

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SAYISAL ORTAMDA MUKARNAS DENEMESİ: SULTANHANI ÖRNEĞİ

SEVDE GÜLİZAR DİNÇER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR ORTAMINDA MİMARLIK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TOGAN TONG**

**EŞ DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TUĞRUL YAZAR**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAYISAL ORTAMDA MUKARNAS DENEMESİ: SULTANHANI ÖRNEĞİ

Sevde Gülizar Dinçer tarafından hazırlanan tez çalışması 14.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Togan Tong
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Tuğrul Yazar
İstanbul Bilgi Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Togan Tong
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tuğrul Yazar
İstanbul Bilgi Üniversitesi

Prof. Dr. Meral Erdoğan
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Birgül Çolakoğlu
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fulya Özsel Akipek
İstanbul Bilgi Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez sürecim boyunca birikimlerini ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Togan Tong ve eş danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Tuğrul Yazar'a, yaşamımın her anında yanımda olup, her türlü fedakârlığı gösteren, tezimi hazırlamamda katkı sağlayan babam Prof. Dr. Saim Boztepe, annem Hatice Boztepe ve eşim Okan Dinçer'e çok teşekkür ederim.

Nisan, 2016

Sevde Gülizar DİNÇER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
MUKARNAS ÇÖZÜMLEMELERİ.....	6
2.1 Mukarnasın Geometrik Sınıflandırılması	6
2.1.1 Kare Kafes Tipi Mukarnas	6
2.1.2 Kutuplu Tip Mukarnas	7
2.1.3 Farklı Mukarnas Denemeleri	7
2.2 Mukarnasın Yapısal Sınıflandırılması	8
2.2.1 Bindirmeli mukarnas.....	9
2.2.2 Birleştirilmiş Mukarnas.....	10
2.2.3 Asma Mukarnas	10
2.3 Mukarnas Örtülerinin Açısal Analizi.....	10
2.3.1 Birinci Tip (Aynı Eksende Devam Eden Çemberler)	11
2.3.2 İkinci Tip (Rotasyonlu Çemberler)	12
2.3.3 Üçüncü Tip (Eksenler Üzerine Dağılan Çemberler)	15
2.3.4 Dördüncü Tip (Bölgesel Tasarlanan Çemberler).....	15
2.3.5 Beşinci Tip (Başlangıç Eksenine Esaslı Dağılan Çemberler)	17
2.4 Mukarnasın Modüler Analizi.....	17
2.4.1 Modüllerin 3 boyuta Aktarılması	22
2.4.2 Mukarnas Grafiğinin Farklı Yorumlarının Okunması	24

2.4.3	Mukarnas Katmanlarının Oluşumu.....	26
2.4.4	Mukarnas Yüksekliğini Belirleme.....	28
2.4.5	Modüllerin Eğimli Yüzeylerinin Hesaplanması	29

BÖLÜM 3

SAYISAL ORTAMDA MUKARNAS DENEMELERİNİN İNCELENMESİ	31
3.1 Katmansal Mukarnas Denemesi İncelemesi	31
3.2 Düzensiz İzdüşümlü Mukarnas Denemesi İncelemesi	35
3.3 Modüler Değişimli Mukarnas Denemesi İncelemesi	35
3.4 Modül Elemanları Değişimli Mukarnas Denemesi İncelemesi	36
3.5 Çizgi Esaslı Mukarnas Denemesi İncelemesi.....	39
3.6 Dönüştürülmüş Mukarnas Denemesi İncelemesi.....	43
3.7 Sarkıt Mukarnas Denemesi İncelemesi.....	46
3.8 Kinetik Mukarnas Denemesi İncelemesi.....	47
3.9 Grasshopper ile Mukarnas Denemesi İncelemesi	48
3.10 Mukarnas Denemeleri İle İlgili İnceleme Sonuçları	50

BÖLÜM 4

SULTANHANI İÇ KAPI MUKARNASININ SAYISAL ORTAMA AKTARIMI.....	52
4.1 Sultanhanı Genel Özellikler	52
4.2 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımının İki Boyutta İncelenmesi	54
4.3 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımının Modüler Analizi	55
4.4 Sultanhanı Mukarnası Modülerinin Hareketi	57
4.5 Sultanhanı İç Kapı Mukarnası Katmanları ve Yüksekliğini Belirleme	58
4.6 Grasshopper ile Sultanhanı İç Kapı Mukarnası Denemesi	62
4.6.1 "Snub Kare" Örüntüsü	62
4.6.2 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımı Denemesinin Grasshopper'a Aktarımı.....	64
4.6.3 Parametrelerin Değiştirilmesi ile Oluşan Yeni Mukarnas Denemeleri	71

BÖLÜM 5

SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR	74
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 2	Kare duvar ve kubbe arasında erken mukarnas örneği [4] 2
Şekil 1. 2	Duvardan kubbeye geçiş örneği [5] 2
Şekil 2.1	Kare kafes tipi mukarnas görünüş ve izdüşüm örneği, Selimiye Camii Konya [23] 7
Şekil 2. 2	Kutuplu tip görünüş ve izdüşüm örneği, Sokullu Külliyesi Kırklareli [24]..... 7
Şekil 2. 3	Farklı mukarnas denemeleri görünüş ve izdüşüm örneği, Süleymaniye Camii İstanbul [22] 8
Şekil 2. 4	Yüzeylerden oluşan basit mukarnas yapısı örneği [2]..... 9
Şekil 2. 5	Bindirmeli ve birleştirilmiş mukarnas yapısı örneği [5] 10
Şekil 2. 6	Asma mukarnas yapısı örneği [5] 11
Şekil 2. 7	Kayseri Hacı Kılıç Camisi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 12
Şekil 2. 8	Başlangıç çemberinin kayarak yerleşimi [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 13
Şekil 2. 9	Mardin Kasımiye Medresesi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 13
Şekil 2. 10	İkinci tip çember yerleşimi [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 14
Şekil 2. 11	Kayseri Sahibiye Medresesi Mukarnas izdüşümü ikinci alt tip örneği [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 14
Şekil 2. 12	Burdur Bucak Susuz Han mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 16
Şekil 2. 13	Kırşehir Cacabey Medresesi Mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 16
Şekil 2. 14	Konya Sahip Ata Camisi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 18
Şekil 2. 15	Mukarnas yuva ve ara eleman ilişkisi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 18
Şekil 2. 16	Yuva ve ara eleman izdüşümsel aktarımı [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 19
Şekil 2. 17	İzdüşümde mukarnas modülleri [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 19
Şekil 2. 18	Baklava dilimi modülünün farklı kullanımları [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer 20
Şekil 2. 19	Modüllerin birleşimi [27], 21

Şekil 2. 20	Eğimli yüzey birleşimi [27]	21
Şekil 2. 21	Modüllerin üst üste binme şekilleri [15]	22
Şekil 2. 22	Ok yönlerinin izdüşümde yerleşimi, Çizim: S.Gülizar Dinçer	23
Şekil 2. 23	Modüllerde ok yerleşimi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	23
Şekil 2. 24	Belirsiz modüllerin yorumlanması [12]	25
Şekil 2. 25	Tabakanın alternatif yorumları [13]	25
Şekil 2. 26	Badem, arpa tanesi, kare modülleri [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer ..	26
Şekil 2. 27	Badem modülünün konumlanması [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer ..	26
Şekil 2. 28	Paralel kenarların belirlenmesi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	27
Şekil 2. 29	Eşkenar dörtgen modülünde yön belirlemesi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	27
Şekil 2. 30	Ok yönlerinin son hali [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	27
Şekil 2. 31	Badem, arpa tanesi ve kare modüllerinin üç boyutlu yerleşimi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	28
Şekil 2. 32	Katmanların numaralandırılması [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	28
Şekil 2.33	Eğimli çizginin oluşumu, Çizim: S.Gülizar Dinçer	29
Şekil 3. 1	Katman çizgisinin gerçekte ve izdüşümde görünümü [5]	32
Şekil 3. 2	Katmanlar arası mukarnas geçişi [5]	32
Şekil 3. 3	Simetrik devam eden motif belirleme [28]	33
Şekil 3. 4	Mukarnas katmanları ve eğimli çizgi (Siyah noktalar mukarnas katmanlarını temsil ederken kırmızı noktalar eğimli çizgiyi temsil etmektedirler) [28] ..	34
Şekil 3. 5	Kontrol noktalarının yerleşimi (Mavi çizgi iki katman arasındaki yüzeyin yapısını temsil etmektedir), Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer [28]	34
Şekil 3. 6	Belirlenen motif üzerinde katman çizgileri, birleştirme çizgileri ve motif oluşumu [5]	35
Şekil 3. 7	Düzensiz izdüşüm ve mukarnas tasarımına yansıması [16]	36
Şekil 3. 8	Alhambra Sarayı Batı İslam Mimarisi farklı mukarnas modülleri örneği [29]	37
Şekil 3. 9	Yeni tasarlanan mukarnas modüllerinin oluşumu [16]	37
Şekil 3. 10	(a): Orijinal beşgen mukarnas modülleri, (b): Ongenden türetilen yeni mukarnas modülleri, (c)-(d): Yeni modüllerle beşgen alan içinde tasarlanan mukarnas [16]	38
Şekil 3. 11	(a): Modüldeki elemanlar, eğimli yüzey, birleşim kenarları (b): Dikey parça yorumu, (c): Eğimli yüzey yorumu, (d): Yatay parça yorumu [17]	39
Şekil 3. 12	Üç boyutta katmanlar arası deneme örneği [16]	40
Şekil 3. 13	Çizgi esaslı sisteme dayalı form denemesi [30]	41
Şekil 3. 14	Mukarnas izdüşümünün yarı silindirik forma aktarılması, merkez çizgisinin silindirik sistemde yerleşimi ve katmanların durumu [30]	41
Şekil 3. 15	Orijinal mukarnastaki düzlemsel katmanda yerleşim ve yeni denemedeki silindirik katmanda yerleşim [30]	42
Şekil 3. 16	Az sayıda bulunan çift taraflı görülen mukarnas örneği, Zümürrüd Hatun Müzesi, Bağdat [30]	42
Şekil 3. 17	Çizgi esaslı çift taraflı mukarnas yorumlamasının son hali [30]	42
Şekil 3. 18	Döndürülen 32 genlerden oluşan eşkenar dörtgen modülü [18]	44
Şekil 3. 19	Mukarnas modüllerinin açıları [18]	44

Şekil 3. 20	İzdüşüm ve yükseklik verilen kubbe örneği [18].....	45
Şekil 3. 21	Mukarnas kubbesinin genişletilmesi [18]	45
Şekil 3. 22	Motiflerin Kullanım Şekli [18]	45
Şekil 3. 23	Yeni modül oluşumları [20]	46
Şekil 3. 24	Yeni mukarnas tasarımı [20]	46
Şekil 3. 25	Kinetik mukarnas örneği [31]	47
Şekil 3. 26	Çokgen modüllerinin oluşumu [19]	48
Şekil 3. 27	Ok modüllerinin oluşumu [19]	49
Şekil 3. 28	Modüllerin Rhino ortamında bir araya getirilmesi [19]	49
Şekil 4. 1	Sultanhanı, Aksaray, Türkiye [33]	52
Şekil 4. 2	Sultanhanı iç kapı mukarnası, Fotoğraf: S. Gülizar Dinçer	53
Şekil 4. 3	Sultanhanı mukarnas izdüşüm analizi [26], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	54
Şekil 4. 4	Başlangıç Çemberi Kayarak Yerleşimi [26], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer	55
Şekil 4. 5	Sultanhanı iç kapı mukarnası fotoğrafik izdüşümü, Fotoğraf: S. Gülizar Dinçer	56
Şekil 4. 6	Sultanhanı iç kapı mukarnas izdüşümü, Çizim: S.Gülizar Dinçer	57
Şekil 4. 7	Sultanhanı mukarnas modülleri, Çizim: S.Gülizar Dinçer.....	57
Şekil 4. 8	Modüllerde ok yerleşimi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer.....	58
Şekil 4. 9	Ok yönlerinin belirlenmesi, Çizim: S.Gülizar Dinçer.....	59
Şekil 4. 10	Eğimli çizginin oluşumu, Çizim: S.Gülizar Dinçer	59
Şekil 4. 11	Modüllerin eğimli çizgilerinin birleştirilmesi, Çizim: S.Gülizar Dinçer	60
Şekil 4. 12	Katmanların yüksekliğini belirleme, Çizim: S.Gülizar Dinçer.....	60
Şekil 4. 13	Katmanların oluşumu, Çizim: S.Gülizar Dinçer	61
Şekil 4. 14	Mukarnas tasarımının oluşumu	61
Şekil 4. 15	Snub örüntüsünün tek birimi	62
Şekil 4. 16	Snub örüntüsünün oluşumu	63
Şekil 4. 17	Snub örüntüsünün ızgara sistemine yerleşimi	63
Şekil 4. 18	Sultanhanı iç kapı mukarnasında belirlenen örüntü.....	63
Şekil 4. 19	Sultanhanı iç kapı mukarnası snub kare örüntüsü	64
Şekil 4. 20	Sultanhanı iç kapı mukarnası snub kare örüntülerinde oluşan ızgara sistemleri.....	64
Şekil 4. 21	Sultanhanı iç kapı mukarnasının Grasshopper'a aktarımı	65
Şekil 4. 22	Izgara sistemi üzerinde noktaların belirlenmesi	66
Şekil 4. 23	Arpa tamamlayan modülünün oluşumu	66
Şekil 4. 24	Arpa tamamlayan katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması	67
Şekil 4. 25	Arpa tanesi modülünün oluşumu	68
Şekil 4. 26	Arpa tanesi katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması.....	68
Şekil 4. 27	Badem ve badem tamamlayan modülünün oluşumu	69
Şekil 4. 28	Baklava dilimi modülünün oluşumu.....	70
Şekil 4. 29	Örüntüye dahil olmayan badem ve badem tamamlayan modülleri.....	70
Şekil 4. 30	Badem ve baklava dilimi katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Mukarnas sınıflandırma çeşitleri	30
Çizelge 3. 1 Mukarnas denemelerinin karşılaştırılması	51
Çizelge 4. 1 Mukarnas denemelerinin parametre değişimleri	73

SAYISAL ORTAMDA MUKARNAS DENEMESİ: SULTANHANI ÖRNEĞİ

Sevde Gülizar DİNÇER

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Togan TONG

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuğrul YAZAR

Mekanların anlamını veya yapı sistemi içerisindeki hiyerarşik konumunu belirleyen ve döneminin simge elemanı olarak nitelendirilen bir takım tasarım bileşenlerinden bahsetmek mümkündür. Antik kentlerdeki Korint sütun başlıkları, Gotik mimarisinde kullanılan payanda kemerleri, İslam mimarisinin simgeleşen öğelerinden birisi olan mukarnas da bulunduğu yapıya ya da yapı bölümüne farklı bir anlam kazandırmak amacıyla tasarlanır ve üretilir. Mukarnas görsel özelliklerinin yanı sıra kimi zaman yapısal bir bileşen olarak da işlev görmektedir. Ayrıca mukarnasın içerdiği içbükey yüzeylerin akustik özellikleri gösterdiği bilinmektedir. Mukarnas içerdiği biçimsel çeşitlilik sayesinde bulunduğu mekanlarda veya mekan geçişlerinde görsel derinlik ve gölge etkileri oluşturan bir tasarım bileşenidir.

Mukarnas kompozisyonları üç boyutlu olarak tasarlanmış birimlerden oluşmaktadır. Bu kompozisyonların izdüşümleri incelendiğinde ise İslam mimarisinde kullanılan bazı geometrik örüntülerden oluştuğu görülür.

Bu çalışma, geleneksel mukarnas kompozisyonlarını analiz eden farklı bakış açılarını inceleyerek mukarnasın tasarım ve üretimine dair bir okumanın ardından, günümüzde yeni tasarım araçları yardımıyla bu tür sistemlerin nasıl yorumlanabileceği üzerine bir deneme içermektedir. Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümünde

geleneksel mukarnas örneklerinin izdüşümleri üzerinden yapılan geometrik analizler, geometrik analizlerin daha detaylı incelendiği açısal analizler, yapısal analizler ve bir tümevarım olarak yapılan modüler analizler incelenmektedir. Bu aşamada mukarnas tasarımının derin bir matematik ve geometri bilgisi gerektirdiği, zanaatkarın görsel hesaplama kabiliyetini malzeme ve yapım teknikleriyle harmanlayarak iki boyutlu eskizlerin nasıl üç boyutlu tasarımlara aktarıldığı incelenmektedir.

Son bölümde ise bütün okumaların sonucunda elde edilen farklı bakış açıları değerlendirilerek Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası üzerinde çalışılmıştır. Sultanhanı mukarnasının oluşturduğu örüntü bilgisayar aktarılarak incelenmiş ve belirlenen parametreler yardımıyla yeni alternatiflerinin türetilebileceği bir parametrik model oluşturulmuştur. Sonuç bölümünde kurgulanan parametrik modelin ne yönde ve nasıl geliştirilebileceği tartışılmış, böylece çalışmanın başka araştırmacılar tarafından tekrarlanarak geliştirilmesi mümkün hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: mukarnas, mukarnas analizi, parametrik modelleme, geometri.

ABSTRACT

MUQARNAS TRIAL IN THE DIGITAL ENVIRONMENT: SULTANHANI EXAMPLE

Sevde Gülizar DİNÇER

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Togan TONG

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Tuğrul YAZAR

It is possible to mention about a number of design components which determine the historical position of the meaning of the spaces or structural systems and considered as a symbol element in its period. The column headings in the ancient city of Corinth, strut belts used in Gothic architecture, one of the iconic element in Islamic architecture muqarnas are designed and produced to give a different meaning to the building or building structure. Beside the visual properties of muqarnas, it sometimes serves as a structural component. It is also known that concave surfaces of the muqarnas has acoustic features. By means of the formal diversity contained, muqarnas is a space design component which has visual depth and shadow effects in the space or space transitions.

Muqarnas composition consists of units designed in three dimensions. When analyzed projections of this composition is formed of some geometric patterns used in Islamic architecture.

In this study, examining different perspectives analyses for the composition of traditional muqarnas and reading its design and manufacturing process, includes a trial which interprets such systems with the aid of new design tools.

After the introduction part of the study, in the second part, geometric analyses carried out by the projection of traditional muqarnas examples, angular analyses of the more detailed analyses of the geometric analyses, structural analyses and modular analyses made as an induction are investigated.

At this stage, muqarnas design requires a deep knowledge of mathematics and geometry and the artisan blends his visual computing capability with material and construction techniques also examines how two dimensional drawings are transferred to three dimensional designs.

In the last chapter different perspectives obtained as a result of all readings, there is studies on Aksaray Sultanhanı mukarnas the inner door. A parametric model is examined by transferring the patter formed by Sultanhanı muqarnas in the computer environment and with the help of determined parameters can be derived from the new alternatives has been established.

The parametric model constructed in the result part is discussed how to improve, so the work has been made possible to repeat and develop by other researchers.

Keywords: muqarnas, muqarnas analyses, parametric modeling, geometry.

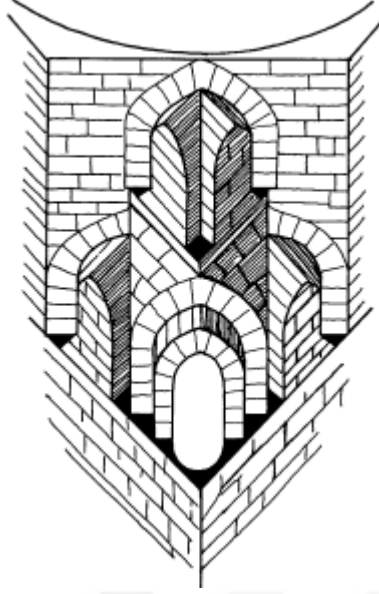
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Doğada gözlemlenebilen her türlü oluşumun matematik yardımıyla tanımlanabilecek bir düzen içerisinde olduğu fikrinin yansımalarını mimarlıkta da görmek mümkündür. Geometri "Nokta, çizgi, açı, yüzey ve cisimlerin birbirleriyle ilişkilerini, ölçümlerini, özelliklerini inceleyen matematik dalı" [1] olarak tanımlanmaktadır. Mukarnas, geometrinin, örüntülerin ve oranların mimarlıktaki kullanımının gözlemlenebildiği yapı elemanlarından birisidir. Mukarnas üzerinde çalışan araştırmacıların aynı zamanda matematik alanında uzman olmaları bir yapı elemanı olan mukarnasın ve matematik ve geometri ile olan ilişkisini desteklemektedir.

Arapça, Farsça ve Osmanlıca sözlüklerde mukarnas "kademeli çıkıntıları olan basamaklı çatma tavan, kubbe, bir başlık türü, rengarenk alacalı işleme" gibi anlamlar taşımaktadır. Batı terimlerinin Doğu terimlerine çevrildiği dönemde ve özellikle mimaride Art Nouveau tarzının etkisinde kaldığı dönemde mukarnas kelimesinin Almanca "karnies" kelimesinden türetildiği düşünülmektedir [6].

Erken mukarnas örnekleri pendentif adı verilen duvar ve kubbe arasındaki geçiş elemanının üzerine eklenen dekoratif öğelerdir (Şekil 1.1). Buna rağmen mukarnas kullanımının başlangıcının sadece pendentifler olmadığı düşünülmektedir [2]. Mukarnas hem taşıyıcı hem de dekoratif bir eleman olarak, konsol, kemer, kubbe ve portallarda, sütun başlıklarında, nişlerde kısacası her türlü mimari iç bükey dönüşlerde kullanılmıştır (Şekil 1.2). Bunun yanı sıra mukarnas minare şerefelerindeki gibi yapıyı algısal olarak parçalayabilirken, nişlerin içerisinde dekoratif amaçlarla da kullanılabilmektedir [3].



Şekil 1.1 Kare duvar ve kubbe arasında erken mukarnas örneği [4]



Şekil 1.2 Duvardan kubbeye geçiş örneği [5]

Kaynaklarda genel olarak mukarnas kullanımının 11'nci yüzyılda başladığı ve İslam kültürünün yayıldığı bölgelerde yaygınlaştığı belirtilmektedir. Ödekan'ın [7] araştırmalarına göre mukarnasa ilk olarak 1022 yılında İran'da, 997-1028 yılında da Sangbest'te rastlanılmıştır. Takahashi'de [8] analizlerinde benzer bir sonuca varmış, ilk örneklerinin 1000'li yıllarda İran'da uygulandığını ifade etmiştir. Mukarnas ögesi yakın zamana kadar İran'da kullanılmaya devam etmiş, Anadolu'da 16'ncı yy'da doruk noktasına ulaşan bu gelenek 19'ncü yüzyıla kadar sürmüştür. Mukarnas örüntülerinin ilk örneklerde nispeten basit desenler olduğu görülmekte, 14 -15'nci yüzyıl sonrasında

ise daha karmaşık desenler kullanıldığı gözlemlenmektedir. [9] Mukarnas yapısal açıdan incelendiğinde kullanılan yapı malzemelerinin de tarihsel süreç içerisinde gelişme gösterdiği görülmektedir. Asıl kullanılan malzeme tuğla ve alçıdır. Daha geç dönem örneklerinde tuğla ve alçı yerine taş kullanılmaya başlandığı bilinmektedir.

Mukarnasın tasarımı, bölgesel gelişimi ve yapısal gelişimi zengin bir bibliyografya bulunmasına rağmen mukarnas formlarının temsil ettiği anlamla ilgili olarak kesin ve doğrudan bir açıklamanın yapılamadığı görülmektedir [10]. Mukarnasın gelişim süreci başka bir açıdan incelendiğinde canlı figürlerin tasvirinin yerine geometrik formlarla örüntüler oluşturarak soyut bir anlatımın elde edildiği görülmektedir. Mukarnasın ilk örneklerini içeren çok sayıda tarihi yapının günümüzde hala gözlemlenebilir durumda olmasına rağmen, bu yapı elemanlarının taşıdığı anlam ile ilgili herhangi bir yazılı kaynak bulunmadığı için tam olarak neyi temsil ettikleri bilinmemektedir. Tabbaa'nın [11] araştırmalarında bütün mukarnasların küçük ve ayrı parçalardan oluşması, İslam dininde Allah'tan başka hiçbir şeyin sonsuz, bir ve bütün olmadığı inancı üzerinden okunduğunda, Allah'tan başka bütün varlıkların atomlardan oluştuğunu ve O'nun tarafından sabitlendiğini ifade eden bir yoruma ulaşılmaktadır. Evrenin bütün ve sürekli görünümünden ziyade küçük parçalardan ve birbirine bağlı öğelerden oluştuğu ifade edilmiş, buna karşılık mukarnasın da evrenin yapısını temsil eden küçük parçaların doğal kaynakları sembolize eden figürlerle değişik formlar oluşturup bir bütüne dönüştüğü gibi bir açıklama getirilmiştir. Ayrıca mukarnas kubbesinin de Cennet inancında olduğu gibi desteksiz, havada asılı kalan bir yer temsili olduğu düşünülmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Tasarımın ve üretim süreci ile ilgili yazılı kaynakların yapıldığı dönemlere ait olmaması mukarnasın tasarım aşaması ve yapımı ile ilgili farklı yorumların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin, bulunan ilk eskizlerden birisi olan Takht-i Suleyman Sarayındaki alçı plakanın Harb [12], Harmsen [12] ve Yaghan [13] tarafından yapılan farklı yorumlamaları bulunmaktadır. Bulunan eskizlerin detaysız oluşu tasarlayanın yanı sıra inşa eden kişinin de tasarım sürecine katıldığını düşündürmektedir.

Mukarnas üzerine yapılan kaynak taraması sonucu ilk yabancı kaynağın 1800'lü yıllara ait olduğu, Türkiye'de ise 1960'lı yıllarda ilk çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Örneğin, Takahashi [8], dünyada bulunan bütün mukarnas tasarımlarını fotoğraflayıp izdüşümlerini çıkararak büyük bir arşiv oluşturmuştur. Oluşturduğu bu arşivde mukarnasları genel bir sıralamaya tabi tutmuş, mukarnas çeşitlerinin ortaya çıkarılması konusunda önemli bir katkı sağlamıştır. Ödekan [7], iki boyutlu mukarnas izdüşümlerinin üzerinde daha detaylı çalışarak izdüşümlerin açısız analizlerini yapmıştır ve tasarımında geometrik bir dil oluşturduklarını ortaya çıkarmıştır. Ayrıca mukarnas tasarımlarının gelişim sürecini ortaya çıkartarak mukarnas tasarımlarını okumayı kolaylaştırmıştır. İki boyutlu izdüşümleri üç boyutlu mukarnaslara dönüştüren belirli kurallar da ortaya çıkarılmıştır. El-Kaşı [14], mukarnasın üretim aşamasında yapılması gereken işlemleri anlatmıştır. Günümüzde araştırmacılar mukarnasları çoğunlukla El-Kaşı yöntemiyle çözümlemektedirler. Harmsen de [15], El-Kaşı'nin metotlarından faydalananak bilgisayar ortamında bir program oluşturmuş, mukarnas çözümlemesi ile ilgili önemli katkılar sağlamıştır.

Geleneksel mukarnas çözümlerinin yanı sıra yeni mukarnas denemeleri üzerinde çalışan Hamekasi [5], Yaghan [13], [16] ve [17], Owen [18], Mansouri [19] gibi araştırmacılar ve çeşitli tasarımcılar [20], [21], geleneksel mukarnas tasarımlarından yola çıkarak yeni tasarım denemeleri yapmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada mukarnasın içerdığı ilişkisel geometrinin güncel teknolojinin yardımıyla yeniden değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Öncelikle mukarnas üzerine gerçekleştirilmiş mevcut araştırmalar üzerinden genel bir okuma yapılarak farklı analiz yöntemleri ortaya çıkarılmıştır. Bu okumanın sonucunda hem iki boyutlu geometrik izdüşümleri, hem de üç boyutlu yüzey ilişkilerini çözümleyen çalışmalar kategorize edilmiştir. Çalışmanın devamında günümüzde yeni teknolojilerin kullanımı ile gerçekleştirilen farklı mukarnas denemeleri ve yorumları incelenmiştir. Bu inceleme ile, yapılacak olan mukarnas denemesinde kullanabilecek teknik ve teknolojilerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın sonucunda analizlere ve yeni denemelere dayanarak bir örnek çalışması yapılmıştır. Sultanhanı iç kapı mukarnası üzerinde

yapılan bu çalışma ile sayısal ortama aktarılarak türetmelerin yapılabilceği parametreler belirlenmiştir. Sonuç bölümünde oluşturulan parametrik modelin ortaya çıkardığı sonuçlar incelenmiştir. Parametrik modelin detaylı olarak açıklanması, ileride başka araştırmacılar tarafından yapılabilcek daha kapsamlı çalışmalar için bu araştırmanın bir n adım olmasını sağlamaktadır. Tez çalışmasının amaçlarını farklı perspektiflerden özetlemek mümkündür. Tezin literatür çalışması ile ilgili amacı, mukarnas gibi geleneksel bir yapı elemanını çözümleyen mevcut kaynakların kategorik olarak incelenmesiyle konuya dair farklı bakış açılarını bir araya getirmektir. rnek alışması olarak gerçekleştirilen Sultanhanı mukarnası parametrik modeli ise, yeni teknolojilerin ve araçların bu tür yapı elemanlarının analizinde ve yeniden türetilmesinde nasıl kullanılabileceğine dair teknik bir denemeyi hedeflemektedir. Bu deneme, ilerideki benzer araştırmalar için bir n çalışma olmayı hedefleyerek, mukarnasın onarımı ve restorasyonu konusunda pratik kullanıma dair sonuçlarının yanında yeni mukarnas yorumlarının tasarımı ile ilgili tartışmalar amayı da amaçlamaktadır.

1.3 Hipotez

Mukarnas tasarımı, ilk gözlemde karmaşık ve düzensiz şekillerden oluşan bir tasarım izlenimi vermesine rağmen detaylı olarak analiz edildiğinde geometrik bir dile sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu geometrik dil izdüşümden üç boyuta geçişteki aktarımı sağlayan zanaatkarın görsel hesaplama yeteneği ile ilişkili bir durumdur. Geleneksek mukarnas çözümlemelerinde için öncelikle eskiz yani iki boyutlu izdüşümün çalışılması gerekmektedir. Bu izdüşümler, her ne kadar iki boyutlu gibi görünse de mukarnasın üç boyutlu yüzeyleri ile ilgili detaylı bilgiler de vermekte, ilişkisel yapıyı bir örüntü üzerinden kurmaktadır. Mimari izimin sadece bir temsil ürünü değil, bir sistem modeli halinde düşünüldüğü bu kurma ve türetme şekli, mimarlık ve tasarımda güncel ve gelişen bir bakış açısı olan sayısal tasarımla paralellikler göstermektedir. Mukarnas gibi geleneksel yapı elemanlarının sistematik çözümlenmesi ve yeniden kurulması bu bakımdan yeni tasarım teknolojilerinin ve araçlarının deneyimlenebileceği önemli egzersizlerdir.

BÖLÜM 2

MUKARNAS ÇÖZÜMLEMELERİ

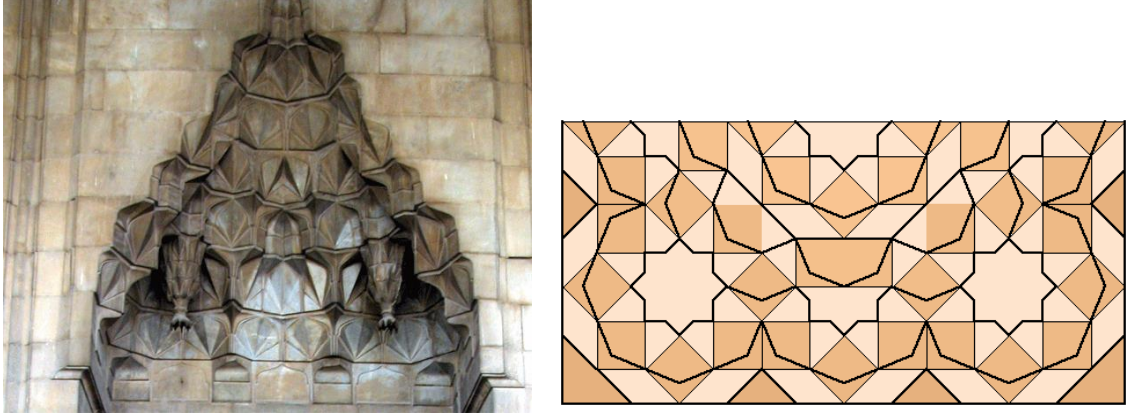
Mukarnas tasarımının üç boyuttaki son aşamasına gelmeden önce izdüşüm olarak adlandırılan iki boyutlu geometrik desen oluşturulmalıdır. Taş ustasının ya da tasarımcının farklı mukarnaslar örneklerinde standartlaşmış öğeler kullanması bu kanıyı oluşturmuştur [5]. Bu üç boyutlu mukarnas örneklerinin iki boyutlu izdüşümleri incelendiğinde farklı açılı çokgen ve yıldız şeklinde geometrik desenlerle örüntüler birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Aşağıdaki bölümde mukarnasın farklı sınıflandırma biçimleri incelenmektedir.

2.1 Mukarnasın Geometrik Sınıflandırılması

2.1.1 Kare Kafes Tipi Mukarnas

Sınıflandırılan mukarnas örneklerine bakıldığında "kare kafes" olarak adlandırılan tipin iki boyuttaki izdüşümleri kare ve eşkenar dörtgen modüllerin yerleşimiyle oluşan bir örüntü olduğu görülmektedir. Ayrıca kare kafes tipine genel olarak bakıldığında onu diğer mukarnaslardan ayıran en önemli özelliğin oluşan modüllerin tepe açısının x ekseninde dört defa dönüş yapması olduğu görülmektedir. Bu yapıım şekli yaklaşık 1000 yıldır mukarnasın gelişim süresi boyunca sürdürülmüştür. Fakat Hindistan ve Güney Asya'da bu tasarım şekli yayılmamıştır.

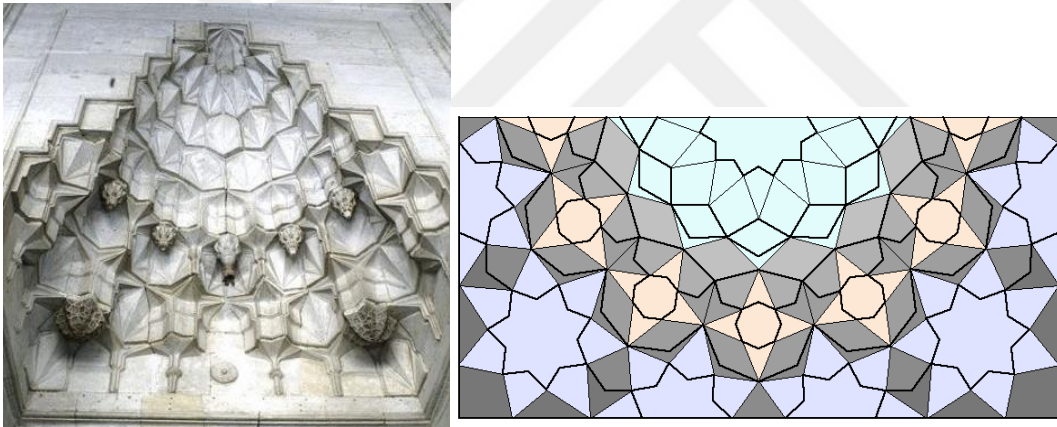
Bu mukarnas türünün malzemesi yerel olarak farklılıklar göstermektedir. Örneğin İran'da malzeme tuğla iken Türkiye'de taş, Kuzey Afrika'da ise ahşaptır [22].



Şekil 2.1: Kare tipi mukarnas görünüş ve izdüşüm örneği, Selimiye Camii Konya [23]

2.1.2 Kutuplu Tip Mukarnas

Kutuplu tipte modüller bir arada kullanılarak çokgenler oluşturmaktadır. Bu da mukarnas tasarımına kutuplu bir görünüm kazandırmaktadır. Bu tipi sınıflara ayırırken çokgenlerin dilimlenme sayısına göre sınıflandırma yapılmıştır (Şekil 2.2).

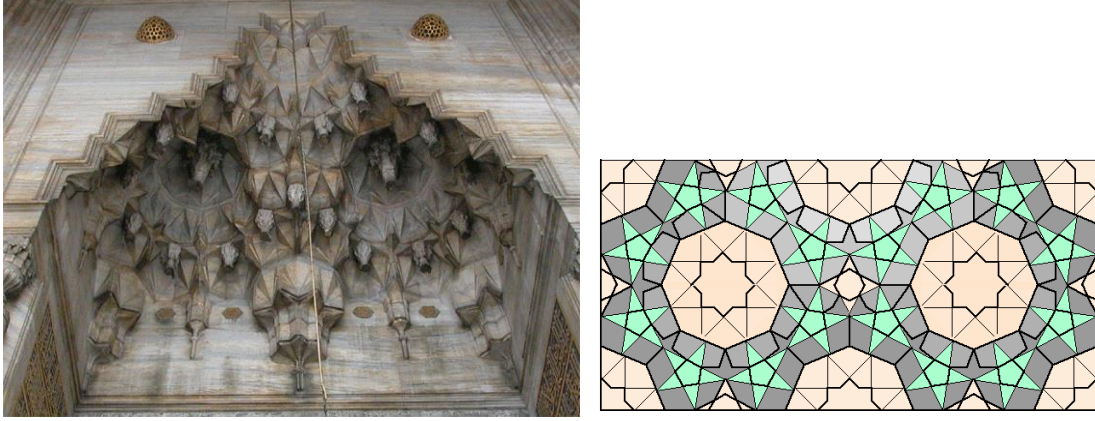


Şekil 2.2: Kutuplu tip görünüş ve izdüşüm örneği, Sokullu Külliyesi Kırklareli [24]

Bu mukarnas tipi 15'nci yüzyılda Timur Han döneminde ortaya çıkmıştır ve Orta Doğu'da yayılmaya başlamıştır. Malzeme olarak alçı, seramik, mozaik paneller ve taş kullanıldığı gözlemlenmektedir [22].

2.1.3 Farklı Mukarnas Denemeleri

Genellikle Türkiye, Suriye ve Mısır'da görülen ve malzeme olarak taş kullanılan benzeri ve kuralı olmayan yeni denemeler de gözlemlenmektedir (Şekil 2.3). Özellikle Mimar Sinan zamanında birbirinden farklı mukarnas denemeleri görülmektedir [22].



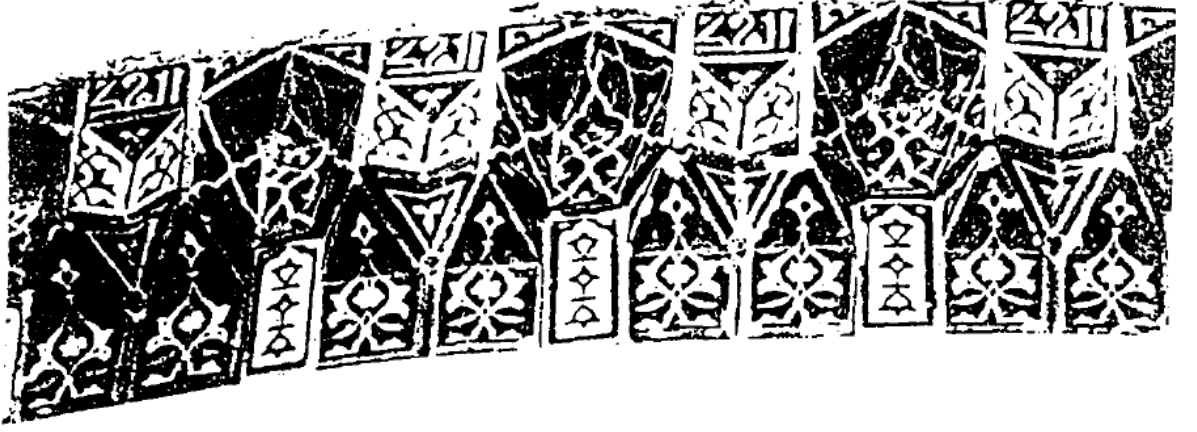
Şekil 2.3: Farklı mukarnas denemeleri görünüş ve izdüşüm örneği, Süleymaniye Camii İstanbul [22]

Sonuç olarak, mukarnas tiplerinin zaman şemasına bakıldığında mukarnaslı örneklerin 1000'li yıllarda başladığı, İslam Dünyasında en çok rastlanan tiplerin kare mukarnas tipi olduğu ve zamanla daha karmaşık örneklerin görüldüğü kutuplu tipin özellikle Doğu İslam Bölgesinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir [22].

2.2 Mukarnasın Yapısal Sınıflandırılması

Mukarnasın temel modüllerine indirgenerek çözümlenmesine katkı sağlayan en önemli isimlerden biri 1400'lü yıllarda yaşayan matematikçi El-Kaşi'dir. Devrin önemli beylerinden Uluğ Bey önderliğindeki bir bilim etkinliğine katılan El-Kaşi bu süreçte yaptığı araştırmalar sonucunda "Miftah el-Hisab" adlı matematik ve astronomi üzerine büyük katkı sağlayan eserini tamamlamıştır. Bu eserin bir bölümünde kemer, kubbe ve mukarnaslar üzerine önemli çözümler bulunmaktadır [14]. El-Kaşi'nin çözümleri günümüzde pek çok araştırmacı tarafından yararlanılan çözümlerdir. Fakat bu çözümler her mukarnas tipine uygunluk sağlamadığı, daha çok kare mukarnas tipinin modüllerine indirgenmesi olduğu söylenebilir. El-Kaşi mukarnasları dört tipe ayırır, bunlar: (a) Basit, (b) Çamurdan, (c) Kavisli ve (d) Şirazi mukarnastır.

(a) Basit mukarnas: Bu tipin alt katmanındaki yuvalar sadece yüzeylerden oluşur ve bunlar kare ve baklava benzeri dörtgenlerdir. Tavanlarında ise kare, baklava, badem, yarım kare, yarım baklava, iki bacaklı ve arpa tanesi (Şekil 2.4) bulunmaktadır [14].



Şekil 2.4: Yüzeylerden oluşan basit mukarnas yapısı örneği [2]

(b) Çamurdan mukarnas: Katman yükseklikleri birbirine eş olmayan basit mukarnasa benzer bir mukarnas tipidir. El-Kaşi bu mukarnas tipini açıklarken eski yapılarda gördüğünü belirtmektedir [2].

(c) Kavisli mukarnas: Bu tip basit mukarnasa benzer, fakat tavanları kavislidir ve tavanların arasına badem tamamlayan veya üçgen girmektedir.

(d) Şirazi mukarnas: Kavisli mukarnasa benzer fakat yuva tabanları daha derindir ve tavanlarında üçgen, dörtgen, beşgen, altıgen, sarkıt veya başka şekiller bulunmaktadır [14].

Yirminci yüzyılın ilk dönemlerinde prefabrike üretimin arttığı ve modüler üretimlerin modern mimarinin oluşumundaki etkisi bilinmektedir. Hızla yayılan bu modüler sistemin aslında İslam mimarisinde yüzyıllar önce kullanıldığı, prefabrik üretimin mukarnasla Batı mimarisinden önce Doğu mimarisinde başladığı söylenebilir [25].

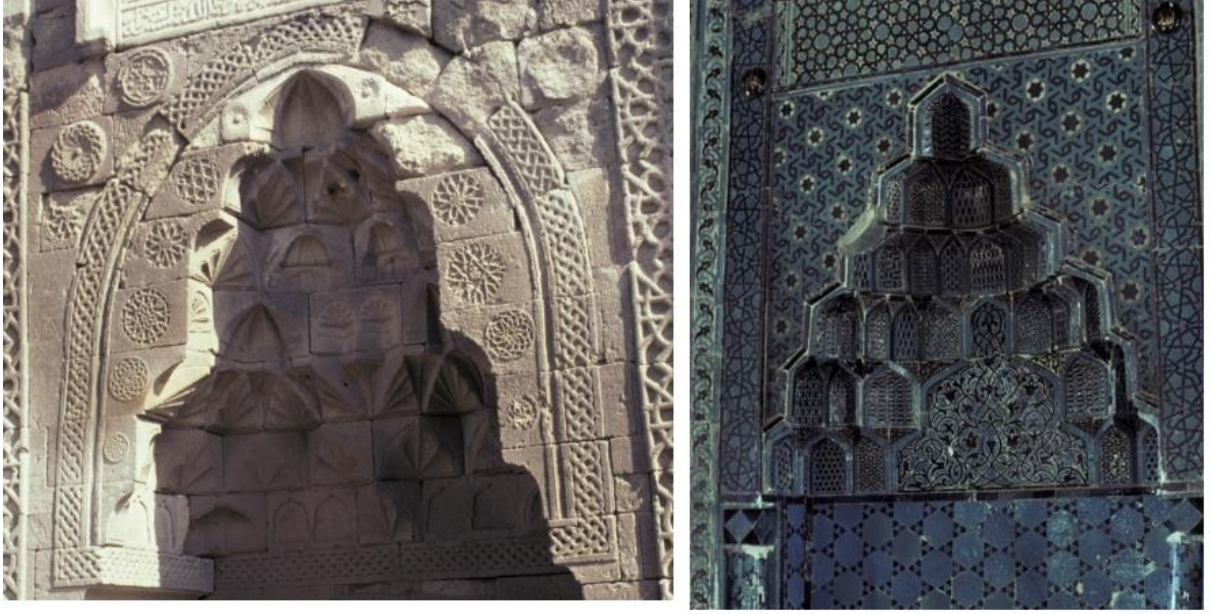
Öte yandan mukarnas yapısına genelleme yapılarak bakıldığında bazı mukarnas örneklerinin yapısal olarak kullanıldığı, bazılarının da dekoratif olarak kullanıldığı görülmektedir. Mukarnas türleri yapısal olarak üç ayrı bölümde sınıflandırılabilir [5].

2.2.1 Bindirmeli mukarnas

Bindirmeli mukarnaslar taş, ahşap bloklar ya da tuğladan yapılan kalın bir yapısal kesite sahip mukarnas örnekleridir. Mukarnas modülleri tek tek oyularak elde edilir ve inşaat sırasında yerlerine yerleştirilirler. Bu nedenle bindirmeli mukarnas türünün yapıldığı binada yapısal rolü vardır (Şekil 2.5), [5].

2.2.2 Birleştirilmiş Mukarnas

İç yüzeyler alçı, çimento gibi malzemelerle oluşturulduktan sonra üzerine dekoratif amaçlı seramik ya da boya ile mukarnas figürleri eklenen bu tip mukarnasların herhangi bir yapısal görevi yoktur (Şekil 2.5), [5].



Şekil 2.5: Bindirmeli ve birleştirilmiş mukarnas yapısı örneği [5]

2.2.3 Asma Mukarnas

Bu tip mukarnaslarda iç kısımlarda bir iskelet oluşturulur ve bu iskeletlere seramik mukarnas modülleri asılır. Birleştirilmiş mukarnas örneğinin aksine mukarnaslar yapıya yapışmaz, asılı kalırlar (Şekil 2.6), [5].

2.3 Mukarnas Örtülerinin Açısal Analizi

Araştırılan kaynaklara ve örneklerle bakıldığında geleneksel mukarnasın yapısının oluşturulmasında öncelikle tasarımcının plan düzleminde çalışması gerekmektedir. Plan oluşturulduğunda ortaya çıkan çizimin geometrik bir tasarım olduğu görülür. Bu geometrik tasarımlar incelendiğinde açısal ve birimsel değişimlerin bir örüntü oluşturduğu gözlemlenmektedir. Ödekan [7], [26] çalışmalarını rölövelerini aldığı mukarnas örneklerinin iki boyutlu plan izdüşümleri üzerinde detaylı açısal analizler yapmıştır. Bu analizlerde dikkat edilmesi gereken "çembersel bölge" olarak adlandırılan yarıçap ve çember düzenekleridir.



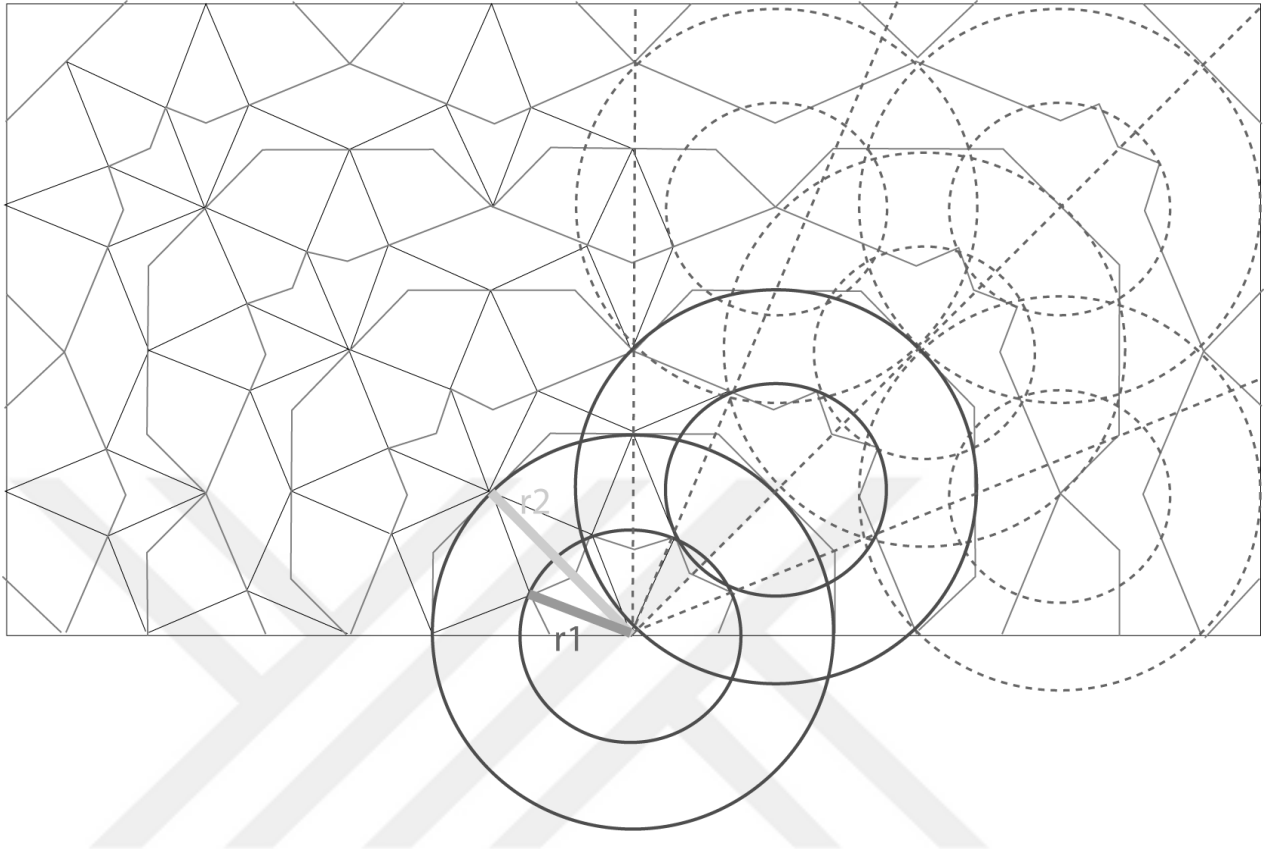
Şekil 2.6: Asma mukarnas yapısı örneği [5]

2.3.1 Birinci Tip (Aynı Eksende Devam Eden Çemberler)

Ödekan'ın [7] birinci tip olarak adlandırdığı mukarnas örnekleri ilk bakışta birimleri düzgün devam eden ve karmaşıklığı az olan, diğer tip mukarnas örneklerinden daha kolay anlaşılan mukarnas tipidir. Bu tip mukarnas tasarımlarında başlangıç açıları $22^{\circ}30'$, 18° ve 15° lik açılar oluşturmaktadır. 15° lik açılar 12 doğrusal birime, 18° lik açılar 10 doğrusal birime ve $22^{\circ}30'$ lik açılar 8 doğrusal birime bölünmektedir. Bu tip incelendiğinde 2,3 ve 4 çembersel bölgeye sahip mukarnas örneklerinin simetrik bir biçimde dizildiği görülmektedir. Çembersel bölgeler r_1 ve r_2 yarı çaplı çemberlerle oluşmaktadır.

Örneğin $22^{\circ}30'$ açılı 8 birime bölünmüş Kayseri Hacı Kılıç Camisinde (Şekil 2.7) r_1 ve r_2 yarıçaplı çemberler birbirlerinin merkezleri içinden geçecek şekilde yerleşirken, r_1 yarıçaplı çemberler ise r_2 yarıçaplı çemberin merkezine oturarak eşkenar dörtgenlerin kısa kenarını oluşturacak şekilde yerleşmektedir. Bu çemberlerin açısal rotasyonu açılarına göre değişmektedir. Örneğin 8 ya da 12 birimli çemberler 45° lik açıyla

rotasyon yaparak yerleşirken, 10 birimli çemberlerde açı 54° lik rotasyon yapmaktadır. Bu çemberler Şekil 2.8 'de görüldüğü gibi kayarak yerleştirilmektedir.



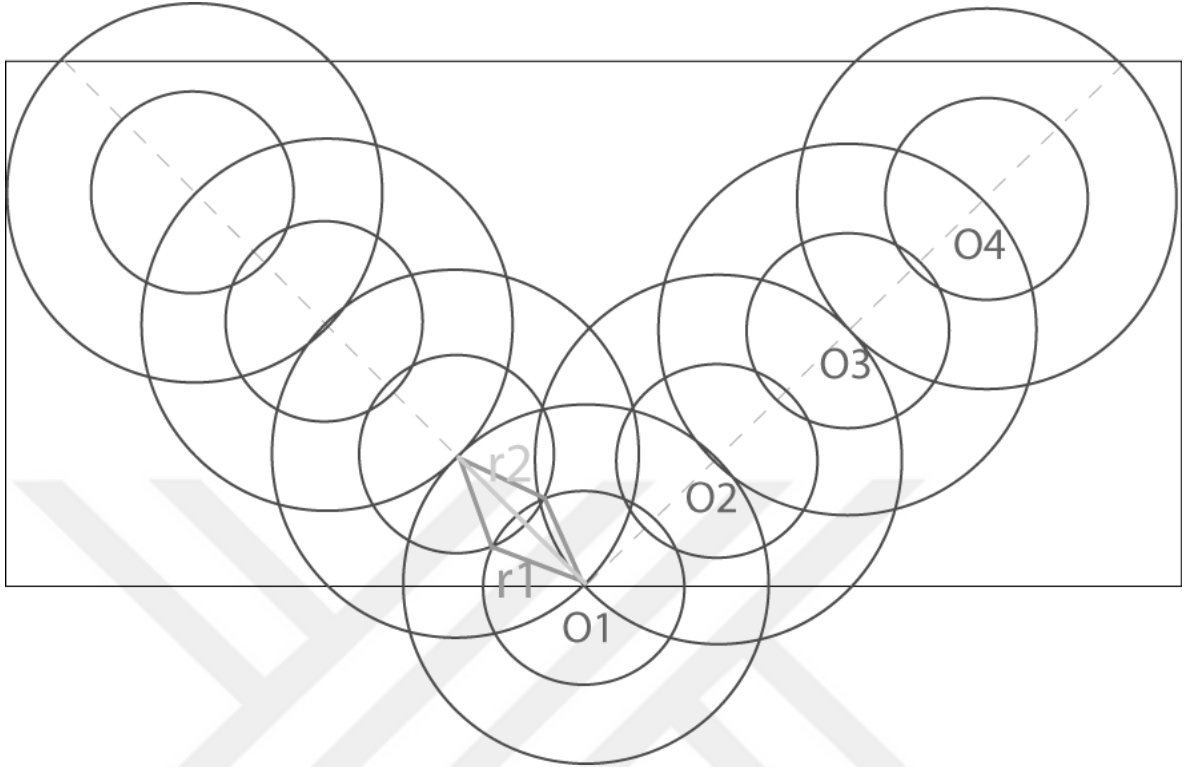
Şekil 2.7: Kayseri Hacı Kılıç Camisi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

2.3.2 İkinci Tip (Rotasyonlu Çemberler)

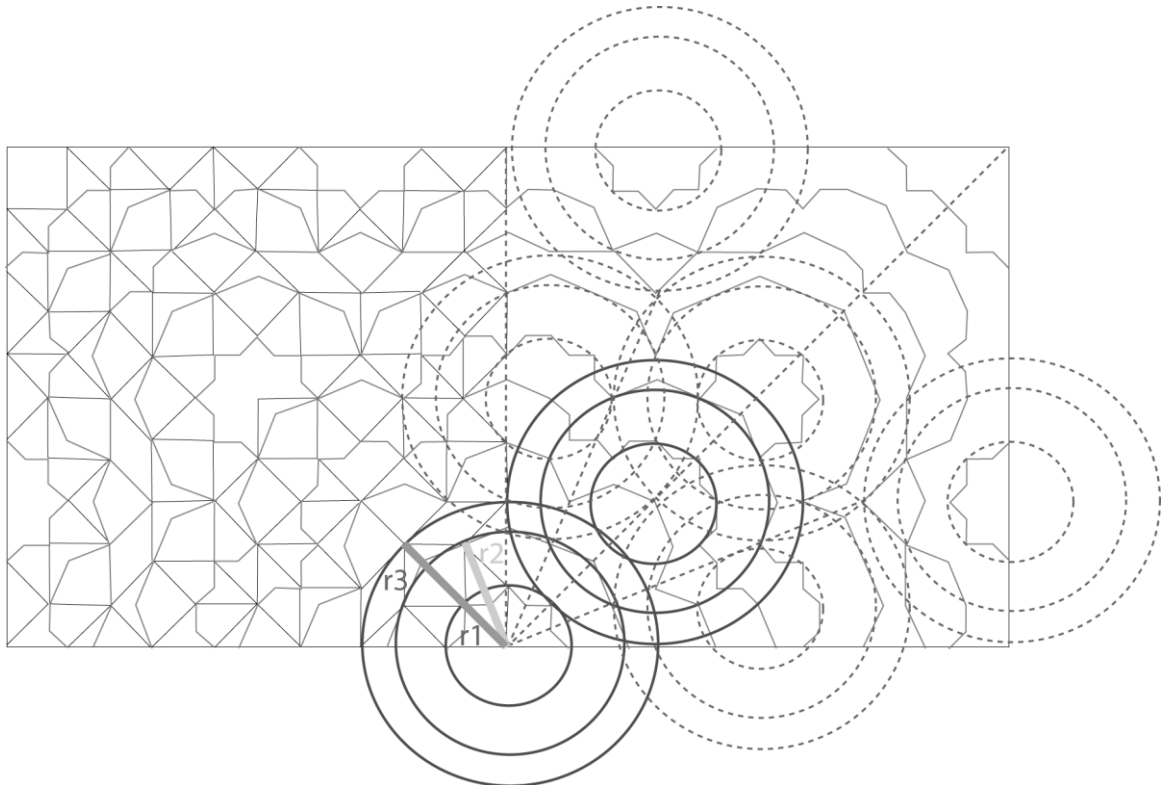
Bu tipte başlangıç açıları $22^\circ 30'$ lik açılardır ve 8 birimden oluşmaktadır (Şekil 2.9). Aynı merkezli 3 çemberin rotasyonu ile oluşan bu sistemde r_1 yarıçaplı çemberin oluşturulduğu 8'li dilimleri r_2 yarıçaplı çemberin oluşturduğu sekizgen izlemektedir. r_3 yarıçaplı çemberin doğrultusu kaydırılarak desen oluşturulmaktadır (Şekil 2.9).

Ödekan [7], ikinci tipte çembersel bölgeyi r_1 , r_2 ve r_3 yarıçaplı çemberler ile oluşturmaktadır. Bu tipte çembersel bölgeler r_3 yarı çaplı çemberlerin merkezlerinden geçecek şekilde yerleşmektedir (Şekil 2.10). Mardin Kasımiye Medresesi gibi örneklerde ilk çemberin yerleşiminin farklı olduğu örnekler de gözlenmektedir (Şekil 2.9). İkinci tipte oluşan çemberlere ek olarak başka bir çembersel birimin olduğu bir alt tip oluşmaktadır (Şekil 2.11). Burada oluşan yeni çembersel bölgedeki eş merkezli iki

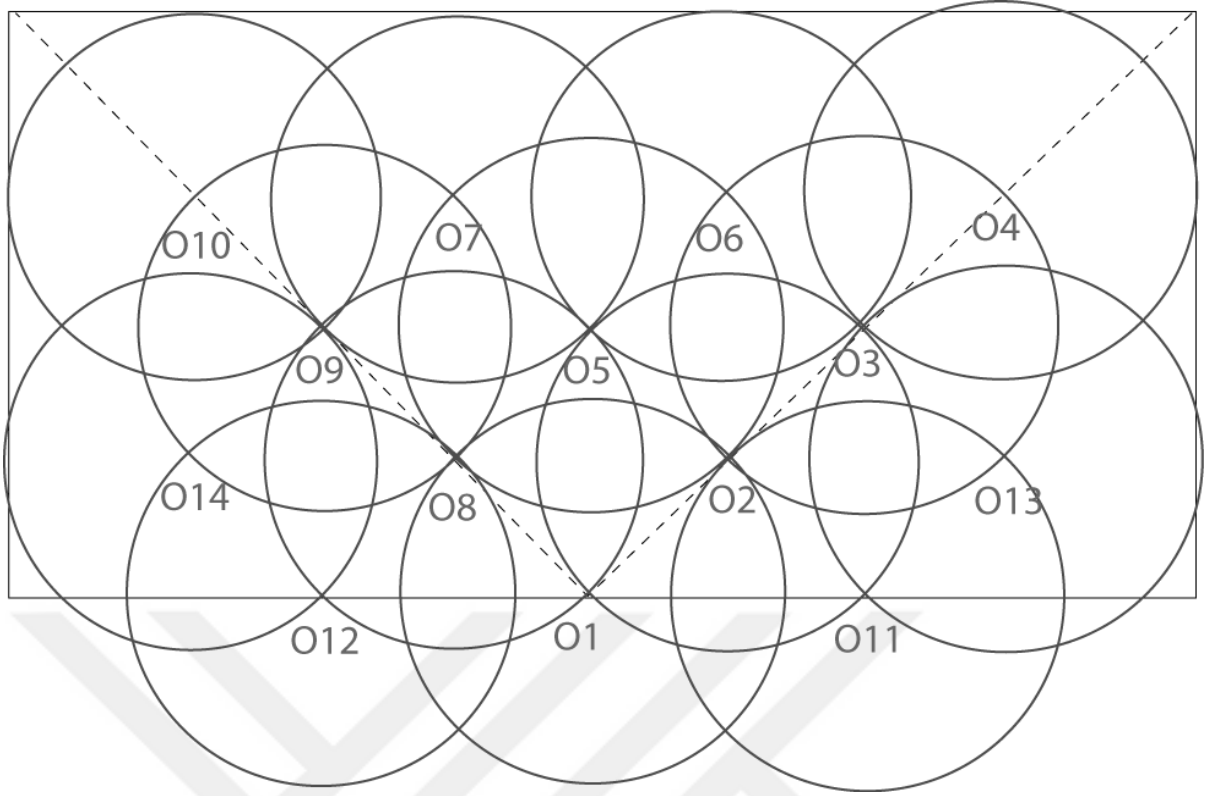
çemberin r_3 yarıçaplı çembere değecek şekilde 30° , 60° lık ve 18° , 36° lık rotasyonlar yaparak yerleştirilmektedir.



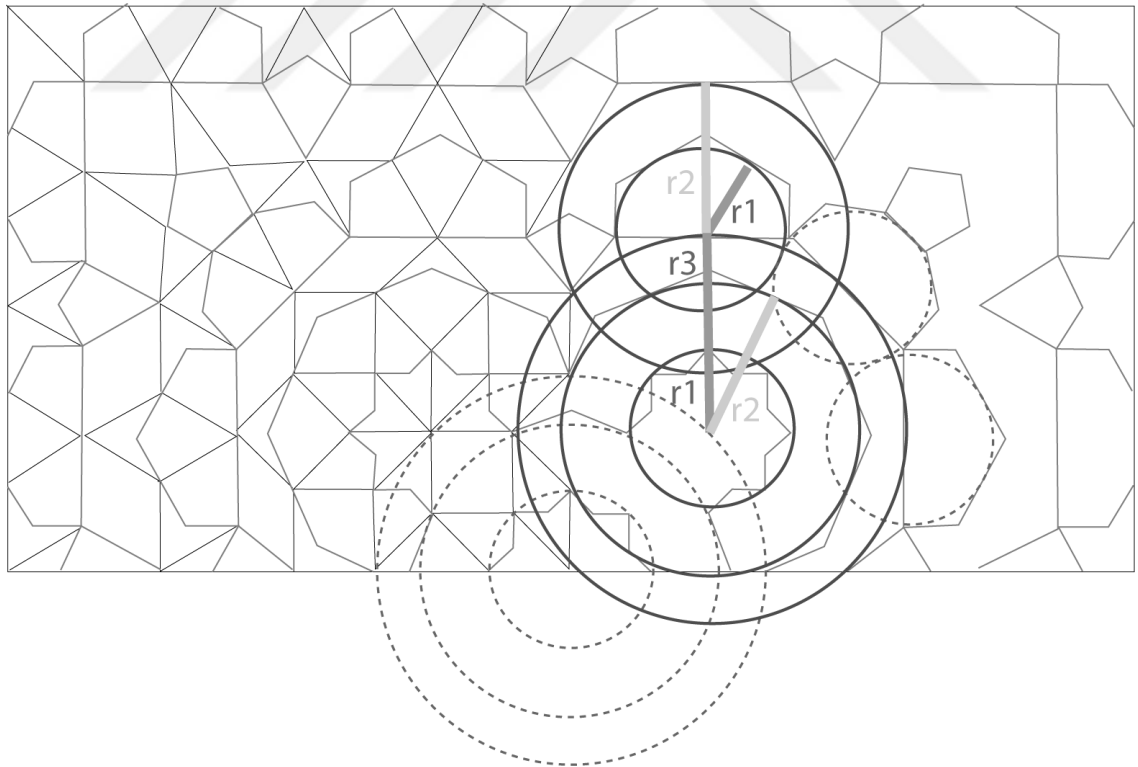
Şekil 2.8: Başlangıç çemberinin kayarak yerleşimi [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 2.9: Mardin Kasımiye Medresesi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.GülizarDinçer



Şekil 2.10:İkinci tip çember yerleşimi [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 2. 11 Kayseri Sahibiye Medresesi mukarnas izdüşümü ikinci alt tip örneği [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

2.3.3 Üçüncü Tip (Eksenler Üzerine Dağılan Çemberler)

Ödekan [7], üçüncü tipte r_1 , r_2 , r_3 ve r_4 yarıçaplı çemberlerden oluşan bir çembersel bölge oluştuğunu ve başlangıç çemberinin 18° lik açılarla 10'a böldüğünü gözlemlemektedir. Burada çembersel bölge dağılımı 5 bölge şeklindedir merkezleri 36° ve 72° lik eksenler üzerine yerleştirilmektedir [26].

Diğer tiplerde de görüldüğü gibi r_1 ve r_2 yarıçaplı çemberler eşkenar dörtgen oluştururken, r_1 ve r_3 yarıçaplı çemberler köşegeni r_3 yarıçapı olan daha büyük bir eşkenar dörtgen oluşturmaktadır. r_4 yarıçaplı çemberin oluşturduğu eşkenar dörtgenin ise kenarlarının r_1 yarıçaplı çember uzunluğunda olduğu görülmektedir.

Çemberlerin yerleşimleri incelendiğinde merkezleri 36° ve 72° açıları üzerinde yerleşmektedir. O2 ve O3 çemberleri, O1 merkezli r_4 yarıçaplı çemberin merkezinde 36° lik açılarla kesişmektedir. Yine O2 ve O3 çemberlerinin r_4 yarıçaplı çemberlerinin kesiştikleri noktada O6 çemberleri, 72° lik rotasyon yaptıklarında ise O4 ve O5 çemberleri meydana gelmektedir (Şekil 2.12).

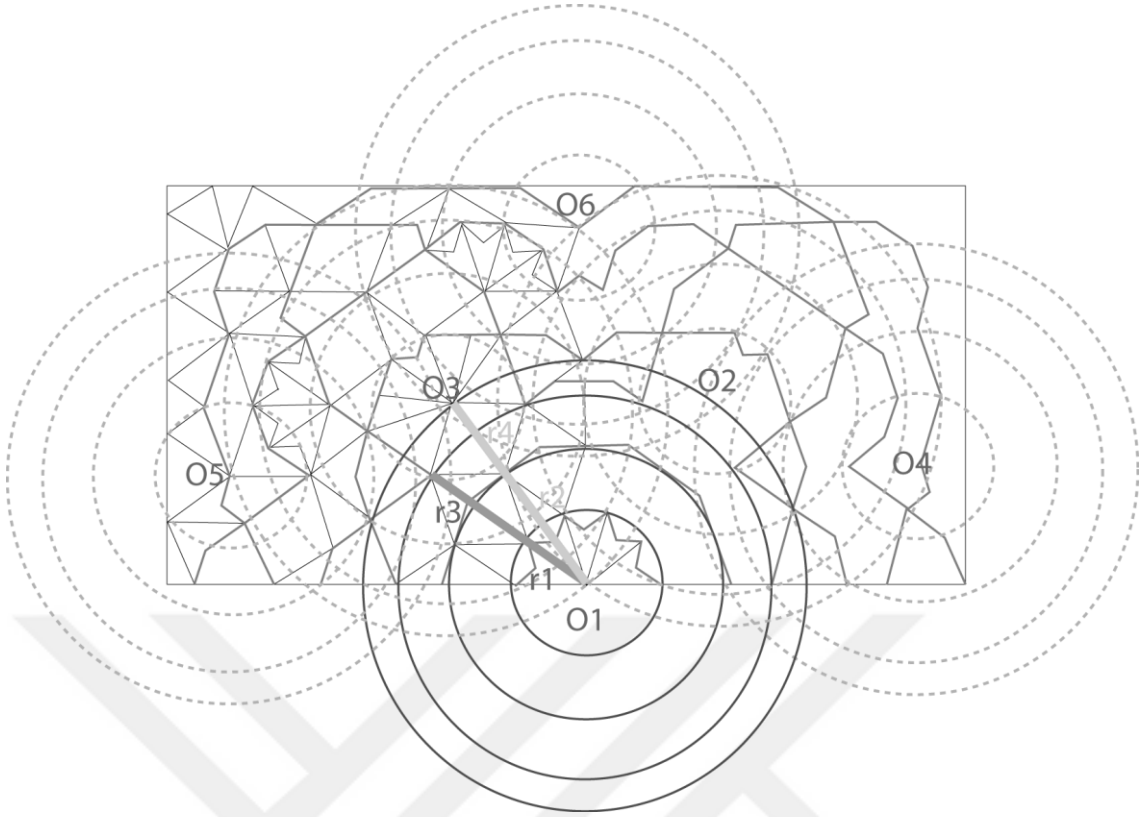
Aynı zamanda O4, O5 ve O6 çemberlerinin r_2 yarıçaplı çemberleri incelendiğinde, O1 merkezli çemberin r_4 yarıçaplı çemberine teğet gelerek dizildiği gözlenmektedir.

Her tip kategorisinde farklı mukarnas örnekleri olduğu gibi O merkezli çemberlerin dışında tasarımın biçimlenişine göre r_1 yarıçaplı merkezli çemberler bu tip mukarnaslarda görülmektedir.

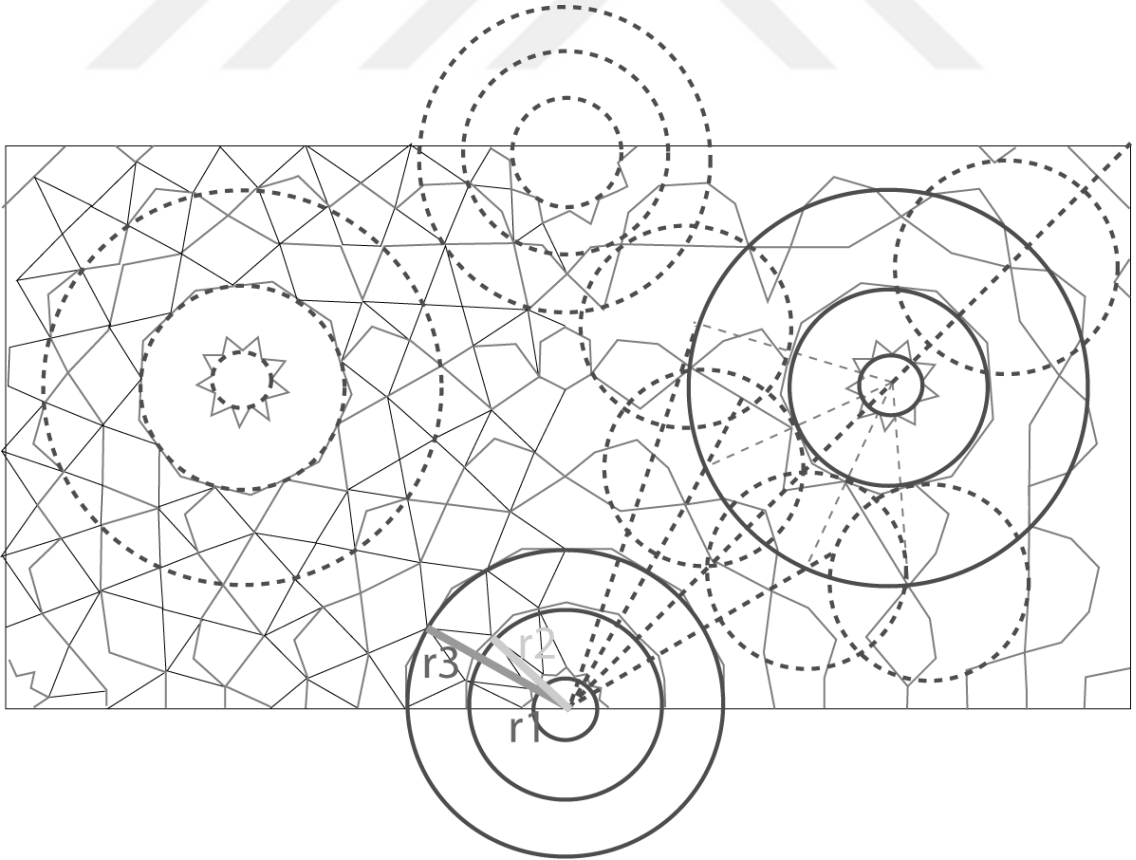
2.3.4 Dördüncü Tip (Bölgesel Tasarlanan Çemberler)

Dördüncü tip olarak adlandırılan bu tipte analizleri sonucunda Ödekan [7], tam bir birimsel özellik görülmediği sonucuna varmaktadır. Farklı çemberler tasarımın oluşumuna göre o bölgeye özel tasarlanmıştır. Başlangıç çemberi 15° lik açılarla 12 dilime bölünmektedir ve merkezinden 30° lik ve 60° lik açılarla 4 çember yerleşmektedir (Şekil 2.13).

Bu tipte diğer tiplerde de olduğu gibi başlangıç çemberleri ile çembersel bölgeler oluşurken iki köşegen ve yy eksenini üzerinde iki çembersel bölge daha oluşmaktadır. Köşegenler üzerindeki çembersel bölgeler 20° lik açılarla 18 birime bölünmektedir.



Şekil 2.12: Burdur Bucak Susuz Han mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 2.13: Kırşehir Cacabey Medresesi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Bu köşegenlerin hizasında ve ana birimin eksenlerinin kesiştiği noktada yardımcı çemberler oluşmaktadır. Bu çemberler köşegenler üzerindeki çembersel bölgedeki üçüncü çember yayının üzerinde beş çember oluşturmaktadır.

2.3.5 Beşinci Tip (Başlangıç Eksen Esaslı Dağılan Çemberler)

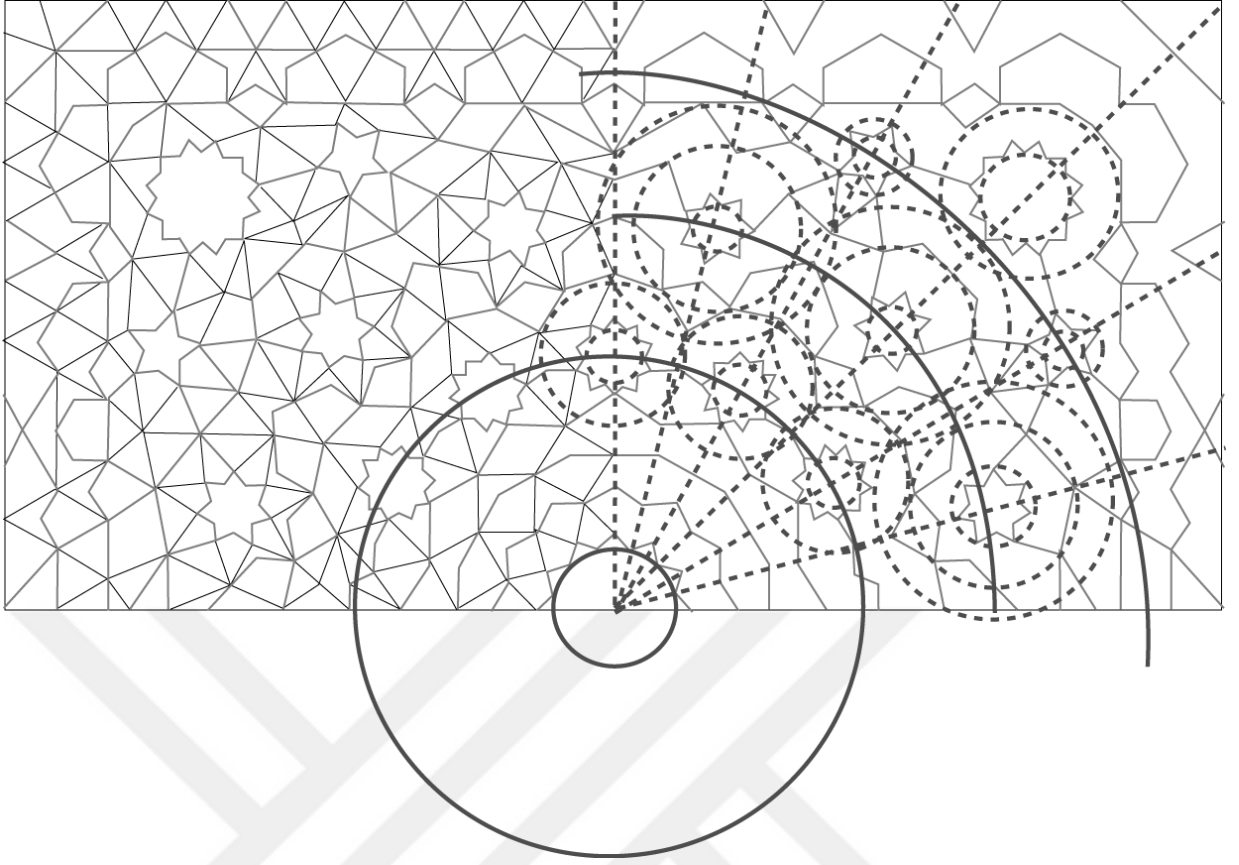
Tasarımların, geometrik desenlerin giderek karmaşıktığı beşinci tipte Ödekan [7], başlangıç deseni 12' ye ayrılan eksenler oluşturduğunu ve bu eksenler üzerinde çemberler dizildiğini gözlemlemektedir. 15°' li açılar şeklinde dizilerek oluşan bu eksenler üzerindeki ilk çember yayı 30' ar ve 60' ar dereceli şekilde, ikinci çember yayı 15, 45 ve 75' şerli, üçüncü çember yayı ise tekrar 30'ar ve 60'ar dereceli şekilde dizilmektedir (Şekil 2.14).

Başlangıçta 12 köşeli yıldız sonrasındaki katmanda birbirini izleyen iki tane 12gen bulunmaktadır. Bu katmanların sonrasında son 12genin köşelerine tutunmuş on köşeli yıldızlar gelmektedir.

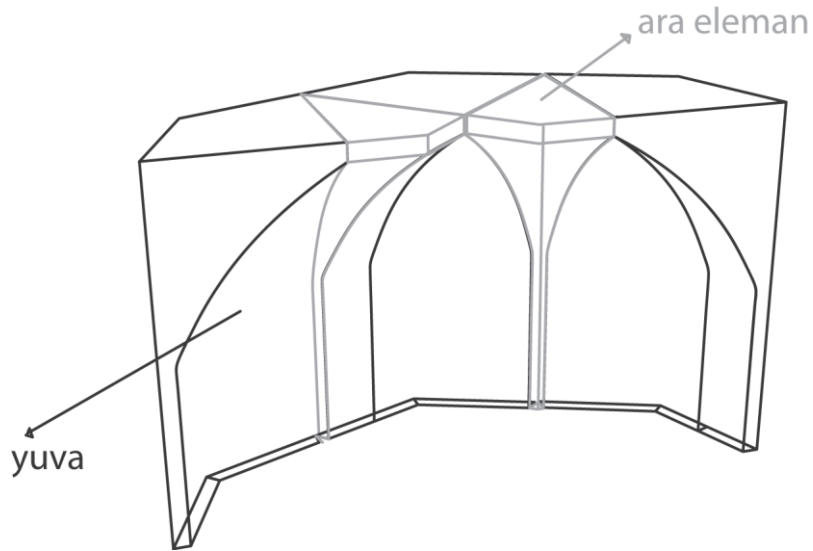
Bu tip için genel olarak 10gen ve 12genlerle başlayan ve diğer tiplerde görülmeyen çeşitli çokgenler ve yıldızların arasında tamamlayıcı olarak kullanılan farklı modüller de görülmektedir.

2.4 Mukarnasın Modüler Analizi

Mukarnas tasarımını tam olarak anlayabilmek için modüler olarak çözebilmek gerekmektedir. Başlık 2.2'de bahsedilen 1400'lü yıllarda yaşayan matematikçi El-Kaşi Miftah el-Hisab adlı matematik ve astronomi üzerine büyük katkı sağlayan eserinde mukarnası düzlem ve kenarlarıyla kırılarak yükselen bir tavan olarak açıklamaktadır. Her kenar yanındakiyle dik, yarım dik veya bir buçuk dik açı yaparak kesişmektedir. İki düzlem ve tavanın oluşturduğu birime 'yuva' adı verilmektedir [14]. İki yuva yan yana geldiğinde oluşan boşlukta yuvaların yüzeylerini birbirine bağlayan ara elemanlar oluşmaktadır (Şekil 2.15). Yuvalar ve ara elemanlar modüller olarak tanımlanmaktadır. Modüllerin yatay düzleme paralel şekilde sıralandığı diziye de katman adı verilmektedir [12]. Katmanlar iki boyuttan üç boyuta aktarımın anlaşılmasını sağlayacak en önemli unsurlardır.

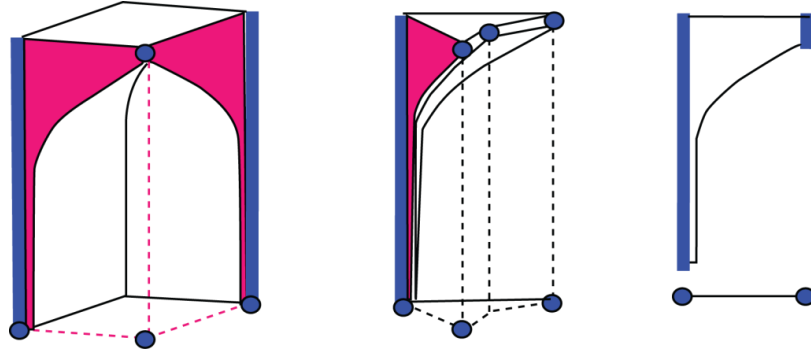


Şekil 2.14: Konya Sahip Ata Camisi mukarnas izdüşümü [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 2.15: Mukarnas yuva ve ara eleman ilişkisi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

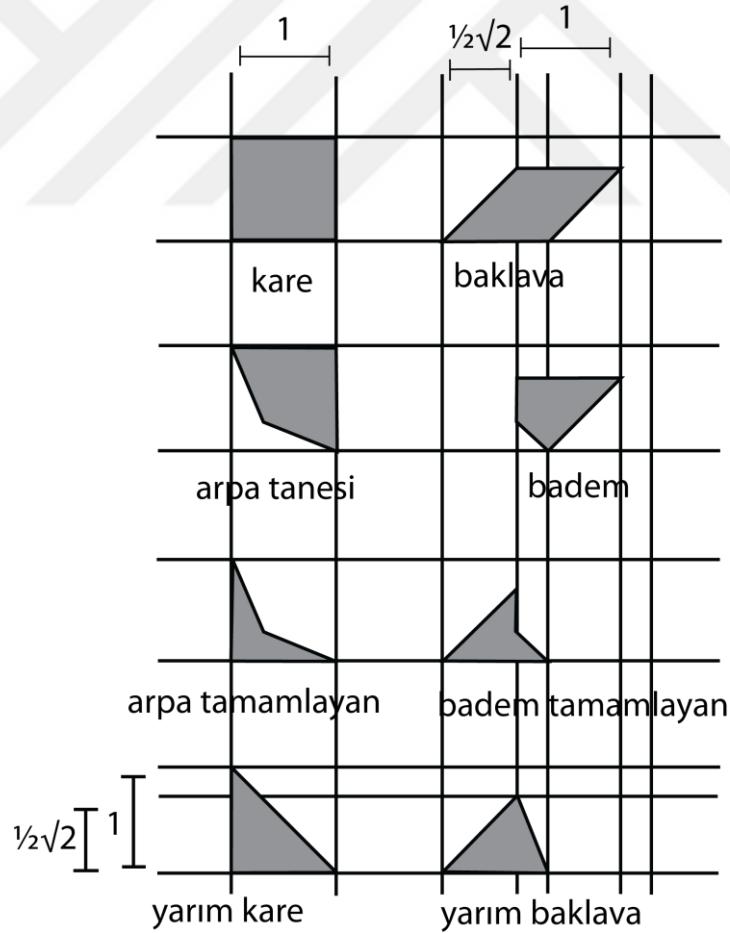
Mukarnas yapısının çözümlenebilmesi için 3 boyuttaki oluşumu ele aldığında öncelikle tepe açısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu tepe açısı eğimli tarafın oluşturduğu gizli çizginin tepe noktasıdır. 3 boyuttaki bu biçimler 2 boyuta aktarıldığında sadece birer nokta gibi görülmektedir.



Şekil 2.16: Yuva ve ara eleman izdüşümsel aktarımı [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi bir yuva eğimli yüzeylerinden tepe açısına birleşirken, ortadaki gibi bir ara eleman eğimli yüzeyle arka taraftaki yüzeyden birleşmektedir.

Mukarnasın kare stili örneklerinin izdüşümleri incelendiğinde ortaya belli başlı kare esaslı modüller çıktığı görülmektedir. Bu elemanlar 3 boyutta bir yuvaya ya da ara elemana dönüşmektedir.



Şekil 2.17: İzdüşümde mukarnas modülleri [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Şekil 2.17 'de görülen bütün kenarları birbirine eş kare modülün hem yuva hem de ara eleman olarak bir mukarnas tasarımı içerisinde yer aldığı gözlenmektedir. Kare modülün köşegenlerinin geniş açıyla kesiştirerek oluşturduğu ve El-Kaşi'nin arpa tanesi olarak adlandırdığı büyük modül mukarnas tasarımında yuva olarak görülmektedir.

Kare modülünden arpa tanesi modülü çıkarıldığında arpa tamamlayan modülü ortaya çıkmaktadır. Arpa tamamlayan modülü de mukarnas tasarımında sadece ara eleman olarak görülmektedir ve genellikle arpa tanesiyle birleşik bir tasarım oluşturmaktadır.

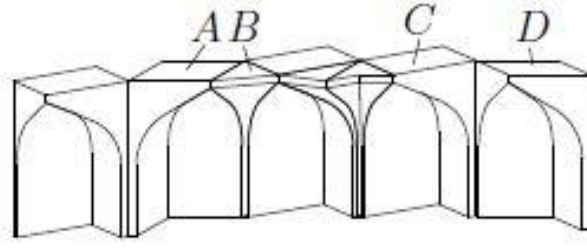
Bir diğer kare esaslı modül yarım kare modülüdür. Genellikle izdüşümü ilk katmanda yuva olarak bazı katmanlarda ise ara eleman olarak yer almaktadır. Kare esaslı modüllerin yanı sıra baklava dilimi esaslı modüller de bulunmaktadır. Baklava modülü bir eşkenar dörtgendir ve mukarnas tasarımında hem yuva hem de ara eleman olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.18).



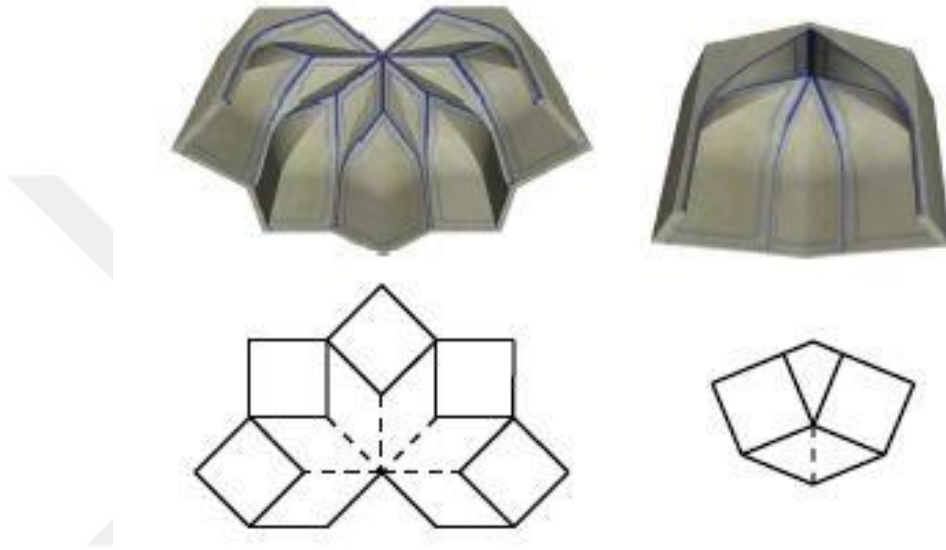
Şekil 2.18: Baklava dilimi modülünün farklı kullanımı [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Eşkenar dörtgenin bölünmesiyle badem ve badem tamamlayan modülleri oluşmaktadır. Badem modülünü mukarnas izdüşümünde yalnızca yuva olarak görülürken badem tamamlayan modülü yalnızca ara eleman olarak görülmektedir. Baklava modülünün yarısı olan yarım baklava modülü de yalnızca ara eleman olarak görülmektedir.

Bu modüller mukarnas tasarımında birbiriyle aynı hizada yer alan yuvalar ve ara elemanlar bir katmanı oluşturmaktadır. Bu birleşme A ve B de görüldüğü gibi bire bir eğimli tarafta ya da C ve D de görüldüğü gibi arka tarafta olmaktadır (Şekil 2.19). Yuvalar sadece eğimli taraflarından birleşirken, ara elemanlar da genellikle eğimli taraflarından birleşmektedir. Şekil 2.20 'deki sağ örnekte ara elemanlar ön yüzeylerinden birleşmiş ve bu da tepe açısını oluşturmaktadır.



Şekil 2.19: Modüllerin birleşimi[27]



Şekil 2.20: Eğimli yüzey birleşimi [27]

Farklı katmanlar her zaman bir diğerinin üstüne binerek yerleşmektedir ve iki boyutlu izdüşümde üst üste gelme durumu söz konusu olmamaktadır. Eğimli tarafın tepe noktası her zaman altında kalan katmanın eğimli tarafında oluşmaktadır. Katmanların bu şekilde birleştiği birden fazla durum vardır:

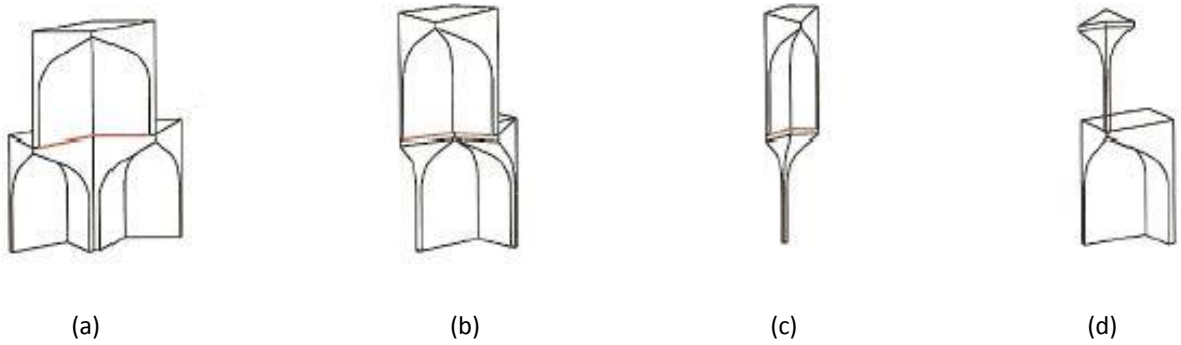
1) Çizgiden çizgiye: Şekil 2.21 (a)'da görüldüğü gibi eğimli bir modülün eğimli tarafının diğer bir modülün eğimli tarafıyla birleşmesi durumudur.

2) Önden öne: Şekil 2.20'deki gibi aynı katmandaki ara elemanın başka bir ara elemanla birleşmesi durumudur.

3) Arkadan eğimli yüzeye: Bir hücrenin arka yüzeyinin alttaki modülün eğimli yüzeyinin üstünde durması durumudur.

4) Arkadan öne: Bir hücrenin arka yüzeyinin alt katmandaki ara modülün ön yüzeyinin üzerinde olması Şekil 2.21 (b) ve 2.21 (c) durumudur. Veya Şekil 2.21 (d)' teki gibi bir

ara modülün arka yüzeyi alt katmandaki hücrenin ön yüzeyi üzerinde de kullanabilmektedir [15].



Şekil 2.21: Modüllerin üst üste binme şekilleri [15]

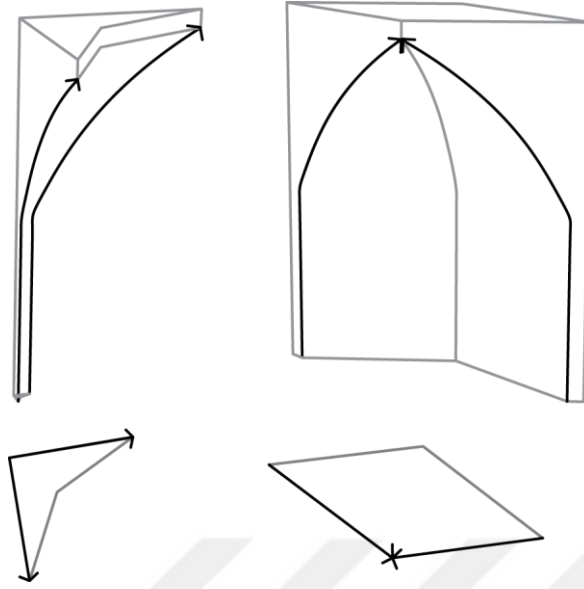
En altta duran katman, mukarnasın tabanını oluştururken, en üstteki katman da mukarnasın merkezini oluşturmaktadır.

2.4.1 Modüllerin 3 boyuta Aktarılması

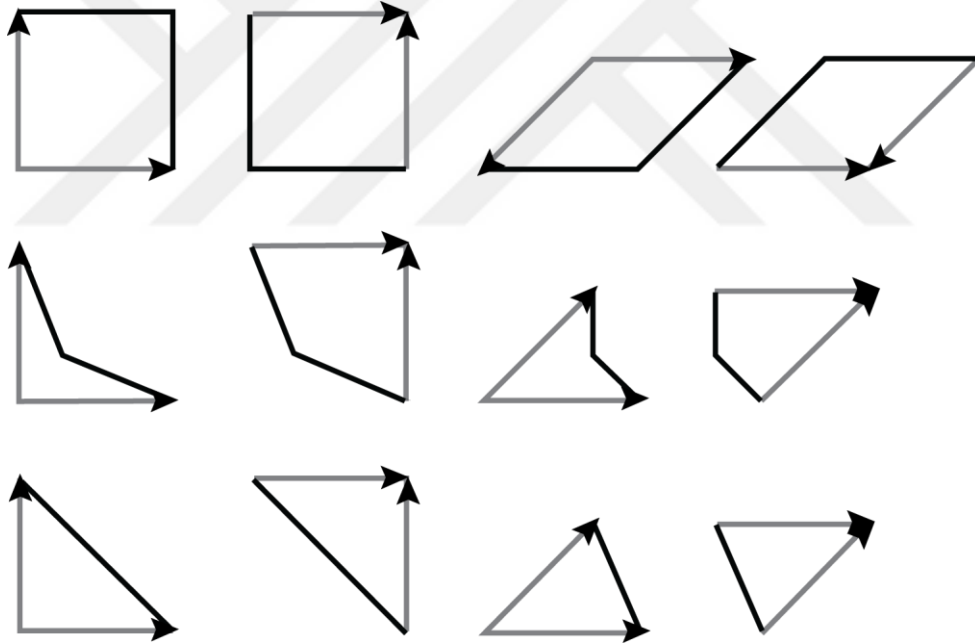
Mukarnas daha önceki başlıklar altında belirtildiği gibi tavana doğru yükselen ve yükselirken modülleri azalan merdiven gibi bir yapıya sahiptir. Bu yapıyı mukarnas planlarından ilk bakışta çıkarabilmek pek mümkün olmamaktadır. Modülleri ayırabilmek, modüllerin yuva ya da ara eleman olduğunu görebilmek ve katmanları belirleyebilmek belli kurallar sonrasında mukarnas tasarımının üç boyutlu çözümlenmesini sağlamaktadır.

Bir mukarnas tasarımında izdüşüm olarak aktarılan planda öncelikle modüller belirlenmektedir. Modüllerin belirlenmesi ile bu modüllerin üç boyuttaki yapısını anlayabilmek için eğimli yüzeylerinin hangi tarafta olduğunu saptamak gerekmektedir. Bazı modüller her mukarnas örneğinde aynı kenarlarından eğimlenirken, bazıları farklı birleşimlerde farklı kenarlarından eğimlenmektedir. İzdüşümde kenar olarak gözlemlenen bu eğim üç boyuta aktarıldığında eğimli yüzey olarak gözlemlenmektedir.

Oklar ile gösterilen çizgiler Şekil 2.22 'deki izdüşümlerde de görüldüğü gibi modüllerin eğimli yüzeyini göstermektedir. Aynı zamanda okların birleşimi yuvalarda tepe açısını, ara modüllerde eğimli yüzeyin birleştiği arka kısmı göstermektedir. Böylece hangi elemanın yuva ya da ara eleman olduğunu, tepe açılarından ve birleşim yerlerinden yola çıkarak nasıl katmanlar oluşturduğunu gözlemlemek mümkündür.



Şekil 2.22: Ok yönlerinin izdüşümde yerleşimi [27], Çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 2.23: Modüllerde ok yerleşimi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Daha önce de belirtildiği gibi mukarnas izdüşümündeki "badem" modülü 3 boyutta sadece yuva olarak görülmektedir [15]. Aynı zamanda bu modülün ok yönleri de belirtildiği gibi bir tek yönde oluşmaktadır (Şekil 2.23). Bu sayede yalnızca tek bir görünüm elde edilebilecek modülleri öncelikle tanıyarak diğer modülleri de ikinci planda belirlemek gerekmektedir. Bu durumları da belirli bir kaç kural ile çözmek en kolay yoldur:

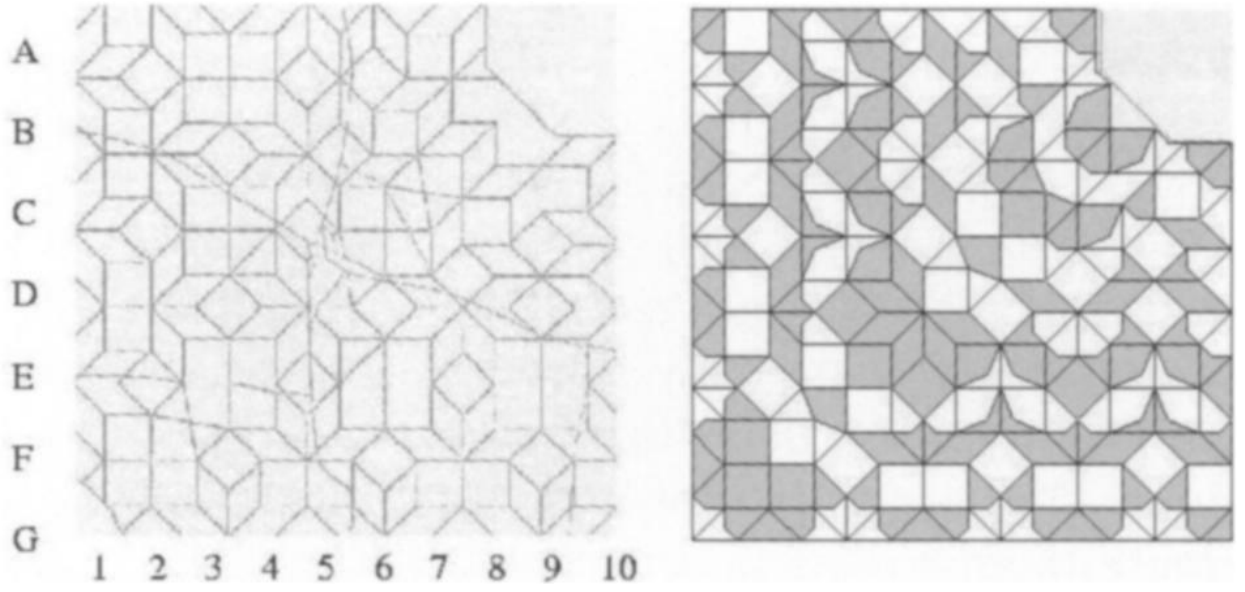
1. Kural: Sadece eğimli yüzeylere yön verilebilir. Bu da bütün kenarlara yön verilemeyeceğini gösteren belirleyici bir etkidir. Böylelikle yön verilmemiş kenarlar modülün arka kısımlarını temsil etmektedir.
2. Kural: Bir kenarda sadece bir tek yön belirtilmelidir. Böylece iki modül bir araya geldiğinde eğimli yüzeylerinden birleştikleri için arka yüzeyler ve tepe açıları doğru şekilde birleşmektedir.
3. Kural: Aynı modülün paralel olan kenarları aynı yönde ilerlemektedir.
4. Kural: Belli bir noktadan başlanıldığında oklar aynı noktaya dönmemektedir.
5. Kural: Kural 4'te de belirtildiği gibi her ok mukarnasın merkez yani tepe noktası yönünde gitmeyi hedeflemektedir. [27].

2.4.2 Mukarnas Grafiğinin Farklı Yorumlarının Okunması

Mukarnas izdüşümünün bulunan ilk örneği İlhanlılar zamanında 1265- 1282 yıllarında inşa edilen Takht-i Suleyman isimli saraydaki alçı plakadır [12]. Alman Arkeoloji Enstitüsü 1959-1978 yılları arasında yapılan kazı çalışmalarında plakanın yedi parça halinde olduğunu tespit etmiştir. Plakanın yanı sıra Harb'in [12] araştırmalarına göre sarayda plakanın üzerindeki tasarıma ait olmayan 3 boyutlu modül parçaları da bulunmaktadır.

Harb [12], plakanın üzerinde yalnızca kare ve baklava dilimi izdüşümleri gözlemlemektedir. Mukarnas tasarımında böyle bir durumun mümkün olamayacağını, kare ve baklava dilimlerinin tasarım içerisinde bölündüğü diğer modüllerinin olduğunu açıklamaktadır.

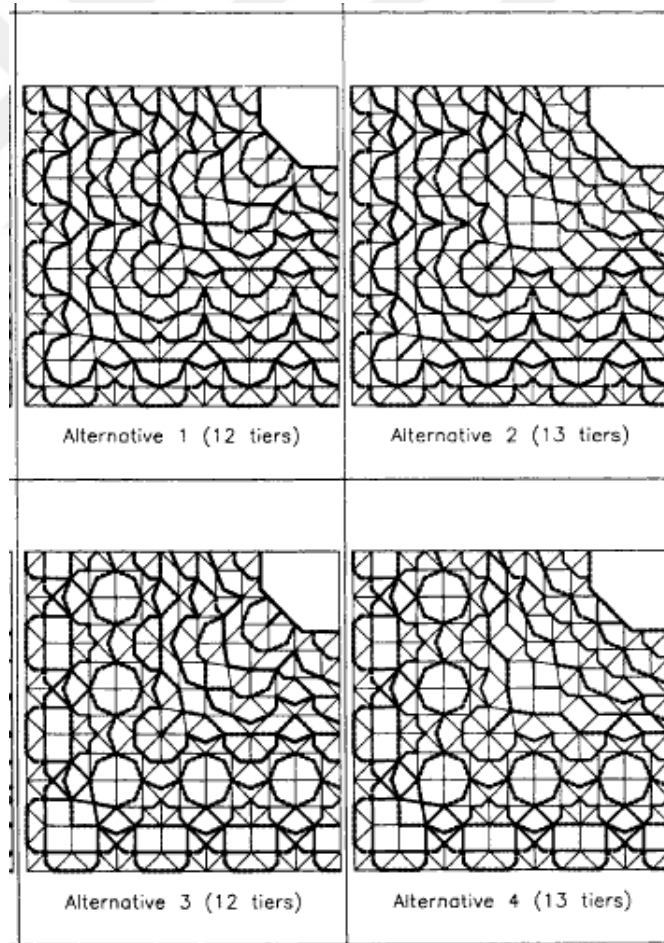
Kare ve baklava dilimlerinin bölünmesiyle oluşan El-Kaşi modülleri farklı araştırmacılar tarafından farklı yorumlanmaktadır. Bunun yanı sıra bu tabaka üzerinde El-Kaşi'nin açıkladığı modüllere uymayan altıgen şeklinde modüller oluşmaktadır. Bütün bu farklılıklar sonucunda araştırmacıların yaklaşımları da farklı olmaktadır (Şekil 2.24, Şekil 2.25).



a. Harb'in tabakadan aktarımı

b. Yeni yorumlama örneği

Şekil 2.24: Belirsiz modüllerin yorumlanması [12]

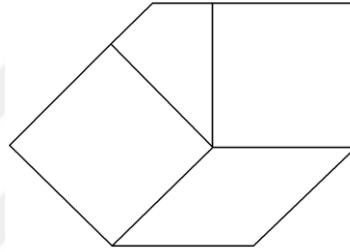


Şekil 2.25: Tabakanın alternatif yorumları [13]

Sonuç çıkarılacak bir diğer nokta ise bulunan tabakanın bir eskiz olduğunu üzerindeki eksik modüller mukarnası inşa eden taş ustasının hangi modülü nerede kullanılması gerektiği konusunda hakim olduğunu ya da tasarıma katkıda bulunan bir tasarımcı olduğunu göstermektedir.

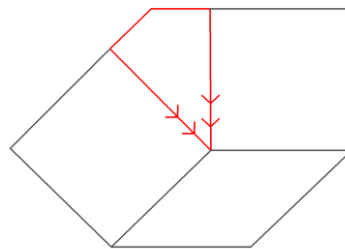
2.4.3 Mukarnas Katmanlarının Oluşumu

Daha önce de belirtildiği gibi mukarnas tasarımlarının plan olarak kullanılan izdüşümleri incelenerek üç boyutlu modülleri çıkarılabilmektedir. Modüllerin yuva veya ara eleman oldukları belirlenip tepe açıları ve kenarlardan belirlenen yönler modülün üç boyutlu halinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır.



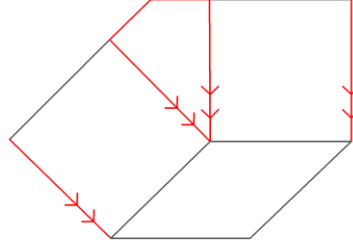
Şekil 2.26: Badem, arpa tanesi, kare modülleri [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Örneğin Şekil 2.26'da belirlenmesi gereken durum modüllerin izdüşümde hangi şekli oluşturduğudur. Bu örnekte bir badem , bir arpa tanesi ve iki kare bir araya gelmektedir.



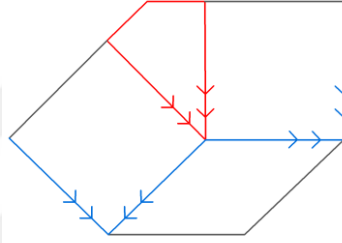
Şekil 2.27: Badem modülünün konumlanması [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Badem modülünün yalnızca yuva olarak görüldüğü gibi doğruların yönleri de yalnızca daralarak tek bir noktada birleşmektedir (Şekil 2.27). Bu sayede tasarımı çözümlmeye yönleri ve konumlanması kesin olan ilk modülle başlanılmaktadır ve sonrasında diğer modüllerle ilişkisi çözülmektedir.



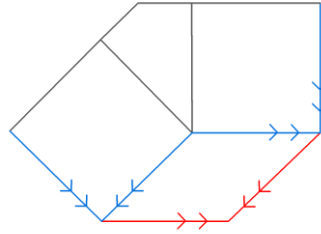
Şekil 2.28: Paralel kenarların belirlenmesi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

2.4.1' de belirtilen 3. Kurala göre badem modülünde belirlenen doğrulara paralel diğer doğrular belirlenmektedir (Şekil 2.28) ve badem doğrularının yönü de aynı şekilde yeni doğrulara aktarılmaktadır. (Şekil 2.29)



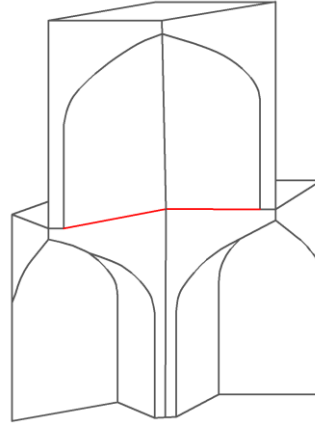
Şekil 2.29: Eşkenar dörtgen modülünde yön belirlemesi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise, eşkenar dörtgenin de 3 boyutlu çözümleme de yalnızca hücre görünümü alması durumudur. Bu çıkarımlara göre yönleri belirlenmiş doğrular diğer modüllerin de tepe açılarını ortaya çıkarmaktadır. Böylelikle ok yönleri belirtilmemiş doğrular da arka yüzeyleri temsil etmiş olmaktadır (Şekil 2.30).



Şekil 2.30: Ok yönlerinin son hali [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

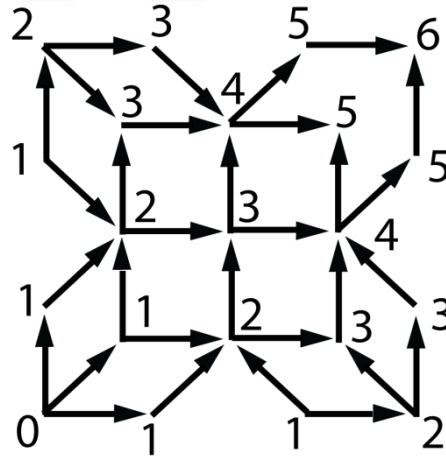
Son aşamada belirlenen modüller eğimli yüzeylerinde birleşerek bir tasarım oluşturmaktadır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31 Badem, arpa tanesi ve kare modüllerinin üç boyutlu yerleşimi [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

2.4.4 Mukarnas Yüksekliğini Belirleme

Mukarnasın katman çizgileri belirlendikten sonra bu katmanların sırasını düzenlemek gerekmektedir. Bu sıra katmanların yüksekliklerinin kolayca belirlenmesini sağlamaktadır. Mukarnas merdiven gibi yükselen bir tasarım olarak gözlemlendiğinde, merdivenin basamaklarının yükseldikçe nokta ile son bulduğu bir tasarım şeklinde düşünülmesi gerekmektedir.



Şekil 2.32 Katmanların numaralandırılması [27], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

Şekil 2.32'de de görüldüğü gibi ok yönleri belirlendikten sonra ilk dikkat edilmesi gereken durum okların bir araya geldiği noktalardır. Okların bir araya geldiği nokta bir önceki noktadan $h+1$ kadar yükselmektedir. Bir okun bitiş noktasının önünde diğer okun başlangıç noktası olması durumunda o noktadaki değer h olarak kalmaktadır. Okların ilk başladığı nokta $h-1$ değeriyle başlamaktadır. Noktalara verilen bu değerler

7) $|EF|$ açısıyla 2 çember daha çizilir ve ilk çemberin merkez noktası E noktasından, ikinci çemberin merkez noktası da F noktasından geçmektedir.

8) İkinci ve üçüncü çizilen çemberlerin AB çizgisi altında kalan kesiştikleri bir yerde G noktası belirlenmektedir.

9) Böylece E ve F doğrultusunda orta noktası G noktasının uzantısı olan bir yay çizilir ve bu yay eğimli yüzeyin eğimini temsil etmektedir [27].

Sonuç olarak mukarnas sınıfları ve analizleri incelendiğinde ortaya bazı genellemeler çıkarılmaktadır. Geometrik sınıflandırma, mukarnas çözümlemeleri içinde en kolay anlaşılan analizdir. İlk bakışta anlaşılan bir sınıflandırma tipi olduğu için daha genel ve yüzeyseldir. Yapısal Analiz, diğer mukarnas analizlerinden farklı olarak biçimsel bir analizden ziyade, mukarnas modüllerinin nasıl monte edildiği ve kullanılan malzeme tipi üzerinden yapılmaktadır. Açısal analiz, geometrik analizde incelenen modüllerin daha detaylı olarak modülleri açısal ve rotasyonları ile inceleyen analiz tipidir. Modüler analiz ise bütün analizlerin anlaşılması ve bir araya getirilmesi ile mukarnas tasarımının izdüşümde ve üç boyutta oluşturulduğu en kapsamlı ve detaylı analizdir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2. 1 Mukarnas Sınıflandırma Çeşitleri

Geometrik Sınıflandırma	Mukarnas izdüşümün incelendiği yüzeysel, kolay anlaşılan sınıflandırma çeşitidir.
Yapısal Sınıflandırma	Mukarnas yapısının yapısal açıdan üç boyutta incelendiği yüzeysel ve kolay anlaşılan sınıflandırma çeşitidir.
Açısal Analiz	Mukarnas izdüşümünün detaylı ve geometrik sınıflandırmaya göre daha kapsamlı incelendiği analiz çeşitidir.
Modüler Analiz	Bir tümevarım örneği olarak düşünülmesi gereken ve bütün analiz çeşitlerini içinde barındıran, mukarnasın izdüşümü ve üç boyuta aktarılma durumlarını inceleyen analiz çeşitidir.

SAYISAL ORTAMDA MUKARNAS DENEMELERİNİN İNCELENMESİ

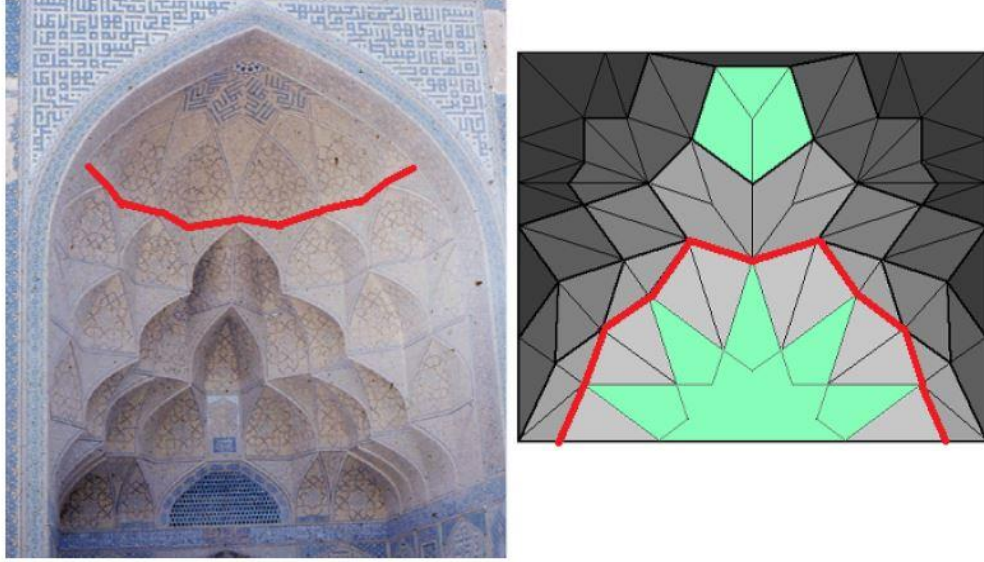
Mukarnas tasarımları çalışmanın ikinci bölümünde açıklanan izdüşüm ve üç boyu örnekleri üzerinden analiz edilmektedir. Bu analizlerin yanı sıra geleneksel mukarnas örneklerinin incelenerek yeni mukarnas denemelerinin üretildiği çalışmalar yapılmaktadır. Bu denemeler, mukarnas tasarımının bazı özelliklerini esas alırken, bazılarına da yeni alternatifler sunulduğu denemelerdir.

3.1 Katmansal Mukarnas Denemesi İncelemesi

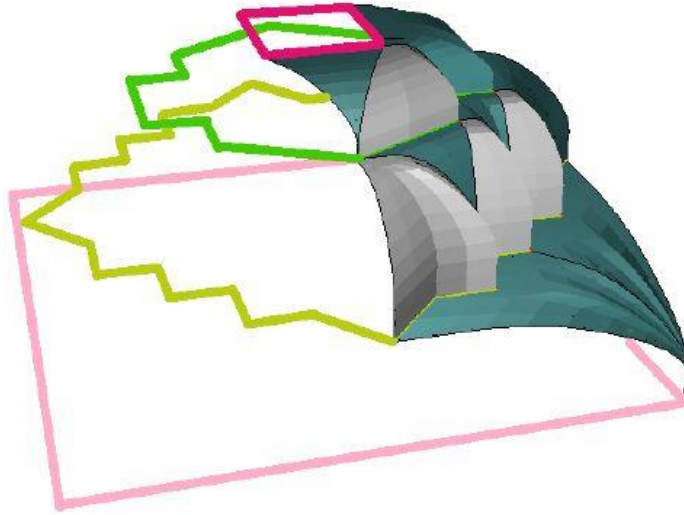
Katmansal mukarnas, geleneksel mukarnas örneklerindeki katmansal özellik esas alınarak üretilen bir mukarnas tipidir. Geleneksel mukarnas tasarımının çözümlemesi zor gibi görünse de kendini tekrarlayan birimlerin olduğu ve bu birimlerin bazı tasarımlarda dilimler şeklinde rotasyon yaptığı daha önce anlatılan başlıklarda da görülmektedir. Buradan yola çıkarak, bilgisayar bilimleri üzerinde çalışmalar yapan Hamekasi [28], "muqarnas designer" adlı bilgisayar programı ile açarın oluşturduğu eksenler ve mukarnas katmanlarının kullanımıyla yeni mukarnas türleri denemektedir. Bu çalışmada öncelikli yapılması gereken doğru simetrik modülleri ve bu modüllerin oluşturduğu dilimi belirlemektir.

Mukarnas tasarımının küçük parçadan büyük parçaya doğru geçişli bir sistemi vardır, örneğin bir kubbe tek bir noktadan başlamaktadır ve bir çembere ulaştığı için bu geçiş sistemini meydana getiren katmanlar arası doldurulmaktadır. Katmanların yatay düzlemde belirlediği ilişki dikey düzlemde de katmanlardan gelen şekillerle harmanlanıp belirlenmektedir (Şekil 3.1). Geleneksel mukarnas çözümlerinde bu ilişki,

modüllerin birebir dizimiyle oluşurken, bu denemede katmanlar arası en uygun biçimde kaplanılmaktadır ve yüzeylerle farklı tasarımlar oluşturulmaktadır (Şekil 3.2). Bu yüzey kaplama yöntemine yapısal kesitten bakıldığında Başlık 2.2.3.'te açıklanan asma mukarnas türünde bir yapı olduğu görülmektedir.



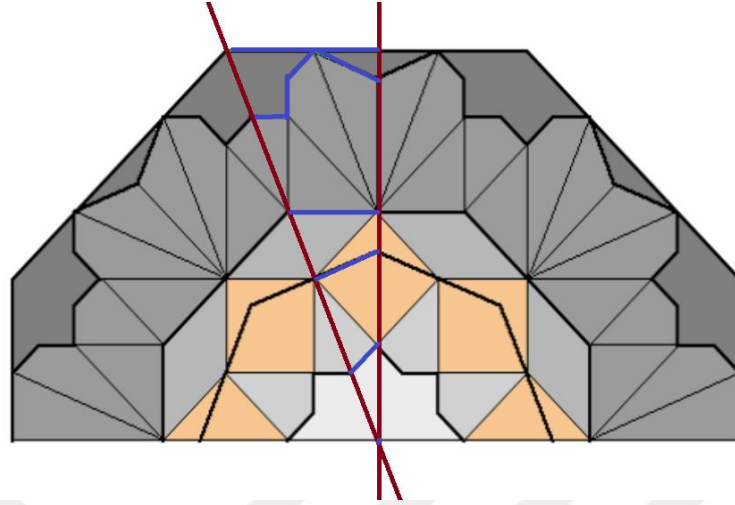
Şekil 3.1 Katman çizgisinin gerçekte ve izdüşümde görünümü [5]



Şekil 3.2 Katmanlar arası mukarnas geçişi [5]

Modelleme için belirlenmesi gereken ilk adım izdüşümde oluşan modüllerdir. Burada birbirini tekrar eden ve simetrik şekilde devam eden modüller belirlenip bir birim oluşturmaktadır. Bu birim tasarımın motifi olmaktadır (Şekil 3.3). Sonuç olarak bu tipte

bir mukarnas tasarımı üretimi, bütün mukarnas örneklerinin üç boyutta oluşturulmasına katkı sağlamamaktadır.

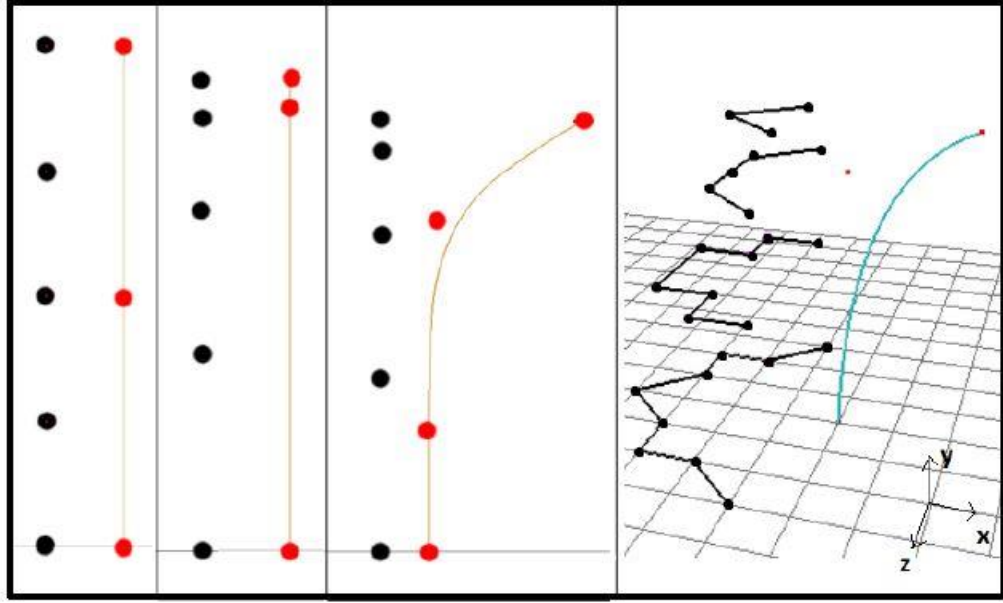


Şekil 3.3 Simetrik devam eden motif belirleme [28]

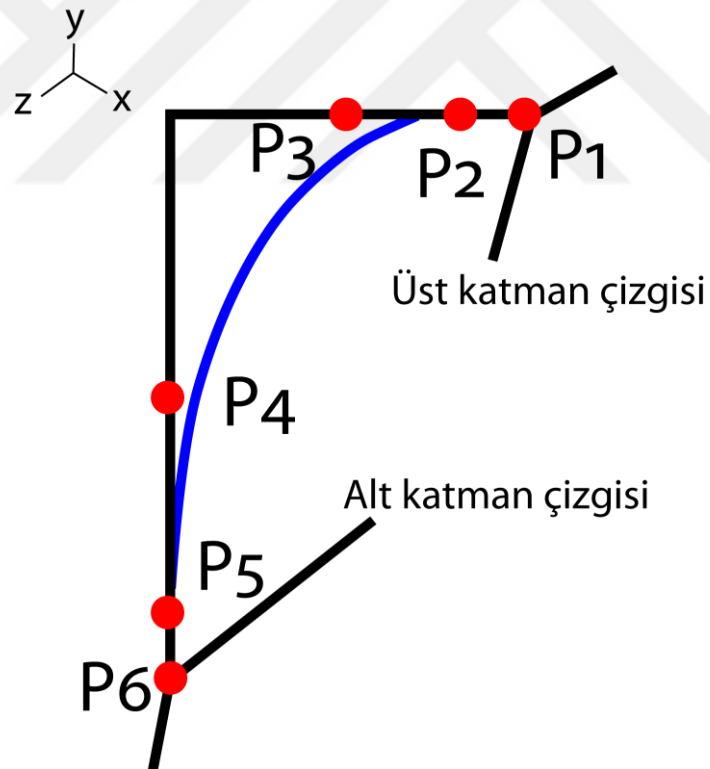
Motifin belirlenmesi sonrasında katman çizgilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Katman çizgileri geleneksel mukarnas örneklerindeki gibi aynı hizada yerleşmek yerine eğimli çizgiler halinde kullanılarak bir katman kendi içerisinde farklı yüksekliklere sahip olmaktadır. Yükseklik belirleme durumu tasarımcının kendi isteğine göre belirleyebileceği bir durum değildir ve tasarım dışında belirlenen bir eğimli çizgiye bağlı bir yöntemle oluşturulmaktadır. Bu eğimli çizgi üzerinde kontrol noktaları belirlenmektedir ve her bir katman farklı kontrol noktalarına tekabül etmektedir (Şekil 3.4). Böylece katmanların yükseklikleri kontrol noktaları sayesinde belirlenmektedir. Kontrol noktaları üretilen yazılımda otomatik olarak verilmektedir [5]. P_1 ve P_6 noktaları iki katman arasını kontrol ederken, P_3 ve P_4 yüzeyin eğimini oluşturmaktadır. P_2 ve P_5 noktaları ise eğimin mesafesini belirlemektedir (Şekil 3.5).

Yüksekliğin belirlenmesi ile diğer bir adım olan yüzey oluşturma adımı uygulanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken durum, katmanlar üzerinde alt katmanda kullanılan ilk noktanın yüzeyi oluşturacak olan üst katmandaki ikinci noktaya gönderilmesi durumudur.

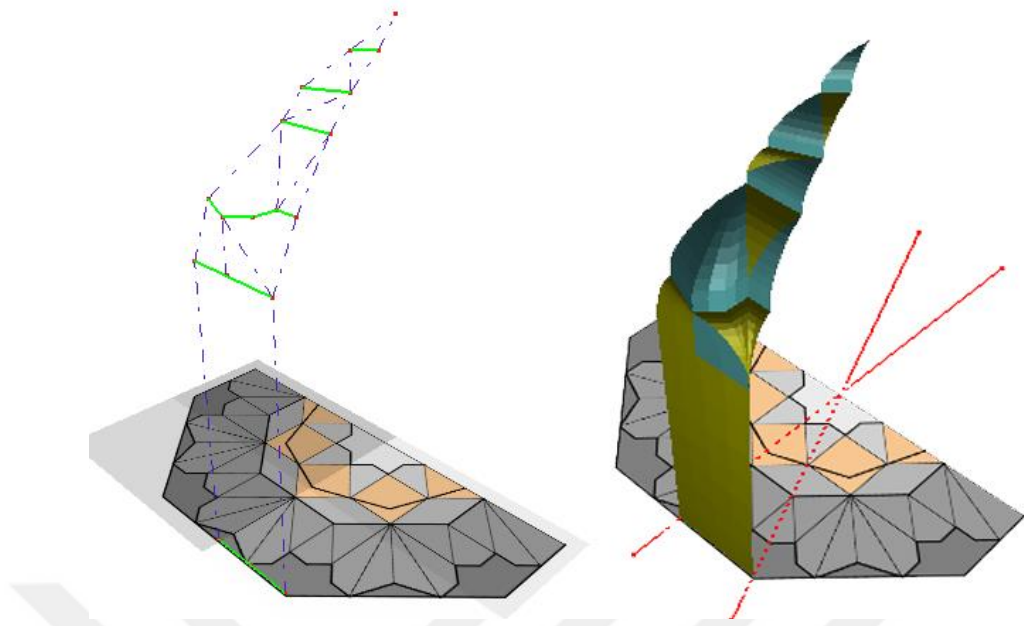
K_1 ve K_2 iki katman ise $\mathcal{C}_{ij}$ de K_1 ve K_2 arasını P_i ve P_j noktalarıyla belirleyen çizgi ise ve $\mathcal{C}_{kl}$ de P_k ve P_l noktalarıyla K_1 ve K_2 arasını belirleyen ikinci çizgi ise $i < k$ ise $j \leq l$ olmalıdır [28].



Şekil 3.4 Mukarnas katmanları ve eğimli çizgi (Siyah noktalar mukarnas katmanlarını temsil ederken kırmızı noktalar eğimli çizgiyi temsil etmektedirler) [28].



Şekil 3.5 Kontrol noktalarının yerleşimi (Mavi çizgi iki katman arasındaki yüzeyin yapısını temsil eder) [28], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 3.6 Belirlenen motif üzerinde katman çizgileri, birleştirme çizgileri ve yüzey oluşumu [5]

Bu noktaların birleşimi sonucunda oluşturulan yüzeyler birleşerek motifi oluşturmaktadır (Şekil 3.6). Simetrisi belirlenen motif üzerinde rotasyonlar yapıldığında sonuç ürün olan mukarnas denemesi ortaya çıkmaktadır.

3.2 Düzensiz İzdüşümlü Mukarnas Denemesi İncelemesi

Yaghan [16], bilgisayar destekli tasarımlar üzerinde araştırmalar yapan bir mimar olup, mukarnas tasarımlarının farklı denemelerini Autocad yazılımında kullanılmak üzere geliştirilen Autolisp programında tasarlamaktadır. Düzensiz izdüşümlü mukarnas denemesinde, mukarnas tasarımının iki boyuttaki izdüşümü üzerinde kullanılan belirli modülleri farklı noktalarından tutularak düzensileştirip, sonrasında üç boyutta oluşan modüler değişimi gözlenmektedir (Şekil 3.7).

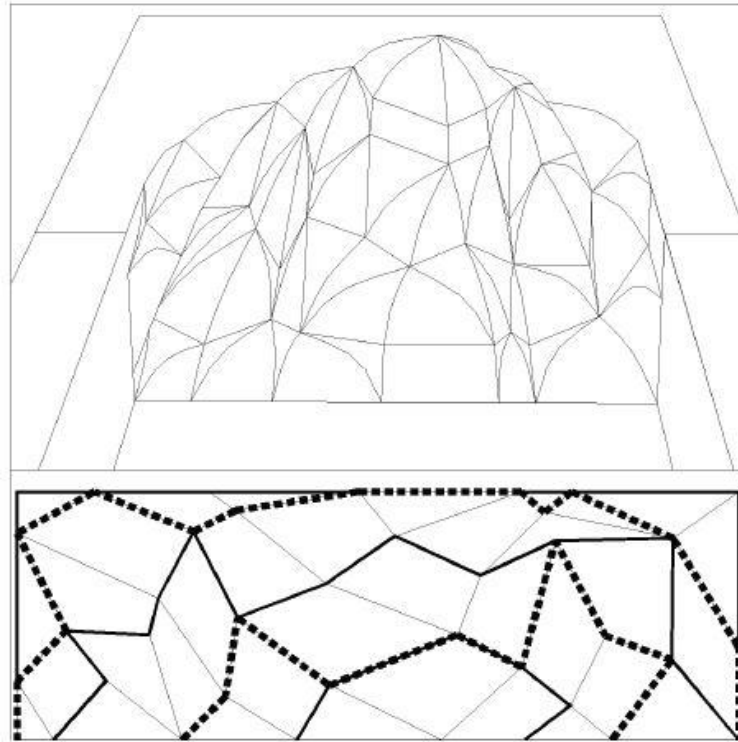
3.3 Modüler Değişimli Mukarnas Denemesi İncelemesi

Bu çalışmada Yaghan [13] tarafından mukarnas tasarımı izdüşüm üzerinden değil, modül üzerinden yapılmaktadır. Doğu İslam mimarisinde modüller bindirmeli mukarnas oluştururken, Batı İslam mimarisinde modüller asılı şekilde duran mukarnas örnekleri oluşturmaktadır (Şekil 3.8), [13]. Bu modüller genellikle 45°, 67.5°, 90°, 135° açılı modüllerdir.

Şekil 3.10(a) 'da görüldüğü gibi Batı İslam Mimarisi mukarnas modülleri yeniden yorumlanmaktadır ve Şekil 3.10(b) 'deki modülleri oluşturmaktadır. Bu modüller Şekil 3.9'da belirlenen kuralla tasarlanmaktadır. Bu kural bir çember içinde tanımlanan herhangi bir çokgen için, mukarnas modülleri öncelikle merkezin köşelere ve kenarların orta noktasına bağlanmasıyla oluşan aynı iki dik açılı üçgen ve sonrasında bu üçgenlerin köşelerinden ve hipotenüslerinden geçen iki dikdörtgen oluşturur şeklinde açıklanmaktadır (Yaghan [17]). Burada dikdörtgen şekillerde yapılan değişiklikler üçgen şekillerde de gözlenmektedir ve yeni mukarnas modülleri oluşturulmaktadır.

3.4 Modül Elemanları Değişimli Mukarnas Denemesi İncelemesi

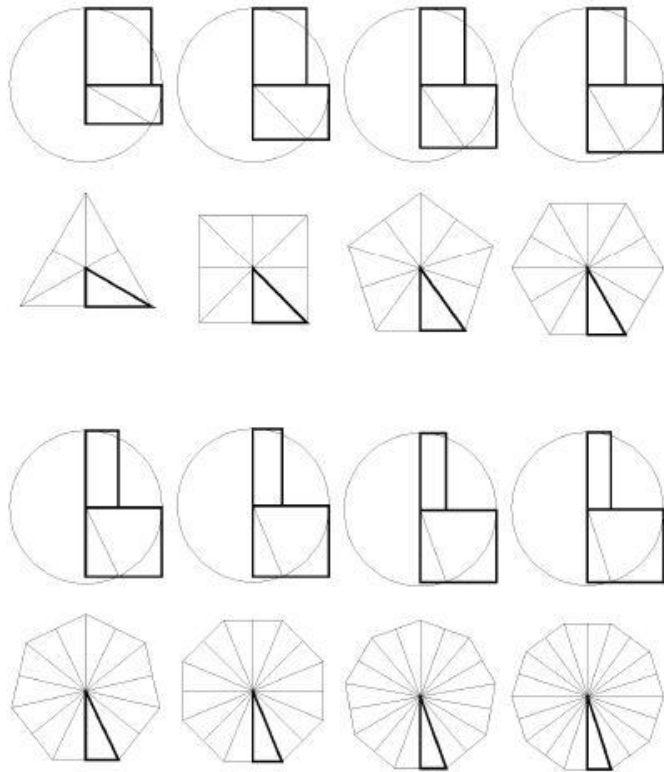
Yaghan [17] bu denemde üç boyutlu mukarnas modüllerinin eğimli yüzeyi, ön ve arka birleşim kenarlarını değişkenler olarak belirlenmektedir ve bu elemanlar ile farklı denemeler ortaya çıkarmaktadır (Şekil 3.11). Katmanların aynı hizada olması üzerinde farklı çalışmalar da yapılmaktadır. Katmanların farklı noktalardan tutunması sağlanılarak izdüşümü değişmeyen mukarnas tasarımının üç boyutta değişimi gözlenmektedir (Şekil 3.12).



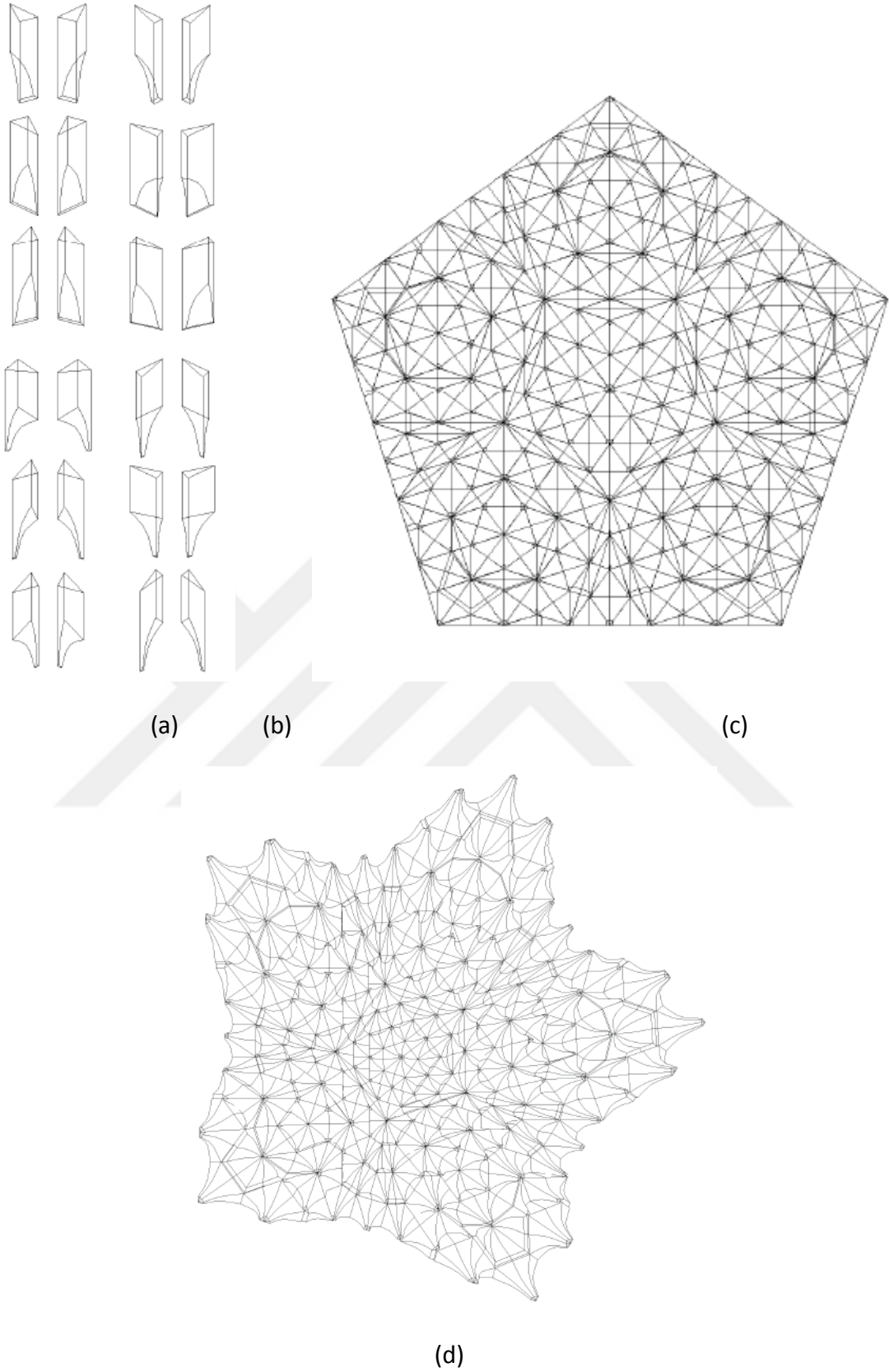
Şekil 3.7 Düzensiz izdüşüm ve mukarnas tasarımına yansıması [16]



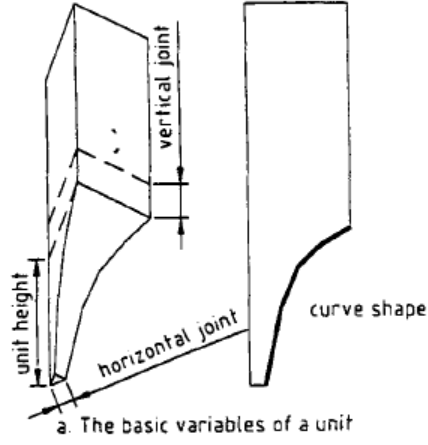
Şekil 3.8 Alhambra Sarayı Batı İslam Mimarisi farklı mukarnas modülleri örneği [29]



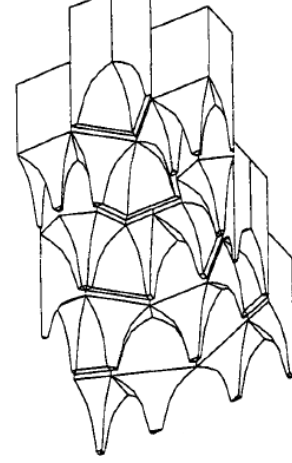
Şekil 3.9 Yeni tasarlanan mukarnas modüllerinin oluşumu [16]



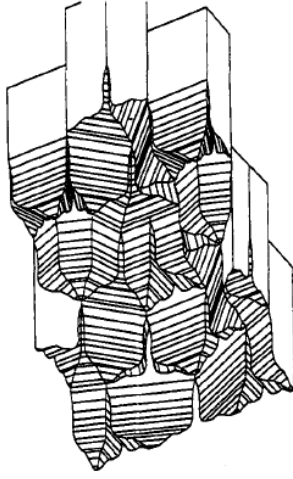
Şekil 3.10 (a): Orijinal beşgen mukarnas modülleri, (b): Ongenden türetilen yeni mukarnas modülleri, (c)-(d): Yeni modüllerle beşgen alan içinde tasarlanan mukarnas[16]



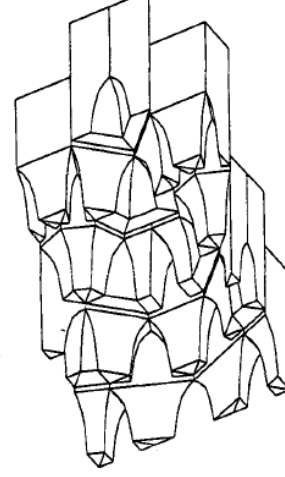
(a)



(b)



(c)

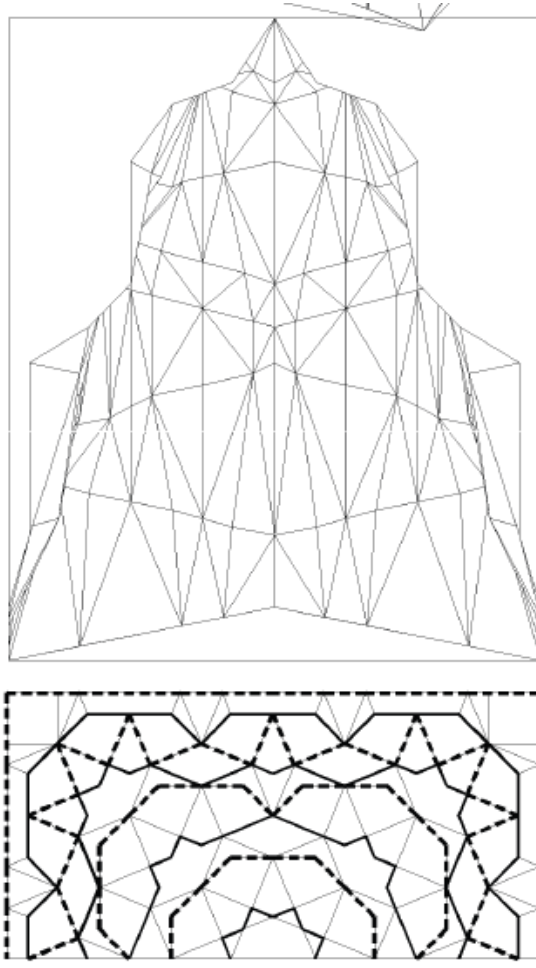


(d)

Şekil 3.11 (a): Modüldeki elemanlar, eğimli yüzey, birleşim kenarları (b): Dikey parça denemesi, (c): Eğimli yüzey denemesi, (d): Yatay parça denemesi [17]

3.5 Çizgi Esaslı Mukarnas Denemesi İncelemesi

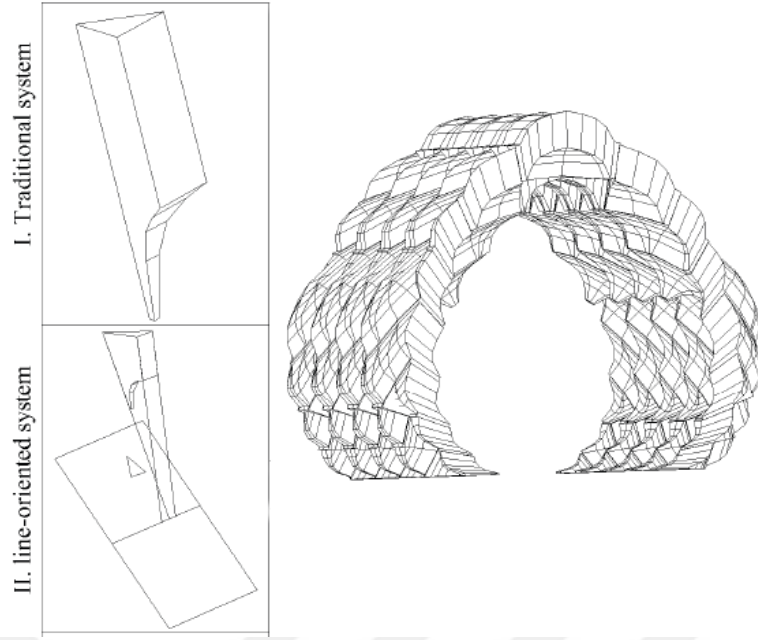
Bu çalışmada da Yaghan [30], geleneksel mukarnas tasarımlarını inceleneyerek iki önemli durum üzerinde çalışmaktadır. Geleneksel mukarnasın, izdüşümünde ya da üç boyutlu tasarımında herhangi bir değişiklik olmadan yeniden üretilebilmektedir. Değişen ya da yenilenen modüller tasarımı hiçbir şekilde etkilememektedir. Tasarımlar bulundukları yapıda yapısal eleman olarak kullanılsa da kendi kendilerini taşıyabilecek tasarımlar olmadıkları ve başka yüzeylere monte edildikleri gözlenmektedir. Mukarnasın kendini taşıyabilmesi ve yapısal eleman olarak kullanılabilmesi için "kemer" mantığı uygulanmaktadır. Mukarnas modülleri kemer taşları gibi sıkıştırılarak yapıyı taşıyan elemanlara dönüştürülmektedir (Şekil 3.13).



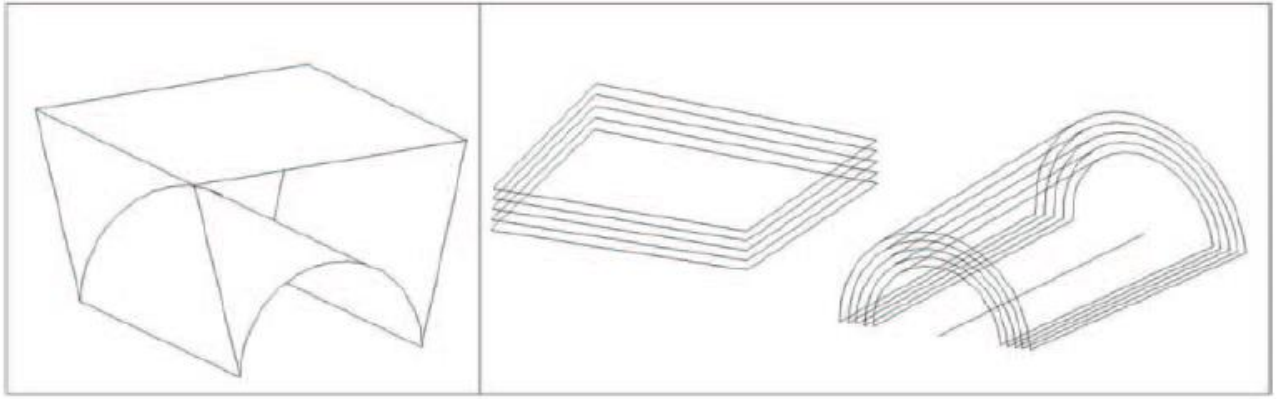
Şekil 3.12 Üç boyutta katmanlar arası çalışması örneği [16]

Bu işlemi gerçekleştirebilmek için mukarnasın izdüşümü yarım silindir şeklindeki yüzeye oturtulmaktadır (Şekil 3.14). Silindirin çapı katmanların sayısına göre belirlenmektedir ve bu yarım silindirin merkezinden geçen merkez çizgisi esas alınarak mukarnas modüllerinin her birinin en az bir kenarı merkez çizgisine dik gelecek şekilde belirlenmektedir. Diğer kenarlar ise yarım silindir şekline göre eğim almaktadır (Şekil 3.15). Birbirine geçmeli olan bu modüller kendilerini taşıyabilmektedir.

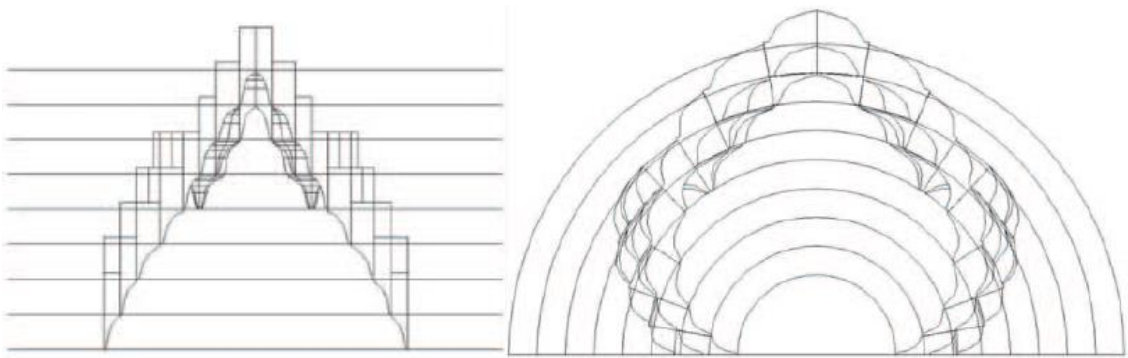
Çizgi esaslı bu çalışmadaki bir diğer amaç mukarnas tasarımının günümüze kadar gelen örneklerinde olduğu gibi tek taraflı kullanılan bir tasarımı çift taraflı kullanılan bir tasarım haline getirmektir. Bu tip mukarnasların tarihsel sürece bakıldığında yalnızca bir kaç tane örneği vardır [30]. Ancak şekil 3.16'da görüldüğü gibi iç yüzeydeki mukarnas tasarımı dış yüzeye aktarılmamaktadır. Mukarnas modülleri bir şekilde taşıma noktalarından birbirleriyle bağlanmalıdır.



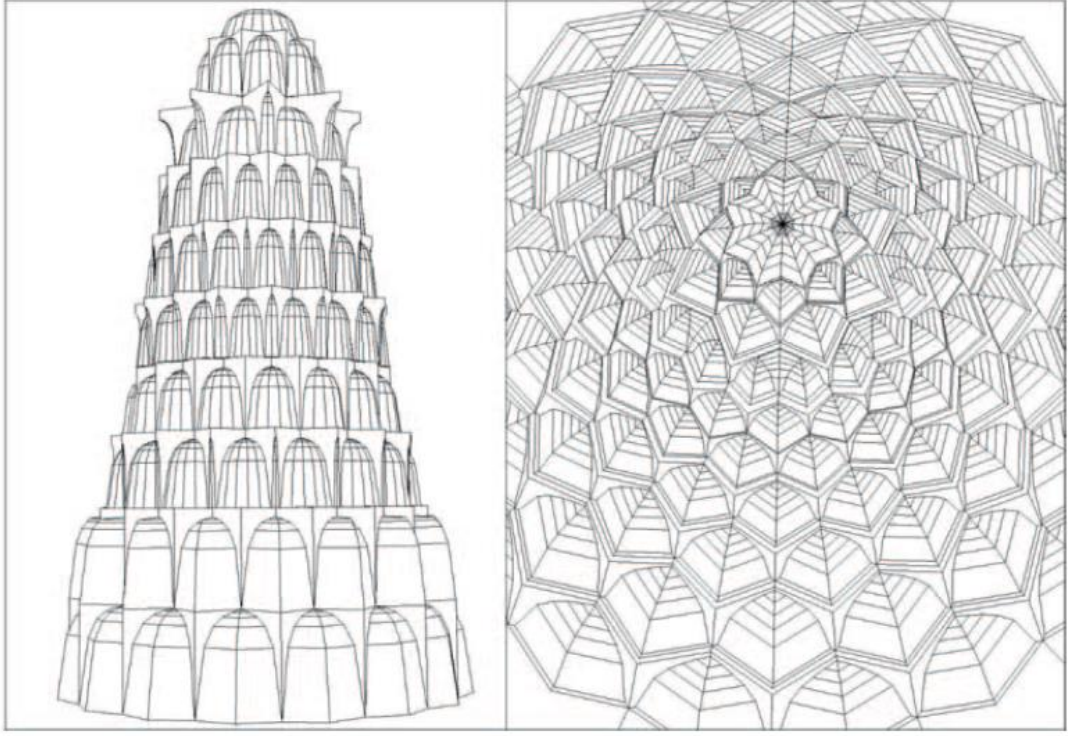
Şekil 3.13 Çizgi esaslı sisteme dayalı form denemesi [30]



Şekil 3.14 Mukarnas izdüşümünün yarı silindirik forma aktarılması, merkez çizgisinin silindirik sistemde yerleşimi ve katmanların durumu [30]

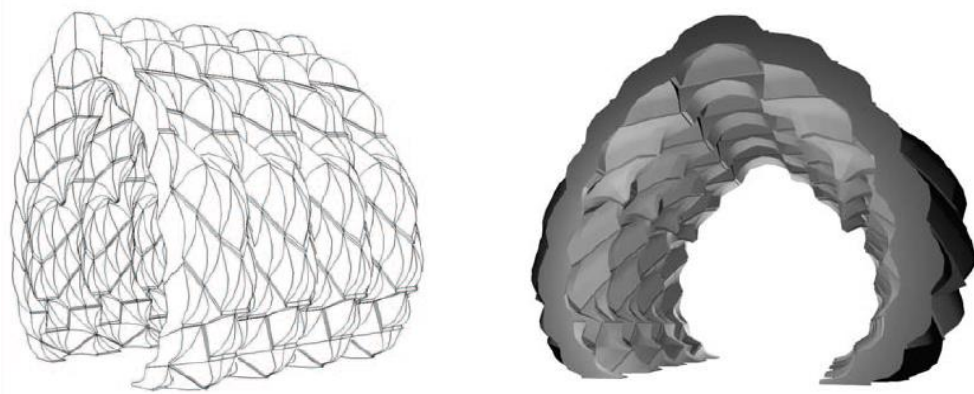


Şekil 3.15 Orijinal mukarnastaki düzlemsel katmanda yerleşim ve yeni denemedeki silindirik katmanda yerleşim [30]



Şekil 3.16 Az sayıda bulunan çift taraflı görülen mukarnas örneği Zümürrüd Hatun Müzesi, Bağdat [30]

Yeniden çalışılan mukarnas denemesinde iç yüzeydeki eğimli çizgiler dış yüzeye de aktarılmaktadır ve bağlanması için orijinal mukarnas modüllerindeki birbirini tutması gereken parçalara kullanılmamaktadır . Mukarnasın iç kısmı gibi dış kısmı da tasarımın iki taraflı gözlenmesini sağlamaktadır. Mukarnas tasarımı ziyaretçileri için artık düzlem esaslı bir kubbe görünümünde değil, bütün yönlerinde bulunduğu yolu çevreleyen örtü haline gelmiştir (Şekil 3.17), (Yaghan [30]). Ancak böyle bir tasarımın bilgisayar ortamında uygulanmasının yanı sıra gerçek hayatta uygulanması ve kullanılması ayrı bir tartışma konusudur.



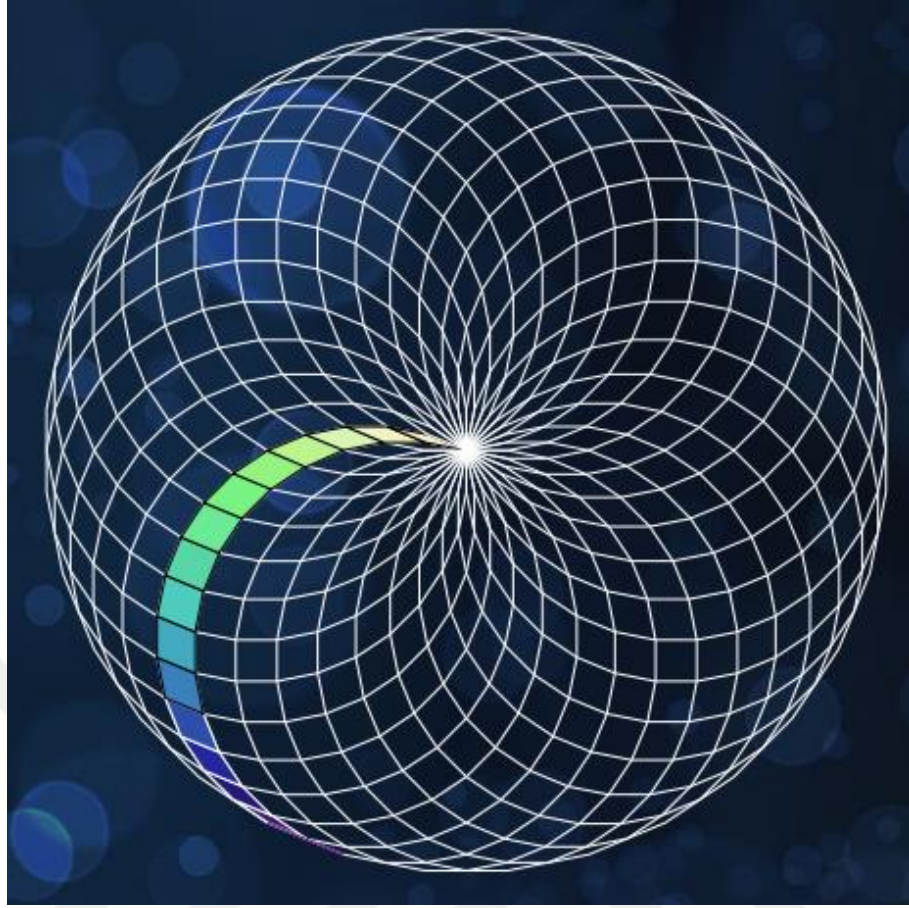
Şekil 3.17 Çizgi esaslı çift taraflı mukarnas denemesinin son hali [30]

3.6 DönüŖlü Mukarnas Denemesi İncelemesi

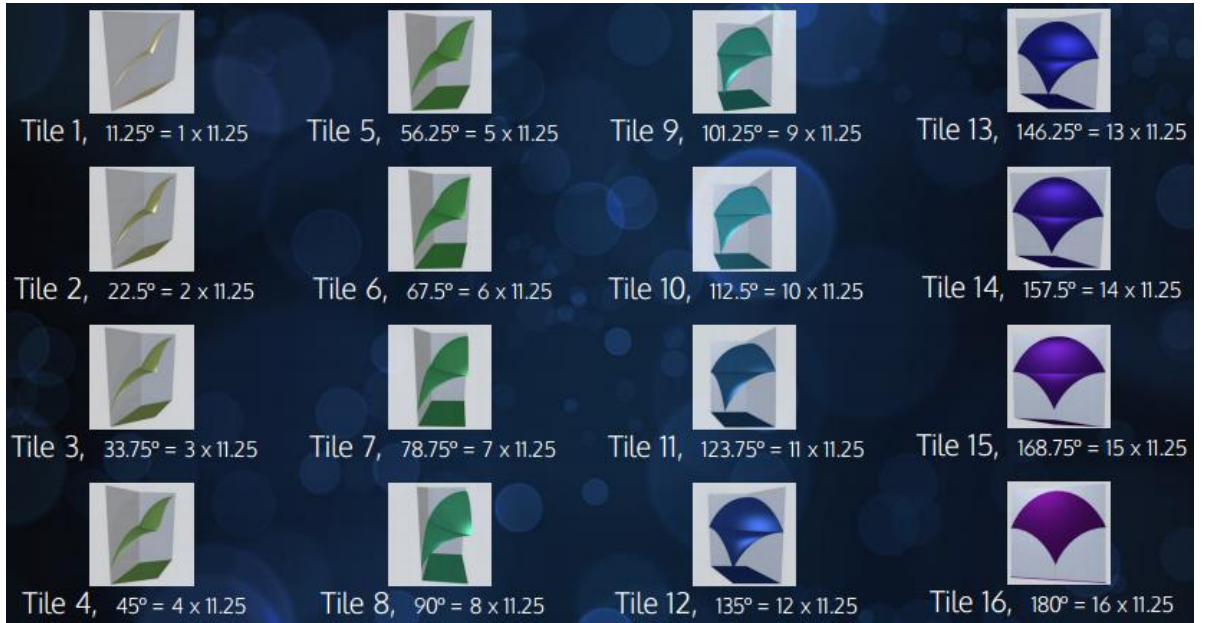
Bir diğerk çalışma web tasarımcısı Owen [18] tarafından eşkenar dörtgen modülünden yola çıkılarak üretilmektedir. Bir çokgen (N-Gen) seçilir, N-gen N-1 defa kopyalanır ve kopyalanan her N-gen $360/N$ açısıyla bir nokta üzerinde döndürölür (Owen [18]). Böylece mukarnas kubbesi oluşumu sağlanmaktadır ve ortaya çıkan modüller eşkenar dörtgen modölünün değışik açılarda çalışılmış çeşitleri olarak gözlenmektedir.

Owen [18], yükseklik verirken eğimli yüzeyleri 60°lik açılarla düzleme paralel şekilde yerleştirmektedir. Oluşan modüller iki eğimli yüzey gibi arada oluşan alt ve üst yayları birleştirmektedir. Şekil 3.18' de görüldüğü gibi 16 modölünden oluşan bir motif oluşturulmaktadır. Bütün mukarnas modüllerinin köşegen uzunlukları eşittir, genişlikleri de Şekil 3.19' daki gibi katları olarak artmaktadır. Mukarnas modüllerinin alt ve üst yarısı arasındaki çemberin yarıçapı tepe açısı arttıkça artmaktadır.

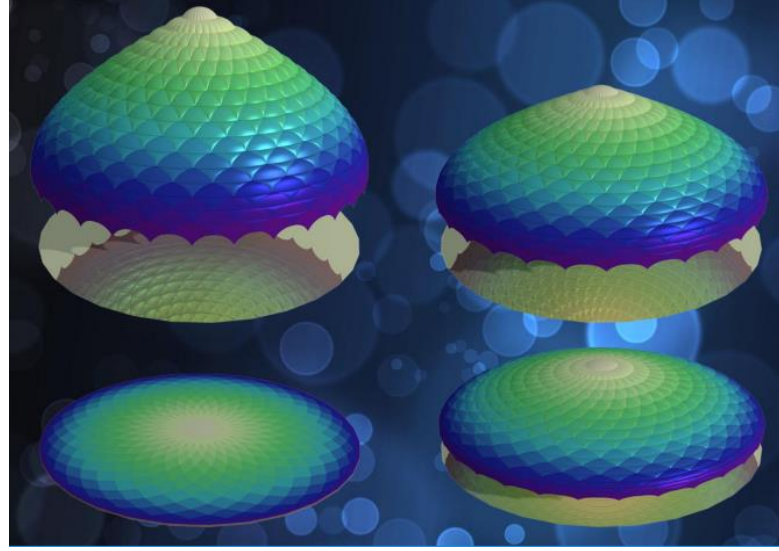
Bu şekilde oluşan kubbenin yanı sıra bu kubbeye ek formlarla yeni çalışmalar yapılabilir. Örneğın kubbenin alt sınırında oluşturulan motif N-1 defa $360/N$ açısıyla başlangıç çemberi etrafında döndürölür. Bu döndürme sırasında açıklıklar oluşur. Bu açıklıkları başlangıç motifinin iki katı şeklinde bir motif ile kapatarak devam ettirildiğinde yeni kubbe tasarımı oluşturulmuş olur. Kubbe üzerinde farklı denemeler modüllerin seçimine bağılı olarak değışebilir. Burada önemli olan N-gen'lerden oluşan modüllerin yaptığı simetrik formlardır. Bu formlar sayesinde farklı motiflerle farklı metotlar üretilebilir. Sonuç olarak bakıldığında, eşkenar dörtgen formu mukarnas tasarımında olan bir modöldür, ancak bu tür bir deneme mukarnasa başka bir boyut kazandırmış ve sadece yüzeysel bir çözüm olmuştur (Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22).



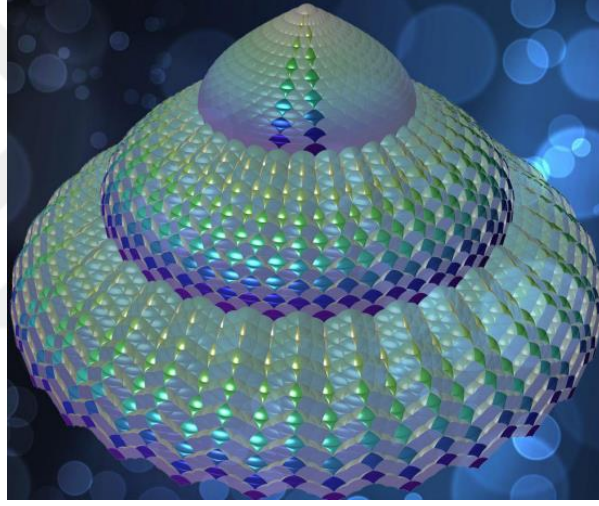
Şekil 3.18 Döndürülen 32gen lerden oluşan eşkenar dörtgen modülü [18]



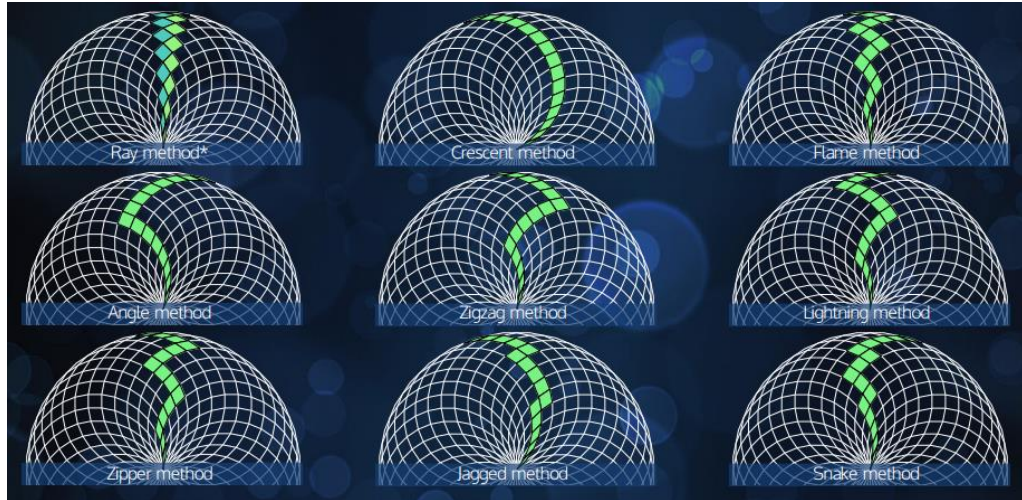
Şekil 3.19 Mukarnas modüllerinin açıları [18]



Şekil 3.20 İzdüşüm ve yükseklik verilen kubbe örneği [18]



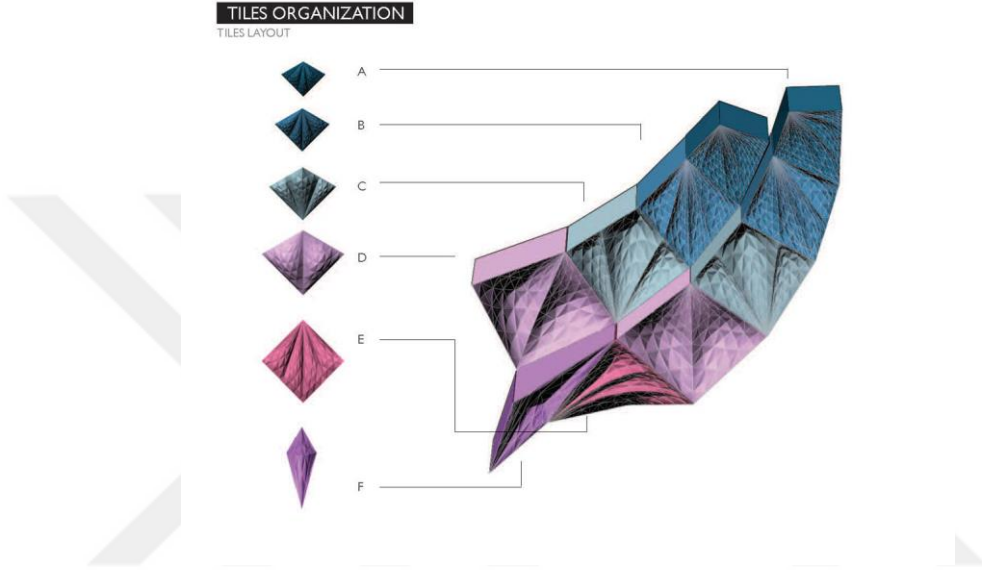
Şekil 3.21 Mukarnas kubbesinin genişletilmesi [18]



Şekil 3.22 Motiflerin kullanım şekli [18]

3.7 Sarkıt Mukarnas Denemesi İncelemesi

Washington Üniversitesi 2010 yılı öğrencileri minimal yüzeyler ve geleneksel mukarnas tasarımlarının soyut ve matematiksel yapısını incelemektedir ve mukarnasın tektonik oluşumu ve örüntülerinden esinlenerek yüzeysel bir içselleme anlayışı ile geleneksel duvar-tavan, yekpare-ayrık, opak-gözenekli, siyah beyaz-renkli gibi geleneksel ayrımları sorgulayarak bu ayrımlar arası geçişken bir tasarım ortaya çıkarmaktadır [20].



Şekil 3.23 Yeni modül oluşumları [20]



Şekil 3.24 Yeni mukarnas tasarımı [20]

Mukarnas tasarımının yapısal olarak sarkıt ve kubbemsi örtü oluşturma özelliklerini esas alınmaktadır ve biçim olarak da geometrik modüller türetilerek yeni örüntüler oluşturulmaktadır (Şekil 3.23 ve 3.24).

3.8 Kinetik Mukarnas Denemesi İncelemesi

2013'te Zaad Stüdyo [21] tasarımı olan kinetik mukarnas örneğinde , geleneksel mukarnas elemanları ve malzemeleri yeni bir deneme ile ortaya çıkarılmaktadır. Bu çalışmada mukarnas tasarımı N-gonal simetriye dayalı bir açısal simetri ile çalışmaktadır. Her bir mukarnas ögesi $N=N/2-1$ eşitliğinden yola çıkılarak üretilmektedir. Böylelikle bu ögelerle sınırsız tasarım olanağı sunulmaktadır [31]. Mukarnas tasarımı için kullanılan parçalar çevrede daha kinetik tepki oluşturacak şekilde üretilmektedir. Tasarımın bütün parçaları ve ögeleri hareket ederken diğerini kısıtlamaktadır ve bu şekilde bir kubbe yapıyı oluşturarak kinetik bir mukarnas işlevi kazandırmaktadır (Şekil 3.25). Ayrıca bu tasarımda kullanıcılar da hava akımını değiştirebilirler ve yapısal hareketin olmasında rol sahibi olmaktadır.



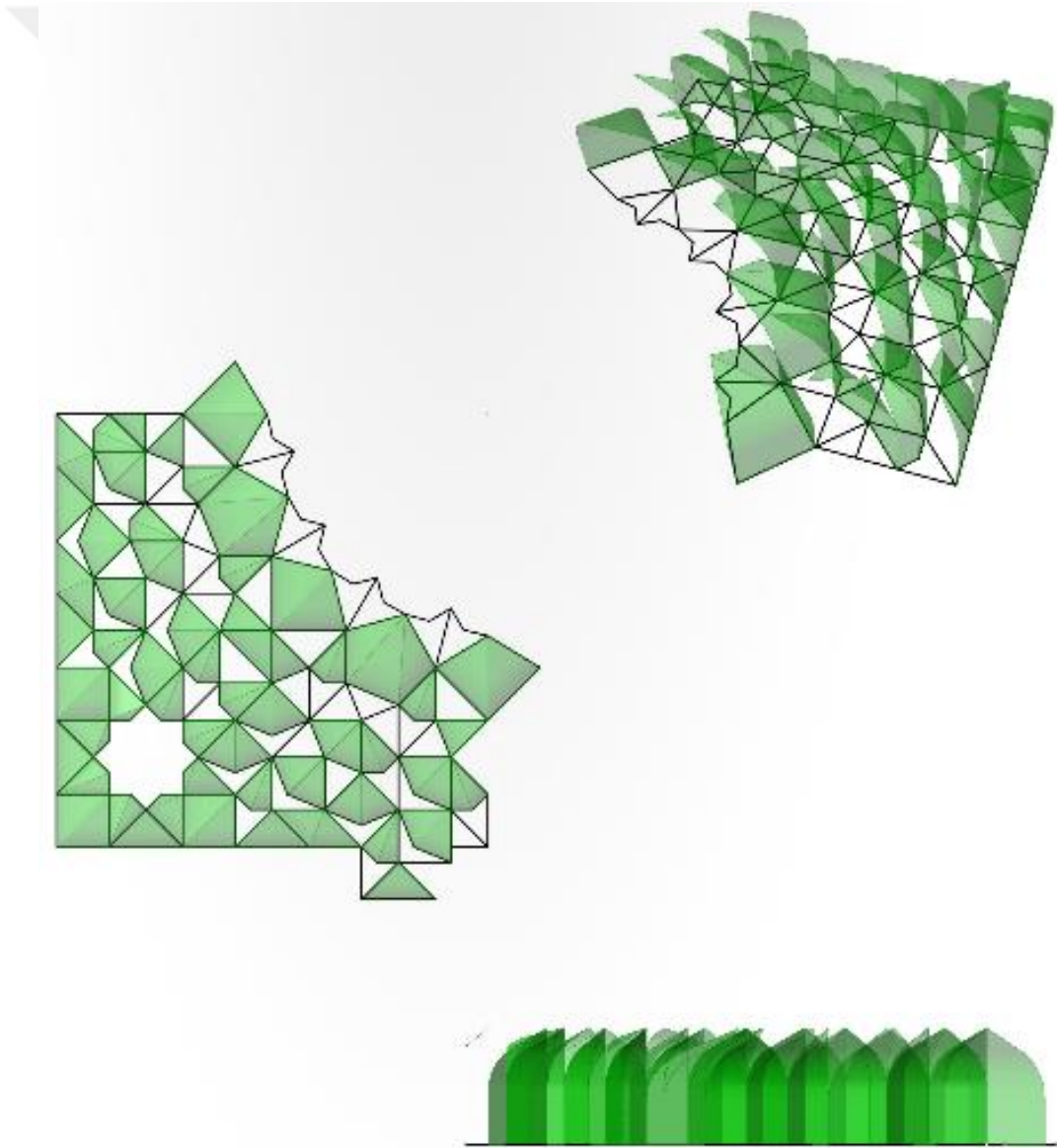
Şekil 3.25 Kinetik mukarnas örneği [31]

Araştırılan denemeler sonucunda yeni teknolojilerin, tasarım araçlarının ve yöntemlerinin kullanıldığı tasarım ve araştırma ortamlarında geleneksel mukarnasın geometrik ilişkiler ve örüntüler üzerine kurulu olan düzenlerinin hem bir başlangıç hem

de süreçte bir motivasyon kaynağı olarak ileriki çalışmalar için önemli adımlar oldukları görülmektedir.

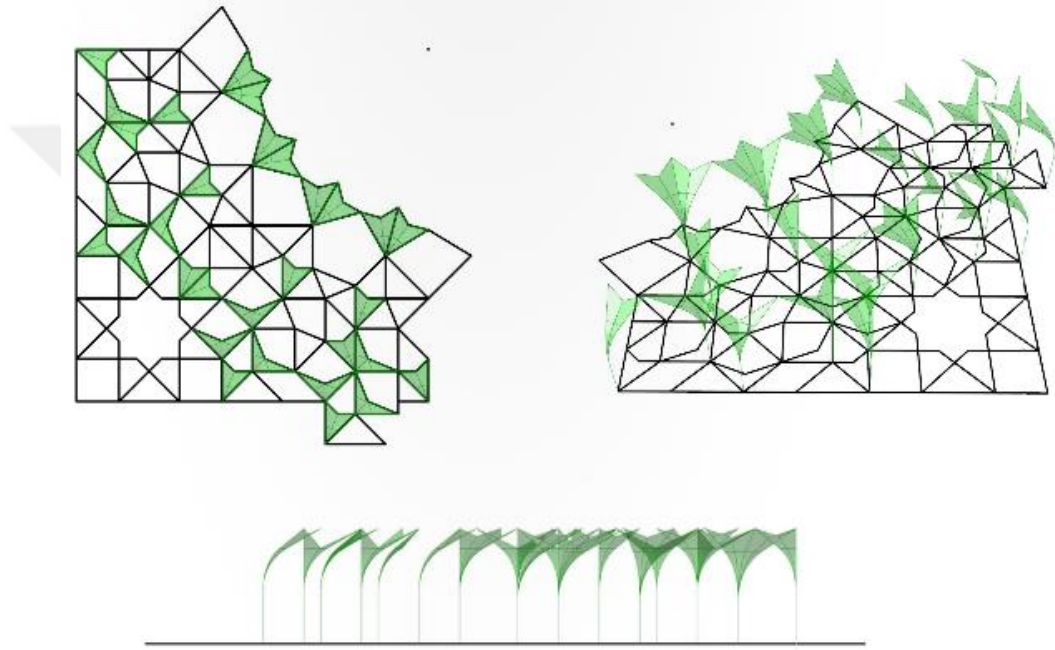
3.9 Grasshopper ile Mukarnas Denemesi İncelemesi

Parametrik tasarımın önemli araçlarından biri olan Grasshopper üzerinde çalışan Mansouri [19], geleneksel mukarnas yapısını inceleyerek yapım aşamalarını Grasshopper'a aktarmaktadır. Mansouri [19], mukarnas izdüşümünden üç boyuta aktarımı sağlarken, mukarnas modüllerini başlık 2.4'te açıklanan hücre modülünü "çokgenler" ve yine başlık 2.4'te açıklanan ara eleman modülünü "oklar" şeklinde adlandırmaktadır.

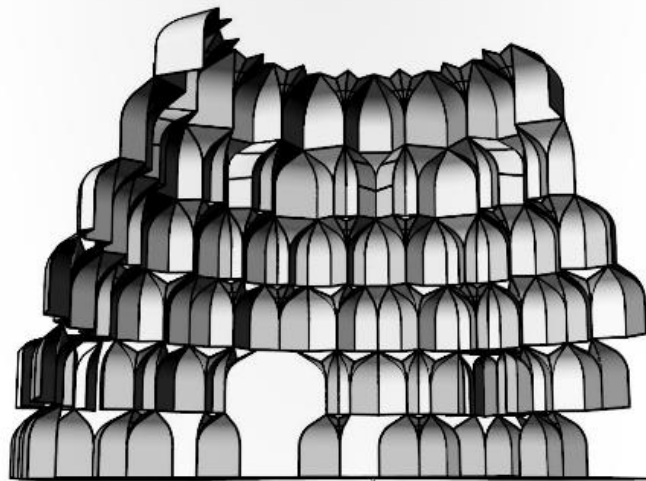


Şekil 3.28 Çokgen modüllerin oluşumu [19]

Bu modüler sınıflama üzerinden mukarnas tasarımında önemli rol oynayan eğimli çizgi üretilerek çokgenleri ve okları kaldırma işlemiyle modüller oluşturulmaktadır. Modüller oluşturulurken belirli parametrelerin kullanılması tasarımın gelişimi üzerinde büyük katkı sağlamaktadır. Fakat modüllerin oluşumu sonrası mukarnas yapısının tasarlanabilmesi için katmanların belirlenmesi ve yüksekliğin verilmesi gerekmektedir (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29). Çalışma bu aşamada devam etmemektedir ve modüllerin bir araya gelmesi sonrasında Rhino programı ile katmanlara göre yükseklikler belirlenerek tasarım tamamlanmaktadır (Şekil 3.30), [19].



Şekil 3.29 Ok modüllerinin oluşumu [19]



Şekil 3.30 Modüllerin Rhino ortamında bir araya getirilmesi [19]

3.10 Mukarnas Denemeleri İle İlgili İnceleme Sonuçları

Sayısal ortamda mukarnas denemeleri mukarnas tasarımlarının bütün elemanları analiz edilerek yapılan çalışmalardır. Katmansal analiz, mukarnas katmanlarının esas alındığı ve diğer elemanların katman denemesi göre değişebildiği denemedir. Düzensiz izdüşümlü mukarnas denemesinde mukarnas tasarımındaki elemanlar çıkarılmadan izdüşümde yeniden yorumlanır ve üç boyuttaki tasarıma yansımaktadır. Aynı deneme modül elemanları değişimli mukarnas denemesi içinde geçerlidir. Bu denemede de var olan bir mukarnas tasarımı üzerinden mukarnas oluşumunda kullanılan eğimli yüzey, birleşim kenarları gibi elemanlar için yükseklik ve genişlik gibi parametreler belirlenerek yorumlanmaktadır. Modüler değişimli mukarnas denemesinde modüllerin oluşumunda esas alınan geometriler değiştirilirken, çizgi esaslı mukarnas denemesinde bambaşka bir fikir ile yapısal özellik kazandırılmaktadır ve mukarnas tasarımını oluşturan bütün elemanlar tek bir çizgi esas alınarak yorumlanmaktadır. Bu denemelerin geleneksel mukarnas tasarımları için bir avantaj olarak görülmesinden ziyade ileride mukarnas üzerinde yapılabilecek araştırmalar için önemli kaynaklar oldukları gözlenmektedir. Hamekasi'nin [28] çalışmasında yaptığı katmansal analiz denemesi ile katmanlar arası yeni formlar oluşturulmaktadır ve Mansouri'nin [19] izdüşüm çizgilerinden yola çıkarak üç boyutta birebir üretilen mukarnas tasarımlarının restorasyon çalışmalarında kullanılması çalışmaları hızlandıracak ve kolaylaştıracak çalışmalar olma niteliğindedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Mukarnas Denemelerinin Karşılaştırılması

Deneme Çeşitleri	Deneme Özellikleri
Nader Hamekasi Katmansal Mukarnas Denemesi	Mukarnasın "katman" ve "eğimli çizgi" parametresi üzerinde çalışmalar yapıldığı yüzeysel deneme çeşitidir.
Mohammad Yaghan Mukarnas Denemeleri	"izdüşüm", "modül", "birim yüksekliği", "eğimli çizgi" gibi pek çok farklı parametreler ile geleneksel mukarnas tasarımlarının üzerinde çalışıldığı deneme çeşitleridir.
Dan Owen Dönüslü Mukarnas Denemesi	Mukarnasın "konkav" ve "desen oluşturma" özelliklerinden esinlenilerek farklı mukarnas denemelerinin çalışıldığı örneklerdir.
Sarkıt Mukarnas Denemesi	Mukarnasın "sarkıt" ve "desen oluşturma" oluşturma özelliklerini esas alan denemedir.
Kinetik Mukarnas Denemesi	Mukarnasın "konkav" ve "örüntü" oluşturma özelliklerinden esinlenilerek farklı mukarnas denemelerinin çalışıldığı örneklerdir.
Grasshopper ile Mukarnas Denemesi	Geleneksel mukarnas tasarımının grasshopper ortamına aktarıldığı denemedir.

SULTANHANI İÇ KAPI MUKARNASININ SAYISAL ORTAMA AKTARIMI

4.1 Sultanhanı Genel Özellikler

Sultanhanı, Anadolu Selçuklular döneminde 1229 yılında Aksaray'da yapılan önemli kervansaraylardan biridir (Şekil 4.1) [32]. Giriş kapılarında ve avlusundaki nişlerinde mukarnas tasarımları bulunan Sultanhanı'nın iç kapı mukarnası, 2.1 başlığı altında incelenen çokgensel analize göre kare kafes tipi mukarnas örneği, 2.3 başlığı altında incelenen açısız analize göre birinci tip mukarnas örneğidir. Sultanhanı iç kapı mukarnasında, tez kapsamında anlatılan mukarnas modüllerinden başka, farklı çokgenlerden oluşan modüllerin kullanılmadığı ve izdüşümünde oluşan örüntünün kolay anlaşılır bir geometrik dile sahip olduğu görülmektedir. Sultanhanı iç kapı mukarnas tasarımının sayısal ortama aktarım sürecinde bir avantaj oluşturabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.1 Sultanhanı, Aksaray, Türkiye[33]

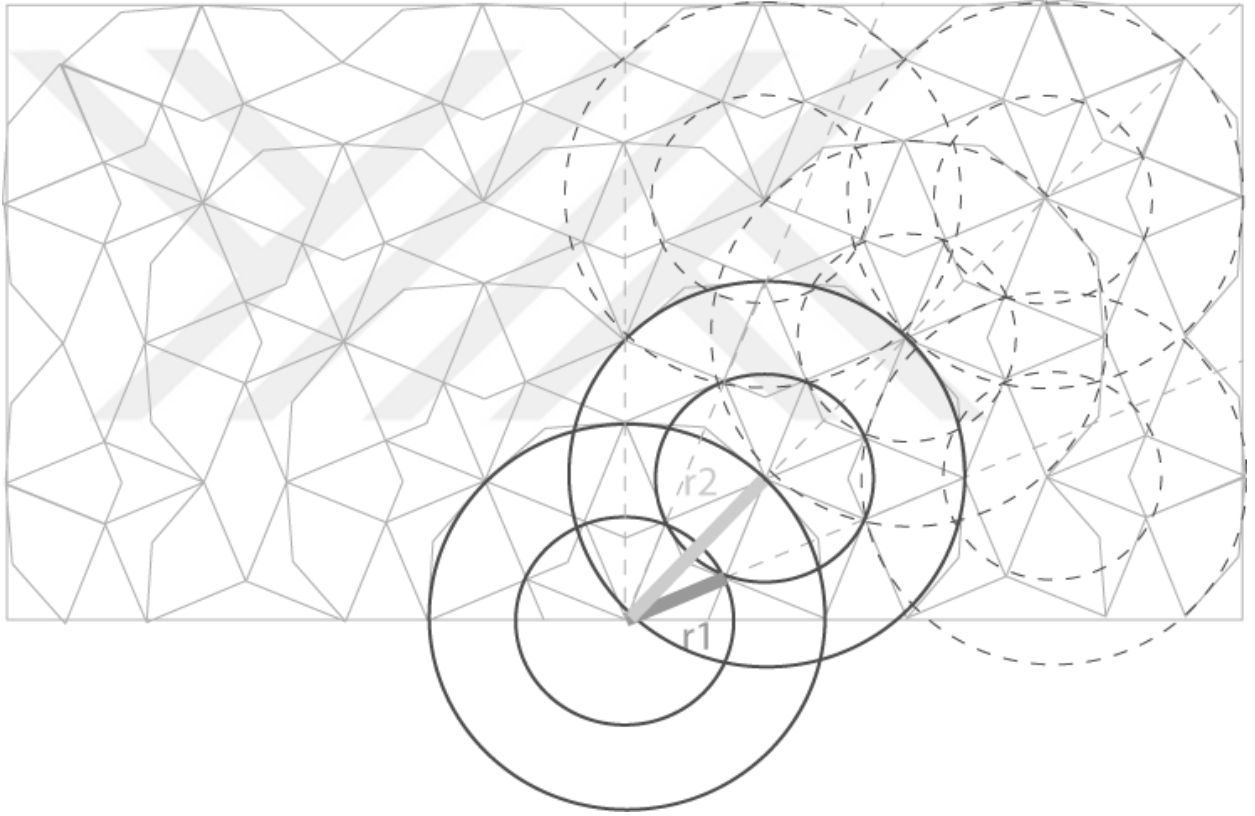


Şekil 4.2 Sultanhanı iç kapı mukarnası, Fotoğraf: S. Gülizar Dinçer

Sultanhanı'ndaki iç kapı mukarnas tasarımı yapısal açıdan incelendiğinde mukarnas tasarımının dekoratif amaçlı olmasının yanı sıra ve mermer bloklardan inşa edilerek başlık 2.2.1 'de açıklanan bindirmeli mukarnas türünde mermer bloklarla yapıya dahil bir tasarım olarak kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.2). Sultanhan'ın yapıldığı devirde mermer mukarnas örneklerine rastlanılmamaktadır [26]. Bu durum devrinde yapılan ve günümüze kadar korunmuş önemli örneklerden olmasını sağlamaktadır.

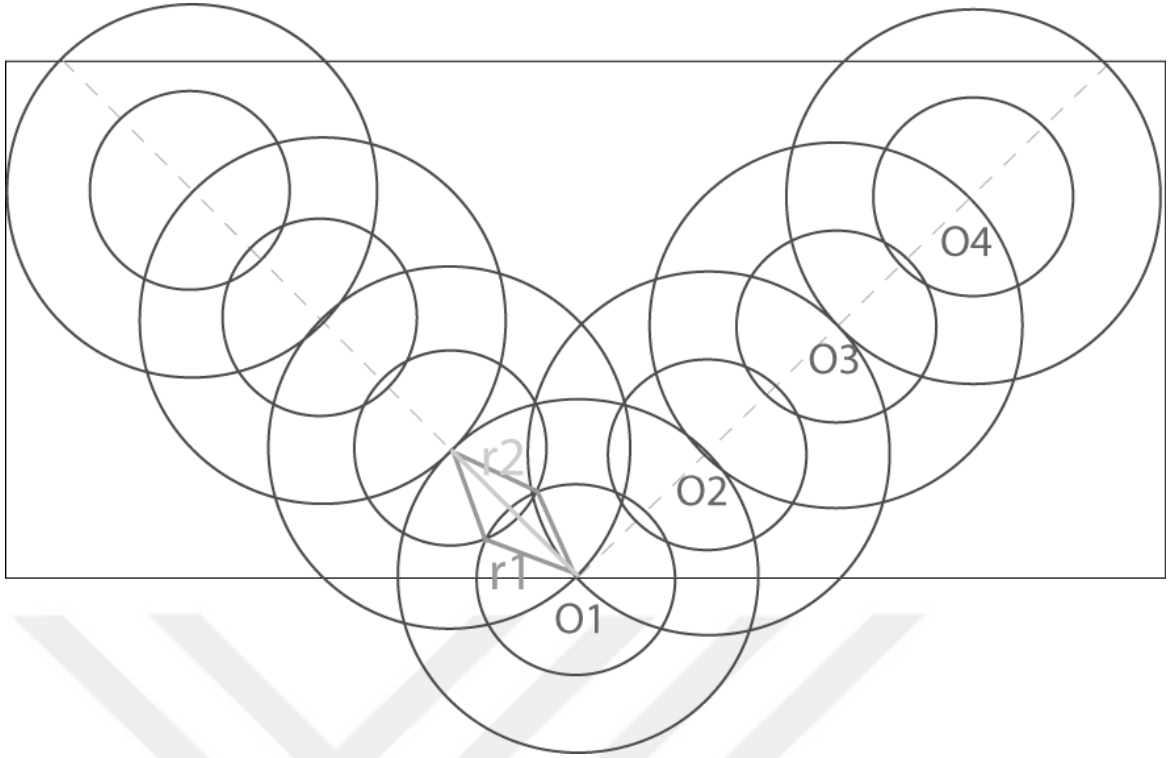
4.2 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımının İki Boyutta İncelenmesi

Sultanhanı iç kapı mukarnası başlık 2.3'te incelenen birinci tip alt başlığındaki $22^{\circ}30'$ luk açılarla 8 birime ayrılan izdüşüme sahip mukarnas örneğidir. Birinci tip açısal analiz başlığında incelenen diğer tip mukarnas örnekleri kadar karmaşık değildir. Başlangıç noktasındaki 8 köşeli yıldız r_1 yarıçaplı çemberlerden oluşmaktadır ve yine başlangıç noktasından r_2 yarıçaplı çemberle birlikte iç içe geçerek üst katmanlarda merkezi $22^{\circ}30'$ lik kaymalar yapan diğer çemberleri oluşturmaktadır (Şekil 4.3). Çemberlerin yaptığı bu kayma birinci tipin özelliklerinden biri olan, kendini tekrar eden ve sonsuz bir tasarım olarak devam edebilecek türde bir kayma yapmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3 Sultanhanı mukarnas izdüşümü analizi [26], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

r_1 ve r_2 yarıçaplı çemberler daha detaylı incelendiğinde r_1 yarıçapı badem tamamlayan modülünün kenarlarıdır. r_2 yarıçapı ise eşkenar dörtgenin köşegeni olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca genel olarak incelenen Sultanhanı izdüşümünde yy ekseninde iki simetrik parçadan oluşan bir tasarım olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 Başlangıç çemberi kayarak yerleşimi [7], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer

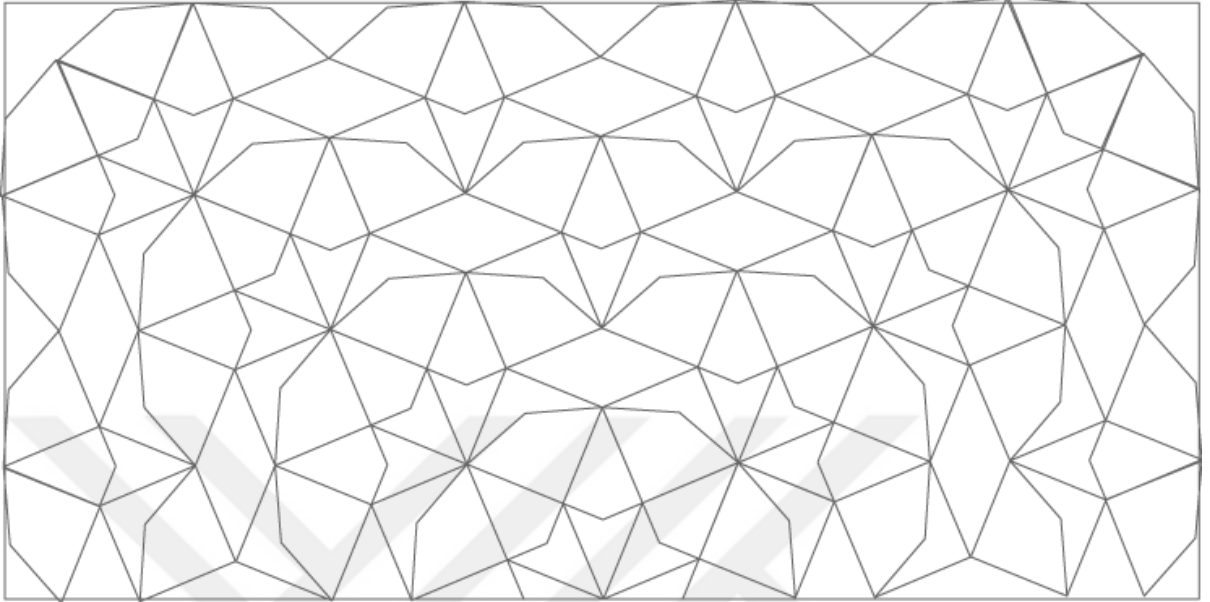
4.3 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımının Modüler Analizi

Sultanhanı iç kapı mukarnas tasarımını izdüşümden üç boyuta aktarılması için izdüşümün, modüllerin, eğim alan yüzeylerin ve katmanları oluşturacak ok yönlerinin doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 4.5). İzdüşümün çizilmesi ile kullanılan modüllerin belirlemesi yapılmaktadır (Şekil 4.6). Sultanhanı'nda kullanılan mukarnas tasarımında arpa tanesi, arpa tamamlayan, badem, badem tamamlayan ve eşkenar dörtgen modülleri kullanılmaktadır (Şekil 4.7). Daha öncede açıklandığı gibi arpa tanesi ve badem modülleri yalnızca yuva olarak kullanılırken, badem tamamlayan ve arpa tamamlayan modülleri yalnızca ara eleman olarak işlev görmektedir. Eşkenar dörtgen modülü ise hem yuva hem ara eleman olarak kullanılmaktadır. Sultanhanı mukarnas tasarımında yuva olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Modüllerin açısal durumu incelendiğinde 135° lik açı yapan badem modülü genellikle arpa tanesi modülünün arasında olmaktadır. Badem tamamlayan modülü geniş açılı kısmı ile 225° lik açı yaparak ve badem modülünün üzerine binmektedir. Üçgen modülü dik açılı bir üçgendir, ilk katmanda arpa tanesi modülüne taban olarak tamamlayıcı bir modül olarak işlev görmektedir. Eşkenar dörtgen modülünün geniş açılı kısımları 135° lik açı yaparak ve arpa tamamlayan modülüyle bir katman oluşturmaktadır.

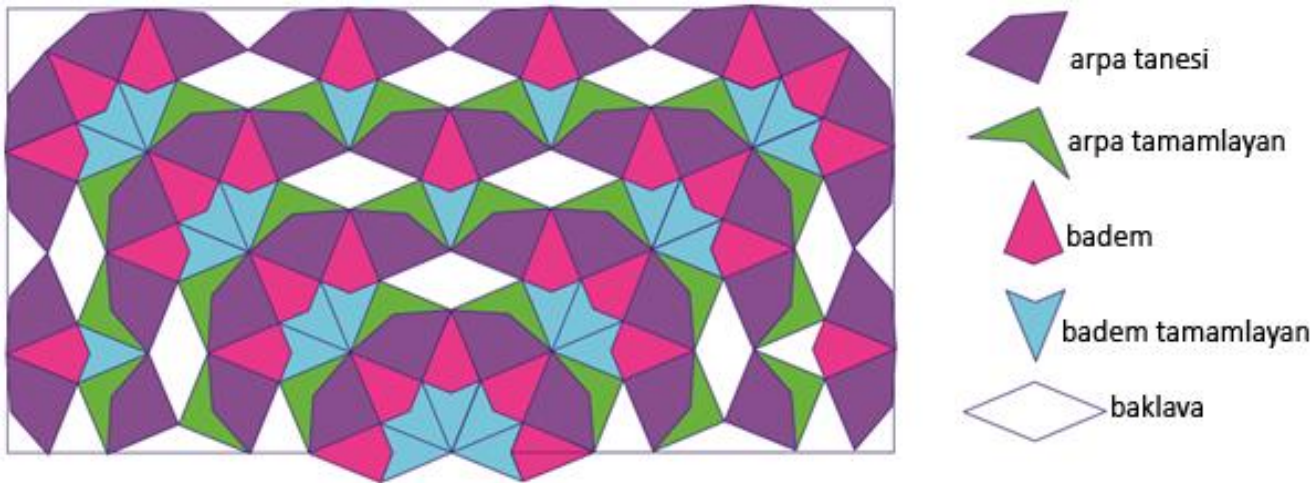


Şekil 4.5 Sultanhanı mukarnası fotoğrafik izdüşümü, Fotoğraf: S.Gülizar Dinçer

Arpa tanesi modülü üçgen modülüyle ilk katmanda, arpa tamamlayan modülüyle de diğer katmanlarda bir araya gelerek modüllerin üzerine binmektedir. Arpa tamamlayan modülü 135° lik açı oluşturarak arpa tanesi modülünün tabanını oluşturmaktadır.



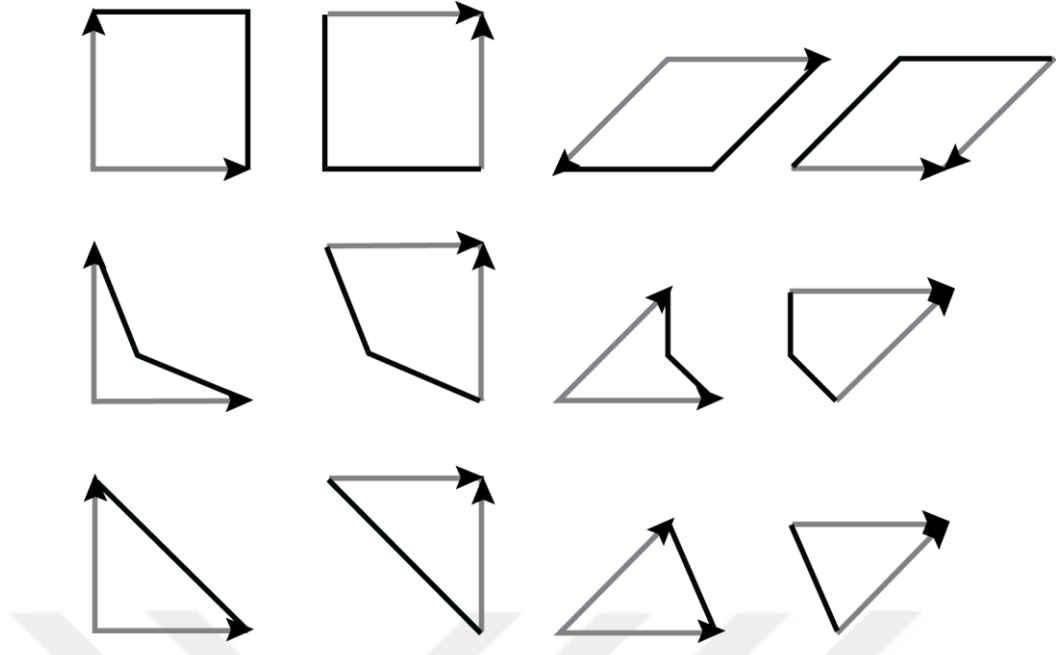
Şekil 4.6 Sultanhanı iç kapı mukarnas izdüşümü, Çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 4.7 Sultanhanı mukarnas modülleri, Çizim: S.Gülizar Dinçer

4.4 Sultanhanı Mukarnası Modüllerinin Hareketi

Başlık 2.4.1'de modüllerin eğimli yüzey oluşturma yönteminde bazı modüllerin eğimli yüzeyleri tek bir yönde olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.8) . Sultanhanı'ndaki mukarnas tasarımının da başlangıç modülünün badem tamamlayan modülü olması ve badem tamamlayan modülünün de tek yönde eğimli yüzey oluşturmaları tasarımın detaylı incelenmesini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4.8 Modüllerde ok yerleşimi [15], Yeniden çizim: S.Gülizar Dinçer



Badem tamamlayan modülünün tek yönlü hareketi mukarnasın ok yönlerinin başlangıcıdır.



Badem tamamlayan modülü de badem modülü ile birleşmiştir ve eğimli yüzey oluştururken tek yönlü hareket ettiği için okları tek noktada birleşmişlerdir.

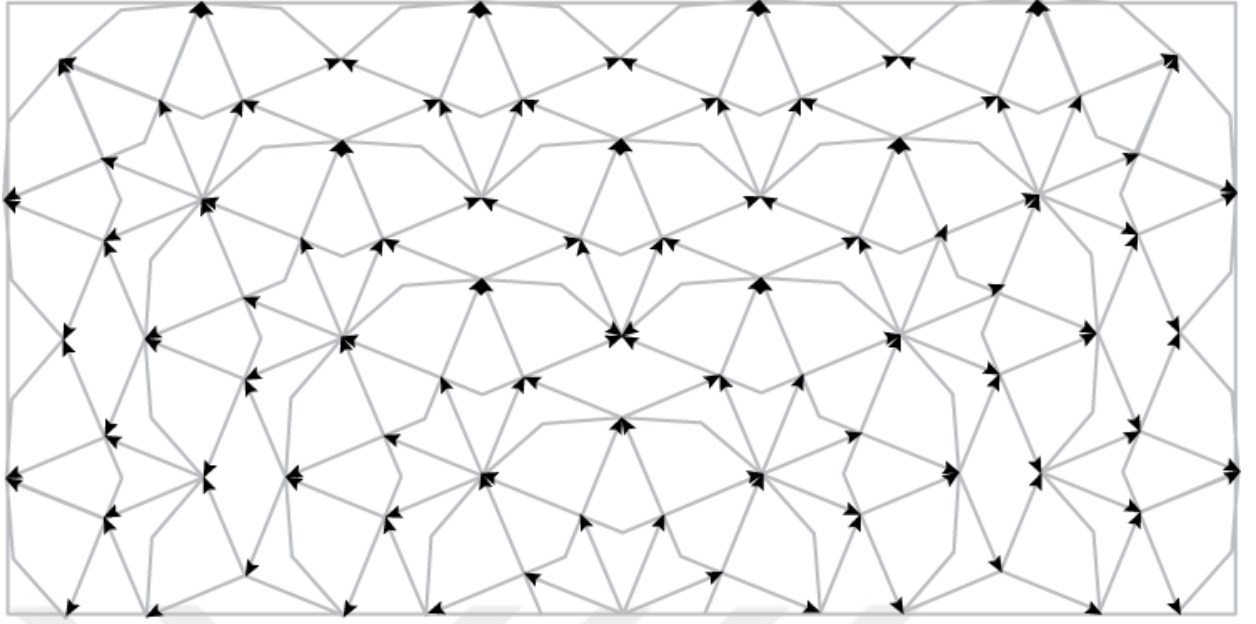


Paralel kenarlar aynı yönde ilerler kuralına ilişkin badem modülünün paralel olan kenarlarına paralel olan arpa tamamlayan modülünün kenarı da aynı yönde oklar ile belirlenir.

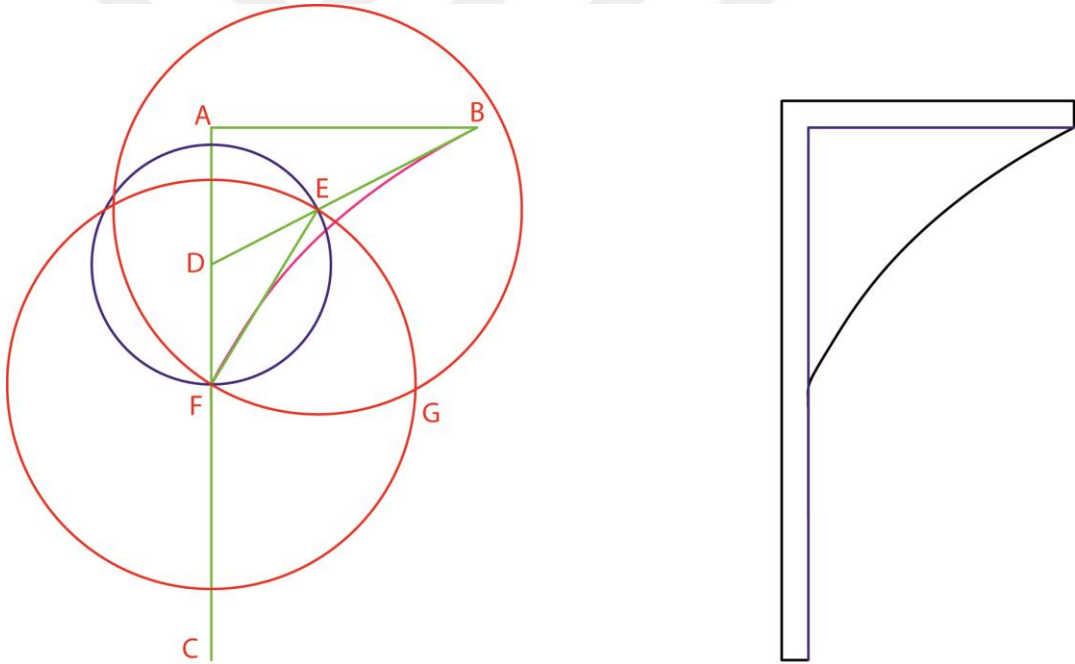
Sultanhanı örneğinde modüller aynı örüntü ile devam ettiği için diğer katmanlarda verilen ok yönleri de aynı şekilde devam etmektedir (Şekil 4.9).

4.5 Sultanhanı İç Kapı Mukarnası Katmanları ve Yüksekliğini Belirleme

Ok yönlerinin belirlenmesi ile okların ilerledikleri yönde eğimli yüzeyler oluşturulmaktadır. Okların son bulduğu noktalar eğimli kenarların olduğu noktalar. Diğer kenarlar arkada kalan kısımlar olarak arka yüzeyleri oluşturmaktadır.



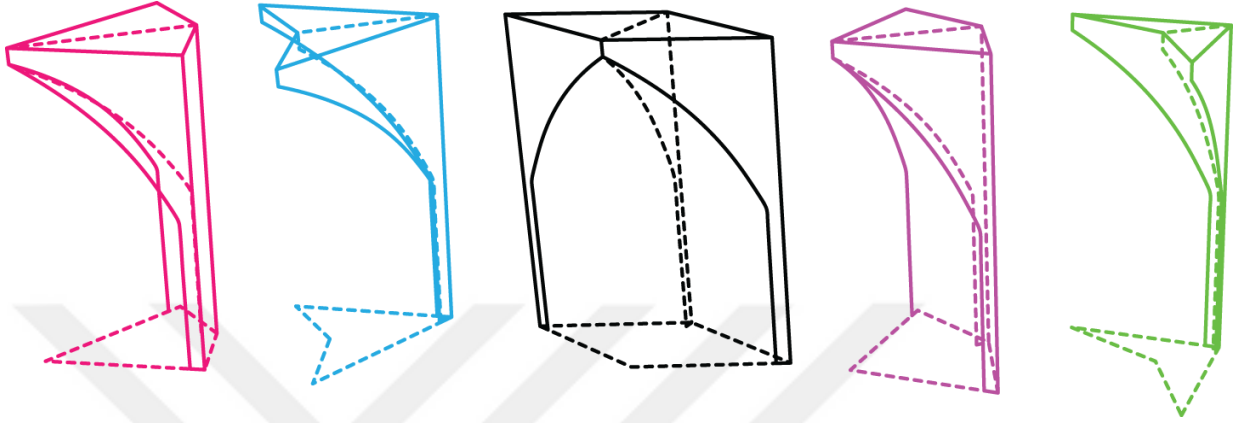
Şekil 4.9 Ok yönlerinin belirlenmesi, Çizim: S.Gülizar Dinçer



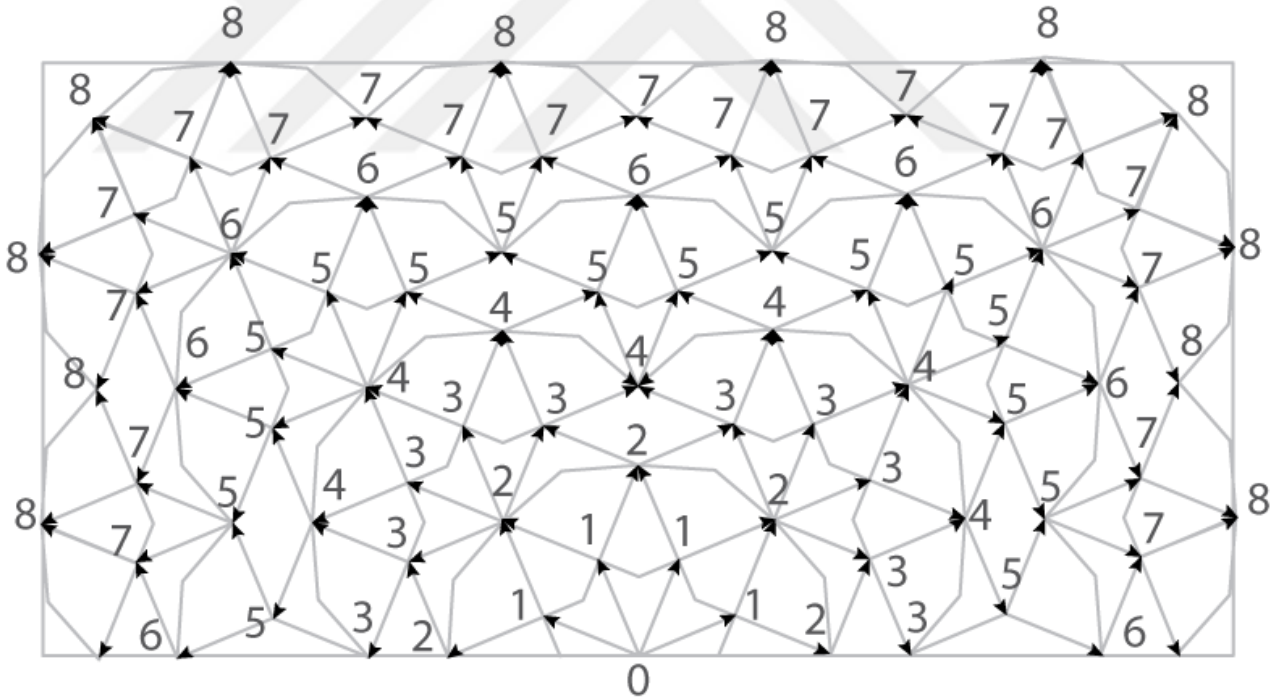
Şekil 4.10 Eğimli çizginin oluşumu, Çizim: S.Gülizar Dinçer

Başlık 2.4.5'te açıklanan eğimli yüzeylerin oluşturulma kuralları dikkate alınarak eğimli çizgi oluşturulmaktadır (Şekil 4.10). Oluşan eğimli kenarlar ile iki boyutta çizimler tabana yerleştirilecek şekilde birleştirilerek "loft" komutu ile üç boyutlandırılmaktadır (Şekil 4.11). Başlık 2.4.4'te anlatılan mukarnas modülü yüksekliği belirleme kurallarına göre okların belirtildiği noktalar h yüksekliğine erişmektedir. Aynı noktalara doğru ilerleyen oklar diğer h yüksekliğini alırken bir sonraki ok dizisi $h+h$ yüksekliğini

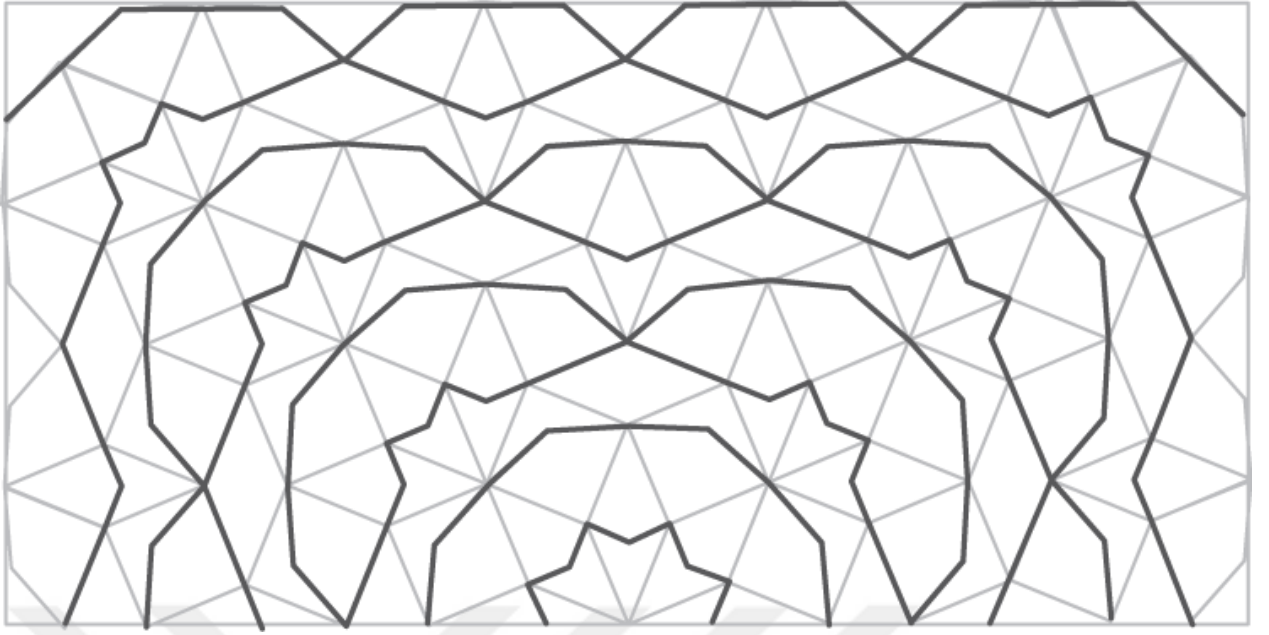
almaktadır. Sultanhanı mukarnasında yükseklikler sıfırdan sekize kadar numaralandırılmaktadır (Şekil 4.12) Verilen numaralar tasarımın katmanlarını belirleyen numaralardır (Şekil 4.13). Katman çizgilerinin belirlenmesiyle çizgilerin üzerine yerleştirilen modüller üst üste bindirilerek mukarnas tasarımı Rhino programı ile tamamlanmaktadır (Şekil 4.14).



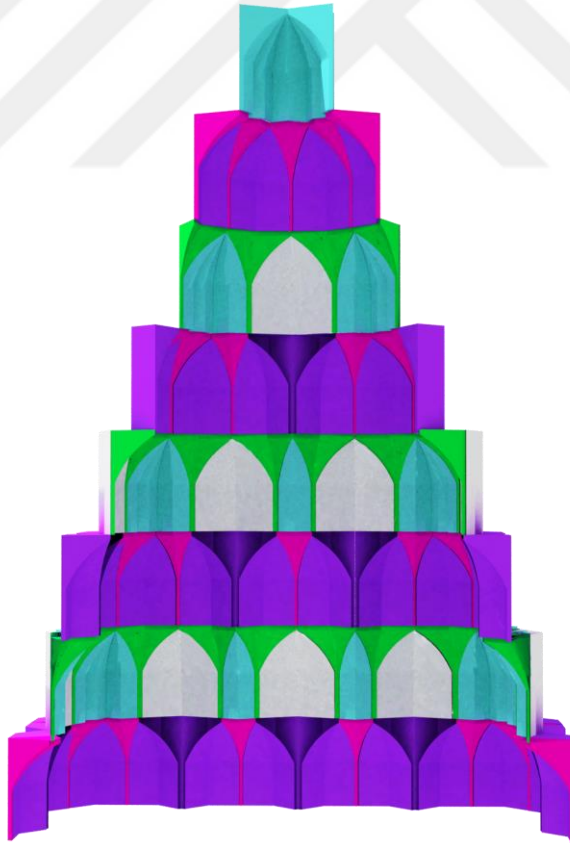
Şekil 4.11 Modüllerin eğimli çizgilerinin birleştirilmesi, Çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 4. 12 Katmanların yüksekliğini belirleme, Çizim: S.Gülizar Dinçer



Şekil 4.13 Katmanların oluşumu, Çizim: S.Gülizar Dinçer



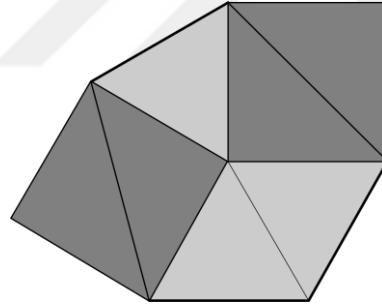
Şekil 4.14 Mukarnas tasarımının oluşumu

4.6 Grasshopper ile Sultanhanı İç Kapı Mukarnası Denemesi

Günümüzde hem geometrik analiz ve temsil, hem de yeni tasarımlar üretme amacıyla kullanılan Grasshopper eklentisi bu çalışmanın devamında kullanılmıştır. Grasshopper, sunduğu görsel programlama tekniği ile geometrik ilişkilerin bire bir kurulabildiği bir arayüz sunmakta, hem de parametrelerin değiştirildiğinde yeni sonuçların hemen görülebildiği gerçek zamanlı bir tasarım ortamı olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın bu aşamasında Sultanhanı iç kapı mukarnasının izdüşüm örüntüsünü ve üç boyutlu birimlerini türeten bir parametrik model oluşturulmaktadır.

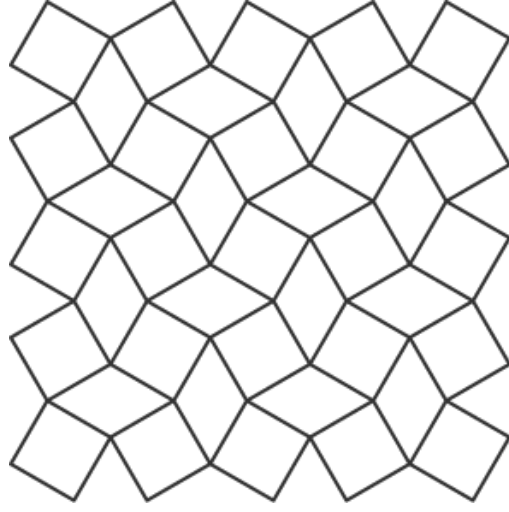
4.6.1 "Snub Kare" Örüntüsü

Sultanhanı iç kapı mukarnası detaylı incelendiğinde iki boyutlu geometrik arka planında "Snub Kare" (Snub square) adı verilen kare ve eşkenar üçgenlerden oluşan bir örüntü içerdiği görülmektedir. Bu örüntü yarı düzenli (semi-regular) bir örüntü olarak ifade edilir ve bir biriminde üç tane üçgen ve iki tane kare bulundurmaktadır (Şekil 4.15) [34].

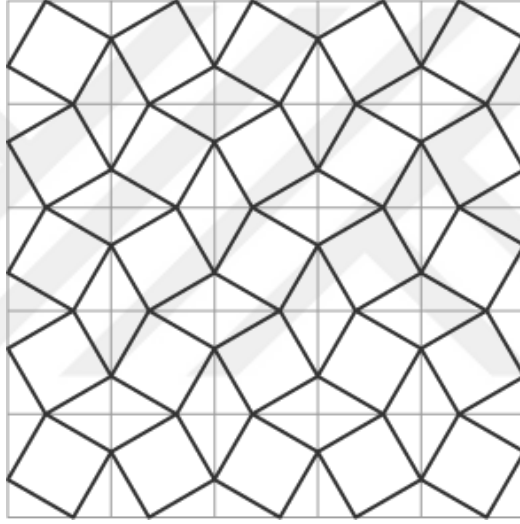


Şekil 4.15 Snub örüntüsünün tek birimi

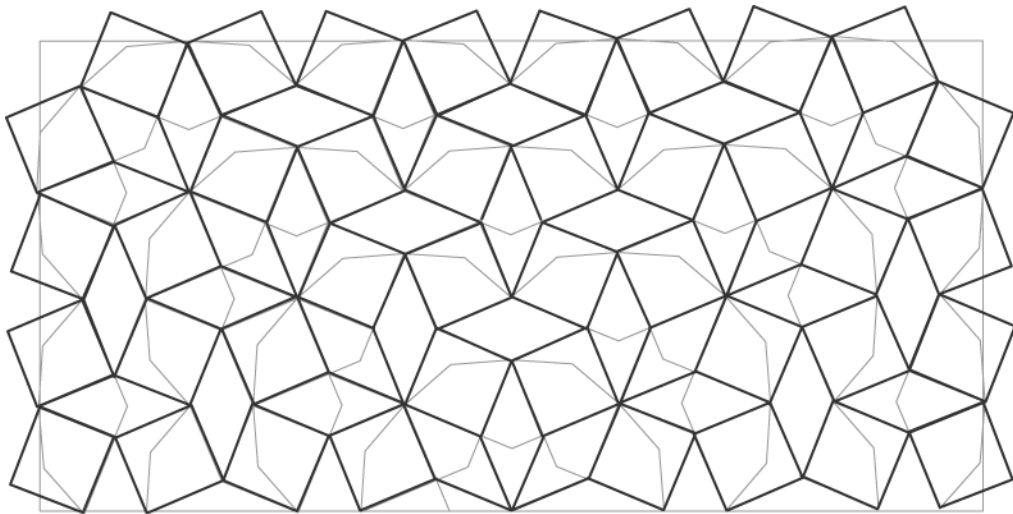
Üç tane üçgen ve iki tane kare ile oluşturulan birim devam ettiğinde oluşan örüntü sonsuza kadar devam eden bir sisteme sahiptir (Şekil 4.16). Sultanhanı mukarnasının örüntüye benzerliği gözlemlenmektedir ve sistem ızgara sistemine oturtulduğunda oluşan birimlerin Sultanhanı mukarnasının dört parça ızgara sistemi üzerine oturtulduğunda oluşan birimlerle aynı olduğu görülmektedir (Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20).



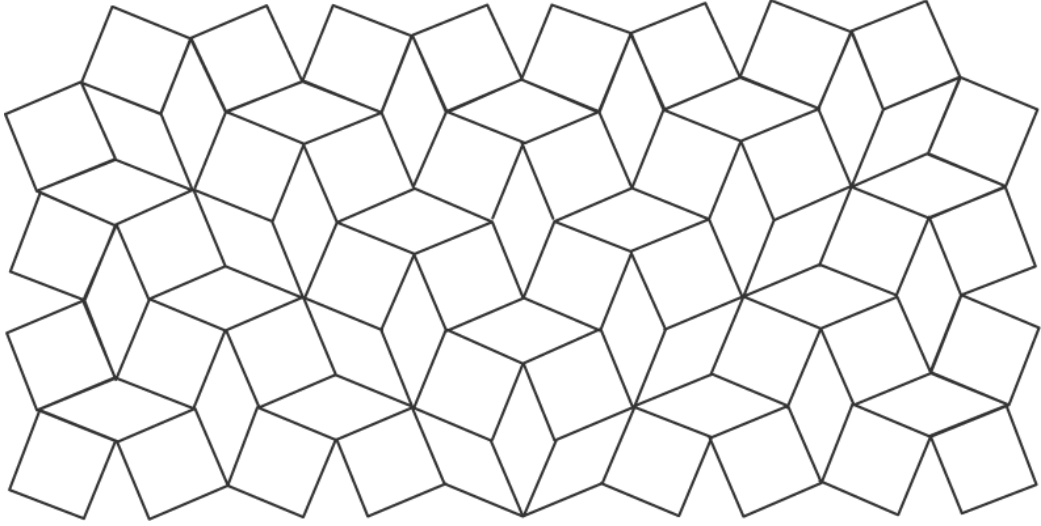
Şekil 4.16 Snub örüntüsünün oluşumu



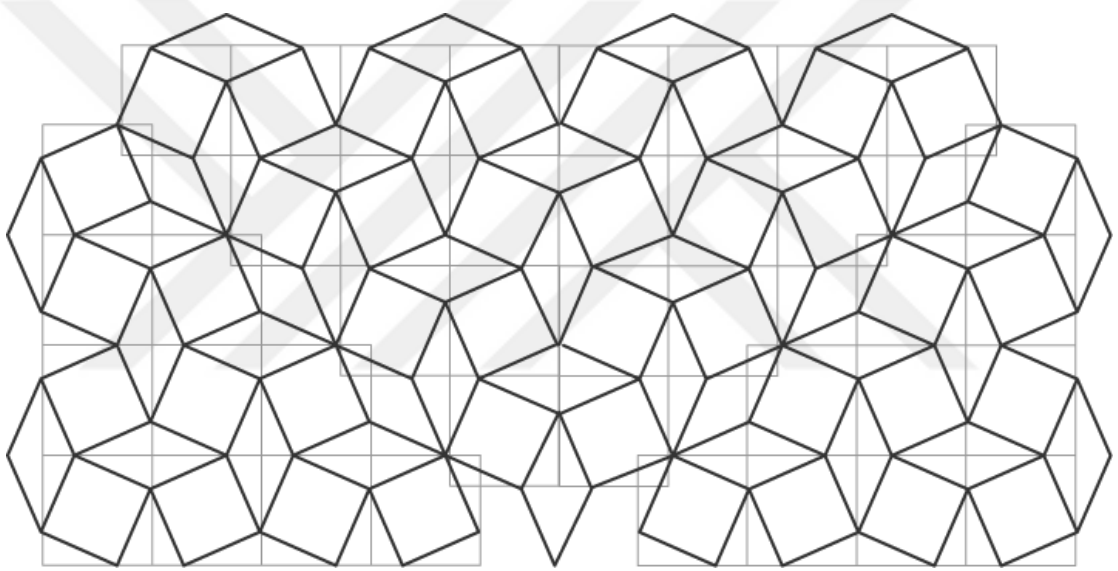
Şekil 4.17 Snub örüntüsünün ızgara sistemine yerleşimi



Şekil 4.18 Sultanhanı iç kapı mukarnasında belirlenen örüntü



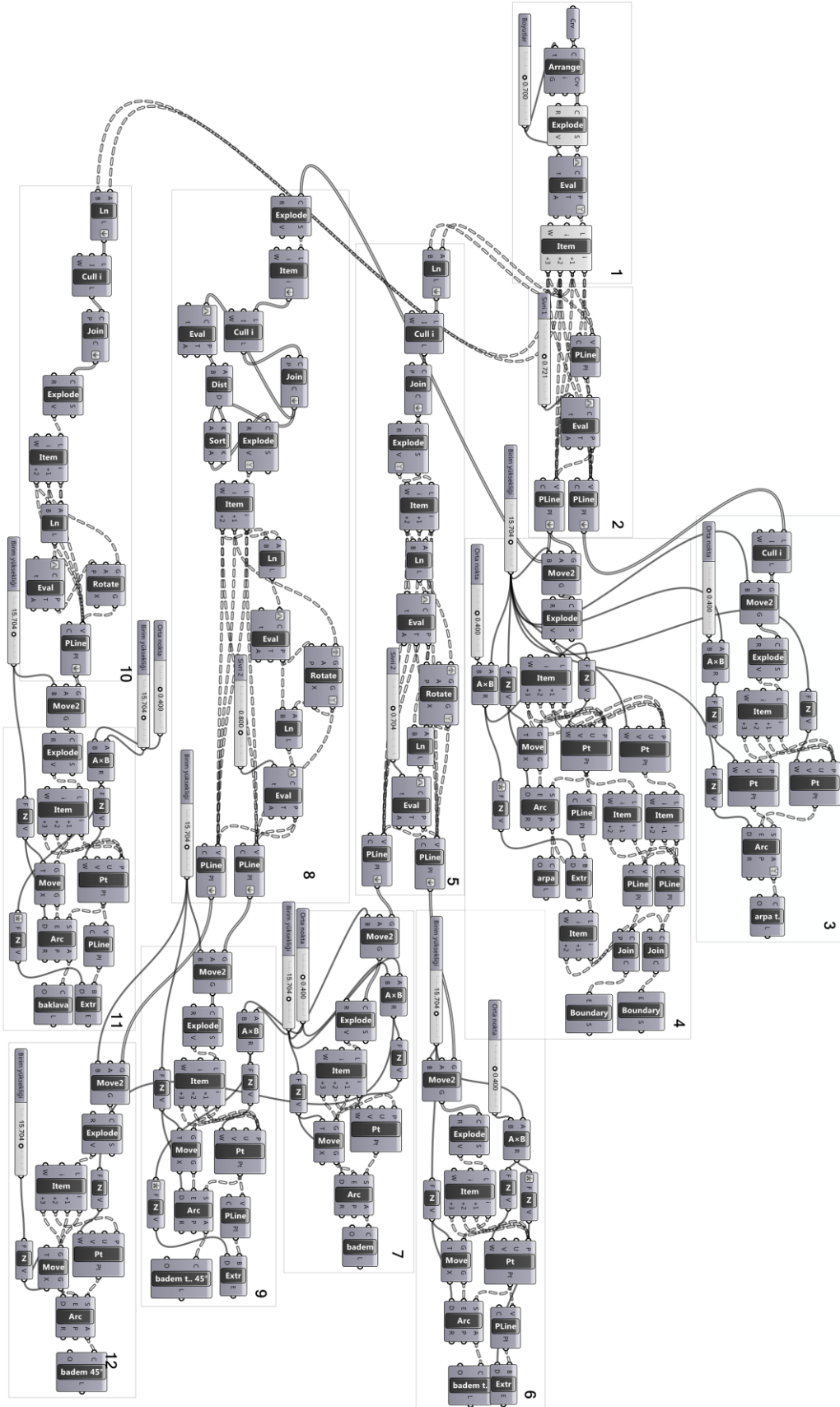
Şekil 4.19 Sultanhanı iç kapı mukarnası snub kare örüntüsü



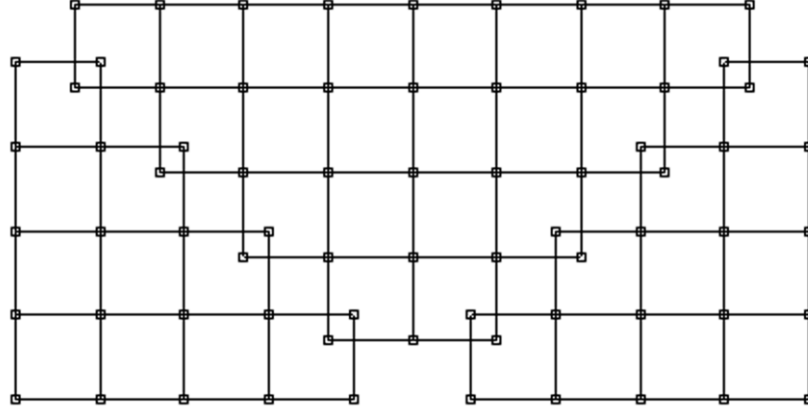
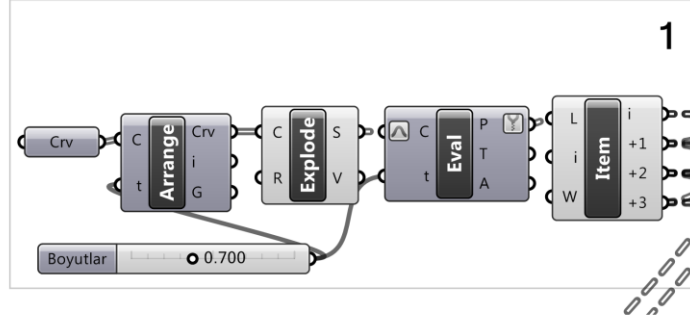
Şekil 4.20 Sultanhanı mukarnası snub kare örüntülerinde oluşan ızgara sistemleri

4.6.2 Sultanhanı İç Kapı Mukarnas Tasarımı Denemesinin Grasshopper'a Aktarımı

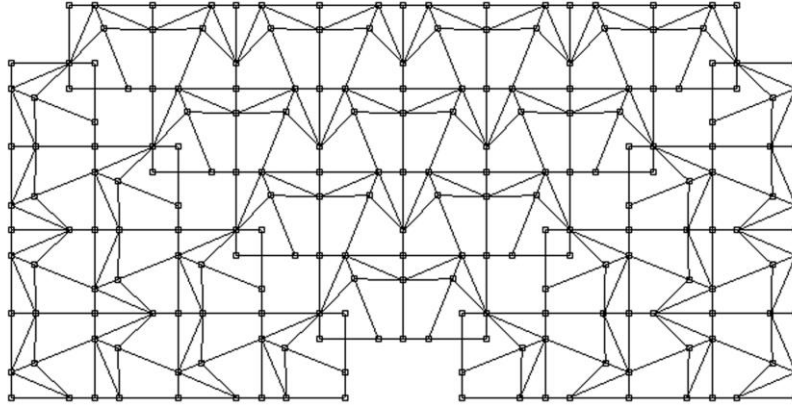
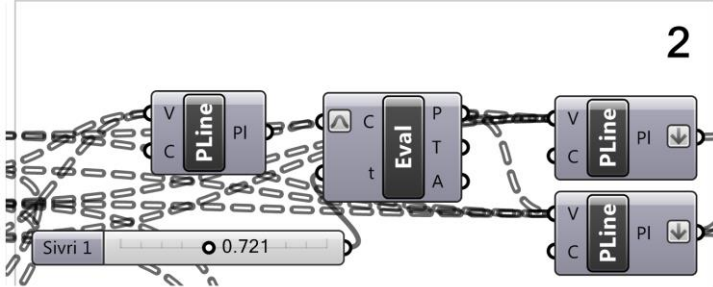
Dört parçalı ızgara sistemi üzerinde Snub kare örüntüsünün kurulmasıyla mukarnas tasarımının grasshoper ortamında üretilmesi sağlanmaktadır (Şekil 4.21). Izgara sistemindeki karelerin üzerine yerleştirilen kare modülü köşe noktalarının belirlenmesi (Şekil 4.22) ile arpa tamamlayan modülünün oluşturulabilmesi için karenin kenarları üzerinde belirlenen iki nokta ile köşegeni üzerinde başka bir nokta belirlenerek bu noktadan kenarlar üzerindeki çizgiler eklenmektedir.



Şekil 4.21 Sultanhanı iç kapı mukarnasının Grasshopper'a aktarımı

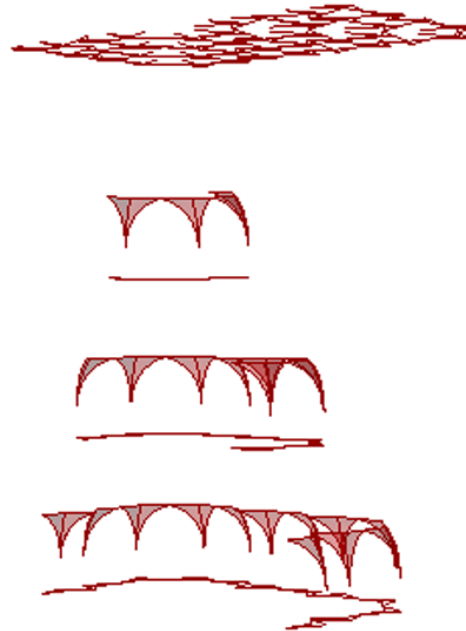
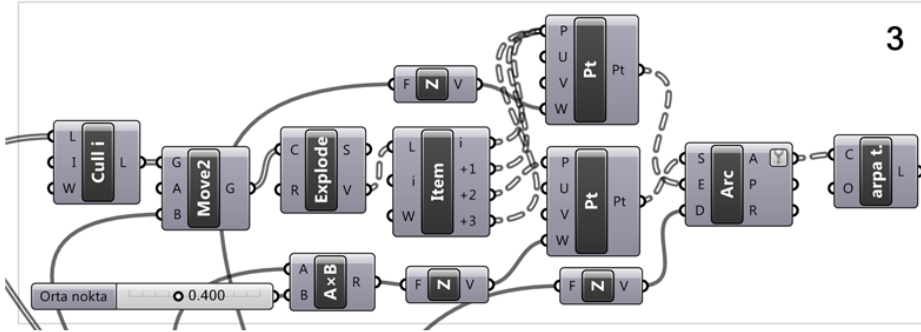


Şekil 4.22 Izgara sistemi üzerinde noktaların belirlenmesi



Şekil 4.23 Arpa tamamlayan modülünün oluşumu

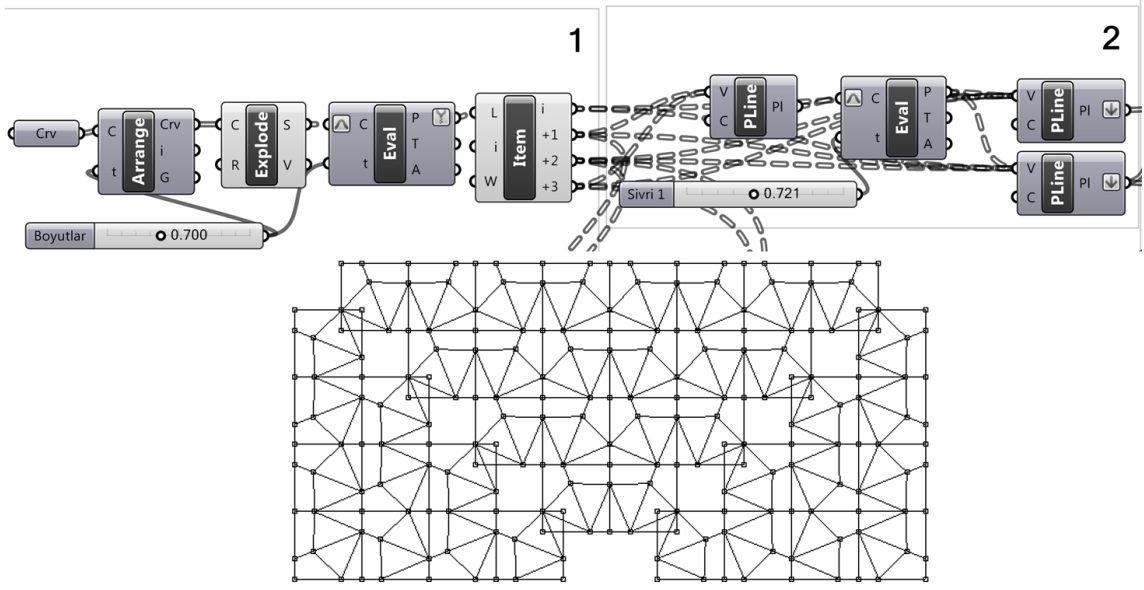
Modüllerin oluşumu sonrası katmanların belirlenmesi move komutuna girilen değerlerle olmaktadır. Oluşan katmanlar üzerinde belirlenen noktalar ile eğimli çizgiler oluşturularak yüzeyler birleştirilmektedir ve "loft" komutu ile arpa tamamlayan modüllerinin yüzeyleri oluşturulmaktadır (Şekil 4.24).



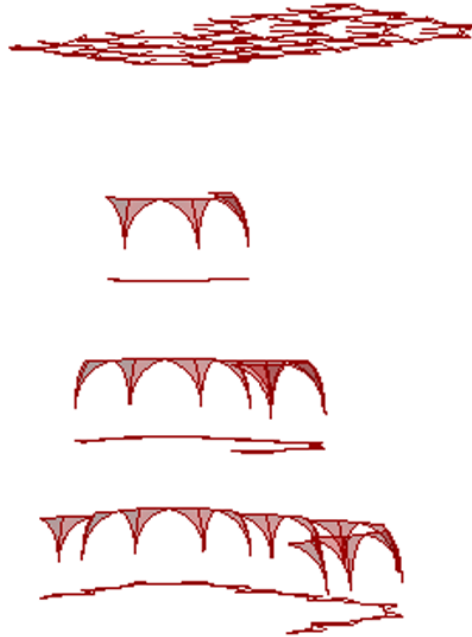
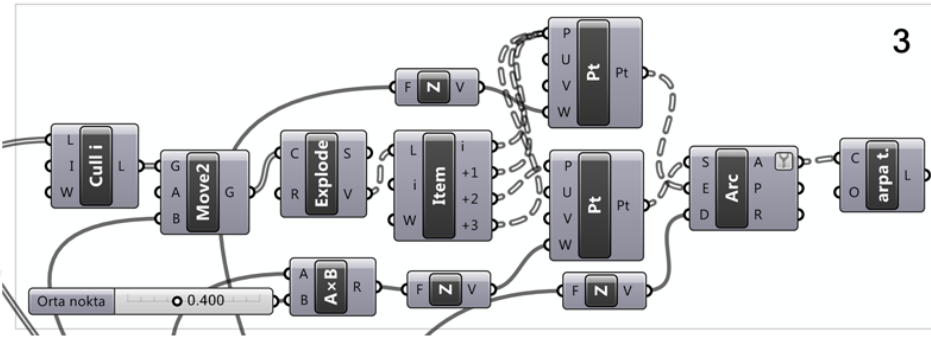
Şekil 4.24 Arpa tamamlayan katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması

Arpa tamamlayan modülü gibi arpa tanesi modülü de karenin modülünün köşegeni üzerinde belirlenen nokta ile kare kenarları üzerindeki üç noktadan çizgiler eklenerek oluşturulmaktadır (Şekil 4.25).

Modüllerin oluşumu sonrası arpa tamamlayan modülünün oluşumdaki gibi katmanların belirlenmesi move komutuna girilen değerlerle olmaktadır. Oluşan katmanlar üzerinde belirlenen noktalar ile eğimli çizgile oluşturularak yüzeyler birleştirilmektedir ve "loft" komutu ile arpa tanesi modüllerinin yüzeyleri oluşturulmaktadır (Şekil 4.26).

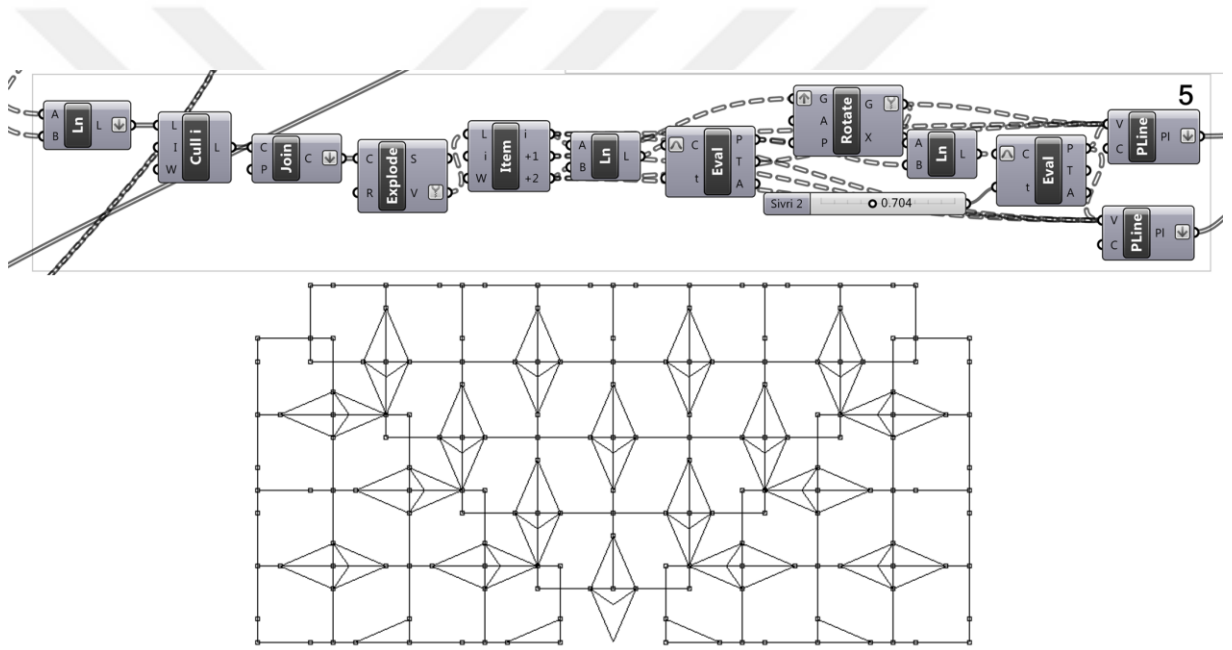


Şekil 4.25 Arpa tanesi modülünün oluşumu



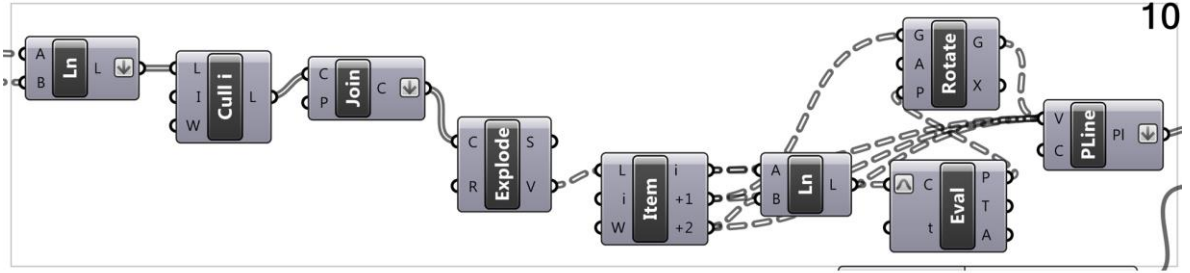
Şekil 4.26 Arpa tanesi katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması

Kare modüllerinin tamamlanmasıyla snub örüntüsündeki üçgen modüllerinin yani mukarnas tasarımındaki baklava dilimi modüllerinin oluşumu gerçekleşmektedir. Şekil 4.27 ve 4.29 'da badem ve badem tamamlayan modüllerinin oluşumu sağlanırken, Şekil 4.28 'de sadece baklava modüllerinin oluşumu sağlanmaktadır. Badem ve badem tamamlayan modüllerinin oluşabilmesi için yine kare kenarları üzerinde belirlenen noktaların dış kısmında kalan çizgiler ile yan kenarlar oluşturulmaktadır (Şekil 4.27), sonrasında oluşan üçgenin taban kenarı çizgisi oluşturulduğunda da bu çizgi üzerinde belirlenen orta nokta simetrisi ile hem simetrik üçgenin oluşumunu sağlar hem de simetrik üçgenin tepe noktası ile birlikte dik çizgi oluşturularak badem modüllerinin içte oluşan sivri kısmının noktasının belirlemektir.

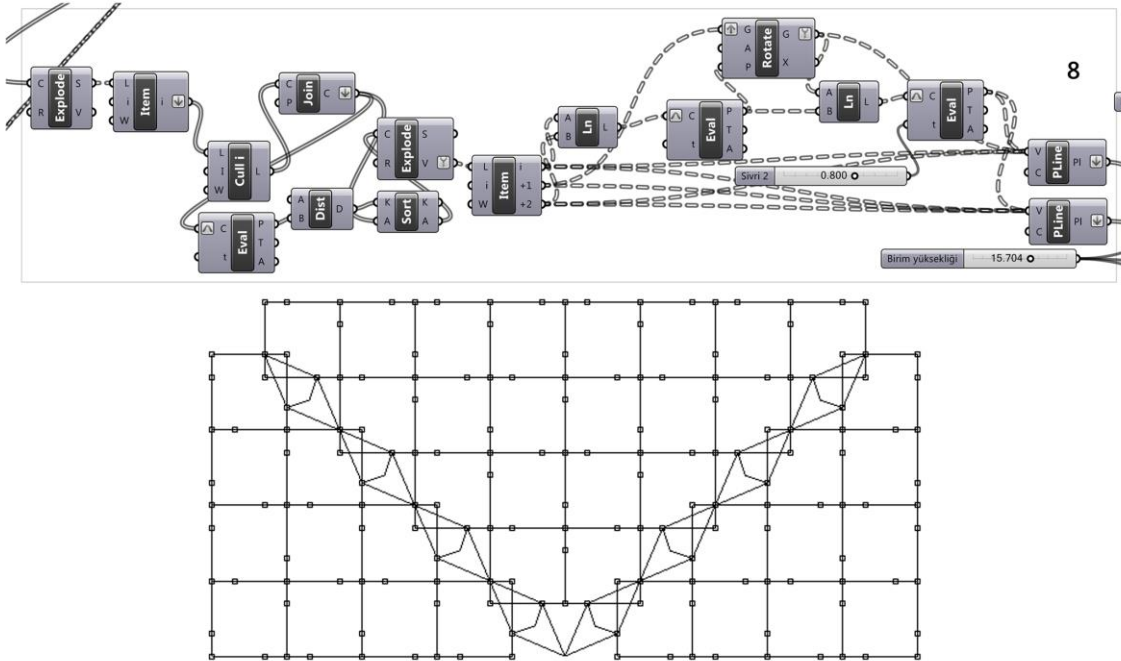


4.27 badem ve badem tamamlayan modülünün oluşumu

Şekil 4.20 incelendiğinde ızgara sisteminde oturmaya uygun olmayan üçgenler yani mukarnasın 45° lik açı yaptığı akslarda oluşan badem ve badem tamamlayan modülleri görülmektedir (Şekil 4.29). Bu şekiller snub kare örüntüsüne dahil olmadığı için Şekil 4.28 'de oluşturulan baklava dilimi modüllerinin oluşturulurken belirlenen noktaların dış tarafı olarak kabul edilen çizgilerle snub kare örüntüsüne dahil olmayan bu modüllerin oluşturulabileceği gözlemlenmektedir (Şekil 4.29).

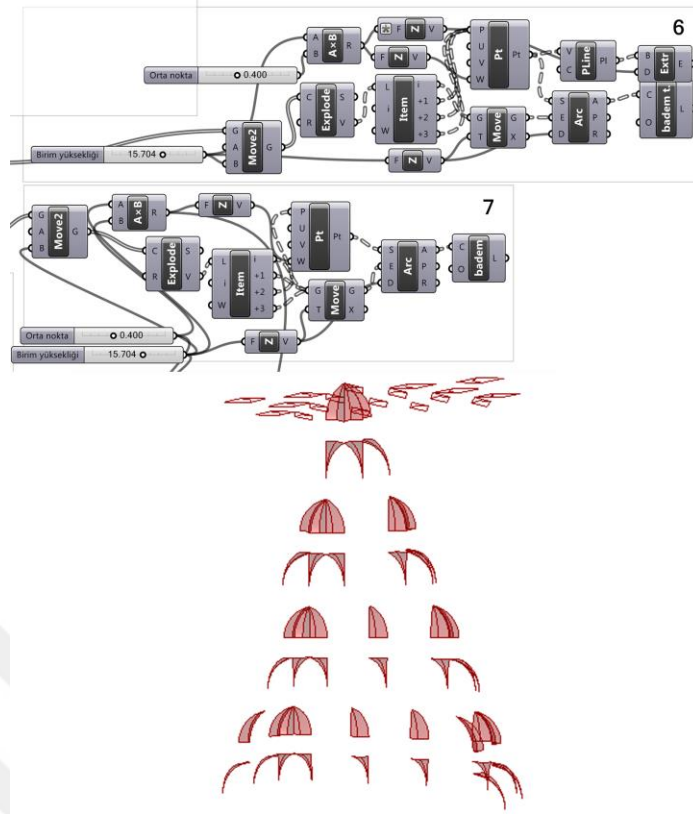


4.28 Baklava dilimi modülünün oluşumu



Şekil 4.29 Örüntüye dahil olmayan badem ve badem tamamlayan modülleri

Modüllerin oluşumu sonrası diğer modüllerin oluşumdaki gibi katmanların belirlenmesi move komutuna girilen değerlerle olmaktadır. Oluşan katmanlar üzerinde belirlenen noktalar ile eğimli çizgile oluşturularak yüzeyler birleştirilir ve loft komutu ile badem ve baklava modüllerinin yüzeyleri oluşturulmaktadır (Şekil 4.30).

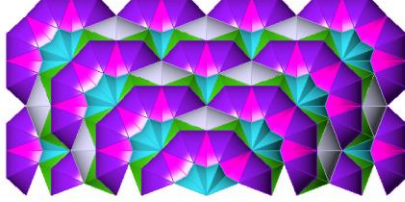
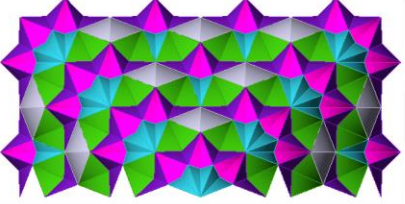
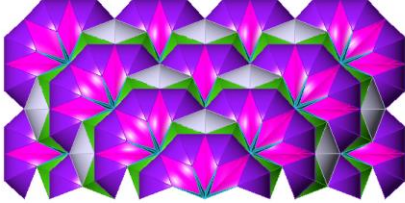


4.30 Badem ve baklava dilimi katmanları oluşumu ve modülün tamamlanması

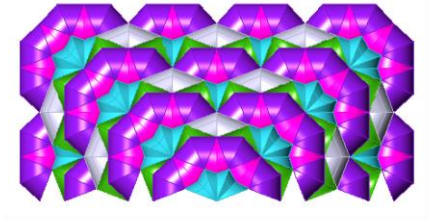
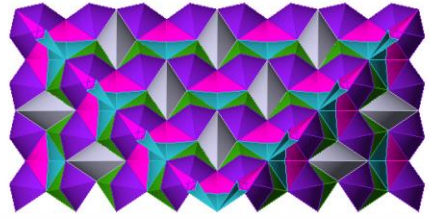
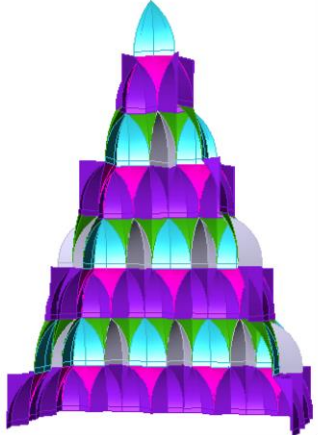
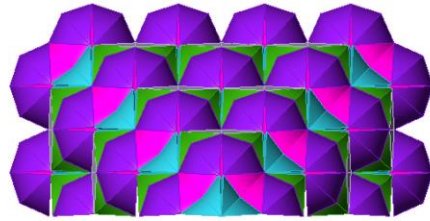
4.6.3 Parametrelerin Değiştirilmesi ile Oluşan Yeni Mukarnas Denemeleri

İkinci bölümde açıklanan mukarnas izdüşümleri ve modüllerinin oluşturulması sırasında bazı parametrelerin kullanıldığı ve bu parametrelerinde üçüncü bölümde çalışmalarından bahsedilen araştırmacılar tarafından farklı denemelerde kullanılarak yeni mukarnaslar üretildiği görülmektedir. Bu aşamada grasshopperda bahsedilen parametreler ile üretimi sağlanan Sultanhanı iç kapı mukarnası öncelikle geleneksel hali ile ele alınmaktadır, sonrasında belirlenen parametreler değişimler incelenmektedir. Parametrelerin ilki modüllerin yerinin belirlendiği "boyutlar" parametresidir. Sonrasında kare ve baklava dilimi modüllerinin ayrılmasıyla oluşan badem ve arpa modülü gruplarının oluşumunu sağlayan noktanın girildiği parametreler "Sivri 1 ve Sivri 2" noktası olarak adlandırılmıştır ve diğer parametre ise mukarnasa yükseklik veren ve "birim yüksekliği" olarak adlandırılan parametredir. Bunun yanı sıra eğimli çizginin eğimi ve yüksekliğini belirleyen bir diğer parametre ise "orta nokta" olarak belirlenerek bu parametrelerin yol açtığı değişimler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Mukarnas Denemelerinin Parametre Değişimleri

PARAMETRELER	İKİ BOYUTLU ÖRÜNTÜ	ÜÇ BOYUTLU MODEL
BOYUTLAR: 0.72 SİVRİ 1: 0.72 SİVRİ 2: 0.87 ORTA NOKTA: 0.4 (SULTANHANI MUKARNASI)		
BOYUTLAR: 0.72 SİVRİ 1: 0.30 SİVRİ 2: 0.87 ORTA NOKTA: 0.1		
BOYUTLAR: 0.72 SİVRİ 1: 0.72 SİVRİ 2: 0.2 ORTA NOKTA: 0.4		

Çizelge 4.1 Mukarnas Denemelerinin Parametre Değişimleri (devamı)

PARAMETRELER	İKİ BOYUTLU ÖRÜNTÜ	ÜÇ BOYUTLU MODEL
BOYUTLAR: 0.72 SİVRİ 1: 0.72 SİVRİ 2: 0.87 ORTA NOKTA: 0.7		
BOYUTLAR: 0.4 SİVRİ 1: 0.72 SİVRİ 2: 0.87 ORTA NOKTA: 0.1		
BOYUTLAR: 0.95 SİVRİ 1: 0.72 SİVRİ 2: 0.87 ORTA NOKTA: 0.1		

SONUÇ VE İLERİ ÇALIŞMALAR

Üçüncü bölümde sayısal ortamda yapılan çalışmalar incelendiğinde geleneksel mukarnasın birebir üretimi üzerinde yapılan denemenin Mansouri'nin [19] parametrik mukarnas denemesi olduğu gözlemlenmektedir. Diğer denemelerde ise mukarnas tasarımı ve yapım aşamasında kullanılan elemanlar analiz edilmiş, farklı denemeler yapıldığı görülmektedir. Araştırmacıların ele aldığı bazı parametreler Sultanhanı iç kapı mukarnası üzerinde kullanılmaktadır. Örneğin, Hamakasi [5] ve Yaghan [17] mukarnası "katmansal" olarak incelemiş ve tezin son bölümünde bu analizleri "birim yüksekliği" ve "orta nokta" parametreleri olarak ele alınmaktadır. Yine Yaghan [16] ve [17] mukarnasın izdüşümde oluşabilecek düzensizliğini ve eğimli çizgi elemanlarını incelemektedir. "Boyutlar", "Sivri 1" ve "Sivri 2" parametreleri de bu araştırmalardan esinlenerek Sultanhanı iç kapı mukarnası modüllerine uygulanmaktadır. Ayrıca araştırmanın belli bir seviyede kalabilmesi için Sultanhanı iç kapıdaki içbükey yapının bozulmadan daha kontrollü bir tasarım olarak ortaya çıkması hedeflenip, geleneksel Sultanhanı iç kapı mukarnası ile yeni denemelerin parametrelerinin analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

Mukarnas yapısının derin bir matematik ve geometri bilgisi olmadan uygulanabilecek bir tasarım olmadığı ve izdüşümde gözlenen geometrik örüntünün üç boyuta aktarılmasının geometrik kurallara bağlı olarak görsel düşünceyle tasarımcının ve taş ustasının çözebildiği bir dil olduğu gözlemlenmektedir. Birkaç eskiz çizimi dışında geleneksel mukarnas ile ilgili orijinal bir yazılı kaynak bulunmamakta, bu konudaki

bütün bilgi ve araştırmalar sonradan yapılan geometrik analizlere dayanmaktadır. Bu da günümüzde araştırma yapan kişilerin farklı yorumlar yapmasını, mukarnas tasarımı ile ilgili yapılan analizlerin ve yorumların çeşitlilik içermesine neden olmuştur. Bu çeşitlilik mukarnasın matematiksel zenginliğinin ortaya çıkmasını da sağlamaktadır, geleneksel mukarnas tasarımının içerdii matematiksel altyapı sayesinde, yeni mukarnas yorumları üreten araştırmaların parametrik olarak kontrol edilebilen tasarım sistemlerini kolayca oluşturabildikleri görölmektedir. Görsel düşünce gereksiniminin dijital sunum ile kolaylaştırılması ve yeni tasarımların belirlenen kurallarla üretilmesi mukarnas tasarımlarına başka boyutlar kazandırmıştır. Geleneksel mukarnas ve yeni mukarnas denemeleri ile ilgili yapılan araştırmalar da dikkate alınarak mukarnasın mantığı çözümlenmiş ve mukarnas öğeleri birer parametre olarak düşünölmüştür. Bu aşamada, Aksaray Sultanhanı iç kapı mukarnası ele alınarak, mukarnas modöllerinin kullanımının belli bir örüntüye bağlı olduğu fark edilip Sultanhanı iç kapı mukarnası üzerinden analizler yapılmıştır. Modöllerin sayısal ortamda geleneksel iç kapı mukarnas tasarımına göre üretilip, yapılan analizler sonucu ortaya çıkan parametreler üzerinden denemeler yapılmıştır. Burada kullanılan parametrelerin değişimi ile iç kapı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Böylece dijital ortamdaki bu çalışma farklı malzemeler ve farklı parametreler ile üretimleri amaçlanan mukarnas çalışmaları için bir ön çalışma oluşturmuştur. Sayısal ortam, tasarımın yapım ve üretim aşamasından önce tasarım üzerinde belirlenen özelliklerin test edilebildiği araçlar sunmaktadır. Örneğin malzeme kullanımı, birleşim detayları gibi bileşenler yapım aşamasına geçilmeden önce sayısal ortamda test edilerek çözümlenebilmektedir. Sultanhanı mukarnası üzerinde yapılan bu çalışma ile mukarnas tasarımına bakış açısını genişletme amaçlı bir adım atılmıştır.

Tez çalışmaları sonucunda elde edilen parametrik modelin geliştirilme olanakları aşağıdaki gibidir;

- Restorasyon ve mimarlık tarihi araştırmalarında hem görsel hesaplama yetisini kolaylaştırma hem de üretim aşamasına geçilmeden yapılabilecek hataları tasarım sürecinde önleyebilmek amaçıyla parametrik modeller geliştirilerek farklı mukarnas tasarımları üzerinde uygulanabilir.
- Mimarlık eğitiminde geometrik birim kullanımı, örüntü çözümleme, izdüşümden üç boyuta geçiş ve görsel hesaplama kabiliyetinin geliştirilme

amacıyla parametrik modelin farklı örüntüler ile de çalıştırılabilmesi sağlanarak geliştirilebilir. Geleneksel mukarnas örüntülerinin yanı sıra yeni örüntüler ve yeni mukarnas tasarımları üretilebilir.

- Tasarımcılar, elde edilen parametrik tasarımın geliştirilmesi ile farklı tasarımlar üretebilir, içbükey forma sahip parametrik tasarımı farklı mekanlarda ihtiyaç duyulan formlara göre şekillendirebilir.



KAYNAKLAR

- [1] TDK, (1945). Büyük Türkçe Sözlük, TDK, 11. Baskı, Ankara.
- [2] Samplonius,Y.D.,(1992). "Practical Arabic Mathematics : Measuring Muqarnas by Al-Kashi", Centaurus, 35:193-242.
- [3] Bloom, J.M., (1988). "The Introduction of the Muqarnas into Egypt", Muqarnas, 5:21-28.
- [4] Michell, G., (1978). Architecture and Islamic World-Its History and Social Meaning, First Edition, Thames&Hudson, China.
- [5] Hamekasi, N., (2013). "Interactive Design of Muqarnas", Yüksek Lisans Tezi, Calgary Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Alberta.
- [6] TDV, (2006). Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi: Muhammediyye-Münazara, TDV, I. Baskı, Ankara.
- [7] Ödekan, A., (1977). Osmanlı Öncesi Anadolu Türk Mimarisinde Mukarnaslı Portal Örtüleri, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Shiro, T., Muqarnas: A Three-Dimensional Decoration of Islam Architecture, <http://www.shiro1000.jp/muqarnas/img/table3.gif>, 7 Ocak 2014.
- [9] Notkin, I.I., (1995). "Decoding 16th Century Muqarnas Drawing", Muqarnas, 12:148-171.
- [10] Grabar, O., (1980). " Symbols and Signs in Islamic Architecture"; Derleyen: Holod, R. ve Rastorfer, D., (1983). Architecture and Community , I.Baskı, Aga Khan Award for Architecture, New York.
- [11] Tabbaa, Y., (1985). "The Muqarnas Dome: Its Origin and Meaning",Muqarnas, 3:61-74.
- [12] Samplonius, Y.D. ve Harmsen S.L., (2005) "The Muqarnas Plate Found at Takht-i Sulayman: A New Interpretation", Muqarnas, 22:85-94.
- [13] Yaghan, M.A.J., (2000). "Decoding the Two-Dimensional Pattern Found at Takht-i Sulayman into Three-Dimensional Muqarnas Forms", Iran, 38:77-95.
- [14] Özduval, A., (1990). "Giyaseddin Jemshid El-Kashi and Stalactites", METU JFA, 10:31-49.

- [15] Harmsen, S., (2006). Algorithmic Computer Reconstructions of Stalactite Vaults Muqarnas in Islamic Architecture, Doktora Tezi, Doğa Bilimleri ve Matematik Fakültesi, Heidelberg.
- [16] Yaghan, M.A.J., (2010). "The Evolution of Architectural Forms Through Muqarnas", Electronic Visualisation and the Arts, 5-7 July 2010, London.
- [17] Yaghan, M.A.J., (2001). "The Muqarnas Pre-designed Erecting Units: Analysis, Definition of the Generic Set of Units, and a System of Unit-Creation as a New Evolutionary Step", Architectural Science Review, 44 (3):297-318.
- [18] Dan, O., An Islamic Space Enclosing System Muqarnas, http://ensightful.com/muqarnas/index.html#, 10 Ocak 2016.
- [19] Issuu, Parametric Modeling of Muqarnas, https://issuu.com/m.mansouri/docs/final_version, 3 Mart 2014.
- [20] Archinect Features, Student Works: StalacTile, Tesselated Manifolds, <http://archinect.com/features/article/100296/student-works-stalacTile-tesselated-manifolds>, 10 Ocak 2016.
- [21] Zaad Studio, Dynamic Muqarnas, <http://www.zaadstudio.com/dynamic-muqarnas/>, 10 Ocak 2016.
- [22] Shiro, T., Muqarnas: A Three-Dimentional Decoration of Islam Architecture, <http://www.shiro1000.jp/muqarnas/default-.htm>, 7 Ocak 2014.
- [23] Shiro, T., Muqarnas: A Three-Dimentional Decoration of Islam Architecture, <http://www.shiro1000.jp/muqarnas/data/448/448c-.gif>, 7 Ocak 2014.
- [24] Shiro, T., Muqarnas: A Three-Dimentional Decoration of Islam Architecture, <http://www.shiro1000.jp/muqarnas/data/2121/2121a-.gif>, 7 Ocak 2014.
- [25] 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", ACSA Fall Conference, 27-29 September 2012, Philadelphia.
- [26] Ödekan, A., (1975). Bir Mukarnaslı Portal Kubbesi Geometrik Semadan 3. Boyuta Geçiş Örneği, 2. Basım, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara.
- [27] Hoeven S. V.D. ve Veen M.V.D., (2010). "Muqarnas Mathematics in Islamic Arts", Seminar Mathematics in Islamic Arts, 2010, Hollanda.
- [28] Hamesaki, N., Samavati, F.F. ve Nasri, A., (2011). "Interactive Modeling of Muqarnas", Proceedings of the International Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging, 5-7 August 2011, Vancouver.
- [29] John, M. S., Photos by John Sullivan Muqarna Ceilings, <http://torus.math.uiuc.edu/jms/Photos/03/JulE/Alhambra/muqarna.html>, 15 Şubat 2016.
- [30] Yaghan, M.A.J., (2005). "Self-Supporting 'Genuine' Muqarnas Units", Architectural Science Review, 48 (3): 245-255.

- [31] Archdaily, Innovative Prototyping at Dynamic Fields- Responsive Architecture Workshop Results, <http://www.archdaily.com/421143/innovative-prototyping-at-dynamic-fields-nil-responsive-architecture-workshop-results>, 11 Ocak 2016.
- [32] Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, Hanlar ve Kervansaraylar, <http://www.aksaraykulturturizm.gov.tr/TR,63658/hanlar-ve-kervansaraylar.html>, 17 Şubat 2016.
- [33] Hürriyet, Tarihi Halının Restorasyonu Sultanhanı'nda Yapıldı, http://www.hurriyet.com.tr/yerel-haberler/aksaray-haberleri/tarihi-halinin-restorasyonu-sultanhani-nda-yapi_12994, 17 Şubat 2016.
- [33] Wikipedia, Snub Square Tiling, https://en.wikipedia.org/wiki/Snub_square_tiling, 22 Aralık 2016.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sevde Gülizar Dinçer
Doğum Tarihi ve Yeri : 12/06/1989 KONYA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sevdeboztepe@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Mimari Tasarım	Yıldız Teknik Üniversitesi	Halen
Lisans	Mimarlık	İzmir Ekonomi Üniversitesi	2012
Lise	Sayısal	Karatay Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-Halen	Horus Mimarlık	Mimar
2013-2012	Korfalı Mimarlık	Mimar