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

PARAMETRİK MUKARNAS MODELİ ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLNUR YILDIZ

İSTANBUL, 2020

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

PARAMETRİK MUKARNAS MODELİ ÖNERİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜLNUR YILDIZ
(180201011)

Danışman
Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ

İSTANBUL, 2020

FATİH SULTAN MEHMET VAKIF ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAYI

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı'nda **180201011** numaralı **GÜLNUR YILDIZ**'ın hazırladığı **"Parametrik Mukarnas Modeli Önerisi"** konulu **Yüksek Lisans Tezi** ile ilgili **TEZ SAVUNMA SINAVI,** 09/07/2020 Perşembe günü saat 11:00'da Çevrimiçi Video Görüşmesi ile yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin **KABULÜNE*** **OYBİRLİĞİ** ile karar verilmiştir.

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

Tez adı değişikliği yapılması halinde:

Tez adının
……
……. şeklinde değiştirilmesi uygundur.

JÜRİ ÜYESİ	KANAATİ (*)	İMZA
Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ	KABÜL	
Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU	KABÜL	
Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can ÖZKAN	KABÜL	

BEYAN/ ETİK 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.

Gülnur YILDIZ

İmza

PARAMETRİK MUKARNAS MODELİ ÖNERİSİ

GÜLNUR YILDIZ

ÖZET

Birçok mukarnas, izdüşüm planlarında yıldızlar (düzenli çokgenler) barındırmaktadır. Bu yıldızların kol uzunluklarının kendi içinde eşit olanlarının yanı sıra, kol uzunluklarının kendi içinde eşit olmayanları da vardır. Bu tezin birinci amacı, bazı mukarnas planlarında rastlanan, kol uzunlukları eşit olmayan yıldızların (düzensiz çokgen) geometrik altyapısının ne olduğunun araştırılmasıdır. Seçilen mukarnasların lazer tarama ile ortaya çıkarılan planları üzerinden, biçim gramerleri teorik çerçevesinde, kural bazlı form oluşumu mantığına dayanarak incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonucunda, mukarnas planlarının oluşturulmasında farklı tiplerde geometrik altlıkların kullanılabildiği sonucuna varılmıştır. Bu geometrik altlıkları, örümcek ağı tipindeki altlık ve elips ızgara tipindeki altlık olarak adlandırabiliriz. Bu altlıkların oluşturduğu alanların içine yerleştirilen yıldızların, doğal olarak düzensiz çokgen oluşturduğu ortaya konulmuştur. Bu tezin ikinci amacı ise, geometrik altyapısı belirlenen mukarnas planı yardımıyla, parametrik mukarnas oluşturmaktır. Bunun için, incelenen mukarnas planlarından biri, parametrize edilmek üzere ele alınmıştır. Geometrik altyapısı çözümlenen mukarnasın, parametrik üç boyutlu geometrisi, görsel programlama dili olan Grasshopper programı kullanılarak elde edilmiştir. Grasshopper'daki kodlama, biçim gramerleri teorik çerçevesinde elde edilen kurallarla paralel olarak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Parametrik mukarnas, Mukarnas analizi, Tasarım analizi, Biçim gramerleri, Geometrik analiz, Parametrik tasarım

PARAMETRIC MUQARNAS MODEL PROPOSAL

GÜLNUR YILDIZ

ABSTRACT

Many muqarnas have stars (regular polygons) in their projection plans. These stars have equal arm lengths as well as arm lengths that are not equal in themselves. The first aim of this thesis is to investigate the geometrical background of stars (irregular polygons), which are found in some muqarnas plans and whose arm lengths are not equal. The plan of the selected muqarnas was obtained by laser scanning. The examinations were carried out on the basis of the rule-based form formation logic within the theoretical framework of the shape grammars. As a result of the examinations, it was concluded that different types of geometric layouts can be used in the creation of muqarnas plans. We can call these geometric layouts as spider-web type and ellipse-grid type. It is found that the stars placed in the areas formed by these layouts naturally form irregular polygons. The second aim of this thesis is to create parametric muqarnas with the help of a muqarnas plan whose geometrical layout was determined. For this, one of the muqarnas plans examined has been handled for parameterization. The parametric three-dimensional geometry of the muqarnas has been obtained by using the Grasshopper program, which is visual programming language. Coding in Grasshopper was made in parallel with the rules obtained within the shape grammar theoretical framework.

Keywords: Parametric muqarnas, Muqarnas analysis, Design analysis, Shape grammars, Geometric analysis, Parametric design

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez süresinde desteğini esirgemeyen, tez çalışması boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, akademik alanda başarılar elde etmek için beni yönlendiren değerli danışmanım, Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ, en büyük teşekkürlerimin sahibidir. Tez savunnma jürisinde bulunan kıymetli Prof. Dr. Salih Ofluoğlu ve Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can Özkan hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma aşamasında, bana sağladıkları manevi desteklerinden dolayı aileme, zor zamanlarımda moral desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen dost ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
ÖNSÖZ vi
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1 ARAŞTIRMA SORUSU VE AMAÇ 3
1.2 TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ 4
1.3 KAPSAM 4
1.4 YÖNTEM 5
2. MUKARNAS 7
2.1 MUKARNAS NEDİR? 7
2.2 MUKARNAS SINIFLANDIRMASI 13
2.3 MUKARNAS ELEMANLARI 20
2.4 GÜNÜMÜZDEKİ MUKARNAS ÜRETİMİ 27
2.5 ÇAĞDAŞ MUKARNAS TASARIM ÖRNEKLERİ 29
2.6 BÖLÜM SONUCU 37
3. MUKARNAS İZDÜŞÜM PLANI ANALİZLERİ 38
3.1 MİMAR SİNAN'IN İSTANBUL CAMİLERİ 38
3.2 SÜLEYMANİYE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI 41
3.2.1 Süleymaniye Camisi Taç Kapısı 41
3.2.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi 48
3.3 ŞEHZADE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI 54
3.3.1 Şehzade Camisi Taç Kapısı 54
3.3.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi 61
3.4 MİHRİMAH SULTAN CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI 71

3.4.1 Mihrimah Sultan Camisi Taç Kapısı 71
3.4.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi 77
3.5 ATIK VALİDE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI 86
3.5.1 Atik Valide Camisi Taç Kapısı 86
3.5.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi 92
3.5.3 İspat/Sağlama 99
3.6 BÖLÜM SONUCU 101
4. ATİK VALİDE CAMİ TAÇ KAPI MUKARNASININ ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ 103
4.1 YÖNTEM 103
4.2 KATMANLAR 104
4.3 HÜCRELER 105
4.4 HÜCRE BİRLEŞİMLERİ 111
4.5 BÖLÜM SONUCU 117
5. PARAMETRİK MUKARNAS MODEL ÖNERİSİ 118
5.1 BİRİNCİ MODEL ÖNERİSİ 118
5.1.1 Yöntem 118
5.1.2 Parametrik Mukarnas Planının Oluşturulması 118
5.1.3 Parametrik Mukarnas Hücrelerinin Oluşturulması 124
5.1.4 Parametrizasyon 126
5.2 İKİNCİ MODEL ÖNERİSİ 132
5.2.1 Yöntem 132
5.2.2 Parametrik Mukarnas Planının Oluşturulması 132
5.2.3 Parametrik Mukarnas Hücrelerinin Oluşturulması 132
5.2.4 Parametrizasyon 138
5.3 BÖLÜM SONUCU 151
SONUÇ 153
KAYNAKLAR 155
EKLER 161
ÖZGEÇMİŞ 165

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 1 [Agirbas (2020), makalesinde doku desenlerini Schneider'in (1980) kitabından alıp uyarlanmıştır] 8
Şekil 2.2: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 2 [Sarhangi'nin (2012) makalesindeki doku örneği] 9
Şekil 2.3: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 3 [Bonner'nin (2017) kitabından doku örneği] 9
Şekil 2.4: Bonner'in (2017) kitabındaki eş kollu olan yıldız (A) ve eş kollu olmayan yıldız (B) kompozisyonları 10
Şekil 2.5: Takahashi'nin (2020) mukarnası malzemelerine göre sınıflandırması 14
Şekil 2.6: Takahashi'nin (2020) mukarnası kullanım yerine göre sınıflandırması 15
Şekil 2.7: Bindirmeli mukarnas (a), Birleştirmeli mukarnas (b) ve Asılmış mukarnas (c) (Hamekasi ve diğerleri, 2011; Maarouf ve Zeid, 2019) 16
Şekil 2.8: Takahashi'nin (2020) plan biçimine ve bölgeye göre mukarnas sınıflandırması 17
Şekil 2.9: Günümüzde mukarnas yapımı (fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir) 27
Şekil 2.10: Günümüzde mukarnasının hazır hali (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 28
Şekil 2.11: Mukarnas Tower- Riyad / Suudi Arabistan (URL 1) 29
Şekil 2.12: Cidde Stadyumu- Cidde / Suudi Arabistan (URL 2) 30
Şekil 2.13: İran pavilyonu (URL 3) 31
Şekil 2.14: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışmasının üretim süreci (URL 4) 32
Şekil 2.15: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışması (URL 4) 33

Şekil 2.16: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışmasındaki mukarnas başlığının görünümü (URL 4).....33
Şekil 2.17: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışması (URL 5).....34
Şekil 2.18: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışmasının malzemesi (URL 5) 35
Şekil 2.19: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışmasının genel görüntüsü (URL 5) 35
Şekil 2.20: Candalepas Associates'in tasarladığı Punchbowl Camisi (URL 6).....36
Şekil 2.21: Candalepas Associates'in camideki mukarnas tavanı ve ibadet alanı (URL 6) 37
Şekil 3.1: Günay'ın (2006) hazırladığı Mimar Sinan'ın İstanbuldaki Camileri 38
Şekil 3.2: Süleymaniye Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (URL 7) 41
Şekil 3.3: Süleymaniye Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....42
Şekil 3.4: Süleymaniye Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 43
Şekil 3.5: Süleymaniye Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....43
Şekil 3.6: Süleymaniye Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazının alandaki tarama yaptığı noktalar (2 tane).....44
Şekil 3.7: Süleymaniye Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü (perspektif görünümü).....44
Şekil 3.8: Süleymaniye Camisi' nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen ön görünüşü 45
Şekil 3.9: Süleymaniye Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası.....46
Şekil 3.10: Süleymaniye Camisi' nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen plan ortofotosu.....46
Şekil 3.11: Sedat Çetintaş'ın Süleymaniye Camisi çizimleri (Kuban, 2007).....47

Şekil 3.12: Sedat Çetintaş'ın Süleymaniye Camisi plan çizimindeki mukarnas detayı (Kuban, 2007) 47
Şekil 3.13: Şehzade Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (URL 8)54
Şekil 3.14: Şehzade Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....55
Şekil 3.15: Şehzade Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....56
Şekil 3.16: Şehzade Camisi'nde taç kapıda rastlanılan tarih imzası (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 56
Şekil 3.17: Şehzade Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....56
Şekil 3.18: Şehzade Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (4 tane).....57
Şekil 3.19: Şehzade Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü 57
Şekil 3.20: Şehzade Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının ön görünüşü.58
Şekil 3.21: Şehzade Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası 59
Şekil 3.22: Şehzade Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu.....59
Şekil 3.23: Ödekan'ın (2004) kitabındaki Sedat Çetintaş'ın Şehzade Camisi çizimleri 60
Şekil 3.24: Mihrimah Sultan Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (URL 9) 71
Şekil 3.25: Mihrimah Sultan Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 72
Şekil 3.26: Mihrimah Sultan Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 73
Şekil 3.27: Mihrimah Sultan Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....73
Şekil 3.28: Mihrimah Sultan Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (5 tane) 74

Şekil 3.29: Mihrimah Sultan Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü.....74
Şekil 3.30: Mihrimah Sultan Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının görünüşü 75
Şekil 3.31: Mihrimah Sultan Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası 76
Şekil 3.32: Mihrimah Sultan Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu .76
Şekil 3.33: Atik Valide Sultan Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (URL 10).....86
Şekil 3.34: Atik Valide Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....87
Şekil 3.35: Atik Valide Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir) 88
Şekil 3.36: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).....88
Şekil 3.37: Atik Valide Sultan Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (4 tane) 89
Şekil 3.38: Atik Valide Sultan Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü 89
Şekil 3.39: Atik Valide Sultan Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının ön görünüşü 90
Şekil 3.40: Atik Valide Sultan Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası 91
Şekil 3.41: Atik Valide Sultan Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu 91
Şekil 3.42: 6 kollu düzgün yıldızların kol uzunluklarının eşit olduğu durumlar 100
Şekil 3.43: Mukarnas planındaki elemanlar 101
Şekil 4.1: Lazer tarama sonucunda elde edilen mukarnasın plan görünümü.....104
Şekil 4.2: Ön görünüşten katman gösterimi.....104
Şekil 4.3: Mukarnas planında katman gösterimi.....105
Şekil 4.4: Atik Valide Camisi mukarnasında süsleme detayı.....105
Şekil 4.5: Mukarnas planındaki hücrelerin kompozisyonu 108
Şekil 4.6: Farklı boyutlardaki badem hücresi 108
Şekil 4.7: Farklı boyutlardaki deltoit çatılı yüzeysel hücre (6 kollu yıldızda).....108

Şekil 4.8: Farklı boyutlardaki üçgen çatılı yüzeysel hücre (5 kollu yıldızda) 109
Şekil 4.9: Farklı boyutlardaki fitil hücresi 109
Şekil 4.10: Farklı boyutlardaki deltoit çatılı hücre (6 kollu yıldızda) 109
Şekil 4.11: Üçgen çatılı hücre (5 kollu yıldızda) 110
Şekil 4.12: 5 kollu yıldız merkezi 110
Şekil 4.13: 6 kollu yıldız merkezi 110
Şekil 4.14: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının izdüşüm planı üzerinde gösterimi 112
Şekil 4.15: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının üç boyutlu model üzerinde gösterimi 112
Şekil 5.1: Mukarnas planının Grasshopper programındaki elips altlığının kodlaması 119
Şekil 5.2: Mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamalarının iki boyutta betiği Tablo 5.1'deki a, b, c, d ve e) 120
Şekil 5.3: 1. sıra yıldız, 2. sıra yıldız ve 3. sıra yıldızın 2 boyutlu betiği (Tablo 5.1, a) 121
Şekil 5.4: 1. sıra 6 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (Tablo 5.1, b) 121
Şekil 5.5: 67.5 derecedeki 5 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (Tablo 5.1, c) 121
Şekil 5.6: 22.5 derecedeki 5 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (Tablo 5.1, d) 122
Şekil 5.7: 2. sıra 6 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (Tablo 5.1, e) 122
Şekil 5.8: 2. kademenin üçüncü boyutlu betiği 122
Şekil 5.9: Mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamalarının 3 boyutlu betiği (Tablo 5.1'daki f, g, h ve i) 123
Şekil 5.10: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (Tablo 5.7'deki a, b, c, ç ve d) 134
Şekil 5.11: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (Tablo 5.7'deki e, f, g ve ğ) 134
Şekil 5.12: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (Tablo 5.7'deki h, ı, i, j ve k) 135
Şekil 5.13: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (Tablo 5.7'deki l, m, n, o, ö ve p) 135

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Necipoglu'nun (1995) kitabından düzensiz kollu yıldız örnekleri (bu tablo Necipoğlu'ın kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....11
Tablo 2.2: Uluengin'in (2018) *Mukarnas* adlı kitabında eş kollu olmayan yıldız plan kompozisyonları örnekleri (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....12
Tablo 2.3: Takahashi'in (2020) mukarnas plan tipleri (bu tablo Takahashi'nin çalışmasındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....18
Tablo 2.4: Uluengin'in (2018) mukarnas plan tipleri (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....19
Tablo 2.5: Özdural'ın (1990) makalesindeki El-Kashi'in ikinci boyuttaki mukarnas eleman tanımlarını gösterişi (bu tablo Özdural'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....20
Tablo 2.6: Özdural'ın (1990) makalesindeki El-Kashi'in mukarnas elemanlarının üçüncü boyuttaki gösterimi (bu tablo Özdural'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....22
Tablo 2.7: Dallan ve Yaman'ın (2019) makalesindeki mukarnas eleman tanımları (bu tablo Dallan ve Yaman'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....23
Tablo 2.8: Uluengin'in (2018) kitabındaki mukarnas eleman tanımları (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır).....26
Tablo 3.1: Süleymaniye Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu.....50
Tablo 3.2: Şehzade Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu.....64
Tablo 3.3: Mihrimah Sultan Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu.....80
Tablo 3.4: Atik Valide Sultan Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu....95
Tablo 3.5: 5 kollu düzgün yıldız ve 6 kollu düzgün yıldızın oluşumu ve kompozisyon düzeni.....100
Tablo 4.1: Atik Valide Sultan Camisi taç kapısında bulunan mukarnastaki üç boyutlu elemanlar.....107
Tablo 4.2: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının detayları.....113

Tablo 5.1: Atik Valide Camisi giriş taç kapı mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamaları 124
Tablo 5.2: Üçgen çatılı yüzeysel hücrenin oluşum aşamaları ve ilgili kompozisyonu 125
Tablo 5.3: Parametrik mukarnas için 14 değişken ve değer aralıkları.....127
Tablo 5.4: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnasın oranlarını veren değişken değerleri 127
Tablo 5.5: Mukarnasın iki boyutlu planını etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri.....128
Tablo 5.6: Mukarnasın üç boyutlu oluşumunu etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri.....131
Tablo 5.7: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin oluşturulma aşamalar 136
Tablo 5.8: İkinci model önerisindeki 17 değişken ve değer aralıkları.....140
Tablo 5.9: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnasın oranlarını veren değişken değerleri 140
Tablo 5.10: Mukarnasın planını etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri 141
Tablo 5.11: Mukarnasın üç boyutlu oluşumunu etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri.....150

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kullanımı süregelen mukarnas, mimari dekoratif bir eleman olarak bilinir. Günümüzde, hem var olan mukarnasların biçimsel özelliklerinin incelenmesi (Elkhateeb, 2012; Castera, 2007; Kharazmi ve Sarhangi, 2016; Kashef, 2017) üzerine, hem de mukarnasın yeni tekniklerle oluşturulması (Hamekasi ve diğerleri, 2011; Senhaji ve Benslimane, 2019) üzerine güncel çalışmalar yapılmaktadır.

Biçimsel olarak kompleks bir görünüme sahip olan mukarnaslar, aslında basit kurallarla oluşturulmaktadır (Dold-Samplonius, 1992; Gherardini ve Leali, 2016). Ozdural (1991) ve Alaçam ve diğ. (2017), mukarnasların iki boyutlu plan çiziminden üçüncü boyuta sıralı bir şekilde kaldırılarak oluşturulduğu konusunda hemfikirdir.

Mukarnasların plan çizimlerinin çok eskiden beri yapıldığı bilinmektedir. Örneğin en eski örneklerden bir tanesi Taht-ı Süleyman'da (1270' lere ait) bulunan, üzerinde kareler, üçgenler, eşkenar dörtgenler barındıran plakalardır (Harb, 1978). Necipoğlu'na (1995) göre, bu bilinen en eski mimari çizim örneğidir (Dold-Samplonius, 1992). Yine Topkapı Parşömeni'nde, Taşkent Parşömeni'nde ve Mirza Akbar Parşömeni'nde birçok mukarnas planı bulunmaktadır (Necipoglu, 1995).

Mukarnas, farklı araştırmacılar tarafından, değişik sınıflandırmalarla analiz edilmiştir. Örneğin, Hamekasi ve diğerleri (2011)'nin bahsettiği gibi yapılış tipi bakımından, üç tip mukarnas vardır. Bunlar bindirmeli mukarnas, birleştirilmiş mukarnas ve asılmış mukarnastır. Bindirmeli mukarnas, taş ve ahşap bloklardan oluşturulur. Birleştirilmiş mukarnaslarda ilk önce destekleyici yüzey (kubbe ve tonoz gibi) yapılır, mukarnas hücreleri bu yüzeylere yerleştirilir. Asılmış mukarnas da ise, hücrelerin yerleştirildiği yüzey ve hücreler arasında boşluk bırakılır (Hamekasi ve diğerleri, 2011). 15. yüzyıl matematikçisi El-Kashi ise mukarnasları biçimsel özelliklerine göre sınıflandırmıştır. El-Kashi, mukarnasın üç boyutlu hücrelerinde, dikey olarak yüzeyler ve bir çatı olduğunu belirtir (Dold-Samplonius 1992; Harmsen,

2006; Gherardini and Leali, 2016). El-Kashi'ye göre, yüzeyleri çatısı düz olan *Basit Mukarnas* ve *Kil-alçı Tipi* ilk iki tiptir. Bu tiplerde hücrenin alt kısmı kare, eşkenar dörtgen biçiminde olabilir. Çatıları ise kare, yarım kare, eşkenar dörtgen, yarım eşkenar dörtgen, badem biçiminde olabilir. Diğer ikisi ise, çatıları eğrisel olan *Eğrisel Mukarnas* ve *Shirazi* tipidir. Bu tiplerde ise eğrisel hatlar hakimdir (Dold-Samplonius 1992). Ama Özdural'ın (1990) da dediği gibi, El-Kashi mukarnasları temel elemanlara indirgeyerek açıklamakta, ama böylelikle tasarım ve kompozisyonlarını ihmal etmektedir.

Birçok yazar da mukarnasları plan görünümünden yola çıkarak analiz etmiştir (Özdural, 1990; Uluengin, 2018; Takahashi, 2020). Bu çalışmalarda mukarnas planının ilk önce bir altlık sistemine oturtulması prensibi gözlenmektedir. Bu görüş, mukarnasın tasarım ve kompozisyonunu anlamak açısından önemli bir aşamadır.

Ayrıca bu plan analizlerine göre, çoğu mukarnas planının çeşitli tipte yıldızlardan (düzenli çokgen) oluştuğu görülmektedir. Bu yıldızlar, örneğin 12 kollu, 6 kollu yıldız, 5 kollu yıldız olabilir. Bu tip yıldızlar iki boyutlu olarak tasarlanan İslami dokularda da sıkça görülür. Bu dokulardaki farklı tipteki yıldızların kollarının uzunlukları kendi içlerinde eşittir. Bu doku örnekleri Hankin (1925), Bodner (2012), Bonner (2017), Broug (2008). Bourgoin (1879), Schneider (1980), Critchlow (1983), Sarhangi (2012), Redondo-Buitrago ve Huylebrouck (2015), Cromwell (2009) ve Agirbas'ın (2020) çalışmalarında görülebilir. Yine birçok mukarnas planlarındaki yıldızların kollarının uzunlukları da eşittir. Ancak, Özdural'ın (1991) çalışmasındaki gibi, bazı yıldızların çerçevenin köşe kısımlarında kalması gibi özel durumlarda, kollarının uzunlukları eşit olmayabilir.

Işınsal altlığa dayalı oluşturulmuş mukarnasların, birçok iç içe geçen referans çemberlerinden yaratıldığı bilinmektedir (Necipoglu, 1995). Topkapı Parşömeni'ne baktığımızda da birçok mukarnas çizim planlarındaki yıldızların referans çemberlerinden üretildiği ve bu yüzden de yıldız kollarının uzunluklarının eşit olduğu açıkça görülmektedir.

1.1 ARAŞTIRMA SORUSU VE AMAÇ

Birçok mukarnas planında kolları kendi içinde eşit olan yıldızlarla (düzenli çokgen) birlikte, kolları kendi içinde eşit olmayan yıldız serilerine (düzensiz çokgenler) rastlanmaktadır. Uluengin'in (2018) kitabındaki mukarnas plan analizlerinde ve Necipoğlu'nun (1995) kitabında yer alan mukarnas çizimlerinde, birçok yıldızın kollarının eşit uzunlukta olmadığı görülebilmektedir. Ancak, Uluengin'in (2018) kitabında da Necipoğlu'nun (1995) kitabında da bu duruma net bir geometrik altyapıya dayanan açıklama getirilmemiştir. Peki mukarnas planındaki bu kolları eşit olmayan yıldızların arka planındaki geometri neydi? Nasıl bir referans altlığı vardı? Yapması büyük ustalık gerektiren bu dekorasyonlardaki yıldızların kollarının eşit olmamasının arkasında mutlaka geometrik bir sebep olmalıydı. Bu çalışmada, mukarnas planlarındaki çeşitli yıldız kollarının uzunluklarının kendi içlerinde eşit olmamasının sebebinin bulunması amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu durumun geometrik altyapısının bulunmasıyla, yeni tekniklerle oluşturulabilecek mukarnaslara da bir altyapı oluşturulabilecektir.

Bu çalışmanın bu konudaki hipotezi, yıldız kollarının eşit olmadığı mukarnas planlarında, mukarnas planlarının altlığının, örümcek ağı tipindeki altlık veya elips ızgara tipindeki altlık ile oluşturulduğudur. Bu tipteki altlıklar içine yıldızlar yerleştirildiğinde, bazı yıldızların kolları, doğal olarak, kendi içlerinde eşit olmayacak, ama aynı zamanda bütüncül olarak bakıldığında nizamları/oranları tutarlı görünecektir.

Endüstri devrimi sonrası yalın bir görünüm sergileyen mimari, günümüzde farklılaşmakta ve yeni form arayışları gerçekleşmektedir (Agirbas, 2018; Agirbas, 2019). Bu yeni form arayışlarında teknolojik gelişmelerin ve üretim teknolojilerinin gelişmesinin etkisi olduğu söylenebilir. Günümüzdeki yeni form arayışlarının çoğu matematiksel altyapıya dayanır (Burry ve Burry, 2012). Mukarnasın tarihi çok eskiye dayansa da, kompleks görünümüyle, günümüz mimari form arayışı ile benzeşen bir forma sahip olduğu düşünülebilir. Bununla beraber, mukarnasın oluşumu matematiksel kurallara dayalıdır ve karmaşıklığının altında bir düzen vardır. Bu yüzden, bu çalışmada, günümüzdeki mimari form arayışında mukarnasın bir yeri

olabileceği düşünülmüştür. Peki günümüz teknolojileri kullanılarak mukarnas farklılaştırılabilir mi? Yeni tasarım arayışları içinde bir yer edinebilir mi? Bu soruya dayanarak, bu çalışmanın ikinci bir amacı olarak parametrik mukarnas üretiminin gerçekleştirilmesidir. Mukarnas planı altlığı araştırmasından elde edilen veriler kullanılarak parametrik mukarnas yaratılmıştır.

1.2 TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ

- Bazı mukarnas planlarında olan yıldız kol uzunluklarındaki eşit olmama durumunun araştırılması üzerine daha önce yapılmış bir çalışma yoktur. Bazı mukarnas planlarındaki yıldız kol uzunluklarının eşit olmamasının arkasında yatan geometrik nedenlerin bu projede araştırılması, bu çalışmayı özgün kılmaktadır.
- Bu proje kapsamında önerilen parametrik mukarnas çalışması alanında ilktir.
- Mukarnas planındaki yıldız kollarının eşit olmaması durumu, ilk kez biçim grameri teorisine dayalı olarak incelenmiştir.
- Biçim grameri teorisi çerçevesinde, mukarnasın, kodlar aracılığıyla oluşturulabileceği ve analiz edilebileceği ortaya konulmuştur.

1.3 KAPSAM

Mukarnasın iki boyutlu planından üç boyutlu haline geçişin en iyi gözlemleneceği yerlerden birisinin cami taç kapıları olduğu düşünülmüştür. Cami taç kapılarındaki mukarnaslar, geometrik altyapının anlaşılabilmesi için gerekli olan yeterli karmaşıklığa sahiptir. Bu yüzden incelenmek üzere taç kapı mukarnasları seçilmiştir. Ayrıca mimarlık ve mühendislik dünyasında verdiği eserlerle adını tarihe yazdırmış bir mimar olan Mimar Sinan'ın yapılarındaki mukarnasların geometrik olarak incelenmesi uygun görülmüştür. Kapsam sınırı İstanbul içindeki camilerde sınırlı tutulmuştur.

Bu çalışmada sadece 4 cami incelenmek üzere seçilmiştir. Bunlar, Üsküdar'daki Atik Valide Camisi'nin girişindeki taç kapıdaki mukarnas, Üsküdar'daki Mihrimah Sultan Camisi'nin girişindeki taç kapıdaki mukarnas,

Fatih'teki Süleymaniye Camisi'nin girişindeki taç kapıdaki mukarnas ve Şehzade Camisi'nin girişindeki taç kapıdaki mukarnasıdır. Bu mukarnasların planlarının geometrik yapısı, biçim grameri teorik çerçevesinde incelenmiştir.

Bu çalışmada parametrik mukarnasın modellemesi için ise, altlık olarak, Üsküdar'daki Atik Valide Camisi'nin girişindeki taç kapının mukarnası seçilmiştir. Bu mukarnasın üçüncü boyutta, hücrelerinin tipi ve farklı tipte hücrelerinin bir araya geliş biçimi de incelenmiştir. Sonrasında, elde edilen veriler doğrultusunda, bu mukarnas iki boyutlu ve üç boyutlu olarak parametrize edilmiştir. İki tane parametrize yöntemi önerilmiştir. Bu modeller kullanılarak, mukarnasın farklı varyasyonları yaratılmıştır.

Altı bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde, tezin amacı, kapsamı ve yönteminden bahsedilmiştir. Tezin ikinci bölümünde, mukarnas hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde, incelenmek üzere belirlenen mukarnasların planlarının, biçim gramerleri kullanılarak oluşturulması ile ilgilidir. Bu bölümde, mukarnas planları oluşturulurken kullanılan kural dizilerinden bahsedilmiştir. Tezin dördüncü bölümünde, parametrik mukarnas modellemesi için seçilen Atik Valide Camisi taç kapı mukarnasının üçüncü boyuttaki detaylı incelemesi yapılmıştır. Bu bölümde hücre tipleri ve bu tiplerin üçüncü boyuttaki birleşimlerinden bahsedilmiştir. Tezin beşinci bölümünde, parametrik mukarnas üretimi için iki farklı model önerisi yapılmıştır. Ayrıca, üretilen parametrik varyasyonların tablo halinde sunumu yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışma ile ilgili genel çıkarımlar verilmiştir.

1.4 YÖNTEM

Öncelikle mukarnas ve Mimar Sinan'ın İstanbul'daki camileri ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. Çalışmada daha sonra, İstanbul'daki, Mimar Sinan'ın tasarladığı cami girişi taç kapılarında mukarnasların, farklı açılardan fotoğrafları çekilmiştir.

Sonrasında saha çalışması yapılmıştır. Saha çalışmasında, incelenmek üzere belirlenen mukarnasların (Atik Valide Camisi, Süleymaniye Camisi, Şehzade Camisi,

Mihrimah Sultan Camisi) FARO lazer tarama cihazı kullanılarak taraması yapılmıştır. Taramadan sonra Scene programında nokta bulutu verisi ile mukarnasların modelleri oluşturulmuştur. Bu veri sonucu plan görselleri oranlı olarak elde edilebilmiştir.

Elde edilen görseller AutoCAD programına aktarılmıştır. Bu görseller kullanılarak, AutoCAD programında mukarnasların izdüşüm planları oluşturulmuştur. Daha sonra, bu planların, biçim gramerleri teorik çerçevesinde oluşturulması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Biçim gramerleri teorisine göre, şekil, kural bazlı incelenir (Stiny ve Gips, 1972; Agirbas, 2020). Biçim gramerleri teorisine göre biçim çeşitli matematiksel kurallara göre güncellenir. Bu matematiksel kurallara örnek olarak, bölme, aynalama, döndürme, çoğaltma gibi işlemler verilebilir (Stiny, 2006). Bu çalışmada da mukarnas planları kural bazlı incelenmiştir. İncelenen mukarnas planları grafik anlatımına dökülmüştür.

Parametrik mukarnas modeli çalışması için seçilen Atik Valide Camisi taç kapı mukarnasının, parametrik model oluşturma aşamasında Grasshopper programı kullanılmıştır. Grasshopper programı Rhino programına eklenti olarak çalışan bir görsel programlama dilidir (*visual programming language*). Grasshopper'da parametrik mukarnas oluşturulurken, betik (*script*), belirlenen biçim gramerleri kurallarına göre kodlanmıştır.

Parametrik mukarnas modeli oluşturulurken iki yöntem denenmiştir. Birinci yöntemde, plandaki geometri esas alınarak, üçüncü boyuta noktalar taşınmıştır. Daha sonra katmanlar arasında, ilgili nokta elemanları esas alınarak yüzeyler oluşturulmuştur. İkinci yöntem ise, üçüncü boyutta belirlenen mukarnastaki modüllerin modellenerek kombinasyonunun oluşturulması biçimindedir.

2. MUKARNAS

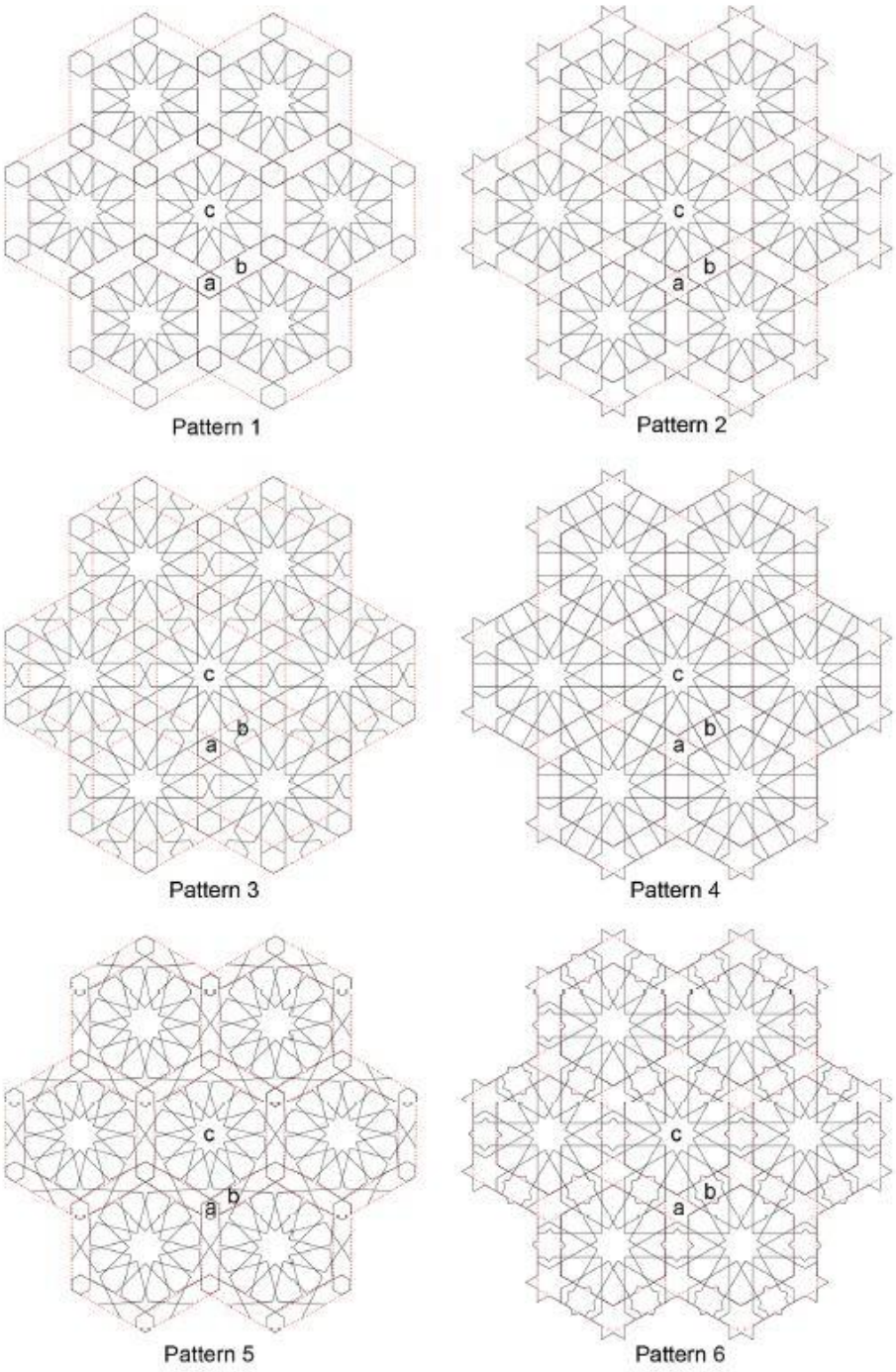
2.1 MUKARNAS NEDİR?

İslam mimarisine özgü bir süs elemanı olan mukarnas, ikinci boyutta oluşturulan plan geometrisinden, üçüncü boyuta aktarılan bir mimari ögedir (Alaçam ve diğ, 2017; Uluengin, 2018). Farklı hücrelerin yan yana dizilimiyle oluşur. Bundan dolayı, geometrik bir ritmi beraberinde getirir, kademeli ve eklemeli bir görüntü oluşur. Bu şekilde derinlik oluşturmasıyla kısmen mekansallık yaratır (Burckhardt, 2009; Gonzalo ve Alkadi, 2018).

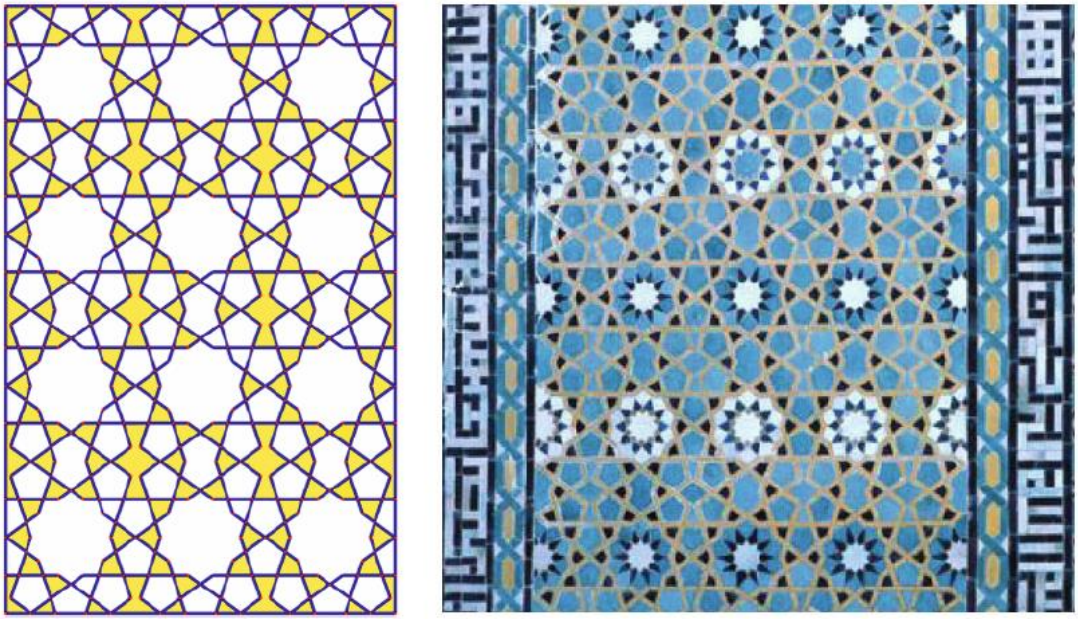
Maarouf ve Zeid'e (2019) göre, mukarnasın, dört ana özelliği vardır. Birinci özellik, mukarnasın, üç boyutlu olmasından dolayı, bulunduğu yere hacim kazandırmasıdır. İkinci özellik, mukarnasın ebatının değişken olmasından dolayı, süs elemanı olarak farklı varyasyonlarıyla da kullanılmasıdır. Üçüncü olarak, mukarnasın belirli, kesin bir matematiksel formülünün olmamasından dolayı, yapılacağı yerin şekline, yüksekliğine ve derinliğine göre uyarlanabilir. Mukarnasın içerisinde barındırdığı hücreler, sonsuz kompozisyonlar oluşturabilir. Son olarak, mukarnasın dördüncü özelliği ise, üç boyutlu hücreler, kolayca ikinci boyuta indirgenerek planda rahatça okunabilir. Ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olsa da, mukarnasa plandan bakıldığında belirli bir kural dizisinin sonucu olarak ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

İslami geometrik desenler yüzyıllardır duvarlarda, tavanlarda, kapılarda ve kubbelerde dekoratif eleman olarak kullanılmıştır (Maarouf ve Zeid, 2019). İslam sanat dünyasındaki geometrik desenlerin ve motiflerin gelişmesi sonucunda mukarnas oluşmuştur. Mukarnas, üçüncü boyutta oluşturulan dekoratif elemana veya mimari bir ögeye dönüştürülmüştür (Dallal ve Yaman, 2019).

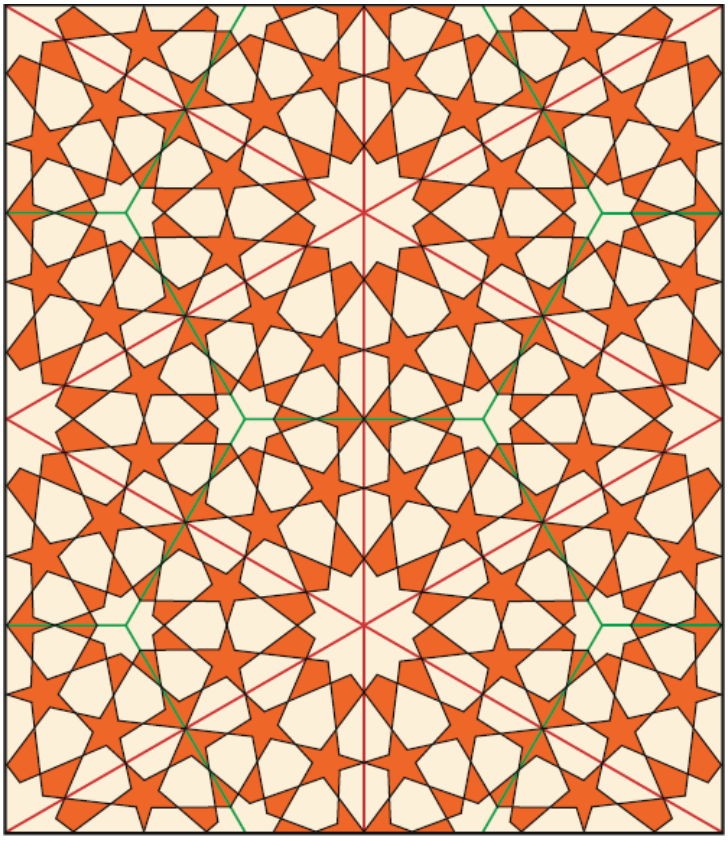
İslami geometrik desen planlarına bakıldığında yıldız kollarının genelde eş kollu olduğu görülmektedir (**Şekil 2.1**, **Şekil 2.2**, **Şekil 2.3**). Bu yıldızlar farklı sayıda kollara sahip olabilmektedirler.



Şekil 2.1: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 1 [Agirbas (2020), makalesinde doku desenlerini Schneider'in (1980)'in kitabından alıp uyarlanmıştır]

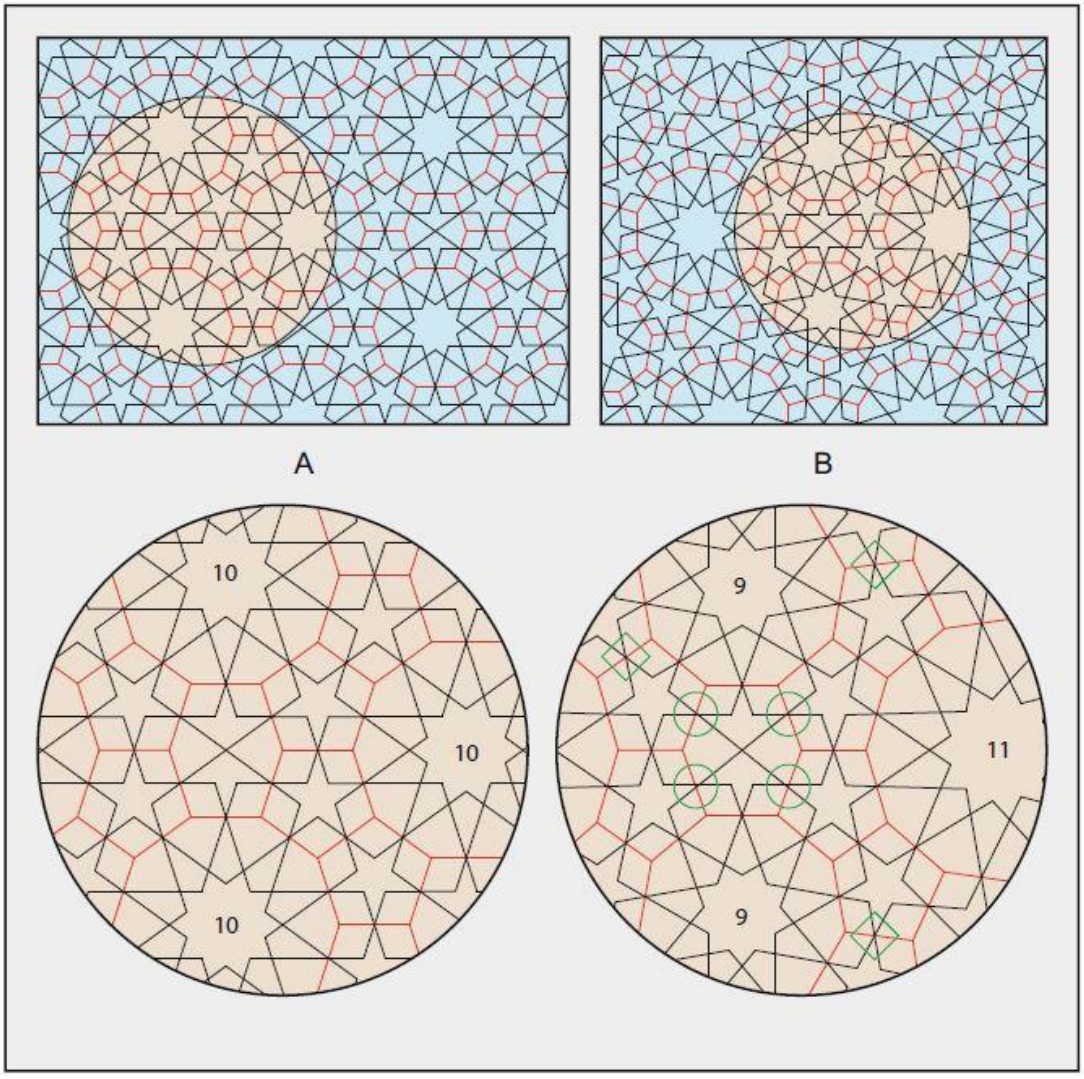


Şekil 2.2: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 2 [Sarhangi'nin (2012) makalesindeki doku örneği]



Şekil 2.3: Eşit kollu yıldızlara sahip olan İslami doku örnekleri 3 [Bonner'nin (2017) kitabından doku örneği]

Fakat, eş kollu olmayan yıldızların da olduğu gözlemlenmiştir. Bonner (2017) *Islamic Geometic Patterns* adlı kitabında eş kollu olmayan yıldız plan kompozisyonlarından da bahsetmiştir (**Şekil 2.4**). Kendisi bu planlara *Nonsystematic Patterns* (Simetrik olmayan dokular) başlığı altında yer vermiştir. **Şekil 2.4**'te görüldüğü gibi iki plan kompozisyonu çalışmasında da solda (A) 5 kollu yıldızların eş kollu olduğu görülmektedir. Bu sonuç düzenli on kollu yıldızlardan dolayı olduğu görülmektedir. Sağdaki (B) çalışmada ise yıldızların kollarının eşit olmamasının sebebi dokuz kollu yıldızlar ve on bir kollu yıldızların beraber bir kompozisyon oluşturmasından dolayı olduğu görülmektedir.

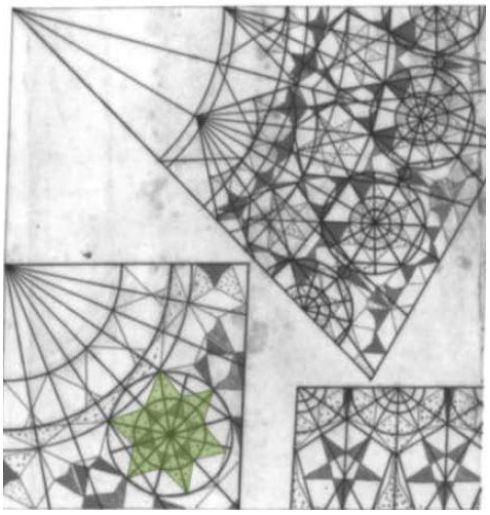


Şekil 2.4: Bonner'in (2017) kitabındaki eş kollu olan yıldız (A) ve eş kollu olmayan yıldız (B) kompozisyonları

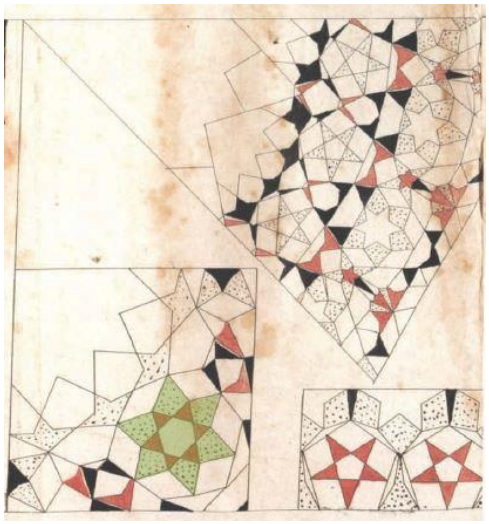
Necipoglu'nun (1995) *The Topkapı Scroll – Geometry and Ornament in Islamic Architecture* adlı kitabında da düzensiz yıldızların olduğu örneklere rastlanmıştır. Topkapı Parşömeni'ni konu alan kitapta mukarnas çizimlerine yer verilmiştir. Aşağıdaki **Tablo 2.1**'de bu çizimlerden, düzensiz yıldızların bulunduğu örnekler tablolaştırılmıştır.

Tablo 2.1: Necipoglu'nun (1995) kitabından düzensiz kollu yıldız örnekleri (bu tablo Necipoğlu'nun kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

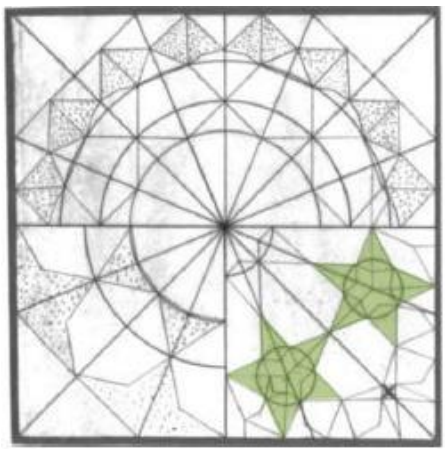
A. Siyah beyaz plan (6 kollu yıldız düzensizdir).
B. A planının renkli hali (6 kollu yıldız düzensizdir).
C. Siyah beyaz plan (5 kollu yıldız düzensizdir.)



A (düzensiz yıldız yeşil renk ile belirtilmiştir)



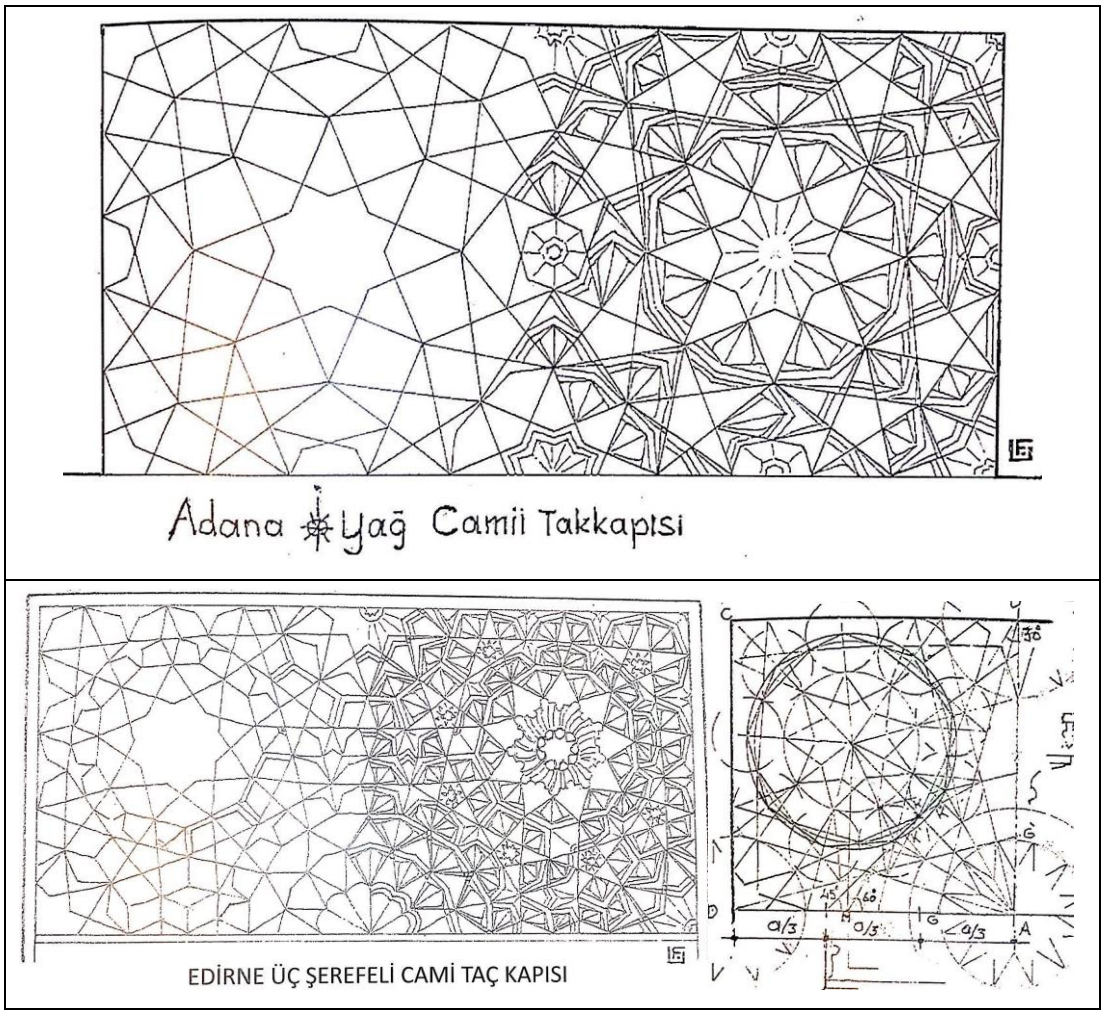
B (düzensiz yıldız yeşil renk ile belirtilmiştir)



C (düzensiz yıldız yeşil renk ile belirtilmiştir)

Uluengin'in (2018) *Mukarnas* adlı kitabında da eş kollu olmayan yıldız planlarına rastlanmıştır (**Tablo 2.2**). Farklı yapılara ait mukarnas planlarının el çizimine aktarıldığı bu kaynakta, oldukça eş kollu olmayan yıldız kollarına görülmektedir. Bu yıldızlar, plan altlığındaki aksların kesişimleri ile elde edilerek oluşturulmuştur. Bazı kompozisyonlarda ise, düzenli 5 kollu yıldızların plan çerçevesinin iç sınırında olmasından dolayı, köşede kalan 5 kollu yıldızların ilgili kolları mukarnas plan çerçevesine kadar uzatılmıştır. **Tablo 2.2**'de "Edirne üç şerefeli cami taç kapısı" planında ve sağındaki geometrik plan analiz çiziminde bu istisnai duruma örnek verilmiştir.

Tablo 2.2: Uluengin'in (2018) *Mukarnas* adlı kitabında eş kollu olmayan yıldız plan kompozisyonları örnekleri (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır)



Mukarnaslar yapıların çeşitli yerlerinde bulunabilir. Örneğin kolon başlıklarında, kubbelerde veya kapılarda mukarnas bulunabilir. Bu çalışmada ise taç kapılarda bulunan mukanaslara odaklanılmıştır.

Kapalı bir mekana veya bir alana basık kemerli geçişi sağlayan yapı elemanına kapı denir. Bu kapı belli bir alana yönelmeyi temsil ediyorsa o zaman bu kapıya taç kapı denilir (Ödekan, 1993; Karademir, 2016). Anıtsallığı ile ön planda olan taç kapılar cephe tasarımlarında en vurgulayıcı, en göze çarpan ögedir (Caner ve Bakırer, 2009). Taç kapılar, camiler, medreseler, hanlar, kervansaraylar, hamamlar gibi halka açık olan mekan girişlerinde bulunmaktadır (Karademir, 2016).

2.2 MUKARNAS SINIFLANDIRMASI

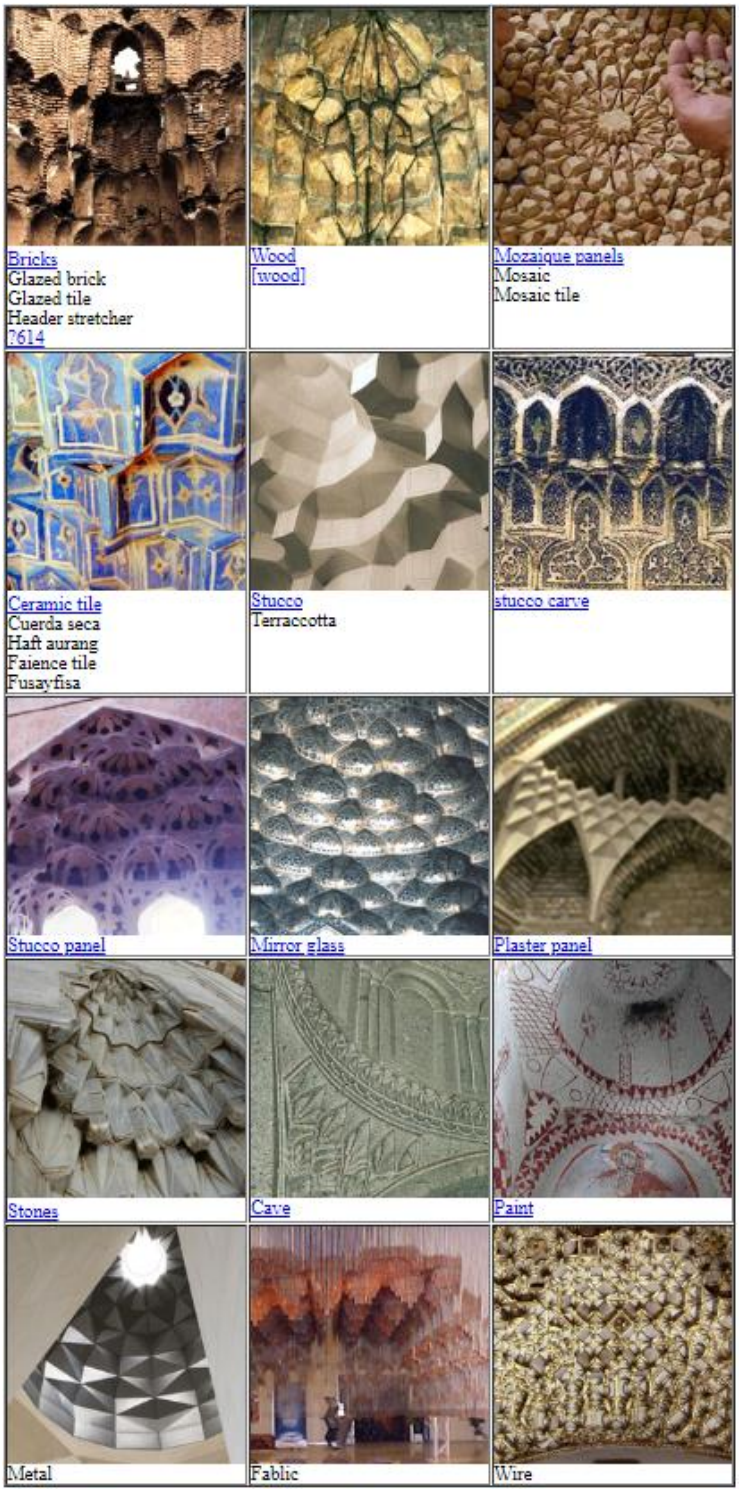
Farklı araştırmacılar mukarnası çeşitli yönlerine göre sınıflandırmışlardır. Bunları kullanılan malzemeye göre sınıflandırma, yapılardaki kullanım yerine göre sınıflandırma, yapılış yöntemine göre sınıflandırma, bölgesine göre sınıflandırma ve plan biçimine göre sınıflandırma olarak sıralayabiliriz.

Senhaji ve Benslimane (2019), Kashef (2017), Maarouf ve Zeid (2019), Takahashi (2020) gibi araştırmacılar farklı malzemeler kullanılarak yaratılabilen mukarnasın, taş, ahşap, tuğla, alçı, seramik, mozaik, metal, tel ve çamur gibi malzemeler ile oluşturulabildiğini söylemişlerdir (**Şekil 2.5**).

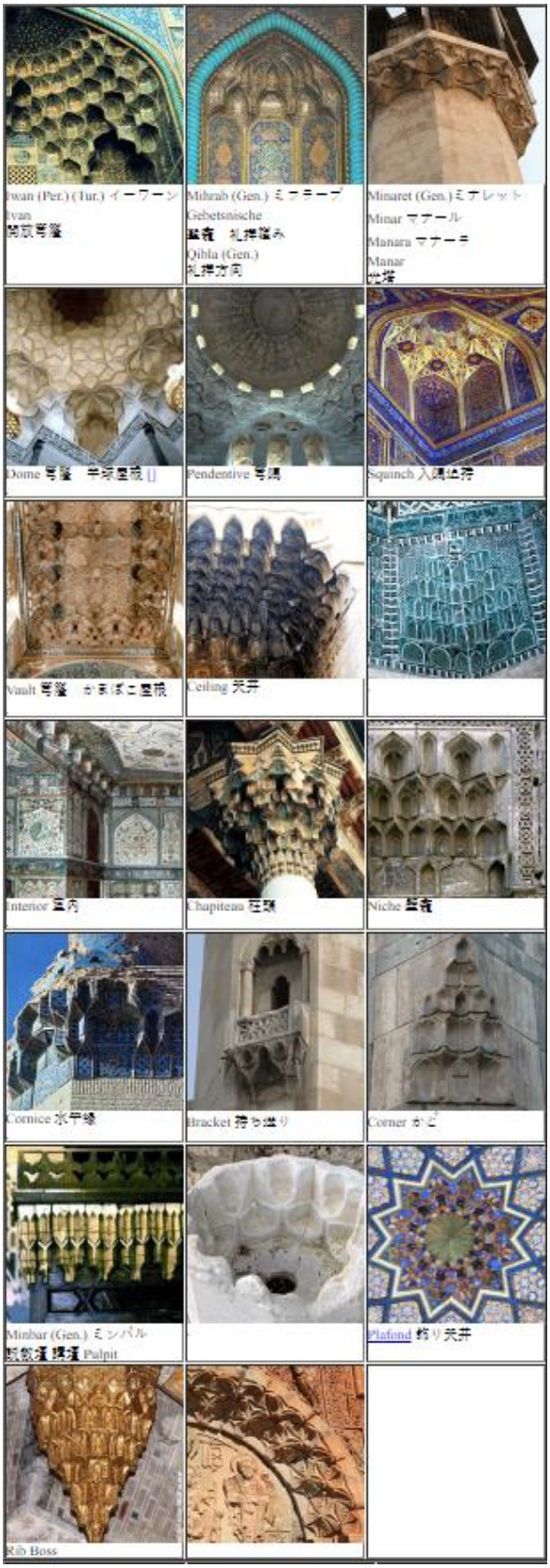
Takahashi (2020), mukarnaslar üzerine yaptığı websitesinde, tuğla, ahşap, mozaik paneller, seramik karo, sıva, sıva oyma, alçı paneli, aynalı cam, sıva paneli, taş, oyma, boya, metal, kumaş, tel olmak üzere, mukarnası, malzemeleri esas alarak sınıflandırmıştır.

Mukarnas tasarımları, çeşitli yapıların çeşitli yerlerinde kullanılmıştır. Kullanım alanı genişliği olan bu öge, kubbelerde, mihraplarda, taç kapılarda, kemerlerde, tavan veya tavan kornişlerinde, sütun başlıklarında, minarelerde ve bina cephelerinde geçiş elemanı olarak yer almaktadır (Kashef, 2017; Maarouf ve Zeid, 2019; Takahashi, 2020) **(Şekil 2.6)**.

Takahashi'nin (2020) websitesinde, kubbe, mihrap, minare, pandantif, tromp, çatı, iç mekan kornişi, sütun başı, niş, dış mekan kornişi, konsol, cephe köşesi, minber, dekoratif tavan olmak üzere mukarnası kullanım yerine göre de sınıflandırmıştır.

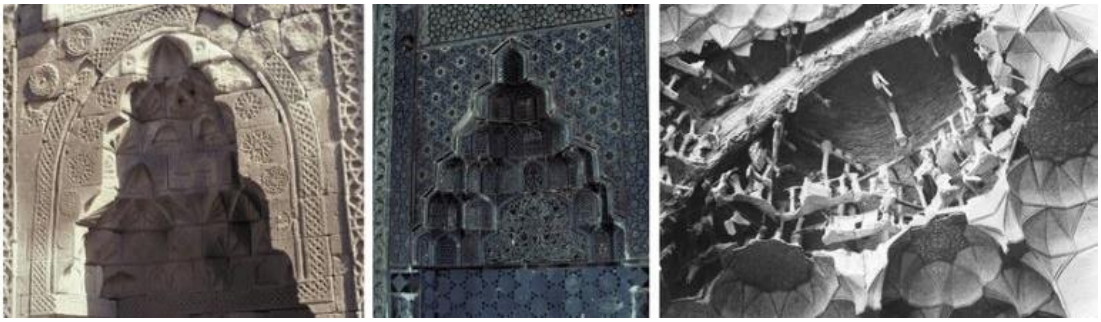


Şekil 2.5: Takahashi'nin (2020) mukarnası malzemelerine göre sınıflandırması



Şekil 2.6: Takahashi'nin (2020) mukarnası kullanım yerine göre sınıflandırması

Hamekasi ve diğerleri (2011)'nin de açıkladığı gibi, mukarnasın üç tip yapılış yöntemi bulunmaktadır. Bunları bindirmeli, birleştirmeli (eklemeli) ya da asılmış mukarnas olarak sıralayabiliriz. Bindirmeli mukarnas, taş veya ahşap bloklardan oluşturularak elde edilmiştir. Bu mukarnas tipi, sağlam olan blokların yüzeylerinden oyularak elde edilir (**Şekil 2.7**, a). Birleştirmeli mukarnas için, ilk önce destekleyici duvarlar oluşturulur. İkinci aşama olarak, mukarnas elemanlarıyla destekleyici duvar arasında boşluk kalmayacak biçimde mukarnas elemanları yüzeylere eklenerek inşa edilir (**Şekil 2.7**, b). Asılı bir mukarnas ise, tamamı zeminde üretilen mukarnas bütünüdür. Zeminde üretilebilen bu mukarnas, daha sonra bağlantı noktalarıyla birleştirilir ve mimari yapıya sabitlenir (**Şekil 2.7**, c) (Maarouf ve Zeid, 2019).

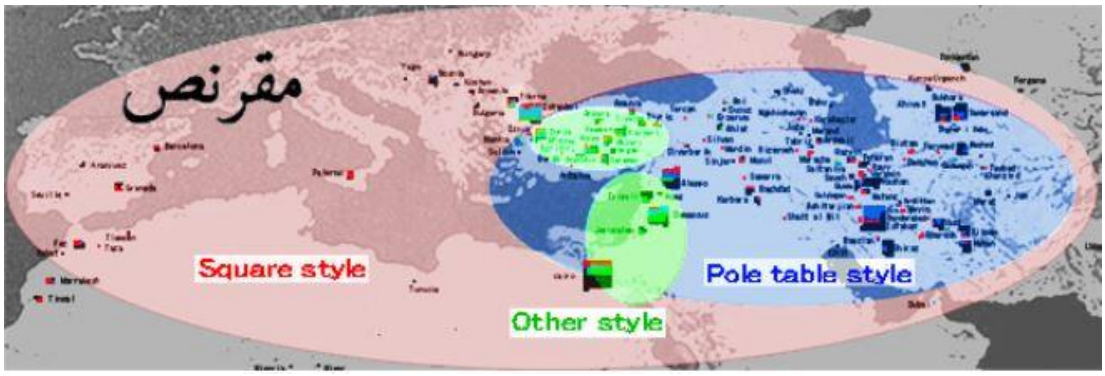


Şekil 2.7: Bindirmeli mukarnas (a), Birleştirmeli mukarnas (b) ve Asılmış mukarnas (c) (Hamekasi ve diğerleri, 2011; Maarouf ve Zeid, 2019)

Uluengin'in (2018) kitabında, mukarnas için bölgelere göre bir ayrışım yapılabileceği görülmektedir. Bunlar, doğu kökenli mukarnas (İran, Orta Asya) ve Osmanlı mukarnaslarıdır, ve kendi içlerinde farklılıkları vardır. Doğudaki mukarnas planları genelde aynı açı ile başlayıp, sonrasında da aynı açı ile devam etmektedir. Fakat, Osmanlı mukarnas planları daha komplekstir. Karmaşıklığın sonucu olarak ustaca sonuçlar çıkmıştır. Bir açı planlaması ile başlayıp, daha sonrasında çeşitli açıların da eklenebilir olduğunu görülmektedir (Uluengin, 2018).

Mukarnasın plan biçimleri üzerine birçok araştırmacının çalışmaları mevcuttur. Araştırmacılar, araştırmaları sonucunda, plan sınıflandırmasını kendileri yapmıştır. Birkaç araştırmacının mukarnas plan biçimleri sınıflandırması aşağıda örneklendirilmiştir.

Takahashi'nin (2020) mukarnas konusu üzerine, dünya üzerinde 2000 adet mukarnası fotoğraflayıp araştırma yapmıştır. Fotoğrafların yarısının yani 1000 adedinin ise plan şemasını çizime aktarmıştır. Bölgelere göre de sınıflandırma yapan Takahashi, mukarnası üç plan tipinde incelemiştir. Bunlar, "kare" mukarnas plan tipi, "kutuplu" mukarnas plan tipi ve "diğer" yani serbest mukarnas tipleridir. Bunları da bölgelere göre de sınıflandırmıştır (**Şekil 2.8**).

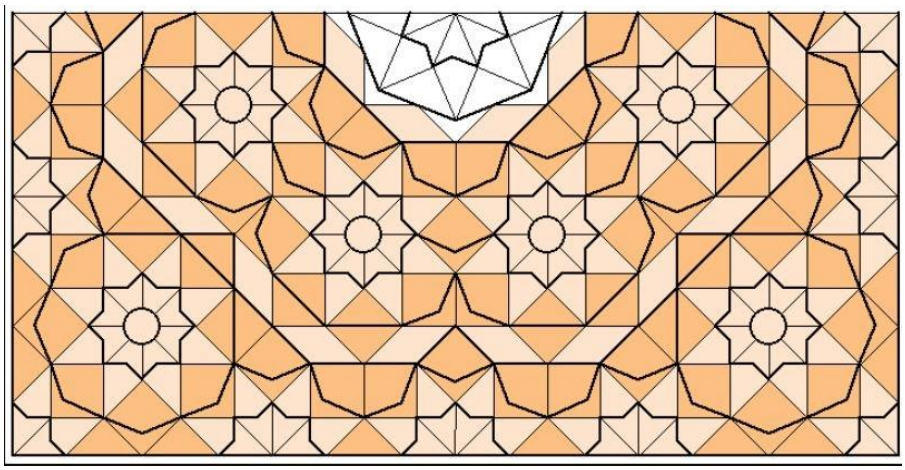
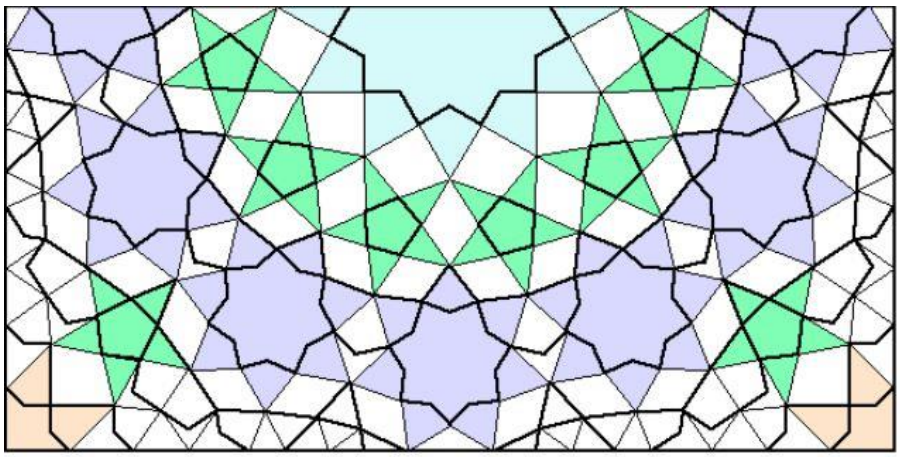
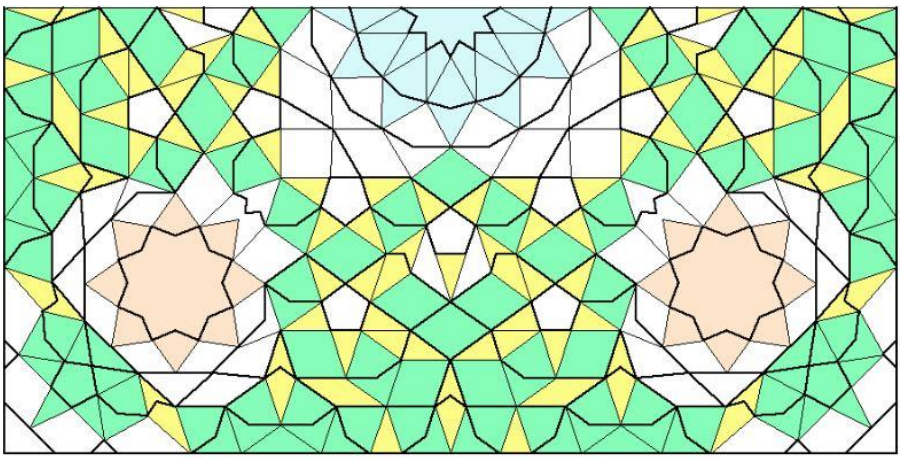


Şekil 2.8: Takahashi'nin (2020) plan biçimine ve bölgeye göre mukarnas sınıflandırması

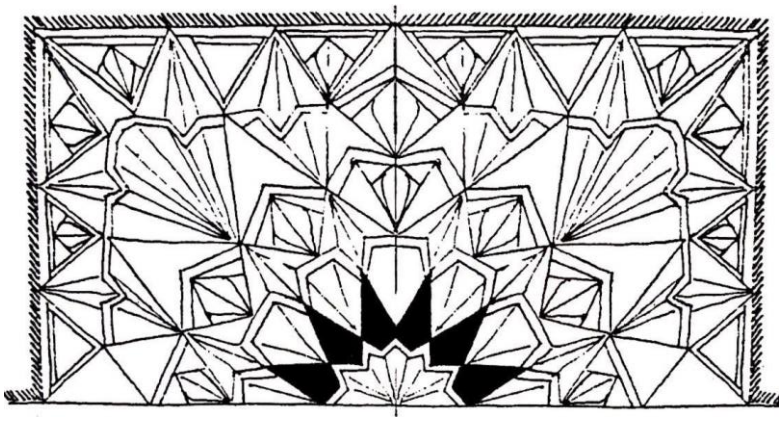
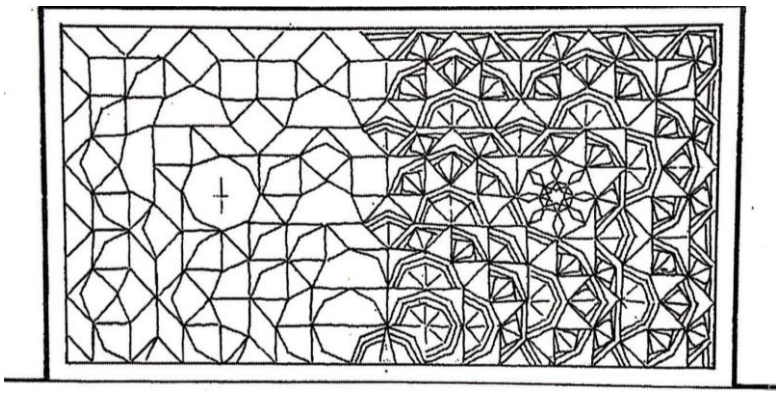
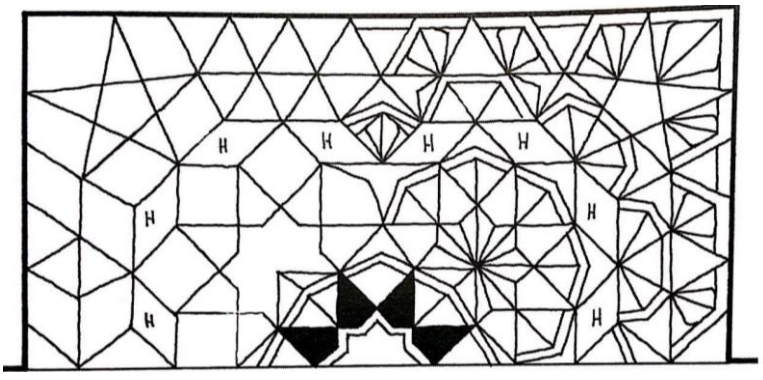
Tablo 2.3'te Takahashi (2020)'nin oluşturduğu mukarnas tipleri verilmiştir. Doğuya doğru ilerlendikçe karmaşık şemalar geliştirilerek kutuplu mukarnas plan biçimi oluşturulmuştur. Batı ülkelerine bakıldığında ise, sadece kare ve kutulu plan şemasına bağlı kalınmadan, serbest plan şemasında da çalışılmıştır (Takahashi, 2020).

Uluengin'nin (2018) bahsettiği mukarnas plan biçimi, üç tipte ayrıştırılmıştır. Bunlar "kaideli kuruluş", "serbest kuruluş" ve "sıra dışı kuruluş" tur (**Tablo 2.4**). İlk kuruluş tipi olan kaideli kuruluş, mukarnas planının merkezindeki (yani mukarnasın tepe noktasında bulunan) yıldızın kol sayısına göredir. Bu yıldız kolunun sayısına göre düzenli olarak devam eden mukarnas plan şemasının, simetrik kurulması üzerinedir. İkinci kuruluş ise, serbest kuruluştur. Mukarnas planındaki tepe yıldızın kolu belirsizdir. 0 kollu veya kolsuz yıldızdan da oluşabilmektedir. Kompozisyonun devamı olarak, kendi içerisinde yine simetrik olarak devam eden plan, kuruluş biçimidir. Son olarak, sıra dışı kuruluş biçimi tanımlanmıştır. Alışılmadık bir düzende ilerleyen plan biçimidir. Belli bir düzende ilerlemeyip, simetrisi de olmayan mukarnasları içerir (Uluengin, 2018).

Tablo 2.3: Takahashi'in (2020) mukarnas plan tipleri (bu tablo Takahashi'nin çalışmasındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

Kare Mukarnas Plan Tipi 
Kutuplu Mukarnas Plan Tipi 
Diğer (Serbest) Mukarnas Plan Tipi 

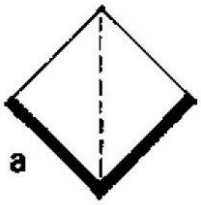
Tablo 2.4: Uluengin'in (2018) mukarnas plan tipleri (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

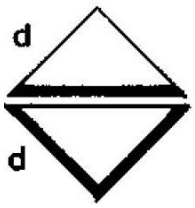
Kaideli Kuruluş Plan Biçimi

Erzurum Yakutiye – Dış pencere üstü mukarnası
Serbest Kuruluş Plan Biçimi

Niğde Sungur Bey Türbesi – Dış kapı mukarnası
Sıradışı Kuruluş Plan Biçimi

Çoruh – Osmancık Kocatepe Cami tak kapısı (sokaktan cami avlusuna giriş taç kapısı)

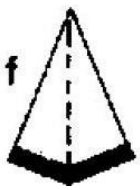
2.3 MUKARNAS ELEMANLARI

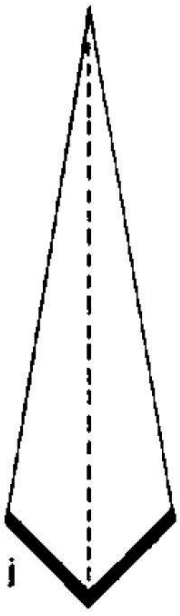
Mukarnasın elemanları tanımlanırken birçok yazar elemanları birbirlerinden farklı isimlendirmiştir. Özdural'ın (1990) *Gıyaseddin Cemşid El-Kashi ve Mukarnaslar* adlı makalesinde, El-Kashi'nin *Miftah el-Hisab* adlı kitabı üzerinden El-Kashi'nin mukarnas tanımlamalarını incelemiştir. Mukarnas elemanları olarak El-Kashi'nin belirlediği elemanlar aşağıdaki tablodaki gibidir (**Tablo 2.5**).

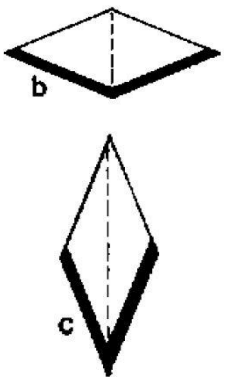
Tablo 2.5: Özdural'ın (1990) makalesindeki El-Kashi'in ikinci boyuttaki mukarnas eleman tanımlarını gösterişi (bu tablo Özdural'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

<table>
<tr><th colspan="4">Mukarnas Elemanları 2. Boyuttaki Gösterimi (plan)</th></tr>
<tr><td>

Kareler
(squares, murabba)</td><td>

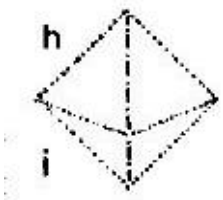
Yarım Kareler
(half-squares)</td><td>

Badem (almonds, loze)</td><td rowspan="3">

Arpa Kuşu
(barleycorns, jaudenha)</td></tr>
<tr><td>

Eşkenar Dörtgenler
(rhombi)</td><td>

Yarım Eşkenar Dörtgenler
(half-rhombi)</td><td>

Badem tamamlayıcı (almonds-complement, tamam el-loze)
Diğer bir ismi ise "İki ayaklı" (two-leggeds, zevat er-rijleyn) dır.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>

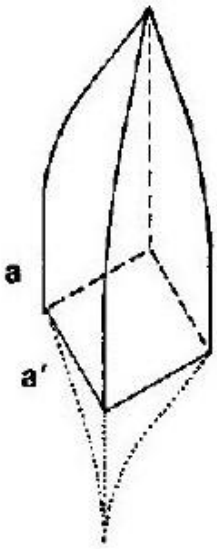
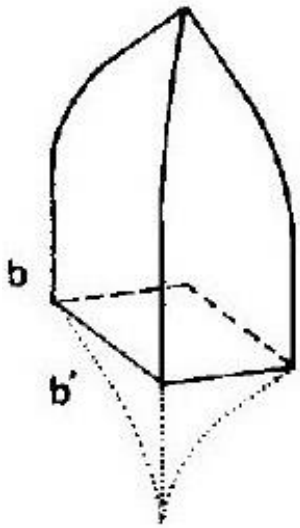
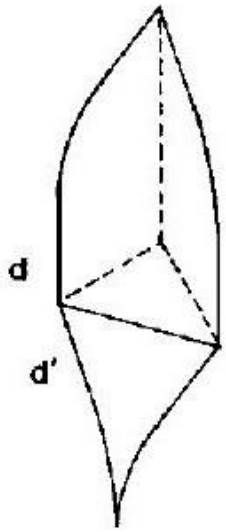
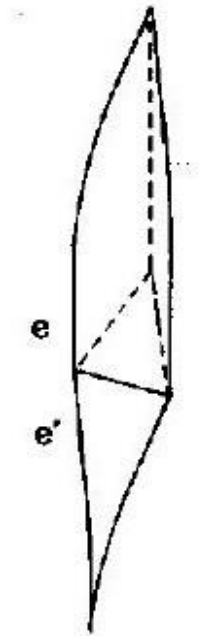
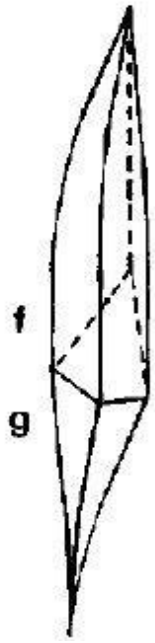
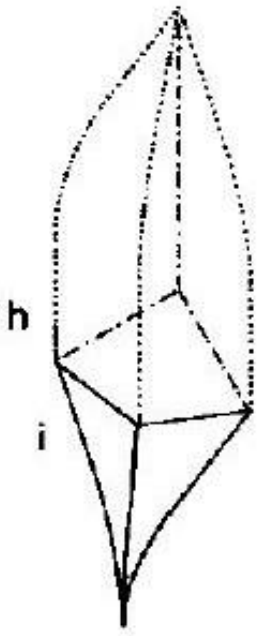
Badem ve badem tamamlayıcının birleşimi</td></tr>
</table>

Özdural'ın (1990) bu makalesinde El-Kashi'nin tanımlamış olduğu mukarnas elemanları ikinci boyutta, yani plan şeması üzerinden tanımlanmıştır. Geometrik şekillerinden oluşan elemanlar, kare, eşkenar dörtgen, yarım kare, yarım eşkenar dörtgen, badem, badem tamamlayıcı (iki ayaklı) ve arpa kuşudur. Bu elemanların çizimdeki kalın kenarları (koyu renkte olanlar), üçüncü boyuttaki yüzeyleri belirtmektedir. Kare (a) ve eşkenar dörtgen (b-c) elemanlarını bölerek, yarım kare (d) ve yarım eşkenar dörtgen (e) elde edilmiştir. Badem (f) ve badem tamamlayıcı (g) elemanları ise birbirlerini tamamlayan elemanlar olarak tanımlamıştır. Bu elemanların bir kare oluşturacak biçimde birleşiminin gösterimini de (h, i) Özdural (1990), El-Kashi'nin tanımlamalarına ek olarak eklemiştir. İkinci boyuttan üçüncü boyuta geçişte ise plandaki elemanların görünüşleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (**Tablo 2.6**).

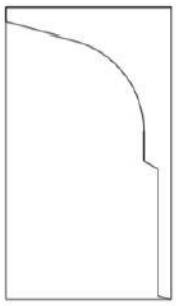
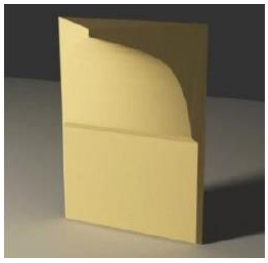
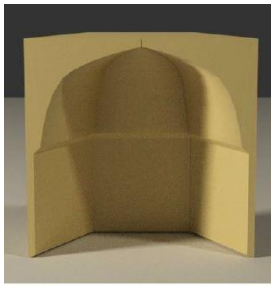
Tablo 2.6'daki elemanlar, planın üst kısmına veya alt kısmına eklemlenerek mukarnas kademeleri oluşturulmaktadır. Elemanların kenar uzunluklarına eşit gelen başka bir eleman ile birleştirilerek kompozisyon oluşturulmaktadır. Böylelikle plandaki elemanlar iki katman arasında kalmaktadır.

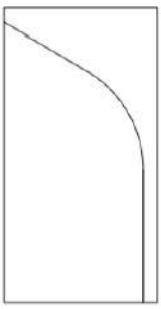
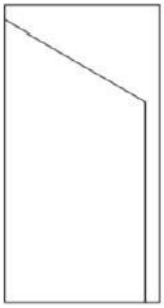
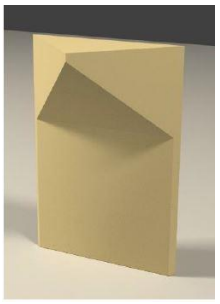
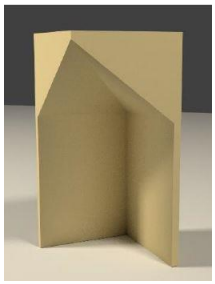
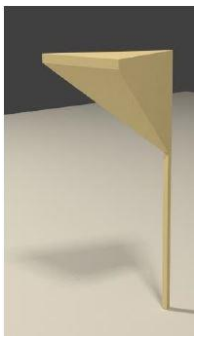
İkinci kaynak olarak Dallal ve Yaman'ın (2019) çalışması incelenmiştir. Kaynaktaki eleman sınıflandırılması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (**Tablo 2.7**). Dallal ve Yaman'ın (2019) makalesinde Erken Osmanlı Dönemi'ne göre mukarnası biçim çeşitliliğine göre dörde ayırıp elemanları kendi içlerinde sınıflandırmıştır. Bunlar, tipik Osmanlı mukarnas biçimi, kavisli mukarnas biçimi, eğimli mukarnas biçimi ve düz mukarnas biçimidir. Tipik Osmanlı mukarnas biçiminde ana ve ara elemanlar hem kavisli hem de iki kademeden oluşmaktadır. Kavisli mukarnas biçimi en eski ve en yaygın olan mukarnas türlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu türde hücreler iki kısımdan oluşmaktadır. Hücrenin alt kısmı duvar, hücrenin üst kısmı ise tavan olarak tanımlanmıştır. Tavan kısımlarında kavislenme oluşturulması ile kavisli mukarnas biçimi sağlanmıştır. Eğimli mukarnas biçiminde, tavan ve duvar kısımları arasında belli bir eğimli açı ile yüzey sağlanarak elemanlar oluşturulmuştur. Düz mukarnas biçimi ise, mukarnas tiplerinin en basit olanı diye tanımlanmaktadır. Bu tipteki elemanlar, bir duvar ve yer eksenine paralel yüzeyler tanımlanarak oluşturulmaktadır (Dallal ve Yaman, 2019).

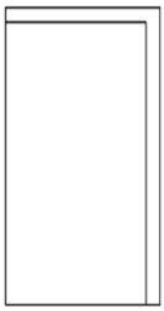
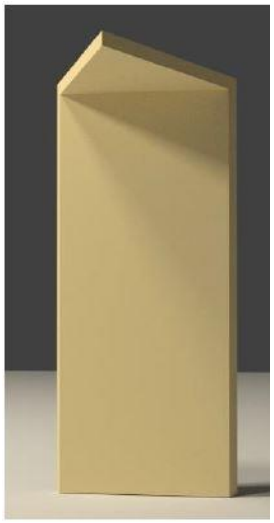
Tablo 2.6: Özdural'ın (1990) makalesindeki El-Kashi'in mukarnas elemanlarının üçüncü boyuttaki gösterimi (bu tablo Özdural'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

Mukarnas Elemanları 3. Boyuttaki Gösterimi		
 Kare hücresi	 Eşkenar dörtgen hücresi	 Yarım kare hücresi
 Yarım eşkenar dörtgen hücresi	 Badem ve badem tamamlayıcı birleşimi (eşkenar dörtgenin içerisinde)	 Badem ve badem tamamlayıcı birleşimi (karenin içerisinde)

Tablo 2.7: Dallan ve Yaman'ın (2019) makalesindeki mukarnas eleman tanımları (bu tablo Dallan ve Yaman'ın makalesindeki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

	Ana Eleman	**Ara Eleman**	**Ek Eleman**
Tipik Osmanlı Mukarnas Hücresi Biçimi 	 - Kanatlı badem hücresi  - Kademeli tek yüzeysel hücre  - İki yüzeyli hücre  - Üç yüzeyli hücre	 - Badem formlu kademeli ara eleman  - İkizkenar üçgen formlu ara eleman  - Küçük veya büyük iki ayaklı formlu ara eleman - Püsküller, sarkıtlar	 - Dekoratif elemanlar (Beş ve altı köşeli yıldız, burmalı top ve bazı çiçek biçimleri olan kabartmalar, sarkıtlar ve püsküller)

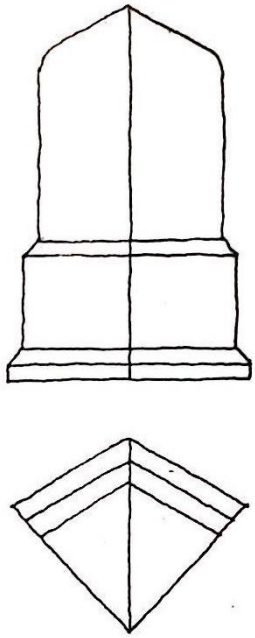
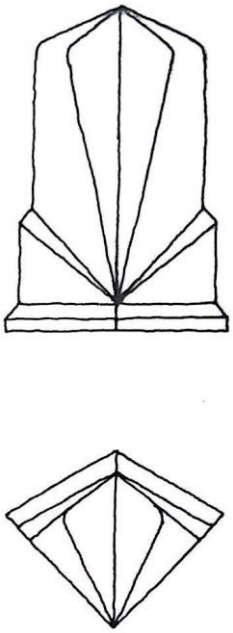
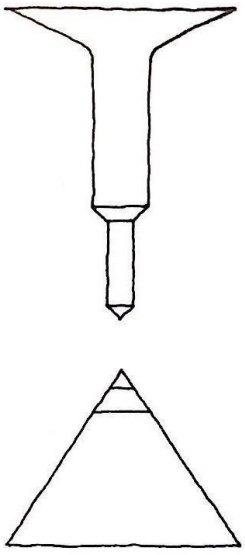
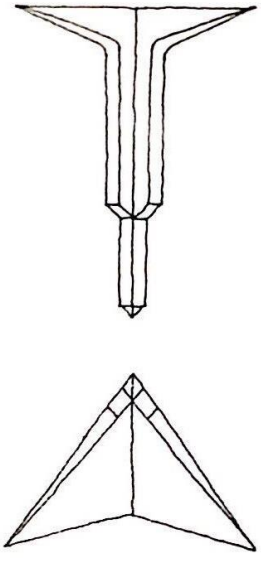
Kavisli Mukarnas Biçimi 	- Üçgen formlu tek yüzeysel eleman  - İki yüzeyli hücre - Üç yüzeysel hücre	 - İkizkenar üçgen formlu ara eleman - Küçük veya büyük iki ayaklı formlu ara eleman - Püsküller, sarkıtlar	-
Eğimli Mukarnas Biçimi 	 - Üçgen formlu tek yüzeysel eleman  - İki yüzeysel hücre - Küçük iki ayaklı formlu ters hücre	 - İkizkenar üçgen formlu ara eleman - Küçük veya büyük iki ayaklı formlu ara eleman - Püsküller, sarkıtlar	-

Düz Mukarnas Biçimi 	 - Düz hücre  - Düz tek yüzeysel eleman	-	-

Üçüncü kaynak olarak Uluengin'in (2018) *Mukarnas* adlı kitabı incelenmiştir. Kitapta tanımlanan elemanlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (**Tablo 2.8**). Uluengin (2018), bu kitabında mukarnas elemanlarını tanımlanırken yaprak, badem ve kaz ayağını ana eleman, fitil elemanını ise yan eleman olarak tanımlamıştır. Badem elemanının, yaprak elemanının oluşumundan sonra yüzeyler eklenerek oluştuğu varsayılmıştır. Fitil elemanını kaz ayağının tam dolduramayıp boş bıraktığı yerlere gelen ara eleman olarak tanımlamıştır.

Uluengin'in (2018) "yaprak" olarak tanımladığı eleman, bu tez çalışmasında "üçgen çatılı yüzeysel hücre" olarak tanımlanan elemanın ikili halidir.

Tablo 2.8: Uluengin'in (2018) kitabındaki mukarnas eleman tanımları (bu tablo Uluengin'in kitabındaki görseller derlenerek hazırlanmıştır)

Mukarnas Elemanları	
 Yaprak	 Badem
 Kaz ayağı	 Fitil

Bu tez çalışmasında elemanların isimlendirilişi ve gösterimi **Tablo 4.1**'de gösterilmiştir.

2.4 GÜNÜMÜZDEKİ MUKARNAS ÜRETİMİ

Mukarnasın günümüzdeki modern mimarlık üretiminde yok denecek kadar azdır. Endüstri devrimi sonrasında, yapıların hızlı ve çok sayıda üretilmesi anlayışı benimsenmiştir (Agirbas, 2019). Bu da genel olarak süsleme detaylarının ortadan kaybolmasına neden olmuştur.

Günümüzde mukarnas ustalarının azaldığı da bilinmektedir. Ancak mukarnas ustaları, tasarımcıların mukarnas üretimi istemeleri üzerine mukarnası istenilen ebatlarda istenilen bölgeye monte etmektedirler.

Bu çalışma kapsamında, bir mukarnas ustası ile görüşülmüştür. Mukarnas ustası, hazır mukarnas tiplerini üretip istenilen yere ebatları uyması durumunda monte edilebildiğini söylemiştir. Ayrıca farklı mukarnas tasarımlarını da üretebileceklerini dile getirmiştir. Kalıpları çıkartılan mukarnasın ilk önce mermer malzemesinden katmanları kaba bir şekilde ayrı ayrı oluşturulmaktadır. Daha sonra her katmanın detayına girilerek, mukarnas tasarımına göre el ile oyulmaktadır (**Şekil 2.9; Şekil 2.10**).



Şekil 2.9: Günümüzde mukarnas yapımı (fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir)



Şekil 2.10: Günümüzde mukarnasının hazır hali (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

2.5 ÇAĞDAŞ MUKARNAS TASARIM ÖRNEKLERİ

Gittikçe eski değerini kaybeden mukarnasın, günümüz çağdaş mimarisinde farklılaştırılmış örneklerini görmek mümkündür. Mukarnası sentezleyip yorumlayarak oluşturulan tasarımlarda çok farklı görselliğin sunulduğu görülmektedir. Aşağıda modern mukarnas çalışmalarına birkaç örnek verilmiştir.

- **Mukarnas Tower – SOM – Riyad / Suudi Arabistan**

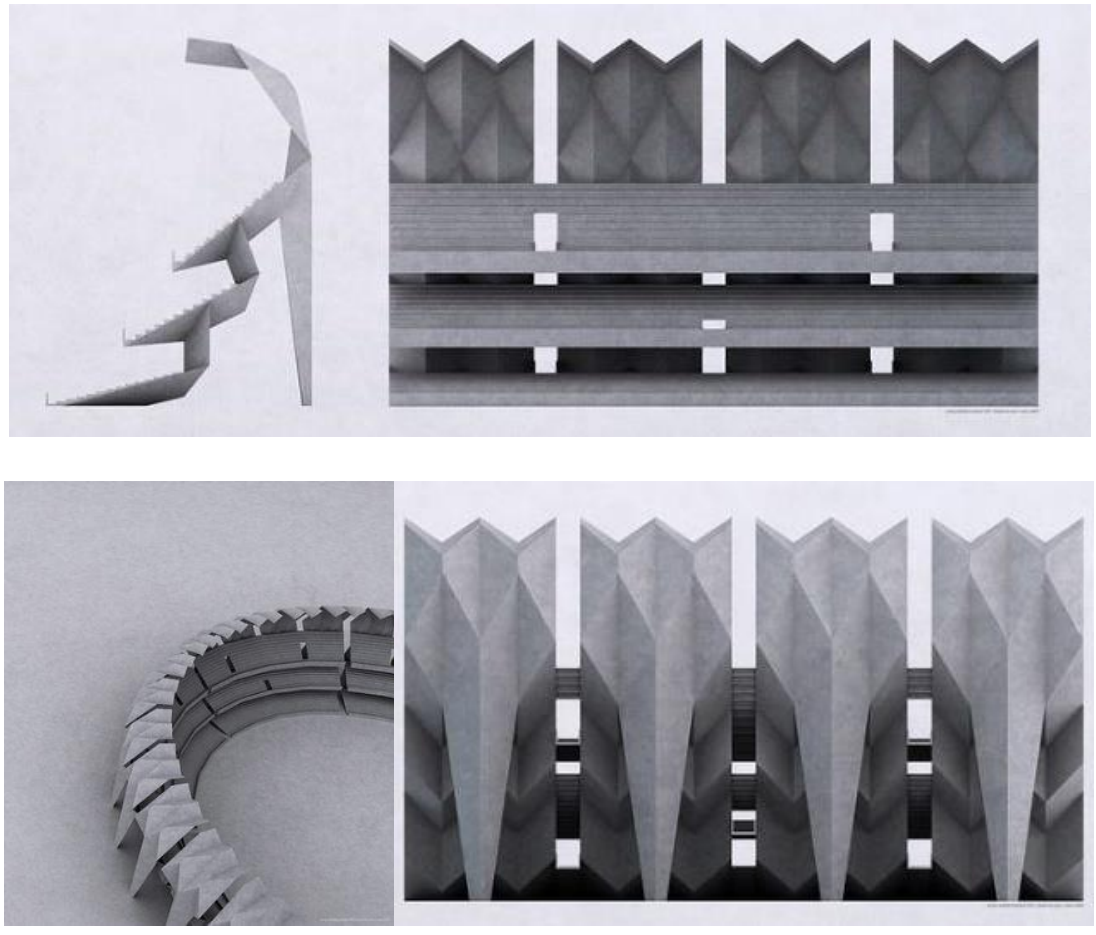
Suudi Arabistan'ın Riyad şehrinde yapılmakta olan ticari-ofis binasıdır (**Şekil 2.11**). Binanın cephesi mimarideki mukarnas ögesinden ilham alınarak tasarlanmıştır. Cephesinde yapmış olduğu gölge oyunları ile düşük açılarla güneşe maruz kalmayı en aza indirilmesi amaçlanmıştır **(URL 1)**.



Şekil 2.11: Mukarnas Tower- Riyad / Suudi Arabistan (**URL 1**)

- **Cidde Stadyumu – Jorn Utzon – Riyad / Suudi Arabistan – 1967 (İnşa edilmemiş)**

Jorn Utzon'un tasarlamış, ama inşa edilmemiş bir spor kompleksidir (**Şekil 2.12**). İklimsel fonksiyonlar göz önünde bulundurularak, seyircilerin çoğunluğunun gölgede oturtulması amaçlanmıştır. Bunu, mukarnas ögesini yorumlayarak oluşturmuştur. Bünyesinde stadyum, açık yüzme havuzu, kapalı spor salonu ve sosyal mekanların (yani restorantlar-kafeler, ofisler fitness salonu vb.) olan bir projedir (Lukovich, 2018).

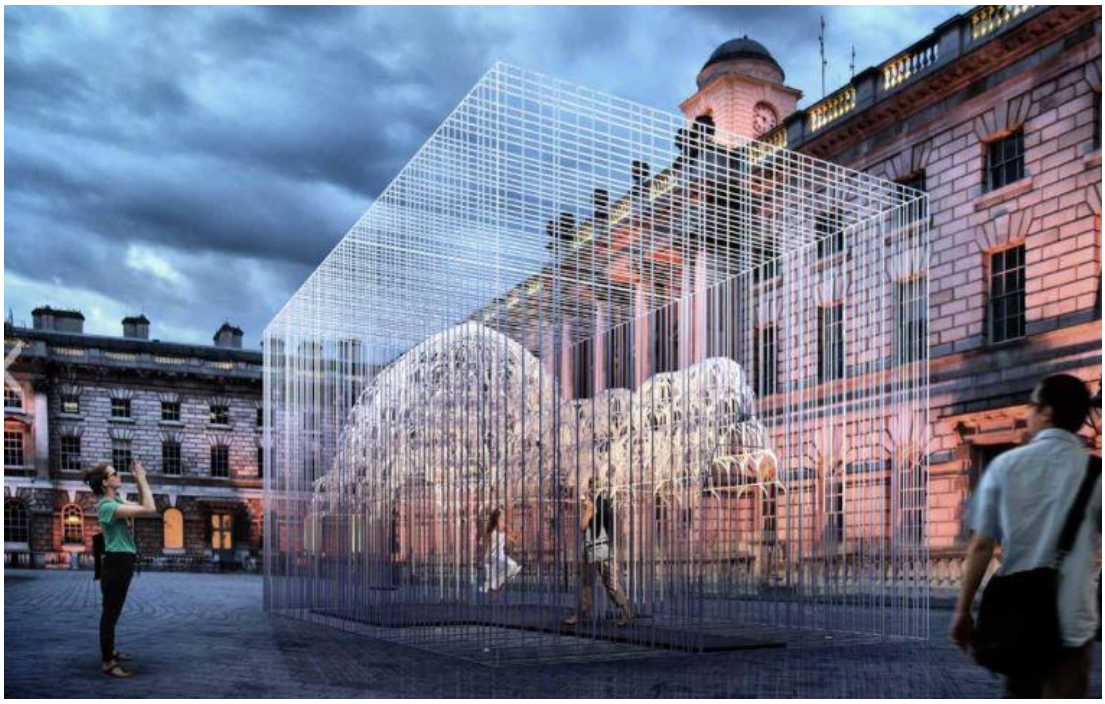


Şekil 2.12: Cidde Stadyumu- Cidde / Suudi Arabistan (**URL 2**)

- **İran Pavilyonu – Kamvari – Londra Tasarım Bienali**

2018 yılında gerçekleştirilmiş olan Londra Tasarım Bienali kapsamında "yeni teknolojiler, gelenekler ve yerel diller açısından dengeli" bir tasarım şartı ön görülmüştür (**URL 3**). İran ve İslam mimarisinin önemli ögesi olan mukarnas ilham kaynağı olarak kullanılmıştır. Üç boyutlu tel kafes oluşturularak günümüz teknolojilerinden de yararlanılmıştır.

Bu proje yapılırken kademelerin oluşturduğu bir geometri kullanılmıştır. Bu, dairenin ve karenin beraber tasarlanması ile sağlanmıştır. Boyutlarındaki büyüklük-küçüklük ile insan ölçeğinin de düşünülerek oluşturulduğu bu pavilyon, geleneğin günümüz teknolojileri ile yeniden yorumlanabilirliğini göstermiştir (**URL 3**).



Şekil 2.13: İran pavilyonu **(URL 3)**

- **Mukarnas Mutasyonu – Michael Hansmeyer – Tokyo Mori Sanat Müzesi – 2019**

Michael Hansmeyer'in Mori Sanat Müzesi'ndeki 2019-2020 yılları arasında "Tokyo'nun Geleceği ve Sanat Sergisi" için tasarlamış olduğu yeni teknolojilerin de kullanıldığı bir mukarnas tasarlamıştır (**URL 4**). Bilgisayar destekli, hesaplamalı ve robotik bir oluşumun beraberliğinde tasarlanan, kural tabanlı geometrik mukarnas oluşumu sergilemişlerdir.

Mukarnas Mutasyonu çalışmasının amacı, sergi salonunun daha öncesinde var olan 1,6 m genişliğindeki sütunun tavan ile arasında bir geçiş sağlamaktır. On altı katmanlı bir süsleme geçişi oluşturulmuştur. Robotik bir işlem sürecinden geçirilerek alüminyum profillerden oluşturulmuştur. Bu alüminyumlar, çap ve uzunlukları bakımından farklı boyutlara sahiptirler. Pürüzsüz ve lazer kesimle elde edilen binlerce boru üretilmiştir (**Şekil 2.14**). Tamamlanan mukarnas 24 m^2'lik bir geniş alana hakimdir (**Şekil 2.15**, **Şekil 2.16**).



Şekil 2.14: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışmasının üretim süreci **(URL 4)**



Şekil 2.15: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışması (**URL 4**)

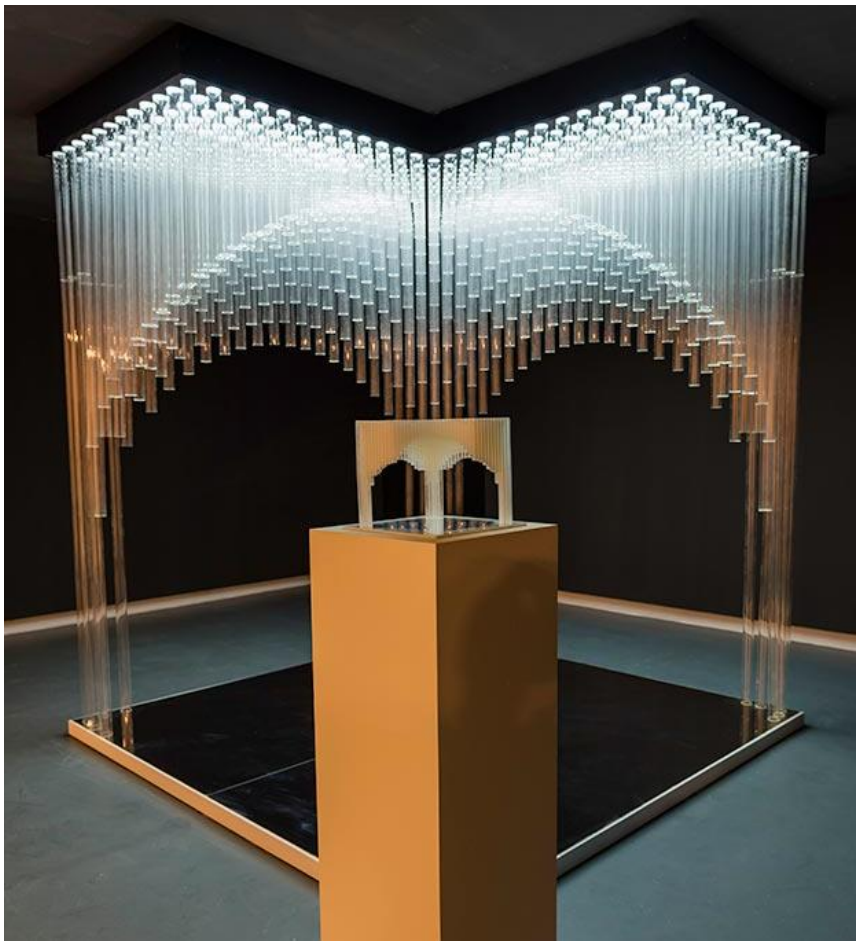


Şekil 2.16: Michael Hansmeyer'in *Mukarnas Mutasyonu* çalışmasındaki mukarnas başlığının görünümü (**URL 4**)

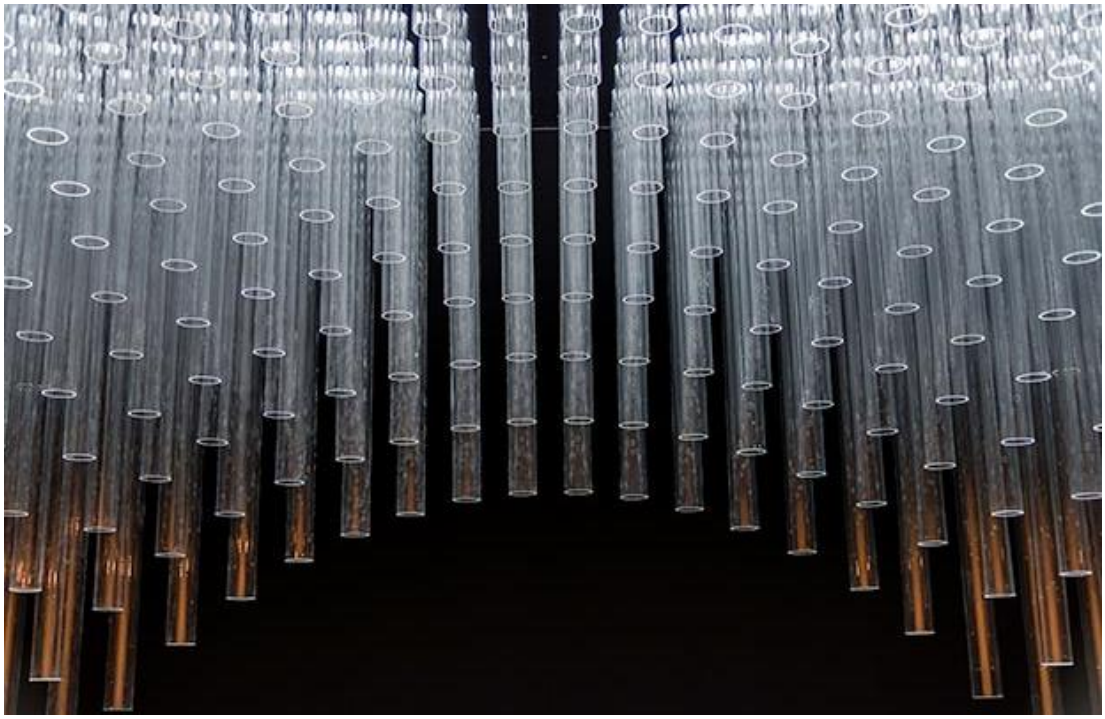
- **Şeffaf Mukarnas – Cristina Parreno – Dubai**

2017-2018 yılında gerçekleştirilen Sharjah İslami Sanat Festivali'nde Cristina Parreno'nun *Şeffaf Mukarnas* çalışması sergilenmiştir. Çalışmada modern malzemeden mukarnası oluşturmuştur. Bununla birlikte çalışmasında, ışık ve şeffaflığın insanı nasıl etkilediği üzerinde de çalışmıştır. Farklı kültürlerin mimari elemanları ile şeffaflığın beraber kullanımı odağında, *Şeffaf Mukarnas* çalışmasını bir örnek olarak bize sunmuştur (**Şekil 2.17**, **Şekil 2.18**, **Şekil 2.19**).

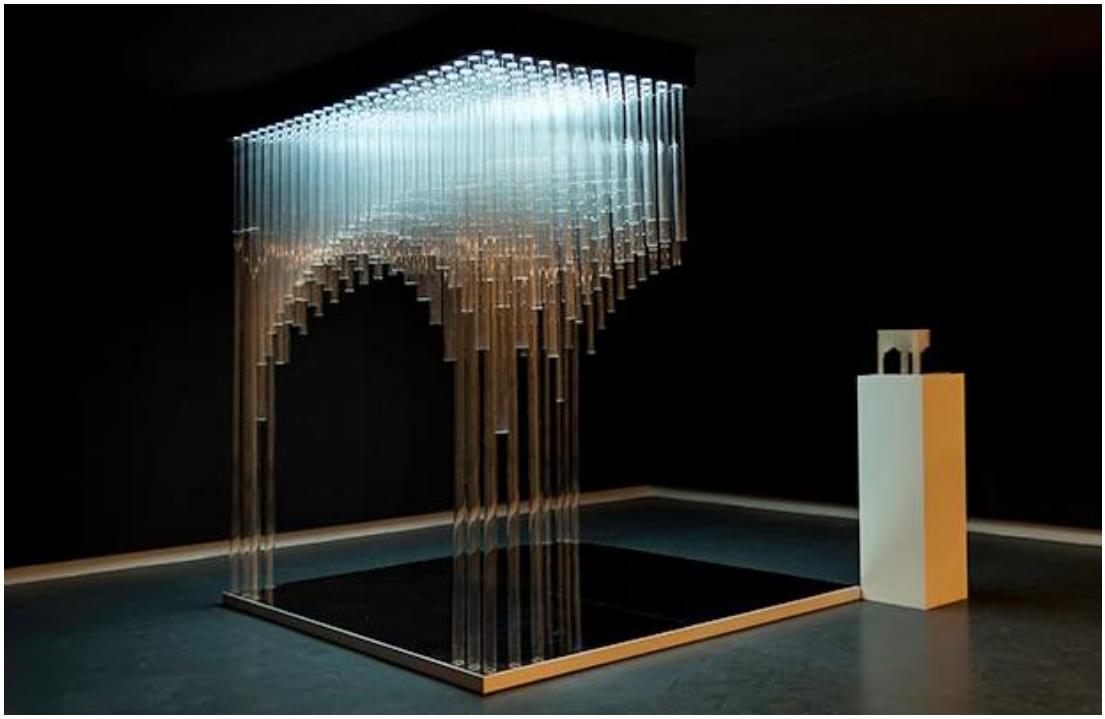
İslam geometrisine özgü olan bu elemanı ilk önce basitleştirilmiştir. Sonra ise sade ve basit bir hücre tanımı yapılmıştır. Kompozisyona bakıldığında, bir kubbenin üç boyutlu formundan yararlanıldığı görülebilir (**URL 5**).



Şekil 2.17: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışması (**URL 5**)



Şekil 2.18: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışmasının malzemesi (**URL 5**)



Şekil 2.19: Cristina Parreno'nun Sharjah İslami Sanat Festivali'ndeki *Şeffaf Mukarnas* çalışmasının genel görüntüsü (**URL 5**)

- **Punchbowl Camisi – Candalepas Associates – Punchbowl / Avustralya – 2017**

Avustralya'da Punchbowl banliyösunda, bölgede bulunan Müslüman topluluğu için tasarlanmıştır. İslam toplumunu bir çatı altında birleştirmek, din için öğretim alanı ve ibadeti sağlayan kompleks bir yapı yapılması hedeflenmiştir (**Şekil 2.20**).

Caminin ana ibadet alanının tavanında heykelsi görünüm sağlayan beton tavan tasarlanmıştır. Bu tavan geleneksel İslam geometrisindeki mukarnas ögesinden esinlenilmiştir. Yarım kubbe, 102 adet aynı tip mukarnas hücresinden oluşturulmuştur (**Şekil 2.21**). Hücrenin merkezinde 30 mm çapında delikler bırakılmıştır. Bu sayede, caminin ana ibadet alanında, gün içinde seyrini değiştiren gün ışığından mukarnas oluşumu ile beraber, yararlanılmıştır **(URL 6)**.



Şekil 2.20: Candalepas Associates'in tasarladığı Punchbowl Camisi (**URL 6**)



Şekil 2.21: Candalepas Associates'in camideki mukarnas tavanı ve ibadet alanı (**URL 6**)

2.6 BÖLÜM SONUCU

Mukarnas, biçimsel zenginliği ve geometrik alt yapısı ile ön plana çıkan mimari bir ögesidir. Çeşitli araştırmacıların günümüzde de, mukarnas ile ilgili çalışmalara devam ettikleri görülmüştür. Bu çalışmalar, genellikle mukarnas formlarını inceleme veya yeni yöntemlerle mukarnas yaratma üzerinedir. Bunun yanı sıra, güncel mimaride, mukarnastan esinlenerek yeni projeler üretildiği görülmüştür. Özellikle çağdaş teknikler kullanılarak yapılan mukarnaslar dikkat çekicidir.

3. MUKARNAS İZDÜŞÜM PLANI ANALİZLERİ

Lazer taraması yapılan mukarnasların plan fotoğrafları üzerinden AutoCAD programından yararlanılarak kural dizileri oluşturulmuştur. Bu kurallar biçim gramerleri teorisine göre aşamalandırılarak mukarnasların plan geometri şemaları elde edilmiştir.

3.1 MİMAR SİNAN'IN İSTANBUL CAMİLERİ

Bu tez çalışması, Mimar Sinan'ın tasarladığı camilerdeki taç kapı mukarnaslarının incelenmesi üzerinedir. Çalışmanın kapsamı, İstanbul il sınırları içerisinde tutulmuştur. Bu aşamada Sinan'ın İstanbul'da eserlerinin dökümente edildiği, Günay'ın (2006) *Sinan'ın İstanbul'u* kitabından yararlanılmıştır (Şekil 3.1). Bu kaynaktan yararlanılarak Mimar Sinan'ın tasarladığı camiler belirlenmiş ve listelenmiştir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.



Şekil 3.1: Günay'ın (2006) hazırladığı Mimar Sinan'ın İstanbuldaki Camileri

A) Sarayburnu – Süleymaniye:

- Şehzade Camisi / Külliyesi (1543-1548)
- Süleymaniye Camisi / Külliyesi (1550-1557)
- Rüstem Paşa Camisi (1562?)

B) Eyüp – Sütlüce – Cibali – Edirnekapı:

- Mihrimah Sultam Camisi / Külliyesi (1562? -1565?)
- Nişancı Camisi (1584-1588)
- Drağman Yunus Bey Camisi (1541)
- Ferruh Kethüda Camisi (1562)
- Zal Mahmut Paşa Camisi / Külliyesi (1577)
- Sokullu Mehmed Paşa Camisi / Külliyesi (1569)
- Şah Sultan Camisi ve Tekkesi (1533? veya 1537?)
- Çavuşbaşı Mahmut Ağa Camisi (1538)

C) Topkapı – Saraçhane – Fatih:

- Kara Ahmet Paşa Camisi / Külliyesi (1558? – 1565?)
- Hürrem Çavuş Camisi (1560)
- Mesih Mehmed Paşa Camisi (1586)

D) Yedikule – Aksaray – Fındıkzade:

- Hadım İbrahim Paşa Camisi (1551)
- Odabaşı Behruz Ağa Camisi (1562)
- Hacı Evhad Camisi (1585)
- Ramazan Efendi Camisi ve Tekkesi (1586)
- Haseki Hürrem Camisi / Külliyesi (1539)

E) Şişhane – Tophane – Tepebaşı – Ortaköy:

- Piyale Paşa Camisi (1573?)
- Sokullu Mehmed Paşa Camisi (1577)
- Kılıç Ali Paşa Camisi / Külliyesi (1580)
- Molla Çelebi Camisi (1562)
- Sinan Paşa Camisi / Külliyesi (1555)

F) Üsküdar:

- Mihrimah Sultan Camisi / Külliyesi (1540? - 1548)
- Şemsi Ahmet Paşa Camisi / Külliyesi (1580)
- Atik Valide Camisi / Külliyesi (1570- 1579; 1583)

İstanbul Çevresi:

- İskender Paşa Camisi / Külliyesi – Kanlıca (1560) (Günay, 2006)

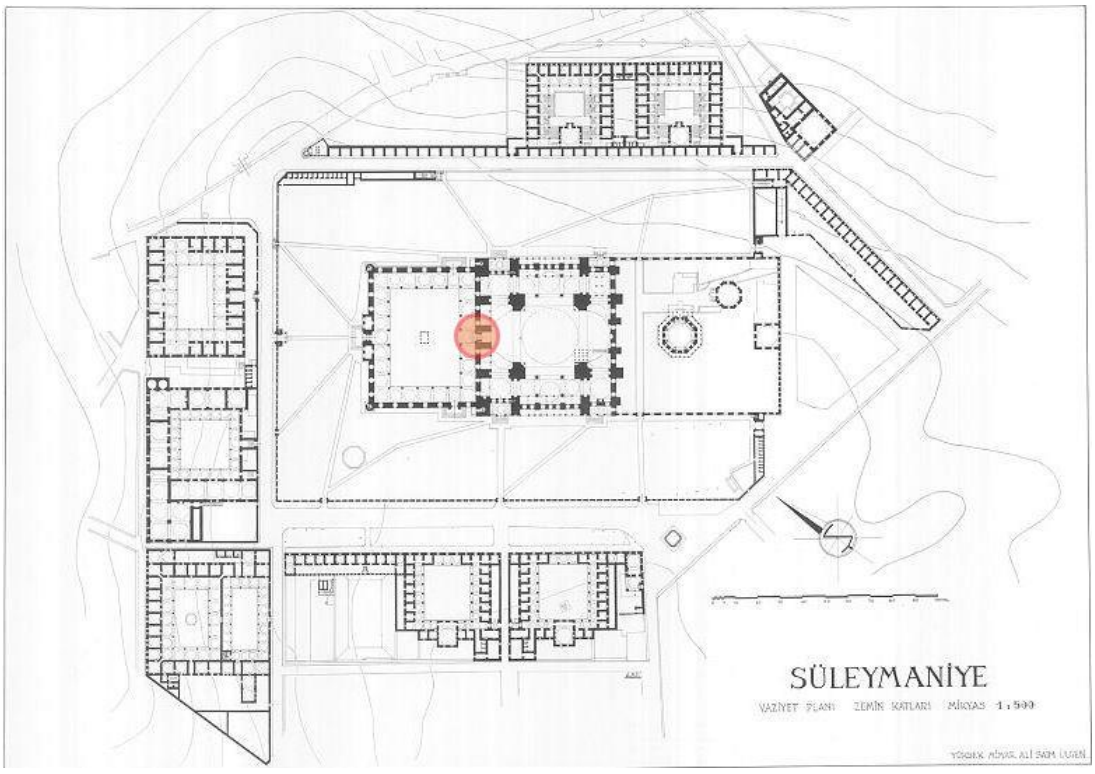
Bu çalışmada incelenmek üzere seçilen camiler şunlardır: Şehzade Camisi (1543-1548), Süleymaniye Camisi (1550-1557), Mihrimah Sultan Camisi (1540? - 1548), Atik Valide Camisi (1570- 1579; 1583)'dir. Bu camilerden iki tanesi Sarayburnu – Süleymaniye bölgesinden (A bölgesi) ve iki tanesi ise Üsküdar bölgesindendir (F bölgesi).

3.2 SÜLEYMANİYE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI

3.2.1 Süleymaniye Camisi Taç Kapısı

Bu çalışma kapsamında, Süleymaniye Camisi'nde, cami kütlesinin girişinde bulunan (**Şekil 3.2**) taç kapının mukarnası incelenmiştir (**Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5).** Süleymaniye Camisi, İstanbul'un Fatih ilçesinde yer alan Süleymaniye Külliyesi'nin içinde bulunmaktadır. Kanuni Sultan Süleyman'ın kendi adına yaptırdığı bu caminin, Mimar Sinan tarafından 1550 ve 1557 tarihleri arasında yapımı tamamlanmıştır (Şeker, 2011).

Süleymaniye külliyesi, cami kütlesi etrafında gelişen asimetrik bir plan şemasına sahiptir (Kuran, 1988). Külliyenin içerisinde cami, okullar, kütüphane, hamam, aşevi, kervansaray, hastane ve dükkanlar bulunmaktadır (Şeker, 2011).



Şekil 3.2: Süleymaniye Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (**URL 7**)



Şekil 3.3: Süleymaniye Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

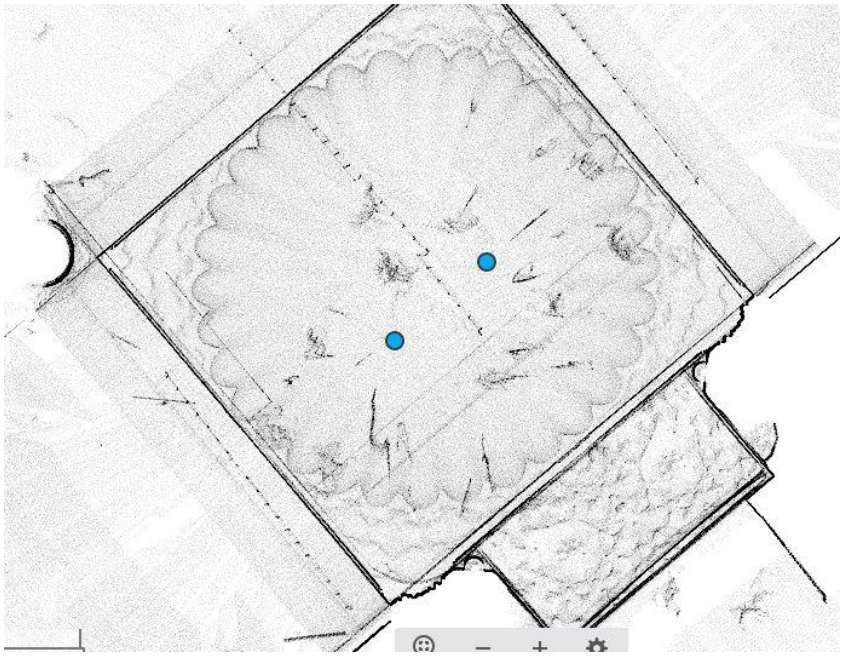


Şekil 3.4: Süleymaniye Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



Şekil 3.5: Süleymaniye Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

Süleymaniye Camisi'nde Faro tarama cihazı ile taramanın yapıldığı noktalar (2 tane) **Şekil 3.6**'te mavi olarak işaretlenmiştir. Tarama sonucu elde edilen veriler Scene programı üzerinde birleştirilerek taranan bölgenin nokta bulut (*point cloud*) modeli oluşturulmuştur (**Şekil 3.7**). Model üzerinden taç kapının tarama sonucu oluşan ön cephesi (**Şekil 3.8**), mukarnasın yakından ön görünüşü (**Şekil 3.9**) ve tez kapsamında yararlanılacak olan plan ortofotosu (**Şekil 3.10**) verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.6: Süleymaniye Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazının alandaki tarama yaptığı noktalar (2 tane)



Şekil 3.7: Süleymaniye Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü (perspektif görünümü)



Şekil 3.8: Süleymaniye Camisi' nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen ön görünüşü

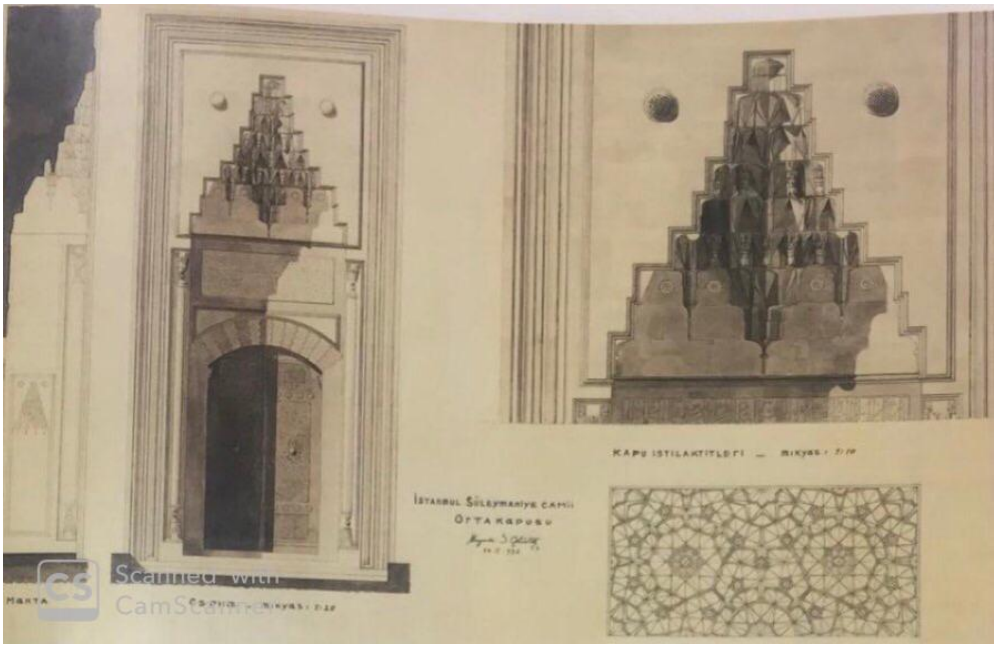


Şekil 3.9: Süleymaniye Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası

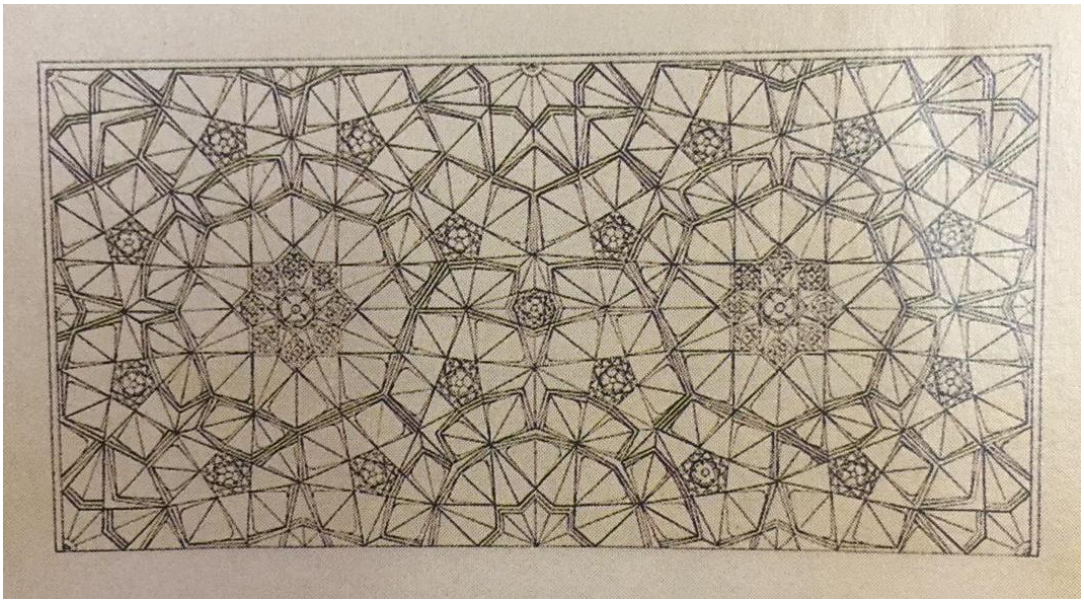


Şekil 3.10: Süleymaniye Camisi' nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen plan ortofotosu

Bu çalışmada Süleymaniye Camisi'nin lazer taraması sonucunda elde edilen imajdan yola çıkılarak mukarnas planı kural bazlı oluşturulmuştur. Bu çalışma ilerleyen bölümde ele alınmıştır. Bununla birlikte, Sedat Çetintaş'ın Süleymaniye Camisi taç kapısı mukarnas çizimi ile, bu çalışmada elde edilen mukarnas çizimi karşılaştırıldığında çok benzer oldukları görülebilir (**Şekil 3.11, Şekil 3.12**).



Şekil 3.11: Sedat Çetintaş'ın Süleymaniye Camisi çizimleri (Kuban, 2007)



Şekil 3.12: Sedat Çetintaş'ın Süleymaniye Camisi plan çizimindeki mukarnas detayı (Kuban, 2007)

3.2.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi

Süleymaniye Camisi taç kapı mukarnas planının geometrik analizi için, aralarındaki açıları eş olan dikey ve yatay akslar ile kare ızgara sistemi oluşturulmuştur (kural 1, alt kural 1). Dikey ve yatay aksların kesişim noktalarına eş çemberler yerleştirilmiştir (kural 1, alt kural 2) (**Tablo 3.1**).

Bir çemberin merkezine, aralarındaki açı 45 derece olacak şekilde ana akslar ve ana akslar ile aralarındaki açı 22.5 derece olacak şekilde ara akslar (kural 2, alt kural 1) oluşturulmuştur. Oluşturulan bu aks modülü bütün çember merkezlerine kopyalanmıştır (kural 2, alt kural 2) (**Tablo 3.1**).

Kural 2'teki referans akslarına ek olarak 22.5 ve katları olan akslar merkezinden, 45 ve 135 derece aksların uçlarına kopyalanmıştır (kural 3, alt kural 1). Ana kare ızgara sistemin dışında kalan akslar kırpılmıştır (kural 3, alt kural 2) (**Tablo 3.1**).

Kural 4'te bir yıldız modülünü oluşturmak için, çembere iç teğet on altıgen yerleştirilmiştir (kural 4, alt kural 1). İlk önce, on altıgenin içerisine ikinci sıra yıldız kollarını oluşturabilmek için iç çember yerleştirilmiştir (kural 4, alt kural 2). Daha sonra, on altıgenin, ara akslar ve iç çemberin ana akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 4, alt kural 3). Sonrasında bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak 2. sıra yıldız oluşturulmuştur (kural 4, alt kural 4) (**Tablo 3.1**).

Kural 5'teki çember içinde oluşturulan birinci sıra yıldız oluşumu için, aynı merkez noktası esas alınarak bir iç çember daha oluşturulmuştur (kural 5, alt kural 1). Bu çember ve ara akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 5, alt kural 2). Bu noktalar ile 2. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ana akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 1. sıra yıldız oluşturulmuştur (kural 5, alt kural 3). Böylelikle oluşturulan 8 kollu yıldız modülü bütün çemberlerin merkezine kopyalanmıştır (kural 5, alt kural 4) (**Tablo 3.1**).

Kural 6'da ikinci ızgara sistemi oluşturulmaktadır. Bir modüldeki 0-45-90 derece ana aksların oluşturduğu iç boşluklara çemberler dairesel şekilde yerleştirilmiştir (kural 6, alt kural 1). Oluşturulan ışınsal çember sistemi, bütün ana çember merkezlerine kopyalanmıştır (kural 6, alt kural 2) (**Tablo 3.1**).

5 kollu yıldızların oluşturulduğu Kural 7'de, ayna görüntü (*mirror*) ile çalışan iki çember ele alınmıştır. 8 kollu yıldız kollarına da teğet gelecek şekilde kesişen 5 kollu iki yıldız oluşturulmuştur (kural 7, alt kural 1). Elde edilen 5 kollu yıldız, çember merkezini referans alınarak 4 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 7, alt kural 2). Böylelikle 5 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.1**). Buradaki 5 kollu yıldızların kollarının ölçülerinde farklılıklar vardır. Ancak ölçüler birbirine yakındır. Bu 5 kollu yıldız için, sağlamalarıyla beraber daha detaylı inceleme yapılması gerekir.

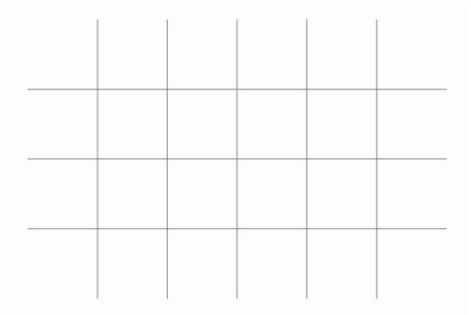
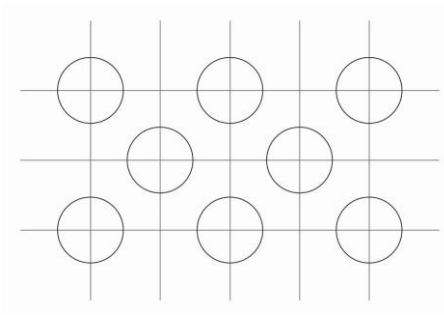
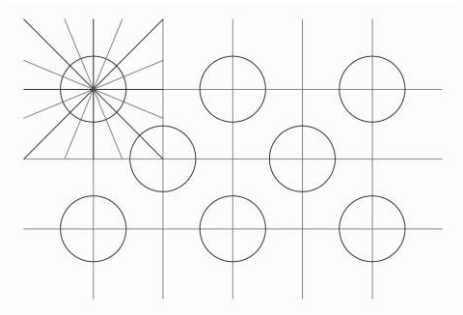
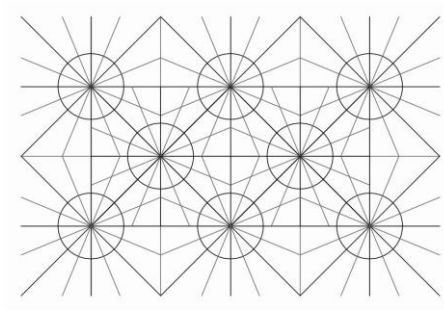
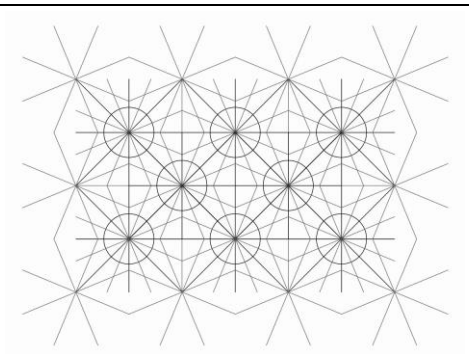
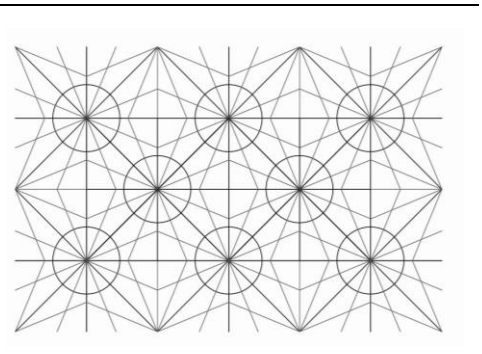
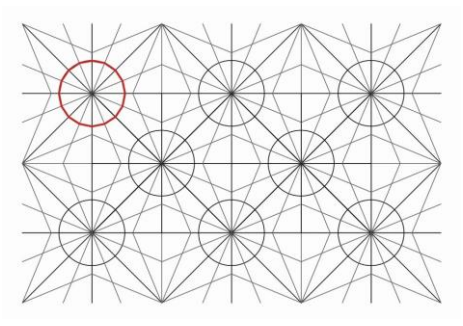
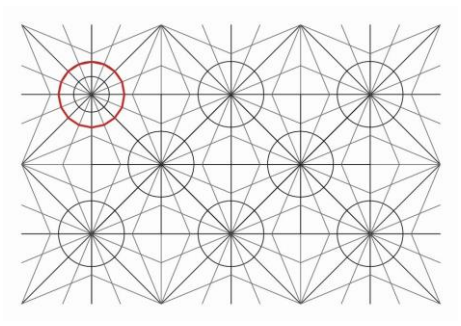
Kural 8'de kısmi 3 kollu yıldızların oluşturulacağı noktalar belirlenmiştir (kural 8, alt kural 1). Bu noktalar arası çizgiler ile birleştirilerek üçgen kollar oluşturulmuştur (kural 8, alt kural 2). Daha sonra 3 kollu yıldız için bir modül oluşturulmuştur. Oluşturulan bu 3 kollu yıldız modülü, üçgen kollar üzerinde noktalar belirlenerek ve noktalar arasında çizgiler ile birleştirilerek elde edilmiştir (kural 8, alt kural 3). Oluşturulan 3 kollu yıldız modülü, istenilen üçgen kolları üzerine kopyalanmıştır (kural 8, alt kural 4) (**Tablo 3.1**).

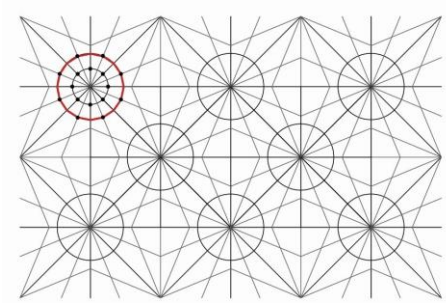
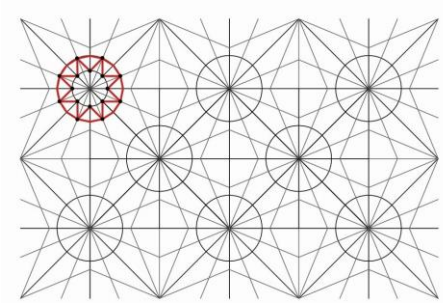
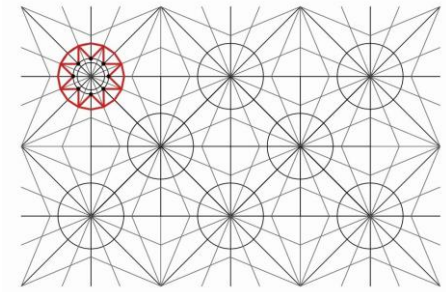
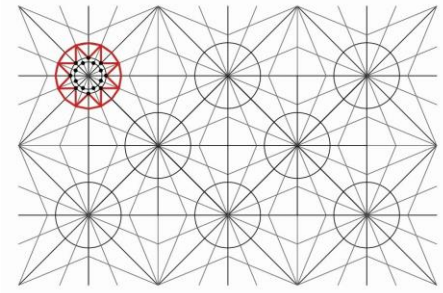
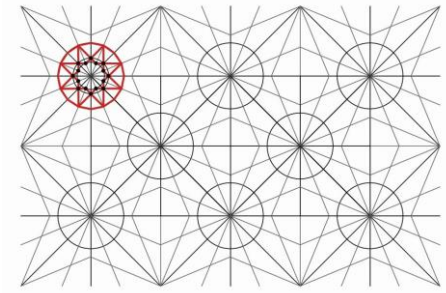
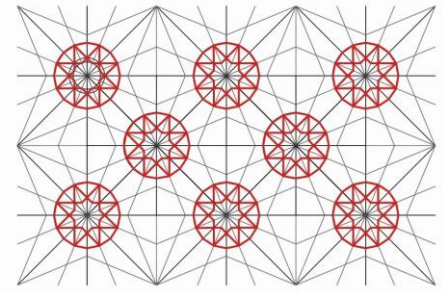
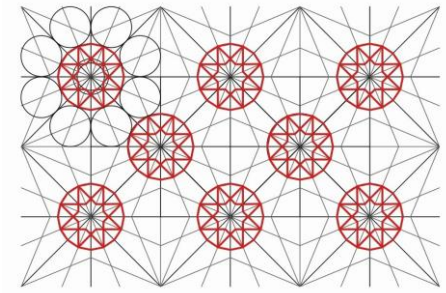
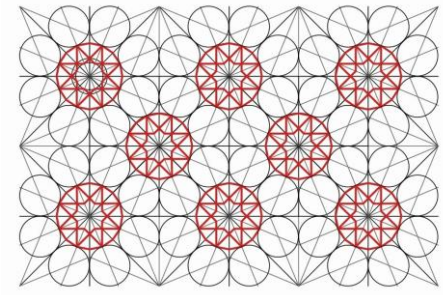
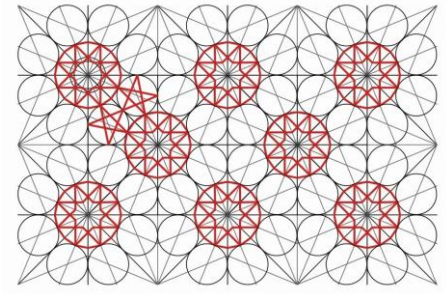
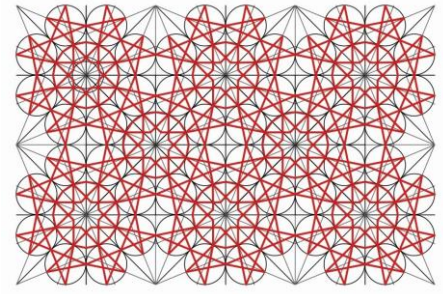
Kural 9'da 5 kollu yıldızların arasında oluşturulan eş kollu 4 kollu yıldız tanımlanmaktadır. İlk önce yatay ve dikey olan ana aksların merkezlerinden 5 kollu yıldız kollarına teğet çemberler oluşturulmuştur (kural 9, alt kural 1). Bu çemberler üçüncü çember ızgara sistemini oluşturmaktadır. Aynı merkezden ikinci iç çember ise, ikinci ızgara sistemine teğet oluşturulup, içerisine sekizgen merkez çokgeni yerleştirilmiştir (kural 9, alt kural 2). Daha sonra, 5 kollu yıldız kolları ile sekizgen merkez arasında çizgiler oluşturularak kollar elde edilmiştir (kural 9, alt kural 3). Elde edilen 4 kollu yıldız, bütün çember merkezlerine çoğaltılmıştır (kural 9, alt kural 4). Böylelikle eş kollu 4 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.1**).

Kural 10'de altlıklar (gridler) ve gereksiz akslar silinmiştir (kural 10, alt kural 1). Daha sonra, dokunun yarısını da elimine edilerek mukarnas planının geometrisi elde edilmiştir (kural 10, alt kural 2) (**Tablo 3.1**).

Son olarak Kural 11'te ise, bademler eklenerek mukarnas kompozisyonunun tamamı elde edilmiştir (kural 11) (**Tablo 3.1**).

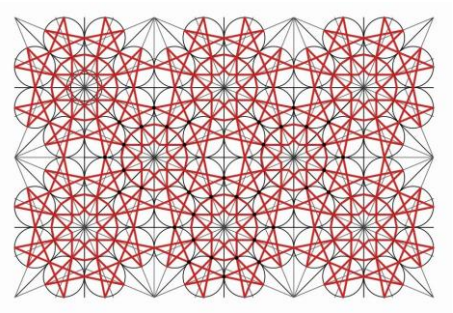
Tablo 3.1: Süleymaniye Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu

Kurallar	**Süreç**	
Kural 1 (Izgara sistemi oluşturma)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 2 (Izgara sistemde ışınsal aks sistemi oluşturma)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 3 (İkincil ışınsal aksları ekleme)	 Alt kural 1 (boyutu küçültülmüştür)	 Alt kural 2
Kural 4 (İkinci sıra 8 kollu yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2

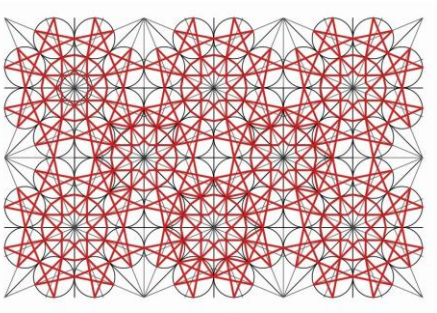
	 Alt kural 3	 Alt kural 4
Kural 5 (Birinci sıra 8 kollu yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
	 Alt kural 3	 Alt kural 4
Kural 6 (İkincil ızgara sistem oluşturma)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 7 (5 kollu yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2

Kural 8

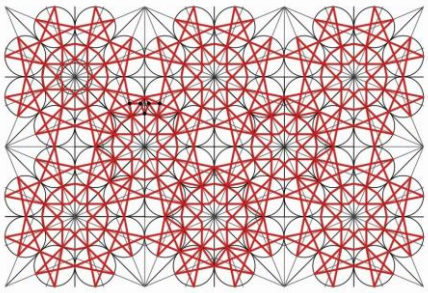
(Kısmi 3 kollu yıldız oluşumu)



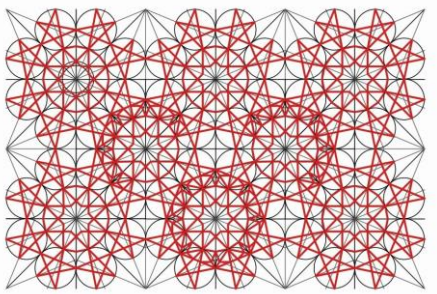
Alt kural 1



Alt kural 2



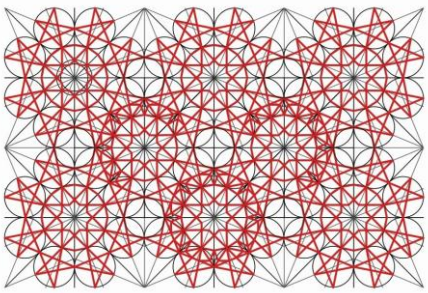
Alt kural 3



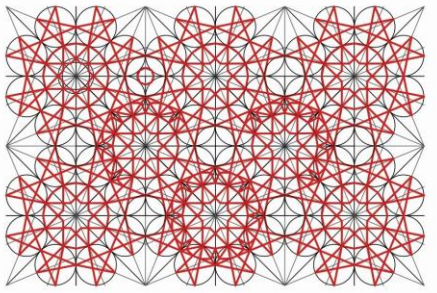
Alt kural 4

Kural 9

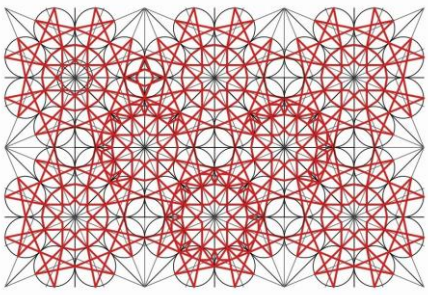
(Üçüncül ızgara sistem ve eş kollu 4 kollu yıldız oluşturma)



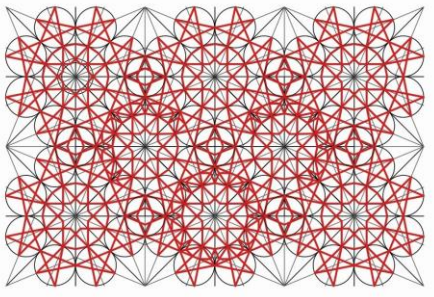
Alt kural 1



Alt kural 2



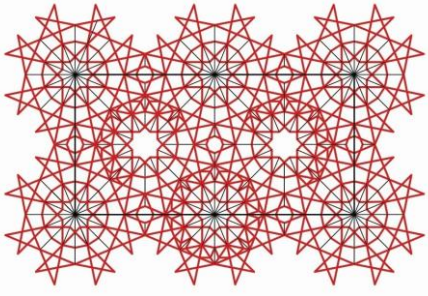
Alt kural 3



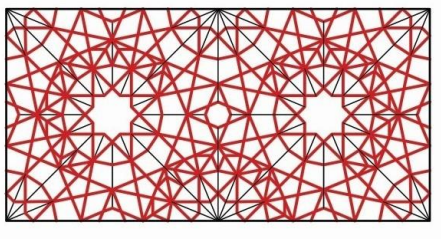
Alt kural 4

Kural 10

(Referans çizgilerini temizleyip, çerçeve oluşturma)



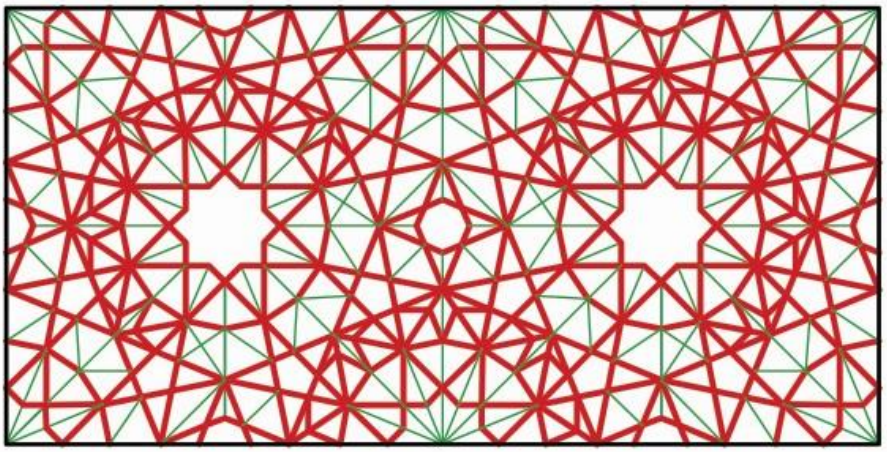
Alt kural 1



Alt kural 2

Kural 11

(Mukarnası oluşturma)



3.3 ŞEHZADE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI

3.3.1 Şehzade Camisi Taç Kapısı

Bu çalışma kapsamında ikinci cami olarak, Şehzade Camisi'ndeki mukarnas planı üzerine çalışma yapılmıştır. Cami kütlesinin girişinde bulunan (**Şekil 3.13**) taç kapının mukarnası incelenmiştir (**Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.17).** İstanbul'un Fatih ilçesinde yer alan bu cami, Şehzade Külliyesi'nin içinde yer almaktadır. Kanuni Sultan Süleyman'ın 1543 yılında genç yaşta ölen oğlu Şehzade Mehmet'in adına yaptırmış olduğu camidir. Mimar Sinan'a yaptırtılan bu caminin 1544 ve 1548 yılları arası inşası tamamlanmıştır (Şeker, 2011). Günay (2006) ise, kitabında 1543 ve 1548 yılları arasında yapılmış olduğundan bahsetmiştir. Bu cami, Mimar Sinan'ın kendi deyimi ile "çıraklık" eseridir. Aynı zamanda Süleymaniye Camisi için "kalfalık", Selimiye Camisi için ise, kendisinin "ustalık" eseri olarak tanımlamıştır (Erçağ, 1991; Şeker, 2011).

Şehzade Külliyesi'nde simetrik plan şeması ile oluşturulan ve içerisinde şadırvanı bulunan, avlulu bir cami bulunmaktadır (Kuran, 1988). Caminin dışındaki medrese, kervansaray, imaret ve sıbyan mektebi, hazire, çeşme ve sebiller ile kompleks bir yapıya dönüşmesi sağlamıştır (Orman, 2010). Alan çalışması sırasında cami taç kapısında mukarnasın sol kısmında tarih bilgisinin yer aldığı tespit edilmiştir (**Şekil 3.16**). Bu tarih "1677" olarak yazılmıştır.



Şekil 3.13: Şehzade Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (**URL 8**)



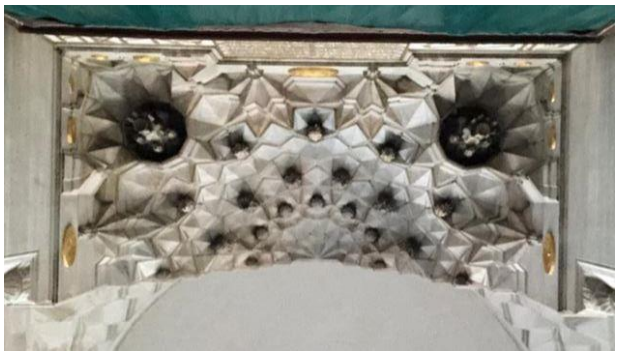
Şekil 3.14: Şehzade Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



Şekil 3.15: Şehzade Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

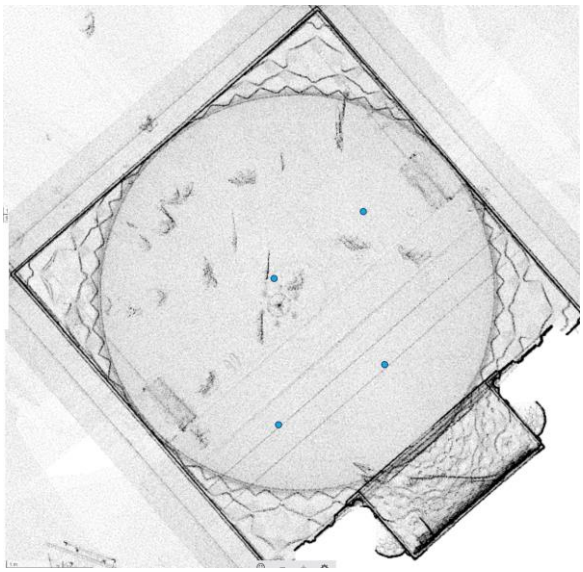


Şekil 3.16: Şehzade Camisi'nde taç kapıda rastlanılan tarih imzası (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

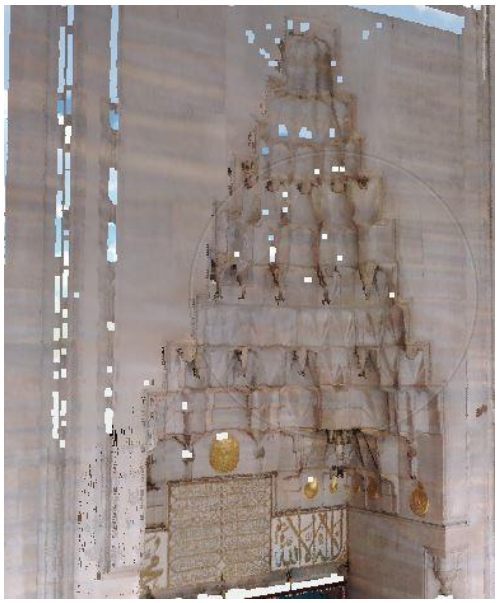


Şekil 3.17: Şehzade Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

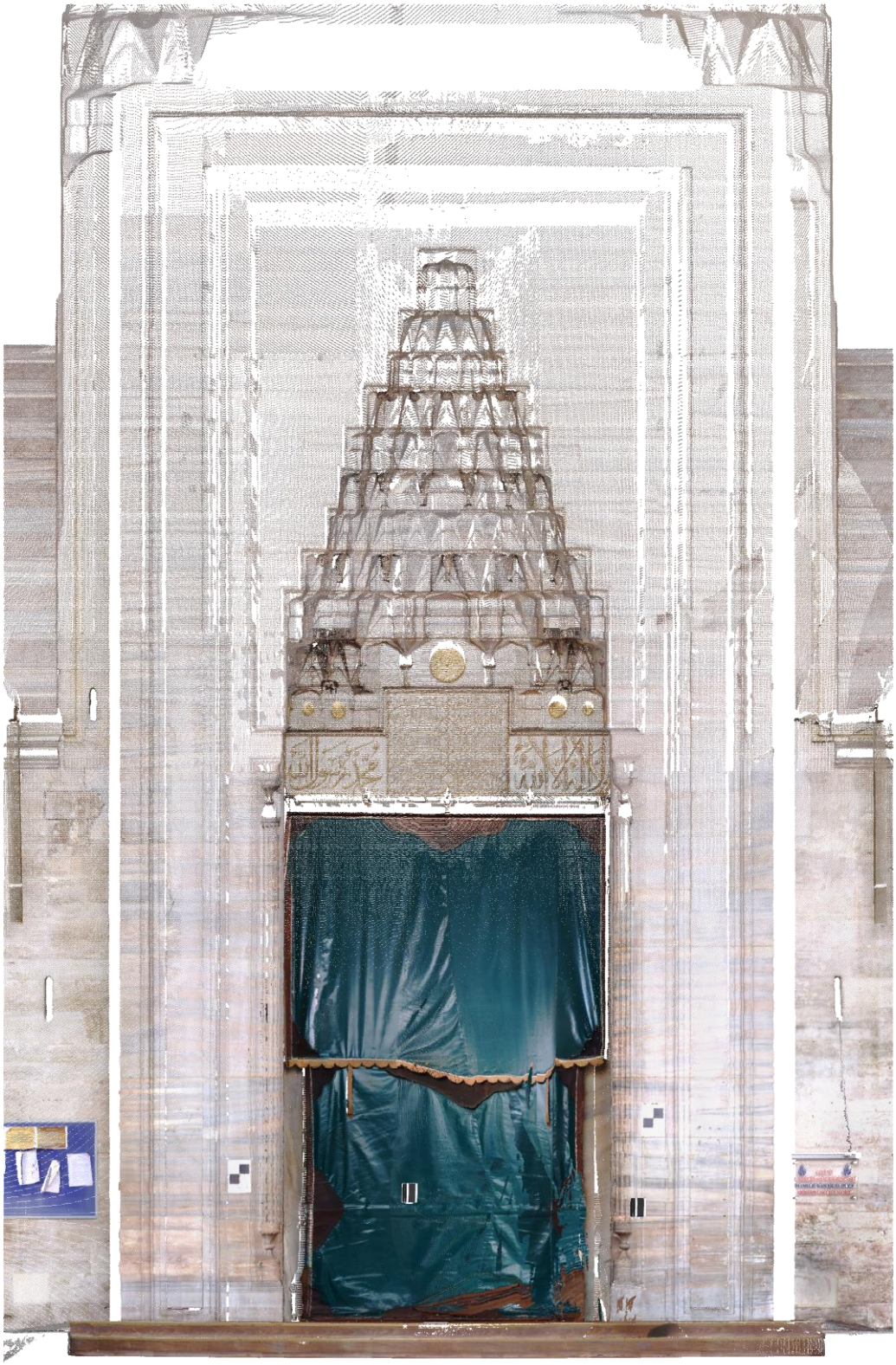
Şehzade Camisi'nde Faro tarama cihazı ile taramanın yapıldığı noktalar (4 tane) **Şekil 3.18**'de mavi olarak işaretlenmiştir. Tarama sonucu elde edilen veriler Scene programı üzerinde birleştirilerek taranan bölgenin nokta bulut (*point cloud*) modeli oluşturulmuştur (**Şekil 3.19**). Model üzerinden taç kapının tarama sonucu oluşan ön cephesi (**Şekil 3.20**), mukarnasın yakından ön görünüşü (**Şekil 3.21**) ve tez kapsamında yararlanılacak olan plan ortofotosu (**Şekil 3.22**) verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.18: Şehzade Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (4 tane)



Şekil 3.19: Şehzade Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü



Şekil 3.20: Şehzade Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının ön görünüşü

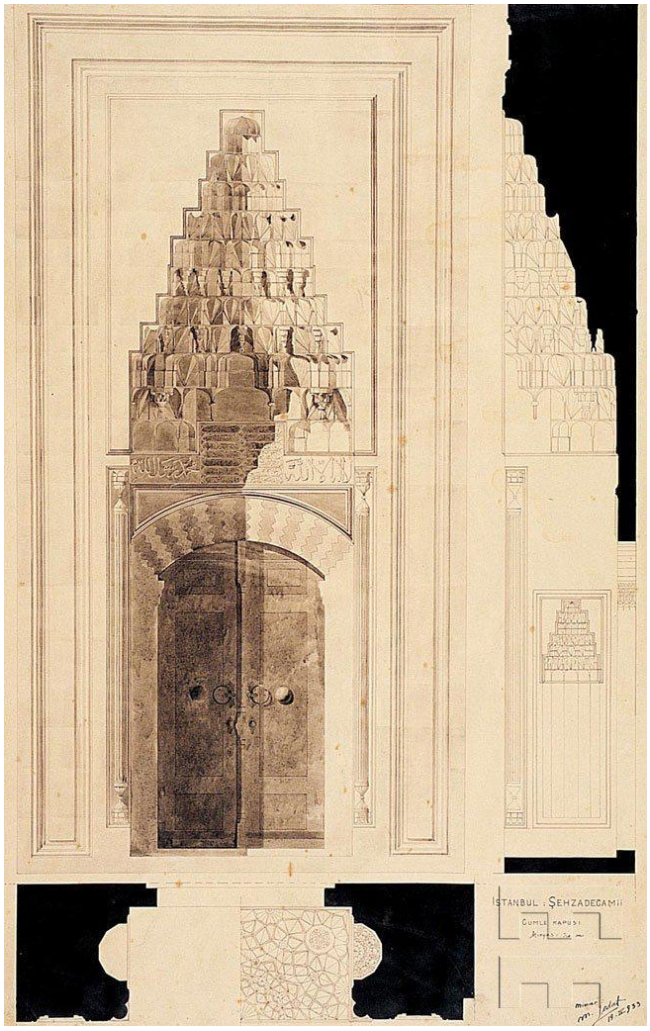


Şekil 3.21: Şehzade Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası



Şekil 3.22: Şehzade Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu

Şehzade Camisi taç kapı mukarnasının lazer tarama sonucu alınan imaj kullanarak, aşağıdaki bölümde bahsedildiği gibi, kurala dayalı mukarnas oluşumu ele alınmıştır. Daha sonra, elde edilen mukarnas kompozisyonu ile Ödekan'ın (2004) kitabındaki Sedat Çetintaş'ın Şehzade Camisi rölöve çizimleri karşılaştırılmıştır (**Şekil 3.23**) Sonuç olarak, bu tez çalışmasında elde edilen çizim ile Çetintaş'ın mukarnas çiziminin örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 3.23: Ödekan'ın (2004) kitabındaki Sedat Çetintaş'ın Şehzade Camisi çizimleri

3.3.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi

Seçilen mukarnas planının geometrik analizi için, aralarındaki açı 30 derece olacak şekilde ana akslar ve ana akslar ile aralarındaki açı 15 derece olacak şekilde ara akslar (kural 1, alt kural 1) oluşturulmuştur. Referans altlığı olarak eş aralıklarla örümcek ızgara sistemi (kural 1, alt kural 2) bu aksların merkezinden başlanarak yerleştirilmiştir (**Tablo 3.2**).

1. sıra yıldızı oluşturmak için, merkez odaklı oluşturulan çember ile ana aksların kesişim noktaları; birinci sıra örümcek ızgara çizgisi ile ara akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 2, alt kural 1). Sonrasında bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak 1. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 2, alt kural 2) (**Tablo 3.2**).

2. sıra yıldız oluşumu için, aynı merkez noktası esas alınarak bir çember daha oluşturulmuştur. Bu çember ve ana akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 3, alt kural 1). Bu noktalar ile 1. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ara akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 2. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 3, alt kural 2) (**Tablo 3.2**).

3. sıra yıldız oluşumu için, ikinci sıra örümcek ızgara çizgisi ve ara akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 4, alt kural 1). Bu noktalar ile 2. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ana akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 3. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 4, alt kural 2) (**Tablo 3.2**).

4. sıra yıldız oluşumu için, 3. sıra örümcek ızgara çizgisi ve ara akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 5, alt kural 1). Bu noktalar ile 3. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ana akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 4. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 5, alt kural 2) (**Tablo 3.2**).

Kural 6'daki eş kollu 4 kollu yıldız oluşumu için, 1 tanesi ikinci sıra örümcek ızgara çizgisi ve 2 tanesi üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisi üzerinde olan bu üç noktadan çember oluşturulmuştur (kural 6, alt kural 1). Daha sonra, üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisi ile ana aksın kesişim noktasından bir çember oluşturulup, içerisine merkezi ana aks üzerinde olan bir sekizgen yerleştirilmiştir (kural 6, alt kural 2). Yıldız kollarını oluşturabilmek için, 1 tane ikinci sıra örümcek ızgara çizgisinde, 2 tanesi üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisinde ve 1 tanesi de dördüncü sıra örümcek

ızgara çizgisinde olmak şartıyla 4 nokta belirlenmiştir. Sekizgen merkez ile noktalar arasında çizgilerle kollar elde edilmiştir (kural 6, alt kural 3). Elde edilen 4 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 6, alt kural 4). Böylelikle eş kollu 4 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.2**).

Kural 7'deki düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu için, 1 tanesi üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisi ile 2 tanesi dördüncü sıra örümcek ızgara çizgisi üzerinde olan bu üç noktadan çember oluşturulmuştur (kural 7, alt kural 1). Daha sonra, köşeleri, dördüncü ve beşinci sıra örümcek ızgara çizgisi ile kesişecek şekilde ara aks merkezli bir beşgen yerleştirilmiştir (kural 7, alt kural 2). Yıldız kollarını oluşturabilmek için, çember üzerindeki 3 nokta (alt kural 1) ve merkez beşgenden dik açı ile çember üzerinde belirlenen 2 noktadan faydalanıp, merkez beşgen köşeleri ile ilişkili çizgiler oluşturularak kollar elde edilmiştir (kural 7, alt kural 3). Elde edilen 5 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 7, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.2**).,

Kural 8'de çevre çember oluşturulmaktadır. İlk önce, sekizinci ve onuncu sıra örümcek ızgara çizgilerinin ilgili ana aks ile kesişim noktalarından çember elde edilmiştir (kural 8, alt kural 1). Daha sonra, çember merkezinden aralarındaki açı 36 derece olacak şekilde ana akslar ve aralarındaki açı 18 derece olacak şekilde ara akslar (kural 8, alt kural 2) oluşturulmuştur (**Tablo 3.2**).

Kural 9'da çevre çemberlerdeki yıldız oluşturulmuştur. İlk önce sekizinci sıra örümcek ızgara ile çember ana aksının kesişim noktası referans alınarak iç çember oluşturulmuştur (kural 9, alt kural 1). Daha sonra, iç çemberde ana aksların ve dış çemberde ise ara aksların kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 9, alt kural 2). Bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak eş kollu 10 kollu yıldız elde edilmiştir (kural 9, alt kural 3). Eş kollu 10 kollu yıldızın dairesel orijin etrafında çoğaltıldığında kesişebilmesi için 10 kollu yıldızın iki kol örümcek aksın üzerine değecek biçimde kısaltıldı ve düzensiz 10 kollu yıldız oluşmuştur. Elde edilen orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 9, alt kural 4). Böylelikle çevre çemberdeki, 10 kollu yıldız sırası oluşturulmuştur (**Tablo 3.2**).

Kural 10'da ise, çevre çemberde oluşturulan 10 kollu yıldız serisinin 8 adedinin içerisine tekrardan 10 kollu yıldız oluşturulmuştur. İlk önce, ayna görüntü (*mirror*) ile 10 kollu yıldız kopyalanmış, yıldız kollarının içerisinden iç çember oluşturulmuştur (kural 10, alt kural 1). Daha sonra, iç çemberin ilk çembere ait ara aksları ile kesişen noktalar belirlenmiştir (kural 10, alt kural 2). Bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak içerideki eş kollu 10 kollu yıldız elde edilmiştir (kural 10, alt kural 3). Elde edilen bu iki sıralı 10 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 4 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 10, alt kural 4). Böylelikle çevre çemberlerdeki iki sıralı 10 kollu yıldızlar oluşturulmuştur (**Tablo 3.2**).

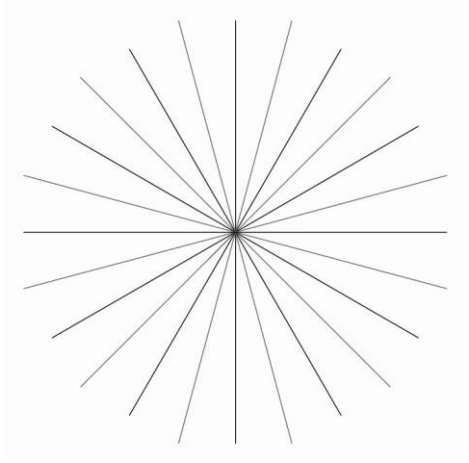
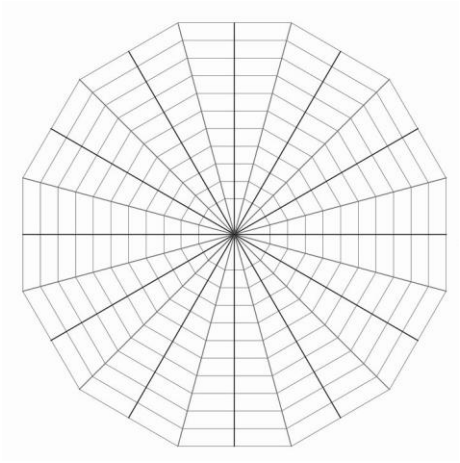
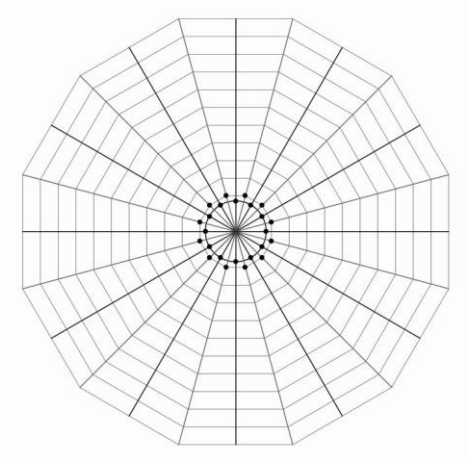
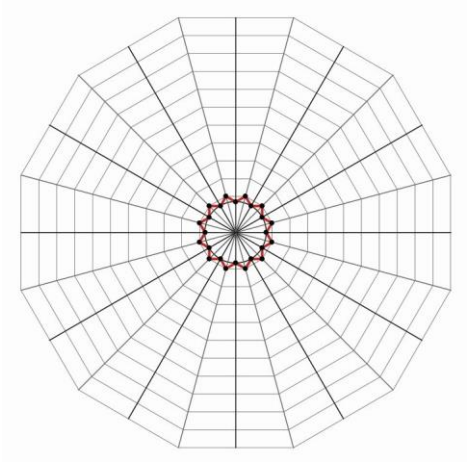
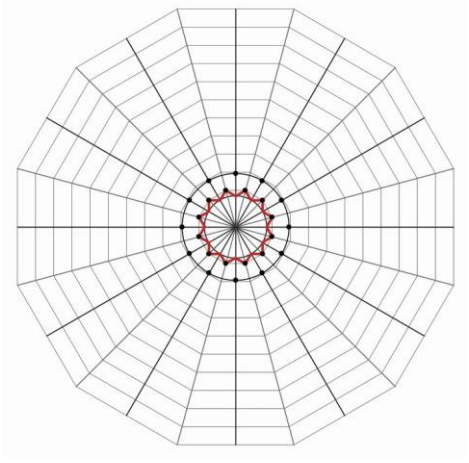
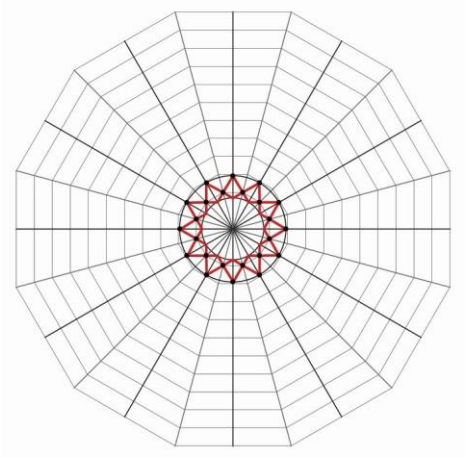
Kural 11'de çevre çemberlerdeki eksik kalan yıldızların merkezi oluşturulmaktadır. Bir 10 kollu yıldızın iç noktaları ile kesişen bir ongen elde edilmiştir (kural 11, alt kural 1). Bu ongen merkezli 10 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 4 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 11, alt kural 2) (**Tablo 3.2**).

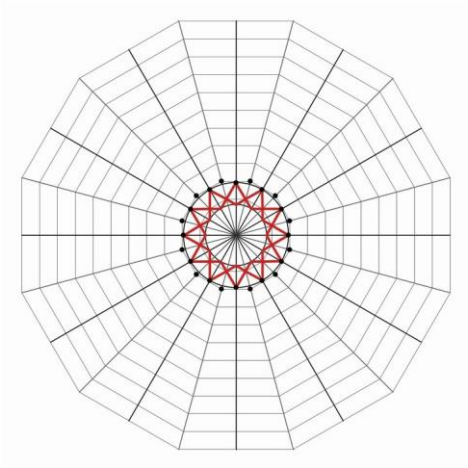
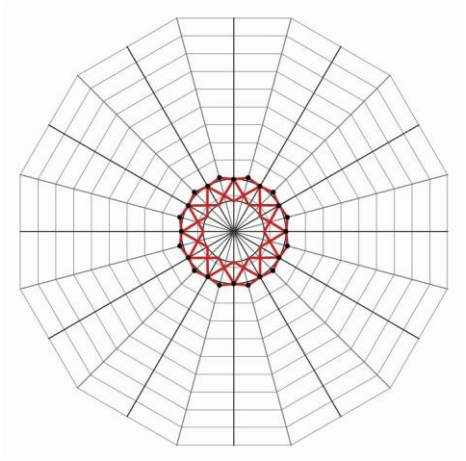
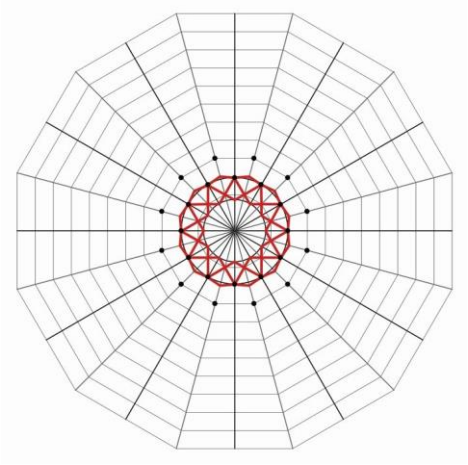
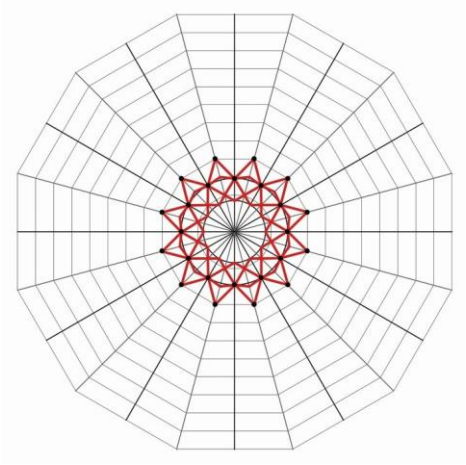
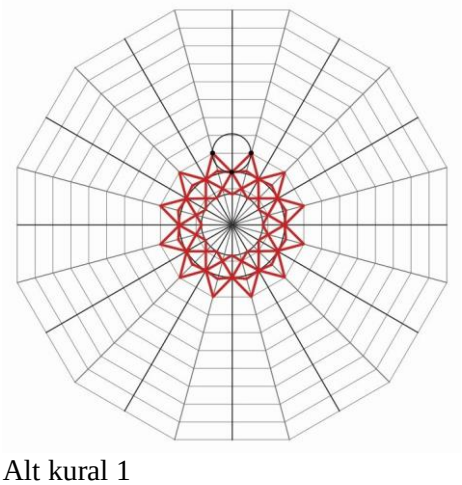
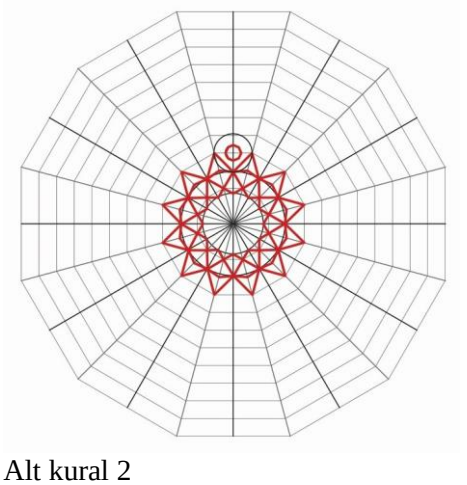
Kural 12'de son olarak düzensiz 4 kollu yıldız oluşturulmaktadır. 10 kollu yan yana olan iki yıldız kolunun uçlarından çizgi ile birleştirilip (kural 12, alt kural 1), ana aksı kesen noktasından sekizgen merkez oluşturulmuştur (kural 12, alt kural 2). Oluşturulacak olan yıldızın üç kolu, 10 kollu yıldızın kolları ile kesişmektedir. Kalan son kol ise 4 kollu yıldızın orta kolları ile aynı oranda olacak şekilde ana aks üzerinde yerleştirilmiştir (kural 12, alt kural 3). Elde edilen düzensiz 4 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 12, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 4 kollu yıldızlar oluşturularak kompozisyondaki yıldız oluşumları tamamlanmıştır (**Tablo 3.2**).

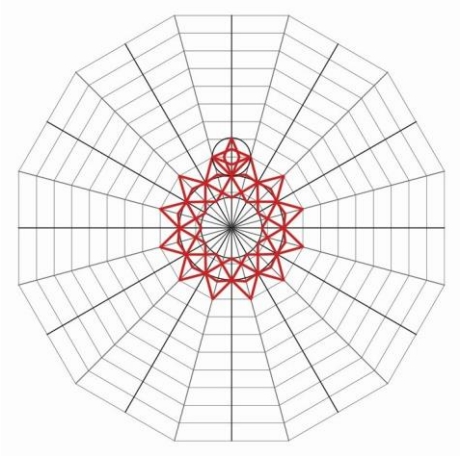
Kural 13'de dokunun yarısını da elimine edilerek mukarnas planının geometrisi elde edilmiştir (kural 13, alt kural 1). 5 kollu yıldız ve düzensiz 4 kollu yıldız arasındaki boşluğa çizgiler eklenmiştir (kural 13, alt kural 2). Eklenen çizgi grubu, orijin noktası referans alınarak ilgili yerlere dairesel olarak kopyalanmıştır (kural 13, alt kural 3). Altlıklar (gridler), ve akslar silinmiştir (kural 13, alt kural 4) (**Tablo 3.2**).

Son olarak Kural 14'te ise, bademler eklenerek mukarnas kompozisyonunun tamamı elde edilmiştir (kural 14) (**Tablo 3.2**).

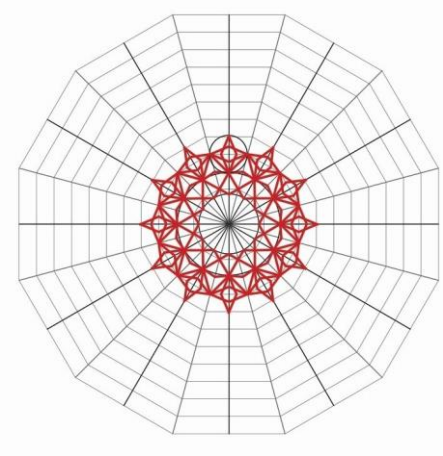
Tablo 3.2: Şehzade Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu

Kurallar	**Süreç**	
Kural 1 (Işınsal aks ve örümcek ızgara sistemi oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 2 (1. sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 3 (2. sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2

Kural 4 (3. sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 5 (4. sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 6 (Eş kollu 4 kollu yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2



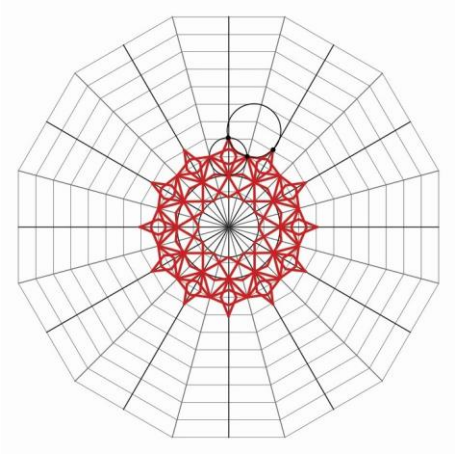
Alt kural 3



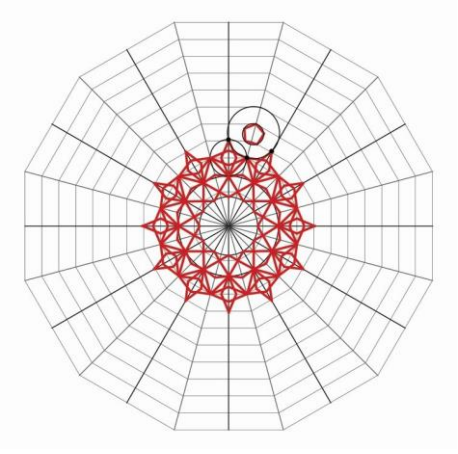
Alt kural 4

Kural 7

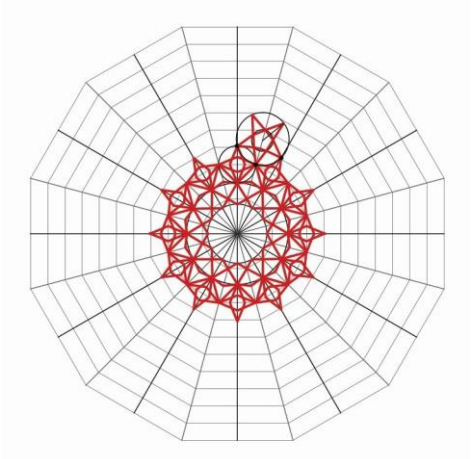
(Düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu)



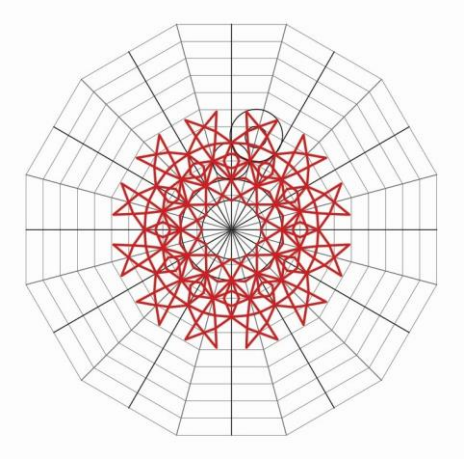
Alt kural 1



Alt kural 2



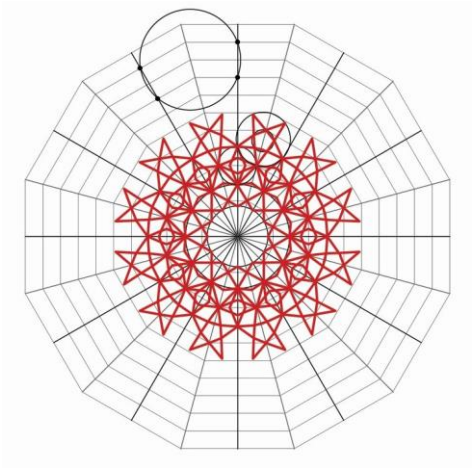
Alt kural 3



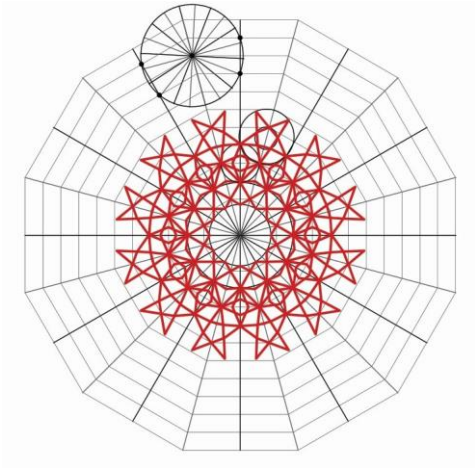
Alt kural 4

Kural 8

(Çevre çember yerleşimi)



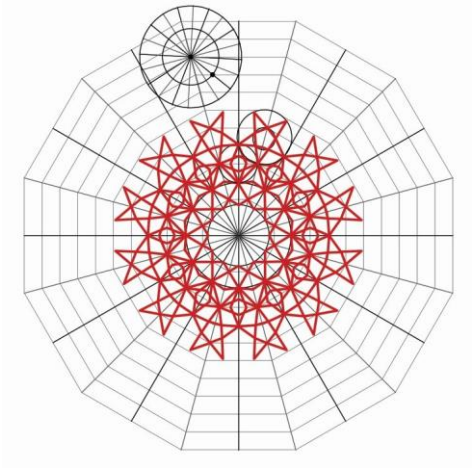
Alt kural 1



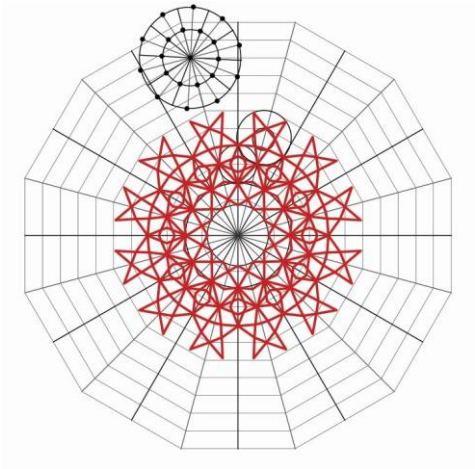
Alt kural 2

Kural 9

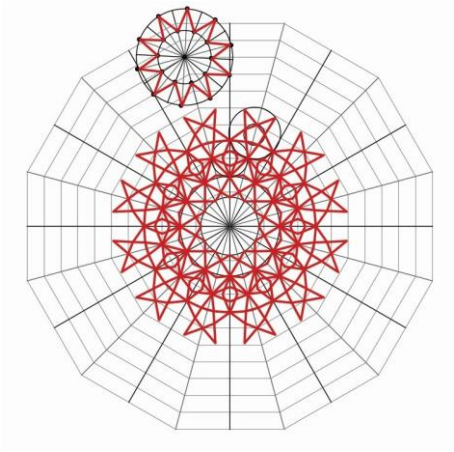
(Çevre çemberlerde ikinci sıra düzensiz 10 kollu yıldız oluşumu)



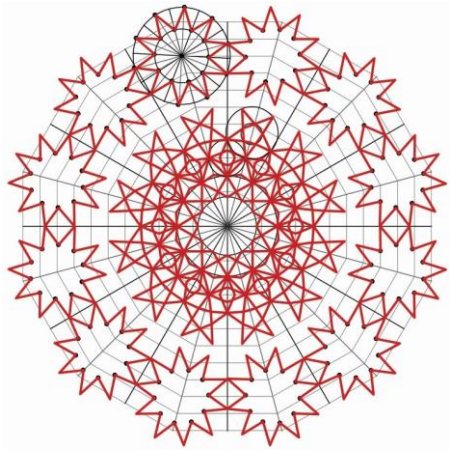
Alt kural 1



Alt kural 2



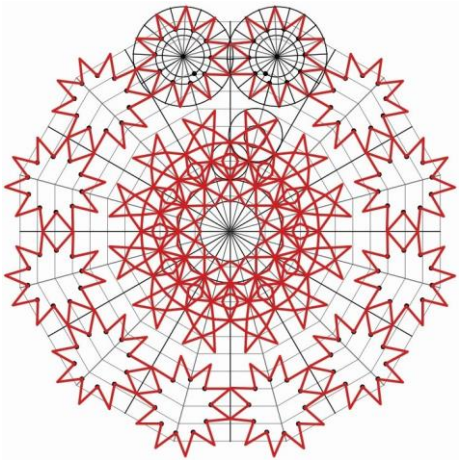
Alt kural 3



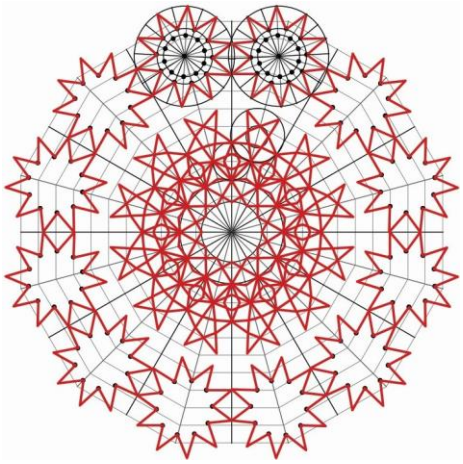
Alt kural 4

Kural 10

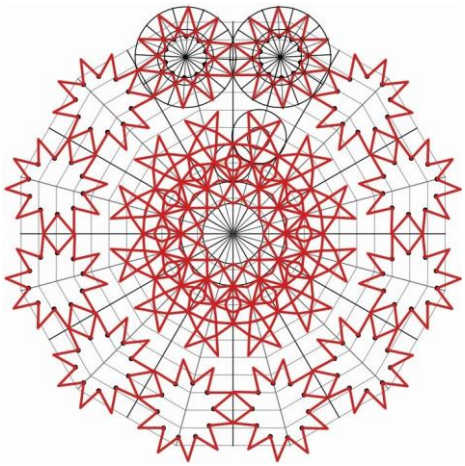
(Çevre çemberlerde birinci sıra eş kollu 10 kollu yıldız oluşumu)



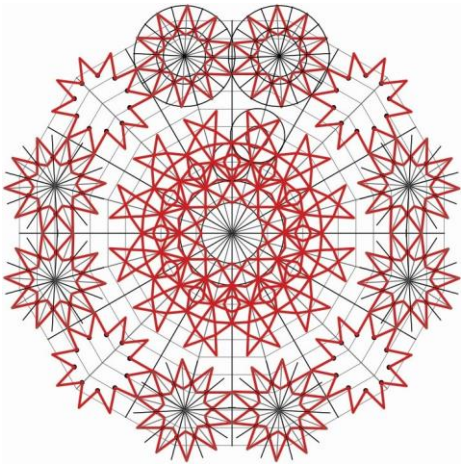
Alt kural 1



Alt kural 2



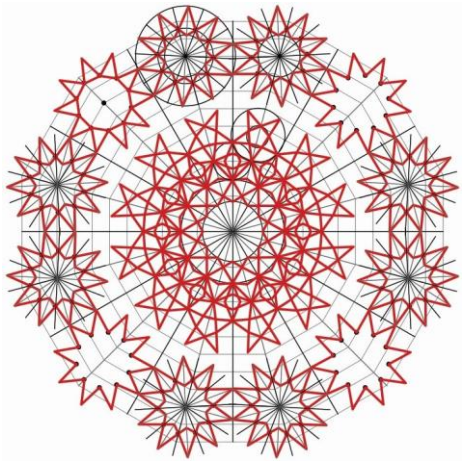
Alt kural 3



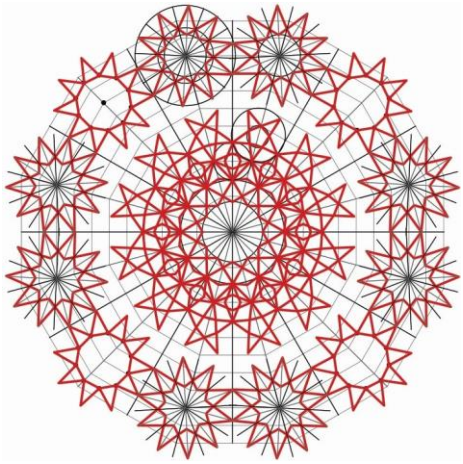
Alt kural 4

Kural 11

(Çevre çemberlerde merkez sekizgeni yerleşimi)



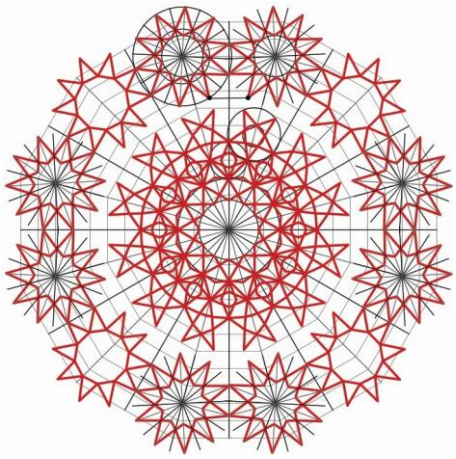
Alt kural 1



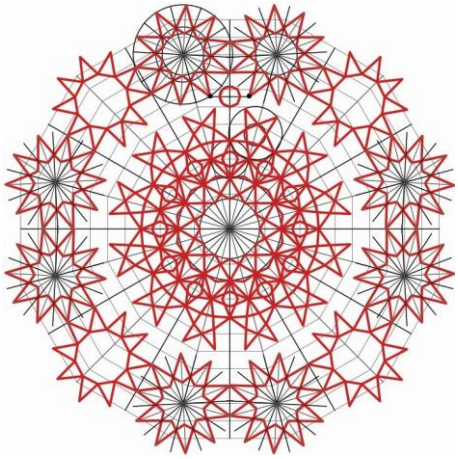
Alt kural 2

Kural 12

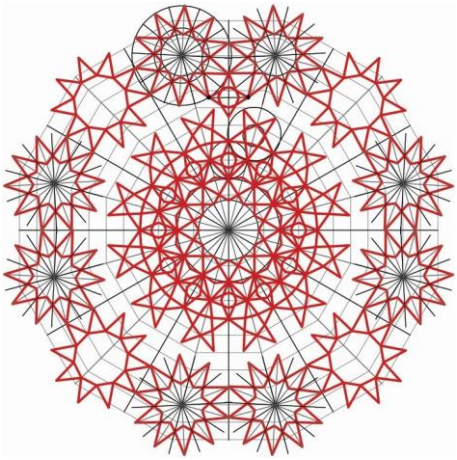
(Düzensiz 4 kollu yıldız oluşumu)



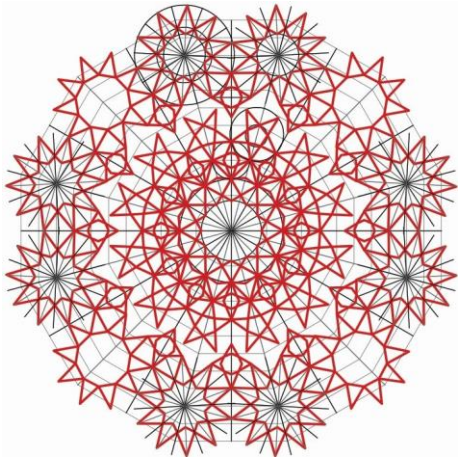
Alt kural 1



Alt kural 2



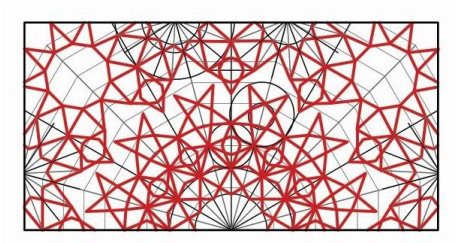
Alt kural 3



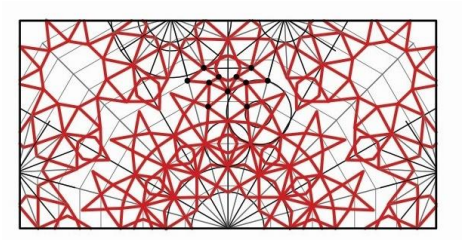
Alt kural 4

Kural 13

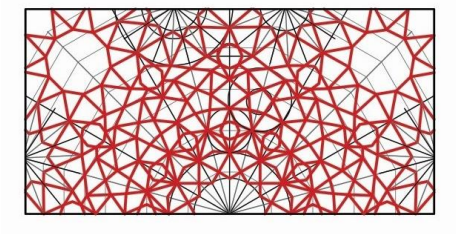
(Referans çizgileri ekleme ve çıkarma)



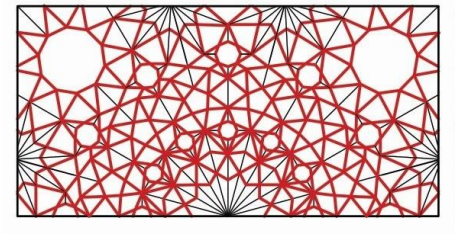
Alt kural 1



Alt kural 2



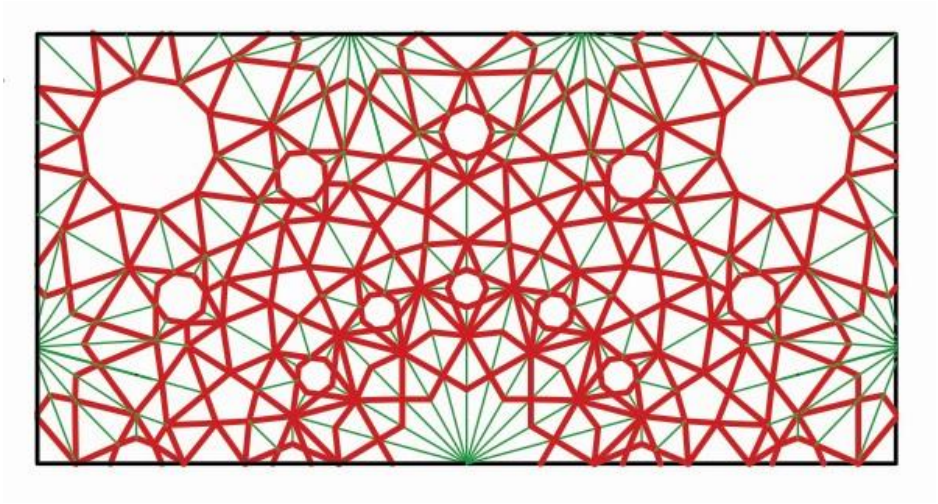
Alt kural 3



Alt kural 4

Kural 14

(Mukarnası oluşturma)

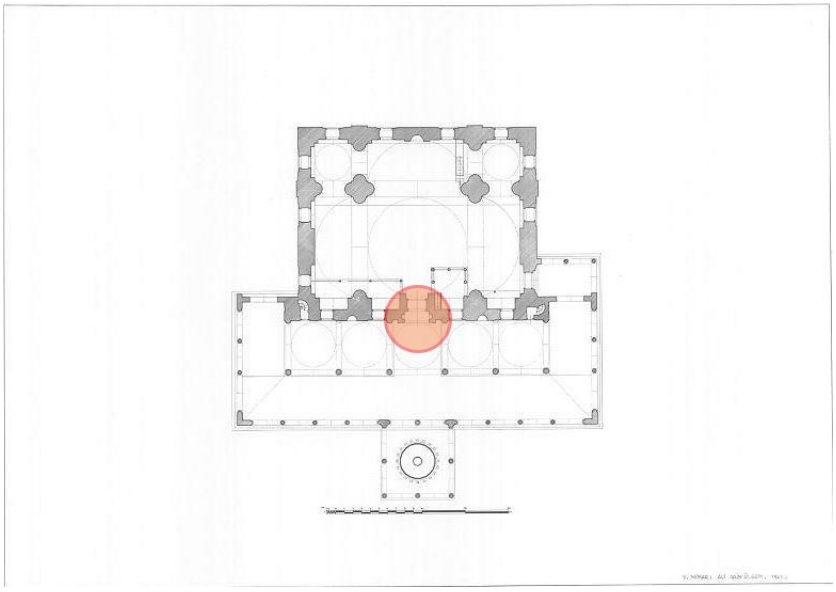


3.4 MİHRİMAH SULTAN CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI

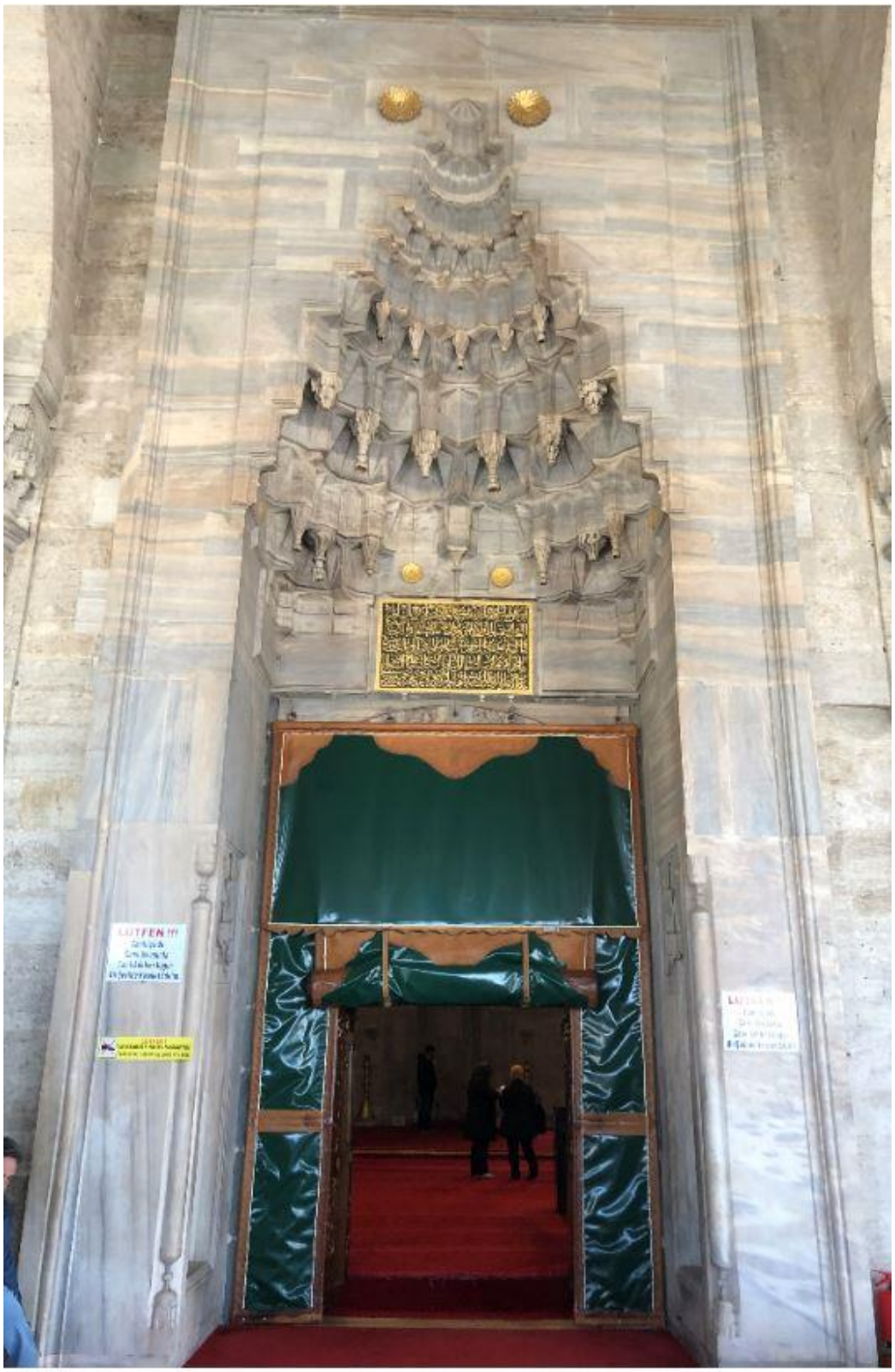
3.4.1 Mihrimah Sultan Camisi Taç Kapısı

Bu çalışma kapsamında üçüncü cami olarak, Mihrimah Sultan Camisi'ndeki mukarnas planı üzerine çalışma yapılmıştır. Cami kütlesinin girişinde bulunan (**Şekil 3.24**) taç kapının mukarnası incelenmiştir (**Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27).** Mihrimah Sultan Külliyesi, Kanuni Sultan Süleyman tarafından kızı Mihrimah Sultan adına yaptırtılmıştır. Mimar Sinan'a yaptırtılan bu caminin inşası kesin olarak bilinmemekle birlikte 1546-47 yıllarında başlanmıştır. Camide bulunan kitabe de yapının tamamlanış tarihi ise, 1547 olarak belirtilmiştir (Demiriz, 1980). Günay (2006) ise, caminin 1540?, 1548 yıllarında tamamlandığını kitabında bahsetmiştir. Cami, Şehzade Külliyesi ile aynı zaman diliminde inşa edilmiştir (Şeker, 2011).

Külliye, topografyaya uyum sağlayarak tasarlanmıştır ve kademeli bir şekilde birimler eklenmiştir. Külliye bünyesinde ilk yapıldığında, cami, medrese, hamam, imaret, sübyan mektebi, meşrutalar, kervansaray, erzak ambarları, muvakkithane, çeşme, türbeler ve hazireden oluşturulmuştur. Fakat günümüze kadar tahribe uğramıştır. Bu yapılardan cami, medrese, sübyan mektebi, çeşme, hamam ve iki de türbenin yer aldığı küçük hazire halen varlığını sürdürmektedir (Demiriz, 1980).



Şekil 3.24: Mihrimah Sultan Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (**URL 9**)



Şekil 3.25: Mihrimah Sultan Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



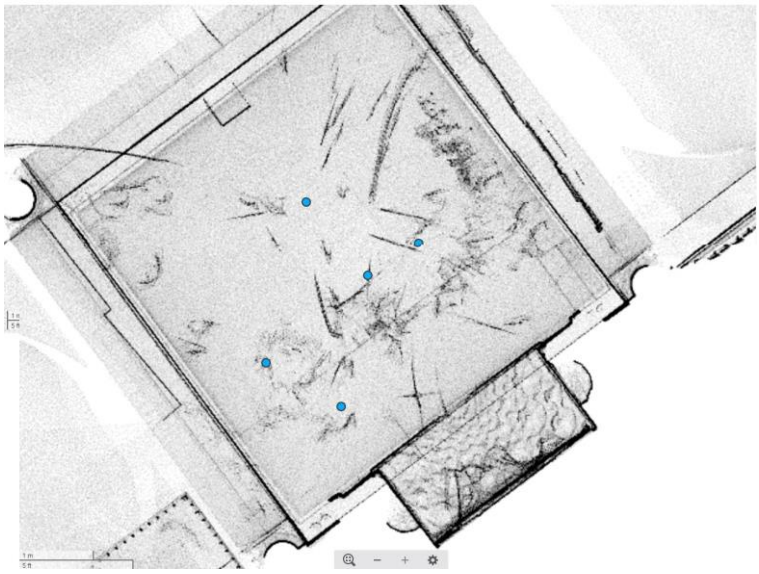
Şekil 3.26: Mihrimah Sultan Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



Şekil 3.27: Mihrimah Sultan Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki kural tablosu oluşturulan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

Mihrimah Sultan Camisi'nde Faro tarama cihazı ile taramanın yapıldığı noktalar (5 tane) **Şekil 3.28**'de mavi olarak işaretlenmiştir. Tarama sonucu elde edilen

veriler Scene programı üzerinde birleştirilerek taranan bölgenin nokta bulut (*point cloud*) modeli oluşturulmuştur (**Şekil 3.29**). Model üzerinden taç kapının tarama sonucu oluşan ön cephesi (**Şekil 3.30**), mukarnasın yakından ön görünüşü (**Şekil 3.31**) ve tez kapsamında yararlanılacak olan plan ortofotosu (**Şekil 3.32**) verileri elde edilmiştir.



Şekil 3.28: Mihrimah Sultan Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (5 tane)



Şekil 3.29: Mihrimah Sultan Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü



Şekil 3.30: Mihrimah Sultan Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının görünüşü



Şekil 3.31: Mihrimah Sultan Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası



Şekil 3.32: Mihrimah Sultan Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu

3.4.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi

Seçilen mukarnas planının geometrik analizi için, aralarındaki açı 30 derece olacak şekilde ana akslar ve ana akslar ile aralarındaki açı 15 derece olacak şekilde ara akslar (kural 1, alt kural 1) oluşturulmuştur. Referans altlığı olarak eş aralıklarla örümcek ızgara sistemi (kural 1, alt kural 2) bu aksların merkezinden başlanarak yerleştirilmiştir (**Tablo 3.3**).

1. sıra yıldızı oluşturmak için, ilk önce, merkez odaklı oluşturulan çember ile ara aksların kesişimindeki; birinci sıra örümcek ızgara çizgisi ile ana akslar arasındaki kesişimindeki noktalar belirlenmiştir (kural 2, alt kural 1). Sonrasında bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak 1. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 2, alt kural 2) (**Tablo 3.3**).

2. sıra yıldız oluşumu için, aynı merkez noktası esas alınarak bir çember daha oluşturulmuştur. Bu çember ile ara aks arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 3, alt kural 1). Bu noktalar ile 1. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ana akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 2. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 3, alt kural 2) (**Tablo 3.3**).

3. sıra yıldız oluşumu için, ikinci sıra örümcek ızgara çizgisi ve ana akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 4, alt kural 1). Bu noktalar ile 2. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ara akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 3. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 4, alt kural 2) (**Tablo 3.3**).

Kural 5'teki düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu için, ilk önce, 2 tanesi ikinci oluşturulan çember üzerinde, 1 tanesi ise üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisinin ana aks ile kesişimi üzerinde olmak üzere üç noktadan bir çember oluşturulmuştur (kural 5, alt kural 1). Daha sonra, ikinci sıra örümcek ızgara çizgisi ile bir köşesi kesişen beşgen merkez oluşturulmuştur (kural 5, alt kural 2). Düzensiz yıldız, çember ve beşgen kullanılarak oluşturulmuştur (kural 5, alt kural 3). Elde edilen 5 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 5, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.3**).

Kural 6'daki düzensiz 4 kollu yıldız oluşumu için, 1 tanesi üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisi ile 2 tanesi dördüncü sıra örümcek ızgara çizgisinde olan üç nokta belirlenmiştir (kural 6, alt kural 1). Daha sonra, dördüncü sıra örümcek ızgara çizgisi ile ana aksın kesişim noktasından bir çember oluşturulup, içerisine merkezi ana aks üzerinde olan bir sekizgen yerleştirilmiştir (kural 6, alt kural 2). Yıldız kollarını oluşturabilmek için, 1 tane üçüncü sıra örümcek ızgara çizgindeki, 2 tanesi dördüncü sıra örümcek ızgara çizgisindeki ve 1 tanesi de beşinci sıra örümcek ızgara çizgisindeki dört nokta, sekizgen merkez ile aralarında çizgilerle birleştirilerek kollar elde edilmiştir (kural 6, alt kural 3). Elde edilen 4 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 6, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 4 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.3**).

Kural 7'deki düzensiz 7 kollu yıldız oluşumu için, 1 tanesi dördüncü sıra örümcek ızgara çizgisi, 2 tanesi beşinci sıra örümcek ızgara çizgisi üzerinde olan üç noktadan çember oluşturulmuştur (kural 7, alt kural 1). Daha sonra, dört köşesi, beşinci ve altıncı sıra örümcek ızgara çizgileri ile kesişen bir yedigen merkez yerleştirilmiştir (kural 7, alt kural 2). Yıldız kollarını oluşturabilmek için, çember üzerindeki 3 nokta (alt kural 1) kullanılarak, ayrıca merkez yedigenden dik açılar ile çemberle bağlanan noktalar kullanılarak kollar oluşturulmuştur. Düzensiz 7 kollu yıldızın dairesel olarak çoğaltıldığında kolların kesişebilmesi için, yıldızı oluşturduktan sonra iki kol örümcek aksın üzerine değecek biçimde uzatıldı (kural 7, alt kural 3). Elde edilen bu düzensiz 7 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 7, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 7 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.3**).

Kural 8'de mukarnas geometri planının ilk sınır çerçevesi oluşturulmaktadır. İlk önce, ayna görevi (mirror) ile çalışılan, iki adet 7 kollu yıldızın üç noktasından çember elde edilmiştir (kural 8, alt kural 1). Daha sonra, üç köşesi, yedinci ve sekizinci sıra örümcek ızgara çizgisi ile kesişen beşgen merkez yerleştirilmiştir (kural 8, alt kural 2). Çember üzerindeki 3 nokta (alt kural 1) ve çerçeve ile kesişen noktadan kollar oluşturulmuştur (kural 8, alt kural 3). Elde edilen 5 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 6 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 8, alt kural 4). Böylelikle çerçeve ile eş kollu 5 kollu yıldız oluşumu tamamlanmıştır (**Tablo 3.3**).

Kural 9'da 5 kollu yıldızın iki kolu ile kesişen çember oluşturulmuştur (kural 9, alt kural 1). Daha sonra, çembere merkezinden iç çember oluşturulup, iç çembere de iç teğet altıgen merkez yerleştirilmiştir (kural 9, alt kural 2). Bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak düzensiz 6 kollu yıldız elde edilmiştir (kural 9, alt kural 3). Elde edilen 6 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 9, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 6 kollu yıldız sırası oluşturulmuştur (**Tablo 3.3**).

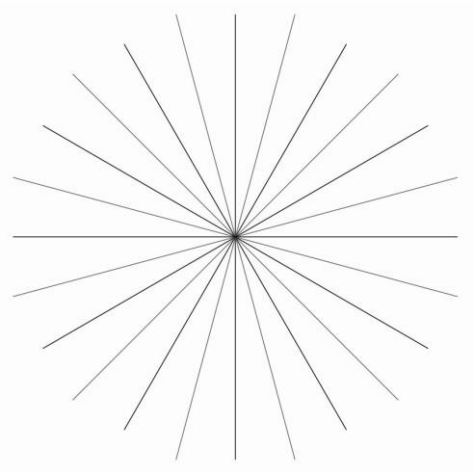
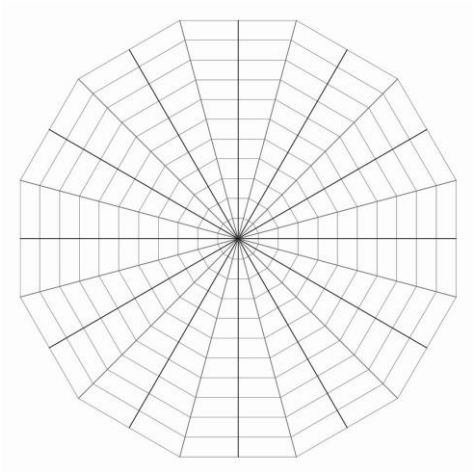
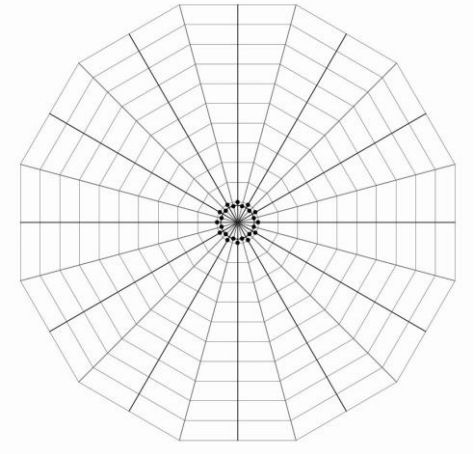
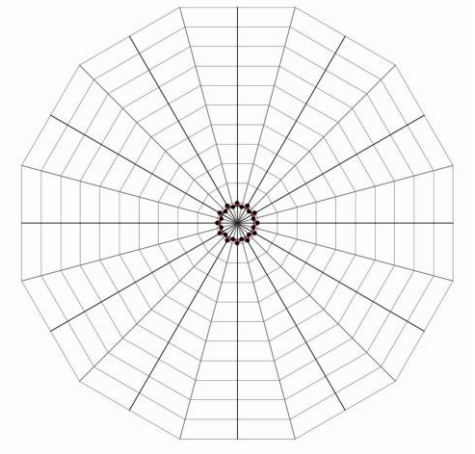
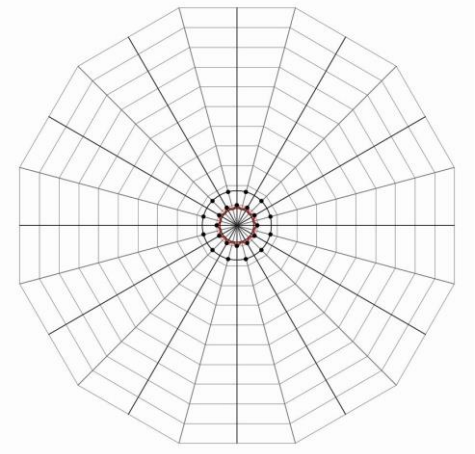
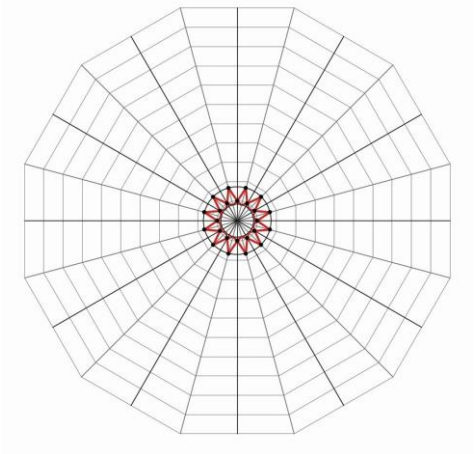
Kural 10'da çerçeve köşelerindeki düzensiz 8 kollu yıldız oluşturulmaktadır. İlk önce, çerçeve köşesinden 6 kollu yıldız kolları ile kesişen çember oluşturulmuştur (kural 10, alt kural 1). Daha sonra, onuncu ve on birinci sıra örümcek ızgara çizgileri arasına bir sekizgen merkez yerleştirilmiştir (kural 10, alt kural 2). 6 kollu yıldız ile merkez arasında kollar oluşturulup, çember merkezinden referans alınarak 4 adet olacak şekilde çoğaltılmıştır (kural 10, alt kural 3). Elde edilen bu 8 kollu yıldız, orijin noktası referans alınarak 12 adet olacak şekilde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır (kural 10, alt kural 4). Böylelikle düzensiz 8 kollu yıldızlar oluşturulmuştur (**Tablo 3.3**).

Kural 11'de mukarnas geometrisine eklenen kısmi kol sıraları vardır. İlk olarak, tek kol tanımı, 5 kollu yıldızın iki kolunda ve üçüncü sıra örümcek ızgara çizgisi arasında yapılmıştır (kural 11, alt kural 1). İkinci kısmi kollar ise, 4 kollu yıldızın iki koluna bitişik ve üçüncü ve dördüncü sıra örümcek ızgara çizgileri arasında oluşturulmuştur (kural 11, alt kural 2) (**Tablo 3.3**).

Kural 12'de dokunun yarısı elimine edilerek mukarnas planının geometrisi elde edilmiştir (kural 12, alt kural 1). Gerekmeyen altlıklar (gridler), ve akslar silinmiştir (kural 12, alt kural 2) (**Tablo 3.3**).

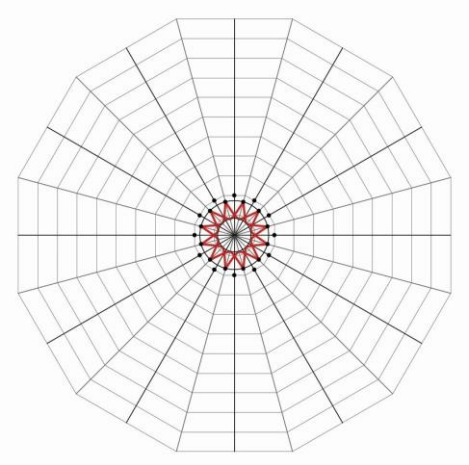
Son olarak Kural 13'te ise, badem çizgileri eklenerek mukarnas kompozisyonunun tamamı elde edilmiştir (kural 13) (**Tablo 3.3**).

Tablo 3.3: Mihrimah Sultan Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu

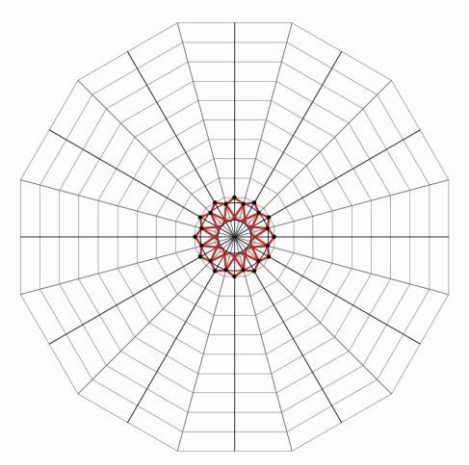
Kurallar	**Süreç**	
Kural 1 (Işınsal aks ve örümcek ızgara sistemi oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 2 (Birinci sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2
Kural 3 (İkinci sıra onikigen yıldız oluşumu)		
	Alt kural 1	Alt kural 2

Kural 4

(Üçüncü sıra onikigen yıldız oluşumu)



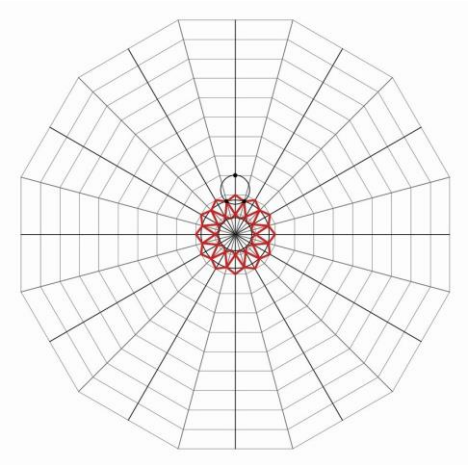
Alt kural 1



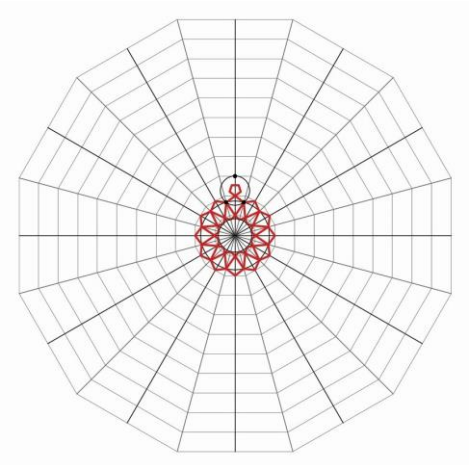
Alt kural 2

Kural 5

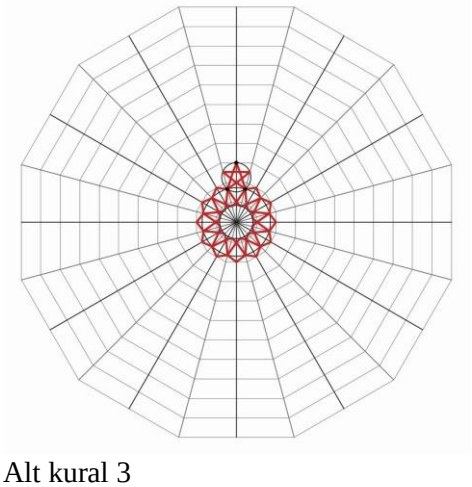
(Düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu)



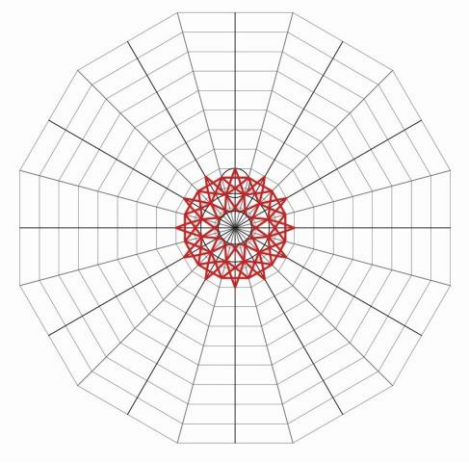
Alt kural 1



Alt kural 2



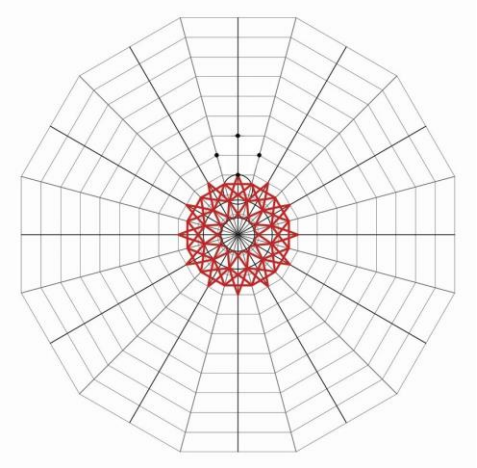
Alt kural 3



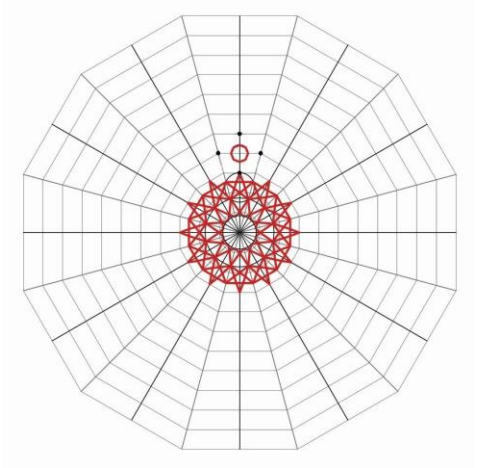
Alt kural 4

Kural 6

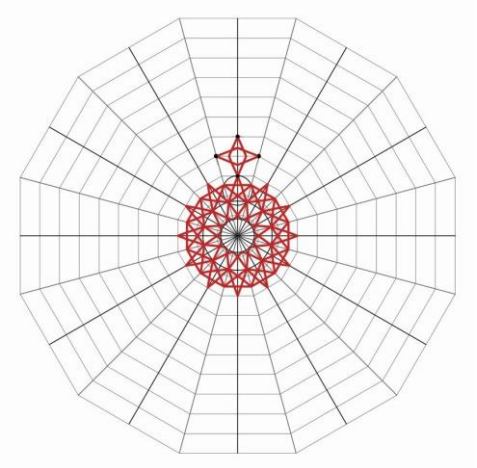
(Düzensiz 4 kollu yıldız oluşumu)



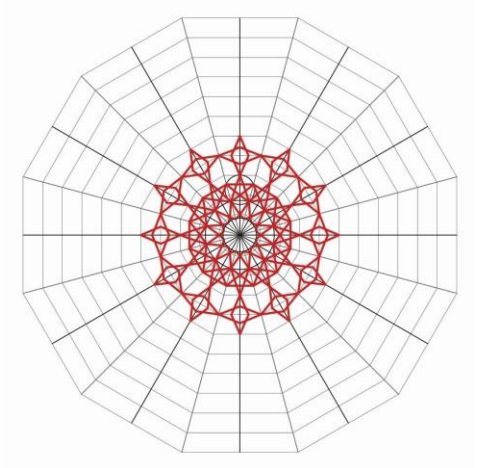
Alt kural 1



Alt kural 2



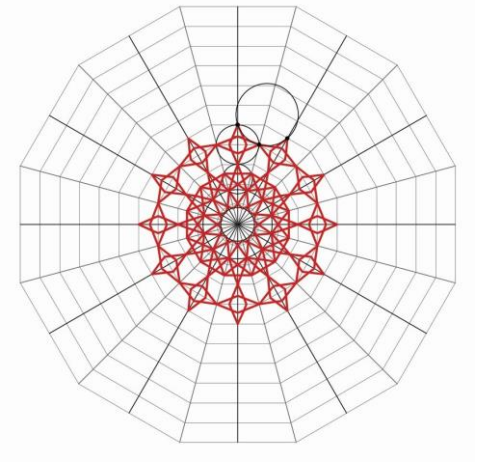
Alt kural 3



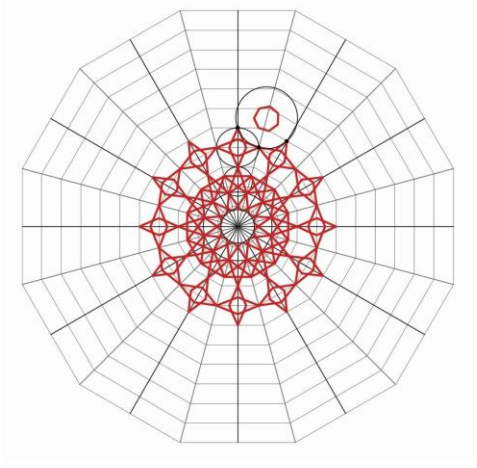
Alt kural 4

Kural 7

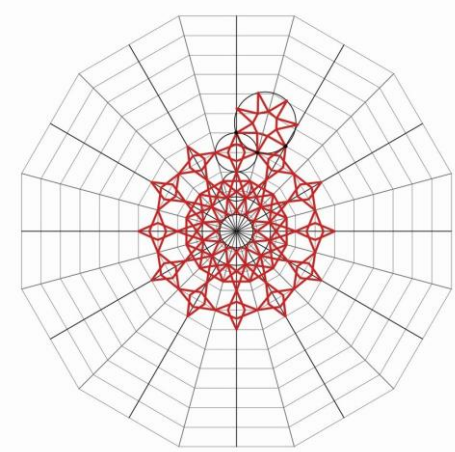
(Düzensiz 7 kollu yıldız oluşumu)



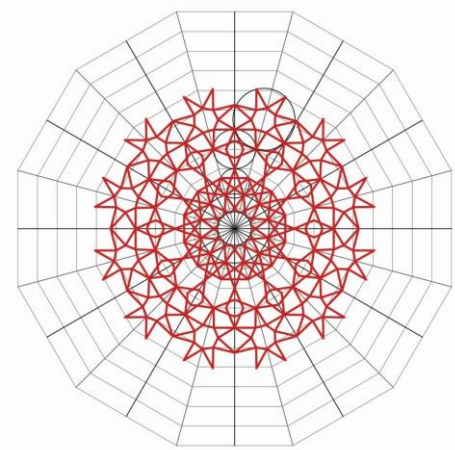
Alt kural 1



Alt kural 2



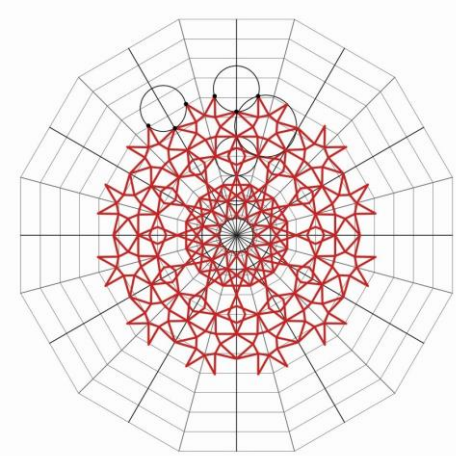
Alt kural 3



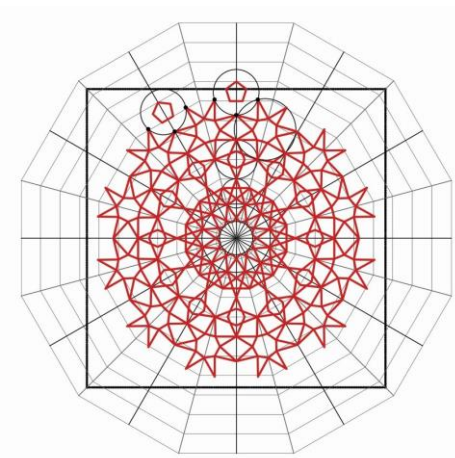
Alt kural 4

Kural 8

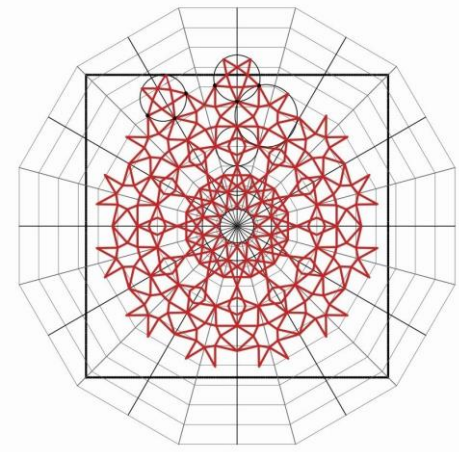
(Eş kollu 5 kollu yıldız oluşumu)



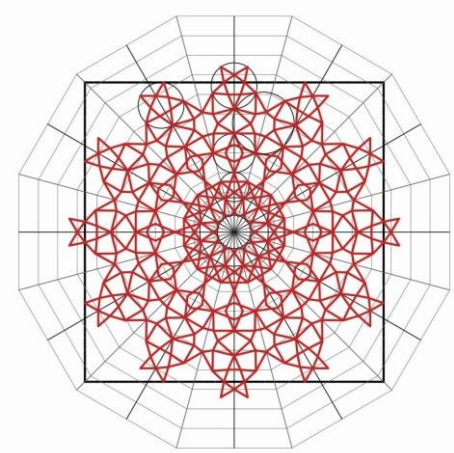
Alt kural 1



Alt kural 2



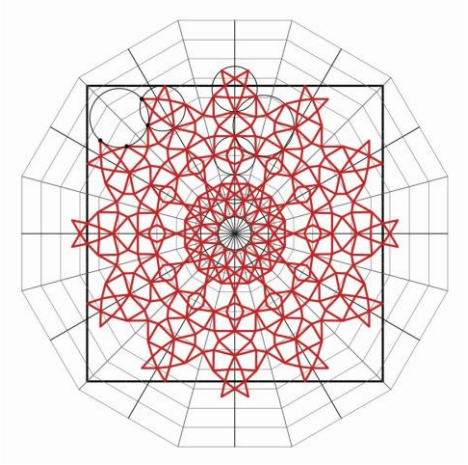
Alt kural 3



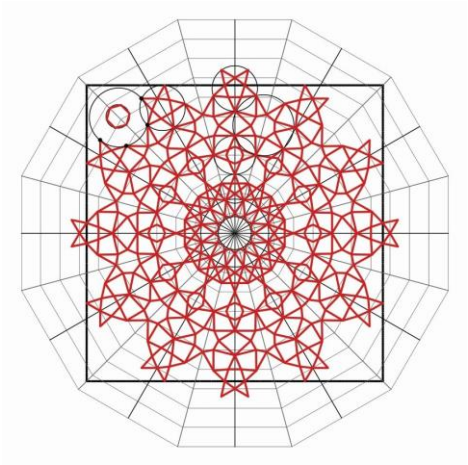
Alt kural 4

Kural 9

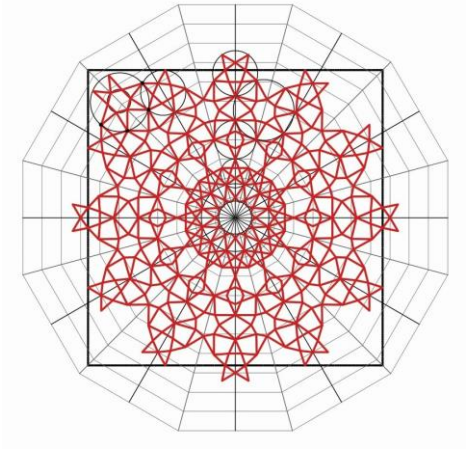
(Düzensiz 6 kollu yıldız oluşumu)



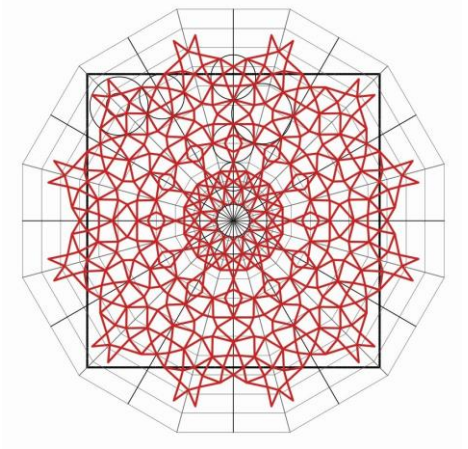
Alt kural 1



Alt kural 2



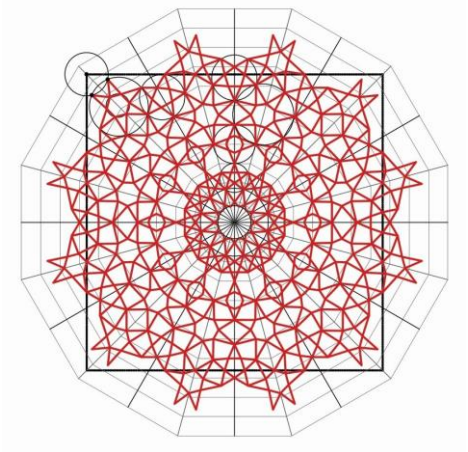
Alt kural 3



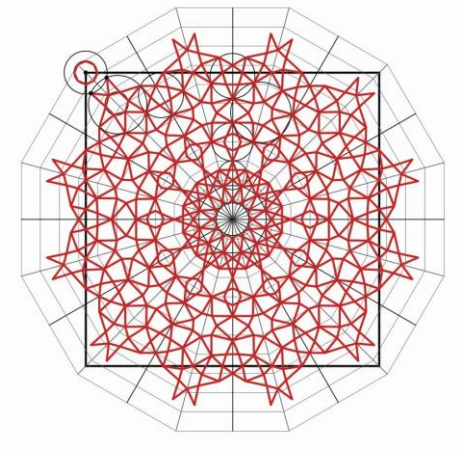
Alt kural 4

Kural 10

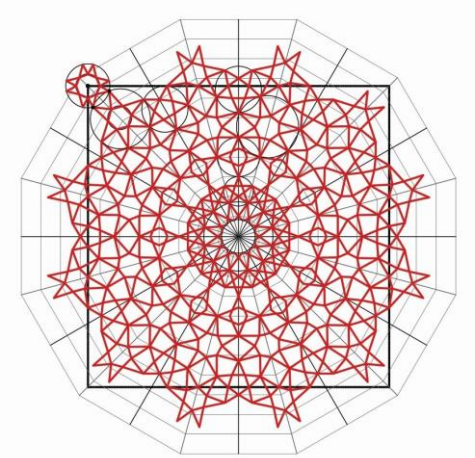
(Düzensiz 8 kollu yıldız oluşumu)



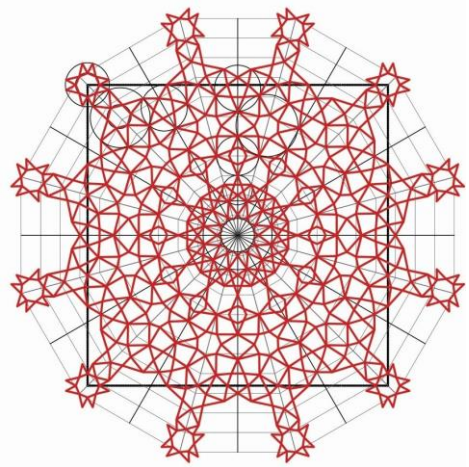
Alt kural 1



Alt kural 2



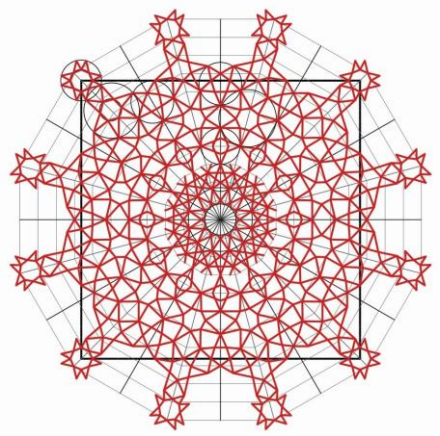
Alt kural 3



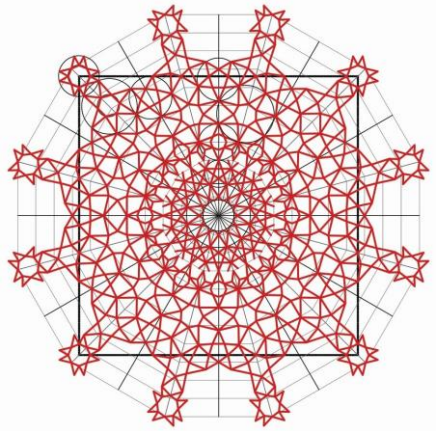
Alt kural 4

Kural 11

(Kısmi kol sıraları oluşturma)



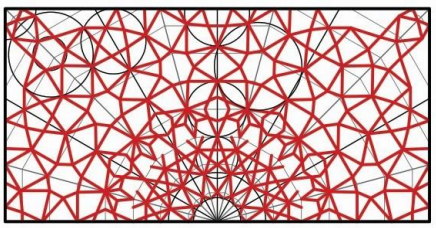
Alt kural 1



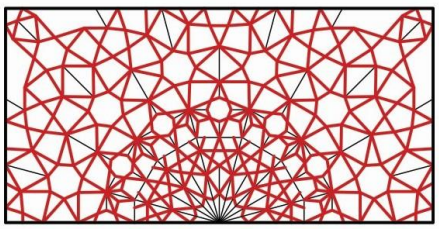
Alt kural 2

Kural 12

(Referans çizgilerini silme)



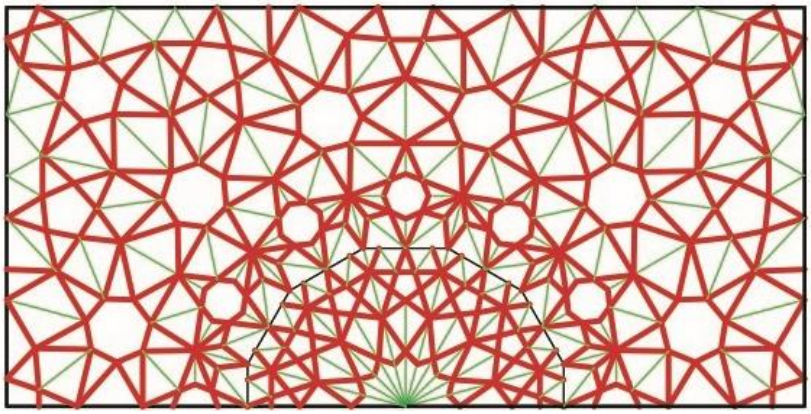
Alt kural 1



Alt kural 2

Kural 13

(Mukarnası oluşturma)

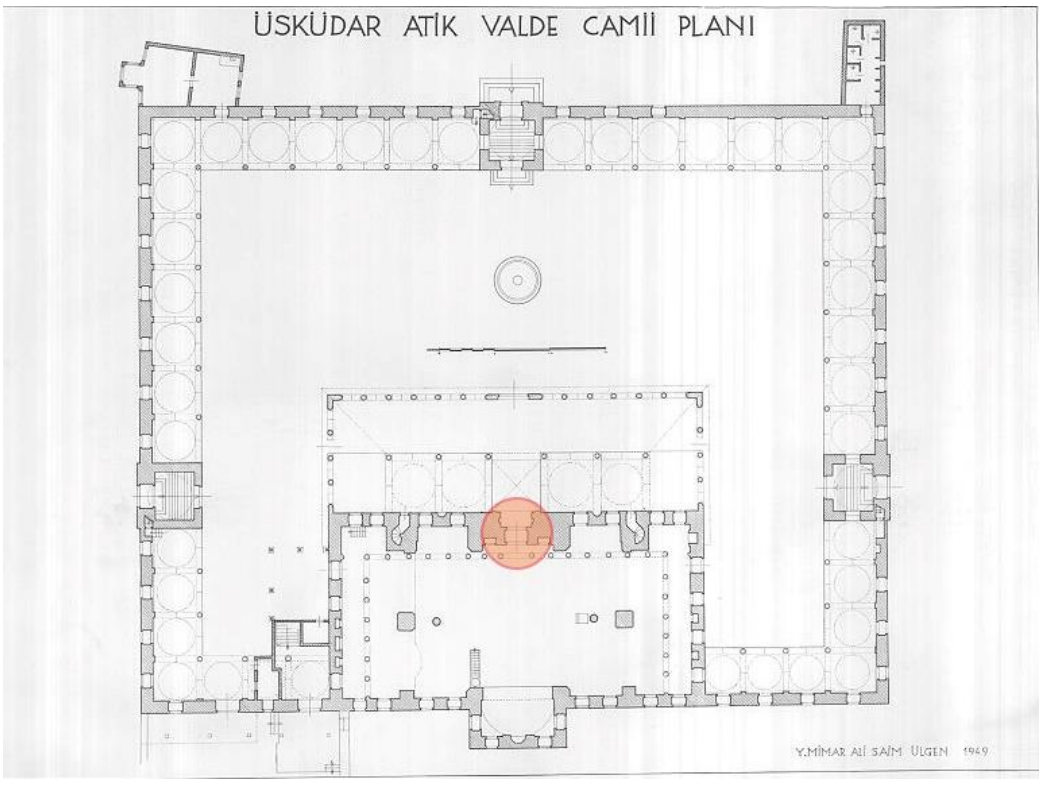


3.5 ATIK VALİDE CAMİSİ TAÇ KAPI MUKARNASI

3.5.1 Atik Valide Camisi Taç Kapısı

Bu çalışma kapsamında, üzerinde detaylı çalışmaların yapılacağı, Atik Valide Camisi'nde, cami kütlesinin girişinde bulunan (**Şekil 3.33**) taç kapının mukarnası incelenmek üzere seçilmiştir (**Şekil 3.34**, **Şekil 3.35**, **Şekil 3.36**). Atik Valide Camisi, İstanbul'un Üsküdar ilçesinin Toptaşı semtinde yer alan Atik Valide Külliyesi'nin içinde bulunmaktadır. III. Murad'ın annesi Nurbanu Sultan tarafından Mimar Sinan'a yaptırtılan bu caminin yapımına 1570 yılında başlanmıştır (Eriş ve diğ, 2013). Günay (2006) ise, caminin 1570-1579; 1583 yıllarında tamamlandığını kitabında bahsetmiştir.

Atik Valide Külliyesi'nin bünyesinde, caminin yanı sıra, medrese, sıbyan mektebi, darüşşifa, hamam gibi yapı birimleri de vardır. Bazı yapı birimleri kendi içlerinde avlulara sahiptir. Bu külliyedeki yapı birimleri bir yamaç üzerine kademeli olarak yerleştirilmiştir (Eriş ve diğerleri, 2013).



Şekil 3.33: Atik Valide Sultan Camisi mukarnasının cami planında konumlandırılışı (**URL 10**)



Şekil 3.34: Atik Valide Camisi'nin cami girişi taç kapısı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



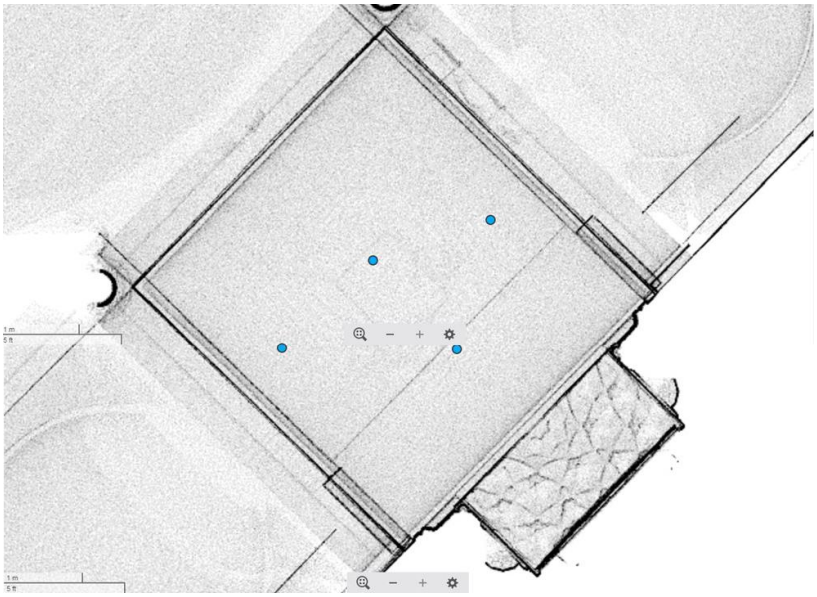
Şekil 3.35: Atik Valide Camisi mukarnası perspektif bakışı (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)



Şekil 3.36: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnas planına alttan bakış (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir)

Atik Valide Sultan Camisi'nde Faro tarama cihazı ile taramanın yapıldığı noktalar (4 tane) **Şekil 3.37**'de mavi olarak işaretlenmiştir. Tarama sonucu elde edilen

veriler Scene programı üzerinde birleştirilerek taranan bölgenin nokta bulut (*point cloud*) modeli oluşturulmuştur (**Şekil 3.38**). Model üzerinden taç kapının tarama sonucu oluşan ön cephesi (**Şekil 3.39**), mukarnasın yakından ön görünüşü (**Şekil 3.40**) ve tez kapsamında yararlanılacak olan plan ortofotosu (**Şekil 3.41**) verileri elde edilmiştir.



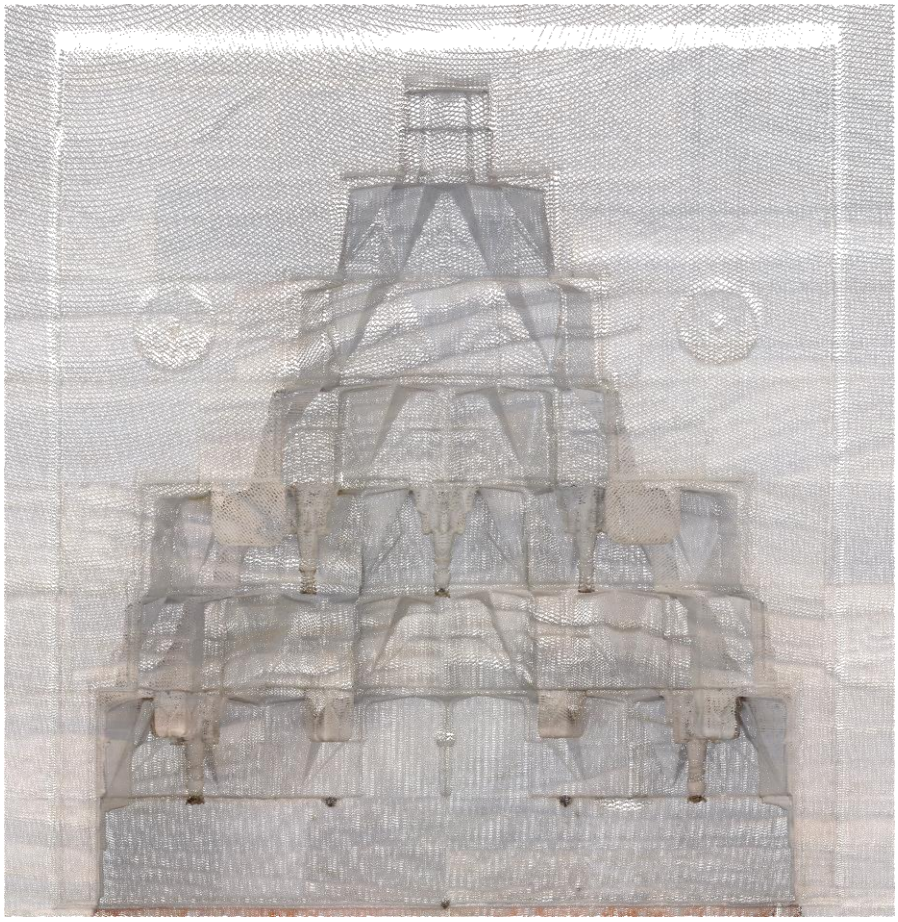
Şekil 3.37: Atik Valide Sultan Camisi'nin FARO Lazer Tarama cihazı ile alandaki tarama yaptığı noktalar (4 tane)



Şekil 3.38: Atik Valide Sultan Camisi'nin nokta bulutu model görüntüsü



Şekil 3.39: Atik Valide Sultan Camisi' nin nokta bulutu modelinden taç kapının ön görünüşü



Şekil 3.40: Atik Valide Sultan Camisi'nin taç kapısının nokta bulutu modelinden elde edilen taç kapı mukarnası



Şekil 3.41: Atik Valide Sultan Camisi'nin nokta bulutu modelinden plan ortofotosu

3.5.2 Plan Oluşumu Kural Dizisi

Seçilen mukarnas planının geometrik analizi için, aralarındaki açı 45 derece olacak şekilde ana akslar (kural 1, alt kural 1), ana aks ile aralarındaki açı 22,5 derece olacak şekilde ara akslar (kural 1, alt kural 2) oluşturulmuştur (**Tablo 3.4**).

Daha sonra, merkezi, oluşturulan bir ara aks üzerinde olacak şekilde bir elips oluşturulmuştur (kural 2, alt kural 1). Bu elips herhangi bir ara aks üzerinde oluşturulabilir. Daha sonra bu elips, 8 adet olmak üzere, dairesel olarak, çoğaltılmıştır. Her bir elipsin merkez noktası ara akslara denk gelmektedir (kural 2, alt kural 2). Böylece, elipslerin kesişiminde bir çember tanımlanmış olmuştur. Bu çemberin merkezi aksların kesişim noktasıdır (**Tablo 3.4**).

1. sıra yıldızı oluşturmak için, ilk önce, çember ve ana akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir. Daha sonra, çemberin merkez noktası esas alınarak, yarıçap uzunluğu daha az olan başka bir çember daha yaratılmıştır. Bu çemberin ise ara akslarla olan kesişimleri belirlenmiştir (kural 3, alt kural 1). Sonrasında bu noktalar arasında çizgiler oluşturularak 1. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 3, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

2. sıra yıldız oluşumu için, aynı merkez noktası esas alınarak bir çember daha oluşturulmuştur. Bu çember ve ana akslar arasındaki kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 4, alt kural 1). Bu noktalar ile 1. sıra yıldız oluşumunda belirlenen ara akslar üzerindeki noktalar arasında çizgiler oluşturularak 2. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 4, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

3. sıra yıldız oluşumu için, ilk önce, ilgili elipslerin kesişim noktaları belirlenmiştir. Bu kesişim noktaları, aksların kesişim noktasını (orijin) merkez olarak kabul edersek, tek bir çember üzerindedir (kural 5, alt kural 1). 1. sıra yıldız için ana akslar üzerinde tanımlanan noktalar ile bu elipslerin kesişim noktaları arasında çizgiler oluşturulup 3. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 5, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

4. sıra yıldız oluşumu için, ilk önce, ilgili elipslerin kesişim noktaları belirlenmiştir. Yine, bu kesişim noktaları, aksların kesişim noktasını (orijin) merkez olarak kabul edersek, tek bir çember üzerindedir (kural 6, alt kural 1). Oluşturulan son

yıldız üzerindeki ilgili noktalar ve bu elipslerin kesişim noktaları arasında çizgiler oluşturulup 4. sıra yıldız yaratılmıştır (kural 6, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

Kural 7'de, ilk olarak, elips altlığın (gridin) sınırlarından geçen bir çerçeve oluşturulmuştur (kural 7, alt kural 1). Daha sonra, elips altlığı (gridi) üzerinde ilgili elips kesişim noktaları belirlenmiştir (kural 7, alt kural 2). Sonrasında elips altlık (grid), bu noktalar referans alınarak kopyalanmıştır (kural 7, alt kural 3). Elde edilen altlık (grid), çember merkez noktası referans alınarak 8 adet olacak biçimde, dairesel biçimde çoğaltılmıştır. Böylelikle ikincil elips altlık (grid) doluşturulmuştur (kural 7, alt kural 4) (**Tablo 3.4**).

İlk 6 kollu düzensiz yıldız oluşumu için, öncelikle oluşturulan son yıldız üzerinde 1 nokta ve ikincil elips altlığın (gridin) kesişimindeki 1 nokta belirlenmiştir. Bu noktalar arasındaki uzaklık çap olacak biçimde bir çember yaratılmıştır (kural 8, alt kural 1). Bu çemberin içinde bir altıgen oluşturulmuştur (kural 8, alt kural 2). Daha sonra bu altıgenin köşe noktaları ve bu altıgene en yakın elips altlık (grid) kesişim noktaları belirlenmiştir. İlgili noktalar arasında doğru parçaları oluşturulmuştur. Böylelikle düzensiz çokgen otomatikman ortaya çıkmıştır (kural 8, alt kural 3). Çıkan altı kollu düzensiz yıldız, (çember merkez noktası esas alınarak) 8 adet olacak biçimde, dairesel olarak çoğaltılmıştır (kural 8, alt kural 4) (**Tablo 3.4**).

5 kollu düzensiz yıldız oluşumu için, elips altlığın (gridin) ilgili kesişim noktaları belirlenmiştir. Bu noktalardan 3 tanesi, aynı zamanda 6 kollu düzensiz yıldızların ilgili köşe noktalarıdır. İlgili noktalar arasında doğru parçaları oluşturulmuştur (kural 9, alt kural 1). Böylelikle 5 kollu düzensiz yıldız otomatikman ortaya çıkmıştır. Çıkan beş kollu düzensiz yıldız, (çember merkez noktası esas alınarak) 8 adet olacak biçimde, dairesel olarak çoğaltılmıştır (kural 9, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

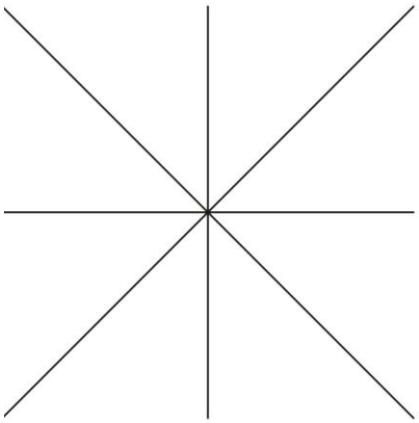
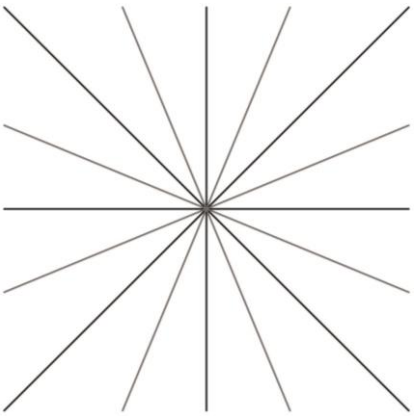
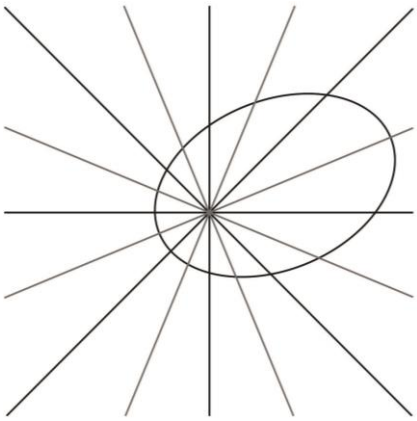
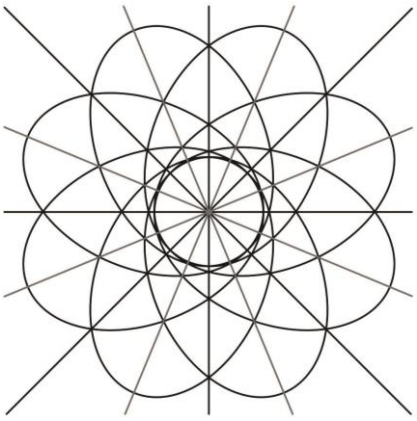
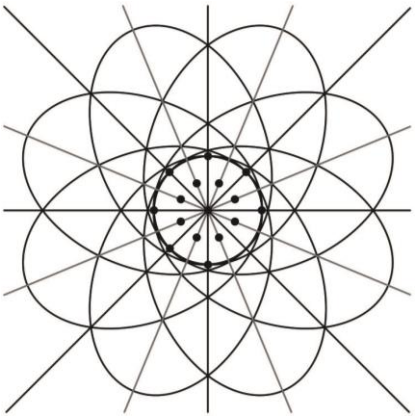
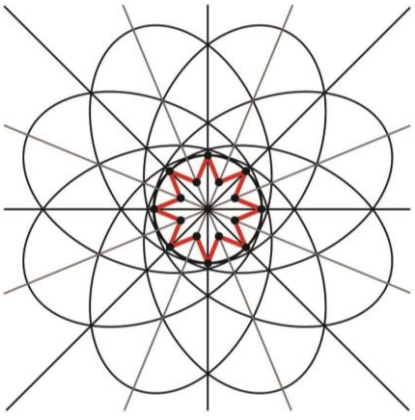
İkinci 6 kollu düzensiz yıldız oluşumu için, elips altlığın (gridin) kesişimindeki 2 nokta belirlenmiştir. Bu noktalar arasındaki uzaklık çap olacak biçimde bir çember yaratılmıştır (kural 10, alt kural 1). Bu çemberin içinde bir altıgen oluşturulmuştur (kural 10, alt kural 2). Daha sonra bu altıgenin köşe noktaları ve bu altıgene en yakın elips altlık (grid) kesişim noktaları belirlenmiştir. Elips altlık (grid) noktaları aslında

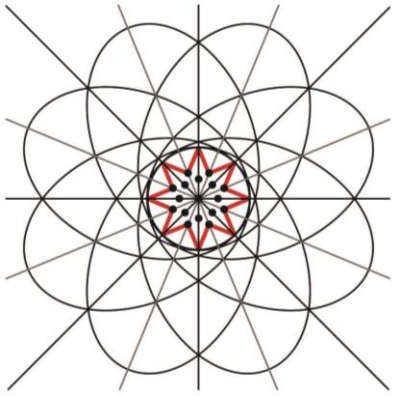
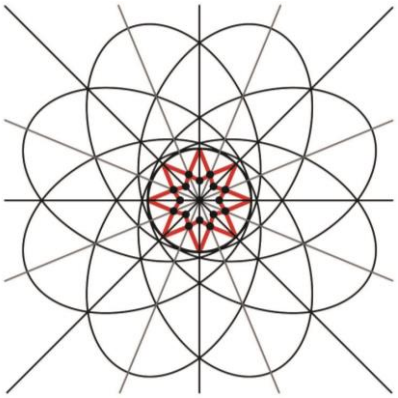
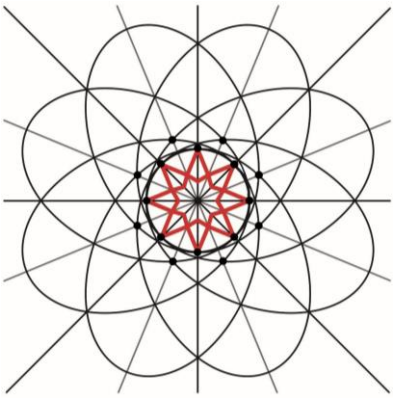
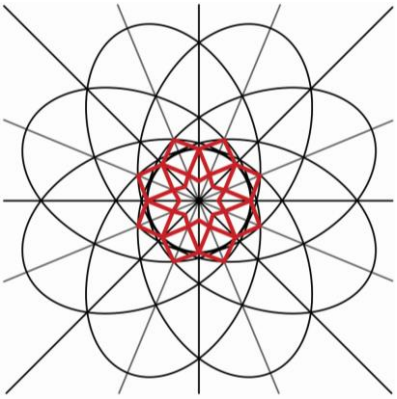
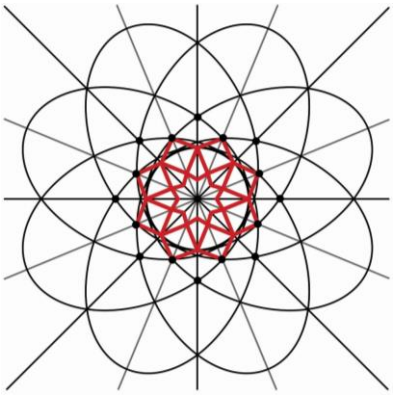
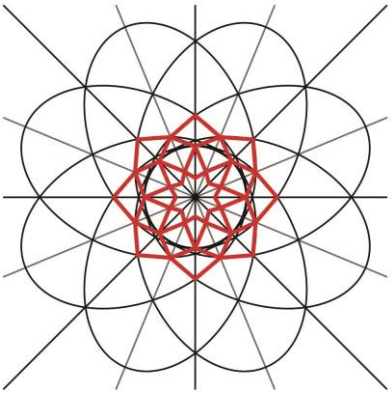
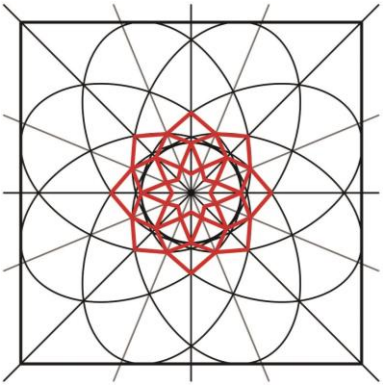
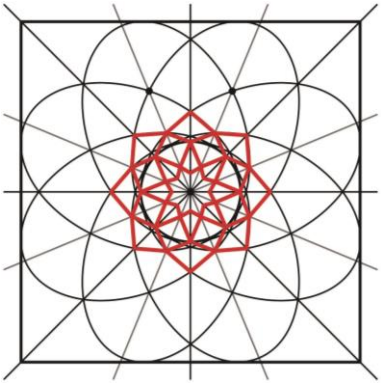
aynı zamanda birinci 6 kollu düzensiz yıldızın ve 5 kollu düzensiz yıldızların köşeleridir. İlgili noktalar arasında doğru parçaları oluşturulmuştur. Böylelikle düzensiz çokgen otomatikman ortaya çıkmıştır (kural 10, alt kural 3). Çıkan altı kollu düzensiz yıldız, (çember merkez noktası esas alınarak) 8 adet olacak biçimde, dairesel olarak çoğaltılmıştır (kural 10, alt kural 4) (**Tablo 3.4**).

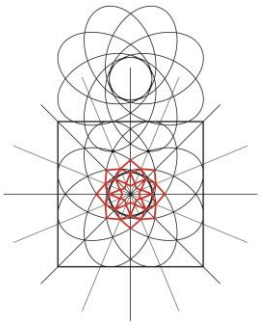
Kural 11'de, çerçeve içindeki en küçük modüldeki düzensiz yıldızların aralarında kalan boşluklarda doğru parçaları oluşturularak bademler yaratılmıştır (kural 11, alt kural 1). Bu bademler tüm dokuyu kapsayacak biçimde çoğaltılmıştır (kural 11, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

Kural 12'de, altlıklar (gridler), ve akslar silinmiştir (kural 12, alt kural 1). Dokunun yarısını da elimine edilerek mukarnas planının geometrisi elde edilmiştir (kural 12, alt kural 2) (**Tablo 3.4**).

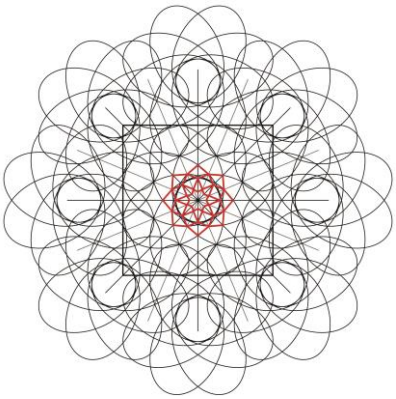
Tablo 3.4: Atik Valide Sultan Camisi mukarnasının ikinci boyutta kural tablosu

Kurallar	**Süreç**	
Kural 1 (Referans aksları belirleme)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 2 (Referans elips altlığını belirleme)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 3 (1. sıra yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2

Kural 4 (2. sıra yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 5 (3. sıra yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 6 (4. sıra yıldız oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2
Kural 7 (İkincil elips altlığının oluşumu)	 Alt kural 1	 Alt kural 2



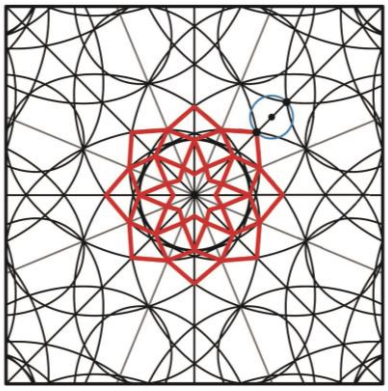
Alt kural 3



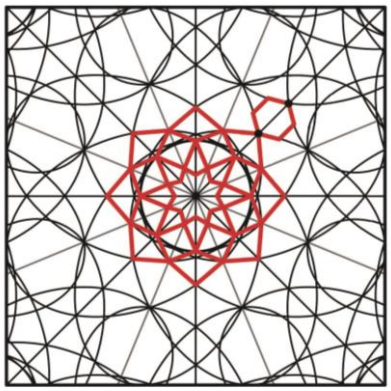
Alt kural 4

Kural 8

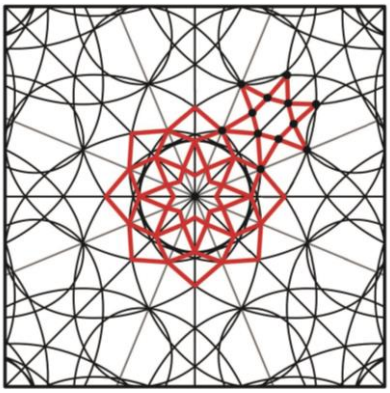
(1. düzensiz 6 kollu yıldız oluşumu)



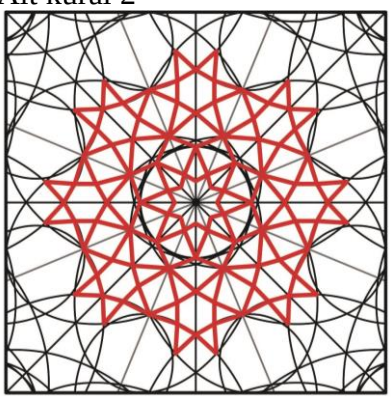
Alt kural 1



Alt kural 2



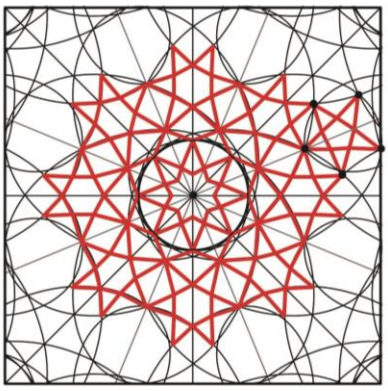
Alt kural 3



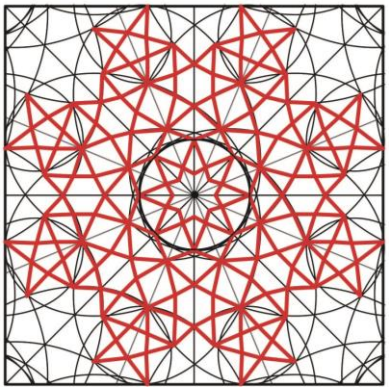
Alt kural 4

Kural 9

(Düzensiz 5 kollu yıldız oluşumu)



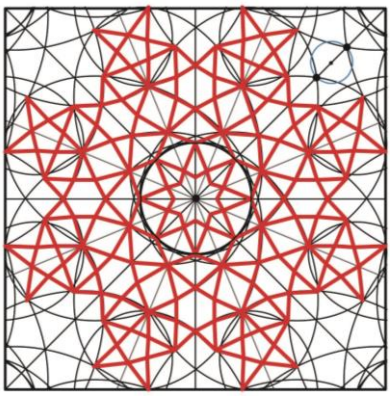
Alt kural 1



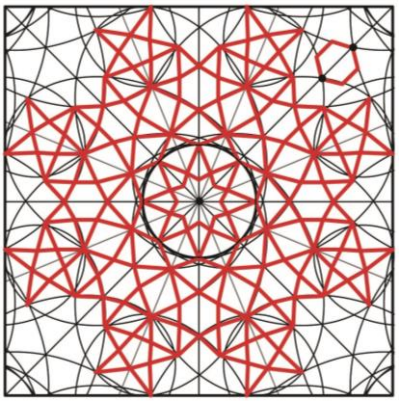
Alt kural 2

Kural 10

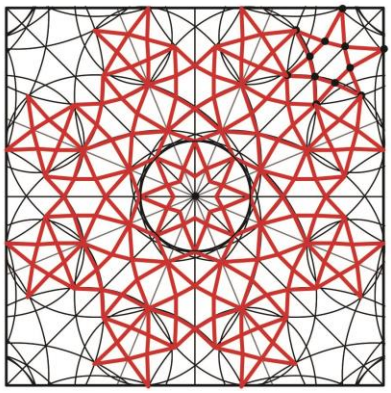
(2. düzensiz 6 kollu yıldız oluşumu)



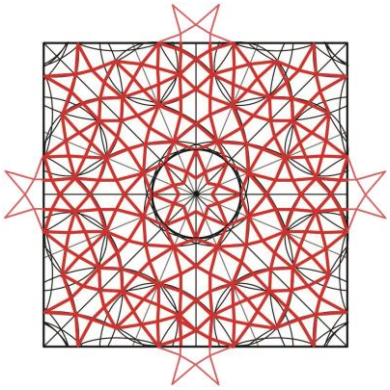
Alt kural 1



Alt kural 2



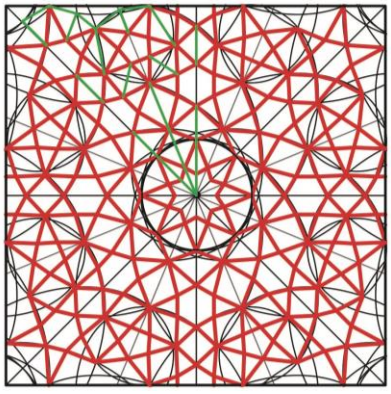
Alt kural 3



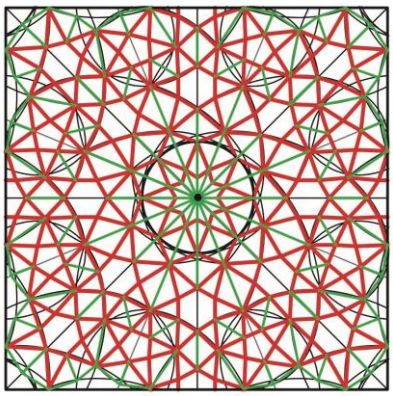
Alt kural 4

Kural 11

(Badem oluşturma)



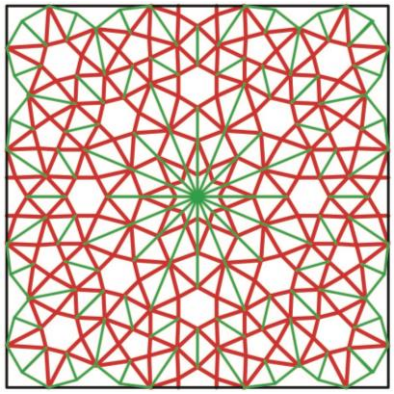
Alt kural 1



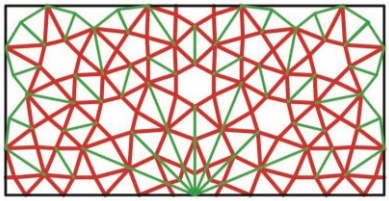
Alt kural 2

Kural 12

(Mukarnas oluşturma)



Alt kural 1



Alt kural 2

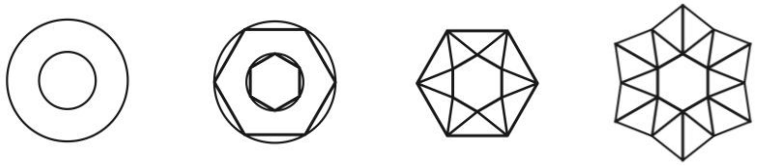
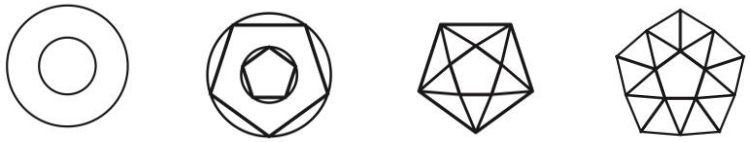
3.5.3 İspat/Sağlama

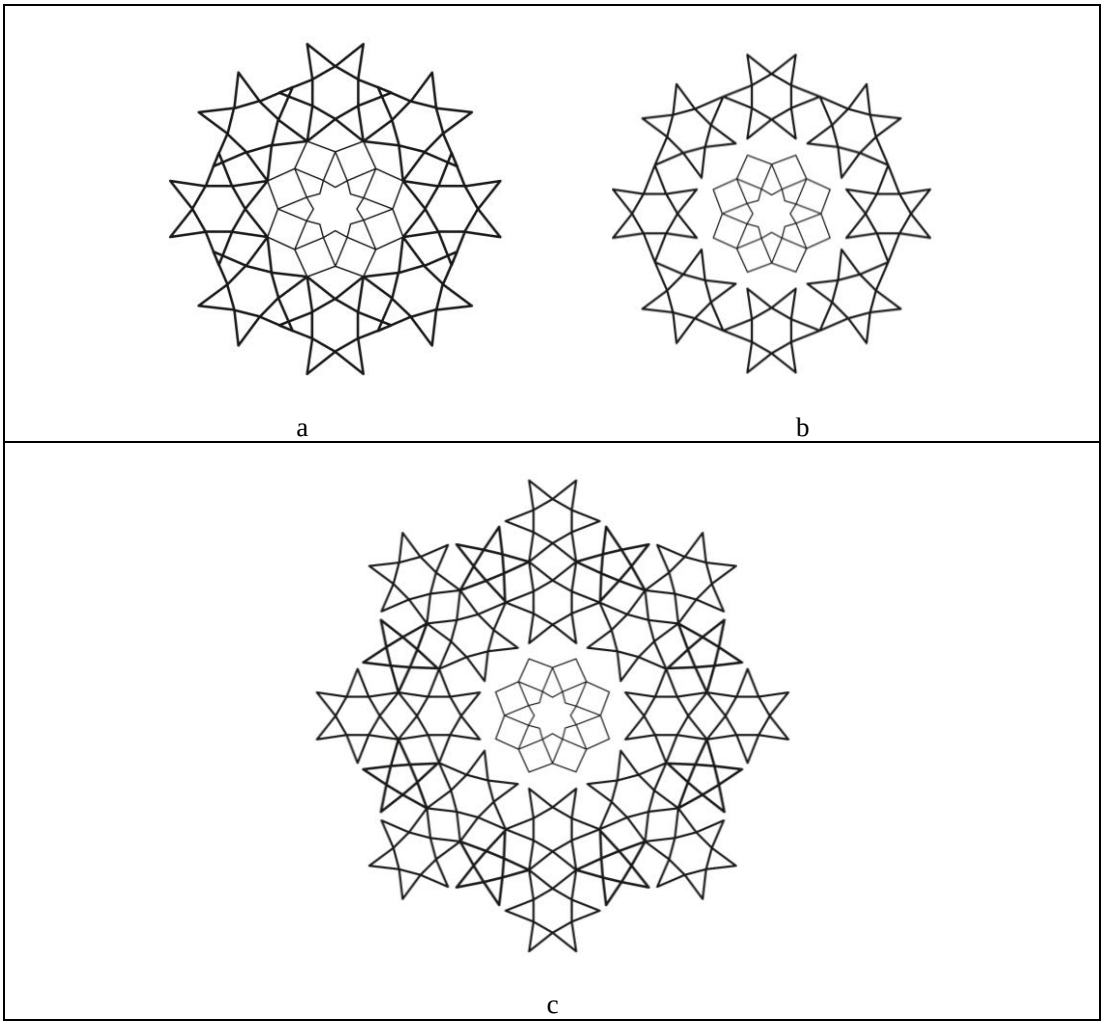
Mukarnas plan analizinde yıldızların eşit uzunlukta kollara sahip olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, birçok mukarnas planında ve İslami doku örneğinde yıldız kollarının eşit uzunlukta olduğu bilindiğinden, bu planı analiz edilen mukarnastaki eşit olmama durumunun sağlamasının da yapılması öngörülmüştür. Bu sağlama yapılırken yıldız kollarının uzunluklarının eşit olduğu farz edilmiştir. Buradaki araştırma sorusu şudur: Bu seçilen mukarnas planındaki yıldız kol uzunluklarının eşit olduğu durumda yine aynı/benzer planı ortaya çıkabilecek midir?

Bu sağlamayı yapabilmek için öncelikle düzgün yıldızlar (kol uzunlukları eşit yıldızlar) yaratılmıştır. 6 kollu yıldızı yaratmak için ilk önce 2 çember oluşturulmuş ve çemberlerin içerisine 2 altıgen yerleştirilmiştir. Altıgenlerin köşe noktaları birleştirilerek doğru parçaları oluşturulmuştur. Böylelikle 6 kollu yıldız yaratılmıştır. İstenirse badem dizilimleri, çemberlerin merkezine doğru yönlendirilerek, eklenebilir (**Tablo 3.5**). 5 kollu yıldız yaratmak için ise, 2 çember oluşturulmuş ve çemberlerin içerisine 2 beşgen yerleştirilmiştir. Beşgenlerin köşe noktaları birleştirilerek doğru parçaları oluşturulmuştur. Böylelikle 5 kollu yıldız yaratılmıştır. İstenirse badem dizilimleri, çemberlerin merkezine doğru yönlendirilerek, eklenebilir (**Tablo 3.5).**

Sağlamayı yaparken, önceki analizden elde edilen mukarnasın iç kısımdaki yıldız deseni aynen korunmuştur. Bu sağlamada, kolları eşit uzunluktaki yıldızların, her halükârda, orijinal mukarnas planını oluşturamadığı ortaya çıkmıştır. **Şekil 3.42** a'da görüldüğü gibi, 6 kollu yıldızlar, iç yıldız desenindeki bitiş noktalarına değecek biçimde yerleştirildiklerinde, dış taraftaki kolları birbirinin üstüne binmektedir. Başka bir deyişle, 6 kollu yıldızların merkeze yakın kollarının birbirine değecek biçimde yerleştirilmesi durumunda, dış tarafta kalan kolları üst üste binmektedir. Ölçek değişikliğinde de aynı sonuç çıkmakta veya plan b/c opsiyonuna dönüşmektedir (**Şekil 3.42**, b, c). Kompozisyonun bütününe bakıldığında ise, yıldızların kollarının birleşemediği ve pek çok noktada açıkta kaldıkları görülmektedir.

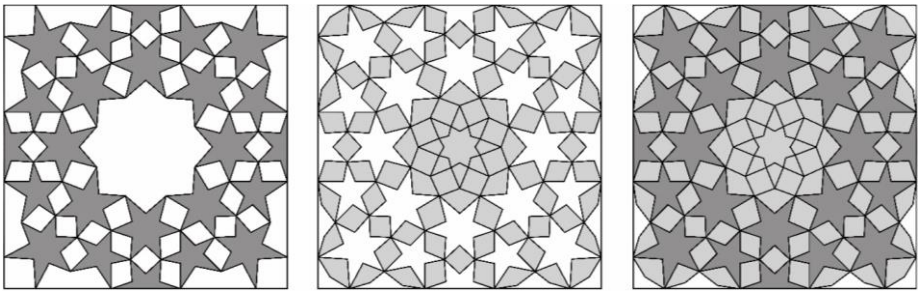
Tablo 3.5: 5 kollu düzgün yıldız ve 6 kollu düzgün yıldızın oluşumu ve kompozisyon düzeni

Yıldız tipi	Oluşum süreci
6 kollu yıldız	
5 kollu yıldız	



Şekil 3.42: 6 kollu düzgün yıldızların kol uzunluklarının eşit olduğu durumlar

Yapılan analiz sonucunda, seçilen mukarnas planında, 5 kollu düzensiz yıldız ve 6 kollu düzensiz yıldız olmak üzere 2 ana elemanın olduğu görülmektedir. Ayrıca, mukarnas plan kompozisyonunda, 5 kollu düzensiz yıldız ve 6 kollu düzensiz yıldızlar dışında kalan kısımlarda badem elemanlarının kullanıldığı görülmektedir (**Şekil 3.43**).



a b c

Şekil 3.43: Mukarnas planındaki elemanlar

a- 5 ve 6 kollu düzensiz yıldızlar
b- Bademler
c- 5 ve 6 kollu düzensiz yıldızlar ile bademler

3.6 BÖLÜM SONUCU

Şehzade Camisi ve Mihrimah Sultan Camisi'nin taç kapı mukarnas planlarının birbirlerine benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Bu camilerin yapım tarihlerinin hemen hemen aynı olduğu göz önünde bulundurulursa mukarnas tasarımcının/ustasının aynı olduğu sonucuna varılabilir.

Şehzade Camisi ve Mihrimah Sultan Camisi'nin taç kapı mukarnas planlarının iki mukarnas planının da ışınsal ızgara ve eş aralıklı örümcek ızgaradan oluşabildiği görülmüştür. Ayrıca bu yıldız kollarının bu örümcek ızgaraya göre şekillendiği görülmüştür. Bu sebeple yıldız kollarının bazı durumlarda eşit olmadığı söylenebilir. Şehzade Camisi'nin mukarnas planı tablosunda (**Tablo 3.2**) gösterildiği gibi düzensiz 5 kollu yıldız (**Tablo 3.2**, kural 7), düzensiz 10 kollu yıldız (**Tablo 3.2**, kural 9) ve düzensiz 4 kollu yıldız (**Tablo 3.2**, kural 12) sıraları bulunmaktadır. Aynı şekilde Mihrimah Sultan Camisi'nin mukarnas planı tablosunda (**Tablo 3.3**) da gösterildiği gibi, düzensiz 5 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 5), düzensiz 4 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 6), düzensiz 7 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 7), düzensiz 6 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 9), düzensiz 8 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 10) sıraları bulunmaktadır. Bu

iki camideki eş kollu yıldızlara bakıldığında, Şehzade Camisi'nde 1., 2., 3. ve 4. sıra orijin etrafındaki onikigen yıldızlar (**Tablo 3.2**'de kural 2, kural 3, kural 4 ve kural 5), 4 kollu yıldız (**Tablo 3.2**, kural 6) ve çevre çemberlerdeki birinci sıra 10 kollu yıldız (**Tablo 3.2**, kural 10) eş kolludur. Mihrimah Sultan Camisi'nde ise, 1., 2. ve 3. sıra onikigen yıldız sıraları (**Tablo 3.3**'de kural 2, kural 3 ve kural 4) ve 5 kollu yıldız (**Tablo 3.3**, kural 8) eş kollu yıldızlardır.

Süleymaniye Camisi taç kapı mukarnas planının Şehzade Camisi ve Mihrimah Sultan Camisi taç kapı mukarnas planlarından çok daha farklı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu planın, kare ızgara sisteminden üretildiği görülmüştür. Süleymaniye Camisi mukarnas planındaki yıldızlardan 5 kollu yıldız kollarının ölçüsünün birbirine eşit olmamakla beraber, yakın olduğu, diğer yıldızlardaki kolların eşit olduğu sonucuna varılmıştır. Süleymaniye Camisi'nin mukarnas planı tablosunda (**Tablo 3.1**) oluşturulan yıldızlardan 8 kollu yıldız (**Tablo 3.1**, kural 5), 3 kollu kısmi yıldız (**Tablo 3.1**, kural 8) ve 4 kollu yıldızların (**Tablo 3.1**, kural 9) eş kollu olduğu gösterilmiştir. 5 kollu yıldızlarda kesin yargıya varılabilmesi için sağlamalarıyla beraber daha detaylı analiz yapılması gerekir.

Atik Valide Camisi mukarnas planında ise, diğer üç cami mukarnas planından farklıdır. Ancak ışınsal ızgara sistemine oturma potansiyeli bakımından Şehzade Camisi ve Mihrimah Sultan Camisi mukarnas planlarına benzemektedir.

Yapılan ilk analizlerde Atik Valide Camisi taç kapı mukarnasının yıldız kollarının eşit olmadığı açıkça görülmüştür. İspat kısmında da görülebileceği gibi 6 kollu yıldızların (**Şekil 3.42**) kollarının birbirine eşit olma imkanı yoktur. Bu mukarnas planı kurallı olarak oluşturulmasında elips bir altlık kullanılmış olabileceği ortaya konmuştur.

Atik Valide Camisi'nin mukarnas planı tablosunda (**Tablo 3.4**) da gösterildiği gibi düzensiz kollu yıldızlar aşama aşama plan geometrisine eklenmiştir. Bunlar 1. sıradaki düzensiz 6 kollu yıldız (**Tablo 3.4**, kural 8), düzensiz 5 kollu yıldız (**Tablo 3.4**, kural 9) ve 2. sıradaki düzensiz 6 kollu yıldız (**Tablo 3.4**, kural 10) sıralarıdır.

Ayrıca Atik Valide Camisi taç kapı mukarnas planında örümcek ızgara sistemine oturtularak bir denenmesi de ileriki çalışmalarda yapılabilir.

4. ATİK VALİDE CAMİ TAÇ KAPI MUKARNASININ ÜÇ BOYUTLU ANALİZİ

4.1 YÖNTEM

Planının oranlı bir şekilde oluşturulması için, seçilen mukarnas FARO Focus 3D lazer tarama cihazı ile taranmıştır (**Ek 8**). Lazer tarama sonucunda elde edilen fotoğraflar Scene programında birleştirilerek mukarnasın 3 boyutlu nokta bulut (*point cloud*) modeli (**Şekil 3.38**) oluşturulmuştur. Mukarnasın plan görünümü, Scene programında ortofotosu (*orthophoto*) elde edilmiştir. (**Şekil 4.1**).

İlk önce, elde edilen imaj üzerinden Autocad programı kullanılarak mukarnas planı genel hatlarıyla çizilmiştir. Daha sonra bu planın, biçim gramerleri (Stiny ve Gips, 1972; Duarte, 2005; Stiny, 2006; Ozkar, 2011; Knight ve Stiny, 2015) teorisi çerçevesinde, matematiksel kurallara dayalı olarak sistematik bir şekilde oluşturulması üzerinde çalışılmıştır. Biçim gramerleri teorisine göre, biçim sıralı kurallar dizisi ile oluşturulur.

Diğer mukarnas planı analizlerinden farklı olarak, altlık olarak kullanılacak sistem, mukarnas planının sınırları kadar düşünülmemiştir. Tam tersine mukarnas planının büyük bir altlığın belirli bir parçası olduğu öngörülerek sistematik analiz yapılmıştır.

Bu sistem oluşturulurken, eş zamanlı olarak, plandaki yıldızların kollarının eşit olması durumunda nasıl bir desen çıktığı da araştırılmıştır. Bu yöntem, ortaya atılan hipotezin doğruluğunu kanıtlamak için, bir çeşit sağlama olmuştur. Çünkü İslami dokulardaki yıldızların kollarının uzunlukları genellikle eşit olduğundan, yazar bu mukarnastaki yıldızların kollarının da eşit uzunlukta olabileceği ihtimaline, araştırma süresince yönlenmişlerdir. Ama yapılan analizlerden yıldızların kollarının eşit olma ihtimalinin olmadığı ortaya çıkmıştır.

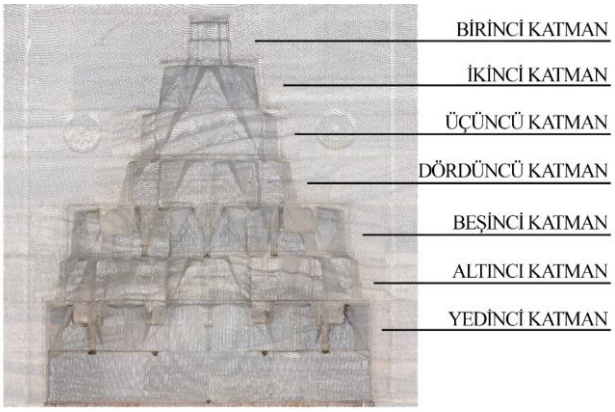
Analizler sonucu ortaya çıkarılan mukarnas planı kullanılarak parametrik mukarnas yapılmıştır. Parametrik mukarnas yaparken Grasshopper programı kullanılmıştır. Grasshopper bir görsel programlama dilidir. Mukarnas planı çıkartılırken kullanılan biçim gramerleri teorisi, parametrik mukarnas oluşturulurken de kullanılmıştır. Kodlama sürecini basitleştirecek birkaç ayrıntı dışında, aynı prensipler bu sefer kod olarak yazılmıştır. Ayrıntılar sonraki bölümlerde verilmiştir.



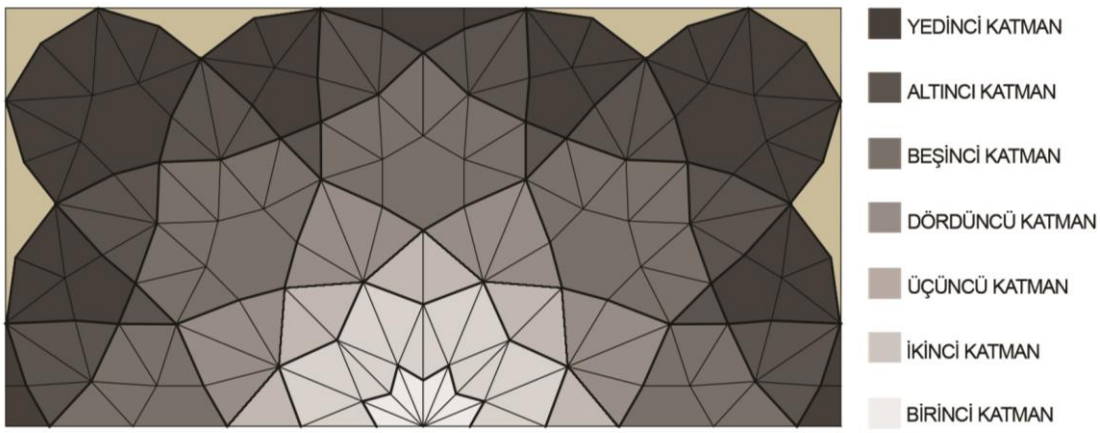
Şekil 4.1: Lazer tarama sonucunda elde edilen mukarnasın plan görünümü

4.2 KATMANLAR

Lazer tarama sonucu, Scene programı kullanılarak elde edilen resimden de anlaşılacağı gibi mukarnas 7 katmandan oluşmaktadır (**Şekil 4.2**). **Şekil 4.3**' te, mukarnas plan şeması üzerinde katmanlar, renk tonları ile ayrıştırılmıştır. Plandaki 5 kollu düzensiz yıldızlar ve 6 kollu düzensiz yıldızlar, katmanlar arasında yükseldikçe, kolları farklı katmanlara denk gelmektedir. Her yıldızda 2 katman geçişinin olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2: Ön görünüşten katman gösterimi



Şekil 4.3: Mukarnas planında katman gösterimi

4.3 HÜCRELER

Mukarnas farklı tipte hücreler bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. Bu çalışmada incelenen mukarnasın hücrelerini ele aldığımızda 6 tip oldukları görülmektedir (**Tablo 4.1**, a, b, c, d, e, f). Ana ve ara elemanların yanında 2 tipte süsleme tabanı olarak nitelendirebileceğimiz beşgen ve onikigen geometrisinde çokgenler bulunmaktadır (**Tablo 4.1**, g, h). Mukarnas planındaki yıldız merkezlerine gelen bu kısımlarda detaylı süslemeler (**Şekil 4.4**) bulunmaktadır.



Şekil 4.4: Atik Valide Camisi mukarnasında süsleme detayı

Kompozisyondaki görevlerine göre, mukarnasın hücrelerinden bazıları ana eleman olarak, bazıları ise ara eleman olarak tanımlanabilir. Mukarnası oluşturan ana

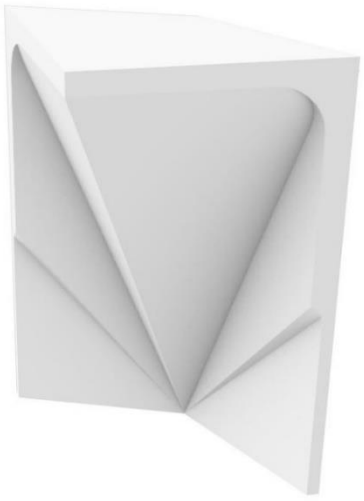
elemanları; üçgen çatılı yüzeysel hücreler (**Tablo 4.1**, d), deltoit çatılı yüzeysel hücreler (**Tablo 4.1**, e) ve badem hücreleri (**Tablo 4.1**, f) olarak tanımlayabiliriz. Bu ana elemanlar, iki kademelidirler. Örneğin, üçgen çatılı yüzeysel hücrenin (**Tablo 4.1**, d) ve deltoit çatılı yüzeysel hücrenin (**Tablo 4.1**, e) gövdesinin orta kısmında bir kademelenme, badem hücresinde (**Tablo 4.1**, f) ise alt kısımdan kanatlara doğru ışınsal bir kademelenme yapılmaktadır. Üçgen çatılı yüzeysel hücre (**Tablo 4.1**, d), yüzeysel bir gövdeye sahipken, deltoit çatılı yüzeysel hücre (**Tablo 4.1**, e), oluklu bir gövdeye (çift kanatlı) sahiptir. İncelenen mukarnasta, üçgen çatılı yüzeysel hücre ana elemanı 5 kollu yıldız kollarında, deltoit çatılı yüzeysel hücre ana elemanı ise 6 kollu yıldız kollarında kullanılmaktadır.

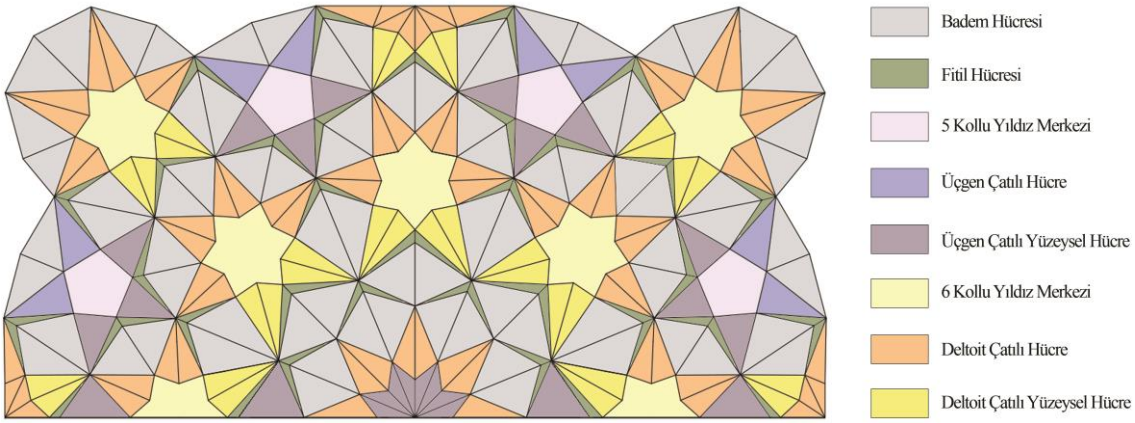
Mukarnası oluşturan ara elemanları ise, üçgen çatılı hücreler (**Tablo 4.1**, a), deltoit çatılı hücreler (**Tablo 4.1**, b) ve fitil hücreleri (**Tablo 4.1**, c) olarak tanımlayabiliriz. Ara elemanlar, ana elemanların birleşimlerde bağlayıcı görevi üstlenen elemanlardır. Ana elemanlarda olduğu gibi, üçgen çatılı hücre ara elemanı 5 kollu yıldız kollarında, deltoit çatılı hücre ara elemanı ise 6 kollu yıldız kollarında kullanılmıştır.

Mukarnas planındaki 3 ana eleman, 3 ara eleman ve 2 süsleme tabanı elemanlarının nasıl bir kompozisyon oluşturduğunu anlamak için, bu elemanlar plan üzerinde çeşitli renklerle tanımlanmıştır. Plan üzerinde renklendirilmiş eleman çalışmasında görülebileceği gibi, mukarnas planındaki üçgen çatılı ve üçgen çatılı yüzeysel hücreler, 5 kollu yıldızı oluşturmaktadır. Deltoit çatılı hücre ve deltoit çatılı yüzeysel hücrenin ise 6 kollu yıldızı oluşturduğu belirlenmiştir (**Şekil 4.5**).

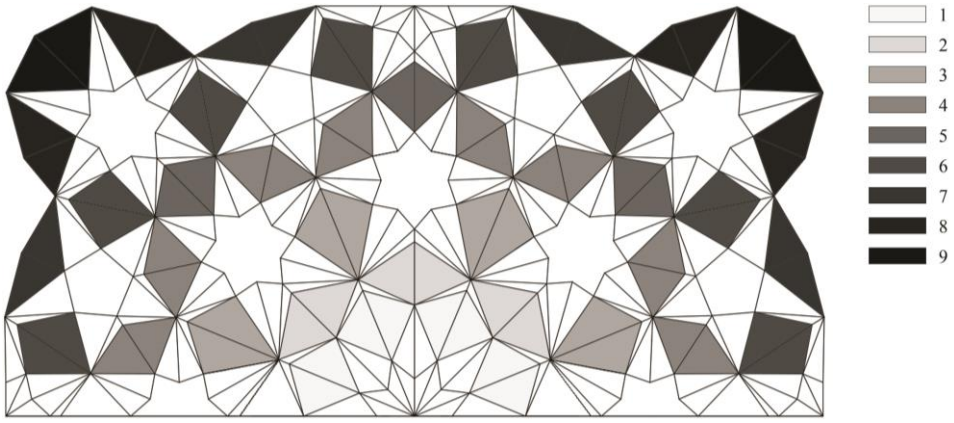
Mukarnas planı incelendiğinde hücrelerin kendi içinde boyutsal olarak farklılaştığı görülmüştür. Ana elemanlardan olan badem hücresinin 9 farklı boyutta olduğu (**Şekil 4.6**), deltoit çatılı yüzeysel hücrenin 2 farklı boyutta olduğu (**Şekil 4.7**), üçgen çatılı yüzeysel hücrenin 5 farklı boyutta olduğu belirlenmiştir (**Şekil 4.8**). Ara elemanlardan fitil hücresinin 6 farklı boyutta olduğu (**Şekil 4.9**), deltoit çatılı hücrenin 6 farklı boyutta olduğu (**Şekil 4.10**), üçgen çatılı hücrenin tek boyutta olduğu belirlenmiştir (**Şekil 4.11**). Ayrıca süsleme tabanlarından 5 kollu yıldız merkezinin tek boyutta olduğu (**Şekil 4.12**), 6 kollu yıldız merkezinin tek boyutta olduğu belirlenmiştir (**Şekil 4.13**).

Tablo 4.1: Atik Valide Sultan Camisi taç kapısında bulunan mukarnastaki üç boyutlu elemanlar

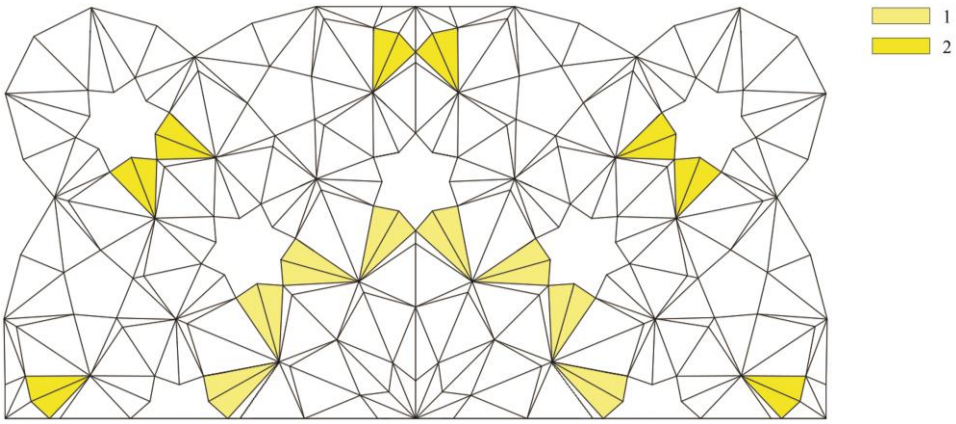
Ara Eleman			
	a Üçgen çatılı hücre	b Deltoit çatılı hücre	c Fitil hücresi
Ana Eleman			
	d Üçgen çatılı yüzeysel hücre	e Deltoit çatılı yüzeysel hücre	f Badem hücresi
Süs tabanları			
	g 5 kollu yıldız merkezi	h 6 kollu yıldız merkezi	



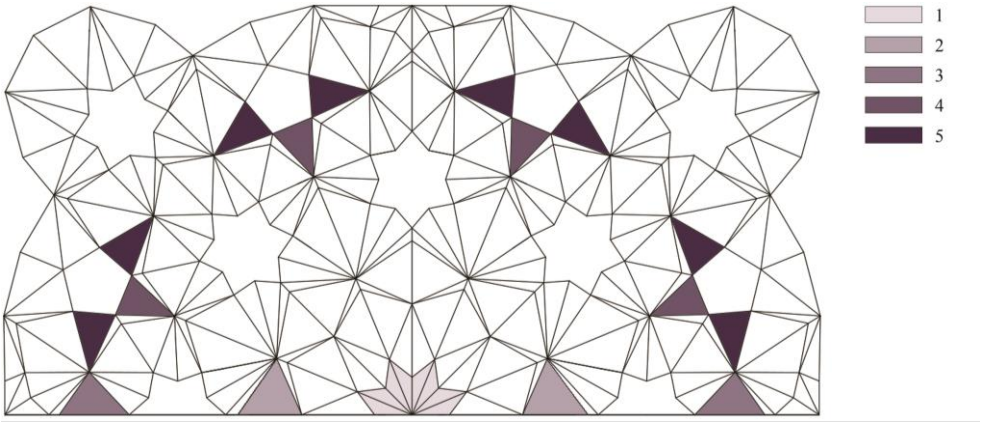
Şekil 4.5: Mukarnas planındaki hücrelerin kompozisyonu



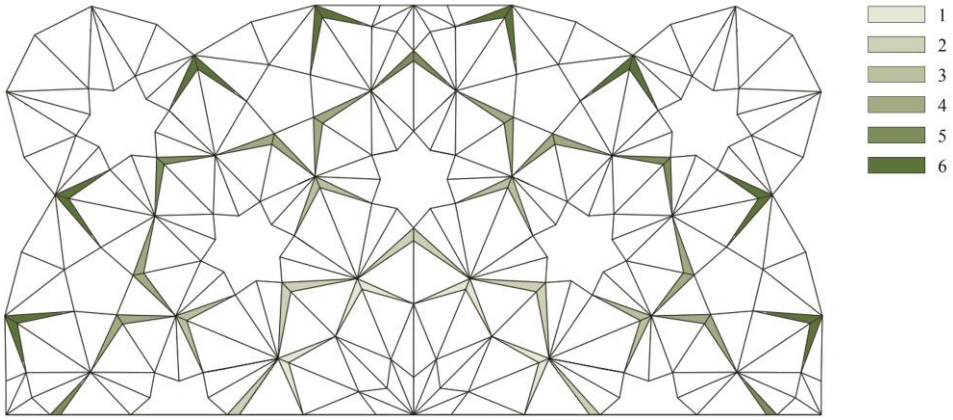
Şekil 4.6: Farklı boyutlardaki badem hücresi



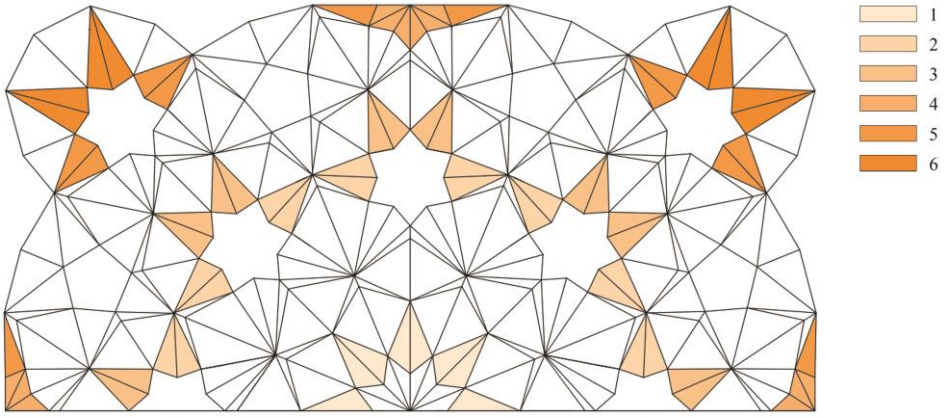
Şekil 4.7: Farklı boyutlardaki deltoit çatılı yüzeysel hücre (6 kollu yıldızda)



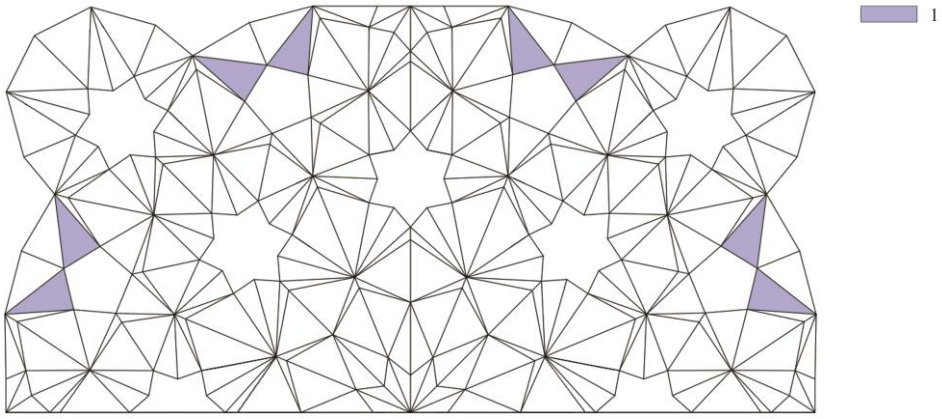
Şekil 4.8: Farklı boyutlardaki üçgen çatılı yüzeysel hücre (5 kollu yıldızda) (2 ve 3 nolu renklendirilmiş hücreler, Badem hücresi gibi görünsede 3 boyuttan bakıldığında üçgen çatılı yüzeysel hücre olduğu belirlenmiştir.)



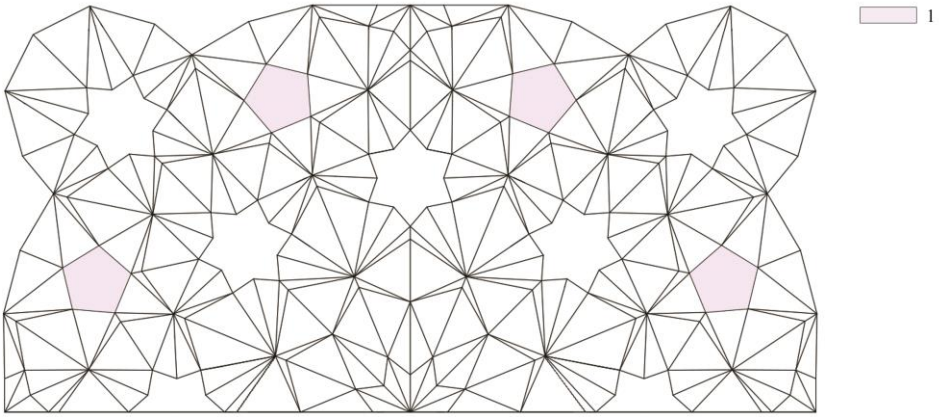
Şekil 4.9: Farklı boyutlardaki fitil hücresi



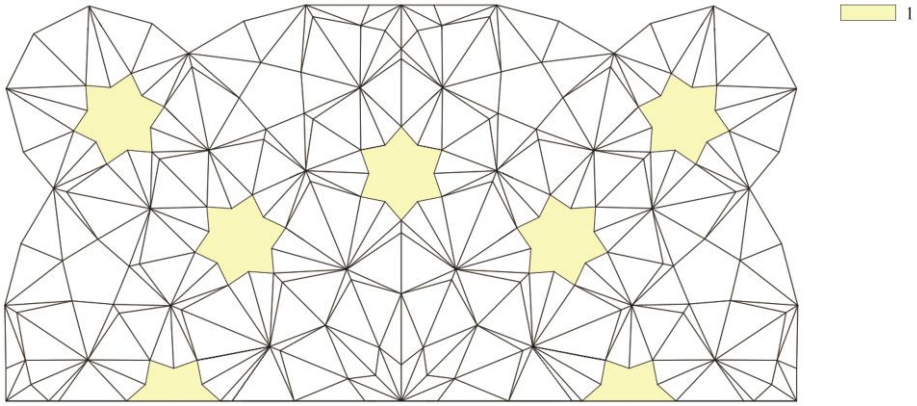
Şekil 4.10: Farklı boyutlardaki deltoit çatılı hücre (6 kollu yıldızda)



Şekil 4.11: Üçgen çatılı hücre (5 kollu yıldızda)



Şekil 4.12: 5 kollu yıldız merkezi



Şekil 4.13: 6 kollu yıldız merkezi

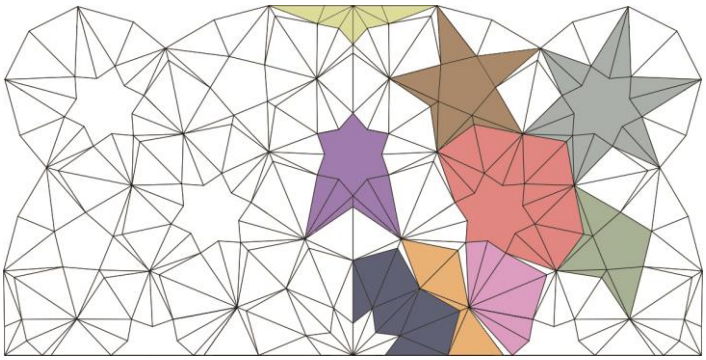
4.4 HÜCRE BİRLEŞİMLERİ

Mukarnas, birçok hücrenin/elemanın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu hücreler birbirleriyle yaptığı birleşimlerle anlam kazanmaktadırlar ve dolayısıyla bütüncül bir form oluşturmaktadırlar. Bu yüzden, bu bölümde, önceki bölümde incelenen mukarnas hücrelerinin yaptığı birleşimler ele alınmıştır.

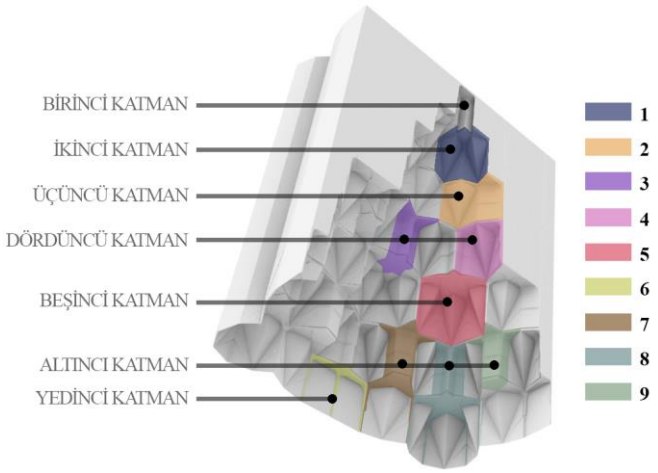
Atik Valide Camisi taç kapı mukarnasının 2. katmanından 1 tane, 3. katmanından 1 tane, 4. katmanından 2 tane, 5. katmanından 1 tane, 6. katmanından 3 tane ve 7. katmanından 1 tane hücre birleşimi ele alınmıştır. Ele alınan hücre birleşimleri, farklı renkler kullanılarak izdüşüm planı üzerinde (**Şekil 4.14**) ve 3 boyutlu modelinde (**Şekil 4.15**) gösterilmiştir. Ele alınan hücre birleşimleri aşağıdaki gibidir.

- 2. katmanda, badem hücresi, deltoit çatılı hücre ve yarım deltoit çatılı hücre birleşimi ile elde edilen kompozisyon örneklendirilmiştir (**Tablo 4.2**, A).
- 3. katmanda, badem hücresi, fitil hücresi ve üçgen çatılı yüzeysel hücre birleşimi ile elde edilen kompozisyon örneklendirilmiştir (**Tablo 4.2**, B).
- 4. katmandaki ilk örnekte, deltoit çatılı yüzeysel hücre, fitil hücresi ve süsleme tabanı (6 kollu yıldız merkezi) birleşimi oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, C). Başka bir deyişle, 6 kollu yıldızın 2 kolu ile merkezinin birleşiminin kompozisyonu oluşturulmuştur.
- 4. katmandaki ikinci örnek ise, badem hücresi ve deltoit çatılı yüzeysel hücre birleşimi ile elde edilen kompozisyon örneklendirilmiştir (**Tablo 4.2**, D).
- 5. katmanda, deltoit çatılı hücreler, badem hücresi ve süsleme tabanının (6 kollu yıldız merkezinin) birleşimi oluşturulmuştur. Başka bir deyişle, 6 kollu yıldızın, 4 kolu ile merkezinin birleşiminin kompozisyonu oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, E).
- 6. katmandaki birinci örnekte, üçgen çatılı yüzeysel hücreler, fitil hücreleri, üçgen çatılı hücreler ve süsleme tabanı (5 kollu yıldız merkezinin) birleşimi oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, F). Başka bir deyişle, 5 kollu yıldız kompozisyonunun oluşumu örneklendirilmiştir.

- 6. katmandaki ikinci örnekte, deltoit çatılı yüzeysel hücreler, fitil hücresi, deltoit çatılı hücreler ve süsleme tabanı (6 kollu yıldız merkezi) birleşimi oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, G). Başka bir deyişle, 6 kollu yıldız kompozisyonu örneklendirilmiştir.
- 6. katmandaki üçüncü örnekte ise, üçgen çatılı yüzeysel hücreler, fitil hücreleri ve süsleme tabanı (5 kollu yıldız merkezi) birleşimi oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, H). Başka bir deyişle, 5 kollu yıldızın 3 kolu ile merkezinin birleşiminin kompozisyonu örneklendirilmiştir.
- 7. katmanda, deltoit çatılı hücreler ve yarım deltoit çatılı hücrelerin birleşimi oluşturulmuştur (**Tablo 4.2**, I). Başka bir deyişle, 6 kollu yıldızın kısmi oluşumu örneklendirilmiştir.

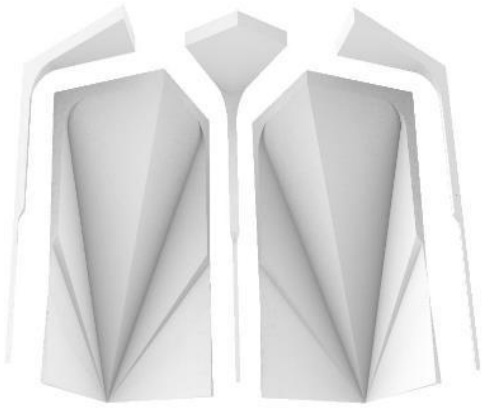
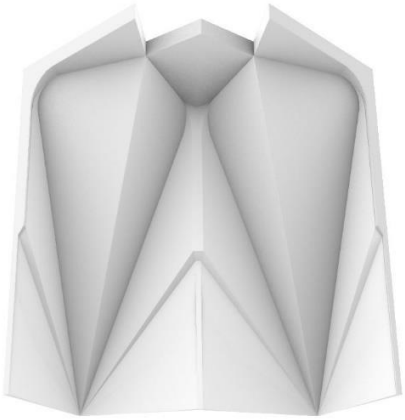
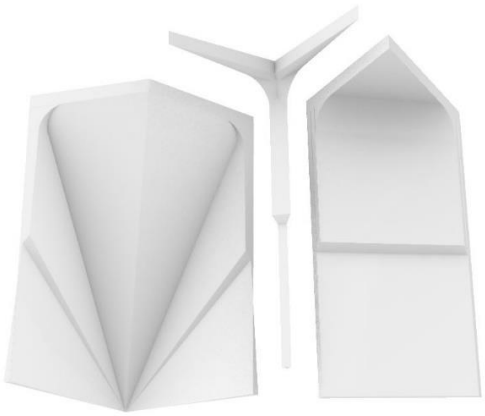
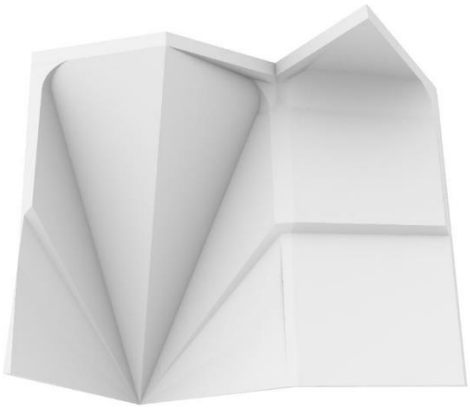


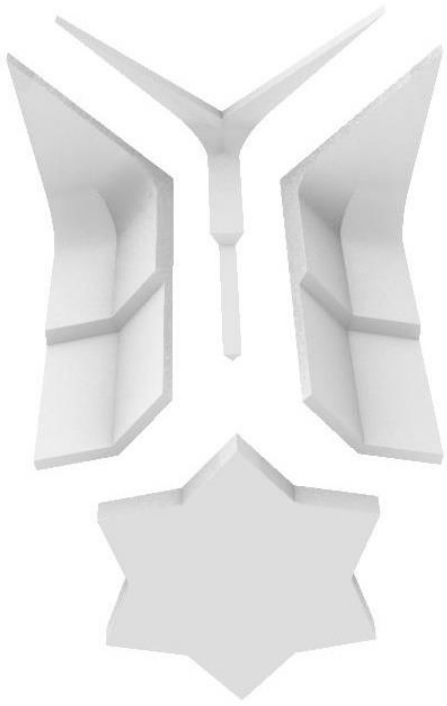
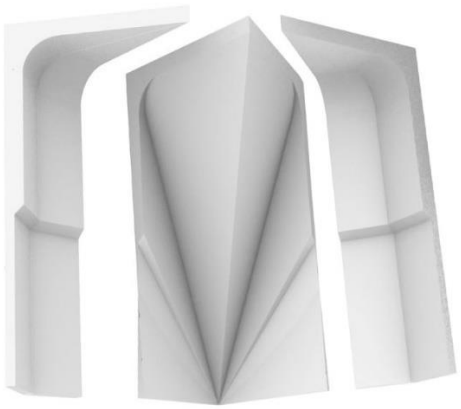
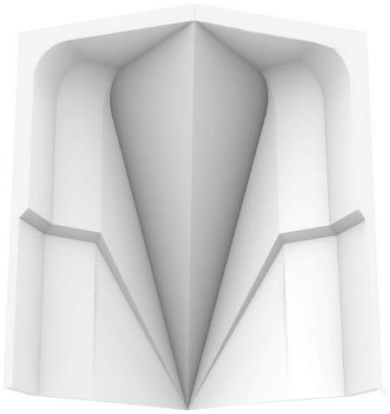
Şekil 4.14: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının izdüşüm planı üzerinde gösterimi

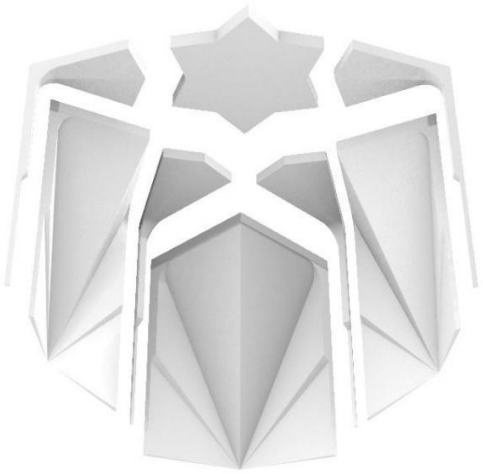
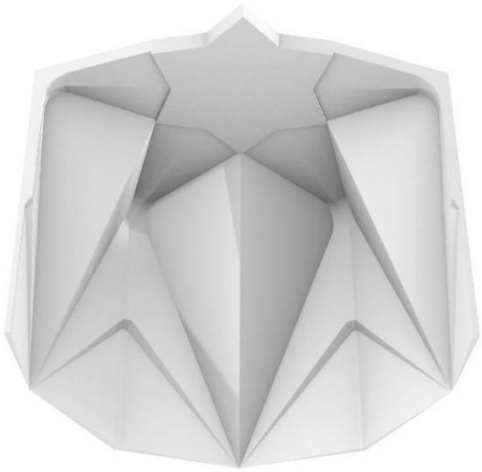
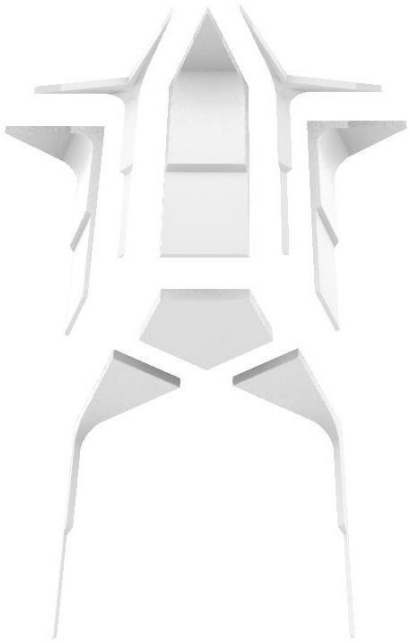


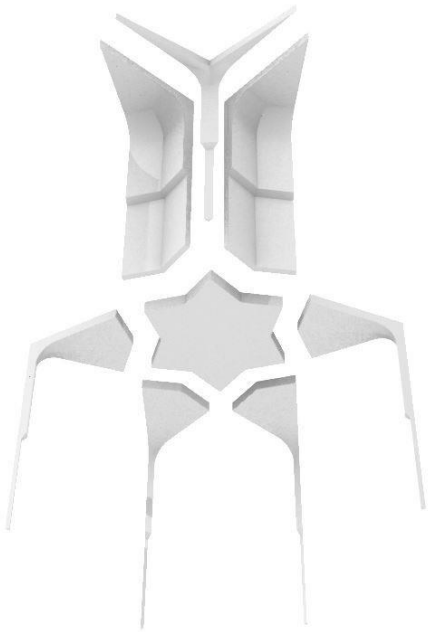
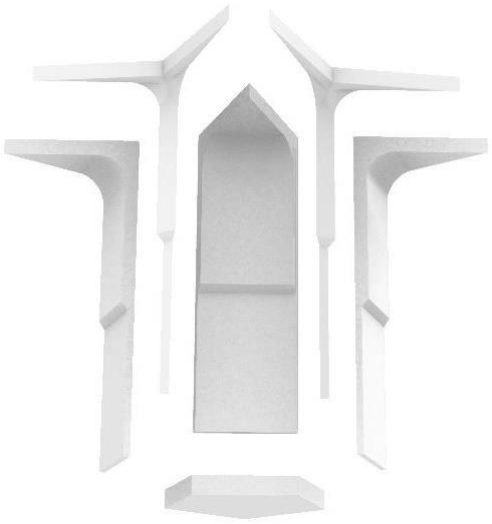
Şekil 4.15: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının üç boyutlu model üzerinde gösterimi

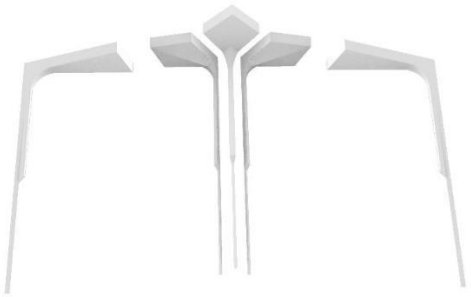
Tablo 4.2: Farklı hücre birleşim kompozisyonlarının detayları

No	Ayrışmış Hali	Kompozisyon Hali
A	**a**	**b**
2. Katmanda	 Badem hücreleri (2 tane) + deltoit çatılı hücre (ortadaki) + yarım deltoit çatılı hücreler (2 tane)	
B	**a**	**b**
3. Katmanda	 Badem hücresi (solda) + fitil hücresi (ortada) + üçgen çatılı yüzeysel hücre (sağda)	

C **4. Katmanda**	**a**  Deltoit çatılı yüzeysel hücreler (2 tane) + fitil hücresi (ortada) + süsleme tabanı (6 kollu yıldız merkezi)	**b**  6 kollu yıldızın, 2 kolunun ve merkezinin kompozisyonu
D **4. Katmanda**	**a**  Badem hücresi (ortada) + deltoit çatılı yüzeysel hücreler (2 tane)	**b** 

E **5. Katmanda**	a  Deltoit çatılı hücreler (4 tane) + badem hücresi (3 tane) + süsleme tabanı (6 kollu yıldız merkezi)	b  6 kollu yıldızın, 4 kolunun ve merkezinin kompozisyonu
F **6. Katmanda**	**a**  Üçgen çatılı yüzeysel hücreler (3 tane) + fitil hücreleri (2 tane) + üçgen çatılı hücreler (2 tane) + süsleme tabanı (5 kollu yıldız merkezi)	**b**  5 kollu yıldız kompozisyonu

G **6. Katmanda**	**a**  Deltoit çatılı yüzeysel hücreler (2 tane) + fitil hücresi + deltoit çatılı hücreler (4 tane) + süsleme tabanı (6 kollu yıldız merkezi)	**b**  6 kollu yıldız kompozisyonu
H **6. Katmanda**	**a**  Üçgen çatılı yüzeysel hücreler (3 tane) + fitil hücreleri (2 tane) + süsleme tabanı (5 kollu yıldız merkezi)	**b**  5 kollu yıldızın, 3 kolunun ve merkezinin kompozisyonu

I	a	b
7. Katmanda		
	Deltoit çatılı hücreler (3 tane) + Yarım deltoit çatılı hücreler (2 tane)	Kısmi oluşan 6 kollu yıldız

4.5 BÖLÜM SONUCU

Seçilen mukarnasın üç boyutlu analizleri elde edilmiştir. Mukarnasın fiziki analizleri doğrultusunda, 7 katmandan oluşan mukarnas, bünyesinde 3 ana eleman (deltoit çatılı yüzeysel hücre, üçgen çatılı yüzeysel hücre, badem hücresi), 3 ara eleman (deltoit çatılı hücre, üçgen çatılı hücre ve fitil hücresi) ve 2 süsleme tabanı (5 kollu yıldız merkezi ve 6 kollu yıldız merkezi) bulundurmaktadır. Hücreler, plan üzerinde belli orana/nizama sahip olup, kendi içlerinde oranları farklılaşmaktadır. Çeşitlilik gösteren hücrelerin kompozisyonu ile oluşturulan yıldızlara bakıldığında iki katman arası geçişlerin olduğu gözlemlenmiştir. Ara elemanların ana elemanları bağlayıcı görevi gördüğü görülmüştür.

5. PARAMETRİK MUKARNAS MODEL ÖNERİSİ

5.1 BİRİNCİ MODEL ÖNERİSİ

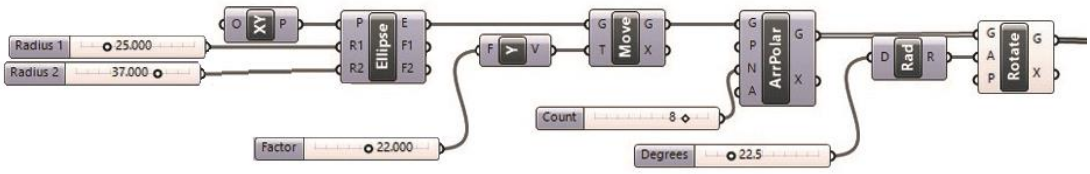
5.1.1 Yöntem

Mukarnaslar, yukarıdaki bölümde belirtildiği gibi, genellikle 3 boyutlu elemanların (örneğin fitil elemanı, badem elemanı, çeşitli yıldız kolları elemanları) bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu parametrik birinci model önerisindeki mukarnas oluşturma çalışmasında, mukarnas hücreleri sadeleştirilerek, bir yüzey olarak düşünülmüştür. Ayrıca mukarnastaki yıldız kollarından, katmanlar arası geçişlere denk gelen kollardaki eğrisel yüzeyler kapsam dışı bırakılmıştır. Bu eğrisel yüzeyler sadeleştirilerek modellenmiştir. Bunun yanı sıra, mukarnastaki süslemeler de modellemede kapsam dışı bırakılmıştır.

Seçilen mukarnası parametrize etmek için, yöntem olarak, öncelikle Grasshopper'da plan iki boyutlu olarak hazırlanmıştır. Bu plan hazırlanırken **Tablo 3.4**'deki kurallar uygulanmıştır. Sadece farklı olarak, daha kısa bir kod oluşturmak amacıyla, kompozisyonun dörtte biri oluşturulmuştur. Ve son şekile ulaşması için ayna görüntü alma (*mirror*) işlemi uygulanmıştır (**Tablo 5.1**).

5.1.2 Parametrik Mukarnas Planının Oluşturulması

Mukarnas planına ilk önce **Tablo 3.4** (Kural 2)'deki gibi elips kuralı ile başlanmıştır. XY düzlemindeki "ellipse" komutuna iki yarıçap değerleri girilmiştir. Elipsi istenilen değer kadar Y ekseninde, orijin noktasına "move" komutu ile taşınmıştır. "arraypolar" komutu ile orijin etrafında dairesel olarak 8 adet olacak şekilde çoğaltılmıştır. Elipsin orijin noktasından 22.5 derece "rotate" komutu ile döndürülmüştür. Böylelikle, istenilen birincil elips altlığın (**Şekil 5.1**) oluşturulmuştur.



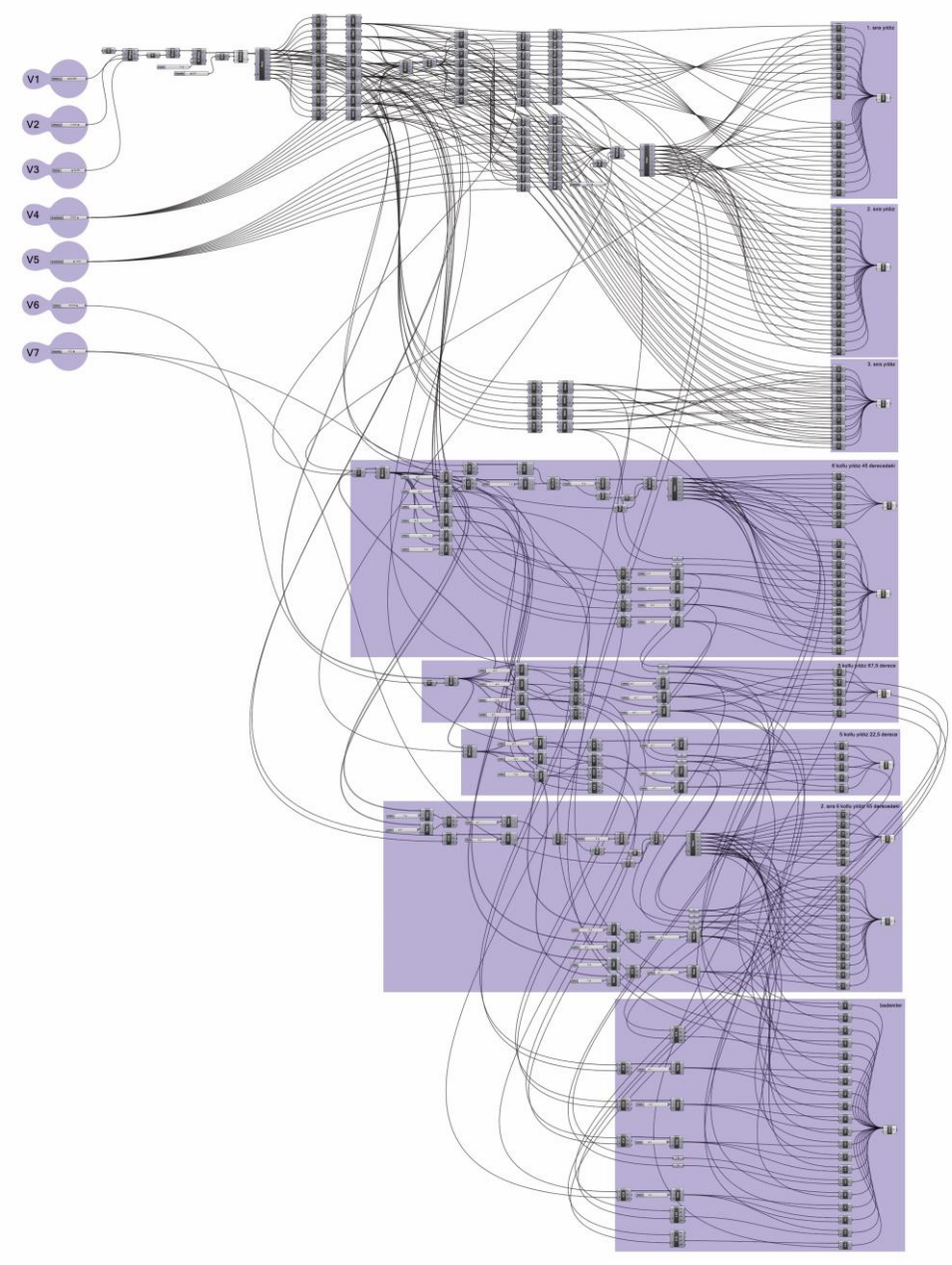
Şekil 5.1: Mukarnas planının Grasshopper programındaki elips altlığının kodlaması

Şekil 5.2'te Atik Valide Sultan Camisi giriş mukarnasının Grasshopper programındaki ikinci boyutta, XY düzleminde, oluşturulan betiği bulunmaktadır. Bu betikte oluşturulan noktalar, elips altlıklarının kesişim noktalarından elde edilerek oluşturulmuştur.

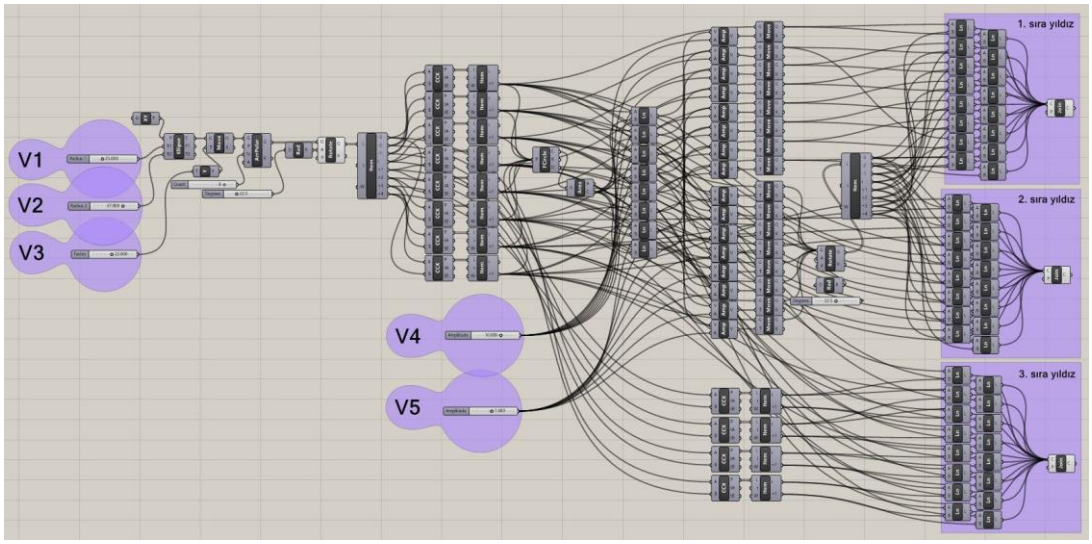
Tablo 5.1'de görülebileceği gibi 1., 2. ve 3. sıra yıldızlar oluşturulmuştur (**Şekil 5.3**) (**Tablo 5.1**, a). Daha sonra 6 kollu düzensiz yıldız oluşturulmuştur. Böylelikle yıldız, parametrize olabilmektedir (**Şekil 5.4**) (**Tablo 5.1**, b). Daha sonra 6 kollu düzensiz yıldızın kollarındaki noktalarla ilişkili olarak 5 kollu düzensiz yıldız oluşturulmuştur (**Şekil 5.5**) (**Tablo 5.1**, c). Aynı şekilde, 6 kollu düzensiz yıldızın kollarındaki noktalarla ilişkili olarak bir diğer 5 kollu düzensiz yıldız oluşturulmuştur (**Şekil 5.6**) (**Tablo 5.1,** d). İkinci sıra 6 kollu düzensiz yıldızı oluştururken, önceki oluşturulan diğer yıldızların ilgili noktaları esas alınmıştır. Böylelikle bir yıldız parametrize edildiğinde, bu yıldızla ilişkili başka yıldızlar varsa, onlar da eş zamanlı olarak parametrize olmaktadır (**Şekil 5.7**) (**Tablo 5.1**, e).

Şekil 5.9'teki betikte ise, artık ikinci boyuttan üçüncü boyuta geçilerek 1. model önerisi oluşturulmuştur. Bu modeli oluştururken **Şekil 5.2**'teki elde edilen noktalar ilgili yüksekliklere taşınarak, XYZ düzleminde, oluşturulmuştur. İlgili yüksekliğe taşınan noktalar dışında yeni noktalar da elde edilmiştir. Bu noktalar arasında "4 point surface" komutu ile yüzey tanımlanmıştır. Hacimsel olarak yüzey tanımlanması gereken yerlere ise, ilk oluşturulan yüzey, mukarnasın Z eksenindeki bütün mukarnas elemanları için sabit tutulan üst sınıra "move" ile taşınmıştır. Hacimsel yüzey tanımlanması gereken elemandaki yüzey ve üst sınıra taşınan yüzey ile arasına "loft" komutu ile istenilen hacimsel yüzey oluşturulmuştur. Örnek olarak bir kademenin üçüncü boyuttaki betiği **Şekil 5.8**'de verilmiştir. Diğer kademelerde aynı kodlama yöntemi ile oluşturulmuştur.

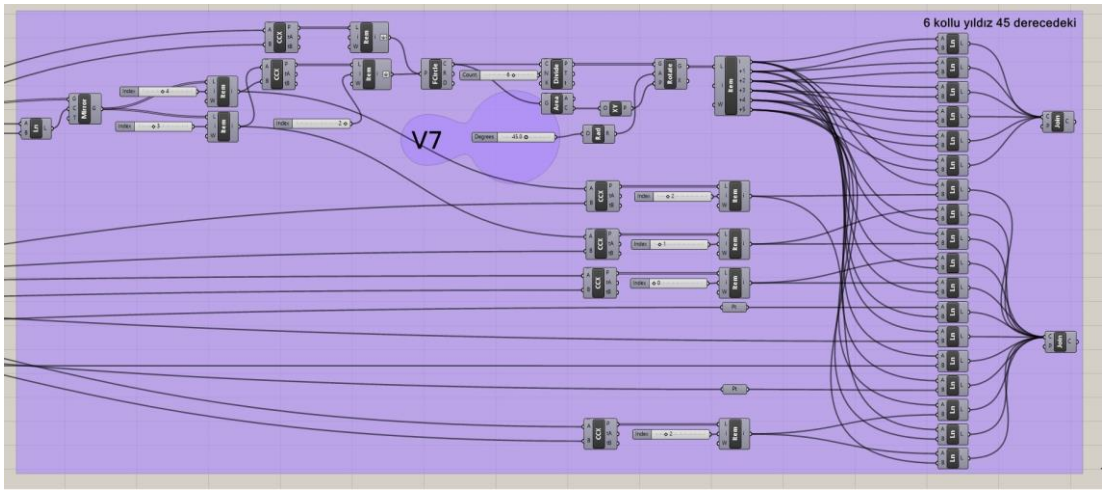
Yıldızların bulunduğu mukarnas geometrisinin dörtte bir dilimlik kısmının kenarlarında kalan düzensiz 6 kollu yarım yıldızlar, bulunduğu kademelerde oluşturularak ve üçüncü boyuttaki betikte yer almışlardır (**Tablo 5.1**, f). Daha sonra, şeklin sınırları belirlenmiş ve bademler oluşturulmuştur **(Tablo 5.1**, g, h). Son olarak, aks ve altlık saklanmış, yaratılan dokunun ayna görüntüsü "mirror" alınmıştır (**Tablo 5.1**, i). Böylelikle iki aşamada, 2 ve 3 boyutta, mukarnas planı oluşturulmuştur.



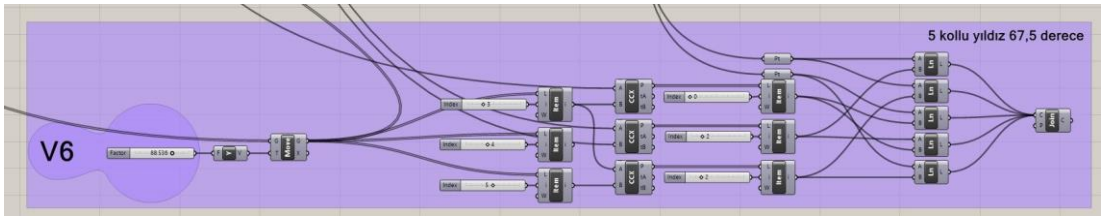
Şekil 5.2: Mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamalarının iki boyutta betiği **Tablo 5.1**'deki a, b, c, d ve e)



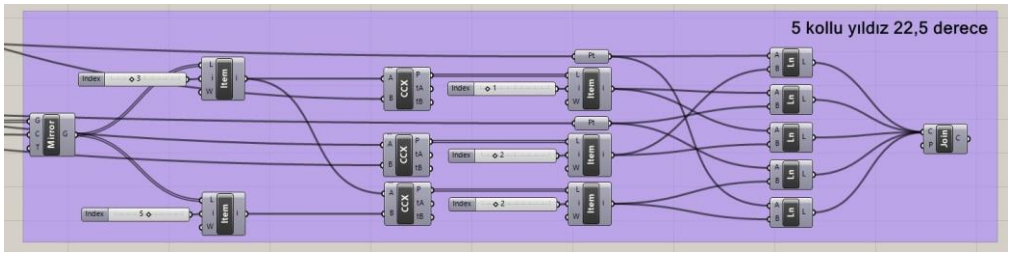
Şekil 5.3: 1. sıra yıldız, 2. sıra yıldız ve 3. sıra yıldızın 2 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**, a)



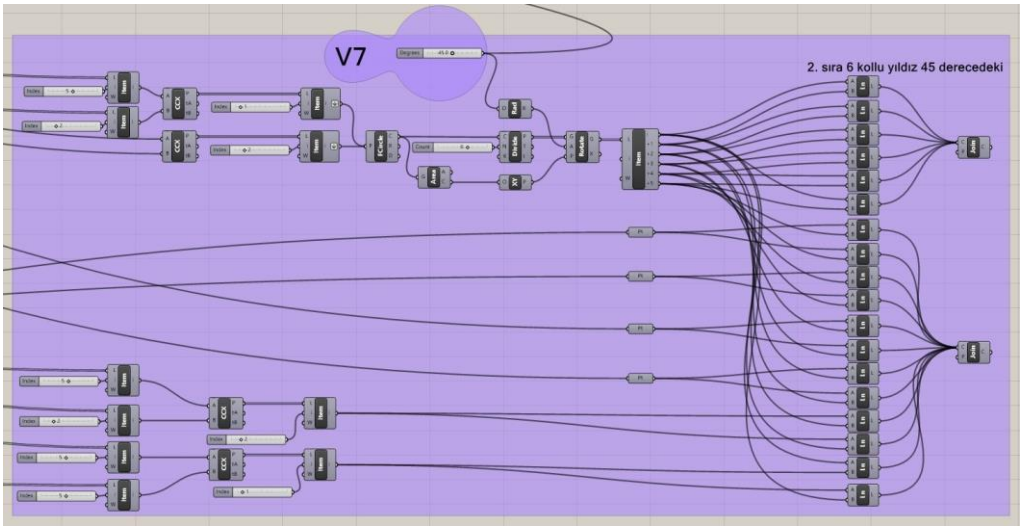
Şekil 5.4: 1. sıra 6 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**, b)



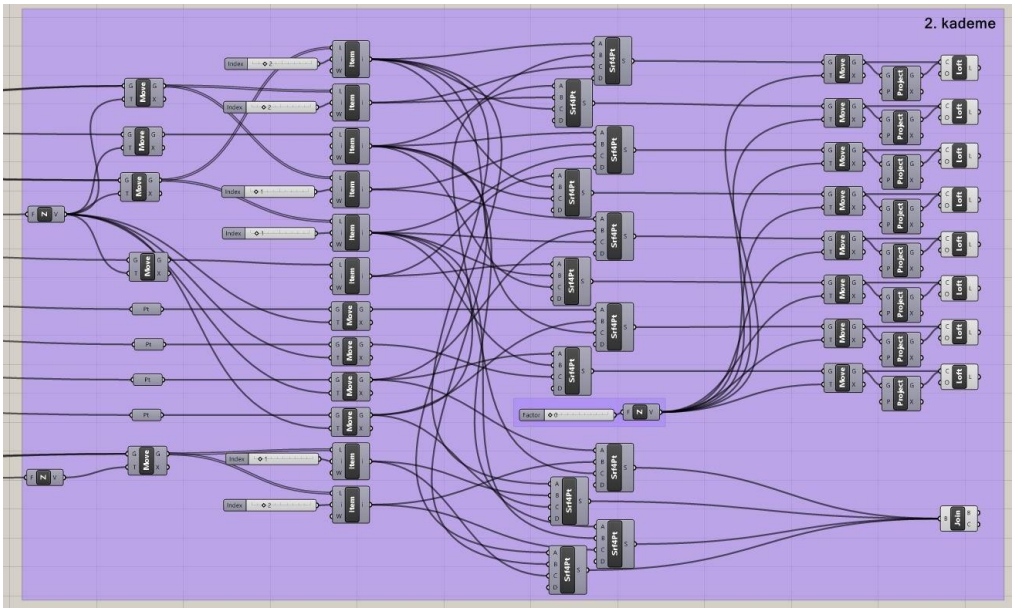
Şekil 5.5: 67.5 derecedeki 5 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**, c)



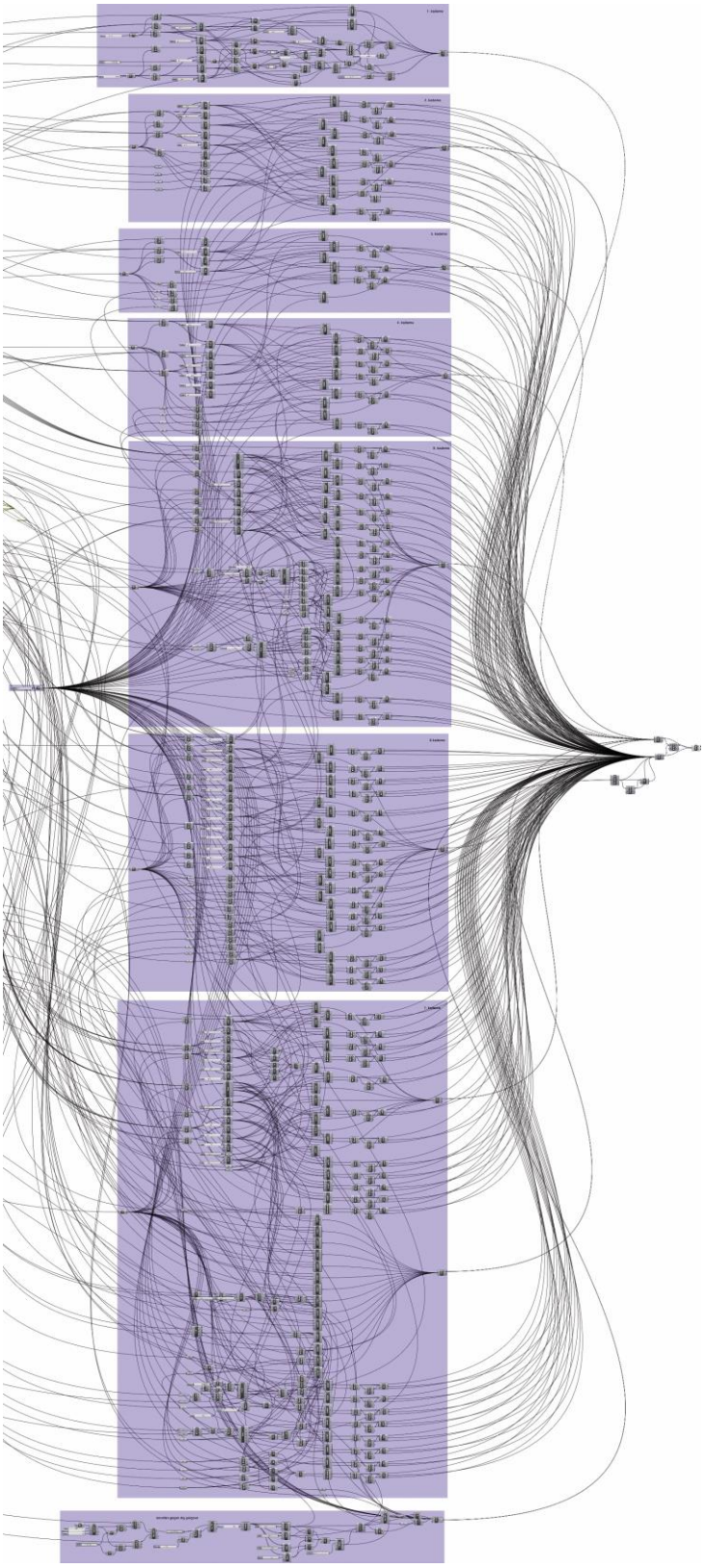
Şekil 5.6: 22.5 derecedeki 5 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**, d)



Şekil 5.7: 2. sıra 6 kollu yıldızın 2 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**, e)

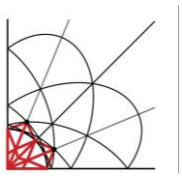
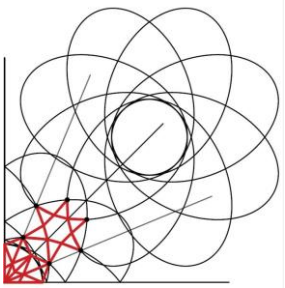
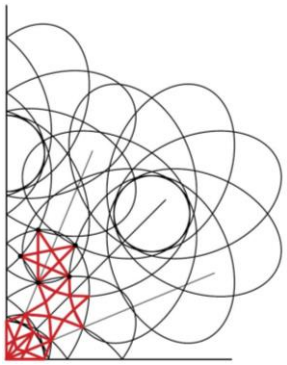
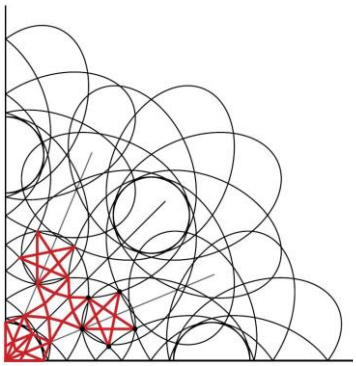
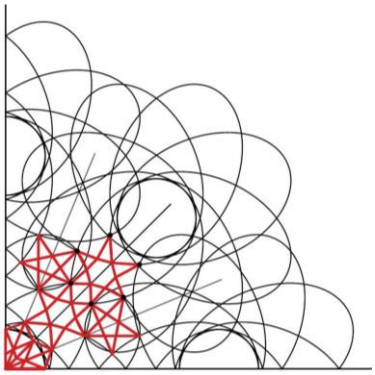
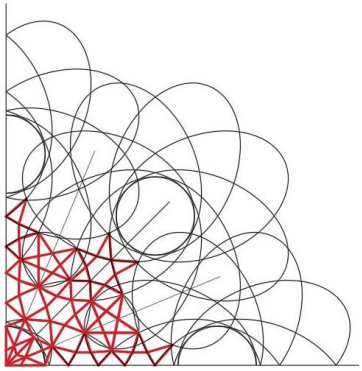
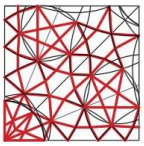
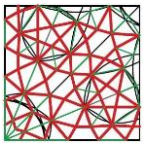
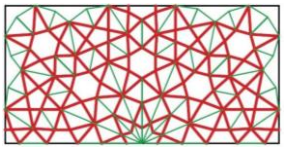


Şekil 5.8: 2. kademenin üçüncü boyutlu betiği



Şekil 5.9: Mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamalarının 3 boyutlu betiği (**Tablo 5.1**'daki f, g, h ve i)

Tablo 5.1: Atik Valide Camisi giriş taç kapı mukarnas planının Grasshopper programında yapılış aşamaları

 **a** 1. ve 2. 3. yıldız oluşturulması	 **b** 1. sıra 6 kollu düzensiz yıldız oluşturulması	 **c** 5 kollu düzensiz yıldız oluşturulması
 **d** İkinci 5 kollu düzensiz yıldız oluşturulması	 **e** 2. sıra 6 kollu düzensiz yıldız oluşturulması	 **f** Kenarlarda kalan yarım 6 kollu düzensiz yıldızların oluşturulması
 **g** Şekil sınırlandırması	 **h** Badem oluşturulması	 **i** Aks ile altlığın saklanması ve ayna görüntüsü alınması (mirror) ile şeklin tamamının elde edilmesi

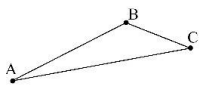
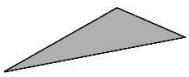
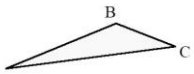
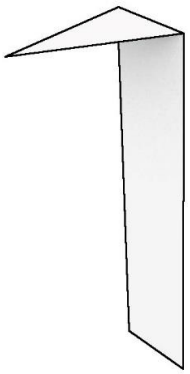
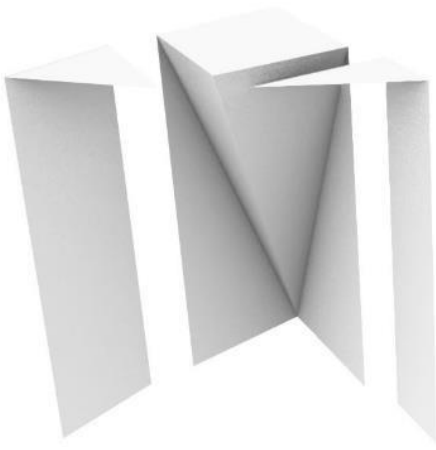
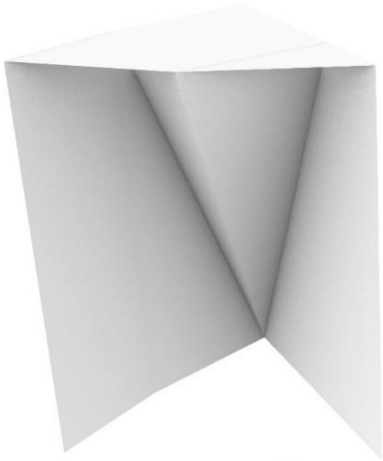
5.1.3 Parametrik Mukarnas Hücrelerinin Oluşturulması

Tablo 5.2'de birinci model önerisindeki mukarnasın üç boyutlu halini yaratmak için kullanılan yöntem, üçgen çatılı yüzeysel hücresi üzerinden örneklendirilmiştir. Öncelikle, mukarnas plan çizimindeki kesişim noktalarından yararlanılıp, Z ekseninde ilgili yüksekliklere taşınmıştır. A noktası, B noktası ve C

noktası ile 3 tepe noktası belirlenmiştir (**Tablo 5.2**, a). Sonrasında, bu noktaları birbirine bağlayan çizgiler oluşturulup, bu çizgiler ile bir yüzey elde edilmiştir (**Tablo 5.2**, b). Daha sonra, D noktası ve E noktası eklenmiştir. Z ekseni üzerindeki yüzey oluşturabilmek için B-C-D-E noktaları arasında yüzey tanımlanarak üçgen çatılı yüzeysel hücre elde edilmiştir (**Tablo 5.2**, d).

Plan düzlemindeki noktalar sadece Z ekseninde ilgili noktalara taşınarak 1. model elde edilmiştir. Böylelikle model 3. boyutta parametrize olabilmektedir. Üçgen çatılı yüzeysel hücrenin, mukarnastaki hücre kompozisyonunda birleşmemiş hali **Tablo 5.2** (e)'de ve kompozisyonun birleştirilmiş hali **Tablo 5.2** (f)'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Üçgen çatılı yüzeysel hücrenin oluşum aşamaları ve ilgili kompozisyonu

<table>
<tr><td colspan="4">Hücrenin Oluşum Aşamaları</td></tr>
<tr><td>a

</td><td>b
</td><td>c

</td><td>d
</td></tr>
<tr><td colspan="4">Hücrelerin Kompozisyon Hali
(2 üçgen çatılı yüzeysel hücrenin bir badem hücresi ile birleşiminin kompozisyonu)</td></tr>
<tr><td colspan="2">e
</td><td colspan="2">f
</td></tr>
</table>

5.1.4 Parametrizasyon

İki boyutta mukarnas planının parametrizeleştirilmesi sürecinde 7 değişken vardır. Bunlar; birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı (D1), birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı (D2), Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı (D3), 2. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı (birinci katman) (D4), 2. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı (birinci katman) (D5), İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı (D6), 6 kollu düzensiz yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı (D7)'dır. Değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri belirlenirken, mukarnas planının bozulmadığı/parçalanmadığı maksimum değer aralığı göz önünde bulundurulmuştur (**Tablo 5.3**). Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnasın oranlarını veren değişken değerleri kombinasyonu ise **Tablo 5.4**'de verilmiştir.

Bunun yanı sıra, ikinci boyuttaki plandaki değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri de **Tablo 5.5**' da verilmiştir. Ayrıca, elips altlığa bağlı olan değişkenlerde, elips altlığın nasıl arka planda parametrize olduğu, yeşil renk ile, belirtilmiştir. Örneğin 1 nolu parametrizeleştirme sürecinde D1 değerinin 28 ve 32 olduğu (diğer değişken değerleri sabit tutularak) 2 farklı mukarnas oluşumu gösterilmiştir. 2 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D2 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri, 3 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D3 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri, 4 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D4 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri, 5 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D5 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri, 6 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D6 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri, 7 nolu parametrizeleştirme sürecinde 2 farklı D7 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri verilmiştir. Bu örneklerde sadece mukarnas planıyla ilgili değişkenler değiştirilmektedir. Ancak **Tablo 5.5**'da görülebileceği gibi, iki boyutlu plan parametrize edildiğinde, dolaylı olarak, mukarnasın 3 boyutlu hali de değişmektedir.

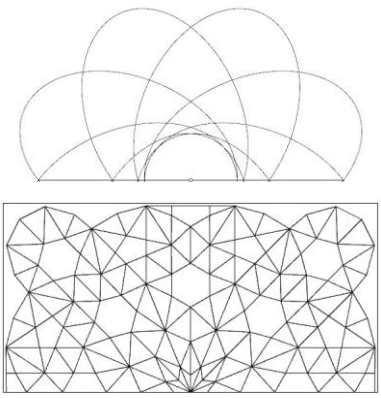
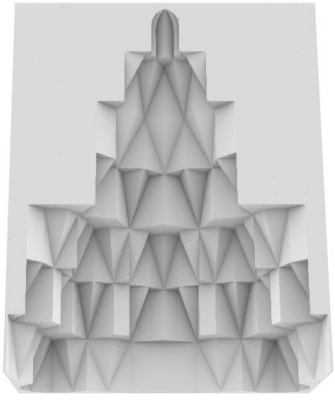
Üçüncü boyutta mukarnas planının parametrizeleştirilmesi sürecinde 7 değişken vardır. Bunlar; 7. katmanın yüksekliğinin değer aralığı (D8), 6. katmanın

yüksekliğinin değer aralığı (D9), 5. katmanın yüksekliğinin değer aralığı (D10), 4. katmanın yüksekliğinin değer aralığı (D11), 3. katmanın yüksekliğinin değer aralığı (D12), 2. katmanın yüksekliğinin değer aralığı (D13), 1. katmanda, kubbede bulunan yayın eğriliğinin değer aralığıdır (D14) (**Tablo 5.3**). Bu değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri de **Tablo 5.6'**de verilmiştir. Örneğin 8 nolu parametrizeleştirme sürecinde D8 değerinin 0 olduğu, 6 olduğu ve 14 olduğu (diğer değişken değerleri sabit tutularak) 3 farklı mukarnas oluşumu gösterilmiştir.

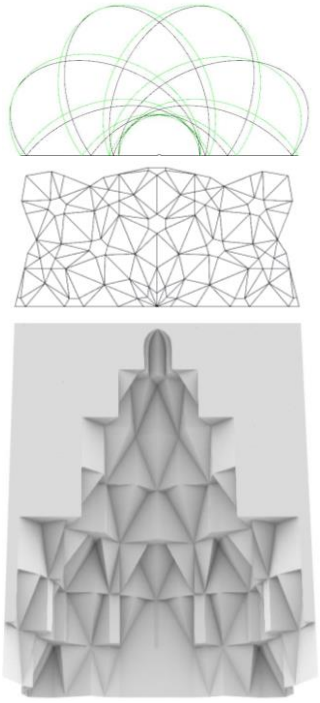
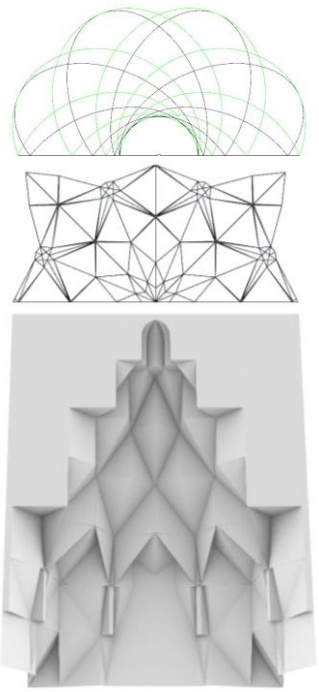
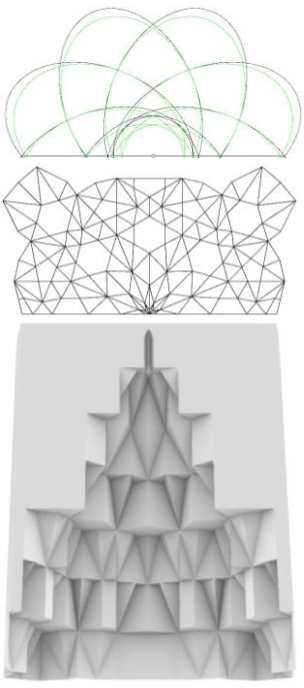
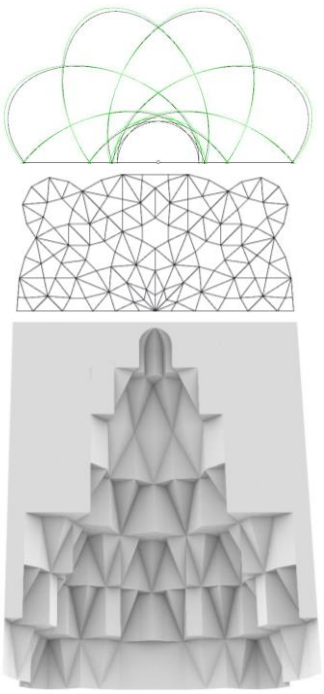
Tablo 5.3: Parametrik mukarnas için 14 değişken ve değer aralıkları

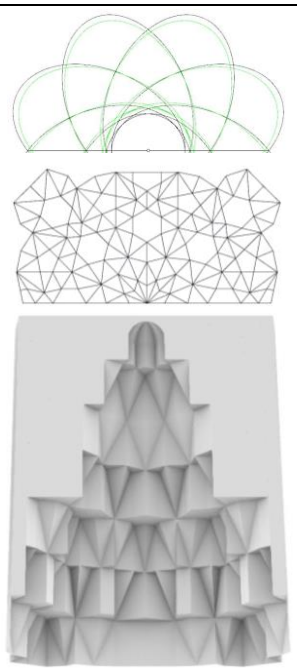
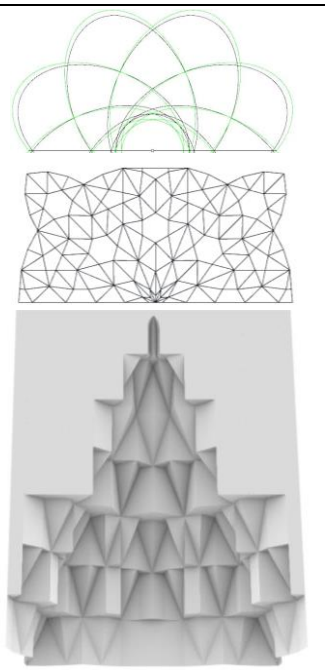
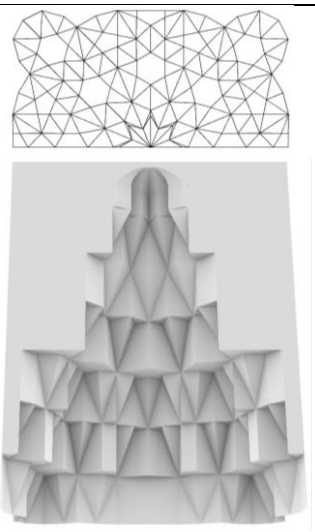
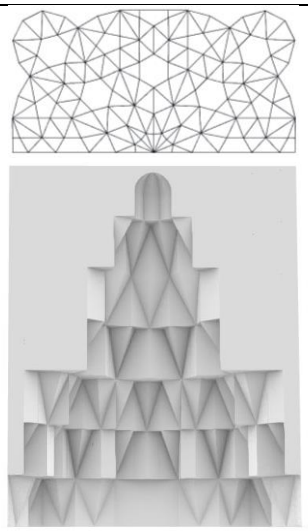
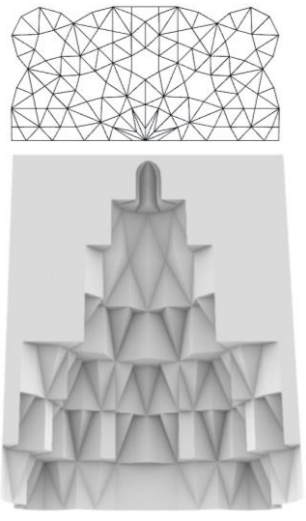
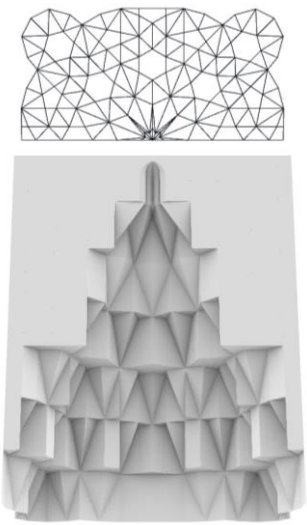
Değişken	**Açıklama**	**İlgili parametrenin değer aralığı (ondalık değerler dahil)**		
		Min.	**Maks.**	**Birim**
D1	Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı	22	35	cm
D2	Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı	33.15	38.50	cm
D3	Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı	19.4	24.9	cm
D4	2. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı (birinci katman)	1	12.76	cm
D5	2. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı (birinci katman)	0.25	15	cm
D6	İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı	75.5	94.3	cm
D7	6 kollu düzensiz yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı	0	90	derece
D8	7. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	0	20	cm
D9	6. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	20	40	cm
D10	5. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	40	60	cm
D11	4. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	60	80	cm
D12	3. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	80	100	cm
D13	2. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	100	120	cm
D14	1. katmanda, kubbede bulunan yayın eğriliğinin değer aralığı	0.67	1	cm

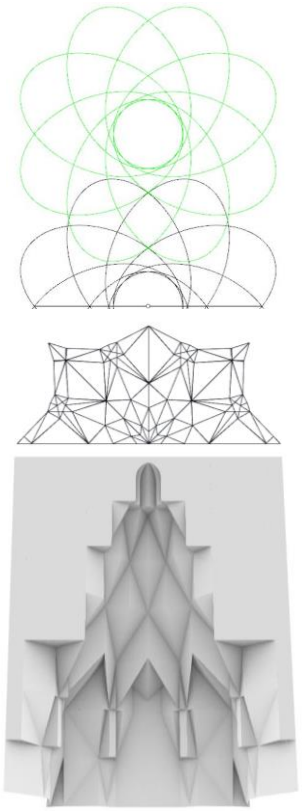
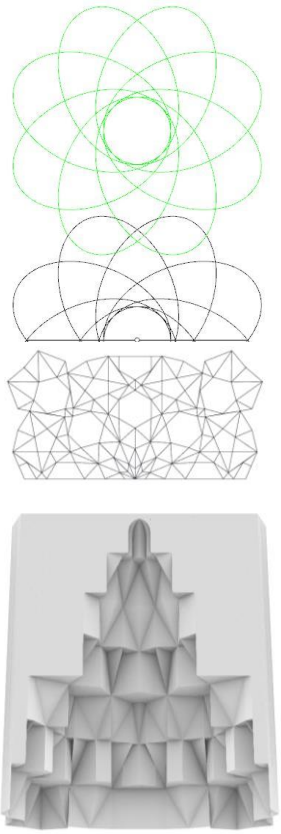
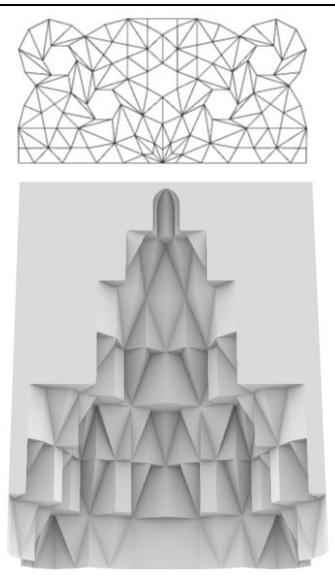
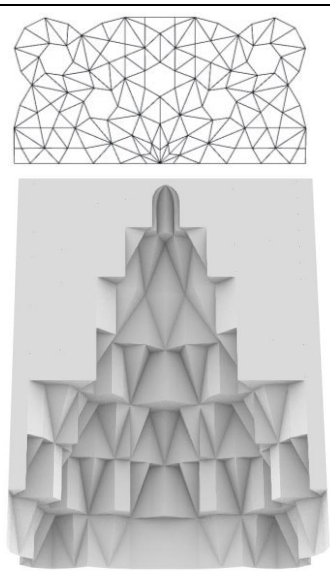
Tablo 5.4: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnasın oranlarını veren değişken değerleri

Oranlı/ Nizamlı Değerler	**Plan**	**Perspektif**
D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		

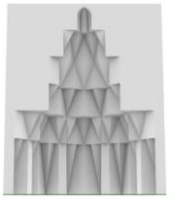
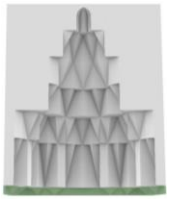
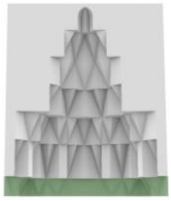
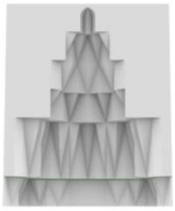
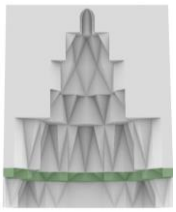
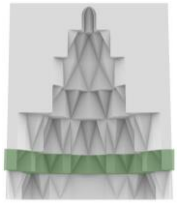
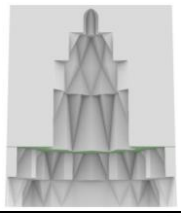
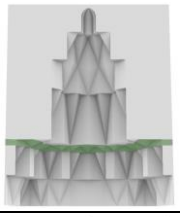
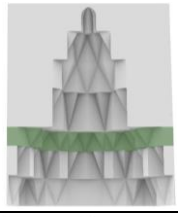
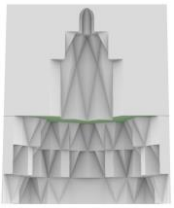
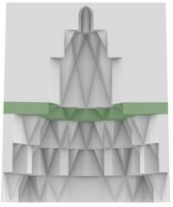
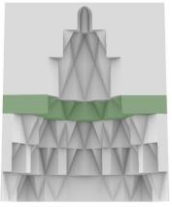
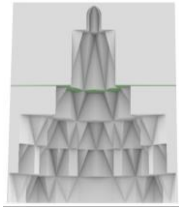
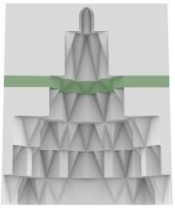
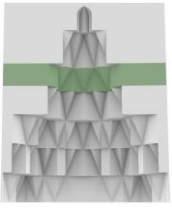
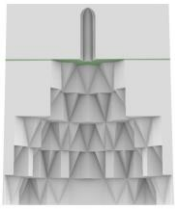
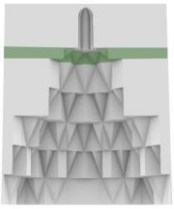
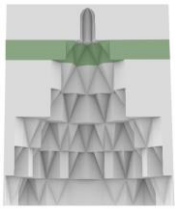
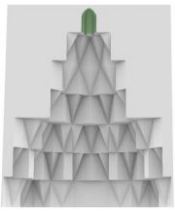
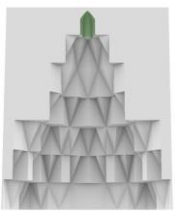
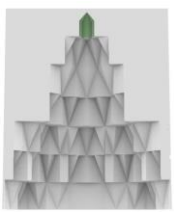
Tablo 5.5: Mukarnasın iki boyutlu planını etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri

No	Değişkenler	Alternatif 1	Değişkenler	Alternatif 2
D1	Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı **D_1: 28** D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı **D_1: 32** D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D2	Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı D_1 : 25 **D_2 : 33.5** D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı D_1 : 25 **D_2 : 38.5** D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	

D3	Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 **D_3 : 19.4** D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 **D_3 : 24.4** D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D4	1. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 **D_4 : 2.25** D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		1. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 **D_4 : 8** D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D5	1. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 **D_5 : 0.45** D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		1. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 **D_5 : 12** D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	

D6	İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 **D_6 : 75.5** D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 **D_6 : 94.25** D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D7	6 kollu yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 **D_7 : 0** D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		6 kollu yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 **D_7 : 68** D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	

Tablo 5.6: Mukarnasın üç boyutlu oluşumunu etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri

No	Değişkenler	Alternatif 1	Değişkenler	Alternatif 2	Değişkenler	Alternatif 3
D8	**D_8 : 0** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		**D_8 : 6** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		**D_8 : 14** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D9	D_8 : 20 **D_9 : 20** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 **D_9 : 26** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 **D_9 : 34** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D10	D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 40** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 44** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 53** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D11	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 **D_{11} : 60** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_0 : 60 **D_{11} : 68** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 **D_{11} : 73** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D12	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 80** D_{13} : 120 D_{14}: 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 88** D_{13} : 120 D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 96** D_{13} : 120 D_{14} : 0.675	
D13	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 100** D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 108** D_{14} : 0.675		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 114** D_{14} : 0.675	
D14	DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 **DV_{14} : 0.75**		DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 **DV_{14} : 0.89**		DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 **DV_{14} : 1**	

5.2 İKİNCİ MODEL ÖNERİSİ

5.2.1 Yöntem

İkinci model önerisinde, birinci modelden farklı olarak, sadelik ve yüzeysellik göz ardı edilerek mukarnasın özüne yakın bir parametrik modelleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada ana ve ara elemanlar gerçeğine uygun detaylandırılarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci model önerisinde sade yüzeylerle oluşturulduğundan, fitil hücresi elde edilememiştir. İkinci model önerisinde ise, birinci model önerisinde elde edilemeyen fitil hücresi, modellemeye dahil edilebilmiştir.

İkinci model önerisini, birinci model önerisi üzerinden geliştirilmiş daha kapsamlı bir modeldir. Bu modelde, birinci model önerisinde oluşturulan parametrik mukarnas plan altlığı kullanılmıştır.

5.2.2 Parametrik Mukarnas Planının Oluşturulması

İkinci model önerisinde, birinci model önerisinde oluşturulan parametrik planın aynısı kullanılmıştır. Bu parametrik planın nasıl oluşturulduğuna dair ayrıntılı bilgi birinci model önerisi bölümünde verilmiştir.

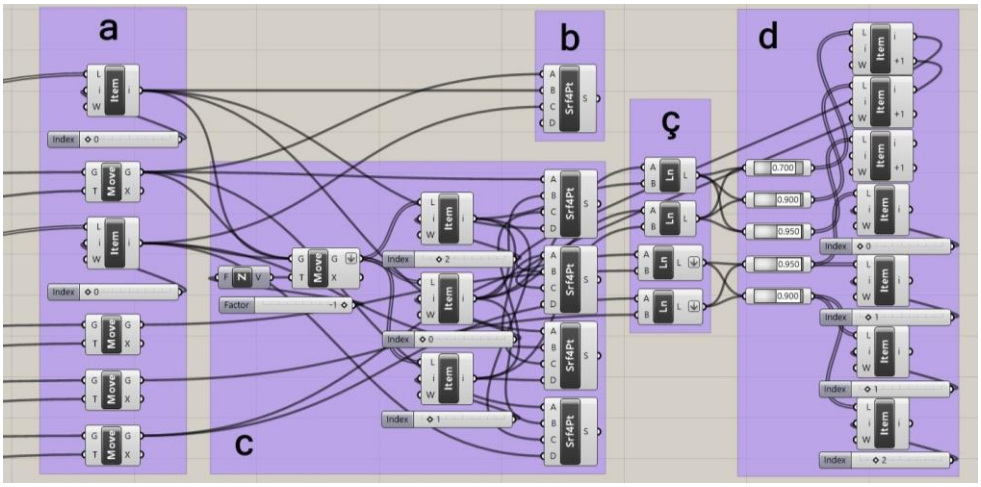
5.2.3 Parametrik Mukarnas Hücrelerinin Oluşturulması

Tablo 5.7'de birinci model önerisindeki mukarnasın 3 boyutlu halini yaratmak için kullanılan yöntem, üçgen çatılı yüzeysel hücre (**Tablo 4.1**, d) üzerinden örneklenmiştir. Hücrenin Grasshopper programındaki betiği aşağıda verilmiştir (**Şekil 5.10**, **Şekil 5.11**, **Şekil 5.12**, **Şekil 5.13**).

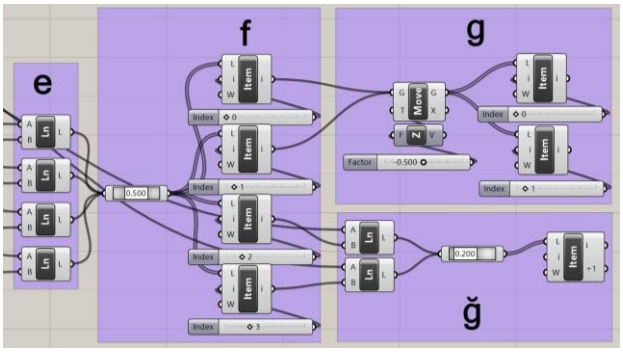
- Öncelikle, plan çizimindeki kesişim noktalarından yararlanılıp, iki ayrı düzlemdeki A, B, C, D, E, F noktaları belirlenmiştir (**Tablo 5.7**, a ve **Şekil 5.10**).
- A, B ve C noktaları çizgiler ile birleştirilmiş ve sonrasında bir yüzey tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, b ve **Şekil 5.10**).
- Sonrasında Z ekseni üzerinde A', B' ve C' noktaları belirlenmiştir. A, B, C noktalarını ile A', B', C' noktaları arasında bir hacim oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, c ve **Şekil 5.10**).

- A’ ile B’ ve A’ ile C’ noktaları arasında, D ile E ve D ile F noktaları arasında çizgi oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, ç ve **Şekil 5.10**).
- A’B’ çizgisi üzerinde G, H ve J noktaları, A’C’ çizgisi üzerinde K, L ve M noktaları; DE çizgisi üzerinde H’ ve J’ noktaları, DF çizgisi üzerinde L’ ve M’ noktaları oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, d ve **Şekil 5.10**).
- H ile H’, J ile J’, L ile L’ ve M ile M’ noktaları arasında çizgi oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, e ve **Şekil 5.11**).
- Oluşturulan 4 çizginin ortasına H’’, J’’, L’’ ve M’’ noktaları tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, f ve **Şekil 5.11**).
- Z ekseninde, J’’ ve J’ noktaları arasında J’’’ noktası, M’ ve M’’ noktaları arasında M’’’ noktası tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, g ve **Şekil 5.11**).
- Z ekseninde, H ve H’’ noktaları arasında H’’’ noktası, L ve L’’ noktaları arasında L’’’ noktası tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, ğ ve **Şekil 5.11**).
- G ve H’’’ noktaları arasına O noktası, K ve L’’’ noktaları arasına N noktası yerleştirilmiştir (**Tablo 5.7**, h ve **Şekil 5.12**).
- H noktaları arasına O’ noktası, N ve L noktaları arasına N’ noktası yerleştirilmiştir (**Tablo 5.7**, ı ve **Şekil 5.12**).
- Oluşturulan G, O’ ve H’’’ noktaları arasına bir yay, aynı şekilde K, N’ ve L’’’ noktaları arasına bir yay daha oluşturulmuştur (**v**, i ve **Şekil 5.12**).
- Noktalar arası oluşturulan KN’L’’’ yayı, K, L ve L’’’ noktaları birleştirilip bir düzlem oluşturulmuştur. Aynı şekilde, GO’H’’’ yayı, G, H ve H’’’ noktaları da birleştirilerek bir düzlem oluşturulmuştur. Sonrasında, bu iki düzlem arası bir hacim oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, j ve **Şekil 5.12**).
- Kademeli yüzeyi oluşturabilmek için H’’, J’’, L’’ ve M’’ noktaları arasında önce çizgiler oluşturulmuş, sonrasında bu çizgilerden yüzey tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, k ve **Şekil 5.12**).
- Tanımlanan yüzey ile H, J, L ve M noktaları kullanılarak oluşturulan yüzey arasında bir hacim oluşturulmuştur (**v**, l ve **Şekil 5.13**). Böylece hücrenin kademesi oluşturulmuştur.
- J’, E, F ve M’ noktaları arasında önce çizgiler oluşturulmuş, sonrasında bu çizgilerden yüzey oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, m ve **Şekil 5.13**).

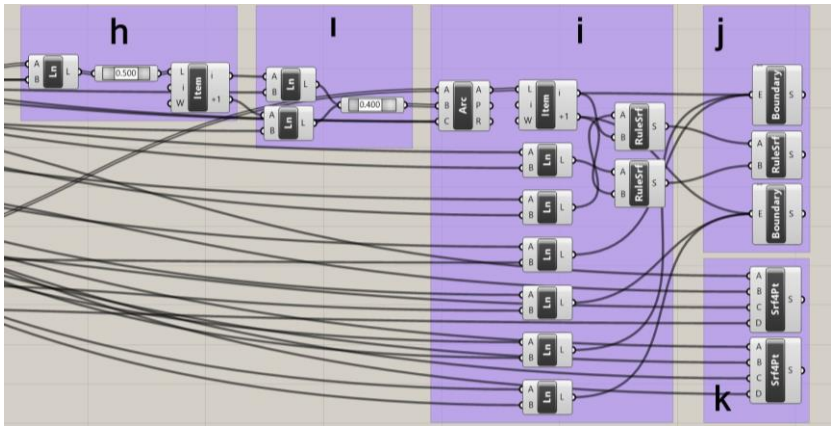
- Tanımlanan yüzey ile J, B’, C’ ve M noktalarını kullanarak tanımlanan yüzey arasında bir hacim oluşturulmuştur (**v**, n ve **Şekil 5.13**).
- Pah oluşturabilmek için H’’, J’’’, M’’’ ve L’’ noktaları arasında çizgi oluşturulmuş ve sonrasında bir yüzey tanımlanmıştır (**Tablo 5.7**, o).
- Yan yüzey boşluklarını kapatabilmek için ise H’’, J’’ ve J’’’ arasında ve L’’, M’’ ve M’’’ arasında yüzeyler oluşturulmuştur (**Tablo 5.7**, ö).
- Noktalar ve çizgiler gizlenerek, üçgen çatılı yüzeysel hücre oluşturulması tamamlanmıştır (**Tablo 5.7**, p).
- Oluşturulan hücrenin, deltoit çatılı yüzeysel hücre ve badem hücresi ile birleşimi **Tablo 5.7** (r)’da ve birleştirilmiş kompozisyonu **Tablo 5.7** (s)’de gösterilmiştir.



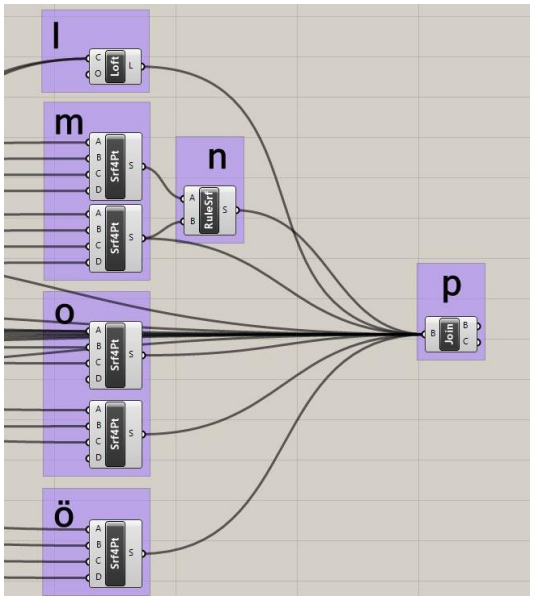
Şekil 5.10: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (**Tablo 5.7**’deki a, b, c, ç ve d)



Şekil 5.11: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (**Tablo 5.7**’deki e, f, g ve ğ)



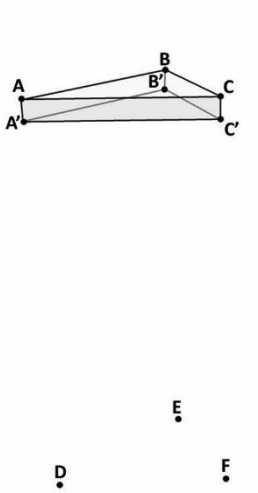
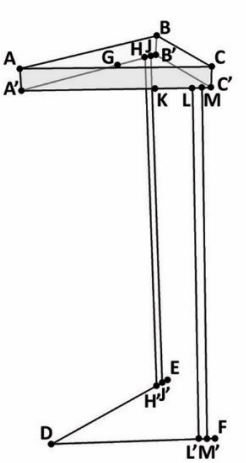
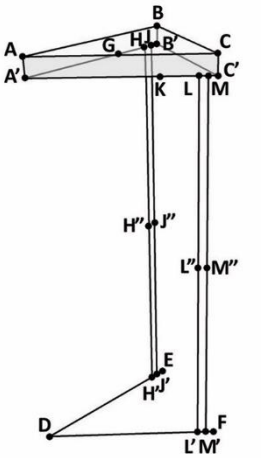
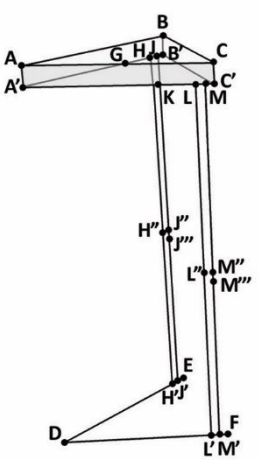
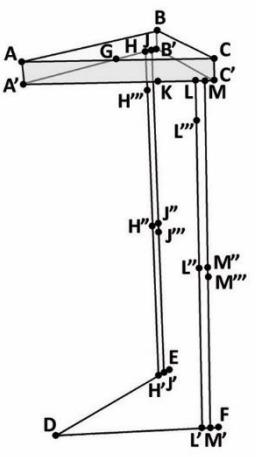
Şekil 5.12: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (**Tablo 5.7**'deki h, ı, i, j ve k)

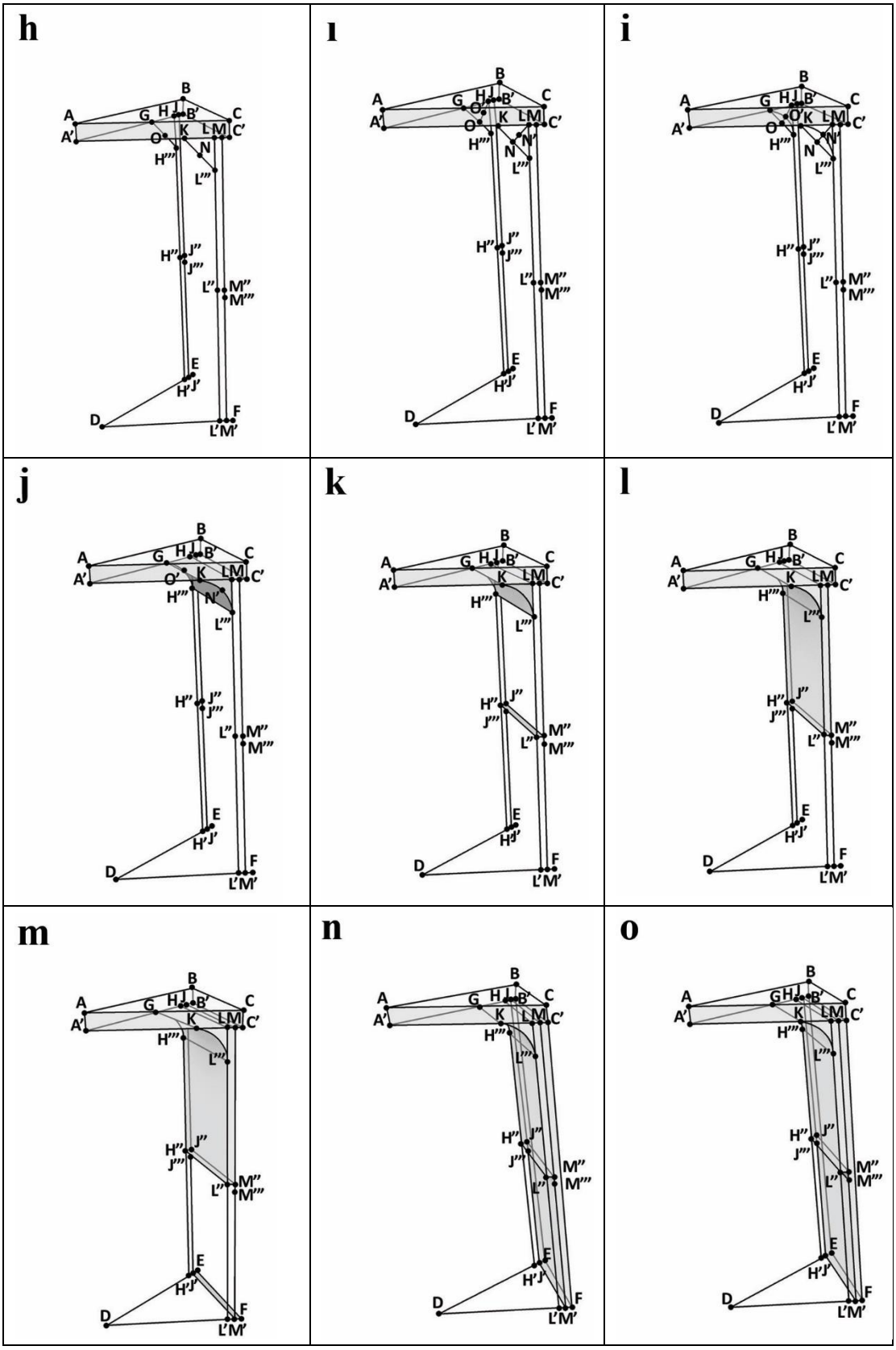


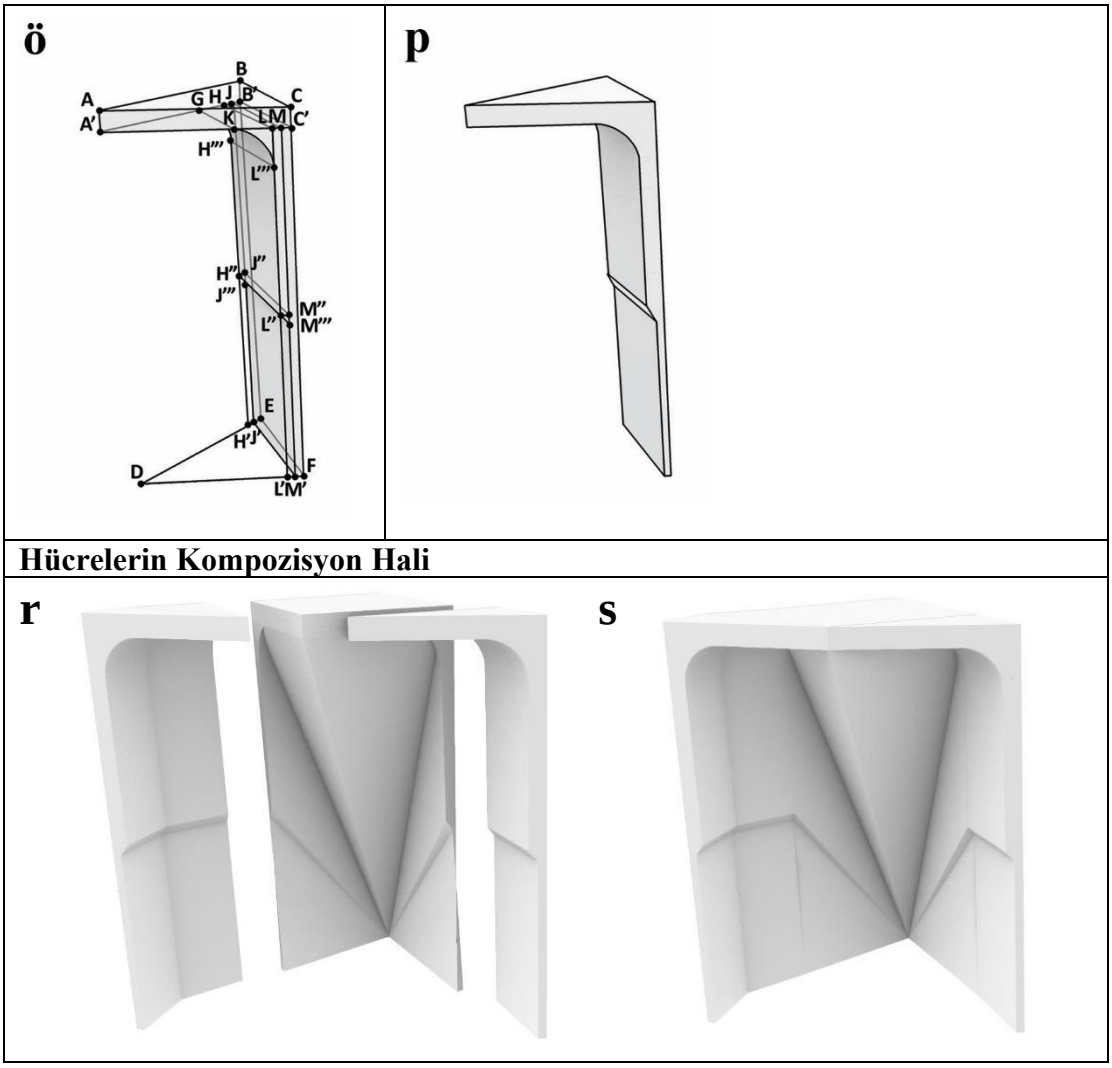
Şekil 5.13: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin Grasshopper programındaki betiği (**Tablo 5.7**'deki l, m, n, o, ö ve p)

Üçgen çatılı yüzeysel hücrenin dışında kalan bütün hücreler [üçgen çatılı hücre (**Ek 1**), deltoit çatılı hücre (**Ek 2**), fitil hücresi (**Ek 3**), deltoit çatılı yüzeysel hücre (**Ek 4**), badem hücresi (**Ek 5**), 5 kollu yıldız merkezi (**Ek 6**) ve 6 kollu yıldız merkezi (**Ek 7**)], ekler bölümde hücrelerin betiklerine yer verilmiştir.

Tablo 5.7: Parametrik üçgen çatılı yüzeysel hücrenin oluşturulma aşamalar

Hücrenin Oluşum Aşamaları		
a 	**b** 	**c** 
ç 	**d** 	**e** 
f 	**g** 	**ğ** 


h
ı
i
j
k
l
m
n
o



5.2.4 Parametrizasyon

İkinci model önerisi çalışmasında, birinci model önerisindeki değişken tablosundaki değişkenlere ek olarak, 3 değişken daha eklenmiştir. 2 değişken iki boyutta planı etkileyen değişkenler tablosuna, 1 değişken ise 3 boyutta mukarnas oluşumunu etkileyen değişken tablosuna eklenmiştir. Bunlar, fitilin kalınlığının (içbükey kısmında kalan noktanın orijine olan uzaklığı) değer aralığı (D15), 6 kollu yıldızın merkez çokgeninin (süsleme tabanının yerleştiği kısım) noktalarının merkeze yakınlık değeri (D16), 6 kollu yıldızın merkez çokgeninin (süsleme tabanının yerleştiği kısım) Z eksenindeki değer aralığıdır (D17) (**Tablo 5.8**).

Birinci model önerisinde olduğu gibi, değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri belirlenirken, mukarnas planının bozulmadığı/parçalanmadığı maksimum

değer aralığı göz önünde bulundurulmuştur (**Tablo 5.8**). Mukarnasın oranlarını veren ve eklenen yeni değişken değerlerinin de bulunduğu detaylı model kombinasyonu ise **Tablo 5.9**'de verilmiştir.

Tablo 5.10'te, 2 farklı D15 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri ve 2 farklı D16 değerinin oluşturduğu mukarnas tipleri görülebilmektedir. D15'te fitilin tepe formundaki içbükey noktanın değişkenliği ve D16'daki 6 kollu yıldız merkezinin içbükey noktalarının kendi merkezine yakınlığının değişkenlik değeridir. Bu tablo plan ve ön bakış görsellerinin yanı sıra perspektif açılı görsellerle desteklendirilmiştir. Bu örneklerde sadece mukarnas planıyla ilgili değişkenler değiştirilmektedir. Ancak **Tablo 5.10**'da görülebileceği gibi, iki boyutta plan parametrize edildiğinde, dolaylı olarak, mukarnasın 3 boyutlu hali de değişmektedir.

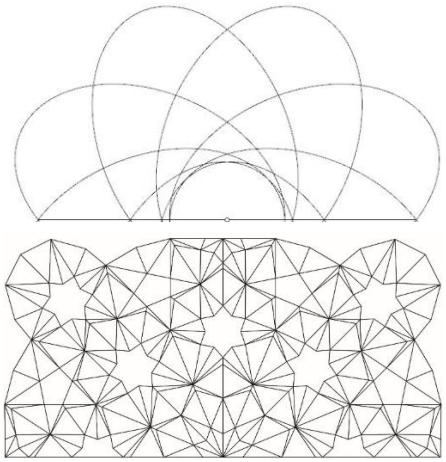
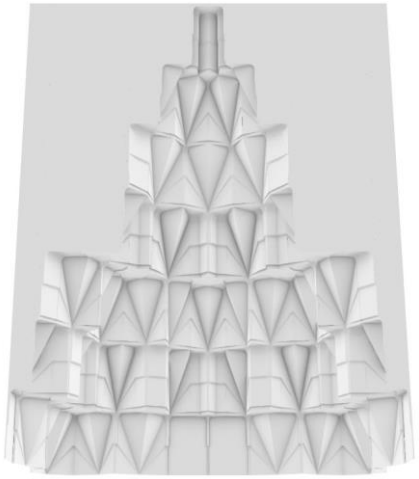
Üçüncü boyutta mukarnas planının parametrizeleştirilmesi sürecinde, birinci model önerisinden farklı olarak, D14 nolu değişken kullanılamamıştır (**Tablo 5.8**). Çünkü bu değişken birinci model önerisinde, sadeliği ve tek yüzeyliği göz önünde bulundurularak mukarnasa kubbe formlu sağlayabilecek değişkenlerle (**Tablo 5.6**) tasarlanmıştır. İkinci model önerisin de ise, kubbenin özgün mukarnas dikkate alınarak üçgen çatılı yüzeysel hücre ile oluşturulmuştur (**Tablo 5.10**). Bu sebepten dolayı ilk model önerisindeki D14 değişkeni devre dışı bırakılmıştır.

Üçüncü boyutta mukarnas planının parametrizeleştirilmesi sürecine, birinci model önerisinden farklı olarak, farklı 1 değişken (D17) eklenmiştir (**Tablo 5.8**). Bu değişken 6 kollu yıldız merkezinin (süsleme tabanının) Z eksenindeki değer değişimleri ile elde edilmiştir. Bu değişkenin değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri de **Tablo 5.11'**de verilmiştir.

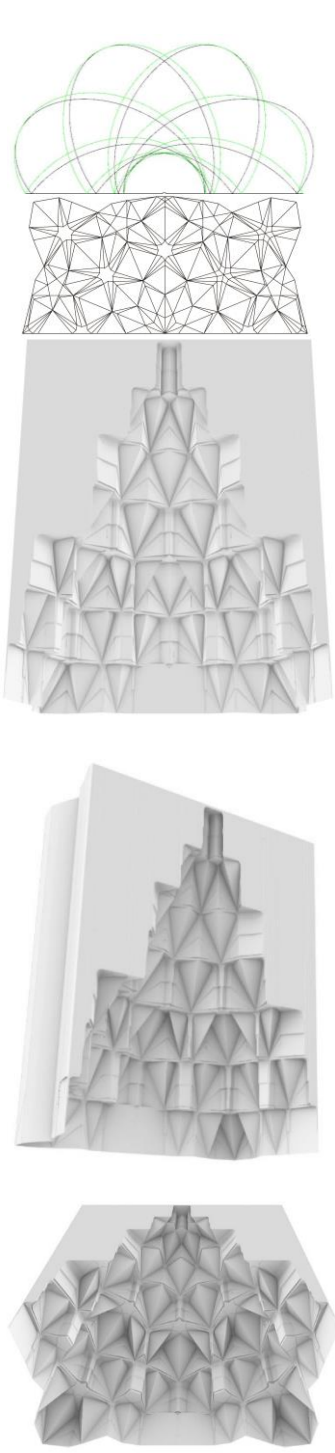
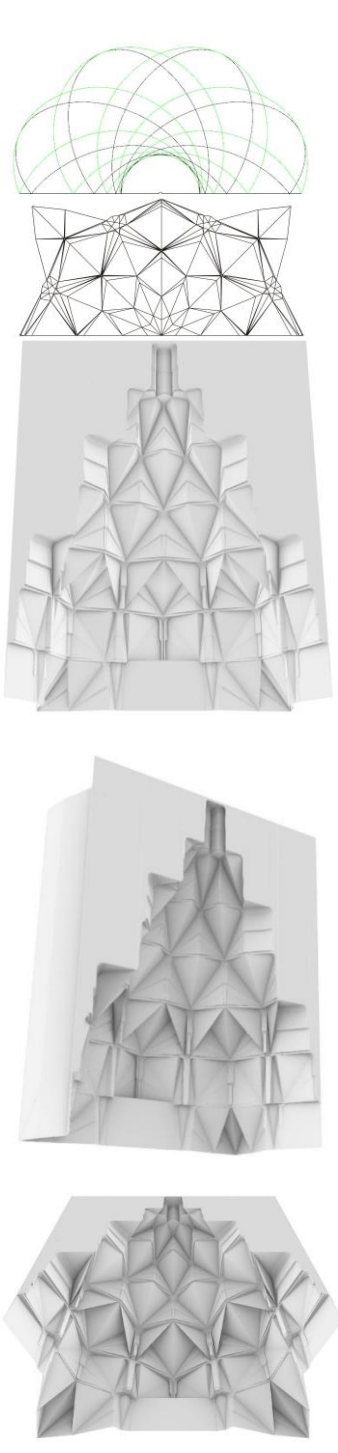
Tablo 5.8: İkinci model önerisindeki 17 değişken ve değer aralıkları

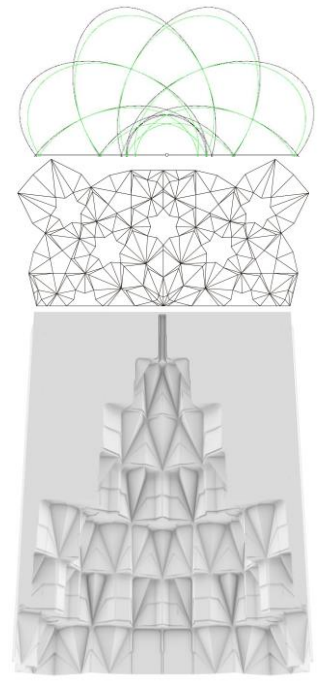
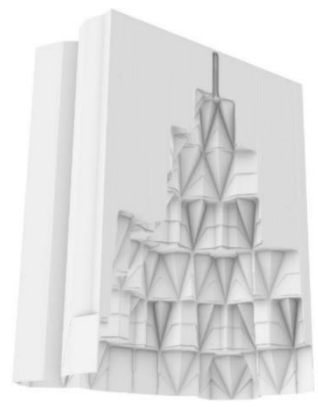
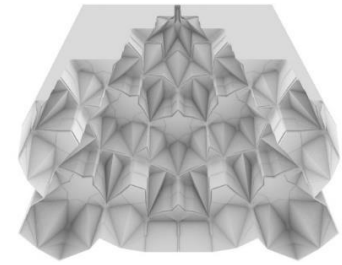
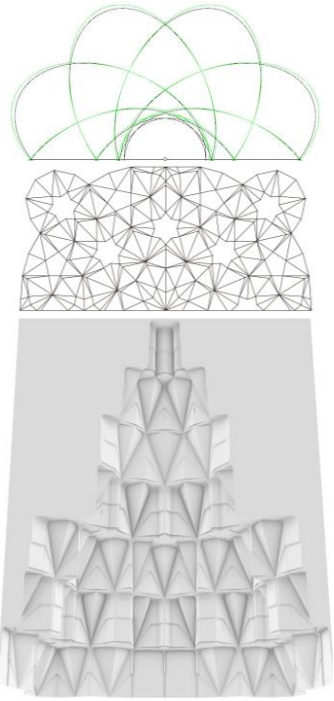
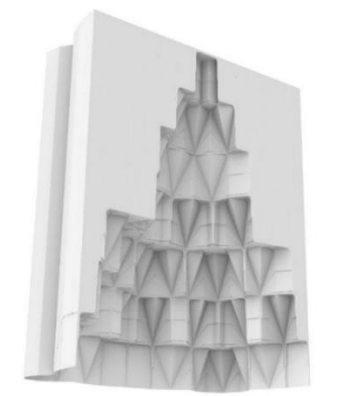
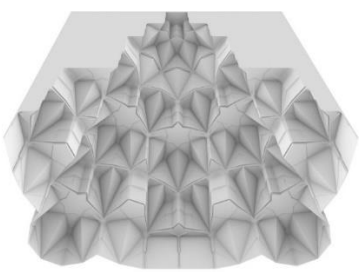
Değişken	Açıklama	İlgili parametrenin değer aralığı (ondalık değerler dahil)		
		Min.	Maks.	Birim
D1	Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı	22	35	cm
D2	Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı	33.15	38.50	cm
D3	Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı	19.4	24.9	cm
D4	2. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı (birinci katman)	1	12.76	cm
D5	2. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı (birinci katman)	0.25	15	cm
D6	İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı	75.5	94.3	cm
D7	6 kollu düzensiz yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı	0	90	derece
D8	7. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	0	20	cm
D9	6. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	20	40	cm
D10	5. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	40	60	cm
D11	4. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	60	80	cm
D12	3. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	80	100	cm
D13	2. katmanın yüksekliğinin değer aralığı	100	120	cm
D14	-	-	-	-
D15	Fitilin içbükeyinde kalan noktasının orijine olan yönelmesindeki değer aralığı	-1	1	cm
D16	6 kollu yıldızın merkezinin içeride kalan noktalarının merkeze yakınlık değeri	0	1	cm
D17	6 kollu yıldızın merkezinin Z eksenindeki değer aralığı	-10	0	cm

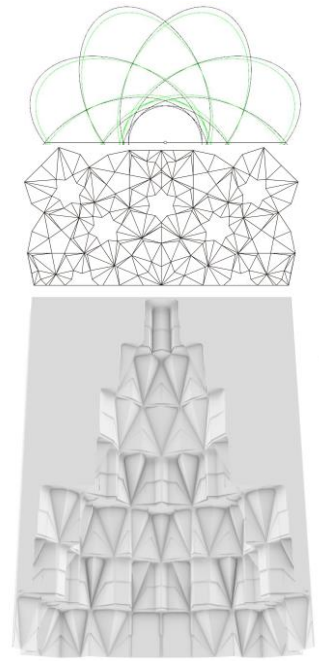
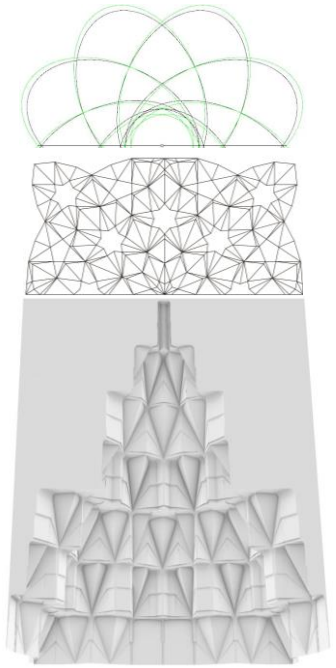
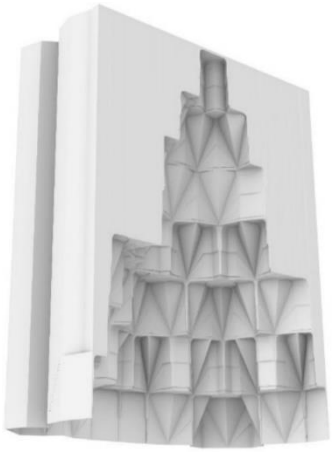
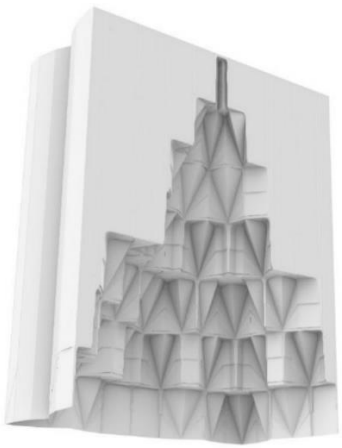
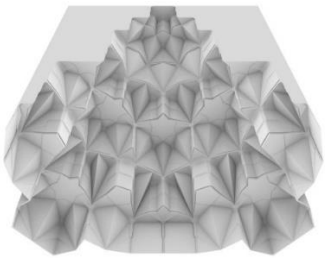
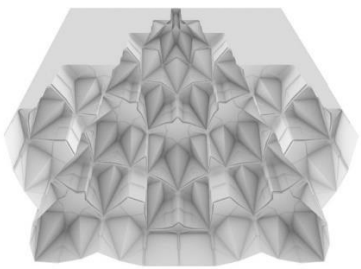
Tablo 5.9: Atik Valide Camisi'nde bulunan giriş taç kapısındaki analizi yapılan mukarnasın oranlarını veren değişken değerleri

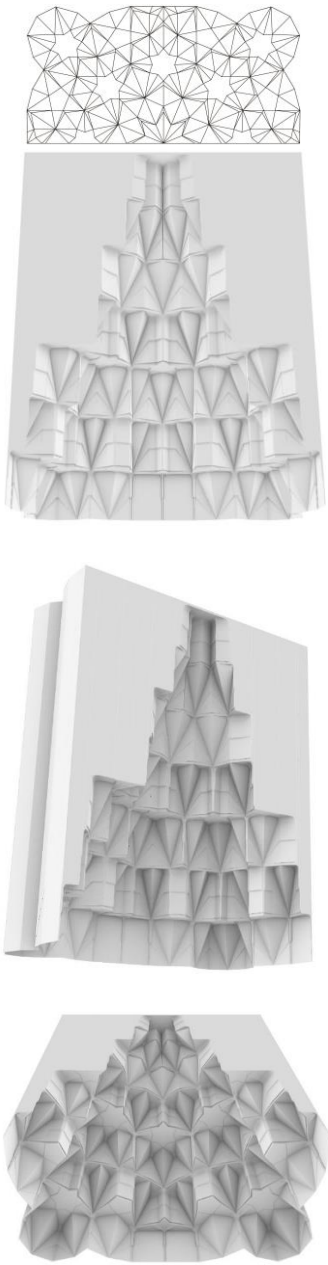
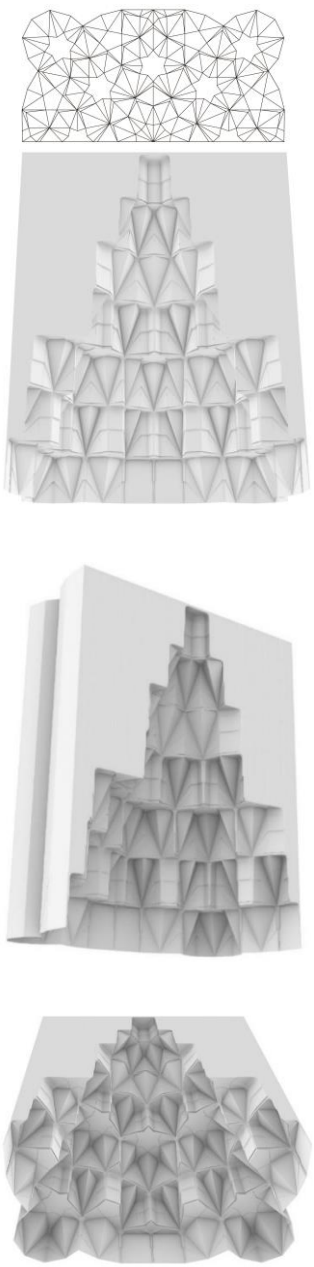
Oranlı/nizamlı Değerler	Plan	Perspektif
D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		

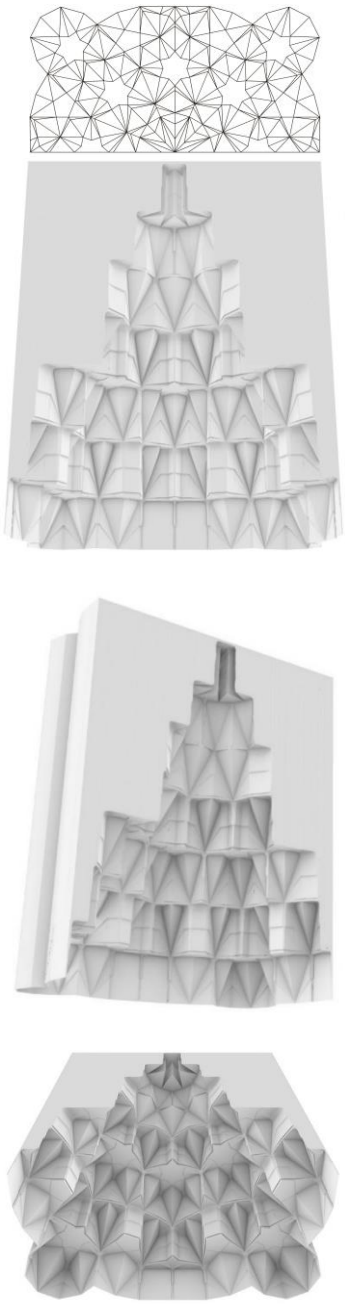
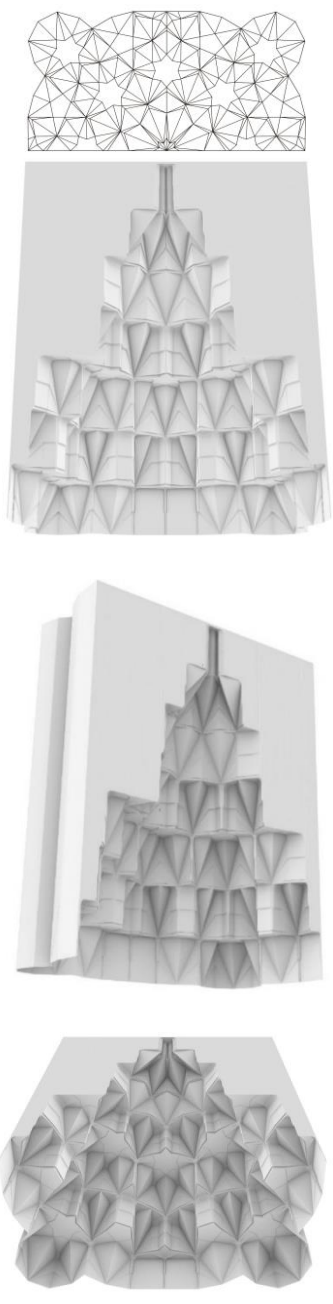
Tablo 5.10: Mukarnasın planını etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri

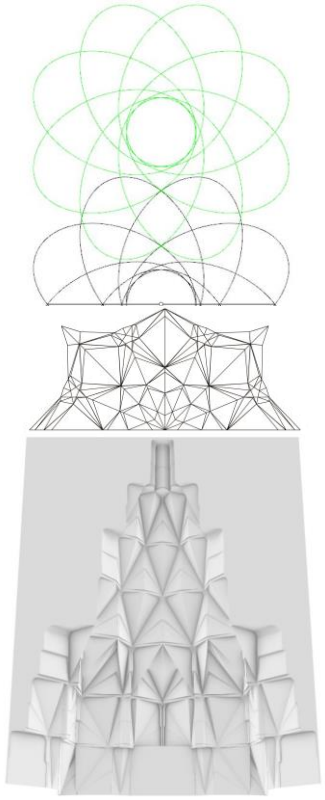
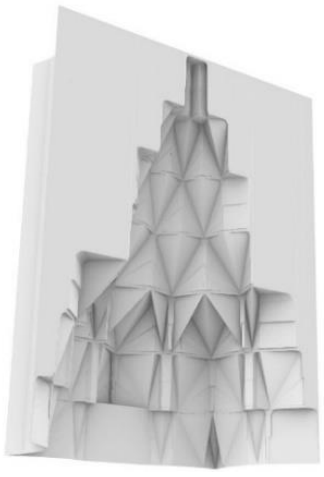
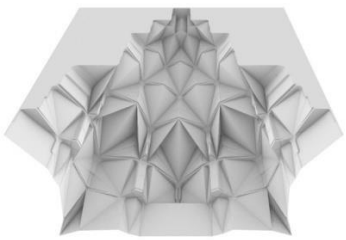
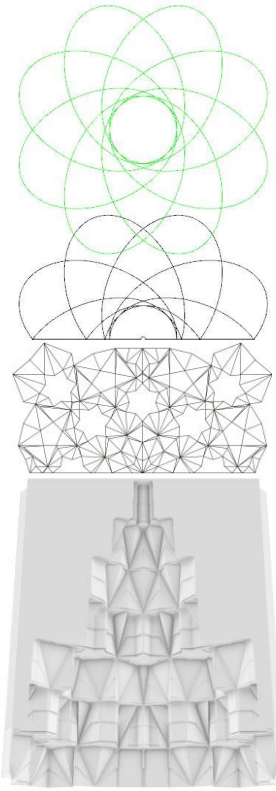
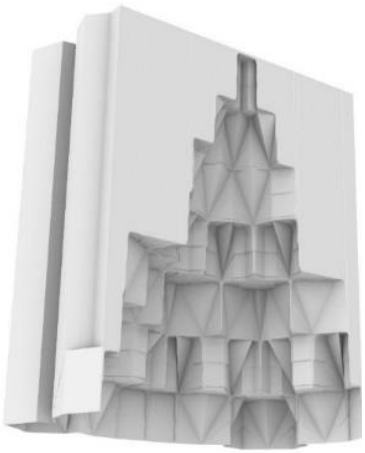
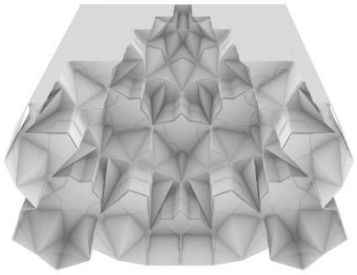
No	Değişkenler	Alternatif 1	Değişkenler	Alternatif 2
D1	Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı **D_1: 28** D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		Birincil elips altlığındaki elipslerin küçük yarıçapının değer aralığı **D_1: 32** D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	

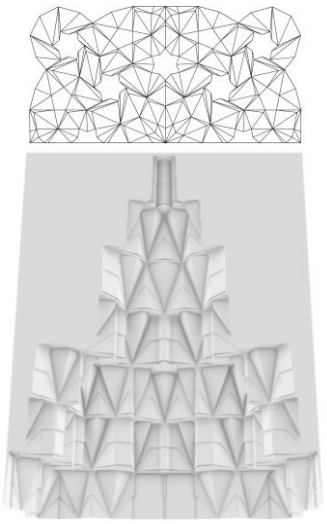
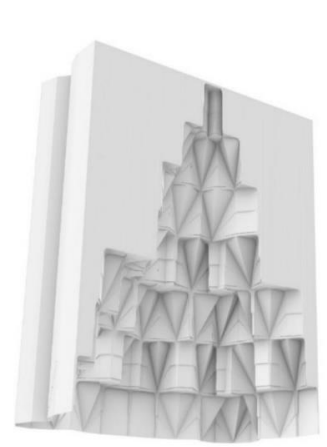
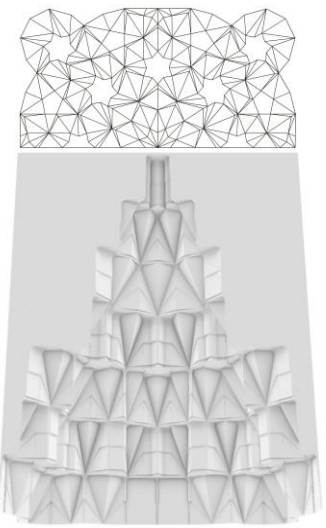
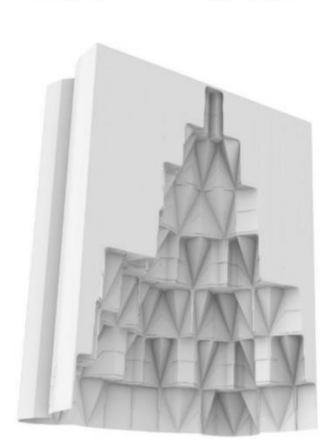
D2	Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı D_1 : 25 **D_2 : 33.5** D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	  	Birincil elips altlığındaki elipslerin büyük yarıçapının değer aralığı D_1 : 25 **D_2 : 38.5** D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	  

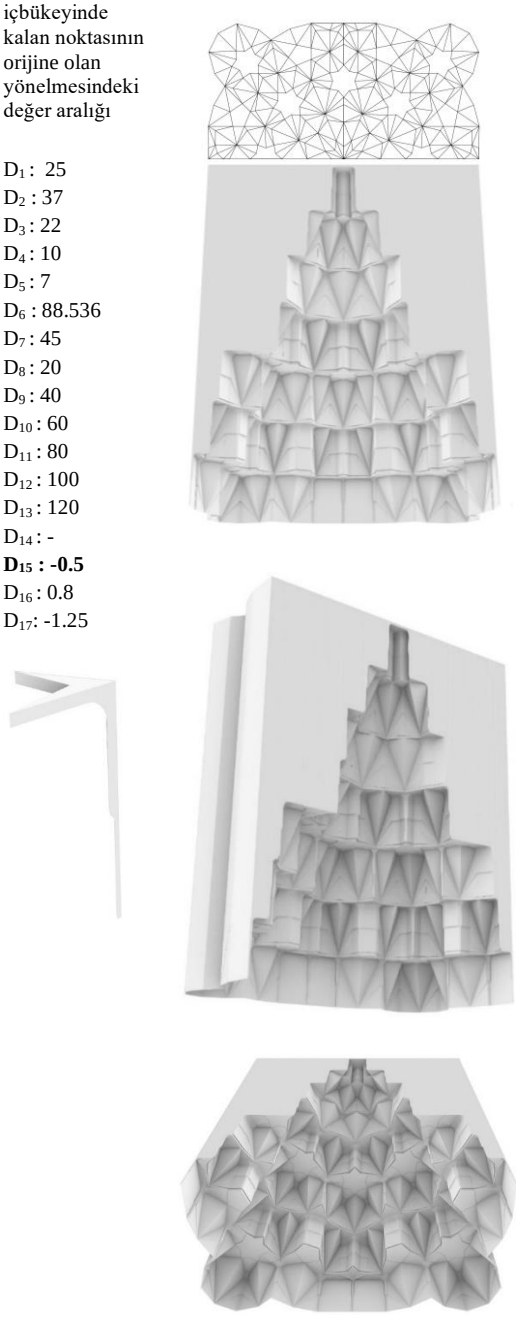
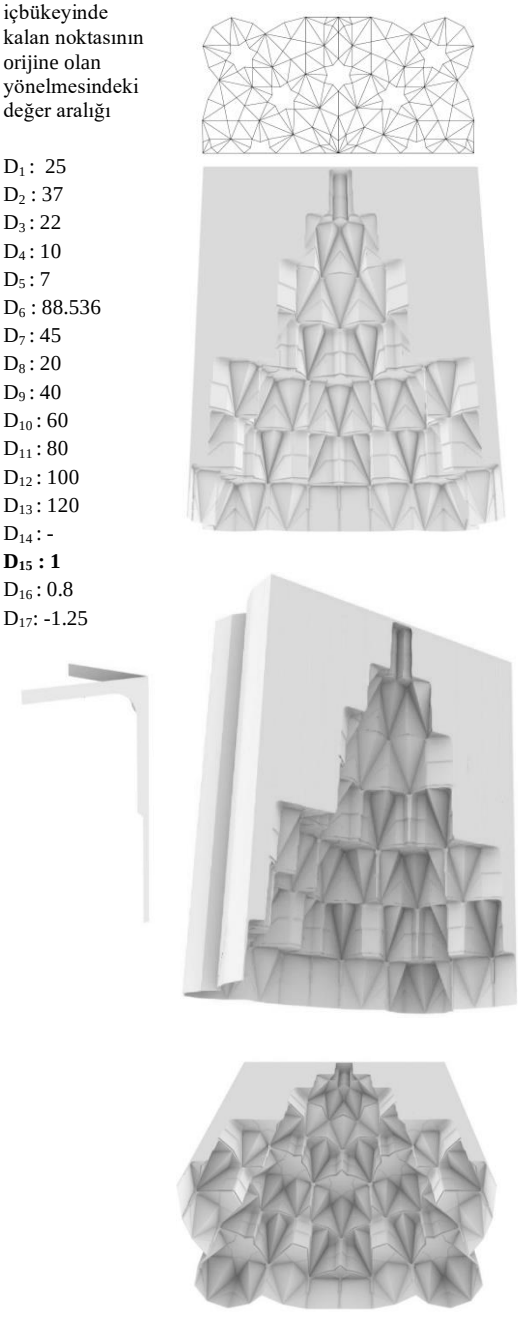
D3	Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 **D_3 : 19.4** D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		Elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 **D_3 : 24.4** D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	
			
			

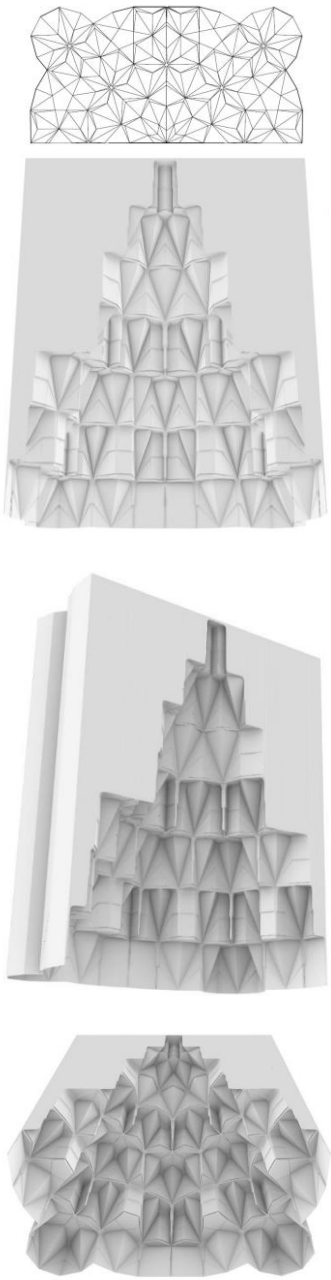
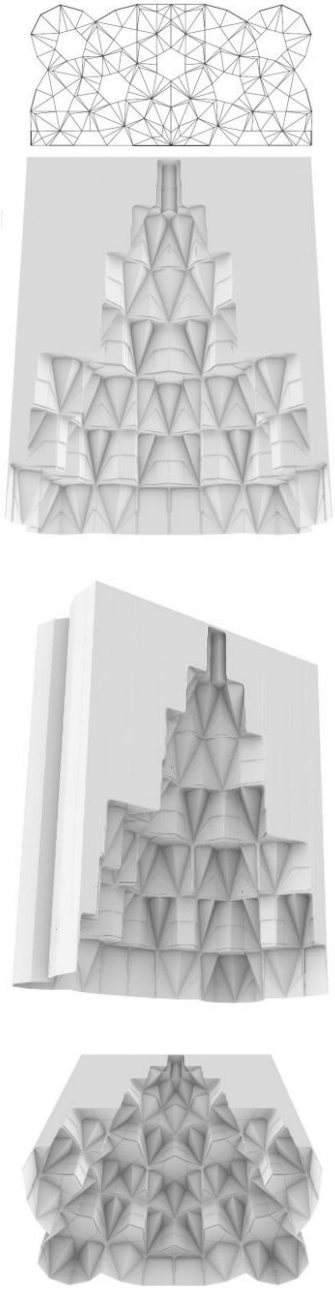
D4	2. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 **D_4 : 2.25** D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		2. sıra yıldızın merkeze yakın noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 **D_4 : 8** D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	

D5	2. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 **D_5 : 0.45** D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		2. sıra yıldızın merkeze uzak noktalarının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 **D_5 : 12** D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	

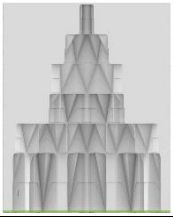
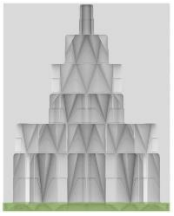
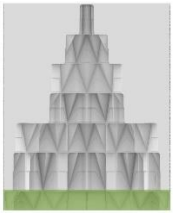
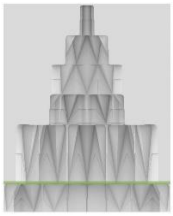
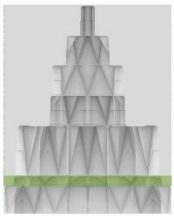
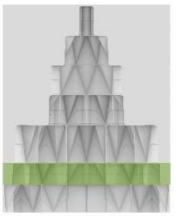
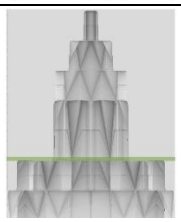
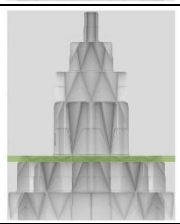
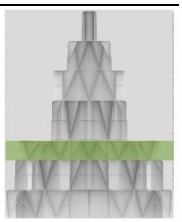
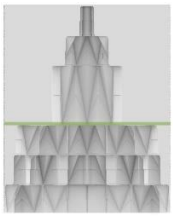
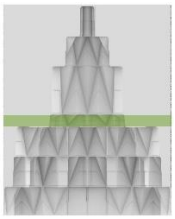
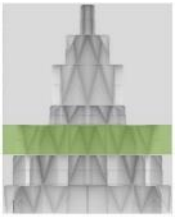
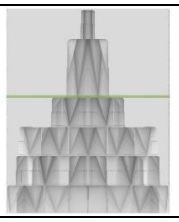
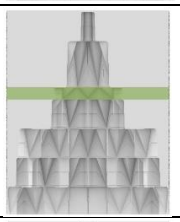
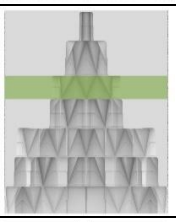
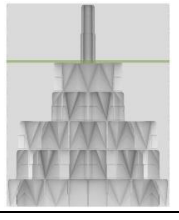
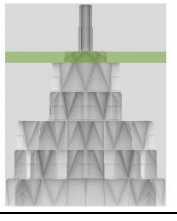
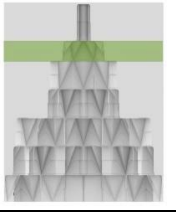
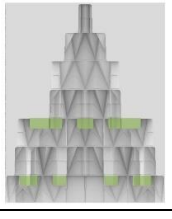
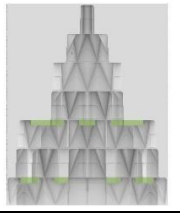
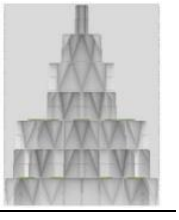
D6	İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 **D_6 : 75.5** D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	  	İkincil elips altlığın orijin noktasına uzaklığının değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 **D_6 : 94.25** D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	  

D7	6 kollu yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 **D_7 : 0** D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25			6 kollu yıldızın içindeki altıgenin döndürülme açısı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 **D_7 : 68** D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		

D15	Fitilin içbükeyinde kalan noktasının orijine olan yönelmesindeki değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - **D_{15} : -0.5** D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25		Fitilin içbükeyinde kalan noktasının orijine olan yönelmesindeki değer aralığı D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - **D_{15} : 1** D_{16} : 0.8 D_{17}: -1.25	

D16	6 kollu yıldızın merkezinin içeride kalan noktalarının merkeze yakınlık değeri D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 **D_{16} : 0.1** D_{17}: -1.25		6 kollu yıldızın merkezinin içeride kalan noktalarının merkeze yakınlık değeri D_1 : 25 D_2 : 37 D_3 : 22 D_4 : 10 D_5 : 7 D_6 : 88.536 D_7 : 45 D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{15} : 0.15 **D_{16} : 1** D_{17}: -1.25	

Tablo 5.11: Mukarnasın üç boyutlu oluşumunu etkileyen değişken değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan farklı mukarnas tipleri

No	Değişkenler	Alternatif 1	Değişkenler	Alternatif 2	Değişkenler	Alternatif 3
D8	**D_8 : 0** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		**D_8 : 6** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		**D_8 : 14** D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D9	D_8 : 20 **D_9 : 20** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 **D_9 : 26** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 **D_9 : 34** D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D10	D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 40** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 44** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 **D_{10} : 53** D_{11} : 80 D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D11	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 **D_{11} : 60** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_0 : 60 **D_{11} : 68** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 **D_{11} : 73** D_{12} : 100 D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D12	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 80** D_{13} : 120 D_{14}: - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 88** D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 **D_{12} : 96** D_{13} : 120 D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D13	D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 100** D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 108** D_{14} : - D_{17}: -1.25		D_8 : 20 D_9 : 40 D_{10} : 60 D_{11} : 80 D_{12} : 100 **D_{13} : 114** D_{14} : - D_{17}: -1.25	
D14	-	**-**	-	**-**	-	**-**
D17	DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 DV_{14} : - **D_{17}: -8**		DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 DV_{14} : - **D_{17}: -4.5**		DV_8 : 20 DV_9 : 40 DV_{10} : 60 DV_{11} : 80 DV_{12} : 100 DV_{13} : 120 DV_{14} : - **D_{17}: 0**	

5.3 BÖLÜM SONUCU

Parametrik mukarnas model önerisi olarak iki adet model önerisinde bulunulmuştur. Birinci model, her hücre kendi içindeki eğrisel kavislenmeler dikkate alınmadan yapılmıştır. İkinci model ise, mukarnasın gerçek formuna yakın modelleme esas alınarak yapılmıştır. Mukarnas hücreleri dikkate alınarak detaylı bir model çalışması yapılmıştır.

Birinci model önerisinde, kural aşamaları oluşan planın Grasshopper programı üzerinde iki boyutlu bir şekilde elipsler aracılığıyla noktalar oluşturulmuştur. Daha sonra bu noktalar ilgili katmanlara taşınarak, çizgiler yardımıyla ilk önce yüzeyler sonra tüm hücreler oluşturulmuştur. İkinci boyuttaki biçim gramerleri kural sürecinden farklı olarak mukarnasın bütün kompozisyonunun dörtte biri oluşturulmuş, ve ayna görüntüsü görevi (*mirror*) ile modelin simetrisi alınmıştır. Sade yüzeyler ile oluşturulan bu modelde, 7 tane ikinci boyutta plan üzerinden, 7 tane de üçüncü boyuttan, toplam 14 değişken elde edilmiştir. Plandaki değişkenler (ikinci boyuttaki) sabit tutulup, sadece değişkenin farklılaştırılmasıyla iki varyasyon elde edilmiştir. Bu işlem her bir değişken için yapılmıştır. Üçüncü boyuttaki değişkenler sabit tutulup, sadece değişkenin farklılaştırılmasıyla üç varyasyon elde edilmiştir. Bu işlem her bir değişken için yapılmıştır.

İkinci model önerisinde ise, birinci modelden farklı olarak, mukarnas daha detaylı olarak oluşturulmuştur. İlk aşamada oluşturulan plandaki noktalar kullanılmıştır. Birinci modelden farklı olarak ise, burada uygulanan sistem, tanımlanmış olan mukarnas hücrelerini teker teker oluşturmaktır. Bu hücreler, ilgili noktaların birleşimi sonucunda tanımlanmıştır. Bu modelde 17 değişken vardır. Plandaki değişkenler (ikinci boyuttaki) sabit tutulup, sadece değişkenin farklılaştırılmasıyla iki varyasyon elde edilmiştir. Bu işlem her bir değişken için yapılmıştır. Üçüncü boyuttaki değişkenler sabit tutulup, sadece değişkenin farklılaştırılmasıyla üç varyasyon elde edilmiştir. Bu işlem her bir değişken için yapılmıştır.

Bu modeller sayesinde mukarnasın parametrize edilebilmiştir. Bu modeller ile birçok mukarnas varyasyonu elde edilebilmektedir. Bu bölümde farklı değişken değerleri kullanılarak mukarnas varyasyonları oluşturulmuş, tablo haline getirilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmanın, mukarnas planlarındaki eş kollu olmayan yıldızlar hakkındaki hipotezi, yıldız kollarının eşit olmadığı mukarnas planlarında, mukarnas planlarının altlığının, örümcek ağı tipindeki altlık veya elips ızgara tipindeki altlık ile oluşturulduğudur. Bu çalışmada incelenmek üzere seçilen mukarnas planları, plan geometrisine bağlı olarak, potansiyel örümcek ağı tipindeki altlık veya elips ızgara tipindeki altlık ile oluşturulmuştur. Bu tip altlıkların kullanılarak mukarnas planlarının oluşturulması durumunda, düzensiz yıldızların otomatikman oluştuğu görülmüştür. Bu durum, öne sürülen hipotezi kanıtlar niteliktedir.

Mukarnaslardaki en önemli unsur, planlarıdır. Bu planlar geometrik kurallara dayanılarak üretilir. Bu planlardan yola çıkılarak, geleneksel yöntemlerle, mukarnasların üç boyutlu parça elemanları üretilip, birleştirilerek mukarnas elde edilebilir. Veya yine plandan yola çıkıp, yeni teknikler kullanarak mukarnaslar üretilebilir. Örneğin bu çalışmada, plandan yola çıkarak, parametrik mukarnas elde edilebilmiştir.

Bu çalışmada, biçim grameri teorisi çerçevesinde, mukarnasın, kodlar aracılığıyla oluşturulabileceği ve analiz edilebileceği ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, kodlarla, parametrik mukarnas oluşur. Örneğin, mukarnas planındaki geometrik kurguyu kodlar aracılığıyla yazarak parametrize etmek mümkündür. Böylece, farklı plan kurguları elde edilebilir, üçüncü boyutlu olarak mukarnas farklılaştırabilir.

Parametrik mukarnas ile, farklı mukarnas varyasyonları kısa sürede ve kolaylıkla oluşturulabilir. Bunun yanı sıra, tarihi hasar görmüş mukarnasların, okunmayan kısımlarının opsiyonları yaratılabilir. Ayrıca, yazılan parametrik mukarnas betiği başka tasarımcılar ve araştırmacılar tarafından kullanılabilir ve geliştirilebilir.

Günümüzdeki mimari form arayışında, matematiksel altyapıya dayalı olmakla beraber karmaşıklık içeren formlar ön plana çıkmaktadır. Mukarnas ögesi de bu tipte form arayışında yerini alabilecek bir eleman olma potansiyeline sahiptir. Bu yüzden mukarnas üzerine yapılan çalışmaların yapılmasının mimarlık dünyasına bir katkısı olabileceği düşünülebilir. Özellikle gelişen teknolojilerden yararlanılarak, mukarnas formu geliştirilip, yorumlanabilir.

Günümüzde Orta Doğu'da yapılan çağdaş yapılarda geleneksel elemanların (mukarnas gibi) kullanılmasına eğilim olduğu da görülmüştür. Modern tekniklerle geliştirilebilme potansiyeline sahip bu elemanlar, arka planlarındaki geometrik kompozisyonlarla, tasarımcılara ilginç fikirler sunabilmektedirler. Bu yüzden, bu geleneksel elemanlardan biri olan mukarnasların eski zamanlarda nasıl yapıldığını çözümlemek, bize mukarnasla ilgili yapılacak yeni çalışmalar için önemli bir altlık oluşturacaktır.

Bu çalışmanın bir sonraki adımı olarak, mukarnas üreticileri ile işbirliği yapılabilir. Bu kapsamda 3 boyutlu yazıcı kullanılarak çeşitli üretim denemeleri ve dolayısıyla malzeme kullanımı denemeleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

Agirbas, A. (2018). Performance-Based Design Optimization for Minimal Surface Based Form. *Architectural Science Review*, 61 (6), p. 384-399.

Agirbas, A. (2019). Façade Form-Finding with Swarm Intelligence. *Automation in Construction*, 99, p. 140-151.

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, p. 113-137.

Alaçam, S., Güzelci, O. Z., Gürer, E., & Bacınoğlu, S. Z. (2017). Reconnoitring Computational Potentials of The Vault-Like Forms: Thinking Aloud on Muqarnas Tectonics. *International Journal of Architectural Computing*, 15 (4), p. 285-303.

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.

Burckhardt, T. (2009). *Art of Islam, Language And Meaning: Commemorative Edition*. Indiana: World Wisdom.

Burry, J. & Burry, M. (2012). *The New Mathematics of Architecture*. NY: Thames & Hudson.

Caner, Ç. & Bakırer, Ö. (2009). Anadolu Selçuklu Dönemi Yapılarından Medrese ve Camilerde Portal. *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları (Hütad)*, 10 (10), s. 13-30.

Castera, J. M. (2007). *The Muqarnas Dome of The Hall of The Two Sisters in The Alhambra in Granada*. In Mathematics and Culture V, Emmer, Michele (Ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

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.

Dallal, Y. & Yaman, B. (2019). Erken Osmanlı Mimarisinde Kullanılan Mukarnas Biçimleri (İznik, Bursa, Edirne). *Süleyman Demirel Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 42, s. 75-91.

Demiriz, Y. (1980). Üsküdar'da Mihrimah Sultan Camii. *Sanat Dünyamız*, 7 (20), 9.80, s. 16-23.

Dold-Samplonius, Y. (1992). Practical Arabic Mathematics: Measuring The Muqarnas by Al-Kashi. *Centaurus*, 35, p. 193-242.

Duarte, J. P. (2005). Towards The Mass Customization Of Housing: The Grammar of Siza's Houses at Malagueira. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32 (3), p. 347-380.

Elkhateeb, A. A. (2012). Domes in The Islamic Architecture of Cairo City: A Mathematical Approach. *Nexus Network Journal*, 14 (1), p. 151-176.

Erçağ, B. (1991). İstanbul Şehzade Camii Restorasyonu. *Vakıf Haftası Dergisi*, 8, s. 213-228.

Eriş, İ., Yüzereroğlu, U. & Demir, N. (2013). Atik Valide Sultan Külliyesi 2011-2013 Yılları Restorasyonu ve Uygulamaları. *Vakıf Restorasyon Yıllığı Dergisi*, 6, s. 99-114.

Gherardini F. & Leali F. (2016). A Framework for 3D Pattern Analysis and Reconstruction of Persian Architectural Elements, *Nexus Network Journal*, 18, p. 133-167.

Gonzalo, J. C. P. & Alkadi, R. M. (2018). Muqarnas Domes and Cornices in The Maghreb and Andalusia. *Nexus Network Journal*, 20 (1), p. 95-123.

Günay, R. (2006). *Sinan'ın İstanbul'u (Birinci Baskı)*. İstanbul: Yem Yayınevi.

Hamekasi, N., Samavati, F. F. & Nasri, A. (2011). Interactive Modeling of Muqarnas. *Proceedings of Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*, 11, p. 129-136.

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

Harb, U. (1978). Ilkhanidische Stalaktitengewolbe (Takht-I Suleiman). Berlin: Deutsches Archaeologisches Institut.

Harmsen, S. (2006). *Algorithmic Computer Reconstructions of Stalactite Vaults Muqarnas in Islamic Architecture*. Ph.D. Thesis, Ruprecht Karls University, Heidelberg.

Karademir, M. (2016). Mimar Sinan Dönemi Camilerde Taçkapı Tasarımı. *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 40, s. 299-314.

Kashef, M. (2017). Bahri Mamluk Muqarnas Portals in Egypt: Survey and Analysis. *Frontiers of Architectural Research*, 6 (4), p. 487-503.

Kharazmi, M. & Sarhangi, R. (2016). An Analytical Study of The Methods of Design and Geometric Constructions in Architectural Ornaments of The Friday Mosque of Forumad. *Nexus Network Journal*, 18, p. 275-310

Knight, T. & Stiny, G. (2015). Making Grammars: From Computing with Shapes to Computing with Things. *Design Studies*, 41, p. 8-28.

Kuban, D. (2007). *Osmanlı Mimarisi.* İstanbul: YEM Yayın.

Kuran, A. (1988). *Mimar Sinan'ın Camileri*. İstanbul: Vakıflar Genel Müdürlüğü.

Lukovich, T. (2018). Utzon 100. *Ybl Journal of Built Environment*, 6 (1), p. 130-150.

Maarouf, I. E. & Zeid, S. U. (2019). Parametric Approach for Generatıng New Muqarnas. *Journal of Islamic Architecture*, 5 (3), p. 111-118.

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

Orman, İ. (2010). Şehzade Külliyesi. *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, 18, p. 483-85.

Ozdural, A. (1990). Giyaseddin Jemshid El-Kashi and Stalactites. *METU JFA*, 10, p. 31-49.

Ozdural, A. (1991). An Analysis of The Geometry of Stalactites: Buruciye Medrese in Sivas. *METU JFA*, 11, p. 57-71.

Özkar, M. (2011). Visual Schemas: Pragmatics of Design Learning in Foundations Studios. *Nexus Network Journal*, 13 (1), p. 113-130.

Ödekan, A. (1993). Cümle Kapısı. *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, 8, s. 115-116.

Ödekan, A. (2004). *Yazıları ve Rölöveleriyle Sedat Çetintaş*. İstanbul: İTÜ Yayınları.

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.

Senhaji, M. & Benslimane, R. (2019). Automatic 3d Muqarnas Architectural Patterns Reconstruction Using Plane Representation. *Journal of Cultural Heritage*, 35, p. 25-40.

Stiny, G. (2006). *Shape: Talking About Seeing and Doing*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Stiny, G. & Gips, J. (1972). Shape Grammars and The Generative Specification of Painting and Sculpture. *Information Processing*, 71, p. 1460-1465.

Şeker, B. Ş. (2011). Mimar Sinan Camilerinin Statik ve Dinamik Yükler Etkisinde Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Takahashi, S. (2020). Muqarnas: A Three-Dimentional Decoration of Islam Architecture. http://www.shiro1000.jp/muqarnas/. Erişim Tarihi: 04/02/2020.

Uluengin, F. M. (2018). *Mukarnas*. Istanbul: Istanbul Fetih Cemiyeti.

URL LİSTESİ:

URL 1: Mukarnas Tower. https://www.som.com/projects/muqarnas_tower Erişim tarihi: 01/03/2020.

URL 2: Cidde Stadyumu. https://www.flickr.com/photos/seier/3882358715/in/photostream/ Erişim tarihi: 28/02/2020.

URL 3: LDB Pavilion. http://www.kamvariarchitects.com/ldb-pavilion/ Erişim tarihi: 04/03/2020.

URL 4: Mukarnas. http://www.michael-hansmeyer.com/muqarnas Erişim tarihi: 27/02/2020.

URL 5: Transparent Muqarnas by Cristina Parreno. http://islamicartsmagazine.com/magazine/view/transparent_muqarnas_by_cristina_parreno/ Erişim Tarihi: 03/05/2020.

URL 6: Punchbowl Mosque / Candalepas Associates. https://www.archdaily.com/914578/punchbowl-mosque-candalepas-associates Erişim Tarihi: 08/05/2020.

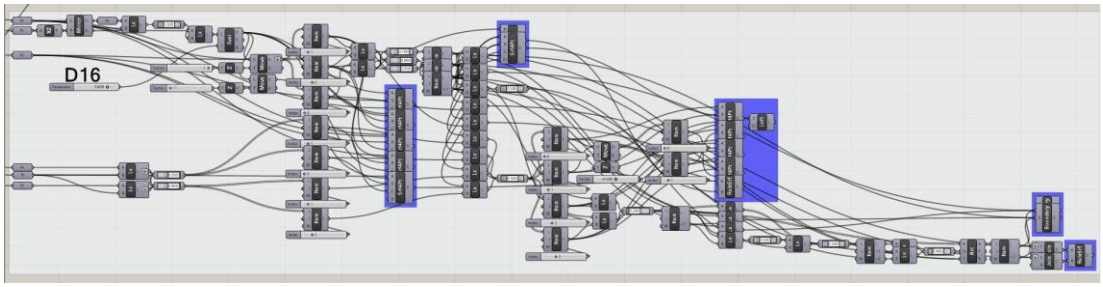
URL 7: İstanbul Süleymaniye Camii. http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari_cizimler/Istanbul%20Suleymaniye%20Camii/slides/Levha031_Suleymaniye_Vaziyet_Plani_Zemin_Katlari.html Erişim tarihi: 26/02/2020.

URL 8: İstanbul Şehzade Camii. http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari_cizimler/Istanbul%20Sehzade%20Camii/slides/Levha017_Istanbul_Sehzade_Camii_Vaziyet_Plani.html Erişim tarihi: 26/02/2020.

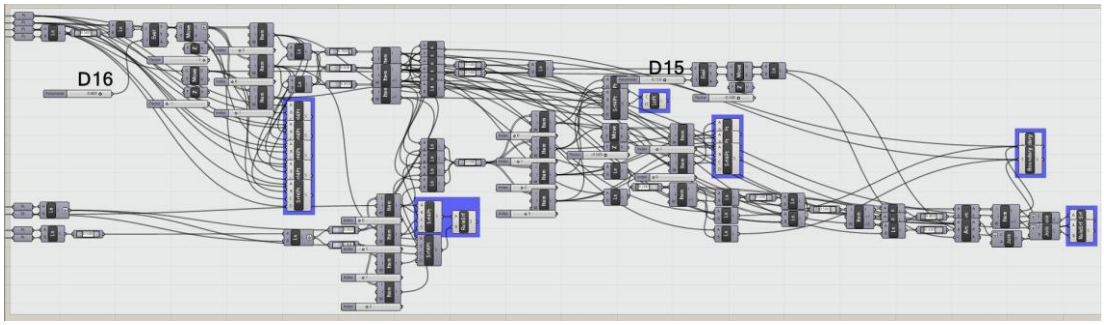
URL 9: Üsküdar Mihrimah Camii. http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari_cizimler/Uskudar%20Mihrimah%20Camii/slides/Levha013_Uskudar_Mihrimah_Camisi_Plani.html Erişim tarihi: 26/02/2020.

URL 10: Üsküdar Atik Valide Camii. http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari_cizimler/Uskudar%20Atik%20Valde%20Camii/slides/Levha137_Uskudar_Atik_Valde_Camii_Plani.html Erişim tarihi: 09/02/2020.

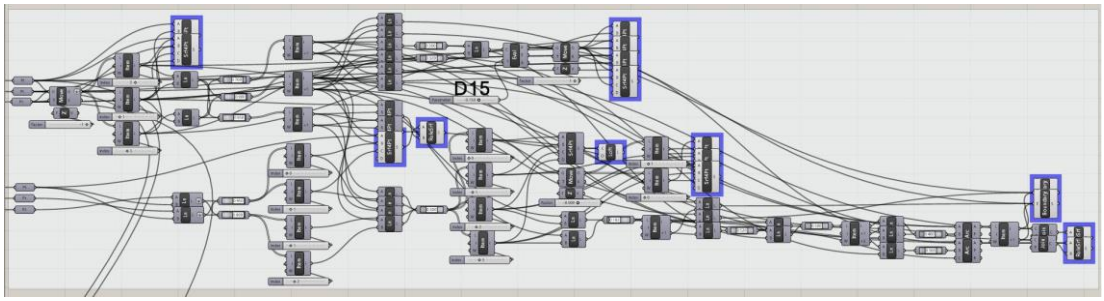
EKLER



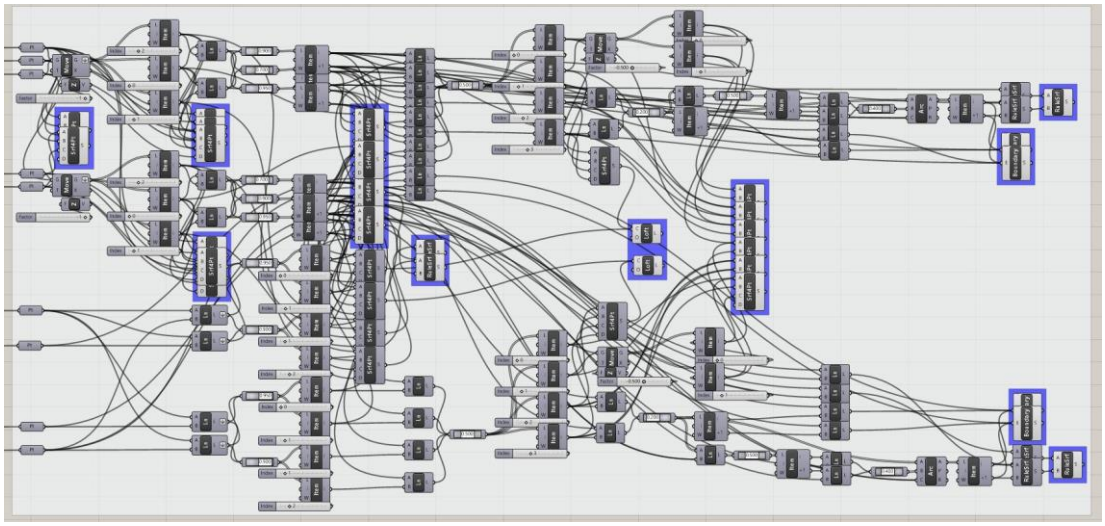
Ek 1: İkinci model önerisindeki üçgen çatılı hücrenin betiği



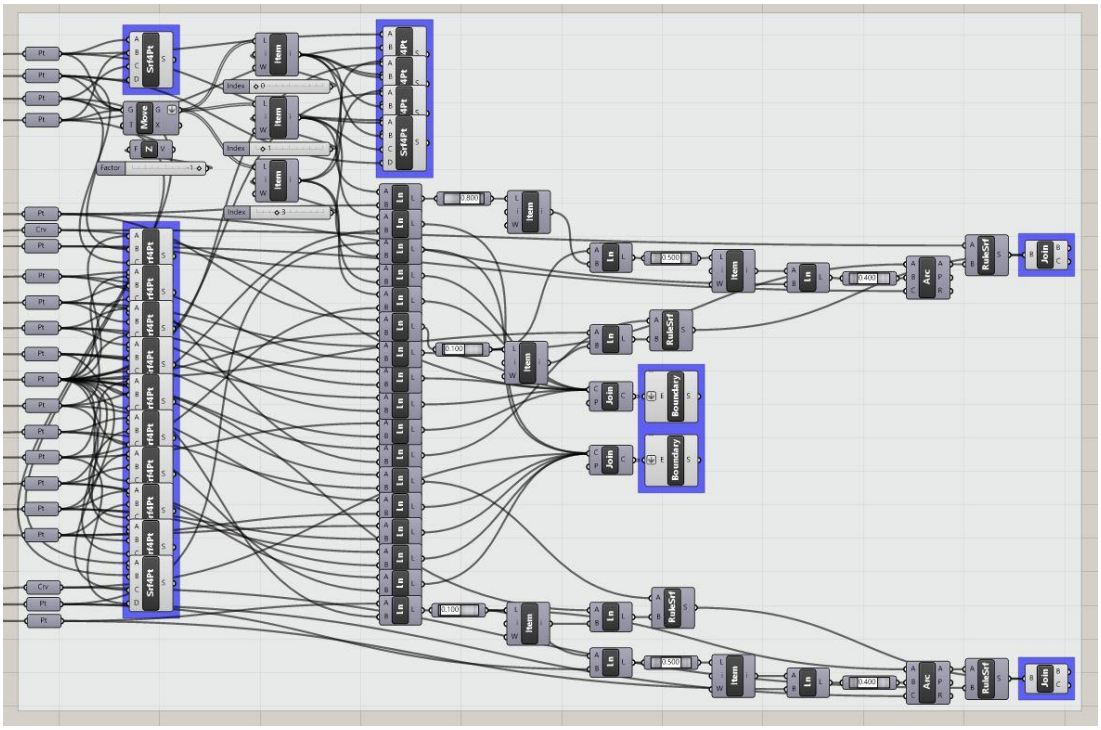
Ek 2: İkinci model önerisindeki deltoit çatılı hücrenin betiği



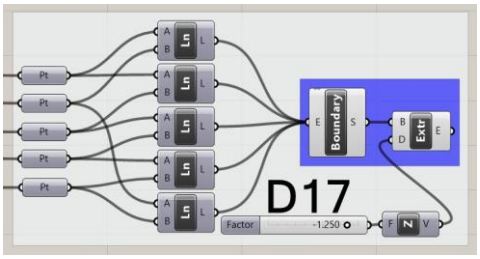
Ek 3: İkinci model önerisindeki fitil hücresinin betiği



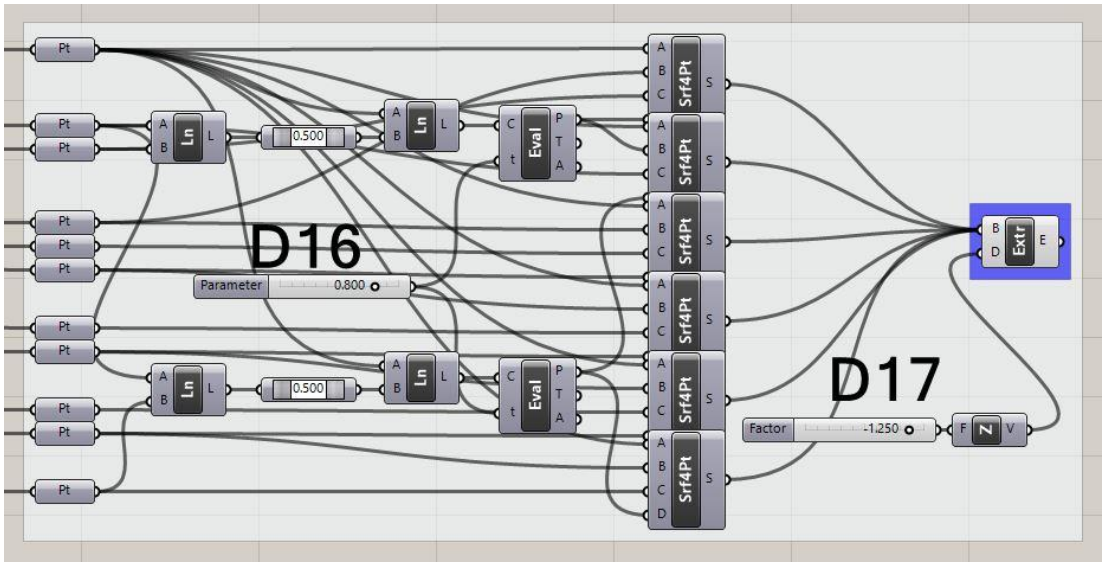
Ek 4: İkinci model önerisindeki deltoit çatılı yüzeysel hücrenin betiği



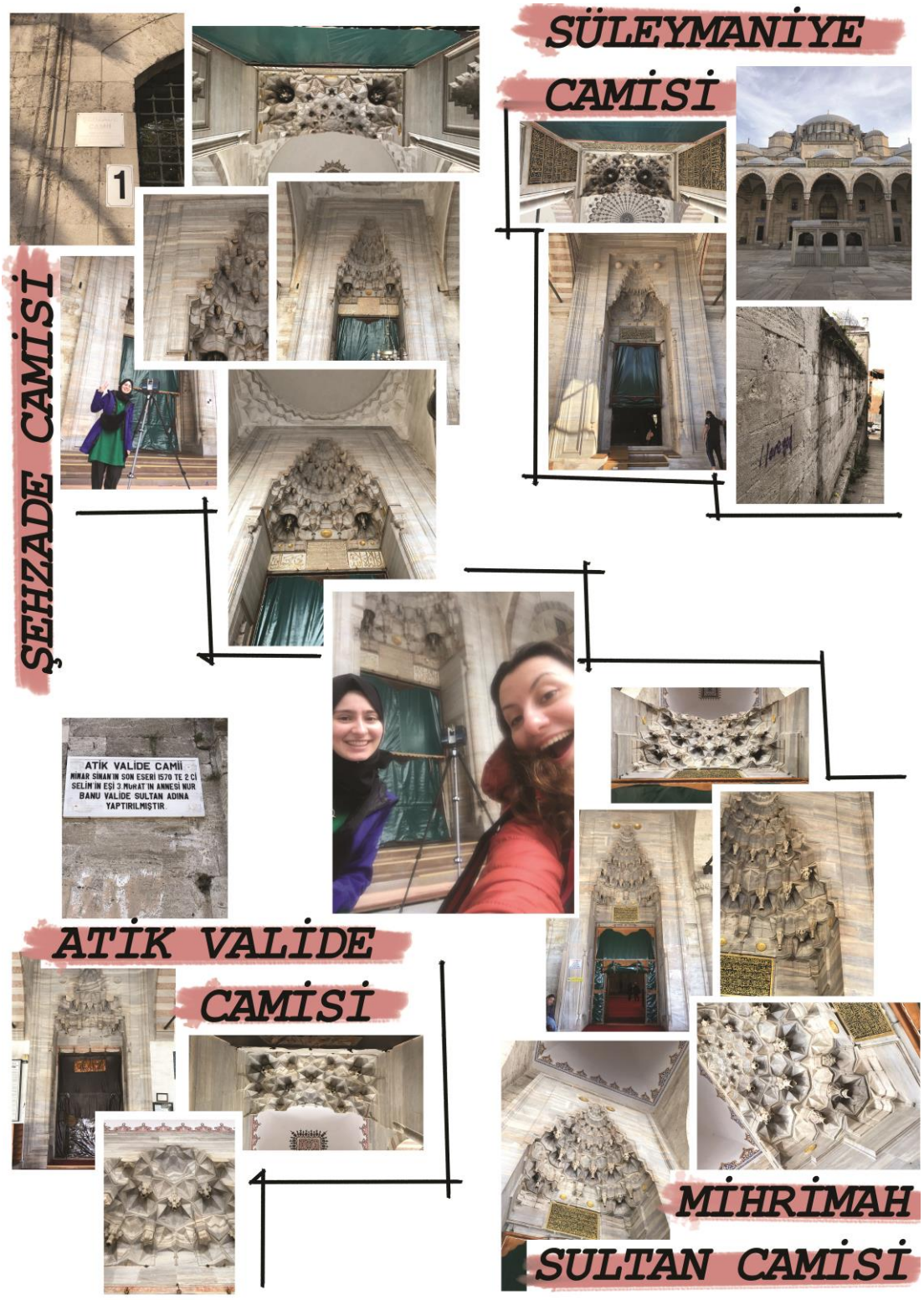
Ek 5: İkinci model önerisindeki badem hücresinin betiği



Ek 6: İkinci model önerisindeki 5 kollu yıldız merkezinin betiği



Ek 7: İkinci model önerisindeki 6 kollu yıldız merkezinin betiği



Ek 8: Saha çalışması ve camilerin farklı açılardan elde edilen görüntüleri