FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI

İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF FEYZA BAŞOĞUL

İSTANBUL, 2021

FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
MİMARLIK PROGRAMI

İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELİF FEYZA BAŞOĞUL
(190201010)

Danışman
(Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ)

İSTANBUL, 2021

FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
TEZ ONAY FORMU

23/06/2021

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı'nda 190201010 numaralı Elif Feyza BAŞOĞUL'un hazırladığı "İslami Geometrik Desenlerin Üçüncü Boyutu " konulu Mimarlık Tezli Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, 23/06/2021 Çarşamba günü saat 11:00 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE** karar verilmiştir.

Düzeltme verilmesi halinde:
Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı …/…/20… tarihinde, saat …:… da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının İslami Geometrik Doku Esaslı Geçmeli Strüktür Önerisi şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ	23/ 06/ 2021	**KABUL**
Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP	23/ 06/ 2021	**KABUL**
Dr. Öğr. Üyesi Emine Merve OKUMUŞ	23/ 06/ 2021	**KABUL**
(İkinci Danışman) *.....	…/ …/20…	**……**
*.....	…/ …/20…	**……**

*2. Danışman varsa doldurulacak

BEYAN BİLDİRİM

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bağlı olduğum üniversite veya bir başka üniversitedeki başka bir çalışma olarak sunulmadığını beyan ederim.

Elif Feyza BAŞOĞUL
İmza

İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR ÖNERİSİ

Elif Feyza BAŞOĞUL

ÖZET

Birçok İslami geometrik doku şeritlerden oluşmaktadır. Bu şeritler, birbirlerinin üzerinden veya altından sistematik biçimde geçerek, bir örüntü yaratmaktadırlar. Bu durum, geçmeli strüktürlerdeki (*Reciprocal Frame Structures*) prensiple aynıdır. Bu durumdan yola çıkarak bu çalışmada, geçmeli strüktür yapı prensibi ile iki boyutlu İslami geometrik dokuları, üçüncü boyuta yükseltilmesi hedeflenmektedir. Seçilen geometrik doku geçmeli strüktür prensibinde üçüncü boyuta çıkartılmış ve strüktürel performans analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İslami geometrik dokular, Geçmeli strüktürler, Strüktürel analiz

GEOMETRIC ISLAMIC PATTERN BASED RECIPROCAL STRUCTURE PROPOSAL

Elif Feyza BASOGUL

ABSTRACT

Many geometric Islamic patterns patterns include strips. The strips create a tessellation by systematically passing over or under each other. Reciprocal frame structures have the same system. Based on this situation, it is aimed to lift the two-dimensional geometric Islamic patterns to the third dimension with the principle of reciprocal frame structures. The selected geometric Islamic pattern was lifted to the third dimension with the principle of reciprocal frame structures and structural performance analyzes were conducted.

Keywords: Geometric Islamic patterns, Reciprocal frame structures, Structural analysis

ÖNSÖZ

Yüksek lisans sürecim boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, akademik sürecim boyunca ilerlemem adına teşvik eden, tez çalışmam süresince yönlendiren, tüm sıkıntılarımda desteğini esirgemeyen ve uzaktan eğitimin getirdiği tüm zorlukları sistematik yaklaşımıyla aşmama yardımcı olan danışmanım Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez savunma jürisinde bulunan değerli Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP ve Dr. Öğr. Üyesi Emine Merve OKUMUŞ hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca bana her türlü desteği sağlayan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
ÖNSÖZ vi
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ 1
1.2. ARAŞTIRMA SORUSU VE AMAÇ 2
1.3. KAPSAM 2
1.4. YÖNTEM 3
2. LİTERATÜR TARAMASI 5
2.1. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULAR 5
2.1.1. İslami Geometrik Doku Yaratma Teknikleri 5
2.1.2. Sayısal Tasarım ve İslami Geometrik Doku 11
2.2. GEÇMELİ STRÜKTÜRLER *(RECIPROCAL FRAME STRUCTURES)* 15
2.2.1. Geçmeli Strüktür Sistemi 16
2.2.2. Geçmeli Strüktür Tasarımı Örnekleri 20
2.2.3. Geçmeli Strüktür Benzeri Diğer Örnekler 37
3. İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR 48
3.1. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULARIN POTANSİYEL ÜÇÜNCÜ BOYUTU 48
3.2. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULARI ÜÇÜNCÜ BOYUTA KALDIRMA DENEMELERİ 49
3.3. İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR PARAMETRİK MODELLEMESİ 54
4. İSLAMİ DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR ANALİZİ 62
4.1. STRÜKTÜREL ANALİZ 62
4.2. SİMÜLASYON ÖN HAZIRLIKLARI 65
4.3. YEDİ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZ SONUÇLARI 67

4.3.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler 69
4.3.2. Destek Değişkeni ile Yapılan Testler 72
4.4. ON DOKUZ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZ SONUÇLARI 82
4.4.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler 83
4.4.2. Profil Birim Kalınlığı Değişkeni ile Yapılan Testler 86
4.5. OTUZ YEDİ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZİ 90
4.5.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler 91
4.5.2. Profil Birim Kalınlığı Değişkeni ile Yapılan Testler 94
4.6. BÖLÜM SONUCU 98
SONUÇ 104
KAYNAKLAR 106
EKLER 115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Nasr İbni Ali'nin mezarındaki tuğladan oluşturulmuş Nokta Birleştirme Tekniğine örnek doku (Bonner, 2017, s:212) 6

Şekil 2.2: Izgara (Grid) Tekniği örnekleri (Bonner, 2017, s:155) 6

Şekil 2.3: İsfahan Cuma Camisi'nden oluşturulmuş Poligonal Tekniğe örnek doku (Bonner, 2017, s:188) 7

Şekil 2.4: Beşgen oluşum aşamaları (Brough, 2008) 8

Şekil 2.5: Altıgen oluşum aşamaları (Brough, 2008) 9

Şekil 2.6: Altıgen oluşumu (Critchlow, 1983; Ulu, 2009) 9

Şekil 2.7: Sekizgen oluşumu (Critchlow, 1983; Ulu, 2009)..... 10

Şekil 2.8: Onikigen oluşumu (Ulu, 2009)..... 11

Şekil 2.9: İslami Geometrik dokusu, hücre (*Cell*) ve temel birimi (*Fundamental Unit*) (Barrios ve Alani, 2015) 12

Şekil 2.10: Yıldız hücresinin (*Cell*) renk ve dokudaki değişikliklerden dolayı oluşan parametrik varyasyonları (Barrios ve Alani, 2015) 12

Şekil 2.11: Aslı Ağırbaş'ın lisans dersi kapsamında gerçekleştirdiği çalışmadaki öğrenci çalışmalarından örnekler (soldan sağa Talha Gürsal, Gamze Meriç, Merve Aydın) (Agirbas, 2017) 13

Şekil 2.12: Dokunun üretim süreci (Cenani ve Çağdaş, 2006)..... 14

Şekil 2.13: Oluşturulan dokunun varyasyonları (Cenani ve Çağdaş, 2006)..... 14

Şekil 2.14: İslami geometrik dokudan oluşturulan parametrik varyasyonlar (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)..... 15

Şekil 2.15: Temel durum için gün ışığı simülasyon sonucu (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)..... 15

Şekil 2.16: İslami geometrik doku ile yapılan 12 test (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)..... 15

Şekil 2.17: Bir *fan*'ın plan görünümü (Baverel, 2000, s:30) 17

Şekil 2.18: *Refgen* denklemi (Baverel, 2000, s:52) 17

Şekil 2.19: *Refgen* denklemine göre üretilen 5 kenarlı *fan* (Baverel, 2000, s:52).... 17

Şekil 2.20: Baverel tarafından oluşturulan geçmeli strüktür sisteminde bağlantı penceresi (Baverel ve diğerleri, 2000, s:155) 18

Şekil 2.21: a) Yukarı konum b) Aşağı konum (Baverel ve diğerleri, 2000, s:156)... 18

Şekil 2.22: a) Sağ *fan* b) Sol *fan* (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157)..... 19

Şekil 2.23: a) Sağa doğru *fan* b) Sola doğru *fan* (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157) 19

Şekil 2.24: Geometrisi oluşturulacak geçmeli strüktür (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157)..... 19

Şekil 2.25: Modül birimi (Baverel ve diğerleri, 2000, s:158) 20

Şekil 2.26: *Formian*'da fanlama süreci için örnek (Baverel ve diğerleri, 2000, s:158) 20

Şekil 2.27: Da Vinci'nin çentiksiz elemanlar (*Un-Notched Elements*) örneği, Wallis'in çentikli elemanlar (*Notched Elements*) örneği, Serlio'nun hizalı eksen (*Aligned Axis*) örneği (Parigi ve Pugnale, 2012) 21

Şekil 2.28: Villard de Honnecourt'un kirişleme örneği (Barnes, 2009; Karakoç, 2017) 21

Şekil 2.29: Leonardo da Vinci'nin Atlantik kodu'nun (*Atlantic Code*) 286 numaralı sayfasındaki kısa kirişler kullanılarak inşa edilen köprü yapısı (URL 1).... 22

Şekil 2.30: Zhang Zeduan tarafından yapılmış Rainbow Bridge tasviri (URL 2)..... 22

Şekil 2.31: Farklı grid strüktürlere monte edilen beton destek ayak (Pizzigoni, 2010) 23

Şekil 2.32: Farklı grid strüktürlere monte edilen beton destek ayağın diğer bir görünümü (Pizzigoni, 2010) 24

Şekil 2.33: Destek ayaklar ile geçmeli strüktür sistemi'ne göre oluşturulan 5 altıgenden oluşan beşgen kompozisyon (Pizzigoni, 2010) 24

Şekil 2.34: Bamboo Pavilyonu (URL 3)..... 25

Şekil 2.35: Bamboo Pavilyonu modül birimi (URL 3)..... 25

Şekil 2.36: Forest Park Pavilyonu (URL 4)..... 26

Şekil 2.37: Forest Park Pavilyonu içerden görünüm (URL 4)..... 26

Şekil 2.38: Coca Cola Pavilyonu (URL 5) 27

Şekil 2.39: Coca Cola Pavilyonu modül birimi (URL 5) 27

Şekil 2.40: Kreod Pavilyonu (URL 6) 28

Şekil 2.41: Kreod Pavilyonu modül birimi (URL 6) 28

Şekil 2.42: Arkeolojik alan örtüsü (URL 7) 29

Şekil 2.43: Arkeolojik alan örtüsünün birimi (Gustafsson, 2016)..... 29

Şekil 2.44: Frans Masereel Centrum çatı görünümü (URL 8) 30

Şekil 2.45: Frans Masereel Centrum detay görünümü (URL 9)..... 30

Şekil 2.46: Pizzigoniye ait çizim (Pizzigoni ve Paris, 2014)..... 31

Şekil 2.47: Antonio da Sangallo il Giovane'ye ait balık sırtını anlatan çizim (Pizzigoni ve Paris, 2014) 31

Şekil 2.48: Woodland Community Hall (Chilton, 2009)..... 32

Şekil 2.49: Woodland Community Hall çatı strüktürü (Chilton, 2009) 32

Şekil 2.50: Rokko-Shidare Gözlemevi (*Observatory*) (Popovic Larsen, 2014)..... 33

Şekil 2.51: Geçmeli strüktür dokusunda kullanılan bambu tüpler (Popovic Larsen, 2014) 33

Şekil 2.52: Sergi salonunun geçmeli strüktür tekniği ile tasarlanan çatı örtüsü (Popovic Larsen, 2008)..... 34

Şekil 2.53: Sergi salonun çatı strüktürü (Popovic Larsen, 2008) 35

Şekil 2.54: Stonemason Müzesi (Popovic Larsen, 2008) 35

Şekil 2.55: Stonemason Müzesi'nin çatı strüktürü (Popovic Larsen, 2008) 36

Şekil 2.56: Stonemason Müzesi'nin içeriden görünümü (Popovic Larsen, 2008) 36

Şekil 2.57: Erzurum Ulu Cami'nin içeriden görünümü (URL 10) 37

Şekil 2.58: Erzurum Ulu Cami'deki mihrap önü kubbesi (URL 11) 37

Şekil 2.59: Pencere parmaklık detayı (Günay, 2017) 38

Şekil 2.60: Alberobello'daki (İtalya) trulli evleri (URL 12) 39

Şekil 2.61: Trulli evleri çatısı (URL 13) 39

Şekil 2.62: Harran Kümbet evleri (URL 14) 40

Şekil 2.63: Harran Kümbet evlerinin içeriden görünümü (URL 14) 40

Şekil 2.64: Manheim Multihalle (URL 15) 41

Şekil 2.65: Manheim Multihalle'nin çatı strüktürü (URL 15) 41

Şekil 2.66: Metropol Parasol (URL 16) 42

Şekil 2.67: Metropol Parasol'un dış cephe görünümü (URL 16) 42

Şekil 2.68: Swatch Genel Merkezi'nin içeriden görünümü (URL 17) 43

Şekil 2.69: Swatch Genel Merkezi'nin çatı strüktürü (URL 18) 43

Şekil 2.70: Pompidou Merkezi (URL 19) 44

Şekil 2.71: Pompidou Merkezi'nin içeriden görünümü (URL 19) 44

Şekil 2.72: Bambu taburenin üstten görünümü (URL 20) 45

Şekil 2.73: Bambu tabure (URL 20) 45

Şekil 2.74: Kafes sandalye (URL 21) 46

Şekil 2.75: Kafes sandalyenin yakından görünümü (URL 21) 46

Şekil 2.76: Japon sepetleri (URL 22) 47

Şekil 3.1: Ahlat mezar taşı (Agirbas, 2020) 48

Şekil 3.2: Ahlat mezar taşı dokusundan çıkarılan çizim (Agirbas, 2020) 49

Şekil 3.3: Üçgen, beşgen, altıgen geçmeli strüktür modülü denemeleri 50

Şekil 3.4: Modeldeki yedi referans daire 54

Şekil 3.5: Yedi modüllü dokunun oluşturulma süreci 55

Şekil 3.6: Yedi modüllü doku betiğinde kirişlerin oluşturulması 56

Şekil 3.7: Kirişlerin üst üste binmesi 56

Şekil 3.8: Yedi modüllü doku betiğinde ara kolonun oluşturulması 57

Şekil 3.9: Modeldeki on dokuz referans daire 58

Şekil 3.10: On dokuz modüllü model şematik gösterimi 58

Şekil 3.11: Modeldeki otuz yedi referans daire 59

Şekil 3.12: Otuz yedi modüllü modelin şematik gösterimi 60

Şekil 3.13: Modül birimi 60

Şekil 3.14: 37 modüllü dokunun parçalarının üst üste binme prensibi 61

Şekil 4.1: Kullanılan Karamba betiği 63

Şekil 4.2: Çekme gerilmesi (*Tension*), basınç/sıkıştırma (*Compression*) ve kesme (*Shear*) gerilmesinin şematik gösterimi (Demirel, 2018) 64

Şekil 4.3: Yıldız kolların birleşim yerlerindeki ara kolonlar (ara kolon yüksekliği: 2 cm) 65

Şekil 4.4: Gustafsson'un (2016) Karamba'da geçmeli strüktür analizini yapmak için kullandığı yöntem 66

Şekil 4.5: Destek (*Support*) bileşeni 66

Şekil 4.6: 6 hareket modu veya serbestlik derecesi (*Degrees of Freedom*- DOFs) (Preisinger, 2019) 67

Şekil 4.7: 7 modüllü dokunun destek lokasyonları 72

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: 6 kollu yıldız kompozisyonu ve geçmeli strüktür hali için eskizler 51

Tablo 4.1: 7 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri 68

Tablo 4.2: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet) 69

Tablo 4.3: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet)..... 70

Tablo 4.4: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet)..... 71

Tablo 4.5: 7 modüllü ahşap malzemeli örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)..... 73

Tablo 4.6: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)..... 74

Tablo 4.7: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)..... 75

Tablo 4.8: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet) 76

Tablo 4.9: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet)..... 77

Tablo 4.10: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet)... 78

Tablo 4.11: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet) 79

Tablo 4.12: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet)..... 80

Tablo 4.13: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet)..... 81

Tablo 4.14: 19 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri 82

Tablo 4.15: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu 83

Tablo 4.16: 19 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu..... 84

Tablo 4.17: 19 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu 85

Tablo 4.18: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 2 cm x 4 cm) 86

Tablo 4.19: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 3 cm) 87

Tablo 4.20: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 4 cm) 88

Tablo 4.21: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 4 cm x 4 cm) 89

Tablo 4.22: 37 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri 90

Tablo 4.23: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu 91

Tablo 4.24: 37 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu..... 92

Tablo 4.25: 37 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu 93

Tablo 4.26: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 2 cm x 4 cm) 94

Tablo 4.27: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 3 cm) 95

Tablo 4.28: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 4 cm) 96

Tablo 4.29: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 4 cm x 4 cm) 97

Tablo 4.30: 7 modüllü modelin karşılaştırmalı sonuçları 99

Tablo 4.31: 19 modüllü modelin malzeme değişkeni için karşılaştırmalı sonuçları 101

Tablo 4.32: 37 modüllü modelin malzeme değişkeni için karşılaştırmalı sonuçları 102

Tablo 4.33: 19 modüllü ahşap modelin profil kesit karşılaştırmalı sonuçları..... 103

Tablo 4.34: 37 modüllü ahşap modelin profil kesit karşılaştırmalı sonuçları..... 103

1. GİRİŞ

Binalarda geniş açıklık yaratabilmek için kullanılan strüktür tiplerinden biri geçmeli strüktürlerdir (*Reciprocal Frame Structures*). Birçok elemanın üst üste bindirilmesiyle oluşturulan geçmeli strüktürlerin, geniş açıklık geçmek için kullanılan diğer strüktürel sistemlere göre çeşitli avantajları vardır (Danz, 2014). Geçmeli strüktürler, hızlı, ucuz ve basit tasarım çözümlerinde kullanılabilir, farklı malzemelerin kullanımıyla oluşturulabilir. Elemanların üst üste binmesiyle oluşturulduğundan basit birleşim detaylarıyla üretilebilir. Bununla birlikte yeni gelişen üretim teknolojilerinin (robotik üretim, CNC ile üretim gibi) kullanımıyla Mesnil ve diğerlerinin (2018) yaptığı gibi geçmeli strüktür üretimini üzerine yakın zamanda denemeler yapılmaya başlanmıştır. Bu yüzden bu strüktür tipinin daha da yaygınlaştıracağı düşünülebilir. Ancak geçmeli strüktürler, Popovic Larsen (2014), Pugnale ve Sassone (2014) ile Gherardini ve Leali'nin (2017) üretilmiş geçmeli strüktürleri derlediği çalışmalarında da görülebileceği gibi günümüze kadar belli başlı geometriler esas alınarak üretilmektedir. Garcia Puyol (2015) ve Tosic ve diğerlerinin (2018) yaptıkları çalışmalarda da aynı temel geometrik altyapıların kullanıldığı görülmektedir. Parigi ve Pugnale'nin (2012) ise bu belli başlı geometrileri tekrarlı bir şekilde düzenli olarak üçüncü boyuta kaldırmak yerine, daha düzensiz olarak farklı biçimlerde üçüncü boyuta kaldırmayı denemesinin, geçmeli strüktür konusunda dünya çapında bir çeşitlendirme arayışının olduğunu göstermektedir. Gerekli strüktürel dayanım testleri yapılarak, çağdaş üretim tekniklerine uygun, geçmeli strüktür formlarının çeşitlendirilmesi ve strüktürel dayanım açısından karşılaştırılması gerekir.

1.1. TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ

Çok merkezli geçmeli strüktürler ile iki boyutlu çokgen altyapısındaki İslami geometrik dokuların aynı prensipte yapılandığı tespit edilmiştir. Bourgoin (1879), Schneider (1980), Critchlow (1983), Hankin (1998), Broug (2008), Cromwell (2009), Bodner (2012), Sarhangi (2012), Redondo Buitrago ve Huylebrouck (2015), Bonner (2017) ve Agirbas'ın (2020) çalışmalarındaki İslami geometrik dokular

incelendiğinde bu durum görülebilmektedir. Ancak bugüne kadar çok merkezli geçmeli strüktürler ile iki boyutlu çokgen altyapısındaki İslami geometrik dokuların potansiyel ilişkisi üzerine yapılmış herhangi bir çalışma yoktur. Bu yüzden bu çalışma kapsamında yapılacak olan iki boyutlu İslami geometrik dokuların geçmeli strüktür prensibiyle üçüncü boyuta kaldırılması, gerekli strüktürel dayanım testlerinin yapılarak karşılaştırmasının yapılması bu çalışmayı özgün kılmaktadır. Böylelikle geleneksel öğelerin altyapısına dayalı olarak strüktürel dayanımı yüksek, farklı form çeşitliliğinde, çağdaş geçmeli strüktür modelleri elde edilebilir.

1.2. ARAŞTIRMA SORUSU VE AMAÇ

Bu çalışma kapsamında "Geleneksel İslami dokulardaki hücrelerin birleşme prensipleri kullanılarak geçmeli strüktürler oluşturulabilir mi?" sorusuna cevap aranacaktır.

Geçmeli strüktür prensibiyle iki boyutlu İslami geometrik dokulardaki hücre birleşim prensipleri örtüşmektedir. Bu yüzden bu çalışmada iki boyutlu İslami geometrik dokulardaki hücre birleşim prensipleri kullanılarak bu dokuların geçmeli strüktür prensibiyle üçüncü boyuta çıkarılması amaçlanmıştır. Ayrıca gerekli strüktürel dayanım testlerinin yapılarak İslami geometrik doku prensipleri kullanılarak elde edilen geçmeli strüktürlerin, strüktürel dayanım karşılaştırmasının yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma sonucunda, geleneksel altyapıya dayalı, dayanımı yüksek, çağdaş geçmeli strüktür modellerinin elde edilebilmesi hedeflenmektedir.

1.3. KAPSAM

Çalışma, üçüncü boyuta geçmeli strüktür prensibi kullanılarak kaldırılması için belli bir tipolojideki İslami dokuyla sınırlı tutulmuştur. Bu doku, altıgen esaslı İslami geometrik dokudur.

Bu tez çalışmasındaki İslami dokuların üçüncü boyuta kaldırılması ve geçmeli strüktür haline getirilmesinde Gerd Schneider'in (1980) sınıflandırılmasından yararlanılmıştır. Çünkü Gerd Schneider'in (1980) çizimlerinde

İslami dokularının üçüncü boyutunun nasıl olduğu veya olabileceği (şeritlerin alttan veya üstten geçmesi) belirlidir. Bu geçmeli strüktürün organizasyonu için önemlidir.

Bu tipteki strüktür İngilizcede *"Reciprocal Frame Structures"* olarak adlandırılmaktadır. Türkçe'ye çevrildiğinde "Karşılıklı Çerçeve Strüktürler" olarak çevrilebilir. Ancak bu tamlama tam olarak strüktürün tipini yansıtmamaktadır. Bu yüzden bu tez çalışması kapsamında *reciprocal structures'ın* "Geçmeli Strüktür" olarak ifade edilmesi uygun görülmüştür.

1.4. YÖNTEM

Araştırma sürecinde geleneksel İslami dokular ve geçmeli strüktürler ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra üçüncü boyuta geçmeli strüktür prensibi kullanılarak kaldırılıp altıgen esaslı İslami geometrik doku belirlenmiştir. Bu belirleme yapılırken, üst üste binme prensibinin görsel olarak oluşturulmuş olduğu iki boyutlu doku seçilmiştir. Bunun yanı sıra, ilk kez bu kapsamda bir çalışma yapılacağından, dokulardaki çokgen birleşim yerlerindeki düğümlerin en temel düzeyde olanları seçilmiştir.

Daha sonraki aşamada, eskiz niteliğindeki maketler yapılmıştır. Bu maketlerde birimlerin nasıl iki boyuttan üç boyuta kaldırılabileceği ile ilgili testler yapılmıştır. Sonrasında belirlenen dokunun Grasshopper parametrik modelleme programı kullanılarak, üst üste binmeli olarak üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur.

Üç boyutlu modeller oluşturulduktan sonra, modellerin strüktürel analizleri (Finite Element Analysis) (Gecys et.al. 2015; Bi, 2018) yapılmıştır. Bu analizler, Rhino programı içinde çalışan Grasshopper programına bir eklenti olan Karamba (Preisinger ve Heimrath, 2014) programında yapılmıştır. Analizler yapılmadan önce, programa sabitler ve değişkenler tanımlanmıştır. Sabit değerler olarak yerçekimi ve doku boyutu belirlenmiştir. Değişkenler olarak ise malzeme (ahşap, çelik ve beton) ve birim kesit tipi tanımlanmıştır. Ayrıca farklı testler için farklı destek noktaları belirlenmiştir. Farklı değişken değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Böylece, analizler sonucunda strüktürel dayanım karşılaştırması yapılabilmiştir.

7 modüllü doku kullanılarak strüktürel analiz testleri yapılmıştır. 7 modüllü dokunun strüktürel analizleri için ilk testlerde sabit değerler destek sayısı (12), doku boyutu (200 cm), profil birim kalınlığı (3 cm x 2 cm) olarak tanımlanırken değişken değerler ise malzeme (ahşap, çelik ve beton) olarak tanımlanmıştır. Diğer testlerde ise destek değişkeni kullanılarak testler yapılmıştır.

19 modüllü doku kullanılarak strüktürel analiz testleri yapılmıştır. 19 modüllü dokunun strüktürel analizleri için, ilk testlerde sabit değerler destek sayısı (24), doku boyutu (390 cm), profil birim kalınlığı (3 cm x 2 cm) olarak tanımlanırken değişken değerler ise malzeme (ahşap, çelik ve beton) olarak tanımlanmıştır. Diğer testlerde ise sabit değerler malzeme (ahşap, çelik ve beton), yerçekimi ve doku boyutu (390 cm) olarak tanımlanırken değişken değerler ise profil birim kalınlığı (3 cm x 2 cm, 2 cm x 4 cm, 3 cm x 3 cm, 3 cm x 4 cm ve 4 cm x 4 cm) olarak kullanılmıştır.

37 modüllü doku kullanılarak strüktürel analiz testleri yapılmıştır. 37 modüllü dokunun strüktürel analizleri için ilk testlerde sabit değerler destek sayısı (36), profil birim kalınlığı (3 cm x 2 cm) ve yerçekimi olarak tanımlanırken değişken değerler malzeme (ahşap, çelik ve beton) olarak tanımlanmıştır. Diğer testlerde ise sabit değerler malzeme (ahşap), destek sayısı (36), destek lokasyonu ve yerçekimi olarak tanımlanırken değişken değerler profil birim kalınlığı kalınlığı (3 cm x 2 cm, 2 cm x 4 cm, 3 cm x 3 cm, 3 cm x 4 cm ve 4 cm x 4 cm) olarak kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULAR

Emeviler, Abbasiler, Karahanlılar ve Büyük Selçuklular dönemlerinde İslam sanatı ve mimarisi oldukça ilerlemiştir (Mülayim, 1982). İslam mimarisinde pek çok süsleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu süsleme tekniklerinin başında kaligrafi, geometri ve çiçek motifleri yer almaktadır. İslamiyette insan ve hayvan gibi suretlerin betimlenmesi yasak olduğundan heykelcilik çok gelişememiştir. Buna karşın geometrik dokular müslümanların en çok kullandığı ifade biçimi olmuştur ve geometrik dokularda hızlı bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu bağlamda geometri, İslami dokular için önemli bir konumda yer almıştır (Bonner, 2017).

İslami geometriler, kufi, arabesk ve kompleks çokgen geometrisi olarak üç başlık altında incelenmektedir. Kufi geometriler genellikle kare ve dikdörtgenden oluşan motiflerdir. Bu motifler genellikle yapıların dışında kullanılmaktadır (Ulu, 2009). Arabesk geometri ise çiçek motifleri gibi figüratif ögelerden oluşmaktadır ve müslümanlar için süs olarak kabul edilmektedir (Necipoğlu, 1995).

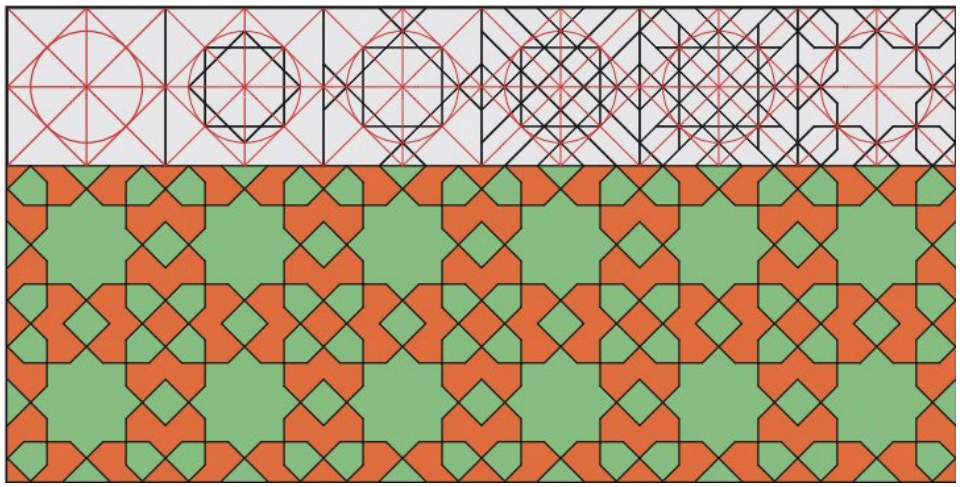
2.1.1. İslami Geometrik Doku Yaratma Teknikleri

Mülayim'e (1982) göre İslami geometrik dokularının çözümlenmesindeki ana kural, bütünü oluşturan birimleri belli bir sistemde ayrıştırmaktır. Ayrışan bu birimler temelde bir ya da birden fazla parçaya inmektedir (Mülayim, 1982).

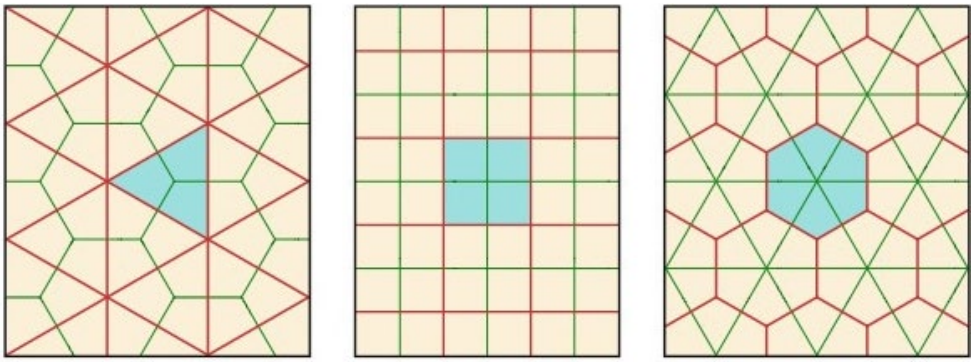
Bonner'a (2017) göre İslami geometrik doku tek bir birimin kendini tekrarı ile oluşmaktadır. Birimin simetrisi ise geometrik dokunun oluşumu için önemlidir. İslami geometrik dokuyu meydana getirmek için *Nokta Birleştirme Tekniği*, *Izgara (Grid) Tekniği* ve *Poligonal Teknik* olarak 3 farklı metot uygulanmaktadır. Nokta Birleştirme Tekniği kullanımında kural her çizginin kendinden sonra gelen çizgiye klavuz olması temeline dayanmaktadır. Nokta Birleştirme Tekniğine örnek olarak **Şekil 2.1**'deki Nasr İbni Ali'nin mezarındaki tuğladan oluşturulmuş dokuyu verebiliriz. Izgara (Grid) Tekniği kullanımında ise öncelikle eşkenar üçgen, kare ve

altıgen ızgara alt zemini oluşturulup, bu ızgara zeminini kaynak alarak doku oluşturulmaktadır. Böylelikle doku bir ızgara sistem üzerinden ilerleyerek meydana gelmektedir. **Şekil 2.2**'de grid örnekleri gösterilmiştir.

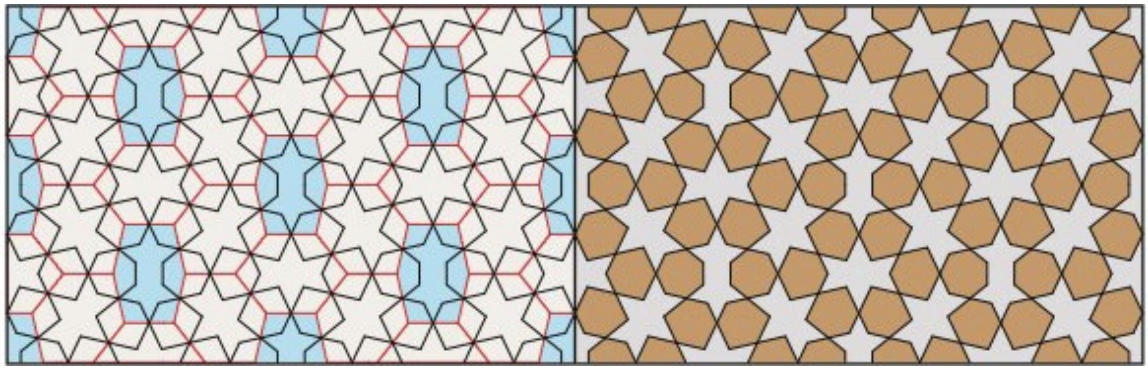
Bonner (2017) temel ve orta seviyedeki dokular için Nokta Birleştirme ve Izgara Tekniğini tercih ederken, karmaşık dokular için ise Poligonal Tekniği kullanmıştır. Poligonal Teknik ilk olarak Hankin (1925) tarafından keşfedilip geliştirilmiştir. Çift katmanlı dokularda kullanılmaktadır. Bu teknik uygulanırken ilk etaptaki geometrik dokuya yeni bir dokunun ilave edilmesi yoluyla daha ayrıntılı bir dokuya dönüştürülür. Dokudaki çokgenlerin orta noktalarına dokuyu oluşturan geometrinin köşelerinin denk getirilmesi ile oluşturur. Poligonal Teknik'e örnek olarak **Şekil 2.3**'deki İsfahan Cami'den oluşturulmuş dokuyu verebiliriz (Bonner, 2017).



Şekil 2.1: Nasr İbni Ali'nin mezarındaki tuğladan oluşturulmuş Nokta Birleştirme Tekniğine örnek doku (Bonner, 2017, s:212)



Şekil 2.2: Izgara (Grid) Tekniği örnekleri (Bonner, 2017, s:155)



Şekil 2.3: İsfahan Cuma Camisi'nden oluşturulmuş Poligonal Tekniğe örnek doku (Bonner, 2017, s:188)

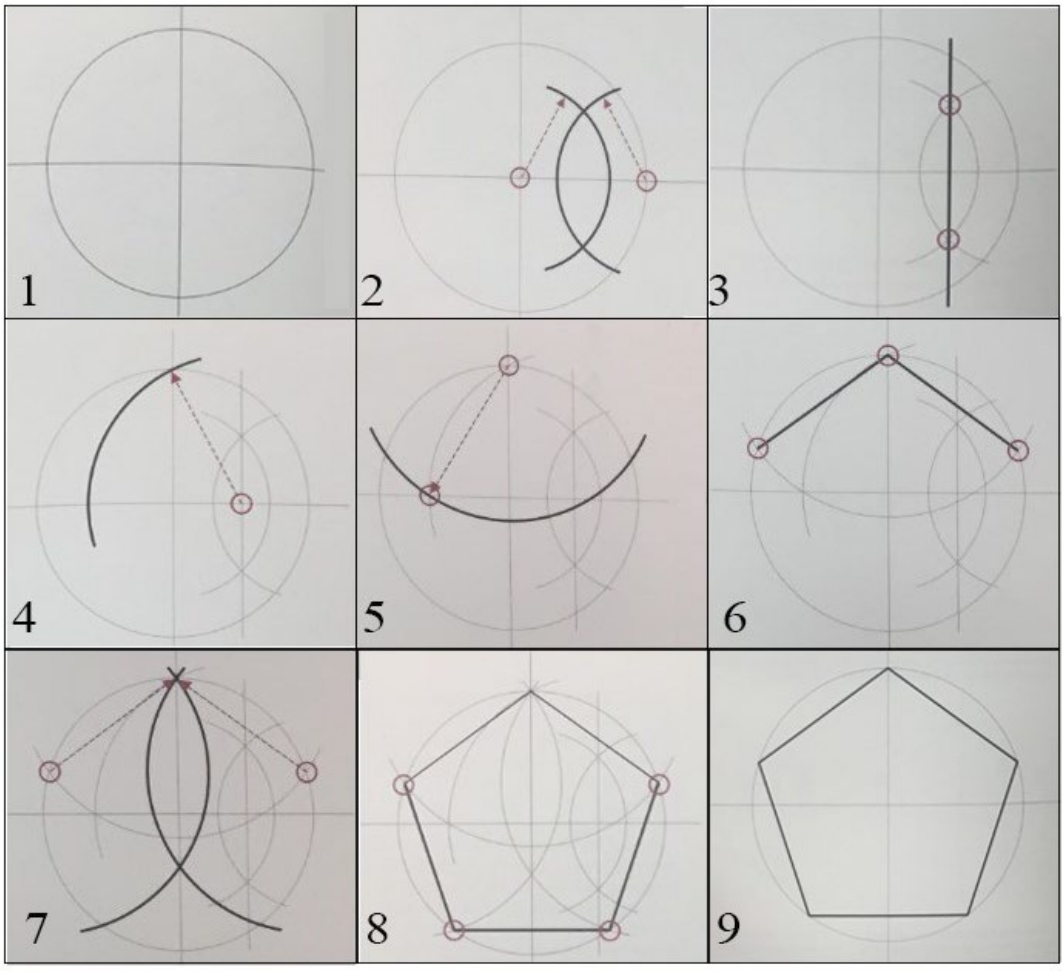
Brough (2008) dokuların oluşturulması yöntemini genellikle çemberler ve çizgiler oluşturarak yapmaktadır. Brough (2008) geçmişte bu dokuların bir ip ve cetvel yardımı ile daire ve bu daireye yardımcı çizgiler çizilerek oluşturulmakta olduğundan bahseder. Brough'a (2008) göre geometrik dokuların pek çoğu bir birimin belirlenip, bu birimin çoğaltılması ile meydana gelmiştir.

Brough'in (2008) çemberler ve çemberleri tamamlayan çizgilerle oluşturduğu yöntemin yukarıdaki bahsedilen Nokta Birleştirme Yöntemi'ndeki nokta ve onu tamamlayan çizgilere benzer sistemde olduğu düşünülebilir.

Brough'a (2008) göre beşgen geometrisi, altıgen, sekizgen ve onikigen gibi geometrik şekillere nazaran daha ender kullanılmıştır. Beşgenin İslami geometrik dokuda daha az kullanılmasının sebebi her bir açısının 108 derece olması ve bundan dolayı diğer bir birimle kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Brough, 2008). Brough'a (2008) göre beşgen oluşumu için aşağıdaki adımlar izlenmektedir **(Şekil 2.4)**.

- İlk olarak daire çizilir.
- Pergeli şekildeki işaretli noktalara yerleştirerek 2 tane kesişen yay çizilir.
- Yayların 2 kesişim noktalarından çizgi çizilir.
- Pergel bir önceki yayların içindeki kesişim noktasına yerleştirilip yatay ve dikeyde kesen bir yay çizilir.
- Pergel yay çizgisinin yataydaki çizgiyi kestiği noktaya yerleştirilerek 4.yay çizilir.

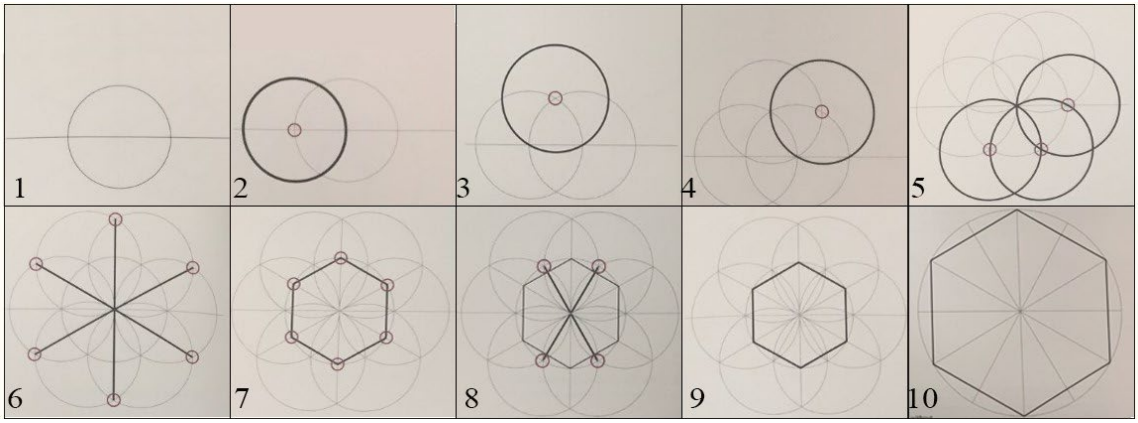
- 4.yay çizgisindeki 2 kesişim noktası şekildeki gibi beşgenin çatısını oluşturucak şekilde birleştirilir.
- Pergel beşgenin çatısını kesicek şekilde yay çizgilerine konularak 2 yay daha çizilir.
- Diğer kesişim noktaları da çizilerek beşgen oluşturulur.
- Beşgenin son hali şekildeki gibidir (Brough, 2008).



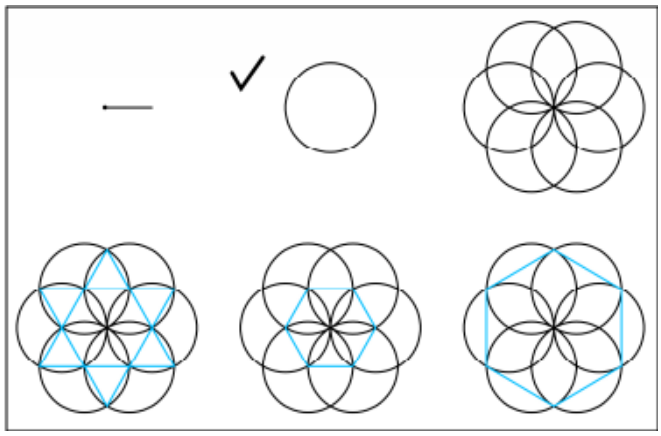
Şekil 2.4: Beşgen oluşum aşamaları (Brough, 2008)

İslami geometrik dokuda altıgen en çok kullanılan şekiller arasında yer almaktadır. Altıgeni oluşturmak için bir çember ve bu çemberin merkezine dik gelen 6 tane çemberin çizilmesi gerekmektedir (Ulu, 2009). Brough'a (2008) göre altıgen oluşumu için aşağıdaki benzer adımlar izlenmektedir **(Şekil 2.5)**. Critchlow'e (1983) göre de altıgen oluşumu benzer şekilde **Şekil 2.6**'daki gibidir.

- Öncelikle yatay bir çizgi ve daire çizilir.
- Pergel daire içine alınmış kesişim noktasına yerleştirilir ve eşit bir daire daha çizilir.
- 2.dairenin üst kısmında kesiştiği noktaya pusula yerleştirilip 3.daire çizilir.
- Pergel şekilde gösterilen kesişim noktasına koyulup 4.daire çizilir.
- Aynı kuralla 3 daire daha çizilir ve sonuç olarak merkezdeki çember etrafında toplamda 6 tane çember oluşturulur.
- Şekildeki gibi üst kesişim noktalarından çizgiler indirilerek 3 çizgi ile birleştirilir.
- Altıgeni oluşturmak için iç dairedeki kesişim noktaları birleştirilir.
- Altıgene şekildeki gibi 2 çizgi daha ekleyerek 12 eşit parçaya bölünür.
- Şekildeki yardımcı çizgiler ile oluşan 12 parçaya bölünmüş bir altıgendir.
- Altıgenin son hali şekildeki gibidir (Brough, 2008).

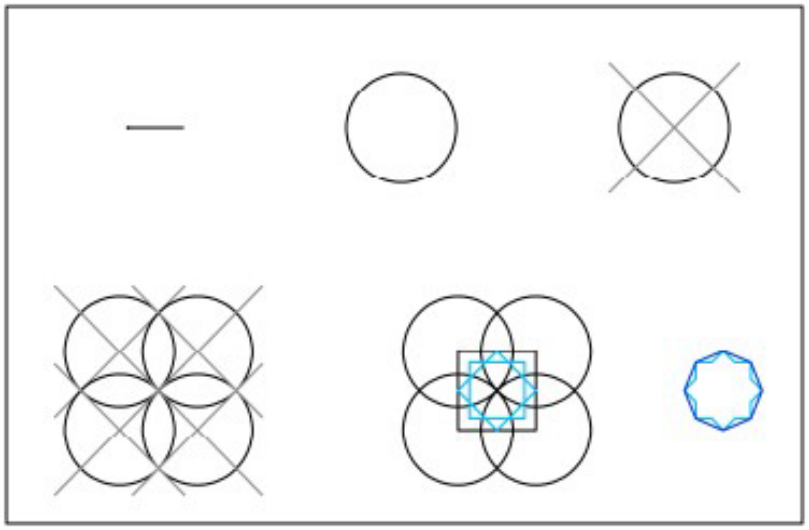


Şekil 2.5: Altıgen oluşum aşamaları (Brough, 2008)



Şekil 2.6: Altıgen oluşumu (Critchlow, 1983; Ulu, 2009)

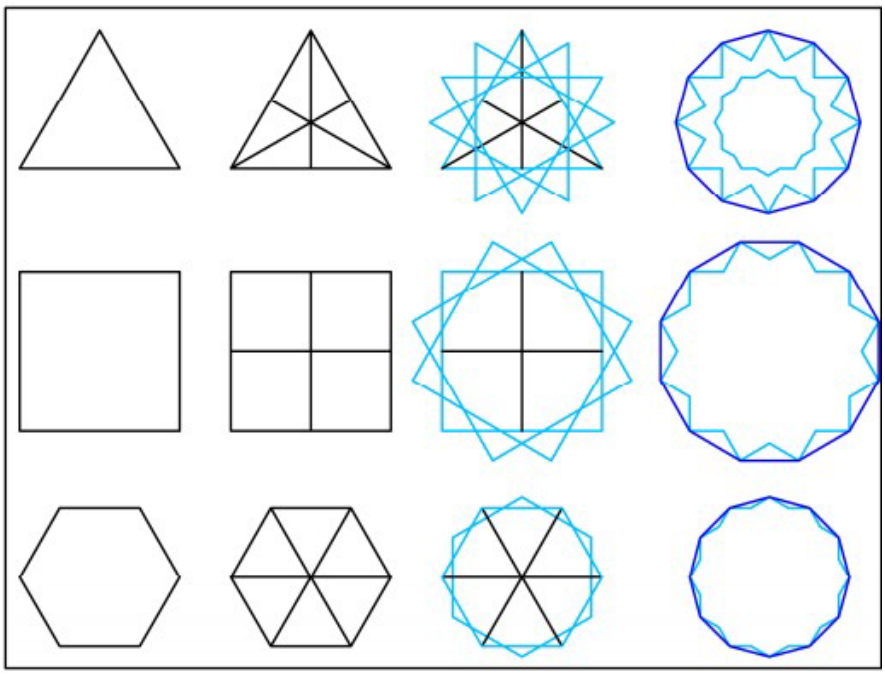
Ulu'ya (2009) göre düzgün sekizgen oluşturmak için ilk olarak çember çizilir. Çizilen bu çembere merkezden dik açı geçecek şekilde 2 çizgi çizilir ve çember 4 eşit parçaya bölünmüş olmaktadır. Daha sonra kesişim noktasına denk gelicek şekilde 4 çember daha eklenmektedir. 4 çemberin merkez noktaları köşe kabul edilecek şekilde bir kare oluşturulur. Bu çizilen karenin bir kenarının orta noktası köşe kabul edilecek şekilde yeni bir kare çizilir. Çizilen bu karenin 45 derece döndürülüp çoğaltılması ile 8 köşeli yıldız elde edilmiş olmaktadır. 8 köşeli yıldızın köşelerini birleştirdiğimizde ise düzgün sekizgen oluşmaktadır. Critchlow (1983) sekizgen oluşumunu **Şekil 2.7**'deki gibi ifade etmiştir (Ulu, 2009).



Şekil 2.7: Sekizgen oluşumu (Critchlow, 1983; Ulu, 2009)

Ulu'ya (2009) göre düzgün onikigen eşkenar üçgen, kare ve altıgenin belirli açılarda döndürülmesi ile oluşmaktadır **(Şekil 2.8)**. Bunlar şu şekildedir:

- 4 tane eşkenar üçgenin aynı merkezde 90 derece açı ile döndürülmesi ile on iki köşeli yıldız oluşmaktadır.
- 3 tane karenin 120 derece açı ile döndürülmesi ile on iki köşeli yıldız oluşmaktadır.
- 2 tane düzgün altıgenin aynı merkezde kesişimi sağlanacak biçimde döndürülmesi ile on iki köşeli yıldız oluşmaktadır.
- Oluşan on iki köşeli yıldızların köşelerinin birleşimi ile düzgün onikigen oluşturulmaktadır (Ulu, 2009).



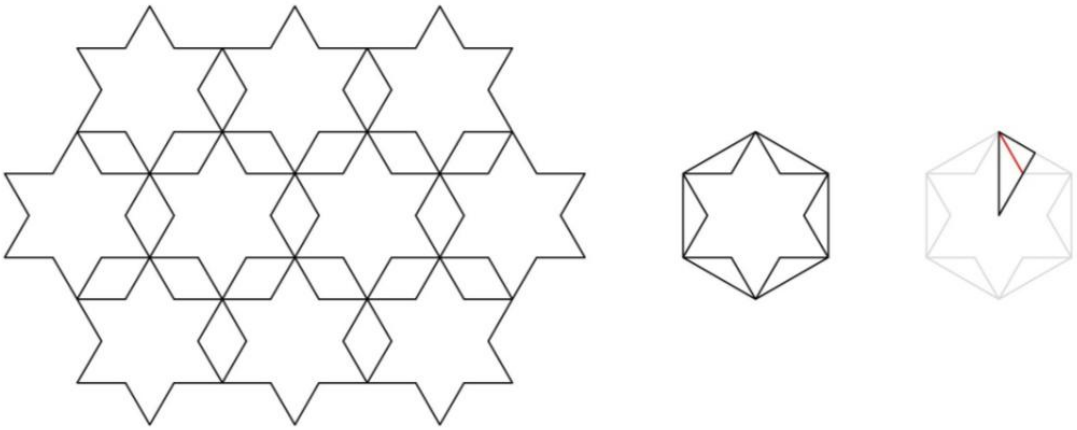
Şekil 2.8: Onikigen oluşumu (Ulu, 2009)

2.1.2. Sayısal Tasarım ve İslami Geometrik Doku

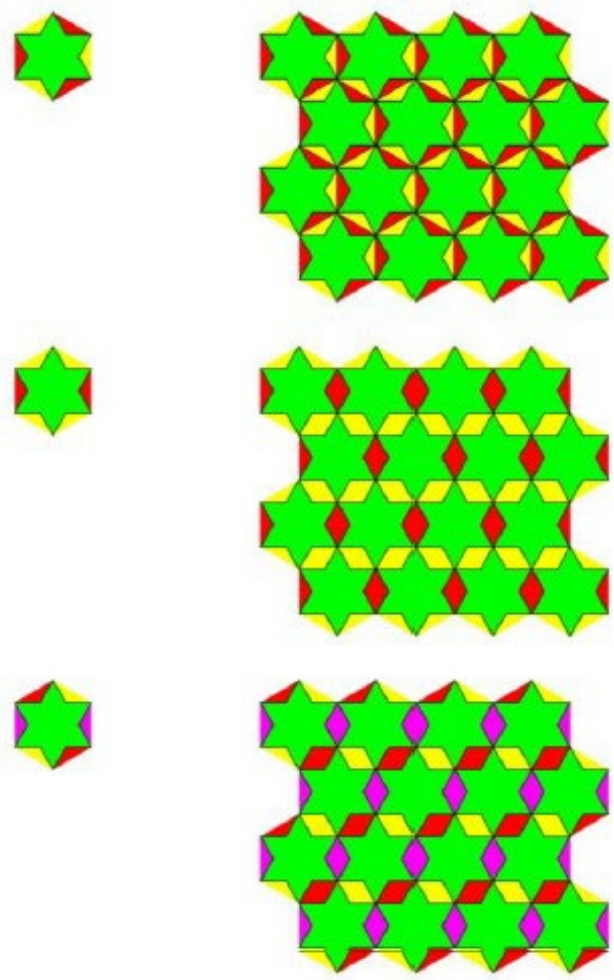
Bu bölümde sayısal tasarım yöntemleri kullanılarak İslami geometrik dokuların incelenmesi ve geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Al-Rawi (2014) evrimsel algoritmaların İslam mimarisindeki arka planını araştırmaktadır ve evrimsel algoritma tekniklerini kullanarak çalışmasını yürütmüştür (Al-Rawi, 2014).

Barrios ve Alani (2015) İslami geometrik doku üzerinde metamorfoz (*Metamorphosis*) ile yeni doku oluşturmuşlar ve bu dokuların analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ulaşılmak istenen nokta, İslami geometrik dokunun analizini parametrik modeller kullanarak yapmaktır. Çalışmada doku, simetrik olmayan yapı birimine kadar analiz edilmektedir. Bu yapı birimi temel birim (*Fundamental Unit*) olarak isimlendirilmektedir. Asimetrik yani kendini tekrar etmeyen birim ile parametrik yeni dokular üretilebilmiştir **(Şekil 2.9)**. Ayrıca çalışmada parametreler değiştirilerek yeni dokular üretilmiştir. Örneğin parametrik özellik bakımından renk değişkeni kullanılmıştır **(Şekil 2.10)**. Bu sayede çeşitli dokular oluşturulabilmiştir (Barrios ve Alani, 2015).



Şekil 2.9: İslami Geometrik dokusu, hücre (*Cell*) ve temel birimi (*Fundamental Unit*) (Barrios ve Alani, 2015)

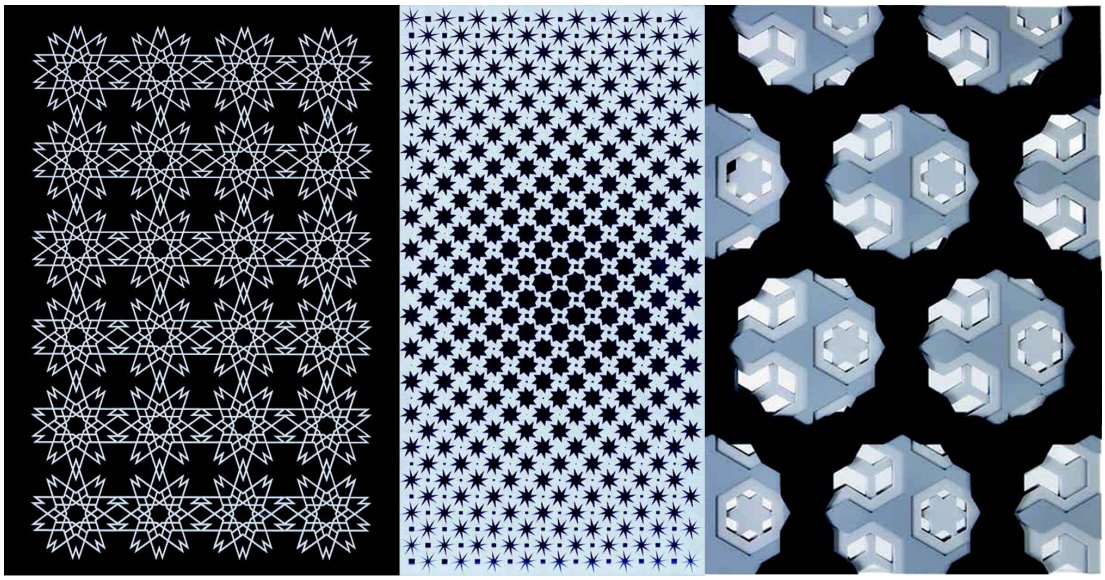


Şekil 2.10: Yıldız hücresinin (*Cell*) renk ve dokudaki değişikliklerden dolayı oluşan parametrik varyasyonları (Barrios ve Alani, 2015)

Alani (2018) altıgen alt yapıya sahip İslami geometrik dokuları morfogenetik kavramını dikkate alarak bir sınıflandırma sistemi oluşturmuştur. Ayrıca çalışmada morfoloji, dijital morfogenez (*Morphogenesis*), kompozisyon analizi (*Compositional Analysis*) kavramları üzerinde durularak bu kavramların dijital tasarım süreci için ana kavramlar olduğu belirtilmiştir (Alani, 2018).

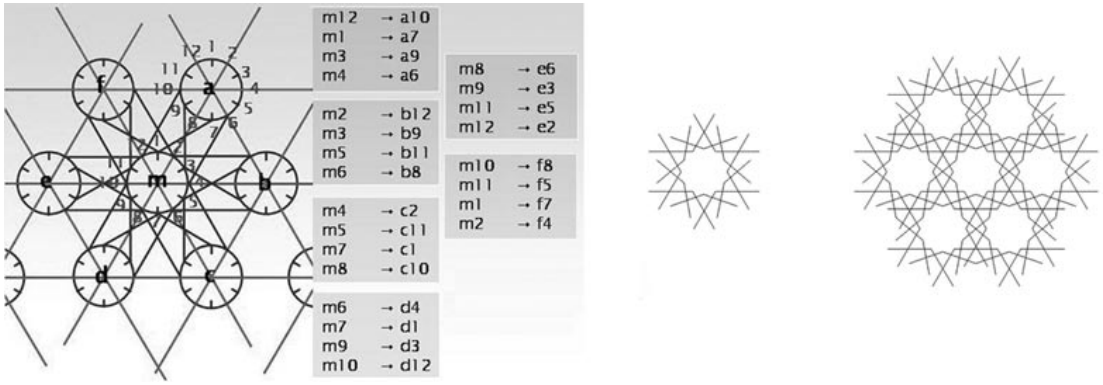
Alani (2016) İslami geometrik dokuların araştırılmasına hesaplama araçlarını dahil ederek çağdaş bir yöntem sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca kompozisyon analizinin (*Compositional Analysis*) İslami geometrik dokuları analiz etmek için yeterli olmadığını, buna ek olarak tasarım biçimciliği (*Design Formalism*) kavramına odaklanarak bu kavram ile birlikte analizlerin desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir (Alani, 2016).

İslami geometrik dokuların parametrize etmek üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin Ağırbaş (2018), lisans öğrencileriyle bu konuda yaptığı çalışmalar Yeditepe Bienali'nde sergilenmiştir. Agirbas (2017), lisans öğrencilerine kodlama öğretimini İslami geometrik dokular kullanarak gerçekleştirmiştir **(Şekil 2.11)**. İslami geometrik dokulardan türediği düşünülen mukarnasların parametrize edilmesi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır (Agirbas ve Yildiz, 2021).

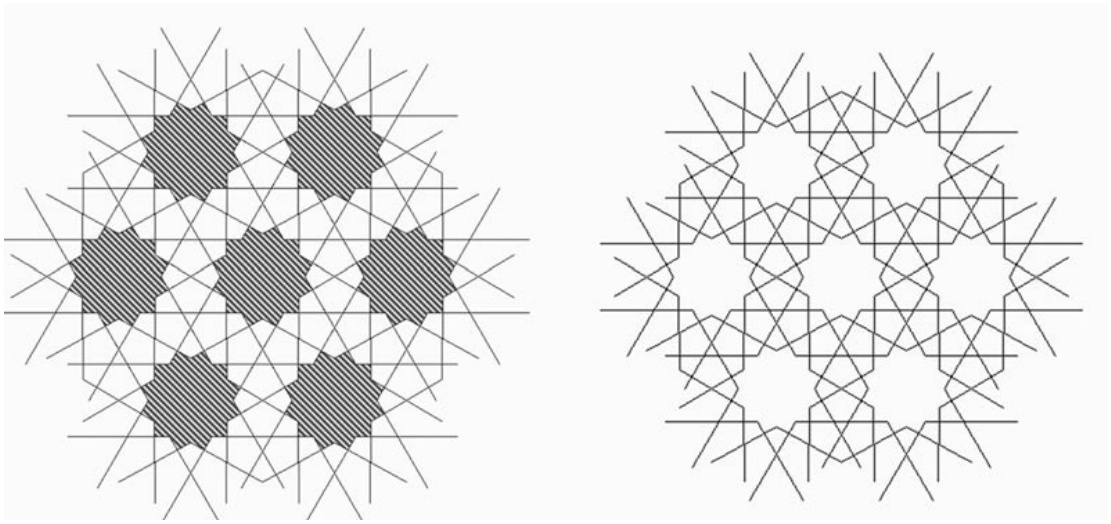


Şekil 2.11: Aslı Ağırbaş'ın lisans dersi kapsamında gerçekleştirdiği çalışmadaki öğrenci çalışmalarından örnekler (soldan sağa Talha Gürsal, Gamze Meriç, Merve Aydın) (Agirbas, 2017)

Cenani ve Çağdaş (2006) İslami geometrik süslemelerin (*Ornament*) biçim gramerlerini incelemiş ve seçilen süslemeler (*Ornament*) bilgisayar programı kullanılarak kodlanmıştır. Dokunun üretim süreci **(Şekil 2.12)** ve oluşturulan dokunun varyasyonları ise **Şekil 2.13**'deki gibidir (Cenani ve Çağdaş, 2006).



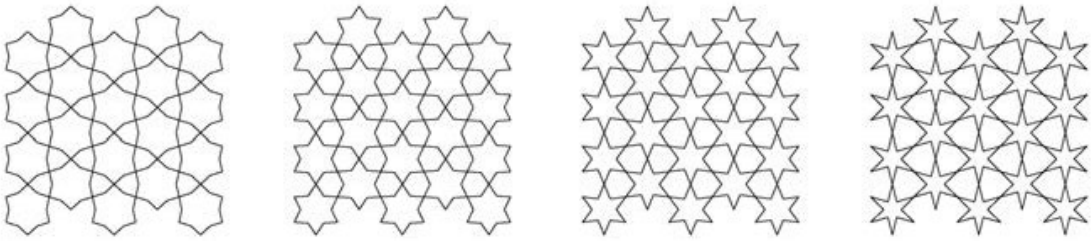
Şekil 2.12: Dokunun üretim süreci (Cenani ve Çağdaş, 2006)



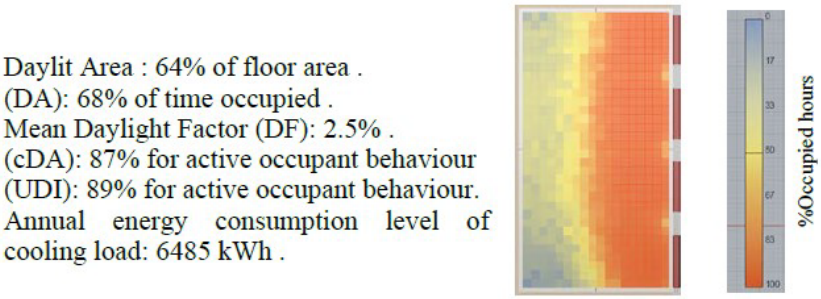
Şekil 2.13: Oluşturulan dokunun varyasyonları (Cenani ve Çağdaş, 2006)

Mohamadin, Abouaiana ve Wagih (2016) İslami geometrik doku kullanarak gün ışığı için en uygun gölgeleme ekranı tasarımını (*Shading Screen Design*) oluşturmayı hedeflemektedir. Çalışmaları 6 kollu yıldız dokuya odaklanarak ilerlemiştir. İlk aşamada Grasshopper eklentisi kullanılarak İslami geometrik dokunun varyasyonları oluşturulmuştur **(Şekil 2.14)**. Daha sonra ise gün ışığı ile ilgili testler için Rhino programında eklenti olarak çalışan Diva kullanılırken, termal yük simülasyonu (*Thermal Load Simulations*) için ise Design Builder kullanılmıştır

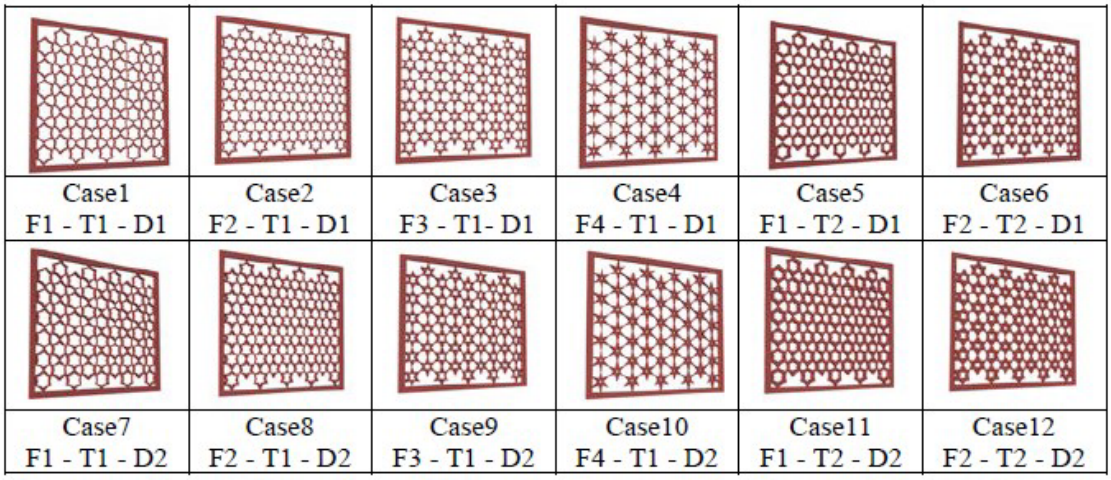
(Şekil 2.15). Ayrıca 6 kollu yıldız doku ile ilgili 12 test yapılarak karşılaştırmaları yapılmıştır **(Şekil 2.16)** (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016).



Şekil 2.14: İslami geometrik dokudan oluşturulan parametrik varyasyonlar (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)



Şekil 2.15: Temel durum için gün ışığı simülasyon sonucu (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)



Şekil 2.16: İslami geometrik doku ile yapılan 12 test (Mohamadin, Abouaiana ve Wagih, 2016)

2.2. GEÇMELİ STRÜKTÜRLER *(RECIPROCAL FRAME STRUCTURES)*

Geçmeli strüktürler (*Reciprocal Frame Structures*) terimi tarih öncesi dönemden bu zamana kadar geniş açıklık geçmeyi amaçlamaktadır. Geçmeli strüktür

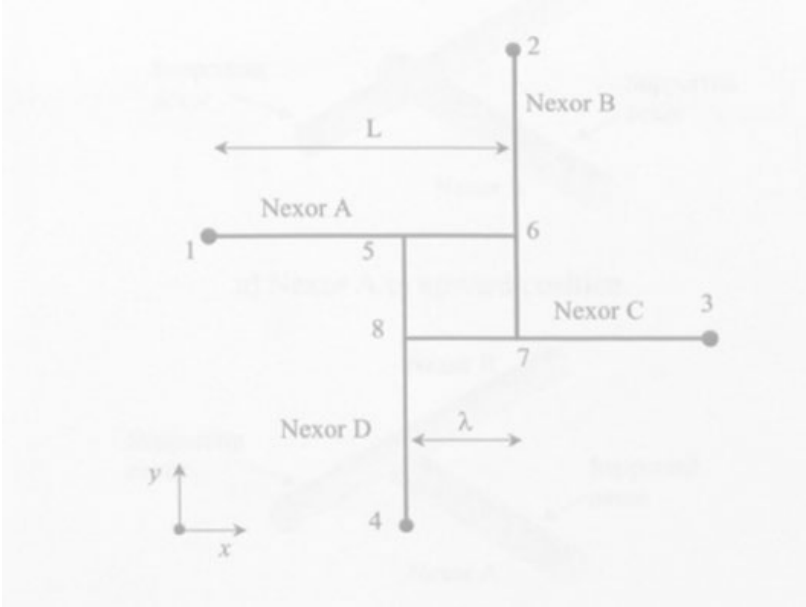
sistemi her biri bir diğerinin yükünü taşıyarak oluşturulan bir modül ve bu modülün türetilmesi ile oluşmaktadır (Karakoç, 2017).

Pugnale ve Sassone (2014), geçmeli strüktürler ile ilgili yapılan incelemeleri detaylı olarak farklı perspektiflerden ele almıştır. Yapılan incelemeleri 14 başlık altında tanımlamışlardır. Bu 14 başlık, mekânsal geçmeli strüktürlerin morfolojisi ve geometrisi, çokyüzlü konfigürasyonlar, bu tür yapıların form bulma ve morfogenezi geliştirme aşamasında hesaplama araçlarının kullanımı, ahşap parçaların hızlı prototipleştirilmesi, birleşim ve bağlantı noktalarının tasarımı, strüktürel davranışın analizi, hareket potansiyeli hakkında araştırmalar, yapı için malzeme ve kesitlerin araştırılması, düzlemsel panellerin kullanımı, prototiplerin ve projelerin eleştirilmesi/tartışılması, geçmeli strüktürlerin öğretilmesi, geçmeli strüktürlerin tarihçesi, sanat ve heykel ve Leonardo'nun ızgaralarını esas alan geçmeli strüktürlerdir (Pugnale ve Sassone, 2014, s:19).

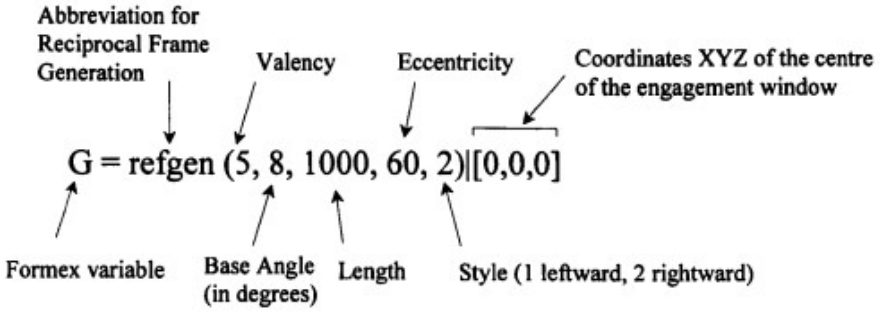
2.2.1. Geçmeli Strüktür Sistemi

Baverel (2000), birbirini destekleyen bağlantı sistemini *fan* olarak ifade etmiştir. 1 *fan*, 3 veya daha fazla *nexor'*dan oluşmaktadır. *Nexor*'ların bir araya gelerek bir sistem oluşturmasına ise *Nexodare* denilmektedir. Bir *fan*'ı geçmeli strüktür temsil etmektedir (Baverel, 2000). Danz (2014), geçmeli strüktürü, bir veya daha fazla *fan'*dan meydana gelen sistem olarak da ifade etmektedir. **Şekil 2.17**'de 4 *nexor*'dan oluşan bir *fan*'ın plan görünümü bulunmaktadır. *Nexor*'un uzunluğu L olarak ifade edilmektedir. *Fan*'ın birbirine geçme uzunluğu ise 7-8 numaraları arasındaki λ sembolü ile ifade edilmektedir.

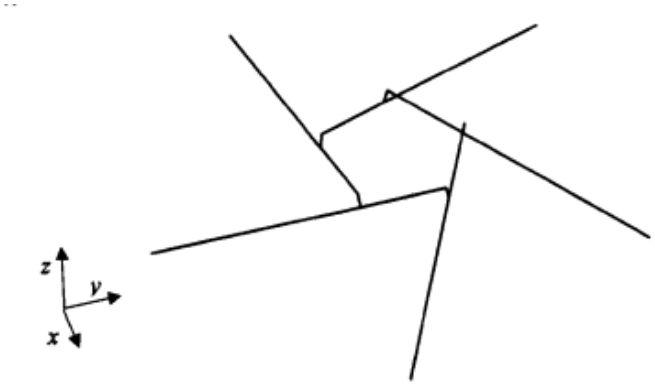
Baverel (2000) geçmeli strüktür ile ilgili çalışmalarını **Şekil 2.18**'de gösterilen *refgen* olarak adlandırdığı denklemde birleştirmiş ve geçmeli strüktür sistem modüllerinde bu denklemi kullanmaya başlamıştır (Baverel, 2000, s:52). **Şekil 2.19**'daki *fan* örneği denklem kullanılarak oluşturulmuştur. Bu *fan* 5 *nexor*'dan oluşan 8 derece açıya sahip, uzunluğu 1000 ve eksantriklik değeri 60 birimdir (Baverel, 2000, s:52).



Şekil 2.17: Bir *fan*'ın plan görünümü (Baverel, 2000, s:30)



Şekil 2.18: *Refgen* denklemi (Baverel, 2000, s:52)

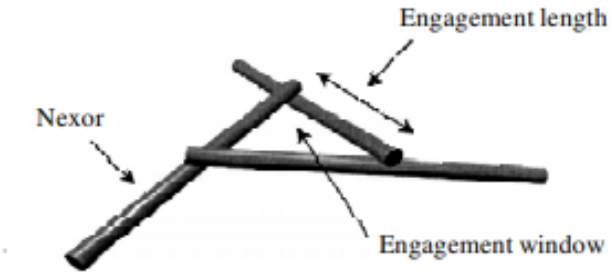


Şekil 2.19: *Refgen* denklemine göre üretilen 5 kenarlı *fan* (Baverel, 2000, s:52)

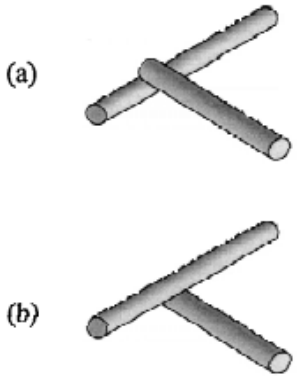
Geçmeli strüktür sisteminde kirişlerin üst üste binmesi sonucu bağlantı penceresi olarak adlandırılan bir açıklık oluşmaktadır. **Şekil 2.20**'de görülen bir bağlantı penceresi örneğidir. Bağlantı penceresinin kenarlarının her birine ise bağlantı uzunluğu denilmektedir. Aynı zamanda bir kirişin bağlantı uzunluğunun toplam uzunluğuna oranına ise bağlantı oranı denir. Baverel ve diğerlerine (2000) göre bağlantı oranı için değerler 0.1 ile 0.4 aralığındadır (Baverel ve diğerleri, 2000, s: 155-156).

Bir kirişin **Şekil 2.21**'de gösterildiği gibi bir ucu diğer kirişin üzerinde yani yukarı konumda, ya da diğer kirişin altında yani aşağı konumda olacak şekilde iki farklı durumda olabilmektedir (Baverel ve diğerleri, 2000, s:156).

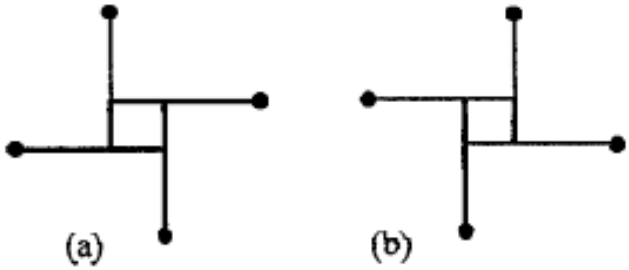
Bir fan 2 farklı tipte olabilmektedir. **Şekil 2.22**'deki gibi sağ ve sol olarak adlandırılmaktadır. *Fan*'ın dönme yönünü ise **Şekil 2.23**'de gösterildiği gibi sağ veya sol yöne doğru olması belirlemektedir (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157).



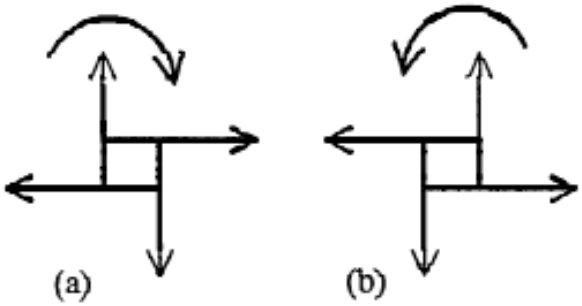
Şekil 2.20: Baverel tarafından oluşturulan geçmeli strüktür sisteminde bağlantı penceresi (Baverel ve diğerleri, 2000, s:155)



Şekil 2.21: a) Yukarı konum b) Aşağı konum (Baverel ve diğerleri, 2000, s:156)

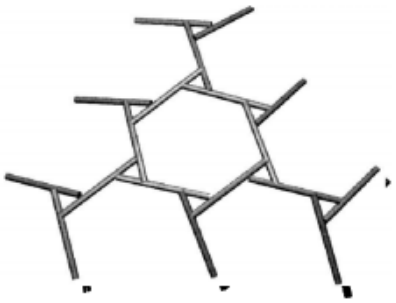


Şekil 2.22: a) Sağ *fan* b) Sol *fan* (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157)

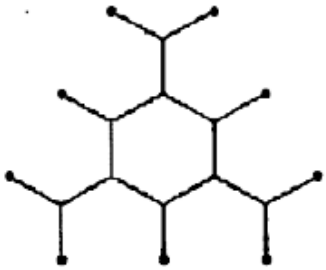


Şekil 2.23: a) Sağa doğru *fan* b) Sola doğru *fan* (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157)

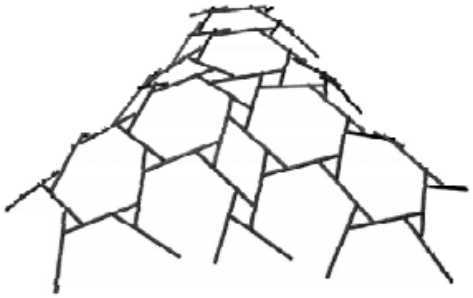
Baverel ve diğerlerine (2000) göre bir *nexorade* geometrisini oluşturmak için en temel birimden başlamak gerekmektedir. Örneğin **Şekil 2.24**'deki geçmeli strüktürü oluşturmak için **Şekil 2.25**'deki gibi modül biriminden başlanılması gerekmektedir. **Şekil 2.24**'deki gösterilen strüktür, **Şekil 2.25**'deki gösterilen modülün bağlantı penceresi oluşturacak şekilde türetilmesi sonucu üretilmiştir. Modülü *nexorade*'*e* dönüştürmek için programlama dili olarak *Formian* kullanılmıştır. Bu süreç ise 'Fanlama Süreci' olarak adlandırılmaktadır. *Formian*'da fanlama süreci için örnek **Şekil 2.26**'daki gibidir.



Şekil 2.24: Geometrisi oluşturulacak geçmeli strüktür (Baverel ve diğerleri, 2000, s:157)



Şekil 2.25: Modül birimi (Baverel ve diğerleri, 2000, s:158)

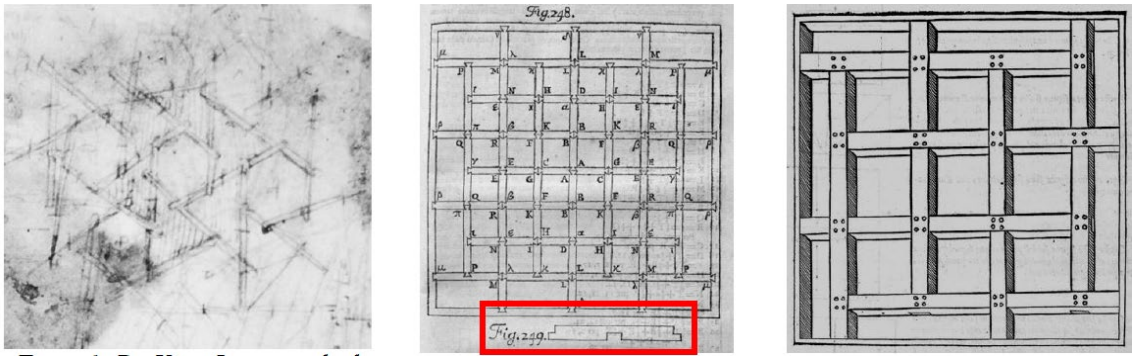


Şekil 2.26: *Formian*'da fanlama süreci için örnek (Baverel ve diğerleri, 2000, s:158)

2.2.2. Geçmeli Strüktür Tasarımı Örnekleri

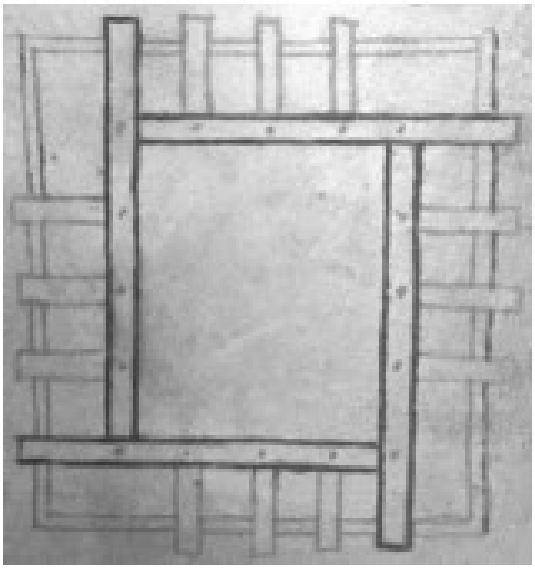
Geçmeli strüktürün, 12. yüzyılda, Çin ve Japon mimarlığında kullanıldığı bilinmektedir (Di Carlo, 2008). Ahşap malzemesi kullanılarak inşa edilen bu strüktürler, özellikle çatı destek sistemi olarak inşa edilmiştir ve mandala çatısı olarak da bilinmektedir (Kohlhammer ve Kotnik, 2011).

Villard de Honnecourt (yaklaşık 1240 yıllarında), Sebastiano Serlio Leonardo Da Vinci ve John Wallis gibi isimlerin geçmeli strüktür üzerine yaptıkları çalışmalar, geçmeli strüktürün erken örnekleri olarak bilinirler (Houlsby, 2014). Bu örnekleri, inşa ediliş biçimine göre kendi içinde gruplamak mümkündür (Parigi ve Pugnale, 2012). Parigi ve Pugnale (2012), Da Vinci'nin çentiksiz elemanlar (*Un-Notched Elements*), Wallis'in çentikli elemanlar (*Notched Elements*), Serlio'nun ise hizalı eksen (*Aligned Axis*) kullandığından bahseder ve elemanların bu şekilde farklı kullanım sebeplerini ise düze yakın olma durumu ile ilişkilendirir **(Şekil 2.27)**. Çentiksiz elemanlar (*Un-Notched Elements*), kullanılan versiyonlarda kubbeye benzer form ister istemez oluşacaktır.



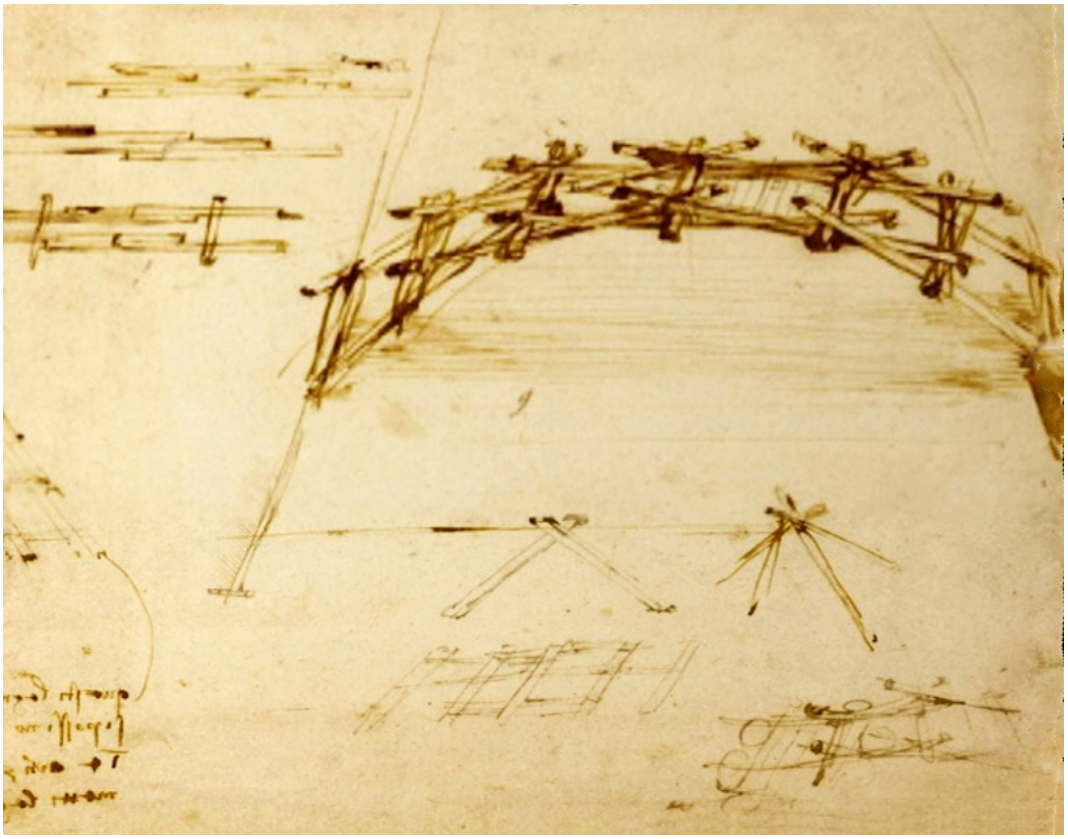
Şekil 2.27: Da Vinci'nin çentiksiz elemanlar (*Un-Notched Elements*) örneği, Wallis'in çentikli elemanlar (*Notched Elements*) örneği, Serlio'nun hizalı eksen (*Aligned Axis*) örneği (Parigi ve Pugnale, 2012)

Villard de Honnecourt eskiz defterinde (1225-1250) üst üste bindirme tekniği ile kısa kirişler kullanılarak ev ya da kule inşa edilebileceğinden bahsetmektedir **(Şekil 2.28)** (Pizzigoni, 2010).



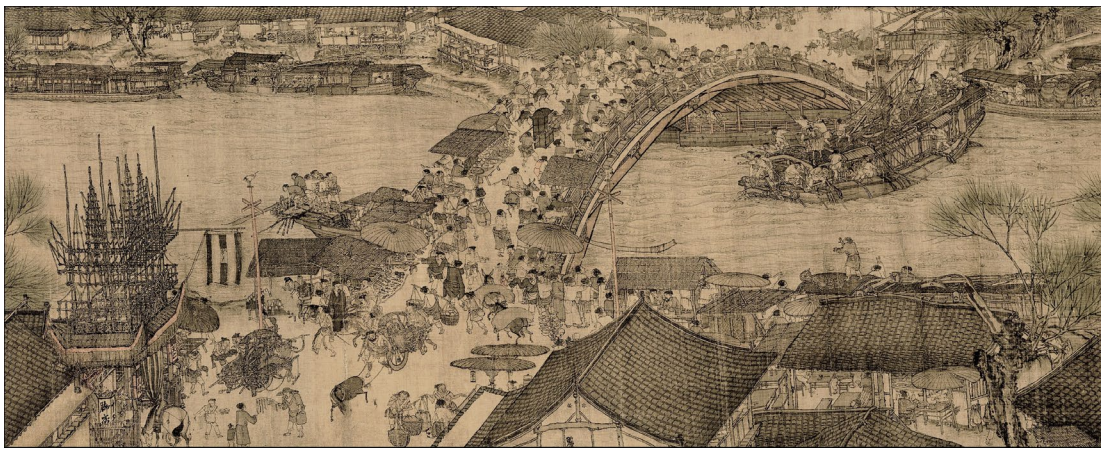
Şekil 2.28: Villard de Honnecourt'un kirişleme örneği (Barnes, 2009; Karakoç, 2017)

Leonardo da Vinci'nin Atlantik Kod (*Atlantic Code*) 286 numaralı sayfasında geçmeli strüktüre benzer bir köprü yapısı yer almaktadır. Bu köprü yapısının kısa kirişler kullanılarak kendi kendini taşıyabildiği belirtilmektedir **(Şekil 2.29)** (Pizzigoni, 2010).



Şekil 2.29: Leonardo da Vinci'nin Atlantik kodu'nun (*Atlantic Code*) 286 numaralı sayfasındaki kısa kirişler kullanılarak inşa edilen köprü yapısı **(URL 1)**

Çin'in Shandong kentindeki (960-1280) Rainbow Bridge yapımındaki tekniğin geçmeli strüktür sistemine benzer olduğu belirtilmektedir **(Şekil 2.30)** (Pizzigoni, 2010).



Şekil 2.30: Zhang Zeduan tarafından yapılmış Rainbow Bridge tasviri **(URL 2)**

Pizzigoni'nin (2010) makalesinde 2010 yılında Şangay Dünya Fuarı İtalyan Pavyonu için tasarım önerisi olarak yaptığı geçmeli strüktür sistemi prototopinden bahsetmektedir. Bu sistemin sökülüp tekrar kullanılabilen basit destek ayakları ile 3 boyuta kaldırılabildiğini ifade etmektedir. Birbiri üzerine bindirilen kirişler ve montajı kolay olan destek ayakları sayesinde farklı varyasyonlarda tekrar bir araya getirilebilmektedir. Oluşturulan sistemlerin grid düzenleri, kalınlıkları ve malzemeleri değiştirilebilirken destek ayaklarının da yükseklik ve temas ettiği noktaları değiştirilerek yeni yapı sistemleri oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kiriş malzemesi olarak ahşap, çelik ve beton kullanıma uygun malzeme olarak belirtilmiştir. Ayrıca oluşturulan bu yapıyı ise FEM *(Finished Elements Model)* ile potansiyel sonuçları oluşturulmuştur. Çalışmanın bir prototipi yapılarak doğruluğu test edilebilmiştir **(Şekil 2.31, Şekil 2.32, Şekil 2.33)** (Pizzigoni, 2010).



Şekil 2.31: Farklı grid strüktürlere monte edilen beton destek ayak (Pizzigoni, 2010)



Şekil 2.32: Farklı grid strüktürlere monte edilen beton destek ayağın diğer bir görünümü (Pizzigoni, 2010)



Şekil 2.33: Destek ayaklar ile geçmeli strüktür sistemi'ne göre oluşturulan 5 altıgenden oluşan beşgen kompozisyon (Pizzigoni, 2010)

Bamboo Pavilyonu 2002 senesinde Shigeru Ban ve Cecil Balmond tarafından Rice Üniversitesi için tasarlanmıştır **(Şekil 2.34)**. Bu pavilyonun Forest Park Pavilyonu için prototip çalışması olarak yapıldığı belirtilmektedir. Pavilyonun modül birimi ise **Şekil 2.35**'deki gibidir **(URL 3)**.



Şekil 2.34: Bamboo Pavilyonu **(URL 3)**



Şekil 2.35: Bamboo Pavilyonu modül birimi **(URL 3)**

Forest Park Pavilyonu 2006 senesinde Shigeru Ban ve Cecil Balmond tarafından St. Louis'de tasarlanmıştır **(Şekil 2.36)**. Bu pavilyon ağaç kolon, geçmeli ızgara kabuğu ve yarı şeffaf su geçirmez bir örtüden oluşmaktadır **(Şekil 2.37)**. Kabuk üst üste bindirilen ahşap şeritlerden oluşmaktadır. Bu yapının yüksekliği 13 ile 25 fit (*feet*) arasında çeşitlenebilmektedir **(URL 4)**.



Şekil 2.36: Forest Park Pavilyonu **(URL 4)**

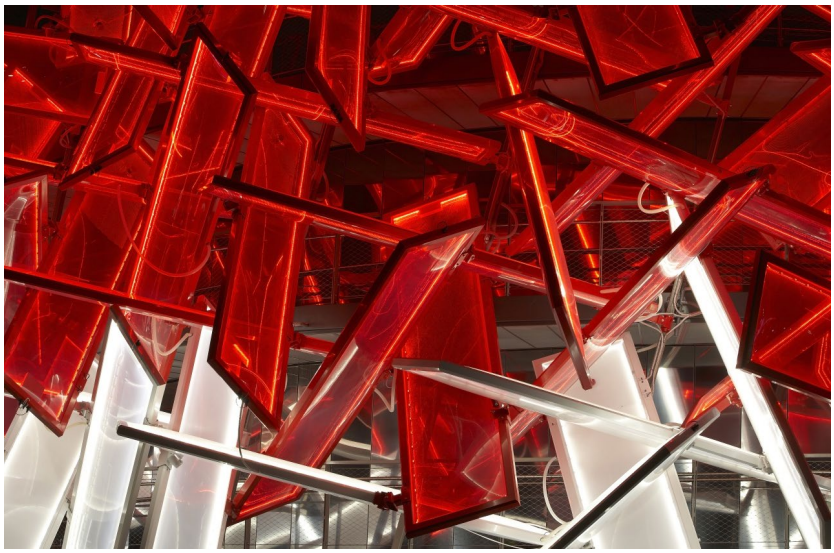


Şekil 2.37: Forest Park Pavilyonu içerden görünüm **(URL 4)**

Coca Cola Pavilyonu 2012 senesinde Londra'da Asif Khan ve Pernilla Ohrstedt tarafından tasarlanmıştır **(Şekil 2.38)**. Pavilyon, reklam panosu büyüklüğündeki yarı şeffaf 200'den fazla hava elemanının (*Air Cushion*) birbirlerine kenetlenmesi ile oluşturulmuştur **(Şekil 2.39) (URL 5)**.



Şekil 2.38: Coca Cola Pavilyonu **(URL 5)**



Şekil 2.39: Coca Cola Pavilyonu modül birimi **(URL 5)**

Kreod Pavilyonu 2013 senesinde Londra'da Chun Quing Li tarafından tasarlanmıştır **(Şekil 2.40)**. Organik forma sahip pavilyon 3 metre yüksekliğindedir ve birbirine kenetlenen ahşap altıgenler ve üçgenler ile oluşturulmuştur **(Şekil 2.41) (URL 6)**.



Şekil 2.40: Kreod Pavilyonu **(URL 6)**

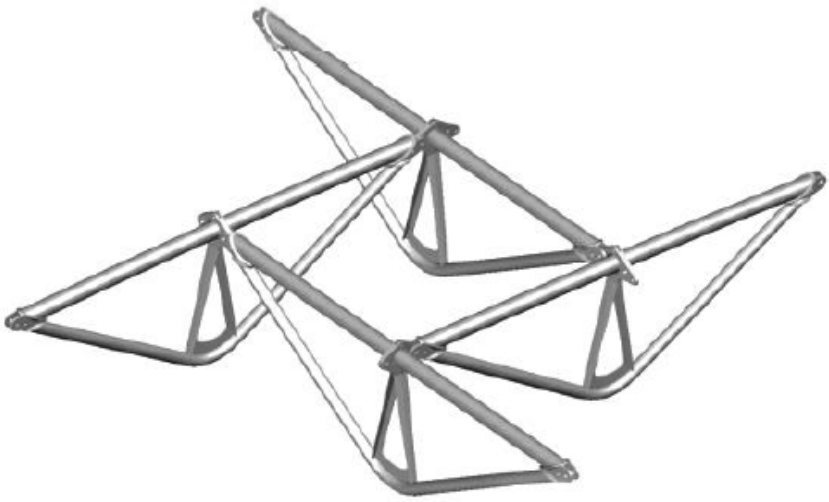


Şekil 2.41: Kreod Pavilyonu modül birimi **(URL 6)**

Arkeolojik alan örtüsü Paul Andrew tarafından Bibracte, Fransa'da tasarlanmıştır **(Şekil 2.42)**. Arkeolojik alan örtüsü için kısa kirişlerden oluşan bir modül sistemi belirlenmiş **(Şekil 2.43)** ve bu modüllerin çoğaltılması ile tasarım oluşturulmuştur. Bu modül sistemi sayesinde 300 ve 900 m² arasındaki alanlar bu örtü ile kaplanabilmektedir **(URL 7)**.



Şekil 2.42: Arkeolojik alan örtüsü **(URL 7)**



Şekil 2.43: Arkeolojik alan örtüsünün birimi (Gustafsson, 2016)

Frans Masereel Centrum Kasterlee, Belçika'da 2019 yılında tamamlanmıştır. Projenin mimarları List ve Hideyuki Nakayama Architects, mimari mühendisleri ise Bollinger + Grohman ve Bureau Bouwtechniek'dir. Bu yapı, kesik koni üzerinde tek bir modül tasarlayıp bu modülün tekrarı ile oluşturulmuştur **(Şekil 2.44)**. Modüldeki çubukların her biri bir diğerini desteklemektedir **(Şekil 2.45)**. Ayrıca çatı 1000 tane ahşap kirişten oluşmuştur **(URL 9)** (Bergis ve De Rycke, 2017).

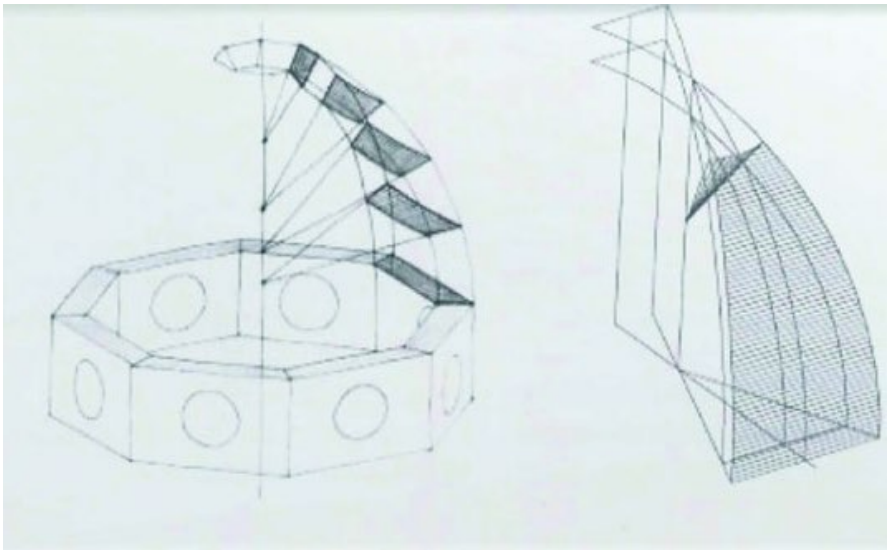


Şekil 2.44: Frans Masereel Centrum çatı görünümü **(URL 8)**

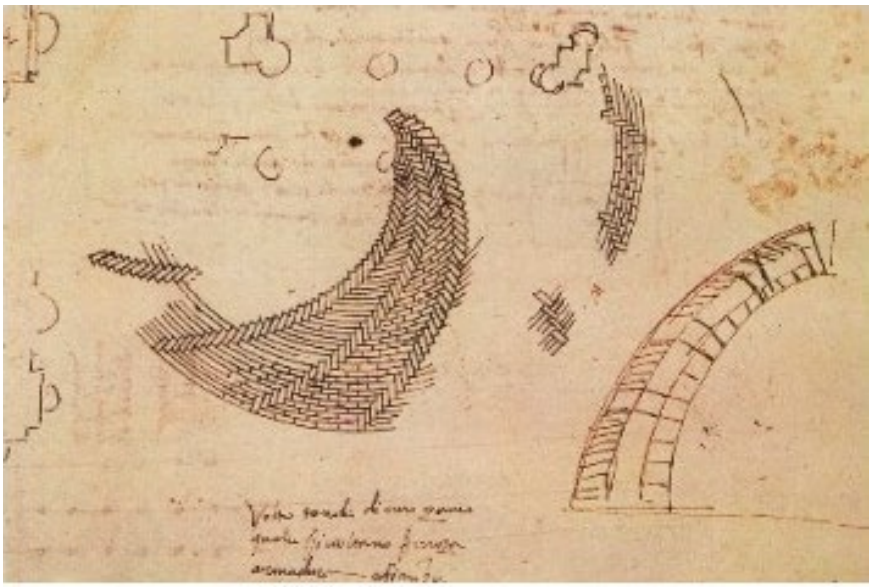


Şekil 2.45: Frans Masereel Centrum detay görünümü **(URL 9)**

Pizzigoni & Paris (2014), Brunelleschi tarafından yapılan Floransa'daki Santa Maria Del Fiore Katedrali'nin kubbesindeki tuğla diziliminin geçmeli strüktür sistemine benzer şekilde yapıldığından bahsetmektedir **(Şekil 2.46)**. Balık sırtı (*Herringbone*) adı verilen bu tuğla diziliminde tuğlalar birbirini destekleyerek kubbeyi tamamlamaktadır **(Şekil 2.47)**.



Şekil 2.46: Pizzigoniye ait çizim (Pizzigoni ve Paris, 2014)



Şekil 2.47: Antonio da Sangallo il Giovane'ye ait balık sırtını anlatan çizim (Pizzigoni ve Paris, 2014)

Chilton (2009), Grahan Brown tarafından yapılan Woodland Community Hall'un çatı strüktürünün tek merkezli ve birbiri üzerine bindirilerek yapıldığından bahsetmektedir **(Şekil 2.48**, **Şekil 2.49)**.



Şekil 2.48: Woodland Community Hall (Chilton, 2009)



Şekil 2.49: Woodland Community Hall çatı strüktürü (Chilton, 2009)

Rokko-Shidare Gözlemevi (*Observatory*), Japonya Kobe'de 2010 yılında Hiroshi Sambuichi ve Ove Arup and Partners tarafından tamamlanmıştır **(Şekil 2.50)**. Tek bir birimin çoğaltılması ile kompleks bir doku oluşturulmuştur. Altıgen alt yapılı geçmeli strüktür dokuya bambu tüpler eklenerek rüzgar kesintiye uğratılmıştır **(Şekil 2.51)** (Popovic Larsen, 2014).



Şekil 2.50: Rokko-Shidare Gözlemevi (*Observatory*) (Popovic Larsen, 2014)

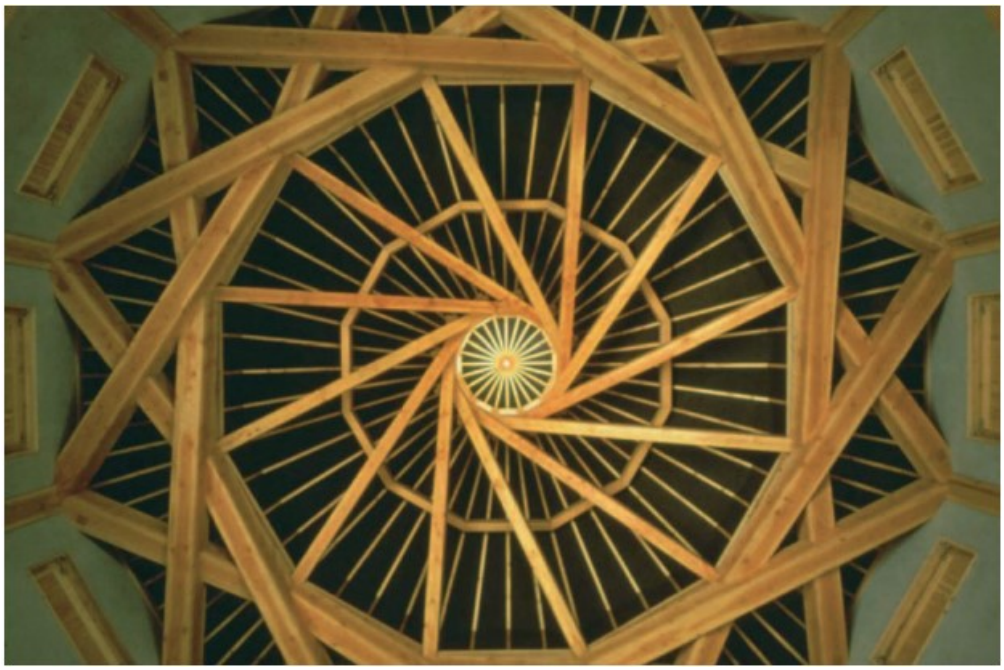


Şekil 2.51: Geçmeli strüktür dokusunda kullanılan bambu tüpler (Popovic Larsen, 2014)

Seiwa Bunraku Puppet Tiyatrosu (*Theatre*) Japonya Seiwa'da Kazuhiro Ishii tarafından tasarlanmıştır. Kompleks 4 ayrı binadan oluşmaktadır. Yeni yapılan restoran dışında hepsi geçmeli strüktür tekniği ile tasarlanmış binalardır. Komplekstekı sergi salonunun çatı örtüsü geçmeli strüktür tekniği ile tasarlanmıştır **(Şekil 2.52**, **Şekil 2.53)** (Popovic Larsen, 2008).



Şekil 2.52: Sergi salonunun geçmeli strüktür tekniği ile tasarlanan çatı örtüsü (Popovic Larsen, 2008)



Şekil 2.53: Sergi salonun çatı strüktürü (Popovic Larsen, 2008)

Stonemason Müzesi (*Museum*) 1993 yılında Yasufi Kujima tarafından tasarlanmıştır. Bu müze yapısının çatısı geçmeli strüktür tekniği kullanılarak yapılmıştır **(Şekil 2.54**, **Şekil 2.55, Şekil 2.56)** (Popovic Larsen, 2008).



Şekil 2.54: Stonemason Müzesi (Popovic Larsen, 2008)



Şekil 2.55: Stonemason Müzesi'nin çatı strüktürü (Popovic Larsen, 2008)

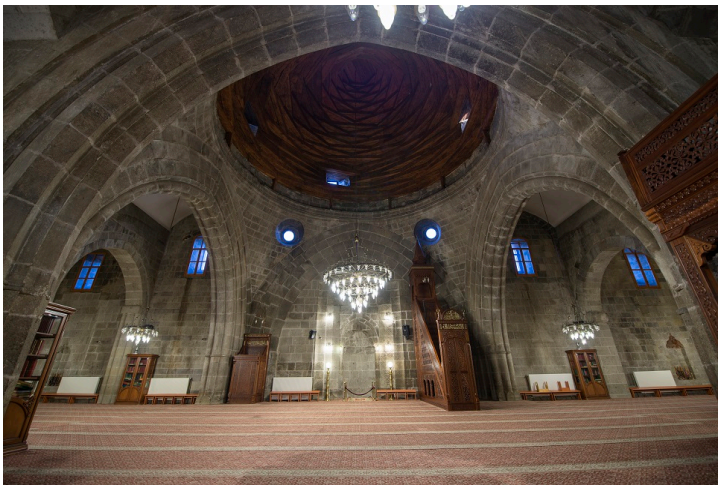


Şekil 2.56: Stonemason Müzesi'nin içeriden görünümü (Popovic Larsen, 2008)

2.2.3. Geçmeli Strüktür Benzeri Diğer Örnekler

Geçmeli strüktürler, kısa parçalar kullanılarak üst üste binme veya geçme ile oluşturulur. Üst üste binme tekniği, daha uzun parçalar kullanılarak oluşturulan Tüteklikli Örtülerde (Kırlangıç Kubbe) görülmektedir. Bu örtü tipine Anadolu'da rastlanmaktadır. Ahşap malzeme kullanılarak yapılan bu örtü de geniş açıklık geçmeye yarar.

Akın'ın (1991) makalesinde belirttiğine göre, Ksenophon, Muş çevresindeki bu tip örtü ile ilgili gözlemlerini (M.Ö 401-400) tarif etmiş, Vitruvius (M.Ö 1. yüzyıl ortalarında) ise Frig bölgesindeki bu tip bir evin yapım aşamalarını anlatmıştır. Tüteklikli örtüye sahip yapı örneğine Erzurum Ulu Cami'deki mihrap önü kubbesi verilebilir **(Şekil 2.57**, **Şekil 2.58)**.



Şekil 2.57: Erzurum Ulu Cami'nin içeriden görünümü **(URL 10)**



Şekil 2.58: Erzurum Ulu Cami'deki mihrap önü kubbesi **(URL 11)**

Ormana, Antalya ili Akseki ilçesine bağlı bir köydür. Buradaki yapıların (1730-1976) pencere parmaklıkları geçmeli bir sistem ile yapılmıştır ve belirli sayıda çubuğun geçmeler ile oluşması sonucu tasarlanmıştır **(Şekil 2.59)**. Pencere parmaklıklarına başka bir örnek olarak ise dirembaş olarak adlandırılan korkuluklar verilmiştir. Bu korkuluklar yatay çubukların şekillendirilip düşey delikler açıldıktan sonra bu deliklerden geçilirilmesi ve kafes oluşturması sonucu oluşmaktadır (Günay, 2017).



Şekil 2.59: Pencere parmaklık detayı (Günay, 2017)

Üst üste binme tekniğine göre başka bir örnek olarak Alberobello'daki (İtalya) Trulli evleri verilebilir **(Şekil 2.60)**. 14. yüzyıl ortalarında yapılmış bu evlerin çatısı, kireç taşı levhaların üst üste bindirilmesiyle oluşturulmuştur **(Şekil 2.61) (URL 12)**.



Şekil 2.60: Alberobello'daki (İtalya) trulli evleri **(URL 12)**



Şekil 2.61: Trulli evleri çatısı **(URL 13)**

Şanlıurfa Harran'da 1979 senesinde sit alanı olarak kabul edilen Harran Kümbet evlerinin çatısı, tuğlaların bindirme tekniği kullanılarak oluşturulmuştur **(Şekil 2.62**, **Şekil 2.63) (URL 14)**.



Şekil 2.62: Harran Kümbet evleri **(URL 14)**



Şekil 2.63: Harran Kümbet evlerinin içeriden görünümü **(URL 14)**

Manheim Multihalle, Almanya'da Frei Otto ve Carlfried Mutschler tarafından 1975 yılında tasarlanmıştır. Federal Bahçe sergisi (*Federal Garden Show*) için tasarlanan çok amaçlı salon olarak hizmet vermektedir. Yapı organik bir forma sahiptir. Ayrıca yapı ahşap kafes strüktürü sayesinde kendi kendini taşıyabilmektedir **(Şekil 2.64**, **Şekil 2.65) (URL 15)**.



Şekil 2.64: Manheim Multihalle **(URL 15)**



Şekil 2.65: Manheim Multihalle'nin çatı strüktürü **(URL 15)**

Metropol Parasol Sevilla, İspanya'da Jürgen Mayer H. tarafından 2011 yılında tasarlanmıştır. Bu yapı pazar yeri olarak kullanılan Plaza de La Encornacion meydanının yıkılmasından sonra inşa edilmiştir. Yapı ahşap elemanların birbirine örülmesi ile oluşturulmuş ahşap kafes sistemidir. Ayrıca yapı betonarme temel üzerinden yükselmektedir ve meydanda bir örtü görevi görmektedir **(Şekil 2.66**, **Şekil 2.67) (URL 16**).



Şekil 2.66: Metropol Parasol **(URL 16)**



Şekil 2.67: Metropol Parasol'un dış cephe görünümü **(URL 16)**

Swatch Genel Merkezi (*Constrution of Swatch Headquarters*) İsviçre Biel' de Shigeru Ban ve Blumer Lehman AG ekibi işbirliği ile tasarlanmıştır. Swatch Genel Merkezi'nin ahşap çatı örtüsü ızgara kabuk sistemine sahiptir. Bu çatı örtüsü 240 metre uzunluğuna sahip bir yapının tamamını kaplamaktadır **(Şekil 2.68**, **Şekil 2.69) (URL 17)**.



Şekil 2.68: Swatch Genel Merkezi'nin içeriden görünümü **(URL 17)**



Şekil 2.69: Swatch Genel Merkezi'nin çatı strüktürü **(URL 18)**

Pompidou merkezi (*Centre Pompidou*) Metz, Fransa'da Shigeru Ban Architects tarafından 2010 yılında tasarlanan bir müze yapısıdır. Bu yapının ahşap çatısı altıgen ve üçgen geometrik dokudan oluşmaktadır **(Şekil 2.70**, **Şekil 2.71) (URL 19)**.



Şekil 2.70: Pompidou Merkezi **(URL 19)**



Şekil 2.71: Pompidou Merkezi'nin içeriden görünümü **(URL 19)**

Bambu tabure (*Bamboo Stool*) Cheng Kuan Cheng tarafından, Ulusal Tayvan El Sanatları Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü'ndeki (*National Taiwan Craft Research and Development Institute*) bambu atölyesi için tasarlanmıştır. Bu tabure tek bir bambunun tekrarı ve bu bambuların birbiri üzerine binecek şekilde düzenlenmesi ile tasarlanmıştır. Bambuları bükmek için ısı kullanılmıştır **(Şekil 2.72**, **Şekil 2.73) (URL 20)**.



Şekil 2.72: Bambu taburenin üstten görünümü **(URL 20)**



Şekil 2.73: Bambu tabure **(URL 20)**

Kafes sandalye (*Lattice Chair*) Cheng Kuan Cheng tarafından, kafes sistemi olarak adlandırılan sistemle bambuların birbiri üzerine gelmesiyle tasarlanmıştır **(Şekil 2.74**, **Şekil 2.75) (URL 21)**.



Şekil 2.74: Kafes sandalye **(URL 21)**



Şekil 2.75: Kafes sandalyenin yakından görünümü **(URL 21)**

Tarnaı'nin makalesinde japon sepetlerin matematiksel arka planı incelenmiştir ve japon sepetlerinin üçgen, dörtgen, beşgen ve altıgen gibi geometrik alt plana dayandırıldığından bahsedilmiştir. Ayrıca japon sepetleri incelendiğinde geçmeli strüktüre benzer bir teknik ile oluşturulduğu görülmüştür **(Şekil 2.76) (URL 22)**.



Şekil 2.76: Japon sepetleri **(URL 22)**

3. İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR

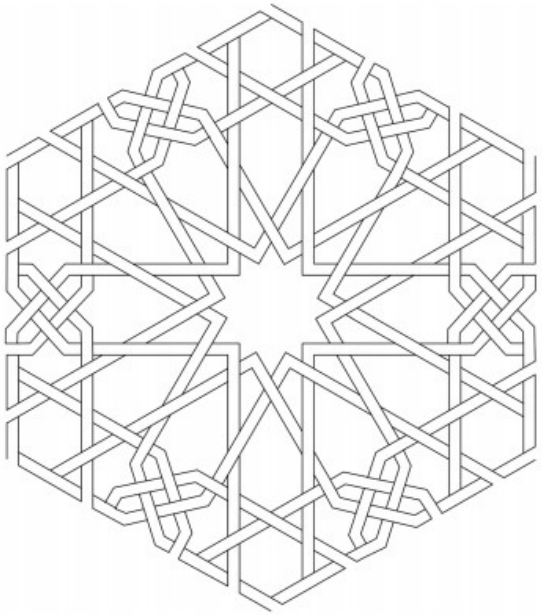
3.1. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULARIN POTANSİYEL ÜÇÜNCÜ BOYUTU

İki boyutlu İslami dokular matematiksel olarak tanımlanarak oluşturulan dokulardır. Bu iki boyutlu dokuların bazılarında, üçüncü boyutluluk hissini veren üst üste binmeler olduğu rahatça görülebilmektedir. Hatta Agirbas'ın (2020) da belirttiği gibi Ahlat mezar taşlarındaki İslami dokularda üç boyutluluk kabartma şeklinde görülebilmektedir **(Şekil 3.1)**. Bu dokuların kabartma olarak görülebilmesinin nedeni ise kullanılan malzemeden kaynaklandığı söylenebilir. Tahmin edilebileceği üzere dokuya, taş oyarak üç boyutluluk verilebilir.



Şekil 3.1: Ahlat mezar taşı (Agirbas, 2020)

İslami dokulardaki üç boyutluluk üst üste binme şeklindedir. Binmeler çok düzenli ve sistematik bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu düzeni anlamak için İslami dokulardaki yıldızları oluşturan şeritlerden bir tanesini ele alabiliriz. Bu şerit, diğer bir şeritle karşılaşmasında ilgili şeridin altından geçiyorsa, bir sonraki şeridin üstünden geçer. Bu sistem tekrarlar ve ağa benzer bir örüntü oluşur **(Şekil 3.2)** (Agirbas, 2020).



Şekil 3.2: Ahlat mezar taşı dokusundan çıkarılan çizim (Agirbas, 2020)

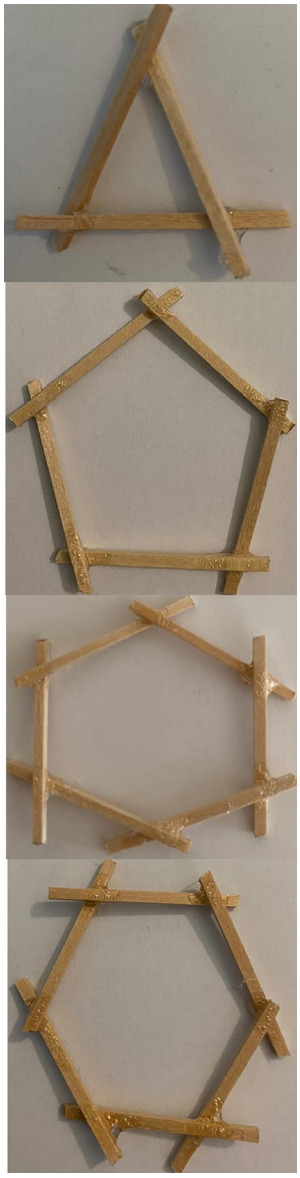
Dokuları üç boyutlu olarak düşündüğümüzde, dokuların birçok parçadan meydana geldiğini rahatça söyleyebiliriz. Birçok parçanın üst üste binerek sistematik bir şekilde oluşması geçmeli strüktür oluşturma prensibine benzemektedir.

3.2. İSLAMİ GEOMETRİK DOKULARI ÜÇÜNCÜ BOYUTA KALDIRMA DENEMELERİ

Bu bölümde İslami dokuların parçalar kullanılarak üç boyutlu biçimde oluşturulması üzerine eskiz çalışmaları yapılmıştır. İlk eskiz çalışmaları manuel olarak yapılmıştır. Sonraki çalışmalar ise strüktürel analiz kısmına hazırlık amacıyla, Grasshopper ortamında yapılmıştır.

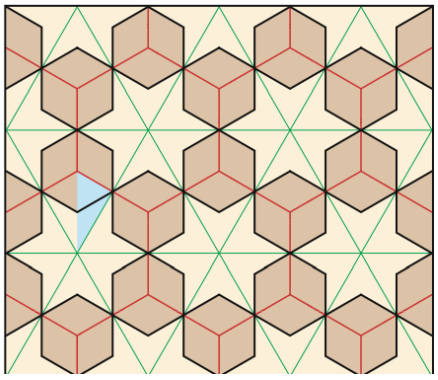
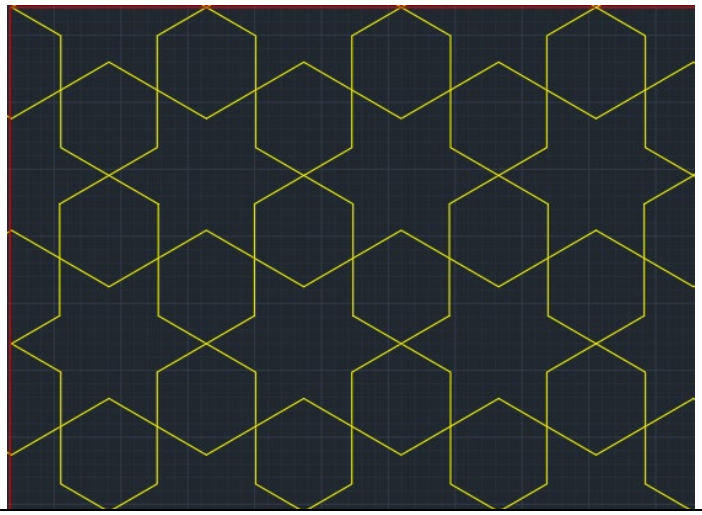
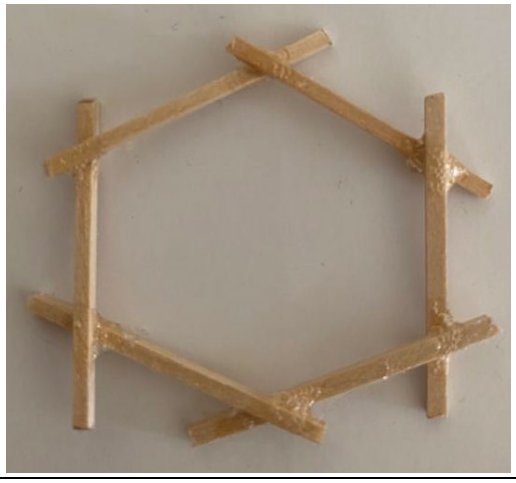
Öncelikle İslami dokuların üst üste binme prensiplerini daha iyi anlayabilmek için basitçe üçgen, beşgen ve altıgen kullanarak tek modül denemeleri yapılmıştır **(Şekil 3.3)**

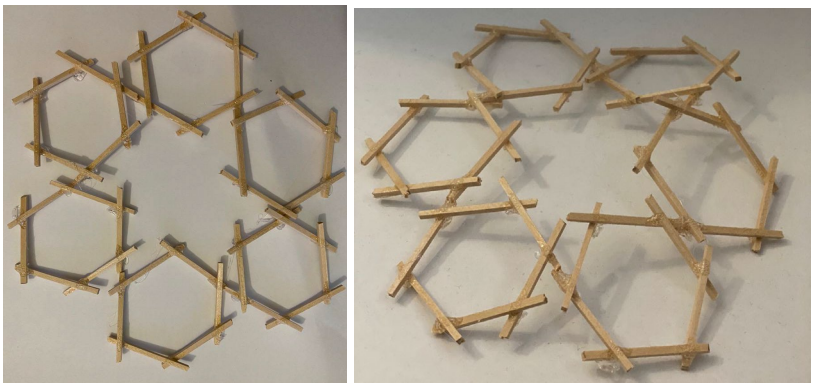
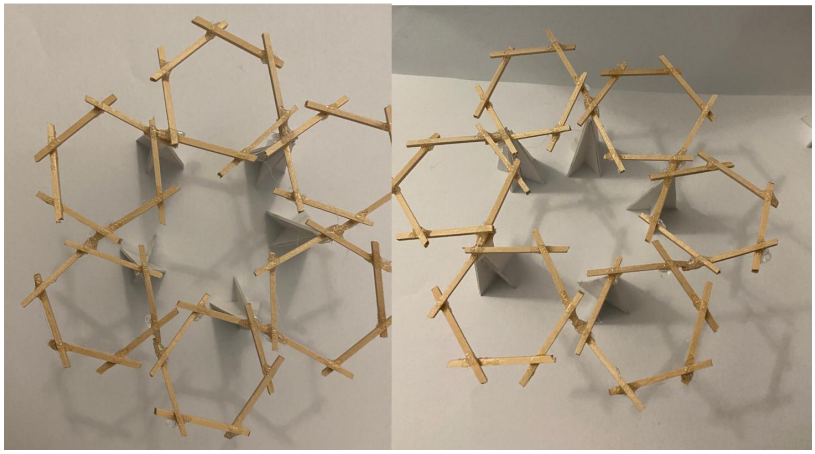
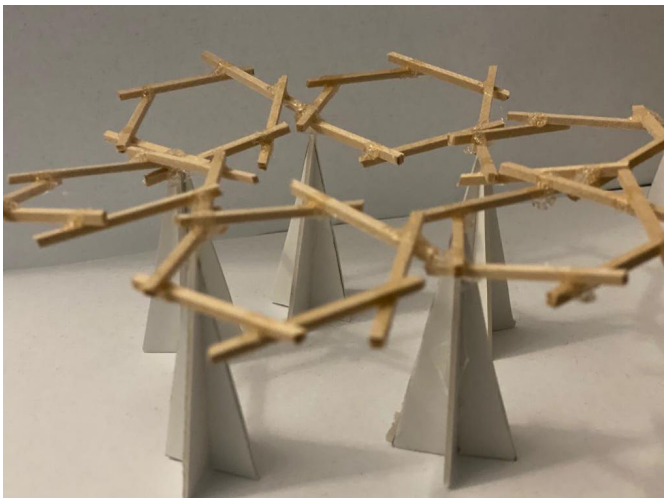
Daha sonra modüllerin bir araya gelmesi üzerinde calışılmıştır. Schneider (1980) ve Bonner'den (2017) doku örnekleri belirlenmiştir. Bu doku örnekleri AutoCAD ortamında tekrar çizilerek 6 kollu yıldız kompozisyonu oluşturulmuştur **(Tablo 3.1)**. Bu kompozisyona farklı tipte destekler eklenerek de eskiz maketleri çoğaltılmıştır **(Tablo 3.1)**.

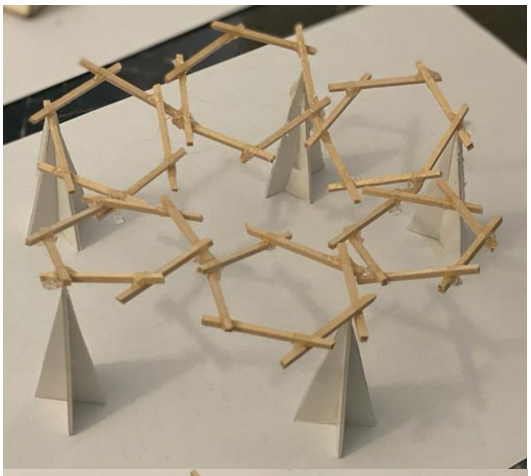


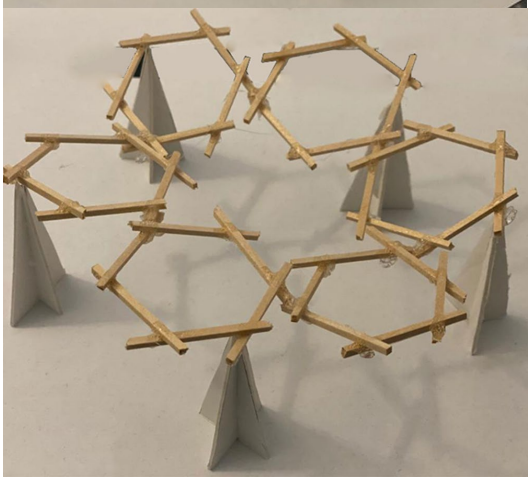
Şekil 3.3: Üçgen, beşgen, altıgen geçmeli strüktür modülü denemeleri

Tablo 3.1: 6 kollu yıldız kompozisyonu ve geçmeli strüktür hali için eskizler

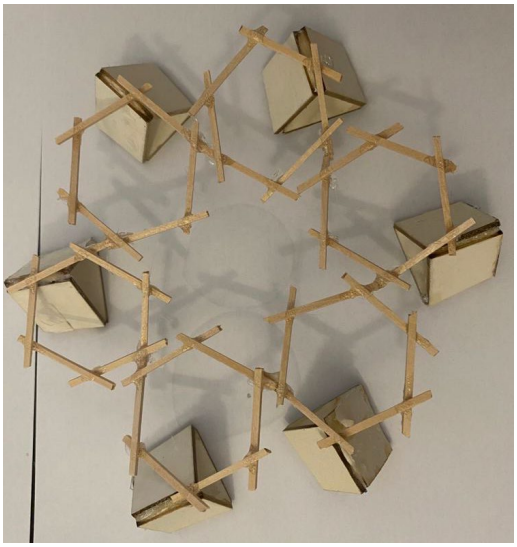
Doku	  (Schneider, 1980) (Bonner, 2017)
Yazar tarafından tekrar çizimi	
Modül	

6 modül	
6 modül (Destekli)	 Destek tipi 1  Destek tipi 1





Destek tipi 2

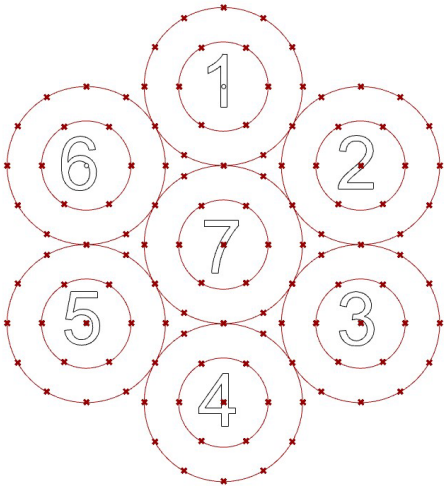


Destek tipi 3

3.3. İSLAMİ GEOMETRİK DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR PARAMETRİK MODELLEMESİ

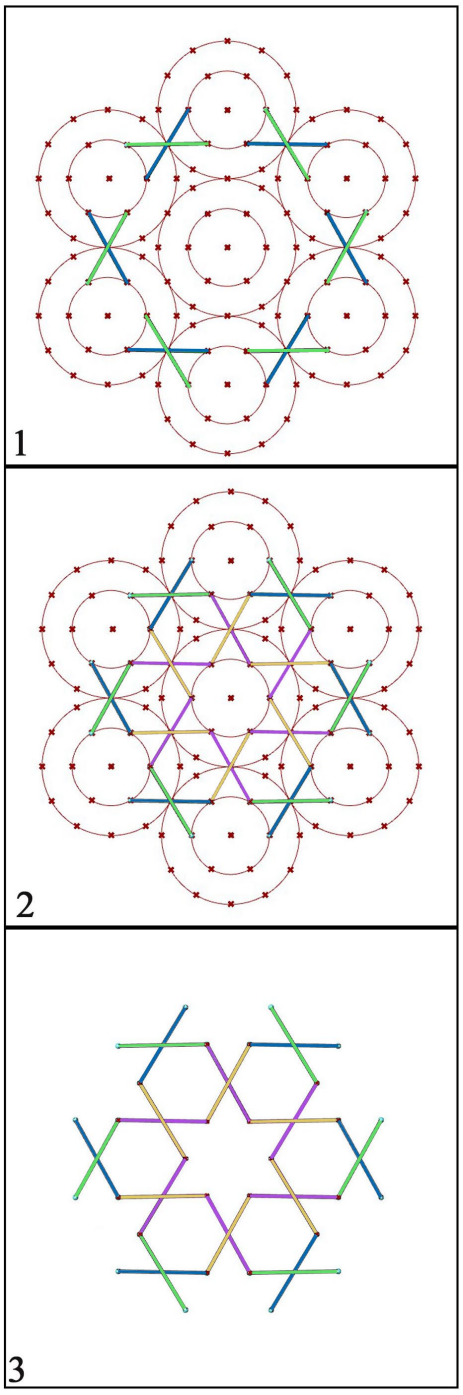
7 modüllü doku betiği oluşturulurken Grasshopper programı kullanılmıştır. Betik oluşturulurken ilk olarak 'Nokta' (*Point*) bileşeni ile nokta tanımlanmıştır. 'Daire' (*Circle Cnr*) bileşeni ile tanımlanan noktayı merkez alan daire oluşturulmuştur. Daire bileşeni'nin yarıçapını kontrol edebilmek için bileşenin 'Yarıçap' (*Radius*) girdisine bir 'Değer Kayaç' (*Number Slider*) bileşeni kullanılarak bağlanmıştır. Böylece daire kolayca büyütülüp küçültülebilmiştir. 'Eğri Bölücü' (*Divide Curve*) bileşeni ile daire istenilen parçaya eşit bölünmüştür. Bileşenin 'Sayı' (*Count*) girdisine değer bağlanarak bölünen parça kontrol edilebilmiştir. Kompozisyonu oluşturulabilmek için iki farklı yarıçapta daire kodlanmıştır. 'Eğri Bölücü' (*Divide Curve*) bileşenine 'Hareket' (*Move*) bileşeni bağlanmıştır. Üst üste bindirmenin yapılabilmesi için daireler yukarıya da ötelenmiştir. Bu öteleme işlemi 'Hareket' (*Move*) bileşeni ile Z ekseninde taşımayı sağlayan (*Unit Z*) bileşeni sayesinde yapılmıştır.

Daha sonra bu şekilde 7 modüllü dokuyu oluşturmak için 7 daire kodlanmıştır **(Şekil 3.4)**. 'Liste Öğesi' (*List Item*) bileşeni ile bir kirişin daireye değen köşeleri belirlenmiştir. 'Liste Öğesi' (*List Item*) bileşeni dairede istenilen noktayı seçmek için kullanılmaktadır. Noktalar tanımlandıktan sonra 'Hareket' (*Move*) bileşenine bağlanmıştır. 'Hareket' (*Move*) bileşeni ise (*Unit Z*) bileşenine bağlanmıştır. Böylelikle noktalar istenilen yükseklikte tanımlanabilmiştir.



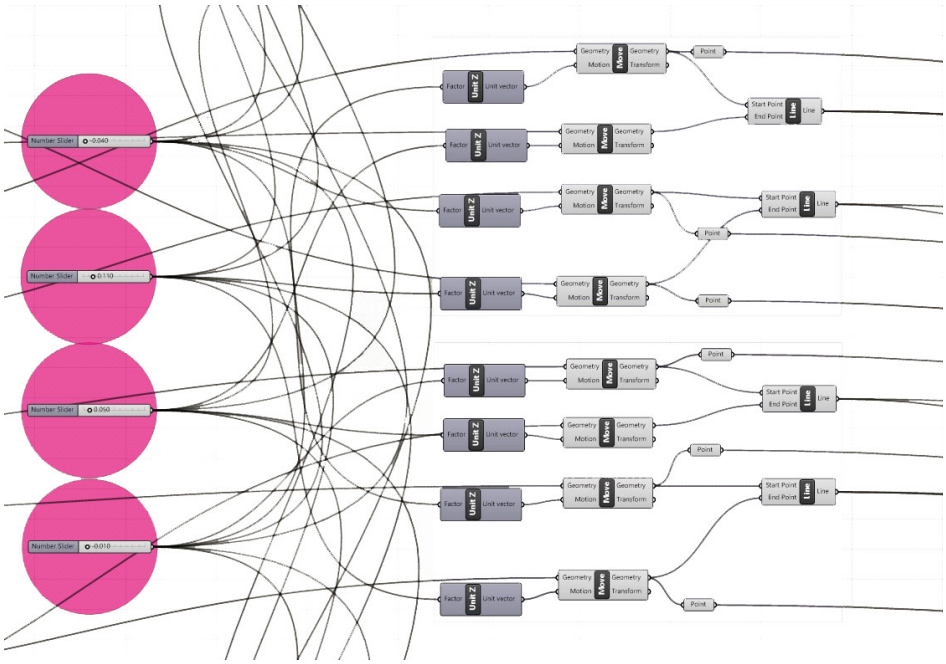
Şekil 3.4: Modeldeki yedi referans daire

7 modüllü doku için referans dairelere göre noktalar tanımlandıktan sonra ‘Çizgi’ (*Line*) bileşeni ile noktalar çizgiye dönüştürülmüştür. Önce dış kısımdaki üst üste binen kirişler, daha sonra ise iç kısımdaki üst üste binen kirişler çizgi olarak tanımlanmıştır. Bu kirişlerin şematik gösterimi **Şekil 3.5**’deki gibidir.

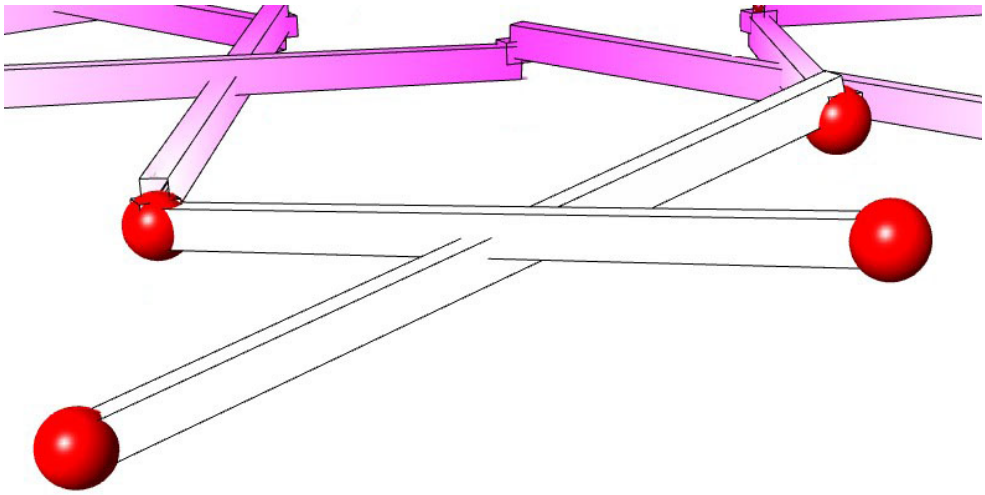


Şekil 3.5: Yedi modüllü dokunun oluşturulma süreci

Dış ve iç kısımdaki kirişlerde ise **Şekil 3.6**'daki betikteki gibi aynı bindirme mantığında olan kirişler gruplanmıştır ve aynı 'Değer Kayaç' (*Number Slider*) bileşenine bağlanmıştır. Bu sayede kolayca parametrize edilebilmiştir. Modeldeki bindirme mantığı aynı olan noktaların yerden yüksekliği aynı değer olarak tanımlanmıştır. Kirişlerin üst üste binmesi sonucunda iki kiriş arasında geçme detayı oluşmuştur ve bu geçme detayı **Şekil 3.7**'deki gibidir.

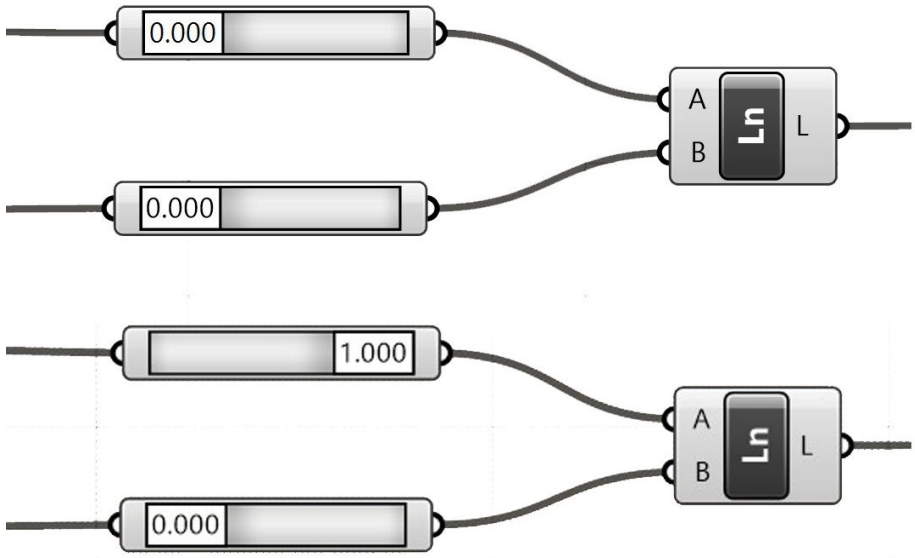


Şekil 3.6: Yedi modüllü doku betiğinde kirişlerin oluşturulması



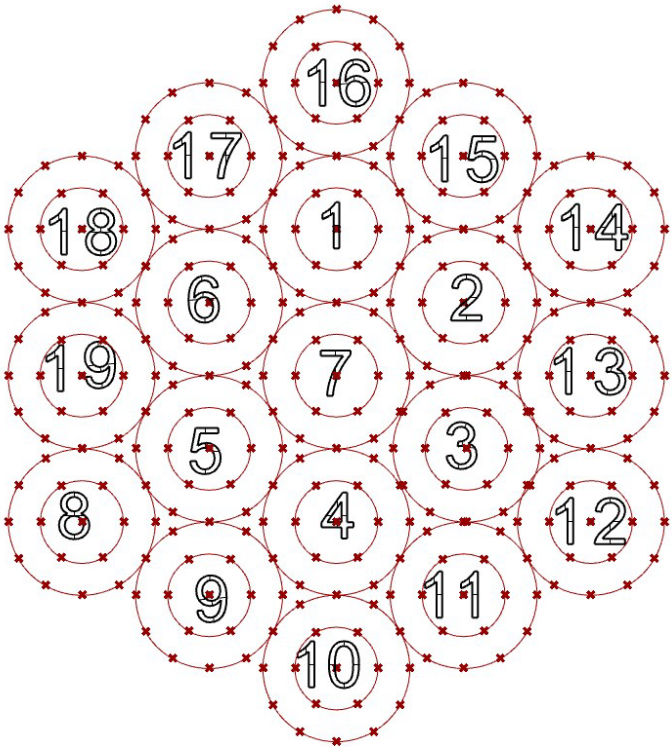
Şekil 3.7: Kirişlerin üst üste binmesi

Destek noktaları ise ‘Hareket’ (*Move*) bileşenine ‘Nokta’ (*Point*) bileşeninin bağlanması ile tanımlanmıştır. Destek noktaları tanımlandıktan sonra dokudaki ara kolonlar kodlanmıştır. Dokudaki ara kolonlar, ‘Çizgi’ (*Line*) bileşenine ‘Eğri Üzerindeki Nokta’ (*Point On Curve*) bileşeninin tanımlanıp bağlanması ile oluşturulmuştur. ‘Eğri Üzerindeki Nokta’ (*Point On Curve*) bileşeni ile kiriş üzerindeki istenilen herhangi bir nokta seçilebilmektedir**.** Bu dokuda kirişin başlangıç ve bitiş noktası olacak şekilde iki nokta tanımlanmıştır ve iki nokta, ‘Çizgi’ (*Line*) bileşeni ile **Şekil 3.8**’deki betikteki gibi ara kolona dönüştürülmüştür. Dokuyu oluştururken kullanılan ara kolonların hepsi aynı yükseklik değerinde ayarlanmıştır.

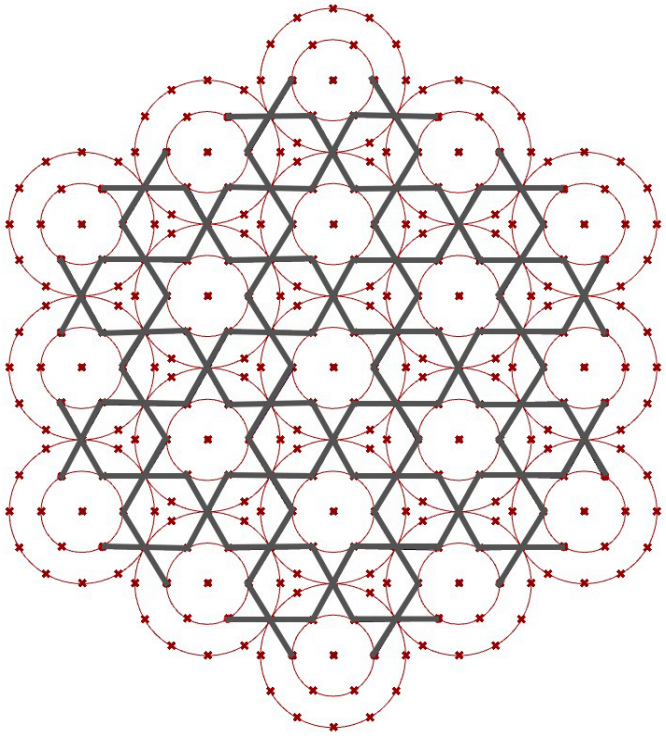


Şekil 3.8: Yedi modüllü doku betiğinde ara kolonun oluşturulması

19 modüllü doku modeli için de 7 modülü modeldeki 7 referans daire yerine 19 referans daire **(Şekil 3.9)** kodlanıp aynı adımlar izlenerek oluşturulmuştur. Buradaki bindirme mantığı aynı olan kirişler de kendi aralarında gruplanarak parametrize edilmiştir. 19 modüllü doku modülünde 7 modüllü doku sabit kalmıştır ve diğer kirişler 7 modüllü dokuya eklenerek genişletilmiştir. 19 modüllü modeldeki kirişlerin şematik gösterimi **Şekil 3.10**’daki gibidir.



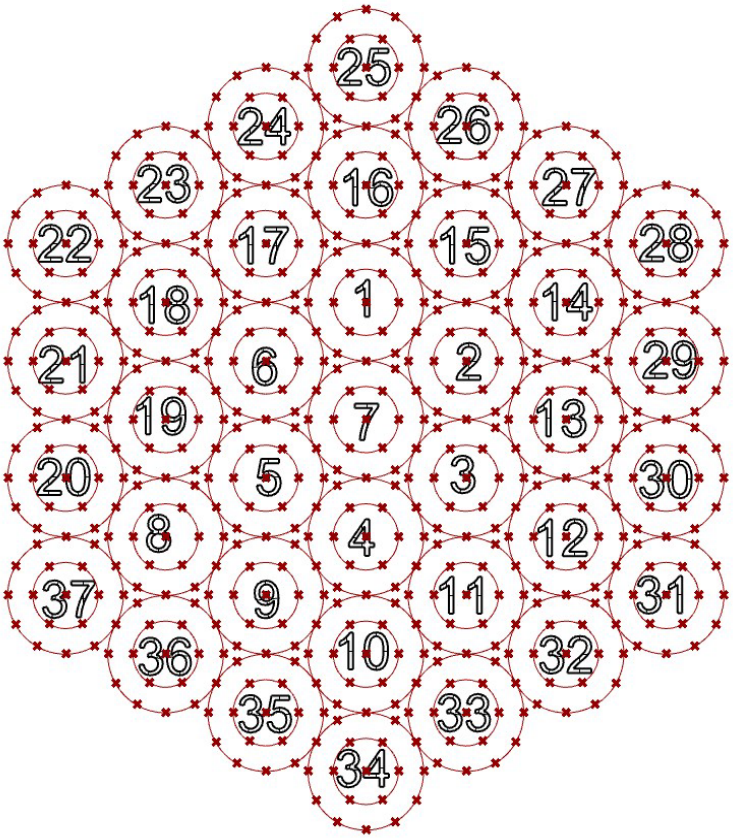
Şekil 3.9: Modeldeki on dokuz referans daire



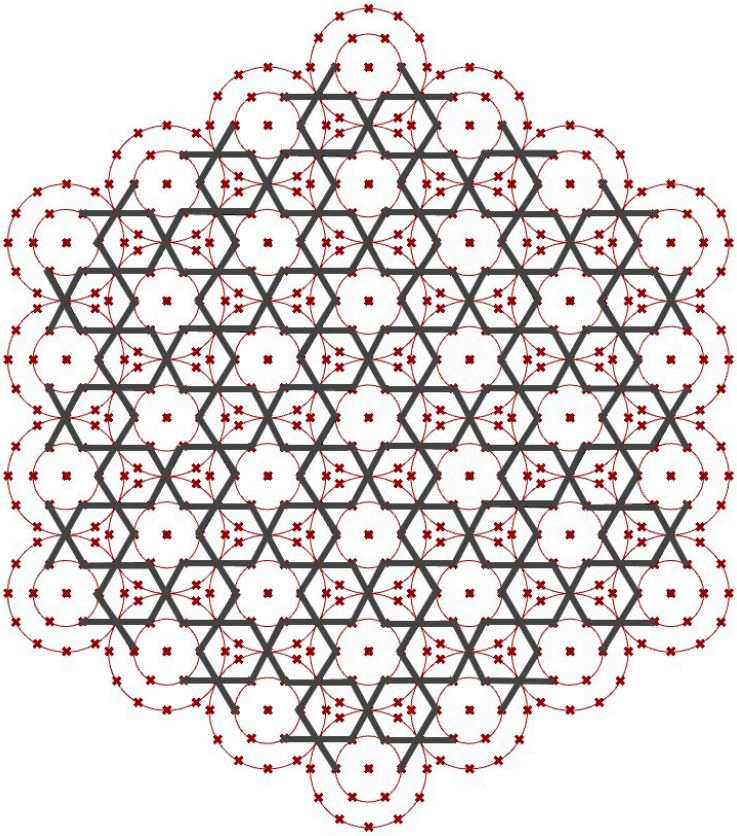
Şekil 3.10: On dokuz modüllü model şematik gösterimi

37 modüllü doku modeli için 37 referans daire **(Şekil 3.11)** kodlanıp model oluşturulmuştur. Bindirme mantığı aynı olan kirişler kendi aralarında gruplanarak parametrize edilmiştir. 37 modüllü doku modülünde 19 modüllü doku sabit kalmıştır ve diğer kirişler 19 modüllü dokuya eklenerek genişletilmiştir. 37 modüllü modeldeki kirişlerin şematik gösterimi **Şekil 3.12**'deki gibidir. Sistemdeki kirişler **(Şekil 3.14)** üst üste bindirme tekniği ile **Şekil 3.13**'deki modül biriminin genişletilmesi ile oluşturulmuştur.

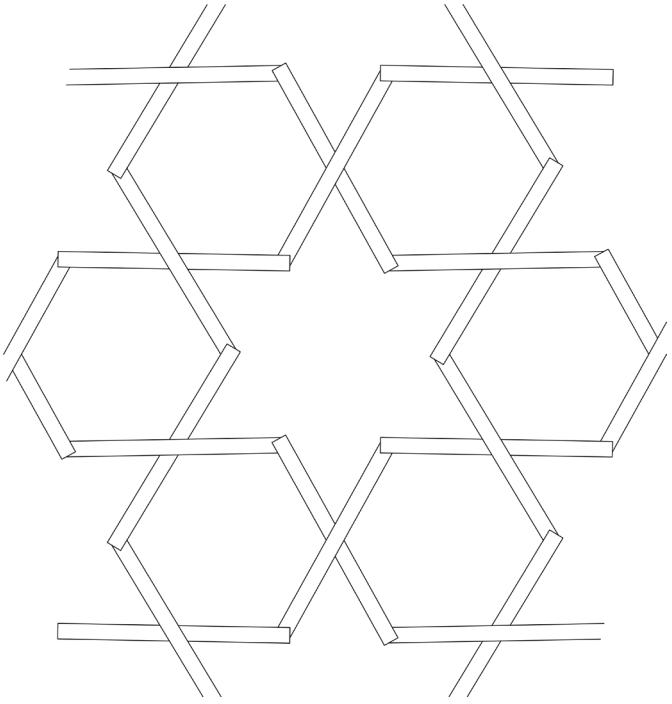
7 modüllü dokunun **(Ek 1)**, 19 modüllü dokunun **(Ek 3)** ve 37 modüllü dokunun **(Ek 4)** betiklerine ekler bölümünde yer verilmiştir. Ayrıca bir yıldızın oluşturulma betiği ve görseline **(Ek 2)**'de yer verilmiştir.



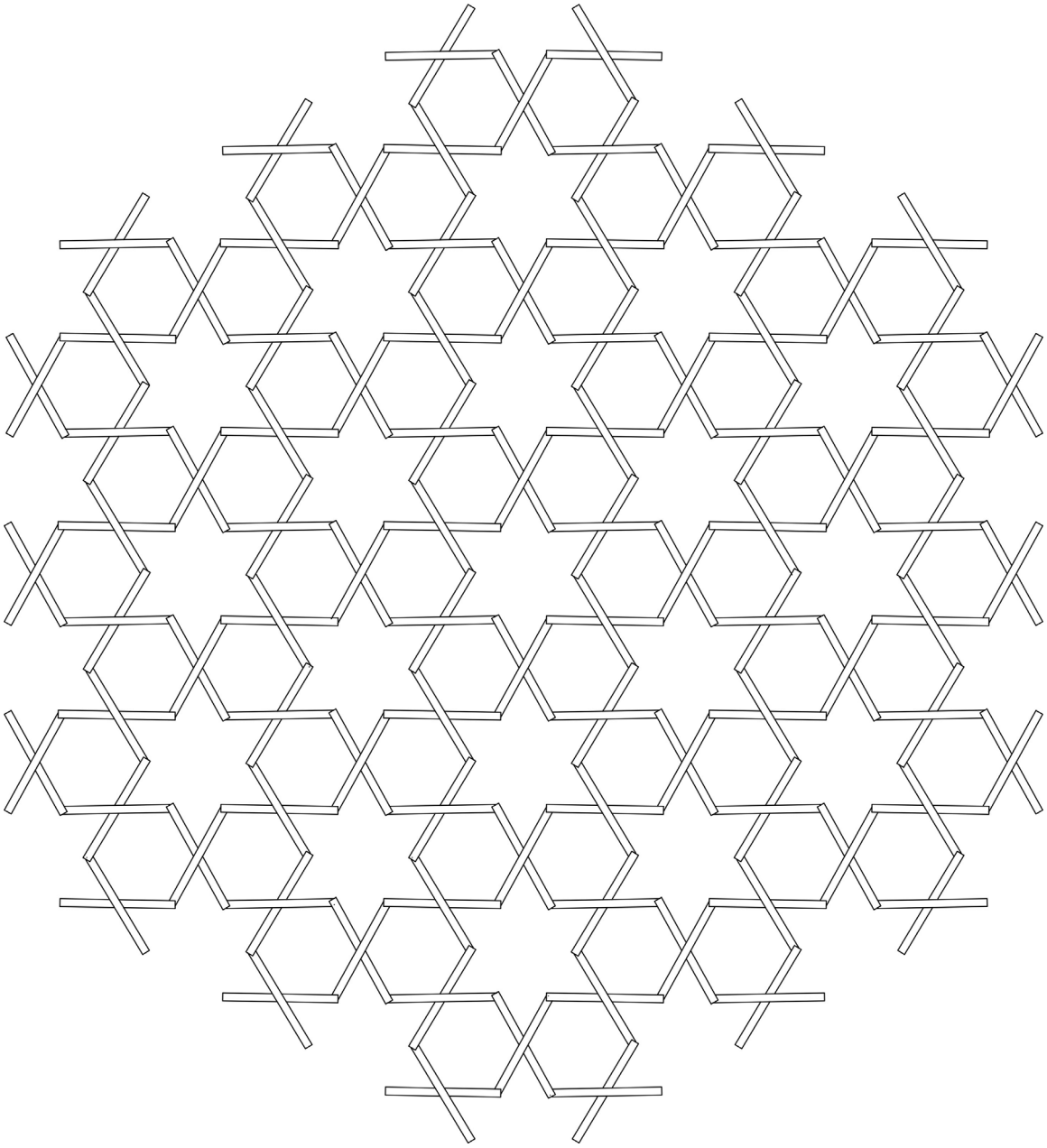
Şekil 3.11: Modeldeki otuz yedi referans daire



Şekil 3.12: Otuz yedi modüllü modelin şematik gösterimi



Şekil 3.13: Modül birimi



Şekil 3.14: 37 modüllü dokunun parçalarının üst üste binme prensibi

4. İSLAMİ DOKU ESASLI GEÇMELİ STRÜKTÜR ANALİZİ

4.1. STRÜKTÜREL ANALİZ

Bu tez kapsamında, Grasshopper'da Karamba ile strüktürel yapı analizi yapılmıştır. Karamba basit kiriş modellerinin, kafes sistemlerin, kabuk yapıların ve destek noktalarının genellikle Sonlu Eleman Analizi (*Finite Element Analysis*) için kullanılan bir eklentidir **(URL 23)**. Sonlu Eleman Analizi (FEA) her bir birimi bileşenlerine ayırarak kiriş ve kuvvetlerin reaksiyonlarının hesaplamalarını gerçekleştirmektedir (Çelebi, 2019).

Bu çalışmada kullanılan Karamba betiğinin mantığı şu şekildedir:

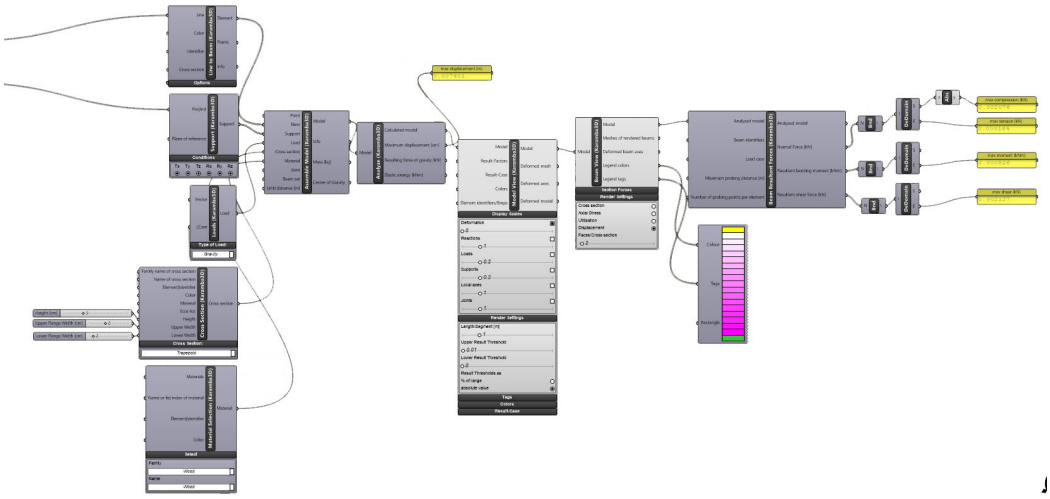
- İlk olarak oluşturulan çizgi geometrisi Karamba'da kiriş olarak tanımlanır.
- Noktalardan hangisinin destek noktası olarak tanımlanacağı belirlenir.
- Modeldeki tüm veriler birleştirilir.
- Model analiz edilir.
- Analiz edilen model görselleştirilir **(URL 24)**.

Karamba'da strüktürel analiz yapmadan önce, 'Birleştirme' (*Assemble*) bileşeni ile model tanımlanmıştır. Birleştirme bileşeni, nokta, kiriş, destekler, yükler, kesit tipi ve malzemeler gibi tüm girdileri birleştirerek sonlu eleman modelini oluşturmaktadır. Birleştirme bileşenine girdi olarak verilmesi gerekenler de ayrı bileşenlerle tanımlanmıştır. Bu bileşenler, 'Malzeme Seçimi' (*Matselect*) bileşeni, 'Kesit Tipi' (*Cross Section*) bileşeni, 'Destek' (*Support*) bileşeni ve 'Yükler' (*Loads*) bileşenidir **(Şekil 4.1)**.

Malzeme Seçimi bileşeni ile malzeme türü değiştirilerek analiz yapılabilmektedir. Malzeme türüne örnek olarak ahşap, beton ve çeliği verebiliriz. Malzemeye kesit türü tanımlamak için ise Kesit Tipi bileşeni kullanılmıştır. Bu bileşen çeşitli tipteki kesitlerle çalışmaya imkan sağlamaktadır (Çelebi, 2019). Destek bileşeni ile modelin destek noktaları tanımlanmaktadır. Yükler bileşeni ise

model için her türlü yükü oluşturmaya imkan tanır. Bu tezde yapılan testlerde yük türü olarak yer çekimi (*Gravitiy*) kullanılmıştır.

Birleştirme bileşenine girdiler bağlandıktan sonra, Birleştirme bileşeninin çıktısı 'Analiz' (*Analyze*) bileşenine bağlanarak analiz işlemi yapılmıştır. Analiz bileşeni modeldeki sapmaları hesaplamak için kullanılmaktadır. Analiz bileşeninin bir çıktısı 'Maksimum Yer değiştirme' (*Maximum Displacement*) değeridir. Bu çıktıya bir 'Panel' elemanı bağlanarak yer değiştirme değeri tespit edilebilmektedir. Bu çıktı modelin kirişlerindeki uç ve orta noktalarındaki yük durumu değişimini ifade etmektedir.

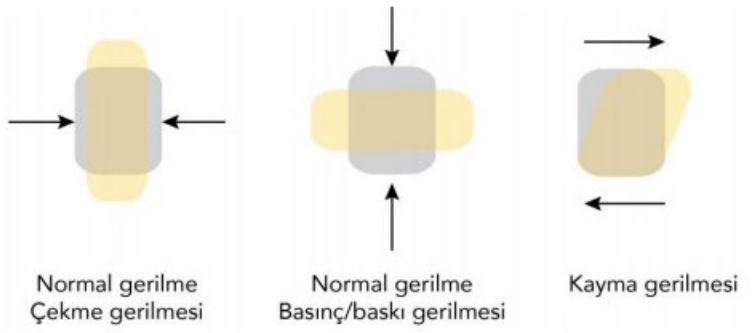


Şekil 4.1: Kullanılan Karamba betiği

Analiz bileşeninden sonra ise modelin analiz edildikten sonraki durumunu gösteren 'Model Görünümü' (*Model View*) bileşeni ve kirişlerin durumunu gösteren 'Kiriş Görünümü' (*Beam View*) bileşeni kullanılmıştır. Böylece kirişlere etki eden kuvvetler bulunabilmektedir. Gerilme, sıkıştırma ve kesme gerilmelerinin şematik gösterimi **Şekil 4.2**'deki gibidir.

- Maksimum Yer değiştirme (*Maximum Displacement*)
- Maksimum Sıkıştırma (*Maximum Compression*)
- Maksimum Gerilim (*Maximum Tension*)
- Maksimum Moment (*Maximum Moment*)
- Maksimum Kesme Kuvveti (*Maximum Shear*)

Genellikle sıkıştırma kuvvetleri için negatif değer çıkarken gerilme kuvvetleri için ise pozitif değerler çıkmaktadır. Bu yüzden 'Başlangıç' (*Start*) çıktısından çıkan Maksimum Sıkıştırma panelinden önce 'Mutlak' (*Absolute*) bileşeni bağlanmaktadır. Bu sayede mutlak değeri hesaplanabilmektedir **(URL 25)**.



Şekil 4.2: Çekme gerilmesi (*Tension*), basınç/sıkıştırma (*Compression*) ve kesme (*Shear*) gerilmesinin şematik gösterimi (Demirel, 2018)

Kuvvet Sl birim sisteminde (Metrik Sistem) F ile gösterilmektedir ve F:m.a (kütle çarpı ivme) formülünden bulunmaktadır. Kuvvetin simgesi N (Newton)'dur.

- 1 Newton (N): 1 kg/ms²
- 1 Kilonewton (kN) : 10^3 Newton
- 1 Kilonewtonmetre (kNm): 10^3 Newtonmetre (Güyagüler, 1984)

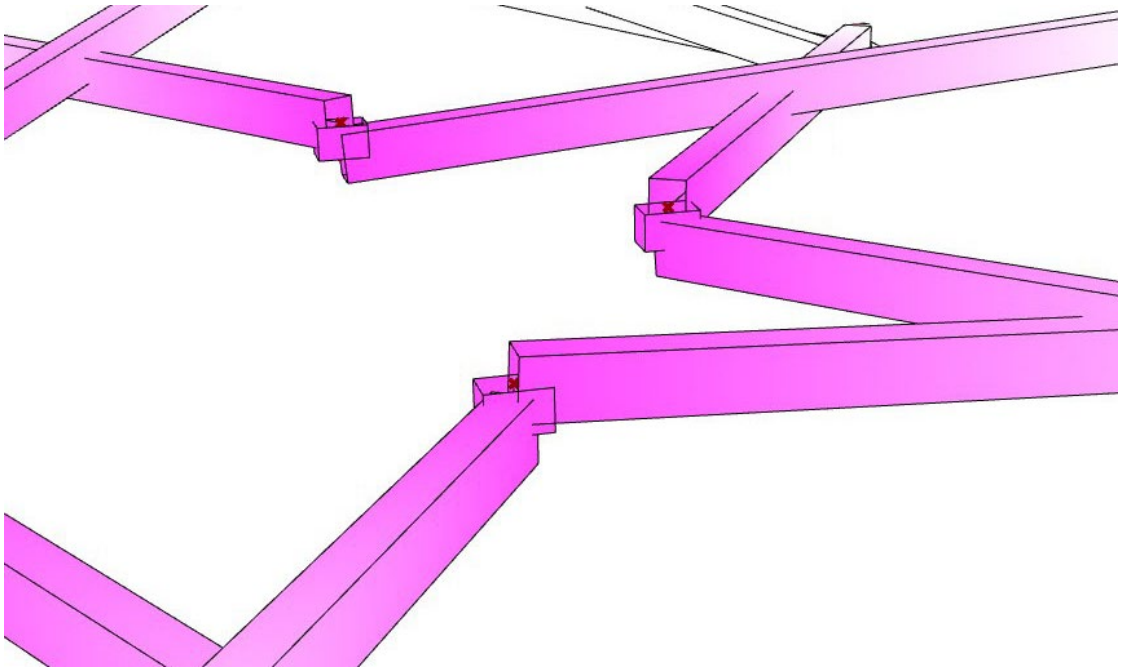
Basınç/sıkıştırma ve gerilme ise Sl birim sisteminde Pascal olarak tanımlanmaktadır. Simgesi ise Pa'dır.

- 1 Pascal (Pa): 1 N/m² (Güyagüler, 1984)

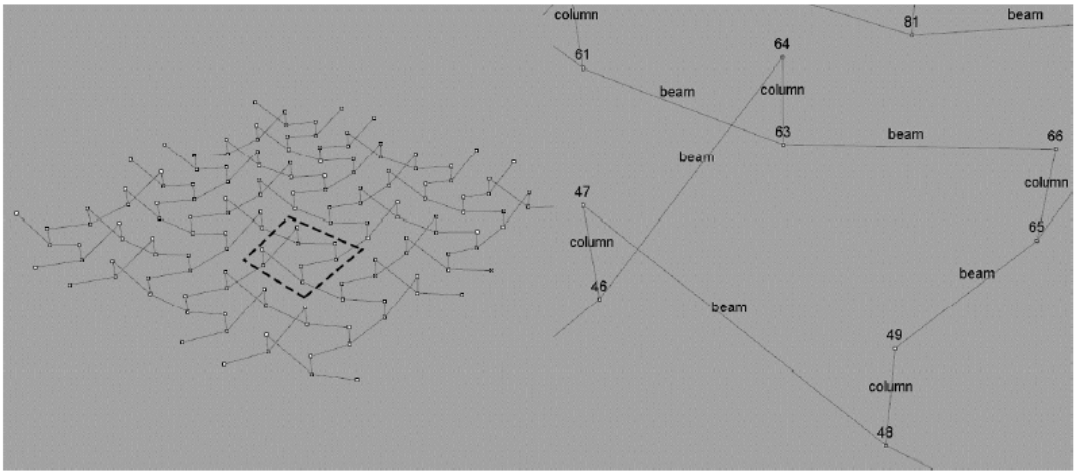
Birim alana etki eden kuvvete gerilme denilmektedir. Kuvvetin etki ettiği alana bölünmesi ile çekme, basınç/sıkıştırma ve kesme gerilmeleri bulunmaktadır (Yazıcı, 2013). Kuvvet birim kesit alanına dik gelerek boyutunda değişiklik meydana getiriyorsa normal gerilme olarak ifade edilmektedir. Normal gerilmeler ise çekme ve basınç gerilmesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Çekme gerilmesi pozitif, basınç gerilmesi ise negatif olmaktadır. Eğer kuvvet şeklin açısını değiştiriyor ise buna kesme/kayma gerilmesi denilmektedir (Demirel, 2018). Maksimum yer değiştirme (*Maximum Displacement*) ise kirişlerin yük altında hareket ettiği mesafeyi göstermektedir (Çelebi, 2019).

4.2. SİMÜLASYON ÖN HAZIRLIKLARI

Grasshopper'da modellenen dokular, strüktürel analiz betiğine girdi olarak verilmiştir. Bunun için 'Assemble' bileşenine bağlanan 'LineToBeam' bileşeni kullanılmıştır. Bu bileşen, Grasshopper'da tanımlanan çizgileri kirişe çevirebilmektedir. Bu bileşenle yıldız kolları kiriş olarak tanımlanmıştır. Ayrıca yıldız kolların birleştiği yerlerde yük transferinin sağlanabilmesi için ekstra ara kolonlar da tanımlanmıştır. Bu ara kolonlar 2 cm olarak tanımlanmıştır **(Şekil 4.3)**. Bunlar da betiğe kiriş olarak tanımlanmıştır. Bu yöntem, Gustafsson'un (2016) Karamba kullanarak yaptığı geçmeli strüktür calışmasında uyguladığı yöntemdir **(Şekil 4.4)**. Bu ara kolonların geometrik olarak modele tanımlanması aşaması bu tezin parametrik modelleme bölümünde bahsedilmiştir.

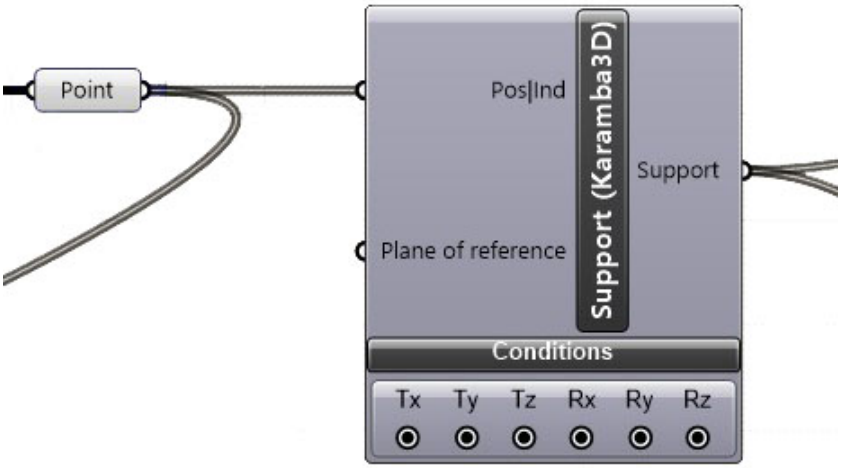


Şekil 4.3: Yıldız kolların birleşim yerlerindeki ara kolonlar (ara kolon yüksekliği: 2 cm)

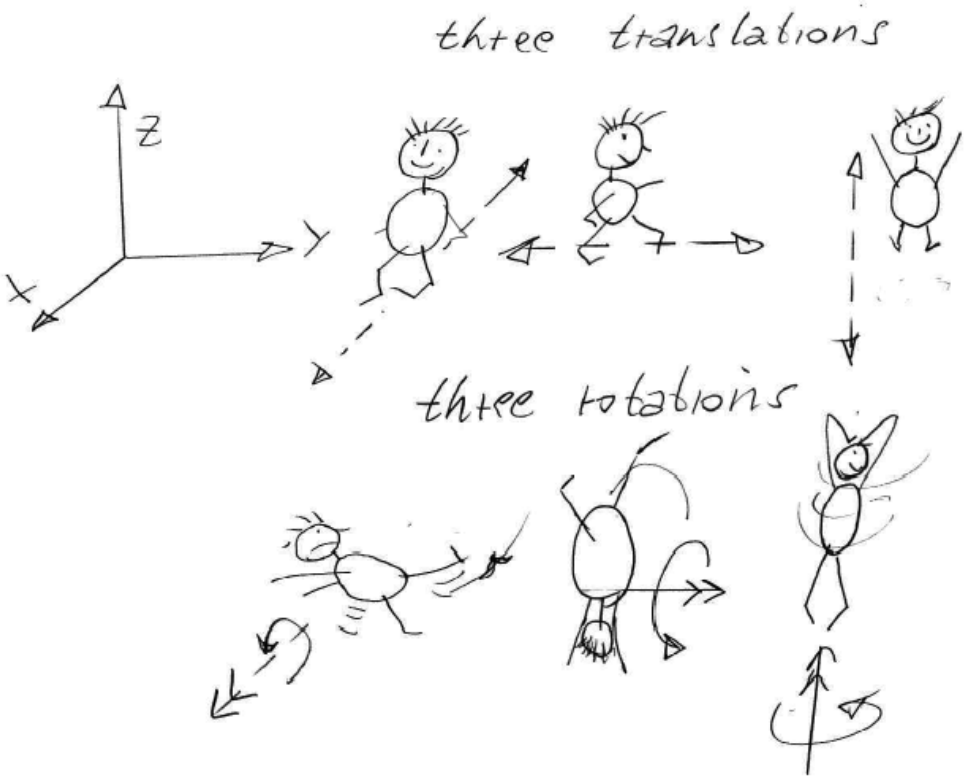


Şekil 4.4: Gustafsson'un (2016) Karamba'da geçmeli strüktür analizini yapmak için kullandığı yöntem

Betikteki destek noktaları ise 'List Item' bileşeni ile belirlenip destek bileşenine bağlanmıştır. 'Destek' (*Support*) bileşeni ile strüktürün nasıl destekleneceği tanımlanmaktadır **(Şekil 4.5)**. Statik analiz için strüktürün etrafında serbestçe hareket etmemesi gerekmektedir. Bunun için ise 'Destek' (*Support*) bileşeninde 6 hareket modu bulunmaktadır. Bu 6 hareket modunun ilk üçü X, Y, Z yönündeki 'Öteleme' (*Translation*) T'yi ifade ederken diğer üç mod ise X, Y, Z yönündeki 'Dönme' (*Rotation*) R desteklerini ifade etmektedir. Bu sayede 6 mod sabitlenerek cismin destek noktaları tanımlanabilmektedir **(Şekil 4.6)**. Daha sonrasında ise analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5: Destek (*Support*) bileşeni



Şekil 4.6: 6 hareket modu veya serbestlik derecesi (*Degrees of Freedom*- DOFs) (Preisinger, 2019)

4.3. YEDİ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZ SONUÇLARI

7 modüllü modelin strüktürel özelliklerini görmek için testler yapılmıştır. 7 modüllü dokunun çapı 2 metredir. Bu testlerin yerçekimli ortamda olması sağlanmıştır. Birim elemanların formundaki kesit sabit tutulmuştur. Bu testte değişken ise malzemedir. Ahşap, çelik ve beton olmak üzere 3 tip malzeme ile gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca 7 modüllü modelin destek sayısı ve lokasyonları değiştirilerek de testler yapılmıştır **(Tablo 4.1)**. 7 adet görünmeyen referans daire olduğu için 7 modüllü model olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4.1: 7 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri

	Değişken	**Değişken çeşitleri**	**Sabitler**	**Sabitlerin Değerleri**
7 modüllü için malzeme degişkeni ile yapılan testler	Malzeme	Ahşap Çelik Beton	Yerçekimi Profil kesiti Model çap Destek sayısı(12)	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit (3 x 2 cm) 200 cm
7 modüllü için destek değişkeni ile yapılan testler	Destek değişkeni	Destek sayısı (24,12,6) ve lokasyonu	Yerçekimi Profil kesiti Model çap	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit (3 x 2 cm) 200 cm

Destek tipi 1'de 12 adet destek kullanılmıştır. Destekler **Tablo 4.2**, **Tablo 4.3** ve **Tablo 4.4**'de kırmızı nokta halinde görüldüğü gibi dış kısımdaki kirişlerin bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.30 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görünmektedir.

Destek tipi 2'de 24 adet destek kullanılmıştır. Destekler dış kısımdaki kirişlerin başlangıç ve bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Bu test ahşap, çelik ve beton için yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları **Tablo 4.5**, **Tablo 4.6** ve **Tablo 4.7**'de verilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.30 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görünmektedir.

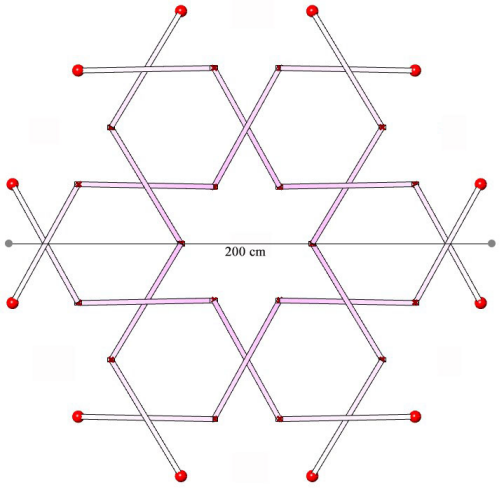
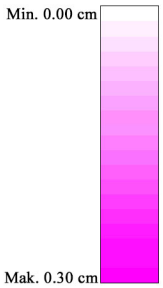
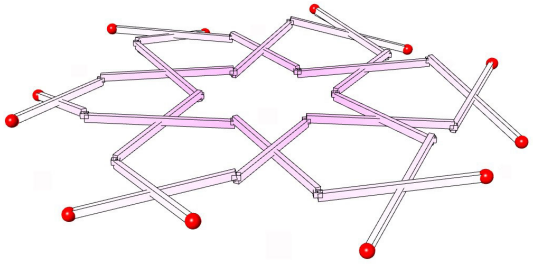
Destek tipi 3'de 12 adet destek kullanılmıştır. **Tablo 4.8**, **Tablo 4.9** ve **Tablo 4.10**'da ise kirişlerin başlangıç noktalarına tanımlanmıştır. Bu test ahşap, çelik ve beton için yapılmıştır. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.30 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görünmektedir.

Destek tipi 4'de 6 destek kullanılmıştır. Destekler 6 kollu yıldızın en iç kısımda kalan kiriş bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Bu test ahşap, çelik ve beton için yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları **Tablo 4.11**, **Tablo 4.12** ve **Tablo 4.13**'de verilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.30 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görünmektedir.

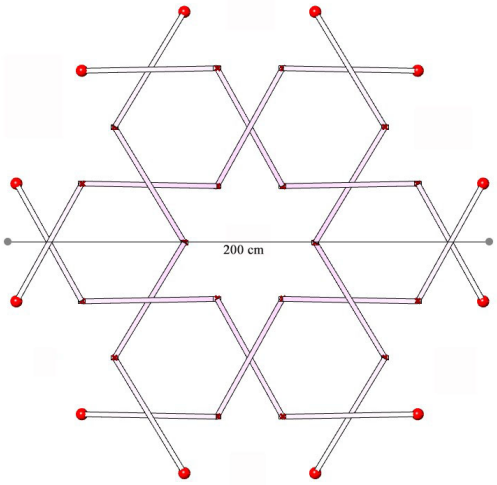
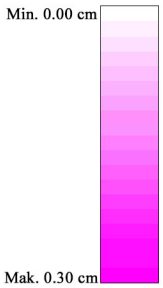
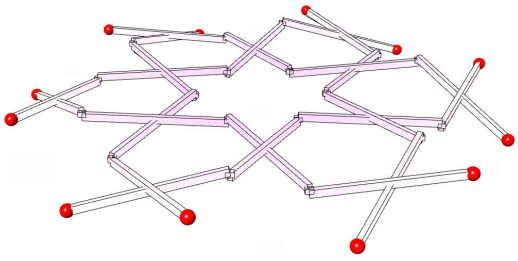
4.3.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler

Bu bölümde 7 modüllü dokunun ahşap, çelik ve beton olmak üzere malzeme değişkeni kullanılarak strüktürel analizleri yapılmıştır. **Tablo 4.2**, **Tablo 4.3** ve **Tablo 4.4**'de bu testlerin sonuçları gösterilmiştir.

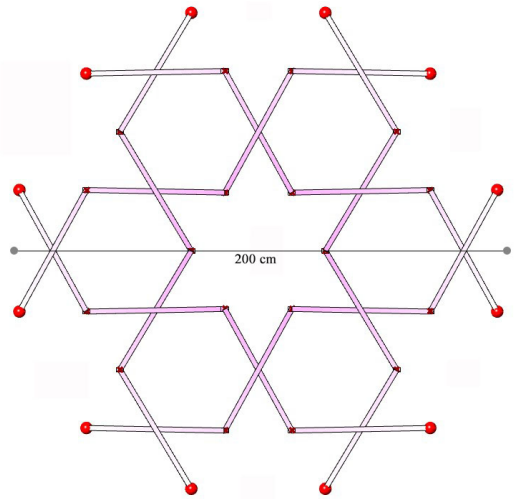
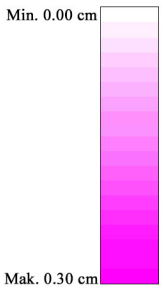
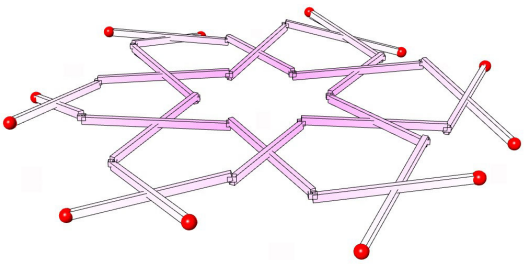
Tablo 4.2: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.06949 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.002131 kN Maksimum gerilim (kN): 0.002118 kN Maksimum moment (kNm): 0.001525 kNm Maksimum kesme (kN): 0.004189 kN

Tablo 4.3: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet)

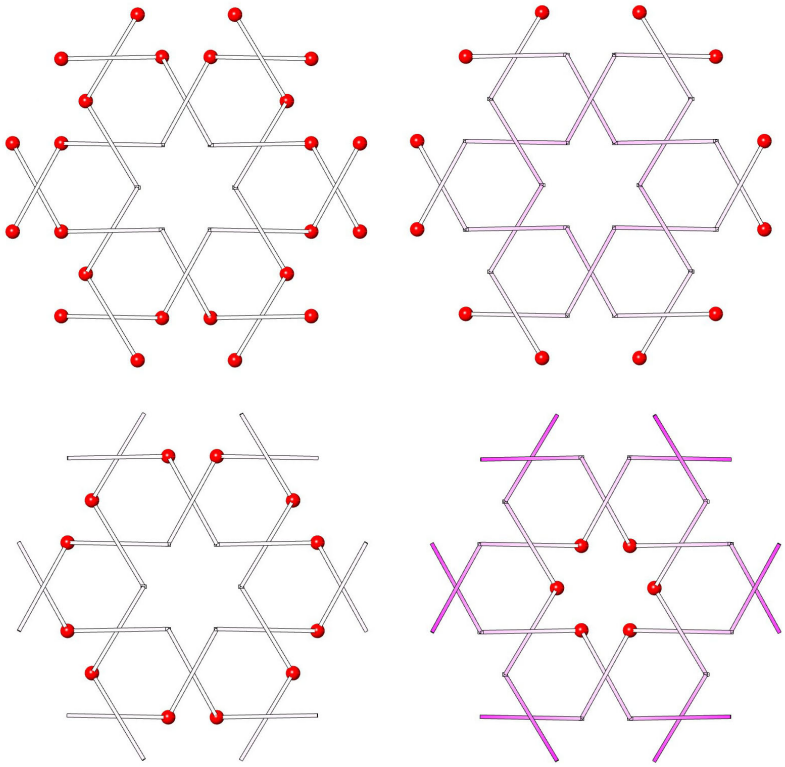
7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.042582 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.027893 kN Maksimum gerilim (kN): 0.027703 kN Maksimum moment (kNm): 0.019874 kNm Maksimum kesme (kN): 0.054786 kN

Tablo 4.4: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 1, 12 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.087929 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.008886 kN Maksimum gerilim (kN): 0.008821 kN Maksimum moment (kNm): 0.006313 kNm Maksimum kesme (kN): 0.017444 kN

4.3.2. Destek Değişkeni ile Yapılan Testler

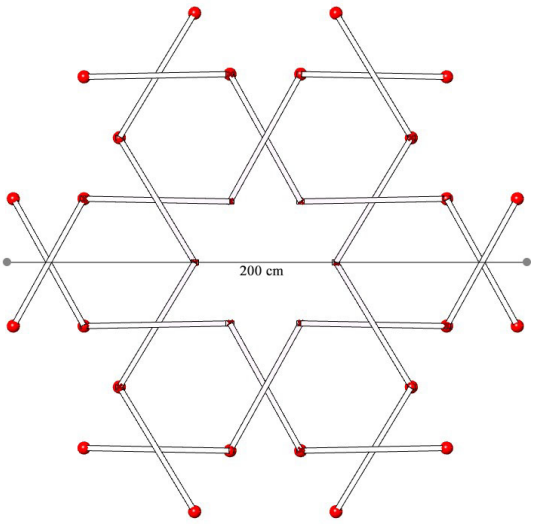
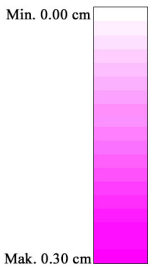
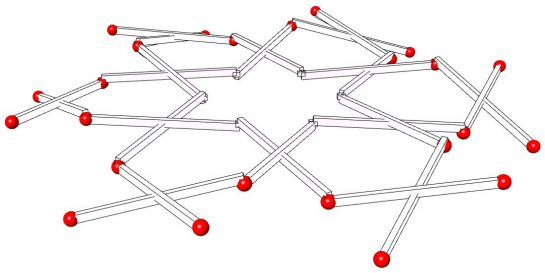
Bu bölümde 7 modüllü dokunun destek sayısı ve destek lokasyonları değiştirilerek strüktürel analizleri yapılmıştır. 7 modüllü doku için destek lokasyonları **Şekil 4.7**'deki gibidir.



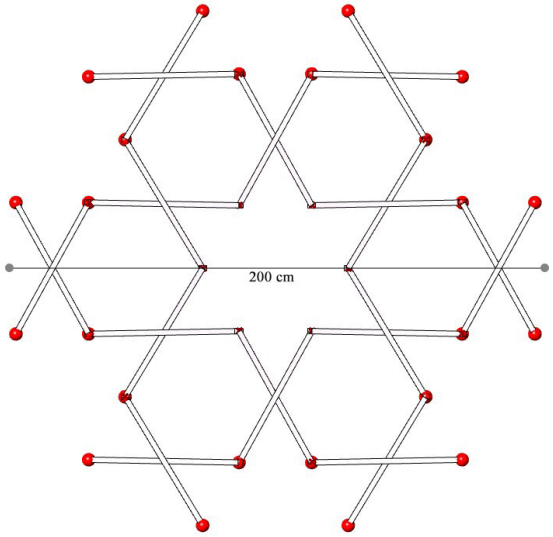
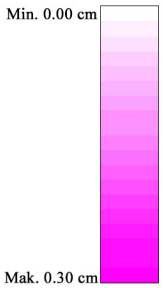
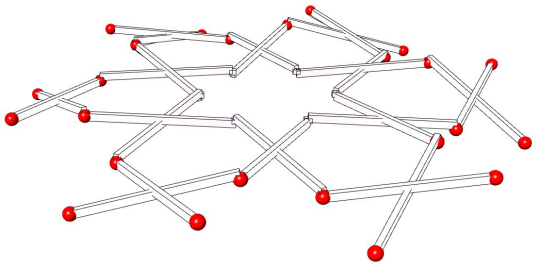
Şekil 4.7: 7 modüllü dokunun destek lokasyonları

Tablo 4.5, **Tablo 4.6**, **Tablo 4.7**, **Tablo 4.8**, **Tablo 4.9**, **Tablo 4.10**, **Tablo 4.11**, **Tablo 4.12 ve Tablo 4.13**'de bu testlerin sonuçları gösterilmiştir. **Tablo 4.5**, **Tablo 4.8** ve **Tablo 4.11**'de sabit değer olarak malzeme ahşap olarak tanımlanırken değişken değer olarak destek sayısı ise sırasıyla 24, 12 ve 6 olarak tanımlanmıştır. **Tablo 4.6**, **Tablo 4.9** ve **Tablo 4.12**'de sabit değer olarak malzeme çelik olarak tanımlanırken değişken değer olarak destek sayısı ise sırasıyla 24, 12 ve 6 olarak tanımlanmıştır. **Tablo 4.7**, **Tablo 4.10** ve **Tablo 4.13**'de sabit değer olarak malzeme beton olarak tanımlanırken değişken değer olarak destek sayısı ise sırasıyla 24, 12 ve 6 olarak tanımlanmıştır.

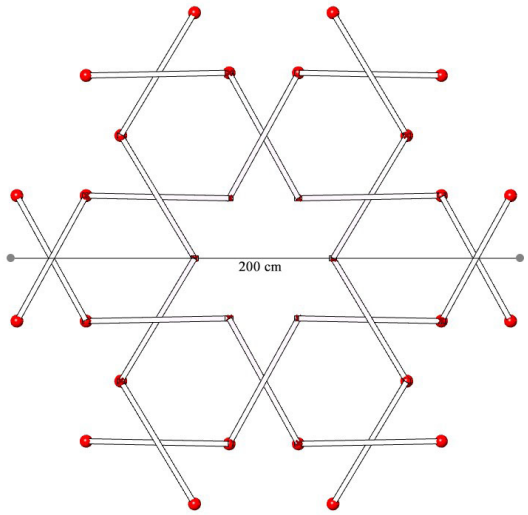
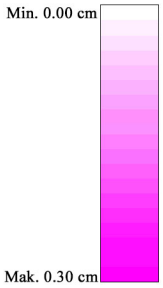
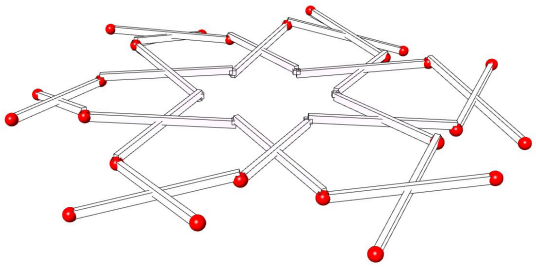
Tablo 4.5: 7 modüllü ahşap malzemeli örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.007401 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.002076 kN Maksimum gerilim (kN): 0.000164 kN Maksimum moment (kNm): 0.000526 kNm Maksimum kesme (kN): 0.002127 kN

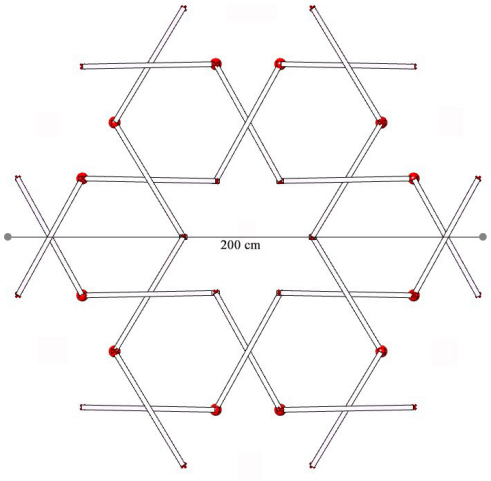
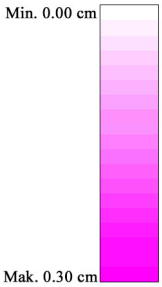
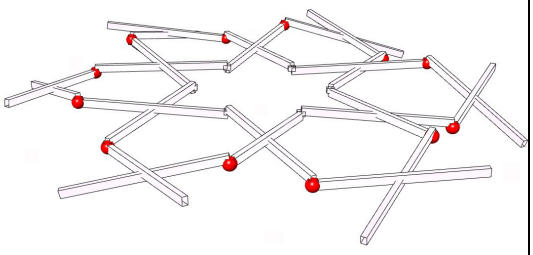
Tablo 4.6: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.004708 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.027172 kN Maksimum gerilim (kN): 0.002153 kN Maksimum moment (kNm): 0.006795 kNm Maksimum kesme (kN): 0.027819 kN

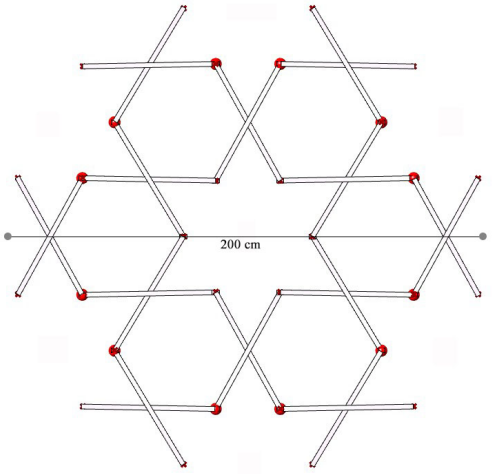
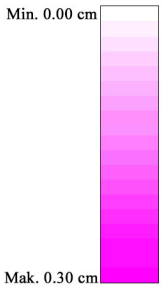
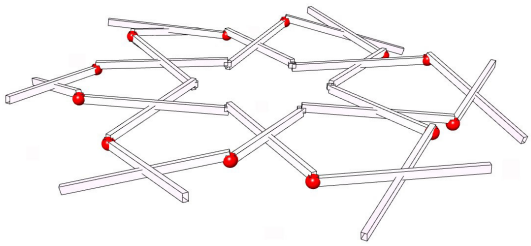
Tablo 4.7: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 2, 24 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.009959 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.008656 kN Maksimum gerilim (kN): 0.000688 kN Maksimum moment (kNm): 0.002146 kNm Maksimum kesme (kN): 0.008857 kN

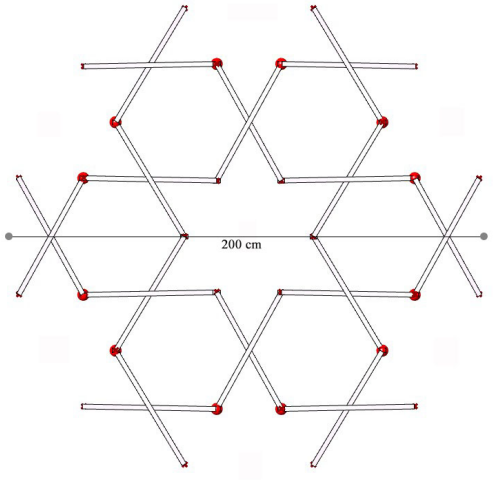
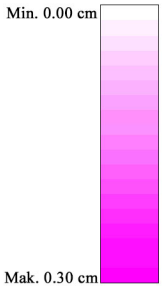
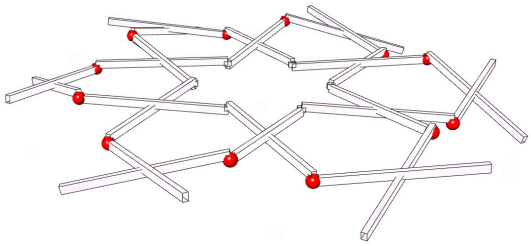
Tablo 4.8: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.013037 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.002152 kN Maksimum gerilim (kN): 0.00054 kN Maksimum moment (kNm): 0.00058 kNm Maksimum kesme (kN): 0.002127 kN

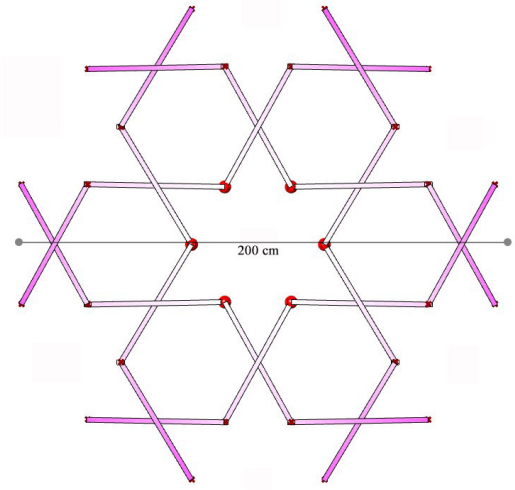
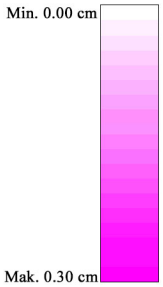
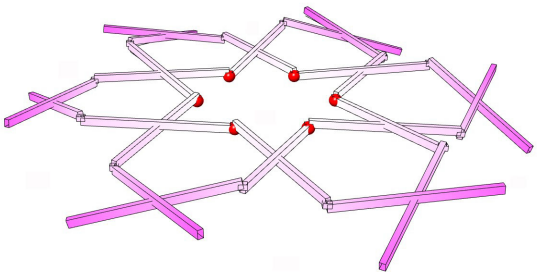
Tablo 4.9: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.008526 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.028149 kN Maksimum gerilim (kN): 0.007065 kN Maksimum moment (kNm): 0.007589 kNm Maksimum kesme (kN): 0.027819 kN

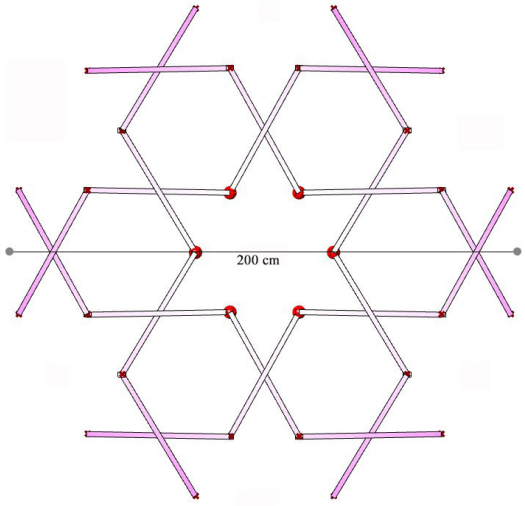
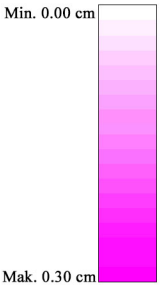
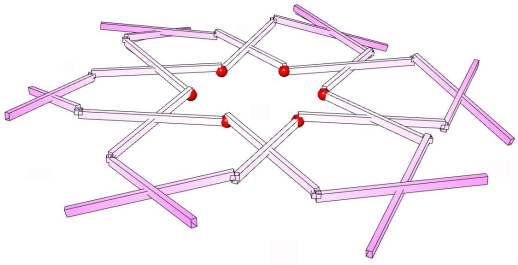
Tablo 4.10: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 3, 12 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 12 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.018392 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.008965 kN Maksimum gerilim (kN): 0.00225 kN Maksimum moment (kNm): 0.002417 kNm Maksimum kesme (kN): 0.008857 kN

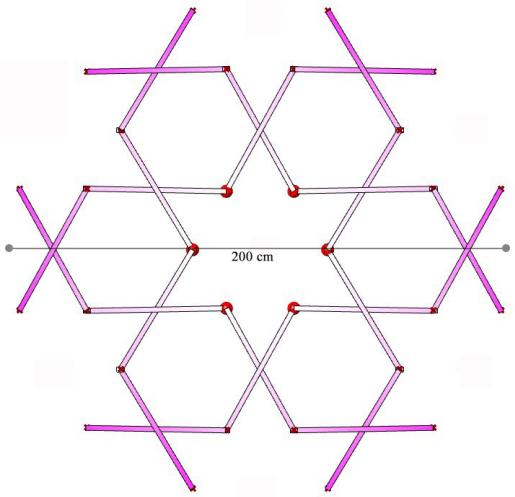
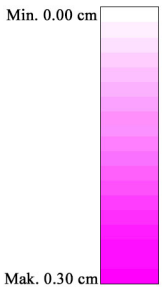
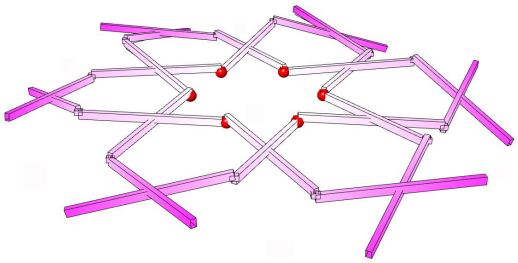
Tablo 4.11: 7 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 6 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.186463 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.004175 kN Maksimum gerilim (kN): 0.002092 kN Maksimum moment (kNm): 0.002052 kNm Maksimum kesme (kN): 0.004154 kN

Tablo 4.12: 7 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 6 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.116226 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.054618 kN Maksimum gerilim (kN): 0.027368 kN Maksimum moment (kNm): 0.026853 kNm Maksimum kesme (kN): 0.054348 kN

Tablo 4.13: 7 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu (Destek tipi 4, 6 adet)

7 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 200 cm Destek sayısı: 6 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.24289 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.017394 kN Maksimum gerilim (kN): 0.008716 kN Maksimum moment (kNm): 0.008552 kNm Maksimum kesme (kN): 0.017308 kN

4.4. ON DOKUZ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZ SONUÇLARI

19 modüllü modelin strüktürel özelliklerini görmek için testler yapılmıştır. 19 modüllü dokunun çapı 3.9 metredir. Bu testlerin yerçekimli ortamda olması sağlanmıştır. Birim elemanların formundaki kesit sabit tutulmuştur. Ayrıca 19 modüllü modelin profil kesit kalınlıkları değiştirilerek de testler yapılmıştır. Bu testlerin yerçekimli ortamda olması sağlanmıştır ve malzeme sabit tutulmuştur **(Tablo 4.14)**. 19 adet görünmeyen referans daire olduğu için 19 modüllü model olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4.14: 19 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri

	Değişken	**Değişken çeşitleri**	**Sabitler**	**Sabitlerin Değerleri**
19 modüllü için malzeme degişkeni ile yapılan testler	Malzeme	Ahşap Çelik Beton	Yerçekimi Profil kesiti Model çap	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit (3x2 cm) 390 cm
19 modüllü için profil kesiti değişkeni ile yapılan testler	Profil kesiti	3x2 cm 2x4 cm 3x3 cm 3x4 cm 4x4 cm	Yerçekimi Model çap Malzeme	Yerçekimli ortam 390 cm Ahşap

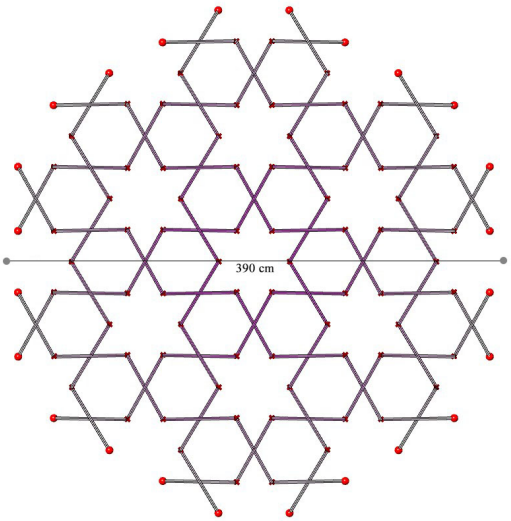
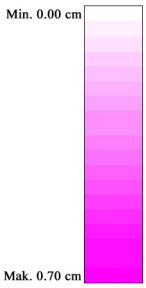
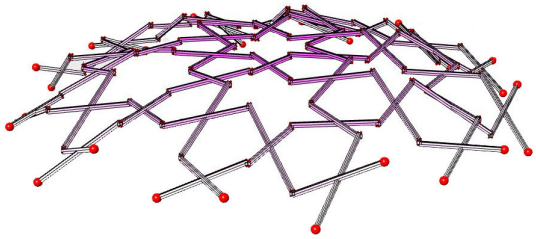
Destekler dış kısımdaki kirişlerin bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Bu test ahşap, çelik ve beton için yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları **Tablo 4.15**, **Tablo 4.16** ve **Tablo 4.17**'de verilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.70 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görülmektedir.

Profil kesit kalınlığı değiştirilerek yapılan testlerin sonuçları ise **Tablo 4.15**, **Tablo 4.18**, **Tablo 4.19**, **Tablo 4.20** ve **Tablo 4.21**'de verilmiştir. Bu testlerde de destekler dış kısımdaki kirişlerin bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-0.70 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görülmektedir.

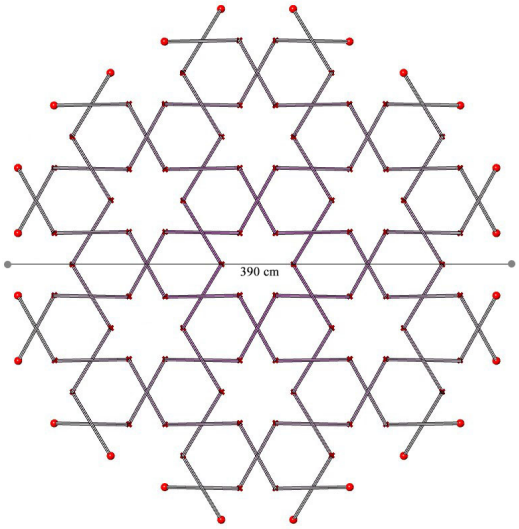
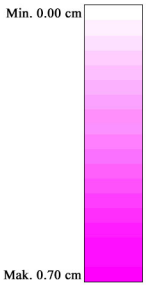
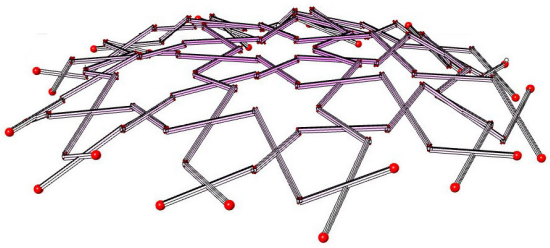
4.4.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler

Bu bölümde 19 modüllü dokunun ahşap, çelik ve beton olmak üzere malzeme değişkeni kullanılarak strüktürel analizleri yapılmıştır. **Tablo 4.15**, **Tablo 4.16** ve **Tablo 4.17**'de bu testlerin sonuçları gösterilmiştir.

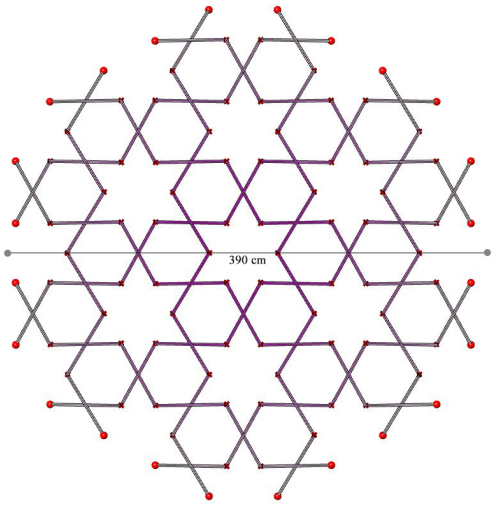
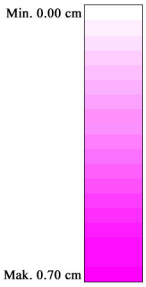
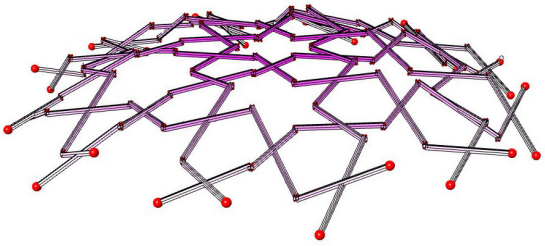
Tablo 4.15: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.46251 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.012285 kN Maksimum gerilim (kN): 0.006408 kN Maksimum moment (kNm): 0.003636 kNm Maksimum kesme (kN): 0.0101 kN

Tablo 4.16: 19 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.29272 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.159323 kN Maksimum gerilim (kN): 0.083773 kN Maksimum moment (kNm): 0.047723 kNm Maksimum kesme (kN): 0.130222 kN

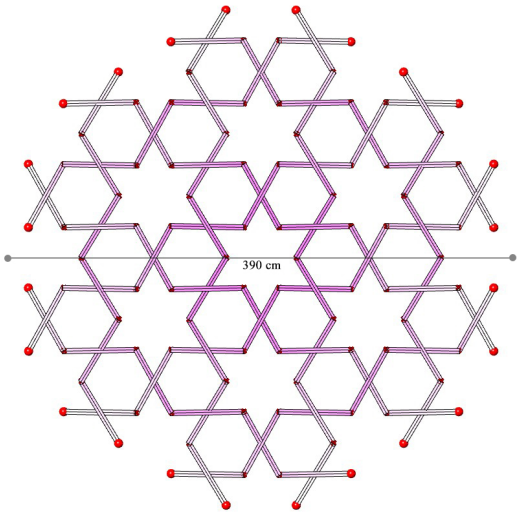
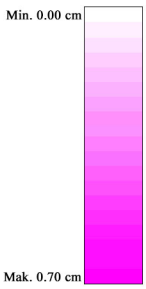
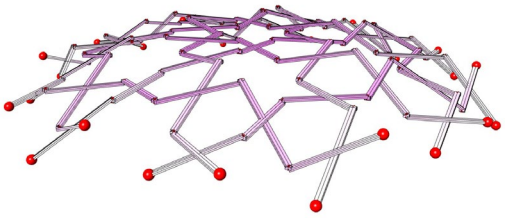
Tablo 4.17: 19 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.617727 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.050443 kN Maksimum gerilim (kN): 0.026664 kN Maksimum moment (kNm): 0.015233 kNm Maksimum kesme (kN): 0.041061 kN

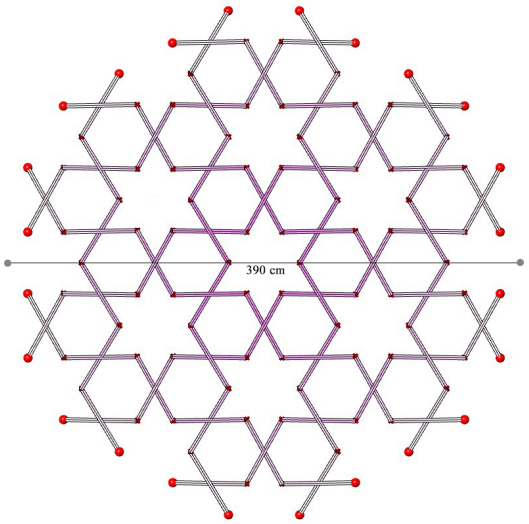
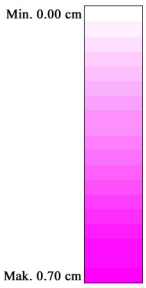
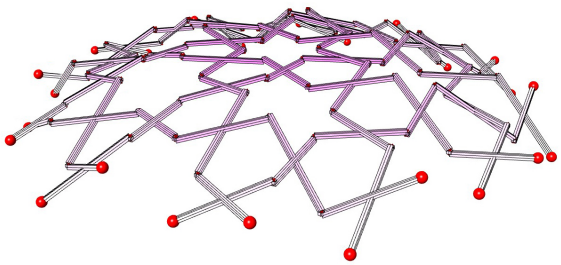
4.4.2. Profil Birim Kalınlığı Değişkeni ile Yapılan Testler

Bu bölümde 19 modüllü dokunun 3 cm x 2 cm, 2 cm x 4 cm, 3 cm x 3 cm, 3 cm x 4 cm ve 4 cm x 4 cm olmak üzere profil birim kalınlığı değişkeni kullanılarak strüktürel analizleri yapılmıştır. **Tablo 4.15**, **Tablo 4.18**, **Tablo 4.19**, **Tablo 4.20** ve **Tablo 4.21**'de bu testlerin sonuçları gösterilmiştir.

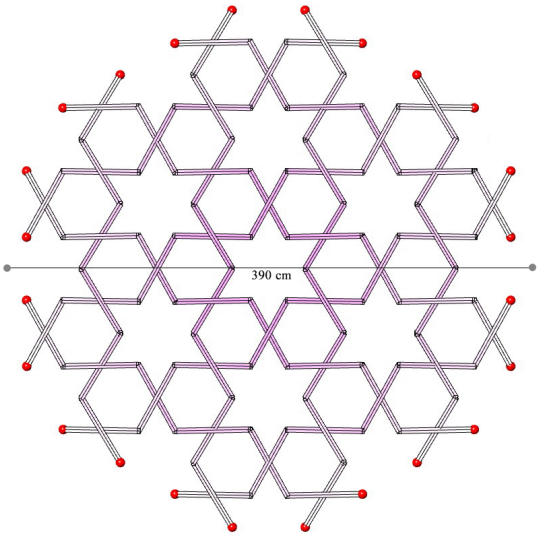
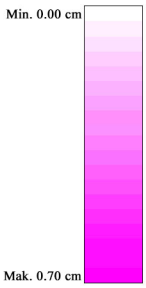
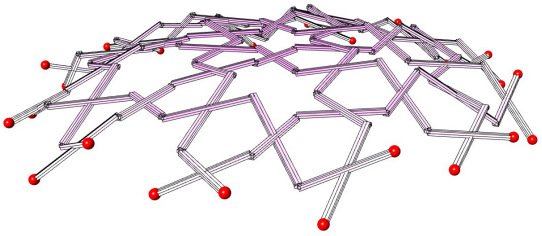
Tablo 4.18: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 2 cm x 4 cm)

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı:2 cm x 4 cm dikdörtgen kesitli** Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.311492 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.020553 kN Maksimum gerilim (kN): 0.00864 kN Maksimum moment (kNm): 0.004807 kNm Maksimum kesme (kN): 0.019468 kN

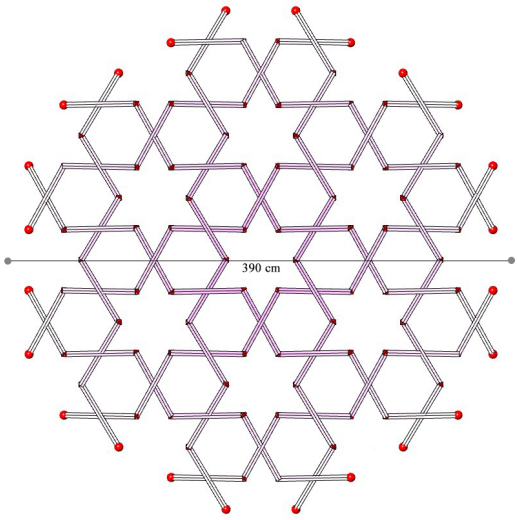
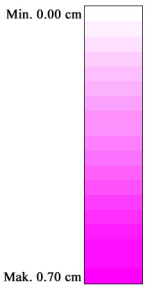
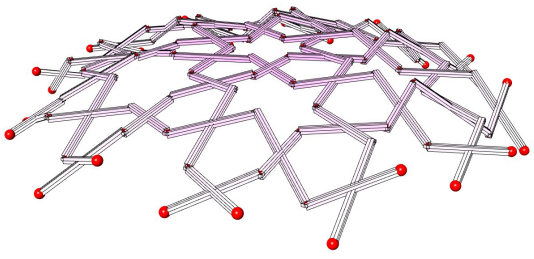
Tablo 4.19: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 3 cm)

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Kare kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 3 cm x 3 cm kare kesitli** Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.273919 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.020502 kN Maksimum gerilim (kN): 0.009659 kN Maksimum moment (kNm): 0.00527 kNm Maksimum kesme (kN): 0.018121 kN

Tablo 4.20: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 4 cm)

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 3 cm x 4 cm dikdörtgen kesitli** Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.199791 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.029042 kN Maksimum gerilim (kN): 0.012921 kN Maksimum moment (kNm): 0.007101 kNm Maksimum kesme (kN): 0.026615 kN

Tablo 4.21: 19 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 4 cm x 4 cm)

19 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Kare kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 4 cm x 4 cm kare kesitli** Model çap: 390 cm Destek sayısı: 24 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.155149 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.036381 kN Maksimum gerilim (kN): 0.017171 kN Maksimum moment (kNm): 0.009364 kNm Maksimum kesme (kN): 0.032118 kN

4.5. OTUZ YEDİ MODÜLLÜ DOKUNUN STRÜKTÜREL ANALİZİ

37 modüllü modelin strüktürel özelliklerini görmek için testler yapılmıştır. 37 modüllü dokunun çapı 5.82 metredir. Bu testlerin yerçekimli ortamda olması sağlanmıştır. Birim elemanların formundaki kesit sabit tutulmuştur. Ayrıca 37 modüllü modelin profil kesit kalınlıkları değiştirilerek de testler yapılmıştır. Bu testlerin yerçekimli ortamda olması sağlanmıştır ve malzeme sabit tutulmuştur **(Tablo 4.22)**. 37 adet görünmeyen referans daire olduğu için 37 modüllü model olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 4.22: 37 modüllü dokunun sabit ve değişkenleri

	Değişken	**Değişken cesitleri**	**Sabitler**	**Sabitlerin Değerleri**
37 modüllü için malzeme değişkeni ile yapılan testler	Malzeme	Ahşap	Yerçekimi	Yerçekimli ortam
		Çelik	Profil kesiti	Dikdörtgen kesit (3x2 cm)
		Beton	Model çap	582 cm
37 modüllü için profil kesiti değişkeni ile yapılan testler	Profil kesiti	3x2 cm	Yerçekimi	Yerçekimli ortam
		2x4 cm	Model çap	582 cm
		3x3 cm	Malzeme	Ahşap
		3x4 cm		
		4x4 cm		

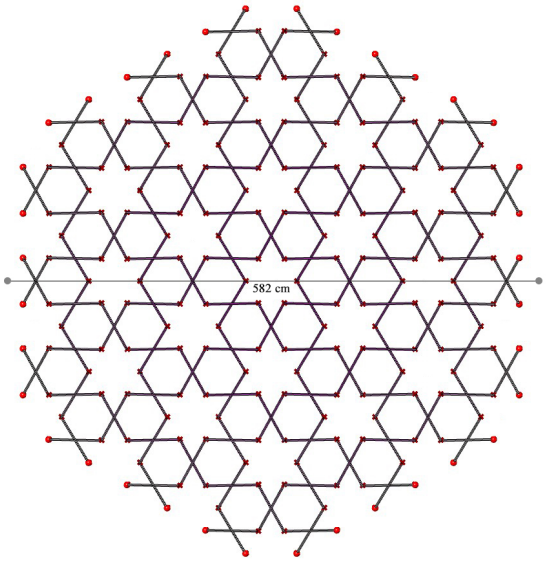
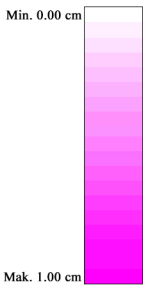
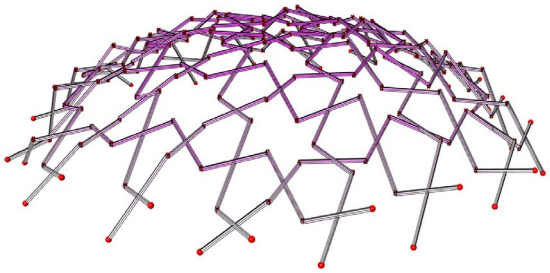
Destekler dış kısımdaki kirişlerin bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Bu test ahşap, çelik ve beton için yapılmıştır. Bu testlerin sonuçları **Tablo 4.23**, **Tablo 4.24** ve **Tablo 4.25**'de verilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-1.00 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görülmektedir. **Tablo 4.25**'deki beton ile yapılan testte ise betondaki yer değiştirme belirlenen 0.00-1.00 değer skalasının üst değerinden fazla çıktığı için dokunun üst kısmı yeşil olmuştur.

Profil kesit kalınlığı değiştirilerek yapılan testlerinin sonuçları ise **Tablo 4.23**, **Tablo 4.26**, **Tablo 4.27**, **Tablo 4.28** ve **Tablo 4.29**'da verilmiştir. Bu testlerde de kirişler dış kısımdaki kirişlerin bitiş noktalarına yerleştirilmiştir. Yer değiştirme skalasının değer aralığı ise 0.00-1.00 cm aralığındadır. Pembe oldukça yer değiştirmenin fazlalaştığı görülmektedir.

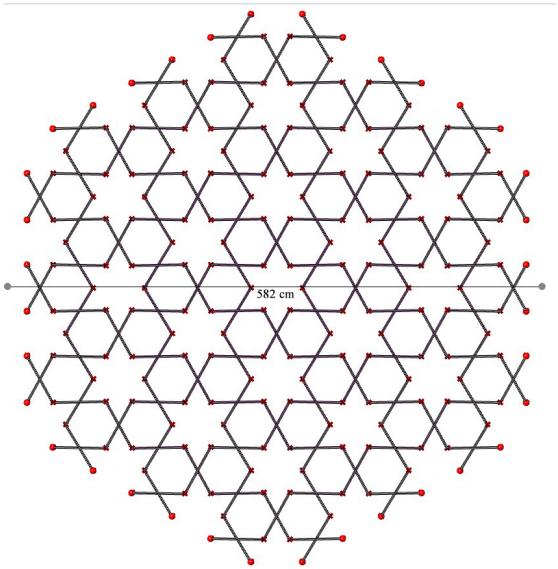
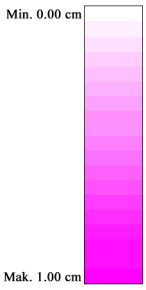
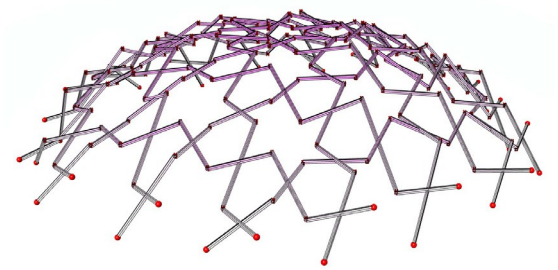
4.5.1. Malzeme Değişkeni ile Yapılan Testler

Bu bölümde 37 modüllü dokunun ahşap, çelik ve beton olmak üzere malzeme değişkeni kullanılarak strüktürel analizleri yapılmıştır. **Tablo 4.23**, **Tablo 4.24** ve **Tablo 4.25**'de bu testlerin sonuçları gösterilmiştir.

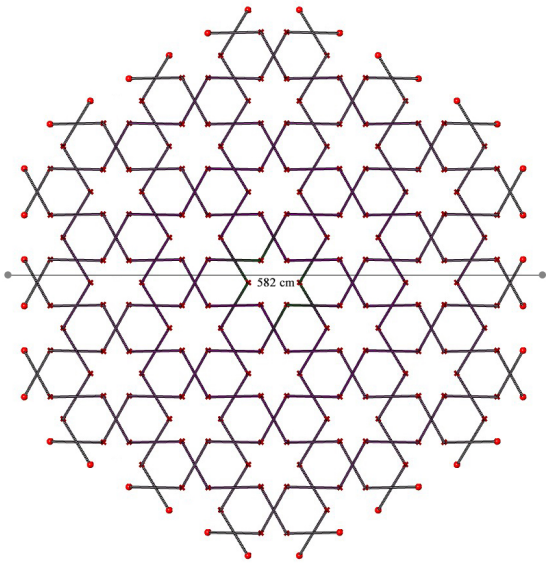
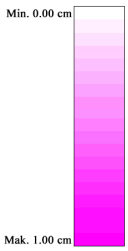
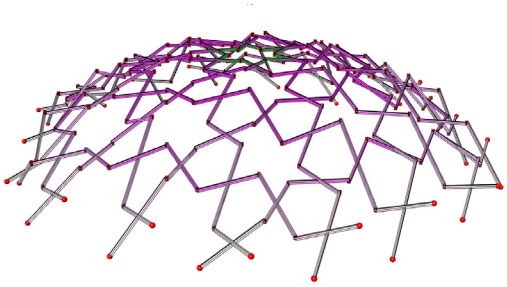
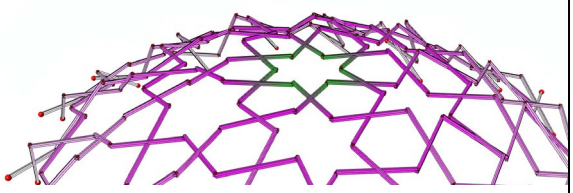
Tablo 4.23: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Ahşap** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.753151 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.018483 kN Maksimum gerilim (kN): 0.010988 kN Maksimum moment (kNm): 0.00516 kNm Maksimum kesme (kN): 0.015422 kN

Tablo 4.24: 37 modüllü çelik örneğin simülasyon sonucu

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Çelik** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.482853 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.241312 kN Maksimum gerilim (kN): 0.143725 kN Maksimum moment (kNm): 0.067727 kNm Maksimum kesme (kN): 0.2016 kN

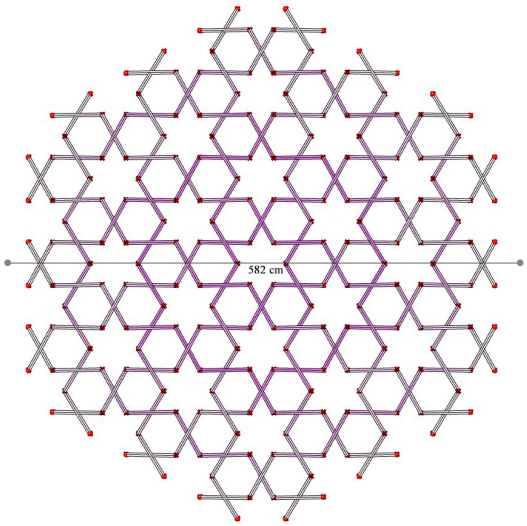
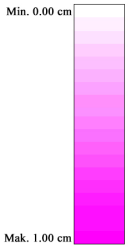
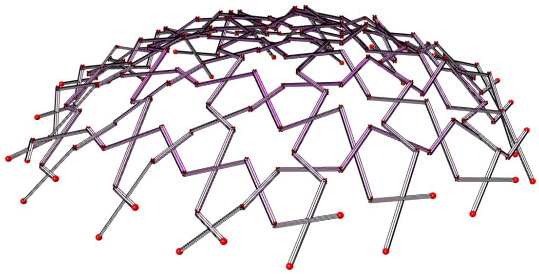
Tablo 4.25: 37 modüllü beton örneğin simülasyon sonucu

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir) 	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit **Malzeme: Beton** Profil birim kalınlığı: 3 cm x 2 cm dikdörtgen kesitli Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 1.02794 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.07674 kN Maksimum gerilim (kN): 0.045765 kN Maksimum moment (kNm): 0.021617 kNm Maksimum kesme (kN): 0.064168 kN

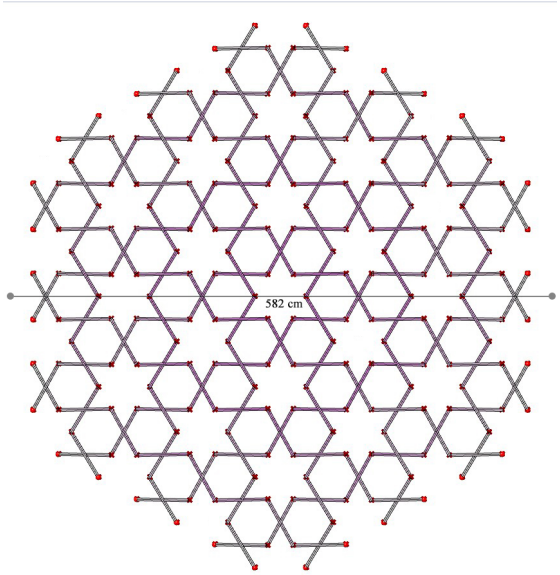
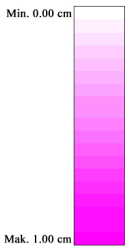
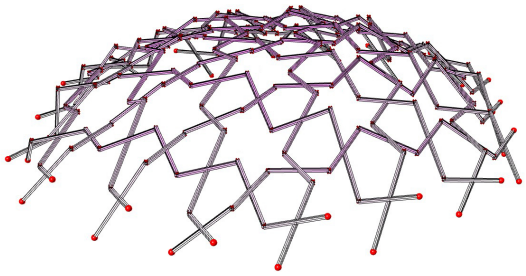
4.5.2. Profil Birim Kalınlığı Değişkeni ile Yapılan Testler

Bu bölümde 37 modüllü dokunun 3 cm x 2 cm, 2 cm x 4 cm, 3 cm x 3 cm, 3 cm x 4 cm ve 4 cm x 4 cm olmak üzere profil birim kalınlığı değişkeni kullanılarak strüktürel analizleri yapılmıştır. **Tablo 4.23**, **Tablo 4.26**, **Tablo 4.27**, **Tablo 4.28** ve **Tablo 4.29**'da bu testlerin sonuçları gösterilmiştir.

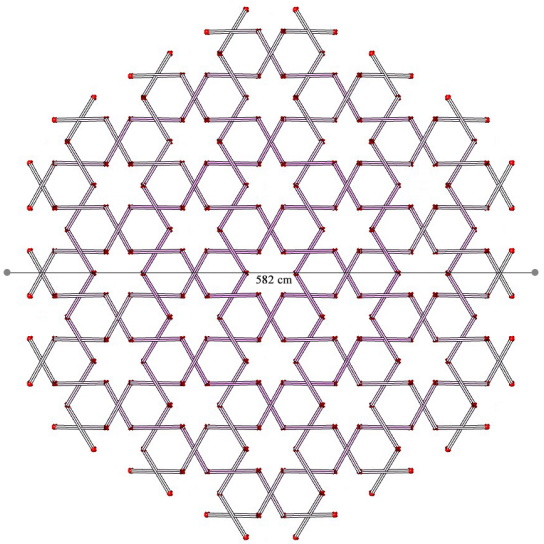
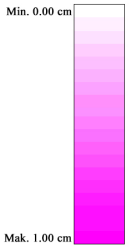
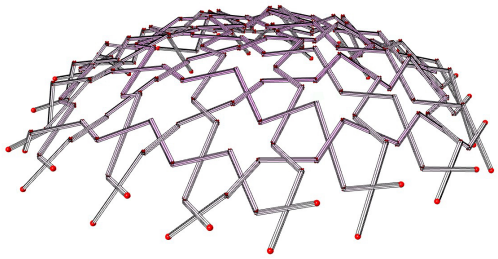
Tablo 4.26: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 2 cm x 4 cm)

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 2 cm x 4 cm dikdörtgen kesitli** Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.518884 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.025739 kN Maksimum gerilim (kN): 0.014672 kN Maksimum moment (kNm): 0.006007 kNm Maksimum kesme (kN): 0.020977 kN

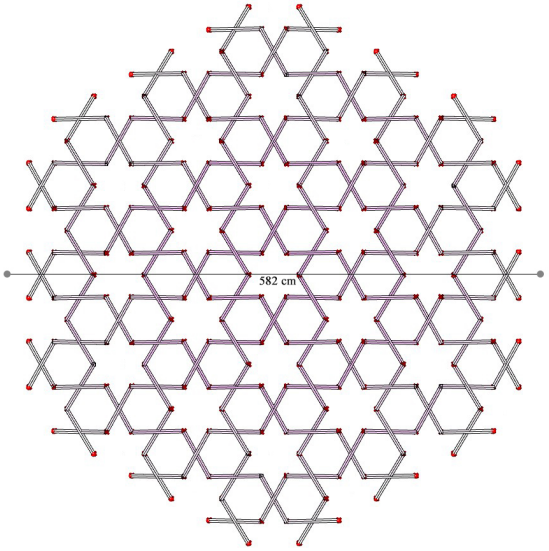
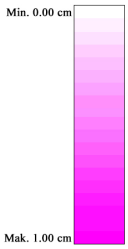
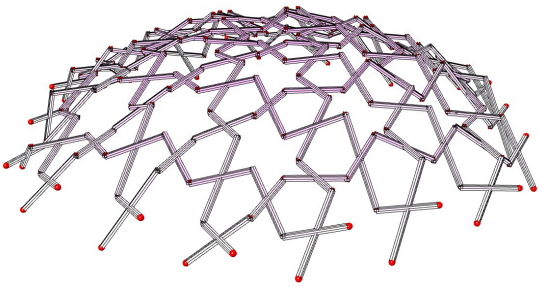
Tablo 4.27: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 3 cm)

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Kare kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 3 cm x 3 cm kare kesitli** Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.413456 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.028342 kN Maksimum gerilim (kN): 0.016495 kN Maksimum moment (kNm): 0.007259 kNm Maksimum kesme (kN): 0.023368 kN

Tablo 4.28: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 3 cm x 4 cm)

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Dikdörtgen kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 3 cm x 4 cm dikdörtgen kesitli** Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.298406 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.038217 kN Maksimum gerilim (kN): 0.022002 kN Maksimum moment (kNm): 0.009336 kNm Maksimum kesme (kN): 0.031321 kN

Tablo 4.29: 37 modüllü ahşap örneğin simülasyon sonucu (Profil birim kalınlığı 4 cm x 4 cm)

37 modüllü model	 Plan görünümü   Perspektif görünümü (destek noktaları görünmektedir)	**Koşullar:** Yerçekimi: Yerçekimli ortam Profil kesiti: Kare kesit Malzeme: Ahşap **Profil birim kalınlığı: 4 cm x 4 cm kare kesitli** Model çap: 582 cm Destek sayısı: 36 **Sonuçlar:** Maksimum yer değiştirme (cm): 0.234384 cm Maksimum sıkıştırma (kN): 0.050369 kN Maksimum gerilim (kN): 0.029324 kN Maksimum moment (kNm): 0.012916 kNm Maksimum kesme (kN): 0.041538 kN

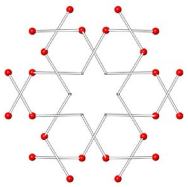
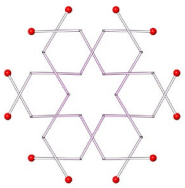
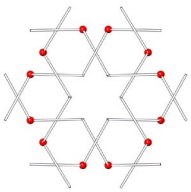
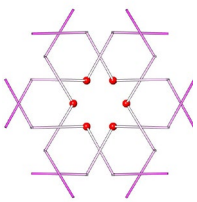
4.6. BÖLÜM SONUCU

Yapılan testler sonucunda Schneider (1980) ve Bonner'den (2017) seçilen İslami geometrik dokunun geçmeli strüktür tekniği ile modellemesi yapılabilmiştir.

7 modüllü modelin simülasyonlarındaki hedef, geometrik dokuda en az sayıda destek kullanarak, üst üste bindirme tekniği ile kirişlerin kendini taşıyabilmesidir. **Tablo 4.30**'deki 7 modüllü modelin karşılaştırmalı sonucuna göre:

- 7 modüllü modelin bütün testlerdeki yer değiştirme sonucu çok azdır. Yani sistem sorunsuz çalışmaktadır. Ancak bu sistem 2 metrelik çok küçük bir sistemdir. 7 modüllü doku ile yapılan testlerde yer değiştirme değeri arttıkça dokunun pembe olduğu görülmüştür.
- **Tablo 4.30**'a göre 7 modüllü dokunun strüktürel analiz testlerinde destek sayısı sabit (24, 12 ve 6 adet) tutulup malzemenin değişken olarak kullanıldığı tüm analizlerde çelik kullanımında maksimum yer değiştirme en düşük çıkmıştır. Bunu ahşap ve sonrasında beton izlemektedir.
- **Tablo 4.30**'a göre 7 modüllü testinde malzeme sabit tutulup destek sayısının değişken olarak kullanıldığı analizlerde destek sayısı azaldıkça maksimum yer değiştirme sonucunun arttığını görmekteyiz.
- **Tablo 4.30**'a göre 7 modüllü testinde destek sayısı sabit (24, 12 ve 6 adet) tutulup malzemenin değişken olarak kullanıldığı tüm analizlerde maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme sonuçları ahşap kullanımında en küçük çıkmıştır. Bunu beton, sonrasında çelik izlemektedir.

Tablo 4.30: 7 modüllü modelin karşılaştırmalı sonuçları

Destek bilgisi	Sabitler		Sonuçlar		
			Ahşap	Çelik	Beton
24 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 200 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.007401	0.004708	0.009959
		Max sıkıştırma (kN)	0.002076	0.027172	0.008656
		Max gerilim (kN)	0.000164	0.002153	0.000688
		Max moment (kNm)	0.000526	0.006795	0.002146
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.002127	0.027819	0.008857
12 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 200 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.06949	0.042582	0.087929
		Max sıkıştırma (kN)	0.002131	0.027893	0.008886
		Max gerilim (kN)	0.002118	0.027703	0.008821
		Max moment (kNm)	0.001525	0.019874	0.006313
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.004189	0.054786	0.017444
12 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 200 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.013037	0.008526	0.018392
		Max sıkıştırma (kN)	0.002152	0.028149	0.008965
		Max gerilim (kN)	0.00054	0.007065	0.00225
		Max moment (kNm)	0.00058	0.007589	0.002417
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.002127	0.027819	0.008857
6 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 200 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.186463	0.116226	0.24289
		Max sıkıştırma (kN)	0.004175	0.054618	0.017394
		Max gerilim (kN)	0.002092	0.027368	0.008716
		Max moment (kNm)	0.002052	0.026853	0.008552
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.004154	0.054348	0.017308

19 modüllü modelin simülasyonlarındaki hedef, 3.9 metre çap uzunluğuna sahip 7 modüllü modele göre genişletilmiş olan modeli, destek noktalarını yalnızca modeldeki kirişlerin bitiş ucuna tanımlanması ve üst üste bindirme tekniği ile kendini taşıyabilmesidir.

Tablo 4.31'deki 19 modüllü modelin karşılaştırmalı sonucuna göre:

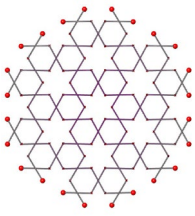
- 19 modüllü model 3.9 metre çap uzunluğuna sahip bir sistem olup tüm testlerinde yer değiştirme sonucu 0.2 cm ve 0.6 aralığında çıkmıştır. Sistem sorunsuz çalışmaktadır. 19 modüllü doku ile yapılan testlerde yer değiştirme değeri arttıkça dokunun pembe olduğu görülmüştür.
- **Tablo 4.31**'e göre destek sayısı sabit olan 19 modüllü modelin malzemenin değişken olarak kullanıldığı analizlerde çelik kullanımında maksimum yer değiştirme en düşük çıkmıştır. Bunu ahşap ve sonrasında beton takip etmektedir. Bu sonuç 7 modüllü için yapılan **(Tablo 4.30)** analiz sonuçlarını da desteklemektedir.
- **Tablo 4.31**'e göre malzemenin değişken olduğu analizlerde maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme sonuçları en küçük ahşap kullanımında çıkmıştır. Bunu beton sonra ise çelik takip etmektedir. Bu sonucu da 7 modüllü için yapılan **(Tablo 4.30)** analiz sonuçlarını desteklemektedir.
- **Tablo 4.30** ve **Tablo 4.31** karşılaştırıldığında 7 modüllü (200 cm) ve 19 modüllü (390 cm) model karşılaştırıldığında modelin çapı büyüdükçe maksimum yer değiştirme değeri büyümektedir **(Tablo 4.30**, **Tablo 4.31**).

37 modüllü modelin simülasyonlarındaki hedef, geometrik dokuda sistemi genişleterek daha fazla modülle üst üste bindirme tekniğinin kullanılmasıyla sistemin kendini taşıyabilmesidir.

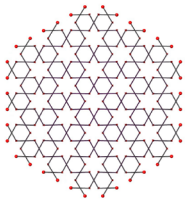
Tablo 4.32'deki 37 modüllü modelin karşılaştırmalı sonucuna göre:

- 37 modüllü model 5.82 metre çapında bir sistem olup test sonuçlarında maksimum yer değiştirme sonucu 0,4 ve 1 cm aralığında çıkmıştır. Sistem sorunsuz çalışmaktadır. 37 modüllü doku ile yapılan testlerde yer değiştirme değeri arttıkça dokunun pembe olduğu görülmüştür. Ayrıca 37 modüllü dokuda beton ile yapılan testte **(Tablo 4.25)** betondaki yer değiştirme değerinin renk skalası değerinden fazla çıktığı için modelin üst kısmının yeşil olduğu görülmüştür.
- **Tablo 4.32**'ye göre malzemenin değişken olarak kullanıldığı analizlerde maksimum yer değiştime en düşük çelikte çıkmıştır. Bunu ahşap ve sonrasında beton izlemektedir. Bu sonuç 7 modüllü **(Tablo 4.30)** ve 19 modüllü (**Tablo 4.31**) için yapılan test sonuçlarını da desteklemektedir.
- **Tablo 4.32**'ye göre malzemenin değişken olduğu analizlerde maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme sonuçları en küçük ahşap kullanımında çıkmıştır. 7 modüllü **(Tablo 4.30)** ve 19 modüllü **(Tablo 4.31)** için yapılan test sonuçlarını da desteklemektedir.

Tablo 4.31: 19 modüllü modelin malzeme değişkeni için karşılaştırmalı sonuçları

Destek bilgisi	**Sabitler**	**Sonuçlar**			
			Ahşap	**Çelik**	**Beton**
24 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 390 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.46251	0.29272	0.617727
		Max sıkıştırma (kN)	0.012285	0.159323	0.050443
		Max gerilim (kN)	0.006408	0.083773	0.026664
		Max moment (kNm)	0.003636	0.047723	0.015233
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.0101	0.130222	0.041061

Tablo 4.32: 37 modüllü modelin malzeme değişkeni için karşılaştırmalı sonuçları

Destek bilgisi	Sabitler	Sonuçlar			
			Ahşap	**Çelik**	**Beton**
36 tane	Yerçekimli ortam Dikdörtgen kesit Profil ölçüleri: 3x2 cm Model çap: 582 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.753151	0.482853	1.02794
		Max sıkıştırma (kN)	0.018483	0.241312	0.07674
		Max gerilim (kN)	0.010988	0.143725	0.021617
		Max moment (kNm)	0.00516	0.067727	0.021617
(Ahşap önizleme)		Max kesme (kN)	0.015422	0.2016	0.064168

19 modüllü doku için malzeme ahşap olarak sabit tutulup profil kesitte 3 x 2 cm, 2 x 4 cm, 3 x 3 cm, 3 x 4 cm ve 4 x 4 cm gibi farklı kalınlıklar kullanılarak testler yapılmıştır.

Tablo 4.33' deki karşılaştırmalı sonucuna göre :

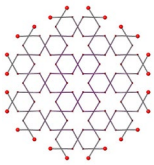
- **Tablo 4.33**'e göre enkesit arttıkça maksimum yer değiştirme değeri azalmaktadır. En yüksek sonuç 3 x 2 profil kesit kalınlığına sahip olan testte iken, en düşük sonuç 4 x 4 cm profil kesit kalınlığına sahip testte çıkmıştır.

37 modüllü doku için malzeme ahşap olarak sabit tutulup profil kesitte 3 x 2 cm, 2 x 4 cm, 3 x 3 cm, 3 x 4 cm ve 4 x 4 cm gibi farklı kalınlıklar kullanılarak testler yapılmıştır.

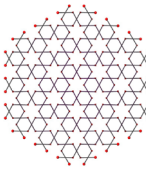
Tablo 4.34'deki karşılaştırmalı sonucuna göre :

- **Tablo 4.34**'e göre enkesit arttıkça maksimum yer değiştirme değeri azalmaktadır. En yüksek sonuç 3 x 2 profil kesit kalınlığına sahip olan testte iken en düşük sonuç 4 x 4 cm profil kesit kalınlığına sahip testte çıkmıştır. Bu test sonucu **Tablo 4.33**'deki sonucu desteklemektedir.

Tablo 4.33: 19 modüllü ahşap modelin profil kesit karşılaştırmalı sonuçları

Destek bilgisi	Sabitler	Sonuçlar					
			3x2 cm	2x4 cm	3x3 cm	3x4 cm	4x4cm
24 tane  (3x2 önizleme)	Yerçekimli ortam Malzeme: Ahşap Model çap: 390 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.46251	0.311492	0.273919	0.199791	0.155149
		Max sıkıştırma (kN)	0.012285	0.020553	0.020502	0.029042	0.036381
		Max gerilim (kN)	0.006408	0.00864	0.009659	0.012921	0.017171
		Max moment (kNm)	0.003636	0.004807	0.00527	0.007101	0.009364
		Max kesme (kN)	0.0101	0.019468	0.018121	0.026615	0.032118

Tablo 4.34: 37 modüllü ahşap modelin profil kesit karşılaştırmalı sonuçları

Destek bilgisi	Sabitler	Sonuçlar					
			3x2 cm	2x4 cm	3x3 cm	3x4 cm	4x4cm
36 tane  (3x2 önizleme)	Yerçekimli ortam Malzeme: Ahşap Model çap: 582 cm	Max yer değiştirme (cm)	0.753151	0.518884	0.413456	0.298406	0.234384
		Max sıkıştırma (kN)	0.018483	0.025739	0.028342	0.038217	0.050369
		Max gerilim (kN)	0.010988	0.014672	0.016495	0.022002	0.029324
		Max moment (kNm)	0.00516	0.006007	0.007259	0.009336	0.012916
		Max kesme (kN)	0.015422	0.020977	0.023368	0.031321	0.041538

SONUÇ

Bu çalışmada, İslami geometrik doku esaslı geçmeli strüktür oluşturulmuştur. Çalışma, seçilen bir İslami geometrik doku üzerinden gerçekleşmiştir. Seçilen altıgen alt yapısına sahip dokunun iki boyutlu çizimi yapıldıktan sonra bu çizim altlığındaki modül birimi genişletilmiştir ve 7 modüllü, 19 modüllü ve 37 modüllü dokular oluşturulmuştur. Bu dokular geçmeli strüktür tekniği ile üç boyuta kaldırılmıştır.

7 modüllü, 19 modüllü ve 37 modüllü doku ile yapılan strüktürel analiz testlerinde sabit değerler olarak destek sayısı tanımlanan, değişken olarak ise malzemenin kullanıldığı testlerde maksimum yer değiştirme en düşük çelikte çıkmıştır. Bunu ahşap ve sonrasında beton izlemektedir.

Destek sayısı azaldıkça maksimum yer değiştirme değeri artmaktadır. Bütün testlerde enkesit arttıkça maksimum yer değiştirme değeri azaldığı görülmüştür.

7 modüllü, 19 modüllü ve 37 modüllü doku ile yapılan strüktürel analiz testlerinde sabit değerler olarak destek sayısı tanımlanan, değişken olarak ise malzemenin kullanıldığı testlerde maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme sonuçları ahşap kullanımında en küçük çıkmıştır. Bunu beton, sonrasında çelik izlemektedir.

Bütün testlerde maksimum yer değiştirme sonucu ile maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme değerinin ters orantılı olduğu görülmüştür. Örneğin maksimum yer değiştirmenin arttığı testlerde maksimum sıkıştırma, maksimum gerilim, maksimum moment ve maksimum kesme değerinin azaldığı görülmüştür.

7 modüllü, 19 modüllü ve 37 modülle yapılan model çalışmalarında modüller arttıkça sistem yükselmeye başlamıştır ve sistem kubbe benzeri bir form almıştır. Sistem büyüdükçe maksimum yer değiştirme değeri artmıştır. Modüller arttırılarak geçmeli strüktür *(Reciprocal Structures)* genişletilebilir ve çeşitli tasarımlarda kullanılabilir. Böylece matematiksel altyapıya sahip İslami doku mirasımız çağdaş yöntemlerle geliştirilip mimarlık ve tasarım alanında kullanılabilir.

İslami doku alt yapısına sahip geçmeli strüktürü 3 boyuta kaldırma çalışmalarında daha kompleks dokular kullanılarak da denemeler yapılabilir. Örneğin beşgen geometrisi ile diğer geometriler birleştirilebilir yeni bir doku oluşturularak 3 boyuta kaldırma denemeleri yapılabilir.

Modüllerde yük transferi için kullandığımız ara kolon yerine alternatif çözüm araştırmaları yapılabilir. Ayrıca kirişler bükülerek alternatif denemeler yapılabilir. Bükülen kirişler için de ayrıca testler yapılarak strüktürel dayanımı test edilebilir.

KAYNAKLAR

Agirbas, A. (2017). Teaching Design by Coding in Architecture Undergraduate Education: A Case Study with Islamic Patterns. *CAAD Futures 2017 Proceedings*, (p.249-258). Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University, July 12-14.

Agirbas, A. (2018). Parametrik Dokular. *İçinde: Kusursuz Tekrar*, (s. 29-40). İstanbul: Yeditepe Bienali Kataloğu.

Agirbas, A. (2020). Algorithmic Decomposition of Geometric Islamic Patterns: A Case Study With Star Polygon Design in The Tombstones Of Ahlat. *Nexus Network Journal*, 22 (1), p. 113-137.

Agirbas, A. & Yildiz, G. (2021). Origin of Irregular Star Polygons in Ground Projection Plans of Muqarnas. *Nexus Network Journal*, 23, p. 507-548. https://doi.org/10.1007/s00004-020-00516-x

Akın, G. (1911). Tütekli Örtü Geleneği: Anadolu Cami Ve Tarikat Yapılarında Tüteklikli Örtü. *Vakıflar Dergisi,* 22, s. 323-354

Alani, M. W. (2016). Morphological Code of Historical Geometric Patterns - The Digital Age of Islamic Architecture. *Parametricism Vs. Materialism: Evolution of Digital Technologies for Development 8th ASCAAD Conference Proceedings,* (p. 85-94). London: United Kingdom, November 7-8.

Alani, M. W. (2018). Algorithmic Investigation of the Actual and Virtual Design Space of Historic Hexagonal-Based Islamic Patterns. *International Journal of Architectural Computing,* 16, (1), (p. 34–57).

Al-Rawi, O. (2014). Evolutionary Algorithms in Islamic Architecture. *Digital Crafting 7th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD)*, (p. 99-107). Jeddah: Kingdom of Saudi Arabia, 31 March - 3 April.

Barrios, C. & Alani, M. W (2015). Parametric Analysis in Islamic Geometric Designs. *The next city - New technologies and the future of the built environment 16th International Conference CAAD,* (p. 304-322). Brazil: Sao Paulo, July 8-10.

Barnes, C. F. (2009). *The portfolio of Villard de Honnecourt (Paris, Bibliothèque nationale de France, MS Fr 19093): A new critical edition and color facsimile*. Ashgate Publishing.

Baverel, O. (2000). *Nexorades: A Family of Interwoven Space Structures*. Ph.D. Thesis. University of Surrey.

Baverel, O., Nooshin, H., Kuroiwa, Y. & Parke, G. A. R. (2000). Nexorades. *International Journal of Space Structures,* 15 (2), p. 155-159.

Bergis, L. & De Rycke, K. (2017). Reciprocal Frame for The Roof of The Franz Masereel Centre, Interfaces: Architecture. *Engineering. Science, Annual Meeting of the International of Shell &Spatial Structures (IASS).* Hamburg: University of Hafencity, September 25-27.

Bi, Z. (2018). "Overview of Finite Element Analysis". *Finite Element Analysis Applications: A Systematic and Practical Approach*. Editor: Bi, Z. London: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809952-0.00001-7

Bodner, B. L. (2012). From Sultaniyeh to Tashkent Scrolls: Euclidean Constructions of Two Nine-and Twelve-Pointed Interlocking Star Polygon Designs. *Nexus Network Journal*, 14 (2), p. 307–332.

Bonner, J. (2017). *Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction*. New York: Springer.

Bourgoin, J. (1879). *Les Eléments De l'Art Arabe: Le Trait Des Entrelacs*. Paris: Firmin-Didot.

Broug, E. (2008). *Islamic Geometric Patterns*. London: Thames and Hudson.

Cenani, Ş. & Çagdas, G. (2006). Shape Grammar of Geometric Islamic Ornaments. *24th eCAADe Conference Proceedings*, (p. 290-297). Volos: Greece, September 6-9.

Chilton, J. (2009). Development of Timber Reciprocal Frame Structures in the UK. Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*, (p.1877-1884). Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, September 28-October 2.

Critchlow, K. (1983). *Islamic Patterns: An Analytical and Cosmological Approach*. London: Thames & Hudson.

Cromwell, P. R. (2009). The Search for Quasi-Periodicity in Islamic 5-Fold Ornament. *The Mathematical Intelligencer*, 31, p. 36-56.

Çelebi, Ç. (2009). *Computing Diagrid Structural Systems In Free-Form High-Rise Designs*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, İstanbul.

Danz, C. (2014). Reciprocal Frames, Nexorades and Lamellae: An Investigation into Mutually Supporting Structural Forms. *Design Machine Group,* University of Washington.

Demirel, E. (2018). *Bambu Malzeme Davranışında Model Olarak Kabuk Strüktür Tasarım ve Şekil Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, İstanbul.

Di Carlo, B. (2008). The Wooden Roofs of Leonardo and New Structural Research. *Nexus Network Journal,* 10, p. 27-38. https://doi.org/10.1007/s00004-007-0054-x

Garcia Puyol, A. (2015). Mass Customization of Reciprocal Frame Structures. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*. Cambridge: University of Harvard, August 17-20.

Gečys, T., Daniūnas, A., Bader, T.K , Wagner, L. & Eberhardsteiner, J. (2015). 3D finite element analysis and experimental investigations of a new type of timber beam-to-beam connection. *Engineering Structures*, 86, p. 134-145. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.12.037

Gherardini, F. & Leali, F. (2017). Reciprocal Frames in Temporary Structures: An Aesthetical and Parametric Investigation. *Nexus Network Journal*, 19 (3), p. 741–762. https://doi.org/10.1007/s00004-017-0352-x

Gustafsson, J. (2016). *Connections in Timber Reciprocal Frames*. (Master's Thesis). Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, Gothenburg: Sweden.

Güyagüler, T. (1984). Uluslararası Birimler Sistemi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 23 (1). s. 43-44.

Günay, R. (2017). *Ormana: Toroslarda Bir Köy.* İstanbul: Ege Yayınları.

Hankin, E. H. (1925). *The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art*. Archaeological Survey of India: Memoirs. Calcutta: Government of India, Central Publication Branch. (Original edition).

Hankin, E. H. (1998). *The Drawing of Geometric Patterns in Saracenic Art*. Archaeological Survey of India: Memoirs. Calcutta: Government of India, Central Publication Branch. (Reprint).

Houlsby, G. T. (2014). John Wallis and the Numerical Analysis of Structures. *Nexus Network Journal,*16, p. 207–217. https://doi.org/10.1007/s00004-014-0179-7

Karakoç, Z. (2017). *Yapı Örtüsü Olarak Mütekabil Elemanların İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitisü, İstanbul.

Kohlhammer, T. & Kotnik, T. (2011). Systemic Behaviour of Plane Reciprocal Frame Structures. *Structural Engineering International*, 21 (1), p. 80-86. https://doi.org/10.2749/101686611X12910257102596

Mesnil, R., Douthe, C., Gobin, T. & Baverel, O. (2018). Form Finding and Design of a Timber Shell-Nexorade Hybrid. *Advances in Architectural Geometry (AAG).* Gothenburg: Sweden, 2018.

Mohamadin, M. F., Abouaiana, A. A., & Wagih, H. H. (2016). Parametric Islamic Geometric Pattern for Efficient Daylight and Energy Performance-Façade retrofit of educational space in hot arid climate. *Parametricism Vs. Materialism: Evolution of Digital Technologies for Development [8th ASCAAD Conference Proceedings,* (p.227-236). November 7-8.

Mülayim, S. (1982). Geometrik Kompozisyonların Çözümlenmesine Bir Yaklaşım. *Sanat Tarihi Dergisi*, 1 (1).

Necipoğlu, G. (1995). *The Topkapi Scroll: Geometry and Ornament in Islamic Architecture*. Santa Monica: Getty Publications.

Parigi, D. & Pugnale, A. (2012). Three-dimensional Reciprocal Structures: Morphology, Concepts, Generative Rules. *Proceedings of The International Association for Shell and Spacial Structures Conference*. Aalborg: University of Aalborg.

Pizzigoni, A. (2010). Leonardo & The Reciprocal Structures. Bergamo: University of Bergamo.

Pizzigoni, A. & Paris, V. (2014). Herringbone, Gualandrino and Brunelleschi's Bricks. *9th International Masonry Conference,* University of Minho. July 7–9.

Popovic Larsen, O. (2008). *Reciprocal Frame Architecture.* Architectural Press.

Popovic Larsen, O. (2014). Reciprocal Frame (RF) Structures: Real and Exploratory. *Nexus Network Journal,* 16, p. 119–134.

Preisinger, C. & Heimrath, M. (2014). Karamba: A Toolkit for Parametric Structural Design. *Structural Engineering International*, 24 (2), p. 217-221. https://doi.org/10.2749/101686614X13830790993483

Preisinger, C. (2019). User Manual Version 1.3.2. *Karamba 3D Parametric Engineering*.

Pugnale, A. & Sassone, M. (2014). Structural Reciprocity: Critical Overview and Promising Research/Design Issues. *Nexus Network Journal,* 16, p. 9–35. https://doi.org/10.1007/s00004-014-0174-z

Redondo Buitrago, A. & Huylebrouck, D. (2015). Nonagons in The Hagia Sophia and The Selimiye Mosque. *Nexus Network Journal*, 17 (1), p. 157-181.

Sarhangi, R. (2012). Interlocking Star Polygons in Persian Architecture: The Special Case of The Decagram in Mosaic Designs. *Nexus Network Journal*, 14 (2), p. 345- 372.

Schneider, G. (1980). *Geometrische Bauornamente Der Seldschuken in Kleinasien*. Wiesbaden: Reichert.

Tošić, Z., Krasić, S. & Stojić, D. (2018). Constructive System of Reciprocal Frames in Terms of Contemporary Architecture. *Architecture and Civil Engineering*, 16 (3), p. 415-423.

Ulu, E. (2009*). İslami Geometrik Örüntü Türetimi Amaçlı Bir Biçim Grameri Modeli*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, İstanbul.

Yazıcı, S. (2013). *Mimarlıkta Malzeme Tabanlı Bütünleşik Hesaplamalı Tasarım Modeli*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitisü, İstanbul

URL LİSTESİ:

URL 1: Leonardo Da Vinci'nin köprü yapısı**.**
https://www.core77.com/posts/65043/Leonardo-da-Vincis-Ingenious-Design-for-a-Self-Supporting-Bridge Erişim tarihi: 10/12/2020

URL 2: Zhang Zeduan tarafından yapılmış Rainbow Bridge tasviri.
https://archive.shine.cn/sunday/now-and-then/Along-the-River-During-the-Qingming-Festival/shdaily.shtml Erişim tarihi: 14/02/2021

URL 3: Bamboo Pavilyonu.

http://www.dma-ny.com/site_sba/?page_id=335 Erişim tarihi: 30/01/2021

URL 4: Forest Park Pavilyonu.

http://www.dma-ny.com/site_sba/?page_id=345 Erişim tarihi: 30/01/2021

URL 5: Coca Cola Pavilyonu.

https://www.archdaily.com/256946/coca-cola-beatbox-pavilion-pernilla-asif?ad_medium=office_landing&ad_name=article Erişim tarihi: 30/01/2021

URL 6: Kreod Pavilyonu.

https://www.archdaily.com/275460/kroed-chun-qing-li-of-pavilion-architecture Erişim tarihi: 30/01/2021

URL 7: Arkeolojik alan örtüsü.

http://www.bibracte.fr/fr/approfondir/la-gazette-de-bibracte/deces-de-larchitecte-paul-andreu-qui-avait-croise-le-chemin-de-bibracte Erişim tarihi: 04/01/2021

URL 8: Frans Masereel Centrum çatı görünümü.
https://www.groepvanroey.be/nl/referentieprojecten/frans-masereel-centrum Erişim tarihi: 04/02/2021

URL 9: Frans Masereel Centrum detay görünümü.

https://www.bollinger-grohmann.com/en.projects.frans-masereel-center.html Erişim tarihi: 04/02/2021

URL 10: Erzurum Ulu Cami'nin iç görünümü.

https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/erzurum/gezilecekyer/ulu-cami823578 Erişim tarihi: 01/03/2021

URL 11: Erzurum Ulu Cami'nin mihrap önü kubbesi.

http://www.selcuklumirasi.com/architecture-detail/erzurum-ulu-camii Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 12: Trulli evleri.

https://whc.unesco.org/en/list/787/ Erişim tarihi: 01/03/2021

URL 13: Trulli evlerinin çatısı.

http://www.marvelbuilding.com/trulli-house.html Erişim tarihi: 20/05/2021

URL 14: Harran Kümbet evleri.

http://www.marvelbuilding.com/trulli-house.html Erişim tarihi: 20/05/2021

URL 15: Manheim Multihalle.

https://www.arkitektuel.com/mannheim-multihalle/ Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 16: Metropol Parasol.

https://www.arkitektuel.com/metropol-parasol/ Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 17: Swatch Genel Merkezi.

https://www.dezeen.com/2019/10/18/swatch-headquaters-shigeru-ban-switzerland/ Erişim tarihi:14/04/2021

URL 18: Swatch Genel Merkezi'nin çatı strüktürü.

https://www.lehmann-gruppe.ch/en/holzbau/free-form/swatch.html/ Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 19: Pompidou Merkezi.

https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects?ad_medium=gallery/ Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 20: Bambu tabure.

https://chenkuancheng.com/bamboo-stool Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 21: Kafes sandalye.

https://chenkuancheng.com/lattice-chair Erişim tarihi: 14/04/2021

URL 22: Japon sepetleri (Tibor Tarnai tarafından yazılmıştır).
http://me.bme.hu/sites/default/files/page/Baskets.pdf Erişim Tarihi 19/04/2021

URL 23: Karamba. https://www.karamba3d.com/ Erişim tarihi: 07/12/2020

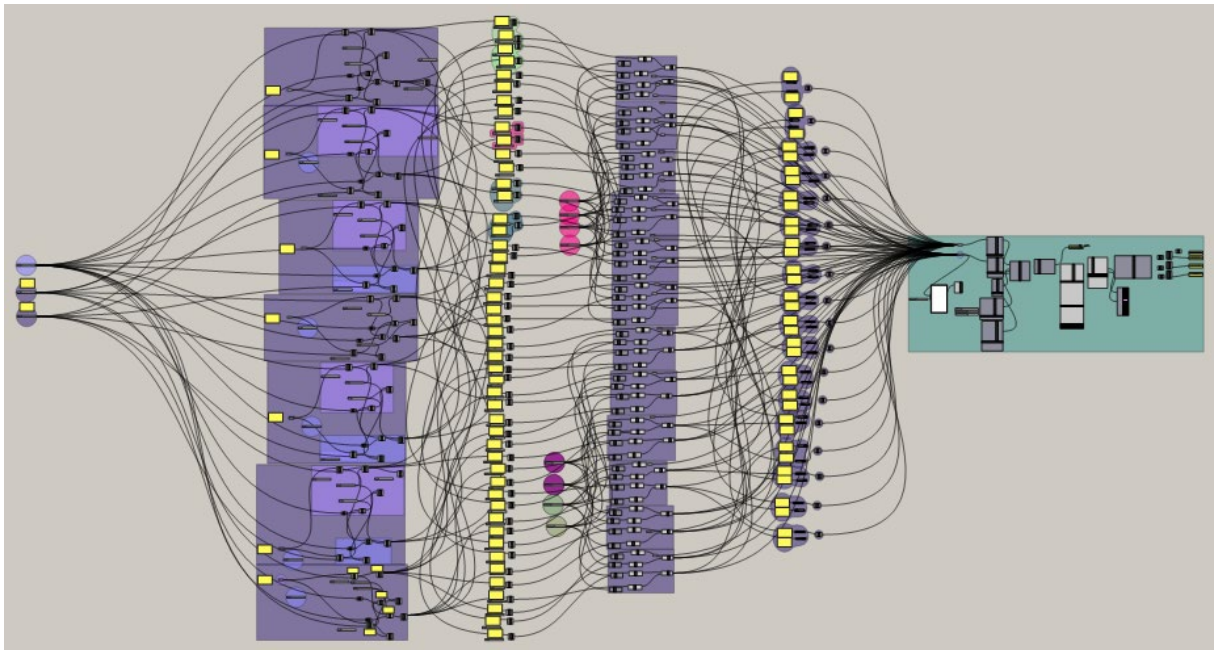
URL 24: Strüktürel analiz.

https://parametricmonkey.com/2015/09/07/structural-analysis-with-karamba Erişim tarihi: 10/12/2020

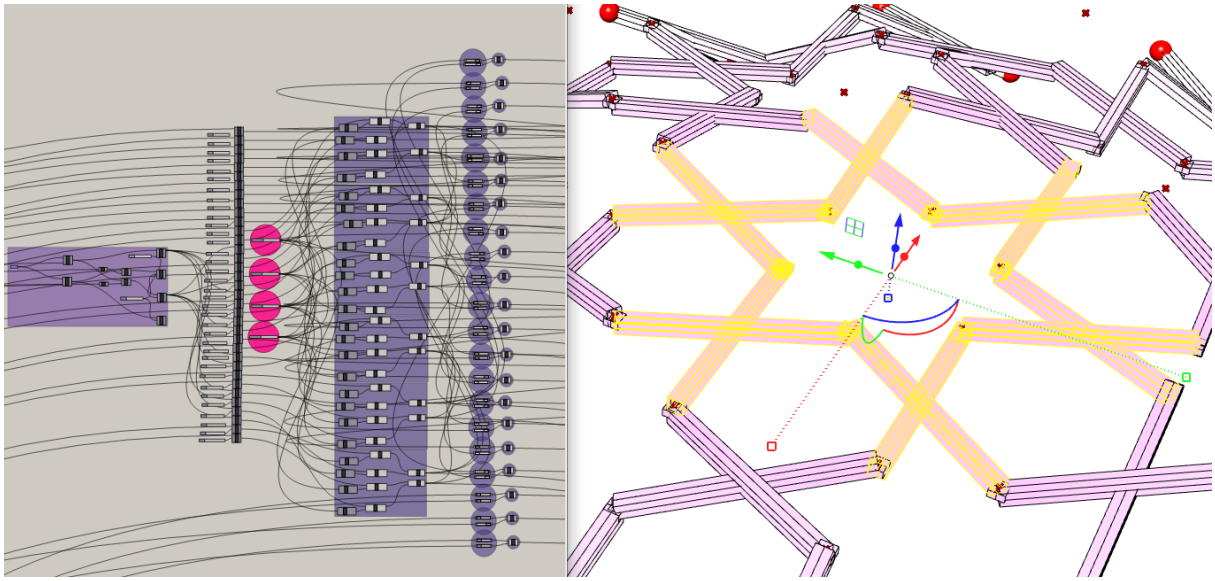
URL 25: Karamba ile strüktürel analiz.

https://medium.com/generative-design/structural-analysis-with-karamba-a73b959587c0 Erişim tarihi: 10/12/2020

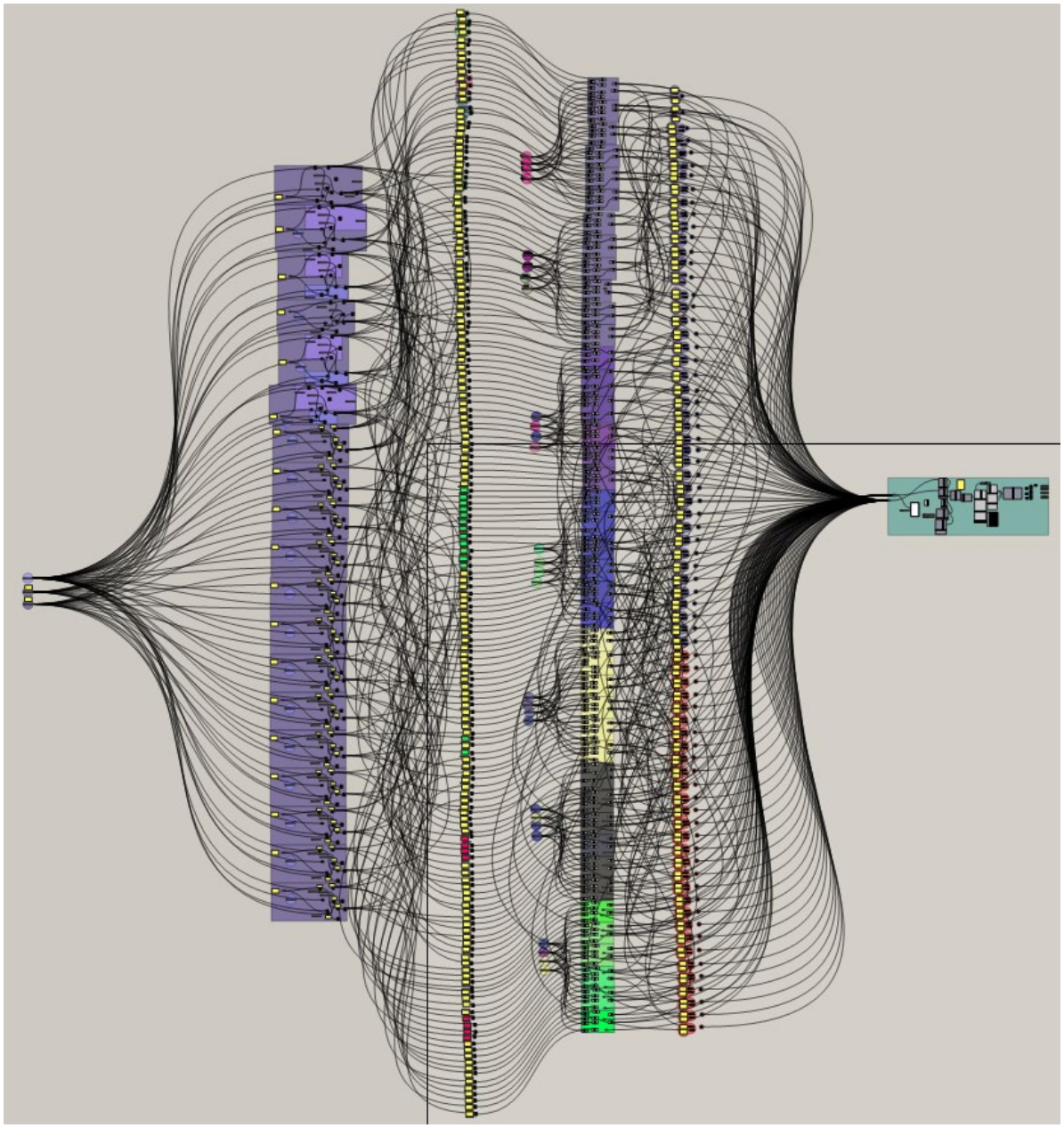
EKLER



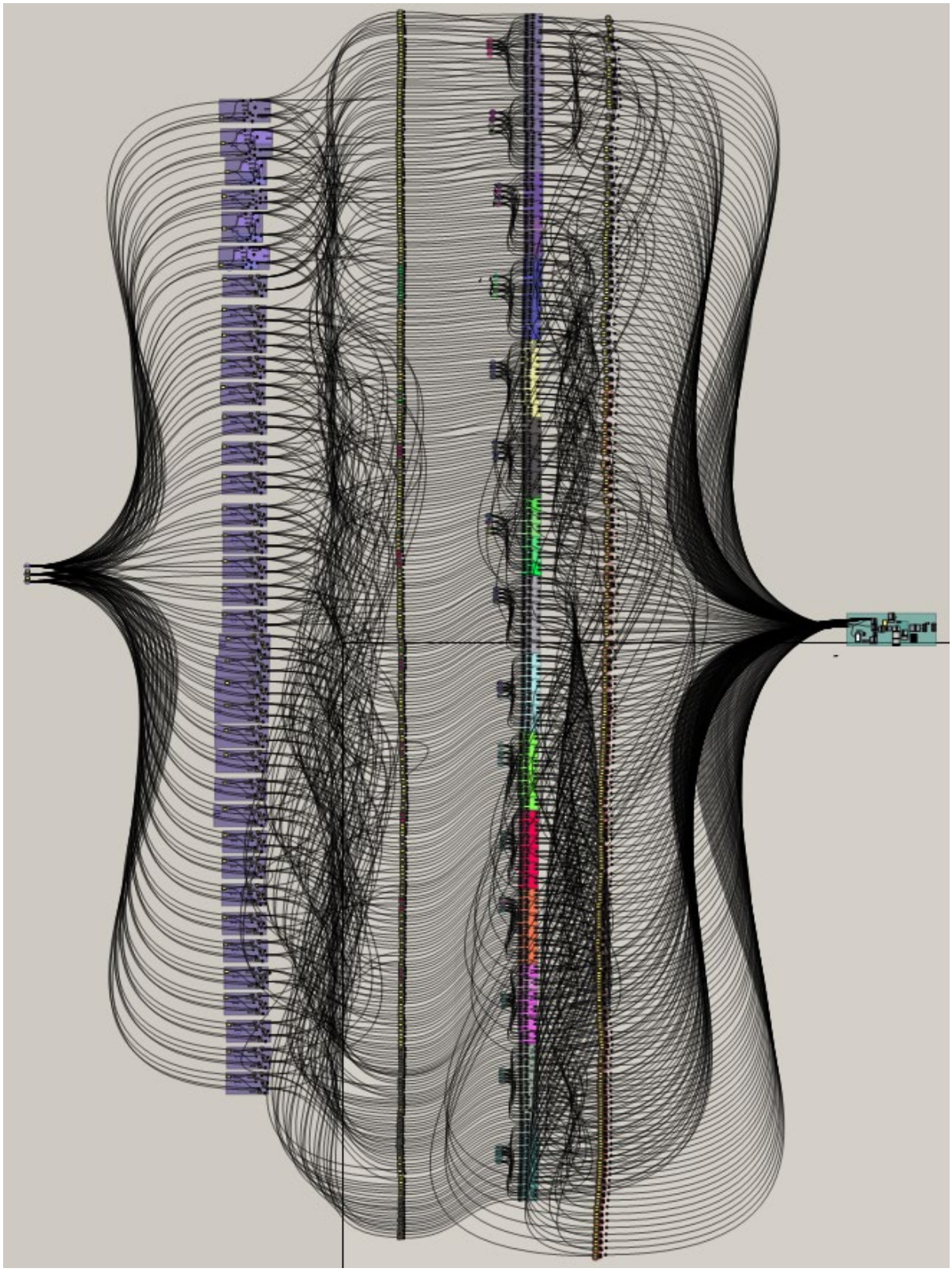
Ek 1: 7 modüllü doku betiği



Ek 2: Bir yıldız biriminin oluşturulma betiği ve görseli



Ek 3: 19 modüllü doku betiği



Ek 4: 37 modüllü doku betiği