.

**De Mol, L.** (2018). Turing Machines. Stanford Encyclopedia of Philosophy.

**Dixit, S., Stefanska, A., Musiuk, A.** (2020). Architectural form finding in arboreal supporting structure optimisation. Ain Shams Engineering Journal.

**Drew, P.** (2008). New Tent Architecture, Thames & Hudson. London, UK.

**Dunn, N.** (2012). Digital Fabrication in Architecture. Laurence King, London.

**El Iraqi, A.M., El Daly, H.T.** (2017). ARCHITECTURAL FORMING BETWEEN FORM MAKING AND FORM FINDING TOWARDS FORM FOLLOWS PARAMETERS, Vol. 12, No. 43, January, 2017, 577-596. Journal Of Al Azhar University.

**Fischer, T., Herr, C.M.** (2001). Teaching generative design. In: Proceedings of the 4th International Conference on Generative Art. Milan, Italy.

**Frazer, J.** (2016). Parametric Computation: History and Future, John Wiley & Sons, s.20. London.

- Giller, J.** (2012). Reinventing the Tent, An exploration of fabric construction, School of Architecture, (s.22). Victoria University of Wellington.
- Goldsmith, N.S.** (2014). Shape Finding or Form Finding?, Proceedings of the IASS-SLTE 2014 Symposium “Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints” 15 to 19 September 2014. Brasilia, Brazil
- Gramazio, F., Kohler, M., Oesterle, S.** (2010). ENCODINGMATERIAL, Architecture and Digital Fabrication. ETH Zurich.
- Grobman, J.Y., Ron, R.** (2011). Digital Form Finding Generative use of simulation processes by architects in the early stages of the design process. Israel Institute of Technology, Israel, University of Florida, USA.
- Groenendijk, R.** (2019). The Digital Influence on Architecture, on how computer aided design and manufacturing technologies influenced architectural design, History Thesis.
- Hileman, R.** (1998). Design Methods: seeds of human futures, By John Chris Jones 1970, John Wiley and Sons. New York and Chichester.
- Hoffmann, A.** (2001). International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, Artificial and Natural Computation, University of New South Wales, Sydney, New South Wales, Australia.
- Janjanam, D., Ganesh, B., L.,M.** (2020). Design of an expert system architecture: An overview, Journal of Physics: Conference Series. ICDIIS 2020.
- Janssen, P.H.T., Frazer, J., Tang, M.** (2005). A Framework For Generating And Evolving Building Designs, International Journal of Architectural Computing vol. 3 - no. 4, 449-470.
- Jones, J.C.** (1966). Design Methods Reviewed, Springer Science+Business Media. New York 1966.
- Kademoğlu, O.** (1974). Yörüklercfe Üç Direkli Karaçadır. Mimarlık:5.
- Kıyıcı, G.** (2016). Mimari Temsillerin Seyri ve Yönelimler: Mimarlığın Seyredeni Kimdir?, Algılama-Temsil-Tasarım ve Mimarlık dersi dönem sonu semineri. İTÜ, İstanbul.
- Kolarevic, B.** (2003). Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing, Spon Press. New York.
- Leondes, C.T.** (2002). Expert Systems: The Technology of Knowledge Management for the 21st Century. Professor Emeritus University of California. Los Angeles, California. Elsevier Inc.
- Maller, A.** (1991). Towards a critical architectural representation, Design Studies, College of Architecture. University of Nebraska, Lincoln, NE 68588.0107. NE 62588-01, USA.
- Maller, A.** (2003). Towards a Critical Architectural Representation, College of Architecture, University of Nebraska, Lincoln, NE 68588-0107, NE 62588-01, USA.
- Menges, A.** (2011). Biomimetic design processes inarchitecture: morphogenetic andevolutionary computational design, Institute for Computational Design. University of Stuttgart, Keplerstrasse 11, 70174. Stuttgart, Germany.

- Oxman, R.** (2005). Theory and Design in the First Digital Age, Faculty of Architecture and Town Planning Technion. Haifa 32000, Israel.
- Oxman, R.** (2017). Thinking Difference: Theories and Models of Parametric Design Thinking, Design Studies. Volume 52.
- Özkar, M., Kotsopoulos, S.** (2008). INTRODUCTION TO SHAPE GRAMMARS, Massachusetts Institute of Technology, Shape Grammar Applications, (s.3). USA.
- Pask, G.** (1969). The architectural relevance of cybernetics. Architectural Design. John Wiley & Sons Ltd., London.
- Schmitt, G.** (1997). DESIGN MEDIUM - DESIGN OBJECT, Architecture and CAAD. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- Schumacher, P.** (2009). Parametricism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. John Wiley & Sons. London.
- Sipser, M.** (1997). Introduction to the Theory of Computation, Third Edition, (s.1,2,3). 20 Channel Center Street Boston, MA 02210, USA.
- Stiny, G.** (1980). Introduction to shape and shape grammars, Centre for Configurational Studies. The Open University. Milton Keynes MK7 6AA, England.
- Stiny, G., Gips, J.** (1971). Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture. IFIP Congress 71 in Ljubljana, Yugoslavia.
- Stiny, G., Knight, T.** (2015). Classical and non-classical Computation, Department of Architecture. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, USA.
- Stiny, G.** (2012). GEORGE STINY İLE HESAPLAMA VE TASARIM ÜZERİNE AÇIK BİR SÖYLEŞİ. MIT, Dosya 29. TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Sönmez, E.** (2007). Temsil Üzerinde Mimarlığa Bakış. İTÜ, İstanbul.
- Terzidis, K.** (2006). Algorithmic Architecture, Architectural Press. Burlington, MA 01803, USA.
- Ünügür, S.M.** (1989). Bina Tasarımının Temel İlkeleri. İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi. İstanbul.
- Williams, K.** (2022). Form-Finding, Architecture and Mathematics. im Williams Books. Turin, Nexus Network Journal.
- Vardouli, T.** (1960). COMPUTER OF A THOUSAND FACES: ANTHROPOMORPHIZATIONS OF THE COMPUTER IN DESIGN (1965-1975), MIT, Dosya 29. (s.25-26). TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Yalınay Çinici, Ş.** (2012). Computational I Çevirisi ve Anlaması Kolay Olmayan Dil, Düşünce ve Mimarlık, Dosya 29. (s.12). TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi.
- Yıldırım, T., Yavuz, A.Ö., İnan, N.** (2010) Mimari Tasarım Eğitiminde Geleneksel ve Dijital Görselleştirme Teknolojilerinin Karşılaştırılması. Bilişim Teknolojileri Dergisi, Sayı:3. Ankara.
- Zamolyi, F.** (2015). Architecture: Nomadic Architecture of Inner Asia, Department of History of Architecture and Building Archaeology. Vienna University of Technology. Vienna, Austria.

- Url-1** <[https://en.wikipedia.org/wiki/Turing\\_machine#Formal\\_definition](https://en.wikipedia.org/wiki/Turing_machine#Formal_definition)>, erişim tarihi 21.03.2021.
- Url -2** <<https://tr.pinterest.com/pin/357614026660583311/>>, erişim tarihi 29.06.2021
- Url-3** <[https://en.wikipedia.org/wiki/Parametric\\_design#History\\_early\\_examples](https://en.wikipedia.org/wiki/Parametric_design#History_early_examples)>, erişim tarihi 05.09.2021.
- Url-4** <<https://www.igi-global.com/dictionary/generative-systems>>, erişim tarihi 03.10.2021.
- Url-5** <[https://tr.wikipedia.org/wiki/Uzman\\_sistemler](https://tr.wikipedia.org/wiki/Uzman_sistemler)>, erişim tarihi 31.10.2021.
- Url-6** <<https://formlabs.com/blog/digital-fabrication-101>>, erişim tarihi 20.12.2021.
- Url-7** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Mimarlık>>, erişim tarihi 15.01.2022.
- Url-8** <<https://www.britannica.com/topic/nomadism>>, erişim tarihi 20.02.2022.
- Url-9** <<https://www.food4rhino.com/en/app/kangaroo-physics>>, erişim tarihi 23.04.2022.
- Url-10** <<https://parametricbydesign.com/grasshopper/tutorials/four-point-sail/>>, erişim tarihi 23.04.2022.
- Url-11** <<https://www.technet-gmbh.com/en/products/easy/>>, erişim tarihi 06.05.2022.