



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUKARNAS ALGORİTMASININ
BİLGİSAYAR DESTEKLİ
ÇÖZÜMLEMELERİ: ANADOLU
ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sevde Gülizar DİNÇER

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

MAYIS 2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sevde Gülizar Dinçer tarafından hazırlanan “Mukarnas Algoritmasının Bilgisayar Destekli Çözümlenmesi: Anadolu Örneklerinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 06/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç.Dr. H. Hale KOZLU

.....

Danışman

Doç.Dr. Mustafa KORUMAZ

.....

Üye

Doç.Dr. Fatih CANAN

.....

Üye

Doç.Dr. A. Emre DİNÇER

.....

Üye

Prof.Dr. M. Emin BAŞAR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması YÖK 100/2000 Doktora Projesi ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sevde Gülizar DİNÇER

Tarih: 06.05.2022

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MUKARNAS ALGORİTMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÇÖZÜMLEMELERİ: ANADOLU ÖRNEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sevde Gülizar DİNÇER

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mustafa KORUMAZ
Eş Danışman: Prof.Dr. Tuğrul YAZAR

2022, 205 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Mustafa KORUMAZ
Doç.Dr. Fatih CANAN
Doç.Dr. A. Emre DİNÇER
Prof.Dr. M. Emin BAŞAR
Doç.Dr. H. Hale KOZLU

İslam mimarisinin karakteristik öğelerinden biri olan mukarnas, yan yana ve üst üste eklenmiş prizmatik birimlerden oluşmaktadır. Zengin görsel etkisinin yanı sıra strüktürel ve matematiksel arka planı ile mukarnas tasarımı bütüncül bir yaklaşım şeklinde ele alınmalıdır. Yapım tarihi, bölgesi ve malzemesi üzerinden değerlendirildiğinde her bir mukarnas uygulamasının farklı metotlar ile üretildiği gözlenmiştir. Tasarım ve yapım tekniği analizlerinin geliştirilmesi sonucunda farklı mukarnas üretim metotlarının anlaşılması, koruma ve onarım sorunları ve yeni yapılan örneklerde uygulama hataları gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Çalışmada incelenen Anadolu Selçuklu Devleti (1075-1308) ve sonrası dönemlerde uygulanmış mukarnas örneklerinin, diğer örneklerden ayrılarak malzeme kullanımı, strüktürel ve dekoratif detayları ile özgün bir tasarım-yapım sürecine sahip olduğu görülmektedir. Çalışmada genel bağlamda mukarnasın dönemsel gelişimi, tasarım ve üretim aşamaları ve güncel uygulamalardaki kullanımı ayrı başlıklar altında irdelenmiş ve yapılan değerlendirmeler sonucunda incelenen mukarnas örnekleri için alternatif bir yöntem belirlenmiştir. Geleneksel kurallar çerçevesinde belirlenen bu yöntem dayalı özgün bir mukarnas denemesi yapılmıştır. Özgün mukarnas denemesinin tasarım aşaması Unity oyun motoruna aktarılarak simüle edilerek 'Anadolu Mukarnası' uygulamasına dönüştürülmüştür. Çalışma sonucunda incelenen örneklerle dayalı mukarnas üretim yöntemi belirlenmiş ve yeni mukarnas tasarımı denemeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: geometrik desenler, geometrik analiz, mukarnas, Anadolu mukarnası, mukarnas analizi, unity

ABSTRACT

PhD THESIS

COMPUTER-AIDED ANALYSIS OF MUQARNAS ALGORITHM: EVALUATION OF ANATOLIAN EXAMPLES

Sevde Gülizar DİNÇER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Mustafa KORUMAZ

Co-Advisor: Prof.Dr. Tuğrul YAZAR

2022, 205 Pages

Jury

Assoc.Prof.Dr. Mustafa KORUMAZ

Assoc.Prof.Dr. Fatih CANAN

Assoc.Prof.Dr. A. Emre DİNÇER

Prof.Dr. M. Emin BAŞAR

Assoc.Prof.Dr. H. Hale KOZLU

One of the characteristic elements of Islamic architecture muqarnas consists of prismatic units attached side by side and on top of each other. Besides its visual impact, the design of muqarnas should be considered as a holistic approach with its structural and mathematical background. When evaluated on the date of construction, region and material, it is observed that each muqarnas practice is produced with different methods. As a result of the generalisation design and construction techniques, problems such as not understanding different muqarnas production methods, conservation and repair challenges and construction errors in new practices may arise.

The muqarnas examples examined in the study were constructed in Anatolian Seljuks (1075-1308) and later periods, differ from other samples and have a unique design-making process with the use of materials, structural and decorative details. In the study, the historical development of muqarnas, its design and production stages, and use in current practices were examined under separate chapters and an alternative method was determined for the examined muqarnas samples. An original muqarnas experiment was made based on this method determined within the framework of traditional rules. The design phase of the original muqarnas experiment was transferred to the Unity game engine and turned into a simulated ‘Anatolian Muqarnas’ application. As a result of the study, the muqarnas production method based on the samples examined was determined and new muqarnas design trials were carried out.

Keywords: geometric patterns, geometric analysis, muqarnas, Anatolian muqarnas, muqarnas analysis, unity

ÖNSÖZ

Doktora sürecimin başladığı andan itibaren desteklerini esirgemeyen ve tez çalışmam süresince değerli bilgileri ve tecrübesi ile bana yön gösteren danışmanım Doç. Dr. Mustafa KORUMAZ'a,

Tez çalışmam ve mukarnas alanında yaptığım diğer çalışmalarda bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, disiplinli çalışmam konusunda motive eden, fikir ve önerileri ile ufkumu açan eş danışmanım Prof. Dr. Tuğrul YAZAR'a,

Tez izleme komitesinde yer alan ve süreç boyunca değerli katkılar sağlayan Doç. Dr. Fatih CANAN ve Doç. Dr. A. Emre DİNÇER'e,

Tezin değerlendirme sürecinde yer alan Prof. Dr. M. Emin BAŞAR ve Doç. Dr. H. Hale KOZLU'ya,

'Anadolu Mukarnası' yazılımının geliştirilmesi sürecinde yardımcı olan Yusuf GÜLKAYA'ya,

Pandemi şartları ile zorlaşan sürecim boyunca benden destek, anlayış ve sabırlarını esirgemeyen aileme,

teşekkür ederim.

Sevde Gülizar DİNÇER
KONYA- 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı.....	4
1.2. Araştırmanın Kapsamı	5
1.3. Araştırmanın Yöntemi	5
1.4. Literatür Özeti.....	7
2. MUKARNAS VE TARİHSEL GELİŞİMİ.....	20
2.1. Mukarnas Etimolojisi ve İlk Mukarnas Örnekleri	20
2.2. Mukarnas Uygulamaları Gelişim Sürecinin Bölgelere Göre Değerlendirilmesi .	24
2.2.1. İran ve Orta Asya'da Mukarnas Uygulamaları.....	24
2.2.2. Suriye, Mısır ve Sicilya'da Mukarnas Uygulamaları	25
2.2.3. Kuzeybatı Afrika'da (Mağrip) Mukarnas Uygulamaları	26
2.2.4. Anadolu'da Mukarnas Uygulamaları.....	27
2.3. Mukarnas Uygulamalarında Taş Malzemenin Kullanımı ve Gelişim Süreci.....	29
2.4. Anadolu Selçuklu Devleti Mukarnas Uygulamalarında Kültürel Etkileşimler ...	34
2.4.1. Anadolu Selçuklu Devleti Mukarnaslarında Malzeme ve Yapım Tekniği... 40	
3. MUKARNAS YAPIM VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ	43
3.1. Mukarnas Uygulamalarında Koruma ve Onarım.....	43
3.1.1. Tasarım Kurgusunda Bozulmalar Meydana Gelen Örnekler	43
3.1.2. Mukarnas Birimleri Deforme Olmuş Örnekler.....	47
3.1.3. Mukarnas Birimleri Yanlış Onarılmış Örnekler	48
3.1.4. Temel Taşları Kalan Örnekler	49
3.1.5. Boyanmış Örnekler	50
3.1.6. Mukarnaslı Taç Kapı Restorasyonu Örneği.....	56
3.2. Güncel Mukarnas Uygulamaları Örnekleri.....	58
3.3. Güncel Mukarnas Uygulamalarında Birebir Kopyalanmış Örnekler	69
4. MUKARNAS TASARIM VE YAPIM SÜRECİ.....	77
4.1. İslami Geometrik Desenler ve Mukarnas İzdüşüm Planı İlişkisi	77
4.2. Mukarnas İzdüşüm Planı Geometrik Kurgu Analizleri	84
4.3. Mukarnas Birim-Blok Analizleri	103

5. ALAN ÇALIŞMASI	119
5.1. Anadolu Selçuklu Devleti ve Sonrası Dönemlerde Kullanılmış Mukarnas İzdüşüm Planları Geometrik Kurgusu ve Ammann-Beenker Kaplama Desenleri İlişkisi.....	119
5.2. Mukarnas Boyutlandırma	124
5.3. Yeni Mukarnas Denemesi.....	133
5.4. Süper Karo Bloklar ile Üretim Denemeleri	143
5.5. Unity Oyun Motoru ile ‘Anadolu Mukarnası’ Uygulaması.....	146
5.5.1. Anadolu Mukarnası Uygulaması ile Mukarnas Denemeleri.....	149
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	154
6.1. Sonuç	154
6.2. Öneriler	156
KAYNAKLAR	159
EKLER	169

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

CNC- Bilgisayar Destekli Numerik Kontrol (Computer Numeric Control)

2B- İki Boyutlu

3B- Üç Boyutlu

CAD- Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-aided Design)



1. GİRİŞ

İslam mimarisinin karakteristik öğelerinden biri olan mukarnas, düzlemde yer alan bir geometrik desenin, kavisli yüzeylerden oluşan birimler ile üçüncü boyuta aktarıldığı mimari geçiş elemanıdır. Kubbelerde, taç kapılarda, kornişlerde, sütun başlıkları ve minare şerefelerinde iki ayrı yüzeyi birbirine bağlayan bir öge olarak kullanılan mukarnas farklı dönem ve bölgelerde çeşitli malzeme ve metotlar ile üretilmiştir. Bu nedenle mukarnas hakkında doğru yorumların yapılması hem İslam tarihi hem de dönemin mimarlık tarihi bilgisi gerektirmektedir.

Mukarnasa benzer ilk niş örneklerinin kullanımı Samanoğlu Devleti (819-999) Samanoğlu Türbesi (958) kubbe tonoz-bingilerde (tromp) başlayarak Karahanlılar (840-1212) ve Büyük Selçuklu Devleti'ne (1037-1194) kadar gelişim göstermeye devam etmiştir. Tuğla malzeme ile yapılmış bu uygulamalar strüktürel işlev görürken, Gazneliler döneminde (963-1186) dekoratif amaçlı alçı nişler ile hazırlanmış mukarnas benzeri örnekler de bulunmaktadır.

Niş örneklerinin uygulandığı yakın tarihlerde Kuzeybatı Afrika (Mağrip), Sicilya ve Mısır'da da çeşitli mukarnas uygulamaları ortaya çıkmıştır. Farklı bölgelerde bulunan mukarnas örnekleri değerlendirilirken tarihlendirme konusuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Yıllar boyu kabul edilmiş tarihler üzerine yapılan araştırmalar sonucunda bazı tarihlendirmelerde hataların olduğu üzerine tespitler bulunmaktadır. Örneğin, tarih kaynaklarının çoğunda Irak'ta yok edilen İmam Dur Türbesi (1085) kubbesinin ilk mukarnaslı kubbe olduğu ifade edilmektedir. Yapının kitabesi incelendiğinde kabul görmüş tarihin inşa tarihi olduğu ve kubbenin 13.yy. da eklendiği gözlenmiştir (Uluçam, 1990). Bu gibi pek çok tarihlendirme problemi bulunan örneğin yanı sıra doğal afetler, yangınlar ve savaşlar sebebi ile günümüze ulaşmamış uygulamaların da mevcut olduğu bilinmektedir. Özellikle Suriye'de yangınlar sebebi ile yok olmuş ahşap mukarnas uygulamaların taş mukarnas gelişim sürecini etkilediği kanısına varılmıştır. Suriye'de yapılmış birkaç taş malzemeli uygulamanın ahşap uygulama örneklerinin imitasyonu olduğu hakkındaki tespitler Sicilya bölgesi yapıları ile bağlantılıdır. Öte yandan Sicilya'daki mukarnas detaylı ahşap ve taş yapıların Suriye'deki mukarnas örnekleri ile benzerlik içermesi dikkat çekmektedir. Sicilya'ya Suriye'den daha yakın olan Kuzeybatı Afrika bölgesinde taş ya da ahşap malzeme yerine alçı malzeme tercih edilmiştir. Alçı mukarnas örnekleri Sicilya mukarnasına

benzer birimler ile uygulanırken, ilerleyen dönemlerde gelişim göstererek farklı biçimlere evrilmiştir.

Suriye ile bağlantılı olan bir diğer bölge Anadolu'dur. Suriye'de yapılmış taş mukarnas örnekleri aynı dönemlerde Anadolu'da da uygulanmıştır. Anadolu'daki mukarnas uygulamaları, Orta Asya ve İran mimarisi tarzı ve Anadolu topraklarında yaşayan toplumların mimari üslubunun birleşmesi sonucunda daha kapsamlı ve nitelikli örneklerle evrilmiştir. Anadolu Selçuklu kuruluş dönemi (1075-1205) mukarnas uygulamalarının Ahlat bölgesi ile bağlantılı olduğu düşünülürken, yıkılış döneminde (1205-1308) Moğolların etkisi ile farklı mimari üslubun benimsenmiş, sonrasında kurulan beylikler ve Osmanlı Devleti'nde (1299-1922) çeşitli mukarnas denemeleri ortaya çıkmıştır. Erken Osmanlı Devleti (1299-1501) uygulamalarından Klasik Osmanlı dönemi (1300-1600) uygulamalarına geçişte taç kapı ögesi üslubunda geometrik desen kullanımının azaltılarak sadeleştirildiği fakat mukarnas unsurunun olgunlaşarak daha kapsamlı tasarımlara dönüştüğü görülmektedir. Osmanlı Barok döneminde (1757-1808) tamamen değişen mimari tarzının sonrasında I. Ulusal Mimarlık Akımı (1908-1930) ve II. Ulusal Mimarlık Akımı (1939- 1950) dönemleri ile geleneksel mimari öğeleri benimsenmeye çalışılsa da modernizmin etkisiyle mimarlık anlayışı büyük ölçüde değişmiş, mukarnas gibi pek çok zanaatın uygulamaları azalmıştır.

Türkiye'de son yıllarda güncel uygulamalarda sıkça rastlanan mukarnas ögesinin taç kapı, mihrap ve pendentif detaylarında kullanıldığı gözlenmiştir. Bu uygulamaların genellikle Anadolu Selçuklu ve Osmanlı Devleti yapılarında bulunan mukarnasların taklit edilerek yapıldığı dikkat çekmektedir. Tarih boyunca mukarnas uygulamaları İslami geometrik desen uygulamaları ile paralel bir gelişim süreci geçirmiştir. Geometrik desen tasarım ve yapım sürecinde yer alan kişilerin aynı zamanda astronomi, fizik, matematik ve mühendislik gibi alanlarda uzman olduğu hakkında pek çok veri bulunmaktadır. Bu nedenle mukarnas gibi özgün ürünlerinde tasarım sürecinin göz ardı edilerek üretim ve onarımların gerçekleştirilmesi, ana sistemdeki matematiksel alt yapının yok sayılması demektir. Her mukarnas ögesinin bir izdüşüm planı ve bu izdüşüm planında yer alan desenlerin ise strüktürel şemaları yani geometrik kurguları bulunmaktadır. Bu geometrik kurguları anlaşılmadan yalnızca kütleler üzerinden değerlendirilerek mukarnas üretimi gerçekleştirilmesi basit taklitlerin ötesine geçilememesine neden olmaktadır.

Tez kapsamında tanımlanan problemler doğrultusunda araştırmacının amacı ve yöntemine yönelik bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında ilk mukarnas

örneklerinden başlayarak genel bir değerlendirme ile uygulanmış malzemelerin dönem ve bölgelere göre farklılık gösterdiği örneklerle değinilmiştir. Mukarnas uygulamalarında taş malzemenin kullanım ve uygulama süreci tarihsel bağlamda ele alınarak Anadolu Selçuklu ve sonrası dönem tasarımları üzerinden daha detaylı incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde genel bir değerlendirme yapılarak mukarnas sözcüğünün kökeni ve dönemsel gelişimi irdelenmiştir. Kullanılan malzeme ve metotların uygulandığı bölgelerde dönemsel farklar dikkat çekmiştir. Çalışmanın ana konusu Anadolu Selçuklu Devleti taş mukarnas uygulamaları üzerine yapılmış yeterli araştırmanın olmaması nedeni ile taş mukarnas uygulamalarının kullanıldığı farklı bölgeler ve dönemler ile bağdaştırılarak bazı varsayımlar üzerinden ortaya çıkarılmıştır. Mukarnasın ortaya çıkışı ve gelişimi hakkında genelden özele bir değerlendirmenin yapıldığı bu bölümde tasarım sürecinin ilk aşaması olarak kabul edilen izdüşüm planı belirleme süreci, İslami geometrik desen kullanımı ile ilişkilendirilmiş ve yeni bulgular elde edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde onarım projeleri ve güncel uygulamalarda mukarnas öğesinin kullanımı irdelenmiştir. Türkiye’de hatalı onarımlar sonucu özgün niteliğini kaybetmiş mukarnas öğelerinde tasarım kurgusu hataları, yanlış onarımlar ve deformasyonlar gibi sorunlar tespit edilmiştir. Güncel mukarnas uygulamalarının incelendiği bir diğer başlıkta, yapım ustası ve firmalar ile yapılan görüşmeler sonucunda her bir uygulamanın farklı teknikler üzerinden ilerlediği gözlenmiştir. Özgün bir tasarım arayışı aranmadan, tarihi örneklerden esinlenen bu uygulamalar el işçiliği üretim, CNC makineler ile üretim gibi başlıklar altında sınıflandırılmıştır.

Dördüncü bölümde mukarnas tasarım-yapım sürecine dair bir yöntem belirlenmiştir. Bu aşamada öncelikle mukarnas izdüşüm planlarında bulunan geometrik kurgu üzerine yapılmış çalışmalar analiz edilmiş, sonrasında geometrik kurguda üçüncü boyuta kaldırılmış desenlerin mukarnas birimlerine evrilme süreci birim-blok analizleri olarak ele alınmıştır. Birim-blok analizlerinde mukarnas yapım tekniklerinin dönemsel-bölgesel farklılıkları ortaya çıkmıştır.

Çalışmanın son bölümünde diğer bölümlerde elde edilen veriler doğrultusunda belirlenen mukarnas üretim adımları öncelikle tasarım sürecine dahil edilmiştir. Konya Akşehir Taş Medrese taç kapı mukarnas örtüsü örneği üzerinde tasarım süreci geometrik kurgu aşamasından yapım süreci taş blok yerleşimi aşamaları dahil açıklanmıştır. Yeni ve özgün bir mukarnas uygulamasının geliştirilebilmesi için

alternatif yöntemler belirlenmiştir. Elde edilen yöntemin tasarım süreci aşaması Unity oyun motoruna aktarılarak yeni mukarnas denemelerinin tasarlanabildiği bir mukarnas uygulaması geliştirilmiştir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, geleneksel mimari kültürümüzün en önemli dekorasyon ve strüktürel elemanlarından olan mukarnas projelendirme ve uygulamalarında görülen tanımlama eksiklikleri, restorasyon hataları, basit taklitler ve yozlaştırmaların farkına vararak, bu önemli yapı elemanın anlaşılmasına yönelik bir kavrayış ortaya koymak, yeni yapılacak uygulamalara yönelik bilgisayar destekli üretim metodu geliştirmektir. Bu bağlamda;

1. Üç boyutlu prizmatik öğelerden oluşan mukarnas uygulamalarının her biri izdüşüm planında geometrik kurgu barındırmaktadır. Seçilen geometrik kurgunun üçüncü boyutta mukarnas birimlerine dönüşümü kullanılan malzeme ve uygulama detaylarına göre değişmektedir. Anadolu Selçuklu Devleti (1075-1308) ve sonrası dönemlerde kullanılmış taş mukarnas örnekleri yapım süreci İslam coğrafyasında yer alan diğer mukarnas uygulamalarından farklı bir sistem içermektedir. Literatürde Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamalarının analiz edildiği çalışmalarında matematiksel arka planındaki geometrik kurgu çözümlenmeleri yetersiz kalmıştır. Bu nedenle çalışmada Anadolu Selçuklu ve sonrası dönemlerde kullanılmış mukarnas örneklerinin hem kavramsal bir yaklaşım ile hem de yeni belirlenmiş bir metodoloji üzerinden değerlendirilerek literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Güncel mukarnas uygulamalarında yapım teknikleri için pratik üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Mukarnas üreticileri yapının arka planında kalan strüktürel sistemi günümüz teknolojisi ile üretim yaklaşımlarına uyarlamıştır. Yapılan çalışmalarda mukarnas sisteminin taşıyıcı özelliğinin göz ardı edildiği dikkat çekmiştir. Aynı zamanda tasarım sürecinin taklit yapılar ile biçimlendirilmesi mukarnasın dekoratif özelliğini bozmakta ve sanatsal değerini kaybetmesine neden olmaktadır. Anadolu Selçuklu Devleti yapıları mukarnas uygulamaları incelendiğinde dönemin koşullarına uygun metotlar ile üretim aşamalarının belirlendiği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada öncelikli olarak dönemin sistem ve tekniğinin doğru anlaşılması

hedeflenmiş sonrasında geleneksel üretim tekniklerine bağlı kalınarak yeni ve özgün alternatif bir sistemin olanakları araştırılmıştır.

1.2. Araştırmanın Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında Anadolu bulunan taş yapıların taç kapılarında yer alan mukarnas öğeleri incelenmiştir. Seçilen mukarnasların izdüşüm planında sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare ve baklava modüler birimli örüntü sistemi bulunmaktadır. Doğru mukarnas tasarım ve yapım süreci aşamalarının uygulanması hedeflenen çalışmada ilk adım mukarnas izdüşüm planlarının geometrik çözümlenmeleri ile başlamıştır. Seçilen mukarnaslar Takahashi'nin (URL-1) veri tabanında yer alan izdüşüm planı çizimleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda seçilen mukarnas izdüşüm planlarındaki tesselayonun Amman-Beenker örüntüsüne benzerliği saptanmıştır.

Mukarnas örneklerinin izdüşüm planında yer alan örüntü sistemlerinin üçüncü boyutta biçimlenişi, taş malzeme ile üretim süreci ile bağlantılı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre çalışma kapsamında taş blok uygulama detayları hem mukarnas tasarımının ön yüzeyinde yer alan süslemelerin biçimlenişi hem de arka planda uygulandığı taç kapı duvarı ile strüktürel sistemi geleneksel yapım sürecini işleyen yazılı kaynaklar, mukarnas tasarımcı ve ustaları ile yapılan görüşmeler, mimari projeler ve mukarnas yapım aşamalarını içeren arşiv fotoğrafları üzerinden incelenmiştir.

İki ve üç boyutlu mukarnas birimlerinin geometrik çözümlenmeleri Rhinoceros programında hazırlanan üç boyutlu modeller üzerinden değerlendirilmiştir. Üç boyutlu modeli hazırlanan taş blok mukarnas denemesi 3B yazıcı ile üretilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular ile Unity oyun programında 'Anadolu Mukarnası' yazılımı geliştirilmiş, yeni ve özgün mukarnas üretimine olanak sağlanmıştır.

1.3. Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışmada mukarnas öğesinin hem dekoratif ve hem de strüktürel amaçlı kullanımının iki ve üç boyutlu geometrik çözümlenme yöntemlerine dayalı olduğu kanısına varılmıştır. Bu bağlamda değerlendirilen analizler sonucunda belirlenen geometrik biçimler ve düzenlemelerin sentezlenmesi ile geliştirilen yazılım programı,

geleneksel mukarnas tasarım kurgusunun yeni ve özgün tasarımlar üzerinden devamlılığını sağlamaktadır.

Belirlenen yöntem Türkiye’de Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlerde uygulanmış mukarnaslar üzerinde değerlendirilmiştir. Seçilen mukarnasların izdüşüm planında yer alan sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare-baklava birimli geometrik kurgularının çözümlenmeleri Ammann-Beenker’in aperiodyk kaplama deseni oluşturan A5 karoları ile yapılmıştır. A5 karolarından üretilen ‘süper karolar’ mukarnas geometrik kurguları üzerinde analiz edilmiş ve yeni ‘süper karolar’ belirlenmiştir (Ammann ve ark., 1992; Arık ve Sancak, 2007). Süper karolar yerine koyma metodu yöntemi ile yerleştirilerek kare-baklava karoları ile doldurulmuş ve mukarnas geometrik kurgusunun üretimini sağlamıştır. Böylelikle geleneksel mukarnas tasarımları için belirlenmiş süper karolar, mukarnas geometrik kurgu tasarım sürecine dahil edilmiştir.

Yeni bir mukarnas tasarımı için uygun geometrik kurgu tasarımı seçilmesi izdüşüm planında belirlenecek birimlerin üçüncü boyuta aktarımı aşaması ile bağlantılıdır. Bu nedenle geometrik kurgu belirlenirken örüntü üzerinde bulunan kare ve baklava desenlerinin dönüşeceği mukarnas birimleri ve işlevleri önem taşımaktadır. İzdüşüm planında kullanılacak mukarnas birimleri belirlenirken kademelendirme ve boyutlandırma aşamaları için işlevleri de analiz edilmelidir. İşlev uyumsuzluğu bulunan birimler, izdüşüm planı ve geometrik kurgu aşamasına yapılan geri beslemeler ile yeniden değerlendirilmektedir.

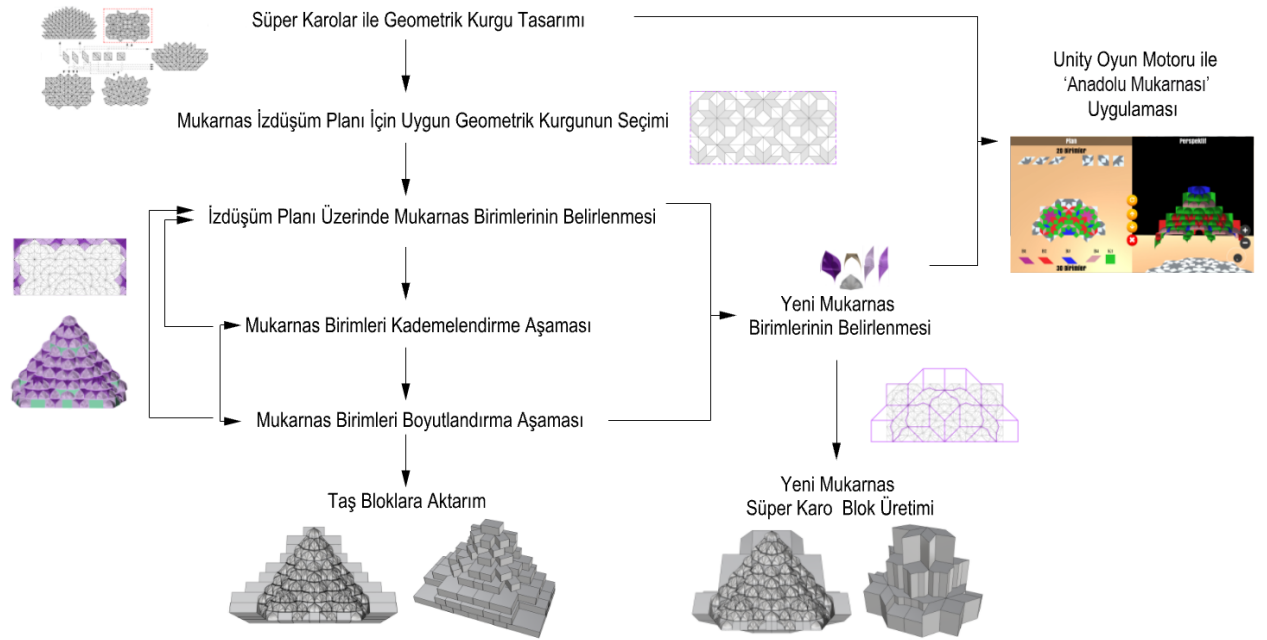
Birim analizi ve işlev analizi aşamalarında elde edilen yüzeylerin strüktürel fonksiyonu bulunmamaktadır. Taş mukarnas uygulamalarında görselliğin yanı sıra sistemin arka planında kalan yapısal düzenlemelerinde dahil edilmesi gerekmektedir. Boyutlandırılmış dekoratif yüzeyler, izdüşüm planındaki konumları göz önünde bulundurularak her bir kademeye uygun şekilde taş blok kütlelere aktarılmıştır.

Süper karolar ile üretilen mukarnas geometrik kurgusu, birim, işlev, kademelendirme ve boyutlandırma aşamalarının sentezlendiği ‘yeni mukarnas birimleri’ aşamasına aktarılmıştır. Geri beslemelere ihtiyaç duyulmayan bu aşamada sentezlenmiş geleneksel süreçlere aynı anda müdahale edilen bir sistem kurgulanmıştır.

Yeni taş blokların üretimi ve kütle analizi aşaması süper karoların izdüşümleri üzerinden değerlendirilmiştir. Mukarnas birimleri hangi kademede yer alıyorsa, izdüşüm planında dahil olduğu süper karo desenleri de o kademeye aktarılmaktadır. Süper karo desenleri boyutlandırıldığında ‘yeni mukarnas süper karo blokları’ elde

edilmektedir. Böylelikle süper karolar hem geometrik kurgunun tasarlanması hem de blok üretim aşamasında etkin bir rol oynamaktadır.

Tasarım sürecinden yapım sürecine kadar belirlenmiş bütün kurallar doğru bir mukarnas tasarımı oluşturma hedefine uygun şekilde bir sisteme aktarılmaktadır. Belirlenen kurallar doğrultusunda kullanıcının tasarımı seçimlerine yönelik müdahale edebileceği bir uygulama önerisi sunulmuştur. ‘Anadolu Mukarnası’ olarak geliştirilen uygulamada süper karolar ve yeni mukarnas birimleri ile hem geleneksel mukarnaların kurgu analizi hem de özgün mukarnas denemeleri yapılmaktadır. Mukarnas birimleri geleneksel taş mukarnas yapım sürecinde yer alan bloklama sisteminin dışında ayrı küteller şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 1.1).



1.4. Literatür Özeti

Mukarnas hakkında yapılmış çalışmalar mukarnas tarihi, geometrik analiz metotları ve bilgisayar destekli üretim denemeleri konuları üzerinden değerlendirilmiştir (Çizelge 1.1).

1) Mukarnas tarihi ve gelişim süreci üzerine yapılmış çalışmalar:

İslam sanatı ve mimarisinin önde gelen isimlerinden biri olarak bilinen Oleg Grabar'ın eserleri İslam sanatının kronolojisini belirleyen çalışmalar arasında kabul edilmektedir. Richard Ettinghausen ile yapılan çalışmada, Emeviler dönemi (661-750) ile başlayarak Samanoğulları dönemine (819-1005) kadar erken dönem İslam Sanatının gelişimini bölgesel etkileşimler, dini ve sivil mimari örnekleri başlıkları altında irdelemiştir. Çalışmada mukarnas ve diğer İslam mimarisi öğeleri kronolojik sıralanarak değerlendirilmiştir (Ettinghausen ve ark., 2003)

İslam sanatı tarihçilerinden Yasser Tabbaa'nın (2001) Sünni mimarisinin gelişimini kaleme aldığı çalışmada Orta Çağ İslam mimarisi (11.yy-12.yy) Irak, İran ve Suriye'de siyasi ve kültürel ilişkilerin İslam Sanatı ve Mimarisine etkileri üzerine yorumlar yapmıştır. Mukarnas öğesini kapsamlı şekilde incelediği başlık altında kelime kökeni ve ilk mukarnas örneklerini sıralamıştır. Suriye yapılarında taş mukarnas öğesini detaylı şekilde incelediği bir diğer başlıkta dini ve siyasi bağlantılar üzerinden değerlendirmiştir.

Türk sanat tarihçilerinden Arseven (1984) ve Aslanapa (2000), İslam sanatında Türk sanatının önemini vurguladığı çalışmalarında İslamiyetin kabulü öncesi ve sonrası dönemler Osmanlı Devleti'ne kadar inşa edilmiş yapıları kronolojik sıralaması üzerinden detaylı incelemiştir. Aslanapa (2000), İslam mimarlık tarihi kaynaklarında Türk mimarisine yeterince yer verilmediğini ve bu nedenle mimari yapıların tarihi gelişim sürecinin anlaşılmadığını vurgulamaktadır. Aslanapa'nın (2000) mimari yapılara değindiği çalışmasının dışında Arseven (1984) diğer sanat dalları uygulamalarına da yer vermiştir. Bir diğer Türk sanat tarihçisi Cezar (1977), Türklerin Anadolu'ya yerleşmeden önceki şehir yaşamı ve mimari yaklaşımlarını yapılar üzerinden değerlendirmiştir. Tez kapsamında incelenen bu çalışmalarda mukarnas öğesinin kullanıldığı yapılar hakkında bilgi edinilmiştir.

Son yıllarda sanat tarihçiler İslam mimarisi yapılarında genel kabul gören tarihlendirmelere dayalı detaylı çalışmalar yapmış ve mukarnas gibi İslam mimarisinin karakteristik öğelerinin gelişim sürecinin anlaşılması konusunda katkıda bulunmuştur. Carrillo (2016), ilk mukarnas uygulamaları olarak değerlendirilen Yakın Doğu'da 8. ve 10. yy'da uygulanmış tonoz-bingi (tromp) örneklerini incelemiş ve kökenini Sasaniler dönemi (3. ve 5. yy.) tonoz-bingi uygulamaları ile ilişkilendirmiştir. Bu tonoz-bingi örneklerinden yola çıkarak özgün mukarnas örneklerinin gelişim sürecini kronolojik bir yaklaşım üzerinden gerçekleştirmiştir.

McClary (2015), Rum (Anadolu) Selçuklu Devleti mimarisini incelediği doktora tezinde 1170 ve 1220 yılları arasında Anadolu'daki mimari gelişime farkındalık sağlamayı amaçlamıştır. Farklı mimari üslupların ve kaynakların önceki dönem milletleri ve Anadolu Selçuklu Devleti himayesinde inşa edilme süreci, kullanılan malzeme ve zanaatkarların sanatsal ifadeye katkısını mimari öğeleri üzerinden analizler gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında Anadolu Selçuklu mukarnasının form, malzeme ve yapım teknikleri değerlendirmelerine yer verilmiştir.

Massaiu (2018), 11. ve 12. yy. Norman Devleti Sicilya'da bulunan mukarnas örneklerini incelediği tezinde Norman mimarisini Akdeniz ve Yakın Doğu uygulamaları ile ilişkilendirerek siyasi, kültürel ve sanatsal bağlamda değerlendirmiştir. Buna göre 12. yy. Normanlar dönemi sanatının aynı dönemde Mısır'da hakimiyet kurmuş Fatimiler dönemi mimari yaklaşımından daha geniş bir coğrafyada ele alınması gerektiğine değinmiştir.

Haddad (Haddad, 2019; 2020), mukarnasın kelime kökeni ve Kuzeybatı Afrika (Mağrip) tarihi üzerine bir tanıtımını yapmayı amaçladığı doktora tezinde mukarnas ögesinin 16. yy' a kadar olan gelişim sürecini dönemlere ayırarak irdelemiştir. Tez kapsamında her bir dönemde mukarnas ögesinin farklı kullanımları ele alınmıştır. Öte yandan Orta Asya, Endülüs ve Sicilya'da yapılan mukarnas uygulamaları ile bağlantılara değinilmiş, Kuzeybatı Afrika mukarnas örneklerinin Osmanlı Devleti mukarnası ile form, malzeme ve uygulama biçimine dair farklılıkları değerlendirilmiştir.

Dallal (2019), erken dönem Osmanlı mimarisi mukarnas öğelerini incelediği doktora tezini İznik, Bursa ve Edirne'de bulunan yapılar üzerinden kullanım alanına, malzemesine ve biçimsel özelliklerine dayalı şekilde irdelemiş, sınırladığı dönemde yapılan mukarnas uygulamalarının Anadolu Selçuklu ve Klasik Osmanlı Devleti mukarnas uygulamaları ile benzerlikleri ve farklılıkları üzerinde durmuştur.

2) İslami geometrik desen ve mukarnas geometrik çözümleme metotları üzerine yapılmış çalışmalar:

İslami geometrik desenler, geometrik strükture dayalı analiz yöntemleri ile çözümlenmektedir. Bu çözümleme yöntemlerinin İslam mimarisinde geometrik desen tasarımı sürecinde kullanıldığını kanıtlayan bir eser 15.-16. yy Topkapı parşömenidir. Necipoğlu (1996), Topkapı parşömeni çizimlerini yayınladığı çalışmasında İslam Mimarisi öğelerinde matematik ve geometrinin katkısını, geometrik desenlerin

kullanımı bölgesel ve tarihi gelişimini ve geometri kullanımının süsleme sanatının estetik açıdan değerlendirmelerini yapmıştır. Topkapı parşömeninde yer alan mukarnas izdüşüm planı çizimleri, mukarnas tasarım sürecinin anlaşılması konusunda önemli katkı sağlamıştır.

Lu ve Steinhardt (2007), Topkapı parşömeni çizimlerinde kullanılan analiz yöntemlerinden doğrultusunda hazırladıkları çalışmalarında, İran'da süsleme tekniklerini incelemiş ve yapıların üzerinde bulunan geometrik desenlerin pergel-cetvel konstrüksiyonu ile tasarlanmasının ötesinde çokgen üretim tekniği üzerinden bir tasarım anlayışı ile geliştirildiğini ortaya koymuştur. Benzer çalışmalar daha önce Makovicky (1992) gibi farklı araştırmacılar tarafından değerlendirilmiş fakat Lu ve Steinhardt'ın (2007) çalışması öne çıkan çalışmalar arasında kabul görmüştür.

İslami geometrik desenlerin kuasikristal desenleri ile bağlantısı üzerine çalışmalar yapan Ajlouni (2012), İran'daki bir yapı üzerinden değerlendirdiği çalışmasında Lu ve Steinhardt'ın (2007) çalışmalarından daha kapsamlı bir yaklaşım ile yapıdaki geometrik deseninin 10'lu dönel simetriye sahip bir kuazikristal deseni parçası olduğunu kanıtlamıştır. Bu çalışmada yer alan kuasikristalografik yapıli desenlere benzer sistemlerin tez çalışmasında incelenen mukarnas planları geometrik kurgusunda yer aldığı düşünülmektedir.

İslami geometrik desen analizi üzerine yapılan çalışmaların arasında en kapsamlılarından biri olarak değerlendirilen Bonner'ın (2017) eserinde İslami geometrik desen strüktürlerinde çokgenli (poligonal) tekniğin kullanımına dayalı çözümlene sistemleri bulunmaktadır. Çokgenli teknik kullanımının öncü isimlerden birisi olan Bonner (2017), İslami geometrik desenlerin tarihsel gelişim ve tasarım metodolojisi üzerinden irdelenmesi gerektiğini düşündüğü çalışmasında geometrik desen gelişim sürecini örnekler üzerinden dönemsel olarak kategorize etmiştir. Kapsamlı ve detaylı ele alınan çalışmada siyasi ve kültürel bağlantılar dahilinde geometrik desen üretim sürecine katkı sağlamış zanaatkarlardan da bahsedilmiştir. Bu çalışmada belirlenen geometrik desen analiz teknikleri mukarnas plan çözümlenmeleri kapsamında incelenmiştir.

Mukarnas izdüşüm planlarının geometrik çözümlenmeleri İslami geometrik desen çözümlene yöntemleri ile benzer sistemler içermektedir. İslami geometrik desenlerin üçüncü boyuta aktarılmış formları olarak açıklanan mukarnas ögesinin hem izdüşüm planı çözümlenmeleri hem de üçüncü boyuta aktarımı üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Özdural (1990) ve Dold-Samplonius'un (Dold-Samplonius, 1992) çalışmalarında

mukarnas hakkında ilk kaynak olarak bilinen el- Kaşı'nın eserini incelemiş ve mukarnas tasarım ve yapım sürecine dair matematiksel çözümleri açıklamıştır. El- Kaşı'nın mukarnas tasarım sürecine dair açıkladığı çözümler bu alanda çalışan araştırmacıların referans gösterdiği ilk kaynaklardan biri olarak yer almaktadır.

Mukarnas izdüşüm planlarında benzer geometrik desenlerin yer alması ile araştırmacılar farklı örnekler üzerinden çalışmalar yapmışlardır. Takahashi, mukarnas tasarımlarını bir veri tabanında bir araya getirerek mukarnas izdüşüm planlarının geometrik kurgu çizimlerine odaklı bir derleme yapmıştır (URL-1). Takahashi'nin veri tabanında yer alan mukarnas izdüşüm planı çizimleri bu tez çalışması dahil olmak üzere pek çok araştırmada referans gösterilen çizimler arasındadır.

Anadolu Selçuklu ve Osmanlı Devleti'ne ait mukarnas izdüşümlerinin geometrik kurguya dayalı sınıflandırması ilk olarak Uluengin (1959) tarafından 1959 yılında 'Skalaktit Planlarının Hennesesi' bildirisinde sunulmuştur. Uluengin'in 'kuruluş şemaları' olarak kategorize ettiği sistemler ve Türkiye'de bulunan mukarnas izdüşüm planı çizimleri ile derlenerek bir araya getirilmiştir (Uluengin, 2018).

Anadolu Selçuklu ve Erken Osmanlı Devleti mukarnas taç kapıları izdüşüm çizimleri üzerinde tipolojiler belirleyen Ödekan (Ödekan, 1977; 1981a), geometrik kurguyu dairesel analizlere dayandırarak çözümler geliştirmiştir. Ödekan'ın çalışmaları taç kapılarda yer alan mukarnasların rölöve çizimleri, üçüncü boyuta biçimleniş ve yapım teknikleri hakkında detaylı bilgiler içermektedir.

Mukarnas birimlerinin olası birleşimleri ile ortaya çıkan desen kurgularını 'mukarnas abecesi' olarak ifade eden Tuncer (2001), Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas izdüşümleri üzerinde bu dile dayalı bir sistem oluşturmuştur. Diyarbakır Camilerinde bulunan mukarnaslı örtülerin incelendiği bir diğer çalışmada rölöve çizimleri üzerinden geometri ve oranlamalarını değerlendirmiştir (Tuncer, 1996). Moğolların Anadolu'yu istila etmesi sonrasında değişen mimari üslubu konu aldığı bir diğer çalışmada 13.yy.'ın ikinci yarısı Anadolu Selçuklu Devleti taç kapılarında yer alan mukarnas uygulamaları hakkında detaylı bilgiler vermektedir (Tuncer, 1986).

Anadolu'da yapılan genel mukarnas değerlendirmelerinin yanı sıra bir yapıda ya da bölgedeki mukarnas tasarımlarına odaklanan araştırmacılardan Özdural (1991), Sivas Buruciye Medresesi restorasyon projesinde yer almış ve taç kapısında bulunan mukarnas ögesinin izdüşüm planı geometrik kurgusunu el-Kaşı'nın yorumlarına dayanarak çözümlenmiştir. Yapım süreci hakkında verilen detaylar el-Kaşı'nın açıkladığı yapım teknikleri ile karşılaştırılarak Anadolu Selçuklu Devleti mukarnasının farklı bir

süreç üzerinden değerlendirilmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir. Büyükdığan (2001) ise Edirne’de bulunan Osmanlı Devleti hamam kubbelerinin mukarnas izdüşümleri üzerindeki geometrik kurguyu Ödekan’ın (1977; 1981a) çalışmalarına benzer dairesel analiz yöntemi ile ele almıştır (Büyükdığan,2001).

Mukarnas izdüşüm planı geometrik kurgu sistemlerini motif ve kademelere dayalı teknikler üzerinden analiz eden İmani (2017), günümüz mimarisine uyarlanmış mukarnas örneklerini de irdeleyerek, geleneksel çözümlerin özgün bir sistem üzerinden üretildiğinin altını çizmiştir. Bu çalışmada seçilen örnekler belli bir döneme ait olmayıp, genellikle Türkiye’de bulunan yapıların mukarnas öğeleridir.

Türkiye’de bulunan mukarnas izdüşüm planı analizlerinin yanı sıra mukarnasın uygulandığı farklı coğrafyalara ait benzer tasarım ve yapım süreci analiz çalışmaları yapılmıştır. 10. ve 14. yy. arasında İran’da uygulanmış mukarnas örnekleri üzerinde çalışmalar yapan Kazempourfard (2014), güncel mukarnas uygulamalarının tarihi uygulamalardan tasarım ve üretim teknikleri bağlamında farklı olduğunu bu sebeple güncel uygulamaların tarihi mukarnas örnekleri birim analizlerine göre değerlendirilmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Çalışmada tonoz-bingi örneklerinden başlayarak İran’da uygulanmış mukarnas öğesinin kronolojik gelişimi incelenmiştir.

Kuzeybatı Afrika (Mağrip), Sicilya ve Endülüs bölgeleri mukarnas öğesi tasarım ve yapım teknikleri üzerine yapılan çalışmalardan Garofalo (2010), Norman Devleti dönemi Sicilya bölgesinde (1059-1130) bulunan Palermo’daki Zisa Sarayı mukarnas örtülerini incelemiştir. Yapım sürecinde Müslüman zanaatkarların yer aldığı yapının mukarnas öğelerini hem izdüşüm planı geometrik kurgu analizleri hem de üçüncü boyuta aktarılan birimleri üzerinden değerlendirmiştir. Agnello (2011), Sicilya’da Palermo Palantin Şapeli mukarnaslı ahşap tavanının restorasyonu sırasında geometrik tasarım ve strüktürel yapım detaylarını kademe kademe incelediği çalışmasında malzemenin uygulanması, birimlerin yerleşimi ve teknik açıdan bir araya getirilmesi üzerine bilgiler vermektedir.

Kuzeybatı Afrika ve Endülüs’te ortaya çıkann mukarnas öğesi birimlerinin gelişim sürecini tonoz-bingi sistemleri üzerinden değerlendiren Gonzalo ve Alkadi (2018), aynı zamanda Orta Asya ve Yakın Doğu mukarnas örneklerinin farkını irdelemiştir. Tonoz-bingi öğesinde bölünerek yerleştirilmiş nişlerden türetilen birimlerin Kuzeybatı Afrika ve Endülüs mukarnas birimlerine dönüştüğü bir sistem belirleyerek bu sistem üzerinden üretilmiş mukarnaslı kubbe-korniş öğesi denemeleri gerçekleştirmiştir.

Fas bölgesinde yapılan mukarnasları incelediği eserinde Castera (1999) mukarnas terminolojisi ve uygulama teknikleri üzerine analiz ve çözümler yapmıştır. Castera (URL-2), 2004 yılında Paris'te bir sergide tasarladığı Arap-Endülüs geleneksel mimarisine dayalı mukarnas çalışmasının geometrik çözümlemesinde kuasikristal ile bir mozaik tessellasyon olan zellij desenleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu çalışmada kullandığı geometrik örüntü kare-baklava birimleri ile kurulan sekizgen örüntü sistemidir. Bu tez kapsamında Castera'nın (URL-2; 1999) çalışmaları mukarnas izdüşüm planı analizlerinin ötesinde çözümleme sistemleri olarak değerlendirilmiştir.

3) Sayısal ortamda yapılan mukarnas denemeleri:

Mukarnasın geometrik ve biçimsel analizleri araştırmacılar tarafından belirlenen değişkenler dahilinde bilgisayar destekli tasarım programları ile yeniden yorumlanmış uygulamalara dönüşmüştür. Sakkal (1981), yüksek lisans tezinde mukarnas birimlerini analiz ederek, mukarnas blokları şeklinde kullanımı ve blok bileşenlerini tanımlamıştır. Analizler sonucunda elde ettiği yöntemler ile form varyasyonları ve farklı blok oluşturma teknikleri geliştirmiştir. Öte yandan güncel araştırmalar ve taş mukarnas uygulama üretim aşamalarını içeren malzeme ve yapım süreci detayları hakkında bilgilendirme yapmaktadır.

Dijital modelleme araçları kullanarak üç boyutlu mukarnas sistemleri üretimi alanında öncülük eden isimlerden Mohammad Ali Jalal Yağhan, Taht-ı Süleyman'da bulunan alçı plakada yer alan mukarnas plan çizimi üzerinden dört farklı alternatif mukarnas çözümlemesi gerçekleştirmiştir (Yağhan, 2000). Bir diğer çalışmasında geleneksel mukarnas birimlerini analiz etmiş, çizgi-yönelimli ve nokta-yönelimli yeni mukarnas birimleri ile çift yönlü kullanılabilen ve kendi kendini taşıyabilen mukarnas denemeleri yapmıştır (Yağhan, 2005). 2010 yılında yaptığı çalışmasında ise geleneksel mukarnas birimlerinde uygulanan tasarım süreci parametreleri ve kurallarını yorumlayarak yeni mukarnas denemeleri üretmiştir (Yağhan, 2010).

Mukarnas tasarımının algoritmik yapısını test eden Harmsen (2006), izdüşüm planlarının üç boyutlu mukarnas tasarımlarına dönüştüğü bir yazılım aracı geliştirmiştir. Bu çalışmada mukarnasın üçüncü boyutta tasarım sürecinde birim analizi, işlev analizi ve kademelendirme aşamalarının dair yöntemler bulunmaktadır. Hamekasi ve ark. (2011), geliştirdiği yazılım aracı ile mukarnasın tasarım sürecinde belirlenen

kademelendirme ve kavisli çizgi kuralları üzerinden yeni mukarnas tasarımları denemeleri yapmıştır.

Alaçam ve ark. (2017) mukarnasın üretkenlik performansını hesaplamalı tasarım araçları ile analiz eden çalışmalarında mukarnasın tektonik yapısını kağıt katlama tekniği ile incelemiş ve seçili mukarnas planları üzerinden parametrik modelleme yazılımları ile algoritmik yöntemler kullanarak yeni örüntüler elde etme potansiyelini incelemiştir. Bir diğer çalışmalarında ise Shannon entropisi yöntemi ile Mimar Sinan döneminde yapılan mukarnasların izdüşüm planlarındaki biçimsel ve kademesel verilerin entropi değerlerini birim çeşitleri ve tekrar etme sayıları, yatay ve dikey ilişkileri ve bu ilişkilerin tekrar etme sayıları üzerinden saptamış, komşuluk ilişkileri üzerinden analiz etmişlerdir (Güzelci, Alaçam, Bayram ve Lacroix, 2020).

Parametrik mukarnas modeli denemeleri sonucunda Agirbas ve Yıldız (2020) Valide Atik Camisi taç kapı mukarnası izdüşüm planındaki yıldızların kenar uzunluklarının aynı olmadığı ve izdüşüm planındaki geometrik kurgunun elipslerle kurulduğunu incelediği çalışmasında hem tasarım süreci hem de üç boyuta aktarımı ile analiz ettiği Osmanlı dönemi mukarnas birimleri hakkında bir çalışma yapmıştır (Ağırbaş ve Yıldız, 2020). Bir diğer çalışmalarında Osmanlı dönemi Mimar Sinan eserlerinde yer alan bazı mukarnas izdüşüm planlarını analiz eden Agirbas ve ark. (2022), bu izdüşüm planlarında birbirine eş olmayan yıldız kollarının üretimini ağ grid ve kare grid düzenekleri üzerinden gerçekleştirmiştir. Bu tez çalışması kapsamında Ağırbaş'ın çalışmaları Mimar Sinan dönemi mukarnaslarının iki boyutlu ve üç boyutlu geometrik çözümlenmeleri olarak değerlendirilmiştir.

Anadolu Selçuklu Devleti yapısı Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnasının iki boyutlu ve üç boyutlu geometrik çözümlenmelerini üç farklı metot üzerinden değerlendiren Dinçer ve Yazar (2021), mukarnas hakkında yapılan çalışmaların çoğunda kullanılmış birim analizi metodunu parametrik bir model denemesi üzerinden değerlendirmiştir. Sultanhanı iç kapı mukarnası izdüşüm planı geometrik desen çözümlenmesi sonucunda bu mukarnas tasarımına özgü bir tesselayon metodu ile üretken bir sistem elde edilmiştir. Taş malzemedan yapılan Sultanhanı iç kapı mukarnasının dekoratif etkisinin yanı sıra strüktürel amaçlı kullanımına değinen Dinçer ve Yazar (2021), blok (taşa aktarım) metodu ile mukarnas tasarımında kullanılan birimlerin işlendiği taş blokların arka planda kalan yapısal sisteminin değerlendirildiği metottur. Çalışmada kullanılan metotlar, bu tez çalışması kapsamında incelenen

Anadolu mukarnalarının geometrik çözümlerinin analizinde öncülük eden aşamalar olarak değerlendirilmiştir.

Kare-baklava modüler birimli desenler içeren mukarnas izdüşüm planlarını inceleyen Hietbrink (2021), Anadolu'daki mukarnas öğelerini esas aldığı çalışmada iki boyutlu geometrik kurguda bu birimlerin 45°lik açılar ile yerleştirildiğini belirlemiş ve Excel formatında geliştirdiği kodlama sistemi ile her bir birimi sınıflandırmıştır. Excel formatındaki dosyada belirlediği kuralları Rhino/Grasshopper programına aktararak farklı araştırmacılar tarafından tanımlanmış 12 adet üç boyutlu mukarnas objesinin mukarnas örtü tasarımları olarak üretimini sağlanmıştır.

Kültürel mirasa katkı sağlamak amacı ile geliştirilen dijital araçlar ile mukarnas tasarım prensiplerini çözümlen Gökmen ve ark. (2021; 2022), Kayseri'de yer alan mukarnas tasarımlarına odaklanmıştır. İzdüşüm planları geometrik kurgularının hesaplamalı olarak çözümlendiği çalışmalarda büyüyebilirlik ve dallanma davranışlarını analiz eden algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın sayısal ortamda temsilinde L-sistemlerden yararlanılmıştır.

Çizelge 1.1. Literatür taramasında kullanılan kaynaklar

1) İslam mimarisi, mukarnas ögesi tarihi ve gelişim süreci üzerine yapılmış çalışmalar			
Kaynak Adı	Yazarlar	Yıl	Anahtar Kelimeler
Anadolu Öncesi Türklerde Şehir ve Mimarlık	Mustafa Cezar	1977	Türkistan şehirleri, İslam öncesi Türk mimarisi, Anadolu öncesi Türk İslam mimarisi, süsleme sanatı
Türk Sanatı	Oktay Aslanapa	2000	İslam öncesi Türk mimarisi, Türk İslam mimarisi, süsleme sanatı
The Transformation of Islamic Art during the Sunni Revival	Yasser Tabbaa	2001	Islamic art, Sunni Revival, Islamic geometric design, muqarnas, calligraphy, vegetal and geometric arabesque STX53GA38
Islamic Art and Architecture, 650–1250	Richard Ettinghausen Oleg Grabar Marilyn Jenkins-Madina	2003	Islamic art, Islamic architecture, islamic geometric design
The House of Mengüjek in Divriği: Constructions of Dynastic Identity in the Late Twelfth Century	Oya Pancaroğlu	2013	The Seljuks of Anatolia, Mengüjekid, Divriği, Islamic architecture, Court and Society
The Rûm Saljûq Architecture Of Anatolia 1170 – 1220	Richard Piran McClary	2015	Islamic Architecture, Anatolian Seljuks Architecture, portal design, Islamic geometric design, muqarnas
The Sasanian Tradition in Abbâsîd Art: Squinch Fragmentation As The Structural Origin Of The Muqarnas	Alicia Carrillo	2016	Squinch, Sasanian art, Abbasid art, muqarnas
Akhlat, Builders and Buildings	Antony Eastmond	2017	Islamic Architecture, Anatolian Seljuks Architecture, Akhlat architecture
The Representation of Power in the Art and Architecture of the Kingdom of Sicily during the Norman Period	Maurizio Massaiu	2018	Sicilian art, Norman period, Syrian art, Islamic art, muqarnas
Erken Osmanlı Mimarisinde Mukarnas (İznik, Bursa, Edirne)	Yasser Dallah	2019	Mukarnas, Osmanlı mimarisi, eleman, katman, taçkapı, kavsara, mihrap, kubbe, geçiş, konsol, sütün başlığı
Mağrip Bölgesi İslâm Mimârisinde Mukarnas (XVI. Asra Kadar)	Makram Haddad	2019	Mağrip sanatı, Mağribi mukarnas, Osmanlı mukarnası, İslami geometrik tasarım
2) İslami geometrik desen ve mukarnas geometrik çözümleme metotları üzerine yapılmış çalışmalar			
Kaynak Adı	Yazarlar	Yıl	Anahtar Kelimeler
Skalaktit Planlarının Hennesesi	Fatin Uluengin	1959	Mukarnas, geometrik kuruluş, geometrik şema, İslami geometrik tasarım
Osmanlı Öncesi Anadolu Türk Mimarisinde	Ayla Ödekan	1977	Anadolu Türk mimarisi, mukarnas, taç kapı, geometrik şema,

Mukarnaslı Portal Örtüleri			mukarnas malzeme, mukarnas yapım teknikleri
Pentaplexity A Class of Non-Periodic Tilings of the Plane	Roger Penrose	1979	Non-periodic tiles, pentaplexity, Penrose tiles, geometric pattern, geometric design
Erken Dönem Osmanlı Mukarnaslı Kapı Nişi Örtüleri	Ayla Ödekan	1981	Erken dönem Osmanlı mimarisi, taç kapı, mukarnas, geometrik şema, mukarnas malzeme, mukarnas yapım teknikleri
Geometry of Muqarnas in Islamic Architecture	Mamoun Sakkal	1981	Muqarnas, muqarnas vault, Islamic geometric design, muqarnas blocks, block generation
Giyaseddin Jemshid El-Kashi And Stalactites	Alpay Özdural	1990	El-Kashi, muqarnas, geometric design, geometric analysis
Analysis Of The Geometry Of Stalactites: Buruciye Medrese In Sivas	Alpay Özdural	1991	Buruciye Medrese, muqarnas, geometric design, geometric analysis
Aperiodic tiles	Robert Ammann Branko Grünbaum G. C. Shephard	1992	Aperiodic tiles, aperiodic set, prototiles, super tiles, geometric design, geometric pattern
Practical Arabic Mathematics: Measuring the Muqarnas by al-Kashi	Yvonne Dold- Samplonius	1992	Al-Kashi, muqarnas, Islamic geometric design, geometric analysis, muqarnas analysis
800-year-old pentagonal tiling from Maragha, Iran, and the new varieties of a periodic tiling it inspired, In: Fivefold symmetry	Emil Makovicky	1992	Pentagonal tiling, five fold symmetry, Islamic art, Islamic geometric design, geometric analysis
Anadolu Selçuklu Taçkapılarında Mukarnas	Orhan Cezmi Tuncer	2001	Mukarnas, Anadolu Selçuklu mimarisi, taç kapı, geometrik analiz, geometrik tasarım
Pentapleks Kaplamalar	Metin Arık Mustafa Sancak	2007	Pentapleks kaplamalar, Penrose karoları, karo kümesi, geometrik analiz, geometrik tasarım
Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture	Peter Lu Paul Steinhardt	2007	Decagonal tiling, quasi-crystalline tilings, Medieval Islamic architecture, penrose patterns, girih tiles, geometric design, geometric analysis
A Methodology for Studying Muqarnas: The Extant Examples in Palermo	Vincenza Garofalo	2010	Muqarnas, Palermo muqarnas Norman period, muqarnas elements, muqarnas plan, geometric design, geometric analysis
The Painted Ceiling Of The Nave Of The Cappella Palatina In Palermo: An Essay On Its Geometric And Constructive Features	Fabrizio Agnello	2011	Muqarnas, Palantina muqarnas ceiling, Norman period, muqarnas design, muqarnas elements, muqarnas plan, geometric design, geometric analysis
The global long-range order of quasi-periodic patterns in Islamic architecture	Rima Ajlouni	2012	quasi-periodic patterns, Islamic geometric design, Islamic patterns, multi-level hierarchical

			framework model
The Evolution Of Muqarnas In Iran From Pre-Seljuk To Ilkhanid Period	Hamidreza Kazempourfard	2014	Muqarnas, patkaneh, Iranian art, pre-Seljuk muqarnas, muqarnas elements, muqarnas plan, geometric design, geometric analysis
Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction	Jay Bonner	2017	Islamic geometric patterns, polygonal technique, nfold symmetry, Islamic geometric design, geometric analysis
Historical And Geometrical Analysis Of Muqarnas And Prospect Of Its Reflection On Today's Architecture	Elena İmani	2017	muqarnas, geometrical analysis, muqarnas patterns, muqarnas guidelines
3) Sayısal ortamda yapılan mukarnas denemeleri çalışmaları			
Kaynak Adı	Yazarlar	Yıl	Anahtar Kelimeler
Decoding the Two-Dimensional Pattern Found at Takht-i Sulayman into Three-Dimensional Muqarnas Forms	Mohammad Ali Jalal Yağhan	2000	Muqarnas, historical patterns, 3D decodings, geometric analysis
Self-Supporting "Genuine" Muqarnas Units	Mohammad Ali Jalal Yağhan	2005	Islamic architecture, traditional muqarnas units, pre-designed muqarnas units, self-supporting, genuine, geometric analysis
The evolution of architectural forms through computer visualisation: muqarnas example	Mohammad Ali Jalal Yağhan	2010	Muqarnas, Islamic architecture, typology,
Algorithmic Computer Reconstructions of Stalactite Vaults - Muqarnas - in Islamic Architecture	Silvia Harmsen	2006	Muqarnas, graphtheory , three-dimensional computer graphics
Interactive Modeling of Muqarnas	Hamekasi, N. Samavati, Faramarz Nasri, Ahmad	2011	Muqarnas, computational geometry, object modeling
Reconnoitring Computational Potentials of The Vault-Like Forms: Thinking Aloud On Muqarnas Tectonics	Sema Alaçam Orkan Zeynel Güzelci Ethem Gürer Saadet Zeynep Bacınoğlu	2017	Muqarnas, vault, layering, folding, force flow, bifurcation
Muqarnas Domes and Cornices in the Maghreb and Andalusia	Jose' Carlos Palacios Gonzalo Rana Alkadi	2018	Muqarnas, squinches, Islamic architecture, linear cornice, geometric analysis
A Study On Measuring Complexity In Muqarnas Patterns	Orkan Zeynel Güzelci Sema Alaçam	2019	Muqarnas, Islamic geometric pattern, geometry, algorithmic design, complexity

Measuring the Entropy of Sinan's Muqarnas Patterns	Orkan Zeynel Güzelci Sema Alaçam Asena Kumsal Şen Bayram Igor Lacroix	2020	Information theory, entropy, muqarnas patterns, classical, ottoman architecture, architect Sinan
Origin of Irregular Star Polygons in Ground Projection Plans of Muqarnas	Aslı Ağırbaş Gülnur Yıldız	2020	Design analysis, geometric analysis, islamic patterns, shape grammars, design computation, parametric muqarnas
A comparative analysis of the digital re-constructions of muqarnas systems: The case study of Sultanhanı muqarnas in Central Anatolia	Sevde Gülizar Dinçer Tuğrul Yazar	2021	Anatolian Seljuk muqarnas, digital modeling, parametric modeling, architectural geometry, Sultanhanı Caravanserai
A Visual Interpreter for Pre-defined Muqarnas Units	Henk Hietbrink	2021	Muqarnas, parametric modeling, architectural geometry
Interrelation Between Grid systems and Starpolygons of Muqarnas Ground Projection Plans	Aslı Ağırbaş Gülnur Yıldız Murat Şahin	2022	3D laser scanning, muqarnas, muqarnas plans, geometric patterns, design analysis
Computational Modeling and Analysis of Seljukid Muqarnas in Kayseri	Sabri Gökmen Altan Başık Yusuf Aykın Sema Alaçam	2022	Muqarnas, L-system, computational design, computing methodologies

2. MUKARNAS VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Mukarnas her coğrafya için form, malzeme ve yapım süreci gibi etkenler üzerinden ayrı ayrı değerlendirilmesi gereken bir mimari öğedir. Öte yandan aynı coğrafyada farklı dönemlerin ürünleri olarak biçimsel ya da uygulama kaynaklı değişim gösteren örnekler mevcuttur. Çalışmanın bu bölümünde ilk alt başlıkta mukarnas kelimesinin kökeni ve bilinen ilk örnekleri değerlendirilmiştir. Bir diğer alt başlıkta mukarnas gelişim süreci dönemsel bir yaklaşım altında irdelenmiştir. Çalışma kapsamında seçilen taş mukarnas öğesinin gelişim sürecinin netleştirilebilmesi adına öncelikle genel bağlamda taş mukarnas örneklerinin tasarım ve yapım süreçleri değerlendirilmiştir. İncelenen mukarnas uygulamalarının Anadolu Selçuklu Devleti örnekleri ile ilişkisi ‘Anadolu Selçuklu Devleti Mukarnas Uygulamalarında Kültürel Etkileşimler’ başlığı altında detaylandırılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda Anadolu Selçuklu Devleti malzeme ve yapım tekniğine dair detay bilgiler bir alt başlıkta toplanmıştır.

2.1. Mukarnas Etimolojisi ve İlk Mukarnas Örnekleri

Mukarnas, yan yana ve üst üste gelen prizmatik öğelerin dereceli taşmalar yapacak biçimde, kullanıldıkları yere ve amacına uygun bir düzen geliştirerek dizilmeleriyle oluşan üç boyutlu bir bezeme tekniğidir (Ödekan, 1977). 12.yy’dan bu yana İran’dan Kuzey Afrika’ya kadar uzanan İslam mimarisi yapılarındaki çeşitliliğin ötesinde, ortak mimari unsur olarak mukarnasın yer aldığı görülmektedir (Necipoğlu, 1996). Bir geçiş elemanı olarak kornişlerde, sütun başlıklarında, nişlerde, taç kapılarda, şerefe altlarında, pendentif, tonoz ve kubbelerde, kısacası yapıların iç bükey dönüşlerine uygulanmaktadır. Ahşap, tuğla, alçı ve taş örnekleri bulunan mukarnas öğesinin aynı zamanda tuğla ya da alçı üzeri sırlı kaplama ve çini örnekleri de bulunmaktadır (Necipoğlu, 1996; Aslanapa, 2000).

Son dönem Osmanlı, Arapça ve Farsça sözlüklerinde ‘kademeli çıkıntıları olan basamaklı çatma tavan, kubbe, bir başlık türü, rengârenk alacalı işleme’ şeklinde ifade edilen mukarnas kelimesinin kullanıldığı en eski kaynak 1003-1085 yılları arasında yaşamış coğrafyacı ve tarihçi el-Uzrî el-Endelüsî’nin *Tarsi’ü’l Ehbâr* adlı eseri olarak bilinmektedir (Haddad, 2020). Arapça sözlüklerde mukarnas sözcüğü

‘evi veya çatıyı karnas etmek; çatıdan/evden çıkan çıkıntılarla uyumlu bir kademelendirmeye süslemek ki; Mukarnas olur’

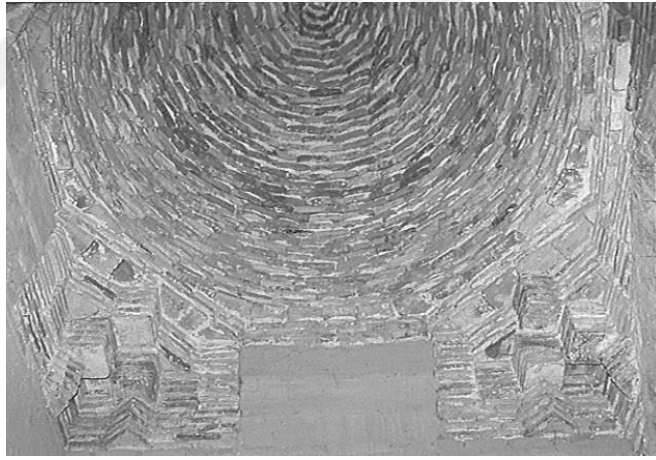
şeklinde açıklanmış ve ‘karnas’ kelimesinden türetildiği belirtilmiştir (Haddad, 2020). Kelimenin kökeni hakkında yorumlamalar yapan araştırmacıların çoğu mukarnas sözcüğünün Arapça kökenli olduğunu kabul etmiştir (Mülayim, 1982; Haddad, 2020). Arseven (1984), Bizans Devleti (330-1453) kemer tablalarının mozaikler ile süslenirken, Arap Mimarisi örneklerinde Orta Asya mukarnasları ile süslendiğini belirtmiş, bu nedenle karnas kelimesinin Yakut Türkçesi kökenli olup Arapça ‘mim’ sesinin eklenmesiyle mukarnas şeklinde kullanıldığını ifade etmiştir.

İslam coğrafyasında doğal afetler, savaşlar, kullanılan malzemenin dayanıklılığı ve koruma yöntemleri gibi sebeplerle geçmişten günümüze ulaşamamış pek çok yapının olduğu bilinmektedir. Bu sebeple yapılan çelişkili değerlendirmeler mukarnas ögesinin ortaya çıkışı ve tarihsel gelişim sürecinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, Nişabur’da yapılan kazı çalışmalarında bulunan alçı nişlerin 10.yy’ da yapılmış ilk mukarnas örnekleri olduğu, benzer alçı formların eş zamanlı olarak Kuzeybatı Afrika bölgesinde 1007 yılına tarihlendirilmiş Beni Hammad Kalesi antik kentinde de görüldüğü belirtilmiştir (Ettinghausen ve ark., 2003; Carrillo, 2016). Bu alçı niş kalıntılarının hem bir mukarnas tasarımına ait olup olmadığı hem de yanlış tarihlendirildiği hakkında tartışmalar bulunmaktadır (Massaiu, 2014; Carrillo, 2016; Massaiu, 2018). Bu sebeple dekoratif amaçlı kullanılan bu alçı nişlerden ziyade günümüze korunarak gelmiş yapılarda kullanılmış strüktürel amaç üstlenen nişlerin gelişim süreci daha net bilgi vermektedir.

Yapılarda strüktürel işlev gören mukarnasa benzer en ilkel formlar olarak Asurlular döneminde çapraz yerleştirilmiş tuğlaların girinti çıkıntılar oluşturacak şekilde kareden çember kubbeye geçişte kullanılmış ‘tromp ya da tonoz-bingi’ adı verilen örnekleri olduğu kabul edilmiştir (Arseven, 1984). Günümüze ulaşmış mukarnası örnekleyen tonoz-bingi sistemlerine Sasaniler dönemi 3.yy ve 5.yy yapıları Erdeşir ve Servistan Saraylarında rastlanmıştır (Gonzalo ve Alkadi, 2018). Sasaniler sonrasında pek çok yapıda uygulanmış tonoz-bingilerin tepe noktasından duvara eklenen bir kiriş ile iki parçaya ayrılarak nişler oluşturduğu ilk farklı düzenek 958 yılında yapılmış Samanoğlu Türbesi’nde yer almaktadır (Ettinghausen ve ark., 2003; Carrillo, 2016; Moradi, 2019). Asurlular dönemi örneklerine benzer formlarda tonozlardan kubbe geçişlerinde kullanılmış kademeli tuğla düzenlemeleri ilk Türk

Camisi Karahanlılar dönemi Hazar Degaron Camisi'ndedir (10.yy.) (Şekil 2.1), (Özkeçeci, 2016).

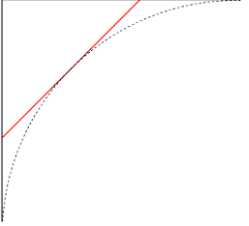

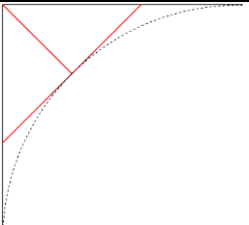

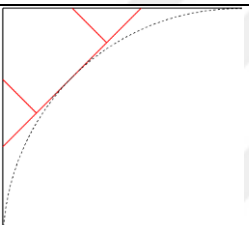

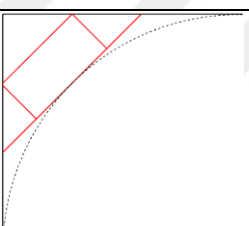
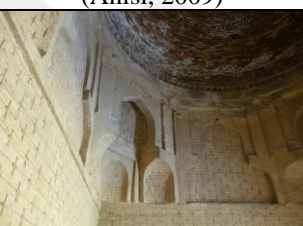
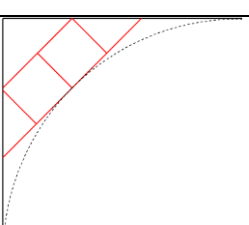

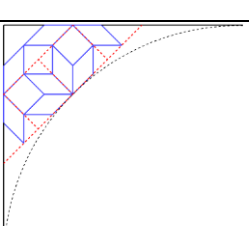

Samanoğlu Türbesi nişlerinin iki giriş ile desteklenerek geliştirilmiş bir örneği İran Jürjir Camisi (1050) taç kapısında bulunmaktadır (Dadkhah ve ark., 2012; Moradi, 2019). 977 yılında yapılmış Karahanlılar yapısı Arap Ata Türbesi'nde ise iki kademeli nişlere bölünmüş bir sisteme dönüştürülerek ilkel bir mukarnas uygulaması elde edilmiştir. 1038 yılında Davazdah İmam Türbesi tonoz-bingi ögesi Arap Ata Türbesi'nde bulunan uygulamalar dışında yan köşelerinde iki küçük niş ve orta parçasının üstüne yerleştirilmiş yarım küre ve destekleyen duvarlardan oluşmaktadır. Arap Ata Türbesi tonoz-bingisi nişlerinden daha derinlikli uygulanmış örnekler İsfahan (1080), Barsiyan (1119), Zevare (1151) ve Ardistan (1170) Camileri gibi Büyük Selçuklu Devleti yapılarında görülmektedir. Mukarnas kademeleri gibi sıkça kademelendirilmiş ve olgunlaşmış bir mukarnas uygulaması olarak kabul edilmiş ilk tonoz-bingi örneği ise Gülpayegan Camisi'nde (1108-1118) bulunmaktadır (Çizelge 2.1), (Carrillo, 2016; Moradi, 2019).



Şekil 2.1. Hazar Degaron Camisi kademeli tonoz-bingi uygulaması (URL-3)

Tonoz-bingilerde kullanılmış mukarnas örneklerinin yanı sıra farklı mimari öğelerde geçiş elemanı olarak yapılmış uygulamalar da bulunmaktadır. İran'da 1006-1007 yıllarına tarihlendirilmiş Kâbus Kümbetinin taç kapı nişlerinde yer alan mukarnas yuvalarına benzer kalıntılar ilk örnekler arasında değerlendirilmiştir. İran'da 1056 yılında yapıldığı bilinen Kümbeti Ali'nin sekiz köşeli gövdesinin üst kısmında konumlanmış kuşak, ilk mukarnaslı korniş örneğidir (Massaiu, 2018). Bağdat'ta yıkılan İmam Dur Türbesi'nin (11.yy) mukarnaslı kubbesi çoğu araştırmacı tarafından ilk

Çizelge 2.1. Tonoz-bingi sistemi gelişim süreci

Tonoz-binginin bulunduğu Yapı	Tonoz-bingi planı	Fotoğraf
İran Erdeşir ve Servistan Sarayı (3. ve 5 yy)		 (Gonzalo ve Alkadi, 2018)
Özbekistan Samanoğlu Türbesi (958)		 (URL-4)
İran Davazdah Imam Türbesi (1037-1038)		 (Anisi, 2009)
Özbekistan Arap Ata Türbesi (977)		 (URL-5)
İran Ardistan Camisi (1170)		 (URL-6)
İran Gülpayegan Camisi (1108-1118)		 (Massaiu, 2018)

mukarnas kubbesi örneği olarak kabul edilse de türbe kubbesinin inşası kitabesinde 13.yy olarak belirtilmiştir (Uluçam, 1990; Ettinghausen ve ark., 2003; Carrillo, 2016;

Massaiu, 2018). Bu nedenle ilk mukarnaslı kubbenin Murabıtlar dönemi Kutubiye Camisi Kubbesi (1120) olduğu değerlendirilmiştir.

İran ve Irak örneklerinin dışında Kümbeti Ali mukarnaslı kornişlerine benzeyen bir korniş örneği Mısır'da 1085 yılında yapılmış El-Cuyüşi Camisi'nde bulunmaktadır. Camisi'nin bânisi Ermeni asıllı Bedrettin Cemal'in Mısır'da erken dönemlerde görülmemiş bir mimari tarzda mukarnas niş öğeleri bulunan cami yaptırmasının nedeni 1072 yılında Kars Ani'de yaptırılmış Menuçehr Camisi ile bağdaştırılmıştır. Bu varsayıma göre Bedrettin Cemal'in Menuçehr Camisi yapımında görev üstlenmiş Ermeni ustalar ile çalıştığı düşünülmektedir (Creswell, 1978; Haddad, 2020). Menuçehr Camisi hem malzeme hem de biçimsel farklarının yanı sıra, tonoz-bingi üzerinde strüktürel işlev üstlenerek uygulanmış mukarnas öğeleri taşımaktadır. Bu sebeple Anadolu Selçuklu Devleti yapılarında görülen Menuçehr Camisi mukarnas süslemelerinin Kümbeti Ali ve El-Cuyüşi Camisi mukarnas öğelerinden farklı bir çıkış noktasında gelişim gösterdiği düşünülmektedir.

2.2. Mukarnas Uygulamaları Gelişim Sürecinin Bölgelere Göre Değerlendirilmesi

İslam Devletleri coğrafyası Arap Yarımadası ve Orta Asya'dan Suriye, Mısır, Kuzeybatı Afrika (Mağrip) ve Endülüs'e hızla yayılırken, yapı anlayışı da aynı dönemlerde, bölgelere özgü yerel malzemeler kullanılarak benzer form uygulamaları ile devam etmiştir. Mimaride İslami geometrik desen ve mukarnas gibi öğelerin uygulanması Orta Asya'da başlayarak Kuzeybatı Afrika ve Endülüs'e kadar uzanmıştır.

2.2.1. İran ve Orta Asya'da Mukarnas Uygulamaları

İslam mimarisi, İslamiyet'i kabul eden ilk Türk devleti Karahanlılar'ın katkısı ile yapı cephelerinde geometrik desen uygulamaları ve ilkel mukarnas uygulamaları ile karakteristik özellik kazanmaya başlamıştır. Karahanlılar öncesinde yapılarda kubbeye geçişte Uygur Türkleri (6.yy) tarafından tonoz-bingi ve Türk üçgeni uygulamalarının yapıldığı bilinmektedir (Uluçam, 1990). Türkler, Orta Asya kültürlerinden gelen mimari yapı uygulamaları ve geometrik desen birikimlerini harmanlayarak Karahanlılar ve Gazneliler ile başlayarak İslam mimarisine kazandırmışlardır.

İlk mukarnas örneklerinin bulunduğu İran-Türkistan Bölgesi Karahanlı Devleti ve Büyük Selçuklu Devleti'nde tuğla malzeme ile yapılan uygulamalar Bölüm 2.1,

Çizelge 2.1’de açıklanan tonoz-bingi niş uygulamaları ile başlayarak gelişim göstermiş, kümbet kuşaklarında ve minare şerefeleri gibi iç bükey dönüşlerde hem dekoratif hem de strüktürel, alçı mukarnas örnekleri ise kalem işi ile süslenerek dekoratif amaçlı uygulanmıştır.

Büyük Selçuklu Devleti (1037-1194) sonrası Orta Asya’da İran-Özbekistan-Türkmenistan topraklarında hakimiyet süren İlhanlılar dönemi (1256-1335) mimarisinde geometrik desenler yerine bitkisel formların kullanıldığı, gösterişli renklerin ve malzemelerin uygulandığı bir süsleme anlayışı benimsenmiştir. Mukarnas tasarımlarına da yansıyan bu üslup, İlhanlılar dönemi etkisinde devam eden Timur (1370-1507) ve Safeviler Devleti (1501-1736) taç kapı uygulamalarında strüktürel tuğla mukarnas formlarının yerini alçı üzeri çini kaplama malzeme ile yapılan duvarlardan çelik ipler ile sabitlenmiş mukarnaslar şeklinde göstermiştir. Kalem işi ile yapılan mukarnas yuvalarında geleneksel birimlerden farklı olarak yeni birimlere yer verildiği, canlı renk kullanımı ile kademe sayıları artırılarak ihtişamlı tasarımların elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu dönemde mukarnas çini birimlerinin rumi (Anadolu’ya ait), lotus (nilüfer çiçeğinin sadeleştirilmiş şekli) ve palmet (palmiye yaprağı biçimi) ağırlıklı desenler ile renkli sırlı boyama tekniği ile işlendiği gözlenmiştir (Turan, 2018).

2.2.2. Suriye, Mısır ve Sicilya’da Mukarnas Uygulamaları

Büyük Selçuklu Devleti’nin siyasi gücünü yitirmesi ile Suriye’de kurulan beyliklerden Zengiler, bölgede yaygın kullanılan taş malzeme ile İslam mimarisine cephe uygulamalarına çift renkli mermer uygulamaları ve pendentiflerde uygulanan taş mukarnas tasarımları gibi farklı unsurlar kazandırmıştır. Zengiler döneminde yapılarda yaygın olarak taş malzeme kullanılmasına rağmen bilinen ilk mukarnaslı taç kapı ve kubbe örneği alçı malzeme ile Nureddin Bimaristanı’nda (1150-1154) uygulanmıştır. Bu yapıda kullanılan mukarnas yapım tekniklerinin Sicilya’da Norman Devleti (1059-1130) yapıları ile benzerliği dikkat çekmektedir. Sicilya ve Suriye hattı kültürel ve sanatsal etkileşiminin, tarihi ipek yolu kullanımı ve hac ibadeti ile açıklanması mümkündür. Buna göre Sicilya’da mukarnas uygulamalarının Suriye Zengiler dönemi (1127-1250) yapıları ile bağlantılı olarak taş malzeme uygulamalar ile başladığı, sonraki dönemlerde alçı ve ahşap malzeme ile daha çok dekoratif amaçlı olarak kubbe-tavan örtüsü uygulamaları şeklinde devam ettirildiği gözlenmiştir.

Zengiler dönemi sonrası kurulan Eyyübi Devleti ile Halep ve Şam'da mukarnaslı taç kapı uygulamaları ile gelişim göstererek devam etmiştir. Mısır'da Eyyübiler öncesi Fatimi Devleti (909-1171) hakimiyeti, kültürel farklılıkların mimari üsluba yansımalarının bir sonucu olarak değerlendirilmiş ve yapıların cephe süslemelerinde geometrik desenler yerine bitkisel form uygulamalarına ağırlık verilmiştir. Tonoz-bingi uygulamalarında yer alan nişlerde ise İran-Türkistan uygulamalarına göre daha keskin hatlı niş formları şeklinde kullanılmıştır (Bloom, 1988). Fatimiler hakimiyeti sonrasında Mısır'ın Eyyübiler topraklarına katılması ile mimari üslup değişim göstermeye başlamış ve Memlükler hakimiyetinde taç kapılarda mukarnas ögesinin kullanımı Suriye örneklerine benzer formlar şeklinde uygulanmıştır. Yapıların cephelerinde gözlenen bu değişim bazı yapıların iç mekanlarında da etkisini göstermiş ve kubbe geçişlerinde mukarnaslı pandantifler kullanılmıştır (İbrahim, 1975). Bazı yapılarda ise cephe üslubu Memlük tarzı uygulamaları yansıtırken, iç mekan kubbe geçişlerinde kullanılan tonoz-bingi uygulamaları Fatimiler dönemi keskin niş formları şeklinde sürdürülmeye devam etmiştir (Kashef, 2017). Memlük hakimiyetinin Osmanlı Devleti tarafından sonlandırılması sonrasında Mısır'daki yapılarda Klasik Osmanlı mimarisi tarzını yansıtan öğelere yer almış, taç kapılar ve pandantiflerde kullanılan mukarnas niş ve kademe sayılarına arttırılmıştır.

2.2.3. Kuzeybatı Afrika'da (Mağrip) Mukarnas Uygulamaları

Kuzeybatı Afrika'da Murabıtlar dönemi (1056-1147) yapılarından Murabıtlar Kubbesi ve Karaviyyin Camisi gibi yapılarda kullanılmış mukarnas birimleri Sicilya örnekleri ile benzerlikler gösterse de sonraki dönem Kuzeybatı Afrika örneklerinde bu birimlere yer verilmediği gözlenmiştir. Muhavvidler dönemi mukarnas uygulamaları Murabıtlar dönemi yapılarında kullanılan birimler ile benzerlik göstermesinin yanı sıra daha küçük birimlerin kullanılması ve kare-baklava planlı sistemlere oturtulması hedeflenmiştir. Meriniler dönemi mukarnas örneklerinde mukarnas birimlerinin boyutları küçültülerek aynı oranda tutulmuş ve yeni birimler elde edilmiştir. Meriniler dönemi mukarnas uygulamaları Nasriler dönemi uygulamalarına öncülük etmiş, Elhamra Sarayı kubbesinde yer alan karmaşık sistemli mukarnas tasarımları bu dönemin eserlerindedir. Nasriler dönemi mukarnas uygulamalarında Muhavvidler dönemi mukarnas birimlerine de yer verilmiştir. Ayrıca bu dönemde uygulanan mukarnas birimlerinin yontularak renklendirildiği gözlenmiştir. Sa'diler döneminde ise mukarnas

birimlerinin yükseklikleri daha kısa tutulmuştur. Bu dönemde alçı ve ahşap malzeme kullanımının yanı sıra mermer uygulamaların da bulunması dikkat çekmektedir.

2.2.4. Anadolu'da Mukarnas Uygulamaları

Anadolu'da ilk Türk camisi olarak bilinen Kars Ani Menuçehr Camisi (1072) aynı zamanda ilk mukarnaslı tonoz-bingilere sahip camidir. Camideki tonoz-bingi uygulamaları Büyük Selçuklu Devleti'nde yapılan tonoz-bingi uygulamalarından malzeme, plan kurgusu ve birim biçimlenişi bakımından farklıdır. Menuçehr Camisi taş mukarnas birimleri Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamalarında bulunan yaprak birimlerine benzer süsleme teknikleri ile yapılmıştır. Menuçehr Camisi, taç kapısında Anadolu'daki ilk mukarnas uygulamalarından biri bulunan Mengücekliler dönemi yapısı Divriği Sitte Melik Türbesi'nden (1195) yaklaşık 100 sene öncesinde yapılmıştır. Bu nedenle Anadolu'daki mukarnas uygulamalarının ortaya çıkışı ve gelişim sürecinin belirlenmesi zorlaşmaktadır.

Anadolu'daki mimari yapılarında Bitlis-Van bölgesi üzerinde bulunan Ahlatşahlar Devleti (1100-1207) ile Eyyübi Devleti (1171-1260) mimari üslubunun etkileri gözlenmiştir (Eastmond, 2017). Eyyübiler ve dönemin diğer devletlerinin Ahlatşahlar üzerinde tarih boyu hakimiyet kurma çabaları, kültürel etkileşimlere de sebep olmuştur. Suriye- Eyyübiler dönemi taş mukarnas tasarımlarının daha karmaşık ve bezemeli formlar barındıran örneklerinin Anadolu Selçuklu Devleti (1075-1308) taş mukarnaslarında görüldüğü, bu tasarımlarının ise yerle bir edilmiş bir bilim-sanat-kültür medeniyeti olan Ahlatşahlar dönemine ait olduğu düşünülmektedir (Pancaroglu, 2013).

Anadolu Selçuklu Devleti tuğla mukarnas örneklerinin bazı uygulamalarda tuğla iskelet üzerine alçı kaplama şeklinde dış mekanlarda kullanıldığı, fakat genellikle Büyük Selçuklu Devleti uygulamalarına benzer biçimde iç mekanlarda ve minarelerde çini uygulamalar olarak sentezlendiği gözlenmiştir. Bu yapılarda görülen çini uygulamaları İlhanlılar dönemi (1256-1335) İran yapılarına ilham vermiş ve İlhanlı eserlerinde ilk örneklerine 1270'li yıllarda rastlanılmıştır. Anadolu'da, Selçuklu Devleti sonrasında benzer tezyinat anlayışı dağılma sonrası ortaya çıkan beylikler ile devam etmiş, pek çok yapıda dönemin sanat anlayışına uygun çini kompozisyonlarının kullanıldığı gözlenmiştir (Yetkin, 1972). Mukarnasın farklı malzemeler ile ele alınan strüktürel ve biçimsel uygulama yöntemleri mozaik çini tekniği ile de harmanlanarak kullanılmış, özellikle cami mihraplarında önemli detaylara yer verilmiştir. Çini

mukarnas örneklerinde geometrik formlar taş tezyinat uygulamalarına göre daha basit kullanılmış ve daha az kademelendirme ile uygulanmıştır.

Anadolu Selçuklu Devleti 13.yy. ikinci yarısı Mimar Kelük bin Abdullah öncülüğünde mimari üslubun başka bir boyuta evrildiği süreç olarak değerlendirilmiştir. İlhanlıların Anadolu'da hakimiyet kurma çabası yapılarda kullanılan mimari öğelerin tarzını da etkilemiştir. Mukarnas ögesinde belirlenen tasarım kurgusu, süsleme detayları ve kademe sayısı gibi pek çok özellik farklılaştırılarak uygulanmıştır (Tuncer, 1986). Anadolu Selçuklu Devleti ile yakın tarihlerde Doğu Anadolu bölgesinde hakimiyet sürmüş Artuklular (1102- 1409) ve Anadolu Selçuklu Devleti sonrasında 13.yy.'ın ikinci yarısında kurulmuş Karamanoğulları ve Eşrefoğlu Beyliği yapılarında izdüşüm planı ve birim tasarımı kurgusunda biçimsel farklılıklar barından taş mukarnas uygulamaları dikkat çekmektedir. Anadolu Selçuklu Devleti'nin ilk dönem yapılarında görülen mukarnas kurgusu ve biçimsel unsurlarının gelişim göstererek aktarıldığı Artuklular dönemi taş mukarnas uygulamaları ise özellikle Diyarbakır'da bölgenin üslubuna uygun Klasik Osmanlı döneminde (1501- 1703) alternatif örnekler ile devam ettirilmiştir.

Erken dönem Osmanlı (1299- 1453) mukarnas örnekleri Anadolu Selçuklu ve Klasik Osmanlı Devleti örnekleri arasında geçiş dönemi uygulamaları olarak değerlendirilmektedir (Dallal, 2019). Anadolu Selçuklu Devleti uygulamalarının öncülük ettiği Erken dönem Osmanlı mukarnas uygulamalarında yaprak birimlerinin irileşerek kullanıldığı sonrasında daha keskin hatlar ile badem formuna dönüştüğü gözlenmiştir (Tayla, 2005; Dallal, 2019). Bu dönemde hem Anadolu Selçuklu izdüşüm planı kurguları hem de İslami geometrik desenler ile üretilmiş yeni plan kurgusu denemeleri bulunmaktadır. Örneğin, Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisi mukarnas uygulaması izdüşüm planı Anadolu Selçuklu Devleti kare-baklava modüler birimli izdüşüm planı kurgularına benzemektedir. Fakat mukarnas tasarımı incelediğinde birimlerin Erken dönem sonu- Klasik dönem Osmanlı birimlerine benzer şekilde biçimlendiği gözlenmiştir.

Klasik dönem Osmanlı mimarisinde badem birimlerinin kanatları daha keskin formlarda kullanılmış, mukarnas tasarımları keskin hatlı formlar ile üretilmiştir. Öte yandan Klasik dönemin Diyarbakır Ulu Camisi dışındaki Mimar Sinan eseri yapılarında hem mukarnas izdüşüm planı kurgularının hem de mukarnas birim biçimlenişlerinin Anadolu Selçuklu Devleti örneklerinden farklılaştığı gözlenmiştir. Bu dönem tasarlanan

mukarnas ögesi Türkiye’de güncel mukarnas uygulamalarında benimsenen bir tasarım ürününe dönüşmüştür.

1910-1930 yılları arasında Osmanlı Devleti’nde Batı mimarisinden esinlenerek benimsenmiş mimari tarzına karşı bir çeşit direniş olarak, Neoklasik Türk üslubu olarak değerlendirilen I. Ulusal Mimarlık Akımı ortaya çıkmıştır. Yerel bir tarzın benimsendiği bu akımın yapı örneklerinde Klasik dönem Osmanlı mimarisinde kullanılan bazı mimari öğeler yapıların kubbe, saçak ve kemer gibi süsleme detaylarına eklenerek kullanılmıştır. Örneğin mukarnas öğeleri keskin hatlı Klasik dönem Osmanlı birimleri formunda, basit plan kurguları ile yapıların sütun başlıkları, kemer ve saçak detaylarında uygulanmıştır. Hem kamu hem de sivil mimaride eklektik bir yaklaşımın bulunduğu I. Ulusal Mimarlık Akımı sonrasında 1939-1950 yıllarında II. Ulusal Mimarlık Akımı ortaya çıkmıştır. Modern mimari anlayışına daha yakın bir üslup barındıran bu akım I. Ulusal Mimarlık Akımı kadar eleştirilmemiştir (Balamir, 2003). Bu akımdan esinlenerek yapılan yapılarında mukarnas ögesi gözlenmemiştir.

Son yıllarda Türkiye’de mukarnas ögesi kamu ve dini yapılarda yeniden yaygın bir şekilde uygulanmaya başlamıştır. Yapıların taçkapı, kubbe, kemer ve pandantiflerinde eklektik bir üslup ile kullanılan mukarnas ögesinin birkaçında Klasik dönem Osmanlı tasarım kurgusuna uygun şekilde üretim yapılmaktadır.

2.3. Mukarnas Uygulamalarında Taş Malzemenin Kullanımı ve Gelişim Süreci

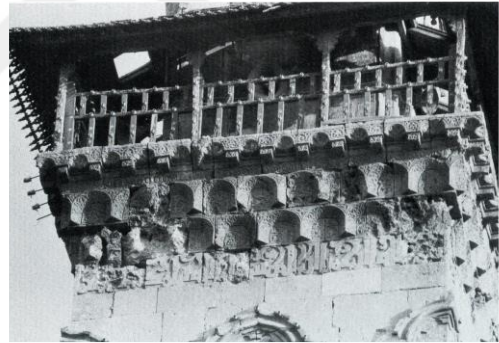
Mukarnas ögesinin ilk örneklerinin İran, Irak, Azerbaycan ve Türkmenistan’da tuğla ve alçı malzeme ile yapıldığı, sonrasında Kuzeybatı Afrika, Sicilya ve Suriye’de ahşap ve taş malzeme ile işlenerek uygulandığı bilinmektedir. Benzer dönemlerde Anadolu’da taş mukarnas tasarımlarının bulunduğu fakat diğer bölgelerdeki örneklerinden hem geometrik kurgu düzeni hem de dekoratif açıdan farklıdır.

Anadolu Selçuklu Devleti 1072 yılında Kars Ani’de yaptırılmış Menuçehr Camisi bilinen ilk taş mukarnaslı tonozlara sahip camidir (Şekil 2.2). Menuçehr Camisi mukarnaslı tonozları benzer dönemlerde yapılmış mukarnas öğelerine göre gelişmiş dekoratif ve strüktürel detaylar barındırmaktadır. Menuçehr Camisi dışında taş mukarnas ögesinin ilk örneği Emeviler dönemi 717 yılında yaptırılmış Suriye Halep Ulu Camisi’nin 1094-1095 yıllarında Suriye Selçukluları tarafından eklenmiş minaresinin kornişinde bulunmaktadır (Şekil 2.3), (Cezar, 1977).

Suriye’de 1112 yılında Halep Makamı İbrahim Salihin Camisi mihrap taş sütunçelerinde bulunan mukarnaslı nişlere benzer örnekler 40 yıl sonra Halep Şuaybiye Medresesi (1150-1151) köşe duvarlarında görülmüştür (Şekil 2.4). Köşe duvarında yer alan mukarnas nişlerinde Anadolu Selçuklu dönemi dilimli yuva (yaprak) öğelerine benzer işlemler bulunmaktadır (Şekil 2.5), (Allen, 1999; Tabbaa, 2001; Ettinghausen ve ark., 2003). Allen (1999) ve Massaiu (2018), Suriye dönemi taş yapılarında ahşap malzeme yapım tekniklerinin uygulandığı örnekler olduğunu belirtmiştir. Suriye’de mukarnas tasarım kurgusu genellikle (1193) ve Muhassin (1197-1198) Mescidleri’nde görüldüğü gibi pandantifli dairesel plan şemalarına sahiptir. Dairesel plan şemalarından farklı olarak Suriye’deki ilk mukarnas örneklerinden sayılan Hüseyin ve Adiliye Medresesi (1195-1196) taç kapı mukarnaslarının sekizgen geometrik kurgu ile tasarlandığı gözlenmiştir (Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2,8 ve Şekil 2.9). Bu sekizgen kurgulu mukarnas uygulamalarının yapımı öncesinde de ahşap prototiplerinin yapıldığı düşünülmektedir (Massaiu, 2018).



Şekil 2.2. Kars Menuçehr Camisi tonoz-bingi mukarnası (URL-7)



Şekil 2.3. Halep Ulu Camisi minare mukarnası (Massaiu, 2018)



Şekil 2.4. Halep Makamı İbrahim Salihin Camisi niş detayı (URL-8)



Şekil 2.5. Halep Şuaybiye Medresesi köşe mukarnası detayı (URL-9)

Günümüze ulaşan herhangi bir örneği olmasa da Allen (1999) taş malzeme ile yapılan mukarnaslı taç kapıların öncesinde ahşap malzeme ile yapılmış mukarnaslı taç kapıların olduğunu ifade etmektedir. Bu yaklaşımları destekleyen bir örnek olarak Herzfeld'in Nureddin Bimaristan'ında (1150-1154) fotoğrafladığı ve 'ahşap bir tavanın imitasyonu' olarak nitelendirdiği taş tavan uygulaması bulunmuştur (Şekil 2.10). Ahşap yapım tekniği detayları bulunan taş malzemeden yapılmış tavan uygulamasında bu yapım detaylarına ihtiyaç olmadığı ve kasıtlı olarak işlendiği düşünülmektedir (Massaiu, 2018).



Şekil 2.6. Şazbahtiye Camisi taç kapı mukarnası
(Massaiu, 2018)



Şekil 2.7. Muhassin Camisi taç kapı mukarnası
(Allen, 1999)

Zengiler Devleti ve sonrası dönemlerden günümüze ulaşan ahşap tavan uygulamalarının benzer örnekleri İspanya'da Kurtuba Ulu Camisi (786-987) ve Palermo Palantin Şapeli'nde (1132-1143) korunarak aktarılmıştır (Şekil 2.11).

Endülüs, Sicilya ve Kuzeybatı Afrika'da bulunan mukarnas uygulamalarının İran ve Suriye bölgeleri ile eş zamanlı ortaya çıkması bazı araştırmacılar için kıtalar arası bağlantı olmadan, 'rastlantısal' şekilde olduğu biçiminde yorumlanmıştır (Ödekan, 1977; Ettinghausen ve ark., 2003). Yorumlamaların aksine bu bölgelerin İslam coğrafyasına dahil olduğu değerlendirildiğinde hem siyasi hem de kültürel etkileşimlerin yapıların mimari öge biçimlenişine de etken olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle Suriye ve Sicilya Bölgesinde Zengiler (1127-1250) -Eyyübiler Devleti (1171-1260) ve Norman Devleti (1059-1130) arasındaki siyasi ilişkiler mimari açıdan önem taşımaktadır. Sicilya Bölgesi 800-909 yılları arasında Ağlebilerin kontrolü altında iken 909-1171 yılları arasında Fatımiler Devleti'nin eline geçmiştir. Fatımiler Devleti'nin Mısır'da hakimiyet kurması Sicilya ve Cezayir gibi bölgelerde gücünü yitirmesine neden olmuştur. Sicilya'yı Fatımilerden alan Norman Devleti (1059-1130) bir İslam

devleti olmamasına rağmen yapılarında İslam mimarisinin etkisi görülmektedir. Hem Fatımilerin hem de Kuzeybatı Afrika'da bulunan diğer devletlerin mimari üslubunun ötesinde Norman Devleti yapılarında Suriye-Zengiler Devleti (1127-1250) mimari üslubu barınmaktadır (Massaiu, 2016).



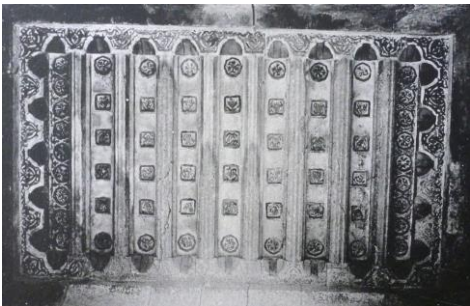
Şekil 2.8. Hüseyin Camisi taç kapı mukarnası (Massaiu, 2018)



Şekil 2.9. Adiliye Medresesi taç kapı mukarnası (Allen, 1999)

Kuzeybatı Afrika'da Murabıtlar döneminde yapılan Karaviyyin Camisi (1134-1143) ve Tilimsan Cezayir Camisi (1136) kubbelerindeki alçı mukarnas birimleri Norman Devleti ahşap ve taş mukarnas öğelerinden yapım ve teknik olarak farklıdır. Normanlar dönemi Palantin Şapeli'ne (1131) sonradan eklenen ahşap mukarnaslı tavanında kullanılan mukarnas birimleri Kuzeybatı Afrika ve Sicilya'daki uygulamaların farklı olduğunu kanıtlamaktadır (Garofalo, 2010).

Bir diğer Norman Devleti yapısı Zisa Sarayı (1180) eyvanında bulunan taş mukarnas birimlerinin Palantin Şapeli (1131) ahşap mukarnas birimlerine olan benzerliği, ahşap birimlerin yapımı sırasında gereken parçaların taş birimlerin yapımında kasıtlı olarak kullanıldığı, taş mukarnas tasarımlarının daha önce belirtilen ahşap prototiplerine dayalı olarak üretildiği iddiasını güçlendirmektedir (Massaiu, 2016) (Şekil 2.12).



Şekil 2.10. Nureddin Bimaristanı taş tavan uygulaması (Massaiu, 2018)



Şekil 2.11. Palantin Şapeli ahşap tavan uygulaması (URL-10)

Şekil 2.12’de görülen Palantin Şapeli (1131) ahşap mukarnas detaylarının Zisa Sarayı (1180) eyvan mukarnas birimleri ile dış yüzeylerinde benzer işlemlere sahip olduğu dikkat çekmektedir. Zisa Sarayındaki bu mukarnas örtünün taş malzeme ile yapılmasına rağmen taşıyıcı fonksiyona sahip olmadığını ve ince bir profil oluşturduğu ifade edilmiştir (Garofalo, 2010). Golvin ve Tabbaa (2001)’nin taş duvar yapımından hemen sonra üzerine mukarnas birimlerinin işlendiği şekilde görüşleri bulunmaktadır.

Suriye Nureddin Bimaristanı’nda bulunan taş mukarnas örtü, Suriye’deki diğer taş mukarnas örneklerinden farklı olarak Zisa Sarayı’ndaki mukarnaslı örtü ile benzer teknikler işlenmiştir. Bu nedenle Norman Devleti ahşap ve taş mukarnas yapıları ile bağlantılı olarak, Suriye’de Zengiler ve sonrası dönemde ahşap mukarnas uygulamalarının ve modellerinin olabileceği ve günümüze ulaşmadığı kanısı kuvvetlenmektedir (Massaiu, 2016; 2018).



Şekil 2.12. Palantin Sarayı, Zisa Sarayı ve Nuraldin Bimaristanı mukarnas örtüleri (Massaiu, 2016)

12.yy Suriye-Zengiler dönemi taş yapıları kadar pek çoğu günümüze ulaşmamış ahşap detaylı Zengiler dönemi mimari öğeleri de dikkat çekmektedir. Orta Çağ Endülüs asıllı şair İbn Cübeyr, Şam Ulu Camisi’nin ahşap detaylı kubbesi, mihrap ve minberleri, Halep’te yollar üzerinde ahşap gölgelikler ve dükkanlarda yer alan ahşap işçilikli detaylardan bahsetmiştir. İbn Cübeyr’in tasvir ettiği bu detayların Suriye Selçukluları dönemi 1082-1083 yıllarına ait olduğu ifade edilmiştir (Massaiu, 2018).

Ahşap işçilik detayları barındıran en önemli eserlerden biri Makamı İbrahim minberidir (1168-1169), (Şekil 2.13). Minber üzerindeki geometrik yıldız tezyinatı gibi bir örneğin aynı tarihlerde Anadolu’da bile eşdeğer bir örneğinin bulunmadığı belirtilmiştir (Ögel, 1966; Tabbaa, 2001). Herzfeld, Makamı İbrahim minberinin yapıldığı dönemin en karmaşık geometrik desen tezyinatlı tasarımı olarak kabul

edildiğini söylemektedir (Tabbaa, 2001). Ahşap ustalarının marangozluk ve taş işçiliği uzmanlığının yanı sıra bilimsel eğitimler aldığına değinen Tabbaa (2001) ve Bonner (2017), matematik, astronomi ve hatta tıp alanında uzman bilim insanları olduklarını da vurgulamaktadır. Örneğin, Şiraz mukarnasının isim referansı Şiraz bölgesi olarak değerlendirilmiştir fakat bu mukarnasın adı Mimar Kevameddin Şiraz'ın soyadından gelmektedir. Kubbe tasarımlarında pek çok yeniliğe imza atan Kevameddin Şiraz'ın aynı zamanda 1410-1440 yıllarında Horasan'da yaşamış bir gök bilimci (astronom) olduğu bilinmektedir (Özdural, 1990). Benzer şekilde çoğu mukarnas ve İslami geometrik desen tasarımlarının belli eğitim görmüş uzman tasarımcılar tarafından ahşap ya da taş malzeme ile yapılmış mimari öğelere aktarıldığı sonucuna varılmıştır.

Elde edilen bulgular sonucunda ahşap ve taş malzemenin yapım aşaması teknik detayları, tasarımcı veya ustaların hem ahşap hem taş malzeme uygulamalarına hâkim olması, taş mukarnas uygulaması öncesinde ahşap mukarnas örneklerinin kullanıldığını doğrulamaktadır.

2.4. Anadolu Selçuklu Devleti Mukarnas Uygulamalarında Kültürel Etkileşimler

1071 yılında Türkler Anadolu'ya girerken, Sivas, Kayseri ve Malatya'da Danişmentliler (1092-1178), Hısn Kehfa, Mardin, Harput ve Diyarbakır'da Artuklular (1098-1202), Erzincan, Kemah, Şebinkarahisar ve Divriği'de Mengücekliler (1118-1252) Beylikleri hakimiyet sürmüştür (Aslanapa, 2000). Ahlat'ta 1110 yılında kurulan Ahlatşahlar (Sökmenler ya da Ermenşahlar) Beyliği ise Anadolu'nun Türkleşmesi ve eğitim, kültür ve sanat yönünde ilerlemesinde büyük katkıda bulunmuştur. Ahlatşahlar dönemi aynı zamanda kimya, felsefe, astronomi, tıp ve dini bilimlerde altın çağını yaşamıştır. Arkeolojik kalıntı ve metinlerden 12.yy' da Ahlat nüfusunun üç yüz bin civarında olduğu sonucuna varılmıştır. Evliya Çelebi 17.yy' da yazdığı seyahatnamesinde Emir Kay Camisi'nin kitabelerinde okuduğu otuz beş bin mihrap, iki bin medrese, bin hamam, iki bin han ve binlerce diğer yapılardan bahsetmektedir (Yaşa, 2013). Ahlat'ta 1207-1208 yıllarından itibaren başlayan Eyyübiler dönemi (1171-1260) ve sonrasında 1226 yılında Celaleddin Harezmsah'ın şehri istila etmesi büyük bir tahribata yol açmıştır. Anadolu Selçuklu Devleti hükümdarı Alâeddin Keykubat bu dönemde Ahlat'ın yeniden yapılanması için onarım çalışmaları yürütmüştür. Ahlat bölgesinde yaşanan büyük depremler ve 13.yy ortalarında başlayan Moğol istilası sonrası şehir yerle bir edilmiştir. Osmanlı Devleti'nde de Şah İsmail ve Şah Tasmahb'ın

istilaları sonucunda şehrin ilim ve kültür merkezi olduğu dönemlerden eser kalmamıştır (Karahan ve ark., 2019).

Eyyübiler'in 1207 yılında Ahlat şehrine girmesi sonrasında Ahlat'lı mimarlar Anadolu'da iş imkânı aramaya başlamış ve gittikleri şehirlerde önemli eserler yapmışlardır. Divriği Ulu Camisi mimarlarından Hürremşah bin Mugis el-Hilati, Divriği Ulu Camisi doğu kapısında imzası bulunan Ahmed Nakkaş el-Hilati (Sönmez, 1989) ve Divriği Sitte Melik Türbesi ve Alayhan taç kapılarında imzası bulunan Tutbeg bin Bahram el-Hilati bu dönemin Ahlatlı öncü sanatçılarından (Pancaroglu, 2013). Ahlat'ta tıp, felsefe, astronomi ve kimya alanında yetişen önemli bilim insanları olması yanında bilimsel ve kültürel gelişmelerin sanat alanında uygulamaya konularak pratiğe dönüştürülmesi amacı güden 'ahilik' kurumu ortaya çıkmıştır. Anadolu Selçuklu, Mengücek ve Saltuk Devletlerinde inşa edilen yapılardaki Ahlatlı mimarların imzalarından da anlaşıldığı üzere Azerbaycan ve Ahlat'ta ortaya çıkan ahilik kurumunun Anadolu'da da faaliyetlerini sürdürdüğü bilinmektedir (Yaşa, 2013).

Anadolu Selçuklu Devleti'nde taş malzeme ile yapılmış mimari yapılar genellikle kervansaraylar, camiler, medreseler ve şifahanelerdir. Özellikle kervansaray ve medrese yapılarında cephe unsuru ön plana çıkarılarak taç kapı tezyinatına önem verilmiştir. Taç kapı tezyinatı tasviri, Karahanlılar, Gazneliler ve Büyük Selçuklu Devleti yapıları cephe vurgusu detayının devamı olarak Anadolu Selçuklu Devleti yapıları cephe düzeninin bir bağlantısı olarak görülmektedir. Taç kapılar duvar seviyelerinden yüksek inşa edilerek ortalama 8 metre yükseklikte, 4 metre genişlikte ve 2 metre derinlikte dikdörtgen bloklardan oluşmaktadır. Taç kapılarda yer alan geniş açıklık, kemerli eyvan biçiminin yanı sıra mukarnaslı bir yarım kubbe şeklinde de görülmektedir. Taç kapıyı saran yan duvarlar bir mekân etkisi kurgulamak amaçlı olduğu düşünülen küçük nişler barındırmaktadır. Cephe duvarlarındaki sadeliğe karşın taç kapılara yüklenen tezyinat, yapıda giriş mekânı etkisi artırılmasının amaçlandığı bir durumdur (Ögel, 1966; Ünal, 1982).

Anadolu Selçuklu Devleti'nde en eski taç kapı örneği Divriği Kale Camisi (1180) taç kapısıdır. Taç kapı üzerindeki tezyinat Büyük Selçuklu tuğla geometrik tezyinatının taşa işlendiği ilk örneklerinden biridir. Bu taç kapı ve sonrasında yapılmış kümbet, kervansaray ve medrese kapıları geometrik tezyinatın ustaca taşa aktarıldığı süslemeler içermektedir. Dönemin mukarnas uygulamaları ise kubbelerde, mihraplarda, pandantif geçişlerde, küçük nişlerde ve en gelişmiş örnekleri ile taç kapı tasarımlarını süsleyen örtülerde yer almaktadır. Doğu Roma İmparatorluğu, Irak Selçukluları, Gürcü

ve Ermeni Krallıkları, Haçlı Prenslükleri, Memlükler ve İlhanlılar gibi devletlerinin Anadolu'da hüküm sürmesi, yörenin malzemesi ve mimari birikimleri Anadolu Selçuklu Devleti mimarisinde harmanlanmış bir biçimde kullanılmıştır. Öte yandan Anadolu Selçuklu Devleti'nin devam ettirdiği Orta Asya geleneğinin yanı sıra, Gazneliler, Karahanlılar ve Büyük Selçuklu sanatı anlayışı ile taş yapılarda ve mukarnas tasarımlarında başka bölge ve kültürlerde benzeri olmayan mimari öğeler ortaya çıkmıştır.



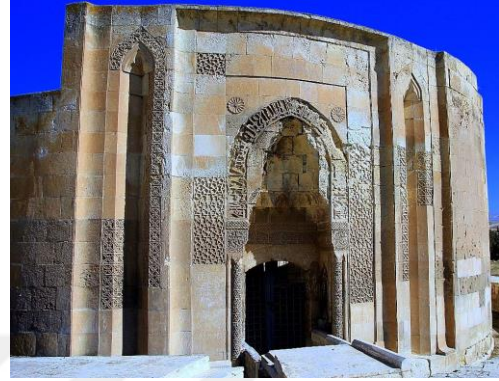
Şekil 2.13. Makam-ı İbrahim minberi (URL-11)

Anadolu'ya ilk yerleşim sürecinde tuğla malzemedan yapılmış kümbet örneklerine rastlanılmış, daha sonra yapılan kümbetler taş malzeme ile uygulanmıştır. Tuğla kümbetler Büyük Selçuklu Devleti İran Meraga Bölgesinde görülen kümbetler etkisindedir. Taş kümbetler ise genellikle 8, 10, 12 köşeli ya da silindirik gövde üzerine yerleştirilmiş piramit ya da konik külahlıdır (Aslanapa, 2000). Kümbet yapılarının girişlerinde genellikle taş mukarnas uygulamaları yer almaktadır. Öte yandan Külahlı ve dilimli biçimlenişlere Anadolu Selçuklu Devleti ile benzer dönemlerde yapılmış Ermeni

kiliselerinde rastlanılmaktadır. Kilise ve manastırlardaki mukarnas vb. geometrik desenlerin kullanımı ve taş aktarımı dikkat çekmektedir. İlk olarak Anadolu Selçuklu eseri Divriği Sitte Melik Türbesi'nde (1195) görülen taş mukarnas örtünün aynı dönemlerde uygulanmış örnekleri Ermeni yapılarında da mevcuttur.



Şekil 2.14. Kars Ani Havariler Ermeni Kilisesi giriş cephesi (URL-12)



Şekil 2.15. Tercan Mama Hatun Türbesi giriş cephesi (URL-13)

1217 yılından önce yapıldığı tahmin edilen Kars Ani Havariler Ermeni Kilisesi cephe tasarımı klasik Anadolu Selçuklu Devleti kervansaray cephe düzenlemesi ile eşleşmektedir. Ani Havariler Ermeni Kilisesi cephesinin bir örneği Tercan Mama Hatun Türbesi cephesidir (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15). Aynı zamanda kilisenin tavan detayları Ani Menuçer Camisi tavan detaylarında bulunan geometrik desenler ile benzerlik göstermektedir. 1124 yılında yapılmış Harichavank manastırında uygulanmış mukarnaslı kubbe ise Anadolu Selçuklu Devleti'nde ilk olarak Erzurum Yakutiye Medresesi (1310) mukarnaslı kubbesinde görülmüştür (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17), (Eastmond, 2017). Mukarnaslı kubbelerin ilk örneklerinden biri olduğu bilinen Zengiler dönemi 1174 yılında yapılmış Nurettin Bimaristanı kubbesi alçı mukarnas birimleri ile ana kubbeye yerleştirilirken, Harichavank Manastırında (1124) yer alan taş mukarnaslı kubbesinin strüktürü ile bütünleşen modüler birimlerle kurulmuş kapsamlı detayı dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra Ermeni tarzı *haçkar* adı verilen mezar taşları 10.yy sonlarına doğru İslam geometrisi motifleri ile taş işlenmiş ve Ahlat mezar taşlarında benzer örnekleri bulunmuştur (Pancaroglu, 2013). Ermeni kiliselerinde mukarnas ve İslami geometrik desen uygulamalarının yer alması, Anadolu Selçuklu Devleti'ne kimlik kazandıran bu sanat dalının, kültürel iletişimin bir sonucu olarak diğer devletlerin mimarisinde de kullanıldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 2.16. Harichavank Manastırı mukarnaslı kubbesi (URL-14)



Şekil 2.17. Erzurum Yakutiye Medresesi mukarnaslı kubbe (URL-15)

Anadolu'daki kültürel etkileşimi destekleyen bir diğer unsur Suriye-Eyyübiler Devleti (1171-1250) sanatıdır. Suriye taş tezyinatı silme bordürler, renkli kakma geçme taşlar ve iri dilimli nişlerle kurulmuş sade mukarnas kompozisyonları ile kurulmuştur. Zengiler döneminde geometrik yıldız desenlerinin kullanımına taş tezyinat yerine ahşap minber ve kapı örneklerinde rastlanmaktadır. Geometrik yıldız desenlerinin taşa aktarımı Anadolu Selçuklu Devleti olmuştur (Ögel, 1966). Ahlatlı ustaların Anadolu Selçuklu Devleti eserleri gibi Suriye Eyyübi Devleti (1171-1260) eserlerinde katkılarının olup olmadığı bilinmemektedir. Anadolu'da Suriyeli mimar ve ustaların çalıştığı, Konya Alâeddin Camisi, Alanya ve Sinop Kalesi gibi yapıların kitabelerinden anlaşılmaktadır (Konyalı, 1964). Konya Alâeddin Camisi ve Aksaray Sultanhanı Kervansarayı'nın mimarı olarak bilinen Suriyeli mimar Muhammed bin Havlan Dımışki, iki yapının taç kapı tasarımlarında farklı teknikler kullanmıştır. Suriye taş süslemelerinde görülen renkli kakma geçmelerden kurulu sade kompozisyon anlayışı Konya Alâeddin Camisi taç kapısında benzer uygulamalar olarak belirlemiştir.

Aksaray Sultanhanı Kervansarayında uygulanmış mukarnas örtülü taç kapısındaki üslup farklılığı ise Aksaray Alayhan gibi Anadolu'da bulunan diğer mukarnas örtülü taç kapıların tezyinat anlayışına benzemektedir (Şekil 2.18 ve Şekil 2.19). Muhammed bin Havlan Dımışki'nin Suriye mimarisi üslubu dışında Ahlatlı ustalar ile çalışarak diğer Anadolu Selçuklu yapılarında olduğu gibi mukarnas örtü detayları, taş oyma teknikleri ve konik külahlı kümbetler gibi yöreye özgü mimari öğeler kullandığı sonucuna varılmıştır (Pancaroğlu, 2013). Ahlatlı ustaların yapım sürecine katkıları Anadolu Selçuklu Devleti'nde kullanılan mukarnas tasarımlarının ilk örneklerinin Ahlat'ta ortaya çıktığı iddiasını güçlendirmektedir. Anadolu'da ilk taş

mukarnas örneklerinin Mengücekliler dönemi Sitte Melik Türbesi (1195) ve 12.yy' da yapıldığı kabul edilen Anadolu Selçuklu Devleti Alayhan Kervansarayı taç kapısında olduğu bilinmektedir. Her iki yapının Ahlatlı Tutbeg bin Behram'ın imzasını taşıyan taç kapı örtülerinden yola çıkarak taş mukarnas tasarımının Ahlat'a özgü bir tasarım ürünü olduğu düşünülmektedir (Pancaroglu, 2013).

Anadolu'da 13.yy ikinci yarısında Moğolların istilası ile yeni bir dönem başlamıştır. Siyasal ve askeri gücün zayıfladığı bu dönemde İlhanlı Devleti'nin kurulması ile devletin giderlerinin Anadolu Selçuklu Devleti tarafından karşılanması, maddi yönden de yıpratıcı bir dönem olmuştur. Bu dönemde Anadolu Selçuklu sultanlarından ziyade baş vezirlerin sözünün geçtiği, yapıların banisi olarak bahsedilen kitabelerden anlaşılmaktadır. İlhanlı hakimiyetinin etkisi yapıların karakteristik özelliğine de etki etmiştir. Yapılarda görülen üslup, anıtsal etki, bezeme yoğunluğu ve gösterişli figürler, tasarıma bütüncül yaklaşımdan çok ayrıntıları öne çıkan bir anlayışa sahiptir. Yapım ekibi ustalarının Orta Asya, Büyük Selçuklu ve Harzem kültürüne daha yakın olan kişiler olduğu, dönemin mimarlık anlayışına yön veren ismin ise Kelük bin Abdullah olduğu bilinmektedir (Tuncer, 1986).



Şekil 2.18. Alayhan taç kapı mukarnası (URL-16)



Şekil 2.19. Sultanhanı iç kapı mukarnası (S.G.Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)

İlhanlılar dönemi Anadolu Selçuklu mukarnasları incelendiğinde 12. ve 13.yy ilk yarısında kullanılan sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare-baklava modüler birimli mukarnas kompozisyonlarının bazı yapılarda kullanımının devam ettiği gözlenmiştir. Bu dönemde inşa edilen Konya Sahip Ata Camisi, Sivas Gök Medrese, Erzurum Çifte

Minareli Medrese ve Konya Beyşehir Eşrefoğlu Camisi gibi yapıların taç kapı mukarnas izdüşüm planlarında ise 5 ve 7 kollu yıldız desenlerinin dönel simetri uygulanarak kullanılmıştır. Bu mukarnas örnekleri el-Kaşi'nin Şiraz mukarnası olarak sınıflandırdığı yıldız-çokgen-sarkıt formlarının öncüsüdür (Özdural, 1990).

2.4.1. Anadolu Selçuklu Devleti Mukarnaslarında Malzeme ve Yapım Tekniği

Taş mukarnas bezemenin taç kapılarda yaygın olarak kullanıldığı Anadolu Selçuklu Devleti'nde tuğla ve çini mukarnas uygulamalar da yaygındır. Tuğla malzemenin dekoratif kullanımı ile birlikte Bizanslılar ve Ermeniler dönemi Orta Anadolu'sunda Antik Roma inşaat tekniği olarak bilinen tuğla ve taş malzemenin bir arada kullanıldığı *opus-mixtum* strüktürel yapım örnekleri bulunmaktadır (McClary, 2014). Tuğla malzeme minarelerde ve çeşitli dekoratif öğelerde Samanoğulları döneminden itibaren başlayarak ve Karahanlılar- Gazneliler- Büyük Selçuklular dönemini takip eden sürecin yanı sıra Anadolu Selçuklu Devleti'nde de yaygın şekilde kullanılmıştır. Büyük Selçuklu Devleti yapılarında daima tuğla kullanmışlardır. Büyük Selçuklu Devleti Zevvare Camisi planlamasına benzer bir Anadolu Selçuklu Devleti eseri Malatya Ulu Camisi (1224) dışında tamamen Büyük Selçuklu Devleti tuğla yapı tarzını simgeleyen başka bir yapı bulunmamaktadır (Aslanapa, 2000). Orta Asya ve İran sanatı ürünü tuğla tezyinatın taşta aktarımı olarak değerlendirilebilecek Anadolu Selçuklu Devleti'nde taşın kullanımı Gazneliler dönemi ile ilişkilendirilmektedir. Gazneliler döneminde tuğla ve alçı kullanımının yanı sıra, mermer malzemenin de kullanıldığı, mermer ocaklarının bulunduğu bilinmektedir. Taş ve mermer malzemenin yaygın kullanıldığı bu dönemde, mermer tezyinatında yer alan palmet ve rumi desenlerinin Anadolu Selçuklu Devleti tezyinatı ile benzer şekilde uygulandığı örnekler mevcuttur (Ögel, 1966). Öte yandan 12.yy Gazneliler ve Büyük Selçuklu Devleti minareleri tuğla tezyinatındaki benzerlikler, Anadolu Selçuklu Devleti tuğla minarelerinde de görülmektedir. Tuğla malzemenin minare şerefelerinde ya da kümbet frizleri gibi kademe sayılarının az tutulduğu mukarnas nişleri oluşturmasının yanı sıra, strüktürel bir sistem olarak, alçı ya da çini applike mukarnaslı taç kapı ya da mihraplarda kullanıldığı örnekler olarak yorumlanmıştır. İran'da görülen az kademeli tuğla mukarnas nişlerinden kurulu örtülerden farklı olarak bu sistemler yalnızca yapının strüktürünü oluşturan ve dekoratif nişleri destekleyen temeller olarak kullanılmıştır.

Sicilya ve Suriye'deki ahşap-taş mukarnas yapım tekniklerine benzer yaklaşımlar Anadolu uygulamaları için de değerlendirilmiştir. Anadolu Selçuklu Devleti taş işlemlerinde Büyük Selçuklu Devleti ve öncesi İran coğrafyasında sıkça rastlanan alçı işçiliği detaylarının bulunduğu bilinmektedir (Öney, 1973). Eğri (mâil) kesim olarak bilinen bu teknik, Orta Asya'dan Abbasiler dönemi Samarra'ya ulaşarak İslam coğrafyasına yayılmış bir alçı süsleme tekniğidir (Ögel, 1965; Öney, 1973). Samarra'da görevli Türk askerlerinin uygulaması olarak başlayan bu tekniğin Anadolu Selçuklu Devleti bölgeye has bir üslup ile geliştirilen ahşap detaylarda uygulandığı gözlenmiştir. Öte yandan Ögel (1966), Anadolu Selçuklu Devleti yapıları ahşap işçiliği kaset tekniğinin bazen taşçı ustaları tarafından kullanıldığını da belirtmiştir. Örneğin Divriği Ulu Camisi doğu cephe taç kapı kemerinin üzerinde sahanın işlenişinin de tahta tekniği ile yapıldığı ve batı cephe taç kapısındaki ahşap kanatlar ile benzerlik gösterdiği görülmektedir (Ögel, 1966). Taş mukarnas uygulamalarında eğri kesim tekniği yerine taşı oyma işlemi uygulanmıştır. Oyulmuş yuvaların yüzeyleri yontularak işlemler yerleştirilmiştir. Öte yandan Divriği Sitte-i Melik Türbesi ve Tercan Mama Hatun Türbesi yüzeyleri üzerindeki mukarnas yuvalarının oyulma işlemi konstrüksiyon çizgileri ile belirlendiği dikkat çekmiştir (Şekil 2.20). Benzer bir uygulama 12.yy Ahlat mezar taşı üzerinde bilinen ilk mukarnas yuvaları örneğinde de görülmektedir (McClary, 2015).



Şekil 2.20. Mama Hatun Türbesi taş mukarnas ve Kuyulu Hoca Paşa Camisi ahşap kapı detayında kullanılan yardımcı çizgiler (McClary, 2015)

Konstrüksiyon çizgilerinin ahşap işçiliği detaylarında kullanılması, Anadolu'daki ilk taş mukarnas kompozisyonlarını yapan Tutbeg bin Bahram el-Hilati'nin taç kapıların kenarında yazdığı *el-neccar* (dülger) künyesi gibi etkenler, ahşap-taş süsleme teknikleri ile bağlantılar olarak görülebilir. Öte yandan, dülger ünvanı bulunan Tutbeg bin Bahram el-Hilati'nin bilinen bütün çalışmaları taş yapılarda yer almaktadır (Pancaroğlu, 2013; Eastmond, 2017). Konya Alâeddin Camisi minberi gibi ahşap tezyinat detaylı mimari öğelerin pek çoğu Tutbeg bin Bahram el-Hilati gibi Ahlatlı ustalar tarafından yapılmıştır (Sönmez, 1989; Eastmond, 2017).



3. MUKARNAS YAPIM VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Tarihi yapılardaki koruma ve onarım analizleri ve güncel mukarnas yapım süreçleri genellikle taç kapı mukarnas tasarımları üzerinden değerlendirilmiştir. Restorasyon çalışmaları sonucunda belirlenen mukarnas onarım hataları, tasarım kurgusu bozulmuş, birimleri deforme olmuş, yanlış onarılmış, temel taşları kalmış ve boyanmış örnekler üzerinden alt başlıklar halinde incelenmiştir.

Tarihi bir yapının mukarnaslı taç kapı örtüsünün değerlendirildiği restorasyon çalışması, Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas yapım aşamalarına dair daha önce elde edilmemiş veriler olarak belgelenmiştir.

Güncel mukarnas uygulamalarında her bir mukarnas üreticisinin tasarım-yapım tekniği ve süreci hakkında bilgiler toplanmıştır. Bu üretimler sonucunda genellikle tarihi yapılarda uygulanmış tasarımların birebir kopyalandığı tespit edilmiş ve uygulama hatalarına değinilmiştir.

3.1. Mukarnas Uygulamalarında Koruma ve Onarım

Çalışmanın bu aşamasında Türkiye’de bulunan mukarnas örneklerinde yanlış müdahaleler ya da bakımsızlık nedeniyle deformasyonlar meydana gelmiş uygulamalar; tasarım kurgusunda bozulmalar meydana gelen örnekler, mukarnas birimleri deforme olmuş örnekler, mukarnas birimleri yanlış onarılmış örnekler, temel taşları kalmış örnekler, boyanmış örnekler başlıkları altında değerlendirilmiştir. Öte yandan bir restorasyon projesinde yer alan mukarnaslı taç kapı onarımı detaylı incelenerek geleneksel mukarnas yapım aşamalarına yönelik veriler elde edilmiştir.

3.1.1. Tasarım Kurgusunda Bozulmalar Meydana Gelen Örnekler

Kayseri Sahabiye Medresesi 1267 yılında Anadolu Selçuklu veziri Sahip Ata Fahrettin Ali tarafından yaptırılmıştır. Taç kapı üzerinde bulunan mukarnas örtüsü klasikleşen Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas örtüleri üslubundadır. Pek çok onarım geçirdiği bilinen yapının 1960-1969’lu yıllarda geçirdiği restorasyon çalışmalarının yanı sıra son restorasyonu 2015’te yapılmıştır (Yaldız ve Asatekin, 2016). Mukarnas taş bloklarının her bir kademedeki kaymalar yaptığı ve kaymaların gerçekleştiği birimler üzerinden yapılmış onarımların sonucu olarak biçimsel sorunların ortaya çıktığı

gözlenmiştir. Beşinci kademede bulunan simetrik birimlerin birbirinden farklı işlemlerinin olması, altıncı kademede yer alan yaprak birimlerindeki oransal farklılıklar da sonradan yapılan müdahalelerdeki sorunları ortaya çıkartmıştır. Kuşatma kemerinin yukarı doğru sivrileşmesi, mukarnas taş bloklarının yan yüzeylerindeki kuşatma kemerine kadar işlenmiş geometrik desenlerin farklı ölçeklerde uygulanmış olması yanlış müdahalelerin varlığını kanıtlamaktadır (Şekil 3.1). Taş dizilim sırası ile doğru yerleşim hattının belirlenmesi mukarnas tasarımında önemli bir adımdır.



Şekil 3.1. Kayseri Sahabiye Medresesi (URL-17)

Bursa Ulu Camisi'nin Osmanlı Devleti 1396-1400'lü yıllarda Yıldırım Bayezid tarafından yaptırıldığı bilinmektedir. Caminin yangınlar ve doğal afetler sebebiyle pek çok onarım geçirdiği kayıtlı belgelerden anlaşılmaktadır. 1951-1965'te yapılan restorasyon çalışmalarında taç kapıda bulunan mukarnasların yalnızca sıva kalıntılarının bulunduğu, onarımlar sırasında mukarnas birimleri kalıplarının çıkarılarak mermer malzeme ile yeniden yapıldığı bilinmektedir. Benzer birimlerin üst üste bindirilerek kurulduğu mukarnas örtü herhangi bir dönemin tarzını yansıtmadığı düşünülmektedir (Ödekan, 1982). Bu sebeple izdüşüm planında Anadolu Selçuklu ya da Osmanlı Devleti'nde görülen geometrik kurgu şemalarının bulunmadığı gözlenmiştir. Geometrik kurgunun beşinci kademeye kadar belli bir oranda devam ettiği ve sonraki kademelerde bozulduğu gözlenmiştir. İzdüşüm planından okunan şemanın yanı sıra mukarnas formu incelendiğinde beşinci kademe sonrasında farklı bir yorumun bulunduğu görülmüştür.

Kademelerinin sistematik ilerlemeyişi ile aynı süsleme çeşidinin uygulandığı birimlerdeki form bozuklukları, büyüklü küçüklü işlemler onarımlar sırasında yapılan müdahaleleri kanıtlamaktadır (Şekil 3.2).

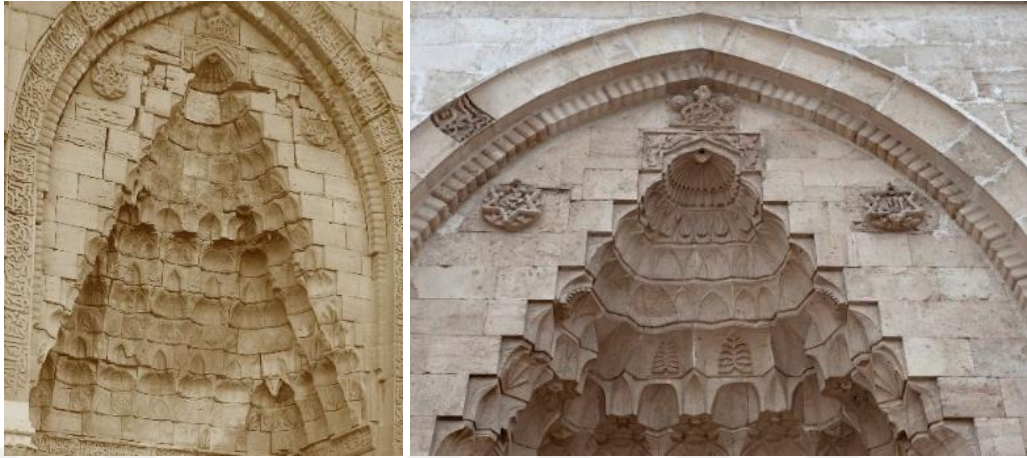


Şekil 3.2. Bursa Ulu Camisi taç kapı mukarnası (URL-18)

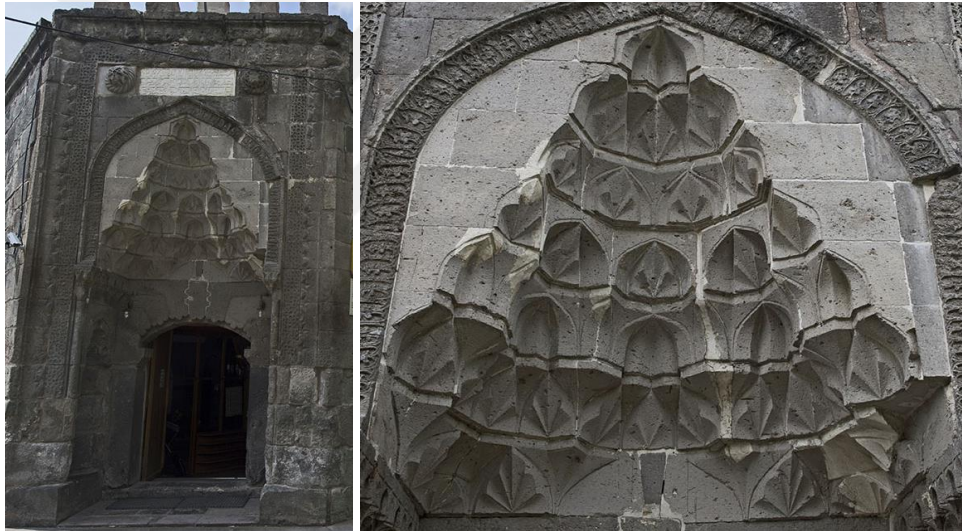
Karaman Hatuniye Medresesi 1485 yılında Osmanlı Devleti hükümdarı 2. Bayezid tarafından yaptırılmıştır. Taç kapı mukarnası birimlerinin değiştirildiği yapılan onarımlar sonrası bahçede bulunan özgün taş bloklardan anlaşılmaktadır (Ödekan, 1982). Üst kademede yerleşen birimlerin 1890'lı yıllarda çekilmiş fotoğrafta 12 kollu bir yarım yıldız oluşturduğu dikkat çekmektedir. Onarımlar sonrası bu yarım kollu yıldızın kol sayıları artırılmış ve birim mesafeleri eşit olarak işlenmemiştir. Yıldız kollarının altında yerleşen kademelerdeki birimlerin sayılarının artırıldığı ve bazı kademelerde üst üste binen birimlerin olduğu görülmektedir. Beşinci kademede yer alan palmet motiflerindeki orantısızlıklar mukarnas birimlerinin büyüklü küçüklü şekilde değiştirildiğini göstermektedir. Altıncı kademede yer alan yaprak birimlerinin oluşturması gereken yuvaların kavis oranlarındaki deformasyonlar sebebiyle klasik mukarnas nişlerinden farklı bir görünüm kazanmıştır (Şekil 3.3). Onarım sürecinin izdüşüm planı ve geometrik kurgu aşaması dahil edilmemiştir. Bunun sonucunda esas formunu ve niteliğini kaybetmiş bir mukarnas örtüsünün ortaya çıkmıştır.

1135-1142 yılları arasında Danişmentliler tarafından yaptırıldığı kabul edilen Kayseri Kölük Camisi'nin kuzeydoğu duvar köşelerini 45° kesen mukarnaslı ikinci taç

kapısının Anadolu Selçuklu Devleti 1210'lu yıllarda eklendiği bilinmektedir (Tuncer, 1997).



Şekil 3.3. Karaman Hatuniye Medresesi taç kapı mukarnası (URL-19), (URL-20)



Şekil 3.4. Kayseri Kölük Camisi taç kapı mukarnası (URL-21), (URL-22)

Pek çok onarım geçirmiş olan yapının taç kapı kuşatma kemerindeki orantısızlık, yapının eski fotoğrafları incelendiğinde mukarnaslı kavsaranın sağ tarafında meydana gelen çökme sebebiyle olma ihtimalini ortaya koymuştur. Ödekan (1982); (1977) ve Tuncer (1997)'in incelemeleri ve rölöve çalışmaları, taç kapı mukarnası ve kuşatma kemerindeki form bozukluğunun tasarım ve yapım sürecinde değil sonradan olduğu üzerinedir. Taç kapının sağ tarafında konumlanmış mukarnas taş bloklarının içe doğru çökme sebebiyle kuşatma kemerinden ayrıldığı, yapılan onarım çalışmaları sonucunda mukarnas ve kuşatma kemerinin köşe sütunlarına dayanmış kısımlarının arasında dolgu

yapıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.4). Bu nedenle hem mukarnas örtü hem de kuşatma kemeri deforme olarak günümüze ulaşmıştır.

3.1.2. Mukarnas Birimleri Deforme Olmuş Örnekler

Bursa Mahkeme Hamamı, Ankara Altındağ Karacabey Camisi, Nevşehir Saruhan ve Ankara Arslanhane Camisi taç kapılarında yer alan mukarnas örtülerinin ilk kademelerinde bulunan birimlerin yıkılması ya da bozulması sebebiyle onarılmadan bırakıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).

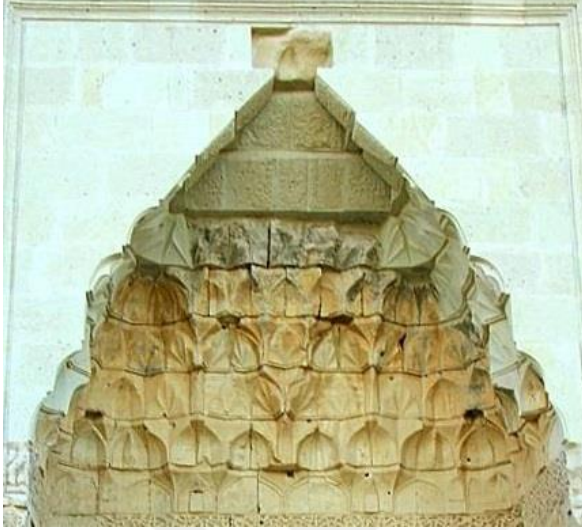


Şekil 3.5. Bursa Mahkeme Hamamı (URL-23) ve Ankara Altındağ Karacabey Camisi (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2019) taç kapı mukarnasları

Bursa Mahkeme hamamında üst kademe tamamen örtülmüş, ikinci kademede badem birimlerinin ana hatları ve birim-blok birleşim çizgileri kaybolmuştur. Diğer kademelerdeki aşınmış birimlere uygulanan sıva-boya işlemleri ile asıl formundan farklı, yozlaşmış mukarnas birimlerinin ortaya çıktığı gözlenmiştir.

İlk kademelerin Bursa Mahkeme Hamamı örneğindeki gibi örtüldüğü, ikinci ve üçüncü kademelerde aşınmış ve onarım gerektiren birimler bulunduğu ve sıva-boya işlemleri uygulanarak form bozukluklarına sebep olduğu gözlenmiştir. Ankara Altındağ Karacabey Camisi ilk kademelerinde ise bozulmuş birimlerinin yerine ilkel şekilde uygulanmış bir süsleme biçimi eklenmiştir. Taş malzemenin zamanla çürümesi sebebiyle alt kademelerde yer alan birimlerin biçimsel algısı zorlaşmıştır (Şekil 3.5). Üst kademeleri yıkılmış olan Nevşehir Saruhan taç kapısındaki mukarnas örtü, taç kapı ile kesme taş malzemeden tamamlanmış, biçimsel ve estetik bir kaygı gözetilmeden taç kapının tamamlanmasının hedeflendiği bir uygulama olarak değerlendirilmiştir (Şekil

3.6). Ankara Arslanhane Camisi'nde taş blokların renk uyumsuzluğunun kanıtlar nitelikte olduğu, ilk iki kademesinde yer alan taş birimlerin mukarnas izdüşüm planı geometrik kurgusunun göz önünde bulundurulmadan planlandığı bir yapım süreci olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Nevşehir Saruhan taş kapı mukarnası (URL-24)



Şekil 3.7. Ankara Arslanhane Camisi taş kapı mukarnası (URL-25)

3.1.3. Mukarnas Birimleri Yanlış Onarılmış Örnekler

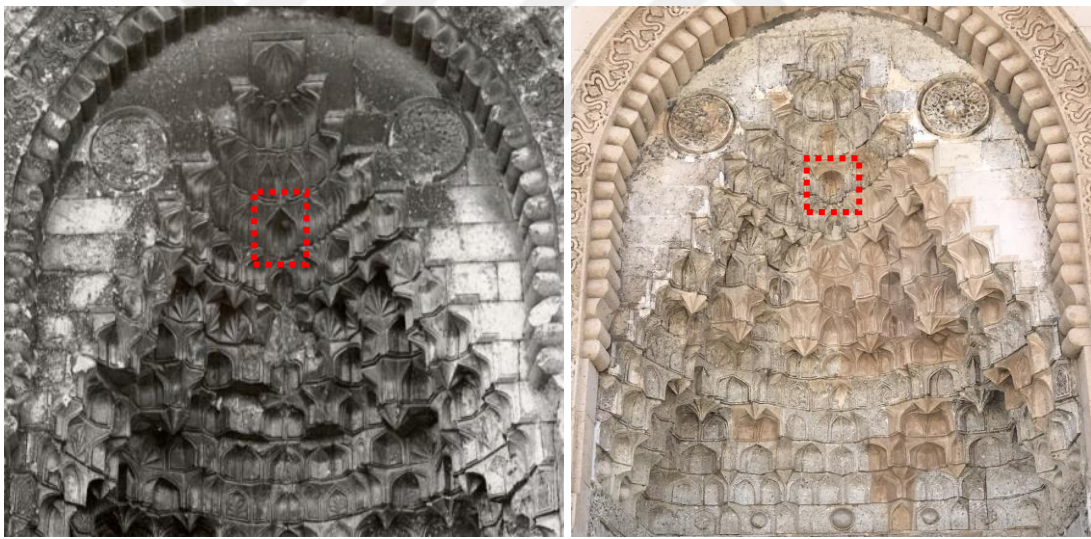
Afyon Sultandağı İshaklı Han taş kapısındaki mukarnasın ilk kademesinde bulunan yarım kollu yıldızın kavisi alt kademelerdeki birimlerin kavis oranı ile uyumlu değildir. Taş blok kavisleri ve yıldız kollarının derinliğinin doğru ölçülerle belirlenmemesi birimlerin yanlış yorumlanmasına sebep olmuştur. Aynı kademedeki taş blokların palmiye işlemelerindeki orantısızlık yanlış onarım süreçlerinin sonucudur. Anadolu Selçuklu mukarnalarında aynı kademedeki birim bezemelerinde orantısız ölçülerin bir arada kullanıldığı tasarımlara rastlanılmamıştır. İshaklı Han köşk mescit mukarnasında bazı birimlerin yeniden yapıldığı fakat taş birimde bulunması gereken nitelikler (kavis ölçüsü-derinlik) ve işçilik gibi sorunlar sebebi ile yanlış bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Köşk mescidin iç mekân tavanında düzenlenen mukarnas uygulaması birimlerindeki özensizlik de geometrik kurgunun önemsenmemesinin sonucudur (Şekil 3.8).

Benzer sorunlar Konya Beyşehir Eşrefoğlu Camisi mukarnasında da gözlenmiştir. İzdüşüm planı, geometrik kurgu ya da üç boyutlu mukarnas birim analizine ihtiyaç duyulmadan, yalnızca tarihi fotoğraflar incelendiğinde bile mukarnas

birimlerinin yanlış onarımlar sonucunda yozlaşmış durumda olduğu açıkça görülmektedir. Dördüncü ve beşinci kademelerin ortasında bulunan birimlerde sivrilerek oluşması gereken kavislerin yumuşatılarak ovalleştirildiği, sarkıt formuna uzanan yıldız kollarının alt kademelerinde yer almış yuva birimlerinin de bozulduğu gözlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Afyon İshaklı Han taç kapı ve köşk mescit tavan mukarnasları (URL-26), (URL-27), (URL-28)



Şekil 3.9. Konya Beyşehir Eşrefoğlu Camisi taç kapı mukarnası eski (URL-29) ve yeni (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2020) fotoğrafları

3.1.4. Temel Taşları Kalan Örnekler

Mukarnas örtüler genellikle formu ve tekniği anlaşılmadığı için onarılmadan bırakılmaktadır. Alçı malzeme ile yapılmış mukarnas örneklerinde malzemenin dayanım süresinin az olması ve bakımsızlık gibi sebeplerle bozulmalar daha kolay olmaktadır. Günümüze yalnızca tuğla temeli ulaşmış olan Bursa Gülruh Hatun Türbesi'nin eski fotoğrafları incelendiğinde alçı malzeme ile yapılmış bir mukarnas

olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan son düzenlemelerde tuğla yüzeyin sıvandığı ve beyaza boyandığı görülmektedir (Şekil 3.10). Benzer bir durum alçı malzeme ile yapılmış Bursa İbrahim Paşa (Mahkeme) Hamamı erkekler bölümündeki pendantif mukarnasında gözlenmiştir. Mukarnas temelinin sıvanıp boyanarak kademeli tuğla temelinin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Bursa Gülruh Hatun Türbesi taş kapısı (URL-30), (URL-31), (URL-32)



Şekil 3.11. Bursa İbrahim Paşa Hamamı erkekler bölümü pendantif mukarnası (Dallal, 2019)

3.1.5. Boyanmış Örnekler

Anadolu Selçuklu ve Osmanlı Devleti mukarnas örtülerinde taş tezyinat, tuğla üzeri çini aplike ya da çini kaplama detaylı uygulamalar bulunmaktadır. Bu tip süslemeler dışında kalem işi, renkli boyama ve alçı sıva gibi uygulamaların onarımlar sonrası yapılan düzenlemeler olduğu gözlenmiştir. Alçı ya da taş mukarnas uygulamalarında yapılan boyama ve kaplama benzeri süslemeler tasarımın karakteristik özelliğini yitirmesine ve asıl bezemenin estetik görünümü ile ifade gücüne engel olmaktadır. Örneğin, İstanbul Mahmut Paşa Hamamı mukarnaslı taş kapısının dış

hattına çekilen kırmızı renkli kontur ile hem yapıda hem de mukarnaslı örtüde biçim ve estetik algısı kaybolmuştur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. İstanbul Mahmut Paşa Hamamı taç kapı mukarnası(URL-33)

Gebze Çoban Mustafa Paşa Camisi taç kapısında renklendirilmiş mukarnaslı örtüde ise yalın bir dille ve usta bir işçilikle ifade edilen form algısının yerini renklerle kapatılmış bir ifade biçimi almıştır. Öte yandan eklenen plastik örtü taç kapı ve kubbedeki mukarnas uygulamalarının mekânda kurduğu giriş etkisinin kaybolmasına ve yapının estetiğinin bozulmasına sebep olmuştur (Şekil 3.13). Benzer şekilde püskül birimlerine aydınlatma elemanları eklenerek amaç dışı kullanıldığı Tokat Gök Medrese taç kapı mukarnasında biçimsel algı bozulmuştur. (Şekil 3.14)



Şekil 3.13. Gebze Çoban Paşa Camisi taç kapı mukarnası (URL-34), (URL-35)



Şekil 3.14. Tokat Gök Medrese taç kapı mukarnası (URL-36)

Boyama örneklerine iç mekanlar mihrap mukarnas uygulamalarında sıkça rastlanmıştır. Bursa Ulu Camisi mihrabı üzerindeki alçı sıva üzeri kalem işi süslemelerinin 20.yy’ da eklendiği bilinmektedir (Bozkurt, 2008). Altın yıldız kaplama boyalı mukarnasları alçı kaplama tekniği ile yapılmıştır. Bursa Hüdavendigar Camisi mihrabı mukarnasında ise özgün olmayan kalem işi teknikler ve altın yıldız kaplama boyama uygulanmıştır (Şekil 3.15). Bursa Yiğit Köhne Camisi mukarnas mihraba yağlı boya uygulanarak birimler üzerindeki işlemlerin yozlaşmasına sebep olmuştur. Boya kaplama yapılan mukarnas birimlerinin yontu detayları kapanarak özgün formlarının kaybolduğu ve düz yüzeylerin oluştuğu görülmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Bursa Hüdavendigar Camisi (URL-37) ve Bursa Ulu Camisi (URL-38) boyalı mihrap mukarnasları



Şekil 3.16. Bursa Yiğit Köhne Camisi mihrap mukarnası (URL-39)



Şekil 3.17. İstanbul Davut Paşa Külliyesi restorasyon öncesi ve sonrası pandantif mukarnası (URL-40)

İstanbul Davut Paşa Külliyesinde yapılan mukarnas onarımları incelendiğinde mukarnasın doğal malzemesi üzerine yapılan kalem işi tekniği ile tasarımın sade ve estetik görünümü yok edilerek birimlerin ifade gücü yitirilmiştir. Bazı birimlerdeki detaylar kırmızı kontur hatları ile vurgulanmaya çalışılsa da bazı birimlerde yontu detaylarının boyama işlemleri sonucu kaybolduğu gözlenmiştir (Şekil 3.17). Benzer bir uygulama Konya Mevlâna Müzesi kubbesinde de görülmektedir. Koyu renk boyamalar ve turuncu renk kontur hatları ile belirginleştirilmeye çalışılmış fakat bu işlemler mukarnas birimlerinde geometri ve form algısının yitirilmesine neden olmuştur (Şekil 3.18). Bir diğer restorasyon örneği Kastamonu Nasrullah Camisi'nde işlemler ve

süslemeler sıvanarak kapatılmıştır. Camideki mukarnas birimleri de bu restorasyon uygulaması dahilinde boyanarak özgün değerini kaybetmiştir (Şekil 3.19 ve 3.20).



Şekil 3.18. Konya Mevlâna Müzesi boyalı kubbe mukarnası (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2018)



Şekil 3.19. Kastamonu Nasrullah Camisi restorasyon öncesi (URL-41)

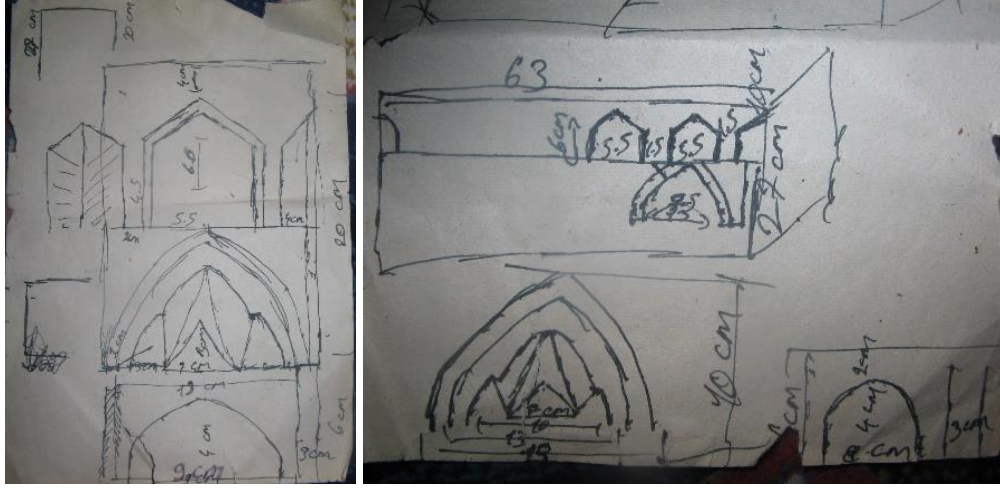


Şekil 3.20. Kastamonu Nasrullah Camisi restorasyon sonrası (URL-42)

Mukarnas onarımında izdüşüm planının okunarak geometrik kurgunun, simetrisi alınan birimler üzerinden değerlendirilerek uygulandığı Konya Sahip Ata Camisi'ne ait taç kapı mukarnas birimlerinin onarımı iyi bir örnek olarak nitelendirilmiştir (Şekil 3.21 ve Şekil 3.22). Onarılması gereken birimlerin simetrik benzerlerinin bulunması restorasyon sürecinde taş ustasına fayda sağlamıştır. Bazı durumlarda doğru analiz yapılsa da işçilik özenli ve doğru şekilde uygulanmadığında kötü yorumlanmış mukarnas restorasyonları da gözlenmektedir. Yine de Sahip Ata Camisi mukarnas birimleri bu kapsamda incelendiğinde nitelikli bir onarım örneği olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.21. Sahip Ata Camisi taç kapı mukarnas onarım detayı (İzzet Gözel Kişisel Arşivi)



Şekil 3.22. Sahip Ata Camisi onarım eskizleri (İzzet Gözel Kişisel Arşivi)

3.1.6. Mukarnaslı Taç Kapı Restorasyonu Örneği

Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamalarının strüktürel olarak incelenmesi Konya Akşehir Taş Medrese restorasyon-restitüsyon projesi üzerinden yapılmıştır. Bu projede mukarnasın yüzeyde okunan dekoratif fonksiyonlarının ötesinde arka planda strüktürel yapının taş kullanımı ve yerleşimi hakkında önemli bilgiler edinilmiştir. 2016 yılında tamamlanan Akşehir Taş Medrese, onarımı sonrasında Konya Akşehir Taş Eserler Müzesi olarak faaliyet sürdürmektedir. Akşehir Taş Medresenin onarım öncesinde taç kapısında yalnızca kapı kimeri ve kitabesinin bulunduğu bilinmektedir. Taç kapıda yer alan mukarnas birimleri, medresenin avlusunda bulunmuştur (Şekil 3.23). Projenin mimarı yapının tarihsel sürecini dikkate alarak, Akok (1977) ve Ödekan'ın (1977) medrese ve mukarnas taşlarının yerleşimi üzerine yaptığı analizler ve çalışmalardan yola çıkarak taç kapıdaki mukarnasın izdüşüm planını çizmiştir. Medresenin avlusunda bulunan mukarnas taş blokları, izdüşüm planı çizimi ile eş zamanlı şekilde bir araya getirilerek mukarnasın taç kapı üzerinde yerleşimi çözümlenmeye çalışılmıştır. Onarım gerektiren mukarnas birimleri, mermer taş blokların ana malzemesinden elde edilen toz ve hidrolik kireç ile hazırlanmış harç yardımıyla doldurulmuştur. Birimleri birbirine bağlayan kenet sistemi için yuvalar hazırlanıp kurşunla sabitlenmiştir (Şekil 3.24). Mimar ve taş ustasının koordine biçimde yürüttüğü çalışmada, taç kapıda yer alan mukarnas tasarımının olası şeması projede belirtilmiş ve avluda bulunan taşlar plan, kesit ve görünüş çizimlerine uygun şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.25). Plan ve görünüşlerde mukarnasın yalnızca ön yüzeyinde bulunan bezemeler ve derz çizgileri yer almaktadır. Mukarnas taş bloklarının bir araya

getirildiği strüktürel sistemde taş ustası gerekli doldurmaları yaparak arkada devam eden eyvan duvarı ile taç kapı duvarını bir arada işlemiştir.



Şekil 3.23. Akşehir Taş Eserler Müzesi Kapısı restitüsyonu (Konya Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)

Mukarnas bezemenin dekoratif kullanıldığına dair genel varsayımların aksine strüktürel bir fonksiyonunun olduğu taş duvara kenetlenen mukarnas bloklarından anlaşılmaktadır. Bu konuda Tuncer (2001), Anadolu Selçuklu Devleti taç kapı uygulamalarında mukarnas üzengisi seviyesine gelindiğinde her bir kademe dizilirken arka yüzeyde de dolguların aynı seviyede devam ettirilerek tamamlanması gerektiğini belirtmiştir. Mukarnas taşları ön yüzeyde örülürken taç kapı duvarının tamamının eş zamanlı şekilde örülerek kenetlenmesi gerekmektedir.

Akşehir Taş Medrese taç kapı mukarnası izdüşüm planında mukarnas birimleri $22,5^\circ$, 45° , 90° ve 135° lik açılar ile yerleştirilmiştir. Aynı ölçülerin taş blok yerleşim ölçülerinde de korunduğu tespit edilmiş, ön yüzeylerde birleşen bloklar, arka yüzeylerinde de kavisler oluşturulması gerektiğinden benzer ölçülerde döndürülerek yerleştirilmiştir. Arka yüzeylerde oluşan $22,5^\circ$ gibi dar açılı boşluklar *yumru* olarak adlandırılan taşlar ile doldurularak harç ile desteklenmektedir.



Şekil 3.24. Akşehir Taş Eserler Müzesi mukarnas birimleri yapım aşaması (Konya Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)

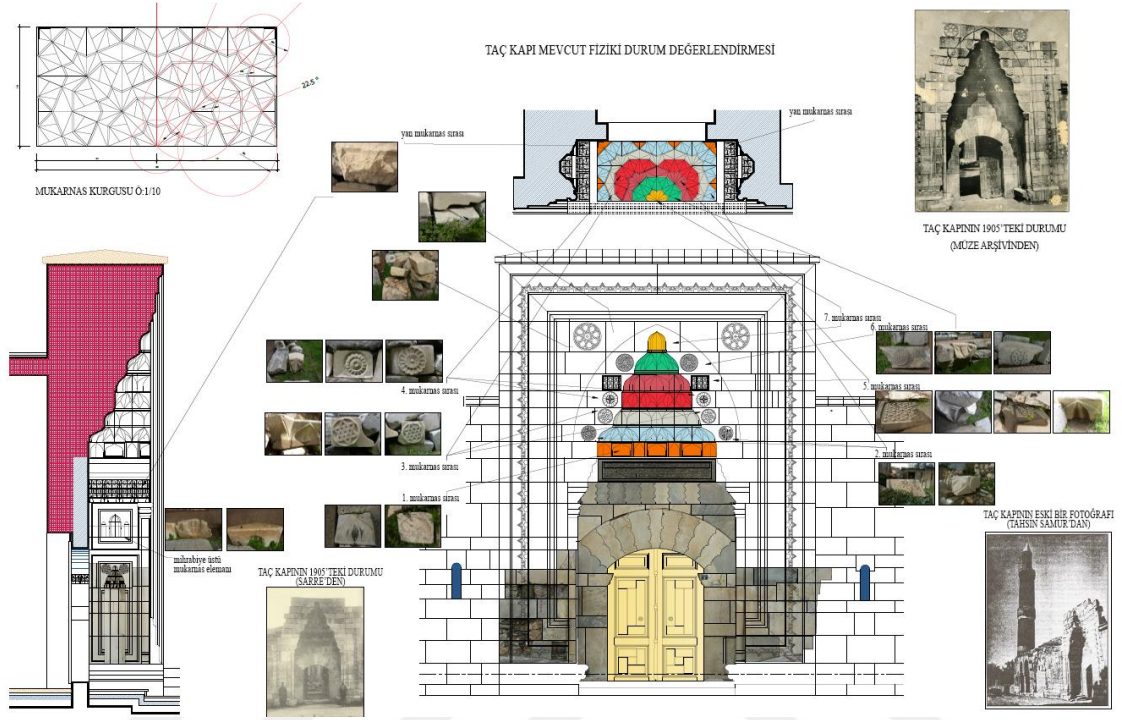
Mukarnas yapımında mimar ve ustanın koordine çalışmalarının önem arz etmesinin yanı sıra daha önce de belirtildiği gibi mukarnas bezemesi el işçiliği gerektiren bir zanaattır. Bu nedenle mukarnası işleyen ustanın nitelikli olması demek hem mukarnasın yapımı ile ilgili tecrübe ve bilgiye hem de el becerisine sahip olması demektir. Akşehir Taş Medrese mukarnasında eksik parçalar doğru birimler ile tamamlanmıştır. Birimler uygulanırken birim yüzeylerindeki kavislerin tam anlamıyla aslına uygun olmadığı düşünülmektedir. Özgün taş bloklarının kavis gerektiren yüzey hatlarında farklı bir eğim olduğu, yeni yapılan birimlerde bu eğimin önce doğrusal bir hat ile başlayıp sonra kavislendirildiği gözlenmiştir. Benzer bir sütun başlığı denemesinde de kavislerin birbirinden farklı olduğu dikkat çekmektedir. Ustalar ile görüşmeler sonucunda taşa işlenen bezemelerin proje ve benzer çalışmalarda verilen ölçüler üzerinden değerlendirilerek uzmanlık ve el becerisine dayalı işlendiği kanısına varılmıştır.

3.2. Güncel Mukarnas Uygulamaları Örnekleri

Günümüzde yeni yapılarda yer alan mukarnas uygulamaları teknolojinin ilerlemesi ile birkaç atölye dışında fabrikasyon yöntemler ile sürdürülmektedir. El işçiliği mukarnas işlemleri uygulayan ustalar Osmanlı Devleti'ne ait mukarnas örneklerini kopyalamaktadır. Ustalarla yapılan görüşmeler sonucunda mukarnas birimlerin doğru şekilde anlaşılması ve işlenmesinin uzun yıllar çalışma ve deneyim gerektirdiği kanısına varılmıştır.

El işçiliği mukarnas uygulamalarında ustaların taş blok yükseklikleri belirlemesi işleminin sonrasında mukarnas blokların taban hatlarının belirlenmesi ile yapılmış çelik kalıplar ile genişlik ve derinlik ölçülerine de karar verilir (Şekil 3.26). Bu kalıplar belirlenen mukarnas tasarımlarının izdüşüm planlarında yer alan kademe çizgilerinden yola çıkılarak hazırlanır. Taş bloklar her kademede tek bir kütle olarak işlenir. Bu

nedenle bir üst kademenin birim çizgileri altta kalan kademenin arka yüzeylerini meydana getiren çizgilerdir. Taş blokların alt ve üst yüzeylerine çelik kalıplar yardımı ile ölçüler verilerek derinlik belirlenir.



Şekil 3.25. Akşehir Taş Medrese taş kapı restorasyon-restitüsyon projesi detayları (Konya Ceray Mimarlık Arşivi, 2009)

Osmanlı Devleti mukarnas örneklerinde birimler Anadolu Selçuklu Devleti birimlerine göre daha keskin hatlıdır. Bu sebeple derinlik verilecek yüzeyler kavisler olmadan ölçülendirilerek doğrusal hatlar üzerinden işlenmektedir. Taş blokların üzerinde yapılan işaretlemeler, taşın elmas kesicili taşlama makinesi ile kabasının alınmasından önce ana hatların belirlenmesi için gereklidir. Taşın kabası çizgiler halinde kesilirken, işleme sürecinde elmas kalem, geniş dişli çöp murç ve mardırğa yardımcı ile desen uygulaması yapılır. Bu işlem ileri geri çekiç darbesi gibi darbeler yapabilen hava tabancası ile de yapılabilmektedir. Düz yüzeylerin işlenmesinde geniş dişli ve mardırğa dik açılı şekilde tutularak uygulanırken, işleme yontu gereken durumlarda çöp murç ve mardırğa kullanılmaktadır (Aksoy, 2009). Son rötuşlar ise keski ve elmas uçlu hava tabancası ile tamamlanır (Şekil 3.27 ve Şekil 3.28). Bazı ustaların taşın kabası alındıktan sonra aşamalı ilerlediği, işinde uzmanlaşmış ustaların ise taşın kabasını alarak zayıflatıp, eş zamanlı şekilde ince işleri ve detayları da tamamlayarak devam ettiği gözlenmiştir.



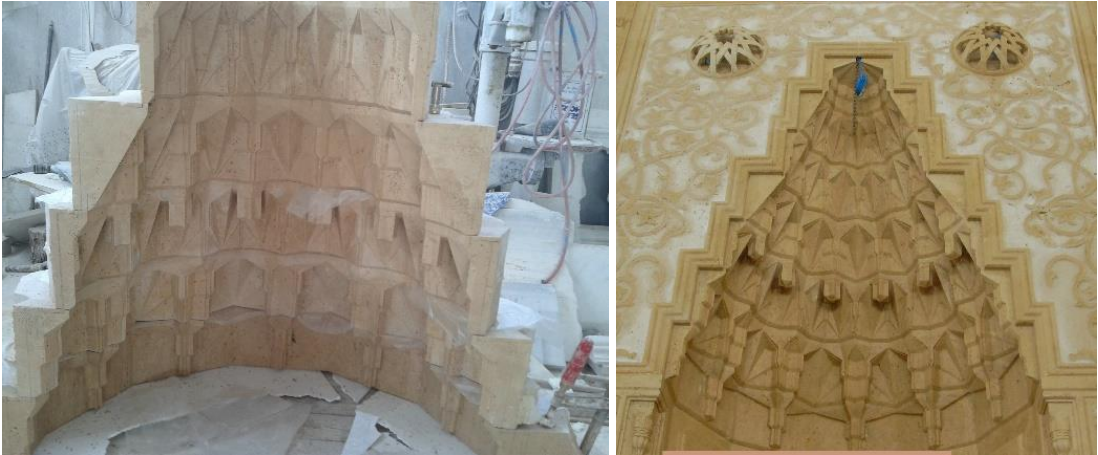
Şekil 3.26. Mermer bloklara işlenecek mukarnas kademelerinin belirlendiği çelik kalıplar (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)

Mukarnas kademeleri geleneksel taş blok kalınlıklarından farklı olarak Şekil 3.26'daki kalıpların kalınlığında tek parça bloklar şeklinde üst üste dizilir. Bu aşamada üreticilerin sistemin arka planında görünmeyen kısımlarında kalan parçalarda malzemenin en az kayıp ile kullanılması hedeflenir. Cami duvarında yapılmış mihrap boşluğu mukarnas kademelerinin yerleşimi sırasında tuğla örgü ile desteklenmektedir (Şekil 3.29).

Anadolu Selçuklu Devleti taç kapı mukarnaslarının kopyalandığı örnekler ise genellikle konaklama fonksiyonunda ve otel giriş kapılarında yer almaktadır. Otel tasarımlarında ve kapılarında denenmiş bu uygulamaların kervansaray taç kapısı kullanım amaçlarına benzer amaçlar üzerinden değerlendirildiği düşünülmektedir. Kapıları tasarlayan firmalar ile yapılan görüşmeler sonrasında mukarnas tasarımlarını yapan kişilerin heykeltıraş olduğu öğrenilmiştir. Taşı şekillendirme konusunda uzman bu kişilerin aynı zamanda eskizleri ve taslak çalışmaları incelendiğinde mukarnasın temel mantığına hâkim oldukları gözlenmiştir (Şekil 3.30 ve 3.31). Örnek aldıkları mukarnas örtülerini fotoğraf üzerinden değerlendirerek yeni ölçüler belirlediklerini ifade etmişlerdir. Bu nedenle yapılan uygulamalar mukarnas izdüşüm planı geometrik kurgusu üzerinden değil, fotoğraflar üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3.27. El işçiliği mihrap yapım süreci (Konya Özkardeşler Mermer Arşivi, 2013)

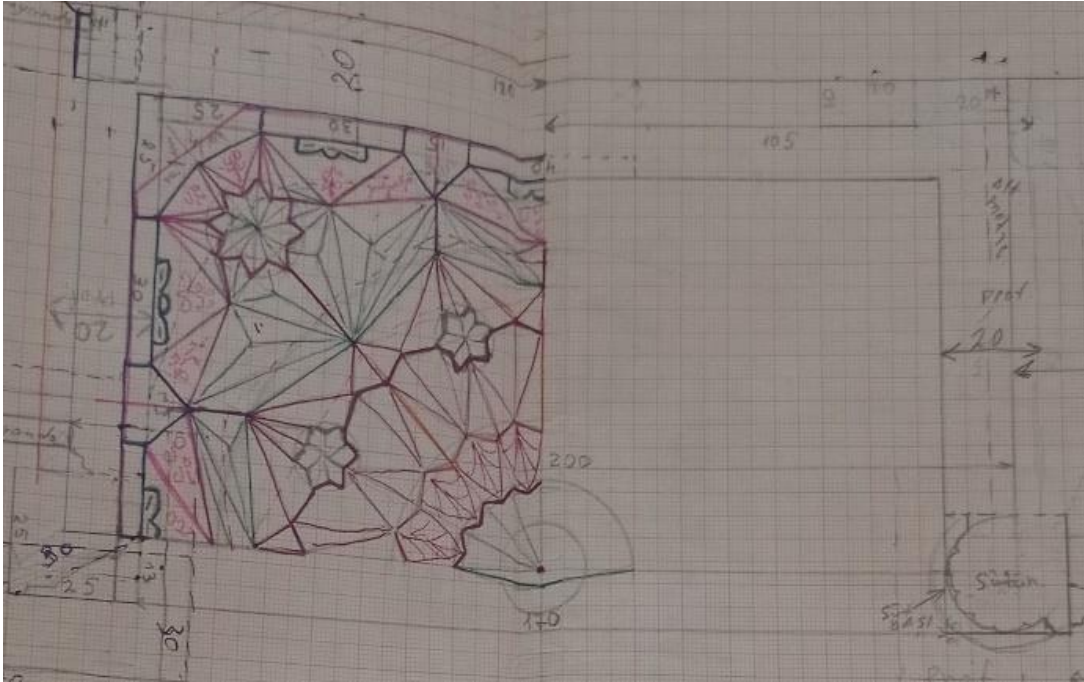


Şekil 3.28. Mukarnas mihrap uygulamasının montajı (Konya Özkardeşler Mermer Arşivi, 2013)

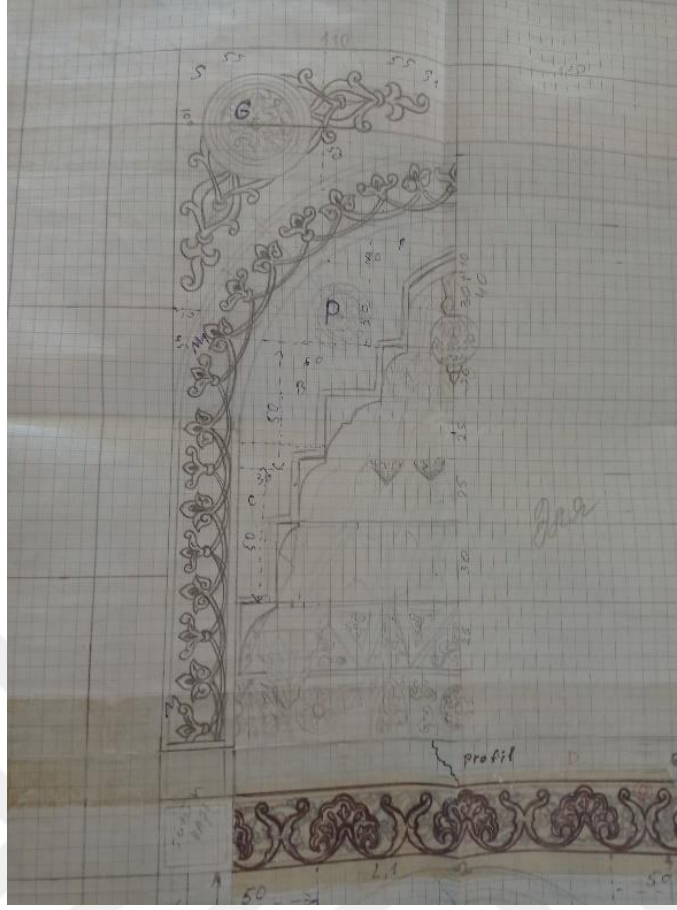


Şekil 3.29. Mukarnas mihrap uygulamasının montajı ve mukarnas kütlelerinin arkadan dizilimi (Konya Özkardeşler Mermer Arşivi, 2013)

Kireç taşı malzemenin çelik strüktür üzerine ankraj işlemi ile tutturulduğu mekanik montaj yönteminde mukarnas birimleri için çapraz çelik profiller eklenmiştir (Şekil 3.32). Bu şekilde hazırlanmış bir taç kapı uygulamasının demontajı yapılabilmekte ve yeniden kurulumu gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 3.33).



Şekil 3.30. Mukarnas plan eskizi (Antalya Kandemir Mermer Arşivi)



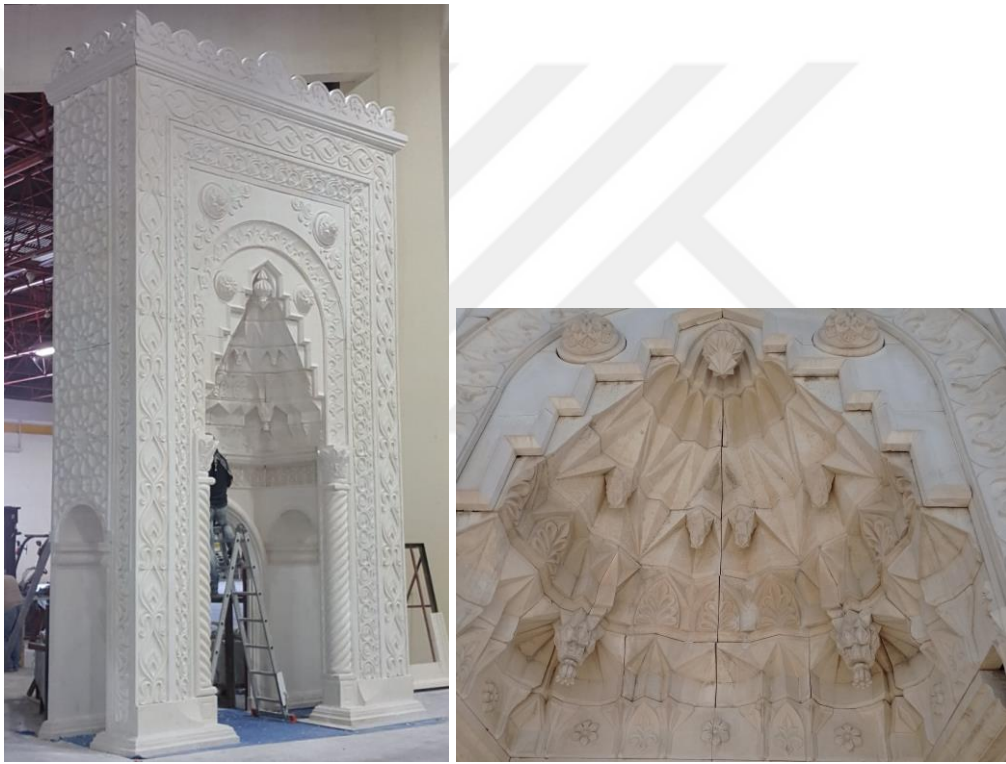
Şekil 3.31. Mukarnas plan eskizi (Antalya Kandemir Mermer Arşivi)



Şekil 3.32. Taç kapı mukarnası mekanik montaj uygulama aşamaları (Antalya Kandemir Mermer Arşivi)

Taş blok işlemleri genel bağlamda mukarnas kompozisyonu kurmuş gibi görünse de mukarnas birimleri göz kararı ölçüler ve kavislerle işlenmiştir. Sonuç olarak uygulamalarda birim ve biçim yozlaşmalarının olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.33).

Herhangi bir taş yapı uygulamasında bloklar üst üste kademelendirilirken genellikle derz araları aşırı şekilde yerleştirilmektedir. Özgün mukarnas tasarımlarında da mukarnaslı taş bloklar derz aşırma sistemine uygun şekilde yerleştirilmektedir. Yeni yapılan uygulamaların çoğunda mukarnas uygulamalarında strüktürel bir amacın olmadığı ve bu sebeple blok yerleşimlerinde derz aşırımlarına dikkat edilmediği gözlenmiştir.

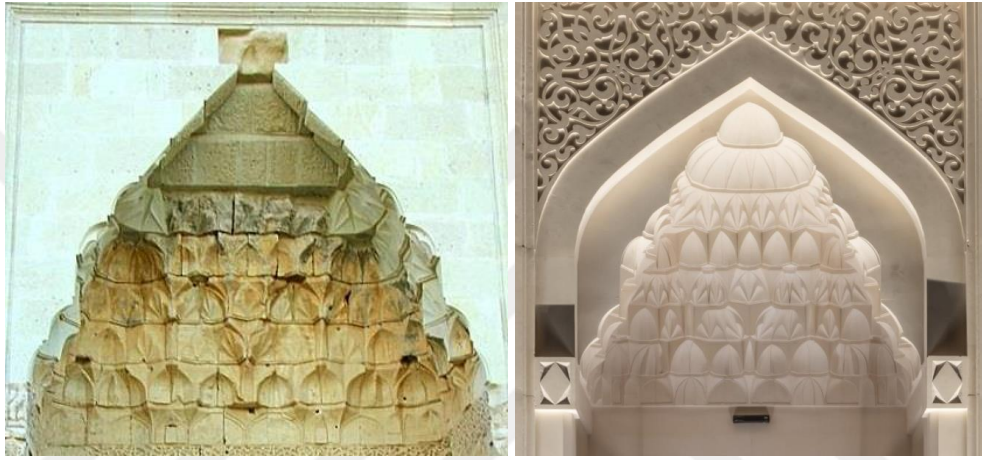


Şekil 3.33. Taş kapı uygulaması ve mukarnas detayı (Antalya Kandemir Mermer Arşivi)

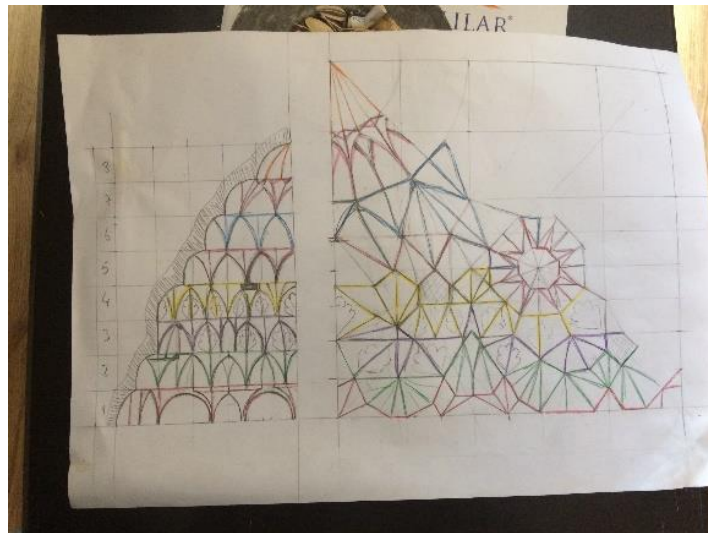
Bir diğer otel kapısı çalışmasında işverenin talebi sonucunda Nevşehir Saruhan taş kapı mukarnas tasarımı model alınmıştır (Şekil 3.34). Taş kapıda yer alan mukarnas taş blokların ustalar tarafından ölçüleri alınarak gaz beton (YTONG tuğla) bloklar üzerine alçı malzeme ile işlenmiştir (Şekil 3.35). Hazırlanan mukarnas blokları bir model olarak esas kapı uygulamasında kullanılacak olan kireçtaşı malzeme taş bloklar için numune modeller olarak kullanılmıştır. Gaz beton ve alçı malzeme ile hazırlanan numune bloklar 3B tarayıcı ile taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.36).

Aktarılan 3B model blokları istenilen boyutlar ve malzemeler ile CNC frezede üretilerek kapı uygulamasına hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.37).

Çalışmada uygulanmış mukarnas birimleri Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas birimlerinin ölçüleri esas alınacak şekilde işlenmiştir. Ara elemanlar olarak kullanılan bazı birimler ve kavisli yüzeylerde büyük ölçüde farklılıklar bulunmaktadır. Öte yandan taş blokların strüktürel bir amaçla kullanılmadığı blok kütlelerinin ölçü ve yerleşim biçimlerinden belli olmaktadır. Derz aşırımlarına bazı kademelerde uyulmuş bazı kademelerde uyulmamıştır.



Şekil 3.34. Nevşehir Saruhan mukarnas taç kapısı (URL-24) ve örneğinin uygulandığı otel giriş kapısı (URL-43)



Şekil 3.35. Nevşehir Saruhan taç kapı mukarnas örtü eskizleri (Nevşehir Taşanlar Mermer Arşivi)



Şekil 3.36. 3B tarayıcı ile taranan model bloklar (Nevşehir Taşanlar Mermer Arşivi)

Ustaların ve çalışanların mukarnas plan ve yapım kurgusuna hâkim oldukları eskiz ve taslak çalışmalarından anlaşılmaktadır. İlk kademeleri günümüze ulaşmamış olan Anadolu Selçuklu Devleti Saruhan taç kapısının bu kapı uygulaması plan aşamasından herhangi bir geometrik kurgunun çıkarılamayacağı sonucuna varılmıştır. İzdüşüm planında geometrik kurgusu çözümlenmemiş bu mukarnas uygulamasının ilk kademe birimleri uydurularak yeni kapı tasarımına eklenmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.37. CNC makineleri ile hazırlanmış bokların montajı (Nevşehir Taşanlar Mermer Arşivi)



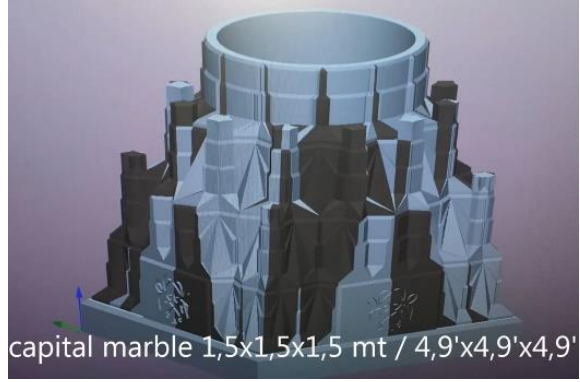
Şekil 3.38. Otel kapısı mukarnas örtü montajı (Nevşehir Taşanlar Mermer Arşivi)

Mukarnas uygulamalarının dijital ortamlara aktarılma yöntemleri hem 3B modelleme programları ile hem de el işleme numune blokların 3B tarayıcılar ile taranarak kullanılması ile mümkündür. 3B tarayıcıların kullanımı ile el işlemeciliği ile üretilen birimlerin taratılarak bilgisayar ortamına aktarılması ve elde edilen modellerin talebe göre yeniden üretimde kullanılması mümkündür. 3B tarayıcılar ile yapılan bu işlemde tarama doğru şekilde uygulandığında modelin birebir aktarımını sağlanmaktadır. Tarayıcılar ile aktarılan modeller ve CAD-CAM programları ile tasarlanmış mukarnas modelleri CNC freze gibi makineler ile işlenerek daha kolay ve hızlı şekilde üretim yapılmaktadır (Şekil 3.39). CNC freze lazer kesim teknikleri iki boyutta bir üretim sağlarken, OMAG Vlade 5AR makinesi 5 eksenle kontrollü bir taş işlemeciliği yapan bir makinedir. Bu aletin mermer bir bloğu önce freze parça işleme ile belirlenen yüzeyler üzerinde katmanlı işlediği gözlenmiştir (Şekil 3.40).

Endüstriyel robotların (robot kolları) mukarnas işlemlerinde kullanımı robot kolunun serbestlik derecesi ve serbestlik derecesine bağlı eksen sayısına göre değişmektedir. Mukarnas tasarımı işleme detayları, hassasiyet, malzeme ve ürün boyutu gibi etkenlere bağlı 5 eksen ile 8 eksen robot kolu seçenekleri kullanılabilir.

Yapılan araştırmalar sonucunda mermer yapımı sektöründe mukarnas üretimi yapan firmaların çoğunlukla geleneksel-hazır mukarnas modellerini kullanarak CNC makineler ile işlediği gözlenmiştir. Ticari ve talebe göre üretim yapan bu firmaların

yaptığı uygulamalar birkaç geleneksel mukarnas taç kapı-mihrap tasarımı ve sütun başlığı ile sınırlı kalmaktadır.



Şekil 3.39. Mukarnas sütun başlığı CAD modeli (URL-44)



Şekil 3.40. OMAG Vlade 5AR makinesi ile mukarnas sütun başlığı yapım aşamaları (URL-44)

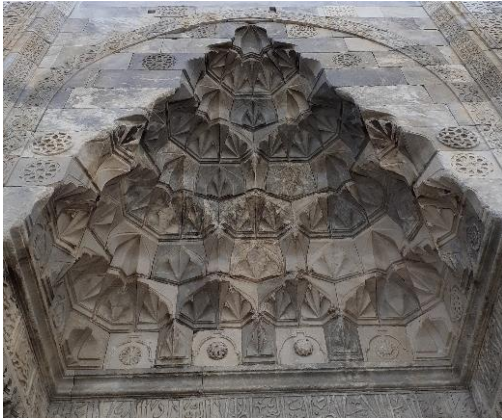
3.3. Güncel Mukarnas Uygulamalarında Birebir Kopyalanmış Örnekler

Anadolu Selçuklu Devleti'nde mukarnas izdüşüm planlarının benzer geometrik kurgu ile tasarlandığı pek çok örnek bulunmaktadır. Birebir aynı kurgunun kullanıldığı mukarnas uygulamalarında ise bazı birimlerdeki işleme detayları izdüşüm planında farklılıklara yol açmıştır. Mukarnas örneklerindeki bu farklılıklar yeni yapılan her tasarımda farklı bir form arayışı bulunması kaynaklıdır.

Klasik Osmanlı Devleti (1501- 1703) mimarisinde görülen mukarnas örnekleri, Anadolu Selçuklu ilk dönem modüler birim kurgusundan ayrı bir geometrik kurgu anlayışı çerçevesinde irdelenmiştir. Anadolu Selçuklu Devleti'nde klasikleşen bir mukarnas tasarım üslubunun olması ve birbirinin tekrarı olmayan eserlerin yapımı amaçlanmışken, Mimar Sinan dönemi mukarnas uygulamalarında, aynı tasarımların yalnızca püskül ve birim oranlarında yapılan değişimler ile farklı eserlerde kullanıldığı gözlenmiştir. Edirne Üç Şerefeli Camisi (1447), İstanbul Fatih Camisi (1462), Tokat Hatuniye Camisi (1484), Edirne Beyazıt Camisi (1487) ve İstanbul Yavuz Sultan Selim Camisi taç kapı mukarnasları, İstanbul Beyazıt Camisi Batı Tak Kapı (1506) ve Edirne Selimiye Camisi (1575) taç kapı mukarnasları, İstanbul Beyazıt Camisi Doğu Tak Kapı (1506) ve İstanbul Yeni Camisi (1579) taç kapı mukarnasları, İstanbul Süleymaniye Camisi (1558) ve Konya Selimiye Camisi (1560) taç kapı mukarnasları birkaç birimsel farklılık ile düzenlenmiş aynı mukarnas örtüsüne sahip Mimar Sinan dönemi uygulamalarından bazılarıdır (Uluengin, 2018).

Güncel mukarnas uygulamalarında benzer şekilde Selçuklu ve Osmanlı Devleti mukarnas tasarımlarının aslına uygun şekilde birebir kopyalanarak üretilmesinin hedeflendiği gözlenmiştir. Mimar Sinan döneminde birebir uygulanan mukarnas örnekleri, mukarnas ustası ya da tasarımcısının kontrolünde gerçekleştirilen uygulamalardır. Tasarımcı ya da mukarnas ustasının özgün tasarımlarının farklı yapılarda uygulanması makul bir durumdur. Günümüzde mukarnas tasarımının temelinde yatan geometrik kurgu çözümlemesinin yapılmadan birebir uygulandığı örneklerin kopya olarak nitelendirilmesi gerekmektedir. Geometrik kurgusu anlaşılmeden üretilmeye çalışılan mukarnas örtülerin boyutlandırılmasında meydana gelen birimsel problemler, birebir yapılan çalışmaların özensizliğini kanıtlamaktadır. Örneğin, Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnasının kopyalandığı Konya Ecdad parkı kapısı yalnızca mukarnas form algısı kazandırılmaya çalışılmış bir örnektir (Şekil 3.41 ve Şekil 3.42). Bu örnek, geometrik kurgunun yok sayılarak birimlerin yozlaştırıldığı,

mukarnasın vurgulamaya çalıştığı tasarım dilinden uzak bir uygulama olmuştur. Tepe noktasından ilk üç kademeye kadar birleşen formlar, özgün mukarnasın sadece derinlik çizgilerinden yola çıkılarak verilen form kararlarıdır.



Şekil 3.41. Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)

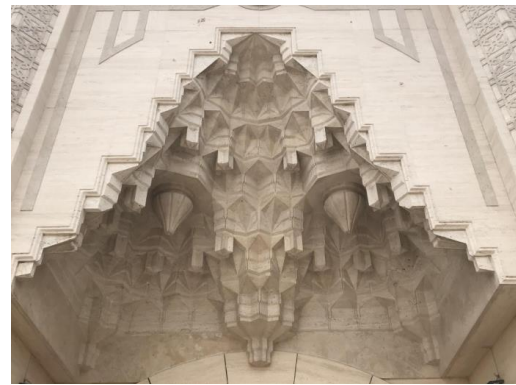


Şekil 3.42. Konya Ecdad Parkı kapı mukarnası (URL-45)

Konya İstiklal Harbi Şehitleri Abidesinde uygulanan taç kapı mukarnasının Edirne Selimiye Camisi taç kapı mukarnası örnek alınarak yapıldığı, fakat birimlerin deforme edilerek uygulandığı gözlenmiştir. Özgün mukarnas örtüsünde yer alan püsküller izdüşüm planı geometrik kurgusunda yıldız deseni meydana getirmektedir. Güncel uygulamada sarkıtılan birimlerin etrafının düz şekilde biçimlendirilmesi hem özgün tasarımdaki püskülün kazandırdığı derinlik etkisini yitirmesine hem de geometrik deformasyona sebep olmuştur (Şekil 3.43 ve Şekil 3.44). Birimlerin çoğunlukla yozlaştığı görülen bu örneğin uygulandığı yapının Anadolu Selçuklu Devleti mimari tarzını yansıttığı fakat taç kapıda uygulanan mukarnasın Osmanlı Devleti mukarnas tasarımı olması durumu da çelişki doğurmaktadır.



Şekil 3.43. İstanbul Süleymaniye Camisi taç kapı mukarnası (URL-46)



Şekil 3.44. Konya İstiklal Harbi Şehitleri Abidesi taç kapı mukarnası (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2021)

Üslup-dönem çatışması bulunan bir diğer cami taç kapısı 1933 yılında tamamen yıkılmış ve 2020 yılında yeniden yaptırılmış Afyon Paşa Camisi taç kapısında yer almaktadır. Camisi'nin Selçuklu mimarisine uygun olarak yapıldığı belirtilirken, taç kapıda yer alan mukarnas tasarımının Osmanlı Devleti yapılarında görülen mukarnas örtülerine benzediği dikkat çekmiştir. İstanbul Süleymaniye Camisi Batı taç kapı mukarnas örtüsünün örnek alındığı Afyon Paşa Camisi taç kapı mukarnasında püskül öğelerinin farklı yıldız kompozisyonları ile uygulanması, tasarımın form algısını değiştirmiştir. Birebir kopyalanan örneklerin çoğunda bu tarz farklı püskül denemeleri yapılmaktadır. Ayrıca yedinci kadememin son birimlerinin kesiti alınmış biçimde kullanılması geleneksel mukarnas örtü sistemlerinde yer almamaktadır. (Şekil 3.45 ve Şekil 3.46).



Şekil 3.45. İstanbul Süleymaniye Cami batı taç kapı mukarnası (URL-47)



Şekil 3.46. Afyon Paşa Cami taç kapısı (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2021)

Antalya Hacı Ramazan Altun Camisi mihrabında örnek alınan uygulama Edirne Selimiye Camisi mihrap mukarnası iken izdüşüm planında yer alan geometrik kurgunun anlaşılardan uygulanması ve birim-boyut oranlarının doğru belirlenmemesi sebebiyle farklı bir mukarnas tasarımı ortaya çıkmıştır. Mukarnas tasarımlarının izdüşüm planlarında yer alan tepe yıldızı yarım kollu bir yıldız desenidir. Bu yıldız üçüncü boyuta aktarılırken yarım tonoz oluşturmalıdır. Antalya Hacı Ramazan Altun Camisi'nde bu tonozun üçgen prizma şeklinde boyutlandırıldığı bu sebeple tepe noktasında giderek sivrileşmiş ve daha önce hiçbir özgün mukarnas uygulamasında görülmemiş bir tasarıma dönüşmüştür. Benzer şekilde mukarnas kollarının yarım yay oluşturması gereken alt kademelerde açılarak kurulan bir üçgenin olduğu, yalnızca son iki kademede aslına uygun bir konumlandırma yapıldığı görülmektedir. Öte yandan

mukarnas birimlerinin boyutlandırılmasındaki hatalar daha uzun ve sivri bir form algısı vermiştir (Şekil 3.47 ve Şekil 3.48).



Şekil 3.47. Edirne Selimiye Camisi mihrap mukarnası (URL-48)



Şekil 3.48. Antalya Hacı Ramazan Altun Camisi mihrap mukarnası (URL-49)

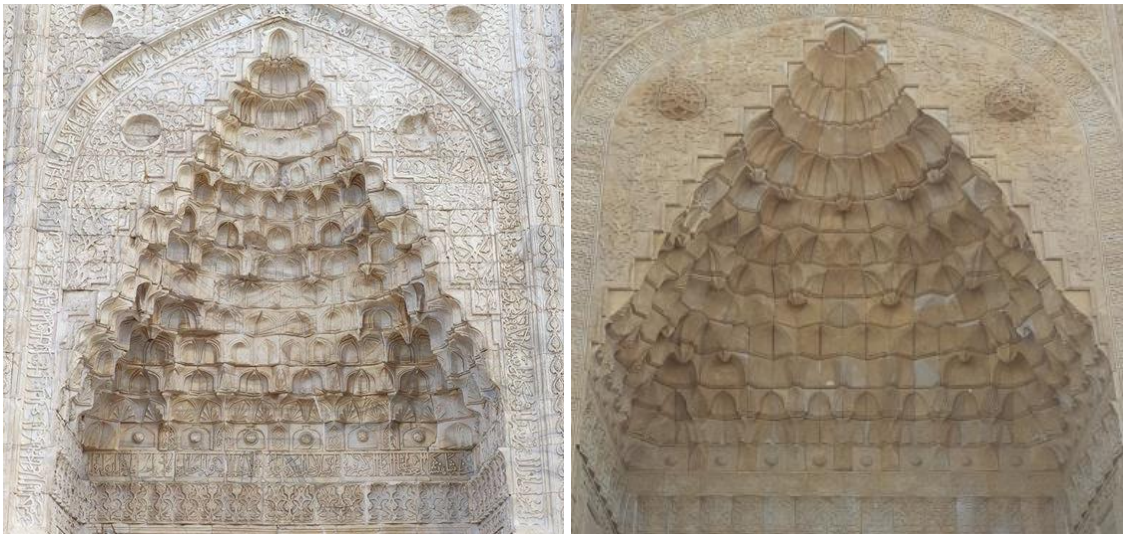
Birimlerin boyutlandırılmasında yapılan hataların beraberinde taç kapı elemanı özgün boyutlarını aşacak şekilde yükseltilerek uygulandığı örnekler de bulunmaktadır. Anadolu Selçuklu Devleti yapıları kervansaray mimarisinde önemli örnekleri bulunan mukarnas tasarımlarının güncel uygulamalarda otel kapılarına uygulanması durumları bu yaklaşımları örneklendirebilir. Mukarnaslı taç kapıların uyarlandığı otel yapıları giriş kapılarında amaç dışı bir kullanım şekli meydana gelmiştir. Örneğin Sivas Gök Medrese’de taç kapı boyutlama oranı $3/3$ ve Beyşehir Eşrefoğlu Camisi’nde ise klasik Anadolu Selçuklu taç kapı boyutlama oranı olarak bilinen $2/3$ ’tür (Tuncer, 1986). Bu oranların ihmal edilerek silme ve kuşatma kemeri arasından itibaren taç kapının yükseltilmesi ile binanın ana kotu hizasına getirilmesinin, yapım aşamasında verilen bir karar olduğu düşünülmektedir. Öte yandan Konya Ecdad Parkı girişinde taç kapıda köşe sütuniçe başlıkları kemer üzengi yüksekliğini geçerek mukarnas örtü az kademeli tutulmuştur. Mukarnas örtü son kademelerinin konumlandırılması gereken yüzeylerde düz satıh üzeri geometrik yüzeyler ile işlendiği dikkat çekmektedir. Mukarnas birimlerinde bulunan yozlaşmanın ötesinde taç kapının Anadolu Selçuklu taç kapı oranları ile uyumsuzluğu sanatsal değerini düşürmektedir (Şekil 3.49).

Sivas Gök Medrese taç kapı mukarnas örtüsünün kopyalandığı örneğin birimleri detaylı incelendiğinde birim boyutlarının sündürülerek uzatıldığı ve bazı yaprak elemanlarında kavislerin az tutularak derinliğin önemsenmediği gözlenmiştir. Cephe

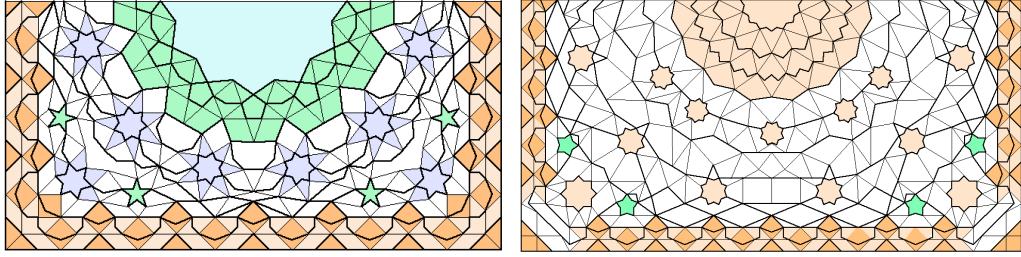
düzeninde bakıldığında üçgen bir form algısı veren mukarnas örtünün özgün mukarnas tasarımlarındaki konik-prizmatik boyutlandırmanın dışında bir biçimlenişe sahip olduğu görülmektedir. Sarkıtların olduğu yıldız kollarının formlarında bozulmalar meydana gelmiştir. Öte yandan otel giriş kapı mukarnası Sivas Gök Medrese taç kapı mukarnasının birebir örneği gibi görünse de izdüşüm planı incelendiğinde geometrik kurgusunun olmadığı sonucuna varılmıştır (Şekil 3.50 ve Şekil 3.51). Mukarnas tasarımındaki her bir birim, izdüşümünde geometrik bir şekli ifade etmektedir. Bu sebeple bu şekilde yapılan tasarımlar özgün mukarnaslara benzer kopyalar olarak ele alınmalıdır.



Şekil 3.49. Taç kapı öge oranları bozulmuş uygulamalar (URL-50), (URL-51) , (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2021)



Şekil 3.50. Sivas Gök Medrese taç kapı mukarnası (Emin Selçuk Taşaner Kişisel Arşivi) ve benzeri bir otel giriş kapısı uygulaması (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2020)



Şekil 3.51. Sivas Gök Medrese taç kapı mukarnası ve benzeri bir otel giriş kapısı uygulaması izdüşüm planı (URL-1)

Birebir uygulamaların daha özenli yapıldığı uygulamalardan İstanbul Sokullu Mehmed Paşa Camisi örnek alınarak yapılan caminin taç kapı mukarnasında ikinci kademedeki badem birimlerinin içi boş yuvalar şeklinde yapıldığı, üçüncü kademe sarkıtları oluşturan yıldız kollarında farklı uygulamalar denendiği gözlenmiştir. Altıncı kademenin bitiminde eklenen yıldız kolları asıl uygulamada görülmektedir. Öte yandan uygulanan püskül tasarımları ve altın yıldız boyamalar tasarımın farklı bir tasarım gibi algılanmasına sebep olmuştur (Şekil 3.52). Lüleburgaz Sokullu Mehmed Paşa Camisi'nin örnek alındığı bir diğer cami taç kapısında ise üçüncü kademenin bitiminde yer alan birimlerin kesiti özgün mukarnastaki yarım yay biçimlendirmesini bozarak konik bir form algısı kazandırmıştır. Esas uygulamada bitiş birimleri kazayağı formu ile tamamlanırken, burada badem biriminin yarım şekilde kullanımı görülmektedir. 6.kademenin bitişlerinde kullanılan kesiti alınmış birimler özgün mukarnas tasarımında bulunmamaktadır. Son kademe ise özgün tasarımda olmayan ve form algısını değiştiren bir püskül detayı da yer almaktadır (Şekil 3.53).



Şekil 3.52. İstanbul Sokullu Mehmed Paşa Camisi (URL-52) ve Ankara Melike Hatun Camisi (URL-53) taç kapı mukarnaları



Şekil 3.53. Lüleburgaz Sokullu Mehmed Paşa Camisi (URL-54) ve İstanbul 5. Levend Hacı Osman Torun Camisi (URL-55) taç kapı mukarnasları

Edirne Selimiye Camisi'nin örneği alınarak yapılan Ankara Yeni Camisi'nde ise badem birimleri, sarkıt ve püsküllerdeki oranlama ve biçimsel farklılıkları ile dikkat çekmektedir. Ankara Yeni Camisi'nde kullanılan malzemenin özgün mukarnas malzemesine benzer biçimde sade tutulması, birimlerin üzerinde yer alan işlemlerin vermesi hedeflenen etkiyi göstermektedir (Şekil 3.54 ve Şekil 3.55).



Şekil 3.54. Edirne Selimiye Camisi taç kapı mukarnası (URL-56)



Şekil 3.55. Ankara Yeni Camisi taç kapı mukarnası (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2020)

4. MUKARNAS TASARIM VE YAPIM SÜRECİ

Mukarnas tasarım ve yapım süreci literatür taramasında incelenen çalışmalar üzerinden değerlendirilmiş ve üç alt başlık altında incelenmiştir.

Mukarnas tasarım süreci izdüşüm planındaki geometrik kurgunun çözümlenmesi aşaması ile başlamaktadır. İslami geometrik desenler alanında yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemlere benzer sistemler ile mukarnas geometrik kurgusunun üretilebileceği varsayımından hareket edilmiştir. İslami geometrik desenlerin kullanımı ve kaplama desenleri analizleri mukarnas izdüşüm planları ile ilişkilendirilen geometrik kurgu çözümlene yöntemlerine bağlanmıştır.

Mukarnas izdüşüm planı geometrik kurgu analizleri ve yapılan çalışmalardaki yöntemlerin incelenmesi, çalışma kapsamında belirlenen mukarnas izdüşüm planları için uygun sistemlerin geliştirilmesine temel oluşturmaktadır.

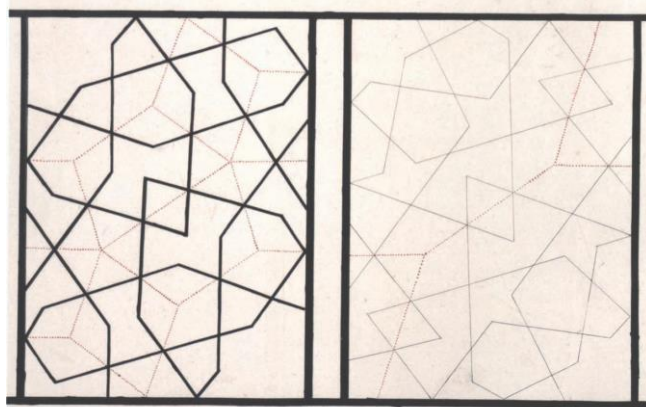
İzdüşüm planı desen analizleri literatür taramasında incelenmiş birim ve blok analizi çalışmaları değerlendirilerek yapılmıştır. Farklı bölgelerde uygulanmış mukarnas yapım süreci aşamaları taş mukarnas yapım süreci sentezinin alt yapısını oluşturmaktadır.

4.1. İslami Geometrik Desenler ve Mukarnas İzdüşüm Planı İlişkisi

Antik çağdan beri var olduğu bilinen geometrik desen kullanımının sistematik bir biçimde uygulanışı İslam sanatına dahil edilmesi ile başlamıştır. İslamiyet'i kabul eden ilk Türk devleti Karahanlılar dönemi yapıları ile İslam mimarisinin bir kimlik kazanmaya başladığı bilinmektedir (Aslanapa, 2000). İslamiyet'in kabulü öncesi Türk sanatında hayvan üslubunun Hun ve Göktürk Devletleri döneminde figürlü süslemeler kabartma ve heykel süsleme sanatı ile, Uygurlar döneminde ise fresk (ıslak kireç sıva üstüne, ezildikten sonra su ya da su ve kireç bileşimi bir bağlayıcı ile karıştırılan pigmentlerle yapılan resim) ve minyatürler ile resim sanatında kullanıldığı bilinmektedir. Selçuklu sanatında etkisi devam eden İslam öncesi Türk sanatındaki figüratif anlatım yerini geometrik ve bitkisel süsleme tekniklerine bırakmaya başlamıştır (Mülayim, 1999; Karpuz, 2020). Türk devletleri İslam öncesi ve sonrası sanatı anlayışı arasında bir köprü görevi üstlenen Selçuklu sanatı sonrasında geometrik desen kullanımının İslam dünyasında farklı materyal, uygulama tekniği ve biçimlenişler ile yayıldığı gözlenmiştir.

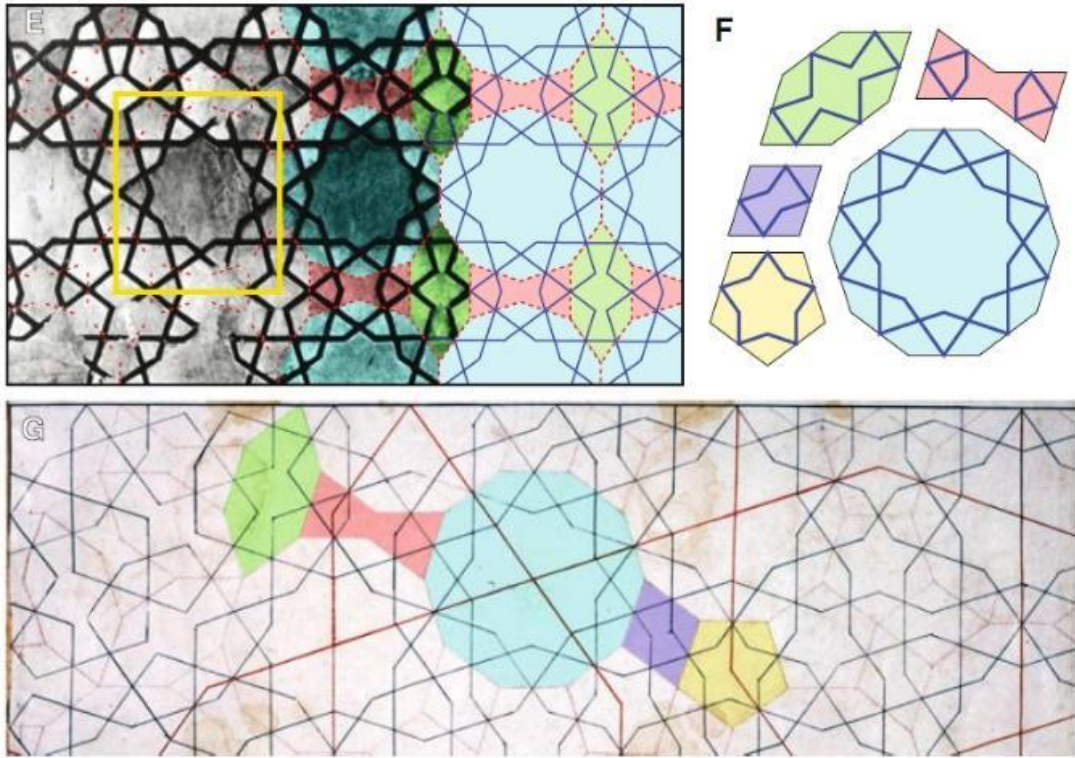
Geometrik desenler her dönem ve bölgede farklı materyal ve uygulama teknikleri ile ortaya çıkmış olsa da sistematik işleyişin benzer metotlar üzerinden geliştirildiği gözlenmiştir (Sönmez, 2020). Anadolu Selçuklu Devleti Klasik dönemi olarak ifade edilen 13.yy'ın başında uygulanmış süslemelerdeki geometrik desenlerin simetri kurallarına bağlı kurulduğu, ayna, dönme ve öteleme simetri işlemleri ile kurulmuş sistemlerin daha belirgin şekilde kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Bir desenin öteleme simetrisi ile belirlenen birim hücreindeki en küçük parçanın dönel simetrisi alınarak yeni tasarımlarının kurgulandığı sistemler de oluşturulabilmektedir. Bu sistemlerin anlaşılmasını sağlayan çokgenli (poligonal) yapı tasarım anlayışı, nokta birleştirme metodu ve ızgara metodu gibi tekniklerle birim hücre ya da birim hücrenin belirli bir parçasının üretilmesi sağlanmaktadır (Sönmez, 2020).

Geometrik desen sistemlerindeki modüler kurgunun mukarnas tasarım kurguları için de geçerli olduğu düşünülmektedir. Mukarnas tasarımlarının izdüşüm planları genellikle İslami geometrik desen sistemlerine benzer teknikler ile üretilmiştir. Mukarnas araştırmacılarının çoğu, mukarnas izdüşüm planlarının temelini oluşturan bu geometrik desen sistemlerinin analizleri üzerinden çözümler yapmaktadır. 15.-16.yy' da Timur Devleti'nde hazırlandığı bilinen Topkapı parşömeni çokgenli sistemle kurulu mukarnas desenlerine dair çizimler içermektedir (Necipoğlu, 1996). Çokgenli yapı tasarım anlayışında kullanılan *giriş* yöntemi üzerinde yapılan çalışmalar mukarnas sistemi kurgusunu anlamakta yardımcı olmaktadır. Topkapı parşömenin çizimlerinde iki farklı çizginin kullanıldığı ve noktalı şekilde ifade edilen çizgilerin tasarımdan bağımsız şekilde çokgenler oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.1. Topkapı Parşömeni'nde bulunan giriş deseni (Kırmızı noktalı çizgiler çokgen parçaları, kalın ve düz çizgiler giriş desenini ifade etmektedir) (Necipoğlu, 1996)

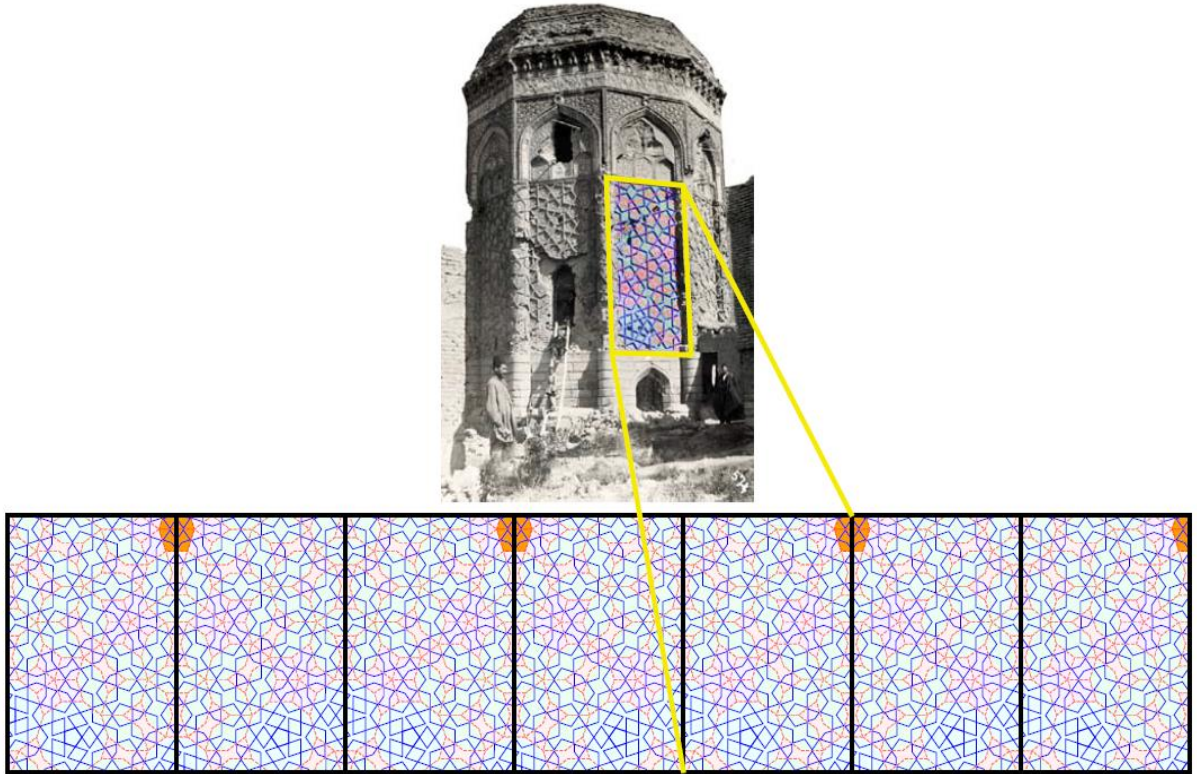
Üretilen geometrik desenin üzerinde kurulan çokgenli parçaların kenar çizgilerinin orta noktaları ile geometrik desen çizgilerinin köşe noktalarından birleştirilmesi sonucu *giriş* deseni oluşmaktadır (Şekil 4.1). Mukarnas izdüşüm planlarındaki benzer geometrik desenlerden oluşan sistemler de giriş tekniğinin alt kategorilerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Necipoğlu, 1996). Bu değerlendirmeler Topkapı parşömeninde bulunan Timur Devleti (15.yy- 16.yy) mukarnasları için geçerlidir. Timur Devleti öncesi dönemlerde uygulanmış mukarnas tasarımları bu sistemler kapsamında yorumlanmamalıdır. Öte yandan Topkapı parşömenlerindeki mukarnas izdüşüm planları, mukarnas tasarımlarının bir plan tasarımı ile başladığına ilişkin ihtimali güçlendirmektedir.



Şekil 4.2. Topkapı Parşömeni üzerinde renklendirilmiş çokgenli parçalar ve belirlenen giriş desenleri (Lu ve Steinhardt, 2007)

Geometrik desenler üzerinde yer alan giriş desenlerinin kullanımı, yapım aşaması ve kaplama teknikleri hakkında önemli çıkarımlara sebep olmuştur. Lu ve Steinhardt'ın (2007) örüntü teknikleri üzerinde yaptığı bu çalışma örüntü tekniklerinin sistemlerindeki çözümlerini inceleyen benzer çalışmalara göre kabul görmüş bir çalışmadır (Bonner, 2017).

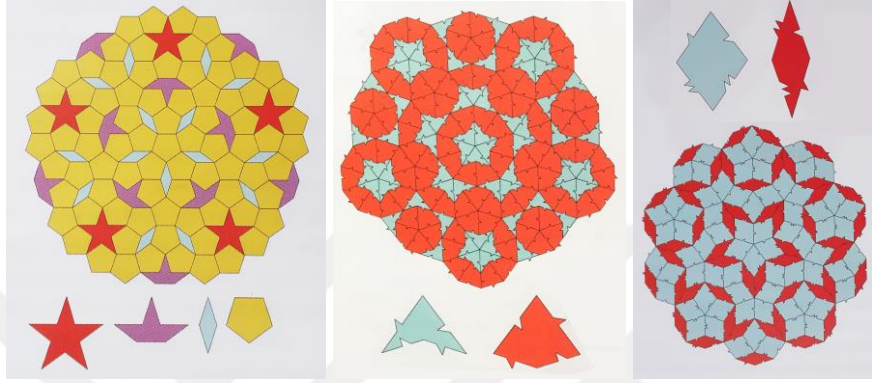
1453 yılında Karakoyunlular döneminde yapılan İran Darb-ı İmam Türbesi'nin kimeri üzerindeki geometrik şekillerin onlu dönele simetriye sahip olduğunu ve bu derece karmaşık bir sistemin pergel cetvel konstrüksiyonu ile bir araya getirilemeyeceğini düşünen Lu ve Steinhardt (2007), Topkapı parşömeni üzerinde yaptığı incelemede iki farklı çizginin bulunduğunu fark etmişlerdir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi ince çizgiler çokgen karolar oluştururken, çokgen kenarlarının ortasından geçen çizgiler girih desenleridir. Benzer bir sistemin Meraga Kabud Kümbeti desenleri üzerinde yer aldığını ve girih karoları ile üretilmek istenen desen ne kadar karmaşık olursa olsun karoların yerleşimi doğru olduğu sürece tasarımın hatasız tamamlandığını gözlemlemiştir.



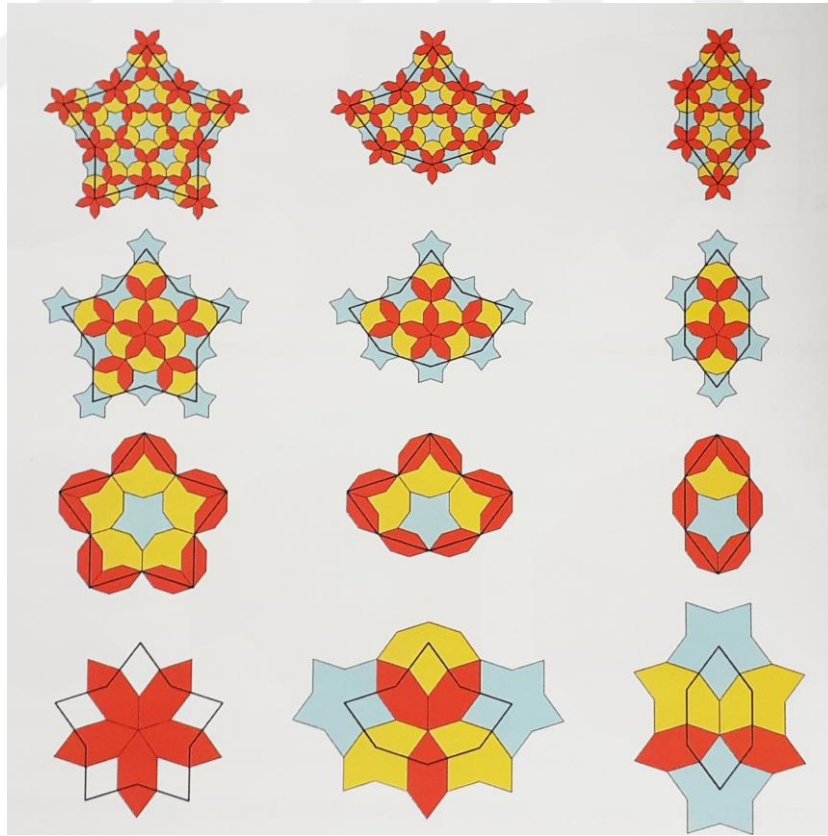
Şekil 4.3. Darb-ı İmam Türbesi girih karoları detayı (Lu ve Steinhardt, 2007)

Lu ve Steinhardt (2007), Darb-ı İmam Türbesi'nde birkaç karo yerleşiminin Penrose kaplama sistemi ve kuasikristallerle ilişkisini de incelemiştir. Her iki tablada bir kendini tekrar eden desende benzer sistemli karoların hatalı yerleştirildiği ihtimali üzerinde durmuş ve karoların yerini değiştirdiğinde birebir Penrose kaplamasına uygun olduğunu fark etmiştir (Şekil 4.3).

Bir kaplama deseni sabit bir mesafede ilerleyerek kendini tekrar ediyorsa o desen periyodik bir kaplama desendir. Düzgün beşgenin iç açıları 360° yi tam olarak bölmediği için düzlemi periyodik olarak kaplayamamaktadır. Benzer şekilde iç açıları 120° 'den büyük yedigen ve üstü çokgenleri de bir araya getirmek mümkün değildir. Bu sebeple çok sayıda karodan oluşan ve düzlemi bu şekilde kaplayan hem periyodik hem de periyodik olmayan (aperiyodik) kaplama düzenekleri mevcuttur.

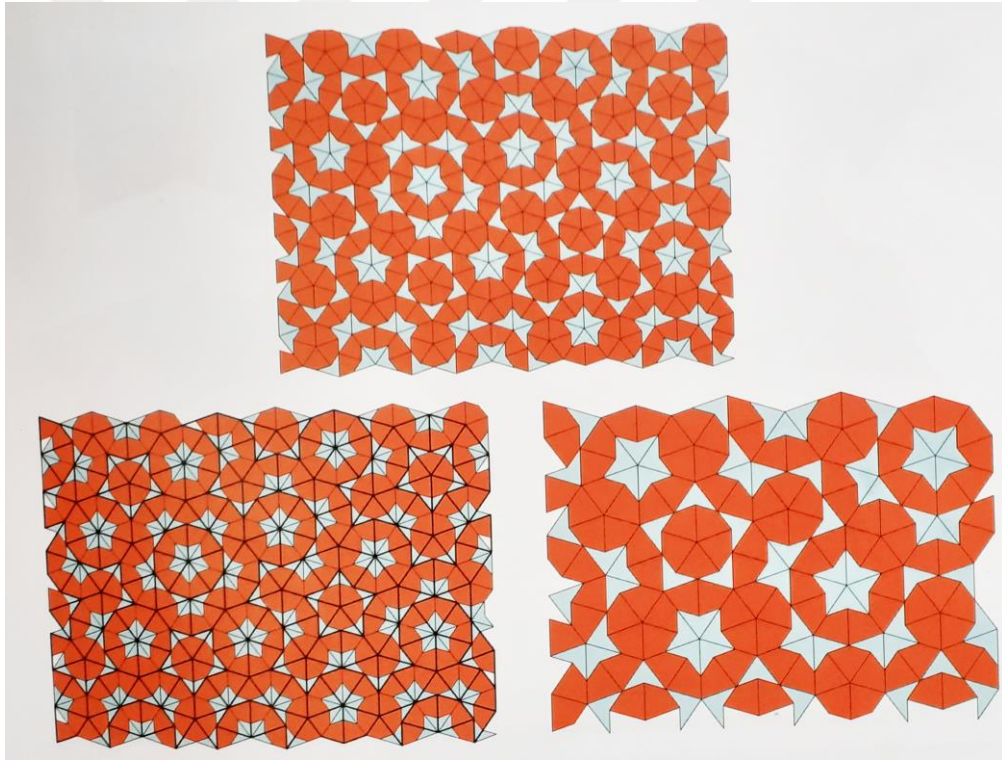


Şekil 4.4. Penrose P1, P2 ve P3 karoları ile kurulan pentapleks kaplama örnekleri (Arık ve Sancak, 2007)



Şekil 4.5. Karoların içlerinin π , π^2 , π^3 , π^4 oranında daha küçük karolar ile doldurulması (Arık ve Sancak, 2007)

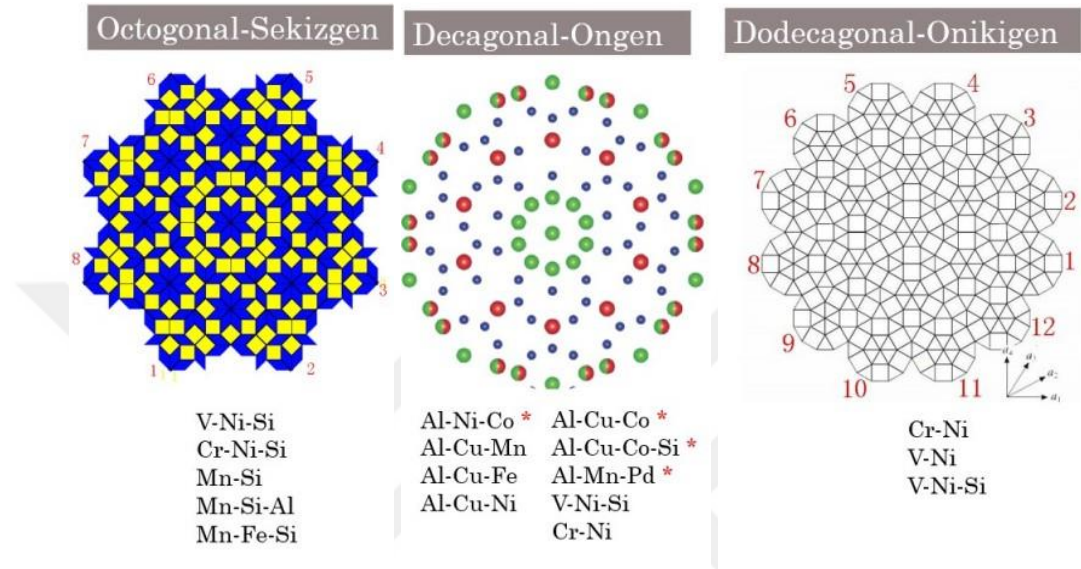
Hem düzlemi periyodik olarak kaplamayan hem de beşli dönele simetriye sahip karolar Roger Penrose tarafından ‘Penrose Karoları’ olarak isimlendirilmiştir (Penrose, 1979). Çokgenli yapı tasarım anlayışına benzer teknikler üzerinden geliştirilen enflasyon kuralları sonsuza kadar devam eden aperiyojik kaplama sistemlerinin üretilmesini mümkün kılmaktadır. Penrose karoları P1, P2 ve P3 olmak üzere belirlenen karo sistemleri ile beşli dönele simetriye sahip kaplama desenleri kurulabilmektedir (Şekil 4.4). Arık ve Sancak (2007) tarafından Penrose’un P1 karolarının içleri π , π^2 , π^3 , π^4 oranında daha küçük karo kümeleri ile doldurulmuştur (Şekil 4.5). Bir diğer yöntem ok ve uçurtma karolarının (P2 karoları) enflasyon kuralı ile çoğaltılmasıdır. Ok ve uçurtma ile üretilmiş bir kaplama sistemi altın oran kadar daha büyütülmüş ok ve uçurtmalar ile kaplanarak başka bir pentapleks kaplamaya dönüşmektedir (Şekil 4.6). Bu sistemler aperiyojik şekilde düzlemi sonsuza kadar kaplama potansiyeline sahiptir.



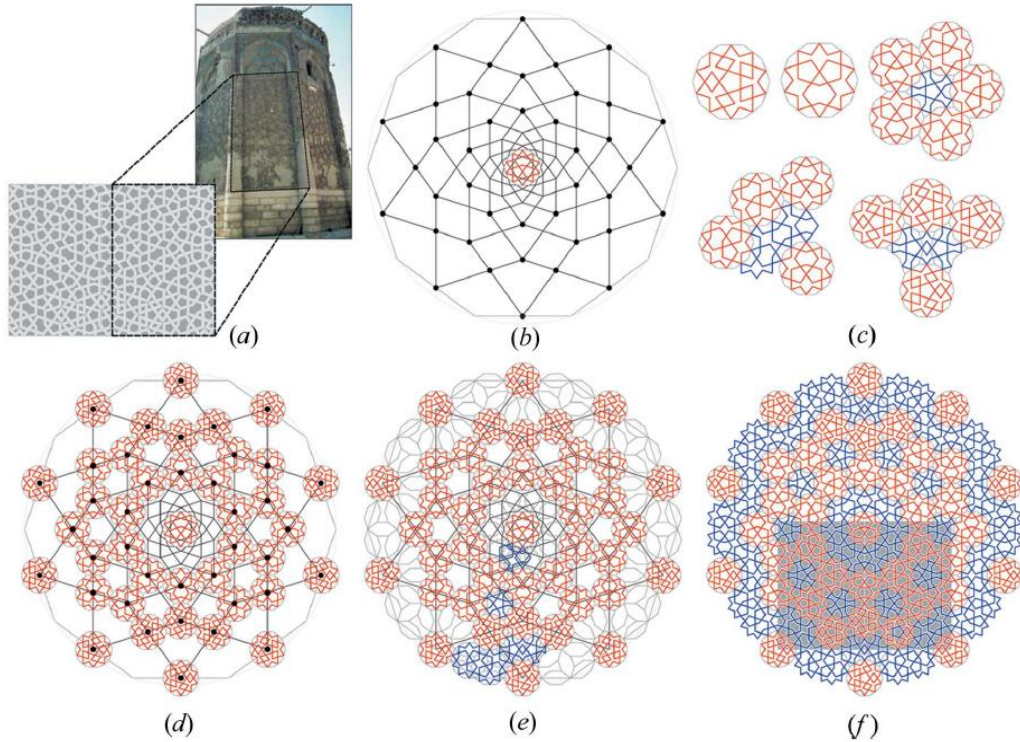
Şekil 4.6. Ok ve uçurtma karolarının (P2 karoları) altın oran kadar büyütülmüş ok ve uçurtma karoları kadar büyütülmesi ile elde edilen kaplama desenleri

Atom ve moleküllerin X ışınları ile yapılan incelemelerinde üç boyutlu olarak dizilimlerinin düzenli ve periyodik yapısının keşfedilmesi ile kristalografi alanı önem kazanmıştır. 1982 yılında kimyacı Dan Shechtman alüminyum ve manganez gibi metalleri soğuk bir yüzeye püskürterek düzenli (kristal) ve düzenli olmayan (amorfor)

yapılardan farklı biçimde düzensiz (periyodik olmayan) aralıklar ile kendini tekrar eden ve simetrik biçimde dizilmiş yapılar keşfetmiştir. ‘Kuasikristal’ olarak adlandırılan bu yapıların iki boyutlu örnekleri Penrose Karolarıdır. Penrose Karolarının yanı sıra sekizgen, ongen ve on ikigen kuasikristal yapılarda bulunan molekül düzenekleri de mevcuttur (Şekil 4.7).

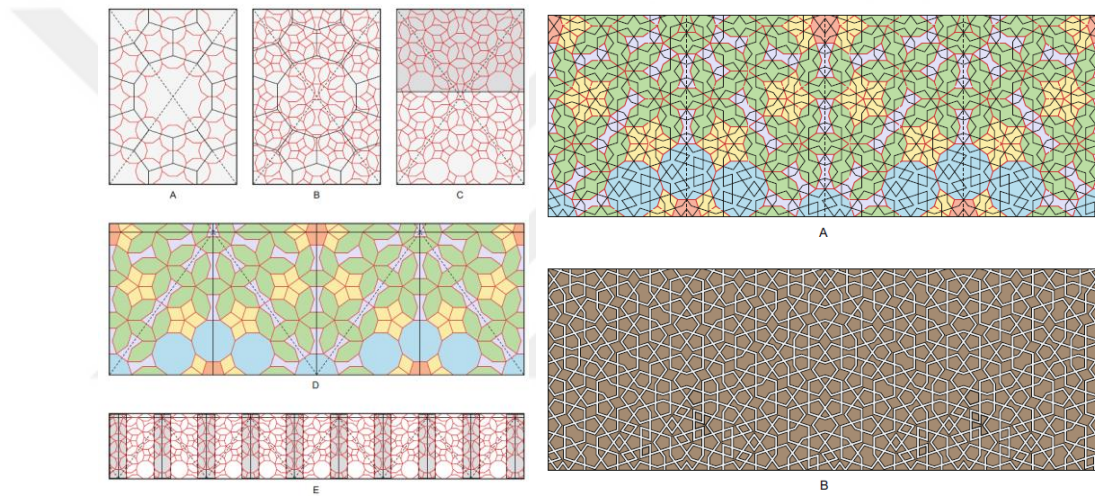


Şekil 4.7. Sekizgen, ongen ve onikigen kuasikristal molekül yapısı kaplama düzenekleri (URL-57)



Şekil 4.8. Kabud Kümbeti kuasiperiyodik desen analizi (Ajlouni, 2012)

Kuasikristalografik yapılı geometrik desenler üzerinde çalışan Ajlouni (2012), Meraga Kabud Kümbetindeki desenin Fibonacci serisine bağlı bir alt desen üzerinden ongen birleşim biçimlerini belirleyerek 10'lu dönel simetriye sahip kuasiperiyodik bir desen üretimi gerçekleştirmiştir (Şekil 4.8). Bonner (2017), desenlerin üretildiği dönemlerde geometrik desen tasarımcılarının kuasikristal yapılara dair bilgilerinin olmadığı düşüncesindedir. Kuasikristallerle benzer karakteristik özelliklere sahip bu desenin ise aslında ongen üretim sistemine dayalı beşli dönel simetriye sahip bir desen parçasının öteleme simetrisi ile oluşturulması ile mümkün olduğunu kanıtlamıştır (Şekil 4.9), (Bonner, 2017).



Şekil 4.9. Kabud Kümbeti desen analizi (Bonner, 2017)

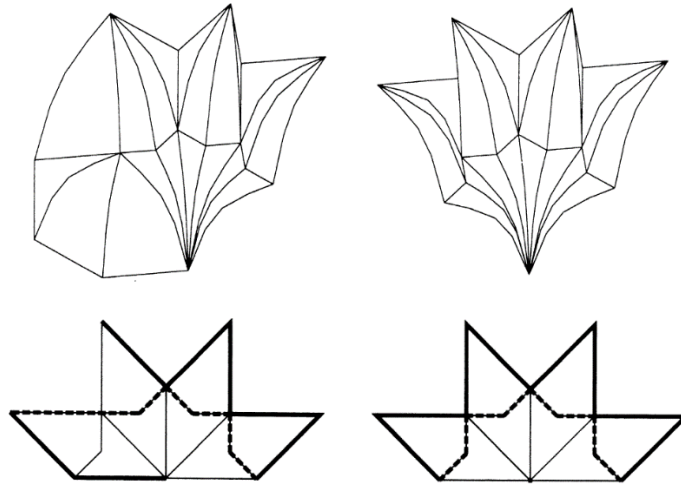
4.2. Mukarnas İzdüşüm Planı Geometrik Kurgu Analizleri

Geometrik kurgu ya da geometrik şema (Ödekan, 1977; Uluengin, 2018) mukarnas izdüşüm planındaki desen sisteminin strüktürünü oluşturmaktadır. Bir tesselasyon olarak değerlendirilebilecek bu sistem, aynı zamanda üçüncü boyutta da biçimlendirilmiş mukarnas formunun izdüşümüdür. Mukarnas birimlerinin üzerindeki detayların geometrik kurgu üzerine aktarılması ile mukarnas izdüşüm planı elde edilmektedir. Mukarnas yapısal form sürecinin anlaşılabilmesi için öncelikli analiz edilmesi gereken sistem izdüşüm planının temelinde barınan geometrik kurgusudur. Geometrik kurgu birimlerinin üçüncü boyuta aktarılması kademelendirme aşamasıdır. Birimlerin doğru kademelere yerleştirilmesi sonucunda mukarnas tasarımı tepe

noktasından başlayan kademelendirme sistemi ile genişleyerek kubbe, taç kapı ya da benzer nitelikte iç bükey dönüştü nişler için formunu tamamlamaktadır.



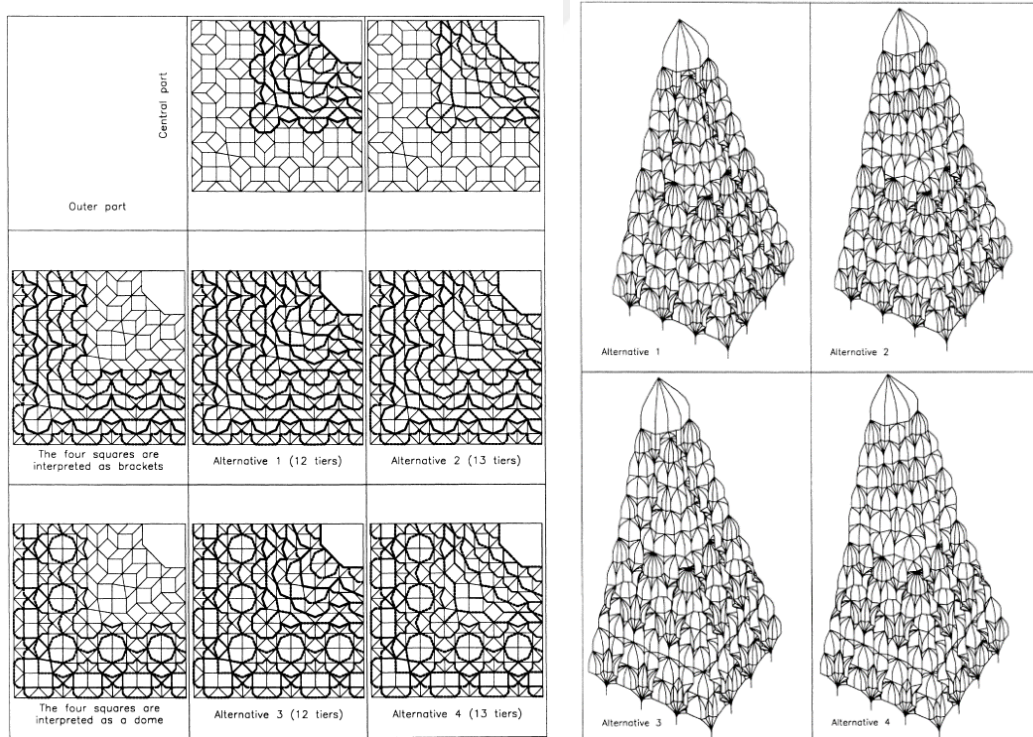
Şekil 4.10. İran Taht-ı Süleyman alçı plaka mukarnas izdüşüm planı eskizi (Necipoğlu, 1996)



Şekil 4.11. Aynı geometrik kurgu üzerinde farklı birim ve kademelendirme örneği (Yağhan, 2000)

Topkapı parşömeninde yer alan girih desenlerine benzer sistemler içeren tessellasyonlar, İslami geometrik desenler ve mukarnas tasarım aşamalarında kullanılmaktadır. Topkapı parşömeni, mukarnas tasarım sürecinin plan aşaması

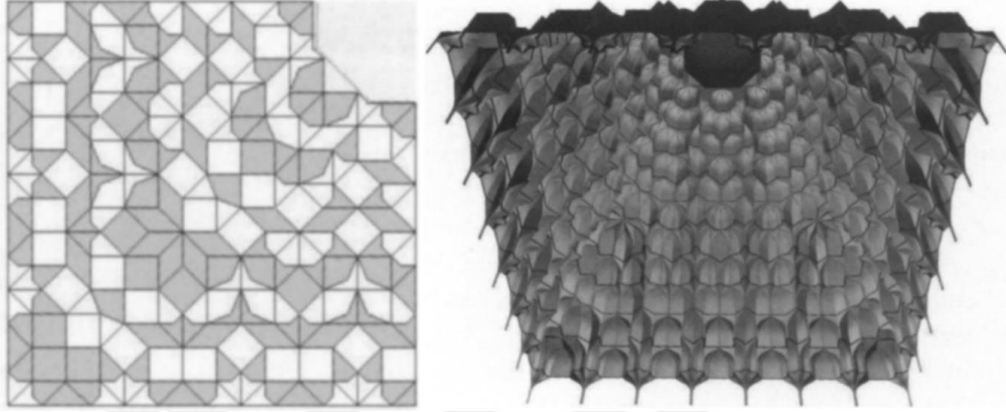
geometrik kurgusu ile başladığını kanıtlayan bir örnektir. Bir diğer örnek 1270’li yıllarda İlhanlılar döneminde yapıldığı bilinen alçı levhadır. İran’da Taht-ı Süleyman alanında yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ortaya çıkan bu levhanın 45°, 90° ve 135° lik mukarnas birimleri ile bir kubbe örtüsünün çeyrek dilimine ait eskiz çalışması olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.10), (Harb, 1978; Necipoğlu, 1996). Alçı levha üzerindeki mukarnas planı geometrik kurgusu farklı kademelendirme metotları uygulandığında farklı mukarnas örtüleri elde edilmektedir. Aynı geometrik kurgu üzerinde birim ve kademelendirme varyasyonları Şekil 4.11’de görüldüğü gibi eşkenar dörtgen birimi yuva oluşturacak biçimde kullanıldığında bir bütün halinde alt kademede konumlanırken, iki ayrı birim olarak kullanıldığında iki kademe üzerinde de konumlanmaktadır. Bu sebeple bir mukarnas geometrik kurgusu üzerinden çok sayıda izdüşüm planı kompozisyonu çıkarılabilmektedir. Alternatif kademelendirme metotları ve birim yerleşimleri ile araştırmacılar alçı levhadaki izdüşüm planı üzerinden çeşitli mukarnas kubbe kompozisyonları üretmişlerdir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13) (Yağhan, 2000; Dold-Samplonius ve Harmsen, 2005).



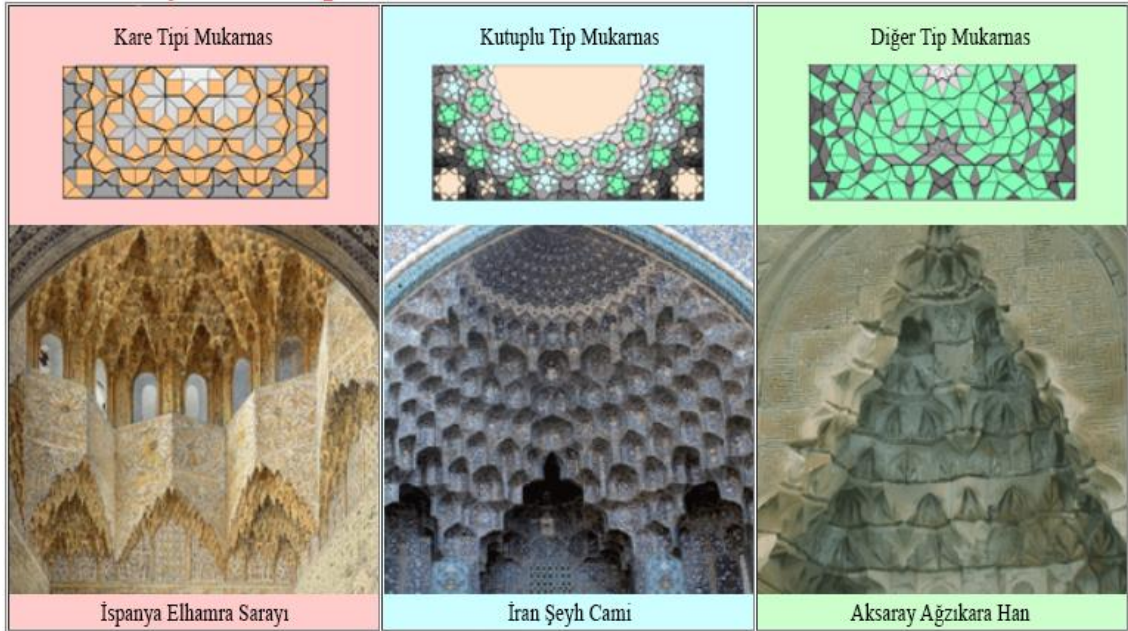
Şekil 4.12. Taht-ı Süleyman alçı plaka eskizi üzerinden mukarnas örtü denemeleri (Yağhan, 2000)

Mukarnas geometrik kurgusu ve izdüşüm planları üzerinde yapılmış en kapsamlı çalışma Shiro Takahashi’nin analizleridir (URL-1). Takahashi 3.723 mukarnas ögesini

fotoğraflayarak 1.536 tanesinin izdüşüm planı ve geometrik kurgusu çizimlerini içeren bir veri tabanı oluşturmuştur. Bu çizimler kare, kutuplu ve diğer mukarnas çeşitleri olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır (Şekil 4.14). Her kategori kendi içinde ayrı gruplar içermektedir. Üç kategoriye ait mukarnas tasarımlarının yalnızca Türkiye’de ve Osmanlı Devleti’nin hâkim olduğu dönemlere ait diğer ülkelerde bulunduğu dikkat çekmektedir (Şekil 4.15).



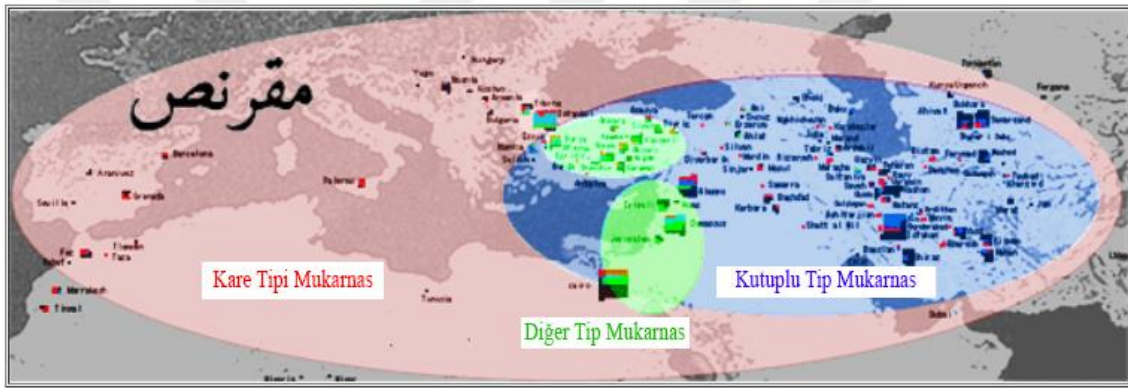
Şekil 4.13. Taht-ı Süleyman alçı plaka eskizi üzerinden mukarnas örtü denemesi (Dold-Samplonius ve Harmsen, 2005)



Şekil 4.14. Kare, kutuplu ve diğer tip mukarnas örnekleri (URL-1)

Takahashi'nin kare tipi olarak kategorize ettiği mukarnas planları genellikle tepe noktasında sekiz kollu yarım yıldız yani 45°lik açılar ile yerleştirilmiş baklava birimleri ile başlamaktadır. Baklava-kare modüler birimleri ile kurulan sistemler içeren mukarnas

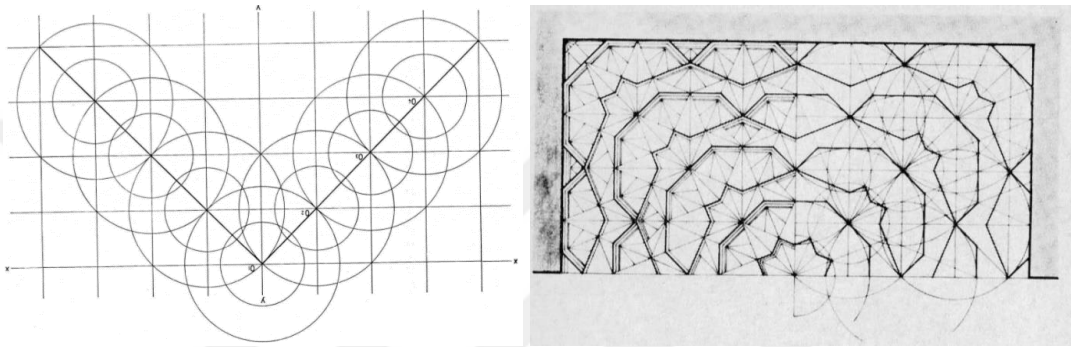
planlarının başta Türkiye’de Anadolu Selçuklu ve sonrası dönemler mukarnas örtüleri olmak üzere, İran, Suriye ve Kuzeybatı Afrika’da kullanıldığı pek çok tasarım bulunmaktadır. Kare-baklava modüler birimli mukarnas örtüleri üzerine yapılan araştırmaların çoğu seçilen örneklerin analizinden öteye geçememiştir. Geometrik kurgunun çözümlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda kare-baklava modüler birimli mukarnas örtüler tepe noktasındaki yıldız kollarına göre sınıflandırılmıştır (Uluengin, 1959; Ödekan, 1977). Ödekan (1977; 1981b), mukarnas geometrik kurgu planları üzerindeki desenleri tepe noktasındaki yarım kollu yıldızlardan başlayarak daireler ve yarıçapları üzerinden açısal yerleşimlerine göre dilimlemeler ile tiplere ayırmıştır (Şekil 4.16). Dairesel ve açısal yerleşimlerin dikkate alınarak analiz edildiği bir diğer çalışma Edirne’de bulunan 15.yy kubbe mukarnasları üzerinedir (Büyükdığan, 2001).



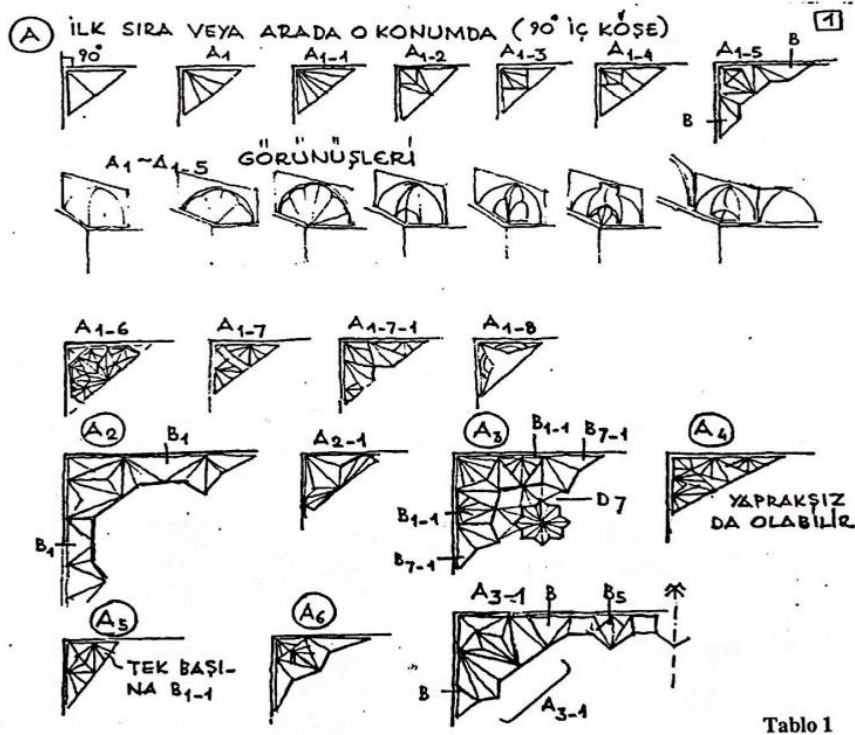
Şekil 4.15. Kare, kutuplu ve diğer tip mukarnas tasarımlarının bölgesel dağılımı (URL-1)

Türkiye’deki mukarnas izdüşüm planlarını kuruluş düzenlerine göre değerlendiren Uluengin (2018), kaideli kuruluş, serbest kuruluş ve sıradışı kuruluş olarak üç kategoride sınıflandırmıştır. Kaideli kuruluşta yıldız kollarının sayısı ve konumuna dayalı simetrik şekilde düzenlenmiş bir geometrik desen oluşmaktadır. Kare ve baklava birimleri ile yarım sekiz kollu yıldız kullanılarak yapılan kaideli kuruluş düzeni Selçuklu ve Osmanlılar Devleti’nde en çok kullanılan mukarnas şemasıdır. Kaideli kuruluş Takahashi’nin veri tabanında yer alan kare planlı mukarnas tipleri için geçerli kurgudur (URL-1). Serbest kuruluş ise daha çok mukarnaslı kubbe tasarımları ve Suriye taç kapı örneklerinde görülen yıldız kolları ile başlamayan ya da kolları olmayan yıldızlar ile başlayıp geometrik şema ile devam eden sistemlerdir. Sıra dışı kuruluşlar herhangi bir sistem uygulanmadan yapılmış özel tasarımlar içermektedir.

Anadolu Selçuklu Devleti sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare-baklava modüler birimlerinin izdüşüm planı üzerinde olası birleşim ve yerleşimlerinin her birinin kategorilere ayrıldığı bir diğer çalışmada, kategorize edilen birim kümeler kademelerdeki yerleşimine göre sıralanarak tablo haline getirilmiştir. ‘Mukarnas Abecesi’ olarak adlandırılan bu kategori sistemine göre mukarnas örtülerde kullanılan birim ya da birim kümelerine uygun sınıf belirlenerek, birimlerin konumlandığı kademede dahil olduğu sınıf kodu (A1, A1-5, B1-1...) eklenmektedir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18), (Tuncer, 2001).



Şekil 4.16. Daireler ve yarıçapları üzerinden açısal yerleşimlerine göre geometrik kurgu analizi (Ödekan, 1977)



Şekil 4.17. ‘Mukarnas Abecesi’ sınıf kodları (Tuncer, 2001)

YAPI ADI	TARİH	HAZIRLIK BÖLÜMÜ				SIRA 1 SIRA 8	SIRA 2 SIRA 9	SIRA 3 SIRA 10	SIRA 4 SIRA 11	SIRA 5 SIRA 12	SIRA 6 SIRA 13	SIRA 7 SIRA 14
		1	2	3	4							
1. Nevşehir-Aksaray arasında Alay Hanı	1192	-	-	-	-	A ₁ , B ₁	D	E, C, F _{1,2}	D ₂	E, F _{1,2}	D ₂	G ₁
13.y. 1 Çeyreği												
2. Kayseri Gökberber Nesibe Şifahanesi	1205-6	-	-	-	-	A _{1,2} , B ₁	F _{1,1}	D ₂	E _{1,1}	D ₂	D ₂	G
3. Kayseri Köşk Camisi	1210-11	Hazırığı var				A ₂ , B ₁ , B _{2,1}	D _{2,2}	E _{1,2}	G _{2,1}	D _{2,1}	D ₂	G
4. Maraş-Afşin Eshabı Kehl Hanı	1215	-	-	-	-	B _{1,2} , B _{1,3} , A	D	E ₁ , F _{1,2} , F _{1,3}	D ₂	F ₄	D ₂	G ₁
5. Antalya-Uzunkuyu Evdir Hanı	1214-18	D	D _{2,1}	G _{1,2}		A _{1,2} , B _{1,1}	F ₀	A _{1,2}	D _{2,2}	F ₁	D ₂	G
6. Sivas İzzeddin Keykavus Şifahanesi	1219	-	-	-	-	A _{1,2} , B ₁ , D ₂	D G _{2,1}	E, F _{1,2} , C D	D ₂ G _{1,2}	E, F _{1,2} , C	D ₂	F _{2,1}
7. Konya Hacı Feriuh Mesidi	1219	D, B, G	zikkak	-	-	A _{1,2} , B	D, F _{2,2}	A _{1,2} , B ₁ , E	F ₁	F ₁	A _{1,2}	G
13.y. 2 Çeyreği												
8. Niğde Alaeddin Camisi	1223	B _{1,2}	F ₁	F ₁	B ₁ , G _{1,2}	A ₁ , B ₁ , F ₁	D ₁ , F ₁	F _{1,2} , F _{1,3} , F _{1,2}	F _{1,2} , F _{1,3}	G _{1,2} , G _{2,2}	D	G _{1,2}
9. Eskişaraya Ulu Cami Doğu Kapısı	-1223	-	-	-	-	B _{1,2} , G ₁	D ₂	F, B	D ₂	E ₁ , F _{1,1}	D ₂	D

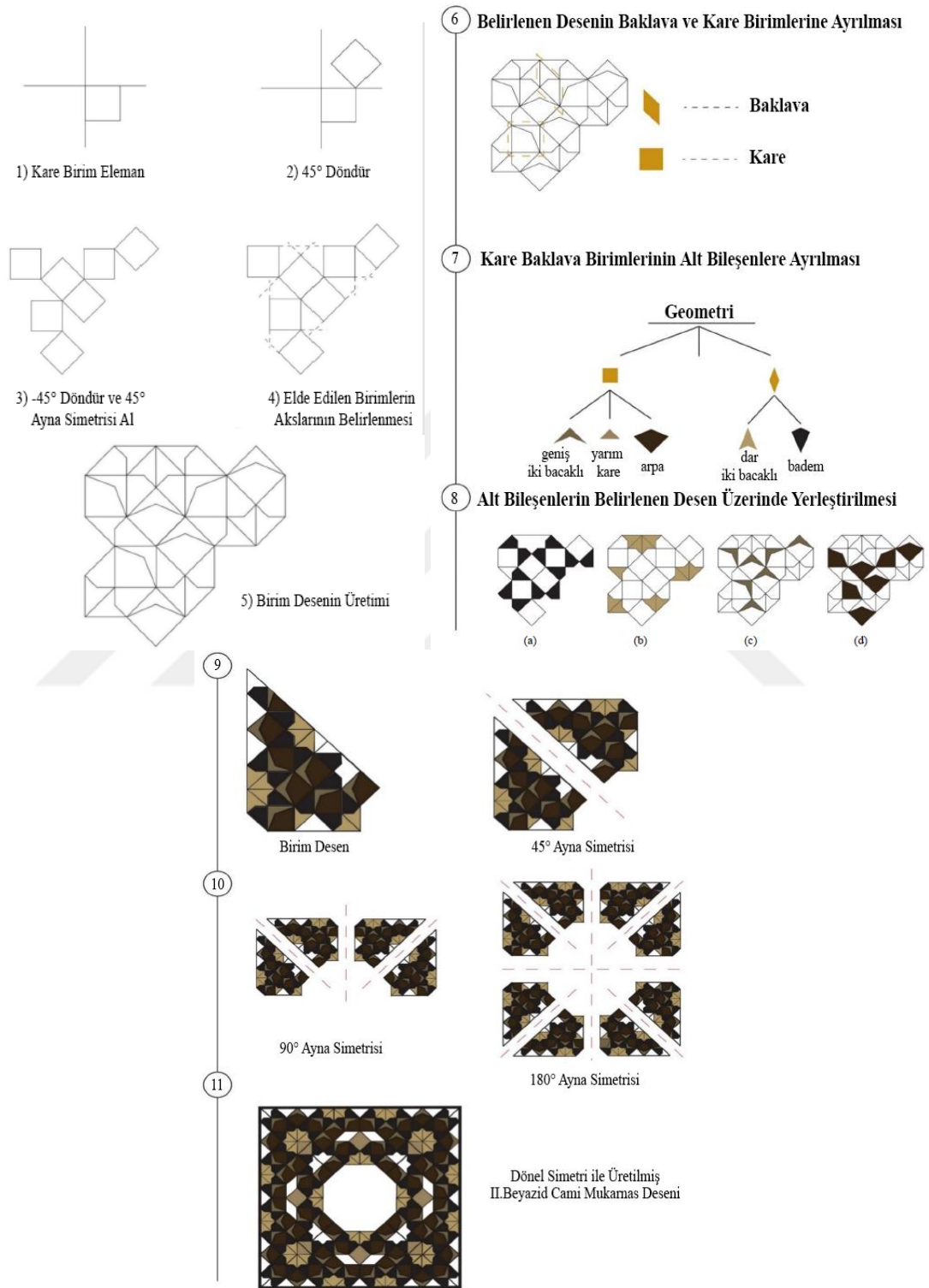
Şekil 4.18. Mukarnas örtülerinin yer aldığı 'Mukarnas Abecesi' sınıf kodları (Tuncer, 2001)

Kare-baklava modüler birimli mukarnas izdüşüm planları üzerine yapılan desen analizi çalışmalarının bir diğerinde seçilen mukarnasın geometrik kurgusunda yer alan en küçük birim kare belirlenerek döndürme, simetri gibi işlemler ile dizilmektedir. Kare birimlerinin kenarlarından çizilen uzantılar baklava desenlerinin parça yerleşimleri hakkında bilgi vermektedir. Birim modülün kurgulanması sonrasında simetriği alınarak mukarnas izdüşüm planı elde edilmiştir (Şekil 4.19), (İmani, 2017).

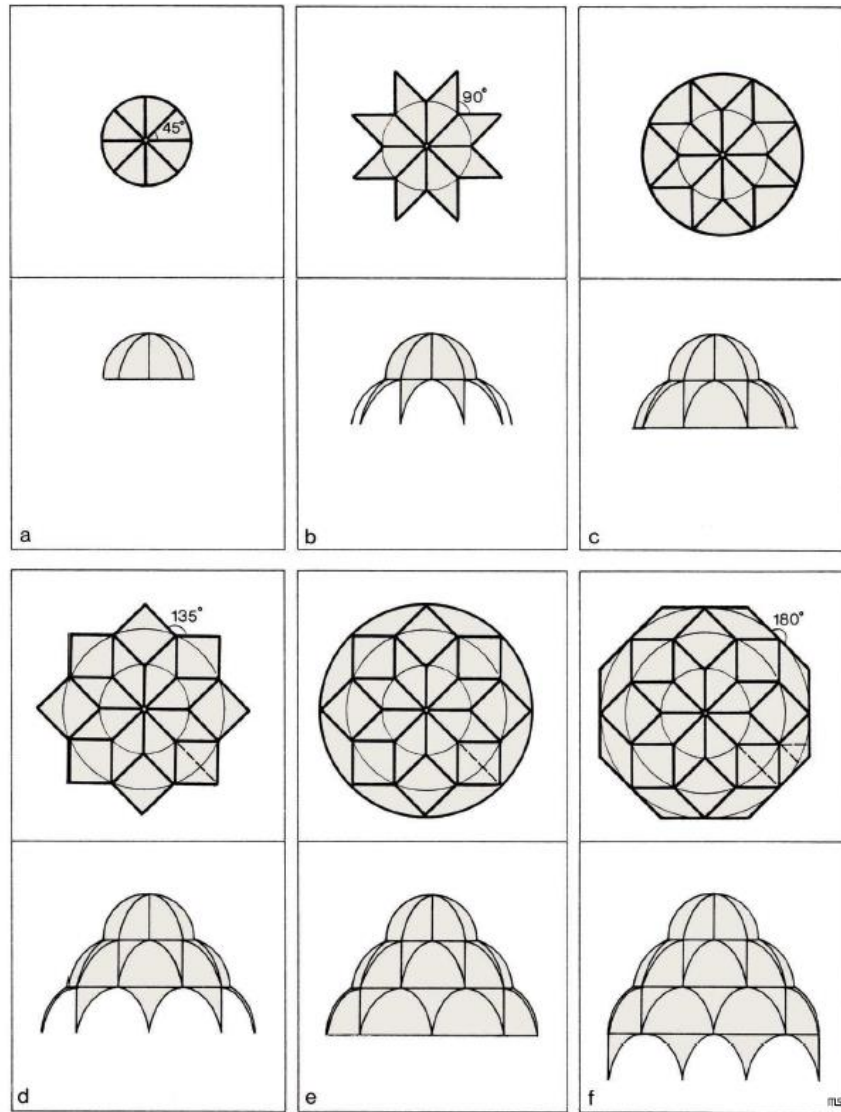
Mukarnas birimlerinin izdüşüm planında açısız yerleşimlerine göre sınıflandırılarak gruplandırıldığı Sakkal'ın (1981) yüksek lisans tezinde mukarnas üretimi için bazı metotlar belirlenmiştir. Kubbe-bölme metodu 36°, 45°, 60°, 72° ve 90°'lik açılar ile dilimlenmiş çemberler üzerinden değerlendirilmiştir. Şekil 4.20'de 45°'lik açılar ile 8 parçaya bölünmüş çemberde oluşan üçgenlerin simetrisi alındığında baklava birimleri oluşturulmuştur. Her baklava diliminin orta noktalarında 90°'lik açılar ile kare birimleri konumlanmıştır. Eklenen her yeni birimlerin arasındaki açı 180° veya katlarına ulaştığında kubbe tasarımı sonuçlanmaktadır. 180°'ye ulaşıncaya kadar her yeni açıda farklı bir birim üretimi gerçekleşmektedir (Şekil 4.20)

Sakal'ın (1981) birim analizlerinde sekiz kollu yarım yıldızlardan türeyen kare-baklava modüler birimleri ile kurulan sistemin sınıflandırıldığı çalışmadaki birimlerin en küçüğü 45°'lik açı ile yerleşmektedir. Birimlerin her biri İslami geometrik desenlerde sıkça rastlanan $\sqrt{2}$ ya da altın dikdörtgen oranlarına göre oranlanmıştır. Her bir birim 45°'nin katları 90° ve 135° olacak şekilde yerleşmektedir. Şekil 4.21'de

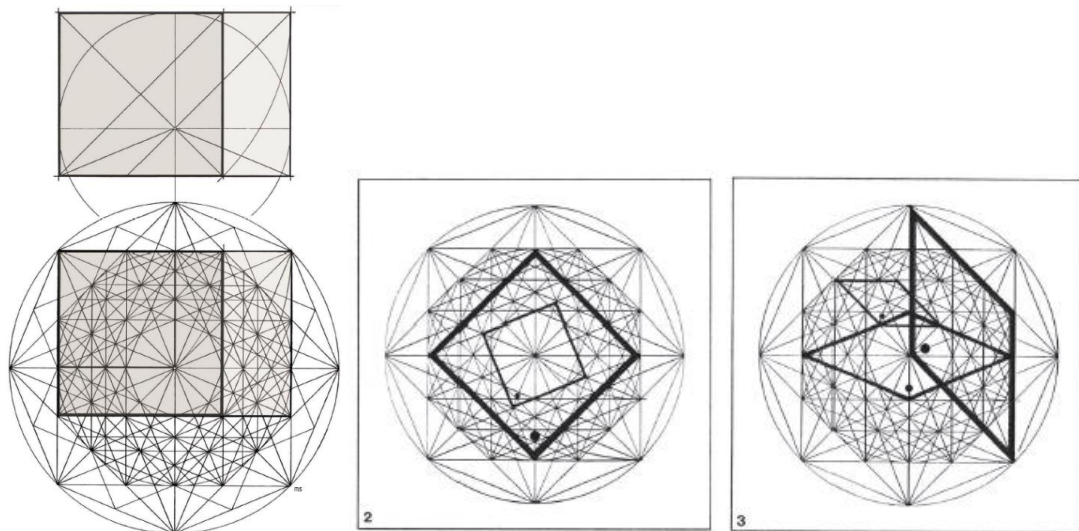
birimlerin yerleştirildiği düzlem temel oranlamaların ve açısal ilişkilerin ortaya çıkardığı bir yerleşim planı olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.19. Kare-baklava modüler birimli desen analizi çalışması (İmani, 2017)

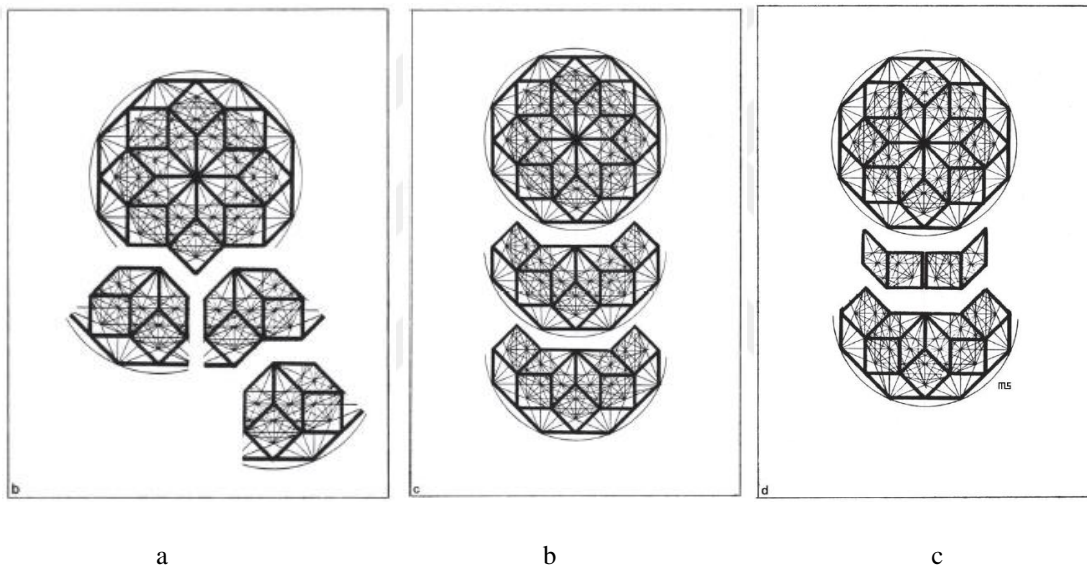


Şekil 4.20. Mukarnas izdüşüm planı açılal yerleşime göre kubbe tasarımı (Sakkal, 1981).



Şekil 4.21. Kare-baklava modüler birimleri yerleşim planı analizi (Sakkal, 1981)

Kubbe mukarnası üretim sistemlerinde kubbe katmanlarının büyümesi üç şekilde uygulanmıştır. İlk yöntem kubbe tasarımının son kademesinde yer alan birimlerin kaldırılması ile yeni birim kümelerinin eklenmesidir. Eklenen birim kümeler üzerine farklı bir küme eklenmek istenildiğinde son kademede yer alan birimler kaldırılmalıdır (Şekil 4.22-a). Bir diğer yöntemde belirlenen mukarnas birim kümeleri son kademeler değiştirilmeden eklenerek düzenli bir örüntü oluşturacak şekilde devam etmektedir (Şekil 4.22-b). 3. metot kubbe tasarımında yer almayan farklı birim kümelerinin de eklenebildiği bir tasarım kurgusuna sahiptir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha üretken bir sistem ile mukarnaslı kubbe kompozisyonları kurgulamaktadır (Şekil 4.22-c) (Sakkal, 1981).

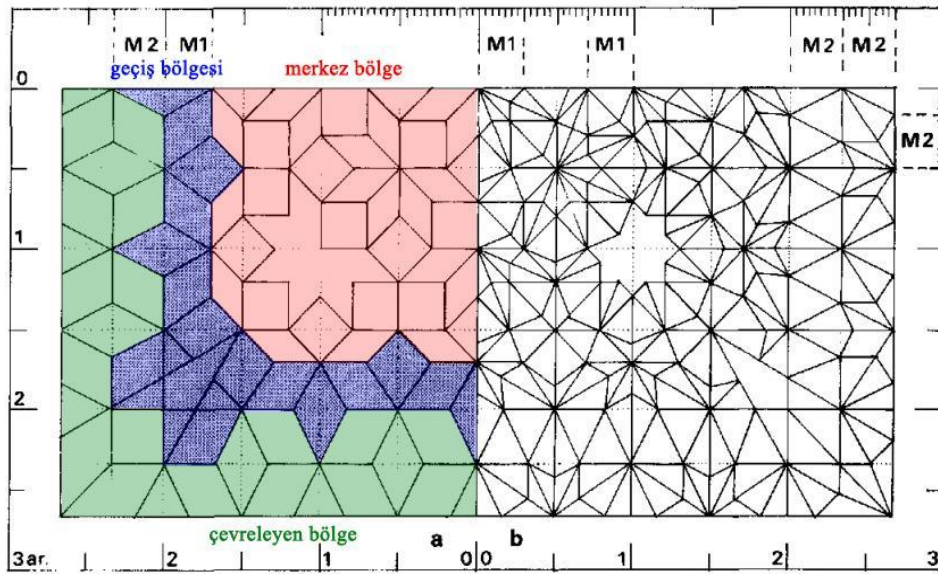


Şekil 4.22. Kubbe mukarnasına eklenen yeni birimler (Sakkal, 1981)

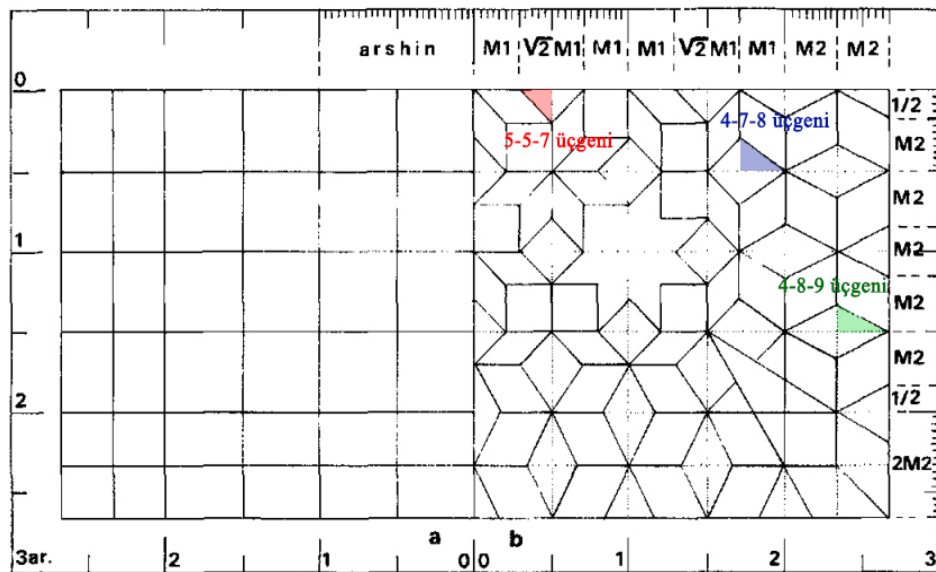
Sivas Buruciye Medresesi restorasyon projesi taç kapı mukarnasında yaptığı analizleri el-Kaşi'nin yöntemleri üzerinden değerlendiren Özdural (1990), mukarnas sisteminin geometrik tasarım ve yapım süreci hakkında önemli detaylara değinmiştir. Buruciye Medresesi mukarnasının merkez, geçiş ve çevreleyen bölge olmak üzere üç farklı geometrik kurguya sahip bölgeden oluşturulduğu, merkez bölgede 45° lik açılar ile $\sqrt{2}$ oranı ilişkisi kurularak, geçiş bölgesinde 30° ye yakın bir açı ile $\sqrt{3}$ oranının kurulduğunu göstermektedir (Şekil 4.23).

Açısal oranlamaların taşa uygulanırken bütün İslam ülkelerinde uygulanan ölçü birimi *arşın*ın (mimari ölçü 75.774 cm) 24 boğumdan oluştuğu ve analiz edilen Buruciye mukarnasının $2+\frac{2}{3}$ arşın yani 64 boğuma tekabül ettiğini vurgulamıştır.

Merkez bölgede belirlenen M1 modülü 7 boğumdan oluşturularak 5-5-7 üçgeni ile kurulmuş $\sqrt{2}$ oranı düzeneğine sahiptir. Çevreleyen bölgede kullanılan M2 modülü 8 boğumdan oluşup 4-8-9 üçgeni ile kurulmuş $\frac{1}{2}$ oranına sahiptir. Geçiş bölgesi her iki bölgenin sistemine uygun birimlerden oluşturulmuş ve 4-7-8 üçgeni ile $\sqrt{3}$ oranı elde edilmiştir. Öte yandan merkez bölgesinde sarkıtlara yerleştirilmiş olan 7 kollu yıldızın çapının 8 boğuma eşit ve kenar-yarıçap oranının $\frac{7}{8} = \sqrt{3}$ olması, 7 kollu yıldızın pergel-cetvel konstrüksiyonu ile kurulamayan fakat M1 ve M2 modüllerinin yani 7 ve 8 boğum ölçüsü ile elde edildiği vurgulanmak istenmiştir (Şekil 4.24), (Özdural, 1990).



Şekil 4.23. Buruciye Medresesi mukarnas planı bölgesel analizi (Özdural, 1991)

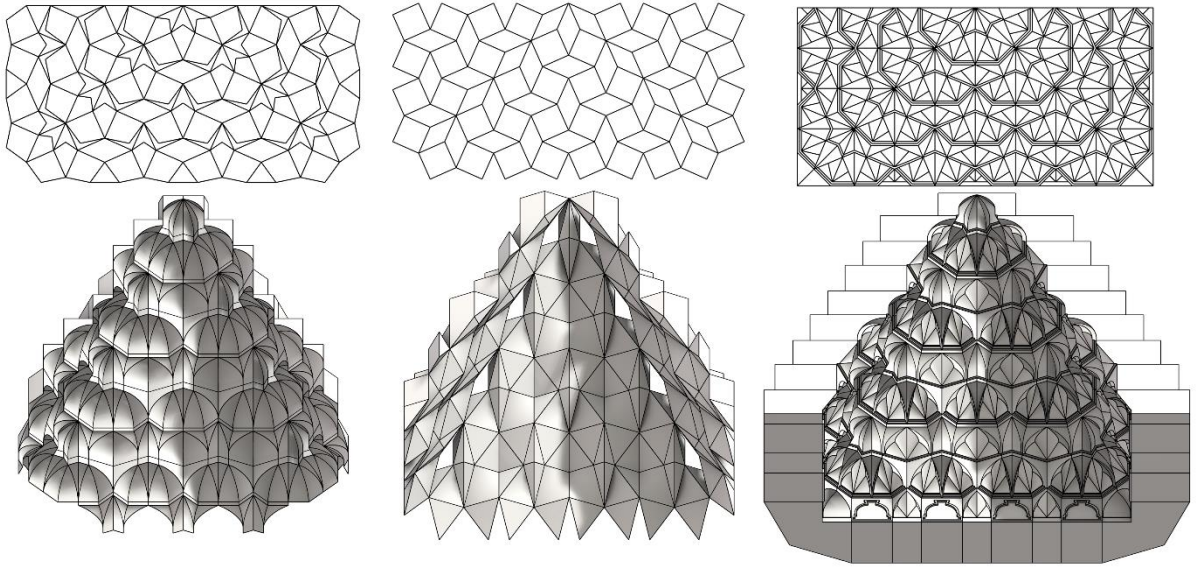


Şekil 4.24. Buruciye Medresesi mukarnas birimleri geometrik çözümleri (Özdural, 1991)

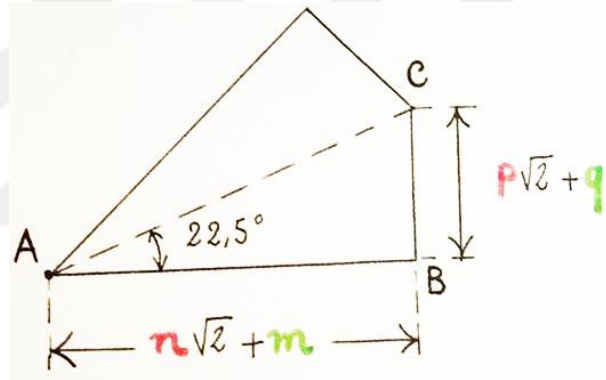
Geçiş bölgesinde yer alan beş köşeli yıldızlar da tarih boyunca kullanılmış olan altın oran ile kurulmuş bir yıldız formuna sahiptir. Burada elde edilen oranın Fibonacci serisi oranında devam ettiği, bütün paralel ve dik kenarların altın oranı oluşturduğu gösterilmiştir (Özdural, 1991). Buruciye Medresesi mukarnas geometrik kurgusu Kayseri Sahabiye Medresesi, Hacı Kılıç Camisi, Çifte Kümbet, Bünyan Ulu Camisi, Niğde Hüdavent Hatun Türbesi gibi Anadolu Selçuklu Devleti mukarnaslı taç kapılarında da bulunmaktadır. Sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare-baklava birimli sistemlere eklenen geçiş ve çevrelen bölgelerdeki oranlamalar, mukarnas geometrik kurgusunu tasarlayan kişilerin üst seviye geometri bilgisini kanıtlamaktadır.

Anadolu Selçuklu Devleti Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası üzerine çalışmalar yapan Dinçer ve Yazar (2021), geometrik kurgunun Ammann-Beenker kaplama deseni prototipine ilişkin snub kare örüntüsü ürettiğini analiz etmiştir. Belirlenen snub kare örüntüsü birimi ayna simetrisi alındığında mukarnas geometrik kurgusu elde edilmektedir. Birimsel, tesselayon ve blok (taşa aktarım) olarak üç farklı metot üzerinden değerlendirilen tesselayon desenlerinin üçüncü boyuta aktarımı sonucunda üç farklı mukarnas örtü üretim tekniği geliştirilmiştir (Şekil 4.25). Birimsel metot ile geleneksel mukarnas birimleri kullanılmış, üçüncü boyuta aktarım aşamasında süsleme ve taş aktarım tekniklerinin dahil edilmemiştir. Tesselayon sistemine dayalı metot ile geometrik kurguda bulunan kare-baklava desenleri üzerinden sonsuza kadar devam edebilecek bir örüntü ile mukarnas üretimi değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamaları hakkında birim analizine dayalı yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak tesselayon ve blok (taşa aktarım) sistemlerine değinilmiş ve mukarnas üretim sistemi kurgusuna dair gerçekçi bir yaklaşım geliştirilmiştir.

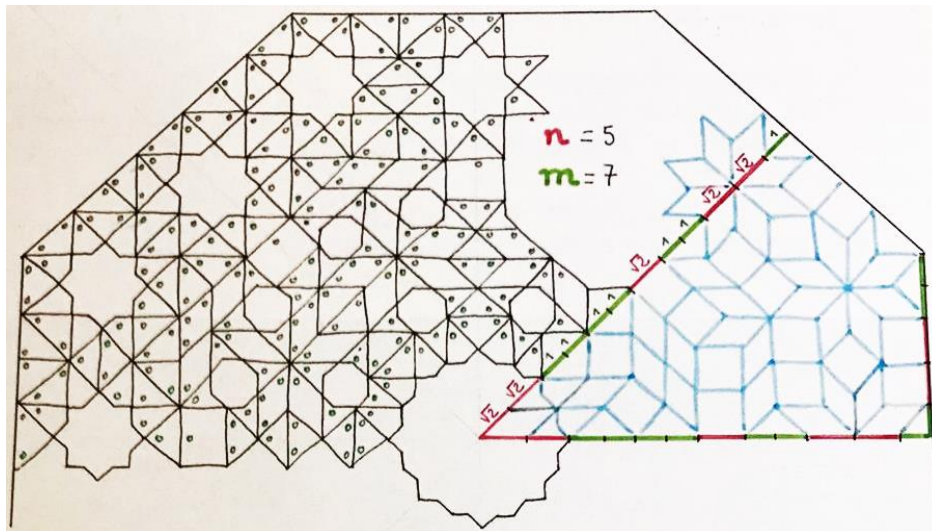
Anadolu Selçuklu ve sonrası dönemlere ait kare-baklava geometrik kurgulu mukarnas izdüşüm planlarına benzer planlamalar Kuzeybatı Afrika ve Endülüs'te de mukarnasın uygulandığı ilk dönemlerden beri kullanılmaktadır. İran'da İlhanlılar dönemi sonrası uygulanan mukarnas tasarımlarından farklı olarak bu modüler sistemli mukarnas örtülerin her katmanında aynı birimler yer almaktadır (Castera, 1999). Castera (1999) Fas'ta yapılmış uygulamalar üzerinde belirlediği yöntem ile bazı mukarnas uygulamaları geometrik desen tasarımlarındaki değişmez kurallar yerine mukarnas tasarım sürecinde tasarımcıların 'müdahaleler' ile daha serbest tasarımlar ortaya koyduğunu analiz etmiştir.



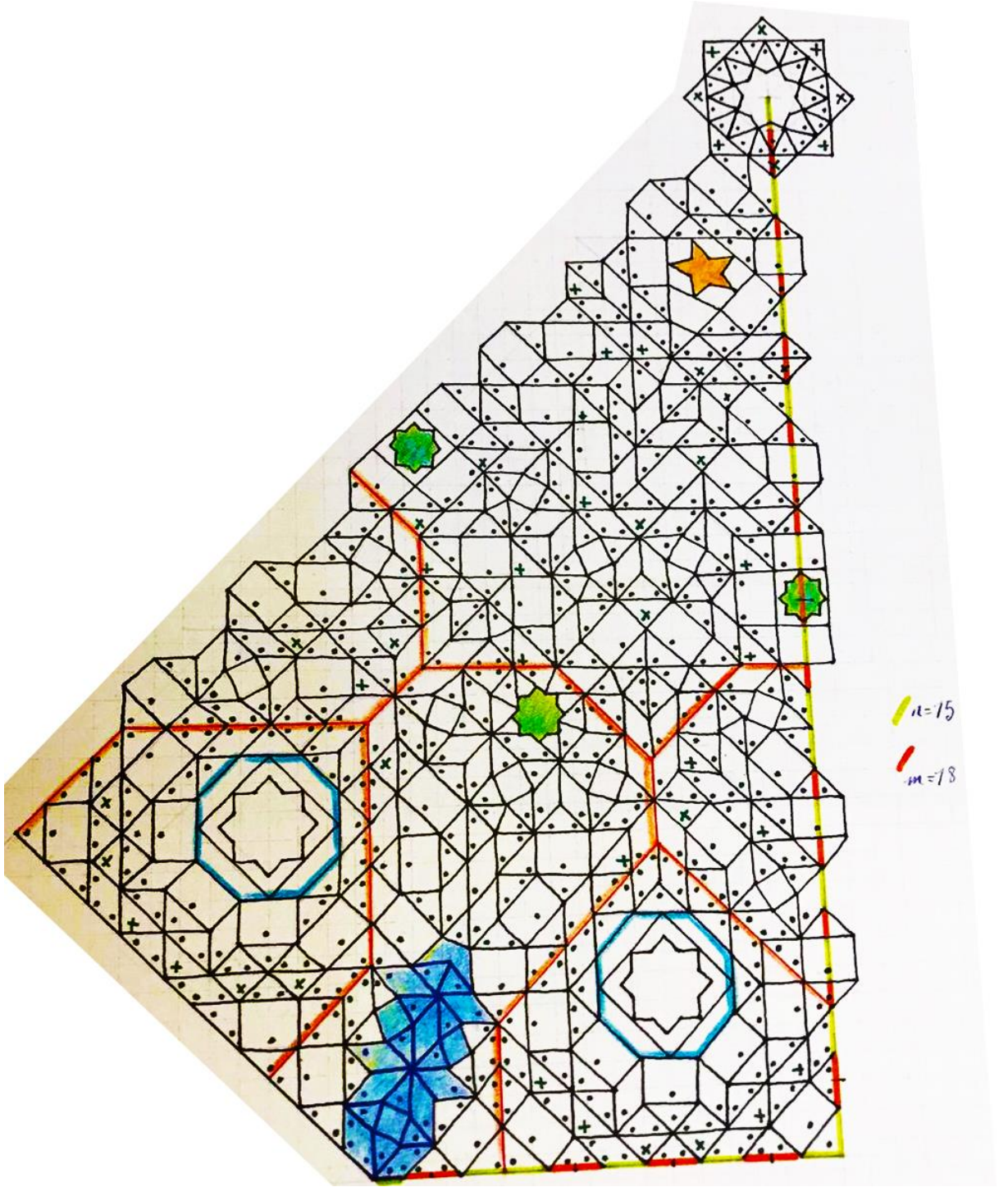
Şekil 4.25. Birimsel, tessellasyon ve blok sistemine dayalı mukarnas üretim metodu (Dinçer ve Yazar, 2021)



Şekil 4.26. Mukarnas geometrik kurgu birim sayısı hesaplama yöntemi (Castera, 1999)



Şekil 4.27. Mukarnas geometrik kurgu analizi (Castera, 1999)



Şekil 4.28. Elhamra Sarayı kubbe mukarnası geometrik kurgu analizi (Castera, 1999)

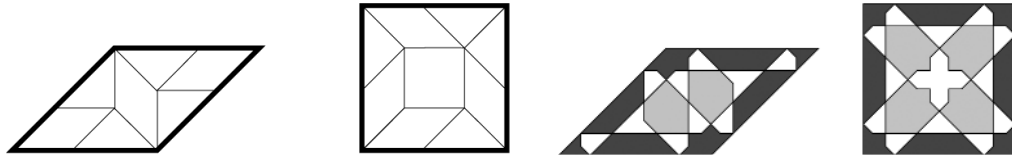
Sekizgen bir mukarnas izdüşüm planı 45° lik parçasında $|AB|$ kenarı üzerinde yerleşen baklava ya da kare kenarı $n = \sqrt{2}$, karenin köşegenin yarısı m , $|BC|$ kenarı üzerinde yerleşen baklava ya da karenin kenarı $p = \sqrt{2}$, karenin köşegenin yarısı q

olmak üzere, $|AB| = n\sqrt{2} + m$, $|BC| = p\sqrt{2} + q$ olacak şekilde belirlenmektedir. $|BC| = |AB| \cdot \tan 30^\circ$ ve $\tan \frac{\pi}{8} = \sqrt{2} - 1$ olduğuna göre $p\sqrt{2} + q = (n\sqrt{2} + m) \cdot (\sqrt{2} - 1)$ dir (Şekil 4.26). Buna göre p değeri m-n, q değeri ise 2n-m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 4.27’de n değeri 5, m değeri ise 7 şeklinde hesaplanmıştır. Buna göre sekizgen kenarın yarısında kullanılacak birimler için p değeri 2, q değeri 3 olmalıdır. Elhamra Sarayı kubbe mukarnası geometrik kurgusu gibi bazı örneklerde bu kuralların geçerli olmadığı görülmektedir (Şekil 4.28). Sekizgen mukarnas geometrik kurgusu iç teğet çemberi yarıçapı üzerinde n değeri 15, m değeri 18 olarak hesaplanmıştır. Buna göre p değerinin 12, q değerinin 3 olarak hesaplanması gerekirken 6 ve 8 birim şeklinde yerleştirildiği gözlenmiştir. Bu sebeple tasarımcının Şekil 4.28’de mavi ile işaretlenen alanda farklı birimler ekleyerek geometrik kurguda ustalıkla müdahaleler yaptığı düşünülmektedir (Castera, 1999).

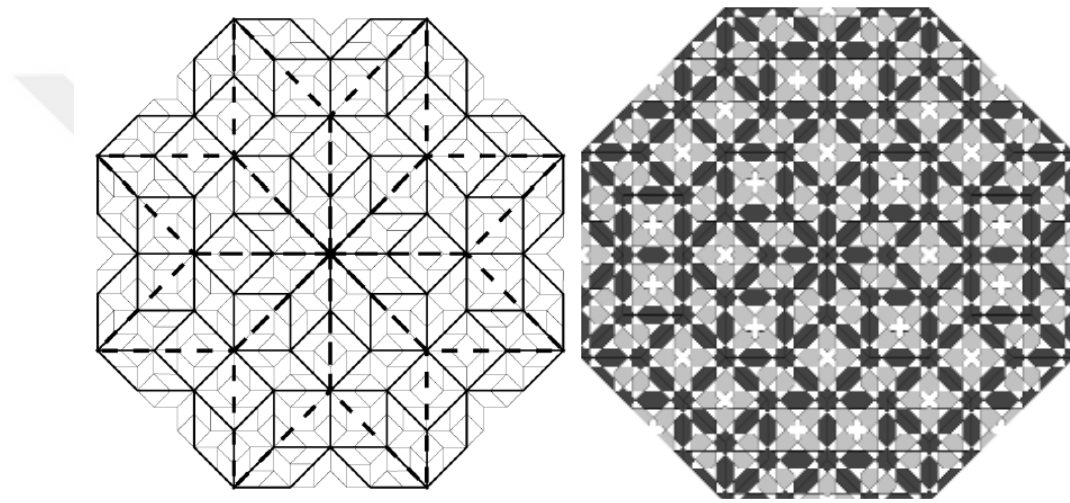
Castera’nın (URL-2) Abu Dabi’de tasarladığı kare baklava birimler ile tesselayon dayalı daha basit formlar ile kurulmuş mukarnas ve zellij tasarımlarında ele aldığı periyodik olmayan kaplama sistemlerinden biri enflasyon yöntemi ile çoğalma prensiplerine bağlıdır. Bu yöntemde bahsedilen enflasyon kuralı için gerekli kare ve eşkenar dörtgen birimleri aslında Ammann-Beenker A5 kaplama sisteminde yerine koyma metodu ile üretilen *süper karolar*dır (Ammann ve ark., 1992) (Şekil 4.29). Süper karo sistemi ile enflasyon kaplamalar sonsuz sayıda çoğalmaktadır. Sekiz kollu yıldız ile kurulu mukarnas sistemlerinde kare ve eşkenar dörtgen kullanımı ile yapılan kaplamalar hem periyodik hem de periyodik olmayan şekilde üretilmektedir. Castera, aynı kaplama sistemi ile hem zellij tasarımı hem de mukarnas kubbe tasarımı uygulaması yapmıştır (Şekil 4.30), (URL-2).

Takahashi’nin (URL-1) Kutuplu Tip, Uluengin’in (2018) Sıradışı Kuruluş ve Ödekan’ın (1977) Tip 5 olarak değerlendirdiği mukarnas izdüşüm planı geometrik kurguları, kare-baklava modüler birimleri ile oluşan klasikleşmiş Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas kurguları dışında farklı ve eş olmayan kol sayısına sahip yıldızların dilimlenmesi ve yerleşimi ile kurulan sistemlerdir. Osmanlı Devleti Klasik dönemi olarak bilinen Mimar Sinan dönemi (1501- 1703) mukarnas geometrik kurgularının bazılarında periyodik olarak üretilen İslami geometrik yıldız kaplama desenlerine benzer sistemler bulunmaktadır. Şekil 4.31’de Uluengin (2018) periyodik üretilmiş bir İslami geometrik desen üzerinde belirlediği *abcç* dikdörtgeninin İstanbul Süleymaniye Camisi ve Konya Selimiye Camisi taç kapı mukarnasları, *adef* dikdörtgeninin İstanbul

Beyazıt Camisi avlu batı kapısı ve Edirne Selimiye Camisi taç kapı mukarnasları, *ghui* karesinin sütun başlığı mukarnası, *jklmno* ve *öprstu* yarım altıgenlerinin mihrap mukarnası ve *xvyz* dörtgeninin ise şerefe altı mukarnas geometrik kurgusu olduğunu tespit etmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.29. Mukarnas izdüşüm planı ve zellij tasarımı için kullanılan karolar (URL-2)

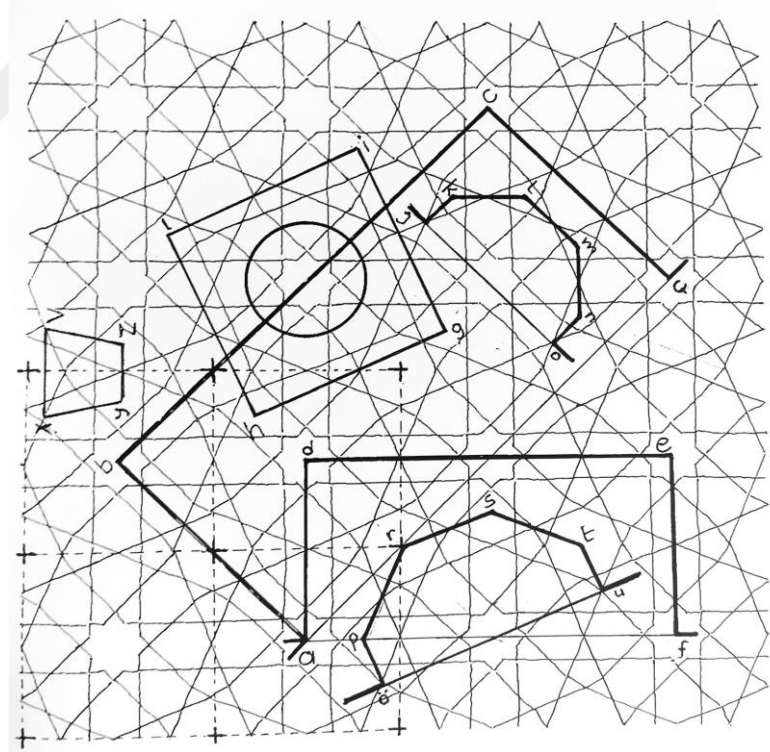


Şekil 4.30. Karolar ile üretilen mukarnas izdüşüm planı ve zellij tasarımı (URL-2)

Ağırbaş (2020; 2022), Osmanlı Devleti geometrik kurgusuna sahip mukarnas örtülerinin çözümlerini kare ızgara, ağ ızgara ve elips altlıklar üzerinden kural bazlı formlar ile üretmiştir. Çalışmada incelenmiş mukarnas tasarımları 1540 ve 1583 yılları arasında yapılmış Mimar Sinan dönemi camileri uygulamalarıdır. Kare ızgara sistemi ile üretilen mukarnas geometrik kurgusu ızgaradaki kesişim noktalarında belirlenen eş çemberlere bağlı kurallar dizilimi ile gerçekleşmektedir. Çemberlerin merkezinden $22,5^\circ$ ve 45° lik akslar üzerinde sekiz köşeli yıldızlar çizilmiştir. Çemberlere ve ızgara sisteminin dik akslarına teğet küçük çemberler 45° lik açı ile oluşan alanlara yerleştirilerek 5 köşeli yıldızlar elde edilmiştir. 5 köşeli yıldızların kolları arasında yerleşen yarım 3 köşeli yıldızlar ve merkez çemberlerden üretilmiş olan yeni desenin her birinin ortasında 5 köşeli yıldız köşelerinde birleştirilmiş 4 köşeli yıldızlar üretilmiştir. Oluşan sistem mukarnas geometrik kurgusu şeklinde düzenlenerek

mukarnas birimlerini oluşturan çizgiler ile izdüşüm planı elde edilmiştir (Şekil 4.32) (Ağırbaş ve ark., 2022).

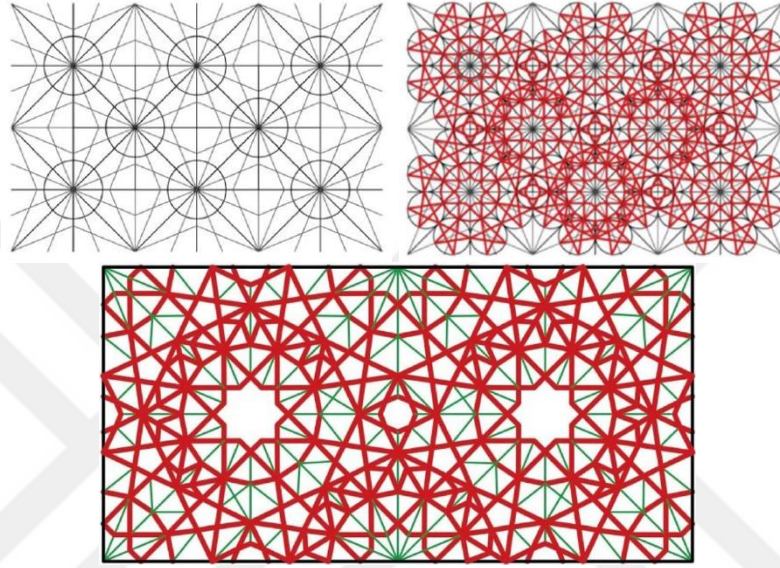
Bir diğer geometrik kurgu çözümlemesinde izdüşüm planı geometrik kurgusu 15° ve 30° lik ışınal akslar ve eş aralıklı ağ ızgara sistemi ile yapılmıştır. Akslar üzerinde 12'şer nokta belirlenerek 12 köşeli yıldız oluşturulmuştur. Izgara sisteminde yerleştirilen çemberler yıldız kollarına ve ızgara sistemine teğet şekilde beş köşeli yıldızları meydana getirmektedir. Benzer biçimde ızgara sistemi üzerine yerleştirilen dört köşeli yıldızın çemberi 15° ve 30° lik akslar ve 5 köşeli yıldızların üst köşelerine teğettir. Aynı kural beş ve altı köşeli yıldızların ızgara sisteminde belirlenen noktalara çemberler içinde yerleştirilmesi ile devam ettirilmiştir. Burada eklenen yeni yıldız kollarının birbirine eş olmadığı dikkat çekmektedir. Sistemin ilk aşamalarında birbirine eşit uzunlukta noktalara yerleşen yıldız kollarının, sonraki aşamalarda ağ ızgara sistemi sayesinde farklı noktalar üzerinde belirlenerek üretiminin gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 4.33) (Ağırbaş ve ark., 2022).



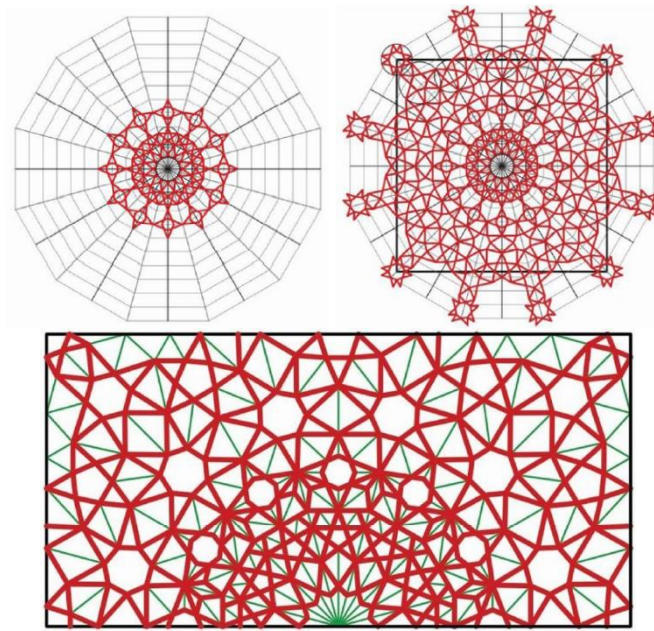
Şekil 4.31. İslami geometrik desen analizi üzerinden türetilen mukarnas geometrik kurguları (Uluengin, 2018; Ağırbaş ve ark., 2022)

Ağ ızgara sistemine benzer bir geometrik kurgu ile düzenlenmiş mukarnas izdüşüm planı tasarımları için $22,5^\circ$ ve 45° lik akslar üzerinde elipsler üretilerek bir

altlık olarak değerlendirilmiştir. Ana elips üzerinde belirlenen iki kesişim noktasından 8'li dönel simetri uygulanarak ikinci bir elips altlık kurgulanmıştır. Bu sistemde her bir elipsin kesişim noktası bir yıldızın köşesini belirlemektedir. Oluşan köşe noktalarından çizilmiş kenarlar ile eş kollu olmayan yıldızlar elde edilmiştir. Sistemin geometrik kurgusu tamamlandığında mukarnas örtü ölçüleri üzerinde mukarnas birim çizgileri çizilerek mukarnas izdüşüm planı elde edilmiştir (Şekil 4.34) (Ağırbaş ve Yıldız, 2020).

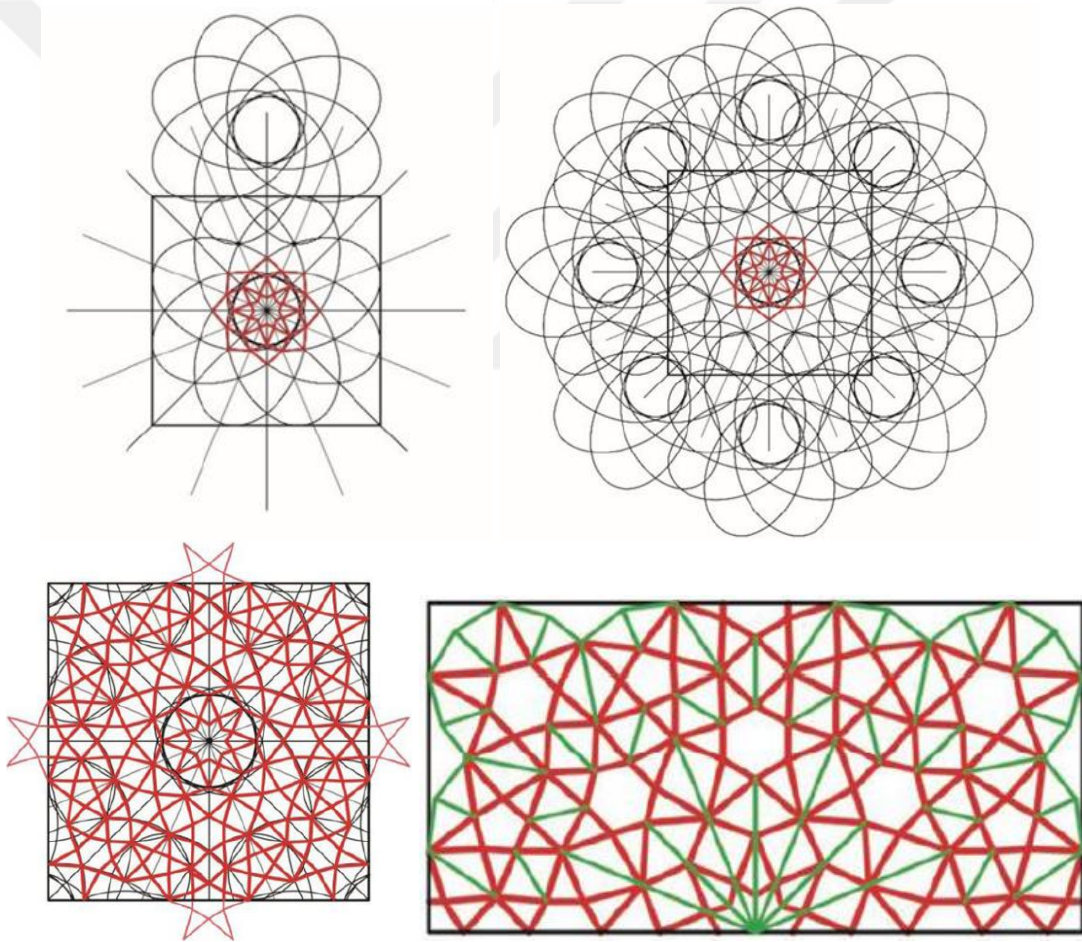


Şekil 4.33. Kare ızgara geometrik kurgu çözümlemesi (Ağırbaş ve Yıldız, 2020; Ağırbaş ve ark., 2022)



Şekil 4.33. Ağ ızgara geometrik kurgu çözümlemesi(Ağırbaş ve ark., 2022)

Klasik Osmanlı Devleti Sinan dönemi (1501- 1703) mukarnas izdüşüm planı uygulamalarının Timur Devleti ve sonrası dönemlerde uygulanmış farklı köşeli yıldızlar kullanılarak tasarlanmış mukarnas uygulamalarına göre daha sistematik bir işleyiş üzerinden ilerlediği sonucuna varılmıştır. Türkmenistan-Özbekistan-İran'da görülen Timur Devleti ve sonrası Safeviler döneminde daha karmaşık plan şemaları ile kullanılan mukarnas uygulamaları, Topkapı parşömeninde yer alan mukarnas planları ile benzer sistemlere sahiptir. El-Kaşi bu mukarnas plan tiplerini Şiraz mukarnası olarak adlandırırken, dönel (radyal) simetri ile yerleşen bu plan tiplerinde beşgen, altıgen şeklinde çeşitli çokgenlerin düz yüzey birimleri olarak kullanılarak kavisli mukarnas birimleri ile birleştirildiğinden bahsetmiştir (Özdural, 1990; Necipoğlu, 1996).



Şekil 4.34. Elips altlık ile üretilen geometrik kurgu çözümlemesi (Ağırbaş ve Yıldız, 2020)

Dönel simetrik mukarnas izdüşüm planlarının ilk uygulamaları 13.yy ikinci yarısı Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas plan şemalarında görülmüştür. Beşgen, altıgen ve yedigenler barındıran izdüşüm planlarında yer alan bu çokgenler, Anadolu

Selçuklu Devleti ilk mukarnas örneklerinde de bulunan kısa püsküllere benzer biçimde birimler oluşturmaktadır. Kısa püsküller, Klasik Osmanlı Devleti mukarnas planlarında yer alan köşeli yıldız formlarında kullanılmış püskül uygulamalarının öncüsü niteliğindedir. Bu sebeple Anadolu Selçuklu Devleti ikinci yarısında uygulanmış mukarnas planları aynı zamanda Şiraz mukarnaslarına da öncülük etmiştir (Özdural, 1990).

4.3. Mukarnas Birim-Blok Analizleri

Mukarnas izdüşüm planı geometrik kurgusu tasarlanırken ortaya çıkan desenlerin ya da birimlerin eş zamanlı olarak üçüncü boyutta biçimlenişleri de belirlenmektedir. Mukarnas tasarım-yapım süreci ile ilgili bilinen ilk yazılı kaynak 15.yy yaşamış matematikçi ve gökbilimci Gıyaseddin Cemşid Mesud el-Kaşi tarafından yazılmıştır. El Kaşi'nin 1487'de tamamladığı ikinci kitabı Miftah el Hisab'da (Aritmetiğin Anahtarı) mukarnas birimlerinin tasarım-yapım hesaplamalarından bahsettiği bir bölüm bulunmaktadır. Mukarnas birim oranları, terimler ve ifade biçimi kapsamında önemli bilgiler içeren kitapta mukarnasın yapım tekniğine dair yalnızca 'kavislendirme yöntemi' anlatılmıştır. Mukarnas yapım aşamasında gözlemlendiği hesaplama sistemlerini ele alan El-Kaşi basit, çamurdan, kavisli ve Şiraz mukarnası olmak üzere dört farklı mukarnas tanımı yapmıştır. Bahsi geçen bu mukarnas sınıflandırmaları Timur Devleti ve öncesi İran-Türkistan bölgesi tuğla ya da alçıdan yapılan mukarnas öğeleri üzerinedir (Dold-Samplonius, 1992). Mukarnas bölümlerinin ifade edildiği bu eserde terminolojinin anlaşılması ve kare-baklava gibi Anadolu Selçuklu Devleti ve diğer dönem mukarnas sistemlerinde benzer şekilde kullanılmış birimlerin yüzey taban kenarları hesaplamaları üzerinden değerlendirilmesinde fayda sağlamaktadır. El-Kaşi'nin tanımlamasına göre

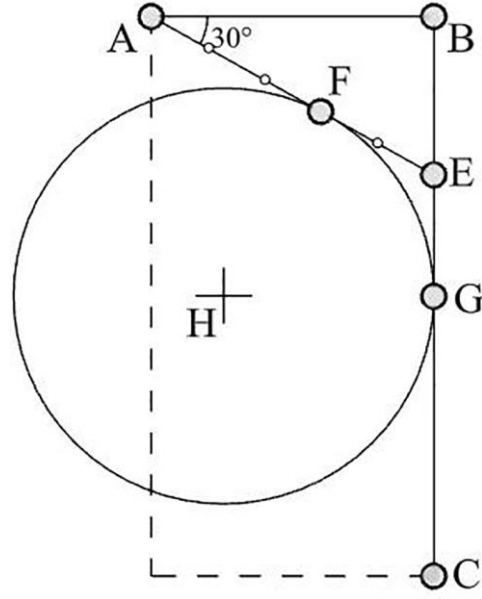
'Mukarnaslar düzlem ve kenarlarıyla kırılarak yükselen bir tavadır. Her kenar yanındakiyle dik, yarım dik veya bir buçuk dik açı yaparak kesişir. İki düzlem ve tavanının oluşturduğu birime yuva adı verilir. Yatay düzlemdeki en uzun kenar mukarnas ölçeği olarak kabul edilir. Basit mukarnaslarda yuvalar yalnızca baklava-benzeri ve dikdörtgenlerden oluşur. Tavanlarında ise şu şekiller bulunur: kare, baklava, badem, yarım-kare, yarım-baklava, iki-bacaklı (badem-tamamlayan da denir) ve arpa-tanesi. Kare, baklava, iki-bacaklının uzun kenarı, yarım-kare ve yarım-baklavanın bacağı ve arpa-tanesinin kısa kenarı birbirlerine ve hepsi mukarnas ölçeğine eşittir.

Karenin kenarı = 1 ise; bademin veya tamamlayanın kısa kenarı = 0,414214; yarım baklava = 0,765367.'

(Özdural, 1990). Basit mukarnas birimleri kare-baklava modüler sistemlerine el-Kaşı'nın bahsettiği diğer mukarnas türlerinden daha çok benzemektedir. Harmsen (2006), el-Kaşı'nın birim tanımlamalarını bir araya getirerek 1 birimlik ölçü üzerinden kenar hesaplama yöntemi şeklinde belirlemiştir.

Düzlemde belirlenen birimlerin üç boyuta aktarım aşamasında kavisli ve arka yüzeyleri kendi aralarında 45° , 90° ya da 145° açılar ile birleşecek biçimde 'yuva'lar oluşturmaktadır. Yuvaların arasında oluşan boşlukları dolduran mukarnas birimleri ise 'ara eleman' olarak ifade edilmiştir. El-Kaşı'nın açıkladığı mukarnas öğelerinde, yuva birimleri kavisli yüzeylerinin uç noktalarından, ara eleman birimleri ise arka dik yüzeylerinden kesişerek oluşmaktadır (Harmsen, 2006). Harmsen (2006), yuvaların ve ara elemanların birleşim yönelmelerini vektörler ile ifade ederek dik ve kavisli yüzeylerin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır.

Orta Asya ve İran'da İlhanlı ve Timur Devleti sonrası çini mukarnas sistemlerinin yapımında klasikleşmiş mukarnas uygulamaları gibi yatay bir kademelendirme sistemi mevcuttur. Yatay kademeler birbirlerine dikey çubuk parçalar ile bağlanmıştır. Belirlenmiş yatay bir düzlem üzerine yerleştirilen birimlerin her biri ayrı parçalar şeklinde, demir çubuk donatılar ile hem birbirlerine hem de uygulandıkları duvarlara sabitlenmektedir. Çini mukarnas birimleri yalnızca kavisli yüzeylerden meydana gelmektedir. Bu sebeple izdüşümde yer alan geometrik birimler yüzeye dönüştürülürken yalnızca belli bir açı ile kavislendirilerek yerleştirilmiştir. Birimlere işlenen kavisli yüzey, oluşacak yuvanın yüksekliği ve genişliği üzerinden yapılan el-Kaşı'nın Miftah el Hisab'ta açıkladığı hesaplamalara dayanmaktadır. El-Kaşı'ya göre, yuvanın genişliği $|AB| = 1$ birim kabul edildiğinde, yükseklik $|BC| = 2|AB|$ olmalıdır. A noktasından $|BC|$ üzerinde bir noktaya 30° lik açı ile bir doğru parçası çizilmelidir. Çizilen doğru parçası $|AE|$ beş eşit parçaya bölündüğünde F noktası $2|AF|=3|FE|$ eşitliğini sağlayan noktaya yerleşmelidir. $|FE|$ ile eş uzunlukta $|EG|$ belirlenerek F ve G noktasına teğet H merkezli bir çember çizildiğinde oluşan FG yayı ile AFGC kavisli yüzey çizgisi meydana gelmektedir (Şekil 4.35) (Dold-Samplonius, 1992; Dinçer ve Yazar, 2021).



Şekil 4.35. Kavisli yüzey çizgisi hesaplama yöntemi (Dold-Samplonius, 1992; Dinçer ve Yazar, 2021)

İran, Özbekistan ve Türkmenistan'da farklı dönem mukarnas uygulamaları farklı şekillerde adlandırılmıştır. Tonoz-bingilerde strüktürel görev üstlenen tuğla nişler *patkan* olarak nitelendirilirken, asıl mukarnas tasarımlarının dekoratif amaçlı yapılan patkanlar sonrası 13.yy'da görülen *Fars Mukarnası* olduğu belirtilmiştir. Günümüzde İran'da uygulanan mukarnas tasarımları dekoratif amaçlı çini birimlerin asma çubuklar ile hem birbirlerine hem de taşıyıcı duvarlara sabitlenmesi ile yapılmaktadır (Şekil 4.36). El-Kaşi'nin Miftah el-Hisab'ta Şiraz mukarnası olarak değindiği çok kollu yıldızlar ve farklı birimler kullanılarak tasarlanmış Fars mukarnası uygulamaları, 15.yy-16.yy Safeviler döneminde daha karmaşık tasarımlar ile üretilmiştir. Bu mukarnas birimleri *Shamseh*, *taseh*, *toranj*, *shaparak*, *parak*, *tee*, *espar* and *takht* olarak isimlendirilmiştir (Kazempourfard, 2014). El-Kaşi'nin badem, arpa tanesi ve baklava şeklinde adlandırdığı mukarnas birimleri Fars mukarnasında *toranj* olarak ifade edilmektedir. Arpa ve badem tamamlayan (uzun ve kısa iki bacaklı) olarak adlandırdığı birimler ise Fars mukarnasında *shaparak* olarak adlandırılmıştır. Şiraz mukarnası izdüşüm planında görülen beşgen, altıgen gibi çokgen birimlerinin, boyutlandırılmadan yatay düzlemde aktarıldığı şekilde kullanıldığı birimler ise günümüzde *takhts* olarak adlandırılmıştır (Şekil 4.37), (Kazempourfard, 2014). Takhts birimlerinin ilk örneklerinin 1300'lü yıllar olduğu belirtilse de, Anadolu Selçuklu Konya Sahip Ata Camisi (1260-61) ve Sivas Gök Medrese (1271) taç kapı mukarnas izdüşüm planları incelendiğinde Şiraz mukarnasından önce benzer çokgen birimlerin püskül formları

şeklinde kullanıldığı bilinmektedir (Özdural, 1990). Şiraz mukarnaslarını diğer mukarnas uygulamalarından ayıran en önemli özelliği yalnızca dekoratif olarak asma çubuklarla desteklenmiş çini mukarnas birimlerden kurulmasıdır.

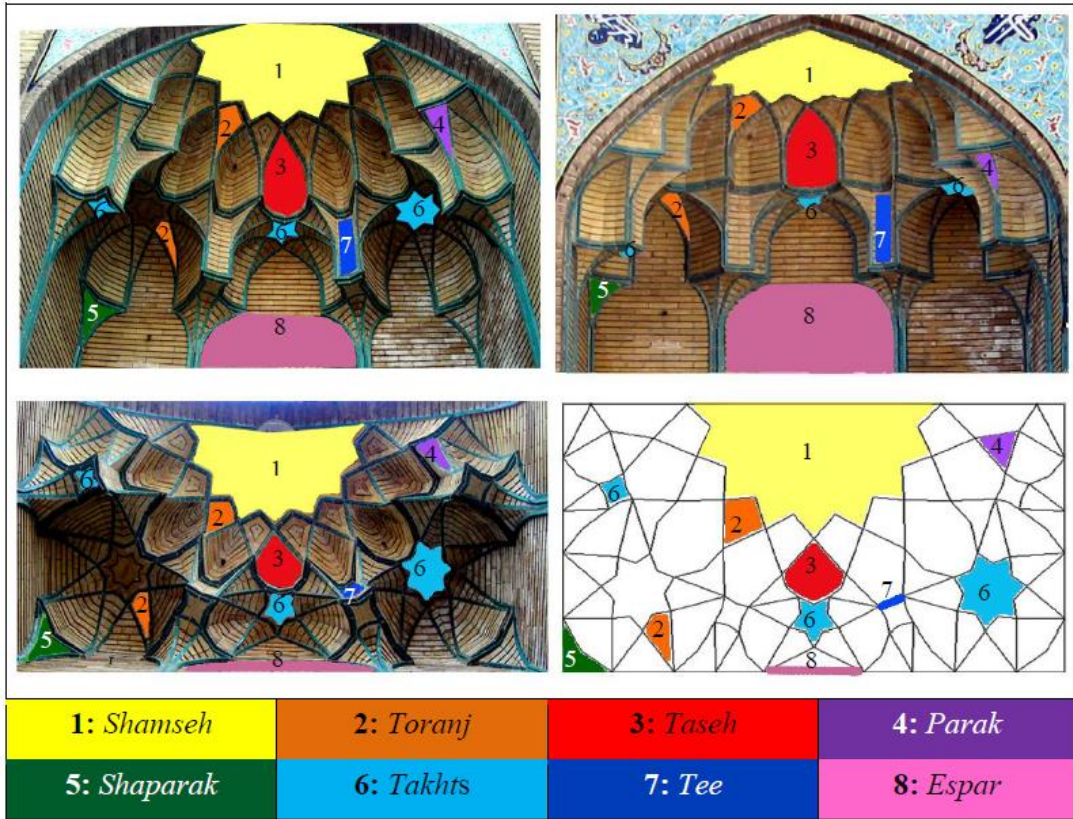


Şekil 4.36. Fars mukarnası yapım aşamaları (URL-58)

El-Kaşi'nin *basit mukarnas* olarak sınıflandırdığı mukarnaslar, tepe noktasında sekiz kollu yıldız yerleştirilmiş kare-baklava modüler birimleri ile kurulan izdüşüm planı sistemi temel mukarnas tasarımlarına benzemektedir. Bu örnekler Kuzeybatı Afrika, Sicilya, Türkiye ve Suriye 12.- 13.yy yapıları mukarnas uygulamalarında sıkça rastlanılmıştır. Kuzeybatı Afrika ve Sicilya'da yapılmış ilk mukarnas örneklerinde hem alçı hem de ahşap malzeme kullanılmıştır.

12.yy'da yapılan ahşap mukarnaslı Palantin Şapeli kubbesinin yapım sürecinde mukarnas birimleri taş mukarnas yapım tekniğinde kullanılan blok birimler ile dizilmektedir. Ahşap malzeme kullanılarak yapılan mukarnas uygulamalarında ön

yüzey ve ön yüzeylerin birbiri üzerine binerek desteklemesini sağlayan arka yüzeyler bulunmaktadır. Geometrik kurgusunda kare-baklava birimlerinin ana hatları üzerinde yerleşen ahşap parçaların arka yüzeylerinde de dikey sisteme uygun şekilde düzenlendiği görülmektedir (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39). Benzer bir yapım sürecinin Zisa Sarayı taş mukarnas uygulamasında da bulunduğu düşünülmektedir (Şekil 4.40). Her iki Sicilya yapısında yer alan kare-baklava mukarnas birimleri, İslam Ansiklopedisi'nde 12.yy sonrası 'batı mukarnası' olarak açıklanmış *mukarbas* birimlerinden farklıdır (Fernandez-Puertas, 1993). Kuzeybatı Afrika ve Endülüs bölgesinde 12.yy sonrasında görülen alçı mukarnas birimleri en altta yerleştirilmiş kademelinin duvara sabitlenmesi ve dikey yönde ilerleyen bir kademelendirme sistemi ile birleştirilmektedir (Gonzalo ve Alkadi, 2018).



Şekil 4.37. Fars mukarnası birim analizi (Kazempourfard, 2014)

Kuzeybatı Afrika bölgesi mukarnas tasarımlarında kullanılan birimler uygulandıkları her dönemde gelişim göstererek farklı örneklerle dönüşmüştür. Çalışmanın bu aşamasında İslam Ansiklopedisi'nde yer alan birim yorumlamaları üzerinden genel bir değerlendirme yapılmıştır (Fernandez-Puertas, 1993). İncelenen bu

birimler tarihsel gelişim sürecinde ölçüleri kısaltılmış ve farklı formlara evrilmiş biçimde kullanılmaya devam etmiştir (Haddad, 2019). Batı mukarnası birimleri *jairas* olarak tanımlanmış dört temel prizma bloktan oluşmaktadır. Dikdörtgen tabanlı prizmanın taban kenarlarından kısa kenar 1 birim, uzun kenar $\sqrt{2}$ birim iken, diğer üç prizma bloğunun 90° , 45° ve 135° lik kısa kenarı 1 birim ve uzun kenarı $\sqrt{2}$ birim olan ikiz kenar üçgen tabanlıdır. Prizmaların tabanında yer alan dikdörtgen ve üçgenlerin 1 birimlik kısa kenarları yedi eşit parçaya ayrıldığında $1/7$ 'lik parçası kavisli yüzeyin kalınlığını veren *patilla* parçasıdır. $6/7$ 'lik kısımda çeyrek bir çember yayı çizilerek mukarnas biriminin *guillillo* kavisli yüzeyi belirlenmektedir. Dikdörtgen ve üçgen tabanlı bu prizmalardan 18 farklı mukarnas birimi üretilmektedir. Üretilen prizmaların yedi tanesi birincil prizma olarak belirlendiğinde dört prizmada *guillillo* tabanın uzun kenarından kısa kenarlarının kesişim noktasına doğru kavislendirilirken (Şekil 4.41; 6-9), üç prizmada kısa kenarlarının kesişim noktasından uzun kenarlarına doğru kavislendirilmiştir (Şekil 4.41; 10-12). İkincil prizmaların üçünde uzun kenarlarından kısa kenarların kesişim noktasına doğru kavislendirilmiş iki *patilla* parçası oluşturulmuştur (Şekil 4.41; 13-15). Diğer dört prizma ise birbirine paralel iki *guillillo* kavisli yüzeyinden meydana gelmiştir (Şekil 4.41; 16-19). Hazırlanan prizmatik birimler birbirlerine birer birimlik yüzey kenarlarından eklenerek dikey yönde dizilmektedir. Üst üste kademelendirilen birimlerin aralarında $1/7$ 'lik mesafe bulunmaktadır (Şekil 4.41; 20-21) (Fernandez-Puertas, 1993).

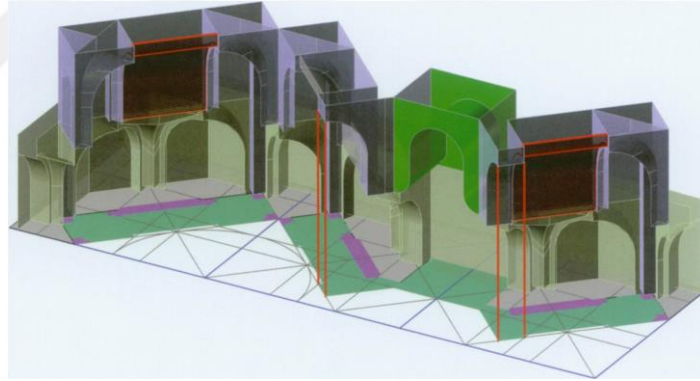
Anadolu Selçuklu Devleti (1075-1308) ve Zengiler dönemi (1127-1250) ile başlayan taş mukarnas yapımında malzeme kaynaklı farklı uygulama teknikleri bulunmaktadır. Taş mukarnasın yapım sürecine dair yapılan çalışmalar genellikle ön yüzeylerdeki bezemelerin biçimlenişleri üzerinedir. Fars mukarnası uygulamalarında izdüşüm planında belirlenen birimler üçüncü boyuta birebir aktarılmaktadır. Kuzeybatı Afrika-Endülüs ve Fars mukarnası tasarımlarında izdüşüm planında belirlenen her bir birim ayrı ayrı parçalara işlenmektedir. Fakat taş mukarnas blokları yapının taşıyıcı sistemi ile de bağlantılıdır. Bu nedenle taş mukarnas izdüşüm planı yalnızca blokların ön yüzeyindeki desenlerin üçüncü boyuta aktarımı hakkında bilgi vermektedir. Taş bloklara işlenecek birimler ya da birim grupları ve blokların taşıyıcı sistemle birlikte örülmesi tasarımcı ya da mukarnas ustasının belirlediği bir aşamadır (Şekil 4.42).

Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas birimleri, yapıldığı dönem ve bölgelerdeki mukarnas tasarımları ile karşılaştırıldığında daha sistematik ve olgunlaşmış tasarım

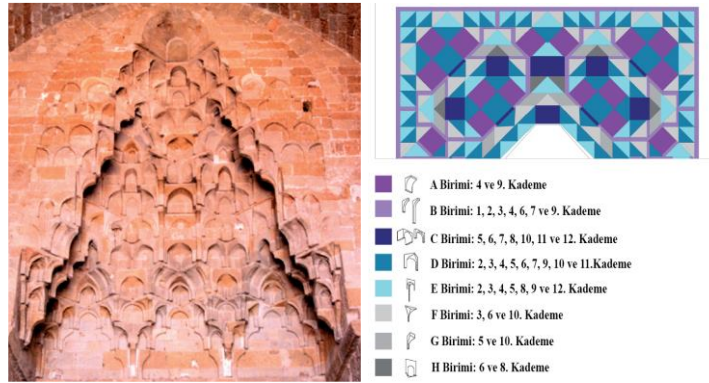
metotlarına sahiptir. Geometrik kurgusunda bulunan baklava-kare birimleri parçalanarak arpa ve badem tamamlayan gibi birimler *yuvalar* ve *ara elemanlar* oluşturmaktadır (Harmsen, 2006). Anadolu Selçuklu Devleti mukarnasında yuva ve ara eleman birimleri *yaprak* ve *kaz ayağı* olarak ifade edilmektedir (Tayla, 2005; Dinçer ve Yazar, 2021).



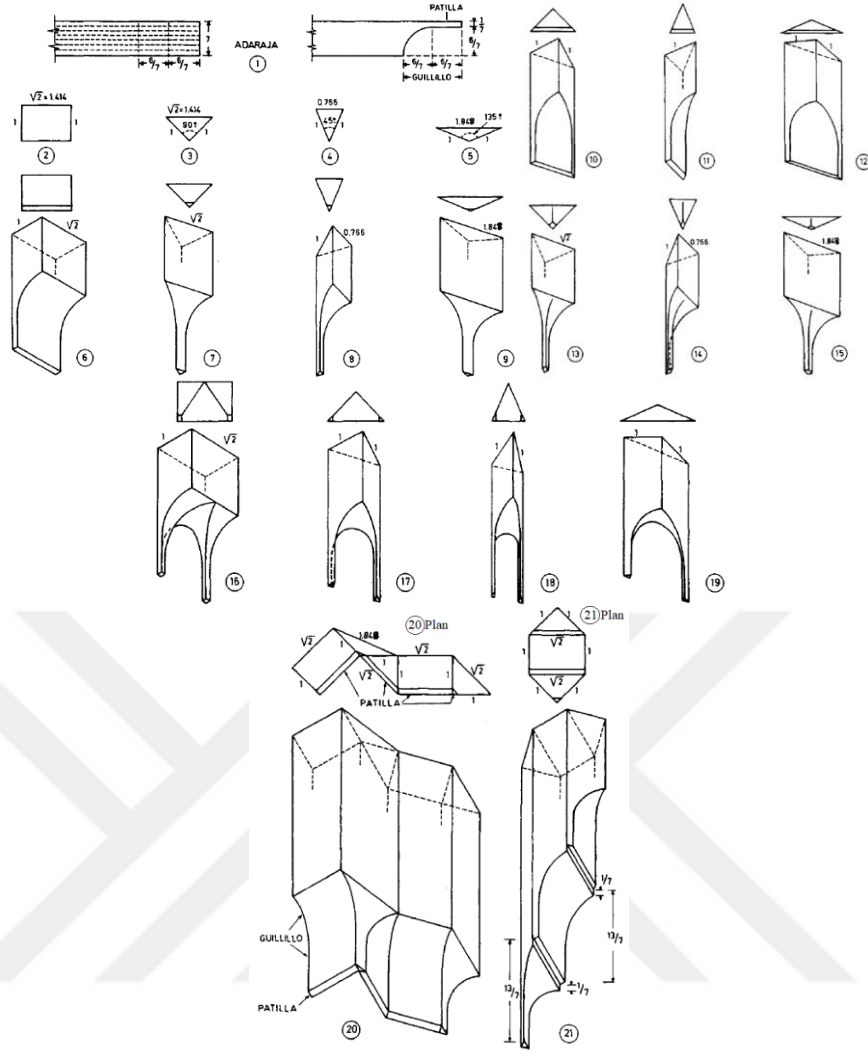
Şekil 4.38. Palantin Şapeli ahşap mukarnas yapım detayları (Agnello, 2011)



Şekil 4.39. Palantin Şapeli ahşap mukarnas 3B model yapım detayları (Agnello, 2011)



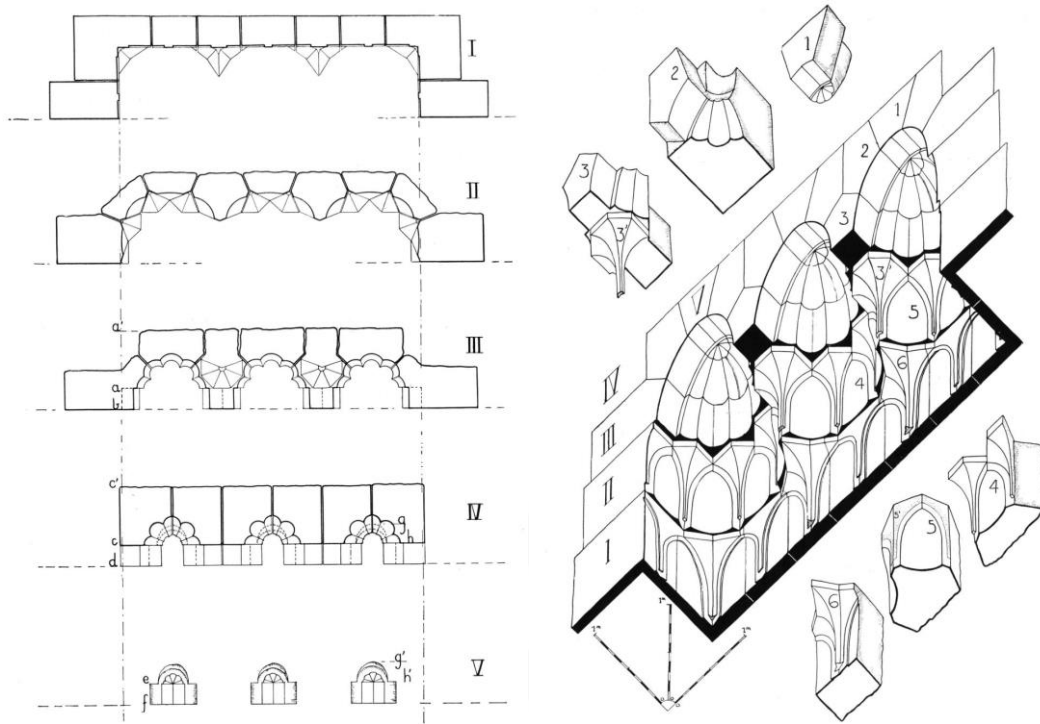
Şekil 4.40. Zisa Sarayı mukarnas geometrik kurgusunda bulunan kare-baklava birimlerin dikey yerleşimi (Garofalo, 2010)



Şekil 4.41. Batı mukarnası birimleri (Fernandez-Puertas, 1993)

Yaprak birimleri El-Kaşı'nın tanımladığı badem ve baklava dilimleri ile kurulurken, bazı durumlarda arpa-badem tamamlayan ya da arpa tanesi birimlerinin bir araya gelmesi ile de elde edilebilmektedir. Kaz ayağı birimleri ise ara elemanlar olarak yaprakların (yuvalar) arasını doldurmaktadır. Arpa tanesi ve iki bacaklılar hem tek birimler şeklinde hem de bir araya gelerek farklı ara eleman kombinasyonları oluşturabilmektedir (Şekil 4.43- a,b,c,d). Yaprak ve kaz ayağı birimlerinin farklı şekillerde kombinasyonları sayısız miktarda birim üretilmesini sağlamaktadır. Yuvalar oluşturan yaprak birimleri, üzerinde farklı desenler işlenerek ya da daha fazla dilimlenmiş biçimde yelpazeye benzer motiflerle süslenmektedir (Ögel, 1966) (Tayla, 2005). Sakkal (1981), yaprak birimleri üzerinde yelpaze benzeri motiflerin dilimlenmelerini gelişim süreci olarak değerlendirmiştir. Anadolu Selçuklu Devleti ilk mukarnaslı taç kapısı olarak kabul edilen Alay Han ve Artuklular dönemi Kasımiye

Medresesi'ne kadar dilimlenme sayıları artırılarak farklı yaprak bezemeler elde edilmiştir (Şekil 4.44).

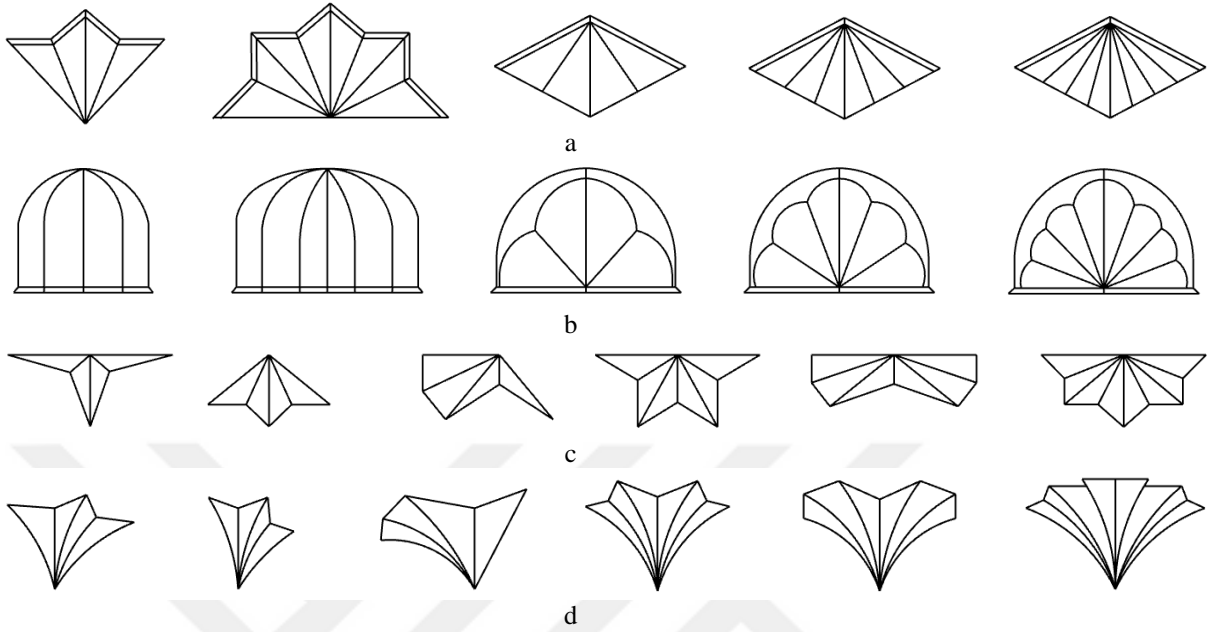


Şekil 4.42. Taş mukarnas blokları strüktürel plan ve aksonometrik çizimi (Écochard, 1937)

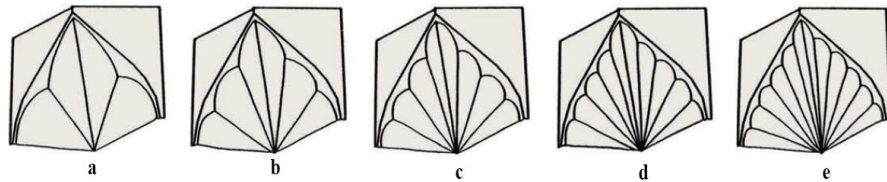
Anadolu Selçuklu Devleti birimleri için kullanılan yaprak ve kaz ayağı terimleri, Fars mukarnası *toranj* ve *shaparak* terimleri ile benzer izdüşüm planına sahip birimlerdir. Erken Osmanlı dönemine geçişte görülen öncü badem formları ise yaprak birimlerinin içi doldurulmuş ve daha keskin hatlara sahip biçimleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Anadolu Selçuklu Devleti'nde Osmanlı Devleti badem uygulaması öncüsü ilk badem örneklerinin Sivas Şifaiye Medresesi (1217) ve Konya Karatay Medresesi'nde (1251) görülmesi, farklı form arayışlarının Anadolu Selçuklu Devleti'nde de olduğunu kanıtlamıştır (Şekil 4.45), (Uluengin, 2018). Benzer form gelişimi kaz ayağı birimlerinde de mevcuttur. Kaz ayağı birimlerinin kavislerinin keskinleştirilmiş fitil birimlerine dönüşerek ara elemanlar olarak kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.46- a, b, c, d).

Bir diğer form gelişimi 135°lik açı ile yerleştirilen iki yaprak birimi arasında oluşan bezemesiz yüzeyler üzerindedir. Bezemesiz yüzeyler kazayağı birimi olarak algılansa da izdüşüm planında birim gibi ifade edilemeyen düz çizgiler şeklinde yorumlanmaktadır. Osmanlı Devleti'nde yaprak birimlerinin daha keskin hatlar ile

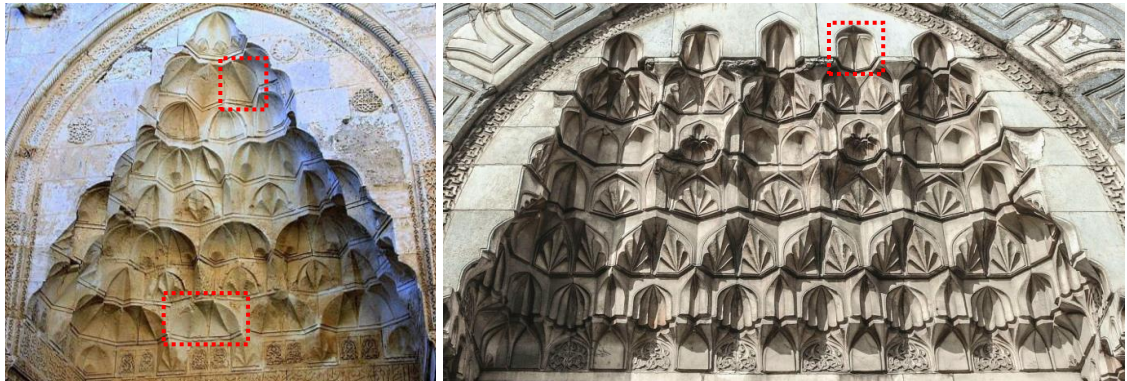
işlenmesi düz çizgilerden oluşan yüzeylerin yerine tasarıma daha bütüncül bir bezeme yaklaşımı sağlayan formların verilmesini sağlamıştır (Şekil 4.47) (Tayla, 2005).



Şekil 4.43. Anadolu Selçuklu Devleti yaprak ve kaz ayağı olası kombinasyonları, **a-** Yaprak birimleri plan izdüşümü, **b-** Yaprak birimleri görünüş, **c-** Kaz ayağı birimleri plan izdüşümü, **d-** Kaz ayağı birimleri görünüş ((Tayla, 2005)'ten yeniden çizim)



Şekil 4.44. Yaprak bezeme gelişimi, **a-** Aksaray Alay Han 1191, **b-** K.Maraş Afşin Ashabı Kehf Hanı 1215, **c-** Afyon Çay Taş Medrese 1280; **d-** Ermenek Tol Medresesi 1337, **e-** Mardin Kasımiye Medresesi 1388 (Sakkal, 1981)

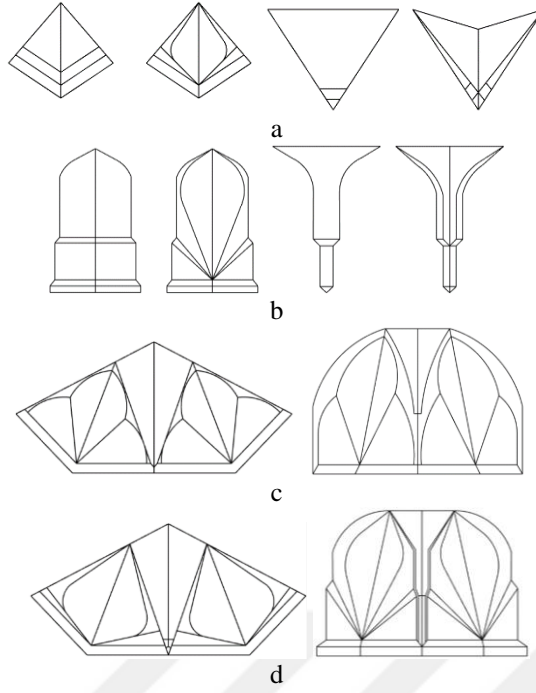


Şekil 4.45. Sivas Şifaiye Medresesi (URL-59) ve Konya Karatay Medresesi (URL-60) öncü badem formları

Osmanlı Devleti badem ve fitil birimleri her mukarnas uygulamasında aynı işleme ve süsleme tekniği ile yapılmıştır. Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamalarının her birinde ustaların yorumladığı farklı yaprak birimi işlemlerine rastlanması mümkündür. Bu sebeple Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlerin işçilik ve uygulama detaylarındaki farklılıklar Osmanlı Devleti uygulamalarına göre daha net şekilde okunabilmektedir.

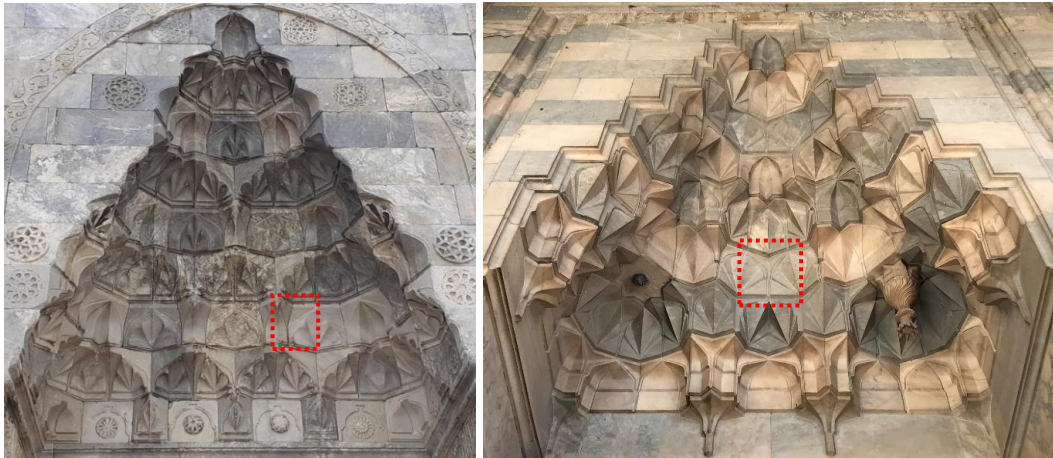
Mukarnas yapım süreci ve yapım ustaları hakkında bazı temel bilgiler üzerinden yorumlamalar yapan Tuncer (2001), yapılarda bulunan mukarnas uygulamalarının tasarımcıları ile yapıyı tasarlayan mimarların aynı kişi olmadığı görüşündedir. Mukarnas yapımının çinici, bezemeci ve kalemkârlık gibi bir zanaat olduğunu, yapan kişilerin tasarımı zihninde boyutlandırma kabiliyetine sahip olması gerektiğini ifade etmiştir (Tuncer, 1986). Öte yandan Tuncer (1986), mukarnas ustalarının yapı ustaları arasında yetişen ve yeteneği olanların bu dalda ustalaşan kişiler olduğu kanısına varmıştır. Bölüm 2.3'te bahsedildiği üzere, mukarnas ustalarının matematik ve astronomi gibi alanlarda çalışan, geometrik desen üretme ve boyutlandırma yeteneğine sahip, ahşap oymacılığı ustası ve taş üzerinde mâil kesim tekniğine benzer teknikler uygulayacak kadar yetenekli hem mukarnas tasarımı hem de yapımı konusunda usta kişiler olduğu düşünülmektedir.

Anadolu Selçuklu Devleti yapılarının en gösterişli ögesi taç kapı tasarım sürecinde, yapının mimarı ile görüşülerek mimarın belirlediği ölçülere uygun bir mukarnas örtüsü eklenmektedir. Mukarnas uygulamaları taç kapı tasarımında süsleme detayı gibi bir algı oluştursa da taç kapıya sonradan eklenen dekoratif bir öge değildir. Mukarnas taş blokları taç kapının ön yüzeyinde dizilirken, arka bağlantılarının duvar dolgusu ile eş zamanlı örülmesi gerekmektedir. Genellikle iki mukarnas kademesi bir sıra beden duvarına sığacak şekilde ayarlanmıştır (Tuncer, 2001). Taç kapı mukarnası yapımında yalnızca montaj aşamasının bir ay süreceğine değinen Tuncer (2001), planlama, taşın temini ve inşaat alanına getirilmesi, kalıpların hazırlanması, yerde kuru montaj ile ilk rötuşlarının yapılması gibi sürecinde dahil olduğu yaklaşık bir buçuk aylık bir sürecin daha eklenmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu sebeple planlanmış bir şekilde ele alınan yapım sürecinde iki- üç aylık bir zaman dilimi mukarnas yapımı için ayrılmalı ve kaba inşaat yapım sürecinin zamanlaması ile uyum içerisinde olmalıdır (Tuncer, 2001).



Şekil 4.46. a- Badem ve fitil birimleri planı, b- Badem ve fitil birimleri görünüşü, c- Yaprak birimleri plan ve görünüşü, d- Badem birimleri plan ve görünüşü ((Tayla, 2005)'ten yeniden çizim)

Mukarnas tasarımındaki her bir taş bloğun alt üst ve iki yan kalıbı bulunmaktadır. Teneke ya da ince kurutulmuş deri malzemeler olabileceğini varsayan Tuncer (2001), izdüşüm planlarını da kendilerince formüle ettikleri küçük kağıtlara çizerek detayları yapım aşamasında uyguladıklarını belirtmiştir. Bu tarz zanaatlarda işin özenli olduğu kadar gizli tutulduğu kanısına varılmıştır. Tuncer'in (2001) bahsettiği kağıtlara aktarılan şematik çizimlerin mukarnasın izdüşüm planlarındaki geometrik desen kurguları olabileceği düşünülmektedir.

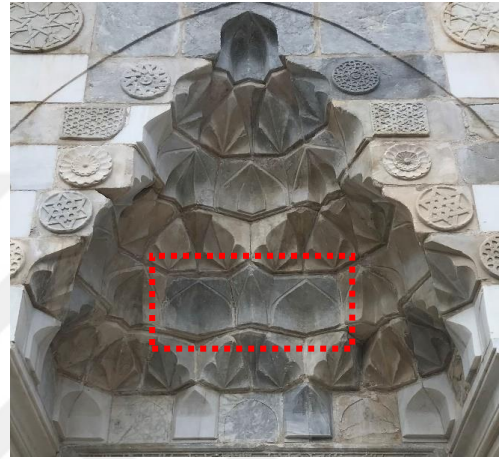


Şekil 4.47. Bezemesiz yüzeylerin dönüşümü (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)

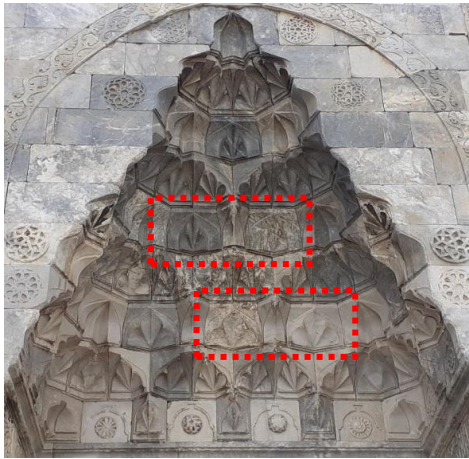
Mukarnas taş blokları, genellikle bölgeye özgü, yerel taşlar ile yapılmaktadır. Bazı yapılarda özel olarak mermer malzeme seçilmiş ve daha az aşınması sebebiyle bu mukarnas öğeleri günümüze kadar sağlam şekilde ulaşabilmiştir. Mermer bloklar malzeme yapısı ile mukarnas örtüde daha düzenli yerleşebilmiştir. Her taş blok yerleşimi mermer blokların yerleşimi kadar düzgün değildir. Bazı mukarnas örtülerde tek bir taş bloğun üzerine yaprak ve birleşimindeki yarım kaz ayağı birimleri işlenmiş, bazı bloklarda birden fazla yaprak ve kaz ayağı birimi bir arada işlenmiştir.



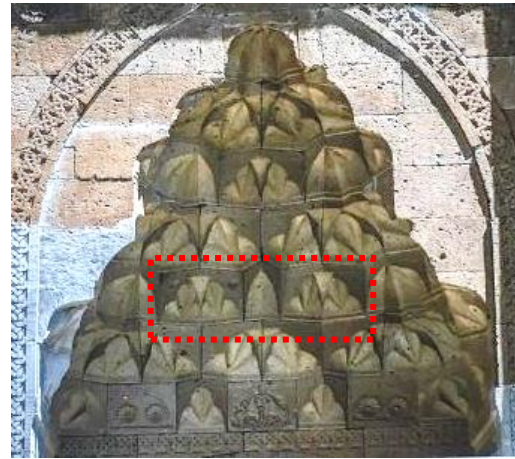
a) Kayseri Hacı Kılıç Camisi
taç kapı mukarnası (URL-61)



b) Akşehir Taş Medrese
taç kapı mukarnası (S.G.Dinçer Kişisel Arşivi,
2021)



c) Aksaray Sultanhanı iç
kapı mukarnası (S.G. Dinçer Kişisel Arşivi,
2019)



d) Alayhan taç kapı mukarnası
(URL-16)

Şekil 4.48. Benzer taç kapı mukarnas örneklerinde aynı mukarnas birimlerinin farklı boyutlarda taş bloklara uygulanması

Benzer geometrik kurguya sahip Kayseri Hacı Kılıç Camisi, Aksaray Sultanhanı iç kapısı, Aksaray Alayhan ve Konya Akşehir Taş Medrese taç kapılarında aynı mukarnas birimlerinin farklı taş bloklar üzerinde yerleştirilmiştir. Aksaray Alayhan taç

kapısı ve Aksaray Sultanhanı iç kapısında her bir yaprak birimi ayrı taş bloğa aktarılmışken, Kayseri Hacı Kılıç Camisi ve Konya Akşehir Taş Medrese taç kapı mukarnalarında birkaç birim bir araya getirilerek tek bir taş bloğa işlenmiştir (Ödekan, 1977; Dinçer, 2021). Bu nedenle taş ustasının mukarnas birimlerini elinde bulunan taşa uygun şekilde değerlendirerek bir ya da birkaç birimin işlendiği taş blokların kullanıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.48- a, b, c, d).

Mukarnas uygulamasında üst üste konumlandırılmış taş bloklar, iki taş bloğun arasındaki derzin alt kademede yerleşen taş bloğun ortasına gelecek şekilde dizilmektedir (Ödekan, 1977). Böylelikle her kademede yerleşmiş blokların derz araları üst üste gelmemektedir. Taş blokların bazılarında yaprak birimlerinin oluşturduğu yuvalar yarım kesilmiş biçimde, bazılarında ise kazayağı birimlerinin oluşturduğu ara elemanlar yarısından kesilerek yerleştirilmiştir. Taş blokların yapım sürecine dair bu tip detaylı aşamaları 2019 yılında tamamlanmış Konya Akşehir Taş Eserler Müzesi restorasyon ve restitüsyon projeleri üzerinden değerlendirilmiştir (Şekil 4.49, EK-1).

1250 yılında Anadolu Selçuklu veziri Sahip Ata Fahreddin Ali tarafından yaptırılan Akşehir Taş Medrese, 1986 yılına kadar arkeoloji müzesi olarak kullanılmış, yapılması planlanan onarımların yapılmaması sebebiyle günümüze kadar kapalı tutulmuştur. 2009 yılında restorasyon çalışmalarına başlanılmasına karar verilen yapının giriş kısmındaki bazı bölümlerin günümüze ulaşmadığı tespit edilmiştir. 1910 yılında sökülen ve parçaları medresenin avlusunda bulunan taç kapının kemer üzengi seviyesine kadar kitabesi ile mevcut durumda olduğu bilinmektedir (Akok, 1977). Yapılan çalışmalar sonucunda taç kapının avluda bulunan parçaları bir araya getirilerek restore edilmiştir.



Şekil 4.49. Konya Akşehir Taş Medrese mukarnas yapım detayı (Konya Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)

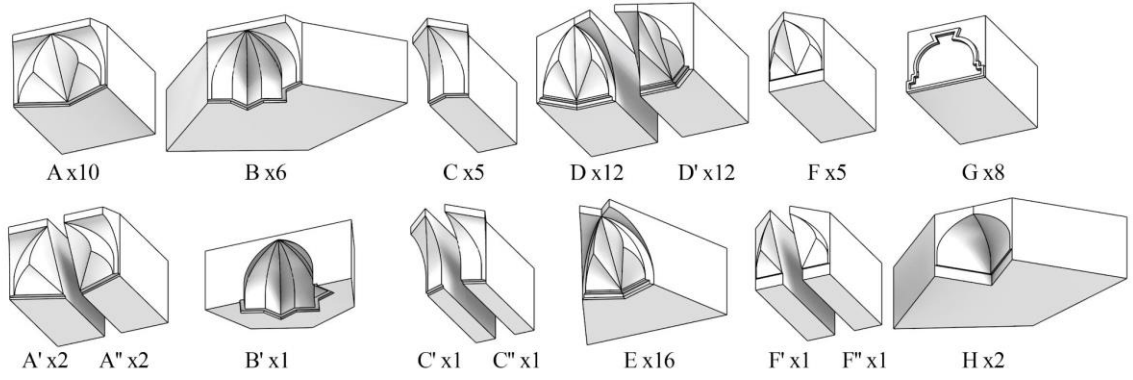
Avluda bulunan parçalardan bazıları taç kapıdaki mukarnas örtünün mermer taş bloklarıdır. Yapının mimarı ve taş ustası, Akok'un (1977) restorasyon ve restitüsyon çalışmalarında yer verdiği taç kapı mukarnası izdüşüm planı üzerinden taş bloklarının olası yerleşimleri üzerine çalışmıştır. Yapım sürecinde mukarnas blokları taç kapı üzerinde yerleştirilirken yıkılmış olan giriş eyvan kemeri ve duvarları da eş zamanlı örülmüştür. Tuncer (2001), mukarnas kademelerinin her birinde arka bağlantıların yapılabilmesi için mukarnas ustasının taç kapının ön yüzünde, duvar ustalarının ise arka yüzeyinde birlikte çalışarak ilerlemesi gerektiğini belirtmiştir. Bu aşama taş mukarnas bloklarının görsel zenginliğinin yanı sıra strüktürel işlev üstlendiğini kanıtlamaktadır.

Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası mukarnas geometrik kurgusu ve olası taş blok yerleşimi, Akşehir Taş Medrese uygulaması proje çizimleri ve alan fotoğrafları, Ödekan'ın (1977) taş blok yerleşim çizimleri ve Tuncer (2001)'in yapım süreci hakkında verdiği bilgiler kapsamında değerlendirilmiştir (Şekil 4.50 ve 4.51) (Dinçer ve Yazar, 2021).

Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnas örtüsünde varyasyonları ile 15 farklı mermer blok örneği kullanılmış, toplamda 85 mermer blok elde edilmiş ve A, C, D, F ve E mermer blokları yaprak ve yarım kazayağı birimlerinin birleştirilmesi ile üretilmiştir.

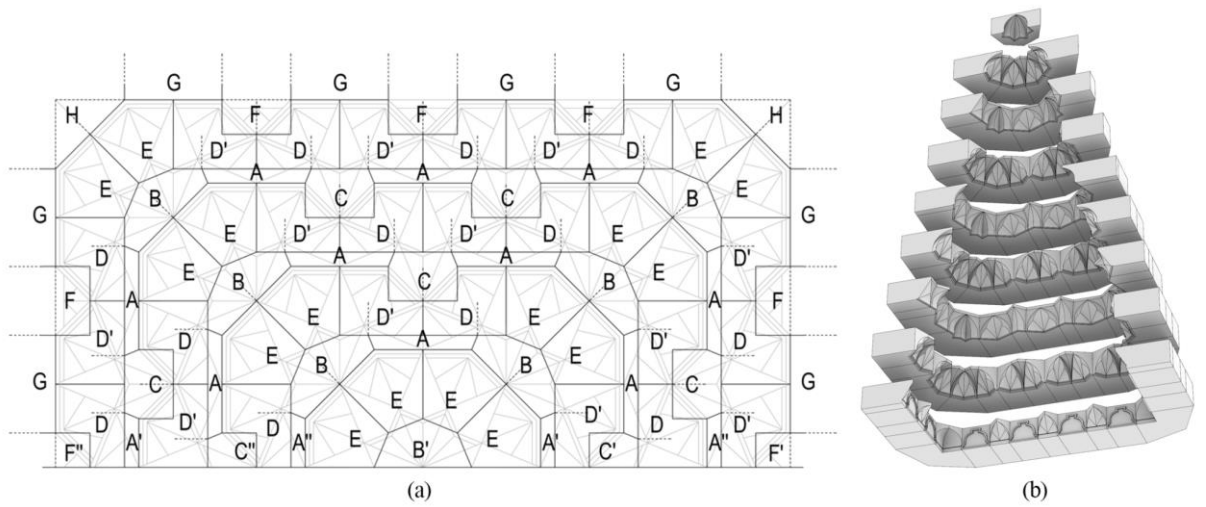


Şekil 4.50. Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnas detayı (S.G.Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)



Şekil 4.51. Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnas taş blokları (Dinçer ve Yazar, 2021)

3B mermer bloklarında 4 adet kaz ayağı birimi birleşerek yaprak birimini yani bir *yuvayı* oluşturmuştur. Sistemin her kademesinde kullanılan aynı mermer bloklar geometrik kurguda yer alan kaplama deseni birimlerinin periyodik olarak ilerlemesi ile bağlantılıdır. Bu sebeple her mukarnas uygulamasında benzer düzende ilerleyen bir taş blok yerleşiminin olmayacağına dikkat edilmesi gerekmektedir. Öte yandan yapılan çalışmada mukarnas bloklarının arka yüzeyleri tahmini olarak belirlenmiş ve aynı hizada yerleştirildiği kabul edilmiştir (Şekil 4.52-a, b).



Şekil 4.52- a) Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnas taş blok yerleşim planı, **b)** 3B taş blokların yerleşimi (Dinçer ve Yazar, 2021)

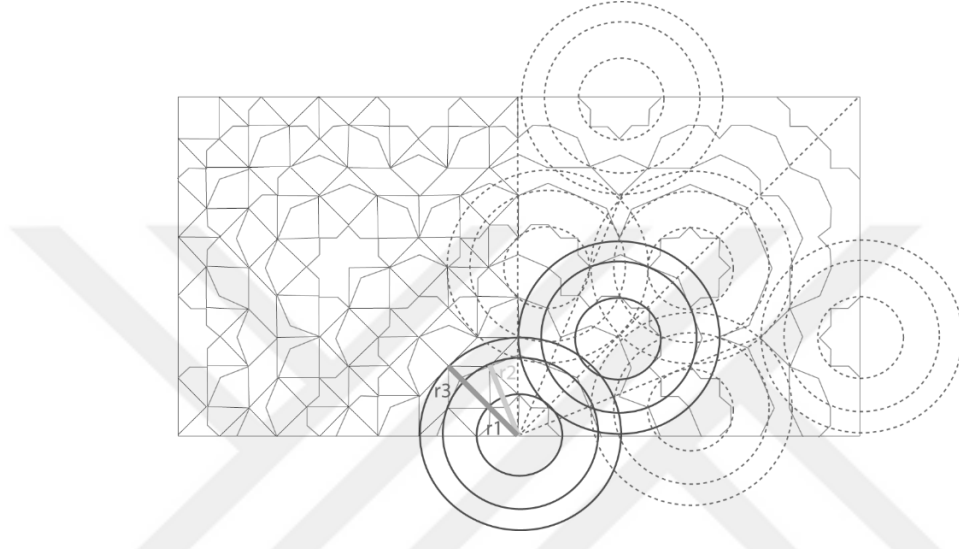
5. ALAN ÇALIŞMASI

Yeni bir mukarnas denemesinin gerçekleştirildiği alan çalışması bölümünde Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlere ait mukarnas izdüşüm planı geometrik kurguları tessellasyonunun analiz edilerek hazırlanmış ve yeni tessellasyon denemelerinin yapılmıştır. Tessellasyonun üçüncü boyuta aktarım aşaması, Bölüm 4.3.'de analiz edilen boyutlandırma aşamaları dahilinde incelenmiş ve yeni bir sistem üzerinden değerlendirilmiştir. İzdüşüm planı, boyutlandırma ve taş bloklara aktarım aşamaları için belirlenen yöntemler sonucunda 'yeni mukarnas denemesi' elde edilmiştir. Yeni mukarnas denemesinin yapım süreci 3B yazıcı ile üretilen 'süper karo bloklar' ile yapılırken, tasarım süreci üç boyutlu geometrik çözümleri için 'Anadolu Mukarnası' yazılımı geliştirilmiştir.

5.1. Anadolu Selçuklu Devleti ve Sonrası Dönemlerde Kullanılmış Mukarnas İzdüşüm Planları Geometrik Kurgusu ve Ammann-Beenker Kaplama Desenleri İlişkisi

Tonoz-bingi birimleri ile başlayan kare-baklava mukarnas modüler desenleri Anadolu Selçuklu Devleti yapılarında uygulanmıştır. Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas uygulamalarını inceleyen çoğu araştırmacı mukarnas geometrik kurgularını doğrusal ve açısız oranlar üzerinden değerlendirilmiştir. Örneğin, Ödekan'ın (1977) Mardin Kasımiye Medresesi mukarnas izdüşüm planı analizinde yerleştirilen açısız dilimler ve çemberler tasarım sürecini açıklamak için yeterli bir analiz yöntemi değildir. (Şekil 5.6). Araştırmacıların değerlendirilmeleri dışında Topkapı parşömeninde İslami geometrik desen ve mukarnas uygulama-üretim yöntemlerini kolaylaştıracak girih desenlerine benzer bir sistemin mukarnas sistemlerinde de kullanıldığı, tasarım sürecinin böyle bir sistem üzerinden kurulduğu düşünülmüştür. Bu varsayım sonucunda sekiz kollu yıldız ile başlayan kare-eşkenar dörtgen modüler kurgulu mukarnas izdüşüm planları Ammann-Beenker'in A5 karoları ile üretilen aperiodyk kaplama sistemleri incelenmiştir (Şekil 5.7). A5 karoları, yerine koyma metodu (substitution rule) ile karo kümeleri şeklinde oluşturmuş ve süper karo (super tiles) olarak adlandırılmıştır. Süper karolar üzerinden enflasyon kuralı uygulandığında aperiodyk Ammann-Benker kaplama deseni üretilmektedir (Şekil 5.8).

Süper karolar, Topkapı parşömeninde yer alan girih karolarına benzer bir tessellasyon üstlenmiştir. Yerine koyma metodunda kullanılan süper karo baklava, iki ikizkenar üçgenin bir araya gelmesiyle oluşmuş, dört yarım kare (ikizkenar üçgen), bir kare ve dört baklavadan meydana gelmektedir. Kullanılan bir diğer süper karo, kare süper karodur. Kare süper karo, iki eş ikizkenar üçgen olarak kurgulanmıştır. İkizkenar parçaların her birinde dört yarım kare ve üç baklava bulunmaktadır.

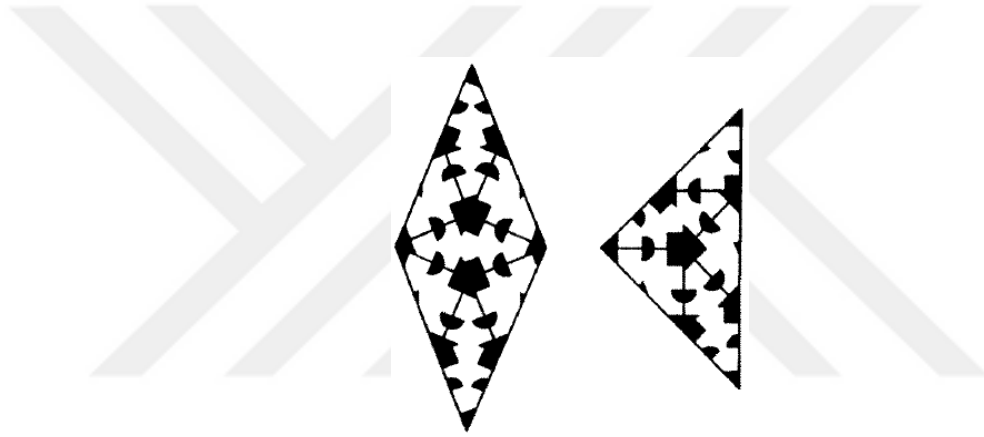


Şekil 5.6. Mardin Kasımiye Medresesi geometrik kurgusu dairesel analizleri (Ödekan, 1977), (Dinçer, 2016)

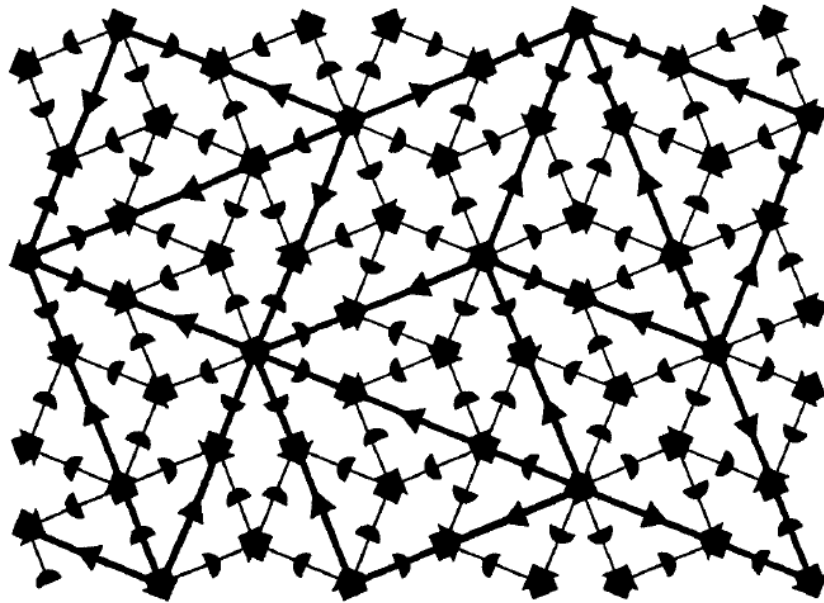
Yerine koyma metodunda birimlerin üzerinde bulunan ok vb. şekiller sayesinde hangi karonun ne yönde yerleştirileceği belirlenmektedir (Şekil 5.8). Bu sayede aperiyojik sistemlerin kurgusunda yanlış karo yerleşimi olmadan üretim yapılması mümkündür. Süper karo baklava ve süper karo kare ile periyodik sistemler üreten tessellasyonlar yapılmaktadır. Bu tessellasyonlar, Anadolu Selçuklu Devleti 8 kollu yıldız ile başlayan modüler mukarnas sistemlerine uyarlandığında sistematik bir karo-kurgu tasarım süreci elde edilmiştir.

Çalışmada Ammann-Beenker A5 süper karoları içinde yerleşmiş kare-baklava birimler ile farklı süper karo desenleri üretilmiştir. Süper karolar ile üretilen desenler, Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlere ait mukarnas izdüşüm planları geometrik şemalarının üretilmesini sağlamaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda Takahashi'nin veri tabanında yer alan mukarnas plan çizimleri incelenmiş ve süper karolar ile ilişkisi analiz edilmiştir (URL-1). Örneğin, 16.yy Osmanlı Devleti yapısı, Diyarbakır Behram Paşa Camisi mihrap mukarnası 8 kollu yıldız ile başlayan geometrik

kurgusundaki modüler sistem periyodik şekilde çoğaltıldığında, Osmanlı Devleti 1712 yılında Diyarbakır Ulu Camisi'ne eklenen ana mihrap mukarnasının geometrik şeması oluşmaktadır (Haspolat, 2014). Bu sistemin temeli 8'li dönel simetriye sahip modüler birimlerin iki baklava ve bir kare ile kurulmuş eş kenarlı altıgen birimin periyodik tekrarıdır. Altıgenlerin belirlenen noktalarından üretilmiş çizgilerin oluşturduğu baklavaların köşe noktaları ise mukarnas kurgusunda yer alan sekiz kollu yıldızların merkez noktalarını temsil etmektedir. Öte yandan Behram Paşa Camisi süper karolarının belirlenmesi ile 15.yy Akkoyunlular yapısı Diyarbakır Nebii Camisi mihrap mukarnası elde edilmektedir. Diyarbakır'da bulunan camilerin mihrap mukarnas geometrik kurguları genellikle sekiz köşeli yıldız formunun tam ve yarım kullanımı ile oluşan modüler sistemlerden üretildiği sonucuna varılmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.7. Ammann-Beenker A5 karo birimleri ile kurulan süper karolar (Ammann ve ark., 1992)



Şekil 5.8. Ammann-Beenker süper karoları ile kurulan aperiodyk desen (Ammann ve ark., 1992)

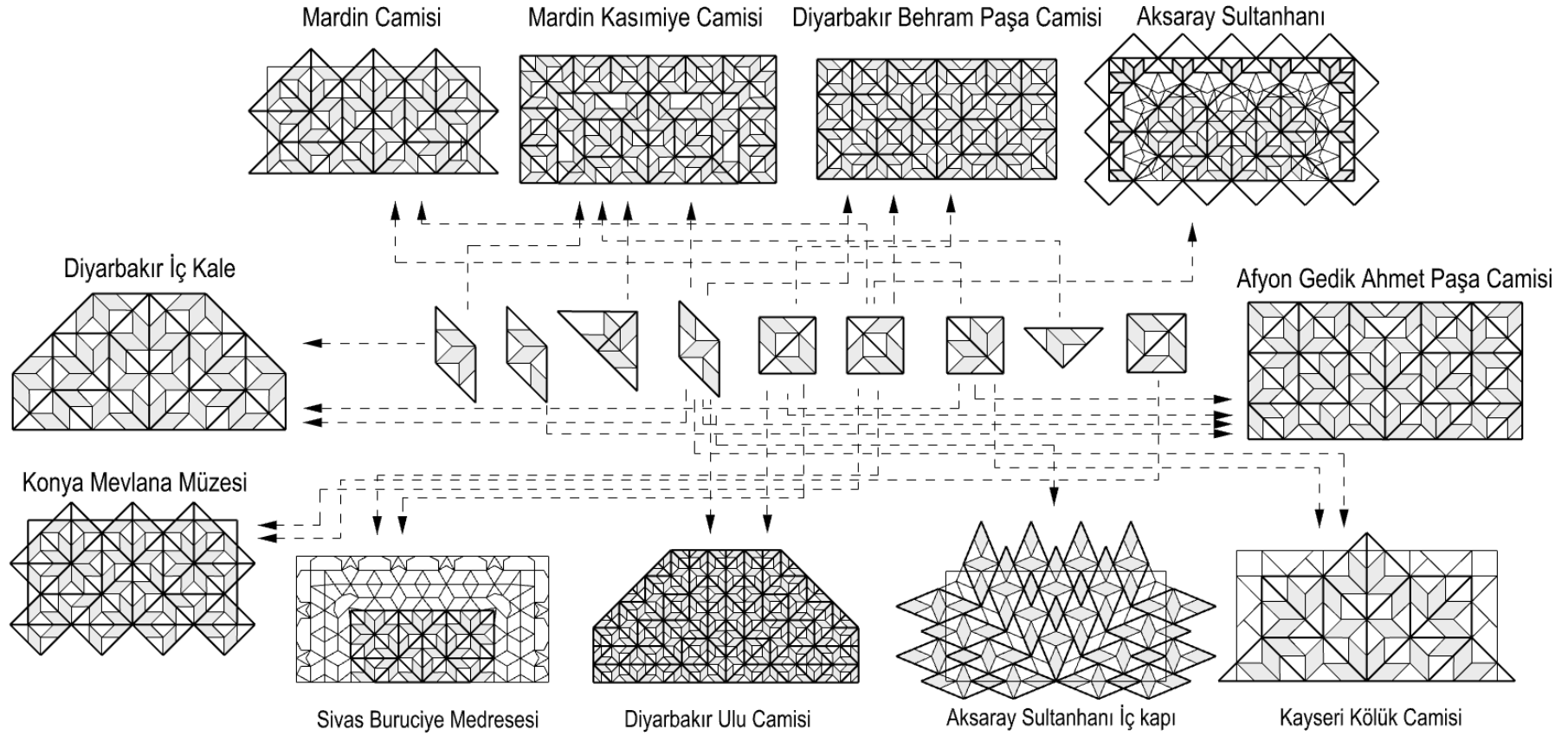
Anadolu Selçuklu Devleti ilk mukarnas örneklerinin geometrik kurgusu, aynı şema üzerinden üretilmiş farklı boyut ve süsleme teknikleri ile düzenlenmiş mukarnas tasarımlarına dayalıdır (Dinçer ve Yazar, 2021). İlk mukarnaslı taç kapı olduğu kabul edilen Alayhan; Aksaray Sultanhanı iç kapısı ve Kayseri Hacı Kılıç Camisi taç kapılarında aynı geometrik kurgu üzerine farklı bezemeler uygulanarak farklı izdüşüm planlarının üretildiği gözlenmiştir (Dinçer, 2021). Benzer uygulamalara Anadolu'daki diğer mukarnas örtülerinde de sıkça rastlanmaktadır. Sonuç olarak bir mukarnas geometrik kurgusu üçüncü boyutta şekillenirken tasarımcının ya da ustanın tasarım kararlarına bağlı olarak boyutsal ve dekoratif değişimler ile farklı izdüşüm planlı mukarnas tasarımlarına dönüştürülebilmektedir.

Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası geometrik kurgusunda Ammann-Beenker baklava süper karosu kullanılmıştır. Baklava süper karosunun periyodik olarak üst üste ve yan yana yerleşmesi halinde karoyu oluşturan iç birimlerin periyodik devam etmediği gözlenmiştir. Bu nedenle baklava süper karoları iç birimlerdeki eşkenar dörtgenlerden birleştirilerek periyodik bir sistem elde edilmiştir. Bu sayede snub kare döşeme sistemi de üretilmektedir. Elde edilen periyodik sistemde dörtlü dönel simetriye uygun rotasyonlar yapıldığında Aksaray Sultanhanı iç kapı geometrik kurgusu meydana gelmektedir (Şekil 5.9).

Anadolu Selçuklu Devleti yapısı Aksaray Sultanhanı taç kapısında yer alan mukarnas geometrik kurgusunda Ammann-Beenker baklava süper karoları kullanılmıştır. Periyodik olarak yan yana dizilen kare süper karolar ile uygulanan dörtlü dönel simetri, taç kapının mukarnas geometrik kurgusunu oluşturmaktadır.

Aksaray Sultanhanı taç kapı mukarnası geometrik kurgusu Diyarbakır ve Sultanhanı iç kapı mukarnası geometrik kurgularından farklı bir düzene sahiptir. Merkez bölgede sekiz kollu yıldız ile başlayan sistem kare-baklava modüler birimleri ile devam ederken geçiş bölgesi ve çevreleyen bölgede farklı boyutlarda üçgen ve baklava birimleri ile tamamlanmıştır. Geçiş ve çevreleyen bölgede yer alan sistemdeki birimler farklı olsa da karo döşeme sistemindeki yerleşim düzeninin korunduğu gözlenmiştir. (Şekil 5.9).

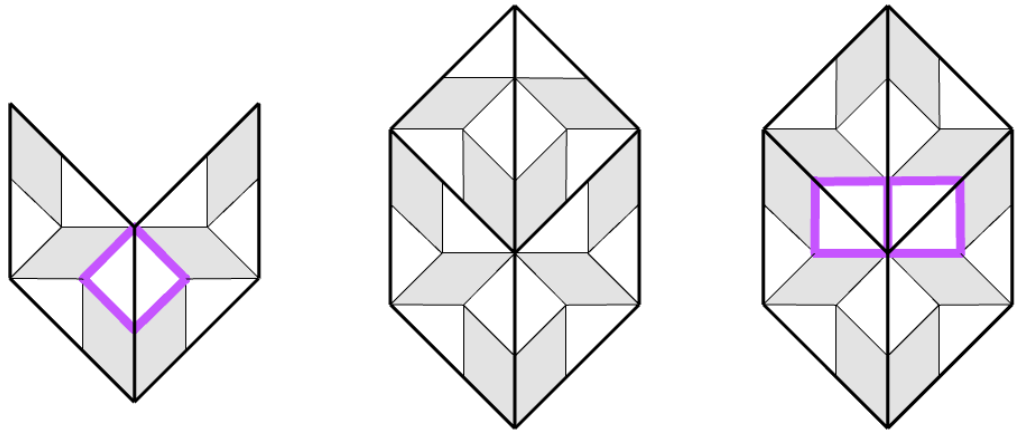
Aksaray Sultanhanı taç kapı mukarnas izdüşüm planına benzer bir geometrik kurguya sahip Kayseri Tuzhisar Sultanhanı iç kapı mukarnas geometrik kurgusunda Bölüm 4.2'de bahsedilen Özdural'ın (1991) analiz ettiği Sivas Buruciye Medresesi mukarnas izdüşüm planının kurgusu yer almaktadır.



Şekil 5.9. Anadolu'da sekiz kollu yarım yıldız ile başlayan kare-baklava modüler sistemli mukarnas geometrik kurgularında süper karo kullanımı

Baklava-üçgen birimlerinin merkez bölgede karo sistemine yerleşimi Aksaray Sultanhanı taç kapı mukarnasındaki yerleşime benzemektedir. Geçiş bölgesi ve çevreleyen bölge ele alındığında Sivas Buruciye Medresesi'nde uygulanan 4-7-8 ve 4-8-9 üçgenlerinin kullanıldığı ve köşelerden merkeze uzanan doğrultuda beş kollu yıldızların oluştuğu gözlenmiştir. Karo örüntü devam ettirildiğinde geçiş ve çevreleyen bölgede ile ilişki kurulabilmektedir (Şekil 5.9).

Süper karoların mukarnas geometrik kurgularında farklı kullanım biçimleri 13. ve 15.yy Artuklular dönemi Mardin yapıları ve bazı erken Osmanlı Devleti yapılarında da yer almıştır. Özellikle Mardin Kasımiye, Latifiye ve Zinciriye Medresesi taç kapı mukarnas örtülerinde aynı geometrik kurgu ile farklı süsleme detaylarına sahip mukarnas örtüleri üretilmiştir. Süper karo sistemleri, karoların ana hatlarının içinde baklava ve kare birimlerin birbirini tamamlayarak yerleştirilmesi ile kurulmaktadır. Her karo yerleşimi ile mukarnas geometrik kurgusu elde edilmemektedir (Şekil 5.10). Mukarnas geometrik kurgusunda baklavalara ve kare birimlerin birbirini tamamlamasının dışında yuva ve ara eleman oluşumu da dikkat edilmesi gereken bir aşamadır. Burada tasarımcının mukarnasın boyutlandırma aşamasına, tasarım sürecine başladığı geometrik kurgu tasarımı aşamasından itibaren hâkim olması gerektiği sonucuna varılmıştır.



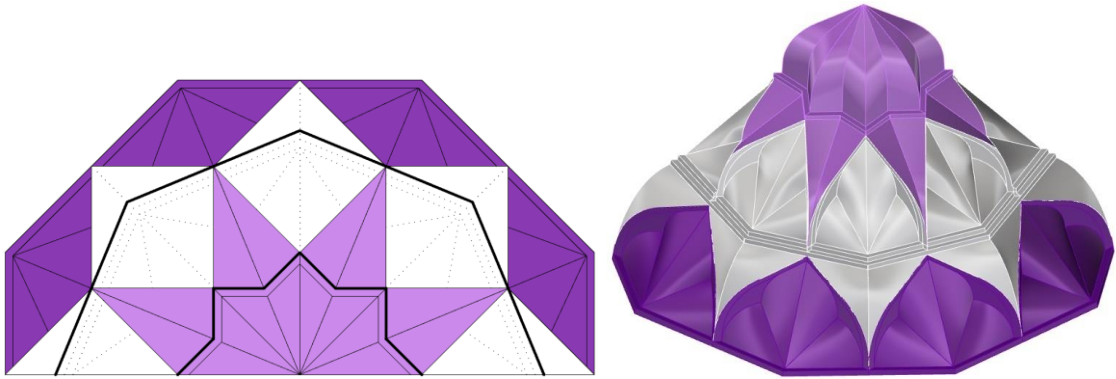
Şekil 5.10. Kare ve baklava süper karolarının yerleşimi

5.2. Mukarnas Boyutlandırma

Geometrik kurgusu belirlenmiş bir mukarnas planında baklava ve kare desenlerinin mukarnas birimlerine dönüşmesi gerekmektedir. Bu birimler el-Kaşi'nin

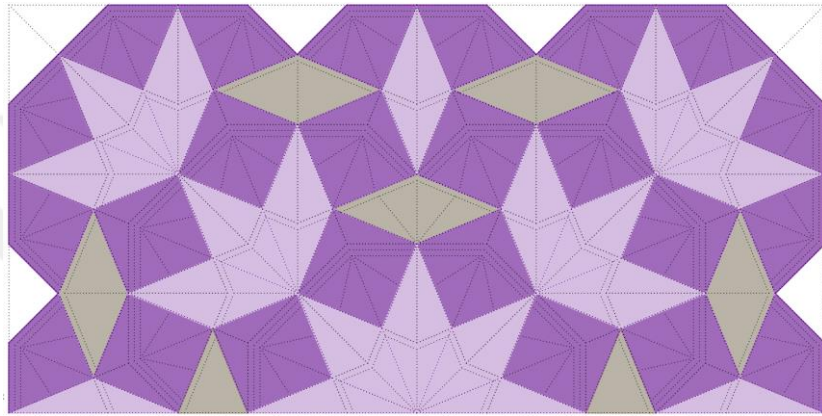
tanımladığı badem, badem tamamlayan, arpa, arpa tamamlayan ve baklava şeklinde sınıflandırılmıştır. El-Kaşi'nin birim sınıflandırmalarının yanı sıra Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas birimlerinin yaprak ve kaz ayağı şeklinde ifade edildiği dikkate alındığında, yapraklar yuvaları, kaz ayakları ise ara elemanları oluşturmaktadır (Tayla, 2005; Dinçer ve Yazar, 2021). Ara eleman olarak kullanılan badem tamamlayan birimlerinin bir araya geldiğinde yaprak oluşturması, yani yuvalar kurması mümkündür. Bu nedenle, mukarnas uygulamaları incelemesinde, birimlerin geometrik formları el-Kaşi'nin analizi üzerinden yapılırken *birim analizi*, mukarnas planının üçüncü boyuta aktarımı sonucunda oluşan yaprak ve kaz ayağının yuva ve ara elemanlar oluşturması *işlev analizi* olarak değerlendirilmiştir.

Mukarnas geometrik kurgusunda yerleştirilecek birimler izdüşüm planı ve kademelendirme aşamasını şekillendirmektedir. Bölüm 4.2'de Taht-ı Süleyman alçı plakası geometrik kurgusu üzerinde farklı birimler yerleştirildiğinde birden fazla mukarnas izdüşüm planı elde edildiğinden bahsedilmiştir. Örneğin, bir baklava birimi, badem ve badem tamamlayan birimleri şeklinde kullanılırsa iki ayrı kademeye parçalanmış şekilde boyutlandırılmış olacaktır. Aynı baklava birimi, yaprak birimi şeklinde uygulanırsa, tek bir kademede yuva oluşturarak yer almış olacaktır (Şekil 5.11). Burada dikkat edilmesi gereken sistem, mukarnas birimlerinin bir araya gelmesi ile oluşan yaprak ve kaz ayağı formlarının yuvalar ve ara elemanlar olarak işlevlendirilmesidir. Kademe çizgileri plan düzleminde mutlaka x koordinatı üzerinde başlamalı ve başladığı noktanın simetrisi olan noktada bitirilmelidir. Doğru bir mukarnas kurgusuna yerleştirilen kademeler, sistemde okunan dönel simetri sayısına göre parçalandığında simetrik biçimde yer alıyor olmalıdır.



Şekil 5.11. Baklava birimlerinin farklı yerleşimleri. (Açık mor birim iki ayrı kademede konumlanırken, koyu mor birim tek kademede yer almıştır).

El-Kaşı'nın birimleri izdüşüm planında kare ve baklava desenlerinin parçalanması ile üretilen birimlerdir. Bu parçaların yuva ya da ara elemanlara dönüşmesi sistem kurgusuna bağlı olarak değişmektedir. Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas tasarımları geometrik kurgusunda bulunan baklava ve kare desenlerinin genellikle dört farklı baklava deseni izdüşümü ve bir kare deseni izdüşümüne dönüştüğü gözlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde analiz için seçilen Konya Akşehir Taş Medrese mukarnas izdüşüm planındaki iki farklı baklava birimi ve bir kare birimi yer almaktadır (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).

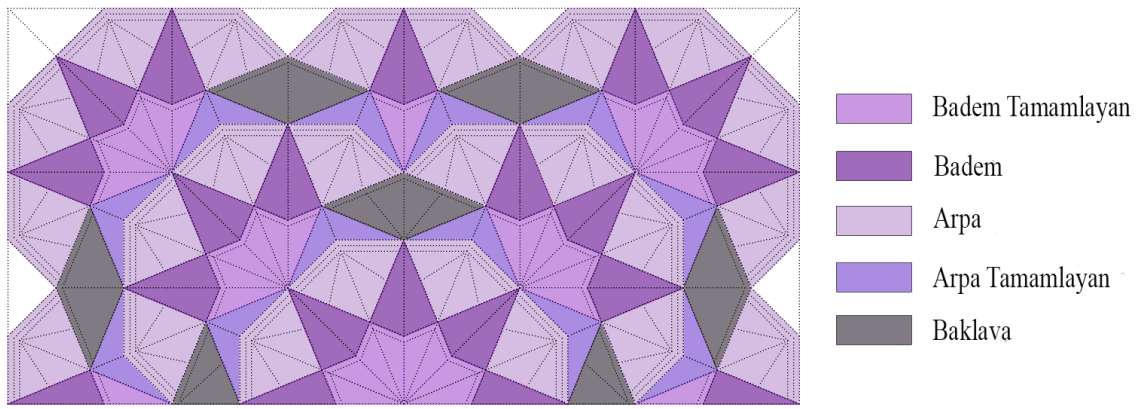


Şekil 5.12. Akşehir Taş Medrese geometrik kurguda farklı kare ve baklava birimi kullanımı

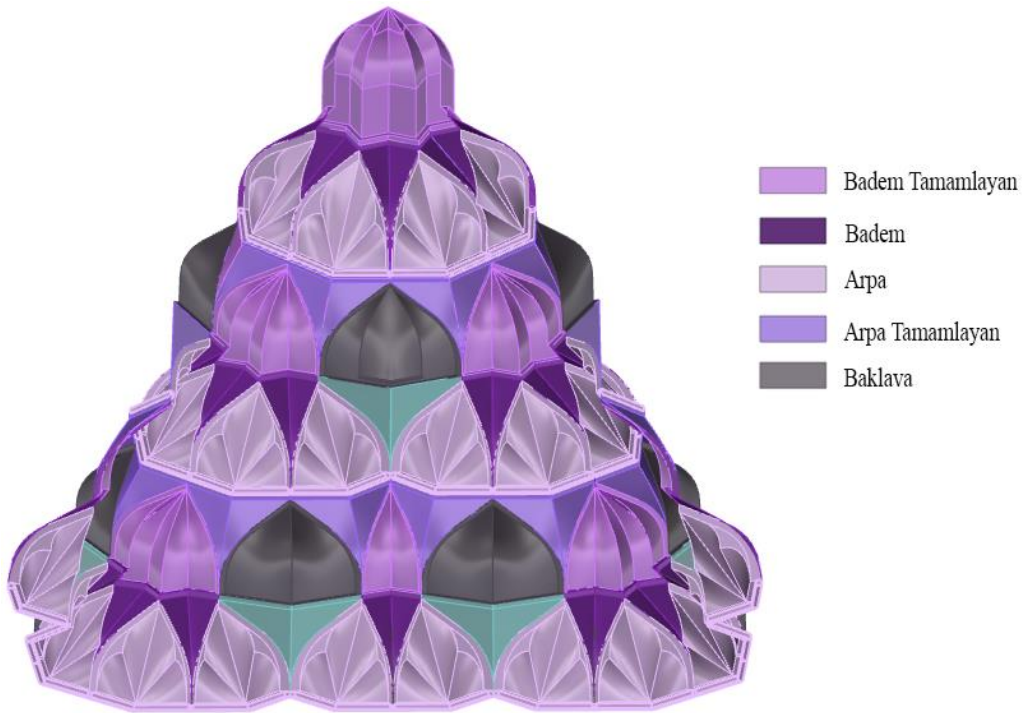


Şekil 5.13. Akşehir Taş Medrese mukarnası kare-baklava birim yüzeyleri

Geometrik kurguda kare-baklava desenleri el-Kaşı'nın sınıflandırmasında belirtilen birimler ile birim analizi aşaması değerlendirilmiştir. Akşehir Taş Medrese mukarnas geometrik kurgusunda kare desenleri arpa ve arpa tamamlayan birimleri olarak, baklava desenleri ise badem, badem tamamlayan ve baklava birimleri şeklinde kullanılmıştır (Şekil 5.14 ve Şekil 5.15). Birimlerin analizi aşaması sonrasında birimlerin işlev analizinin belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre arpa ve baklava birimleri yuva işlevi gören yapraklara, arpa tamamlayan ve badem birimleri ise ara eleman işlevi gören kaz ayakları birimleridir. Badem tamamlayan birimleri ise birleşerek yuva işlevi görmektedir (Şekil 5.16 ve Şekil 5.17).

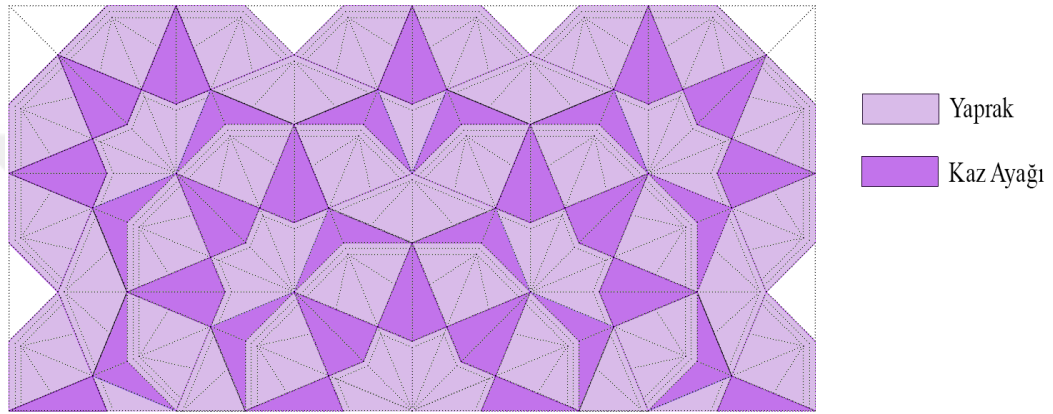


Şekil 5.14. El-Kaşı'nın birim analizi üzerinden Akşehir Taş Medrese geometrik kurgu analizi

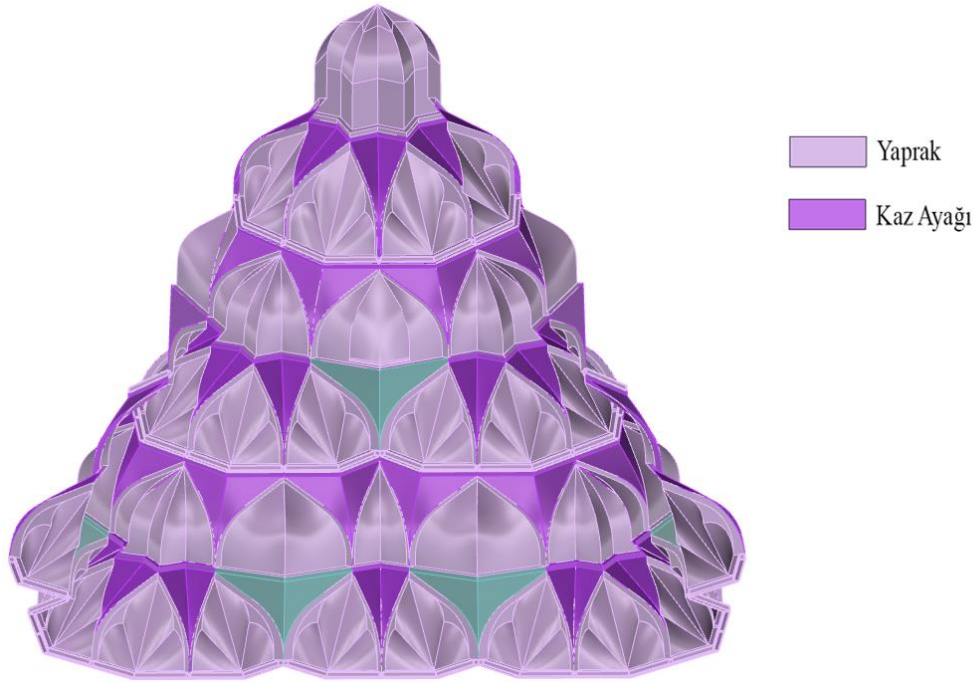


Şekil 5.15. El-Kaşı'nın birim analizi üzerinden Akşehir Taş Medrese mukarnası

Bir birimin yuva işlevi görmesi, mukarnas tasarımında ana eleman olarak kullanıldığını açıklamaktadır. Ara elemanlar ise yuva birimlerinin arasını doldurarak sistemi tamamlayan birimler olarak kullanılmaktadır. Bunun sonucunda el-Kaşı'nın sınıflandırdığı kare deseninden türetilmiş arpa biriminin her zaman yuva, arpa tamamlayan biriminin ise her zaman ara eleman olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Baklava deseninden türetilen birimler için bu kural her zaman geçerli değildir. Bu sebeple geometrik kurguda baklava deseninin dört farklı kullanımını olduğu kanısına varılmıştır.

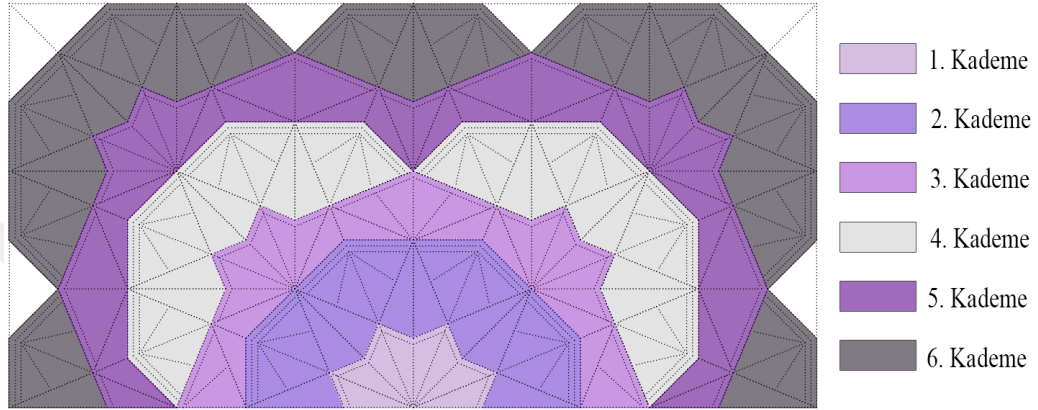


Şekil 5.16. İşlev analizi üzerinden Akşehir Taş Medrese geometrik kurgu analizi

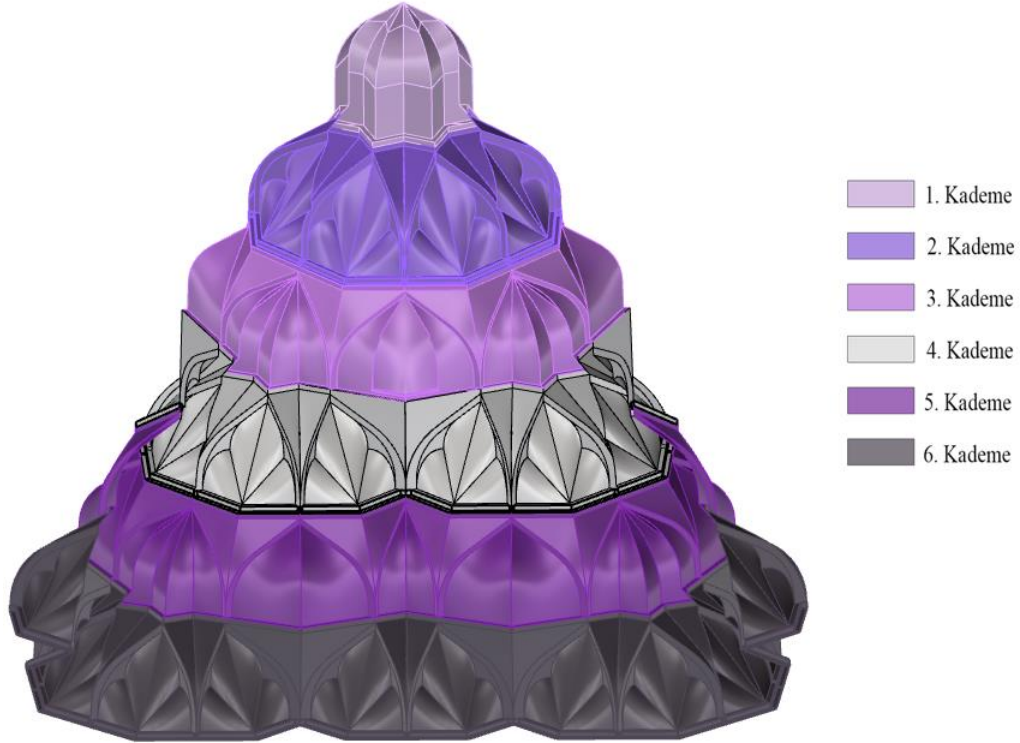


Şekil 5.17. İşlev analizi üzerinden Akşehir Taş Medrese mukarnası (yeşil yüzeyler izdüşüm planında çizgi olarak yer almaktadır)

Kademe çizgilerinin belirlenmesi ile mukarnas birimlerinin boyutlandırma aşamasına geçilmektedir. İşlev ve birim analizinde belirlenen sistemler kademelendirme aşamasına aktarılmıştır. Akşehir Taş Medrese mukarnasında birinci kademede arpa tamamlayan birimleri yuva işlevi ile, ikinci kademede badem birimi ara eleman ve arpa birimi yuva işlevi ile kullanılmıştır. Üçüncü kademede arpa tamamlayan birimleri bir araya gelerek yuva işlevi görmektedir.



Şekil 5.18. Akşehir Taş Medrese mukarnası kademe planı



Şekil 5.19. Akşehir Taş Medrese mukarnası kademeleri

Arpa tamamlayan birimleri ara elemanlar olarak kullanılırken baklava birimi yuva işlevi ile kullanılmıştır. Dördüncü kademede arpa birimleri yuva işlevi görürken badem birimleri ara eleman işlevi görmektedir. Beşinci kademede üçüncü kademede olduğu gibi beşinci kademede de arpa tamamlayan birimleri bir araya gelerek yuvalar oluşturmuştur. Arpa tamamlayan birimler ara elemanlar olarak kullanılırken baklava birimi yuva işlevi ile kullanılmıştır. Altıncı kademede ise dördüncü kademede olduğu gibi arpa birimleri yuva işlevi görürken badem birimleri ara eleman işlevi görmektedir. Yedinci kademede izdüşüm planında oluşmuş üçgen birimlerinin tesselsasyonda devam eden kare-baklava birimlerinin parçalanması ile oluştuğu görülmektedir. Bu üçgen birimler yuva işlevi görerek mukarnas örtünün son kademesine eklenen taş bloklar ile yedinci kademeyi oluşturmaktadır (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19).

Üçüncü boyutta yüzeyler bir noktadan başlayarak kademenin boyutu kadar yükseğe kavislendirilmektedir. Mukarnas birimlerinin yer aldığı işlemeli yüzeyler kavislendirilmiş çizgiler ile üretilmektedir. El-Kaşi'nin Miftah el-Hisab'ta açıkladığı kavisli çizgi hesabının Anadolu Selçuklu mukarnas birimlerine aktarılması sonucunda benzer oranlarda bir boyutlandırmanın yapıldığı gözlenmiştir. El-Kaşi'nin hesaplamasında birim yüksekliği genişliğinin iki katı şeklinde belirlenmiştir. Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas örtülerinde ise her kademenin yüksekliği farklıdır. Bu sebeple her uygulamada farklı kavisli yüzeyler elde edilmiştir. Öte yandan Anadolu Selçuklu mukarnas birimleri el-Kaşi'nin bahsettiği mukarnas birimlerinden farklı olarak taşla yontulan süslemelerle işlenmiştir (Şekil 5.20). Bu nedenle Anadolu Selçuklu mukarnas örtülerinde yuvalar oluşturan yaprak birimlerinin her birinde bulunan parçaların da El-Kaşi'nin oranları ile elde edilen kavisli çizgiler ile boyutlandırılması gerekmektedir.



Şekil 5.20. El-Kaşi kavisli çizgi metodu (Dinçer ve Yazar, 2021) ve kavisli çizginin Akşehir Taş Medrese mukarnaslı taş bloğuna aktarımı (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi,2014)

Taş mukarnas uygulamalarında alçı, tuğla, ahşap ya da çini mukarnas uygulamalarındaki gibi yalnızca yüzeylerin boyutlandırılması yeterli değildir. Taş mukarnas uygulamalarının cepheye verdiği dekoratif etkinin arka planında taç kapıyı yapı ile bütünleştiren bir sistem bulunmaktadır. Bu sistemin anlaşılması için yazılı kaynakların yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Taşın ön yüzeyinden yalnızca derz araları okunabilmektedir. Arka planda kalan sistemde taşların nasıl yerleştiği hakkında derz aralarından belirlenen uzantılar ile varsayımlar üretilmesi gerekmektedir. Akşehir Taş Medrese (Akşehir Taş Eserler Müzesi) restorasyonu projesinde yapılan taç kapı uygulaması Anadolu Selçuklu Devleti mukarnas yapımı ve taş blokların yerleşimi hakkında önemli bilgiler içermektedir (EK-1). Mukarnas taş bloklarının medrese avlusunda bulunması Anadolu Selçuklu Devleti'nde kullanılan taş kütlelerinin ölçüleri ve dizilimlerinin anlaşılmasını sağlayan önemli bir kaynak niteliğindedir. Medrese mukarnasında geometrik kurgu üst üste yerleşen süper karo baklavalara ile üretilmiştir. İzdüşüm planında periyodik olarak yerleşen süper karo baklavalara 45°lik dönel simetri uygulanması ile konumlandırılması, süper karo baklavalara içinde yer alan kare ve baklava birimlerinin 22,5°,45°,90° ve 135° gibi açılar ile yerleşimini sağlamaktadır. Aynı açısal düzen taş blokların yerleşiminde de uygulanmıştır. Her bir kademede rotasyon yapan mukarnas birimleri taş bloklara işlenirken 22,5° ve katları şeklinde açılar ile konumlandırılmıştır. Akşehir Taş Medrese mukarnas örneğinde simetrik yerleşimlerin analiz edilen diğer mukarnas örnekleri kadar düzgün olmadığı gözlenmiştir. Örneğin Bölüm 4.3, Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52' de bahsi geçen Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnas örtüsünde yuva birimlerinin her biri yarımşar ara elemanlar ile bir taş bloğa aktarılmıştır. Akşehir Taş Medrese mukarnas örtüsünde Sultanhanı iç kapı mukarnasına benzer yaklaşımlar ile özgün taş yerleşimlerinin olduğu dikkat çekmektedir.

Mukarnasın ilk kademesinde badem tamamlayan birimleri yuva işlevi göstererek tek bir taş bloğa işlenmiştir. Mukarnas uygulamalarında yarım yıldız deseni ile başlayan birimler genellikle tek bir bloğa işlenmektedir (EK-2).

İkinci kademede yuvalar oluşturan arpa birimleri ile badem birimleri ara elemanlar olarak yerleşmiştir. Badem birimleri yarım birimler şeklinde arpa birimleri ile birleşerek dört ayrı taş bloğa aktarılmıştır. Taç kapı duvarında yer alan iki taş blok 67,5°lik açı ile yerleşirken diğer iki blok ise 45°lik açılar ile yerleşmiştir.

Üçüncü kademede yer alan beş taş blok 22,5°,45° ve 90°lik açılar yapmaktadır. Baklava birimi ve yarım arpa tamamlayan birimlerinden üretilmiş kademelerin ortasında

yer alan taş bloğu $67,5^\circ$ lik simetrik yerleşim yapmak yerine 45° ve 90° açılar yaparak yerleştirilmiştir.

Dördüncü kademedeki birimler simetrik taş bloklara aktarılabilecek iken, her biri farklı yerleşim sistemi içeren arpa ve badem birimlerine sahiptir. Taç kapı duvarında bulunan blokların birinde badem ve arpa birimleri bütün şekilde işlenmişken, diğer blokta bir badem, bir arpa ve yarım badem birimi işlenmiştir. Bu kademedeki yuva (yaprak) işlevi gören birimler parçalanmamıştır.

Beşinci kademedeki yuva işlevi gören birimlerin iki yarım parçaya ayrıldığı, ara eleman (kaz ayağı) işlevi gören birimlerin ise bütün şekilde işlendiği taş bloklar bulunmaktadır. Bu sistem mukarnas taş ustasının yorumlamasına bağlı bir yerleşim metodu olarak değerlendirilmiştir. Benzer biçimde altıncı kademe bloklarında hem simetrik yuva ve ara elemanlı blok yerleşimleri hem de aynı birimlerin farklı kümeler halinde konumlanması durumu söz konusudur. Altıncı kademedeki birim kümelenmeleri simetrik olmasa bile açısal düzenin $22,5^\circ$, 45° ve $22,5^\circ$ şeklinde simetrik dağılımı dikkat çekmektedir.

Bir diğer analiz Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisi (1472) Klasik Osmanlı Devleti mukarnas birimleri ile yapılmış taç kapı mukarnas uygulaması üzerinde değerlendirilmiştir (Şekil 5.21), (Çizelge 5.1). Afyon Gedik Ahmet Paşa Camisi mukarnas geometrik kurgusu Anadolu Selçuklu Devleti uygulamalarının devamı niteliğinde ve daha karmaşık bir kare-baklava deseni tesselasyonu içermektedir. Derz aralarından yola çıkılarak taş blokların olası yerleşimleri tespit edilmiş, geometrik kurgudaki açısal yerleşimin aynı şekilde taş blokların yerleşimini de şekillendirdiği görülmüştür. Geometrik kurguda 45° ve 90° lik açılar ile simetrik yerleşimi bulunan birimlerin taş bloklara işleniş biçimleri de benzer şekilde simetriktir. Her kademedeki birbirine eş blokların bulunduğu sistemde 45° ve 90° lik açılar ile konumlandırılmış bloklar bulunmaktadır. İkinci kademedeki yuva işlevi gören badem birimi iki eş parçaya bölünerek iki ayrı bloğa aktarılmıştır. Dördüncü kademedeki her bir yuva birimi ayrı ayrı mermer bloklara işlenmişken, diğer kademelerde bir ya da daha fazla yuvanın birleşerek büyük mermer bloklara işlendiği gözlenmiştir.



Şekil 5.21. Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisi taç kapı mukarnası (S.G.Dinçer Kişisel Arşivi, 2019)

5.3. Yeni Mukarnas Denemesi

Kare-baklava desenli bir mukarnas geometrik kurgusunun farklı izdüşüm planlarına dönüştürülmesi baklava desenlerinin hangi mukarnas birimi olarak kullanılacağına belirlenmesi ile ilişkilidir. İncelenen mukarnas izdüşüm planı uygulamalarında kare deseninin her zaman arpa ve arpa tamamlayan birimleri şeklinde kullanıldığı görülürken, baklava deseninin beş farklı biçimde kullanıldığı gözlenmiştir. Baklava desenleri arpa, arpa tamamlayan ya da baklava birimi olarak en uygun biçimde yuva ya da ara elemanlar oluşturarak kademelendirilmelidir. Bu sebeple, bir geometrik kurgu düzeneği üzerinden birden fazla farklı izdüşüm planı örnekleri elde edilebilmektedir. Çalışmada Şekil 5.22'deki Ammann-Beenker süper karoları ve dört farklı süper karo ile yeni geometrik kurgu denemeleri yapılmıştır. Karo desenlerinin Anadolu Selçuklu Devleti'nden itibaren farklı pek çok uygulamasının bulunması yeni tesselsasyon üretimlerini kısıtlamıştır. Şekil 5.22'de yeni mukarnas denemesi için seçilen örnek Ammann-Beenker'in süper kare ve süper baklava karoları ile üretilen aperiyyodik kaplama desenidir (Çizelge 5.2). Öte yandan bu desen Castera'nın (URL-2) çalışmasında Ammann-Beenker'in kaplama düzeneği belirtilmeden bir geometrik motif zellij ve mukarnas denemesi olarak uygulanmıştır.

Ammann-Beenker aperiyyodik kaplama deseni geometrik kurguya dntrldgnde sistem her mukarnas geometrik kurgusunda olduğu gibi yarım kollu 8 kollu yıldız yerleşimi ile başlatılmıştır. Sekiz köşeli yıldızın kolları, tesselayondaki baklava birimlerinin bölünmesi ile kurulan badem tamamlayan birimlerinin izdüşümüdür. Mukarnas tasarımlarında badem tamamlayan birimleri genellikle ara elemanlar şeklinde yer alsada bu sistemin tepe noktasında olduğu gibi bir araya gelerek yuvalar (yaprak) oluşturmaktadır. Kademelendirme aşaması Harmsen'in (2006) açıkladığı mukarnas birimlerinin vektörler ile belirlenen akış yönü üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre tepe noktasından badem tamamlayan biriminin açılan kollarına doğru yönler belirlendiğinde bu yönelmenin aslında üçüncü boyutta kavis alan yüzeyin akış yönünü tayin ettiği sonucuna varılmıştır. Açılarak ilerleyen vektör sistemleri (açılım vektörleri) yuvalar (yaprak) meydana getirirken, bir noktada birleşen vektörler (birleşim vektörleri) ile elde edilen birimler ara elemanlar (kaz ayağı) oluşturmaktadır (EK-3). Vektör kolları sayesinde yuva ve ara eleman olarak kullanılmış mukarnas birimleri kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Açılım ve birleşim vektör kolları aynı zamanda kademe çizgilerini de meydana getirmektedir. Kademelendirme sistemi ilk kademedeyuva birimleri ile başlamaktadır. Yuva birimlerini tamamlayan ara eleman birimleri her zaman bir alt kademenin yuva birimlerinin arasını doldurmaktadır.

Yeni mukarnas denemesinde yön gösterimi vektörler ile işaretlenirken açılmal yöneliminin birinci kademedey 45° olduğu gözlenmiştir (EK-3). İkinci kademedey baklava deseninin diğer yarısını oluşturan badem tamamlayan birimleri birleşim vektörleri üretilmiştir. Bu vektörler aynı zamanda kare deseninin bölünmesi ile elde edilen arpa biriminin de açılım vektörleridir. Badem tamamlayan birimleri için aynı vektör sistemleri tek noktada birleşerek ara elemanlar oluştururken, arpa birimleri için yuvalar oluşturmuştur. İkinci kademedey kare deseninin bölünmesiyle oluşan arpa birimi, üçüncü kademedey arpa tamamlayan birimleri ile tamamlanmıştır. Arpa tamamlayan birimlerinde birleşim vektörleri ara elemanlara dönüşmüştür. Bu ara elemanlar üçüncü kademedey yuva işlevi gören baklava birimlerinin ara elemanlarıdır. Baklava birimlerinin kenarlarında yerleştirilmiş diğer kare desenleri arpa ve arpa tamamlayan birimleri olarak ayrıldığında arpa birimleri dördüncü kademedey yuvalar oluşturan birimlere dönüşmektedir. Bu kademenin üçüncü boyuta aktarılması aşamasında arpa birimleri arasındaki boşlukların doldurulduğu birimlerin geometrik kurguda yer almadığı ve kavisli yüzeyler ile kurulmadığı gözlenmiştir. İzdüşüm planında doğrusal bir çizgi üzerine yerleşen bu boşluklar üçüncü boyutta da doğrusal yüzeylere

dönüşmüştür (EK-3). Arpa birimleri ile yuva işlevi gören birimleri tamamlayan ara elemanlar beşinci kademenin arpa tamamlayan birimleridir. Arpa tamamlayan birimlerinin birleşim vektörleri beşinci kademe bulunan baklava desenlerinden üretilen arpa birimleri ve arpa birimleri ile komşu bademlerin açılım vektörleridir. Yuvaların tamamlayan birimleri ise bir altıncı kademe yer alacak yuvaların aralarını doldurmaktadır.

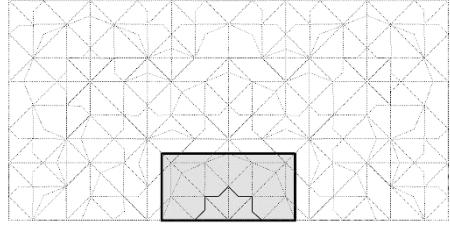
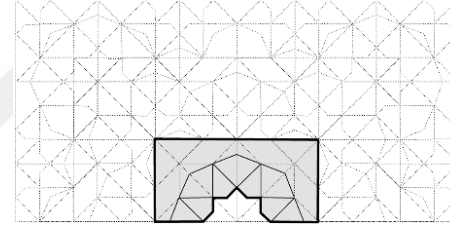
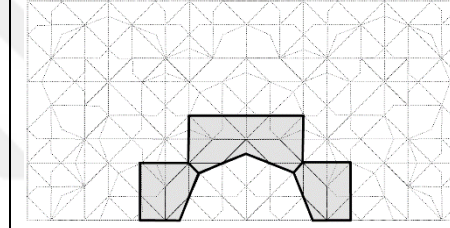
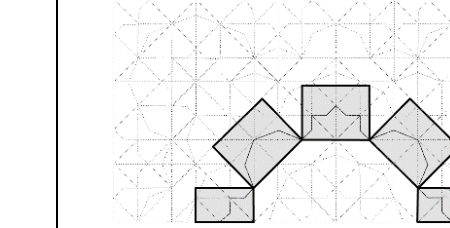
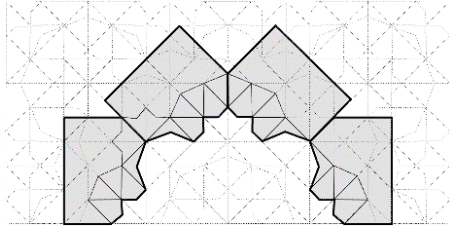
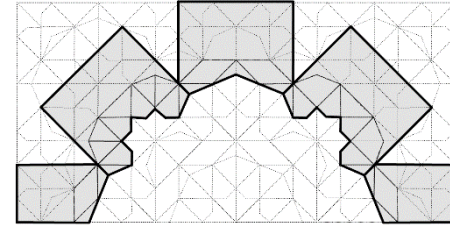
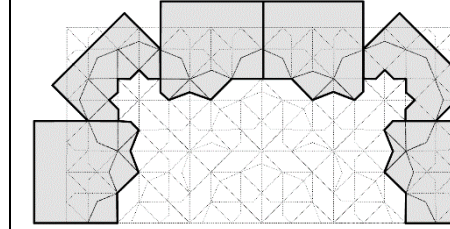
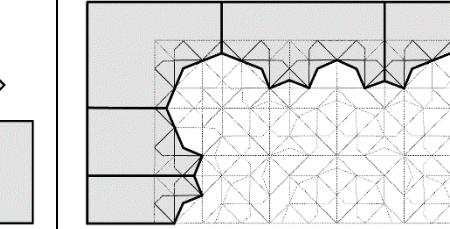
Beşinci kademe ara elemanlarının birleşim vektörleri altıncı kademe arpa ve badem birimlerinin açılım vektörleridir. Arpa ve badem birimleri yuvalar oluştururken, kare-baklava desenini tamamlayan parçaları yedinci kademenin ara elemanları olarak kullanılmıştır (EK-3).

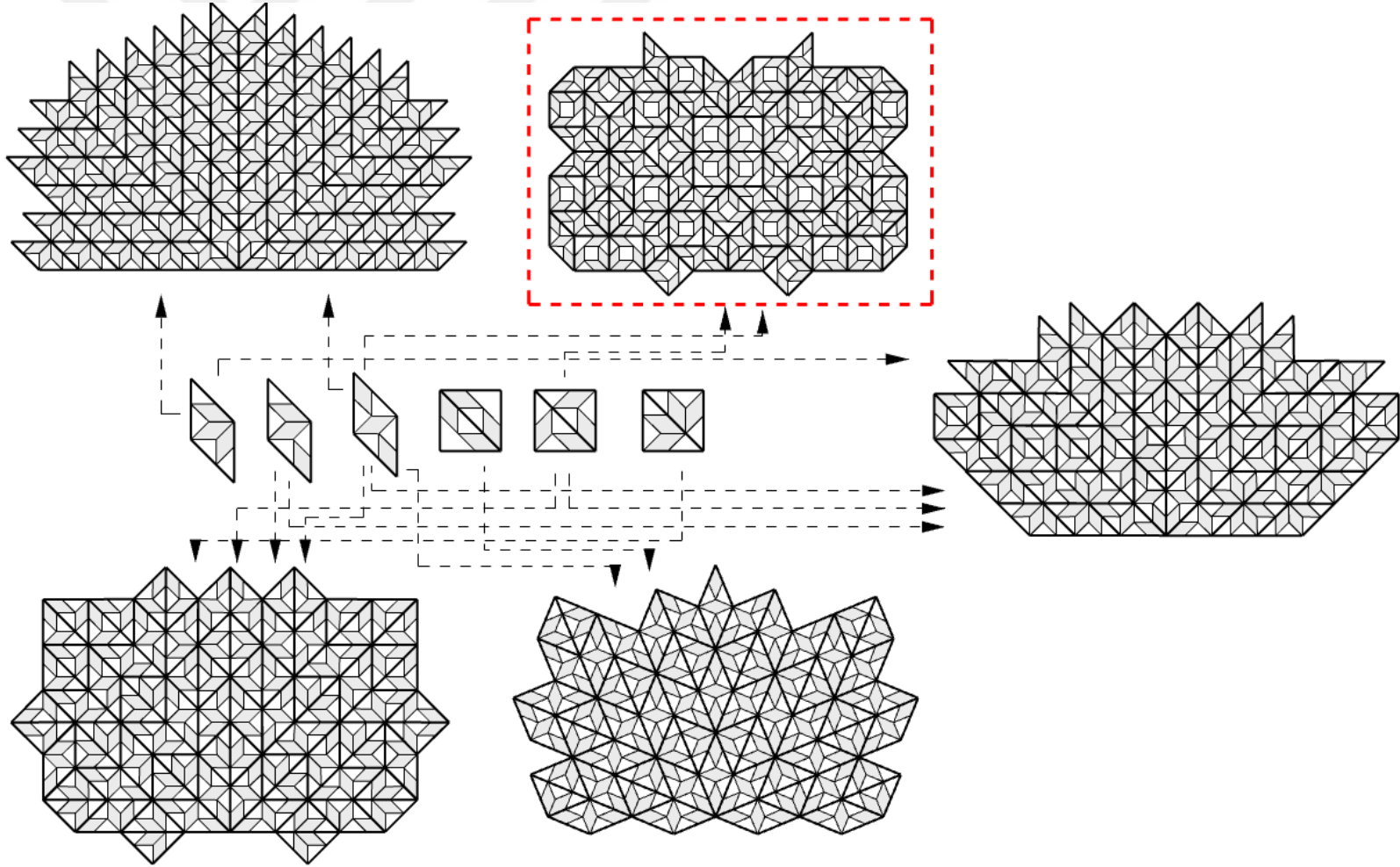
Geometrik kurgu düzeneğinin yedinci kademesinde yer alan baklava birimlerinde sekiz kollu yıldız oluşturulmuştur. Sekiz kollu yıldızlar ilk olarak baklava, badem ve badem tamamlayan birimleri olarak parçalanmıştır. Sistemin sağlaması yapıldığında dörtlü dönel simetri birimleri yerleşiminin doğru konumlandırıldığı fakat mukarnas planı için belirlenen $ax2a$ dikdörtgen alanında yer alan geometrik kurgu deseninin bir sonraki kademe birimlerin yerleştirilmesi durumunda yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle sekiz kollu yıldızın badem tamamlayan birimleri 'püskül' olarak işlevlendirilmiş, badem birimleri ise birleşim vektörleri doğrultusunda ara elemanlara dönüştürülmüştür. Üretilen ara elemanların birleşim vektörleri sekizinci kademenin yuva birimleri için açılım vektörleri olarak kullanılmaktadır. Sekizinci kademe, geometrik kurguda yer alan baklava deseninin hem badem tamamlayan hem de baklava birimi olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir. Yuva işlevi gören bu birimleri tamamlayan ara elemanlar dokuzuncu kademenin birimleridir. Sekizinci kademe kullanılan baklava biriminin ara eleman çizgileri izdüşüm planında çizgi olarak belirtilmesi, ara eleman işlevinin yalnızca üçüncü boyuta aktarıldığında anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu düzeneğin sağlaması yine geometrik kurgudan anlaşılmalıdır.

Geometrik kurgu izdüşüm planına evrilirken, planda okunamayan ara elemanlar sebebi ile yuva birimleri arka arkaya belirlenmektedir (EK-3).

Yedinci kademenin yuva birimlerini tamamlayan ara elemanlar sekizinci kademe konumlandırılmıştır. Ara elemanların birleşim vektörleri sekizinci kademenin açılım vektörleri olarak belirlenmiş ve yuvaları meydana getirmiştir. Sekizinci kademe yuvaları tamamlayan birimlerin izdüşümde düz çizgiler şeklinde bulunduğu dikkat çekmektedir. Düz çizgiler kademelendirme aşamasında üçüncü boyuta aktarıldığında mukarnas birimleri bulunmayan taş bloklar elde edilmiştir.

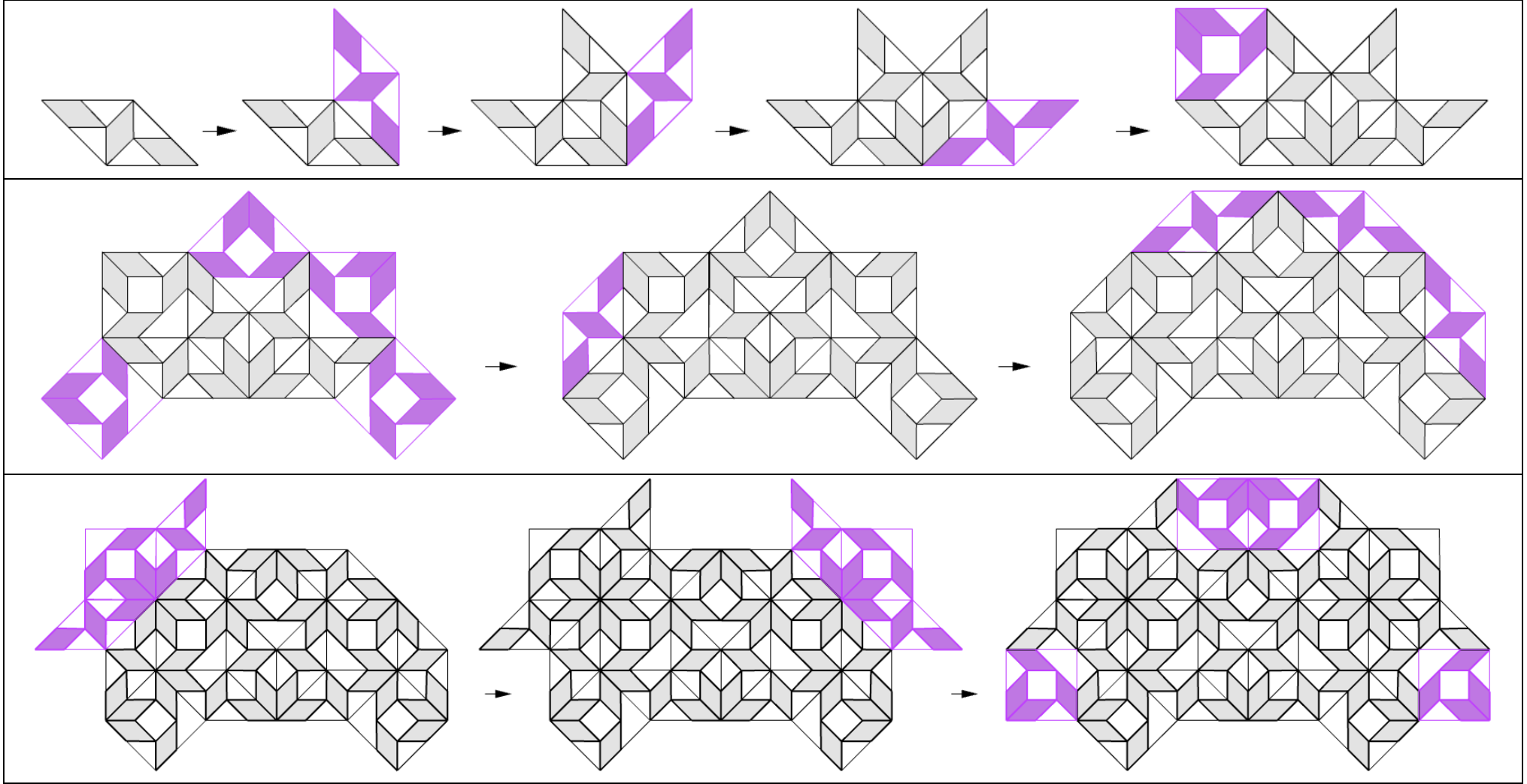
Çizelge 5.1. Afyon Gedik Ahmet Paşa Camisi taş blok yerleşimi

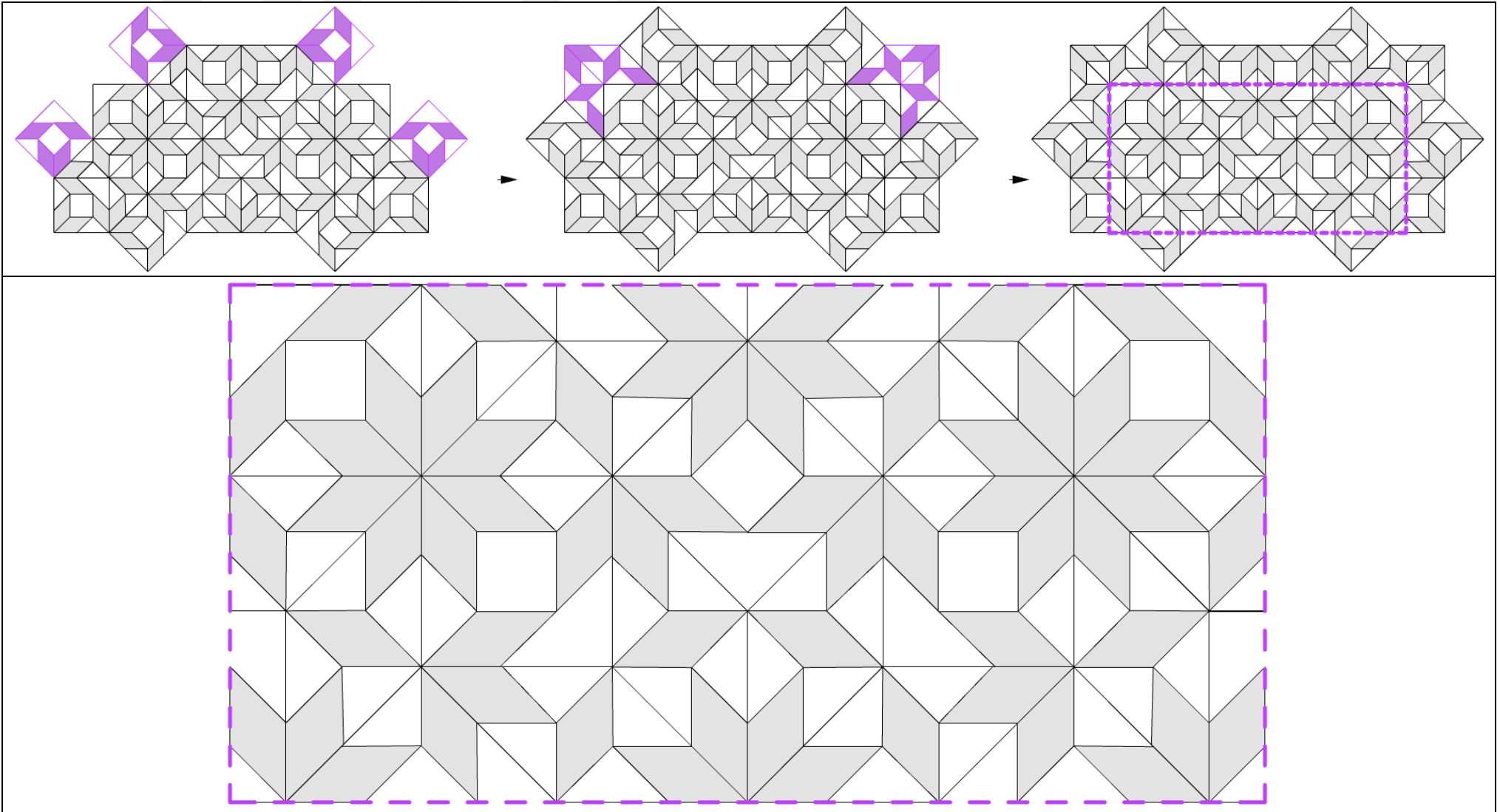
			
1.Kademe	2.Kademe	3.Kademe	4.Kademe
			
5.Kademe	6.Kademe	7.Kademe	8.Kademe



Şekil 5.22. Yeni mukarnas geometrik kurgu denemeleri

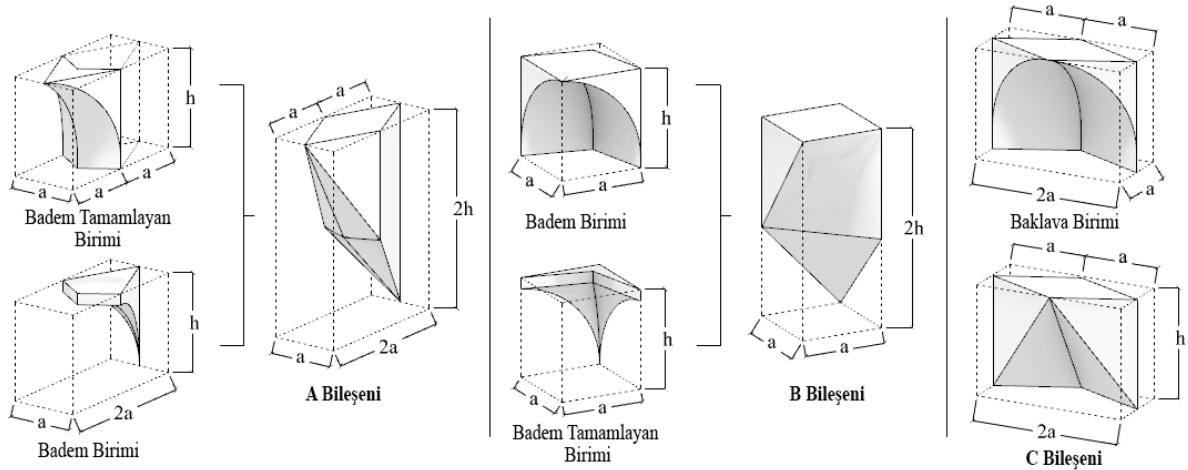
Çizelge 5.2. Süper karolar ile yeni mukarnas geometrik kurgu üretim adımları





Kademelendirme aşamasında mukarnas birimler el-Kaşi'nin birim sınıflandırmasında belirlediği arpa, arpa tamamlayan, badem, badem tamamlayan ve baklava birimleri olarak sınıflandırılmıştır. Birimler yaprak ve kazayağı olarak belirlendiğinde ise yuva ve ara elemanlar şeklinde işlevlendirilmiştir. Birim analizi ve işlev analizi aşamasının sentezlendiği ve el-Kaşi birimlerinin 'bileşen'lere dönüştüğü tesselayon metodu birimleri analizi doğrultusunda, kademelendirme aşamasında uygulanan yonteme alternatif olarak belirlenen yeni bir yöntem ile, geometrik kurguda bulunan kare-baklava desenlerinin bütün olarak değerlendirildiği 'yeni mukarnas birimleri' elde edilmiş ve boyutlandırma aşamasına geçilmiştir (Şekil 5.23) (Dinçer ve Yazar, 2021). Geometrik kurguda kare ve baklava olarak yer alan desenler mukarnas birimlerine dönüştürülürken analiz edilen örneklerde beş farklı birim şeklinde kullanıldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.24). Buna göre her bir mukarnas Baklava birimi B1, B2, B3 ve B4 olarak dört farklı mukarnas birimi, kare birimi ise K1 olarak tek mukarnas birimi şeklinde kullanılmıştır. Elde edilen beş farklı mukarnas birimi geometrik kurguya yerleştirildiğinde mukarnas boyutlandırma aşaması tamamlanmaktadır (Şekil 5.25).

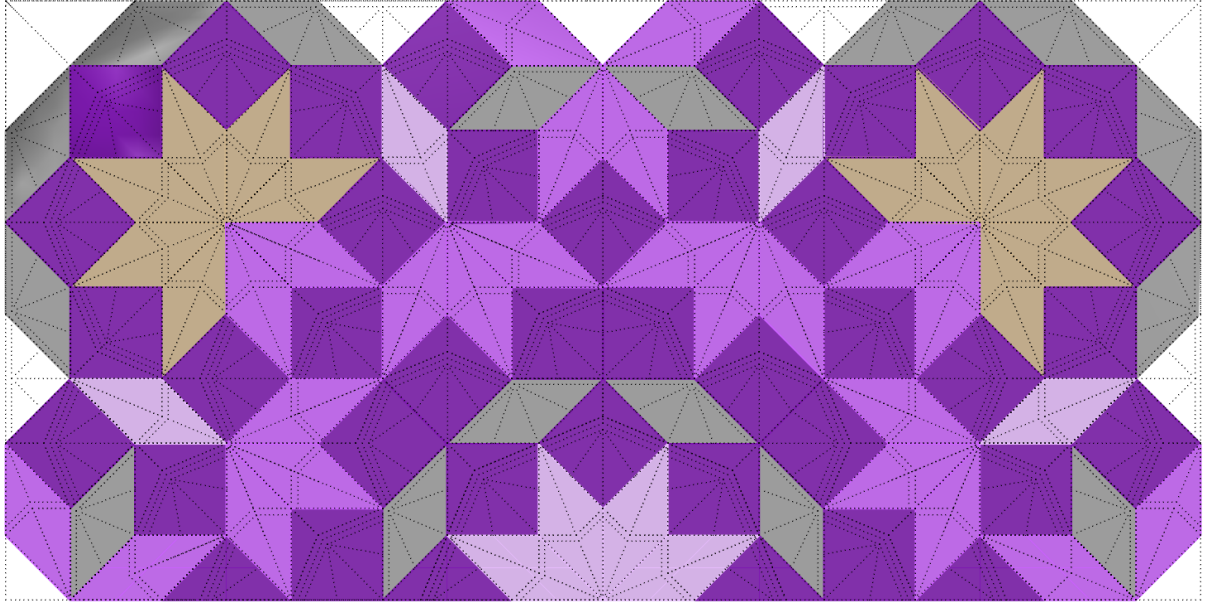
Birimler üzerinde yer alan geometrik bezemeler izdüşüm planı çizgilerinin boyutlandırılması ile üretilmiştir. Kavisli yüzeylerin boyutlandırılması Şekil 5.18'de Akşehir Taş Medrese örneğinden esinlenerek üretilmiştir. Kavisli yüzeyler el-Kaşi'nin hesaplamalarının izdüşüm planı çizgilerine uyarlanması ile elde edilmiştir. Yeni mukarnas birimleri ilk dönem Anadolu Selçuklu mukarnas öğelerinde bulunan yaprak (yuva) elemanları şeklinde dilimlenmiştir.



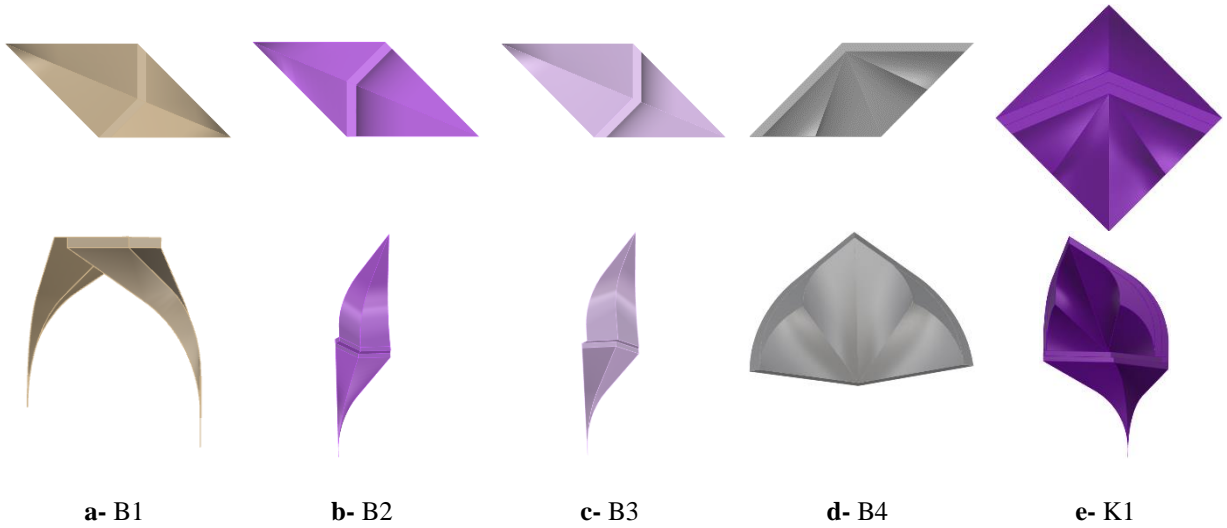
Şekil 5.23. Tesselasyon metodu birimleri (Dinçer ve Yazar, 2021)

Kademelerin belirlenmesi ile mukarnas izdüşüm planında yerleştirilmiş birimlerin taş blok sistemine aktarılması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada Akşehir Taş Medrese ve Afyon

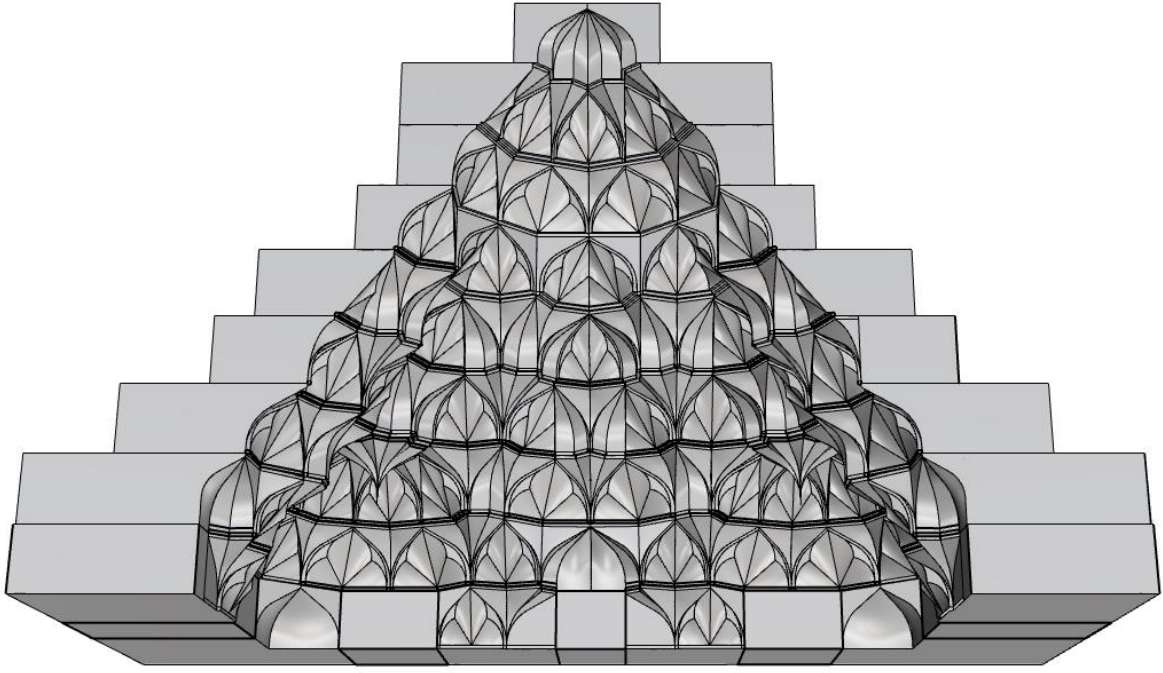
Gedik Ahmet Paşa Camisi mukarnas örtüleri kütle yerleşim sistemlerinden yola çıkılarak açısal yönelim gösteren birimlere sahip kütlelerin aynı doğrultuda konumlandırılması sonucuna varılmıştır. Açısal yerleşimin yanı sıra kütle boyutlandırma sürecinde dikkat edilmesi gereken bir diğer aşama olarak belirlenen derz aşırma sistemi, yuva ve ara eleman konumları göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir. Bloklar yerleştirilirken döndürülerek yerleştirilmesi gereken bloklar 45° ve 90° lik yönelimler ile yerleştirilmiştir.



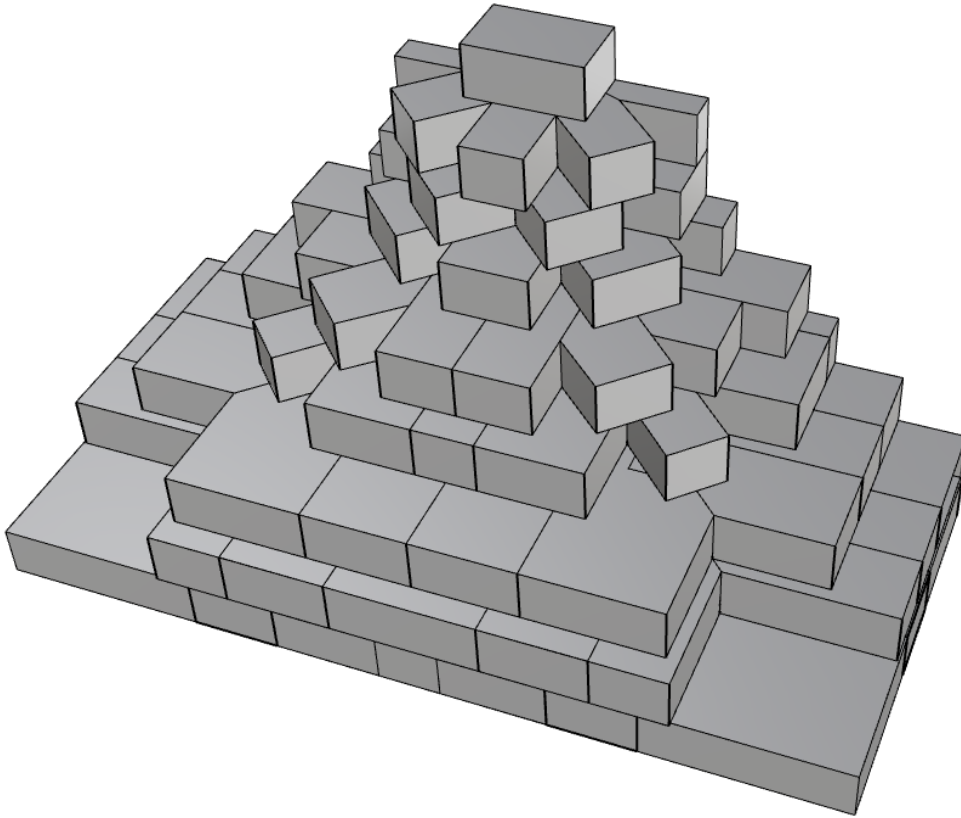
Şekil 5.24. Yeni mukarnas denemesi geometrik kurguda farklı kare ve baklava birimi kullanımı



Şekil 5.25. Geometrik kurguda yer alan kare ve baklava birimlerinin üçüncü boyuta aktarımı



Şekil 5.26. Yeni mukarnas denemesi ön görünüş



Şekil 5.27. Yeni mukarnas denemesi taş blok dizilimi

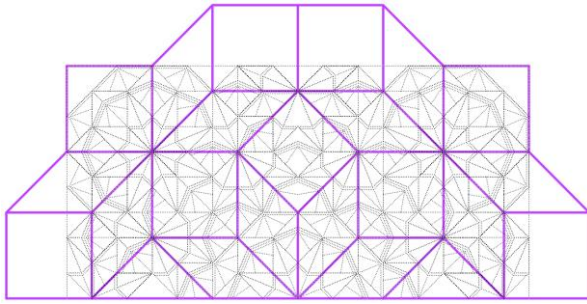
Blokların her birinin derz aşırımları genellikle ara eleman kesimleri olarak belirlenecek şekilde Anadolu Selçuklu Devleti ilk örneklerinde yer alan taş blok

yerleşimlerine uygun olarak tasarlanmıştır. 59 taş bloktan oluşan sistemde 27 adet taş blok birbirinden farklı bloklar olarak kullanılmıştır (EK-4, Şekil 5.26, Şekil 5.27).

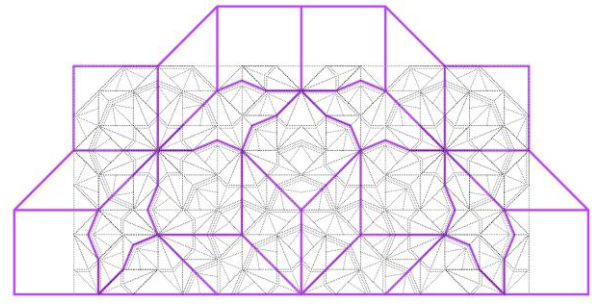
5.4. Süper Karo Bloklar ile Üretim Denemeleri

Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönem yöntemleri ile üretilen mukarnas blokları genellikle yuva işlevi gören birimlerin yerleşimlerine göre belirlenmektedir. Ara eleman olarak belirlenmiş mukarnas birimleri bir ya da birkaç yuva biriminin bir arada kullanılması ile elde edilmektedir. Öte yandan yuva birimlerinin parçalanarak kullanıldığı farklı taş blok uygulamalarına da rastlanmıştır. Bu nedenle taş blok yapım ve yerleşim sürecinin mukarnas-taş ustasının elinde bulunan malzemenin biçimine göre belirlediği bir aşama olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde mukarnas yapım sürecinde kullanılan bloklama sistemi, tasarım sürecinde geometrik kurgu altlığı olarak uygulanan süper karo sistemine dahil edilmiştir. Geometrik kurgu tasarımı aşamasında kullanılan süper karoların ana hat desenleri yapım aşamasına aktararak ‘süper karo bloklar’ elde edilmiştir. Süper karo bloklar izdüşüm planı üzerine yerleştirildiğinde süper karo blok hatlarına denk gelen birimlerin parçalandığı görülmektedir. Bu sebeple süper karo blok hatları izdüşüm planındaki birimlerin konumlarına göre yeniden şekillendirilmiştir (Şekil 5.28 ve Şekil 5.29).

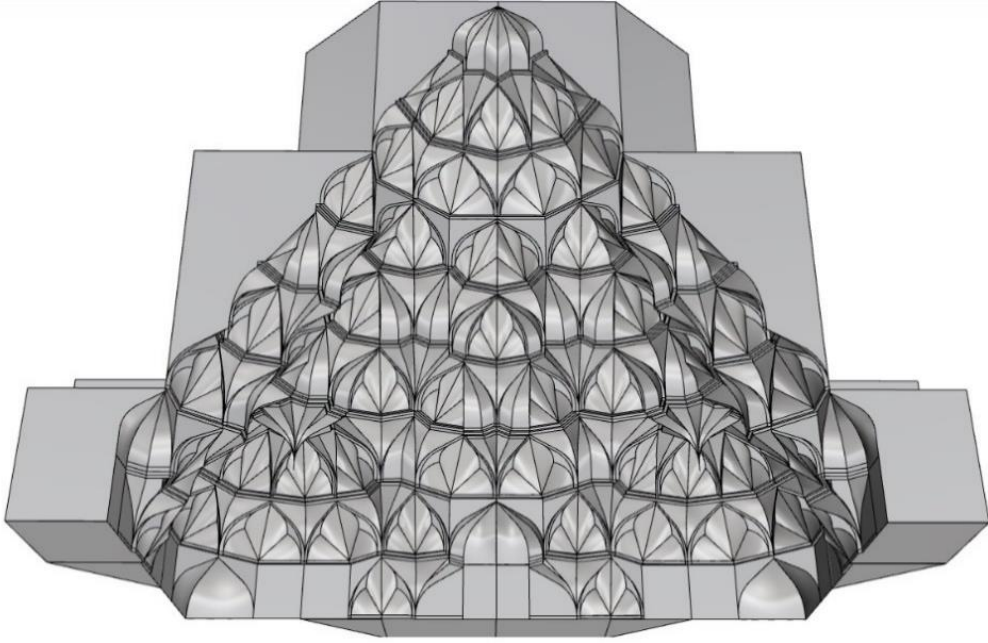


Şekil 5.28. Süper karo blokların izdüşüm planı üzerinde yerleşim kurgusu

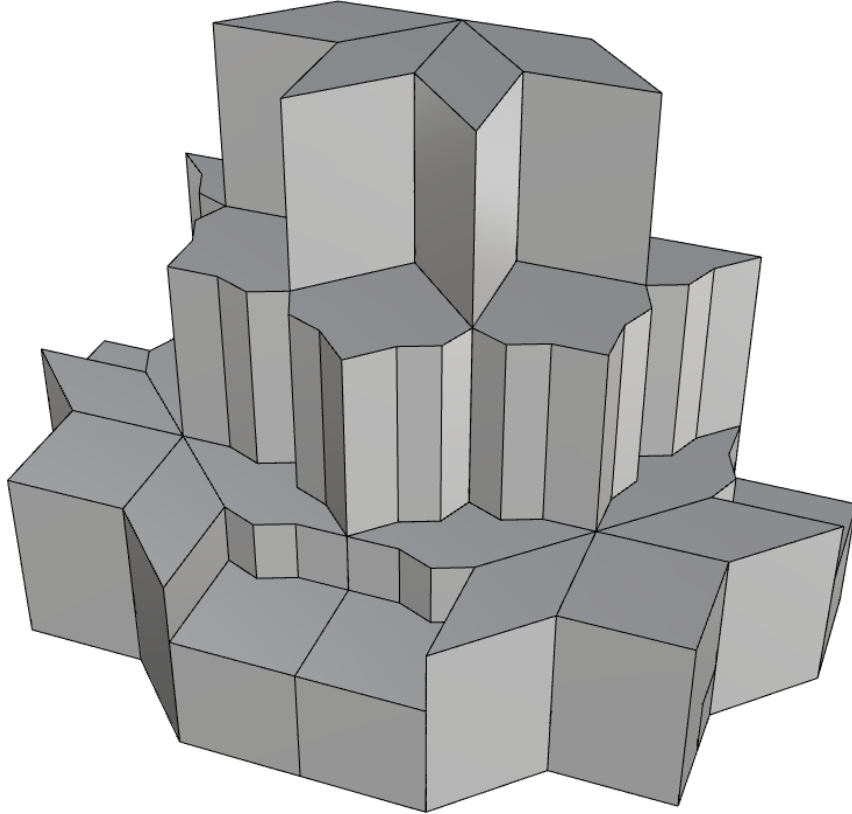


Şekil 5.29. Süper karo blokların izdüşüm planı üzerinde belirlenen birimlere göre yeniden biçimlendirilmesi

İzdüşüm planında yer alan süper karo düzeneğinin 3 boyutlu sisteme aktarılması ile blok yerleşimi sağlanmıştır. Geleneksel taş blokların her birinde yükseklik değeri kademe yüksekliği ile eşdeğer iken süper karolar ile kurulan sistemde oluşan prizma blokların köşe noktalarının z koordinatı her birinde farklı yerleşmiştir. Bu nedenle tasarım sürecinde kullanılan kademelendirme aşaması süper karo blokları oluşturulurken kullanılmamaktadır.



Şekil 5.30. Süper karo bloklar ile modellenmiş yeni mukarnas denemesi ön görünüşü



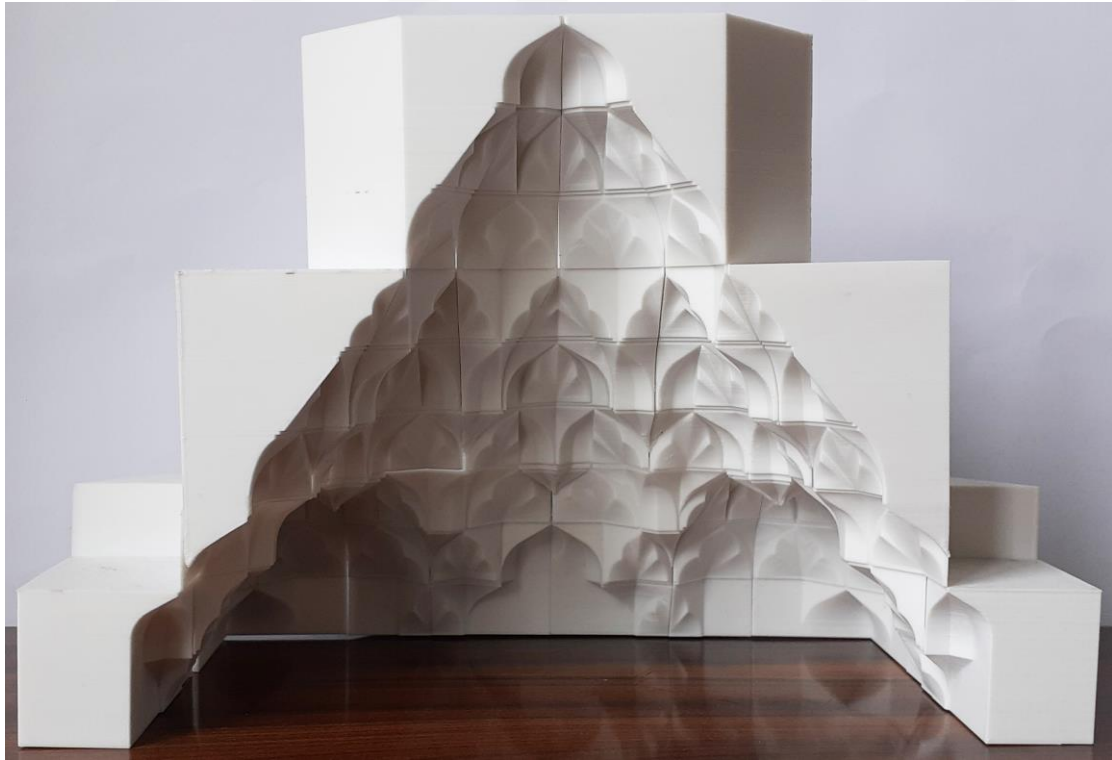
Şekil 5.31. Süper karo bloklar ile modellenmiş yeni mukarnas denemesi arka görünüşü

Süper karo bloğunda kullanılması gereken mukarnas birimleri hangi kademede yer alıyorsa bloklar o kademelere kadar devam ettirilmelidir (EK-5, Şekil 5.30 ve Şekil 5.31). Bu

şekilde üretilen bir sistem sonucunda yirmi üç süper karo bloğu kullanılmıştır. Kullanılan karoların yedi tanesi farklı bloklar şeklinde yerleşmiştir (Şekil 5.32). Üç boyutlu yazıcıda 7 farklı bloğun her birinden gereken sayı adedi kadar üretilmiştir. Sonuç ürün olarak elde edilen 23 süper karo bloğu bir araya getirilerek sistemin kurulumu tamamlanmıştır (Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.35).



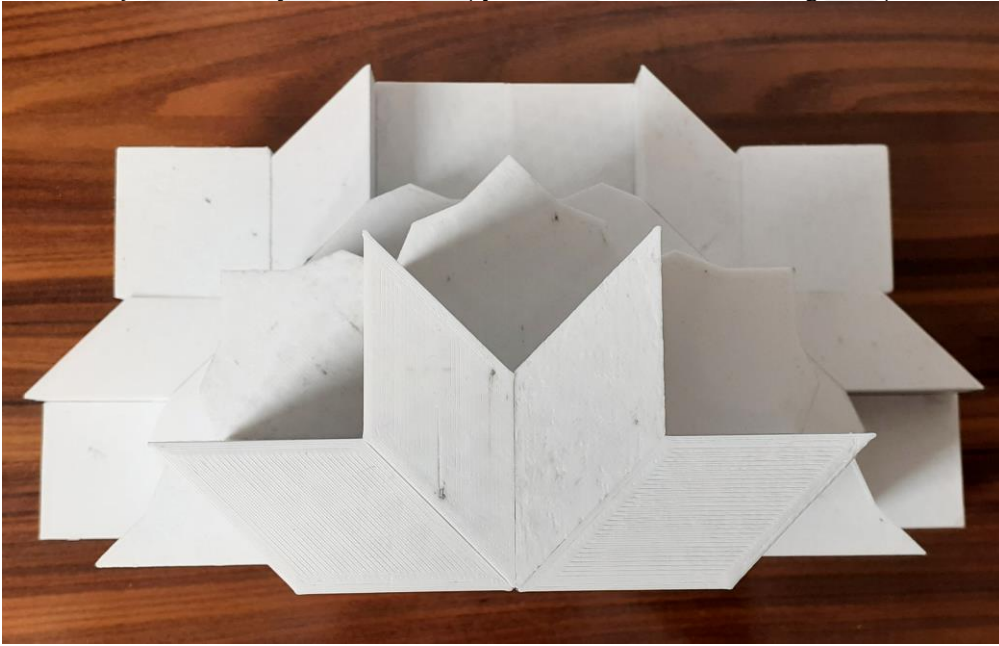
Şekil 5.32. 3B yazıcı ile üretilmiş süper karo blokları



Şekil 5.33. 3B yazıcı ile üretilmiş yeni mukarnas denemesi ön görünüş



Şekil 5.34. 3B yazıcı ile üretilmiş yeni mukarnas denemesi arka görünüş

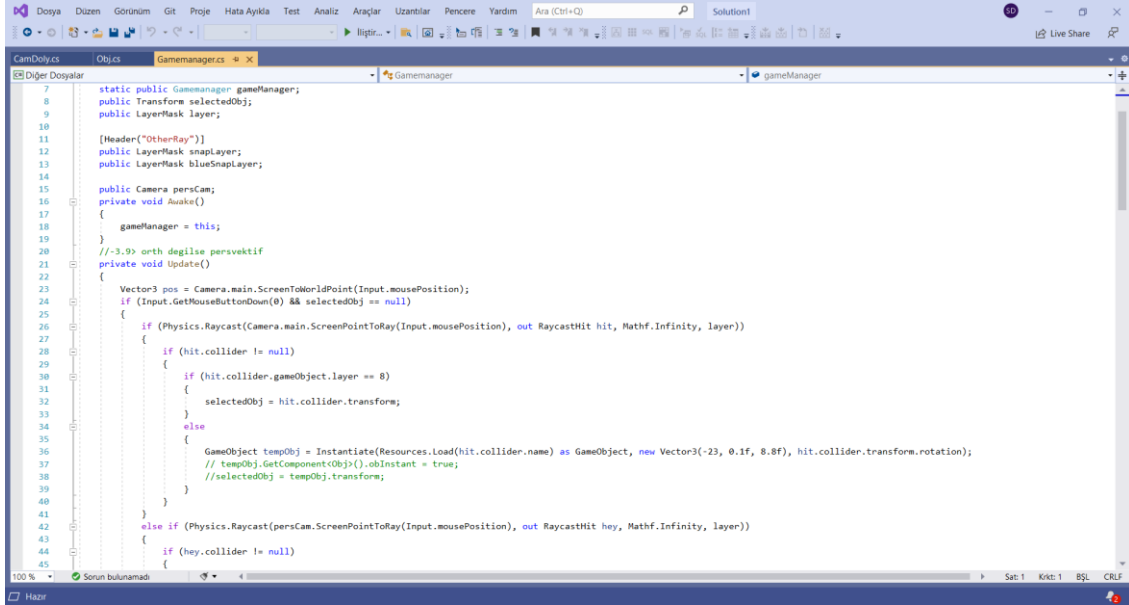


Şekil 5.35. 3B yazıcı ile üretilmiş yeni mukarnas denemesi üst görünüş

5.5. Unity Oyun Motoru ile 'Anadolu Mukarnası' Uygulaması

Mukarnas tasarım kurgusunun pratik bir sisteme aktarıldığı Unity oyun programında video oyunları ve simülasyonları geliştirilmektedir. Unity, 2B ve 3B grafikleri sürükleyip

bırakma işlevselliğine sahip, C# ile komut dosyası yazmayı destekleyen çok yönlü bir oyun motorudur (URL-62). Unity üzerinden C# kodlama dili seçilerek Visual Studio kod editörü ortamında çalışılmıştır (Şekil 5.36).

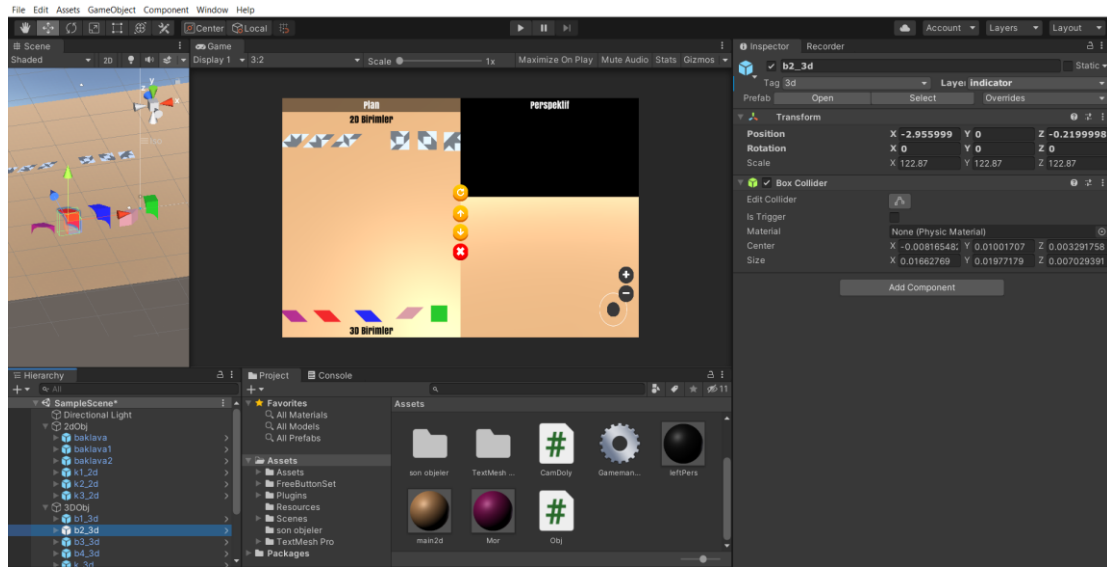


```

7 static public GameManager gameManager;
8 public Transform selectedObj;
9 public LayerMask layer;
10
11 [Header("OtherRay")]
12 public LayerMask snapLayer;
13 public LayerMask blueSnapLayer;
14
15 public Camera persCam;
16 private void Awake()
17 {
18     gameManager = this;
19
20     // -3.9> orth değilse perspektif
21     private void update()
22     {
23         Vector3 pos = Camera.main.ScreenToWorldPoint(Input.mousePosition);
24         if (Input.GetMouseButtonDown(0) && selectedObj == null)
25         {
26             if (Physics.Raycast(Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition), out RaycastHit hit, Mathf.Infinity, layer))
27             {
28                 if (hit.collider != null)
29                 {
30                     if (hit.collider.gameObject.layer == 8)
31                     {
32                         selectedObj = hit.collider.transform;
33                     }
34                     else
35                     {
36                         GameObject tempObj = Instantiate(Resources.Load(hit.collider.name) as GameObject, new Vector3(-23, 0.1f, 8.8f), hit.collider.transform.rotation);
37                         tempObj.GetComponent<Obj>().obInstant = true;
38                         //selectedObj = tempObj.transform;
39                     }
40                 }
41             }
42             else if (Physics.Raycast(persCam.ScreenPointToRay(Input.mousePosition), out RaycastHit hey, Mathf.Infinity, layer))
43             {
44                 if (hey.collider != null)
45             }

```

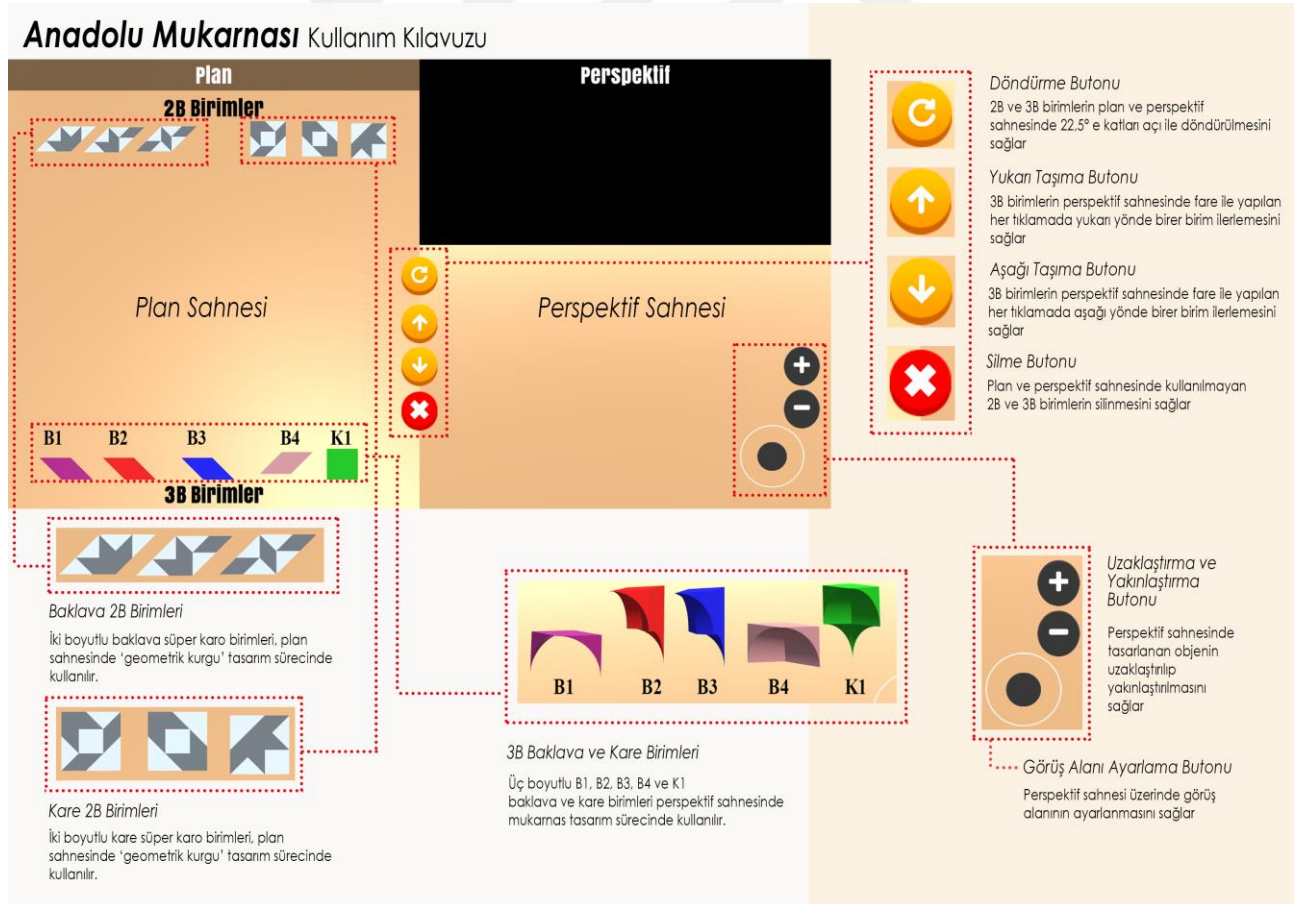
Şekil 5.36. C# Visual Studio arayüzü



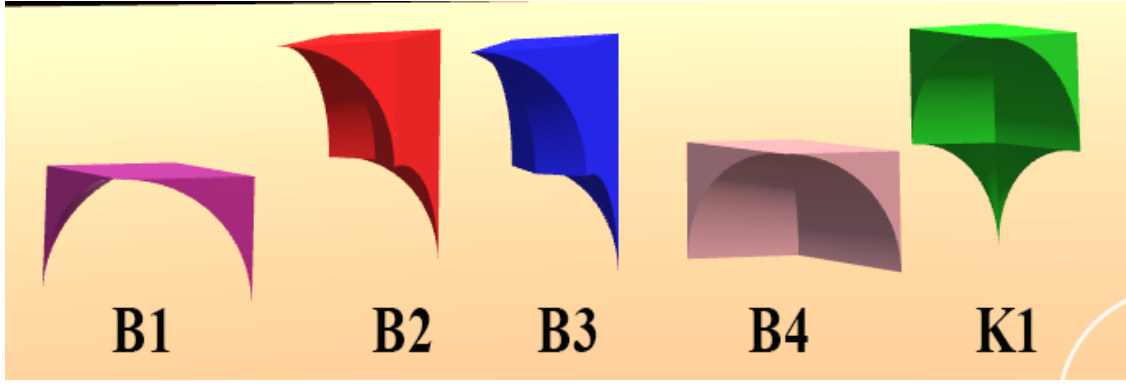
Şekil 5.37. Unity oyun motoru arayüzü

Geliştirilen ‘Anadolu Mukarnası’ uygulaması için hazırlanan 2B ve 3B mukarnas birimleri Rhinoceros programında modellenerek Unity oyun motoruna aktarılmıştır (Şekil 5.37). 2B ve 3B mukarnas birimleri plan sahnesinde üst görünüşleri üzerinden, perspektif sahnesinde ise üçüncü boyutta biçimlenişleri üzerinden değerlendirilmektedir (Şekil 5.38). 2B

birimler, plan görünümünde baklava ve kare süper karoları olarak yerleştirilmiştir. Uygulamada üç adet baklava süper karosu ve üç adet kare süper karosu bulunmaktadır. 3B mukarnas birimleri ise plan sahnesinde B1, B2, B3, B4 ve K1 birimleri olarak üstten görünüşleri ile yer almaktadır (Şekil 5.39). Plan ve perspektif sahnelerinin ortasında yer alan komutlardan döndürme butonu hem plan hem de perspektif görünümünde 2B ve 3B birimlerin $22,5^\circ$ ve katları açılar ile döndürülmesini sağlamaktadır. 2B süper karo birimlerinin kullanımı plan ve perspektif sahnesinde yalnızca döndürme butonu ile aktiftir. Döndürme butonunun altında bulunan yukarı taşıma ve aşağı taşıma butonları ile rotasyonu belirlenen 3B birimler yukarı ve aşağı yöne doğru ilerletilmektedir. Uygulamada B1 ve B4 birimlerinin yükseklikleri bir birim kabul edilirken, B2, B3 ve K1 birimleri iki birim kabul edilmiştir. Bu nedenle yukarı ve aşağı taşıma butonları kademelendirme aşamasında birer birimlik ilerleme yapmaktadır. Perspektif sahnesinde bulunan uzaklaştırma, yakınlaştırma ve görüş alanı ayarlama butonları ile üçüncü boyutta biçimlenmeye başlayan mukarnas tasarımı kontrol edilebilmektedir (Şekil 5.38).



Şekil 5.38. Anadolu Mukarnası uygulaması kullanım kılavuzu



Şekil 5.39. 'Anadolu Mukarnası' uygulaması 3B mukarnas birimleri

5.5.1. Anadolu Mukarnası Uygulaması ile Mukarnas Denemeleri

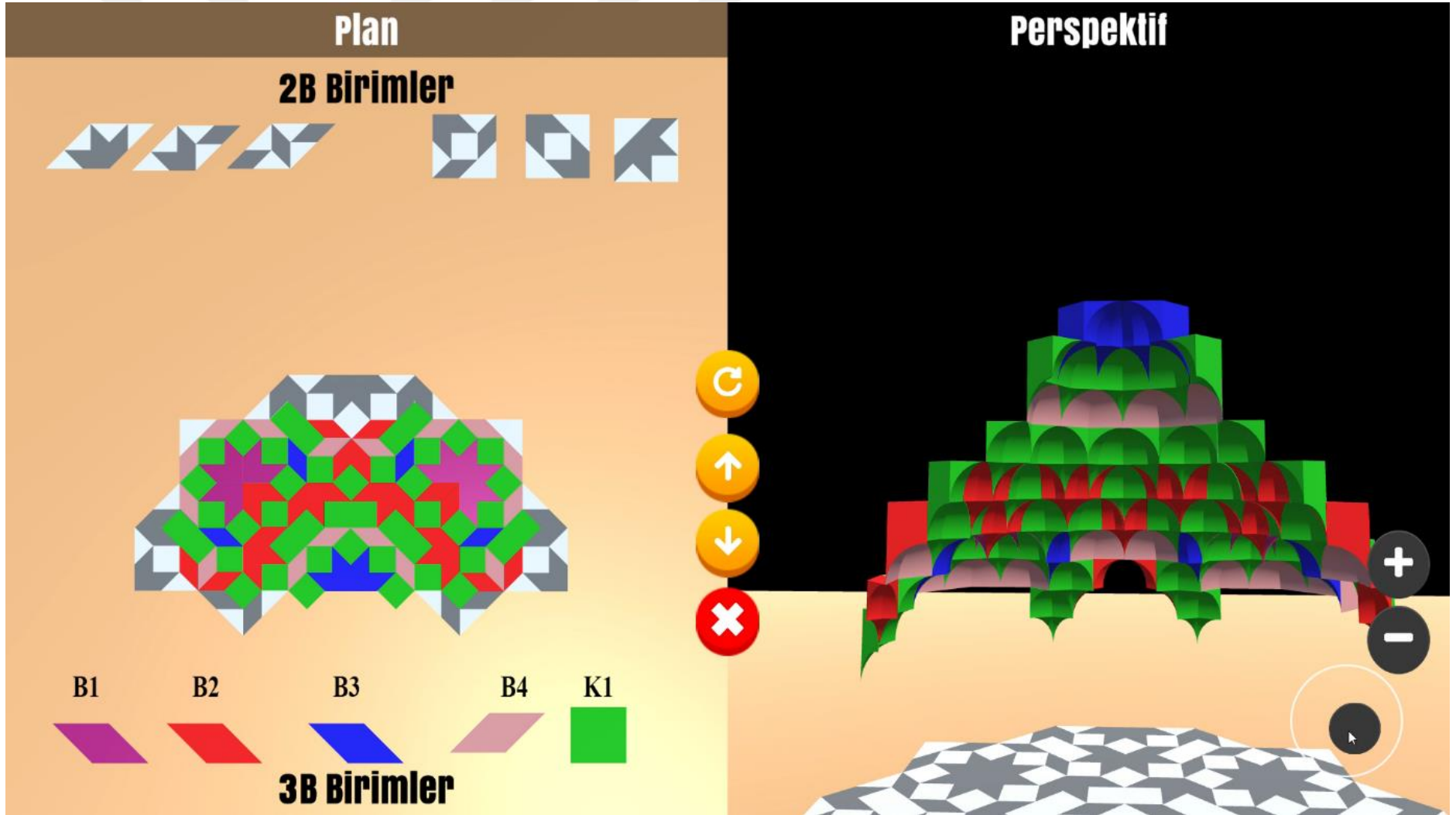
Uygulamanın kullanımı plan sahnesinde 2B birimlerin yerleşimi ile başlamaktadır. 2B birimler $22,5^\circ$ ve katları rotasyonlar ile uç uca eklenerek bir tesselayon oluşturmaktadır. Bu aşamada elde edilen tesselayonun mukarnas geometrik kurgusu için uygunluğu, kullanıcının tasarım aşamalarını kontrol edebilme ve geri beslemeler ile sistemi denetleyebilme kapasitesine dayalıdır.

2B birimlerin yerleştirilmesi ile birimleri meydana getiren kare-baklava desen konumlarına göre 3B birimler eklenmelidir. 2B birimlerde bulunan kare baklava desenleri 3B birimlerin izdüşümleridir. Bu aşamada baklava 3B birimleri için dört farklı birim, kare 3B birimler için tek birim seçeneği bulunmaktadır.

2B birimler ile kurulan geometrik kurgu düzeneği her zaman sekiz kollu yarım yıldız ile başlar, Anadolu örneklerinde sekiz kollu yarım yıldız oluşturan 3B birimlerin genellikle 'B3 baklava birimi' olduğu gözlenmiştir. Baklava birimlerinin yerleşimi sonrasında birimleri tamamlayan desen kare deseni olduğu için 'K1 birimi' ile baklava birimlerinin arası doldurulmalıdır.

Uygulamada, geometrik kurgu tasarım sürecinin kare-baklava tesselayonu ile yapılması, geleneksel mukarnas kademelendirme aşamasının kısmi olarak dahil edilmediği bir sisteme dönüştürmesine neden olmuştur. Her kademe yüksekliğinde farklı birimler şeklinde değerlendirilmiş parçalar izdüşümde kare-baklava deseni elde edilecek biçimde birleştirilmiştir. Bu nedenle kademelendirme aşaması z düzleminde birimler bir araya getirilirken birbirini doldurarak tamamlanan sistemi ile yuva-ara eleman işlev analizi aşaması üzerinden devam etmelidir.

Bölüm 5.3'te tasarlanan yeni mukarnas denemesinin ilk yedi kademesinin Anadolu Mukarnası uygulamasında üretim aşamaları EK-6'da görülmektedir. Plan sahnesinde başlayan geometrik kurgu tasarım süreci '2B birimler'de yer alan Ammann-Beenker A5 süper baklava ve kare karoları ile başlamaktadır. Mukarnas tasarımının tepe noktasını oluşturan sekiz kollu yarım yıldız modelinin elde edilmesi için plan sahnesine 'sürükle-bırak' işlemi yapılarak 2B baklava birimi eklenir (EK-6, 2. Adım). Seçilen 2B baklava birimi döndürme butonu ile iki kere döndürüldüğünde 45°'lik açı ile yerleştirilmiş olacaktır (EK-6, 3. Adım). İşlem dört adet 2B baklava biriminin 180°'ye yerleştirilmesi ile tamamlanır (EK-6, 4. Adım). Geometrik kurgu 2B baklava birimlerinin aralarına yerleştirilen A5 kare süper karo birimine benzeyen 2B kare birimi ile devam etmektedir (EK-6, 4. ve 5. Adım). Döndürme butonu ile yerleştirilen beş adet 2B kare birimin yerleştirilmesi ile aralarında oluşan boşluğa 2B baklava birimleri yerleştirilmiştir (EK-6, 7. Adım). Plan sahnesine yerleştirilen 2B birimler yedi kademeli bir geometrik kurgu tasarımı için yeterlidir. 2B birimlerin yerleştirilmesi ile 3B birimlerin yerleştirilmesi aşamasına geçilir. Anadolu'da yer alan mukarnas örneklerinde tepe noktasında başlayan yarım kollu yıldız genellikle B3 birimi ile yapılmaktadır. B3 birimi plan sahnesine çağırılarak geometrik kurguda yerleşen 2B birimlerinde uygun baklava deseninin üstüne konumlandırılır (EK-6, 8. ve 9. Adım). Bu aşama dört adet B3 biriminin yerleştirilmesi ile yarım yıldız deseni elde edilir (EK-6, 10. Adım). Yerleştirilen B3 birimleri yukarı taşıma butonu ile her bir adımda bir birim ilerletilir (EK-6, 11. Adım). Aynı aşamalar planda yerleştirilen B3 birimlerinden sonra kare desenleri için uygulanır. Kare deseninden 3B birim üretimi yalnızca K1 birimi ile yapılmaktadır. Beş adet K1 birimi plan sahnesinde geometrik kurguda yer alan sisteme göre uygun açılar ile yerleştirilir (EK-6, 12. ve 13. Adım). Yerleştirilen B3 birimleri yukarı taşıma butonu ile her bir adımda bir birim ilerletilir (EK-6, 14. Adım). Geometrik kurguda kare desenlerinden sonra gelen baklava desenleri için B4 birimleri seçilir (EK-6, 15. Adım). Dört adet B4 birimi döndürme butonu ile yerleştirilerek yukarı taşıma butonu ile diğer kademelerin altına konumlandırılır (EK-6, 16, 17 ve 18. Adım). B4 birimlerinin yerleşimi sonrasında geometrik kurguda kare desenleri üzerine sekiz adet K1 birimi uygun biçimde konumlandırılır (EK-6, 19. ve 20. Adım). K1 birimleri yukarı taşıma butonu ile B4 birimlerinin altında ve arasında kalan boşluklara yerleştirilir (EK-6, 21. Adım). K1 birimleri sonrasında geometrik kurguda bulunan baklava desenleri B2 birimleri ile tamamlanır. B2 birimleri geometrik kurgu planında uygun şekilde yerleştirilir ve modelde K1 birimlerinin arasında kalan boşluklara konumlandırılır (EK-6, 22, 23 ve 24. Adım). B2 birimlerinin konumlandırılması sonrasında K1 birimleri çoğaltılarak dönme butonu ile


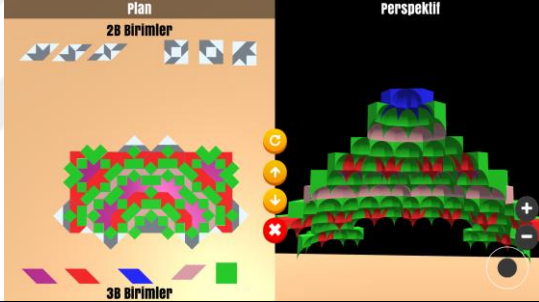




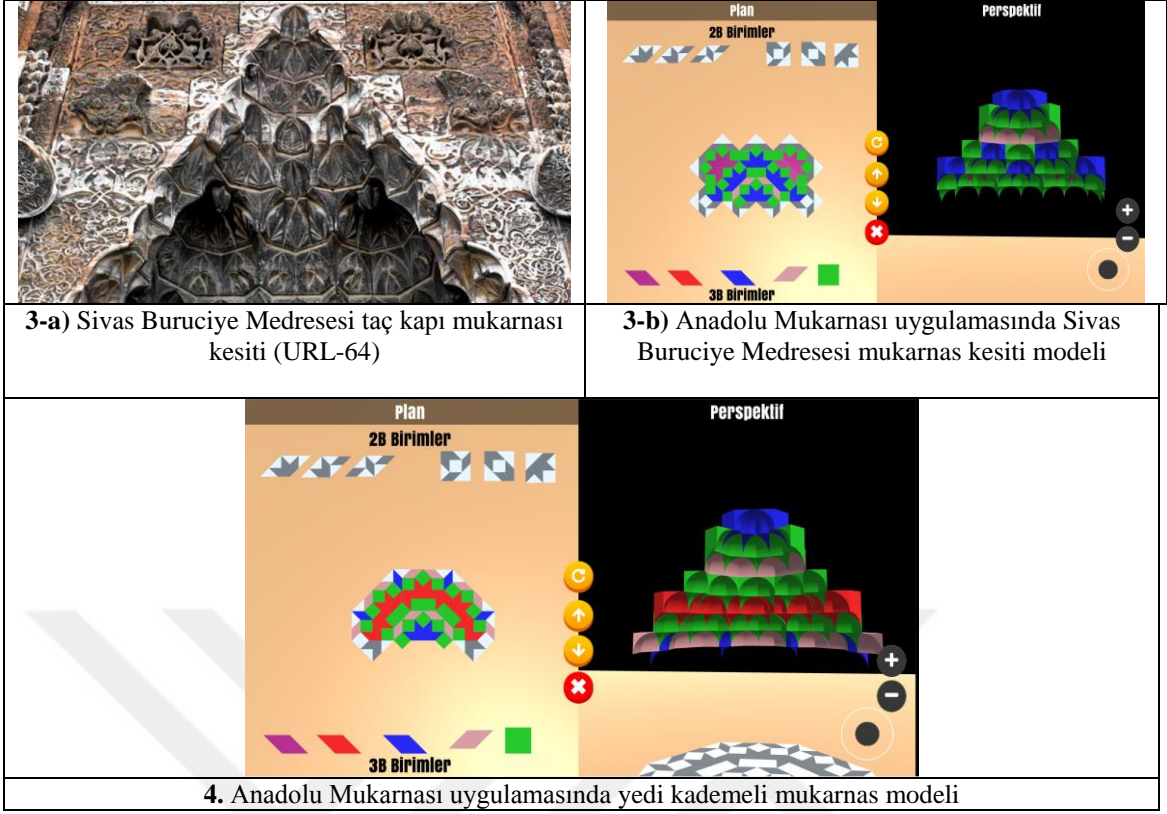
Şekil 5.40. Anadolu Mukarnası uygulamasında yeni mukarnas denemesi

geometrik kurguya ve perspektif sahnesindeki modele uygun biçimde yerleştirilir (EK-6, 25. ve 26. Adım).Yeni mukarnas denemesinin bütün birimlerinin konumlandırılması ile Şekil 5.40'taki model elde edilir.

Anadolu Mukarnası uygulamasında Çizelge 5.3'teki gibi farklı mukarnas denemeleri yapılmıştır. Çizelge 5.3; Şekil 1-a.'da görülen Behram Paşa Camisi'nin uygulamada üretilen modeli Şekil 1-b'deki gibidir. Çizelge 5.3; Şekil 2'de Behram Paşa Camisi geometrik kurgu planı $22,5^\circ$ döndürülerek yeni bir geometrik kurgu elde edilmiştir. Mukarnas modelinde yeni birimler kullanılarak Behram Paşa Camisi modelinden farklı birimler kullanılarak yeni bir model denemesi yapılmıştır. Çizelge 5.3; Şekil 3-a ve 3-b'de Sivas Buruciye Medresesi geometrik kurgusunun kare-baklava desenli kesitinin mukarnas modeli denemesi yapılmıştır. Çizelge 5.3; Şekil 4'te yeni bir geometrik kurgu tasarımı demesi üzerinden yedi kademeli model üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.3.Anadolu Mukarnası uygulaması ile yapılan mukarnas modelleri

 <p>BEHRAMPASA CAMII</p>	 <p>Plan 2B Birimler</p> <p>Perspektif</p> <p>3B Birimler</p>
<p>1-a) Behram Paşa Camisi taç kapı mukarnası (URL-63)</p>	<p>1-b) Anadolu Mukarnası uygulamasında Behram Paşa Camisi mukarnas modeli</p>
 <p>Plan 2B Birimler</p> <p>Perspektif</p> <p>3B Birimler</p>	 <p>Perspektif</p>
<p>2. Anadolu Mukarnası uygulamasında Behram Paşa Camisi mukarnas geometrik kurgusunun $22,5^\circ$ döndürülmesi ve farklı 3B birimler kullanılması ile elde edilen yeni mukarnas modeli</p>	



SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışmada Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlerde uygulanmış kare-baklava modüler birimli mukarnas izdüşüm planı ve üç boyutlu birimlerin geometrik çözümlenmeleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler üç ana başlık altında sonuçlandırılmıştır;

1) Yazılı ve görsel kaynaklar üzerinden yapılan değerlendirmeler:

Mukarnas alanında yapılan bazı uygulamalarda diğer İslami sanat dallarında olduğu gibi desen tasarım kurgusu ve geometrik strüktürün anlaşılması, çözümlenmeleri konusunda yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu açığın kapatılması adına tasarım ve yapım aşamaları adımlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda mukarnas ögesinin ortaya çıkışı, gelişim süreci ve yapım tekniklerinin her birisi uygulandığı bölgelere göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda Anadolu Selçuklu Devleti taş mukarnas uygulamalarında diğer mukarnas örneklerinden farklı üretim tekniklerinin kullanıldığı gözlenmiştir. Literatür taramasında Anadolu Selçuklu Devleti mukarnası çözümlenmelerine dair yeterli veriye ulaşılamamıştır. Bu nedenle Anadolu'daki güncel uygulamalar ve restorasyon projesi incelemeleri çalışmaya dahil edilmiştir. İncelenen uygulamalar arasında Konya Akşehir Taş Eserler Müzesi (Akşehir Taş Medrese) restorasyon-restitüsyon projesi üzerinden EK-2'de taç kapıdaki mukarnaslı taş blokların yerleşim aşamaları hazırlanmıştır. Akşehir Taş Medrese mukarnası izdüşüm planında 22,5° ve katları şeklinde yerleştirilen mukarnas birimlerinin benzer açısız yerleşiminin mukarnas tasarımının arka planında kalan taş blok diziliminde de uygulanarak strüktürel sisteme dahil edildiği gözlenmiştir.

2) Mukarnas iki ve üç boyutlu geometrik çözümlenme aşamaları üzerinden yapılan değerlendirmeler:

Mukarnas geometrik çözümlenmeleri üzerine yapılan detaylı bir literatür taraması sonucunda her dönem ve bölgede uygulanan mukarnas öğelerinin farklı tasarım ve yapım süreci olduğu sonucuna varılmıştır. Anadolu Selçuklu Devleti ve sonrası dönemlerde uygulanan taş mukarnas örnekleri için iki boyutlu geometrik çözümlenme

aşaması kare-baklava modüler birimli geometrik kurguya sahip izdüşüm planları ile sınırlandırılmıştır. Elde edilen verilerin sentezi sonucunda yeni ve özgün bir mukarnas tasarımı yapılmıştır. Belirlenen yöntemde Ammann-Beenker süper karolarının ana hatları kullanılarak ‘yeni süper karolar’ geliştirilmiştir. Süper karolar üzerinde konumlanan üç boyutlu mukarnas birimlerinin çözümlemeleri geleneksel mukarnas birimlerinin sentezi sonucunda beş yeni mukarnas birimi elde edilerek kategorize edilmiştir. Öte yandan geleneksel mukarnas taş blok yerleşimi ‘süper karo’ tessellasyonu ile yeniden yorumlanarak alternatif bir ‘süper karo blok’ üretim tekniği geliştirilmiştir. Süper karo blokların 3B yazıcıda üretilebilirliği test edilmiş, geleneksel mukarnas blok parçalarından daha az sayıda blok parçasının kullanıldığı bir model elde edilmiştir.

3) ‘Anadolu Mukarnası’ yazılımı üzerinden yapılan değerlendirmeler:

Yöntemde belirlenen tasarım süreci aşamaları Unity oyun motoru üzerinden geliştirilen ‘Anadolu Mukarnası’ yazılımına aktarılmıştır. İki ayrı sahne üzerinden üç boyutlu mukarnas birimleri ve izdüşümlerine eş zamanlı müdahale yapılabilen yazılımda geleneksel mukarnas tasarım sürecinde uygulanması gereken aşamaların ve geri beslemelerin azaltılmasını sağlamıştır. Özgün tasarımlar üretmeyi hedefleyen kullanıcılar için hem sonuç ürünün tasarımında hata payının hem de süre kullanımının azaldığı bir yazılım sunulmuştur. Bu yazılım geliştirilmesi gereken bir ön çalışma niteliğinde olup, mukarnas ögesi restorasyonlarında kullanımı ile tasarım aşamasının simüle edilerek yapım aşamasına geçilmeden oluşabilecek tasarım sorunlarının önlenmesi hedeflenmiştir.

Mukarnas tasarımı üç boyutlu düşünme yeteneğini geliştiren sistematik bir yapıya sahiptir. Bu sanat dalı üzerine çalışmalar yapan kullanıcıların, tasarımcıların ve restoratörlerin yanı sıra, mukarnas geometrik çözümlemeleri algoritmik düşünme disiplini üzerinden eğitim alanında da katkıda bulunmaktadır. Günümüzde yeniden üretimi hızla yaygınlık kazanmış İslami geometrik tasarım öğelerinin bir kısmında kötü taklitlerin ötesine geçilememiştir. 1000 yıl öncesi eserlerde yapılmış bu süsleme sanatlarının her aşamasında var olan matematiksel yaklaşımın yok sayılmaması adına ‘Anadolu Mukarnası’ yazılımı ile hem *tasarım-analiz* hem *üretim* hem de *eğitim* alanında mukarnas tasarımı farkındalığı sağlanması hedeflenmiştir.

6.2. Öneriler

Mukarnas ögesi farklı dönemlerde farklı tasarım ve form anlayışı ile varlığını sürdürmüştür. Türkiye’de Anadolu Selçuklu Devleti ile başlayan bu uygulamanın kullanımı sonrası dönemlerde gelişim göstererek devam ettirilmiş, Osmanlı Devleti’nde ise biçim ve kurgu açısından farklı bir boyut kazanmıştır. Günümüzde devam eden mukarnas uygulamalarının da geçmiş dönemlerle aynı dengede devam edebilmesi adına aşağıda belirtilen öneriler sunulmuştur:

1) Mukarnas geometrik çözümleneleri üzerinden yapılan öneriler:

- Çalışma kapsamında çözümlenen mukarnas tasarım süreci adımlarının anlaşılması ve doğru uygulanması sonucunda yeni izdüşüm planı geometrik kurguları tasarlanarak yeni mukarnaslar üretilebilir.
- Benzer geometrik kurguya sahip mukarnas tasarımlarının bezeme-süsleme tekniklerinin çeşitlendirilmesi ile farklı izdüşüm planları ve bunun sonucunda farklı mukarnas modelleri elde edilebilir.
- Süper karo blokların kullanımı, kare-baklava birimleri dışında farklı tessellasyon içeren geometrik kurgulu mukarnas tasarımlarında benzer yapım aşamaları üzerinden değerlendirilerek üretim aşamasında zaman-maliyet performansı karşılaştırılabilir.

2) ‘Anadolu Mukarnası’ yazılımı üzerinden yapılan öneriler:

- Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Çizelge 5.3-b’de görüldüğü gibi Sivas Buruciye Medresesi mukarnas çözümlenmesinde kare-baklava modüler birimleri ile başlayan mukarnas geometrik kurgusu 30° ve 60° açılara sahip geometrik birimlerden oluşan karo kümeleri ile devam etmektedir. Sivas Buruciye Medresesi mukarnası gibi Anadolu Mukarnası yazılımında tamamlanamayan mukarnas geometrik kurguları için yeni karo kümeleri (Anadolu Mukarnası yazılımında 2B Birimler olarak adlandırılmaktadır.) eklenebilir.

- Yeni karo kümelerinin (2B birimler) eklenmesi ile yeni 3B birimlere ihtiyaç duyulacaktır. Eklenen 2B ve 3B birimler ile farklı tesselsyonlar ve sonucunda farklı mukarnas tasarımları elde edilebilir.
- Anadolu Mukarnası yazılımında kullanılan 2B birim desenleri ve 3B birim süslemeleri çeşitlendirilerek farklı mukarnas tasarımları elde edilebilir.
- Karo kümeleri ile üretilen mukarnas geometrik kurguları genellikle döneel simetriye sahiptir. Anadolu Mukarnası yazılımı ara yüzü, simetri komutu gibi komutlar eklenerek geliştirilebilir. Bu sayede mukarnas geometrik kurgusunda döneel simetriye sahip birim desen belirlendikten sonra simetri komutu ile çoğaltılabilir.
- Anadolu Mukarnası yazılımı, mukarnas tasarım süreci üzerine bazı ileri araştırmalar için geliştirilebilecek bir ön çalışmadır. Yazılımda hazırlanan mukarnas modellerinin ölçekli CAD çıktılarının alınabileceği bir sistem geliştirilerek mukarnas tasarımcıları ve üreticilerinin tasarım aşamasında hata payı azaltılabilir.
- Yalnızca tasarım süreci aşamalarının simüle edildiği Anadolu Mukarnası yazılımına çalışma kapsamında incelenen taş mukarnas yapım süreci aşamaları dahil edilerek mukarnas üreticilerinin faydalanabileceği taş mukarnas üretim aracı geliştirilebilir.
- Yeni mukarnas birimleri ve süper karo bloklar ile tasarlanmış bir mukarnas uygulaması hesaplamalı olarak çözümlenerek üretken bir sisteme dönüştürülebilir.

3) Restorasyon eğitimi ve uygulamaları üzerinden yapılan öneriler:

- Mukarnas tasarım aşamasında uygulanan geometrik çözümlenme metotlarının restorasyon eğitimlerinde yer alması, bu sanat dalının anlaşılmasını ve onarım aşamalarının kolaylaştırılmasını sağlayacaktır.
- Öte yandan nitelikli işçilik, doğru malzemenin seçimi ve uygulama tekniklerinin belirlenmesi gibi aşamaların da dahil edileceği bir sistem ile hem ustaların hem de restoratörlerin mukarnas alanında eğitimi, kontrolü, bu yetkiye sahip kurullarda ve süreçteki uzmanlıkların

iyileştirilmesi ve bu hususta daha ileri araştırmaların sürdürülmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Agnello, F., 2011, In: The Painted Ceiling Of The Nave Of The Cappella Palatina In Palermo: An Essay On Its Geometric And Constructive Features, Eds: Brill, p. 407-447.
- Ağırbaş, A. ve Yıldız, G., 2020, Origin of Irregular Star Polygons in Ground Projection Plans of Muqarnas, *Nexus Network Journal*, 23.
- Ağırbaş, A., Yıldız, G. ve şahin, M., 2022, Interrelation Between Grid systems and Starpolygons of Muqarnas Ground Projection Plans, *Heritage Science*, 10 (12), 26
- Ajlouni, R., 2012, The global long-range order of quasi-periodic patterns in Islamic architecture, *Acta crystallographica. Section A, Foundations of crystallography*, 68, 235-243.
- Akok, M., 1977, Konya Akşehir'de Taş Medrese Binası ve Restorasyon alışmaları, *Türk Etnografya Dergisi*, 16, 5-26.
- Aksoy, P., 2009, Taş İşleme Sanatı, In: Kagir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri, Eds: Narderele, İ., *İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi KUDEB*.
- Alaçam, S., Güzelci, O. Z., Gürer, E. ve Bacınoğlu, S. Z., 2017, Reconnoitring Computational Potentials of The Vault-Like Forms: Thinking Aloud On Muqarnas Tectonics, *International Journal of Architectural Computing*, 15 (4), 285-303.
- Allen, T., 1999, The Ornamented Style in Aleppo and Damascus. Ayyubid Architecture. California, Solipsist Yayınları.
- Ammann, R., Grünbaum, B. ve Shephard, G. C., 1992, Aperiodic tiles, *Discrete & Computational Geometry volume*, 8, 1-25.
- Anisi, A., 2009, The Davāzdah Imām Mausoleum At Yazd: A Re-Examination, *Iran*, 47, 57-68.
- Arık, M. ve Sancak, M., 2007, Pentapleks Kaplamalar, *Ankara, Tübitak Yayınları*.
- Arseven, C. E., 1984, Türk Sanatı, *İstanbul, Cem Yayınevi*.
- Aslanapa, O., 2000, Türk Sanatı, *İstanbul, Remzi Kitabevi*.
- Balamir, A., 2003, Mimarlık ve Kimlik Temrinleri- I: Türkiye'de Modern Yapı Kültürünün Bir Profili, *Mimarlık Dergisi Mimarlar Odası*, 313, 24-29.
- Bloom, J. M., 1988, The Introduction of the Muqarnas into Egypt, *Muqarnas*, 5, 21-28.
- Bonner, J., 2017, Islamic Geometric Patterns: Their Historical Development and Traditional Methods of Construction *New York, USA, Springer Nature*, p. 595.

- Bozkurt, T., 2008, Erken Dönem Osmanlı Selatin Cami Mihrapları, *İSTEM*, 11, 203-248.
- Büyükdığan, İ., 2001, Muqarnas Domes in Edirne, *Architectural Science Review*, 44 (2), 161-171.
- Carrillo, A., 2016, The Sasanian Tradition in Abbāsīd Art: Squinch Fragmentation As The Structural Origin Of The Muqarnas, *Mirabilia*, 22 (1), 201-226.
- Castera, J.-M., 1999, Arabesques Decorative Art in Morocco, *Fransa*, ACR Yayıncılık.
- Cezar, M., 1977, Anadolu Öncesi Türklerde Şehir ve Mimarlık, *İstanbul*, İş Bankası Kültür Yayınları.
- Creswell, K. A. C., 1978, The Muslim Architecture of Egypt, *New York*, Hacker Art Books.
- Dadkhah, N., Safaeipour, H. ve Memarian, G., 2012, Traditional Complex Modularity in Islamic and Persian Architecture: Interpretations in Muqarnas and Patkâné Crafts, Focusing on Their Prefabricated Essence, *Association of Collegiate Schools of Architecture*, Philadelphia, 130-138.
- Dallal, Y., 2019, Erken Osmanlı Mimarisinde Mukarnas (İznik, Bursa, Edirne), Doktora, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta.
- Dinçer, S. G., 2016, Sayısal Ortamda Mukarnas Denemesi: Sultanhanı Örneği, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Dinçer, S. G., 2021, Benzer Geometrik Şemaya Sahip Mukarnas Tasarımlarının Karşılaştırmalı Analizi, *Art-e Sanat Dergisi*, 27 (1), 574-587.
- Dinçer, S. G. ve Yazar, T., 2021, A comparative analysis of the digital re-constructions of muqarnas systems: The case study of Sultanhanı muqarnas in Central Anatolia, *International Journal of Architectural Computing*, 19 (3), 360-385.
- Dold-Samplonius, Y., 1992, Practical Arabic Mathematics: Measuring the Muqarnas by al-Kashi, *Centaurus*, 35, 193-242.
- Dold-Samplonius, Y. ve Harmsen, S. L., 2005, The Muqarnas Plate Found at Takht-I Sulayman: A New Interpretation, *Muqarnas*, 22, 85-94.
- Eastmond, A., 2017, Akhlat, Builders and Buildings., In: In Tamta's World: The Life and Encounters of a Medieval Noblewoman from the Middle East to Mongolia, Eds, *Cambridge*: Cambridge University Press.
- Écochard, M., 1937, Notes D'archéologie Musulmane, *Bulletin d'études Orientales*, 7/8, 83-111.
- Ettinghausen, R., Grabar, O. ve Jenkins-Madina, M., 2003, Islamic Art and Architecture, 650-1250, *New Haven and London*, Yale University Press.
- Fernandez-Puertas, A., 1993, The Encyclopaedia Of Islam, *Newyork*, E.J.Brill.

- Garofalo, V., 2010, A Methodology for Studying Muqarnas: The Extant Examples in Palermo, *Muqarnas: An Annual on the Visual Culture of the Islamic World*, 27, 357-406.
- Gonzalo, J. C. P. ve Alkadi, R. M., 2018, Muqarnas Domes and Cornices in the Maghreb and Andalusia, *Nexus Network Journal*, 20, 95-213.
- Gökmen, S., Alaçam, S., Başık, A. ve Aykın, Y., 2021, Kayseri Hacı Kılıç Cami Mukarnasının Hesaplamalı Olarak Çözümlemesi, *Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu İstanbul*, 182-193.
- Gökmen, S., Başık, A., Aykın, Y. ve Alaçam, S., 2022, Computational Modeling and Analysis of Seljukid Muqarnas in Kayseri *Journal on Computing and Cultural Heritage* 15 (2), 1-19.
- Haddad, M., 2019, Mağrip Bölgesi İslâm Mimârisinde Mukarnas (XVI. Asra Kadar), Doktora, *Marmara Üniversitesi*, İstanbul, 467.
- Haddad, M., 2020, İslâm Mimarî Geleneğinde Mukarnas Unsurunun Ortaya Çıkışı, *Artuklu Sanat ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 4, 120-139.
- Hamekasi, N., Samavati, F. ve Nasri, A., 2011, Interactive Modeling of Muqarnas, p.
- Harb, U., 1978, Ilkhanidische Stalaktitengewölbe. Beiträge zu Entwurf und Bautechnik, *Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan*, 4.
- Harmsen, S., 2006, Algorithmic Computer Reconstructions of Stalactite Vaults - Muqarnas - in Islamic Architecture, Erlangung der Doktorwürde, *Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg*, Heidelberg.
- Haspolat, P. D. Y. K., 2014, Beşinci Harem-i Şerif: 139.
- Hietbrink, H., 2021, A Visual Interpreter for Pre-defined Muqarnas Units, *XXIV Generative Art 2021*, Cagliari, Sardinia, 333-342.
- İbrahim, L. A., 1975, The Transitional Zones of Domes in Cairene Architecture, *Kunst des Orients*, 10, 5-23.
- İmani, E., 2017, Historical And Geometrical Analysis Of Muqarnas And Prospect Of Its Reflection On Today's Architecture, Yüksek Lisans, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 239.
- Karahan, P. D. R., Tekin, D. D. R., Kulaz, D. Ö. Ü. M., Reisoğlu, A. G. S., İgit, Ö. G. İ., Oral, M. ve Alp, A., 2019, Ahlat Selçuklu Meydan Mezarlığı ve Mezar Taşları, *Ankara*, Uzun Dijital Baskı Merkezi.
- Karpuz, H., 2020, İslam Öncesi Türk Sanatının İslami Döneme Etkisi, *Türkler*, 6, 39-42.
- Kashef, M., 2017, Bahri Mamluk muqarnas portals in Egypt: Survey and analysis, *Frontiers of Architectural Research*, 6, 487-503.

- Kazempourfard, H., 2014, The Evolution Of Muqarnas In Iran From Pre-Seljuk To Ilkhanid Period, Doctor of Philosophy, *University Teknologi Malaysia*, 379.
- Konya Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014.
- Konyalı, İ. H., 1964, Abideleri ve Kitabeleri ile Konya Tarihi, *Konya*, Yeni Kitap Basımevi.
- Lu, P. J. ve Steinhardt, P. J., 2007, Decagonal and Quasi-Crystalline Tilings in Medieval Islamic Architecture, *Science*, 315 (5815), 1106.
- Makovicky, E., 1992, 800-year-old pentagonal tiling from Maragha, Iran, and the new varieties of a periodic tiling it inspired, In: Fivefold symmetry Eds, *Singapore-New Jersey: World Scientific*, p. 67-86.
- Massaiu, M., 2014, The Use of muqarnas in Hammadid Art. Some Preliminary Observations, *Mapping knowledge. Cross-pollination in Late Antiquity and Middle Ages 1*, 209-230.
- Massaiu, M., 2016, The Stone Muqarnas Vaults of Norman Sicily and their Syrian Counterparts. Transmission of Building Techniques, In: Ex Oriente Lux. Translating Words, Scripts and Styles in Medieval Mediterranean Society, Eds: Burnett, C. ve Mantas, P., Birinci Basım, *İspanya: UCOPress*, p. 236.
- Massaiu, M., 2018, The Representation of Power in the Art and Architecture of the Kingdom of Sicily during the Norman Period (1130-1189 AD), Doktora Tezi, *Kordoba Üniversitesi, Kordoba*.
- McClary, R. P., 2014. Brick Muqarnas on Rūm Saljuq buildings - The introduction of an Iranian decorative technique into the architecture of Anatolia. Erişim Adresi.
- McClary, R. P., 2015, The Rūm Saljūq Architecture Of Anatolia 1170 – 1220, *The University of Edinburgh*, Edinburgh.
- Moradi, A., 2019, Transition Zone in Seljuq Dome Chambers, *Journal of Islamic Architecture*, 6 (1), 24-32.
- Mülayim, S., 1982, Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler: Selçuklu Çağı, *Ankara*, Kültür ve Turizm Bakanlığı.
- Mülayim, S., 1999, Değişimin Tanıkları Ortaçağ Türk Sanatında Süsleme ve İkonografi, *İstanbul*.
- Necipoglu, G., 1996, The Topkapi Scroll: Geometry and Ornament in Islamic Architecture, *Los Angeles, USA*, Getty Publications, p. 384.
- Ödekan, A., 1977, Osmanlı Öncesi Anadolu Türk Mimarisinde Mukarnaslı Portal Örtüleri, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi*.
- Ödekan, A., 1981, Erken Dönem Osmanlı Mukarnaslı Kapı Nişi Örtüleri (-1512), *İstanbul Teknik Üniversitesi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi*.

- Ödekan, A., 1982, Mukarnas Onarımı ile İlgili Gözlemler, *Rölöve ve Restorasyon Dergisi*, 4, 65-70.
- Ögel, S., 1965, Anadolu Ağaç Oymacılığında Mail Kesim, *Sanat Tarihi Yıllığı*, 1, 110-119.
- Ögel, S., 1966, Anadolu Selçuklularının Taş Tezyinatı, *Ankara*, Türk Tarih Kurumu Basımevi.
- Öney, G., 1973, İran'da Erken İslam Devri Alçı İşçiliğinin Anadolu Selçuk Sanatında Akisleri, *Türk Tarih Kurumu Belleten*, 37 (147), 257-266.
- Özdural, A., 1990, Giyaseddin Jemshid El-Kashi and Stalactites, *METU JFA*, 10 (1), 31-49.
- Özdural, A., 1991, Analysis of The Geometry of Stalactites: Buruciye Medrese In Sivas, *METU JFA*, 11, 57-71.
- Özkeçeci, İ., 2016, İlk Dönem Hâkânî (Karahanlı) Camilerindeki Bazı Tuğla Süsleme Unsurları, *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 5, 721.
- Pancaroglu, O., 2013, The House of Mengüjek in Divriği: Constructions of Dynastic Identity in the Late Twelfth Century.
- Penrose, R., 1979, Pentaplexity A Class of Non-Periodic Tilings of the Plane, *The Mathematical Intelligencer*, 2, 32-37.
- Sakkal, M., 1981, Geometry of Muqarnas in Islamic Architecture, Yüksek Lisans, *Vaşington Üniversitesi*, Seattle, 180.
- Sönmez, S. E., 2020, Anadolu Selçuklu Sanatının Geometrik Dili, *İstanbul*, Mega Basım Yayın San. ve Tic. A.Ş.
- Sönmez, Z., 1989, Anadolu Türk-İslam Mimarisinde Sanatçılar, *Ankara*, Türk Tarih Kurumu, p.
- Tabbaa, Y., 2001, The Transformation of Islamic Art during the Sunni Revival, *Seattle and London*, University of Washington Press.
- Tayla, H., 2005, Geçiş Elemanları ve Stalaktitler, In: 60. Yıl Sinan Genim'e Armağan Makaleler, Eds: Oktay Belli, B. B. K., *İstanbul*: Ege Yayınları, p. 603-619.
- Tuncer, O. C., 1986, Anadolu Selçuklu Mimarisi ve Moğollar, *Ankara*, Türkiye Vakıflar Bankası.
- Tuncer, O. C., 1996, Diyarbakır Camileri Mukarnas Geometri Orantı, *Diyarbakır*, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi Kültür ve Sanat Yayınları.
- Tuncer, O. C., 1997, Kayseri Yedi Selçuklu Kapısında Geometrik Düzen, *Vakıflar Dergisi*, 26, 105-152.

- Tuncer, O. C., 2001, Anadolu Selçuklu Taçkapılarında Mukarnas, *1.Uluslararası Selçuklu Kültür ve Medeniyetleri Kongresi*, Konya.
- Turan, H., 2018, Timurlu Ve Osmanlı Mimarisinde Renkli Sır Tekniğindeki Çinilerin Bazı Örnekler Üzerinden Mukayesesi, *Journal of Social And Humanities Sciences Research* 5(29), 3547-3562.
- Uluçam, A., 1990, Irak'taki Mukarnas Kubbeli Selçuklu Türbeleri Hakkında, *Vakıflar Dergisi*, 21, 255-280.
- Uluengin, M. F., 1959, Skalakit Planlarının Hennesesi, *Milletler Arası Birinci Türk Sanatları Kongresi*, Ankara.
- Uluengin, M. F., 2018, Mukarnas, *İstanbul*, İstanbul Fetih Cemiyeti Yayınları, p.
- URL-1, Muqarnas : A Three-Dimensional Decoration of Islam Architecture
<http://www.shiro1000.jp/muqarnas/>: Erişim Tarihi:29.01.2022.
- URL-2, Play with Infinite, <http://castera.net/entrelacs/public/articles/granada3.pdf>:
Erişim Tarihi: 09.05.2021.
- URL-3, Degaron Cami, <https://okuryazarim.com/wp-content/uploads/2017/04/Degaron-Cami-34.jpg>: Erişim Tarihi: 17.01.2021.
- URL-4, Squinch, Samanid Mausoleum, Bukhara, Uzbekistan, 10th century,
<https://quod.lib.umich.edu/a/ars/13441566.0044.003/--dynastic-politics-and-the-samanid-mausoleum?rgn=main;view=fulltext>: Erişim Tarihi: 17.01.2021.
- URL-5, https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g8146493-d8124521-i134297585-Arab_Ata_Mausoleum-Tim_Samarqand_Province.html: Erişim Tarihi: 17.01.2021
- URL-6, Masjid-i Jami' (Ardistan),
https://www.archnet.org/sites/2858?media_content_id=751: Erişim Tarihi: 17.01.2021.
- URL-7, Menuçehr Cami - Ani -Kars,
<http://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2624>: Erişim Tarihi: 17.01.2021.
- URL-8,
https://www.archnet.org/_next/image?url=https%3A%2F%2Fadmin.archnet.org%2Ffrails%2Factive_storage%2Fblobs%2FeyJmcmFpbHMhOmsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBakRDliwiZXhwIjpudWxsLCJwdXIiOiJibG9iX2lkIn19--07412cfacde553139139bb98634ccc529b5d1b93%2FICR2423.JPG&w=1920&q=75: Erişim Tarihi: 22.01.2021.
- URL-9, Muqarnas at chamfered corner,
https://www.archnet.org/sites/3718?media_content_id=4604: Erişim Tarihi: 22.01.2021.

- URL-10, <http://www.destinationsicily.it/ds/wp-content/uploads/2017/03/Palermo-Cappella-Palatina-The-magnificent-wooden-ceiling.-Nave-north-side.jpg>: Erişim Tarihi: 27.02.2021.
- URL-11, Minbar of the al-Aqsa Mosque
https://www.wikiwand.com/en/Minbar_of_the_al-Aqsa_Mosque Erişim Tarihi: 22.01.2021.
- URL-12, ani harabeleri- havariler kilisesi/ kervansaray,
https://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=39373: Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- URL-13, Tercan –Mama Hatun Türbesi -Erzincan,
<http://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=993>: Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- URL-14, Chapter 3 Architecture in Western Armenia
http://www.kamit.jp/18_armenia/03_west/west_eng.htm: Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- URL-15, <https://twitter.com/fadimeiriz/status/1108725797215502336/photo/2>: Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- URL-16, Alay Han, <http://www.turkishhan.org/alay.htm>: Erişim Tarihi: 11.03.2021.
- URL-17, Sahabiye Medresesi - Kayseri,
<https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/kayseri/gezilecekyer/sahabiye-medresesi>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-18, <http://2.bp.blogspot.com/-Ad220nPEcjI/URutRk-vn9I/AAAAAAAAADos/8ghrKo7j2sw/s1600/ulucami+kap%C4%B1.jpg>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-19, Hatuniye Medresesi Doğu Kapısı, Karaman / Garabed Solakian Fotoğrafi,
<http://www.eskiturkiye.net/3693/hatuniye-medresesi-dogu-kapisi-karaman-garabed-solakian-fotografi#lg=0&slide=0>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-20, Dick Osseman-Hatuniye Medresesi,
<https://pbase.com/dosseman/image/132032977>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-21, Dick Osseman-Kayseri Guluk Camii,
<https://pbase.com/dosseman/image/157876725>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-22, Dick Osseman-Kayseri Guluk Camii,
<https://pbase.com/dosseman/image/157876705>: Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- URL-23, shorturl.at/ltnZ1: Erişim Tarihi: 05.06.2021.
- URL-24, Saruhan Kervansarayı -Nevşehir
<http://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=510>: Erişim Tarihi: 12.06.2021.
- URL-25, <https://twitter.com/tasvirsanatları/status/1083351780325502977/photo/1>: Erişim Tarihi: 05.04.2021.

- URL-26, Sultandağı İshaklı Kervansarayı Restorasyon Projesi – Afyonkarahisar, <https://www.kerimlerplanlama.com/rolove-restartasyon-restitusyon/afyon-sultandagi-ishakli-kervansarayi-restorasyonu/>: Erişim Tarihi: 11.10.2020.
- URL-27, İshaklı Han - Afyonkarahisar, <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/afyonkarahisar/gezilecekyer/ishakli-han>: Erişim Tarihi: 11.10.2020.
- URL-28, Sahipata (Ishaklı) Han <http://www.turkishhan.org/images/sahipkioskceiling.jpg>: Erişim Tarihi: 11.10.2020.
- URL-29, Beyşehir Eşrefoğlu Camii Taçkapısı, <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/82618>: Erişim Tarihi: 11.10.2020.
- URL-30, Gülruh Hatun Türbesi, <https://archives.saltresearch.org/handle/123456789/86659>: Erişim Tarihi: 06.04.2021.
- URL-31, Dick Osseman-Gülruh Hatun Türbesi, <https://www.pbase.com/dosseman/image/38638414>: Erişim Tarihi: 06.04.2021.
- URL-32, 2. Beyazıt Eşi Gülruh Hatun Türbesi –Bursa Merkez, <http://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=1738>: Erişim Tarihi: 06.04.2021.
- URL-33, İstanbul Mahmut Paşa, <https://www.gezi-yorum.net/istanbul-mahmutpasa/>: Erişim Tarihi: 17.10.2020.
- URL-34, <https://www.instagram.com/tasvirsanatları>: Erişim Tarihi: 28.05.2021.
- URL-35, Gebze Çoban Mustafa Paşa Camii, https://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=33163: Erişim Tarihi: 28.05.2021.
- URL-36, https://twitter.com/Huseyn_Ozmen/status/803668575584186369/photo/1: Erişim Tarihi: 10.01.2021.
- URL-37, <https://twitter.com/tasvirsanatları/status/1144317781808226304>: Erişim Tarihi: 27.06.2019.
- URL-38, <https://zaferihtiyar.files.wordpress.com/2010/03/82-copy.jpg>: Erişim Tarihi: 20.08.2020.
- URL-39, <https://twitter.com/TahaSahinPics/status/920671805328814081>: Erişim Tarihi: 20.08.2020.
- URL-40, İstanbul Davut Paşa Külliyesi, <https://www.sanatin Yolculugu.com/istanbul-davut-pasa-kulliyesi/>: Erişim Tarihi: 20.08.2020.
- URL-41, shorturl.at/xzMP2: Erişim Tarihi: 05.07.2021.

- URL-42, <https://tr.sputniknews.com/20200625/kastamonu-nasrullah-camiinde-badana-iddiasina-aciklama-ozgun-haliyle-birakilmistir-1042324925.html>: Erişim Tarihi: 05.07.2021.
- URL-43, Ajwa Cappadocia, https://www.tripadvisor.com.tr/Hotel_Review-g635898-d21275092-Reviews-Ajwa_Cappadocia-Mustafapasa_Urgup_Cappadocia.html#/media/21275092/485242473:p/?albumid=101&type=0&category=101: Erişim Tarihi: 10.09.2021.
- URL-44, Omag Blade5 5 Eksen İle Mukarnas Sütun Başı Çalışması, <https://www.youtube.com/watch?v=kMyCICq2JHs>: Erişim Tarihi: 10.09.2021.
- URL-45, Konya Ecdad Parkı Giriş 2, <https://www.tezcannaturalstones.com/portal-kapicalismalar?lightbox=dataItem-jdbciaf15>: Erişim Tarihi: 05.05.2020.
- URL-46, Mukarnas Nerelerde Kullanılır?, <https://www.emirhanaydin.com.tr/2019/07/mukarnas-nerelerde-kullanilir.html>: Erişim Tarihi: 05.05.2020.
- URL-47, Yedi Tepe İstanbul: Süleymaniye Tepesi, <https://haritadanyerbegen.blogspot.com/2019/07/yedi-tepe-istanbul-suleymaniye-tepesi.html>: Erişim Tarihi: 10.08.2021.
- URL-48, Selimiye Camii Mihrabı, https://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=26895&mode=search&sessionid=6580fa98b481930cd5b7f69e56f53115: Erişim Tarihi: 15.08.2021.
- URL-49, Hacı Ramazan Altun Merkez Cami, shorturl.at/lzUX6: Erişim Tarihi: 21.08.2021.
- URL-50, Jumeriah Dubai, <https://www.tezcannaturalstones.com/portal-kapicalismalar?lightbox=dataItem-jdbciafk>: Erişim Tarihi: 23.09.2021.
- URL-51, <https://www.kempinski.com/tr/belek/hotel-the-dome/image-gallery/>: Erişim Tarihi: 23.09.2021.
- URL-52, Kadirga Sokullu Mehmet Paşa Camii, https://www.mustafacambaz.com/details.php?image_id=24165&sessionid=40i1n2cd3ru17shn49kfpojs5: Erişim Tarihi: 23.09.2021.
- URL-53, https://www.instagram.com/p/CQsXitmgmBo/?utm_medium=copy_link: Erişim Tarihi: 23.09.2021.
- URL-54, https://lh3.googleusercontent.com/p/AF1QipPSTTo_HAdEetj0MELRE296WhitQ9tp7rDkBYnB=w600-k: Erişim Tarihi: 21.09.2021.
- URL-55, shorturl.at/mrOR9: Erişim Tarihi: 21.09.2021.
- URL-56, <https://twitter.com/furkanal/status/914499443071873031/photo/1>: Erişim Tarihi: 13.07.2020.

- URL-57, Doğanın İmkansız Modeli, <http://www.gravitime.org/doganin-imbkansiz-modeli-2/>: Erişim Tarihi: 09.05.2021.
- URL-58, Moqarnas building procedure, www.instagram.com/ali.reza.sarvdalir: Erişim Tarihi: 01.02.2021.
- URL-59, Şifaiye Medresesi (Darüşifa) –Sivas Merkez, <http://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=1031>: Erişim Tarihi: 11.07.2021.
- URL-60, Taşa Yansıyan Sanat:Taç Kapılar, <https://www.kulturportali.gov.tr/portal/tasa-yansiyen-sanat-tac-kapilar>: Erişim Tarihi: 11.07.2021.
- URL-61, Kayseri Camileri-Hacı Kılıç Cami, <http://kaysericamileri.blogspot.com/2018/06/hac-klc-camii.html>: Erişim Tarihi: 11.07.2021.
- URL-62, Unity (oyun motoru), [https://tr.wikipedia.org/wiki/Unity_\(oyun_motoru\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Unity_(oyun_motoru)): Erişim Tarihi: 01.12.2021.
- URL-63, Behram Paşa Camii yaklaşık 500 yıldır ayakta duruyor, <https://dogruhaber.com.tr/haber/231692-behram-pasa-camii-yaklasik-500-yildir-ayakta-duruyor/>: Erişim Tarihi:02.04.2022.
- URL-64, Buruciye Medresesi Fotoğrafları – Buruciye Madrasah Images, <https://www.yollardan.com/buruciye-medresesi-fotograflari/>: Erişim Tarihi: 02.04.2022.
- Ünal, R. H., 1982, Osmanlı Öncesi Anadolu Türk Mimarisinde Taçkapılar, *İzmir*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Yağhan, M. A., 2005, Self-Supporting “Genuine” Muqarnas Units, *Architectural Science Review*, 48 (3), 245-255.
- Yağhan, M. A., 2010, The evolution of architectural forms through computer visualisation: muqarnas example, *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2010)*, London, UK, 113-120.
- Yağhan, M. A. J., 2000, Decoding the Two-Dimensional Pattern Found at Takht-i Sulayman into Three-Dimensional Muqarnas Forms, *Journal of Persian Studies*, 38, 77-95.
- Yaldız, E. ve Asatekin, N. G., 2016, Anıtsal Yapıların Yeniden Kullanımında İşlevsel Adaptasyonun, Mekânsal Analiz Yolu ile Değerlendirilmesi; Kayseri Sahabiye Medresesi, *Türk İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi*, 21, 89-112.
- Yaşa, R., 2013, Doğu Anadolu' da Bir Türk Kültür Merkezi: Ahlat, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Karatekin Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 2 (2), 15-27.
- Yetkin, Ş., 1972, Anadolu'da Türk Çini Sanatının Gelişmesi, *İstanbul*, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi.

EKLER**EK-1 Konya Akşehir Taş Medrese taç kapı restorasyon aşamaları (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)**

Akşehir Taş Medrese
restorasyon/restitüsyon öncesi taç kapısı
(Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü
Arşivi, 2014)



Medrese avlusunda bulunan taç kapı
mukarnas taş blokları (Konya Rölöve
Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)



Medrese avlusunda taç kapı mukarnas taş bloklarının bir araya getirilmesi (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)



Restorasyon/restitüsyon sırasında yapılan eyvan ve taç kapı (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)



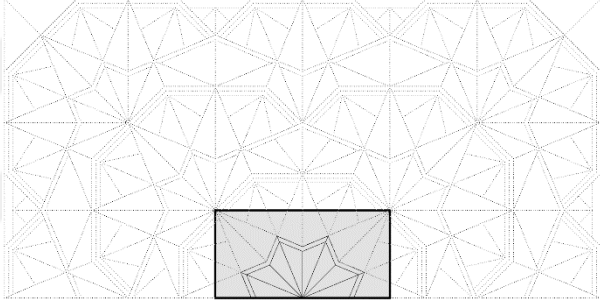
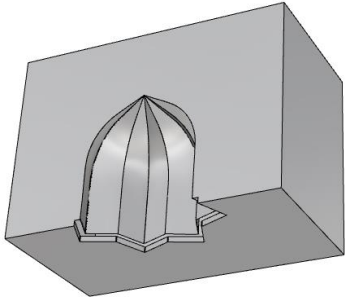
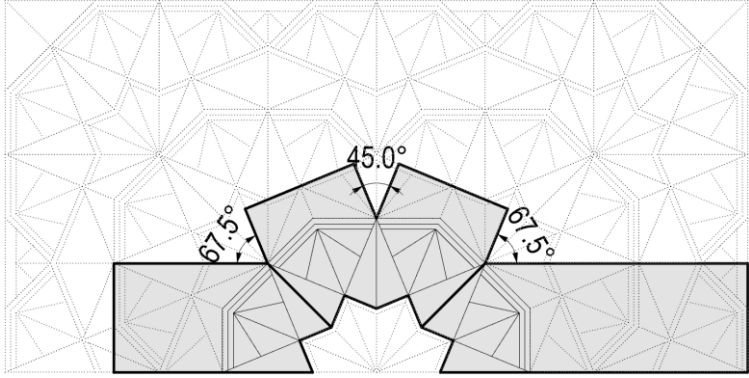
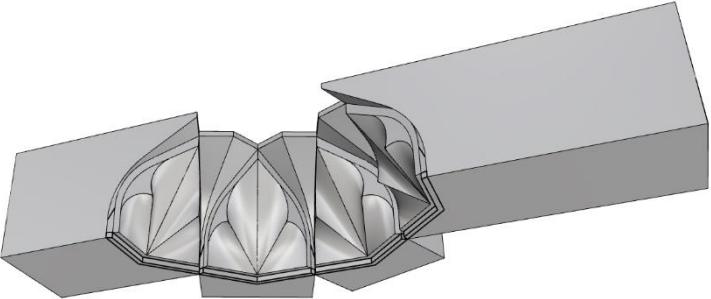
Restorasyon/restitüsyon sırasında mukarnas taş bloklarının yerleştirilmesi (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)



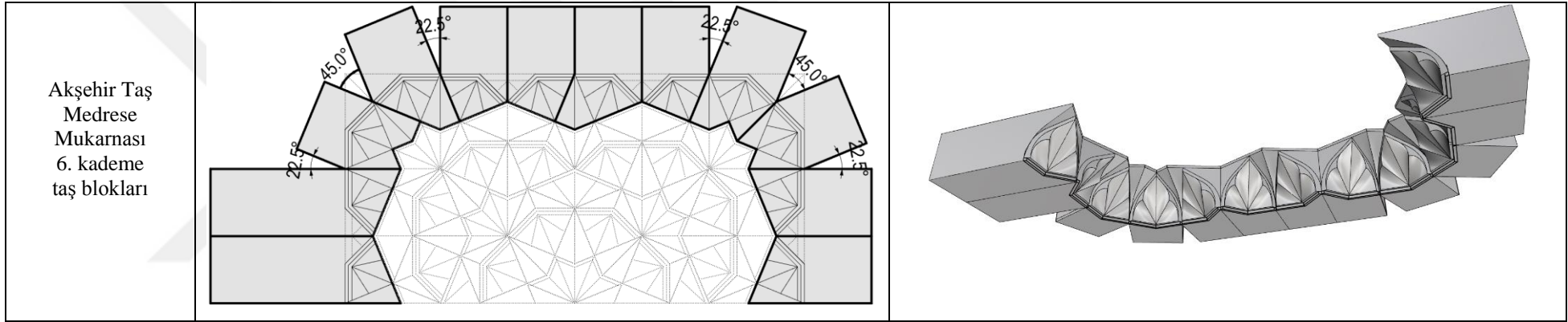
Taç kapının tamamlanması (Arkadan görünüş) (Konya Rölöve Anıtlar Müdürlüğü Arşivi, 2014)



EK-2 Akşehir Taş Medrese taş blok yerleşim aşamaları

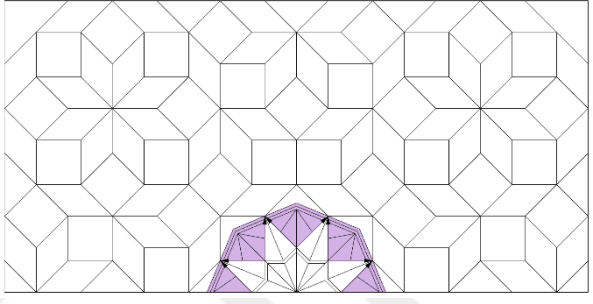

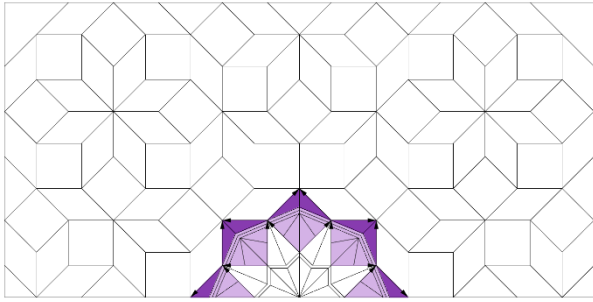

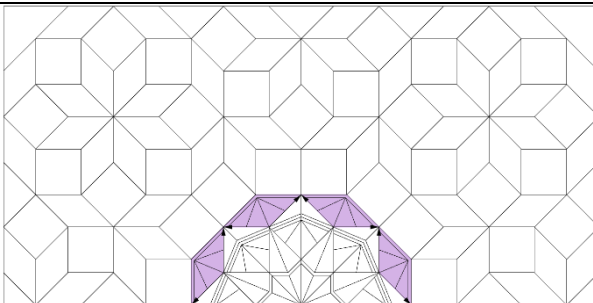

	Plan	3B Model
<p>Akşehir Taş Medrese Mukarnası 1. kademe taş bloğu</p>		
<p>Akşehir Taş Medrese Mukarnası 2. kademe taş blokları</p>		

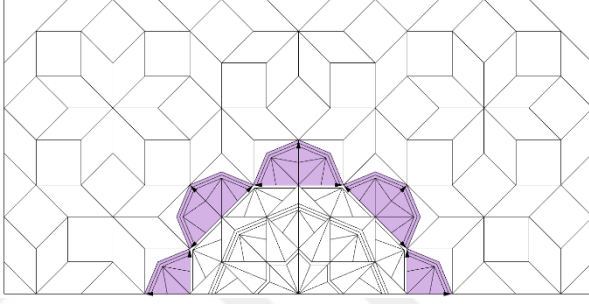

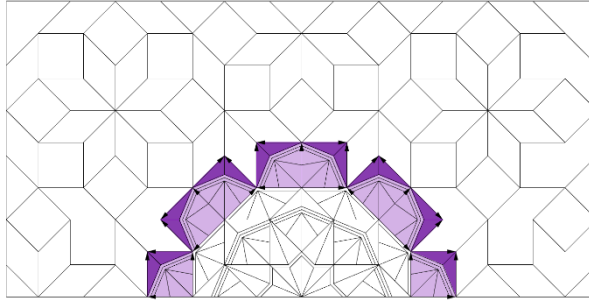

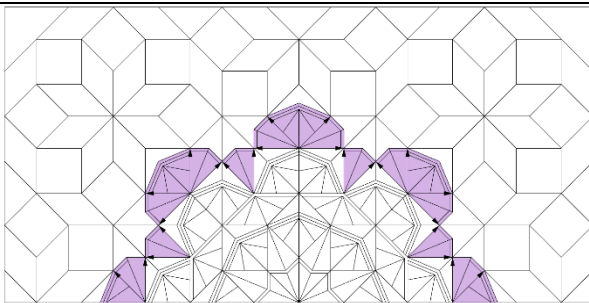
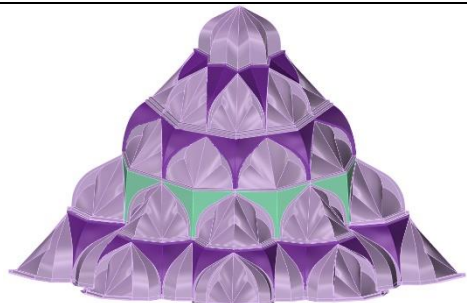
<p>Akşehir Taş Medrese Mukarnası 3. kademe taş blokları</p>		
<p>Akşehir Taş Medrese Mukarnası 4. kademe taş blokları</p>		
<p>Akşehir Taş Medrese Mukarnası 5. kademe taş blokları</p>		



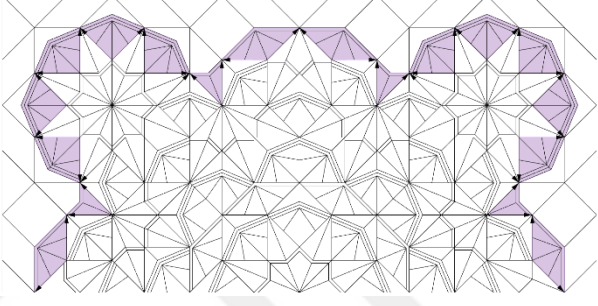

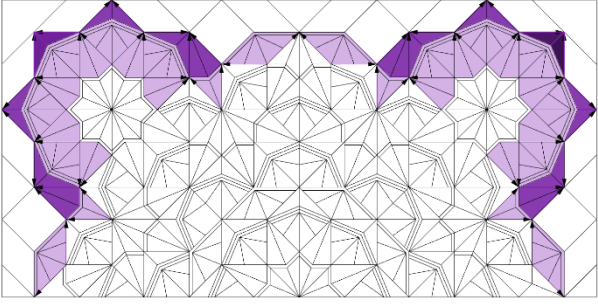
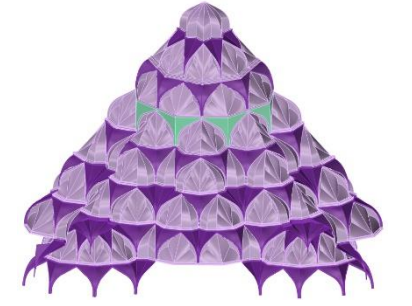
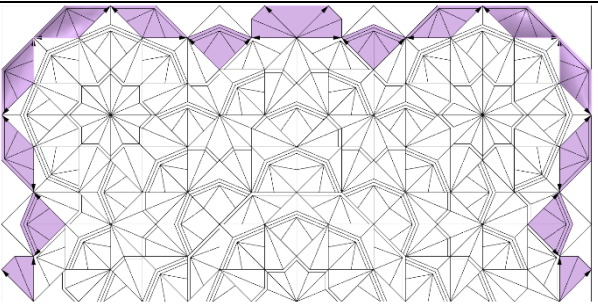

EK-3 Yeni mukarnas kademelendirme aşamaları

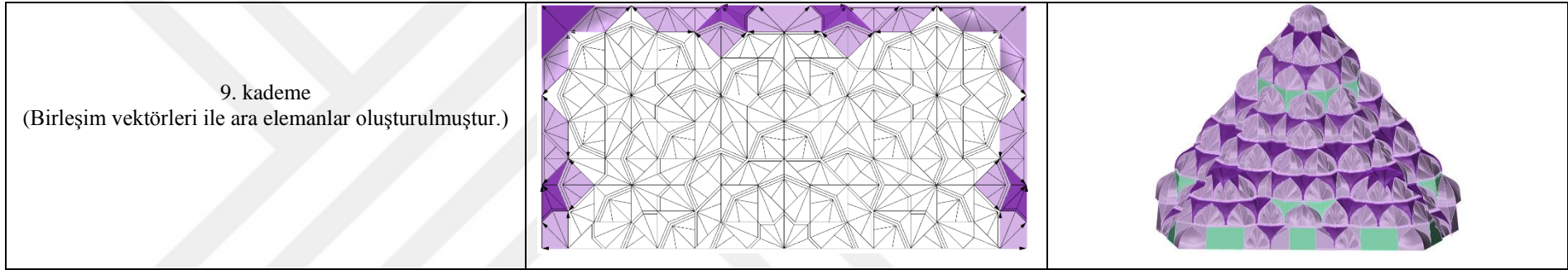
	Mukarnas izdüşüm planında birimlerin yerleşimi	Mukarnas 3B modelinde birimlerin yerleşimi
1. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)		
2. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)		

<p>2. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		
<p>3. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)</p>		
<p>3. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		

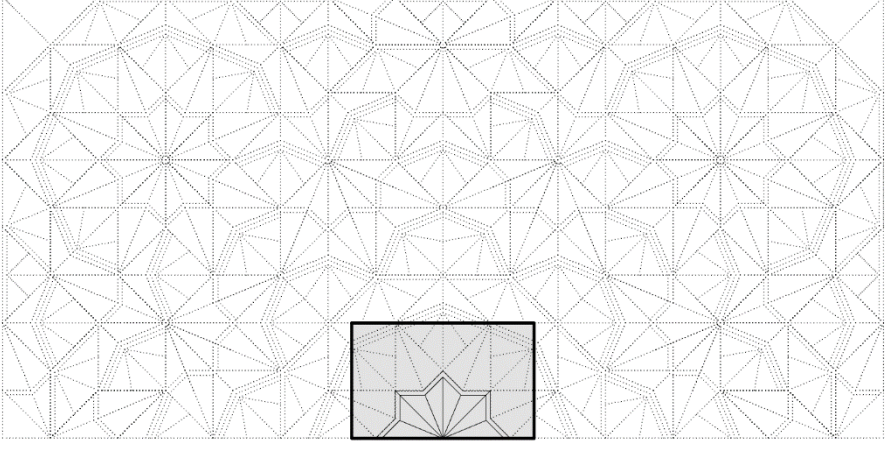
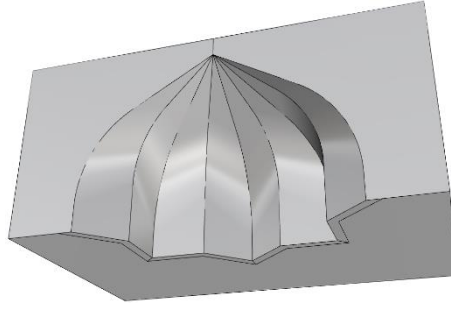
<p>4. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		
<p>5. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)</p>		
<p>5. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		

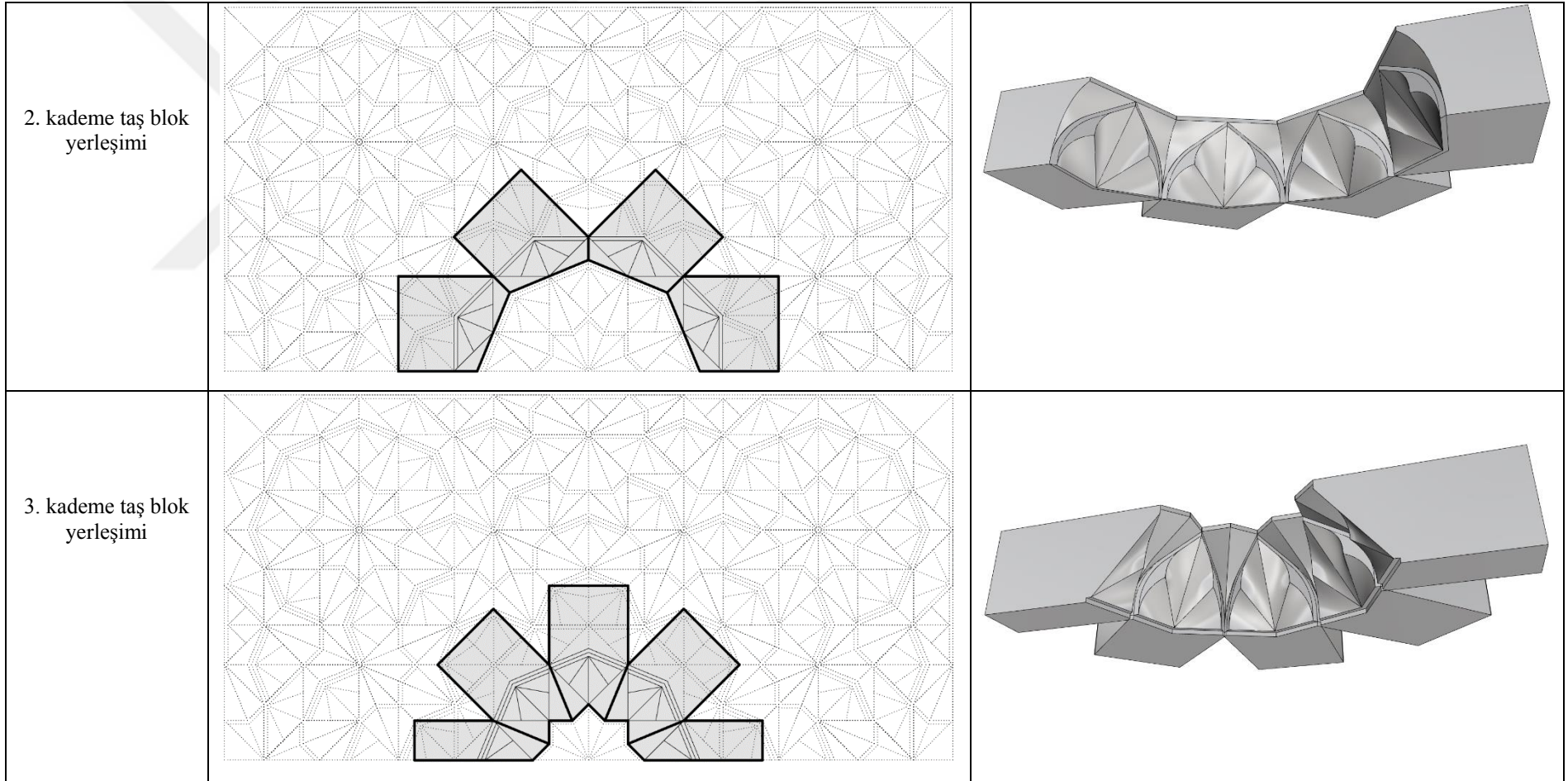
<p>6. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)</p>		
<p>6. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		
<p>7. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)</p>		

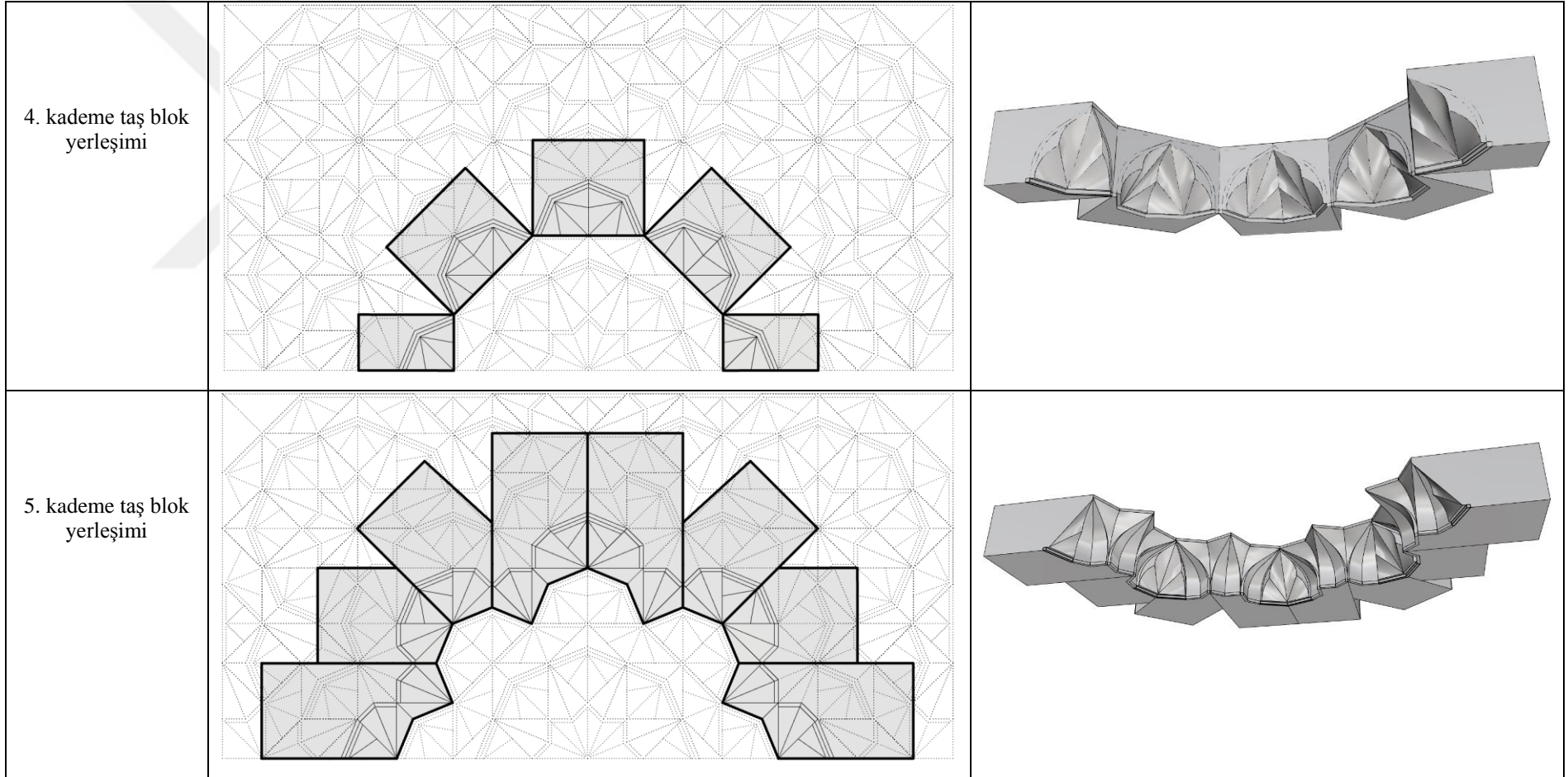
<p>7. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		
<p>8. kademe (Birleşim vektörleri ile ara elemanlar oluşturulmuştur.)</p>		
<p>8. kademe (Açılım vektörleri ile yuva birimleri oluşturulmuştur.)</p>		

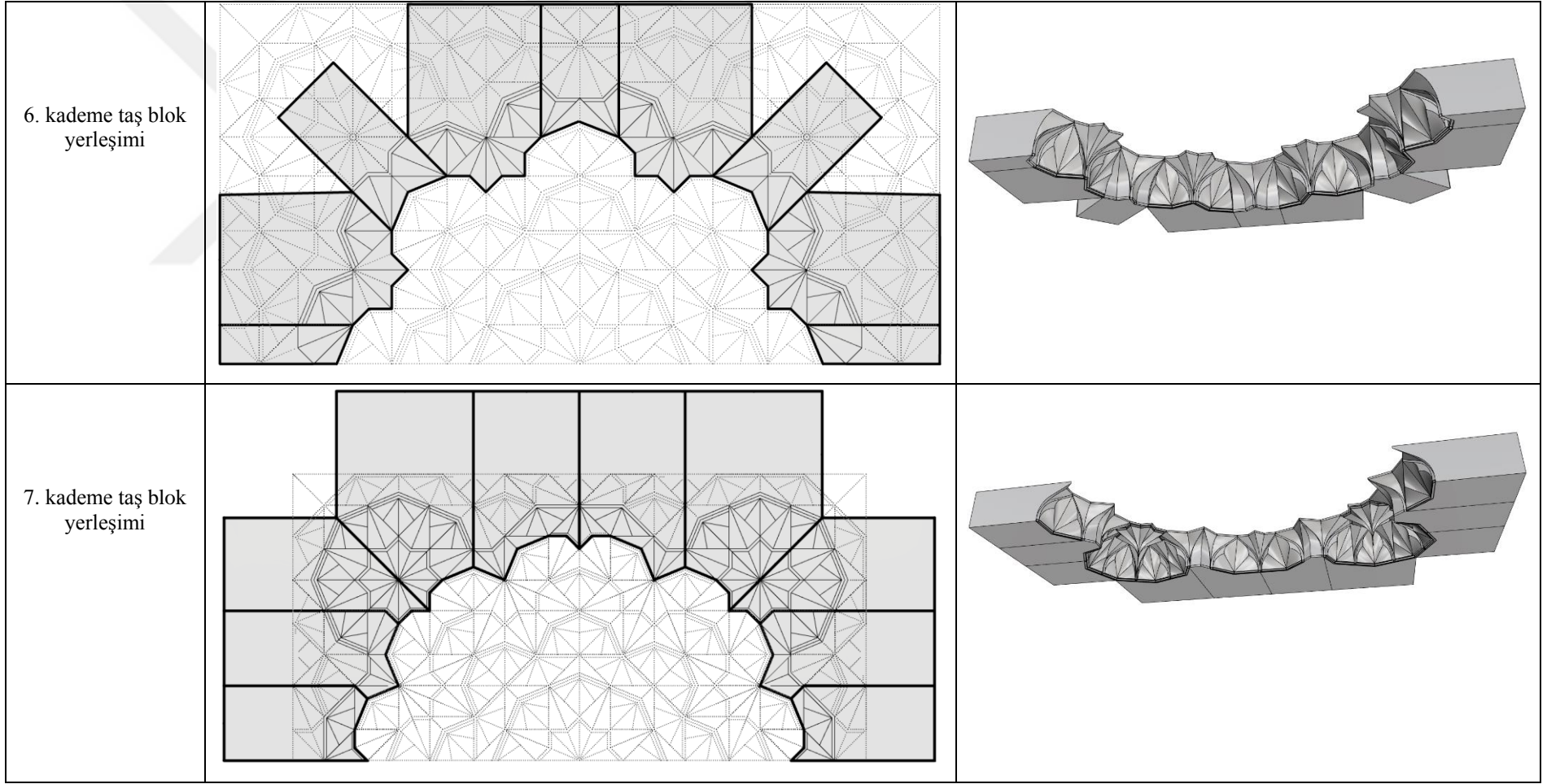


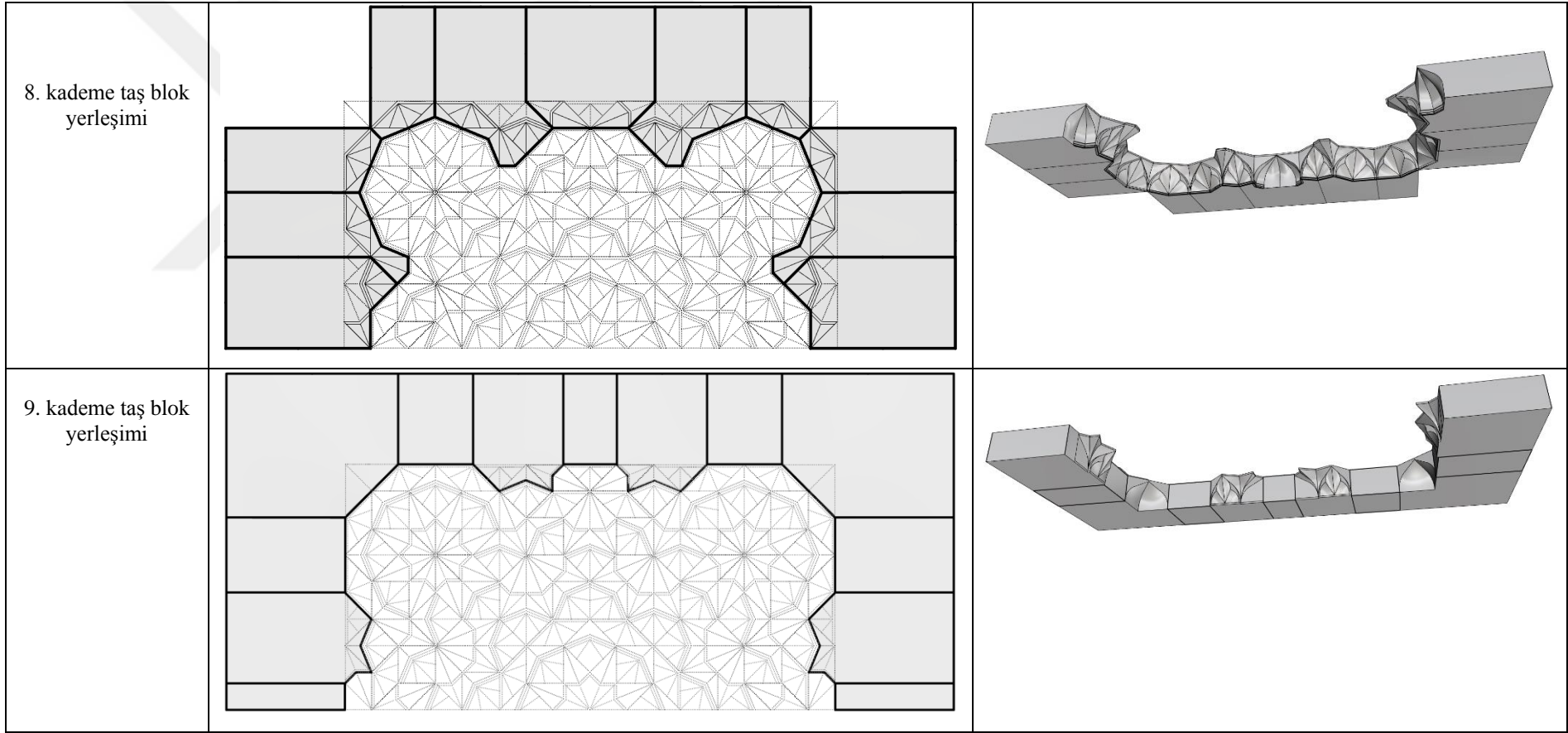
EK-4 Yeni mukarnas taş bloklara yerleşim aşamaları

	Plan	3B Model
<p>1. kademe taş blok yerleşimi</p>		

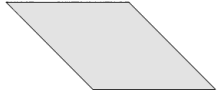
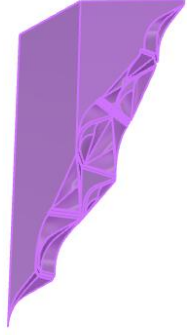

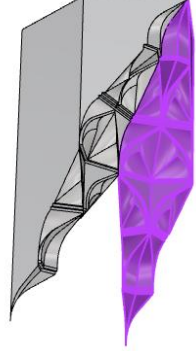
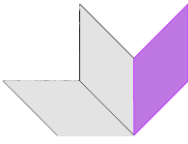
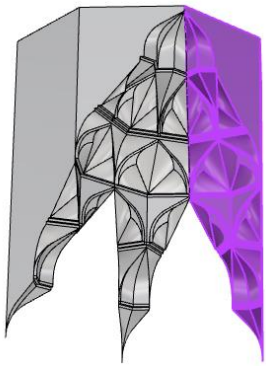


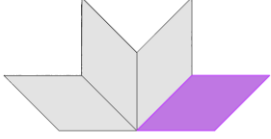
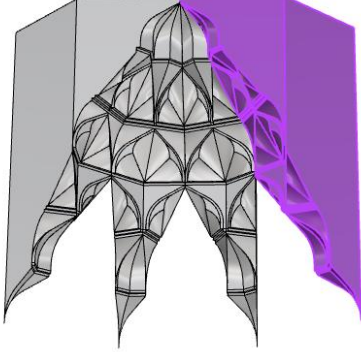
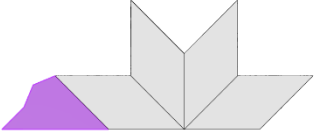
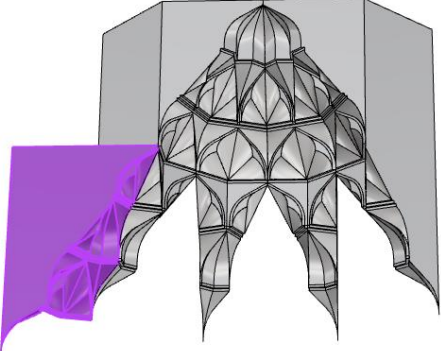
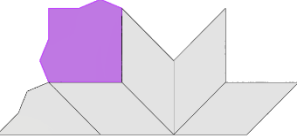
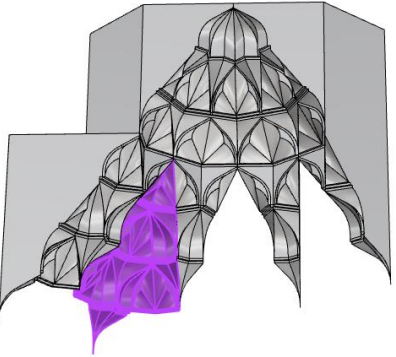


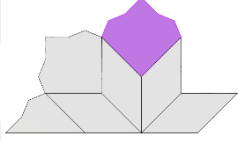
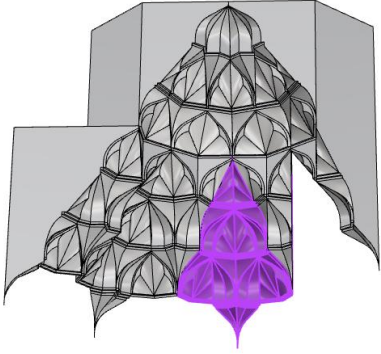
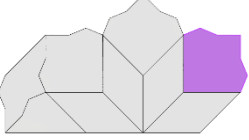
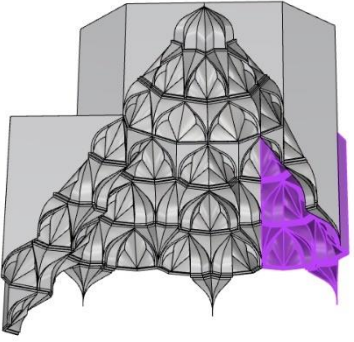
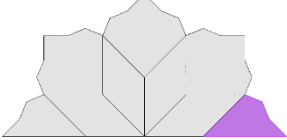
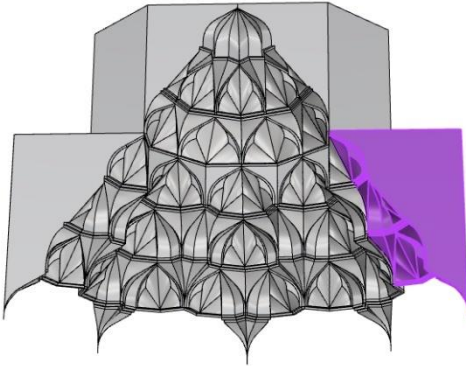


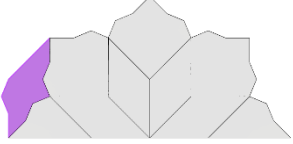
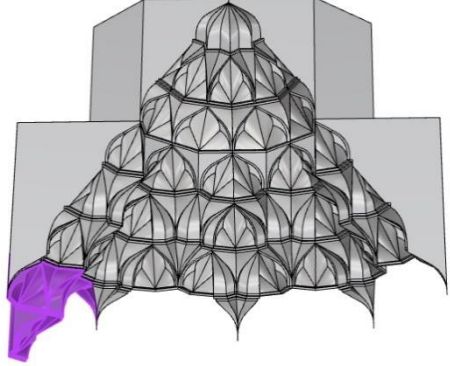
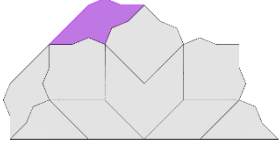
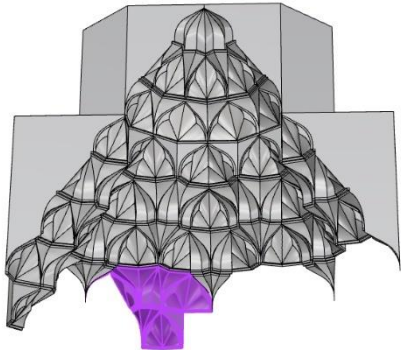
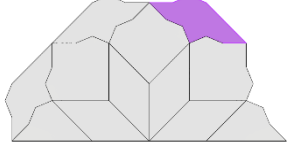
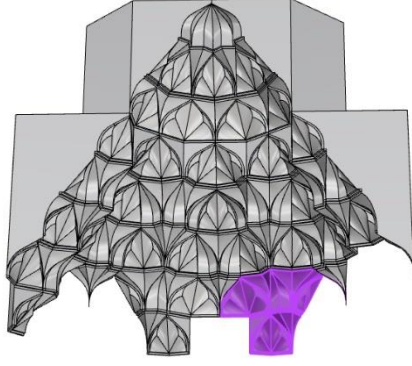
**EK-5** Süper karo blok yerleşim aşamaları

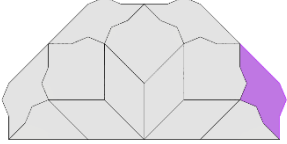
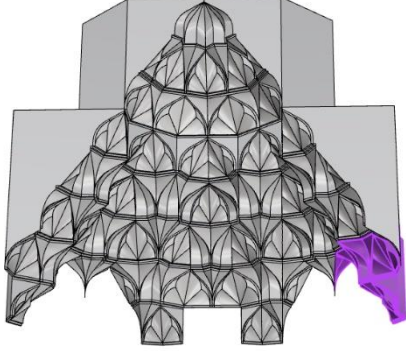
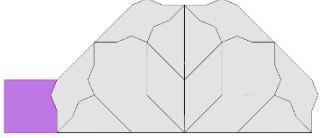
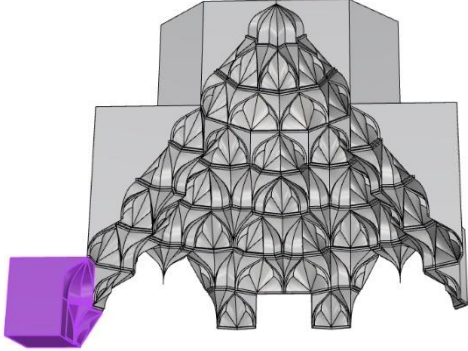
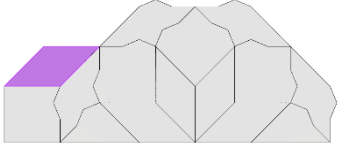
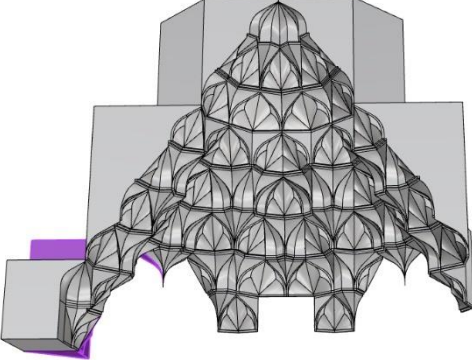
	Üst görünüş	3B Model
--	-------------	----------

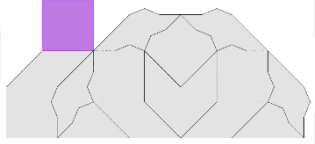
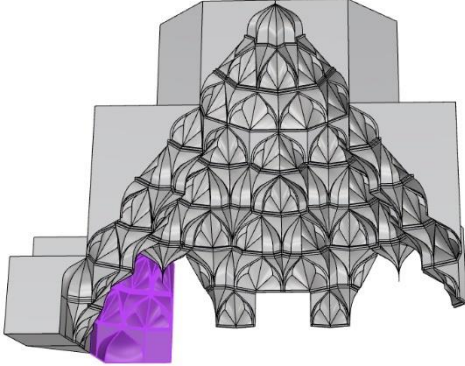
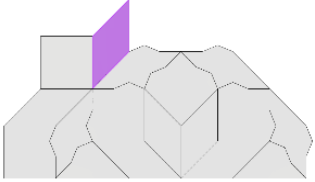
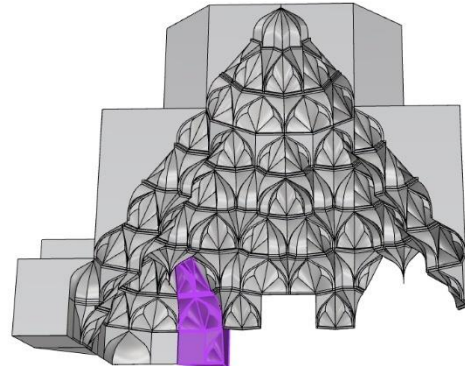
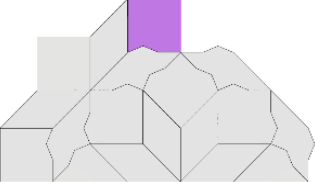
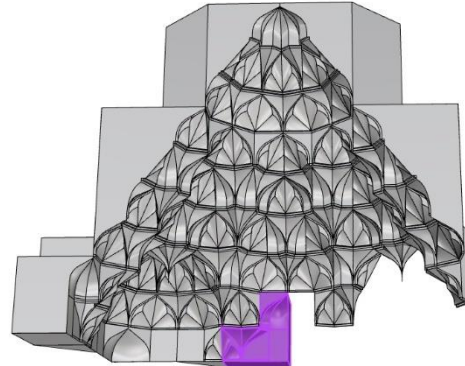
<p>Süper karo blok yerleşimi 1. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 2. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 3. adım</p>		

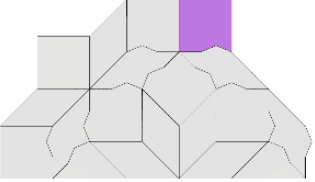
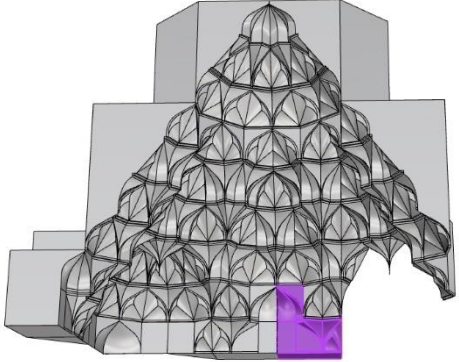
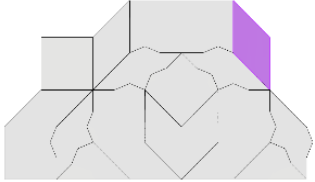
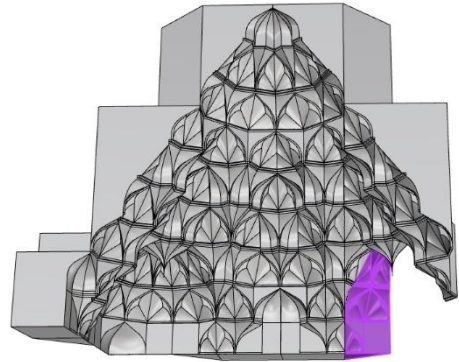
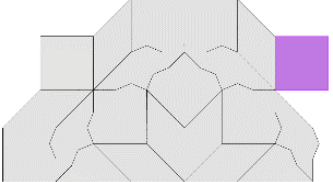
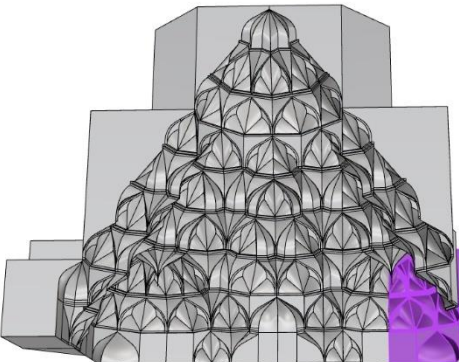
<p>Süper karo blok yerleşimi 4. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 5. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 6. adım</p>		

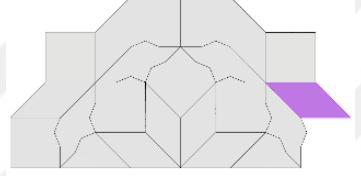
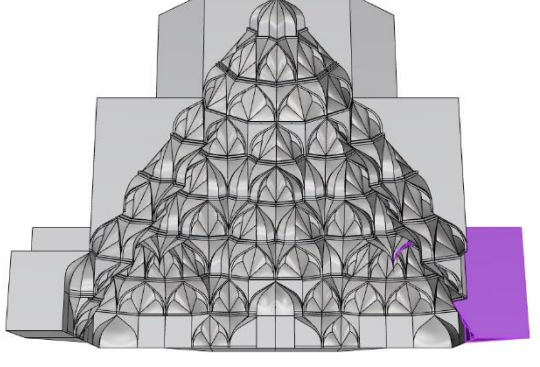
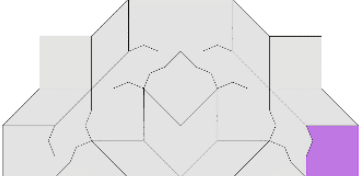
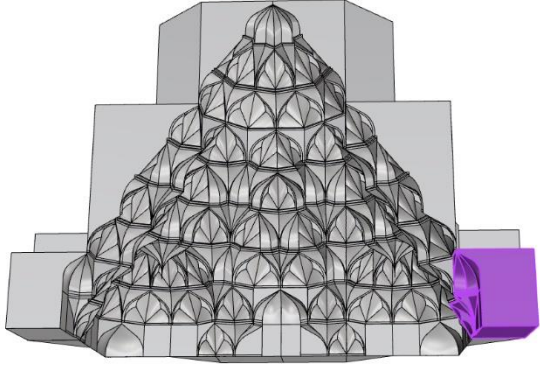

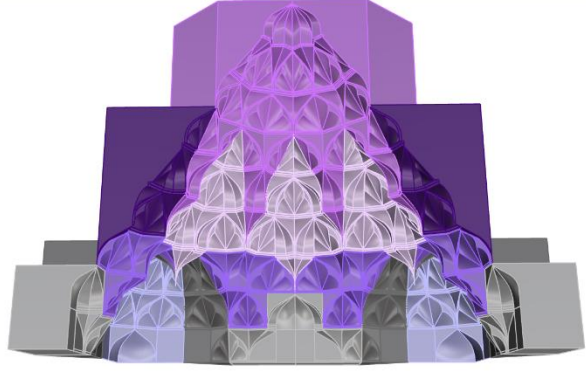
<p>Süper karo blok yerleşimi 7. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 8. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 9. adım</p>		

<p>Süper karo blok yerleşimi 10. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 11. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 12. adım</p>		




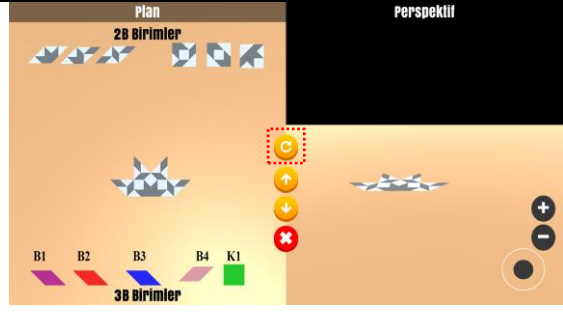
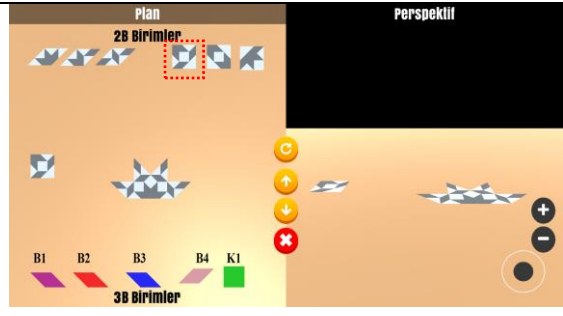
<p>Süper karo blok yerleşimi 13. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 14. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 15. adım</p>		


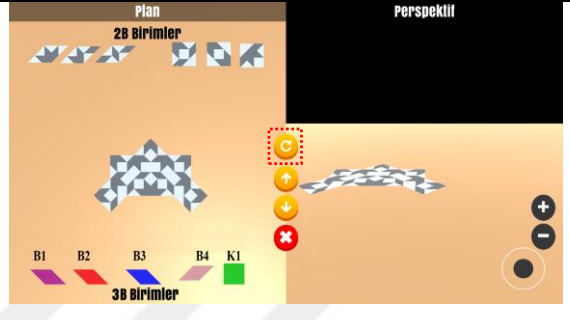
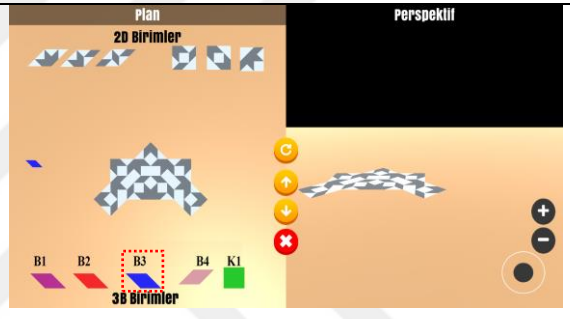
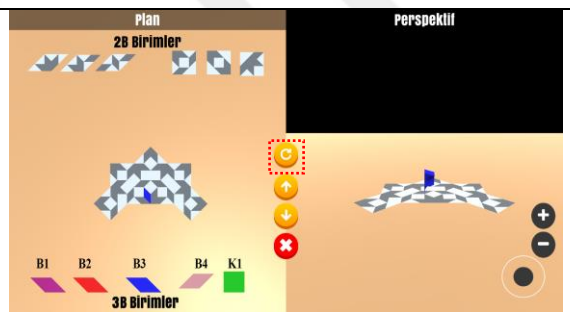
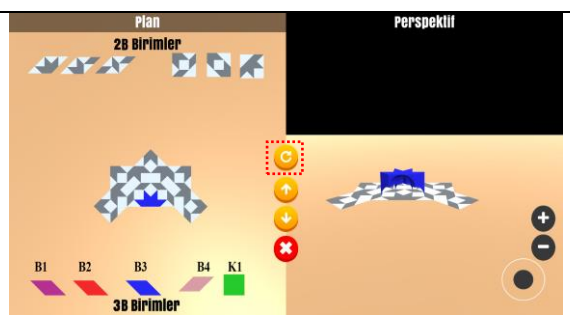
<p>Süper karo blok yerleşimi 16. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 17. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 18. adım</p>		

<p>Süper karo blok yerleşimi 19. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 20. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 21. adım</p>		






<p>Süper karo blok yerleşimi 22. adım</p>		
<p>Süper karo blok yerleşimi 23. adım</p>		
<p>3B modelde kullanılan süper karo bloklar</p>		



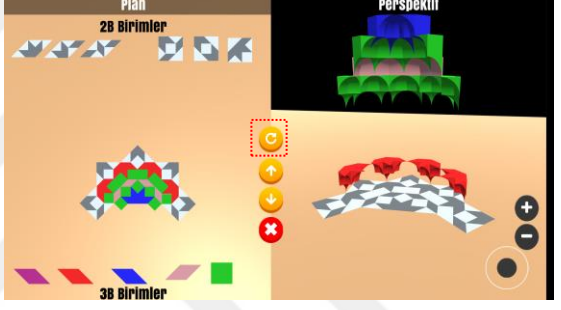
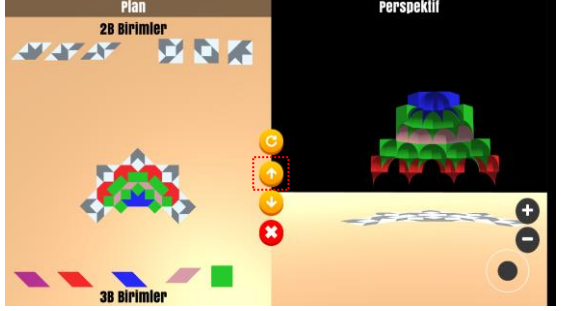
EK-6 Anadolu Mukarnası uygulaması ile yeni mukarnas tasarım aşamaları

<p>1.Adım: ‘Anadolu Mukarnası’ uygulama ekranında yer alan plan ve perspektif sahneleri</p>	
<p>2.Adım: Plan sahnesinde geometrik kurgu tasarımı için uygun 2B ‘baklava’ biriminin seçilmesi</p>	
<p>3. Adım: 2B baklava biriminin plan ve perspektif sahnesinde ‘döndürme butonu’ ve sürükle-bırak yöntemi ile uygun konuma yerleştirilmesi</p>	
<p>4. Adım: 2B baklava biriminin çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	
<p>5. Adım: Geometrik kurgu tasarımına Uygun 2B ‘kare’ biriminin plan sahnesine çağırılması</p>	

<p>6. Adım: 2B kare biriminin plan ve perspektif sahnesinde 'döndürme butonu' ve sürükle-bırak yöntemi ile uygun konuma yerleştirilmesi</p>	
<p>7. Adım: 2B kare birimlerinin çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	
<p>8. Adım: 3 Boyutlu B3 biriminin plan sahnesine çağırılması</p>	
<p>9. Adım: B3 biriminin 2B birimler ile tasarlanan geometrik kurgu üzerine plan ve perspektif sahnesinde 'döndürme butonu' ve sürükle-bırak yöntemi ile yerleştirilmesi</p>	
<p>10. Adım: B3 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	

<p>11. Adım: Çoğaltılan B3 birimlerinin perspektif sahnesinde 'yukarı taşıma butonu' ile yükseltilmesi (Yukarı taşıma butonu her tıklamada bir birim ilerlemektedir)</p>	
<p>12. Adım: K1 biriminin 2B birimler ile tasarlanan geometrik kurgu üzerine plan ve perspektif sahnesinde 'döndürme butonu' ve sürükle-bırak yöntemi ile yerleştirilmesi</p>	
<p>13. Adım: K1 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	
<p>14. Adım: Çoğaltılan K1 birimlerinin perspektif sahnesinde 'yukarı taşıma butonu' ile yükseltilmesi (yukarı taşıma butonu her tıklamada bir birim ilerlemektedir)</p>	
<p>15. Adım: B4 biriminin plan sahnesine çağırılması ve perspektif sahnesindeki konumu</p>	

<p>16. Adım: B4 biriminin 2B Birimler ile tasarlanan geometrik kurgu üzerine plan ve perspektif sahnesinde 'döndürme butonu' ve sürükle-bırak yöntemi ile yerleştirilmesi</p>	
<p>17. Adım: B4 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	
<p>18. Adım: Çoğaltılan B4 birimlerinin perspektif sahnesinde 'yukarı taşıma butonu' ile yükseltilmesi (yukarı taşıma butonu her tıklamada bir birim ilerlemektedir)</p>	
<p>19. Adım: K1 biriminin plan sahnesine çağırılması ve perspektif sahnesindeki konumu</p>	
<p>20. Adım: K1 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	

<p>21. Adım: Çoğaltılan K1 birimlerinin perspektif sahnesinde 'yukarı taşıma butonu' ile yükseltilmesi (Yukarı taşıma butonu her tıklamada bir birim ilerlemektedir)</p>	
<p>22. Adım: B2 biriminin plan sahnesine çağırılması ve perspektif sahnesindeki konumu</p>	
<p>23. Adım: B2 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	
<p>24. Adım: Çoğaltılan B2 birimlerinin perspektif sahnesinde 'yukarı taşıma butonu' ile yükseltilmesi (Yukarı taşıma butonu her tıklamada bir birim ilerlemektedir)</p>	
<p>25. Adım: K1 biriminin geometrik kurgu üzerinde çoğaltılması (Çoğaltma yöntemi her birimin tek tek plan sahnesine eklenmesi sonrasında döndürme butonu ile yerleştirilmektedir)</p>	