

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Mimarlık Anabilim Dalı

GERMEDENGE ÇATKILAR

Yüksek Lisans Tezi

Defne CEYLAN

Danışman

Prof. Dr. M. Harun Batırbaygil

İstanbul – 2024

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Defne Ceylan

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Germedenge Çatkılar

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Mimarlık

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 04.03.2024

Sayfa Sayısı : 142

Tez : 1. Prof. Dr. M. Harun Batırbaygil

Danışmanları

Dizin Terimleri : Mimari, Germedenge, Çatkı.

Türkçe Özet : Bu tez çalışmasının temel amacı, yaklaşık bir yüzyıl önce fark edilmiş ancak ülkemizde henüz bilimsel veya akademik çalışmalara konu olmamış olan “Tensile Integrity” Türkçe tanımıyla “Germedenge” adı verilen alana akademik bir giriş yapmak, bu konuda öneriler geliştirmek ve ileride yapılacak olan çalışmalara bir zemin hazırlayabilmektir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Defne Ceylan

**T. C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

Mimarlık Anabilim Dalı

GERMEDENGE ÇATKILAR

Yüksek Lisans Tezi

Defne CEYLAN

Danışman

Prof. Dr. M. Harun Batırbaygil

İstanbul – 2024

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Defne CEYLAN

.../.../2024



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Defne Ceylan'ın "Germedenge Çatkılar" adlı tez çalışması, jürimiz tarafından Mimarlık anabilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza
Başkan
Prof. Dr. Mehmet Harun BATIRBAYGİL

İmza
Üye
Prof. Dr. Emel BİRER

İmza
Üye
Doç. Dr. Hikmet Selim ÖKEM

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2024

İmzası
Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışma, Germedenge Çatkıların tanımı, işlevi, tasarımı ve kullanım alanları hakkında incelemeyi amaçlamıştır. Araştırma kapsamında germedenge çatkılar ile ilgili çalışmalar derlenmiş, nitel ve uygulamalı örnekler oluşturulmaya çalışılmıştır.

Tezin bölümleri;

Birinci Bölüm, giriş bölümüdür. Tezin amacını, önemini, tanımlanmasını, araştırma sorularını ve yaklaşım anlayışını (hipotezini) içermektedir. Bunun yanı sıra tezin yöntemi ve kapsamı anlatılarak alan **yazına yapılması beklenen katkılar sunulmuştur.**

İkinci Bölümde, Germedenge Çatkı kavramının tasarım alanındaki gelişimi kronolojik olarak anlatılmaktadır. Heykelden mimariye kadar kullanılan dönemleri kapsayan gelişmeler ifade edilmekte ve örnekleri sınıflandırılmaktadır. Ek olarak son dönem gelişmeleri ve diğer bilim dallarına ilham kaynağı olmuş örnekleri de içermektedir.

Üçüncü Bölümde, mühendislik alanında kuramsal hesaplamalı yaklaşımlar ele alınmakta ve Germedenge Çatkıların mimaride biçim almasında kullanılan mühendislik hesapları açıklanmaktadır.

Dördüncü Bölümde, mimaride biçim bulma çalışmaları, detayları ve yöntemleri örneklerle birlikte anlatılmaktadır. Geleneksel geometrik motiflerden oluşturulan desenler ve örüntüler aracılığıyla gerçekleştirilen Germedenge Çatkıların mekânsal biçim sağlamaya dair detaylar içermektedir.

Beşinci Bölümde, algoritma kullanılarak biçim oluşturma denemeleri ve detayları anlatılmaktadır. Germedenge Çatkıların mimaride kullanılan çizim ve algoritma programları aracılığıyla oluşturduğu biçim denemelerine odaklanılmaktadır.

Altıncı Bölüm, Germedenge Örtülü Çatkıların geleneksel geometrik motiflerle birleşimi, oluşturulan biçimsel çalışmalar ve örnekleri içermektedir.

Yedinci Bölümde sonuç olarak geometrik desenlerin uyumlu bir şekilde tasarlanan Germedenge Örtülü Çatkıların, yapısal bütünlük, estetik değer ve kültürel kimlik açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu ve bu alanda daha fazla araştırmanın yapılması ve uygulama örneklerinin çoğaltılması gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mimari, Germedenge, Çatkı.

ABSTRACT

This study aims to examine the definition, function, design, and application areas of Tensegrity Membrane Structures. Within the scope of the research, studies related to Tensegrity Membrane Structures have been compiled, and qualitative and applied examples have been attempted to be created.

The chapters of the thesis are as follows: The first Chapter is the introduction chapter. It includes the purpose, significance, definition, research questions, and hypothesis of the thesis. Additionally, the method and scope of the thesis are described, presenting the contributions expected to be made to the field literature. In the Second Chapter, the development of the tensioned membrane concept in the design field is narrated chronologically. The developments covering periods from sculpture to architecture are expressed, and examples are classified. Additionally, it includes recent developments and examples that have inspired other branches of science. In the Third Chapter, theoretical computational approaches in the engineering field are discussed, and engineering calculations used in shaping tensioned membrane structures in architecture are explained. In the Fourth Chapter, studies, details, and methods of finding form in architecture are explained with examples. It includes details about Tensegrity Membrane Structures and spatial form achieved through patterns and patterns formed by polygons. In the Fifth Chapter, attempts to create form using algorithms and their details are explained. It focuses on form experiments created through drawing and algorithm programs used in architecture with Tensegrity Membrane Structures. The Sixth Chapter includes the combination of Tensegrity Membrane Structures with polygonal motifs, created formal studies, and examples. In the Seventh Chapter, Ultimately it is considered that Tensegrity Membrane Structures designed harmoniously with geometric patterns have significant potential in terms of structural integrity, aesthetic value, and cultural identity. Consequently, it is believed that further research and expansion of application examples are necessary in this field.

Keywords: Architecture, Tensioned Membrane, Structure

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1.Tezin Amacı ve Önemi	4
1.2.Tezin Araştırma Soruları ve Hipotezi	5
1.3.Tezin Yöntemi ve Yararları	5
1.4.Tezin Kapsamı	7
1.5.Terimlendirme Sorunsalı.....	8

İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kavramın Gelişimi	10
2.2. Patentlere Dayalı İlk Tanımlar	11
2.3. Germedenge Çatkıların Türleri	13
2.3.1. Germedenge Çatkıların Kullanım Özellikleri ve Alanları	14
2.4. Germedenge Çatkıların İlham Oluğu Diğer Alanlar	14
2.4.1.Tıp Alanında Kullanımı.....	15
2.4.2.Uzay Sistemlerinde Kullanımı	16
2.4.2.1. Konuşlandırılabilir Uzay Yapıları	16
2.4.2.2. Teknolojik Sorunlar ve Sınırlamalar	18
2.4.2.3. Yeni Germedenge Izgaraları.....	19
2.4.2.4. Tensarch Projesi.....	19

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KAVRAMSAL TASARIM ALANININ GELİŞMESİNDE İLK ADIMLAR

3.1. Basit Biçim Bulma Yöntemi	23
3.2. Kavramın Algısal Gelişimi	25
3.3. Patent Süreci.....	26
3.4. Temel Mekânsal Germedenge Sistemleri	32
3.5. Ön Tasarım Çalışmaları	34
3.6. Kavramsal Tasarımın Yapısal Özellikleri.....	44
3.7. Tasarım Alanlarının Kubbe Yönünde Gelişmesi	44
3.8. Tasarımdan Yapısallığa.....	45

3.9. Germedenge Çatkılarda İlkeler	46
3.10. Son Dönem Gelişmeleri	47
3.10.1. Son Dönem Gelişmeleri Örnekleri	47
3.10.2. Germedenge Yapısının Yapı Taşı Örnekleri	48
3.10.2.1. Sahra Hastaneleri	48
3.10.2.2. Kuleler	48
3.10.2.3. Heykeller.....	51
3.10.2.4. Stadyumlar	52
3.10.2.5. Köprüler.....	57
3.10.2.6. Fuar ve Panayır Tesisleri	59
3.10.3. Eğitimdeki Proje Olarak Tasarlanmış Germedenge Örnekleri.....	62

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MÜHENDİSLİKTE YAPILAN KURAMSAL / HESAPLAMALI

YAKLAŞIMLAR

4.1. Germedenge Çatkıların Rijitlik Hesabı.....	75
4.2. Germedengesi'nin Geometrik Matrisi Hesabı	75
4.3. Biçim Bulma Sürecinde Sayısal Yöntemler.....	79
4.4. Matematiksel Analiz	80
4.5. Tasarımda Kararlılık	84

BEŞİNCİ BÖLÜM

MİMARLIKTAKİ YAPILAN BİÇİM BULMA ÇALIŞMALARI

5.1. Biçim Bulma	85
5.1.1. Sezgisel Yaklaşımlar (heuristic approaches).....	85
5.1.2. İkonik Model Kullanımı	86
5.2. Germedenge Çatkılarda Biçimsel Tasarım Geliştirme Yöntemleri	88
5.2.1. Bilgisayar Algoritmaları Kullanımı, Kullanılan Teknikler	89
5.2.2. Algoritma ile Biçim Bulma Türleri	89
5.3. Germedenge Çatkılarda Biçim Bulma Gelişimi	89
5.4. Geleneksel Geometrik Motifler ile Biçim Bulma	90
5.4.1 Geleneksel Geometrik Motifler ile Oluşturulan Germedenge Çatki Uygulamaları	91
5.5. Desenler ile Biçim Oluşturma.....	92
5.5.1. Modüllerin Birbirine Bağlanması.....	94
5.5.2. Çok Yönlü Oluşturulan Germedenge Çatkılar Sistemleri	96
5.6. Hesaplama	97
5.6.1 Hesaplamaya Gönderme.....	97
5.6.2 Tasarım Analiz Bölümü	97
5.6.3. Topolojik Özellikler	97

ALTINCI BÖLÜM

ALGORİTMA KULLANARAK BİÇİM OLUŞTURMA DENEMELERİ

6.1. Algoritma ile Tasarım	98
----------------------------------	----

6.2. Biçim Bulma Algoritmaları Çeşitleri	101
6.3. Algoritma Deneme Analizi	102
6.4. Yeni Biçim Bulma Yöntemi	104
6.5. Germedenge Çatkıların Analizi.....	105
6.5.1. Germedenge Çatkıların Tasarım Geliştirmesi	105
6.5.2. Kullanım Alanları.....	106

YEDİNCİ BÖLÜM

GERMEDENGE ÇATKILARDA GEOMETRİK MOTİFLERİN KULLANIMI

7.1. Geometrik Desenler ile Oluşturulan Biçimler.....	107
7.2. Biçim Bulmada Geometrik Motiflerin Çeşitliliği	108
7.3. Desenlerden Oluşturulmuş Biçimler	108
7.4. Desenlerin Programlar ile Oluşturulan Germedenge Çatkı Çalışmaları	109

SONUÇLAR

KAYNAKÇA

KISALTMALAR

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ACM	:	Gelişmiş Kompozit Malzemeler
ESA	:	Avrupa Uzay Ajansı
H	:	Hipotez
NGST	:	Yeni Nesil Uzay Teleskobu
TS	:	Germe Sistemi



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Germedenge Çatkıların Kronolojik Gelişimi.....	64
--	----



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Fraddosio ve diğerleri tarafından incelenen modüller.....	19
Şekil 2. Gómez-Jáuregui ve diğerleri tarafından önerilen konuşlandırılabilir ızgara ve temel modülü	20
Şekil 3. TS halkasının katlanmış ve konuşlandırılmış konfigürasyonları	20
Şekil 4. Genişletilmiş Oktahedron olarak dönen robotları gerçekleştirmek için seçilen klasik TS örnekleri a) IcoTens robotu, b) The Super Ball Bot	21
Şekil 5. Germedenge çatkı sistemlerinin gelişim kronolojisi	23
Şekil 6. X-yapısı	23
Şekil 7. Double X-şekilli kontrplak modülünden oluşan heykel	24
Şekil 8. Emmerich'in ilk proto-germedenge çatkıları	28
Şekil 9. Emmerich'in patenti ve görseli.....	28
Şekil 10. Fuller'in patent görseli.....	29
Şekil 11. Kenneth Snelson “onetoanother” görseli	30
Şekil 12. Kenneth Snelson “onetoanother” görseli ve germedenge elemanları.....	31
Şekil 13. Kenneth Snelson'un sürekli germedenge süreksiz basınç modeli	32
Şekil 14. Kenneth Snelson'un 3-X yapısının modeli	32
Şekil 15. Temel Uzamsal Germedenge sistemi	33
Şekil 16. Kendinden germedenge uzay yapısı, temel denge modülü.....	33
Şekil 17. Spatialcross 1920 sergisinde denge yapısı çalışması	36
Şekil 18. Buckminster Fuller tarafından gerçekleştirilen germedenge küreleri modeli a) şematik geometri b) yapısı	37
Şekil 19. B Tree (1981).....	37
Şekil 20. Ferrari firmasının desteklediği tasarım projesi	38
Şekil 21. DCCT Towers ismiyle küresel çalışmalar, İğne kuleleri.	39
Şekil 22. Düzlemsel Kule	40
Şekil 23. Üçgen ve Kare Düzlemsel Modül.....	41
Şekil 24. Düzlemsel Örgü ve uygulama alanına örnek olan bir banka ek binasının veranda çatkısı.....	41
Şekil 25. Düzlemsel Örgü.....	42
Şekil 26. Spring St. Loft 1960 fotoğraf görüntüsü	43
Şekil 27. Dünya kule çatkısı fuarı	44
Şekil 28. Germedenge çatkılar, kubbeler ve küre çalışmasındaki küre modeli	45
Şekil 29. Basit Sarmal Germedengeleri Modelleri	46
Şekil 30. Britanya Festivali'nde Skylon 1951 örneği.....	49
Şekil 31. Skylon için Moya ve Powell tarafından hazırlanan Orijinal Mimari Planlar	49
Şekil 32. Hollanda Kröller-Müller Müzesindeki Needle Tower	50
Şekil 33. Black E. C. Tower	50
Şekil 34. Brüksel Dünya Fuarı'ndaki Truss Heykeli.....	51
Şekil 35. Snelson'un Dragon Heykeli.....	51
Şekil 36. Snelson tarafından Baltimore'da 1977 yılındaki “Easy Landing” heykeli.....	52

Şekil 37. Münih Olimpiyat stadı üstten görünümü ve detay görseli.....	52
Şekil 38. Millenium Dome	53
Şekil 39. Tropicana Field'ın çatkı örtüsü içten dıştan görüntüleri	54
Şekil 40. Georgia Dome ve çizimi	54
Şekil 41. Umbrella Structure çizimi ve fotoğrafları	55
Şekil 42. Spodek Arenası'nın yapımı sırasındaki görseller.....	56
Şekil 43. Velodrome Ulusal Spor Kompleksi	56
Şekil 44. Singapur Spor Merkezi'nin inşaat durumdaki tamamlanmamış hali	57
Şekil 45. Kurilpa Köprüsü	57
Şekil 46. Tor Vergata Yaya Köprüsü projesi ve TS modüllerinden biri	58
Şekil 47. Konuşlandırılabilir germedenge yaya köprüsünün küçültülmüş ölçekli modeli	58
Şekil 48. Afrika Burn	59
Şekil 49. Sphere/Almanya	59
Şekil 50. Burning Man festivalinde panayır heykel örneği	60
Şekil 51. Big Skwish Burning Man Festivali'nde sergilenen Entwine heykelinin gündüz ve gece görüntüsü.....	60
Şekil 52. Blur Binası, Neuchatel (İsviçre)	61
Şekil 53. Blur Binasını oluşturan yapısal olarak küçük ve büyük modüller	62
Şekil 54. Moon Pavyonu öğrenci tasarımı	63
Şekil 55. Moon Pavyonu	63
Şekil 56. Indiana'daki Ball State Üniversitesi öğrencilerinin Yerel Sanat Fuarı için tasarımı (Muncie).....	64
Şekil 57. Germedengesi geometrik matris hesabı (a) Düzlem kafes sonlu eleman, (b) e elemanının global serbestlik derecesi	72
Şekil 58. Kafes kirişler için uyumluluk matrisi $B(\in \mathbb{R}^{n \times m})$ ve geometrik rijitlik matrisi	
Şekil 59. Germedenge çatkıları için uyumluluk matrisi.....	73
Şekil 60. $KL(\in \mathbb{R}^{m \times m})$ lineer rijitlik matrisidir.....	74
Şekil 61. Yapı için denklem setinin niteliksel analizi.....	75
Şekil 62. B matrisinin değer ayrışımı	76
Şekil 63. B matrisi Ortogonal matrisler.....	77
Şekil 64. Problem çözümleri.....	78
Şekil 65. Geometrik sertlik matrisini hesaba katarak sertlik matrisinin problemine tam çözümler.....	80
Şekil 66. Matematiksel analiz (a) Uzak kafes sonlu eleman, (b) e elemanının global serbestlik derecesi.....	82
Şekil 67. Elastikiyet matrisi E ile tanımlanan n-elemanlı bir uzak kirişi için niteliksel analiz sağlanmıştır.....	84
Şekil 68. Germedenge yapıları için uyumluluk.....	86
Şekil 69. Germedenge yapıları için uyumluluk matrisi çözümleri	88
Şekil 70. Örgü oluşturan birimlerin beş temel deseni	91
Şekil 71. Germe/kompresyon üçgeni a) Tip 1 b) Tip 2 c) Tip 3.....	92
Şekil 72. Hirshhorn'daki Needle Tower'ın fotoğrafı	92
Şekil 73. Morfoloji ve biçim bilimi adına tanımlanan çalışmalardan örnekler	93
Şekil 74. Polihedronların Basit Bir Geleneksel Geometrik Motifler ile Hareketi	94

Şekil 75. Modüllerin Bağlanma Şeması	94
Şekil 76. Örüntü oluşturan desenler a) Kare iki yönlü düz örüntü oluşmuş desen b) Üç yönlü pentagon ile oluşturulmuş desen	95
Şekil 77. Ki Ju Kang Wire Bulk Kagome uzay çerçeve dokuma modeli	95
Şekil 78. Geleneksel Geometrik Motifler örüntüler ile oluşan küreler.....	96
Şekil 79. Genişletilmiş bir X modülü düzlemi	96
Şekil 80. Rhinoceros'ta tasarlanmış olan kubbesel biçim bulma aşamaları.....	98
Şekil 81. Tip-A ve -B elemanlarının Rhinoceros aracılığıyla tasarım süreci	99
Şekil 82. Yapının genişletilmiş ve geri çekilmiş durumdaki A ve B tipi elemanların örtüs	100
Şekil 83. Yapı elemanları birleşmesi ve örtünmüş haldeki kaplama görünümü	100
Şekil 84. Parakeet uygulaması ile İki tür desen	108
Şekil 85. Karamba'dan sonuçlar	108
Şekil 86. Rhino ve Grasshopper VR.....	109
Şekil 87. Germedenge çatkının algoritma ile yazar tarafından oluşturulmuş olan modelleme aşamaları örnekleri	109
Şekil 88. Germedenge çatkının algoritma ile yazar tarafından oluşturulmuş olan modelleme aşamaları örnekleri	110
Şekil 89. Sistemin tasarım olanakları.....	112
Şekil 90. Prototip yapısının küçük ölçekli modelinin yatay yapı detayı.....	114
Şekil 91. Nihai şekli değiştiren Rozet değiştirme açısı (Autocad 2020 çizimi)	119
Şekil 92. Perslere aie geometrik şekiller	120
Şekil 93. Yazar tarafından oluşturulmuş Geometrik Motifin Çizimi ve Germedenge Çatkı Biçimi Çalışmaları.....	122
Şekil 94. Geometrik Motif ile Germedenge Çatkı Biçimi Örnek Çalışması	123

ÖNSÖZ

Bu çalışma bana tez sürecinin, güçlükler ve keşiflerle örülü oldukça ilginç deneyimler kazandıran verimli bir dönem olduğunu gösterdi. Henüz dilimizde karşılığı olmayan bir terim ile ilgili alana yönelik bir kavramı tanıtmaya sürecinin en özgün yanısıdır. Aynı zamanda terminolojiye yeni bir kavram kazandırırken anlamı karşılaması açısından dil bilimine başvurduğum bu dönemde oldukça fazla kavramın anlamını da öğrenme imkânı elde ettim. Kendime ait çalışmaları yaparken de yeni programlar öğrendiğim ve kendimi geliştirdiğim bir dönem oldu. Araştırılarak başlayan her çalışmanın gelişimi, ilgili alanda bir girizgâh yapılmasını ve akabinde alana yönelik araştırmaların artmasını sağlamasıdır. Bu nedenle burada sunulan araştırmanın kuramsal tasarım altyapısını hazırlamaya yardımcı olan, ayrıca bu zorlu süreci canlı tutan ve öğretici kılan sayın danışmanım Prof. Dr. Harun Batırbaygil'e; çalışmanın gelişiminde beni hep bilimsel düşüncenin olanaklarına yönlendiren ve tezin değerlendirmesini her seferinde büyük bir sabır ve titizlikle analizlerini yaparak her cümlesi altın değerinde olan saygı ve sevgi duyduğum hocama teşekkür ediyorum.

GİRİŞ

“Germedenge Çatkılar” yapı mühendisliği ve mimari tasarımda kullanılan yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu kavram, germedenge ilkelerini kapalı çatkı yapılarının estetiği ve işlevselliği ile bütünleştirmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, sadece güçlü ve dayanıklı değil aynı zamanda görsel olarak da çarpıcı yapılar yaratmak için çekme ve basınç kuvvetlerini uyumlu bir şekilde kullanma fikriyle ortaya çıkmıştır.

Germedenge çatkıların benzersizliği yapı içindeki kuvvetleri dengeleme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kablolar veya yapı elemanları gibi gerilebilir elemanların kirişler, kolonlar ve diğer yük taşıyan bileşenlerin maruz kaldığı basınç kuvvetlerine karşı koymak üzere stratejik olarak yerleştirilen titiz bir tasarım süreciyle elde edilmektedir. Ortaya çıkan bu denge hem çatkının yapısal bütünlüğünü artırmakta hem de geleneksel çatkı yapılarına göre daha yaratıcı ve esnek tasarımlar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Germedenge çatkılarda bulunan kapalı çatkılar genellikle cam ve metal panellerden ahşap veya kompozit malzemelere kadar değişebilen koruyucu veya dekoratif ürünlerle kaplanmaktadır. Bu kaplama sadece yapıya estetik bir boyut kazandırmakla kalmayıp aynı zamanda hava koşullarına karşı koruma, enerji verimliliği ve gürültüyü azaltma gibi pratik amaçlara da hizmet etmektedir.

Germedenge çatkıların uygulama alanları hem stadyum ya da konser salonları gibi büyük ölçekli mimari projeler hem de konut yapıları gibi daha küçük ve samimi alanlara kadar uzanan çeşitliliğe sahiptir. Uygulanabilirliği, uyarlanma yeteneği ve güçleri, aşırı hava koşullarına karşı koruyucu alanlar veya destek kolonlarının engellenmediği geniş, açık iç alanlar gerektiren binalar için popülerleşmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra çağdaş hedeflerle de uyumlu bir gelişim içinde olması, malzemelerin verimli kullanımı ve yenilenebilir kaynakların entegre edilme potansiyeli, onu çevre dostu bir seçenek haline getirmiştir. Tasarım esnekliği ile yapıların kolaylıkla uyarlanması veya genişletilme olanağı sunması uzun vadeli kullanım için önemli görülmektedir.

Bu kapsamda bu çalışma, germedenge çatkıların tarihsel gelişimini, uygulamalarını, mimari ve yapısal tasarımın gelişen doğasına sunduğu katkının araştırılmasını amaçlamaktadır. Germedenge çatkıların gücü ve estetiğinin geleneksel

inşaat yöntemlerinin sınırlarını zorlayacak olması bu yapısal tasarımın kullanım alanının daha yaygın hale geleceğini düşündürmektedir. Bu yaklaşım yalnızca modern yapıların işlevsel taleplerini karşılamakla kalmamakta aynı zamanda ilham vermesi açısından mimarinin yaratılmasına da katkı sunmaktadır.



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Germedenge kavramı, Kenneth Snelson tarafından ortaya koyulan bir kavramdır. Evrenin atomik düzeyden güneş sistemine kadar tüm sistemlerinin bir denge temelinde olduğu uzamsal yapı olarak tanımlanmaktadır. Bu perspektiften yola çıkılarak yapılan çalışmalar, konuya dair geçerli bir başlangıç noktası sağlamış ve germedenge sistemini oluşturma sürecini başlatmıştır (Latour, 2002).

Heykel olarak başlayan bir biçim uzun bir süreç içinde geliştirilmekte ve değişime açık olmaktadır. Bu özellik, tipoloji üretimine ve mimari tasarımda biçim bulmaya dayalı geleneksel Geometrik Motifler ağıdan türetilen, aşamalı bir optimizasyon süreciyle şekillenen etkileşimli bir yöntemi de mümkün kılmaktadır. Ayrıca gün geçtikçe enerji alanındaki gelişmelerin artmasının yanı sıra diğer alanlarda yapılan çalışmalar, hedeflenen ve bir bakıma yeniden yapılandırılmaya yönelik olan bir eğilimi artırmıştır. Germedenge çatkılarının az malzeme kullanılarak kendi kendini dengeleyebilmesi, biçimlere değişime açık olma ve konumlandırılabilir özellikleri sayesinde dönüştürülme olanağı kazanmasına imkân tanımaktadır. Dönüştürülebilir denge yapıları, tasarımsal kolaylık ve çeşitlilik açısından eşit enerji sağlamaktadır.

1960'lı yıllarda sergiler ve sanat eserlerinde, resim ve heykeller üzerinden hareket edilirken minimalizmin etkilerinden sonra algısal bakış açısına doğru eğilim gösterilmiştir. Dünya sanatı birçok stilin binlerce sanatçı aracılığıyla daha geniş bir ölçekte yayılmasıyla gelişirken, karmaşık yapıya sahip zarif metal heykellerin yaratıcısı olarak bilinen sanatçı Kenneth Snelson, çalışmalarının görünür ve görünmez prensibi olarak adlandırılan sistemi: “Heykellerin görünür kılan güçler olduğu gözlemlenmektedir ve aynı zamanda birbirine dokunmadan germedengeleri ile yerinde duran, germedengeleyen yapı elemanları” şeklinde ifade etmiştir (Latour, 2002).

Germedenge çatkılarının kullanım özellikleri ayrıntılı olarak ele alındığında elde edilen ağlarda, basınç elemanları arasındaki bağlantı elemanları ile bağ olmakta ve birbirleriyle denge halinde asılı kalmaktadır. Bu anlatılan dengede kalma ifadesi yüzer basınç olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Bu yapılar şeffaf veya yarı opak, çift katmanlı su geçirmez veya nefes alabilen kaplamalara sahip olabilmekte ve basınç sayesinde dengede tutan yapı elemanları kullanılarak kolaylıkla inşa edilmektedir. Soğuk iklimlerde seralar veya güneş ışığına karşı yapılan gölgeliklerde, kurak bölgelerde ise yoğunlaşmayı önleme amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Chilton, 2007).

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasının temel amacı, yaklaşık bir yüzyıl önce fark edilmiş ancak ülkemizde henüz bilimsel veya akademik çalışmalara konu olmamış olan “Tensile Integrity” Türkçe tanımıyla “Germedenge” adı verilen alana akademik bir giriş yapmak, bu konuda öneriler geliştirmek ve ileride yapılacak olan çalışmalara bir zemin hazırlayabilmektir. İlgili alan yazına bakıldığında yabancı kaynaklar ve özellikle İngilizce literatür üzerinden yapılan incelemeler, bu konuda YÖK’ün tezler dizininde dahi herhangi bir örnek bulunmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın, alanda yeni bir başlangıç yapmaya ve ilgi çekmeye yönelik önemli bir temsil aracı olması beklenmektedir.

Çalışmanın öncelikli hedefi, konunun içeriğinin, yurt dışında yapılan özellikle İngilizce kaynaklardan elde edilen bilgilerle derlenerek bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılara rehber olması ve konuyla ilgilenenleri cesaretlendirmektir. Konunun daha önceki dönemlerde yabancı literatürde ele alınmış olması kendine özgü terminoloji geliştirdiği gerçeğini de ortaya koymaktadır. Bu bağlamda tezin önemli bir sorumluluğu ise yerleşik yabancı terimlerle Türkçe kavramlar arasında denge sağlamaktır.

Yabancı kavramların Türkçe karşılığında anlaşılır ve yaygın bir şekilde kullanılabilir olması, Türkçe dilinin zenginliğini koruyabilmek açısından önem arz etmektedir. Yukarıda yapılan açıklamalar çerçevesinde, diğer teknik alanlarda yaygın olarak kullanılan ancak karmaşıklık yaratan kavramlardan ayrışarak “Tensile-Integrity” kavramı için “Germedenge” terimi, anlaşılır ve uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilmiştir.

1.2. Tezin Araştırma Soruları ve Hipotezi

Çalışmanın amacı doğrultusunda oluşturulan araştırma soruları aşağıda sıralanmıştır:

1. Germedenge çatkılarının mimariye katkısı nedir?
2. Germedenge çatkılarının heykelden mimari tasarımda biçim bulmaya kadar olan süreçteki yolculuğunun serüveni nedir?
3. Germedenge çatkılar bilimsel veya akademik çalışmalarda yer almakta mıdır? Alırsa nasıl yer alması önerilir?
4. Germedenge çatkılar kavramı terminolojimize nasıl katkı sağlar?
5. Germedenge kavramını hangi özellikleri olan sistemlerden terminolojimize katabiliriz?
6. Germedenge çatkılar nedir, nasıl tanımlanır ve avantajları nedir?
7. Germedenge çatkılarının mimaride kullanımı nasıl başlamıştır?
8. Germedenge çatkılarının çıkış noktası nedir?
9. Germedenge çatkılarının algoritma ile elde edilen biçimleri nasıl oluşturulur ve neyi hedefler?
10. Germedenge çatkılarının özellikleri nedir?
11. Germedenge çatkılarının örnekleri nedir?
12. Germedenge çatkılar diğer bilim dallarına nasıl ilham olmaktadır?
13. Germedenge çatkılarının geometrik geleneksel Geleneksel Geometrik Motifler ile biçim sağlaması ve mimaride kullanılmasının detayları nedir?

Çalışmaya ait araştırma soruları kapsamında oluşturulan hipotez aşağıdaki gibidir:

H1: “Germedenge çatkılar” ifadesinin mimari açıdan krolonjik olarak aktarılması ve terminolojimize katkısıdır. Bu katkının beraberinde germedenge çatkılarının geometrik desenler ile özgün bir estetik olarak buluşmasıdır.

1.3. Tezin Yöntemi ve Yararları

• Öncelikle konu ile ilgili kullanılan kavramlar araştırılmış, konunun incelenebileceği örnekler bulunarak araştırmalara başlanmıştır. Çalışma yöntemi olarak öncelikle konuyla ilgili basılı ve dijital kaynaklar taranmıştır. Bu kaynaklar üzerinden mimari terimlerin tez kapsamında kullanımıyla ilgili çalışma yapılmıştır. Son olarak da

gelecekle ilgili olasılıklar tartışılmıştır. Konunun net bir şekilde ifade edilebilmesi için çalışma süreci boyunca araştırılan mimarlık ilişkisinin, sanat ile olan ortak detayları ilgili yerlerde kaynak olarak belirtilmiş ve konuyla ilişkisi ifade edilmiştir.

- Kavramsal araştırma kapsamında farklı dillerde yazılan kaynaklar bulunmuştur. İncelenmekte olan terimin dilimizdeki anlamsal karşılığını tam olarak ifade eden bir sözcüğün olmaması sebebiyle farklı dillerden dilimize geçiş sürecinde oluşabilecek anlam kaymaları engellenmeye çalışılmıştır.

Konu hakkında Türkçe literatür olmamasından dolayı bu çalışma, bu konuyu Türkçe literatürde ilk tanıtan tasdikli kaynak olacaktır. Bu sebeple konuya öncelik ve ehemmiyet gösterilmiştir. Konuyla ilgili terimlerin pek çoğu Türkçe karşılığında anlam bütünlüğü sağlayamadığı için kavramın mimaride mecaz ve yan anlamlarıyla kullanımı, terminolojimize indirgenerek en yakın ifadeler seçilmiştir. Bu yüzden bu çalışmada terminoloji üzerinde önemle durulmuştur. Terimlerin Türkçe karşılıklarının yanı sıra yurt dışındaki çalışmalarda da bu konuda terminoloji oluşturulmaya çalışılmış fakat bu süreç hala devam ettiğinden terimler konusunda bir fikir birliği elde edilememiştir.

- Literatür araştırması ve internet taramaları sonucunda mimarinin yeni sayılabilecek germedenge sistemine uyarlanabilirliği ile ilgili araştırmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Konuyla ilgili genel çerçeveyi çizebilmek için mimarlık-bilgisayar çağındaki teknolojik gelişmelerin etkileşimi ile ilgili özellikle son on yılın literatürü araştırılmış, internet taramaları yapılmış ve örnekler incelenmiştir.

Konunun kavramsal boyutu ve dijital ortam mimarisi çerçevesinde uyarlanabilirliği incelenmiştir. Mimarlık ve dijital ortamda şekillenişini etkileyen unsurlara kısaca değinilmiştir. Sonsuz sayıda şekil oluşturulabileceği varsayımından hareketle, ne tür şekiller oluşabileceğinden ziyade bu mimarinin biçim çeşitliliği sağlaması konusunda örnekler incelenmiş ve oluşturulmuştur. Oluşturulan örneklerin özellikleri, henüz var olmayan bu mimari hakkında bir değerlendirme değildir. Öneriler kapsamındadır. Yapılan taramalar her ne kadar yazarın konuya dair tarihsel süreç ve evrelerin yorumlanması olarak ortaya çıkmış olsa da doğruluğu ve uygunluğu çalışmanın okunması sırasında okuyucunun konuyla ilgili tarihsel alanlar arasında bağ kurmasına yardımcı olacaktır. Mimarlık alanında geçmişteki çalışmalar baz alınarak ileriye

yönelik öneriler daha kolaylıkla ifade edilebilmiştir. Konunun gelişen teknolojiye sağladığı yenilik ve kolaylıkla ayak uydurarak katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Özgünlüğü konusunda geometrik desenler ile elde edilen motiflere uyarlanabilirliği incelenmiş ve örnekler sunulmuştur. Diğer kaynaklarda ele alınmamış geometrik motiflere odaklanılarak “*Germedenge Çatkılar – Germedenge Çatkılar Membrane Structures*” için çözüm yaklaşımları sunulmaktadır.

1.4. Tezin Kapsamı

Bu çalışmanın kapsamı, henüz yeni sayılabilecek bir alanda mimarlık ve tasarım yaklaşımlarını genişletmeye ve zenginleştirmeye yönelik bir katkı sunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, iki boyutlu geleneksel geometrik motiflerin üç boyutlu “germedenge çatkılar” üzerindeki katkıları örneklenmiştir.

Araştırmanın özgünlüğü, alanda daha önce ele alınmamış bu yaklaşımın yönlendirici bir başlangıç oluşturarak ileride yapılacak olan çalışmalara katkıda bulunmasıdır. Tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm, giriş bölümüdür. Tezin amacını, önemini, tanımlanmasını, araştırma sorularını ve hipotezini içermektedir. Bunun yanı sıra tezin yöntemi ve kapsamı anlatılarak alan yazına yapılması beklenen katkılar sunulmuştur.

İkinci bölümde, germedenge kavramının tasarım alanındaki gelişimi kronolojik olarak anlatılmaktadır. Heykelden mimariye kadar kullanılan dönemleri kapsayan gelişmeler ifade edilmekte ve örnekleri sınıflandırılmaktadır. Ek olarak son dönem gelişmeleri ve diğer bilim dallarına ilham kaynağı olmuş örnekleri de içermektedir.

Üçüncü bölümde, mühendislik alanında kuramsal hesaplamalı yaklaşımlar ele alınmakta ve germedenge çatkıların mimaride biçim almasında kullanılan mühendislik hesapları açıklanmaktadır.

Dördüncü bölümde, mimaride biçim bulma çalışmaları, detayları ve yöntemleri örneklerle birlikte anlatılmaktadır. Geleneksel Geometrik Motiflerden oluşturulan desenler ve örüntüler aracılığıyla gerçekleştirilen germedenge çatkı strüktürleri ve mekânsal biçim sağlamaya dair detaylar içermektedir.

Beşinci bölümde, algoritma kullanılarak biçim oluşturma denemeleri ve detayları anlatılmaktadır. Germedenge çatkılarının mimaride kullanılan çizim ve algoritma programları aracılığıyla oluşturduğu biçim denemelerine odaklanılmaktadır.

Altıncı bölüm, germedenge çatkılarının geleneksel geometrik motiflerle birleşimi, oluşturulan biçimsel çalışmalar ve örnekleri içermektedir. Bu bağlamda kültürel değer ve özgünlük vurgulanmaktadır.

1.5. Terimlendirme Sorunsalı

Literatürde ele alınan haliyle “Tensile-Integrity” veya kısaltılmış olarak “Tensegrity” kavramı, basınç dayanımına bağlı düzeneklerin tersi yönde uyguladığı tepki olarak nitelendirilmektedir. Bu tez çalışmasında, Türkçe ses uyumu ve dil yapısına uymayan ancak tezin temelini oluşturan sözcükler ve ilgili terimler sıkça kullanıldığı için dilimizde sözcük türetme sorunuyla karşı karşıya kalınmıştır. Bu nedenle, alana katkı sağlaması için görev bağlamında konuyla ilgili terimlerin karşılıkları üretilmeye çalışılmış ve bir liste halinde tezin başında belirtilmiştir. Yine de yeri geldikçe yabancı terimlerin Türkçe karşılıkları parantez içinde verilmek suretiyle sunulmuştur.

Yukarıda belirtilen çerçevede en önemli terim kuşkusuz “Tensional Integrity” kavramıdır. “Integrity” sözlüklerde “birliktelik, bütünlük ve tutarlılık” olarak ifade edilmektedir. Tutarlılık, bir denge unsuru olarak karşımıza çıkmaktadır. “Tensional” kelimesi ise “germeyle ilgili” anlamı taşıyan tanımlayıcı sıfat olarak kullanılmaktadır. Burada, germedenge yerine İngilizce karşılığı olan sözcük veya tanımlamalardan uzak durmak gerekmektedir. Çünkü bu sözcük fiziki eylem ya da durum alanının yaygın terimi olup bir yandan da kararsızlık etkisi içermektedir. Özetle, terimin “germeye dayalı bir denge ve kararlılık oluşturma” durumunu ifade etmek için en uygun karşılığının “germedenge” olduğu düşünülmektedir.

“Tensional Integrity” sözcüklerinin bileşimi olan “Germedenge Çatkılar” özleştirmesine yaklaşım, dilimizde varılması ve yaklaşılması zor, belki de gereksiz olan bir durumdur. Ancak “Germedenge Çatkılar” yerine “Germedenge Çatkılar” ifadesi daha uygun olmaktadır. Son olarak “Strüktür” teriminin sözlüklerde “Yapı, Çatki” olarak kullanıldığı görülmektedir. Çatki sözcüğünün yanında daha güçlü gibi

duran yapı sözcüğü, ne yazık ki ilgili alanda (mimarlık ve mühendislik) hatta felsefede, sosyal bilimlerde, anatomi, siyasette ve neredeyse tüm alanlarda geçmektedir. Bu bakımdan mantıksal olarak değerlendirildiğinde “Çatki”, fiziki strüktür ya da “structure” kavramını daha iyi temsil etmektedir. Mimari kullanımları “germedenge çatkılar” adı altında toplarken iskelet yapım sistemlerinde ana strüktüre verilen isim olan “Çatki” hem germedenge çatkılarını kapsamakta hem de “architectural framework” ifadesine uyum sağlayan bir ifade olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla sözcüklerin dilimize türeyen alışkanlıklardan kurtararak sunulması, sözcük dağarcığına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, germedenge çatkılarının ne olduğu ne amaçla tercih edildiği ve mimarideki uygulamaları araştırılmaktadır. Bunun yanı sıra arama motorlarında ve diğer akademik çalışmalarda kavramın farklı terminolojilerdeki karşılıkları incelenmiştir. Buralarda kullanılan ifadeler; sürekli germedenge ve süreksiz basınç gibi yapısal ile ilgisi olmayan tanımlamalardır. Kullanılan terimler göz önünde bulundurularak yapılan araştırmalar ve terimin dilimizdeki karşılığı üzerine isimlendirme çalışmaları sonucunda “Germedenge Çatkılar” ifadesinin, konuya yönelik en uyumlu ve anlam bütünlüğünü en iyi sağlayan ifade olduğu belirlenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kavramın Gelişimi

Modern dönemde bilim ve teknolojinin ilerlemesi, mimari ve yapısal tasarımların evriminde önemli bir rol oynamıştır. Modern çağ bilimi yeni bir perspektiften ele almış ve bu perspektif yapı malzemelerinin direncine odaklanmayı gerektirmiştir. Kentsel altyapılar, mekanik sistemler, inşaat ve mimari, bireysel ve toplumsal katılım temelli yaklaşımlarla geliştirilmiştir. Endüstrileşmiş yöntemlere dayalı mimari biçimler sistematik çalışmalar içermiş, yeterli taşıyıcılar, hafif ve tekrarlanan yapı elemanları, germedenge çatkılar gibi özelliklerle donatılmıştır. Bu çerçevede biçimsel olarak şekillerin gücü ile tasarlanmak istenen kentsel altyapılar, mekanik sistemler, inşaat ve mimariyi etkin kılarak bireysel veya toplumsal kullanımı sağlamaktadır.

Endüstrileşmiş yöntemlere dayalı bu yeni olasılıklara cevap veren mimari çalışmalarda zamanın çoğu, biçimlerin sistematik çalışmasından geçmektedir. Yeterli taşıyıcılar, kendi kendini destekleyen, hafif, tekrarlanabilir, çıkarılabilir, değiştirilebilir ve bileşenleriyle standart, çok yönlü, yeniden kullanılabilir olma özellikleriyle germedenge çatkılar tüm bu kriterleri karşılamaktadır (Maringka, 2010).

Yapısal tasarımda, kütle ve yer çekimi temel unsurlardır. Tarihsel olarak yapıların inşası, malzemelerin özellikleri ve bağlayıcı harçlara bağlıdır. Yapılar, ağırlıkları ve dayanıklılıkları ile bilinmektedir. Bununla birlikte yer çekimi kendi içinde verileri ayakta tutabilme konusunda yeterli değildir. Eski zamanlardan beri yapı doğrudan malzemelere bağımlı olarak inşa edilmektedir. Bunun yanı sıra yapı oluştuğu sürece malzemelerin üst üste yığılma hale getirilmesi ekipman açısından mantıklı bir seçimle yapılmaktadır. Dayanıklılığın sadece malzeme ve bağlayıcı harç sayesinde sağlanması bina yükleri açısından oldukça ağır hale getirmektedir. Bu durum bina için olduğu kadar insan için de taşınması güç gerektiren bir uygulama olarak görülmüştür. (D'Altri ve ark., 2020).

Geleneksel olarak inşa edilen çatkılarda, yapı elemanları doğrusal yönde kurulan sistemlerde ağırlıkların zemine bağlanması şeklinde yürütülmektedir. Sağlam

zemin araştırmaları ve zemine bağlı yalıtım gibi unsurlardan kaynaklanan hasarları önlemek amacıyla dengeyi sağlayıp yükü eşit miktarda yer zemine aktarma hesaplamaları ve uygulamaları gereklidir. Gelişen teknoloji ile basıncın yüzer özelliği kullanılarak inşa edilen germedenge çatkılarda ise bu durum tamamen farklıdır. Zemine sabitlenme istenmeyen bir sistemdir. Bu özellik diğer sistemlerden farklı olması sebebiyle germedenge çatkılarını özgün kılmaktadır.

Yapı sektöründe malzeme kalitesi ve çeşitliliğindeki artış, sektörün kaçınılmaz bir şekilde yükselişine neden olmuştur. Araştırmalar sonucunda malzemelerin direnci giderek artmış ve bu durum daha dayanıklı malzemelerin sečilmesine imkân sağlamıştır. Özellikle yer çekimi konumundaki elemanlar ve bağlantı elemanları, sistem dışındaki germedengesini minimize ederek dış etkenlere karşı dayanıklılığı artırmıştır. Bu sayede, sabit ağırlığa kıyasla dış etkenlerin etkisi ihmal edilebilir bir düzeye getirilmiştir.

Yapı yükünü azaltmak için hafif malzeme arayışı mimari alanda gelişmeler yaşanmasını sağlamaktadır. Klasik dönemde hafif malzemelerin kullanımıyla mimari alanda gelişim gösterilirken, çağdaş dönemde daha dayanıklı malzemeler kullanılmıştır. Bu süreçte meydana gelen hegemonya minimal yapıcı düşünceyi de beraberinde getirmiştir (Lintner, 2002).

Az malzeme ile daha dayanıklı ve hafif yapı oluşumu biçimsel olarak farklılık arayışını da devam ettirmektedir. Germedenge prensibine dayanan yapılar, malzemelerin maksimum dayanım elde etmesine olanak tanımaktadır. Bu, yapıların denge bileşenlerini ve malzemelerin basınç mukavemetini en iyi şekilde göstermektedir (Lintner, 2002). Geleneksel yapılarda kullanılan ağırlığa sebep olan bağlayıcı harçlar yerine bağlantı elemanları ipler, kumaşlar, çadırların ham maddeleri olan elyaf membranlar gibi bileşenler, germedenge yapıları için de kullanılmaktadır. Bu malzemeler sayesinde germedenge çatkılara olanak sağlandığı görölmektedir.

2.2. Patentlere Dayalı İlk Tanımlar

Germedenge çatkılar, zengin bir tarihsel arka plana ve geniş bir kapsama sahip önemli bir terimdir. Geçmişte basınç esaslı piramitlerin, sütunların ve tuğla üzeri binaların aksine, Fuller tarafından istikrar veya bütünlüğünü koruyan yapılarla dolu

bir dünya tasarlamayı hedeflemek üzere kullanılmıştır. Bu bağlamda Fuller, germedenge çatkılar terimini isimlendirip terminolojiye kimlik eklerken anlamı olan birçok kavramı daha alana katmıştır. Bu kavramlar ise şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

1. Snelson (1965)'in ikonik yapısında, basınca dayanıklı payandalar birbirine değmemektedir. Bunun yerine ayrı ayrı ve dengelenmiş gergin kablolardan oluşan bir sistemle birbirine bağlanmaktadır. Bu durum, Snelson ve Fuller tarafından “yüzer basınç” olarak adlandırılmaktadır.
2. Görünüşü ruhani olsa da çatkı strüktür olan yapı elemanı neredeyse havada süzülür gibi görünmekle birlikte Snelson (1965)'in heykeli, asgari düzeyde katı eleman kullanımına rağmen dikkate değer ölçüde dengeli olan stabilitesi, çekme ve basınç bileşenleri her zaman mekanik dengededir.
3. Mekanik denge, basınç ve çekme bileşenlerinin temel doğasını ortaya çıkarmak için birbirleri ile etkileşime girme şeklinden ortaya çıkmaktadır. Destekler kabloları dışarı itip gerekirken kablolar payandaların her iki ucunu da çekmekte ve bunlar “germe” veya “dengeli germe” olarak bilinen bir durum ile ifade edilmekte, birbirleri tarafından gerilerek denge sağlamaktadır (Snelson, 1965).
4. Basınç ile dengelenirken, germedenge yapıları da bozulma ve dengeden sapma gibi durumlara karşı kararlı bir şekilde tepki vermektedir. Bileşenleri yapı biçimlerinde bozulma olduğunda anında yön değiştirmekte, bunu geri dönüşümlü ve kırılmadan yapmaktadır (Snelson, 1965).
5. Bileşenler birbirine çok yakından bağlıdır. Birbirlerine bütünleşmiş şekilde bir yapı gibi görünseler de yapısal elemanlar birbirlerine temas etmeden bütünlük sağlamaktadır (Snelson, 1965).
6. Modüler olmaları ve kendi başlarına tamamlanmış olmalarına rağmen germedenge yapıları, daha büyük bir sistemi oluşturmak için diğer yapılarla birleşmektedir (Snelson, 1965).
7. Hiyerarşik duruşu ile daha küçük germedenge yapıları, daha büyük bir denge sisteminde yüzer basınç işlevini yerine getirmektedir (Snelson, 1965).

Germedenge sistemlerinin net bir tanımını oluşturmak zordur. Fuller, Snelson ve Emmerich tarafından tescil edilmiş patentlerde her üç araştırmacı da aynı kavramı

tanımlamaktadır. Bu kapsamda karşılık bulan tanım, “patent tabanlı” olarak nitelendirilmektedir (Snelson, 1965).

Germedenge konusunda, Rus Konstrüktivist sanatçısı Karlis Johansons’un 1920-1923 yılları arasında ve özellikle 1921’de Moskova’daki “Genç Rus Sanatçıları Sergisi”nde sergilediği mekânsal çatkılar önemlidir. Johansons bu çalışmalarına “Mekanik Çatkılar” adını vermiştir (Ingber, 2012).

2.3. Germedenge Çatkıların Türleri

Germedenge çatkıların özellikleri aslında çok basit olmakla birlikte çatkı temel olarak:

- a) Basınç elemanları: Çelik, alüminyum yapı elemanları, ahşap elemanlar ve gelişmiş kompozit (*advanced composite materials – ACM*) malzemelerden üretilmektedir.
- b) Germe elemanları: İplerden, halatlardan, kablolardan veya yapı elemanlarından, daha da önemlisi kablo takviyeli ya da takviyesiz, örtü elemanlarından oluşturulmaktadır.

Söz konusu elemanların organizasyonundan sonsuz adette çatkı oluşturmak mümkündür. Bir başka önemli kural ise şöyledir:

- c) Basınç elemanlarının doğrudan birbirinden destek almaması ya da birbirine değmemesi gerekir, bu özelliği kendine özgü olmaktadır.
- d) Basınç elemanları zemine ya da taşınılan bünyeye bir ucundan sabitlenmemektedir ve çatkıya yüzer, askıda görüntü sağlamaktadır.
- e) Zeminle temas ettiği halde ondan bağımsız tutulması istenen elemanların germe elemanlarıyla sabit kalması sağlanmaktadır.

Bundan dolayı germedenge çatkıları iki ana grupta sınıflandırmak gerekmektedir:

1. Germedenge Çatkılar
2. Germedenge Örtülü Çatkılar

2.3.1. Germedenge Çatkıların Kullanım Özellikleri ve Alanları

Germedenge çatkılarının kullanım özellikleri değerlendirildiğinde şu şekilde kategorize etmek mümkündür:

- a) Hafiftirler
- b) Kolay takılabilir ve sökülebilirler
- c) Hem geçici hem de kalıcı yapılarda kullanılabilirler
- d) Kolonsuz geniş açıklıkları kolonsuz geçme ve örtme kolaylığı sağlarlar
- e) Taşıma ve taşınmaları kolaydır
- f) Zamandan tasarruf sağlarlar
- g) Düşük maliyet sağlarlar
- h) Bakım, eleman değiştirme ve yenilenebilirlik kolaydır
- i) Çevre dostudurlar, geri dönüşümleri kolaydır.

Germedenge çatkılarının geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Germedenge çatkılarının kullanım alanlarından bazıları şu şekildedir:

- 1- Sahra Hastaneleri
- 2- Stadyumlar
- 3- Spor Salonları
- 4- Afet Yapıları
- 5- Fuar ve Panayır Tesisleri
- 6- Sergi Mekânları
- 7- Hafif Köprüler
- 8- Monolit gibi Reklam Gösteri Elemanları
- 9- Heykel ve Plastik Elemanlar

2.4. Germedenge Çatkıların İlham Oluğu Diğer Alanlar

Tarih boyunca mimari ve inşaat alanlarında tekstil malzemeleri, barınma ve gölgelendirme gibi işlevler için kullanılmıştır. Bu tür kullanımlar, binlerce yıl öncesine kadar uzanmakta olup örnekleri Roma döneminde büyük çarşafarla kaplı kolezyumlarda görülmektedir. Aynı şekilde, kalabalığı güneşten ve rüzgârdan korumak amacıyla kullanılmış, 19. yüzyılda sirk çadırlarında da koruyucu bir işlev görmüştür. Tekstil malzemelerinin hafif olması, üretim ve taşıma süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Ayrıca bu malzemelerin kompozit yapılarının oluşturulması

3D baskı teknolojisinin kullanılmasıyla daha pratik hale gelmiştir (Rael ve San Fratello, 2018).

20. yüzyılda sentetik elyafların gelişimi, mimari uygulamalarda yük taşıyıcı membran gibi kullanımların giderek yaygınlaşmasına olanak tanımıştır. Tekstil malzemelerinin gölgelendirme elemanı oluşturmak için kullanımı da mevcuttur. Bu yöntem, kompozit malzemenin davranışı hakkında deneysel veriler sağlamak ve yeni bir parametrik tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Bu yaklaşım, mimari prototipler oluşturularak deneyler yapılmasıyla sonuçlanmıştır (Rael ve San Fratello, 2018).

Tüm bu deney ve araştırmalar değerlendirildiğinde daha yüksek düzeyde germedenge çatıkların oluşturulması için çeşitli yöntemler sunulduğu görülmektedir. Bu araştırmalar germedenge çatıkların oluşmasının yanı sıra diğer bilim dallarına da ilham kaynağı olmuştur. Germedenge sisteminin çalışma prensibi doğada birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Tıp alanında en basit örneği insan eklem düzenidir. Germedenge çatıklar ile aynı çalışma düzenine sahip olan iskelet sistemi birbiri ile çok yakın görünse de temas etmeden basınç ile bütünlük ve denge sağlamaktadır.

2.4.1.Tıp Alanında Kullanımı

Germedenge kavramı, elli yıldan daha eski olmasına rağmen kavramın, diğer sistemlere kıyasla sınırlı sayıda uygulama alanı bulmaktadır. Ünlü matematikçi, mühendis olan Ingber, germedenge örtülerinin yaşamın temel mimarisi olduğunu iddia etmektedir. Deneylerde gözlemlenen yapılar, hücrelerdeki germedenge sistemi ile benzerlik göstermektedir. Bu yapılarda basınç elemanlarının ayırık olmasından kaynaklanan bir özellik bulunmaktadır. Bu özellik, basınç elemanlarının ve dolayısıyla yapının kompakt bir şekilde istiflenmesine olanak sağlamaktadır (Stamenović ve Ingber, 2009).

Tom Flemons'un "Intension Design" adlı web sitesinde, doğrudan ve bacak-ayak yapısı gibi çeşitli germedenge modelleri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra sitede "Anatomi Geometrisi- Germedenge Kemikler" isimli bir makale bulunmaktadır. Bu makalede Flemons, insan vücudundaki germedenge modeli arayışını anlatmıştır. O, bu modeli en genel itibarıyla "Eğer bir kemik ve ekleri bir diğeriyle etkileşime giren bir germedenge olarak tanımlanabilirse o zaman herhangi bir eklem, iki germedenge

arasındaki arayüz olarak düşünülebilmektedir. Eklemler bir araya geldiğinde bireysel davranışlarının toplamından daha büyük bir artikülasyon germedenge sistemi oluşturmaktadırlar” şeklinde ifade etmiştir.

Benzer şekilde parmaklar, bilek, dirsek ve omuz gibi ardışık eklem bölgelerinin birleşimi, etkileşimlerinin toplamından daha fazlasını ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, bir insanın dizinin kemik yapısına iki germedenge sistemi yansıtıldığında neler olabileceğinden Flemons makalesinde bahsetmiştir. Bu süreci “Anatomi geometrisine bir germedenge sistemi uygulanırken, gergin içsel işleyişinden bazılarını aktarmaya çalıştığını; gözlemlerim ve fikirlerim spekülatif ve modellerim yaklaşık değerlerdir ve ayrıntıları doldurmak için daha fazla çalışma gerekir” şeklinde açıklamıştır.

2.4.2.Uzay Sistemlerinde Kullanımı

İnsanlık, eski çağlardan bu yana önderlik ettiği göçebe yaşamda kullanılan katlama sistemlerini büyük ölçüde geliştirmiştir. Günümüzde germedengenin, basit bir balıkçı sandalyesinden mimari projelere ve hatta uydu bileşenlerine kadar çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır.

Germedenge sistemlerinin belirtilen özellikleri, eleman uzunluklarını değiştirerek açılabilen ve uygulanabilen bir dizi farklı uygulama alanından oluşmaktadır. Bu sistemler, klasik katlama yöntemlerinden farklı olarak “makas” prensibi gibi geliştirilen mekanizmalar kullanılarak mekânsal yapılar için özel olarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak mekanizmalar, bir yapıda çok sayıda yapı elemanı gerektiğini göstermiştir.

2.4.2.1. Konuşlandırılabilir Uzay Yapıları

Konuşlandırılabilir uzay yapıları, özerk bir konumlandırma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yapılar, paketlenmiş ve daraltılmış bir şekilde yapılandırıldıklarında kompakt davranış sergiler, açıldıklarında genişler ve büyük bir hacmi kaplayan bir potansiyele sahiptir. Genellikle bu yapılar, depolama ve nakliye kolaylığı sağlamaktadır.

Konuşlandırılabilir yapılar, dünyanın farklı bölgelerinde ve uzayda birçok potansiyel uygulama alanına sahiptir. Uzun yıllardır inşaat mühendisliğinde geçici

veya acil durum yapıları için kullanılmaktadır. Örneğin büyük spor stadyum komplekslerinde geri çekilebilir çatılar gibi uygulamalara sahiptir.

Uzayda, germedenge tasarımına sahip olan yapıların eski Sovyetler Birliği'nin kuruluşundan bu yana kullanıldığı bilinmektedir. İlk uydu olan Sputnik'in, 4 Ekim 1957'de fırlatılmasının nedenlerinden biri de tüm uzay araçlarının sınırlı kapasitesi nedeniyle küçük bir yer kaplaması gerekliliğidir (Bille ve Lishock, 2004).

Öngörülebilir gelecekte fırlatma araçlarının kapasitesi artsa bile büyük uzay araçlarını fırlatmanın mümkün olamayacağı bilinmektedir. 25 metre çapında olan Yeni Nesil Uzay Teleskobu (NGST), sürekli büyüye de durumun kolaylık kazanması açısından önemli araştırmalar yapılmıştır. Dolayısıyla yapılan araştırmalar germedenge sistemi ile inşa edilmesinin pratik bir yolu olarak kabul edilmektedir. Uzaydaki uzak yerlere ulaşabilmek için germedenge çatkılar sistemi ile yapılan yapıların belirgin avantajları bulunmaktadır. Tüm konuşlandırılabilir germedenge çatkı tasarımında uzay yapıları, paketlenmiş daraltılmışken yapının büyüklüğü ile konumlandırılmış durumdaki haline bağlı olarak iniş çıkış hareketine sahiptir (Zhang ve Ohsaki, 2006).

“Super Ball Bot” isminde, uygun maliyetli, güvenli, gezegende görevini yapan ve germedenge çatkılar ilkelerine dayanan hareketli bir iniş çıkış görüntüleme platformu bulunmaktadır. NASA'nın Akıllı Sistemler Bölümü'nden Adrian Agogino ve Vytas Sunspiral tarafından tasarlanan ve karasal bir robot olan Super Ball Bot NASA Innovative Advanced Concept Programı'nın üyeleri tarafından geliştirilmeye devam etmektedir (Bruce ve ark., 2014).

Geleneksel uydu teknolojisi, karmaşık uzay araçları sayısının artmasıyla birlikte konuşlandırılabilir fırlatma bölmesine ve bu nedenle bir yapıya da ihtiyaç duymaktadır. Bu yapılarda hem birçok özellik hem de basit mekanizmalar kullanıldığı görülmektedir. Germedenge çatkı ile oluşturulmuş uydular çoğu durumda oldukça küçüktür, katlanır tasarımları ile reflektörlerin de istiflenmiş hacime sığıldığı gereksiz hacimlerden kaçınarak daha fazla pratiklik sağlamaktadır (Bhasin ve Hayden, 2002)

Yukarıda anlatılan şekilde görüntüleme sistemine sahip uydular istiflenmiş hacmin germedenge çatkı kullanıldığında hacim ve basınç elamanlarının kapladığı alanın nasıl azaldığını göstermektedir (Bhasin ve Hayden, 2002).

Yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde uzay uygulamalarında yapılan sistemi kullanıp hedefe ulaşmak için analiz yöntemlerine hâkim olmak gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Uzay uygulaması tasarım çalışmalarında yapım teknikleri ile ilerlemek gerekmektedir. İlk aşamada bir yapının tasarımında germedengeyi sağlayan uygun biçimler bulunmalıdır. Germedenge yapıları için çeşitli biçim bulma yöntemleri önerilmiştir ancak her yöntemin avantajları ve sınırlamaları vardır. Bu nedenle asıl amaç, mevcut olanı incelemek ve sınıflandırmaktır.

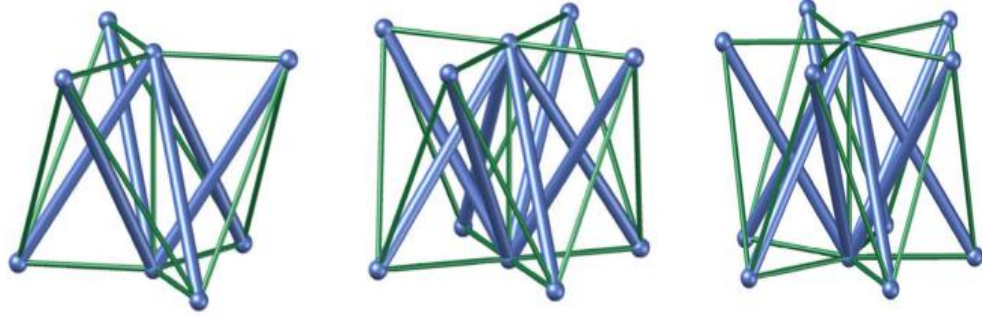
Konuşlandırılabilir uzay yapıları alanında bazı farklılıklar mevcuttur. Bu doğrultuda ortaya çıkan kavramlar bazı yapıların, kaldırıldıktan sonra tekrar geri çekilebilir olarak konuşlandırılma işlemine karşılık gelmektedir. Germedenge çatkılar sistemleri, germedengenin başlangıç durumları ile karakterize edilmesi ve germedengelerin katlanabilirliği ile bu iki özellik arasında germedenge yapılarının geliştirilmesine bağlıdır (Bhasin ve Hayden, 2002).

Fuller ve Snelson esnek ve sağlam yapılar geliştirmek için germedenge ilkesini kullanmış, gelecekte mühendisler, mimarlar ve sanatçılar tarafından yaptıkları çalışmaların üzerine inşa edilebilecek bir argüman sağlamışlardır.

2.4.2.2. Teknolojik Sorunlar ve Sınırlamalar

Mimari açıdan germedenge ile ilgili belirli teknolojik sorunlar ve sınırlamalar bulunmakta ve bunların detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Germedenge kavramlarının uygulanabilirliğini geliştirmek, teknolojik problemlerin çözümü ve uygulama açısından büyük ölçüde mevcut teknolojinin etkin kullanımına bağlıdır. Bu iki konu, germedenge yapılarının düğüm tasarımı ve çalıştırma prosedürlerinin ele alınması gereken temel konulardır. Bu sorunların çözümü, mühendislik ve tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine bağlıdır. Bu alanda yapılacak gelişmeler germedenge konuşlandırılabilir yapıların gelecekte daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayabilecektir.

Uzay uygulamalarında, germedenge çatkılar mekanik etkilere sahip olduğunda problemler ortaya çıkabilmektedir. Germedenge çatkıları karmaşık geometri ile biçim bulma yöntemleri açısından gelişmeye devam etmektedir. Fraddosio ve diğerleri tarafından incelenen modüllerin denge görünümüleri şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Fraddosio ve diğerleri tarafından incelenen modüller

Kaynak: Motro R, (2003)

2.4.2.3. Yeni Germedenge Izgaraları

Yeni germedenge ızgaraları konusundaki bir proje olan “Tensarch” 1998 yılından itibaren üç yıllık bir araştırma ve geliştirme projesi olarak Mekanik ve İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı tarafından başlatılmıştır. Bu proje, Fransa’da bulunan Ferrari adlı bir şirket tarafından desteklenmiştir. Montpellier, Fransa’da kumaş membran üreticisi olarak mimaride germedenge kavramının tanıtılmasına yönelik çalışmıştır. Aynı zamanda Montpellier, yaklaşık 100 metrekarelik bir germedenge çatısının temel endüstriyel tasarımını üretmek amacıyla bir fizibilite çalışması da gerçekleştirmiştir.

2.4.2.4. Tensarch Projesi

“Tensarch” projesinin tam açıklaması Raducanu tarafından yazılan doktora tezinde ayrıntılarıyla sunulmuştur. Yakın dönemde mimaride germedenge konusunda kontrol mekanizmalarının inşasında geleneksel yöntemlerin yerine modern yöntemlerin geliştirilmiş olduğu görülmektedir (Pruett, 1998). Araştırma kapsamında Heraklit’ten “Evren, germedenge sistemlerinin uyumudur” şeklinde bir alıntı yapılmış ve Polemos ilkesi “Yüce ilke, çatışan karşıtları bir araya getirir. Diğerleri sürekli olarak yerinden oynama riskiyle tehdit edilen bir denge içindedir” şeklinde ifade edilmiştir. Bu ilke, her alanda ve her düzeyde geçerlidir. Aynı zamanda çatışan karşıtların yasası olarak da adlandırılan bu ilke, Harmonia’nın adını taşımaktadır.

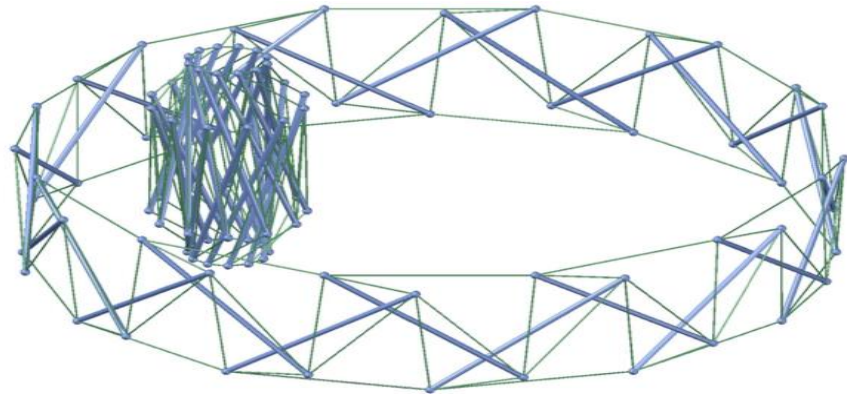
Raducanu ve Motro tarafından önerilen modelde basınç elemanlarına sahip katlanabilir çift eğrisellik barındıran ızgaralar bulunmaktadır. Bu ızgaralar El Smaili ve ekibi ile planlama için inşa edilmiştir (Şekil 1.2). Aynı şekilde, yaya köprüsünün

konuşlandırılması için kullanılan yeni bir konuşlandırılabilir tip olan çift katmanlı germedenge sistemi olarak tasarlanmıştır (şekil 1.3). Geri çekilebilir özelliğiyle asma kubbenin tasarımı, kümelenmiş kablolar kullanılarak sunulmuştur (Bradshaw ve Campbell, 2002).



şekil 2. Gómez-Jáuregui ve diğerleri tarafından önerilen konuşlandırılabilir ızgara ve temel modülü

Kaynak: Motro R, (1992)

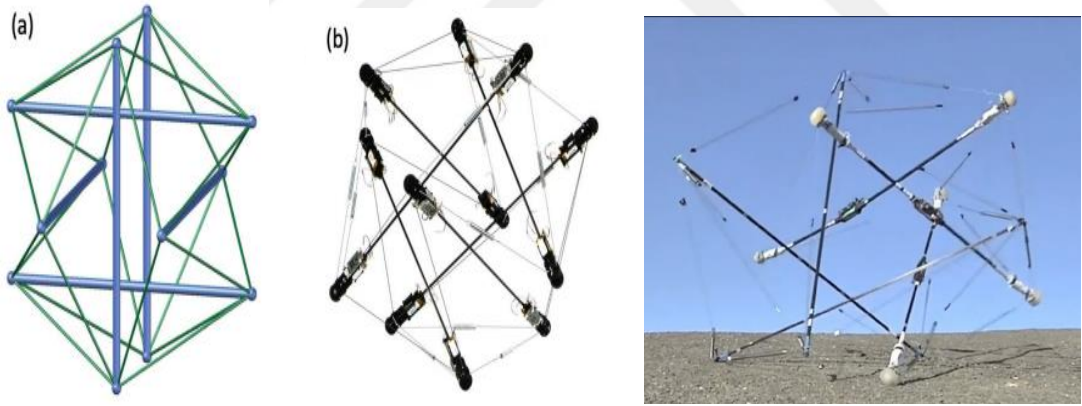


şekil 3. TS halkasının katlanmış ve konuşlandırılmış konfigürasyonları

Kaynak: Motro R, (1992)

Uzay sistemlerinde kullanılan uygulamalar için germedenge konsepti üzerine yapılmış araştırmalar, Tibert tarafından yönetilen bir çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmektedir. Söz konusu çalışmada, konuşlandırılabilir germedenge küçük uydular için bir direk olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca farklı konuşlandırılabilir germedenge çatkıları da analiz edilmektedir. Buna bağlı olarak vinç ve germedenge çatkılarına dayalı bir konuşlandırılabilir anten önerisi, Stern tarafından geliştirilmiştir. Bu öneri, bir patent ile ilham kaynağı olmuştur (Wichita, 2012).

Tibert ve İtalya merkezli Kayser Italia şirketi ile iş birliği içinde olan Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2009-2011 yılları arasında yürütülen “Geniş Açıklık Konuşlandırılabilir Sistemler” isimli proje ile uzayda bir germedenge çatkısının katlanır ve açılır olduğunu gösteren bir konsept tasarımı amaçlanmıştır. Bu proje kapsamında tasarlanan germedenge yapısı projenin sonunda Avrupa ve ABD’de patentlenmiştir. Benzer türdeki germedenge sistemleri üzerinde çalışmaların ise günümüzde de devam ettiği gözlemlenmektedir (Wichita, 2012)



Şekil 4. Genişletilmiş Oktahedron olarak dönen robotları gerçekleştirmek için seçilen klasik TS örnekleri. **a)** IcoTens robotu **b)** The Super Ball Bot

Kaynak: Motro R, (1992)

Germedenge çatkıları, genellikle geometrik açıdan karmaşık bir sistem olarak kabul edilmektedir. Bu tür katlama tasarımlarında germedenge yapılarının tasarımı için birden fazla eş zamanlı yaklaşım gerekmektedir. Geometrik modelleme, bazen düğüm yollarını tanımlamak için faydalı olabilmektedir. Sayısal modelleme, süreci öngörmek için gerekli bir araçtır (Motro, 1992).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KAVRAMSAL TASARIM ALANININ GELİŞMESİNDE İLK ADIMLAR

Germedenge çatkılar terimi, bir icat olarak ortaya çıkmıştır. Fuller, bu terimi germedenge bütünlüğünün daralması olarak tanımlamıştır. Bu tanıma göre katı elemanların dışa doğru etki eden kuvvetleri ile elastik özelliği olan bağlayıcı elemanların içe doğru etki eden kuvvetleri bir denge içindedir. Bu kararlılık ve uyum, yüzer basınç tarafından sağlanmaktadır.

Sanatçıların ve inşaat mühendislerinin temel hedefleri farklı olsa da özellikle ön tasarım aşamasında ortak özellikleri bulunmaktadır. Ayrıca sanatçılar bazı yenilikçi yapısal kompozisyonların öncüleridir. Bu özellikler denge germe için geçerlidir. Sanatçılar ve mühendisler arasındaki bu ilişki, germedenge sistemlerin sanattan yapı mühendisliğine doğru gelişimine yol açmıştır. Konstrüktivistlerden biri olan Rodchenko, “Sanata yönelik tüm yeni yaklaşımların teknoloji ve mühendislikten doğduğunu, organizasyon ve inşaat alanına doğru ilerlediğini” vurgulamıştır (Lodder, 1921).

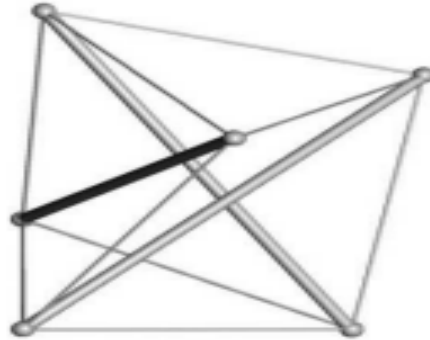
Germedenge çatkısı sistemlerinin yapısal morfolojisi, sanatsal ifadeler ile yapı mühendisliği arasında ilginç örnekler sunmuştur. Bu sistemler, biçimler ve kuvvetler arasında güçlü bir bağlantı ile karakterize edilmektedir. Kronolojik olarak germedenge çatkısı sistemlerinin tarihsel olarak gelişimi Şekil 5’te sunulmuştur.

1920 ilk denge yapısı icat edilmesi (Johnson)
1927 Snelson'un geliştirdiği X-yapısı
1948 X yapılı heykel (Fuller)
1953 tek katmanlı kubbe
1959 Fullerin ana patenti
1959 Needle Tower
1965 ikinci patent (Snelson)
16 şubat 1965 üçüncü patent (Snelson)
1970 jeodezik kubbe
1981 B Tree

şekil 5. Germedenge çatkı sistemlerinin gelişim kronolojisi

3.1. Basit Biçim Bulma Yöntemi

Germedenge sistemlerinin oluşturulma aşaması en basit olan ön tasarım ile başlamaktadır. Germedengenin biçim oluşturma seçeneklerinde fiziksel modellerden çok yüzlülere kadar çeşitli biçimleri bulunmaktadır. En basit hali olarak adlandırılan, ilk germedenge modülü olarak kendini ayakta tutabilen ve dengeyi sağlayan model X-yapısı modelidir (şekil 6).



şekil 6. X-yapısı

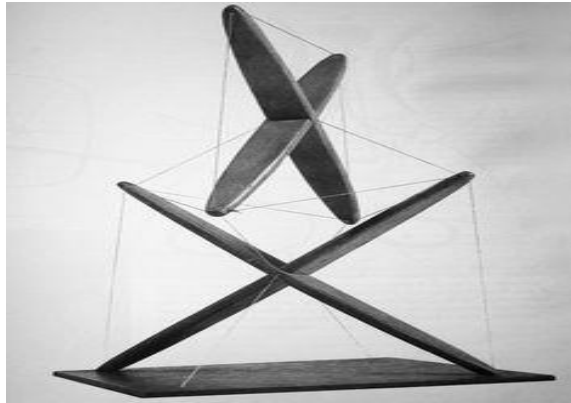
Kaynak: Morto R, (2008)

En basit yapı özelliği taşımasının yanı sıra X-yapısı modülü, esnek, sağlam ve bütünseldir. Bu sayede geçen 60 yıl boyunca sanatçılar, mühendisler ve mimarlar daha önce uygulaması zor kabul edilen germedenge çatkıları kullanabilmişlerdir (Ingber, 1998).

Fuller 1927 yılında, bir asma köprü inşa etme olasılığının düşük bir ihtimal olması sebebiyle arayışa girmiş ve germedengesinin büyük ölçüde nasıl işlediği hakkında model önerileri geliştirmeye yönelmiştir. Gökyüzü olaylarını ve doğayı incelediğinde yüzer basınç sahibi olarak görülen modeller tespit etmiştir. Bu tespitten yola çıkan Fuller, germedenge kavramının atoma yansıtıldığında, çekirdeğin etrafında dönen elektronların bir girdap oluşturduğuna ve atom altı seviyelerde itici ve çekici güçlerin etkileşerek birbirine bağlandığına inanmıştır. Mimarlar için Fuller'in germedenge prensibi daha güçlü ve çok yönlü olarak kabul edilmiştir (Snelson, 2012).

Fuller, 1948 yılında Black Mountain College adlı Kuzey Karolina'daki deneysel sanat okuluna davet edilmiş ve burada öğretmenlik yapmıştır. Dünya çapında bir ünü olmasa da takipçisi hızla artmıştır. Fuller okula geldiğinde geometrik modellerle germedenge bütünlüğü üzerine üç saatlik bir ders vermiştir. Daha sonra öğrencisi olan Kenneth Snelson gibi sanatçılar, Albers ile resim dersleri almak için Black Mountain College'e gelmiştir. Snelson öğrenci iken Fuller'ın modellerini inşa etmesine yardımcı olan kişilerden biri konumunda davet edilmiştir. Bu deneyimler, Snelson'ı etkilemiş ve onu, Fuller'ın öğretileri ve germedenge bütünlüğünü daha fazla araştırmaya yönlendirmiştir (Snelson, 1990).

Snelson, Fuller ve Albers ile gerçekleştirdikleri çalışmalardan ilham alarak birçok heykel yapmıştır. Bu heykeller, sadece gerilmiş membranlarla yerinde tutulan ve birbirinin üzerinde yüzer basınca sahip iki X-yapısı kontrplak modülünden oluşmuştur. Kontrplak, bir tabana sabitlenmiş tellerle desteklenmiştir (Şekil 7; Snelson, 1990)



Şekil 7. Double X-şekilli kontrplak modülünden oluşan heykel
Kaynak: Morto R, (2008)

Fuller, Snelson'un yapmış olduğu X-yapısını gördüğünde büyük bir şaşkınlık yaşamış ve daha sonra Snelson'un düşüncesini "katalize ettiğini" ifade etmiştir (Fuller, 1961). Fuller, 1955 yılında, "germedenge" olarak adlandırdığı yapılara ilişkin yeni bir görüş belirtmiştir. O, dikkatini yükselen direklerin ve jeodezik kubbelerin inşasına yönlendirmiştir. Jeodezik düzenlemenin üçgenin gücüne dayandığı bilinmekle birlikte Fuller, germedenge kavramının da bu yapıda etkili olduğunu fark etmiştir. Snelson'un geometrik şablonunu kullanarak kubbenin esnek olmayan öğelerden yapılmış olmasına rağmen germedenge adıyla sergilendiğini anlamıştır (Snelson, 1990).

3.2. Kavramın Algısal Gelişimi

Germedenge sistemlerini keşfeden insanların ilk tepkileri çoğunlukla "sihir" ve "büyü" şeklinde olmuştur. Bu konuda mevcut literatürün azlığı, alana dair araştırmaların çoğalmasına yol açmaktadır. Bu sistemlerin ürettiği istikrar sorunu nedeniyle sanat eseri olarak heykel çalışmaları ve uygulamalı örnekler bulunmaktadır. Bu ilginç kavram, neredeyse hayatın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Araştırmalara bakıldığında, ilk olarak bu germedenge çatkının sanat, heykel, inşaat ve mimariye doğru gelişen yönünün ön planda olduğu düşünülse de yapılan makale ve tez taramaları sonucunda Uzay Yapıları Konferansı'nın konu hakkında önemli bir referans kaynağı olduğu görülmüştür. Uzay sistemlerinde ve birçok teknolojik alanda germedenge sistemi ile karşılaşilmektedir. Bu sistemlerde taşıyıcı basınç elemanları sanki yüzüyormuş gibi görünmektedir. Özellikle uzayda kullanıldığında, hafif bağlantılar neredeyse görünmez hale gelmektedir. Bu germedengenin nasıl sağlandığı, gerçekten de kararlılık ve rijitliğin nasıl elde edildiği konusunda açıklamalar yapılmıştır (Oppenheim ve Williams, 1997).

Germedenge sistemlerinin tarihine dair yazılmış birçok eser bulunmaktadır. İki ana referans, Uluslararası Uzay Dergisi'nin özel sayılarında yer almaktadır. Bu yazılar 1992 ve 1996 yıllarında yayımlanmıştır. İlk referanslar çerçevesinde, David Georges Emmerich, Buckminster Fuller ve Kenneth Snelson arasında patentlerle ilgili bir tartışmanın olduğu, üç dikme ve dokuz kablodan oluşan bir modülün tanımlandığı görülmüştür (Oppenheim ve Williams, 1997).

Genel olarak yabancı dilde karmaşık bir kavram olan "germedenge" tam olarak tanımlanmamıştır. Fuller, bu yapıları: *"Evrenin mekanik yapısında, bu basıncı*

buluyoruz. Organizasyon, gökyüzündeki kürelerin boyutlarıyla sınırlıdır. Dünyanın engebeli yapısal bütünlüğünün sonsuzluk içinde sadece denge olarak tanımladığımız germedenge prensiplerinin sınırları bulunmaktadır. Bu gerçektir, germedenge teknik avantaja sahiptir ve bunlar üzerinde çalışmaları takip edeceğim. Bunlar, germedenge düzenini oluşturmada büyük ölçüde kullanmam gereken ilkelerdir. İnsanın doğrudan kontrolü altındadır” şeklinde tanımlamıştır (Bowl, 1974).

Fuller tarafından Michigan Üniversitesi Yüzyıl Ortası Konferansı’nda yapılan bir konuşmada 1963’te yayımlanan “Fikirler ve Bütünlükler” isimli çalışmada germedenge kapsamlı olarak açıklanmıştır. Burada “Evrenin, germedenge olarak bir araya geldiği ve dünyanın germe bütünlük” olduğu belirtilmiştir. Fuller “germedenge bütünlük” kavramının en büyük destekçisi olmuştur. Ancak bu kavramın geliştirilmesinde basınç elemanları ve bağlayıcı elemanlar olması gerektiğini görmüştür (Bowl, 1974).

3.3. Patent Süreci

Germedengesi prensibi, hafif, uyarlanabilir ve çeşitlilik gösteren yapısal figürlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yapılar, görsel olarak havada süzülen çubuk kümesi izlenimi uyandıran bir sistemle ilişkilendirilmektedir. Kenneth Snelson, bu benzerliğin “yüzey basınç” terimi altında ele alınması gerektiğini savunmuştur. Snelson’a yöneltilen sorular, patent ile ilgili bazı polemiklerin aydınlatılmasına katkı sağlamıştır. Bu alanda faaliyet gösteren her bir bireyin kendine özgü formüller geliştirmesi ve matematiksel hesaplamalar yapması, patent başvurularının tarihini ve bu süreçteki öncelikleri belirginleştirmektedir. Bu bağlamda, konuyla ilgilenen bireylerin patent başvuruları için takip ettikleri tarihler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- **Buckminster Fuller** (13 Kasım 1962)
- **Emmerich Johanson** (28 Eylül 1964)
- **Kenneth Snelson** (16 Şubat 1965)

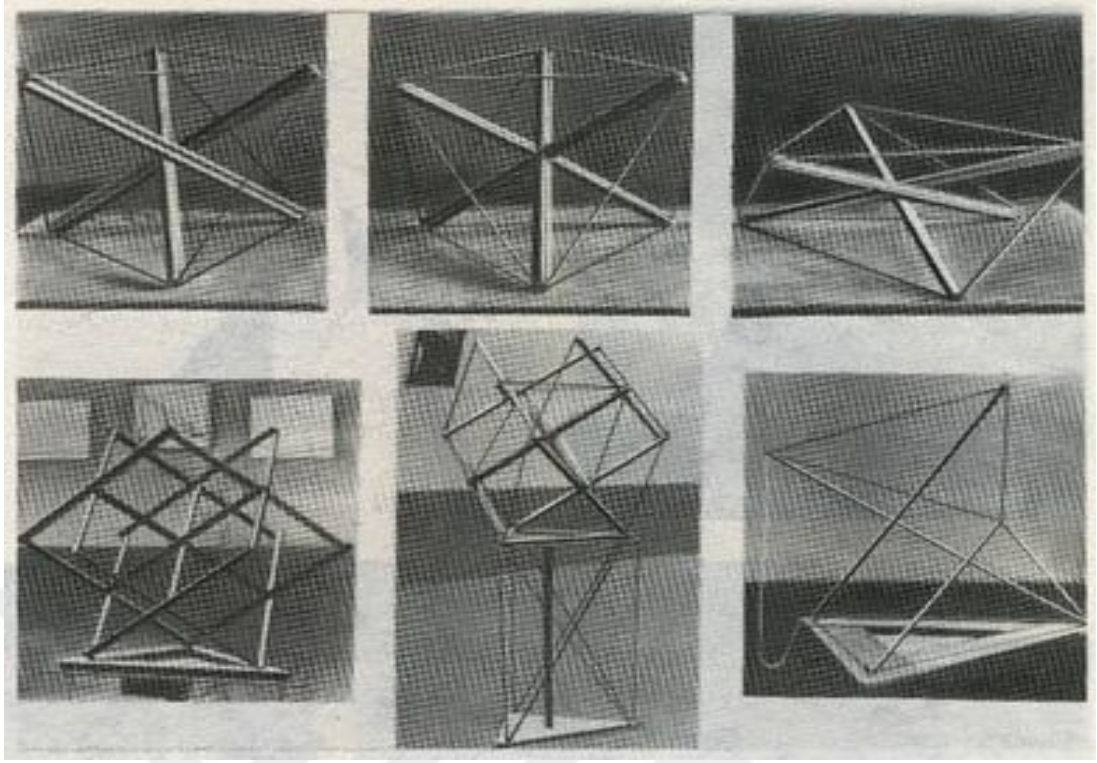
Kenneth Snelson’un 16 Şubat 1965 tarihinde keşfettiğini iddia ettiği germedenge yapıların ilk prototiplerinin aslında Karlis Johansons tarafından çok daha önce, 1921 yılında geliştirildiği kanıtlanmıştır. Snelson’un ifadelerine rağmen

Johansons'un üretmiş olduğu bu erken dönem germedenge çatkılar sistemi, konseptin tarihsel gelişimi açısından önemli bir konuma sahiptir.

Germedenge çatkılarının ilk örneklerinin, Karlis Johansons tarafından 1920'de geliştirilen "Gleichgewichtskonstruktion" (Denge-yapısı) adı altında tasarlanan proto-germedenge sistemi olduğu bilinmektedir. Letonyalı ve Rus Konstrüktivist bir sanatçı olan Karlis Johansons (1929-1980), "kendinden basınçlı yapılar" olarak tanımladığı bu yapılarla, 1921 yılında Moskova'daki bir sergide Genç Sanatçılar Cemiyeti çatısı altında sergilenen Konstrüktivist sanatçılar arasında yer almıştır. Johansons'un heykel yapısının, yenilikçi germedenge ve bütünlük gerinim ilkelerine dayandığı bu sergide ortaya çıkmıştır. Bu sergi, germedenge yapıların estetik açıdan önemli bir evrimsel adımını temsil etmektedir (Motto, 2003).

Konuya dair mevcut belgeler, R. Buckminster Fuller'ın 1962 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde patent başvurusu yaptığını göstermektedir. Bu süreç, Fransa'da David Georges Emmerich'in benzer patent başvurularıyla neredeyse eş zamanlı olarak ilerlemiştir. Özellikle 1960'larda, R. Maculet, Emmerich'in Fransa'da aldığı patentlerin bir listesini sunmuş ve "çerçeve montajı" ile ilgili patentlerin alınmasına dair yorumlar yapmıştır. Bu patentlerin inşaat ve mimarlık sektörü açısından özel bir önemi bulunmaktadır. İlk germedengesi ile ilgili patentin 1963 tarihinde alındığı kaydedilmiştir. Bunun yanı sıra Maculet, Buckminster Fuller tarafından yayınlanan dört buluşu belgelemiştir. "Germedenge Çatkı Sistemi" adı altında en eskisi 1962 yılında, sonrası 1985 tarihli, yazarı belirsiz bir çalışmada ve aynı yıl "Synergetica" dergisinde bahsedildiği görülmektedir (Wright, 2010).

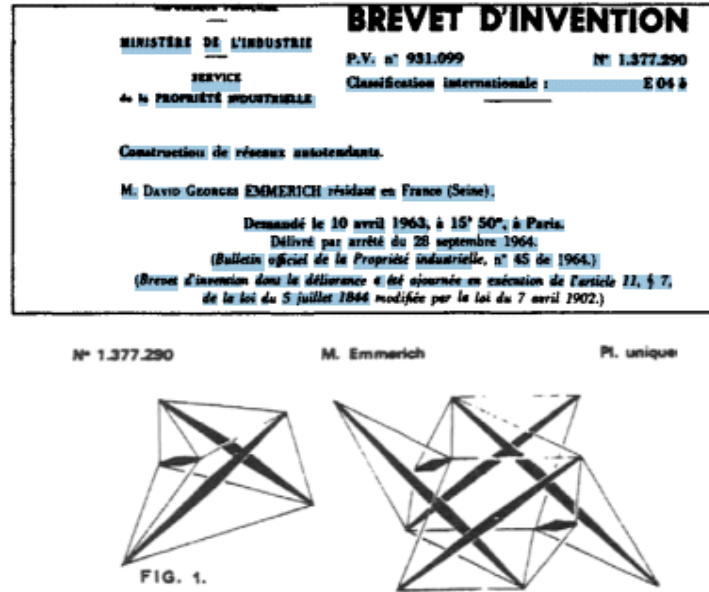
Emmerich ve Fuller'in patentleri, 1959-1964 yılları arasında alınmıştır. David Georges Emmerich'in INPI'de "Pearl Frameworks" adlı ilk sistemi patentlediği ancak bu sürecin doğru şekilde kaydedilmediği bilinmektedir (Chalmers, 2001). Emmerich'in ilk proto-germedenge çatkılarının görseli Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Emmerich'in ilk proto-germedenge çatkıları

Kaynak: Asimov L ve Roth B, (1978)

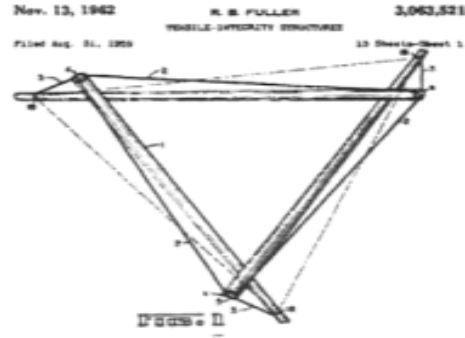
Emmerich'in ikinci patenti, 1963 tarihli olup "İnşaat" başlığı altında 1964 yılında verilmiştir (Sheep, 2017). İlgili patent ve görseli Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 9. Emmerich'in patenti ve görseli

Kaynak: Designing Building Process, 2009

Fuller'in ana patenti, 1959'da tescil edilmiş ve 1962 yılında verilmiştir. Fuller bu patent için “Çekme Bütünlüğü” adını kullanmıştır. Snelson'un patenti ise “Sürekli Germedengesi, Yüzer Basınç Yapıları” başlığı altında 1960 yılında tescil edilmiş ve 1965 yılında verilmiştir (Sheep, 2017). İlgili patent ve görseli Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Fuller'in patent görseli
Kaynak: Designing Building Process, 2009

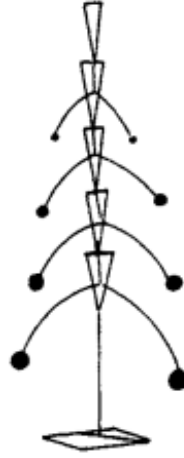
1996 yılında Uluslararası Uzay Yapıları Dergisi'nde yayımlanan makaleler, Fuller, Emmerich ve Snelson tarafından tanımlanan yapısal sistemleri, bu konudaki orijinal çalışmalar olarak tanımlamaktadır. Öncelikle “Germedenge Çatkılar” teriminin mucidi Fuller olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra çalışmalarda, patentlerin fikri mülkiyetin idari kanıtı olarak işlev gördüğü vurgulanmaktadır (Wolff,1981). En eski patentler, uzman kuruluşlar tarafından daha verimli olanlar şeklinde değerlendirilmektedir. Johanson'un germedenge çatkılar üzerine yapmış olduğu çalışmalar, D.G. Emmerich tarafından “temel denge” olarak adlandırılan ve Snelson'un patentinde bir alt ürün olarak görülen temel germedenge birimine öncülük etmiştir (Wolff,1981).

Fuller ve Emmerich'in patentlerinin düzlemsel birimlerin montajı açısından açıklık taşımadığı gözlemlenmiştir. Bu üç patentin karşılaştırmalı analizinin yapılmasının konuya katkı sağlayacağı düşünülmüş ancak bu analiz, Uluslararası Uzay Yapıları Dergisi'nin 1996 yılındaki özel sayısında tartışılan konulardan biri olarak yer almamıştır. İlk tasarım sürecinde Johanson'un heykel çalışmalarının, Snelson'a ilham verip vermediği konusunda kesin bilgi bulunmamaktadır. Bu bağlamda, kimin bu

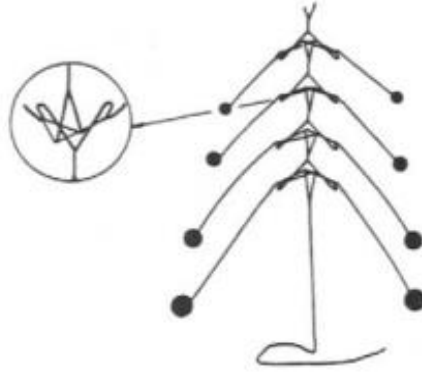
alanda ilk olduğunu belirlemenin ötesinde, bu sistemlerin gelecekteki uygulamalarını ve işlevselliğini incelemenin daha yararlı olacağı söylenebilir (Foster, 1995).

Fuller, “Germedenge çatkılar” konusunun ortaya çıkışı hakkındaki sorulara: “Germedenge çatkılar; germedengesi bütünlüğün daralmasıdır.” “Germedenge çok yönlü olarak tutarlıdır.” “Optimum yapısal efor özelliği ile denge sağlayan bir birleşimdir” ifadeleri ile cevaplar sunmuştur (Foster, 1995).

Edmonson 1947 yılında Fuller Black Mountain College’de verdiği derslerde, “Doğanın sürekli gergin bütünlüğünün, yüzer basınca dayandığını ve yapı elemanları olduğunu” belirtmiştir. Buna karşılık Kenneth Snelson ise “Burada ilgi çekici olan üç küçük eser her ikisi de denge ile ilgilidir” şeklinde görüşlerini ifade etmiştir. Dikey olarak istiflenmiş ardışık modüler elemanlar Şekil 11’de, iplik askıları vasıtasıyla birebir askıya alındığı modeldeki germedenge elemanları Şekil 12’de gösterilmiştir. Bunlar, modülleri bağlayan yapısal eleman ile mümkün kılınmıştır (Auernhammer, 2021)



Şekil 11. Kenneth Snelson “onetoanother” görseli
Kaynak: Snelson K, (1996)



Şekil 12. Kenneth Snelson “onetoanother” görseli ve germedenge elemanları
Kaynak: Snelson K, (1996)

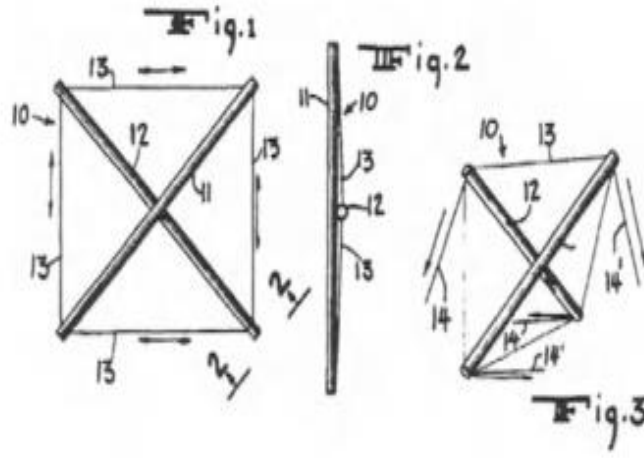
Şekil 11 ve Şekil 12 analiz edildiğinde Şekil 11, ilk heykel görüntüsüne sahiptir ve kavramın gelişme sürecinde bağlantı bölümü ile elemanlar arasındadır. Bu konuda sert tellerle yapılan heykel yapısı, ikincisinde mekânsal olarak monte edilmiş ve dört kablo ile değiştirilmiştir. Heykelle başlayan kavram mimarlığa doğru gelişmiştir. Böylece germedenge sistemlerin de sanattan yapı mühendisliğine doğru ilerlediği görülmektedir.

Şekil 12’deki modelin, verilen açıklamalarla ilgili olarak incelenmesi sonucunda Snelson, “X” modülü adı verilen patentin temel fikrini baz alarak süreci “Birbirine temas etmeden ayrı yerleştirilen yapı elemanlarının bir germedenge oluşturmak veya yapısal üyelerin birbirine bağlı olması” şeklinde ifade etmiştir (Foster, 1995).

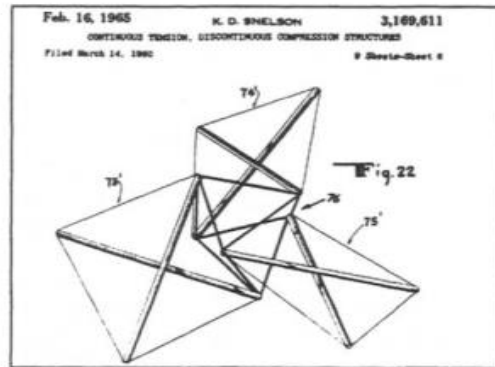
Snelson tarafından oluşturulmuş eşkenar dörtgen şekli ile bütün oluşturan başka bir X şekli yer almakta ve bu kablolar arasında Şekil 12’deki heykel bulunmaktadır. Aralarındaki bağlantı kablolarının eklenmesi germedenge yapı elemanlarının bağlayıcı görevinin yerini almaktadır. Snelson karmaşık yapılar tasarlama süreci ile basit olan yapıyı inşa etme sürecinin aynı yapım şekli ile mümkün olabildiğini göstermektedir. Ayrıca tek yönlü veya çok yönlü eksen etrafında kullanılan X şeklini inşa etmenin yapı taşı aynı olarak görülmektedir (Skelton, Oliveira, 2009).

3.4. Temel Mekânsal Germedenge Sistemleri

Snelson'un kitabında tanımlanan hali ile belirli bir germedengesi sisteminde, üç X şekli modülünün montajı ve germedengede yüzer basıncın aktarılması için gerekli bağlantı elemanlarının eklenmesi aşamasında dokuz kablodan oluşan bir montaj gerekmektedir (Şekil 13; Şekil 14). Ortaya çıkan kablo seti, iki üçgen ve üç destekten oluşmaktadır. Bu çizimler "dikme desteği" olarak da adlandırılmaktadır.

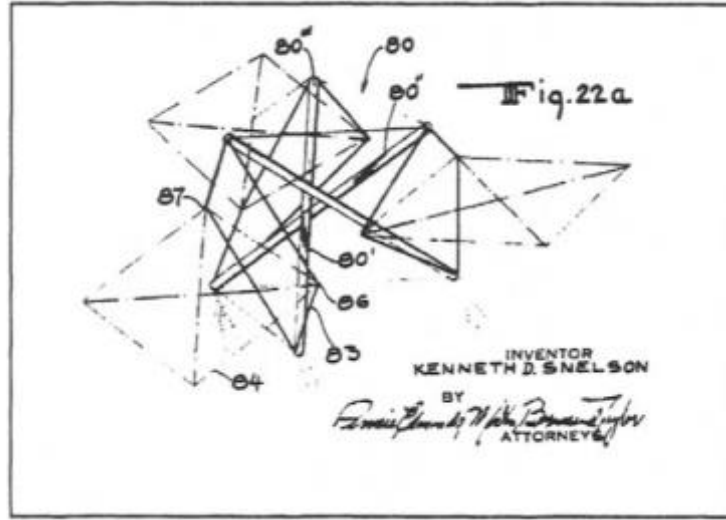


Şekil 13. Kenneth Snelson'un sürekli germedenge süreksiz basınç modeli
Kaynak: Snelson K, (1996)



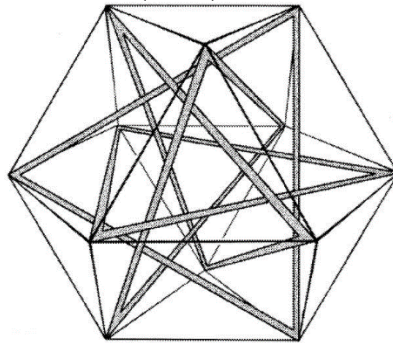
Şekil 14. Kenneth Snelson'un 3-X yapısının modeli
Kaynak: Snelson K, (1996)

Şekil 13 ve Şekil 14'e göre Snelson'un germedengesine üç yapı elemanı dahil edildiğinde "prizmatik" ismi verilen bir birim oluşturulmuştur. Germedenge prensibine göre bu dahil edilme ile oluşan birim en basit yol olarak kabul edilmektedir. Germedenge yapılara yüzer basınç etkisi ile temel birim oluşturulmaktadır. Bunun örneği Şekil 15'te görülmektedir. Germedengenin yapı taşı olarak kabul edilen bu çizim, "simpleks" (basit) germedenge olarak adlandırılmaktadır. D. G. Emmerich gibi birçok araştırmacı tarafından bu adlandırma, çalışmalarda kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır. Snelson'un germedenge uzay yapısı temel denge modülü ise Şekil 16'da sunulmuştur (Block ve Ochsendorf, 2007).



Şekil 15. Temel Uzamsal Germedenge Sistemi

Kaynak: Snelson, K. (1996)



Şekil 16. Kendinden germedenge uzay yapısı, temel denge modülü

Kaynak: Snelson, K. (1996).

3.5. Ön Tasarım Çalışmaları

Germedenge çatkılarının yenilikçi yaklaşımı doğada, modeller ve robotiklerin yanı sıra uzay sistemlerinde de kendini göstermektedir. Fuller, germedenge çatkılarının geniş bir alana uygulanabilir olduğunu fark etmiştir. Aynı zamanda Fuller, 70’li yıllarda Synergetics’i yazarak germedenge çatkılarını ile ilgili tüm çalışmalarda, evrenin dengesini sağlayan ilke olduğunu iddia etmiştir (Juan, 2008). Bu düşüncesini şu ifadelerle dile getirmiştir:

“Güneş sisteminden atoma kadar doğru şekilde anlaşılan tüm yapılar denge bütünlüğü sisteminde yapılardır. Evren önemli bir bütündür” (Juan, 2008). Fuller bu ifadesinde bize bu yapının birçok çalışma prensibinden geçtiğini göstermektedir. Bu konudaki örneklerle evrendeki karmaşık ve zengin bütünlükler ile insan vücudundaki iskelet sisteminden başlamaktadır. Kaslar üzerinde bulunan iskelet sistemindeki germedengeyi koruyarak tendonlara bağlanmakta ve çekilmesine karşı direnç sağlanmaktadır. Böylece elastiklik kazanan ve yüzer basınç sayesinde germedenge ilkesi ile olan hareketin minimum çaba ve zorlama sayesinde dengede olduğu görülmektedir (Oppenheim, Williams, 1997)

Konu hakkında Snelson, germedenge çatkılar ile ilgili her şeyin kavramsal olarak ikili olduğunu fark etmiştir. Bu ikilik konusunda, çapraz çubukların oluşturduğu çatkılar sayesinde saat yönüne ve tersi yöne olmak üzere iki eksen genişlemede ve biçim oluşturmada açık uçlu ilerleme imkânı bulması örnek olarak verilmektedir (Oppenheim ve Williams, 1997)

Konuya ilişkin çalışan isimlerden biri olan Frank Lloyd Wright, çalışma prensibinde germedengeyi tarif ederken görünmez kuvvetlerin görünür olarak yaratılması durumundan bahsetmektedir. Aynı zamanda karmaşık yapılardan oluşan metal yapıların yaratıcısı olan Kenneth Snelson, “Art and Ideas” isimli makalesinde belirttiği gibi “oluşturulan kuvvetler aracılığıyla bağlanan metal çubuklar ve esnek kablolar kuvvetleri görünür hale getirdi” diyerek konuyu açıklamaktadır (Wilkins, 2007).

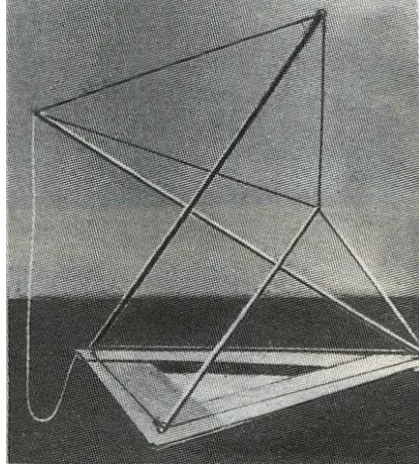
Gerginliğin özü bağlayıcı elemanların basınçtan dışa doğru itilmesiyle beraber bağlantı kablolarının içe doğru çekilmesinden meydana gelmektedir. Sonuç olarak Snelson bunu şöyle anlatmaktadır: “Germedenge ile yapılmış heykel kuvvet

yörüngesine yerleştirilebilir. Bu sayede kuvvetler heykelin biçimini koruyacaktır. Germedengenin kuvvetleri içsel olarak birbirine kenetlenmiş haldedir. Bu mekanik kuvvetlerin basıncı görünmezdir” (Jáuregui, 2020).

1970’lerin başlarında, Buckminster Fuller’in Jeodezik kubbeleri, askeri kamplarda ve sanayi çalışmalarında ortaya çıkmaktadır. 1960’larda ise Fuller’in kubbeleri bir sembol haline getirdiği görülmektedir. İnşaat mühendisleri tarafından, ambarların ve diğer büyük binaların tavanlarını ve duvarlarını kaplayan kuşaklı yapılar olan pavyonlar, kubbeler ve kafes sistemi inşa etmek için germedengesi ilkeleri kullanılmaktadır.

Germedenge kavramı üzerine çalışmalar yapılması ve makalelerin yazılmaya başlamasından itibaren yurt dışında konuya dair eğitime katkı olması açısından ders kitapları da yazılmaktadır. Snelson ve çalışmaları ile giderek artan sayıdaki germedenge çatkılar duyulur hale gelmektedir. Snelson ve Fuller’in çalışmalarıyla birlikte üniversite kurslarında da konu hakkındaki detaylar öğretilmektedir (Pugh, 1976; Kenner, 1976).

1970’lerin ortalarında, “Üç Boyutlu Tasarım” başlıklı heykel sınıfında Yale Üniversitesi’nde bir lisans öğrencisi olan Donald Ingber, elastiklerle bir arada tutulan altı ahşap dübelden oluşan tuhaf görünümlü bir heykel olan ilk gergin yapıyla karşılaşmıştır. Ingber, öğretmenin germedenge yapısına bastığında yapının düzleştiğini, elini kaldırdığında yapının yuvarlandığını ve havaya sıçradığını gözlemlemektedir. Daha öncesinde Ingber, bir kanser laboratuvarında hücre kültürü yapmayı öğrenirken buna benzer bir şey gördüğünü hatırlamaktadır. O, hücrelerin yapışkanlıklarını azaltan bir enzim ekleyerek yassılaşmış hücreleri nasıl çıkaracağını öğrenmiştir. Yerinden çıkarıldığında hücreler, tıpkı gergin çubuk ve ip modelinde olduğu gibi yuvarlanmaktadır. Ingber bunu fark ettikten sonra yapı elemanlarını “gergin yapılar” olarak tanımlamaktadır (Şekil 17).



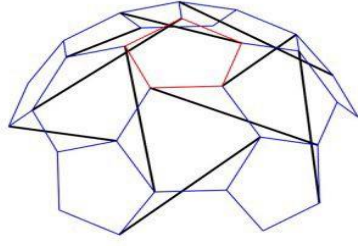
Şekil 17. Spatialcross 1920 sergisinde denge yapısı çalışması
Kaynak: Trivedi LN, (2003)

Johanson kavramsal açıdan germedengeden; “Resimden heykele, heykelden inşaata, inşaattan teknolojiye ve buluşlara uzanacak, kesinlikle her sanatçının nihai hedefi olacak” şeklinde bir öngörüyle bahsetmektedir. Ayrıca çalışmalarını gelişmeye açık bir sistem ve birçok alana uyarlanabilir olarak tanımlamaktadır. Johanson 1921’de ahşap, metal ve telleri kullanarak mekânsal yapılar ile çalışmaları desteklemiştir. Bununla birlikte germedenge çatkıların günümüzdeki kullanımına bakıldığında katmanlı uzay germedenge çatkı örnekleri kadar geniş olduğu görülmektedir (Wroldsen 2007).

Fuller, X modülü adındaki ilk germedenge çalışması üzerine her zaman yoğunlaşmış ve bu konuda çalışmalara devam etmiştir. Germedenge çatkı türlerinin geliştirilmesi için açıklıkları geçmede çeşitli olanak sağlamaktadır. Heykeller, kuleler, konsollar ve kemerlerin yanı sıra germedenge çatkılarında birbirine dokunmadan düzensiz biçimler bir eksen üzerinde yukarı doğru veya yatay ekseninde genişleme sağlamaktadır (Şekil 18; Burkhardt, 2004).

(a)

(b)



Şekil 18. Buckminster Fuller tarafından gerçekleştirilen germedenge küreleri modeli
a) şematik geometri b) yapısı

Kaynak: Diaconu CP, Stanciu MD, Curtu I, Doşa A, Grosaru FE ve Coşoreanu C (2014)

Germedenge sistemleri diğer bilim dallarına ilham olmuştur. Bunun yanında öğrencilerle beraber yürütülen projeler sayesinde de bu sistem geliştirilmiştir. Germedenge, mimari ile ilişkisinden sonra yelkenli gemiler, temel parçacıklar, kristaller ve uzay araçları gibi çok farklı alanlara da temas etmiştir. Bu gelişmelerden esinlenerek Sagg Harbor'un, tek bir taşıyıcı benzeri eleman üzerine oturan bir yelkenli rüzgâra dönüşebilen diye tasvir ettiği uygulama projesi bulunmaktadır. Harbor tarafından "ışık arayan bir ağacın dalları" olarak adlandırılan projede "B Tree Projesi" 1981 yılında uygulanmaktadır (Şekil 19; Xu ve diğerleri. 2014).

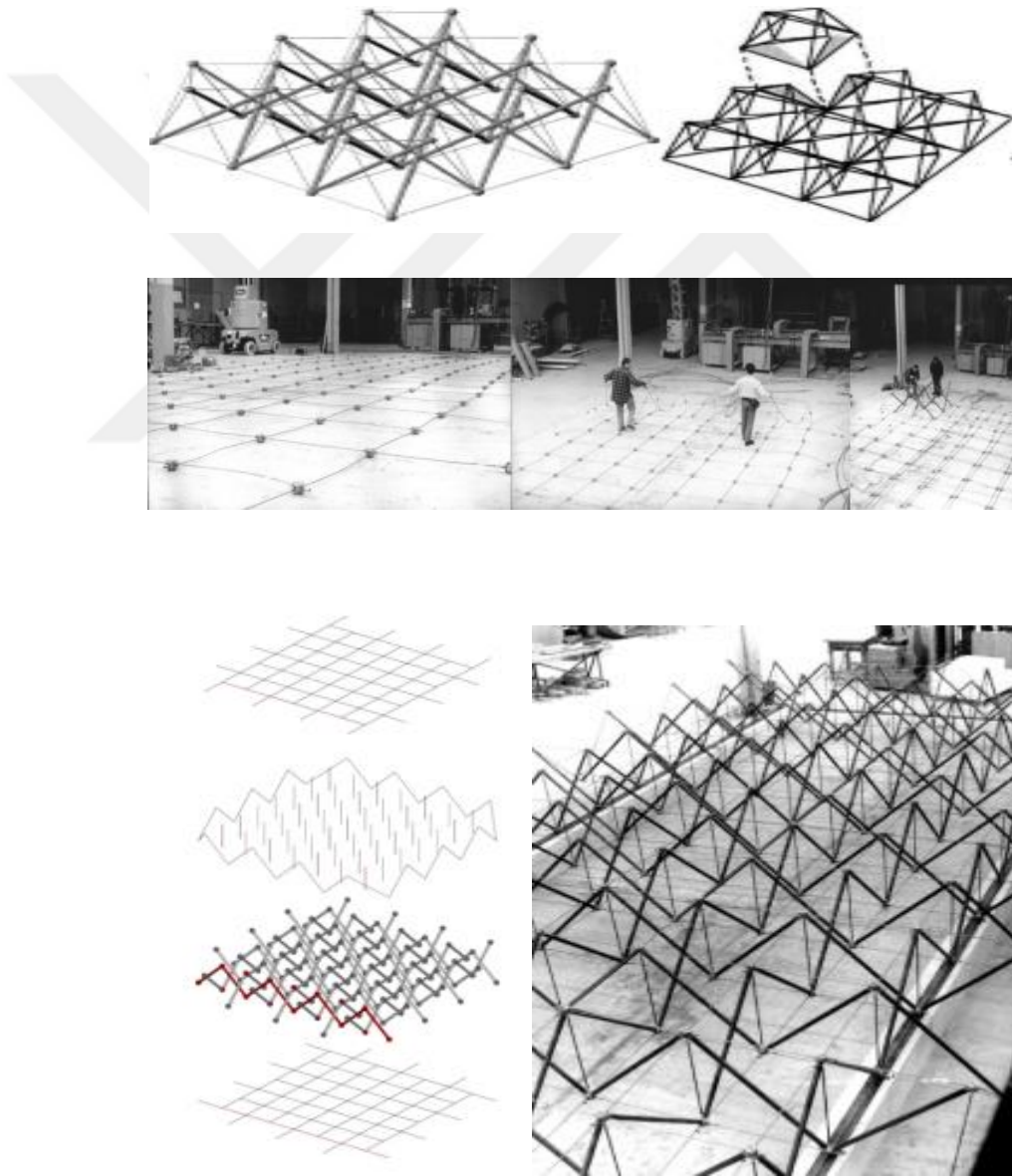


Şekil 19. B Tree (1981)

Kaynak: Xu X, Sun F, Luo Y ve Xu Y (2014)

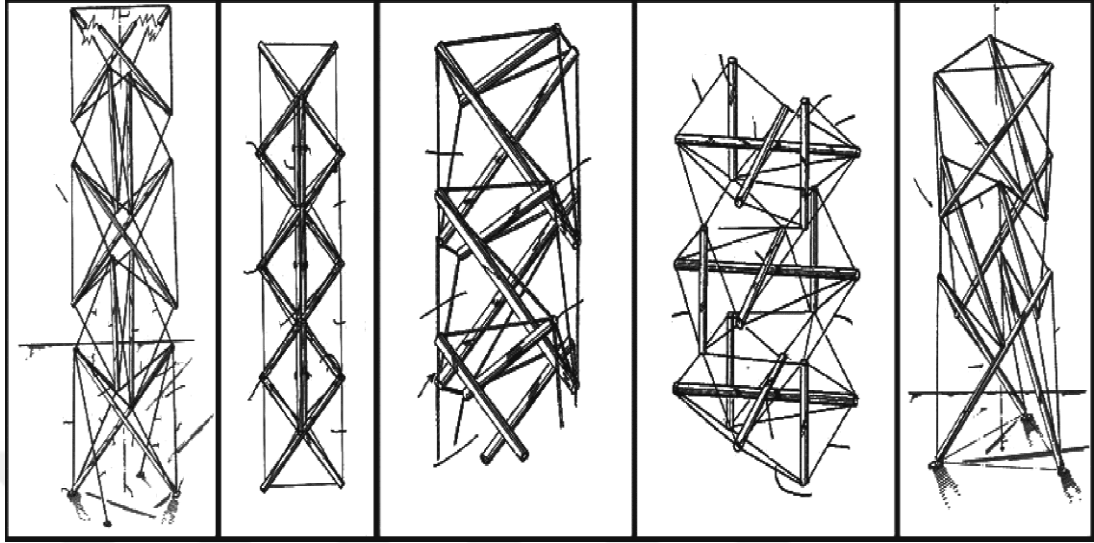
1998 ve 2000 yılları arasında, endüstriyel bir firma olan Ferrari'nin finansal desteğiyle bir germedenge sistemi projesi gerçekleştirilmiştir. Bu proje sonucunda ortaya çıkan prototip, düzlemde dikdörtgen şeklinde ve 80 metrekareden fazla bir alanı kaplayan, 12 kg ağırlığa sahip düz bir çift katmanlı ızgaradan oluşmaktadır (Şekil 20). Bu tekrarlayan modüllerden oluşan ızgarayı sınıflandırmak gerekirse şu şekildedir:

1. Yatay olarak yayılmakta olan germedenge ızgarası.
2. Dikey olarak yayılmakta olan germedenge ızgarası.



Şekil 20. Ferrari firmasının desteklediği tasarım projesi
Kaynak: Li, H. (1997). Shape formation of space trusses.

Şekil 20’de konsollar zeminin üzerinde yatay olarak yayılma sağlayan ızgara çeşidine örnek oluşturmaktadır.



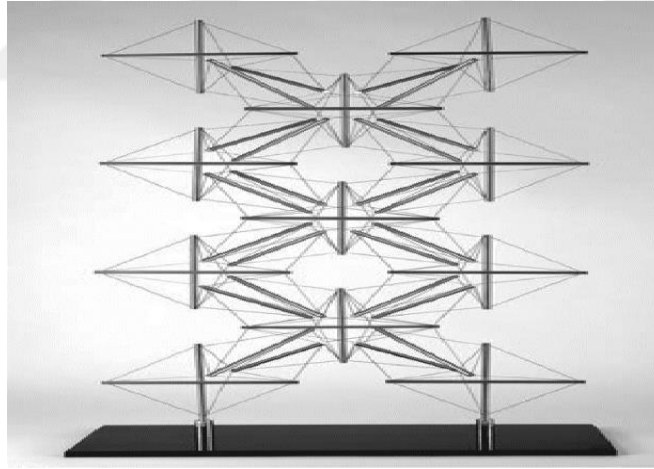
Şekil 21. DCCT Towers ismiyle kulesel çalışmalar, İğne kuleleri.

Kaynak: Lebrun J, Silva C A, Trebilcock F ve Winandy E. (2004).

Germedenge eserlerinin dikey olarak en uzun örneği 1968’de inşası tamamlanan “İğne Kuleleri”dir. İğne kulesi Şekil 21’de sunulmuştur. Uçak alüminyumundan yapılmış olup ağırlığı elli kilogramdır. Bu özellikler, onun otuz metre daha uzun olmasını sağlamıştır. Sonrasında “Dragon” heykeli (2000-2003) ve “Uyuyan Ejderha” heykeli (2002-2003) örnekleri ile karşılaşılmaktadır. Yapımı sırasında Snelson’un kuleleri için olumsuz sonuç teşkil eden durum yer çekimi değil, rüzgârdır.

Snelson’un patent uygulaması temel germedenge yapıları hakkında çalışmalara devam etmektedir. Bu patent uygulaması sırasında beş yıl süren dikey ve yatay olarak genişletme çalışmaları başlamaktadır. Snelson ilk olarak X modülü adını taşıyan germedengeyi genişletmekte ve daha sonra beş farklı biçime dönüştürmektedir. Ayrıca kuleler de dahil olmak üzere üç yönlü kule biçimini germedenge çatkıları türlerine kazandırmaktadır. Bu tasarımların birçoğu faydalı patentlerle sonuçlanmakta ve hava gözlemvleri, Soğuk Savaş erken uyarı radar tespit istasyonları, ay ve uydu yapıları gibi çok çeşitli projelerde ortaya çıkmaktadır. 1970 yılında Amerikan Mimarlar Enstitüsü başlangıçta Fuller ve Snelson’un katkılarını kabul etmektedir (Motto, 2003; Skelton ve De Oliveira 2009; Burkhardt, 2008).

Snelson daha sonrasında germedengeye dayalı atom modelini açıklayan bir patent sunmaktadır. Bu konuda çalışmaları sürerken germedengeye ilk ilham veren Londra merkezli sanatçı John McHale ile karşılaşmaktadır (Morgan, 2006). McHale, Fuller ile bir görüşme yaparak toplantıdan ilham alan araştırmacılardan Aaron Klug ve Amerikalı virolog (virüslerin özelliklerini konu alan bilim dalı) Donald Caspar ile viral ikosahedronların kapsamıyla Fuller'ın germedenge çatkısının görüntülerini incelemeye başlamışlardır. 1959'da araştırmacıların bir bitki virüsünün dış kabuğunun simetrik ikosahedronlardan oluştuğunu keşfettikleri ancak bunların tam olarak nasıl bir araya geldiklerini anlamlandıramadıkları bilinmektedir (Caspar, 1980). Germedengenin ikosahedral birimlerinin, birbirlerini bağlama biçimlerinde belirli bir miktarda denge halinde kalabildiğini fark etmişlerdir. Germedenge kavramına atıfta bulunmadan bu bulgularını 1962'de yayımlamışlardır. Bundan on yıl sonra Caspar, germedengenin ve Fuller'den ilham alınan modellerin inşasında oynanan rol hakkındaki düşüncelerini yazmıştır (Caspar, 1980).

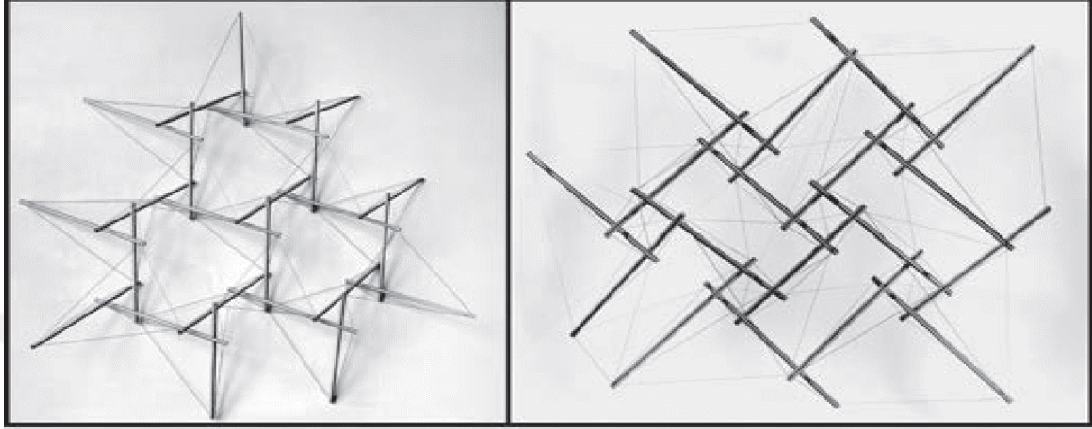


Şekil 22. Düzlemsel Kule

Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi K, Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura T. (2018)

Klug, virüslerin jeodezik mimariyi kullanarak şekil kararlılıklarını oluşturduklarını keşfettiği için 1982'de Nobel ödülü kazanmıştır. Ardından Snelson germedengeyi örgü dizimi ile düzlem haline getirme fikri için çalışmalara başlamıştır. Örnekleri aşağıdaki gibidir:

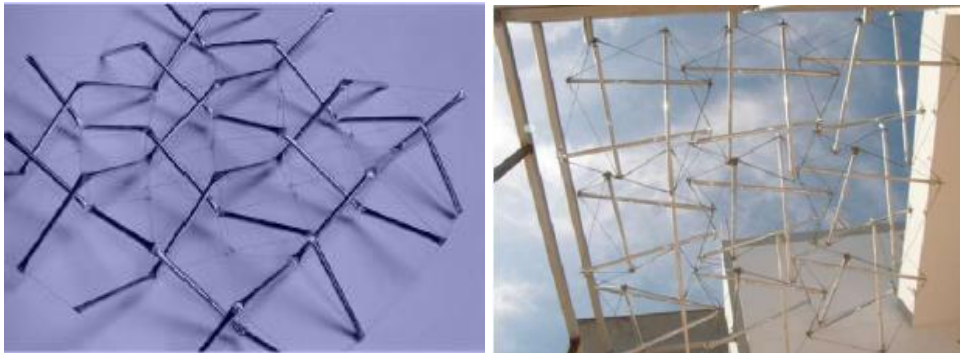
Şekil 22'deki düzlemsel kulede sütunların ilk önce üç yönlü konumlandırılıp kolay ve açık olan dört yönlü modüllere dönüştürülme sürecindeki bağlantısı Şekil 23'te gösterilmiştir.



Şekil 23. Üçgen ve Kare Düzlemsel Modül

Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi K, Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura T. (2018)

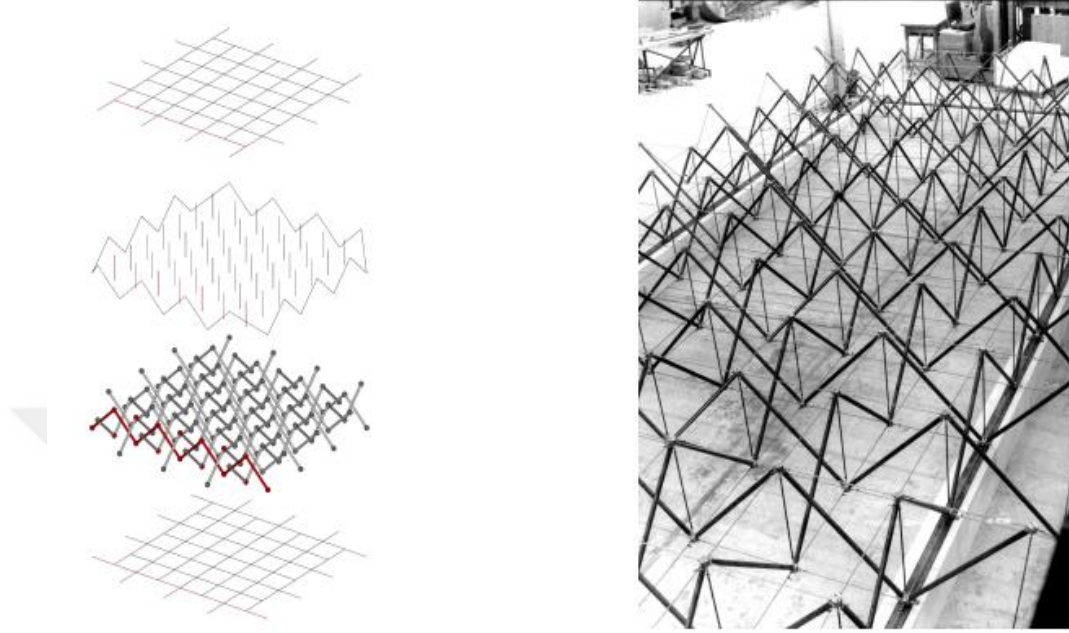
Snelson daha büyük bir düzlemsel örgü yapmak için germedenge yapı elemanlarının birbirine bağlanması ile merkezden başlayan ve dallanarak genişleyen bir düzlem oluşturmaktadır (Şekil 24).



Şekil 24. Düzlemsel Örgü ve uygulama alanına örnek olan bir banka ek binasının veranda çatkısı

Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi K, Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura T. (2018)

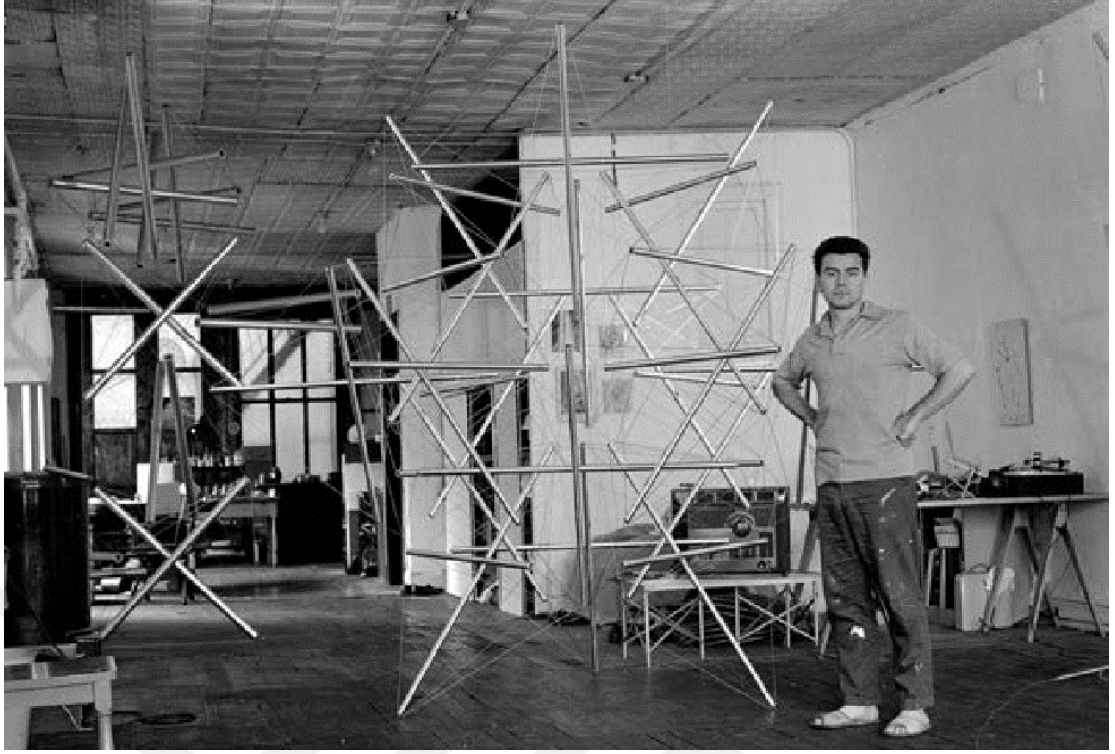
Düzlemsel örgüyü inşa etmek için simetrik olması gerektiği görülmektedir (Şekil 25).



Şekil 25. Düzlemsel Örgü

Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi K, Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura T. (2018)

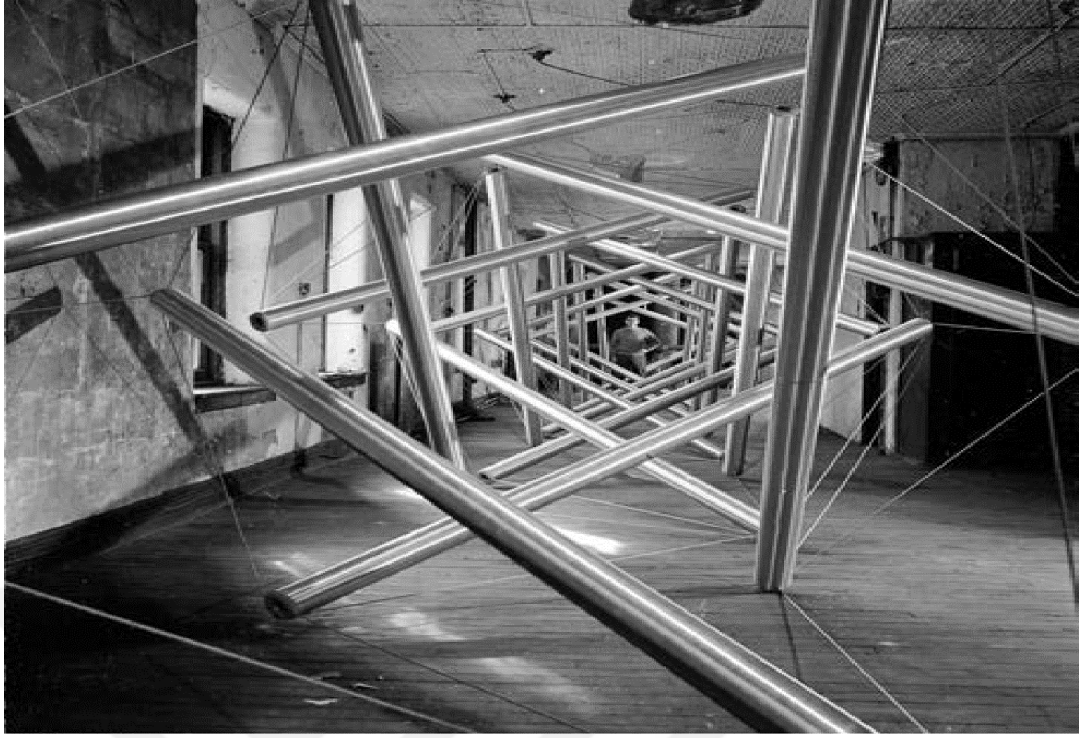
Snelson'un 1960'ta fotoğrafladığı germedenge modelleri ve elde ettiği çatkılardan örnek görüntüler Şekil 26'da sunulmuştur. Snelson'un arkadaşı, makalesini Fortune Dergisi'nde bir germedenge fotoğrafı ve "İnşa Edilecek Heykeller" başlığı adı altında yayımlanmıştır. Makalesinde germedenge ile ilgili "Bu dahiyane tel görünümlü yapı elemanları mimariyi uzay çağı haline getirebilir. Böylece Snelson'un germedenge yapı sistemi olmaktan farklı bir uzay istasyonu olarak roketçiler için çekici olabilir" ifadelerini kullanmıştır.



Şekil 26. Spring St. Loft 1960 fotoğraf görüntüsü
Kaynak: Snelson, K. (2012)

Snelson’a 1964’te New York için iki heykel inşa etme fırsatı doğmuştur. Onun çalışmaları “heykeller” ile “birlikte inşa etmek” kavramları karşısında “Dünyadaki En Parlak Şov”un bir parçası olma fırsatı yakalamıştır. Eserlerini sergileme fırsatını değerlendiren Snelson, açılış tarihinden önce kurulum için fuar alanında hazır bulunmuştur (Şekil 27).

Fuardan bir ay sonra Snelson ile New York’tan bir muhabir, Gay Talese, röportaj gerçekleştirmiştir. Talese yazısında heykelden “Karanlık, tozlu, yerde bir devasa çekirge! Daha yakından incelendiğinde modern bir yapısal tasarım...” şeklinde bahsetmiştir (Sheep, Fairhurst ve Khazanchi, 2017).



Şekil 27. Dünya kule çatkısı fuarı
Kaynak: Von Klemperer, J. (2018)

3.6. Kavramsal Tasarımın Yapısal Özellikleri

Germedenge sistemi ile inşa edilen yapıların kavramsal tasarıma etki eden özellikleri şu şekildedir:

- 1 – Germedenge ile inşa edilmiş olan çatkılarda üzerine yüklenen ağırlıklar sonucunda çatkı yine ilk halini almaktadır.
- 2 – Germedenge çatkılarda yapı elemanları ve elemanları birbirine bağlayan unsurlar bulunmaktadır.
- 3 – Germedenge çatkı yüzer basıncın etkisi altında rijit haldedir.

3.7. Tasarım Alanlarının Kubbe Yönünde Gelişmesi

Germedenge çatkılar birbirine dokunmayan yapı elemanlarından oluşmakta ve elemanlar yüzer basınç halinde havada asılı olarak kalmaktadır. Germedenge çatkılara sahip bir yapıda elemanlar prensipte aralarında temas olmayan rijit ağlarla bağ

oluşturmaktadır. İçindeki elemanlar neredeyse yok denecek kadar az olan bir hacmi kaplamaktadır. Diğer herhangi bir tekniğe kıyasla daha az malzeme ile inşa edilmektedir. Bu yapılar ağırlıklı olarak birçok yapılaşmada kullanılabilir.

Germedengenin; geçitlerde, inşaatta, direklerde, kubbelerde, geniş açıklıklar olarak iskelet orta ölçekte, gerilmiş düz duvarlar veya yüzeyler oluşturmak için minimum düzeyde esnek olan kentsel dokularda kullanımı mevcuttur. Bu germedenge çatıkların hareketliliği, değişime açık oluşu ile uyarlanabilirliği başka bir avantajdır. Geriye dönüp bakıldığında 1953 yılında yapılan kubbe konstrüksiyonunun geliştirilmesi ile çift katmanlı kubbe tasarımı daha dayanıklılık kazanmıştır. Çift katmanlı kubbe, tek katmanlı bir kubbeden daha kalındır. Bu kalınlık germedenge çatıklara mukavemet açısından etki etmektedir. Robert Burkhard'ın A Technology for Designing Tensegrity Domes and Spheres isimli çalışmasında çift katmanlı yapı örneği yer almaktadır (Şekil 28; Burkhardt R, 2004).



Şekil 28. Germedenge çatıklar, kubbeler ve küre çalışmasındaki küre modeli
Kaynak: Burkhardt R, (2004)

3.8. Tasarımdan Yapısallığa

Günümüzde inşaat sektöründe hem metal hem de beton kullanımı yaygınlaşmış olmasına rağmen yararlı etki bırakan başka bir teknik ve yapı elemanı arayışına girildiği görülmektedir. Genelde küçük yapı elemanları hızlı ve pratik bir şekilde monte edilebilmektedir. Yapısal elemanların imalatının bir bütün olarak görülmesi gerekmektedir. Germedengede yalnızca genel yerleşim düzeninde değil yapıların yanı sıra elemanların profillemesinde de bağlayıcı eleman hariç hepsinin köşeli olduğu

görülmektedir. Germedengede aynı oran ve özelliklerde düzlükler ve yuvarlak şekillerin montajı her açıdan daha zor olmakla beraber yerleşim ile ilgili ayrı olarak gömme veya kaynakla birleştirme gibi işlemler yapılmamaktadır.

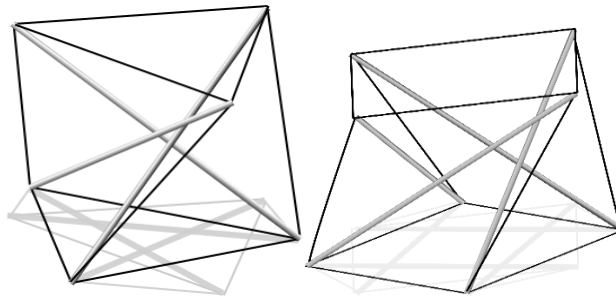
Teknik açıdan hesaplamayı geliştirerek kolaylık sağlamak mümkündür. Çünkü sadece böyle bir yapı bağlantı parçaları ile monte ya da demonte edilebilmektedir. Bundan dolayı yapı da kolayca hesaplanabilir hale gelmektedir.

3.9. Germedenge Çatkılarda İlkeler

Germedenge çatkılar prensip olarak temel veya basit germedenge dönme simetrisine sahiptir. Germedenge yapı elemanları ile oluşturulan bir çatkıda piramit veya prizma şekli oluşturulmaktadır. Bir germedengede itme ve çekme kuvveti birbirini dengelemektedir. Bu nedenle, yapının kendi ağırlığı ve dış etkenlerden gelen reaksiyonlara karşı bu tür bir denge sağlanmaktadır.

Germedenge çatkının morfolojisi incelendiğinde bunlar, basit bir montaj ile yan yana koyma veya kısmi ya da tam olarak montajda yapı elemanlarının iç içe geçirilerek üçgenler elde edilmesidir. Kullanılan tek yüze bağlı olarak üçgen, kare, altıgen, hatta beşgen Geleneksel Geometrik Motiflerinin simetrik olması gerekmektedir.

Germedenge çatkılar, parçadan bütüne montaj yapısı sayesinde kubbeler ve köprüler gibi büyük ölçekli yapıların oluşturulmasına kolaylık sağlamaktadır. Germedenge çatkılarda yapı elemanları arasında bağlayıcı olan kabloların kullanılması, bu yapılarda deprem ve kasırga gibi şiddetli doğa olaylarına karşı dayanıklılık sağlamaktadır.



Şekil 29. Basit Sarmal Germedengeleri Modelleri

Kaynak: Scarr G, (2011)

Germedenge çatılara yüklenen elemanlar, bu yapının yalnızca kablolar eğilir veya çubuklar bükülürse başarısız olacağı anlamına gelmektedir. Bu durum, her bir elemanın malzeme özelliklerinin ve enine kesit geometrisinin taşıdığı belirli yüke göre optimize edilmesini amaçlamaktadır. Germedenge, yapısal bütünlüğü korumak için bağlantı elemanlarının her zaman gergin olmasını sağlamaktadır. Eleanor Heartney, görsel şeffaflığın bu yapıların önemli bir estetik kalitesi olduğuna dikkat çekmekte ve germedenge çatıların geliştirilebilir ve uyarlanabilir mimari için uygun olduğunu savunmaktadır (Burkhardt, 2004).

3.10. Son Dönem Gelişmeleri

Gelişen teknoloji sonucunda inşaat malzemelerinde son dönemlerde sadeleşmeye gidilmekte ve bazı ekipmanlarla ilgili geliştirme yapılmaktadır. Ayrıca yaşanan gelişmelerle birlikte binalar, köprüler ve germedengesi ilkelerini kullanan diğer yapılar daha esnek hale getirilmektedir. Bu sayede yapıların sade ve yalın olduğu kadar ekonomik olduğu da görülmektedir. Gelişen algoritmik germedengesi teknolojik olarak çok fazla çeşitli uygulamaya ve başka farklı üretimlere izin vermektedir.

3.10.1. Son Dönem Gelişmeleri Örnekleri

Germedenge çatılar kavramı konuşlandırılabilir bir niteliğe sahiptir ve değişime açıktır. Bunlarda uygulama kolaylığını sağlayan ana neden bağlantı kabloları veya çubuklarının kullanılarak entegre edilmesi ve tersine geçebilmesidir. Germedengenin kısa sürede inşa edilmesi birçok alanda uygulama çeşitliliği sağlamaktadır. Germedengesi yapıları uygulamalarının çeşitli örnekleri şu şekildedir:

1. Sahra Hastaneleri
2. Stadyumlar
3. Spor Salonları
4. Afet Yapıları
5. Fuar ve Panayır Tesisleri
6. Sergi Mekânları
7. Hafif Köprüler
8. Monolit gibi Reklam Gösteri Elemanları
9. Heykel ve Plastik Elemanlar

3.10.2. Germedenge Yapısının Yapı Taşı Örnekleri

Germedenge yapı tasarımına uygun yapı taşı olan örnekler bu bölümde sunulmuştur.

3.10.2.1. Sahra Hastaneleri

Doğal veya insan yapımı bir felaket meydana geldiğinde öncelik, sıkıntılı insanları verimli bir şekilde barındırabilmektir. Bu tür durumlar, lojistiğin olduğu ve erişimin zor sağlandığı alanlarda meydana gelmektedir. Bu da hafif, esnek, taşınması kolay, gerekli koşullara uyarlanabilen ve farklı işlevleri yerine getirecek şekilde yapılandırılmış yapılara olan ihtiyacı artırmaktadır. En başta zamandan ve iş gücünden tasarruf etme konusunda kolaylık sağlanması temel amaçlardandır.

Ulaşım sistemi kurmak veya eski haline getirmek için köprüler, bir sahra hastanesi için yapılar, dini, depo ve yönetim ofisleri dâhil topluluk alanları sağlanmıştır. Sıkıntı içindeki topluluğun antropolojik mekânsal özelliklerine uyması için çeşitli modellerde farklı tipte çadırlar düzenlenebilmektedir.

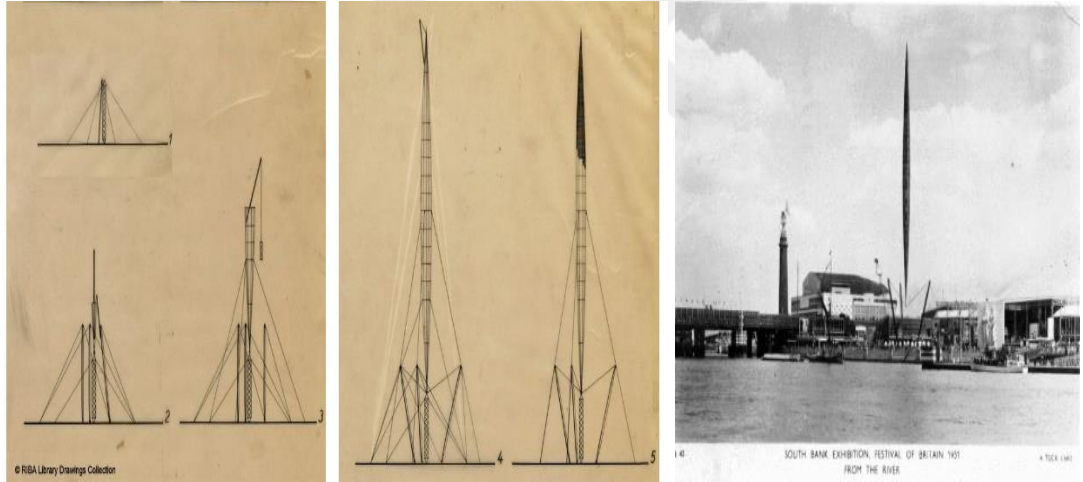
3.10.2.2. Kuleler

Germedenge sistemi ile yapılan bazı kule örneklerine ilişkin bilgiler şu şekildedir:

Skylon 1951: Germedenge çatkının önemli bir örneği 1951 Skylon'dur. Her iki uçta üçer adet olmak üzere altı kablo kuleyi yerinde tutmaktadır. Tabana bağlanan üç kablo konumu tanımlamaktadır. Diğer üç kablo ise kuleyi dikey tutmaktadır. Üç çubuklu bir tensegrity yapısı daha basit bir yapı üzerine inşa edilmiştir (Şekil 30). Denge için gereken minimum kablo sayısı üç olsa da estetik amaçlar ya da ek dengeyi sağlayabilmek için her bir düğüme ek kablolar bağlanabilmektedir (Şekil 31).



Şekil 30. Britanya Festivali'nde Skylon 1951 örneği
Kaynak: Jáuregui V G, (2020)



Şekil 31. Skylon için Moya ve Powell tarafından hazırlanan Orijinal Mimari Planlar
Kaynak: Jáuregui V G, (2020)

Needle Tower: Yakın bir geçmişte, bazı kendinden germe kombinasyon ilkelerinin ayrı ayrı kullanılmış bir örneği olarak ortaya çıkmıştır. Değişim ve gelişimi temsilen “A World View: A New Humanism” “Yeni Bir Dünya Yeni Bir Hümanizm” temasıyla düzenlenen 1958'deki Brüksel Expo'su için tasarlanan Needle Tower örneği Şekil 32'de sunulmuştur. Needle Tower'ı kullanmak için destekleyici bir sistem oluşturmanın gerekli olduğu belirtilmektedir. Şekil 32'deki örnek tüm sergi ziyaretçilerine sunulmuş olup

temel denge prensibi ile prototipi geliştirilerek günümüze dek ulaşmıştır (Jáuregui, 2020).



Şekil 32. Hollanda Kröller-Müller Müzesindeki Needle Tower
Kaynak: Snelson K, (1969)

Black E. C. Tower: Black Light Tower, 38 metal çubuktan oluşan bir germedenge kulesi olup Şekil 33’te sunulmuştur.



Şekil 33. Black E. C. Tower
Kaynak: Paul C, Valero-Cuevas F J, ve Lipson H, (2006).

3.10.2.3. Heykeller

Truss Heykeli: Brüksel Dünya Fuarı'nda germedenge çatkılı olarak sergilenmiş ve Şekil 34'te sunulmuştur.



Şekil 34. Brüksel Dünya Fuarı'ndaki Truss Heykeli
Kaynak: Mollaert M, (1999).

Dragon Heykeli: Keneth Snelson tarafından yapılmış ve sergilenmiş bir heykel olup Şekil 35'te sunulmuştur.



Şekil 35. Snelson'un Dragon Heykeli
Kaynak: Hieu T D ve Ky N D, (2022)

Easy Landing: Snelson tarafından yapılmış olan heykel Baltimore'da 1977'de sergilenmiş ve Şekil 36'da sunulmuştur.



Şekil 36. Snelson tarafından Baltimore’da 1977 yılındaki “Easy Landing” heykeli
Kaynak: Kelly C, (2011).

3.10.2.4. Stadyumlar

Stadyumların bazıları germedenge sistemi tasarımlarıyla dikkat çekmektedir. Stadyumlarda germedenge sistemi kullanımıyla ilgili örnekler şu şekildedir.

- **Münih Olimpiyat Stadyumu:** Münih Olimpiyat Stadyumu, Otto’nun 1972 yılında Günther Behnisch ile germedenge sistemini kullanarak tasarladığı bir yapıdır. İlgili görsel Şekil 37’de sunulmuştur.



Şekil 37. Münih Olimpiyat stadı üstten görünümü ve detay görseli
Kaynak: Schmidt T, (2012).

- **Millenium Dome:** Yaygın olarak The O2 adıyla da bilinen Londra'nın güneydoğusunda Greenwich Yarımadası'ndaki eğlence bölgesinin merkezinde yer alan çok amaçlı kapalı bir arenadır. İlgili görsel Şekil 38'de sunulmuştur.



Şekil 38. Millenium Dome

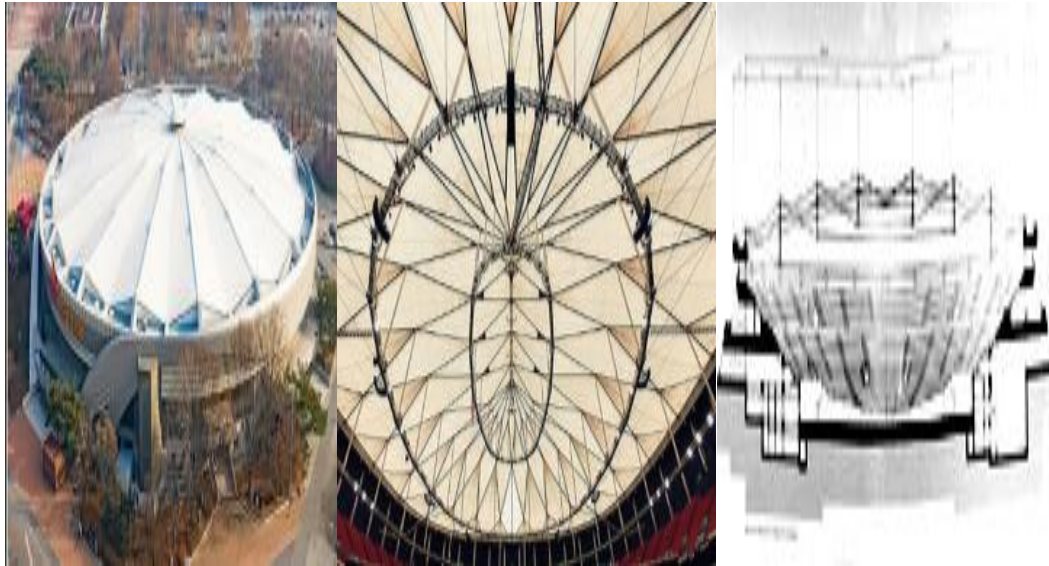
Kaynak: 2 Arena – ME Engineers, 2001

- **Tropicana Field:** Tropicana Field da büyük bir germedenge yapısıyla desteklenen kubbe çatkısı olarak tasarlanmıştır. İlgili görsel Şekil 40'ta sunulmuştur.



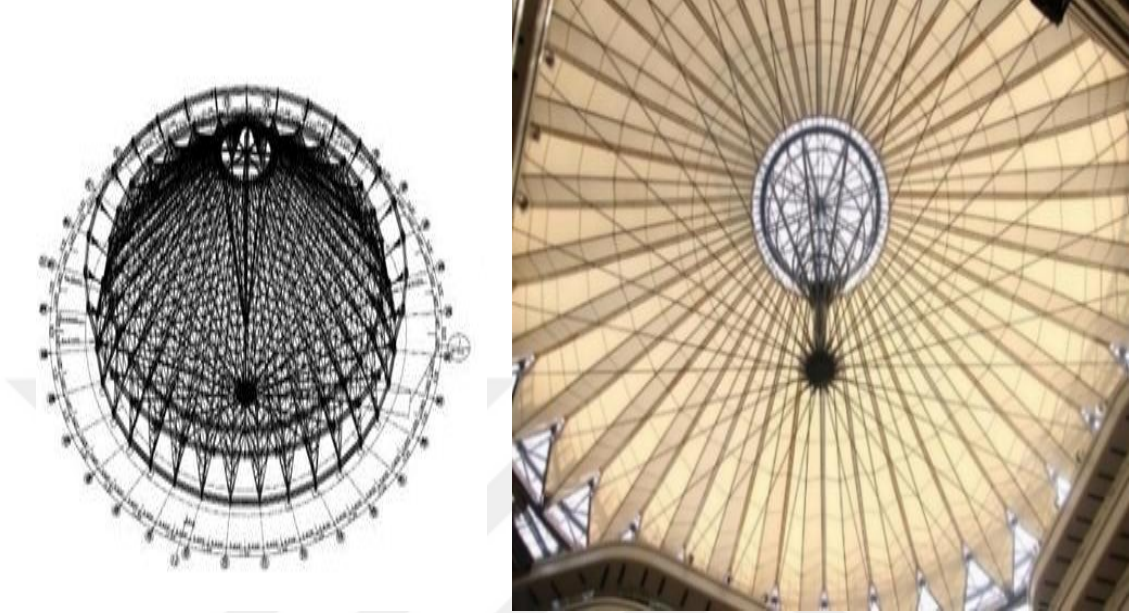
Şekil 39. Tropicana Field'in çatkı örtüsü içten dıştan görüntüleri
Kaynak: Lupica M. (2012).

- **Georgia Dome:**  evresini tutan bir kablo sistemi ile kontrol edilerek germedenge  atkısını yapı mühendisi Wa law Zalewski tasarlamıştır. İlgili görsel Şekil 41'de sunulmuştur.



Şekil 40. Georgia Dome ve  izimi
Kaynak: Levy, M. (1991)

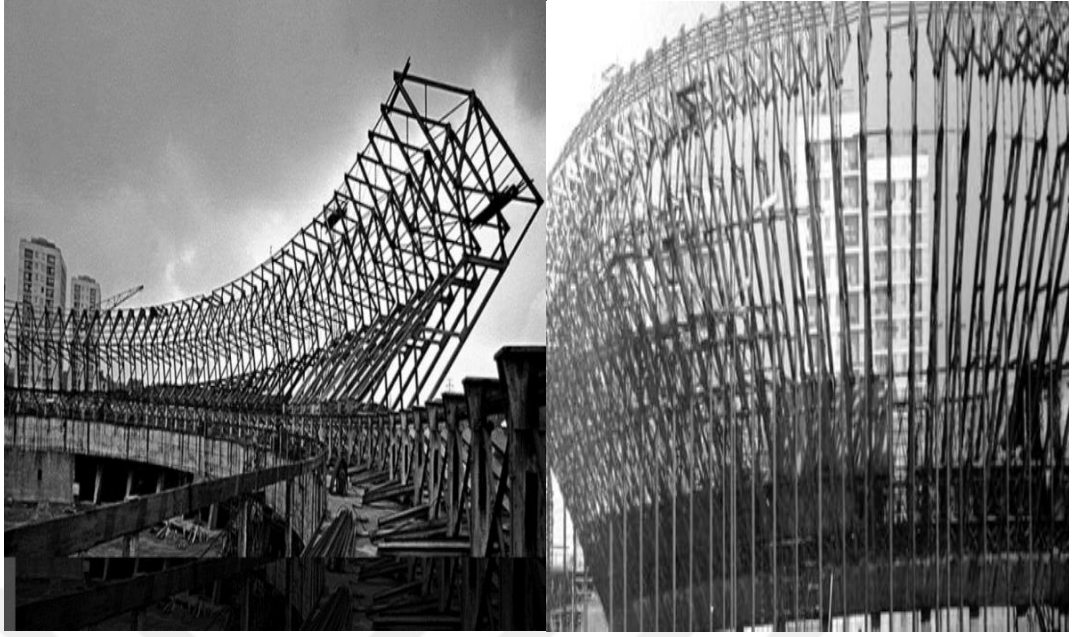
- **Umbrella Structure:** Umbrella Structure membranla oluşturulmuş olan karma bir germedenge çatı karakterine sahiptir, ilgili görsel Şekil 42’de sunulmuştur.



Şekil 41. Umbrella Structure çizimi ve fotoğrafları

Kaynak: Kronenburg R, (2013)

- **Spodek Arenası:** Polonya’nın Katowice kentinde 9 Mayıs 1971’de açılan çok amaçlı bir arena kompleksidir. İlgili görsel Şekil 43’te sunulmuştur.



Şekil 42. Spodek Arenası'nın yapımı sırasındaki görseller
Kaynak: Kuc S, (2018)

- **Velodrome Spor Kompleksi:** Spodek Nijerya Abuja'da bulunan Velodrome Spor Kompleksi'nin görseli Şekil 45'te sunulmuştur.



Şekil 43. Velodrome Ulusal Spor Kompleksi
Kaynak: Gbadegesin T F, (2018)

- **Singapur Spor Merkezi:** Singapur Spor Merkezi'nin inşaat durumdaki tamamlanmamış hali Şekil 46'da sunulmuştur.



Şekil 44. Singapur Spor Merkezi'nin inşaat durumdaki tamamlanmamış hali
Kaynak: Chia J ve Abd Rahman N A, (2006)

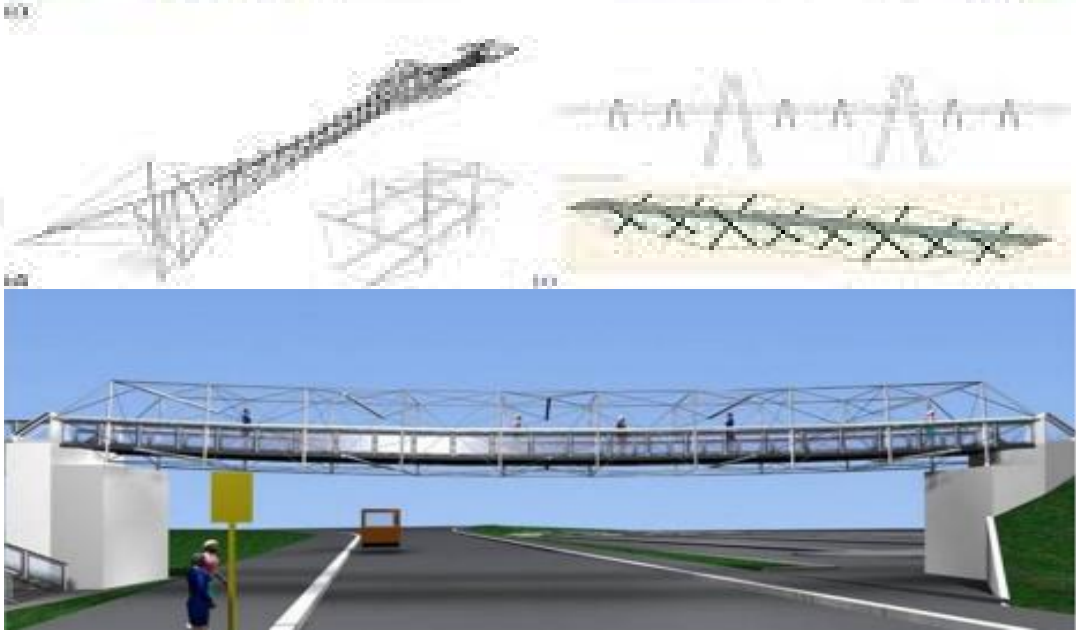
3.10.2.5. Köprüler

- **Kurilpa Köprüsü:** Kurilpa Köprüsü Avustralya'da Brisbane Nehri üzerinde bulunan yaya ve bisiklet köprüsüdür. Köprü, 2011 yılında Dünya Mimarlık Festivali'nde "Yılın Dünya Ulaşım Binası" ödülüne layık görülmüştür. İlgili görsel Şekil 47'de sunulmuştur.



Şekil 45. Kurilpa Köprüsü
Kaynak: Li S, Xu X, Tu J, Wang Y ve Luo Y, (2020).

- **Tor Vergata Yaya Köprüsü:** Bir meta germedengesi olan Tor Vergata Yaya Köprüsü, 30 metre uzunluğundadır. Bu yapı, Tor Vergata Mühendislik Okulu tarafından ve Snelson'ın germedenge sistemi ile oluşturulmuştur. İlgili görseller Şekil 48 ve Şekil 49'da sunulmuştur.



Şekil 46. Tor Vergata Yaya Köprüsü projesi ve TS modüllerinden biri
Kaynak: Micheletti A ve Podio-Guidugli P, (2022)



Şekil 47. Konuşlandırılabilir germedenge yaya köprüsünün küçültülmüş ölçekli modeli
Kaynak: Micheletti A ve Podio-Guidugli P, (2022)

3.10.2.6. Fuar ve Panayır Tesisleri

Fuar ve panayır tesislerinin bazıları da germedenge sistemi tasarımlarıyla dikkat çekmektedir. Fuar ve panayır tesislerinde germedenge sisteminin kullanımıyla ilgili örnekler şu şekildedir.

- **Afrika Burn:** Burning Man için her yıl ABD'de düzenlenen Güney Afrika bölgesel etkinliğinde heykel örneğidir. İlgili görsel Şekil 50'de sunulmuştur.



Şekil 48. Afrika Burn

Kaynak: Oğuz A, (2019)

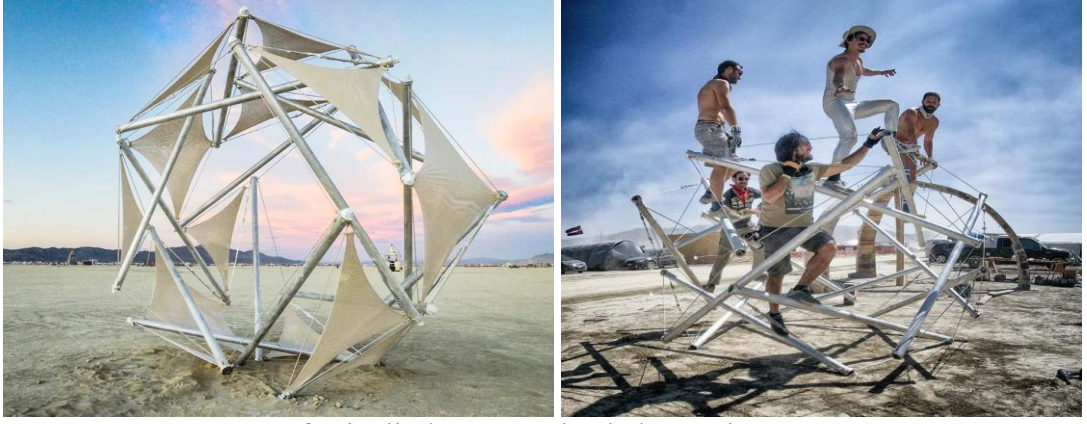
- **Sphere:** 4,6 metre çapındaki basınca çalışan 30 yapı elemanı ve hiçbiri birbirine değmeyen 30 kablodan oluşturulmuştur. Bu yapı elemanları sadece 10 milimetre kalınlığındaki çelik halatlarla desteklenmektedir. Bu amaçla yapı elemanlarının her iki ucunda bu yapı için özel olarak tasarlanmış döner kablo ekleri bulunmaktadır. Şekil 51'de görseli sunulmuştur.



Şekil 49. Sphere/Almanya

Kaynak: Sadao S, (1996)

- **Chirality:** Burning Man festivalinde panayır heykel örneği olup görseli Şekil 52’de sunulmuştur.



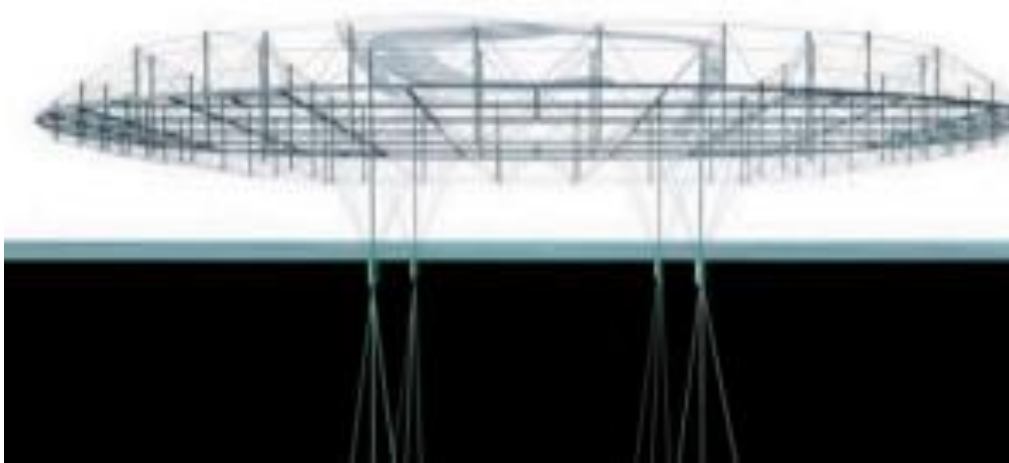
Şekil 50. Burning Man festivalinde panayır heykel örneği
Kaynak: Hayward, K. (2023)

- **Entwine:** Big Skwish’in Burning Man Festivali’nde sergilenen Entwine heykelinin, gündüz ve gece görüntüsü sunulmaktadır (Şekil 53). Her bir modüler bileşen, oktahedral bir uzay çerçeve yapısı oluşturmak için mozaiklenmiştir. Bu mozaiklemeden kaynaklanan sertlik, estetik sağlayan eğrisel yapısal kırılganlıkla doğrudan zıtlık oluşturmaktadır. Burners Entwine’a farklı açılardan baktıkça birçok Geleneksel Geometrik Motifler kullanılarak elde edildiği görülmektedir.

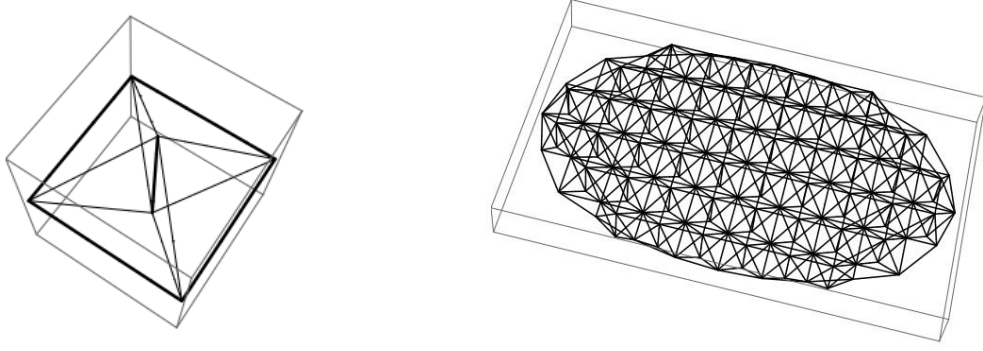


Şekil 51. Big Skwish Burning Man Festivali’nde sergilenen Entwine heykelinin gündüz ve gece görüntüsü
Kaynak: Nair A K ve Chia R (2018)

- **Blur Yapısı:** Blur Binası, Neuchatel Gölü'ndeki İsviçre Expo 2002 için inşa edilmiştir. Biçimi Buckminster Fuller'in çalışmalarına dayanmaktadır. Doğrusal payandalar ve diyagonal çubuklardan oluşan bir sistem kurularak sudaki kazıklardan gölün üzerine doğru çıkmaktadır. Bu hava istasyonu yerleşiktir ve değişen hava koşullarına göre sis çıkışını kontrol edecek şekilde sıcaklık, nem, rüzgâr yönü ve hızı gibi iklim koşullarına dayanıklı olarak hazırlanmıştır. Blur binasının görüntüsü Şekil 54'te ve binayı oluşturan yapısal olarak küçük ve büyük modülleri ise Şekil 55'te sunulmuştur.



Şekil 52. Blur Binası, Neuchatel (İsviçre)
Kaynak: Neves J D ve Damazio V, (2019).



Şekil 53. Blur Binasını oluşturan yapısal olarak küçük ve büyük modüller

Kaynak: Sabouni-Zawadzka, (2015)

3.10.3. Eğitimdeki Proje Olarak Tasarlanmış Germedenge Örnekleri

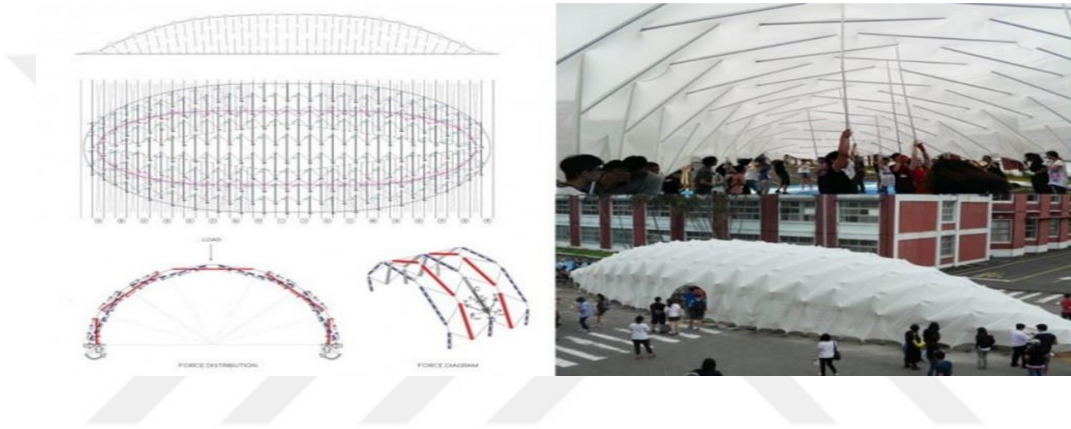
1960’lardan itibaren birçok mühendis ve mimar germedenge çatkılarının mimarlık kültürüne nasıl katkıda bulunduğunun analizini yapmıştır. Tasarımcılar germedengenin pratik kullanımını sağlayan tasarımlar yapmaya çalışmaktadır. Fuller’in; sanat olarak kullanılsa da germedenge çatkı olarak “heykel” yapısı mevcuttur. Heykel olarak tanımlandığı için yapı sanatla iç içedir. Günümüze kadar bu sanatsal yapıları ortaya çıkarmak isteyen üniversitelerin çalıştığı ve uyguladığı çatkılardan dikkat çekenleri şu şekilde listelenmektedir:

- **Moom Pavyonu:** Moom pavyonu Kazuhiro Kojima tarafından germedenge sistemiyle tasarlanmıştır. Pavyon geçici bir yapı olarak Ar. Kazuhiro, Tokyo Bilim Üniversitesi’nde 70’ten fazla mimarlık öğrencisinden oluşan bir ekip tarafından yapılmıştır. Geçici pavyon olarak tasarlanan deneysel çalışma hafif taşıyıcı yapı olmak üzere gerçekleştirilmiştir (Ingher, 2012).

Tokyo Bilim Üniversitesi’ndeki mimarlık öğrencilere tarafından yapılan, geçici bir pavyon projesi kapsamındaki yapı 26 metre uzunluğunda, 7,5 metre genişliğinde ve 4,25 metre yüksekliğinde hacim ile kendi kendini taşımakta ve yalnızca iki tür bileşen içermektedir. Metal taşıyıcı elemanlardan oluşan hassas bir alanı kapatan 0,7 mm elastik polyester kumaş ile bir germedenge çatkı sisteminden oluşturulmuştur (Şekil 56).

Moon pavyonunda 131 basınç çubuğu ile 25 mm çapında çeşitli boylarda alüminyum borular kullanılmakta ve bunların aralarında temas bulunmamaktadır (Ingher, 2012). Moon pavyonu sadece 600 kg ağırlığında

olup 146 metrekarelik bir alanı kaplamaktadır. Pavyon bir günde 70 öğrenci tarafından ayağa kaldırılmıştır. Genel yapı her tarafta aynı zamanda iç kısımdan yukarı doğru itilerek son olarak zemine sabitlenmiştir. Zemine sabitlemeden kaynaklanan dışbükey ve içbükey hareketli bir yüzey ve canlı bir ışık ve gölge etkileşimi yaratmaktadır. Membran UV radyasyonunun %80'ini perdelediği ve gün ışığının ancak %50'sinin geçmesine izin verdiği için yumuşak bir şekilde filtrelenen ışık dahili olarak bir mekansal izlenim yaratmaktadır (Şekil 57; Ingher, 2012).



Şekil 54. Moon Pavyonu öğrenci tasarımı
Kaynak: Kojima K, (2012)



Şekil 55. Moon Pavyonu
Kaynak: Ingber D E ve Landau M, (2012)

- **Muncie:** Muncie, Indiana'daki Ball State Üniversitesi öğrencileri tarafından elastan doku kullanılarak oluşturulmuştur. Muncie; Gernot Riether ve Andrew Wit tarafından geliştirilen bir araştırma projesi olup Rhino ve Kangaroo algoritmaları ile yapılmıştır. İlgili örnek Şekil 58'de sunulmuştur.

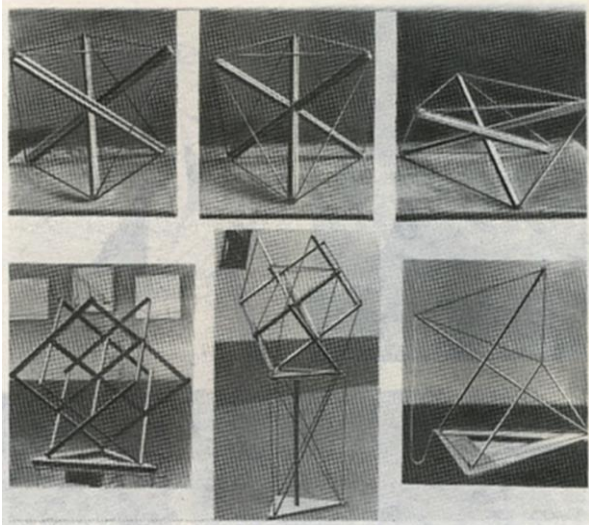


Şekil 56. Indiana'daki Ball State Üniversitesi öğrencilerinin Yerel Sanat Fuarı için tasarımı (Muncie)

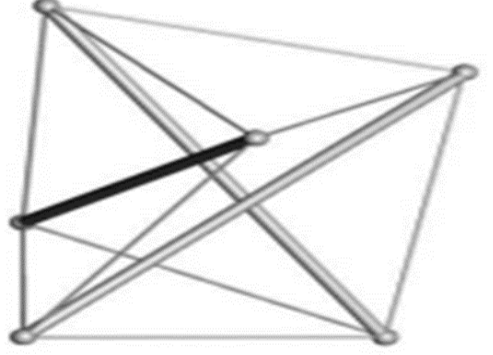
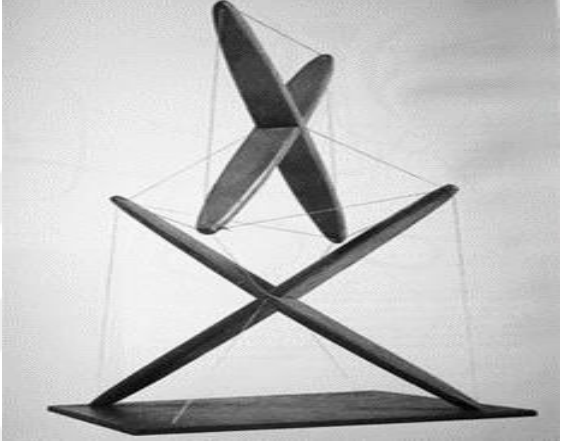
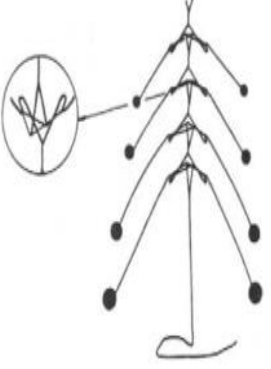
Kaynak: Riether G ve Wit A J, (2015)

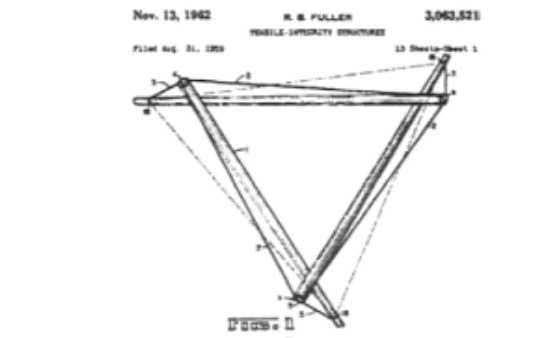
Germedenge Çatkıların Kronolojik Gelişimi ile ilgili tablolaştırılmış anlatım aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

Tablo-1 Germedenge Çatkıların Kronolojik Gelişimi

Tarih	İsim ve Özellikler	Tasarım Sahibi ve Sahipleri	Görsel
1921	İlk prototip tasarım. Karl Ioganson tarafından icat edilmiş olan bu sistemlerin ilk örnek çalışmaları. Kaynak: Asimov L ve Roth B, (1978)	Karl Ioganson	

Kaynak: Asimov L ve Roth B, (1978)

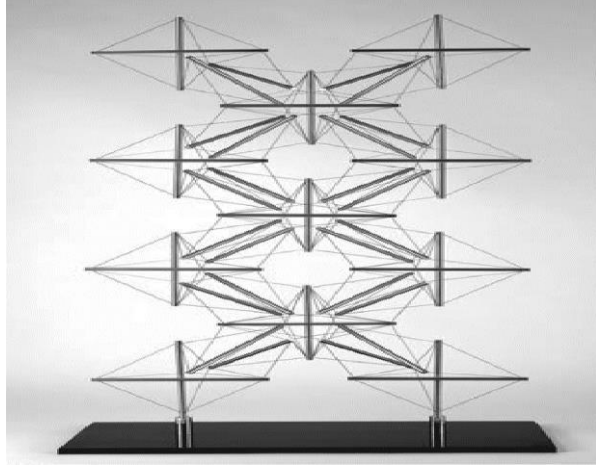
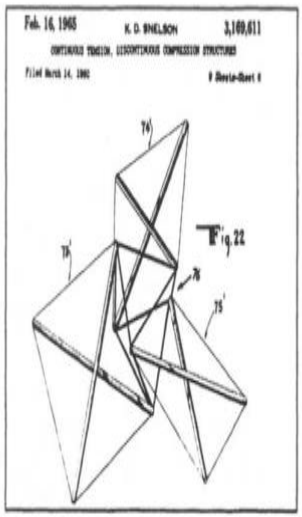
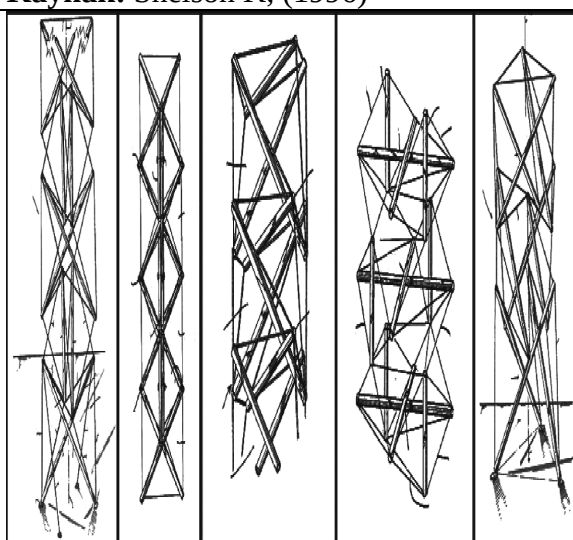
1927	Snelson'un X yapısı. Eşkenar kablolar aracılığıyla birbirine dokunmadan basınç elemanları yüzer halde bütün oluşturmaktadır.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Morto R, (2008)
1948	Double X-şekilli kontrplak Self-Portrait. Snelson'ın ahşap yapısal elemanlar ve tellerle kullanışlılık aranmadan oluşturduğu heykel yapısıdır.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Morto R, (2008)
1948	Onetotogether. Tellerle oluşturulmuştur. Kullanışlılık aranmayan heykel yapısında anlam katarak kavramı geliştirmeyi hedefleyerek Snelson tarafından oluşturulmuştur.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Snelson K, (1996)

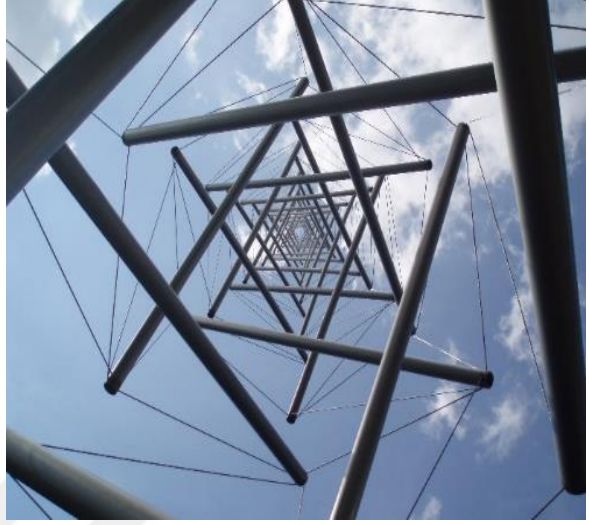
1951	Skylon. Tabanı yerden yaklaşık 15 metre yükseklikte, tepe noktası ise yaklaşık 90 metre yüksekliğinde olan yapı germedenge çatkılar sınıfının ikonik bir sembolü olmuştur. Yapı genel karakteri olarak çizgisel olmakla beraber amorf bir yapıdır.	Hidalgo Moya, Philip Powell ve Felix Samuely	
1958	Truss heykeli. Skylon heykelinden sonra kullanışlılık katma amacıyla çeşitli formlarda ayakta kalabilen yüzer basınç elemanları ile oluşturulan bir örnek yapısı yüksekliği 10 metre genişliği 5 metre olarak inşa edilmiştir.	Kenneth Snelson	
1959	Fuller'in patent görseli. Geliştirilen germedenge çatkı kavramının patent çizimi.	R. Buckminster Fuller	

Kaynak: Jáuregui V G, (2020)

Kaynak: Mollaert M, (1999).

Kaynak: Designing Building Process, 2009

1962	Düzlemsel kule. (XPlanarTower) 129 x 55 x 17 cm boyutlarında heykel yapılarından yapısallığa doğru ilerleyen örneklerden bir tanesidir.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura (2018)
1965	3-X yapı modeli ismiyle üç tane tensegrity basit yapısal elemanın birleşmesiyle oluşmaktadır. Aynı zamanda bu bir patent belgesidir.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Snelson K, (1996)
1968	İğne Kuleleri (DCCT Towers) tasarım çalışmaları yapısal niteliğe geçişteki ikon bir model olan Needle Tower'ı oluşturan ön badımlardır.	Kenneth Snelson	

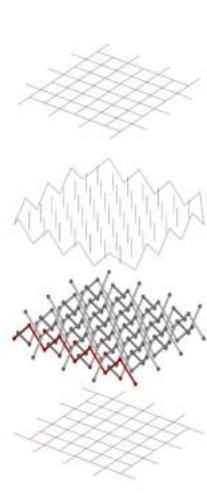
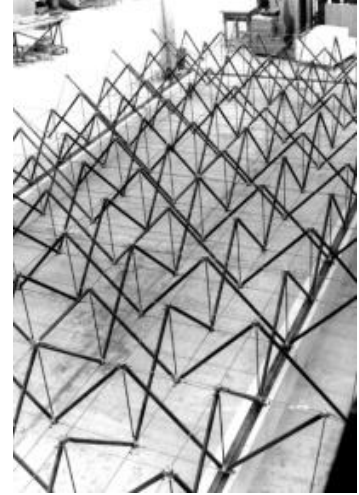
			Kaynak: Lebrun J, Silva C A, Trebilcock F v Winandy E. (2004).
1969	Needle Tower 26,5 metre yüksekliğindeki bu heykel, alüminyum ve paslanmaz çelikten yapılmış sivri bir kuledir. Basınç elemanları kablolar ile bağlantı oluşturur fakat yüksek olmasına rağmen elemanlar birbirine dokunmadan yükselmektedir. Yapı genel karakteri ise çigisel olarak sınıflandırılmaktadır.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Snelson K, (1969)
1971	Spodek Arenası. Mimarlar Spodek'i germedenge prensibini kullanan ilk büyük yapılardan biri olarak tasarladılar. Çatı için, çevresini tutan bir kablo sistemi tarafından kontrol altında tutulan eğimli bir yüzey kullanmaları sayesinde ufo benzeri bir stadyum elde edilmiştir. Karma ve morf yapı niteliğindedir. 29.473 m ² alana yerleşmekte olan germedenge çatıların büyük açıklıkları geçmesi örneklerinin ilkidir.	Maciej Gintowt, Wacław Zalewski, Maciej Krasiński, Andrzej Zorawski, Jerzy Hryniewicz	 Kaynak: Kuc S, (2018)

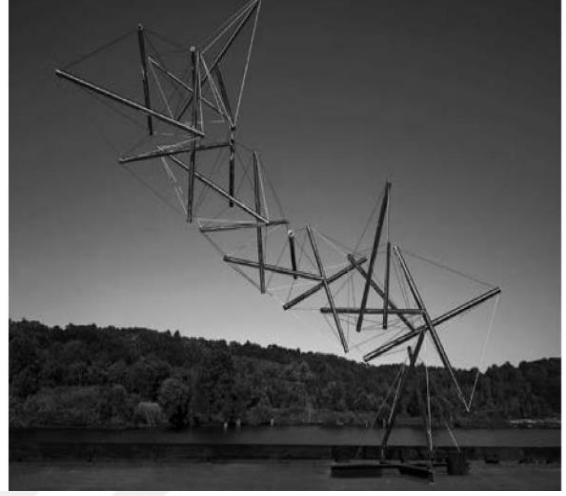
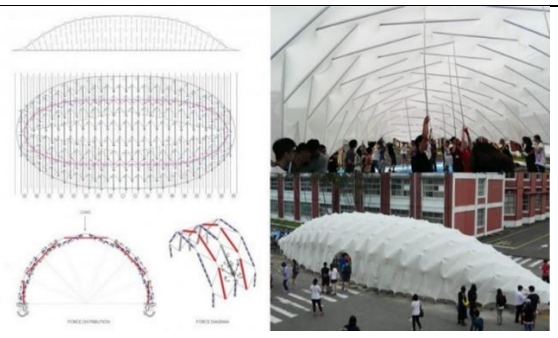
1972	Münih Olimpiyat Stadı. 69.250 m ² alana yerleşmekte olup konsantirik bir yapı karakterindedir. Amorf biçimde genişleyerek oluşturulan bir görüntüye sahiptir. Germedenge çatkı örneklerinin başında gelmektedir.	Frei Otto, Günter Behnisch, Fritz Auer, Carlo Weber, Hermann Peltz	
1990	Tropicana Field 105 x 70metre alana yerleşen karma bir yapı karakterindedir. Oval bir biçimde olarak nitelendirilebilir. Germedenge çatkı örneklerinin oldukça büyüklerinden biri olması sebebiyle dikkat çekmektedir.	Martin/Martin Consulting Engineers	
1990	Umbrella Structure membran çatkısı: Karma bir yapı karakterien sahip olan şemsiye membranlı germedenge çatkısı yerden 46 metre yükseklikte yüzer görüntüsü ile uzun sürede inşa edilmiştir.	Frei Otto	

Kaynak: Schmidt T, (2012).

Kaynak: Lupica M. (2012).

Kaynak: Kronenburg R, (2013)

1992	Georgia Dome 80.000 m² alana yerleşmekte olup konsantirik bir yapı karakterindedir. Birçok alanda spor stadyumu seçeneği ile germedenge çatkılarının kompleks olarak ilk örneği sayılabilmektedir. Fakat ilerleyen zamanda çeşitli sebeplerden dolayı yıkılmak zorunda kalmıştır.	Barton-Malow	 Kaynak: Levy, M. (1991)
1998	Germedenge çarkısı düzlemsel olan yapısı ile çizgisel karakterde olan bir sistemdir. Amorf ve kapalı mekân oluşmamaktadır.	Ferrari firması	  Kaynak: Kimura K, Kato Y, Yamauchi K, Miyake A, Tokunaga M, Matsuo A ve Kimura (2018)
1999	Milenium Dome 20,000 m² alana yerleşmiştir. En çok duyulmuş olma özelliğinin yanı sıra karma bir germedenge çatkı kompleksidir. Kubbe yapısı içinde vinç kullanmanın imkansızlığı nedeniyle, arenanın çatısı kubbe içinde zemine inşa edilmiş ve daha sonra kaldırılmıştır. Arena binasının yapısı daha	Anschutz Entertainment Group	

	sonra çatının etrafına inşa edilmiştir.		Kaynak: 2 Arena – ME Engineers, 2001
2000	Dragon heykeli 9,29 x 9,44 x 3,65 metre Boyutlarında Paslanmaz çelik malzemeden germedenge çatkı sistemi ile üretilmiştir. Gelişen teknoloji ile ismi ikon halinde gelmiş olan heykel yapısı çizim programlarında ifade edilirken kullanılmıştır.	Kenneth Snelson	 Kaynak: Hieu T D ve Ky N D, (2022)
2009	Kurilpa Köprüsü Kurilpa Köprüsü dünyanın en büyük hibrit tensegrity köprüsüdür. Ana açıklığı 128 metre olan 470 metre uzunluğundaki köprüde iki büyük izleme ve dinlenme platformu, iki dinlenme alanı ve köprünün tüm uzunluğu boyunca kesintisiz her türlü hava koşuluna uygun bir gölgelik bulunmaktadır	Ove Arup & Partners	 Kaynak: Li S, Xu X, Tu J, Wang Y ve Luo Y (2020).
2012	Moon pavyonu: Tokyo Bilim Üniversitesi'ndeki mimarlık öğrencileri geçici taşıyıcı bir germedenge çatkı tasarımı geliştirdi. 26 metre uzunluğunda, 7,5 metre genişliğinde ve 4,25 metre yüksekliğindeki hacmi bulunmaktadır. Sadece	Tokyo Bilim Üniversitesi	

	metal taşıyıcı elemanlar ve 0,7 mm'lik elastik polyester kumaştan oluşmaktadır.		 Kaynak: Ingber D E ve Landau M, (2012)
2014	Velodrome Ulusal Spor Kompleksi 107 metre genişlikte 28metre yükseklikte olan ve 10 649 m ² alan kapasitesine sahip olan karma yapı karakterine sahip germedenge çatkı örneğidir.	Jean-Pierre Buffi	 Kaynak: Gbadegesin T F, (2018)
2015	Chirality: Burning Man 2015 için dört ay içinde tasarlanan ve inşa edilen büyük ölçekli bir germedenge çatkı heykelidir. Heykel, 8 kişilik özel bir ekip ve toplam 30 kişilik bir gönüllü kitlesi tarafından yerinde inşa edilmiştir. Sanat ve kültür yapılarının son örneklerindendir. Biçimsel olarak germedenge çatkının basit halindeki görüntüsüne sahip bir karma heykeldir.	Burning Man Festivali	 Kaynak: Hayward, K. (2023)

2018	Super Ball Bot Nasa Uzay Görüntüleme Robotu: NASA'nın keşif hedefleri için önemli hale gelebilecek germedenge çatkı çeşitlerine dayalı katlanabilir, karasal bir robot olan Süper Top Botu geliştirme sürecindedir. Bu robotun germedenge çatkılarının çeşitlerine katkısı ve çok yönlü oluşu da görülmektedir.	NASA	Super Ball Bot  Kaynak: Motro R, (1992)
------	--	------	--

Bu şekilde sınıflandırılmış olan germedenge çatkı örneklerinin krolonojik açıdan sıralanmış hali tabloda künyelenmiş haldedir.Yapı karakteri açısından, biçimsel açıdan ve teknik mimari özellikleri aktarılmıştır.genel hatlarıyla sınıflandırılan germedenge çatkıular heykelden başladığı ve en başta kullanışlılık arayışı olmadan icat edilmesinden yapısallığa uzanan süreci anlatılmıştır. Zamanla biçimsel değişim ve gelişimler ile sanat yapılarında ve hatta teknolojiye olan ilham kaynağı ile uzay araştırmalarında kullanılması hedeflenen bir çatkı çeşidi haline geldiği gösterilmektedir.Çalışma prensibi olarak germedenge çatkılarının basınç elemanlarının birbirine dokunmadan ve yüzer halde olmasıyla öne çıkmaya devam etmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MÜHENDİSLİKTE YAPILAN KURAMSAL / HESAPLAMALI YAKLAŞIMLAR

Germedenge çatkılarının biçim bulma süreci genellikle analitik veya sayısal yöntemlerle gerçekleştirilir. Örneğin, Vassart ve Motro çoklu biçim bulma parametrelerini aynı anda tanımlamak için birçok analitik parametrelili yöntem önermiştir. Koohestani ise gen için Faddeev-LeVerrier algoritmasına dayalı analitik bir biçim bulma yöntemi sunmuştur (Zhang, 2018).

Matematiksel hesaplamaların ispatıyla birlikte denge germe ile ilgili biçim bulma uygulamaları geliştirilmektedir. Kenneth Snelson, germedenge yapıları keşfederken sezgiyi önemli bir etken olarak gördüğünü belirtmekte ve bunu “heuristic approaches” şeklinde ifade etmektedir (Paul ve ark., 2005).

Mühendislik tasarım ilkeleri, mekânsal yapılara kıyasla sezgisel olarak daha anlaşılır ve sınırlı çeşitliliğe sahip iki boyutlu hesaplamalı modellerin kullanımına izin vermektedir. Bu durum germedenge çatkılarının en önemli özelliklerindendir. Literatürden bilinen tanımlara dayanarak germedenge yapılar aşağıdaki karakteristik özellikleri göstermektedir:

T-yapı bir kırıktır,

S-germedenge hali bulunmaktadır,

M-germedenge durumu tarafından oluşan bir mekanizma vardır,

D-dengelenmiş bileşenlerin (dikmelerin) uçları birbirine değmez ve payandalar süreksiz bir takım oluşturmaktadır,

I-dengelenmiş bileşenler seti, çekme bileşenleri setinin içine dâhildir,

C-germe elemanlarının basınçta sertliği yoktur (bunlar kablolardır)

4.1. Germedenge Çatkıların Rijitlik Hesabı

Mühendislik açısından bakıldığında, yapıların kararlılık özelliğine sahip olması çok önemlidir. Germedenge yapıları, rijitlik ve dengede kalmayı sağlaması sebebiyle önemli yapılardır.

Uyumluluk matrisi germedenge mekanizmalarının durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. Bu sayede D, I ve C gibi diğer karakteristik özellikleri dolaylı olarak tanımlanmış germedenge uyum durumu tarafından belirlenmektedir (Tibert, 2009).

4.2. Germedengesi'nin Geometrik Matrisi Hesabı

Küresel koordinat sisteminde (x, y) bir kiriş elemanıdır. Sırasıyla $B_e \in \mathbb{R}^{1 \times 4}$ uyumluluk matrisi ile tanımlanmaktadır (Fazel 2003):

$$B_e = [-c \quad -s \quad c \quad s], \quad K_{Ge} = \frac{S_e}{L_e} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_e & -\mathbf{I}_e \\ -\mathbf{I}_e & \mathbf{I}_e \end{bmatrix}; \quad \mathbf{I}_e = \begin{bmatrix} s^2 & -cs \\ -cs & c^2 \end{bmatrix},$$

$$c = \frac{x_j - x_i}{L_e}, \quad s = \frac{y_j - y_i}{L_e}.$$



Şekil 57. Germedengesi geometrik matris hesabı (a) Düzlem kafes sonlu eleman, (b) e elemanının global serbestlik derecesi

Kaynak: Fazel (2003)

Niteliksel analiz n'ye odaklanmaktadır. Elastikiyet matrisi $E \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ile tanımlanan n -üyeli ($e=1, 2, n$) iki boyutlu kafes kirişlerdir (Fazel, 2003):

$$\mathbf{E} = \text{diag} \left[\frac{E_1 A_1}{L_1} \quad \frac{E_2 A_2}{L_2} \quad \dots \quad \frac{E_n A_n}{L_n} \right]$$

m serbestlik dereceli $\mathbf{q}(\in \mathbb{R}^{m \times 1})$:

$$\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_m]^T$$

Şekil 58. Kafes kirişler için uyumluluk matrisi $\mathbf{B}(\in \mathbb{R}^{n \times m})$ ve geometrik rijitlik matrisi
Kaynak: Fazel (2003)

Kafes kirişler için uyumluluk matrisi $\mathbf{B}(\in \mathbb{R}^{n \times m})$ ve geometrik rijitlik matrisi $\mathbf{K}_G(\in \mathbb{R}^{m \times m})$ ile sağlanmaktadır. Biçimselliği ise kullanılarak belirlenmektedir (Fazel 2003):

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 \mathbf{C}_1 \\ \mathbf{B}_2 \mathbf{C}_2 \\ \dots \\ \mathbf{B}_n \mathbf{C}_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K}_G = \sum_{i=1}^n \mathbf{C}_e^T \mathbf{K}_{Ge} \mathbf{C}_e,$$

7

Şekil 59. Germedenge çatkıları için uyumluluk matrisi
Kaynak: Fazel (2003)

Germedenge çatkıları için uyumluluk matrisi $\mathbf{B}(\in \mathbb{R}^{n \times m})$ ve geometrik sertlik matrisi $\mathbf{K}_G(\in \mathbb{R}^{m \times m})$, sonlu eleman biçimi kullanılarak belirlenmektedir. Burada $\mathbf{C}_e(\in \mathbb{R}^{4 \times m})$ bir matris Şekil 59b’de gösterildiği gibi her bir q_i ögesinin küresel serbestlik derecesi sayısının, n_1, n_2 ögelerinin küresel düğüm sayısına karşılık geldiği varsayılmaktadır. Sonuç olarak her bir element için $\mathbf{C}_e$ ’nin sıfır olmayan elemanları $C_{iqi} = 1$ olarak ifade edilebilmektedir. Makaslar için denge denklemleri bir germedenge biçiminde yazılabilmektedir (Fazel, 2003):

$$\mathbf{B}^T \mathbf{S} = \mathbf{P},$$

Burada $\mathbf{S}(\in \mathbb{R}^{n \times 1})$ normal kuvvet vektörü, $\mathbf{P}(\in \mathbb{R}^{m \times 1})$ yük vektörüdür veya düğüm yer değiştirmeleri aracılığıyla:

$$\mathbf{K}_L \mathbf{q} = \mathbf{P},$$

$$\mathbf{K}_L = \mathbf{B}^T \mathbf{E} \mathbf{B}.$$

Şekil 60. $\mathbf{K}_L(\in \mathbb{R}^{m \times m})$ lineer rijitlik matrisidir:

Kaynak: Fazel (2003)

Denge denklemlerinin doğrusal olmama durumunu ve yapıdaki germedengenin etkisini hesaba katmak için geometrik rijitlik matrisi tanıtılmaktadır. Daha sonra yer değiştirme denklemleri sistemi şu şekli almaktadır (Fazel, 2003):

$$(\mathbf{K}_L + \mathbf{K}_G) \mathbf{q} = \mathbf{P}.$$

Şekil 61. Yapı için denklem setinin niteliksel analizi

Kaynak: Fazel (2003)

Yapı için denklem setinin niteliksel analizi, uyumluluk matrisi $\mathbf{B}$ 'nin değer ayrıştırması yoluyla yapılmaktadır. $\mathbf{B}$ matrisinin değer ayrışımı, şu şekilde bir çarpanlara ayırma işlemidir (Fazel, 2003):

$$\mathbf{B} = \mathbf{Y} \mathbf{N} \mathbf{X}^T,$$

Şekil 62. $\mathbf{B}$ matrisinin değer ayrışımı

Kaynak: Fazel (2003)

$\mathbf{Y}(\in \mathbb{R}^{n \times n})$ ve $\mathbf{X}(\in \mathbb{R}^{m \times m})$ ortogonal matrisler ve $\mathbf{N}(\in \mathbb{R}^{n \times m})$ dikdörtgen köşegen matristir. Bu sayede Geleneksel Geometrik Motifler ile oluşturulan biçimlerin hesaplanmasıyla uyum matrisi yapılmaktadır. Ortogonal matrisler, $\mathbf{Y}$, $\mathbf{X}$ ve ayrıca $\mathbf{N}$ matrisi, aşağıdaki problemlerin özvektörleri ve özdeğerleriyle ilişkilidir (Fazel, 2003):

$$(\mathbf{B}\mathbf{B}^T - \mu\mathbf{I}) \mathbf{y} = \mathbf{0},$$

$$(\mathbf{B}^T\mathbf{B} - \lambda\mathbf{I}) \mathbf{x} = \mathbf{0}.$$

Şekil 63. B matrisi Ortogonal matrisler

Kaynak: Fazel (2003)

Problemlerin çözümleri şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\mathbf{M} = \text{diag}[\mu_1 \ \mu_2 \ \dots \ \mu_n], \ \mathbf{Y} = [\mathbf{y}_1 \ \mathbf{y}_2 \ \dots \ \mathbf{y}_n],$$

$$\mathbf{L} = \text{diag}[\lambda_1 \ \lambda_2 \ \dots \ \lambda_m], \ \mathbf{X} = [\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_m].$$

Şekil 64. Problem çözümleri.

Kaynak: Fazel (2003)

Negatif olmayan değerlere sahip simetrik denge denklemlerinden oluşan bir matris, sıfır özdeğerler varsa homojen denklemlerin sıfır olmayan çözümünü veya daha kesin olarak denge denklemlerini karşılayan ve dengeleyen normal kuvvetlerle ilgilidir. BTB ürünü de benzer şekilde birim esneklik matrisi $\mathbf{E} \equiv \mathbf{I}$ ile bir lineer rijitlik matrisinin özel bir biçimi olarak kabul edilmektedir. Özdeğerler negatif sayılmamakta ve mekanizmalarla ilişkilendirilmektedir. Sonlu mekanizmalar, katı cisim hareketleri ve herhangi bir düğüm çifti arasındaki mesafeyi değiştirmeyen hareketleri ifade etmektedir. Sonsuz küçük mekanizmalar, küçük yer değiştirmeler aralığındaki yerel geometrik değişkenliği tanımlamaktadır. Genel olarak sıfır uzayı analizinden elde edilen bilgiler tek başına farkı belirlemek için yetersiz bulunmuştur (Fazel, 2003).

Mekanizmanın kararlılığını hesaplarken mümkün olan geometrik rijitlik matrisi kullanılarak doğrusal olmayan analiz uygulamak gerekir. (KL+KG)'nin özdeğerleri ise pozitif sayılardır. Yapının kararlı olduğu anlamına gelmektedir. Sıfır özdeğerler, sonlu mekanizmalarla ilgilidir. Negatif bir özdeğer, yapının

istikrarsızlığını temsil etmektedir. Geometrik sertlik matrisini hesaba katarak sertlik matrisinin problemine tam çözümler şu şekilde ifade edilmektedir (Fazel, 2003):

$$(\mathbf{K}_L + \mathbf{K}_G - \sigma \mathbf{I}) \mathbf{z} = 0$$

$$\mathbf{K}_L + \mathbf{K}_G = \mathbf{Z} \mathbf{O} \mathbf{Z}^T,$$

$$\mathbf{O} = \text{diag}[\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \dots \quad \sigma_n], \mathbf{Z} = [\mathbf{z}_1 \quad \mathbf{z}_2 \quad \dots \quad \mathbf{z}_n]$$

Şekil 65. Geometrik sertlik matrisini hesaba katarak sertlik matrisinin problemine tam çözümler

Kaynak: Fazel (2003)

Yukarıdakiler sırasıyla özdeğerlerin ve normalleştirilmiş özvektörlerin matrisleridir (Fazel, 2003).

4.3. Biçim Bulma Sürecinde Sayısal Yöntemler

Analitik yöntemler, yüksek simetri derecesine sahip nispeten basit sistemler için uygundur. Sayısal yöntemler ise büyük ve düzensiz sistemler için daha elverişlidir. Mevcut tüm yöntemlere bakıldığında kuvvet yoğunluğu yöntemi fikrinden hareketle genişletilenlerin çok etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü yalnızca doğrusal denklemlerin çözülmesi gerekmekte, dejenere olmayan ve kararlı bir germedenge yapısı oluşturmak için gerekli koşullar bu yöntemlerle elde edilebilmektedir. Kuvvet yoğunluğu yöntemine dayalı olarak germedenge yapısını oluşturmak için gerekli olan en önemli koşullardan biri, kuvvet yoğunluğu matrisinin sıralama eksikliği koşuludur. Yani, germedenge çatkının kuvvet yoğunluğu matrisinin eksikliği, dejenere olmayan bir yapı elde etmek için $d + 1$ 'e eşit veya daha büyük olmalıdır. Burada d yapının boyutu kullanılmaktadır (Tran, H. C., ve Lee, J. 2010).

Germedenge çatkıların biçim bulmasında yukarıda anlatılan koşulu benimseyen çalışmalar bulunmaktadır. Bununla birlikte bu prensibe dayanan tüm yöntemlerde yalnızca minimum eksikliği koşulu yani kuvvet yoğunluk matrisinin eksikliğinin $d + 1$ 'e eşit olması gerekmektedir. Germedenge yapıların çoğu bu kategoriye girmektedir. Yani minimum eksikliği $d + 1$ olan bir kuvvet yoğunluğu matrisine sahip olmak her zaman tüm germedenge yapıları için geçerli değildir. Başka bir deyişle, germedenge

germedenge yapıları, $d + 1$ 'den fazla derece eksikliği olan bir kuvvet yoğunluk matrisine sahip olabilmektedir. Dolayısıyla minimum sıra eksikliği koşuluna dayalı yöntemler bu durumda gerekli çözüme ulaşamamaktadır (Tran ve arkadaşları, 2010).

Bu çalışmada biçim bulma süreci iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada, yapının kuvvet yoğunluk matrisinin pozitif yarı-belirlilik ve gerekli eksikliği koşullarını sağlaması için eleman kuvvet yoğunlukları belirlenmektedir. İkinci aşamada, birinci aşamada elde edilen eleman kuvvet yoğunluklarına göre düğüm noktası koordinatları belirlenmektedir. Son olarak ise elde edilen kuvvet yoğunlukları ve düğüm koordinatları, verilen topoloji ile birlikte sentezlenmektedir (Tran ve arkadaşları, 2010).

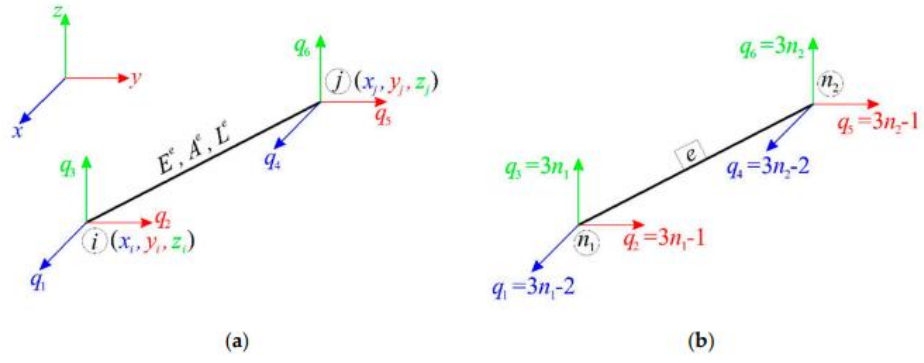
Düğüm koordinatlarını belirlemeye yönelik optimizasyon problemleri, küresel olarak optimal bir çözüm arama yeteneğine sahip son teknoloji bir çözücü olan SCIP tarafından çözülerek kabul edilmiştir (Tran ve arkadaşları, 2010).

4.4. Matematiksel Analiz

Germedenge yapısının bileşenlerini modellemek için Young modülü temel alınmıştır. Buna göre E , enine kesit alanı A , e ve L uzunluğunun germedenge eleman boyutları kullanılmaktadır. Global bir koordinat sisteminde (x, y, z) bir sonlu eleman uyumluluk matrisi ile tanımlanmaktadır:

$$\mathbf{B}^e = \begin{bmatrix} -c_x & -c_y & -c_z & c_x & c_y & c_z \end{bmatrix},$$

$$c_x = \frac{x_j - x_i}{L^e}, \quad c_y = \frac{y_j - y_i}{L^e}, \quad c_z = \frac{z_j - z_i}{L^e}.$$



Şekil 66. Matematiksel analiz (a) Uzak kafes sonlu eleman, (b) e elemanının global serbestlik derecesi

Kaynak: (Tran, H. C., ve Lee, J. 2010).

Ek olarak mevcut germedengenin, standart kiriş sonlu eleman tanımının geometrik rijitlik matrisi ile tamamlanması gerekmektedir.

$$\mathbf{K}_G^e = \frac{S^e}{L^e} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{I} \\ -\mathbf{I} & \mathbf{I} \end{bmatrix}; \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{E} = \text{diag} \left[\frac{E^1 A^1}{L^1} \quad \frac{E^2 A^2}{L^2} \quad \dots \quad \frac{E^n A^n}{L^n} \right]$$

m serbestlik dereceli $\mathbf{q}$ ($\in \mathbb{R}^{m \times 1}$):

$$\mathbf{q} = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_m]^T.$$

Şekil 67. Elastikiyet matrisi E ile tanımlanan n-elemanlı bir uzak kafesi için niteliksel analiz sağlanmıştır.

Kaynak: (Tran, H. C., ve Lee, J. 2010).

Germedenge yapıları için uyumluluk matrisi $\mathbf{B}$ ($\in \mathbb{R}^{n \times m}$) ve geometrik sertlik matrisi $\mathbf{K}_G$ ($\in \mathbb{R}^{m \times m}$), sonlu eleman biçimciliği kullanılarak belirlenmektedir:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}^1 \mathbf{C}^1 \\ \mathbf{B}^2 \mathbf{C}^2 \\ \dots \\ \mathbf{B}^n \mathbf{C}^n \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{K}_G = \sum_{i=1}^n (\mathbf{C}^e)^T \mathbf{K}_G^e \mathbf{C}^e,$$

Şekil 68. Germedenge yapıları için uyumluluk matrisi **Kaynak:** (Tran, H. C., ve Lee, J. 2010).

Burada $\mathbf{C}^e \in \mathbb{R}^{6 \times m}$ bir Boolean matrisidir. Her bir q ögesinin küresel serbestlik derecesi sayısının n_1, n_2 ögelerinin küresel düğüm sayısına karşılık geldiği varsayılmaktadır. Sonuç olarak $\mathbf{C}^e$ 'nin sıfır olmayan elemanları $C_{iqi} = 1$ olarak ifade edilebilmektedir. Yapıdaki iç gerginlik durumunun etkisiyle dengenin doğrusal olmayan denklemleri şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\mathbf{K}_{T1} \mathbf{q} = \mathbf{P}; \mathbf{K}_{T1} = (\mathbf{K}_L + \mathbf{K}_G),$$

Burada $\mathbf{K}_{T1}$ teğet sertlik matrisi ve $\mathbf{K}_L = \mathbf{B}$ doğrusal rijitlik matrisidir. Germedenge yapılarının kalitatif analizi, uyumluluk matrisi $\mathbf{B}$ 'nin tekil değer ayrışımı aracılığıyla yapılabilmektedir. Ortogonal matrisler ve $\mathbf{N} (\in \mathbb{R}^{n \times m})$ bir dikdörtgen diyagonal matristir. Matris $\mathbf{B}$ 'nin SVD'si makalede ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ancak açıklığa kavuşturmak için $\mathbf{Y}$ ve $\mathbf{X}$ ortogonal matrislerinin, $\mathbf{N}$ matrisinin yanı sıra aşağıdaki problemlerin özvektörleri ve özdeğerleriyle ilişkilidir:

$$(\mathbf{B}\mathbf{B}^T - \mu\mathbf{I})\mathbf{y} = \mathbf{0}, (\mathbf{B}^T\mathbf{B} - \lambda\mathbf{I})\mathbf{x} = \mathbf{0}.$$

$$\mathbf{H} = \text{diag}[\mu_1 \quad \mu_2 \quad \dots \quad \mu_n], \mathbf{L} = \text{diag}[\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \dots \quad \lambda_m].$$

Şekil 69. Germedenge yapıları için uyumluluk matrisi çözümleri
Kaynak: (Tran, H. C., ve Lee, J. 2010).

$1 \mu_i = 0$ matrisinin sıfır özdeğerleri varsa bu durum basınç adı verilen homojen denklemlerin sıfır olmayan çözümüyle veya daha kesin olarak tatmin edici normal kuvvetlerle ilgilidir.

Homojen denge denklemleri, germedenge, sıfır özdeğeri $y_i = S$ ile ilgili bir özvektör olarak düşünülebilmektedir. Ancak $2\lambda_i = 0$ matrisinin sıfır özdeğerleri eğer varsa sıfır özdeğeri $x_i = q$ ile ilgili bir özvektör olarak kabul edilebilecek sonlu mekanizmalar katı cisim hareketleri veya sonsuz küçük mekanizmalar yerel geometrik değişkenlik ile ilgili sırayla mekanizmanın sonsuz küçük mü yoksa sonlu mu olduğunu belirlemek için geometrik rijitlik matrisinin kullanıldığı doğrusal olmayan analiz uygulanmalıdır. Bu uygulama yalnızca germedenge varsa geçerlidir. Özdeğerleri ise KT1 pozitif sayılardır. Mekanizma sonsuz küçüktür ve yapı kararlıdır. Sıfır özdeğerler, sonlu mekanizmalarla ilgilidir, oysa yapının kararsızlığından bir negatif sorumludur.

Analiz için uyumluluk matrisi B'nin tekil değer ayrışımı ve teğet sertlik matrisi KT1'in spektral analizi kullanılır. Her yapı için aşağıdaki matrisler belirlenmektedir:

- H-BBT matrisinin özdeğerleri,
- y_i -germedenge durumunun varlığından sorumlu H'deki sıfır özdeğerlere μ_i varsa karşılık gelen BBT'nin özvektörleri,
- L-matris B TB'nin özdeğerleri,
- x_i -sıfır özdeğerleri λ_i 'ye karşılık gelen B TB'nin özvektörleri varsa L mekanizmasının varlığından sorumlu,
- O-KT1 matrisinin özdeğerleri.

İlk olarak tek modül ele alınmaktadır. Germedenge yapılarının karakteristik özellikleri geometrik ve mekanik özelliklere bağlı olmadığı için sabit boyuna rijitlik E ve $A e = 1$ ve sabit uzunluklar $a = 1$ varsayılmaktadır.

Ardından, daha karmaşık durumlar analiz edilmektedir. Modüller, bitişik bir konfigürasyonda yani dikmelerin uçları birbirinden ayrı kalmayacak şekilde birleştirilmektedir. Alt yüzeyler ise uçtan uca bağlı, üsttekiler düğümden düğüme bağlı sayılmaktadır. Göz önünde bulundurulan germedenge yapılar 4, 16 veya 64 modülle inşa edilmektedir. Önerilen tüm yapılar için germedenge yapılarının karakteristik özellikleri tanımlanmıştır.

4.5. Tasarımda Kararlılık

Germedengede birbirine bağlı dikmelerin yalnızca uç noktalarının bir dizi kabloyla birbirine bağlanmış olduğu görülmektedir. Germedenge bir yapının temel yapısal gereksinimi stabilite sağlaması olarak bilinmektedir. Rijitlik, tek bir sert nesne gibi davranma temel prensibi anlamına gelmektedir. Bir gerginlik, yapısının sağlam şekilde havada durabilmesi için sadece iki temel prensibe ihtiyacı vardır.

Yapı yüzer halde basınçla dengesini sağlamakta ve başka herhangi bir iç kuvvetten destek almamaktadır. Simetrik olarak desteklerin uzamaya karşı bir direnç gösterdiğinin varsayılmasına gerek kalmamaktadır. Aynı şekilde desteklerin veya kabloların bükülmeye, burkulmaya ya da dış kuvvet direncine karşı koyamazken; herhangi bir yönde burkulmaya karşı uzunlukları boyunca dikmeler arasındaki kablolar, bir değiştirme girişimine karşı açılar sayesinde karşıt kuvvet oluşturmamaktadır.

Germedenge sistemlerinin kararlılığı, yalnızca kararlı statik denge durumunda kurulabilmektedir. Germedenge çatkılarda rijitlik çalışması bir “biçim bulma süreci” gerektirmektedir. Tasarımda biçim bulmaya odaklanmak germedenge geometrisini modelleme konusunda ilerlemek anlamındadır. Bu hususta mimari modellerin tasarımında, hesaplamalı bir biçimde oluşturulan germedenge çatkılar dayanıklılık kazandırmaktadır. Hesaplamalar ve kuramsal açıdan çalışmalar neticesinde kararlı bir germedenge çatkısı ve bütünlüğü sağlanmaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

MİMARLIKTAKİ YAPILAN BİÇİM BULMA ÇALIŞMALARI

5.1. Biçim Bulma

5.1.1. Sezgisel Yaklaşımlar (heuristic approaches)

Belirli bir topolojiye sahip germedenge yapıları için biçim bulma süreci, kararlılık ve denge koşulları tarafından sağlanmaktadır. Konuyla ilgili çalışmalara bakıldığında kuvvet yoğunluğu matrisiyle ilgili çalışmaların bulunduğu görülmektedir.

Wang, germedenge çatkılarının biçim bulma süreci için sezgisel buluşsal yöntemi kullanmayı önermektedir. Bu yöntem, diğer tüm buluşsal yöntemler gibi minimum hata payını garanti etmemektedir. Bununla birlikte önerilen hesaplama maliyetini de artırmaktadır.

Germedenge, konuşlandırılabilir yapılar, yaya köprüleri, yumuşak robotlar gibi alanlarda bile kullanılmaktadır. Tasarımcılar tarafından çatkılar için uygun biçim bulmanın gerekmesi sebebiyle rehberliğe ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece tasarımcıların germedengeyi tasarlama konusu daha ulaşılabilir hale gelmektedir. Germedengenin biçimi şekli ve topolojisi doğrusal olmayan bir şekildedir.

Genellikle tasarım, bilinen bir topoloji ile başlamakta ve sonrasında çeşitlilik arayışına girilmektedir. Buna “biçim bulma” denilmektedir. Bununla birlikte bir mimarın, yapı bir kez inşa edildiğinde nasıl görüneceğine dair bir kavramın ana hatlarını çizmesi daha yaygın aşamalardandır. Germedenge çatkılarda biçim bulmada yaşanan zorluk, bir gerginliğin hangi başlangıç özelliklerine sahip olması gerektiğini belirlemek için bu son konumdan geriye doğru çalışmaktır. Belirli bir hedefe yönelik biçim verildiğinde yöntem konusunda tasarımcının kısıtlamaları ile karşılaşılmaktadır. Diğer alternatif yaklaşımlarla karşılaştırıldığında bu yöntem, şu anda yapının stabilitesini tasarım sürecine dâhil edebilen tek yöntem olarak görülmektedir.

5.1.2. İkonik Model Kullanımı

Germedenge çatkılarda biçim bulma konusunda, geleneksel olan iki yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem, SOS programlamaya dayalıdır. İkinci yöntem ise analitiktir. Yapısal geometrinin güvenilirliğini gösteren ifadeler bulunmaktadır.

Germedenge kompozit yapıların mimari uygulama araştırma ve analizi konusunda önde gelen birimlerden biri Hesaplamalı Tasarım ve İnşaat Enstitüsü'dür. ICD ve Stuttgart merkezli Yapı Yapıları ve Yapısal Tasarım Enstitüsü'nün (ITKE) ana hedefleri, dijital ve malzeme teknolojisindeki son başarılarla dayalı olarak tasarım sürecinin geliştirilmesidir. Bilim insanları tarafından her yıl yapılan pavyonlar, CFRP'nin kullanıldığı biçimsel mimari gerçekleştirme arayışlarındaki yeniliklerin örneklerini oluşturmaktadır. 2012'den bu yana, bu enstitüler araştırma sonuçlarını gösteren ve trendlerini belirleyen pavyon uygulamaları yapmaktadır. Yapılar esas olarak karbon ve cam elyaflardan oluşturulmuştur. Her pavyon tasarlanırken başlangıç noktasında, her zaman doğadan ilham alınmıştır. Bilim insanları, doğadaki ilkeleri gözlemleyip analiz ederek mimarlık alanına aktarırlar. Buna bir örnek olarak germedenge çatkıları da vermemiz mümkündür (Asefi, 2007).

Gelişmiş bilgisayar yazılımları ve algoritmalar devreye girdikçe tasarlanan yapıların karmaşık geometrilerini oluşturmak için yeni olanaklar ortaya çıkmıştır. Tasarım süreci, bina için en etkili biçim seçimi ve uygulama süreci ile sonuçlanan bir dizi analiz ile tamamlanmaktadır. Hatta atıfta bulunulan yazılım, dronlarla iş birliği yapan bir robotik kolu da kontrol etmektedir. Stuttgart Üniversitesi'nden bilim insanları tarafından yürütülen araştırmada, bu sürecin bir parçası olarak inşa edilen farklı biçimlerdeki çatkıların, ikonik bir yapının inşa edilmesi süreci incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda Stuttgart Üniversitesi'ndeki araştırmacılar kompozit elyafların muazzam potansiyelini kanıtlamıştır.

Germedenge çatkılarının ultra hafif ve çok dayanıklı kompozit malzemelerle uygulanması geniş olanaklar sağlamaktadır. Hafif modüler yapı elemanları, hafif çatkı kaplama, afet sonrası acil durum barınakları ve zorlu iklim koşullarında bulunan binalar gibi geniş bir uygulama alanı sunmaktadır. İnovasyon odaklı bir endüstri inşa etmek, yaşam alanımızın kalitesini iyileştirmek için yeni olanaklar sağlamaktadır. Bu bağlamda biçim bulma ile ilgili bazı özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Biçim

bulma yönteminde, germedenge çatkının boyutları da belirtilmektedir. Germedenge çatkılarda biçim bulma algoritmasında yan uzunluk ve yükseklik kısımdaki malzeme oranını belirleyecektir. Bunların örtü malzemesinde membranda karşılık gelen basınç içinde kuvvet kontrol yöntemi uygulanmaktadır. Membran germedengesi uygulanan çatkının boyutlarından kaynaklanan bir şerit şekli belirlenerek sunulan çalışma dokuz adımdan oluşturulmuştur:

1. Geometrik parametreler seçilen mekanik hipotezin ön çalışması.
2. Bir yarım şeridin analizi.
3. Statik dengesini yazmak ve hesaplamak.
4. İç kuvvetler (basınç ve eğilme momenti).
5. Dalgalı bir yarım dalga segmenti şerit kesin belirlemek için izole edilir.
6. Eylemleri arasındaki ilişkiler iç güçler ve membranlar tarafından uygulanan dış kuvvetler ve geometrisi.
7. Elde edilen sonuçlar bir çözüm önermeye hazırlanır; biçim kontrol stratejisine adanmış yöntem ve kuvvet kontrol stratejisi.
8. Bir şeridin sınırı analiz edilerek tamamlanmaktadır.
9. Son olarak şerit geometrisinin hesaplaması yapılmaktadır.

Belirli bir geometriden yola çıkılarak oluşturulan germedenge çatkılarda membran katmanları kuvvet kontrol stratejisi hesaplamaya olanak sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar sayesinde eğrisel şekiller oluşturmak için yapısal kaplama uygulamaları mümkündür. Buckminster Fuller, ilkeleri doğadan kopyalamamış, matematiksel ilkelere göre tercüme etmiştir. Bu şekilde Fuller germedenge çatkılarda ilkeleri anlaşılır hale getirmiştir. Bu ilkeler aktarıldığında, jeodezik yapıların bilim insanlarının bulgularında çeşitli araştırma seviyelerinde yeniden ortaya çıkması, kullanılan matematiksel koordinasyon sistemi ile ilgilidir:

- a) Germedenge, sürekli olarak germedenge kablolarını birbirine bağlayan süreksiz basınç elemanlarından oluşan yapısal bir sistemdir.
- b) Yapının stabilitesini sağlayan çekme ve basınç kuvvetleri arasında bir denge vardır.
- c) Germedenge çatkı yapıları “bütün heldeki sistemler” gibi davranmaktadır. Onlara etki eden dış kuvvetler, tüm elemanlara iletilmektedir. Aynı şekilde

yapının bir kısmındaki titreşim diğer tüm kısımlarda da titreşime neden olmaktadır.

- d) Yapılar verimlidir. Sadece birkaç malzeme gerektirir. Aynı zamanda çok hafif olmalarına rağmen güçlülerdir.
- d) Germedenge çatkılarının yapıları kendi kendini stabilize eden türdedir. Dış kuvvet kaldırıldıktan sonra geri döneceklerdir.
- e) Basınçla beraber gerginlik kuvveti germedenge çatkılar sisteminin temel unsurlarıdır.
- g) Sürekli gerdirme elemanlarının görünür olması gerekmez. Pnömatik ve hidrostatik sistemler olabilirler.
- h) Doğadaki birçok germedenge çatkı yapıları gibi görünmektedir. Sinerji özelliğine sahiptirler. Parçaları inceleyerek bütünün işlevini anlamak mümkündür.

5.2. Germedenge Çatkılarda Biçimsel Tasarım Geliştirme Yöntemleri

Germedenge çatkılarının çeşitli şekillerde biçim bulma için kullanılan yöntemlerinin açıklanmaya çalışıldığı bu bölümde şimdi ise oluşturulan bir dikme ve kablo ağına verilen Geleneksel Geometrik Motifler ağ yüzey tabakasının işleyişine değinilecektir. İşlev sıralaması şu şekildedir:

1. Her kenarı bağımsız olarak yüzeyin paralel orta noktasından geçen eksen bir kullanıcı tarafından seçilen parametre sayesinde dikmeler olarak tanımlanmaktadır (Barnes, 1999).
2. Ardından karşılık gelen her bir döngüyü oluşturmak için uç noktalar kablolarla bağlanarak tepe noktasında denge kurulmaktadır.
3. Karşılık gelen kapalı çatkıyı oluşturmak için uç noktalar kablolarla bağlanıp bir yüzeye bağlanmaktadır.

Yukarıdaki yapım süreci, her düğümün bir yüzey tarafından kuvvetin paylaşılmasını sağlamaktadır. Germedenge çatkılar sayesinde bağlantı sağlayan elemanların konumu değiştirilerek kavisli biçimler geliştirilmektedir (Liu, 2016).

5.2.1. Bilgisayar Algoritmaları Kullanımı, Kullanılan Teknikler

Germedenge çatkılarının biçim bulma tasarımı, hareketli veya değişken parametrik bir süreçtir. Tasarımcının sonuç almak için kinetik bir montajı canlandırdığı alan geometrinin odak noktasını oluşturmaktadır. Böylece germedenge elemanları üzerinde değişken biçimler sağlamak mümkündür (Wood, 2020).

5.2.2. Algoritma ile Biçim Bulma Türleri

Biçimler ve kuvvetler arasındaki bağlantı, yapısal morfolojinin ana konularından biridir. Bu bağlantıyı kullanarak “Germedenge çatkılar”ın yapı sistemleri için gelişmeleri oldukça mümkündür. Germedenge çatkılarının yapı modellerini tasarlamamanın pek çok yolu bulunmaktadır. Dinamik yaklaşım, inşa edilen modellerin detaylarıyla ilgilenirken, statik yöntem elemanların uzunluğu ve dengelenmiş kuvvetlere dayanan modelin kararlılığı kontrol edilerek oluşturulmaktadır.

Mimaride kararlı haldeki biçim, denge yoluyla üretilmektedir. Her biri bağımsız şekilde bir dengesizlik durumunda olan ve birbirine bağlı birçok yapısal öge, yapının doğasındaki nitelikleri kaybetmeden parçalara bölünmemektedir. Ancak dinamik ve statik germedenge çatkılar model analizi değerlendirilmiş, tasarımın bir sonraki aşaması ve yapısal faktörlerin genel tasarım üzerindeki etkinliği ele alınmıştır. Buna rağmen germedenge çatkı modeli uygulaması sırasında mühendisler genellikle matematiksel hesaplamalara dayalı problemlerle karşılaşmaktadır.

5.3. Germedenge Çatkılarda Biçim Bulma Gelişimi

Germedenge çatkı sınıfı, basınç elemanlarından oluşan bir yapı sınıfıdır. İnşaat mühendisliğinde, gerginliğin hafiflik özelliği, uzay yapıları için geleneksel yapısal sistemlere göre önemli bir avantaj olarak kabul edilmektedir.

Ana hatlarıyla germedenge ızgaraları, kuleler ve çatkı modelleri yatay ve dikey olarak biçim bulmadan önce yönlenmiştir. Germedenge çatkılarını esnek bir şekilde tasarlamak için yeni tür etkileşimli strüktür yöntemleri sağlanmaktadır. Geçerli kuvvet dengeleri altında bu yapılar geleneksel biçim bulmanın aksine parametreler kullanılarak geliştirilen tekniklerdir.

Oluşturulan mekânsal alanın biçiminde, belirli bir Geleneksel Geometrik Motifler dönüştürülerek geçerli bir başlangıç yüzeyi ortaya çıkarılmalıdır. Bu yüzeyi takip eden iki aşamalı bir denge durumuna ulaşmak için hem bağlantı noktalarının hem de kuvvet yoğunluklarının optimizasyonu sağlanmalıdır. Devamında biçimsel çeşitlilik açısından parametrik programlar arayıcılığıyla serbest bir şekilde dönüştürülmesine izin vermesi beklenmektedir. Statik mimari yapının konuşlandırılabilir bir sistem olarak kullanımı için biçim oldukça önemli bir etkidir.

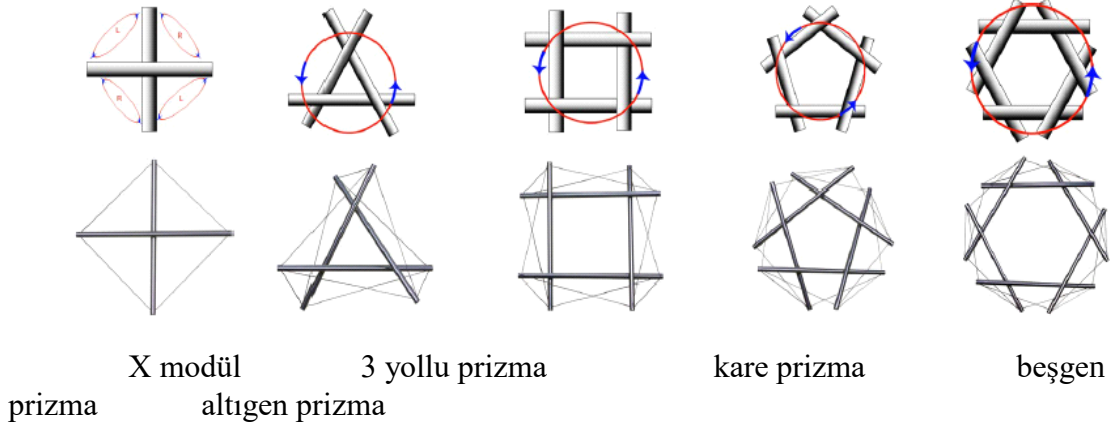
Germedenge çatkılarda kuvvet dağılımı oluşturulduktan sonra mühendisler yapıyı dengelemek amacıyla bağlantı elemanlarının yerleşimini simülasyonlarla hesaplamaktadır. Bu simülasyon konsepti bir köprü tasarımı olarak genişletilirse mühendislerin ağırlık dağılımları, güçlü rüzgarlar, depremler ve diğer koşullar için ayrıca hesaplama yapılması gerekmektedir. Bu simülasyonlar bağlayıcı elemanların kuvvetlere dayanabilmesini sağlamak için kullanılmaktadır.

Sonuç olarak mühendisler germedenge tasarımlarının zayıf noktalarını bulabilmekte ve yapının ayakta kalabilmesi için gerekli koşullar sağlanana kadar optimizasyonlarına odaklanmaktadır.

5.4. Geleneksel Geometrik Motifler ile Biçim Bulma

Yeni bir germedengesi yapısı tasarlamak veya istenen yapıyı mevcut olan ile geliştirmek mümkündür. Karmaşık olan çoklu germedenge sistemlerini, Geleneksel Geometrik Motifler ve tekrarlayan üçgenler kullanarak uygulamak kolaylık sağlamaktadır. Germedenge çatkıların topolojilerine göre sınıflandırılması şekilde gösterilmektedir. Örgü oluşturan birimlerin beş temel deseni bulunmaktadır:

- Çift Yönlü Çapraz
- Üç Yollu Üçgen
- İki Yönlü Düz
- Beş Yönlü Pentagon
- Üç Yollu Altıgen



Şekil 70. Örgü oluşturan birimlerin beş temel deseni
Kaynak: Fuller R B, (1982)

5.4.1 Geleneksel Geometrik Motifler ile Oluşturulan Germedenge Çatki Uygulamaları

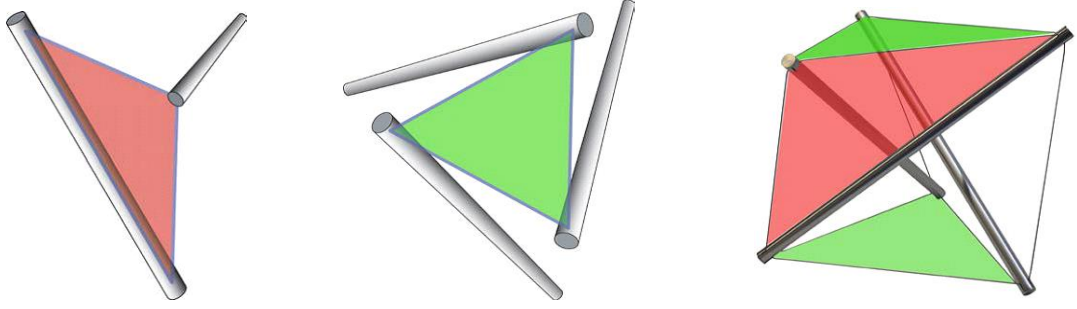
Herhangi bir sayıda germedenge çatki inşa etmek mümkündür. Basitten en karmaşığa kadar konfigürasyonlar elde edilebilir. Henüz, sadece germedengesi ağı için tamamen oluşan sabit bir biçim belirlenmemiştir. Oluşturulan ağların arasında bağlantı kareleri varsa yapı daha az dayanıklılık sağlamaktadır. Bu özellikle germedengesi küreleri için doğrudur. Bu bağlantı ağlarının her birinin üçgen germe ağlarıyla bağlantılı olması daha dayanıklı olacağı anlamına gelmektedir.

Tasarımcılar tarafından kullanılan algoritma ile genelde tip 1 (Şekil 62) üçgenler oluşturulmaktadır. İki dikme ve iki tendon ile birinin ucundan iki germedenge hattı geçmekte, ikinci bir desteğin iki ucunda dikme ile oluşturulmaktadır. Gerginlik üçgeninde üç gerginlikle oluşturulacak üçgene bağlı çizgiler ve farklı dikmeler ile üç dikmeli prizma gösterilmektedir. Tip 1, kırmızı ve tip 2 yeşil üçgensel tanımlanan iki farklı üçgen tipidir. Gerginlik ağındaki üçgenler iki şekilde oluşturulur. Tip 1 ve tip 2 üçgenler olarak belirlenen farklı yollar gösterilmiştir (Şekil 62).

a)

b)

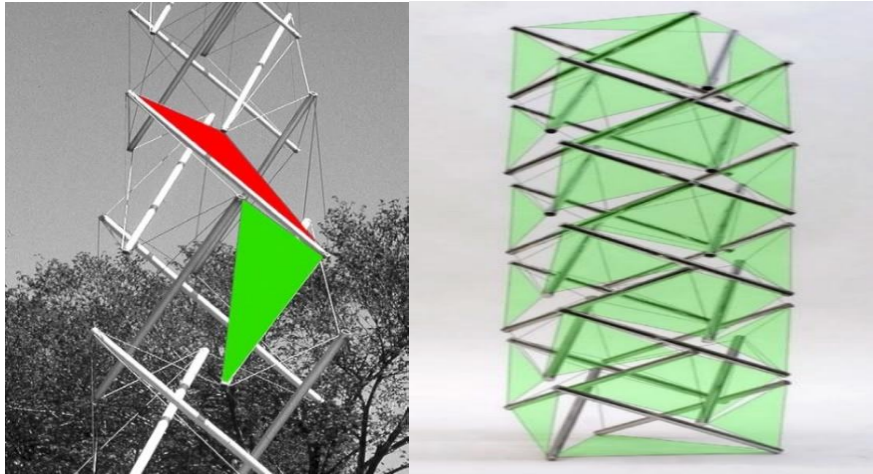
c)



Şekil 71. Germe/kompresyon üçgeni a) Tip 1 b) Tip 2 c) Tip 3

Kaynak: Oppenheim I J ve Williams, W O, (2001)

Tüm germedenge çatkılarda bağlantı elemanları; ipler, teller, kablolar ve bazı elastik esneme payı olan malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin özellikleri germedenge çatkı yapısının, bir taşıyıcı elemanın elastik esnemesi gibi değişikliğe açıktır. Örneğin, Şekil 63'te gösterilen kule heykeli incelendiğinde tüm germedengesini sistemi çizgileri; kenarlar, askılar ve çekme kuvvetlerinin eşit olduğu görülmektedir. Resimde yeşil renkli olan tüm tip 2 üçgen ve eşkenarlar bulunmaktadır. Germedenge çatkılarının üzerine basılıp bırakıldığında sütun sarmal bir yay gibi tepki vermektedir.



Şekil 72. Hirshhorn'daki Needle Tower'ın fotoğrafı

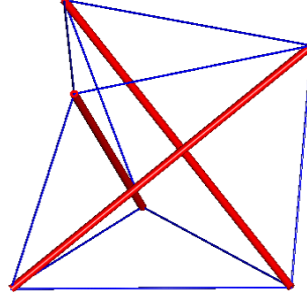
Kaynak: Oppenheim I J ve Williams, W O, (2001)

5.5. Desenler ile Biçim Oluşturma

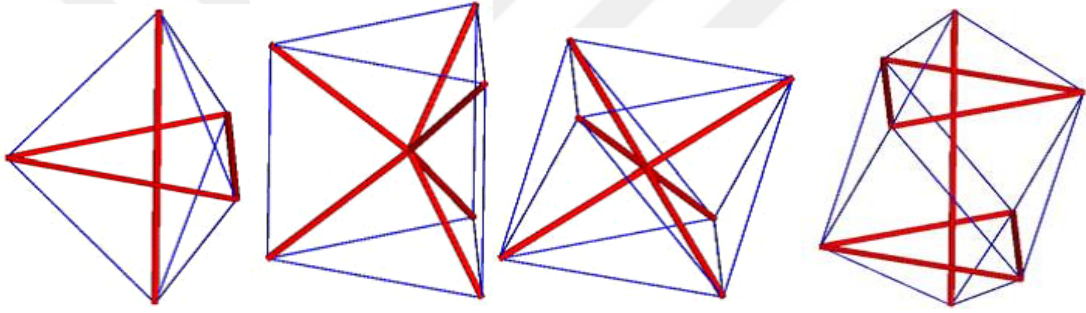
Desenler ile oluşturulmaya çalışılan germedenge çatkı biçimi tıpkı üç boyutlu yazıcılarda kullanılan tekniğe sahiptir. Germedenge çatkılarını oluşturan desende temel

ve basit yapı şekilleri kullanılmaktadır (Şekil 64). Kullanılan temel germedenge çatkı şekli morfolojisini oluşturmak açısından önemlidir.

Temel veya Basit Yapı Şekli



Üçgen Tabanlı Tek Yönlü Başka Çeşitler



Şekil 73. Morfoloji ve biçim bilimi adına tanımlanan çalışmalardan örnekler

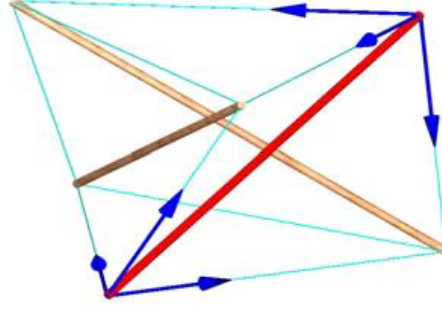
Kaynak: Bose P ve Van Kreveld M, (2005)

Germedenge çatkılarının özel morfolojilerinin bağlantı kabloları ile oluşturulmasında detaylar bulunmakta ve şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Bağlantı kablolarındaki kuvvetlerin yönü değişmeyen yapısal statığı belirler.
2. Her düğümde ilke olarak tek bir dengelenmiş bağlantı elemanı ve en az üç bağlantı ağı yer almaktadır.
3. Germedenge çatkı, yüzer basınç kuvvetinin etkisi altında rijit hale gelmektedir.

Germedenge çatkılarının morfolojisi şu şekilde tarif edilebilir. Bunlar s kenarlı iki Geleneksel Geometrik Motifler tabandan oluşmaktadır. Paralel düzlemlerde yer alan dengede olan s çubukları ve yan bağlantı çubukları, bütün bir prizma

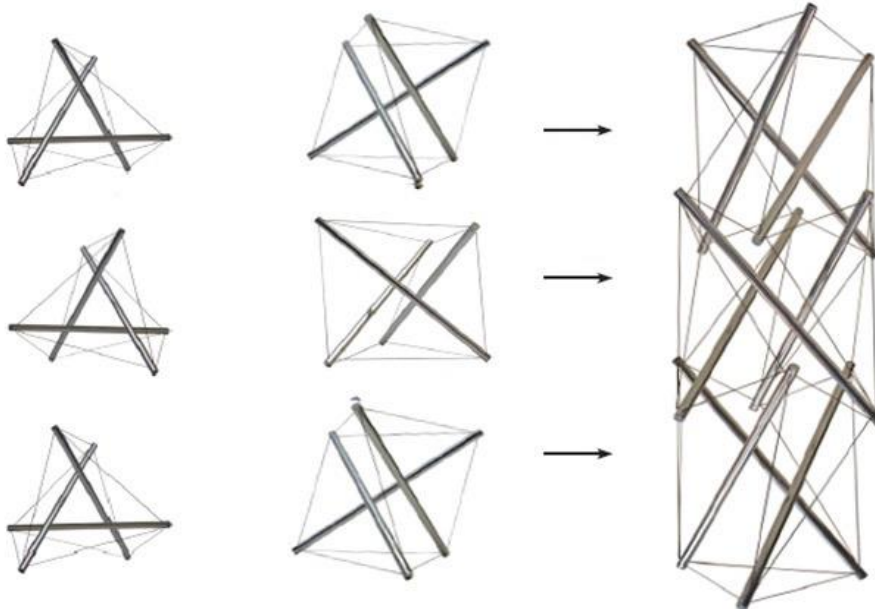
oluşturmaktadır. Şekil 65'te basit Geleneksel Geometrik Motifler tabanlı durum üçgensel motiflerin tarifleri görülmektedir.



Şekil 74. Polihedronların Basit Bir Geleneksel Geometrik Motifler ile Hareketi
Kaynak: Bose P ve Van Kreveld M, (2005)

5.5.1. Modüllerin Birbirine Bağlanması

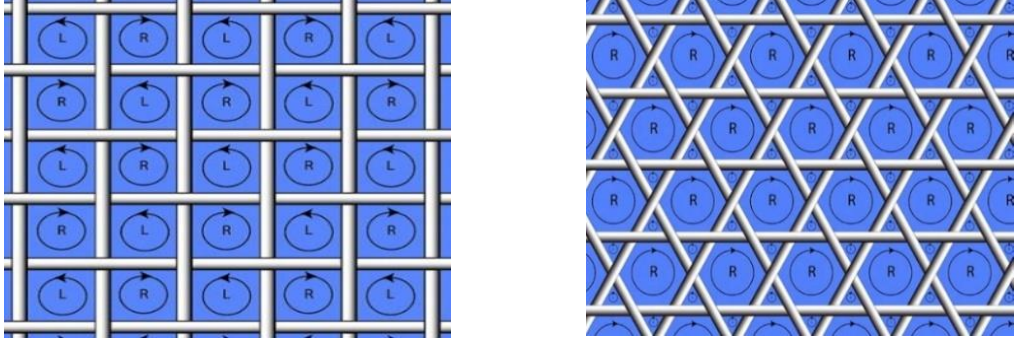
Şekil 66'da modüllerin birbirine bağlanması ile ilgili olarak şemalar sunulmuştur.



Şekil 75. Modüllerin Bağlanma Şeması
Kaynak: Oudich M, Gerard N J, Deng Y ve Jing Y, (2023)

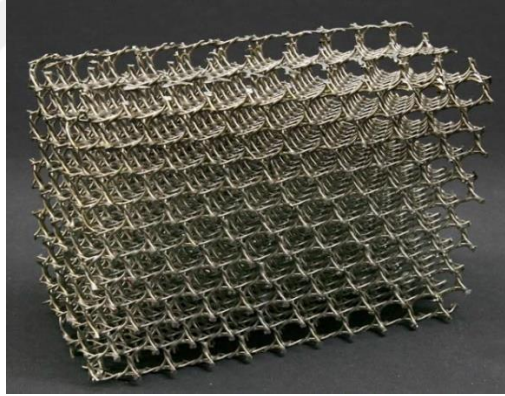
a)

b)



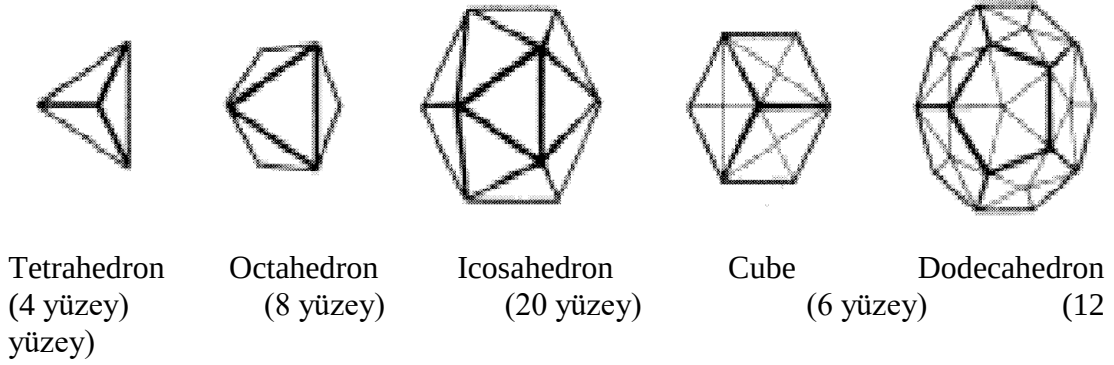
Şekil 76. Örüntü oluşturan desenler a) Kare iki yönlü düz örüntü oluşmuş desen b) Üç yönlü pentagon ile oluşturulmuş desen **Kaynak:** Oudich M, Gerard N J, Deng Y ve Jing Y, (2023)

Üç boyutlu dokumada iki yönlü ve üç yönlü düzlemler çapraz geçiş yapmak için kullanılmaktadır. 1965'te modüler olarak tekrarlanan deneyler yapılmış ve germedengesi yapı sistemlerinde dokuma sanatının kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır. Mekânsal dokumacılığın kullanımı germedenge çatkılarda nadir de olsa görülmektedir (Şekil 68).



Şekil 77. Ki Ju Kang Wire Bulk Kagome uzay çerçeve dokuma modeli **Kaynak:** Oudich M, Gerard N J, Deng Y ve Jing Y, (2023)

Germedenge çatkıların dokumacılık kullanım örneklerinde çoklu desenlerden oluşan örgüler görülmektedir. Germedengesi desenlerini oluştururken küreler halinde organize etme yöntemleri jeodezik temellere dayanmaktadır. Geleneksel Geometrik Motifler örüntüler ile oluşan küreler, başlıca çokyüzlüler temelinde oluşturulan jeodezik şekilleri temsil etmektedir. İlgili örnekler Şekil 69'da gösterilmektedir.

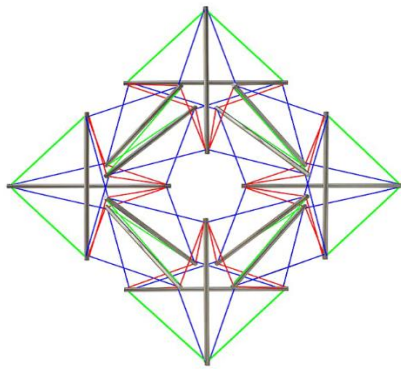


Şekil 78. Geleneksel Geometrik Motifler örüntüler ile oluşan küreler

Üçgen bir ızgara, ana üçgenin her bir kenarının bölünmesiyle elde edilir. Çok yüzlü eşit sayıda parçaya dönüşmektedir ve daha sonra aralarına çizgiler çizilerek bu bağlantılar birleştirilmektedir.

5.5.2. Çok Yönlü Oluşturulan Germedenge Çatkılar Sistemleri

Germedenge çatkılarda iç iskelet olacak şekilde basınç kuvvetleri ile yapı bütün oluşturmaktadır. Bu bütünü genişletmek mümkündür. Tüm germedenge çatkılarda optimum uzunlukları belirlemek için germedengesini elemanlarının boyutları değiştirilmektedir. Genel bir kural olarak da elemanların boyutları ve özellikleri, bir germedengesini bağlantısı arasındaki kuvveti gevşetme ve artırmanın bir yoludur. Germedenge çatkılarının temel birimi olan X modülü eklenerek modülden modüle, her yöne genişletilmektedir. Şekil 70’te “X” modülünün genişletilerek düzlem oluşturulabildiği görülmektedir.



Şekil 79. Genişletilmiş bir X modülü düzlemi

Kaynak: Scarr G M, (2019).

Oluşturulan düzlemler genişletilerek örgü ve örüntüye dönüştürülebilmektedir. Bunun yanı sıra genişleme ve desene göre uygun sistemler ile mekân oluşturmak mümkündür.

5.6. Hesaplama

5.6.1 Hesaplamaya Gönderme

Germedenge kuvvetlerinin derecesi ve yapı içinde doğru bir şekilde dağılışı hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla germedenge yapılarının sabit yükün kararlılık üzerinde etkisi olduğu gösterilmiştir. Bu da kendi ağırlığı ve diğer malzemeler üzerindeki etkisini incelemeyi gerektirmektedir.

5.6.2 Tasarım Analiz Bölümü

Mimari tasarımının konuşlandırılabilir sistem yapısında germedenge çatkılarının stabilitesini sağlayan gergin kabloların önemli katkısı olduğu görülmektedir. Bu nedenle germedenge yapılarının, mimaride kullanılacağı zaman ve mekânsal tasarımlarda, hesaplamalı bir biçim bulma yöntemi kullanılmaktadır.

5.6.3. Topolojik Özellikler

Tasarımcının hesaplamalı tasarımının uygulamaya dönüştürülmesi bir disiplindir. Mimari tasarımlarda inşa edilen germedenge çatki modeli bağlantı elemanları ile gerçekleşmektedir. Snelson'un materyalleri ve biçimleri geleneksel yöntemlerden uzak görünse de heykel çalışmalarını mühendislikle özdeşleştirmesine yol açmıştır. Sanattan ziyade aslında yapıya yaklaşımı heykel tarihine çok uygundur.

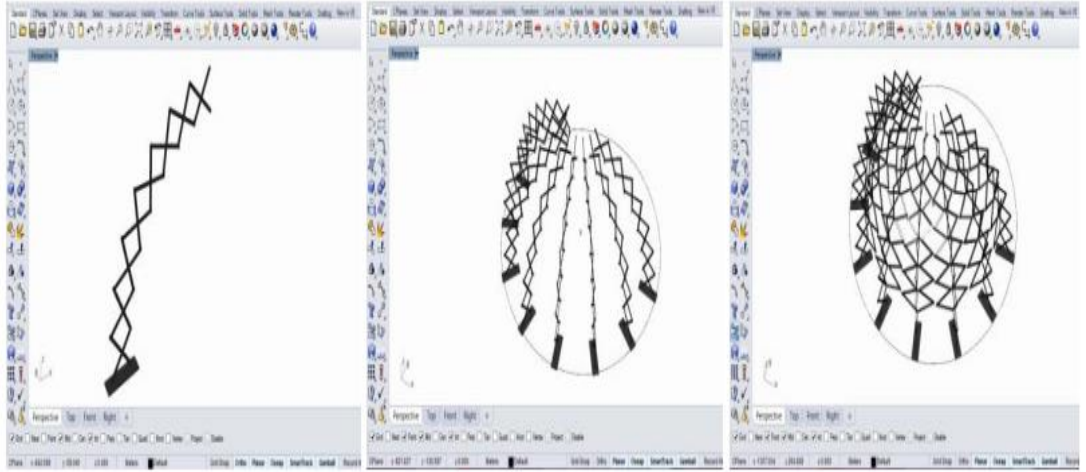
Sonuçta germedenge çatkılar için biçim bulma süreci, kararlılık ve denge koşullarını sağlayan kuvvet yoğunlukları uzun araştırmalara rağmen önemli bir yer tutmaktadır. Germedenge çatkılarının biçim bulma işlemi genellikle analitik veya sayısal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu sayede hata ihtimali çok azalmaktadır.

ALTINCI BÖLÜM

ALGORİTMA KULLANARAK BİÇİM OLUŞTURMA DENEMELERİ

6.1. Algoritma ile Tasarım

Germedenge çatkılarda biçim bulma sürecinin farklı adımları ve tasarımı etkileyen örtülü faktörler için biçim bulma, işlevsellik ve montaj kolaylığı gibi kriterler bulunmaktadır. Bununla birlikte germedenge örtülü çatkılarda montaj, taşınabilirlik ve rijit kaplama malzemeleri ile çalışılması sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu etkenler mekân oluşturma açısından germedengeye çeşitli olanaklar sağlamaktadır. Mekân oluşturmada germedenge yapı elemanlarının dönüşüm mekanizmasının tasarımı ile kubbe elde etmek için 15 kavisli makas modülü örneği Şekil 71’de sunulmuştur. Birleşim noktalarının ilk aşamasında optimum yükseklik ve iç mekânların verimli kullanılmasını sağlayan Rhino algoritmasında bu aşamalar yapılabilmektedir. Yapısal kararlılık ile ilgili çalışma Şekil 71-72’de gösterilmektedir.

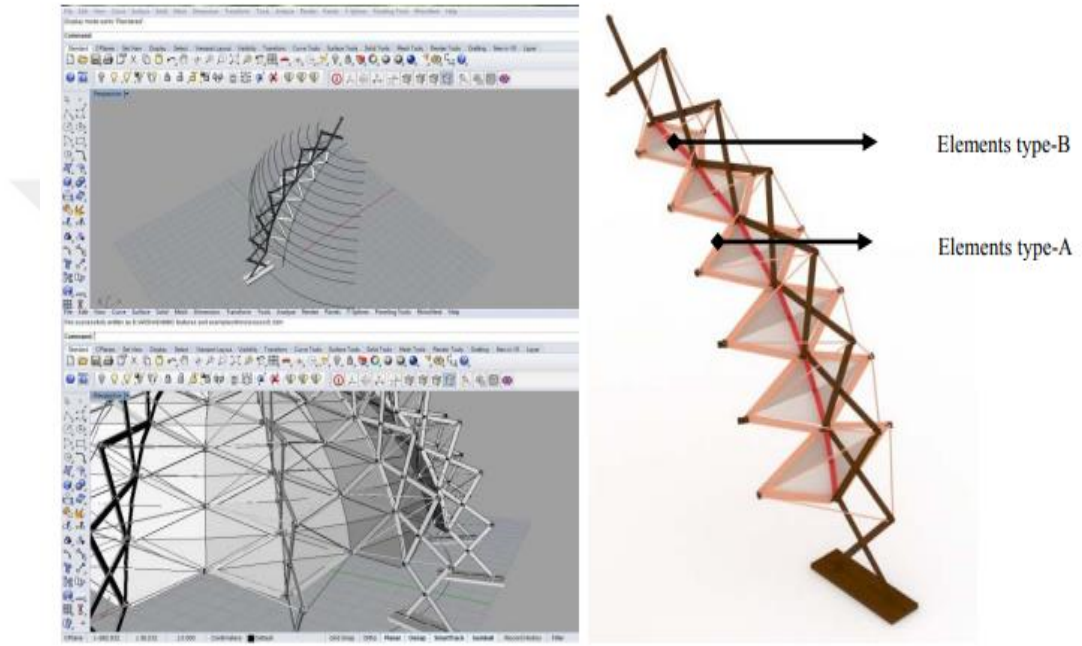


Şekil 80. Rhinoceros’ta tasarlanmış olan kubbesel biçim bulma aşamaları

Kaynak: Fu I H F, (2020)

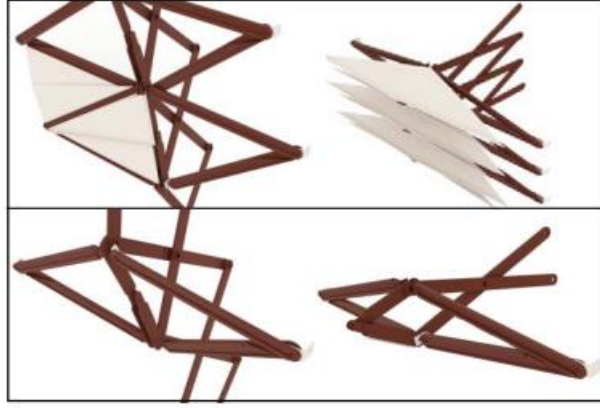
Dönüştürülebilir kubbe için germedenge örtülü çatki kaplamada elemanların hareket mekanizmalarını takip etmek önemli bir ağırlığa sahiptir (Khamis, 2015)

Kaplama malzemelerini yapıya sabitlemek için karşılıklı elemanlar iki biçimde tasarlanmıştır. A tipi elemanlar, şekilde gösterildiği gibi tasarlanmış olup kemerler ve kubbe şeklindeki bir yapı çeşidi kolaylığı sağlamaktadır. Yapısal stabilite sağlayan; başka bir deyişle, tasarlanmış elemanlar kurulum için uygun tabanlar sağlamaktadır. Böylece her bir eğrisel eleman kendi rijitliğini koruyabilmektedir (Şekil 72).



Şekil 81. Tip-A ve -B elemanlarının Rhinoceros aracılığıyla tasarım süreci
Kaynak: Schumacher P, (2015)

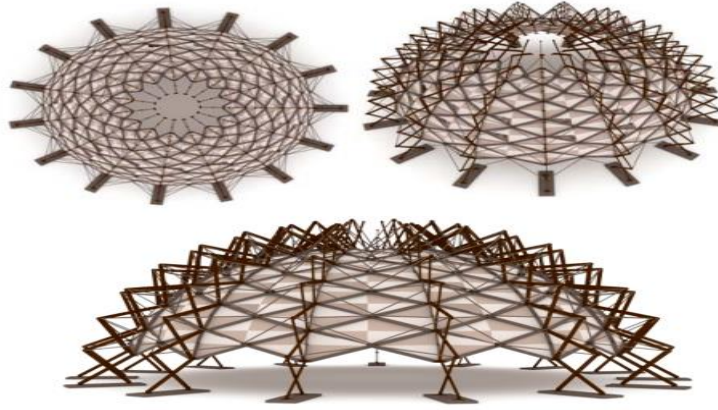
Elemanlar üzerine monte edilen tekli paneller, Rhinoceros tarafından oluşturulan modellerde görüldüğü gibi tamamen kapalı yapı elde etmeye olanak sağlamaktadır (Şekil 73).



Şekil 82. Yapının genişletilmiş ve geri çekilmiş durumdaki A ve B tipi elemanların örtüsü

Kaynak: Schumacher P, (2015)

Germedenge örtülü çatki modülleri tasarlanıp oluşturulduğunda karşılıklı elemanlar kullanılarak örtülmüş bir şekildedir. Ortaya çıkan paneller için gösterilen şablonda eğrisel yüzeyin tüm kısımlarının kaplanabilir olduğu görülmektedir (Şekil 74).



Şekil 83. Yapı elemanları birleşmesi ve örtünmüş haldeki kaplama görünümü

Kaynak: Schumacher P, (2015)

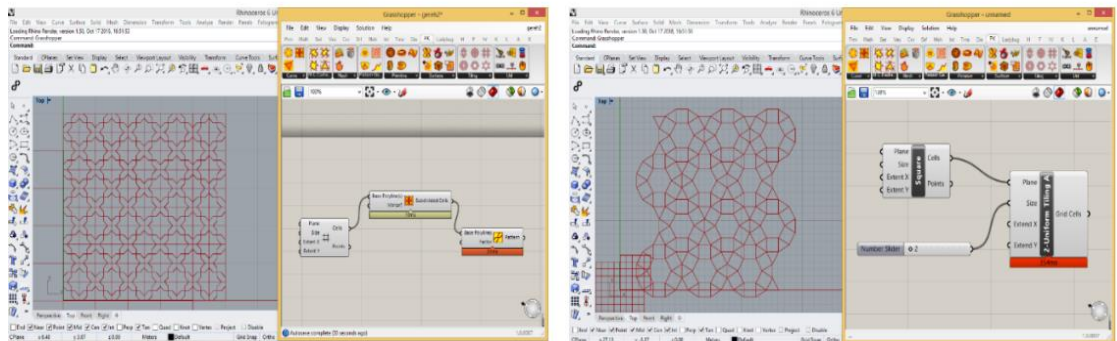
Tasarlanan biçim germedenge sahip kubbe şeklinde bir mekân oluşturulmasını sağlamaktadır. Meta yapılarda bu uygulamalar sayesinde çizim ve modellemenin yapılabilmesi mümkün kılınmıştır

6.2. Biçim Bulma Algoritmaları Çeşitleri

Bir mimari yapının tasarımında, kuvvetlerin yönü modüllerin her birine doğrudur. Bu yük dağıtımı önceden çizilmiş elemanlar tarafından kontrol edilebilir. Her modül, kuvvetleri nötralize etmek için farklı yönlerden gelen basınçlara tepki verecektir. Germedenge örtülü çatkılarındaki desteklerin konumu, elemanlara veya yüzey yükünün nasıl aktarılacağı meselesi, yükün uygulama yeri, yükün türü tek ya da geniş olması, taşıyıcı elemanların kesitleri gibi veriler denge miktarına göre seçilmiştir. Yüzeylerin örgü formatında bölünmesi ve bölümlerin doğru şekilde uygulanması için her parça üzerinde dengelenmesi gerekmektedir. Bu aşamaları sağlayan algoritma uygulamaları

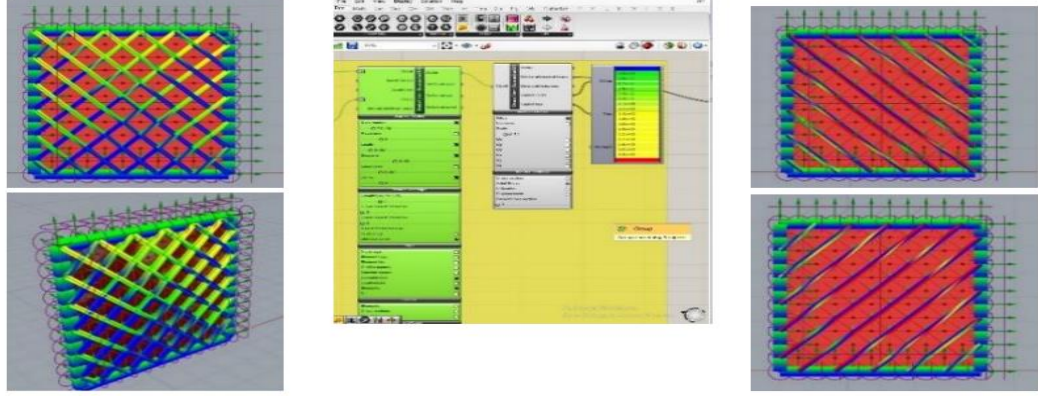
- Parakeet
- Rhino
- Grasshopper
- Karamba
- Mindesk şeklinde sıranabilmektedir.

Parakeet, algoritmik model üretimine odaklanan bir bileşenler koleksiyonudur. Geometrik ve doğal desenler/ağlar üreten bir uygulama olup kullanımı kolay bir yaklaşım sunmaktadır. Esmail Mottaghi tarafından geliştirilen Grasshopper parametrik tasarım için en gelişmiş ve kapsamlı olan algoritmadır. (Şekil 76).

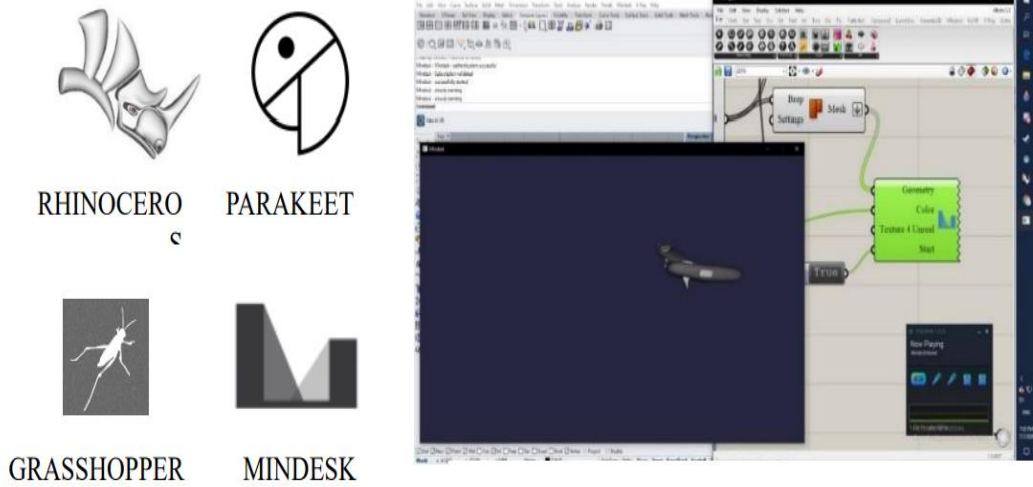


Şekil 84. Parakeet uygulaması ile İki tür desen
Kaynak: Chen M, Liu J ve Skelton R E, (2020)

Modülün geometrisine göre desteklerin yerleşimi için farklı noktalar düşünülmüş ve uygulanan renk analizi kuvvetlerinin çeşitli örnekleri Karamba aracılığıyla alınmıştır (Şekil 77; Şekil 78; Golub ve Kahan, 2000).



Şekil 85. Karamba'dan sonuçlar
Kaynak: Saeedfar A ve Farrokhsiar P, (2019)



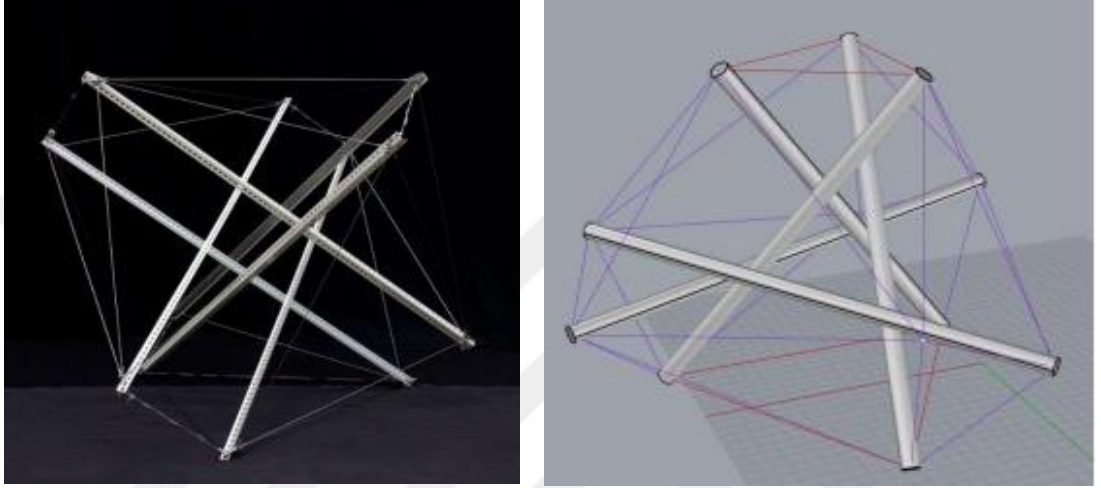
Şekil 86. Rhino ve Grasshopper VR
Kaynak: Bolelli P M, Rocha K B, De Oliveira I M, Mello W B, Haydamus A H, Boechat L C ve Arcaro V F, (2018)

6.3. Algoritma Deneme Analizi

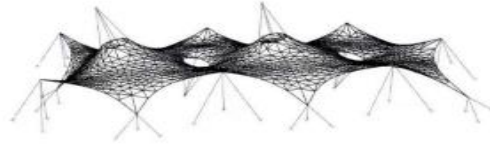
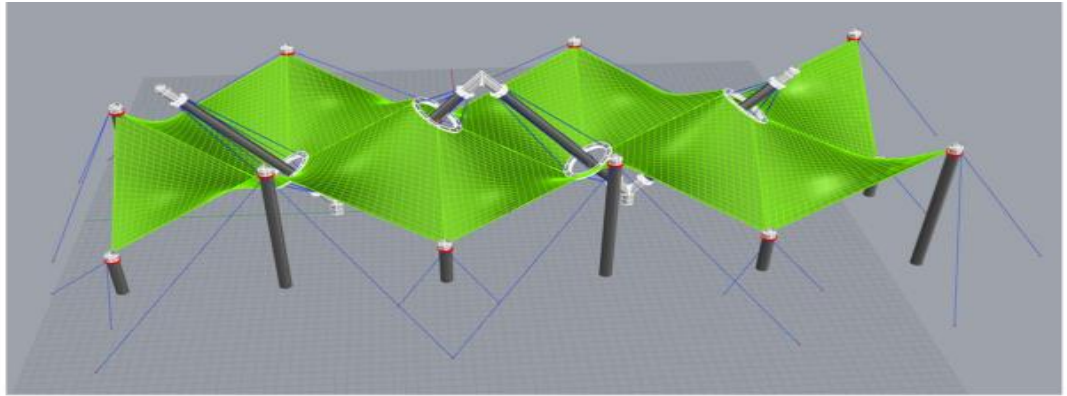
Germedenge örtülü çatkılar, Al Bahar Screen (TABS) modülünün aktivasyon mekanizmasını sağlamaktadır. Bina cephesine paralel ve makro üçgenin kenarları ile

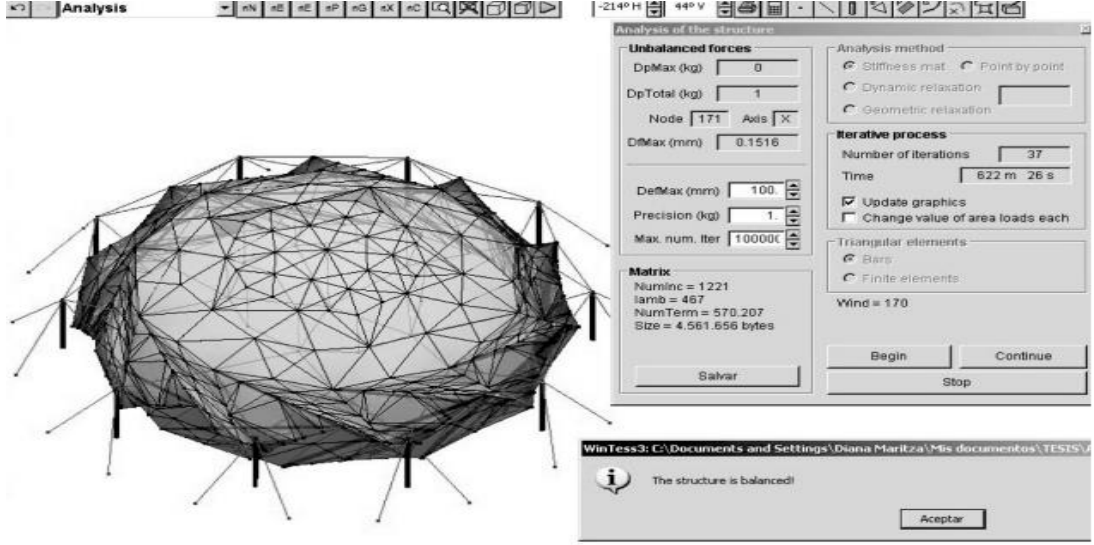
hizalanmış, 12 mikro üçgenin kenarlarını oluşturmuş ve TABS modeli 7 düğümden meydana gelmiştir (Şekil 79; Babilio ve arkadaşları, 2019).

Geleneksel geometride üçgen ve altıgen temel şekiller bulunmaktadır. Analiz edilen modül 6 “mikro üçgenden” oluşmaktadır. Yapıya paralel bir düzleme yansıtıldığında ise “makro üçgen” oluşturacak şekildedir.



Şekil 87. Germedenge çatkının algoritma ile yazar tarafından oluşturulmuş olan modelleme aşamaları örnekleri (Yazar, 2024)





Şekil 88. Germedenge Örtülü çatkının algoritma ile yazar tarafından oluşturulmuş olan modelleme aşamaları örnekleri (Yazar, 2024)

Burada sunulan çalışma, mimaride kullanıma uygun germedenge Örtülü yapılarını tasarlamak için bir dizi yenilikçi çözüm geliştirilmiştir. Sert, rijit, büyük ölçekli kubbelerin ekonomik inşası için germedenge tekniklerine dayalı bir teknoloji önerilmiştir. Gelecekteki araştırmalar için örnek yapılar ve olası uygulamalar bulunmaktadır.

Geniş alanları ekonomik olarak kuşatacak yapısal bir teknolojinin geliştirilmesi diğer hassas alanlar için kalıcı ya da geçici koruma, büyük ölçekli elektriksel veya elektromanyetik koruma, diğer nesnelerin dışlanması veya tutulması için yararlı olmaktadır. Şehirler üzerinde, teknolojiye dayalı yapılar, çevre kontrolü ve enerji dönüşümü gibi işlevsel hizmet sunabileceği düşünülmektedir (Şekil 80).

6.4. Yeni Biçim Bulma Yöntemi

Algoritmaların sağladığı olanaklar ile germedenge örtülü çatkılarda farklı biçim bulma yöntemleri her geçen gün artmaktadır. Aynı mekanik prensibe dayalı ancak farklı geometri, yeni ızgaralar, farklı yönlerin sayısına göre kullanılan yöntem ızgara düzlemi “V genişletici” ile yapılmaktadır. Birçok yeni germedenge ızgarası için germedenge oluşturan çift yönlü V genişleticiler şu şekilde listelenmektedir:

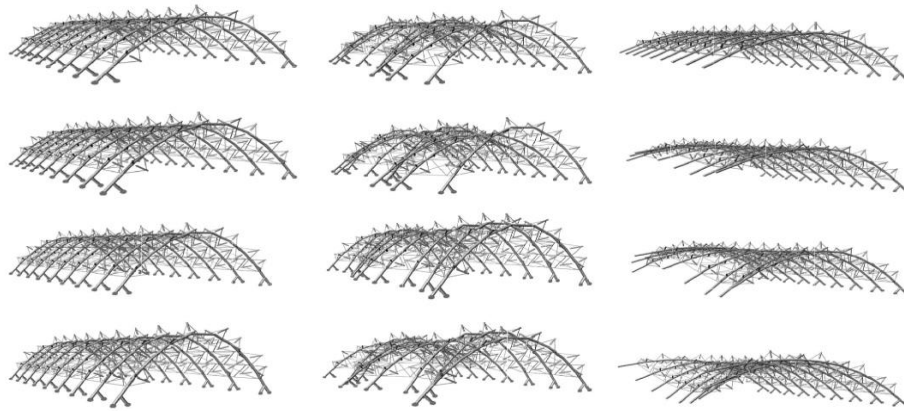
1. Sırasıyla yerleştirilmiş, her biri pim eklemleri bir düğüme yaklaşan iki payandanın her iki ızgaranın esnek katmanında oluşturulması,
2. Genişletici eksenini somutlaştıran aktif bir kablo bağlanması,
3. Sırasıyla bir düğümü birleştiren birçok katmanın kablolarının diğer dikmelerin serbest uçlarındaki düğümlere dikmelerin sayısının eşitlenmesi.

6.5. Germedenge Çatkıların Analizi

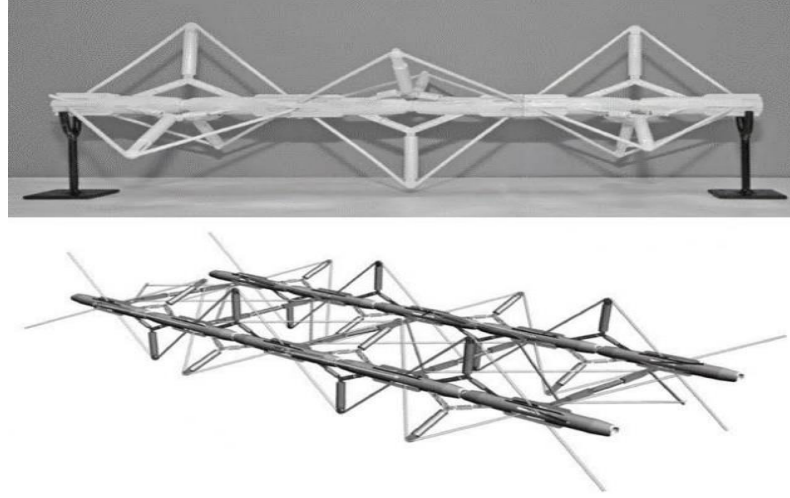
Teknolojik gelişmelerle desteklenen germedenge çatkıların biçim uygulamaları farklı fonksiyonel gereksinimlere veya dış yükleme koşullarına göre uyarlanabilir binaların geliştirilmesinde eski yıllara kıyasla uluslararası alanda giderek daha fazla kabul görmektedir. Bunda en belirleyici faktör, malzeme ve geometrik konfigürasyonlar açısından içine entegre edilmiş kontrol sistemidir. Germedenge örtülü yapılarının genel ilkelerine dayanarak iç kuvvetlerin analizi ve kontrolünü sağlamak mümkündür.

6.5.1. Germedenge Çatkıların Tasarım Geliştirilmesi

Germedenge çatkılar tasarım geliştirmeye dayalı olarak sürekli oluşan bir güçlendirme sistemi ile stabilize edilmiş bağlantılı basınç parçalarından oluşmaktadır. Elemanların bağlantısı, 3 boyutlu germedenge örtülü çatkılar ilkesini takip etmektedir. Geliştirme çerçevesinde biçim bulma alternatifleri, parametrik tasarım prosedürü, geometrik özellikleri ve yapısal konfigürasyonları ile sağlanmaktadır.



Şekil 89. Sistemin tasarım olanakları **Kaynak** Boeck, J. (2013). Tensegrity bridges: Concept design of pedestrian bridges using tensegrity as load carrying system.



Şekil 90. Prototip yapısının küçük ölçekli modelinin yatay yapı detayı

Kaynak Boeck, J. (2013). Tensegrity bridges: Concept design of pedestrian bridges using tensegrity as load carrying system.

6.5.2. Kullanım Alanları

Açık biçimli germedenge örtülü çatkılarının kullanım alanları ve amaçları şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Mekân Yapısı Konsept Tasarım
2. Sivil ve Ticari Mimari
3. Mağaza Tasarımı
4. PVDF
5. PTFE kalıcı membranlı çatki tasarımı
6. ETFE hava yastıklı çatki ve cephe membranı
7. Bina cephe kaplaması
8. İç Mekân Tavan
9. Hafif çelik yapı projelendirme
10. Beton ve çelik konstrüksiyon

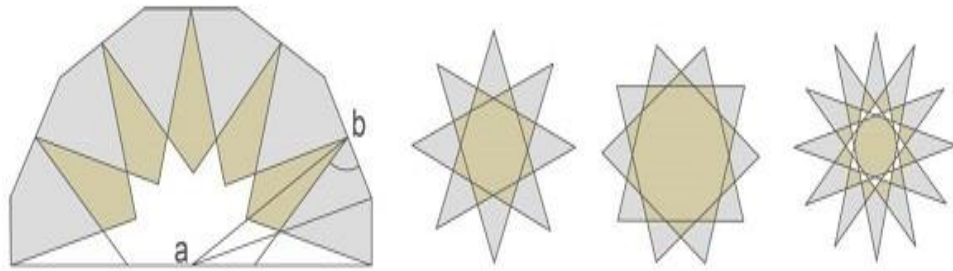
YEDİNCİ BÖLÜM

GERMEDENGE ÇATKILARDA GEOMETRİK MOTİFLERİN KULLANIMI

7.1. Geometrik Desenler ile Oluşturulan Biçimler

Germedenge çatkılarda biçim çeşitliliği sağlamak adına yeni geometrik desenler oluşturmak için bilgisayar programlarını (parametrik hesaplama) kullanmak gerekmektedir. Oluşturulan biçimler Grasshopper programı kullanılarak yapılmaktadır. Bu sürecin araştırılması sırasında ilk olarak George Hart'ın matematiksel iç içe geçmiş yapılar oluşturmak için alt bölümlere ayırdığı yıldız şeklindeki geometrilerle deneyler yaptığı heykellere odaklanılmıştır. Hart'ın heykel modelini alt bölümlere ayırdığı yıldız biçimindeki geometrilerin detaylı incelenmesi sırasında geleneksel geometrilerin esintileri olduğu görülmektedir.

Germedenge çatkılarının biçim bulma çeşitlerinde algoritmalarda parametrik olarak oluşturulan biçimlerde çeşitli desenler kullanılmaktadır. Parametrik tasarım tekniği kullanılan algoritma uygulamalarının yardımıyla, bir referans modelden geleneksel geometrik desenler üretmek ve türetmek mümkündür (Sullivan, 2008).



Şekil 91. Nihai şekli değiştiren Rozet değiştirme açısı (Autocad 2020 çizimi)

Kaynak: Parametrichouse.com/islamic-geometric-pattern1/

Şehirlerin yerel mimarisine hem kültürel açıdan hem de mimari özgünlük açısından nitelik kazandırmak ve geliştirmek amaçlanmaktadır. Sonuç olarak program algoritmik ilişkiler yoluyla geometrik desen arasında bir bağlantı bularak daha önce

var olmayan yeni geometrik desenler ve buna bağılı germedenge çatkılarda farklı ve denenmemiş biçimler oluşturabildiğini göstermektedir (Şekil 84).

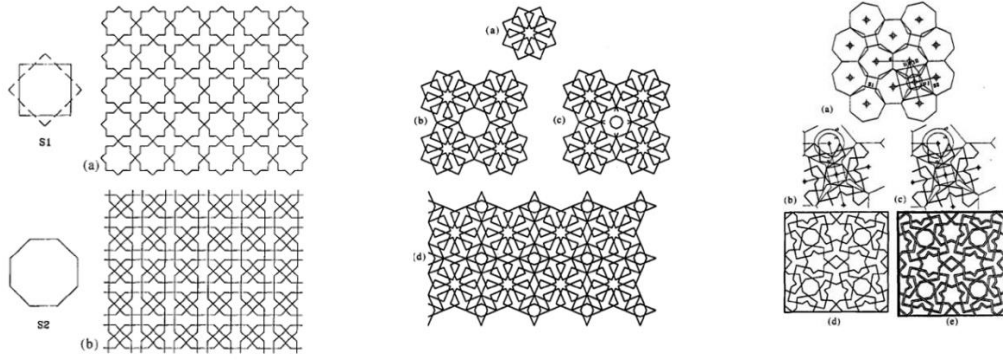
Bu nedenle Rhinoceros Grasshopper programı, geleneksel izler taşıyan kentsel alanların ve şehirlerin gelecekteki tasarımında uygulanabilecek tarihi dokulara ve miras modellerine dayalı özgün tasarım alternatifleri geliştirmek için mimarlar tarafından kullanılabilir. Farklı geometrik desenlere sahip çatkı biçimleri üretmek germedengeye de farklı formlar katılmasıyla özgünlüğü artırılabilir. Geçmişin önemi, mimaride bir öncelik olarak mirasın canlandırılması (miras devrimi, tarihin yükselişi vb. ile eş anlamlı) tanımlanarak ifade edilmektedir.

7.2. Biçim Bulmada Geometrik Motiflerin Çeşitliliği

Bu tarihi, sanatsal ve kültürel öğeleri yerine getiren mimari öğelerin üç boyutlu modellenmesinde, geleneksel binalara ve mimariye atıfta bulunarak mirasın canlandırılması ile yeni projelerle ilgili tasarımların geliştirilmesi arasındaki bağlantının kurulması önem taşımaktadır. Yapıcı yönleri, miras geliştirmeye yönelik programların kullanımına dayanmaktadır (Mutaz, 2021).

7.3. Desenlerden Oluşturulmuş Biçimler

Her şeyi tasarlayan üçgenler, dikdörtgenler, altıgenler ve daireler için örneklerle uygulanacak olursa karoların döndürülmesi sonucunda 45 derece ile üst üste gelen 8 köşeli yıldız şekli gibi şekillerin yaratılmasına neden olmaktadır (Şekil 85). Tanıdık şekillere bazı geometrik yapıların eklendiği gösterilmektedir. Bunlar temel şekil 8 karelerdir. Bu, karelerin kenarlarını köşelerden uzatarak doldurulabilen sekizgen deliklere yol açmaktadır (Emami, Khodadadi ve Buelow, 2014). Sonra şekillerin çevreleri de bölünüp noktalarla işaretlenip birleştirilmektedir. Desen ortaya çıktıktan sonra desendeki çizgiler genellikle geçmeli çizgilerle değiştirilmektedir (Şekil 85) (Abas ve Selman, 1992).



Şekil 92. Perslere ait geometrik şekiller

Kaynak: Emami N, Khodadadi A ve Buelow P V, (2014)

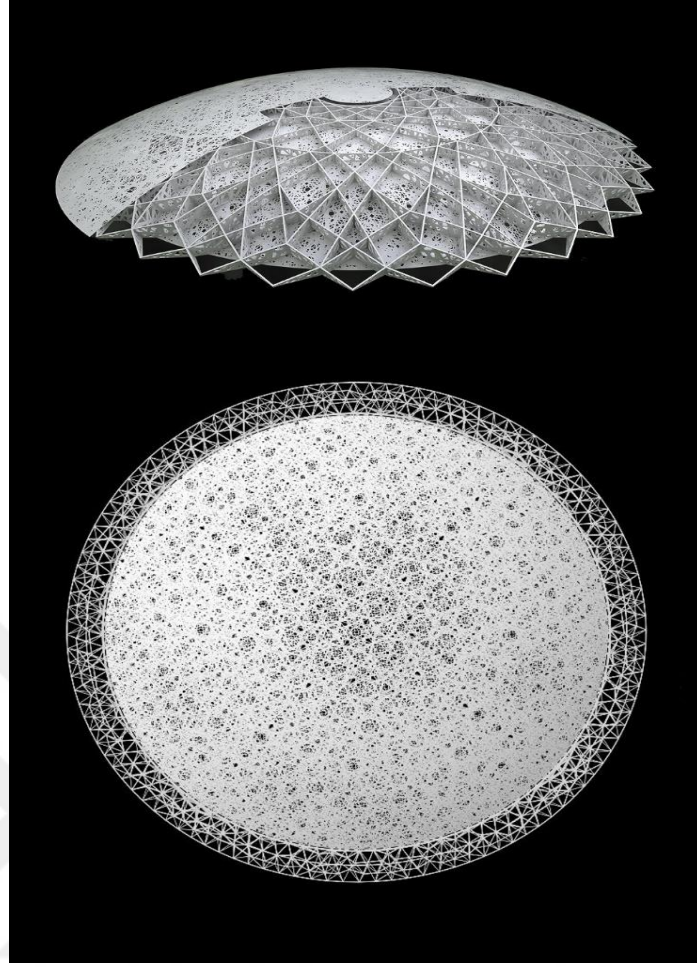
Izgara ve elemanların düzenlenmesi çok önemlidir. Çünkü geometrik desenlerin özelliklerinden biri de tabanlarında altıgenler ve üçgenler bulunmasıdır. Bu, işin temeli haline getirilerek çizgiler ve çizgiler için tasarım dikkate alınmaktadır. Soldan sağa ve sağdan sola çapraz çizgiler, dikey ve yatay çizgiler birlikte ve ayrı ayrı şekilde ilk durumda destekleri sabit olarak değerlendirilmektedir.

Güncel teknolojiyi kullanarak biçim bulmanın yanı sıra güzelliğin kullanımı ve mevcut materyaller bu araştırmada bir yaklaşım olarak ele alınmıştır. Bu süreçte germedengenin kuvvetinin eşit dağıldığı, belirli bölgelere göre yükün ve basıncın dağılımı belirlenebilmiştir (Mutaz, 2021).

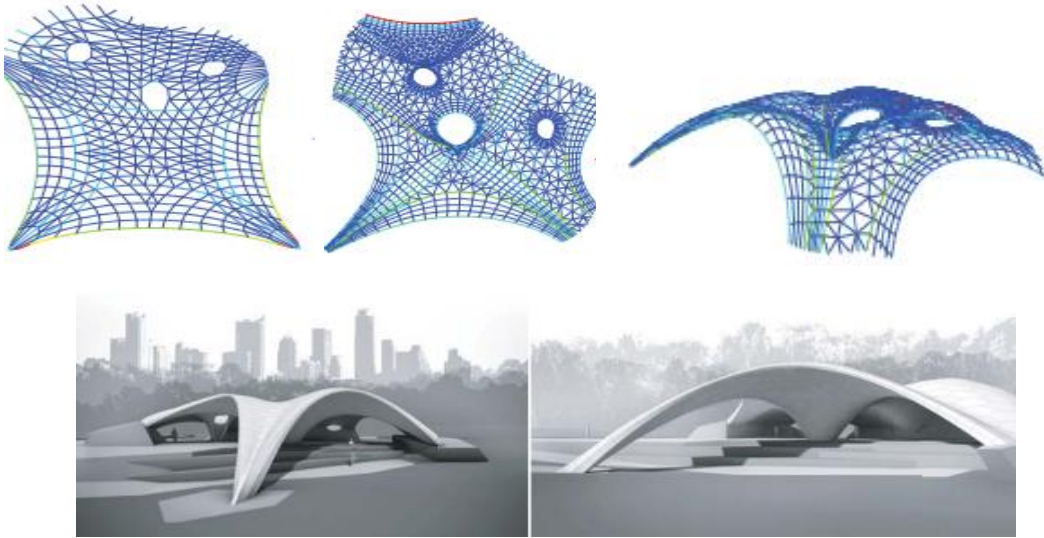
Dolayısıyla bu yöntemde Grasshopper tasarım eklentisinden Karamba eklentisi ile biçimin oluşturulması incelenmiştir. Geometrik desenleri tasarlamak için Rhinoceros yazılımı modelleme platformu olarak seçilmiş ve Rhino için parametrik modelleme eklentisi olan Grasshopper kullanılmıştır.

7.4. Desenlerin Programlar ile Oluşturulan Germedenge Çatki Çalışmaları

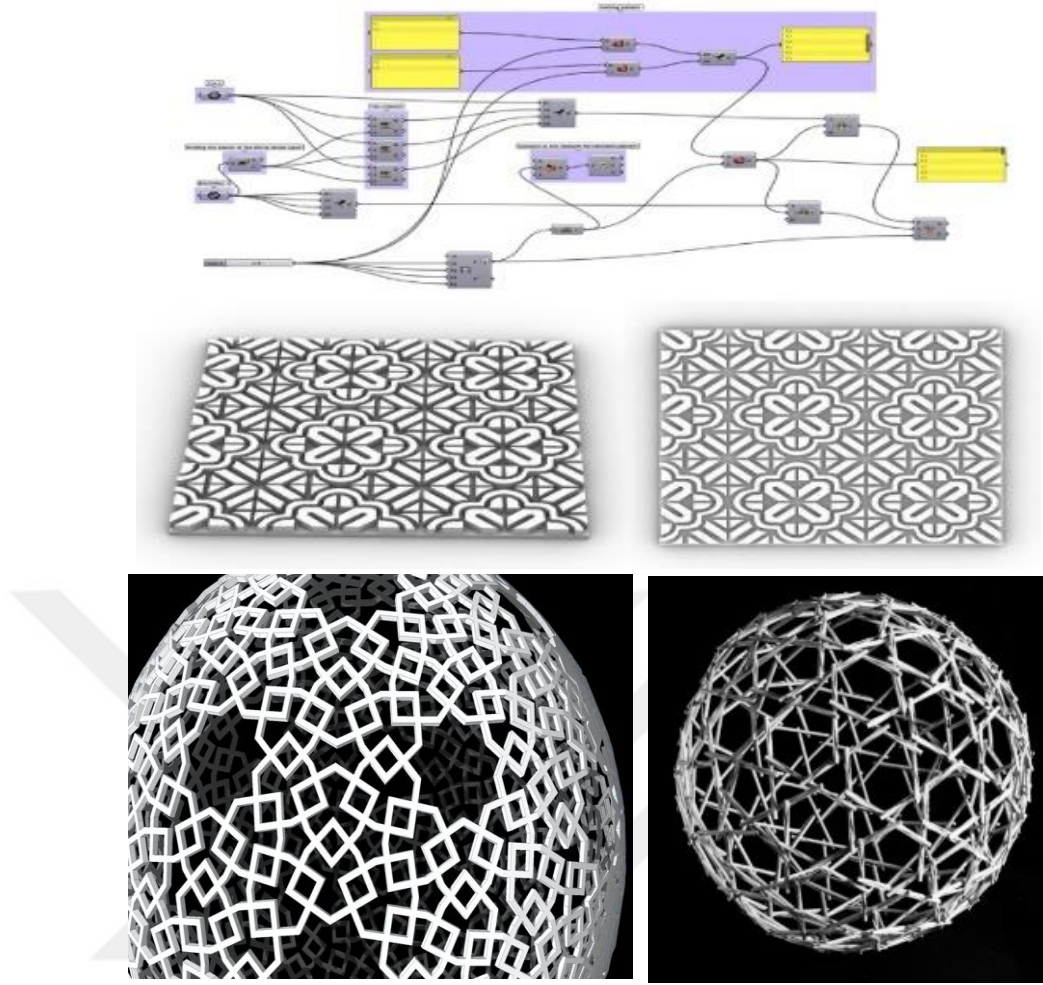
Germedengenin geleneksel motiflerden çatki haline kadar olan süreçteki örnekleri ve diğer algoritmalarda oluşturulan germedenge çatki örnekleri sunulmuştur.



Şekil 93. Geometrik Motif ile Germedenge Çatki Biçimi Örnek Çalışması
Kaynak: Louvre-abu-dhabi-jean-nouvel-time-lapse-2009



Şekil 94. Yazar tarafından oluşturulmuş Rhino uygulamasında çizilmiş geometrik desenler ile elde edilen çatkıların germedenge çatki örnekleri ve modellenmesi (Yazar, 2024)



Şekil 95. Yazar tarafından oluşturulmuş Geometrik Motifin Çizimi ve Germedenge Çatki Biçimi Çalışmaları (Yazar, 2024)

SONUÇLAR

Kenneth Snelson'un heykelleri ve Buckminster Fuller'in germedenge çatkılar terimini icat etmesindeki süreci krolonojik olarak anlatılmış ve örneklerle ifadeler güçlendirilmeye çalışılmıştır. Görsel etki için germedenge çatkılara olan ilk çalışmalardan, günümüzdeki son teknoloji ile birleşimindei çalışmalar örneklendirilmiş ve sınıflandırılarak belgelenmiştir. Geçtiğimiz 70 yılda, ilk sanat eserleri olan örnekler ve germedenge çatkılarının biçim bulma özelliğini yöneten ilkeleri sınıflandırma ve değişken geometri gibi bir dizi farklı pratik uygulamaya yol açan mühendislik yönüde açıklanmıştır. İnşaat mühendisliği yapıları, dünya üzerinde ve yörüngede konuşlandırılabilir yapılar ve robotlar, son olarak da germedenge büyük ölçekli çatkılar ve küçük ölçekli germedenge çatkılar hakkındaki yeni ve gelecek vaat eden çalışmalar açıklanmıştır.

Bu çalışma ile germedenge çatkılarının tasarımına bazı örnekler vermek amaçlanmıştır. Germedenge çatkılarını tanımlamak dilimizde karşılığını sağlayan ifadeyi belirlemek kolay değildir. Dolayısıyla daha açıklayıcı ifadeler kullanarak terminolojimize katkıda bulunulmuştur. Tam olarak karşılığı olmamasına rağmen çalışmamız sonucunda terimi okuyuculara doğru ve net şekilde ifade etmek hedeflenmiştir. Yapılan değerlendirme ve analizlere göre bu çatkılarının mimarideki kullanımının sadece estetik ve fonksiyonel değerler açısından değil aynı zamanda mimari biçim ve tasarım diline olan katkılar açısından da önemli olduğu görülmektedir. Araştırmayla ilgili sorular ve hipotezler bağlamında elde edilen cevaplar şu şekildedir:

Mimari açıdan değerlendirildiğine germedenge çatkılar, mimaride bir devrimin simgesidir. Gökyüzüne uzanan bu zarif yapılar hem mühendislik başarısının hem de estetik zevkin bir ifadesi olarak modern dünyanın silüetine yeni bir boyut kazandırmıştır. Bunun yanı sıra spor tesislerinden sergi salonlarına, havalimanlarından sanat galerilerine kadar geniş bir kullanım alanı sunarak her biri kendine özgü bir hikâye ve karakter taşıyan çok çeşitli mimari ihtiyaçlara cevap vermektedir. Geleneksel mimari öğeleri modern tasarım anlayışı ile birleştirerek kültürel mirası geleceğe taşımaktadır. Bu yapılar, ışığın ve gölgenin olağanüstü bir oyununu sergilemekte, güneşin pozisyonuna bağlı olarak değişen gölgeler, binaların canlı ve

dinamik birer parçası haline gelmektedir. Bu, mimarının sadece katı bir formdan ibaret olmadığını zaman ve mekânla da etkileşim içinde olduğunu göstermiştir. Mühendislik ve tasarımın sınırlarını zorlayarak daha az malzeme ile daha fazla yapısal güç elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Germedengesi, bir kuvvet dağılımı sağlayarak maliyet etkinliği kazandırmaktadır.

Germedenge çatkılar sanattan ilham almıştır. Heykeltıraşlar, taş ve metal gibi sabit malzemelerle çalışmışlardır. Onların eserleri, insan duygularını ve doğanın güzelliklerini yansıtmış ancak hareketsiz ve sınırlı bir formda kalmıştır. Bu sanat eserleri, insanın düşünce ve duygularını ifade ederken, zamanla mühendisler ve mimarlar için ilham kaynağı haline gelmiştir. Mimarlar, heykellerdeki dinamik formları ve akıcı hatları mimari tasarımlarına entegre etmeye başlamışlardır. Bu süreçte, germedenge çatkılar kavramı doğmuş ve bu yapılar hem estetik hem de yapısal açıdan heykelsi bir nitelik taşıyarak sanatın ve mühendisliğin birleştiği bir noktayı temsil etmiştir.

Bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle, malzeme bilimi ve yapısal mühendislik alanlarındaki gelişmeler, daha önce mümkün olmayan formların hayata geçirilmesine olanak sağlamıştır. Germedenge çatkılar, mimarlık dilini yeniden tanımlayarak mimarlığın sadece içinde yaşanan alanlar yaratmadığını aynı zamanda insan ruhunu ve doğanın ritmini yansıtan sanat eserleri olabileceğini göstermiştir. Günümüzde bu çatkılar, modern mimaride bir simge haline gelmiştir. Gökyüzüne doğru uzanarak hem sanatı hem de bilimi temsil eden yapılar olarak kabul gören birer unsurdur.

Germedenge çatkılarda estetik ve fonksiyonellik bir arada ele alındığında, mimari tasarımın sınırlarını zorlamakta ve yenilikçi çözümler sunması noktasında sıklıkla değerlendirilmektedir. Hatta germedenge çatkılarının incelenmesi, mimari tasarım ve yapısal mühendislik alanlarında yeni teorik yaklaşımlar ve uygulamalı araştırmaların kapısını aralamaktadır. Bu yapılar, verimlilik açısından da önemli bir araştırma alanıdır. Enerji tasarrufu sağlayıp çevresel etkileri azaltarak bir yaklaşım sunmaktadır. Sonuç olarak germedenge çatkılar mimarlık projelerinde önemli bir potansiyele sahiptir. Yüksek performans, estetik değer, tasarım esnekliği gibi faktörler, bu çatkılarının mimarlar tarafından tercih edilmesini sağlamaktadır. Ancak bu çalışmanın sınırları bulunmakta ve gelecekteki araştırmaların daha kapsamlı bir

şekilde yapılması önerilmektedir. Ayrıca germedenge çatkılarının mimarlıkta kullanımının önemini vurgularken ileride bu alanda daha fazla araştırma yapılmasının önünü açacaktır. Germedenge çatkılarının, gelecekteki mimari projelerde yeni tasarım olanakları sağlayacağı düşünülmektedir.

Germedenge çatkılar kavramı, mimarlık terminolojisine yenilikçi bir boyut kazandırmaktadır. Yapısal dinamikler ve estetik tasarım arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamıza yardımcı olarak imkânsız denilen yapıların mümkün kılınmasında önemli roller üstlenmektedir. Bu kavram, mimari terminolojiye yenilikçi yapısal sistemler ve tasarım yöntemleri açısından zenginlik katmaktadır. Ayrıca mimari tasarımda biçimin ve fonksiyonun nasıl bir araya gelebileceğini, yapısal verimliliğin ve estetik ifadenin nasıl optimize edilebileceğini de göstermiştir.

Germedenge kavramı, özellikle hafif yapısal çözümler, dinamik yapılar ve yüksek mukavemet gerektiren sistemlerde uygulanabilmektedir. Ayrıca enerji verimliliği ve çevresel etkinin azaltılması gereken durumlarda da kullanılmaktadır. Germedenge çatkılar, çeşitli malzemelerin basınç özelliklerini dengeli bir şekilde kullanarak yapısal verimlilik sağlayan mimari elemanlardır. Bu yapılar hafif, maliyet konusunda etkin, estetik açıdan çekici ve büyük açıklıklarda desteklik sunmaktadır. Germedenge çatkılar, geniş açıklıklı yapılar için mükemmel bir seçenek olarak değerlendirilebilmektedir. Yüksek taşıma kapasiteleri ve esnek yapıları sayesinde bu çatkılar, büyük mekânları kusursuz bir şekilde kapsamaktadır.

Germedenge çatkılarının mimaride kullanımı, 20. yüzyılın ortalarında, malzeme bilimi ve yapısal mühendislik alanlarındaki gelişmelerle başlamıştır. Bu yapılar, özellikle büyük açık alanlar gerektiren ve estetik önemi olan projelerde öncelikli olarak tercih edilmiştir. Bu çatkılarının çıkış noktası, yapısal mühendislikte germe ve basıncı dengeli bir şekilde kullanma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Daha estetik ve fonksiyonel yapılar yaratma arzusu da bu gelişmeleri tetiklemiştir. Bunun yanı sıra gelişime her koşulda açık olan bu kavram hem ilgi çekici bir niteliğe hem de yüksek uygulama potansiyeline sahiptir. Konsept olarak ele alınırsa yalnız mimari için değil sanat dünyasında da diğer alanlarda olduğu kadar heykeller ile farklılık yaratarak ilgi çekmiştir. Temel yapı taşları çok basit olması, kendine özgü estetik tavrı ile farklı biçimler elde etmemizi sağlamaktadır. Germedenge çatkılar mimari tasarımda büyük

bir esneklik sağlamaktadır. Bu çatkılar, farklı şekil ve boyutlarda tasarlanabilir ve mimarların yaratıcılığını teşvik etmektedir. Estetik açıdan da etkileyici oldukları için modern ve ilgi çekici bir görünüm sunarak yapıların çevresine özgü bir karakter kazandırmaktadır.

Algoritmik tasarım yaklaşımları kullanılarak bu çatkıların biçimleri, belirli yapısal ve estetik hedeflere ulaşmak için optimize edilmektedir. Bu süreçte bilgisayar simülasyonları ve modelleme teknikleri, en verimli ve estetik açıdan çekici yapısal çözümler bulmak için kullanılmaktadır. Germedenge çatkılarının temel özellikleri arasında yapısal verimlilik, hafiflik, büyük açıklıkları destekleme kapasitesi ve estetik esneklik bulunmaktadır.

Germedenge çatkılar, malzeme bilimi ve aerodinamik çalışmaları gibi günümüzün popüler tasarım alanlarına ilham vermekte olup çeşitli disiplinlerdeki araştırmalar için yeni perspektifler sunmaktadır. Bu yapılar, geometrik ve geleneksel Geleneksel Geometrik Motiflerle estetik ve fonksiyonel çözümler sunmaktadır. Özellikle mimaride ve diğer geleneksel mimari formlarda bu şekiller hem estetik hem de yapısal anlamda önemli bir rol oynamaktadır. Geleneksel ve geometrik desenler ile tasarımın bir parçasını oluşturmak mümkün görülmektedir. Bu çalışma, germedenge çatkılarının mimarlık projelerindeki kullanımı ve performansı üzerine odaklanmıştır. Araştırma sonuçları, germedenge çatkılarının bir dizi avantaja sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca geleneksel motiflerle birleştirildiğinde hem kültürel mirası koruyan hem de modern mimari anlayışa katkıda bulunan yapılar ortaya çıkardığı saptanmıştır.

Bu yapılar, tarihi ve kültürel değerleri modern teknoloji ile harmanlayarak mimari mirasın devamlılığını sağlamaktadır. Germedenge çatkılarının mimari tasarımda geleneksel desenlerden ilham alma potansiyeli yapılarda uyumlu bir şekilde tasarlanabileceğini göstermektedir. Geometrik desenlerin sembolizmi ve estetik değeri, germedenge çatkılar strüktürlerinin tasarımında kullanılarak yapıların mimari anlamını zenginleştirecektir. Geleneksel desenlerden ilham alınarak tasarlanan germedenge çatkılar, toplumların kültürel ve dini kimlikleri yansıtacaktır. Bu tür yapılar, toplumlarının mimari mirasını koruma ve yayma açısından önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca bu tasarım yaklaşımı, toplulukların kimlik duygusunu

güçlendirerek yapıların kullanıcılarına aidiyet hissi vermektedir. Ancak bu alanda daha fazla araştırma yapılması ve uygulama örneklerinin çoğalması gerekmektedir. Germedenge çatkılar strüktürleri ile desenlerin sentezlendiği yapıların, gelecekteki mimari projelerde estetik ve kültürel açılardan önemli bir etkiye sahip olabileceği düşünülmektedir. Araştırmanın hipotezleri değerlendirildiğinde ise;

Germedenge çatkılar, mimarlıkta biçim çeşitliliği ve yenilikçi tasarım yaklaşımları açısından önemli bir yer tuttuğunda H1 hipotezi bu bağlamda doğrulanmıştır. Bu çatkılar, çeşitli mimari stiller ve fonksiyonlar için uyarlanabilirlik göstermektedir. Germedenge çatkılarının geometrik ve geleneksel motiflerle birleştirilmesi, kültürel değeri ve estetik zenginliği bir araya getiren özgün tasarımlar yaratmaktadır. Bu durumda, mimarlıkta kültürel ifadeyi ve yerel sanat formlarını modern tasarımlarla bütünleştirmenin bir örneği olduğu belirlenmiştir. Açık alan tasarımı ve kullanımındaki avantajları bağlamında “germedenge çatkılar”, mimari terminolojiye özellikle esneklik, verimlilik ve uygulanabilirlik bağlamında katkı sağlamıştır. Ayrıca yapısal mühendislik ve estetik tasarım arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamamıza yardımcı olması ve mimari dilin gelişimine katkı sunmasından dolayı ülkemizdeki çalışmalar ve literatür araştırması temelinde yapılan bu araştırma alanda ilk olup kavram çerçevesinin çizilmesi açısından mimari alanda öncü nitelikte katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, germedenge çatkılarının mimariye olan katkısını ve bu yapıların tarih boyunca nasıl evrildiğini incelemiştir. Çalışmada gerçekleştirilen analizler, bu çatkılarının mimarideki kullanımının, sadece estetik ve fonksiyonel değerler açısından değil aynı zamanda mimari biçim ve tasarım diline olan katkı açısından da önemli olduğunu göstermektedir. Germedenge çatkılarının mimariye katkısı, onların form ve estetik değerlerinin yanı sıra yapısal verimlilik ve malzeme optimizasyonu açısından da önemlidir. Bu germedenge çatkılar, modern mimari tasarımlara yeni bir soluk getirmekte ve daha dinamik, akıcı yapılar yaratma imkânı sunmaktadır. Bu çatkılarının heykelden mimariye evrimi, sanat ve mühendislik disiplinlerinin kesiştiği bir yolculuğu temsil etmektedir. Estetik ve fonksiyonelliğin bir arada ele alındığı bu germedenge çatkılarının, mimari tasarıma yenilikçi çözümler sunduğu açıkça gösterilmektedir.

KAYNAKÇA

- Agogino, A. K., SunSpiral, V., ve Atkinson, D. (2018). *Super Ball Bot-structures for planetary landing and exploration* (No. HQ-E-DAA-TN63111).
- Asefi, M. (2007). *Transbiçimable architectural structures: background, development, evaluation and design*. The University of Liverpool (United Kingdom).
- Asimow L. ve Roth B. (1978). The rigidity of graphs, *Trans. Amer. Math. Soc.* 245, 279-289.
- Atkinson, D., ve Ingle, M. (2016). Growing like a magic mushroom: AfrikaBurn festival in the Tankwa Karoo. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 5(2), 1-27.
- Auernhammer, J., ve Roth, B. (2021). The origin and evolution of Stanford University's design thinking: From product design to design thinking in innovation management. *Journal of Product Innovation Management*, 38(6), 623-644.
- Barnes, M. R. (1999). Biçim finding and analysis of tension structures by dynamic relaxation. *International journal of space structures*, 14(2), 89-104.
- Bhasin, K., ve Hayden, J. L. (2002). Space Internet architectures and technologies for NASA enterprises. *International Journal of Satellite Communications*, 20(5), 311-332.
- Block, P., ve Ochsendorf, J. (2007). Thrust network analysis: a new methodology for three-dimensional equilibrium. *Journal of the International Association for shell and spatial structures*, 48(3), 167-173.
- Bowl, J. E. (1974). Neo-primitivism and Russian painting. *The Burlington Magazine*, 116(852), 133-140
- Bradshaw, R., Campbell, D., Gargari, M., Mirmiran, A., ve Tripeny, P. (2002). Special structures: past, present, and future. *Journal of structural engineering*, 128(6), 691-709.
- Burkhardt, R. (2004). A technology for designing germedenge çatkılar domes and spheres. *Cambridge (USA)*.
- Burkhardt, R. (2004). A technology for designing germedenge çatkılar domes and spheres. *Cambridge (USA)*.
- Canadian Sport Tourism Alliance (2003). Building business through sport! Ottawa: Canadian Sport Tourism
- Chalmers, A. (2001). Maxwell, mechanism, and the nature of electricity. *Physics in Perspective*, 3(4), 425-438.

- Chandan Bharadwaj, B. V., Abiram, K., Harish, K., Vivek, S., ve Chandrashekara, C. V. (2022). Dynamic Analysis of MCF-7 Using Germedenge çatkılar Model. In *Recent Advances in Machines and Mechanisms: Select Proceedings of the iNaCoMM 2021* (pp. 205-212). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Chilton, J. (2007). *Space grid structures*. Taylor ve Francis.
- Connolly, B. H. (1998). General effects of aging on persons with developmental disabilities. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 13(3), 1-18.
- Crowe, M. A., ve Manners, B. (2022, May). Bring a tent, food, music and create your own experience: What's considered as important for AfrikaBurn?. In *Journal of Convention ve Event Tourism* (Vol. 23, No. 3, pp. 269-296). Routledge.
- Cruz, E., Hubert, T., Chancoco, G., Naim, O., Chayaamor-Heil, N., Cornette, R., ... ve Aujard, F. (2021). Design processes and multi-regulation of biomimetic building skins: A comparative analysis. *Energy and Buildings*, 246, 111034.
- D'Altri, A. M., Sarhosis, V., Milani, G., Rots, J., Cattari, S., Lagomarsino, S., ... ve de Miranda, S. (2020). Modeling strategies for the computational analysis of unreinforced masonry structures: review and classification. *Archives of computational methods in engineering*, 27, 1153-1185.
- Damadian, R., Goldsmith, M., ve Minkoff, L. (1977). Nmr in cancer: Xvi. fonar image of the uve human body. *Physiol. Chem*, 9, 97-100.
- Daro, P., Gray, D., Guest, S. D., Micheletti, A., ve Winslow, P. (2015, August). The Kent tensegritree project. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2015, No. 7, pp. 1-12). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- Dehhaghi, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Panahi, H. K. S., ve Nizami, A. S. (2019). A state-of-the-art review on the application of nanomaterials for enhancing biogas production. *Journal of environmental management*, 251, 109597.
- Eleanor Hartley, "Ken Snelson and the Aesthetics of Structure," in the Marlborough Gallery catalogue for *Kenneth Snelson: Selected Work: 1948–2009*, exhibited 19 February through 21 March 2009
- Evans, K. L. (2011). Magic and the Binary Code: Renaissance Christian Kabbalah and Buckminster Fuller's Germedenge çatkılar Structures. *The Rose*, 8, 11.
- Fazel M, Hindi H, Boyd SP. Log-det heuristic for matrix rank minimization with applications to Hankel and Euclidean distance matrices. In: Proceedings of the 2003 American Control Conference.; vol. 3. IEEE; 2003:2156–62.
- Fuller, R.B. Tensile-Integrity Structures. U.S. Patent 3,063,521, 13 November 1962.
- Gilewski, W.; Kłosowska, J.; Obara, P. Biçim finding of germedenge çatkılar structures via Singular Value Decomposition of compability matrix. In

Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues, Proceedings of the 21st International Conference on Computer Methods in Mechanics, Gdansk, Poland, 8–11 September 2015; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015; pp. 191–195.

Golub, G.; Kahan, W. Calculating the Baldwin, C. Y., ve Clark, K. B. (2000). *Design rules: The power of modularity* (Vol. 1). MIT press.

Gomez Jauregui, V. (2009, December). Controversial origins of germedenge çatkılar. In *Symposium of the International Association for Shell and Spatial Structures (50th. 2009. Valencia). Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures: Proceedings*. Editorial Universitat Politècnica de València.

Hadrovic, A. Germedenge çatkılar Structures.

Hanaor, A. Geometrically rigid double-layer germedenge çatkılar grids. *Int. J. Space Struct.* **1994**, 9, 227–238.

Ingber, D. E., ve Landau, M. (2012). Germedenge çatkılar. *Scholarpedia*, 7(2), 8344.

Ingber, D. E., ve Landau, M. (2012). Tensegrity. *Scholarpedia*, 7(2), 8344.

Jáuregui, V. G. (2020). *Germedenge çatkılar structures and their application to architecture* (Vol. 2). Ed. Universidad de Cantabria.

Kawaguchi, M., Tatemichi, I., ve Chen, P. S. (1999). Optimum shapes of a cable dome structure. *Engineering Structures*, 21(8), 719-725.

Khamis, A., Hussein, A., ve Elmogy, A. (2015). Multi-robot task allocation: A review of the state-of-the-art. *Cooperative robots and sensor networks 2015*, 31-51.

Kim, J. Y. (2000). *Velodrome* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

Kramer, H. J., ve Cracknell, A. P. (2008). An overview of small satellites in remote sensing. *International journal of remote Sensing*, 29(15), 4285-4337.

Latour, B. (2002). What is iconoclasm? Or is there a world beyond the image wars. *Iconoclasm: Beyond the image wars in science, religion, and art*, 14-37.

Levy, M. P. (1994, April). The Georgia Dome and beyond: achieving lightweight-longspan structures. In *Spatial, lattice and tension structures* (pp. 560-562). ASCE.

Lewiński, T., Sokół, T., Graczykowski, C., Lewiński, T., Sokół, T., ve Graczykowski, C. (2019). Industrial Applications. *Michell Structures*, 495-569.

Li, C., Wang, D., Liu, J., ve Cai, Z. (2021). Experimental and numerical investigation on dynamic response of a four-tier container stack and lashing system subject to rolling and pitching excitation. *Applied Ocean Research*, 109, 102553.

- Lintner, K., Tivoli±Wien, K. R., Svacina, D. I. V., Winkelmann, H., Hoff, I. H. H., Straûe, L., ... ve Speidel, M. O. (2002). DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR MATERIALKUNDE/GERMAN MATERIALS SOCIETY. *Z. Metallkd*, 93, 3.
- Liu, J. (2016). *Digital Exploration on Graphic Statics: Its Attribute Matrix, Interactive Application and Basic Algorithm*. The Chinese University of Hong Kong (Hong Kong).
- Longstaff, R., ve Bond, A. (2011). The SKYLON project. In *17th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference* (p. 2244).
- Mahendran, K., English, A., ve Nieland, S. (2022). No obvious home: The public's dialogical creation of home during the third wave of decolonization. *Human Arenas*, 5(4), 634-653.
- Martin, A. G. (2015, August). A basketmaker's approach to structural morphology. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2015, No. 29, pp. 1-8). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- McCormack, C., ve Phillips-Hungerford, J. T. (2019). A dangerous precedent; the geodesic dome as a credible space architecture typology. In *70th International Astronautical Congress, IAC 2019* (p. 50118). International Astronautical Federation.
- Miller, B. J. (2001). *Structural roof systems for athletic stadia* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Motro, R. (2003). *Germedenge çatkılar: structural systems for the future*. Elsevier.
- Motro, R. (1992). Tensegrity systems: the state of the art. *International journal of space structures*, 7(2), 75-83.
- Mullin, S. (2003). Cedric Price: 1934–2003. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 7(2), 113-118.
- Mutaz, T., Khalid, Z., ve Kamoona, H. H. A. (2021). The revival of the historic Islamic geometric pattern on the gate of The Al-Sharabeya School in Wasit City using the Grasshopper program. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 389-399.
- Mutaz, T., Khalid, Z., ve Kamoona, H. H. A. (2021). The revival of the historic Islamic geometric pattern on the gate of The Al-Sharabeya School in Wasit City using the Grasshopper program. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 389-399.
- Mutaz, T., Khalid, Z., ve Kamoona, H. H. A. (2021). The revival of the historic Islamic geometric pattern on the gate of The Al-Sharabeya School in Wasit City using the Grasshopper program. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(2), 389-399.

- Neves, J. D., ve Damazio, V. The Blur Building.
- New York Times Theater Reviews. (2001). *The New York Times Film Reviews 1999-2000*. Taylor ve Francis.
- Obara, P.; Kłosowska, J.; Gilewski, W. Truth and myths about 2D germedenge çatkılar trusses. *Appl. Sci.* 2019, 9, 179. [CrossRef]
- Oppenheim, I. J., ve Williams, W. O. (1997, November). Germedenge çatkılar prisms as adaptive structures. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 18220, pp. 113-120). American Society of Mechanical Engineers.
- Oppenheim, I. J., ve Williams, W. O. (1997, November). Germedenge çatkılar prisms as adaptive structures. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition* (Vol. 18220, pp. 113-120). American Society of Mechanical Engineers.
- Oxford Jr, J. T. (2012). *Analysis of multiple flight control architectures on a six degree of freedom general aviation aircraft* (Doctoral dissertation, Wichita State University).
- Pedro, M. K. P. A. P. (2015). Paper Architecture inspired in Origami and Emergency Temporary Architecture.
- Pleşcan, C., Conțiu, M., ve Dósa, A. (2018, August). A study of a germedenge çatkılar structure for a footbridge. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 399, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.
- Pruett, R. C. (1998). Complications associated with posterior staphyloma. *Current opinion in ophthalmology*, 9(3), 16-22.
- Rael, R., ve San Fratello, V. (2018). *Printing architecture: Innovative recipes for 3D printing*. Chronicle Books.
- Researchgate.net/figure/Germedenge çatkılar-model-Islands-of-compression-in-a-sea-of-tension_fig4_251300416
- Reynaldi, M. A., Kridarso, E. R., ve Iskandar, J. (2020, February). High-Tech Architecture Perspectives of Sports Hub in Singapore. In *EduARCHsia ve Senvar 2019 International Conference (EduARCHsia 2019)* (pp. 70-76). Atlantis Press.
- Rezakhani, M., ve Kim, S. A. USING VIRTUAL REALITY TO EVALUATE THE IMPACT OF DISPERSION OF ELEMENTS ON KINETIC FACADE.
- Riether, G., ve Wit, A. J. (2015). Redefining the Parametric Pedagogy. In *XIX Congresso Da Sociedade Ibero-Americana De Gráfica Digital* (Vol. 2, No. 3, pp. 713-718).

- Robeller, C., Gamarro, J., ve Weinand, Y. (2017). Théâtre vidy lausanne—a double-layered timber folded plate structure. *Journal of the international association for shell and spatial structures*, 58(4), 295-314.
- Salma, I., Mészáros, T., Maenhaut, W., Vass, E., ve Majer, Z. (2010). Chirality and the origin of atmospheric humic-like substances. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(3), 1315-1327.
- Sande-Friedman, A. (2012). *Kenneth Snelson and the Science of Sculpture in 1960s America*. Bard Graduate Center: Decorative Arts, Design History, Material Culture.
- Sande-Friedman, A. (2012). *Kenneth Snelson and the Science of Sculpture in 1960s America*. Bard Graduate Center: Decorative Arts, Design History, Material Culture.
- Schling, E., Barthel, R., Ihde, A., Tutsch, J., ve Huth, S. (2015, August). Bending-activated germedenge çatkılar. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2015, No. 29, pp. 1-15). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- Schling, E., Barthel, R., Ihde, A., Tutsch, J., ve Huth, S. (2015, August). Bending-activated germedenge çatkılar. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2015, No. 29, pp. 1-15). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
- Sehlström, A. (2019). *Pregermedenge s in nature and technics*. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- Sheep, M. L., Fairhurst, G. T., ve Khazanchi, S. (2017). Knots in the discourse of innovation: Investigating multiple tensions in a reacquired spin-off. *Organization Studies*, 38(3-4), 463-488.
- Sheep, M. L., Fairhurst, G. T., ve Khazanchi, S. (2017). Knots in the discourse of innovation: Investigating multiple tensions in a reacquired spin-off. *Organization Studies*, 38(3-4), 463-488.
- Skelton, R. E., ve De Oliveira, M. C. (2009). *Germedenge çatkılar systems* (Vol. 1). New York: Springer.
- Snelson, K. (1981). Kenneth Snelson. <http://www.kennethsnelson.net/>.
- Snelson, K. (2012). The art of germedenge çatkılar. *International journal of space structures*, 27(2-3), 71-80.
- Snelson, K. (2012). The art of germedenge çatkılar. *International journal of space structures*, 27(2-3), 71-80.
- Snelson, K. (2012). The art of germedenge çatkılar. *International journal of space structures*, 27(2-3), 71-80.

- Snelson, Kenneth. "The art of germedenge çatkılar." (2012)
- Snelson, K. D. (1965). *U.S. Patent No. 3,169,611*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Stamenovic, D. (2006). Models of cytoskeletal mechanics based on tensegrity. *Cytoskeletal mechanics*, 103-128.
- Stamenović, D., ve Ingber, D. E. (2009). Tensegrity-guided self assembly: from molecules to living cells. *Soft Matter*, 5(6), 1137-1145.
- Sturm, J. F. (1999). Using SeDuMi 1.02, a MATLAB toolbox for optimization over symmetric cones. *Optimization methods and software*, 11(1-4), 625-653.
- Suchman, L. (2000). Organizing alignment: A case of bridge-building. *Organization*, 7(2), 311-327. Snelson, K. (1996). Snelson on the germedenge çatkılar invention. *International Journal of Space Structures*, 11(1-2), 43-48.
- Sullivan, M. (2008). *The Arts of China, Revised and Expanded*. Univ of California Press.
- Tibert, A.G.; Pellegrino, S. Review of biçim-finding methods for germedenge çatkılar structures. *Int. J. Space Struct.* **2003**, 18, 209–223.
- Timoshenko, S. (1983). *History of strength of materials: with a brief account of the history of theory of elasticity and theory of structures*. Courier Corporation.
- Wake, W. K. (2000). *Design paradigms: a sourcebook for creative visualization*. John Wiley ve Sons.
- Wilkins, H. (2007). An investigation of the adaptive opportunity of rudimentary structures based on field experiments. *Building and environment*, 42(11), 3883-3893.
- Wirdzek, P., Lintner, W., Mathew, P., ve Carlisle, N. (2004). Energy efficiency programs for niche markets: The Labs21 program as an exemplar.
- Wolff, J., ve Wolff, J. (1981). *The social production of art* (pp. 26-48). Macmillan Education UK.
- Wood, C. (2020). *A Retrofit Analysis of Unreinforced Masonry Walls Under Blast Loading* (Doctoral dissertation, University of Idaho).
- Wood, J. M., Tyrrell, R. A., Chaparro, A., Marszalek, R. P., Carberry, T. P., ve Chu, B. S. (2012). Even moderate visual impairments degrade drivers' ability to see pedestrians at night. *Investigative ophthalmology ve visual science*, 53(6), 2586-2592.
- Wright, F. L. (2010). *The essential Frank Lloyd Wright: critical writings on architecture*. Princeton University Press.

- Wroldsen, A. S. (2007). Modelling and control of germedenge çatkılar structures. *Diss. Norwegian University of Science and Technology*.
- Wroldsen, A. S. (2007). Modelling and control of germedenge çatkılar structures. *Diss. Norwegian University of Science and Technology*.
- Yap, L., ve Maringka, P. (2010). Cultural relevance in sustainable product design and development.
- Zaizen, M., Urakawa, T., Matsumoto, Y., ve Takai, H. (2000). The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *Urban water*, 1(4), 355-359.
- Zhang, J. Y., ve Ohsaki, M. (2006). Adaptive force density method for biçim-finding problem of germedenge çatkılar structures. *International journal of Solids and Structures*, 43(18-19), 5658-5673.
- Zhang, L. Y., Zhu, S. X., Li, S. X., ve Xu, G. K. (2018). Analytical biçim-finding of tensegrities using determinant of force-density matrix. *Composite Structures*, 189, 87-98.
- Zolesi, V. S., Ganga, P. L., Scolamiero, L., Micheletti, A., Podio-Guidugli, P., Tibert, G., ... ve Ghiozzi, M. (2012, July). On an innovative deployment concept for large space structures. In *42nd International Conference on Environmental Systems* (p. 3601).

