



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

**İÇ MEKAN GÜNIŞİĞİ VE AKUSTİK
PERFORMANSINA KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ
MUKARNASIN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENES YILDIZ

İSTANBUL, 2021



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

**İÇ MEKAN GÜNIŞİĞİ VE AKUSTİK
PERFORMANSINA KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ
MUKARNASIN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENES YILDIZ
(180251001)**

**Danışman
(Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ)**

İSTANBUL, 2021

[19/01/2021]

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

[İç Mimarlık Anabilim] Dalı'nda [180251001] numaralı [Enes YILDIZ'ın] hazırladığı ["İç Mekan Işık ve Akustik Performansına Süslemelerin Etkisi"] konulu [Yüksek Lisans] tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, [19/01/2021] [Salı] günü saat [14 :00] 'da yapılmış, sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin [KABULÜNE] karar verilmiştir.

Düzeltilme verilmesi halinde:

Adı geçen öğrencinin Tez Savunma Sınavı [./././20..] tarihinde, saat [.:.].] da yapılacaktır.

Tez Adı Değişikliği Yapılması Halinde: Tez adının [İç Mekan Güneşliği ve Akustik Performansına Kubbe Geçiş Elemanındaki Mukarnasın Etkisi] şeklinde değiştirilmesi uygundur.

Jüri Üyesi	Tarih	İmza
(Danışman) [Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ]	[19/ 01/2021]	[Kabul]
[Dr. Öğr. Üyesi Serdar AYDIN]	[19/ 01/2021]	[Kabul]
[Dr. Öğr. Üyesi Hakkı Can ÖZKAN]	[19/ 01/2021]	[Kabul]

BEYAN/ ETİK BİLDİRİM

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

Enes YILDIZ
İmza

İÇ MEKAN GÜNIŞIĞI VE AKUSTİK PERFORMANSINA KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ MUKARNASIN ETKİSİ

Enes YILDIZ

ÖZET

Bu çalışmada kubbe geçiş elemanındaki mukarnasların iç mekandaki günüşiğı ve akustik performansına etkisi ölçülmüştür. Bu ölçüm için seçilen hamam bölümünün mukarnaslı ve mukarnassız halinin günüşiğı ve akustik simülasyonları yapıp, aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca belirlenen günüşiğı ve akustik hedeflerine yönelik mukarnasların optimizasyonu yapılmıştır. Alan çalışması için Bursa'da bulunan Tavuk Pazarı Hamamı'nın kadınlar kısmının ılıklik bölümü seçilmiştir.

İlk önce, hamamın kadınlar ılıklik bölümünün fotogrametri yöntemi ile modeli oluşturulmuş, daha sonra bu model referans alınarak bölümün parametrik modeli oluşturulmuştur. Fotogrametri yöntemi için Agisoft programı kullanılmış, parametrik model oluşturulması için ise görsel kodlama dili kullanılmıştır. Daha sonra hamam bölümünün günüşiğı ve akustik simülasyonları veriler arasında parametrik ilişkilerin kurulmasını sağlayan kütüphaneler kullanılarak yapılmıştır. Mukarnas optimizasyonu kısmında ise iki deneme yapılmıştır. Birinci deneme Rhino Grasshopper içerisindeki Octopus eklentisi ile, ikinci deneme ise Galapagos komutu ile yapılmıştır.

Çalışmada yapılan mukarnaslı ve mukarnassız modellerin karşılaştırması sonucunda, mukarnasların iç mekandaki günüşiğı ve akustik performansına etkisi olduğu görülmüştür. Optimizasyon çalışması sonucunda ise belirlenen hedeflere göre çeşitli mukarnas varyasyonları bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Parametrik Mukarnas, Kubbe Geçiş Elemanı, Günüşiğı Analizi, Akustik Analizi, Optimizasyon, İç Mekan Performansı

THE EFFECT OF MUQARNAS IN THE DOME TRANSITION ELEMENT ON THE INDOOR DAYLIGHTING AND ACOUSTIC PERFORMANCE

Enes YILDIZ

ABSTRACT

In this study, the effect of muqarnas in the dome transition element to the indoor daylighting and acoustic performance was measured. For this measurement, daylighting and acoustic simulations of the bath (hammam) with and without muqarnas were made. Then, comparisons were made between the results. In addition, optimization of muqarnas geometry was made according to the determined daylighting and acoustic objectives. The tepid room of the women's section of the Tavuk Pazari Bath in Bursa was chosen for the field study.

First, the model of the section of the bath was created by photogrammetry method, and then the parametric model of the section was created. The Agisoft program was used for the photogrammetry method, and Rhino and Grasshopper program were used to create the parametric model. Then, daylighting and acoustic simulations were made using Honeybee, Ladybug and Pachyderm programs. Moreover, two optimization tests were made in the optimization section of the thesis. The first test was made with Octopus program and the second test was made with Galapagos program.

As a result of the comparison of the models with and without muqarnas, it has been observed that muqarnas have an effect on the daylighting and acoustic performance of the interior space. Moreover, various muqarnas variations were created according to the determined objectives.

Keywords: Parametric Muqarnas, Dome Transition Element, Daylighting Analysis, Acoustic Analysis, Optimization, Performance of Interior Space

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tüm sürecinde ve daha öncesinde, bu sürecin yöntemli ve disiplinli geçmesini sağlayan, çalışmalarımnda yardımcı olan, ilgisini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Aslı AĞIRBAŞ'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca bir çok konuda desteğini esirgemeyen eşime ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Enes YILDIZ
İmza

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. HİPOTEZ.....	2
1.2. TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ.....	3
1.3. KAPSAM.....	3
1.4. YÖNTEM.....	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. KUBBE GEÇİŞ ELEMANLARI.....	4
2.2. GÜNIŞIĞI ÖLÇÜM PARAMETRELERİ.....	7
2.2.1. Günişığı Otonomisi (<i>Daylight Autonomy, DA</i>).....	7
2.2.2. Sürekli Günişığı Otonomisi (<i>Continuous Daylight Autonomy, cDA</i>).....	7
2.2.3. Faydalı Günişığı Aydınlığı (<i>Useful Daylight Illuminances, UDI</i>)... 7	
2.3. AKUSTİK ÖLÇÜM PARAMETRELERİ.....	8
2.3.1. Yansıım Süresi (<i>Reverberation Time, RT</i>).....	8
2.3.2. Erken Sönümleme Süresi (<i>Early Decay Time, EDT</i>).....	10
2.3.3. Berraklık (<i>Speech Clarity</i>).....	11
2.3.4. Konuşma İletim Katsayısı (<i>Speech Transmission Index, STI</i>).....	11
2.4. OPTİMİZASYON.....	12
3. PARAMETRİK MODELİN HAZIRLANMASI.....	13
3.1. TAVUK PAZARI HAMAMI.....	13
3.2. FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİYLE MODELİN OLUŞTURULMASI... 19	
3.3. PARAMETRİK MODELİN HAZIRLANMASI.....	22
3.3.1. Hamam kubbesi (1 numaralı geometri).....	23
3.3.2. Kubbe altındaki mukarnaslar (2 numaralı geometri).....	31
3.3.3. Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistem (3 numaralı geometri). 38	
3.3.4. Kubbe geçiş elemanındaki mukarnaslar (4 numaralı geometri). 41	

3.3.5.	Sekizgendeki mukarnaslar (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) (5 numaralı geometri)	43
3.3.6.	Sekizgendeki mukarnaslar (duvar tarafındaki) (6 numaralı geometri)	47
3.4.	KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ MUKARNASLARIN PARAMETRİZASYONU	51
3.4.1.	Değişkenler ve Sabitler	51
3.4.2.	Parametrik mukarnas varyasyonları	53
4.	İÇ MEKAN GÜNIŐİŐİ VE AKUSTİK PERFORMANSINA KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ MUKARNASIN ETKİŐİ	56
4.1.	GÜNIŐİŐİ PERFORMANSINA MUKARNASIN ETKİŐİ	56
4.1.1.	GüniőİŐ simülasyonu ön hazırlıkları	56
4.1.2.	Mukarnaslı kubbe ile mukarnasız kubbe modellerinin güniőİŐ performanslarının karşılaştırılması	58
4.2.	AKUSTİK PERFORMANSINA MUKARNASIN ETKİŐİ	60
4.2.1.	Akustik simülasyonu ön hazırlıkları	60
4.2.2.	Mukarnaslı kubbe ile mukarnasız kubbe modellerinin akustik performanslarının karşılaştırılması	62
5.	PARAMETRİK MUKARNASIN GÜNIŐİŐİ VE AKUSTİK HEDEFLERİNE GÖRE OPTİMİZASYONU	66
5.1.	BİRİNCİ DENEME	66
5.1.1.	Sabitler, değişkenler ve hedefler	66
5.1.2.	GüniőİŐ arttırma hedefli optimizasyon sonucu	67
5.1.3.	GüniőİŐ azaltma hedefli optimizasyon sonucu	70
5.1.4.	Akustik hedefine göre optimizasyon sonucu	73
5.2.	İKİNCİ DENEME	76
5.2.1.	Sabitler, değişkenler ve hedefler	76
5.2.2.	GüniőİŐ arttırma hedefli optimizasyon sonucu	77
5.2.3.	GüniőİŐ azaltma hedefli optimizasyon sonucu	79
5.2.4.	Akustik hedefli optimizasyon sonucu	81
5.3.	BÖLÜM SONUCU	83
	SONUÇ	85
	KAYNAKÇA	87
	EKLER	93
	ÖZGEÇMİŐ	95

KISALTMALAR

DA	Günüşığı Otonomisi (<i>Daylight Autonomy</i>)
cDA	Sürekli Günüşığı Otonomisi (<i>Continuous Daylight Autonomy</i>)
UDI	Faydalı Günüşığı Aydınlığı (<i>Useful Daylight Illuminances</i>)
RT	Yansışım Süresi (<i>Reverberation Time</i>)
EDT	Erken Sönümlleme Süresi (<i>Early Decay Time</i>)
STI	Konuşma İletim Katsayısı (<i>Speech Transmission Index</i>)
dB	Desibel
Hz	Hertz
HY	Hücre Yüksekliği
HS	Hücre Sayısı
HÇ	Hücre Çıkıntısı
HD	Hücre Detayı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Karenin köşegenini çap kabul eden bir pandantif (Hasol, 1998)	5
Şekil 2.2: Kubbenin örttüğü karenin bir kenarını çap kabul eden bir pandantif (Hasol, 1998)	5
Şekil 2.3: Turan ve Yıldız'ın (2018) kubbe geçiş elemanları sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.4: Yansıma olmayan anlık ses enerjisi ve yansıyan sesin enerji kaybı (Kayılı, 2005)	9
Şekil 2.5: Yansıma süresinin anlaşılabilirliğin üzerindeki maskeleyme etkisi (Kayılı, 2005)	9
Şekil 2.6: RT değerinin farklı fonksiyondaki ve hacimdeki mekanlar için uygun görülen değerleri (Long, 2014)	10
Şekil 2.7: RT ve EDT ölçüm aralığı (Barron, 2010)	10
Şekil 2.8: Konuşmanın anlaşılabilirliği (<i>Speech clarity</i> , C50) (Marshall, 1995)	11
Şekil 3.1: Tavuk Pazarı Hamamı bölümleri [Şehitoğlu'dan (2008) alınarak düzenlenmiştir].....	14
Şekil 3.2: Tavuk Pazarı Hamamı Kesit [Şehitoğlu (2000) T.A.Ç Vakfı'ndan alıntılanmıştır]	14
Şekil 3.3: Erkekler kısmı ılıklik mekan görseli	15
Şekil 3.4: Erkekler kısmı ılıklik ofis olarak kullanılan mekan görseli	16
Şekil 3.5: Erkekler kısmı sıcaklik mekan görseli	16
Şekil 3.6: Kadınlar kısmı ılıklik mekan görseli.....	17
Şekil 3.7: Alçıpan ile kapatılan sıcaklığa geçiş, Kadınlar ılıklik kısmı güncel malzeme durumu ve çayevi olarak kullanımı	17
Şekil 3.8: Kadınlar kısmı sıcaklik mekan görseli	18
Şekil 3.9: Kadınlar kısmı halvet mekan görseli.....	18
Şekil 3.10: Agisoft fotoğraf hizalama paneli.....	20
Şekil 3.11: Agisoft noktasal bulut oluşturma paneli.....	20
Şekil 3.12: Agisoft “Mesh” yüzey oluşturma paneli	20
Şekil 3.13: Agisoft “Texture” oluşturma paneli	21
Şekil 3.14: Agisoft'tan elde edilen “Mesh” görüntü	21
Şekil 3.15: Agisoft'tan elde edilen “Mesh” görüntü	22

Şekil 3.16: Parametrik hamam modeli için numaralandırılan geometrik bölümler...	23
Şekil 3.17: Hamam kubbesinin Grasshopper’da kodlanması	27
Şekil 3.18: Hamam kubbesinin yeniden modellenmesinin Grasshopper’da kodlanması	31
Şekil 3.19: Kubbe altındaki mukarnaların yerleştirileceği yerlerin betiği	34
Şekil 3.20: Kubbe altındaki mukarnaların betiği	37
Şekil 3.21: Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistemin oluşturulması betiği	40
Şekil 3.22: Kubbe geçiş elemanındaki mukarnaların betiği.....	43
Şekil 3.23: Sekizgendeki mukarnaların (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) betiği... 46	
Şekil 3.24: Sekizgendeki mukarnaların (duvar tarafındaki) betiği	51
Şekil 3.25: Mukarnaların parametrize edilmesi için değişkenler.....	52
Şekil 3.26: Modelden kaldırılan mekanlar arası geçiş kısımları.....	53
Şekil 3.27: Hücre yüksekliği değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları	54
Şekil 3.28: Hücre sayısı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları	54
Şekil 3.29: Hücre çıkıntısı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları	55
Şekil 3.30: Hücre detayı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları	55
Şekil 4.1: Günışığı simülasyonu için hamam zemininde oluşturulan ızgaradaki sensör noktaları ve numaralandırması.....	57
Şekil 4.2: Programda girilen alıcı (receiver-1) ve kaynak (source-2) noktaları	60
Şekil 5.1: Günışığı alımını (DA) artırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç.....	77
Şekil 5.2: Günışığı alımını (DA) azaltma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç.....	79
Şekil 5.3: C50 arttırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç.....	81

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: ODEON'da STI parametresi için önerilen değer aralığı (Odeon, 2020)..	12
Tablo 3.1: Hamam kubbesinin parametrik modellemesi	26
Tablo 3.2: Hamam kubbesi modelinin girdi talebine uygun olarak revize edilmesi.	30
Tablo 3.3: Kubbe altındaki mukarnasların yerleştirileceği yerlerin belirlenmesi.....	33
Tablo 3.4: Kubbe altındaki mukarnasların parametrik modellemesi	36
Tablo 3.5: Kubbe altı mukarnasların modellenme aşamalarına genel bakış.....	38
Tablo 3.6: Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistemin oluşturulması	40
Tablo 3.7: Kubbe geçiş elemanındaki mukarnasların parametrik modellemesi	42
Tablo 3.8: Sekizgendeki mukarnasların (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) parametrik modelleme aşamaları.....	45
Tablo 3.9: Sekizgendeki mukarnasların (duvar tarafındaki) parametrik modellemesi	49
Tablo 3.10: Değişken aralıkları.....	53
Tablo 3.11: Sabitler ve değerleri.....	53
Tablo 4.1: Hamamla ilgili veriler (günümüzdeki durumu).....	57
Tablo 4.2: Günışığı analizi simülasyonu için kullanılan ön parametreler.....	58
Tablo 4.3: Mukarnaslı ve mukarnasız modelde günışığı değerleri	58
Tablo 4.4: Mukarnasız ve mukarnaslı hamam günışığı (DA) dağılımı	59
Tablo 4.5: Birinci senaryodaki akustik analizi simülasyonu için belirlenen ön parametreler.....	61
Tablo 4.6: İkinci senaryodaki akustik analizi simülasyonu için belirlenen ön parametreler.....	61
Tablo 4.7: Kocatepe Camii'nde kullanılan farklı malzemelerin ses yutma katsayıları (Sü ve Yilmazer, 2008)	62
Tablo 4.8: Pachyderm yazılımındaki <i>default glass</i> malzemesi (URL-3).....	62
Tablo 4.9: Tarihi kireç sıvanın %80 bağıl nemde 1/3 oktav bandındaki frekans aralıklarında belirlenen ses yutma değerleri (Tavukçuoğlu vd. 2011).....	62
Tablo 4.10: Normal sıvalı mukarnaslı ve mukarnasız modelin RT C50 ve C80 sonuçları (N: 45 dB).....	62

Tablo 4.11: Kireç sıvalı mukarnaslı ve mukarnassız modelin RT, C50 ve C80 sonuçları (N: 45 dB).....	63
Tablo 5.1: Günüşığı ve akustik optimizasyonu denemelerindeki parametreler ve hedefler.....	67
Tablo 5.2: Modeldeki değişkenlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler.	67
Tablo 5.3: Modeldeki sabit değerler	67
Tablo 5.4: Octopus ile günüşığı arttırma sonuçları arasından seçilen noktaların değişken değerleri ve günüşığı değerleri sonuçları.....	69
Tablo 5.5: Octopus ile günüşığı azaltma sonuçları arasından seçilen noktaların değişken değerleri ve günüşığı sonuçları	72
Tablo 5.6: A1 Sonucu	74
Tablo 5.7: A2 Sonucu	75
Tablo 5.8: A3 Sonucu	75
Tablo 5.9: Günüşığı ve akustik optimizasyonu denemelerindeki parametreler ve hedefler.....	76
Tablo 5.10: Yeni durum için belirlenen değişken değerler.....	76
Tablo 5.11: Modeldeki sabit değerler	76
Tablo 5.12: Günüşığı alımını (DA) arttırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen mukarnas modeli	78
Tablo 5.13: Günüşığı alımını (DA) azaltma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen mukarnas modeli	80
Tablo 5.14: Akustik hesaplama sonucu elde edilen mukarnas modeli	82
Tablo 5.15: Mukarnaslı modelin günüşığı performansı sonuçları	83
Tablo 5.16: Birinci deneme ve ikinci deneme optimizasyonları sonucunda elde edilen değerler.....	84

1. GİRİŞ

Mukarnaslar, İslami mimarideki dekoratif elemanlar olarak bilinirler. Mukarnaslar ilk bakışta kompleks bir form olarak algılanmaktadırlar. Ama aslında mukarnaslar basit üç boyutlu geometrik elemanların (hücreler) kullanılmasıyla oluşturulmaktadır (Agirbas and Yıldız, 2020). Mukarnaslar, genellikle, birçok üç boyutlu birimin, yan yana kurallı olarak dizilişi ile oluşturulur. Üç boyutlu hücreler basit kurallarla bir araya geldiklerinde kompleks görünümlü çok farklı formlar oluşturabilmektedirler (Dold-Samplonius 1992; Gherardini and Leali 2016).

Mukarnaslar, ikinci boyutta (mukarnas izdüşüm planlarında), İslami geometrik desenlerin formlarına benzer formlar barındırmaktadırlar. Bunlar geometrik olarak tanımlı desenlerdir. Bu durum, mukarnas planlarının önce iki boyutlu çizilip, daha sonra üçüncü boyuta kaldırıldığını göstermektedir (Agirbas and Yıldız, 2020).

Mukarnaslar süslemelere, saraylarda, camilerde, minarelerde, çeşmelerde, sütunlarda, kervansaraylarda, sıkça rastlanır. Mukarnaslar genellikle, iki farklı geometri arasındaki geçişte kullanılırlar. Örneğin, kolon başındaki mukarnasta, küçük çemberden büyük çembere geçilir, kubbedeki mukarnasta, büyük bir çemberden bir noktaya geçilir (Hamekasi vd. 2011), mukarnas pendantsiflerde dikdörtgen zeminden tonozlu tavana geçilir (Elkhateeb, 2012). Castera (2007) mukarnasların farklı coğrafi bölgelerde farklı malzemelerle (tuğla, taş, ahşap gibi) yapıldığını dile getirmektedir.

Mukarnasla ilgili birçok güncel çalışma yapılmaktadır. Örneğin, Hamekasi vd. (2011), mukarnasdaki katmanları B-Spline üzerinde haritalayarak, katmanlar arasındaki yüksekliklerin kontrollü arttırılıp azaltılmasını sağlamıştır. Elkhateeb (2012) farklı oranlardaki pendantsifteki mukarnaslara yoğunlaşmıştır. Senhaji and Benslimane (2019), mukarnasın iki boyutlu planından üç boyutlu model üreten bir algoritma geliştirmiştir.

Mukarnaslar, yapılarda, ışık gölge oyunları yaratmaktadırlar. Dış mekandaki mukarnaslar, yarattıkları ışık gölge oyunları ile görsel şölen oluşturmaktadırlar. Bunun yanı sıra, iç mekandaki mukarnaslar, iç mekana ışık alımıyla doğrudan ilgili olabilmektedirler. Dold-Samplonius (1992), mukarnasın yarattığı geometrik yüzeyleri kristale benzetir. Ve bu kristalin ışığı kırıldığını ve dolayısıyla ışık ve gölge zıtlıkları yarattığını söyler. Burckhardt (2009) da mukarnasların ışığı kademeli olarak yakaladığına ve yaydığına dikkat çekmektedir. Hamam yapılarında geleneksel olarak mistik bir ortam yapılandırıldığından, mukarnaslı kubbelerin daha da önem teşkil ettiği düşünülebilir.

Tarihi hamamlar yıkanmanın yanı sıra sosyalleşme mekanlarıdır. Bu mekanlarda konuşmalar yapılır, zaman zaman şarkılar söylenir. Bu yüzden hamamlarda akustik önemli bir unsurdur. Bu yüzden, Mahdavi ve Orehounig (2008), Aydın vd. (2008) ve Orehounig ve Mahdavi'nin (2011) çalışmalarında olduğu gibi tarihi hamamların akustik ölçümüne yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ise, tarihi hamamlardaki mukarnasların, akustiğe etkisinin olabileceği de düşünülmüştür. Form ve akustik arasında ilişki olduğu bilinmektedir (Cox and D'Antonio, 2004; Peters, 2009). Bu yüzden, birçok girintisi ve çıkıntısı olan kompleks mukarnas formlarının da iç mekan akustiğine etkisi olabileceği bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

1.1. HİPOTEZ

Bu çalışmanın birinci hipotezi, mukarnaslı hamamlarda, mukarnasların hamamın iç mekan akustik ve günışığı alımı performansına etkisinin olduğudur. Bu hipotezin test edilmesi için, seçilen hamamın, mukarnaslı ve mukarnasız halinin günışığı ve akustik performanslarının karşılaştırılmasının yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın ikinci hipotezi ise, hamam iç mekanlarındaki akustik ve günışığı performansının, parametrik mukarnas ile optimize edilebileceğidir. Böylelikle, iç mekanlarda mukarnas kullanılarak, istenilen günışığı veya akustik performansına ulaşılabilir. Bu hipotezi test etmek için, öncelikle seçilen hamam bölümünün mukarnaslarının incelemesi yapılmış, ve sonrasında parametrik mukarnas yaratılmıştır. Parametrik mukarnas, belirlenen günışığı kriterlerine göre yapılan

optimizasyon testi çalışmalarında ve belirlenen akustik kriterlerine göre yapılan optimizasyon testi çalışmalarında kullanılmıştır.

1.2. TEZİN ÖZGÜNLÜĞÜ

Geleneksel mimari öğelerden olan mukarnaslar, genellikle sadece dekoratif bir eleman olarak ele alınır. Ama, mukarnasın hacmini ve geometrisini düşünürsek, mukarnasın yapı performansına doğrudan etki edebileceğini söyleyebiliriz. Mukarnas-yapı performansı ilişkisini ölçmek kapsamında, daha önce yapılmış bir çalışma olmaması, bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

Parametrik mukarnas kullanılarak, iç mekanın akustik ve günışığı performansının optimize edilmesi üzerine daha önce yapılmış bir çalışmanın olmaması da bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

1.3. KAPSAM

Bursa'daki Tavuk Pazarı Hamamı'nın birçok bölümü farklı tipte iç mekan süslemeleri içermektedir. Özellikle kubbede ve kubbe geçiş elemanlarındaki süslemeler dikkat çekicidir. Bu çalışmada mukarnasın iç mekan performansına etkisi araştırıldığından, mukarnaslı bir hamam mekanına odaklanılmıştır. Tavuk Pazarı Hamamı'ndaki, kubbe geçiş elemanında mukarnas barındıran kadınlar ılık bölüme incelenmek üzere seçilmiştir.

1.4. YÖNTEM

Hamamın ve mukarnaslarının ölçülü olarak yaratılabilmesi için *Agisoft* programı kullanılarak, fotogrametri (*photogrammetry*) yöntemi ile hamamın nokta bulut (*point cloud*) modeli çıkartılmış, bu model altlık olarak kullanılmıştır. Parametrik mukarnas, Grasshopper programında oluşturulmuştur. Günışığı simülasyonları *Honeybee* ve *Ladybug* kullanılarak, akustik simülasyonları ise, *Pachyderm* kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın optimizasyon kısmında ise, birinci denemede *Octopus* programı, ikinci denemede ise *Galapagos* programı kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

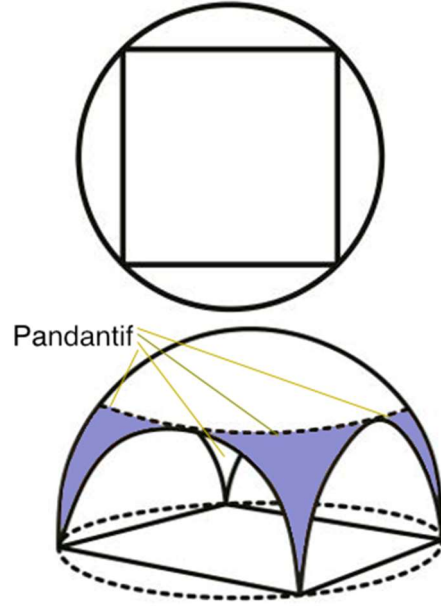
2.1. KUBBE GEÇİŞ ELEMANLARI

Dairesel bir kubbe tabanını dikdörtgen ya da çokgen bir plana oturtmak için farklı geçiş elemanlarına ihtiyaç duyulur. Mimaride, kubbe geçiş elemanları tromp, pandantif, düzlem üçgen ve Türk üçgeni gibi elemanlardır (Turan ve Yıldız, 2018).

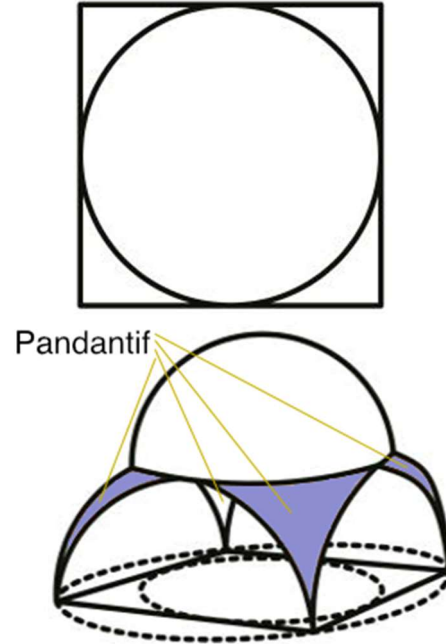
Hasol (1998), pandantifi “bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgen” olarak tanımlar. Pandantif sözcüğünün kökeni Fransızca “pendentif” kelimesinden gelmiştir. Bu terim, kare planlı bir yapı için, kubbe ve duvarlar arasındaki boşlukları örtmek için kullanılır. Bu öge, “bingi”, “küresel üçgen bingi” ya da “aslan göğsü” olarak da adlandırıldığı da olmaktadır. Tuğla ve taş malzemedeki yapılabildikleri bilinmektedir. Bu elemanlar kubbenin ağırlığını hafifleterek yükü payeler yardımıyla zemine indirir (URL-1, 2020).

Pendantifler aynı zamanda Bizans ve Osmanlı mimarisinin ana öğelerinden biri olarak en çok tercih edilen örtü ögesi olmuştur (URL-1, 2020). Örtünün biçimine bağlı olarak, iki tip pandantif vardır. Birincisi karenin köşegenini çap kabul eden bir pandantiftir (**Şekil 2.1**). İkincisi ise kubbenin örttüğü karenin bir kenarını çap kabul eden bir pandantiftir (**Şekil 2.2**). Karenin köşegenini çap kabul eden pandantifte, kubbe ile pandantif sürekli bir yüzey halini almakta ve bir bütün gibi görünmektedir. Kubbenin örttüğü karenin bir kenarını çap kabul eden pandantifte ise, artık sürekli bir yüzey görüntüsü yoktur, pandantif ve kubbe ayrı ayrı kendini belli etmektedir. Bu tipte, pandantif taşıyıcıların bir parçası haline gelmektedir (Kuban, 1992).

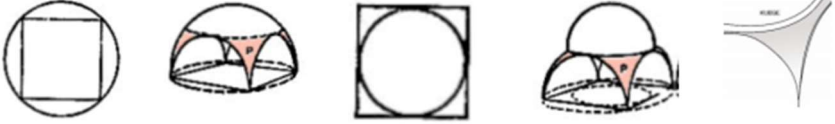
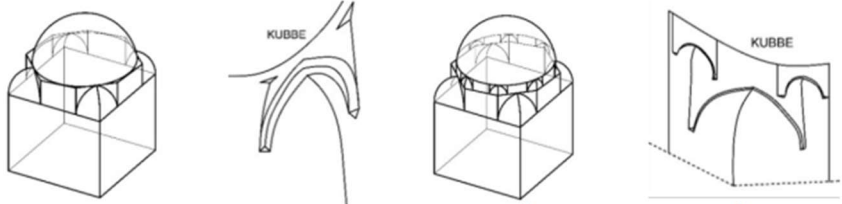
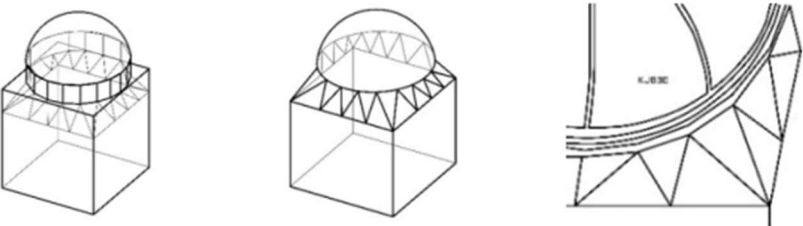
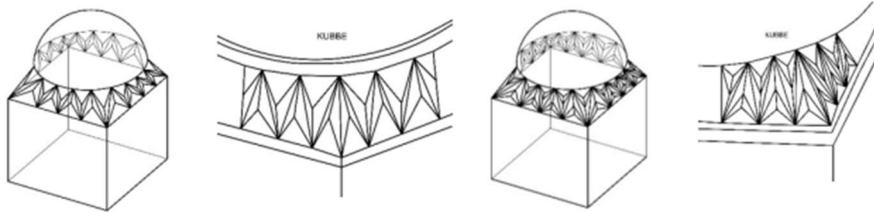
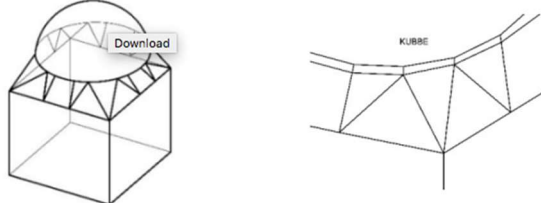
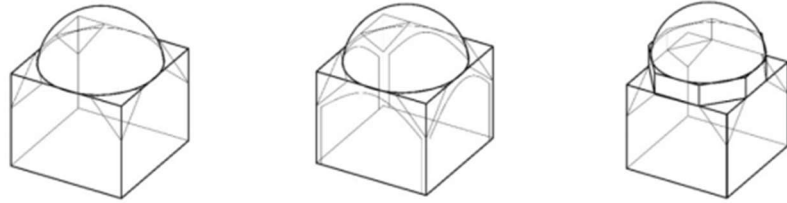
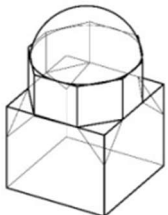
Tavuk Pazarı Hamamı’ndaki kubbe geçiş elemanları düzlemsel üçgeni (yalancı pandantif) sınıfına girdiği düşünülmektedir. Bunu, Turan ve Yıldız’ın (2018) sınıflandırmasından (**Şekil 2.3**) ve fotogrametri sonucu çıkan modelden anlayabilmekteyiz.



Şekil 2.1: Karenin köşegenini çap kabul eden bir pendantif (Hasol, 1998)



Şekil 2.2: Kubbenin örttüğü karenin bir kenarını çap kabul eden bir pendantif (Hasol, 1998)

Pendantif	
Tromp	
Düzlem üçgenli kuşak	
Prizmatik üçgenli kuşak	
Köşe grubu üçgenli kuşak	
Düzlem üçgen	
Kasnak	

Şekil 2.3: Turan ve Yıldız'ın (2018) kubbe geçiş elemanları sınıflandırılması

2.2. GÜNIŞIĞI ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

2.2.1. Günişığı Otonomisi (*Daylight Autonomy, DA*)

Günişığı otonomisi, günişığı performansının yıllık olarak değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bir mekandaki yatay düzlem için değerlendirme yapar. Mekan için gerekli olan minimum aydınlık düzeyinin sadece günişığı tarafından karşılandığı saatlerin, bir yıl boyunca mekanın toplam kullanım saatlerine olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Günişığı otonomisi değerleri, genellikle yıllık olarak alındığı gibi mevsimsel, aylık veya günlük olarak da alınabilmektedir. Elde edilen günişığı otonomisinin yüzdesi, yıllık olarak yapay aydınlatmaya yönelik enerji ihtiyacının saptanması konusunda da veri oluşturması açısından önem taşımaktadır (Reinhart vd. 2006).

2.2.2. Sürekli Günişığı Otonomisi (*Continuous Daylight Autonomy, cDA*)

Rogers Z. tarafından 2006 yılında geliştirilmiş bir ölçüm tekniğidir (IESNA, 2011). Temel olarak Günişığı Otonomisi yöntemi ile aynı prensibe dayanır. Bu yaklaşımın farkı, performans puanlamasında, günişığı ile elde edilen aydınlık düzeyinin, istenen aydınlık düzeyine olan yakınlığının dikkate alınmasıdır. Bu yaklaşım, özellikle iç mekânlarda günişığına bağlı loşlaştırma sistemlerinin kullanılması durumunda, bina aydınlatma enerjisi gereksiniminin saptanmasına yönelik olarak kullanılmakta ve günişığına bağlı kontrol sistemlerinin kullanılma oranı yıllık olarak ortaya konmaktadır (IESNA, 2011; Arslan, 2017; Yılmaz, 2014).

2.2.3. Faydalı Günişığı Aydınlanğı (*Useful Daylight Illuminances, UDI*)

2005 yılında Nabil ve Mardalijevic (2005) tarafından geliştirilmiş bir ölçüm tekniğidir. Yıl boyunca mekan içerisindeki aydınlatmanın oranını hesaplamaktadır. Mekana giren 100 lux ile 2000 lux arası olan ışığın tüm ışığa oranlanması ile oluşturulmuştur (Nabil ve Mardalijevic, 2005). Aşağıda bu parametre kapsamındaki yeterliliklerle ilgili bilgi listelenmiştir.

- Günişığı Aydınlanğı 100 lx'ten az: Yetersiz.
- Günişığı Aydınlanğı 100-500 lx arası: Yapay aydınlatma ilavesi ile yeterli.
- Günişığı Aydınlanğı 500-2000/2500 lx arası: Yeterli.

- Günüşiği Aydınliğı 2000/2500 lx'den yüksek: Görsel konforsuzluklara yol açar.

Faydalı olma aralıklarının konut ve ofis yapıları için farklılık gösterdiği, yapılan çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Buradan hareketle UDI aralıklarının kullanıcı profili ve eylem çeşidine göre değişkenlik gösterebileceği söylenebilir. Ayrıca UDI genellikle yıl içerisinde mesai saatleri içinde mekanın kullanıldığı durumunu üzerinden değerlendirme yaparken, yıl boyunca gerçekleşen gün ışığının etkin olduğu saatler üzerinden de değerlendirme yapabilmektedir (IEA, 2016).

2.3. AKUSTİK ÖLÇÜM PARAMETRELERİ

Sesin fiziksel ortam içerisindeki davranışlarını ve etkilerini inceleyen bilim dalı olan “akustik”, işitme anlamına gelen Yunancadaki “akoustos” sözcüğünden gelmektedir (URL-2, 2020).

Akustik konfor, istenmeyen seslerin olmaması, istenen seslerin doğru seviye ve kalitede olması ve diğer insanları rahatsız etmeden akustik aktivitelerin gerçekleştirilebildiği bir ortamı tanımlar (Rasmussen, 2010). Her insan için rahatsız etmeyen değerler değişkenlik gösterir.

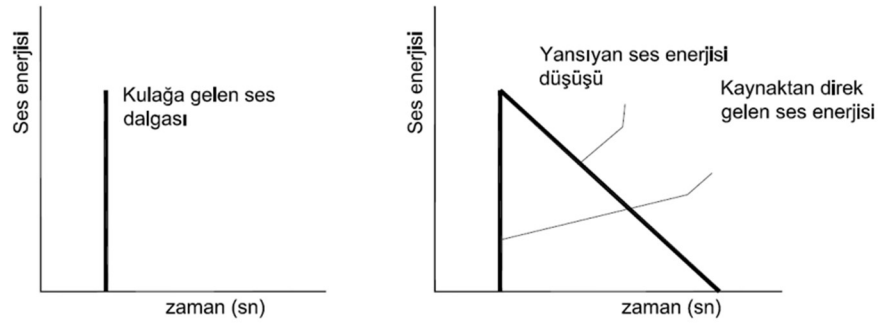
2.3.1. Yansıım Süresi (*Reverberation Time, RT*)

Bir kaynaktan çıkan ses, mekan içerisinde yayılırken alıcıya, hem doğrudan hem de iç yüzeylerden yansıyarak ulaşmaktadır. Doğrudan ulaşan seslerin katettiği mesafe, yansıyan seslerin katettiği mesafeden daha kısa olduğu için doğrudan ulaşan sesler ile yansıyan seslerin arasında bir gecikme süresi oluşmaktadır. Ayrıca kaynaktan çıkan ses, farklı mesafelerdeki duvarlardan yansımalar yaptığı için alıcı tarafından farklı zaman aralıklarında bir kaç defa algılanmaktadır. Ayrıca, kaynak sustuktan sonra da, kaynaktan çıkan ses, yansımalar devam ettiği için bir süre daha algılanmaya devam etmektedir (Kayılı, 2005) (**Şekil 2.4**).

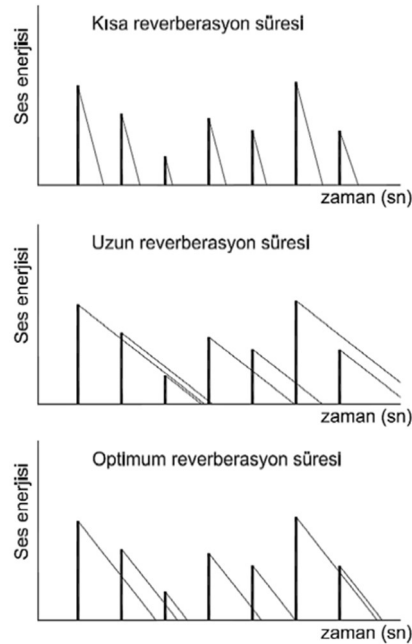
Yansıım süresi kavramı 20. yüzyılın başında İngiliz fizikçi Wallace C. Sabine tarafından ortaya konmuştur. Bir hacimde çalışan bir kaynak kapatıldıktan sonra ses düzeyinin 60 dB azalması ya da ses enerjisinin milyonda bire inmesi için geçen süreye yansıım süresi denir (Beranek, 1996). Yansıım süresi genellikle

genellikle 125, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 Hz gibi frekanslar üzerinde ayrı ayrı belirlenir. Çınlama süresi diye de adlandırılır. Hacim büyüdükçe RT artar, yutuculuk ve yüzey alanı arttıkça RT azalır (Beranek, 1996) (**Şekil 2.5**).

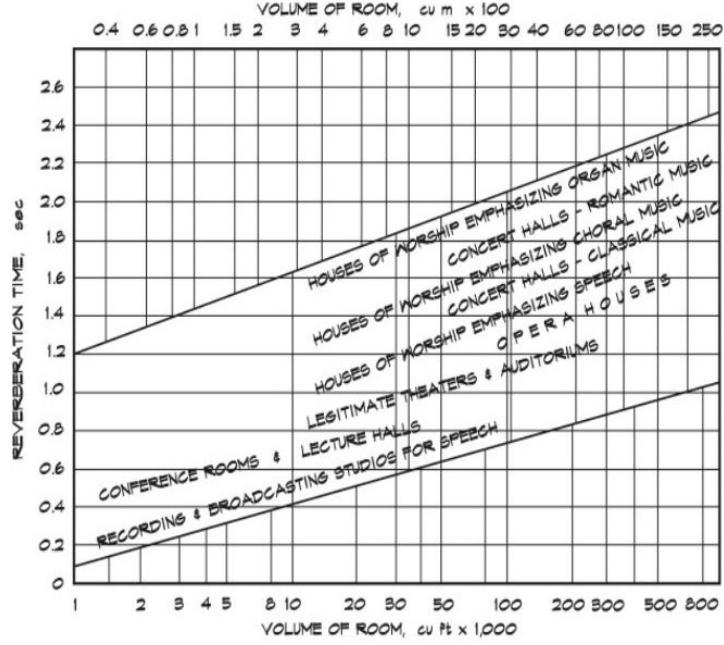
Yansıma süresinin ideal değeri farklı kullanım amaçları için farklılıklar gösterir. Konuşma için ve hızlı tempolu müziklerde düşük değerler, konuşmanın anlaşılabilirliğini artıracığı için tercih edilir. Yavaş tempolu müziklerde ise yüksek değerler, sese değer katar ve sesin kuru algılanmasının önüne geçer (Beranek, 2004). Farklı mekanlar için uygun RT değerleri **Şekil 2.6**'da verilmiştir.



Şekil 2.4: Yansıma olmayan anlık ses enerjisi ve yansıyan sesin enerji kaybı (Kayılı, 2005)



Şekil 2.5: Yansıma süresinin anlaşılabilirliğin üzerindeki maskeleye etkisi (Kayılı, 2005)

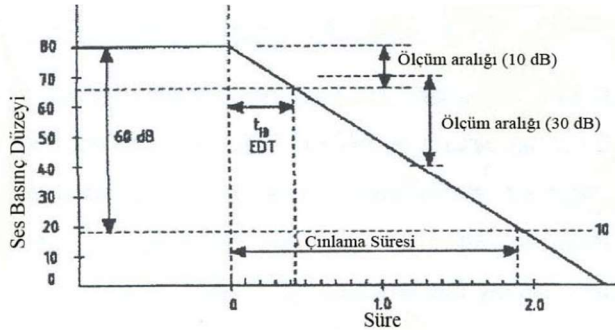


Şekil 2.6: RT değerinin farklı fonksiyondaki ve hacimdeki mekanlar için uygun görülen değerleri (Long, 2014)

2.3.2. Erken Sönümlenme Süresi (*Early Decay Time, EDT*)

EDT ile ilgili ilk araştırmalar W. C. Sabine tarafından yapılmıştır. EDT, ses kaynağı kapatıldıktan sonra sesin 60 dB'den 10 dB'e düşmesi için geçen süredir (Şekil 2.7) (Beranek, 1996). EDT, erken yansımalarla meydana gelmektedir, RT ise çok sayıda yansımadan meydana gelmektedir. RT'de kaynaktan çıkan sesler çok fazla yansımaya uğrayarak alıcıya iletilir.

EDT'yi oluşturan erken yansımalar hacmin tanımlanabilir yüzeylerinden geldikleri için hacim geometrisine oldukça bağlıdır. Kısa EDT süresi berraklık sağlarken, uzun RT süresi müziğe canlılık kazandırmaktadır (Mehta vd. 1999).



Şekil 2.7 : RT ve EDT ölçüm aralığı (Barron, 2010)

2.3.3. Berraklık (*Speech Clarity*)

Bir hacimde, sesin algılanabilirlik limiti, alınan sinyalin karakterine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. 1953 yılında Thiele, direkt sestten sonraki 50 ms içinde alıcıya gelen yansımış seslerin ayırt edilebilirlik düzeyinin belirlendiğini ve konuşmanın anlaşılabilirliği açısından faydalı olduğunu ortaya koymuştur (Beyazıt Tamer, 1999). Reichardt ise konuşmanın anlaşılabilirliği (*Speech clarity*) açısından 50 ms (C50) olan bu sürenin, müzik söz konusu olduğunda 80 ms (C80) olduğunu söylemektedir (Barron, 2010). Marshall'ın (1995) C50 skalasında ise değerler, Kötü (bad), Zayıf (poor), Yeterli (fair), İyi (good) ve Çok İyi (excellent) olarak değerlendirilmiştir (**Şekil 2.8**).

Bir hacimdeki erken yansıma enerjisinin direkt ses ile birleşerek netliği arttırdığı kabul edilir. C80 parametresi ve RT süresi arasında ters orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Bu parametre, ses kaynağı açıldıktan sonraki 0-80 ms ile 80-∞ ms zaman aralıklarında dinleyiciye ulaşan ses enerjileri arasındaki bir orandır (Dilmen, 2004).



Şekil 2.8: Konuşmanın anlaşılabilirliği (*Speech clarity*, C50) (Marshall, 1995)

2.3.4. Konuşma İletim Katsayısı (*Speech Transmission Index, STI*)

1947'de French ve Steinberg konuşmanın anlaşılabilirliği ile ilgili en kapsamlı çalışmayı yaparak AI'yı (Articulation Index) geliştirmişlerdir. Houtgast ve Steeneken ise, 1973 yılında çalışmalarını AI üzerinde yaparak, STI yöntemini geliştirmişlerdir (İlisulu, 2010). Bu parametre, konuşma odaklı, ve kapalı alanlarda kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Sahnede yapılan konuşmanın dinleyici tarafından ne oranda anlaşıldığını anlamak için kullanılır. 0 ile 1 arasında değer alır. 0-0.30 arası değerler kötü, 0.30-0.45 arası değerler zayıf, 0.45-0.60 arası değerler orta, 0.60- 0.75 arası değerler iyi, 0.75-1.00 arası değerler çok iyi olarak kabul edilir (Odeon, 2020) (**Tablo 2.1**).

Tablo 2.1: ODEON'da STI parametresi için önerilen değer aralığı (Odeon, 2020)

Öznel Değerlendirme	STI Değeri
Kötü	0.00-0.30
Zayıf	0.30-0.45
Orta	0.45-0.60
İyi	0.60-0.75
Çok İyi	0.75-1.00

2.4. OPTİMİZASYON

Mimarlık ve tasarım alanında, bir formu belirli parametrelere göre en iyiye ulaştırmak için optimizasyon yöntemi sıkça kullanılır. Tek hedefli veya çok hedefli optimizasyonlar yapılabilir. Günümüzde mimarlık ve tasarım alanında sıkça kullanılan, Grasshopper programına eklenti olarak çalışabilen çeşitli optimizasyon araçları bulunmaktadır. Bu araçlar kullanılarak oluşturulan parametrik modeller, belirlenen hedeflere göre optimize edilebilir.

Günümüzde, mimarlık ve tasarım alanında kullanılan birçok optimizasyon algoritması vardır. Bunlardan en çok kullanılanlarını Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA) ve Sürü Algoritması (Swarm Intelligence, SI) olarak sıralayabiliriz. Örneğin Agirbas (2018), minimal yüzey bazlı formu, güneş ışığı, radyasyon ve yüzey alanı parametrelerine göre optimize etmek için GA kullanmıştır. Sürü akı algoritmasını ise Agirbas (2019a) cephe tasarımı için kullanmayı önermiştir. Yine Agirbas (2020a) makro-ölçekte tasarım yapmak için sürü akı kullanmayı önermiştir. Bunun yanı sıra sürü akı algoritmasını GA ile optimize etme çalışmaları mevcuttur (Agirbas, 2020b).

Bu çalışmada optimizasyon kısmında GA tabanlı Octopus ve yine GA tabanlı Galapagos kullanılmıştır. Galapagos tek hedefli optimizasyonlar için kullanılır. Octopus ise, Vierlinger (2013) tarafından geliştirilmiş bir çok hedefli optimizasyon aracıdır ve SPEA-2 algoritmasına dayanır (Zitzler vd. 2001).

3. PARAMETRİK MODELİN HAZIRLANMASI

3.1. TAVUK PAZARI HAMAMI

Tavuk Pazarı Hamamı, Bursa il merkezi, Cumhuriyet Caddesi'nde, Pirinç Hanı'nın bitişiğinde çifte hamamdır. Meyhaneli Hamamı olarak da bilinir. UNESCO dünya mirası listesinde ilan edilen alanda bulunmaktadır. Çifte hamam, kadın ve erkeklerin ayrı kapılardan girdiği ve farklı yerlerde yıkandığı yapıdır. Çifte hamam kadın erkek girişlerinin ve yıkanma yerlerinin ayrı olduğu hamamlar iken tek hamam ise kadınların gündüz, erkeklerin gece kullandığı hamamdır (Önge, 1988).

Tavuk Pazarı Hamamı'nın 1426 yılında II. Murad tarafından yaptırıldığını belirtmiştir (Şehitoğlu, 2008). Bu hamamın tarih boyunca birçok onarımdan geçtiği bilinmektedir. Günümüzde bir bölümü Giyim Eşyası Çarşısı, bir bölümü de Çayevi olarak kullanılmaktadır. Soyunmalıkları mevcut değildir. Orijinal planında kadın ve erkek kısmında soyunmalık, ılıkılık, sıcaklık ve halvet bulunur. Bunların yanında yapının güneyinde sıcaklık ve halvet odalarının bitişiğinde su deposu ve külhan bulunur (Şekil 3.1) (Şekil 3.2) (Şehitoğlu, 2008).

Hamamın incelenen bölümü olan Kadınlar Kısmı Ilıklık Bölümü, kare plana sahiptir ve üzeri ışık almayı sağlayan boşluklu (*filgözü*) bir kubbe ile örtülüdür. Bunun yanı sıra, hamamın bu bölümünde, kubbeden kare plana geçişin sekizgen aracılığıyla yapıldığı görülebilmektedir. Kuban'ın (1992) dediği gibi dairesel örtüden (kubbe), kare tabaka geçiş genellikle sekizgen çokgenle yapılır. Sekizgen ve duvarlar arasında kalan boşluklar ise, tromp ve pandantif gibi geçiş elemanlarıyla kapatılır. İncelenen hamamdaki bu geçişler mukarnaslı düzlem üçgen (Turan ve Yıldız, 2018) şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kısımlar 4 tane olup her birinin üzerinde 8 sıra mukarnas sırası vardır.

giyim mağazası olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Soyunmalık kısmı yıkılınca bu mekan ile soyunmalığı birbirine bağlayan bağlantı günümüzde hamama giriş yapılan kapılardan biri olarak kullanılmaktadır. Mekana bağlanan 2 hücre depo olarak kullanılmaktadır. Ayrıca mekanın bir bölümü asma tavan ile kapatılarak ofis olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.4).

- **Erkekler kısmı sıcaklık (3 numaralı mekan):** Ilıklık kısmından geçilen mekana bağlı 2 adet halvet odası bulunur. Günümüzde giyim mağazası olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.5). Dikdörtgen olan halvet odasına sonradan kapı açılıp mekana giriş sağlanmıştır. Kare halvet odasında yine giyim mağazası olarak kullanılıyor olup üzeri tamamen alçıpan ile kapatıldığı için tavan detayları gözükmemektedir.
- **Kadınlar kısmı soyunmalık (4 numaralı mekan):** Hamama kadınların giriş yaptığı mekandır. Küçük bir ara mekandan geçilerek ılıklığa bağlanır. Günümüze ulaşmamıştır.
- **Kadınlar kısmı ılıklık (5 numaralı mekan):** Soyunmalıktan küçük bir ara mekandan geçilerek geçilir. Bu ara mekana bir de hücre bağlanmıştır. Günümüzde çay ocağı olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.6). Sıcaklığa geçiş alçıpan ile hücreye geçiş ise ahşap elemanlar ile kapatılmıştır (Şekil 3.7).
- **Kadınlar kısmı sıcaklık (6 numaralı mekan):** Ilıklık kısmından geçilen mekana bağlı 1 adet kare planlı halvet odası bulunur. Günümüzde ılıklık ile bağlantısı kesilerek depo olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.8). Halvet odası ise giyim mağazası olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.9). Halvet odasından erkekler bölümünün sıcaklık kısmına sonradan kapı açılmıştır.



Şekil 3.3: Erkekler kısmı ılıklık mekan görseli



Şekil 3.4: Erkekler kısmı ılıklik ofis olarak kullanılan mekan görseli



Şekil 3.5: Erkekler kısmı sıcaklık mekan görseli



Şekil 3.6: Kadınlar kısmı ılıklik mekan görseli



Şekil 3.7: Alçıpan ile kapatılan sıcaklığa geçiş, Kadınlar ılıklik kısmı güncel malzeme durumu ve çayevi olarak kullanımı



Şekil 3.8: Kadınlar kısmı sıcaklık mekan görseli



Şekil 3.9: Kadınlar kısmı halvet mekan görseli

3.2. FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİYLE MODELİN OLUŞTURULMASI

Agisoft PhotoScan programı, hamamın fotogrametri yöntemiyle modelini ve ölçülerini çıkarmak için kullanılmıştır. Bu modeli oluşturmak için ilk önce, *Agisoft PhotoScan* programı açılır ve üst menüden “Workflow”, ardından “Add Folder” yolu izlenerek modellenecek olan Tavuk Pazarı Hamamı'nın fotoğrafları programa yüklenir.

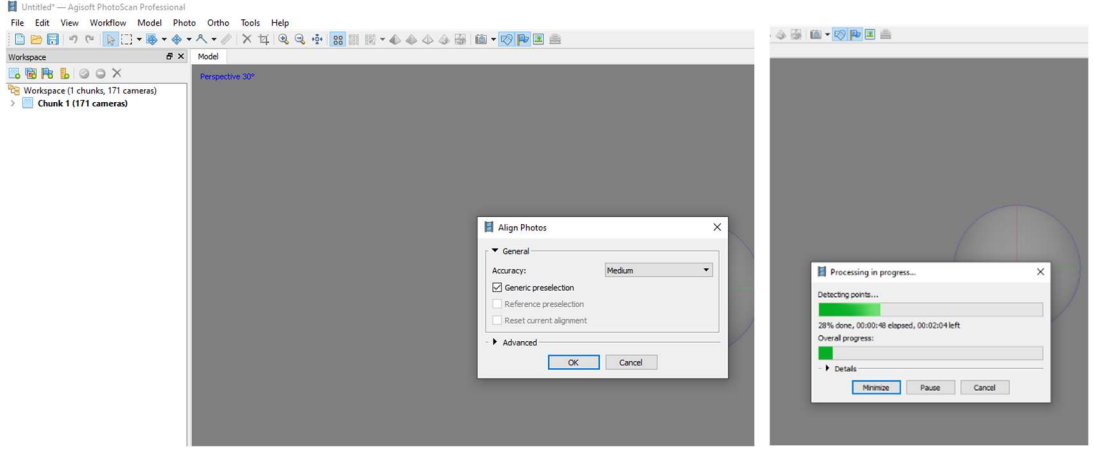
Eklenen fotoğraflar program tarafından doğru bir şekilde algılanabilmesi için öncelikle hizalama işleminin yapılması gerekmektedir. Bunun için “Workflow” > “Align Photos” yolu izlenerek hizalama işlemi yapılır (**Şekil 3.10**). Fotoğrafların hizalanması işlemi ile program, çektiğimiz fotoğrafların modellenecek nesneye olan uzaklıklarını ve fotoğraf makinemizin çekim yaptığı konumu hesaplar. Bundan sonraki işlemlere altlık olacak olan “Tie Points” oluşturulur.

Sonrasında 3 boyutlu olarak modellenecek olan yapının noktasal bulutunun (*point cloud*) oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem için “Workflow” > “Build Dense Cloud” yolu izlenir ve daha sonra gelen menüde “Quality” ayarı istenen detay seviyesinde belirlenerek programın hesaplaması başlatılır (**Şekil 3.11**).

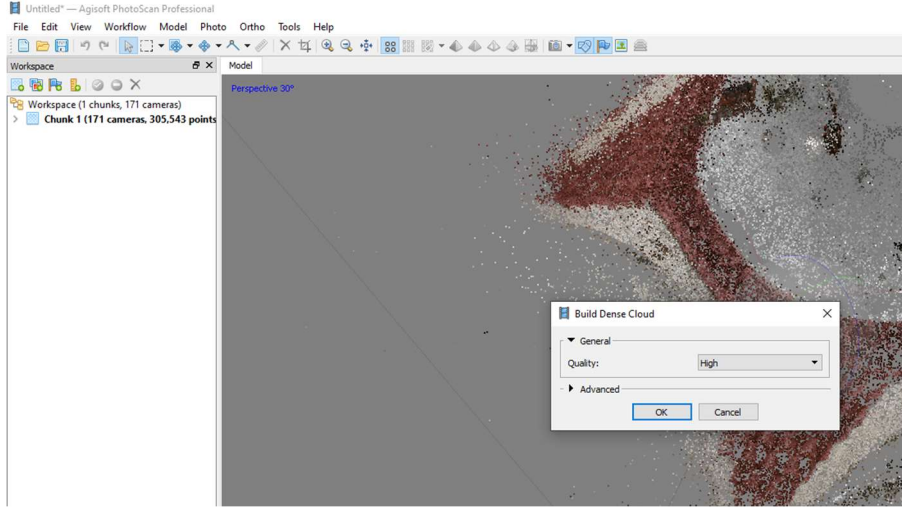
“Build Dense Cloud” işlemi ile modelin noktasal bulutu oluşturulur. Bu noktasal bulut dışa aktarılabilir. Fakat bizim “Mesh” yüzeyine ihtiyacımız olduğu için işlemlere devam edilir. “Build Dense Cloud” işleminde elde ettiğimiz noktalar ile “Mesh” bir model oluşturmak için “Workflow” > “Build Mesh” yolu izlenerek programa yüzey oluşturma emri verilir (**Şekil 3.12**).

Bir sonraki aşamada dilersek bu “Mesh” yüzey, fotoğraflardan yüzeyi kaplayacak bir doku (texture) oluşturularak kaplatılabilir. Bu işlem için de “Workflow” > “Build Texture” yolu izlenerek, gelen menüde “Mapping Mode” kısmı “Generic” olarak ve “Bending Mode” kısmı da “Mosaic” olarak işaretlenerek texture oluşturulur (**Şekil 3.13**).

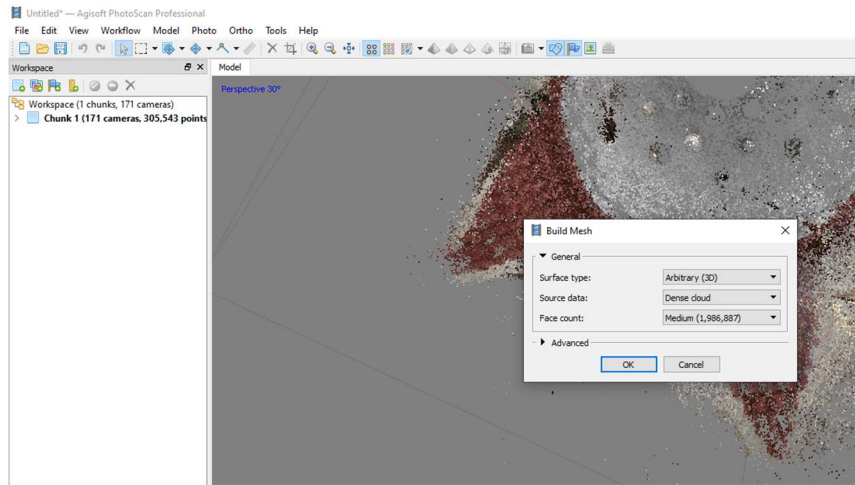
Agisoft programında elde edilen “Mesh” modeli *Rhino* içerisine alınarak “Scale” komutu ile ölçeklendirilerek gerçek ölçülere getirilir (**Şekil 3.14**, **Şekil 3.15**). Daha sonra *Grasshopper*'da elde edilen parametrik modelin değerlerinde farklı varyasyonlar denenerek mevcut yapıya en çok uyan değerler belirlenmiştir.



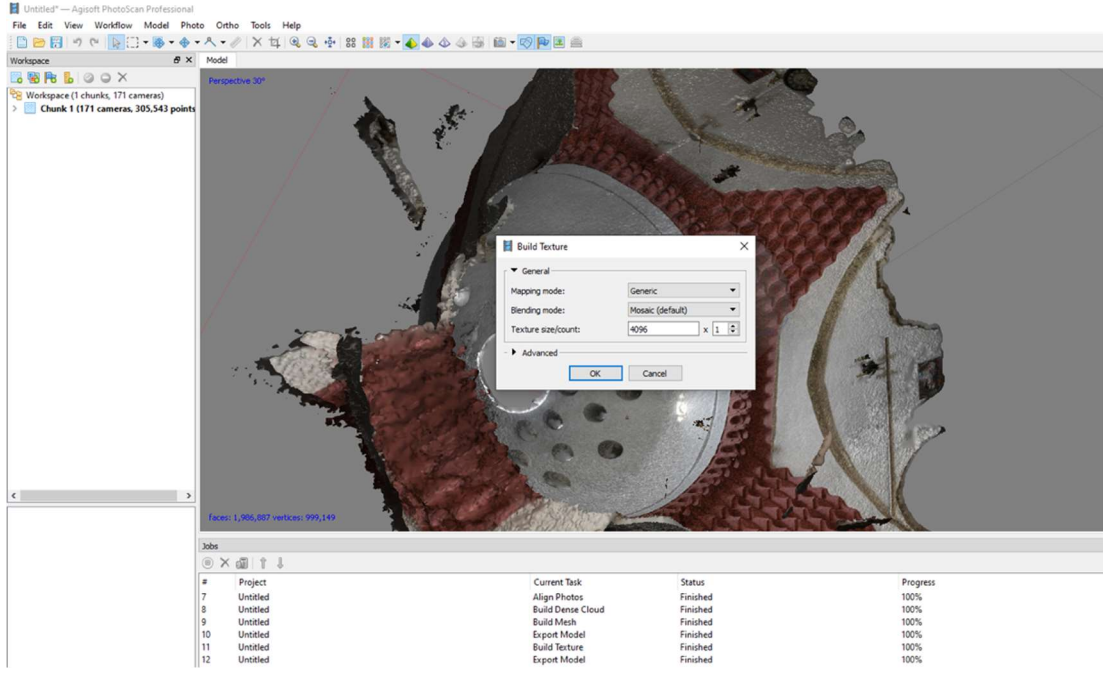
Şekil 3.10: Agisoft fotoğraf hizalama paneli



Şekil 3.11: Agisoft noktasal bulut oluşturma paneli



Şekil 3.12: Agisoft “Mesh” yüzey oluşturma paneli



Şekil 3.13: Agisoft “Texture” oluşturma paneli



Şekil 3.14: Agisoft’tan elde edilen “Mesh” görüntü

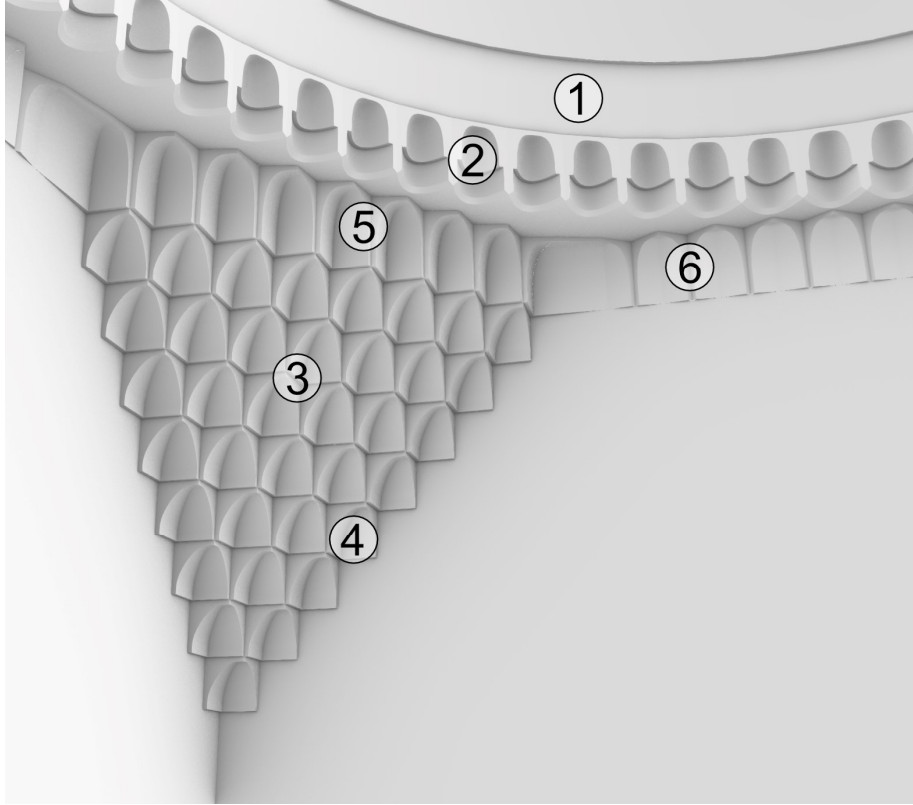


Şekil 3.15: Agisoft'tan elde edilen "Mesh" görüntü

3.3. PARAMETRİK MODELİN HAZIRLANMASI

Hamamın parametrik modelinin hazırlanması için, hamam ilk önce bölümlere ayrılmıştır (Şekil 3.16). Bu bölümlerin ayrımı, geometrik algoritmanın kodlanması sırasında izlenecek çözüm aşamasına göre belirlenmiştir. Bütün bölümlerin parametrik olarak birbiriyle ilişkisinin yaratılmasına kodlama sürecinde dikkat edilmiştir. Hamamın kodlama için ayrıştırıldığı bu bölümler aşağıda listelenmiştir. Bu bölümler en yukarı kotttan en alt kota doğru gitmektedir. Ayrıca bu bölümlerin, ayrı ayrı kurallara dayalı geometri oluşturarak üretildiğinin de altını çizmek gerekir.

- Hamam kubbesi (1 numaralı geometri)
- Kubbe altındaki mukarnaslar (2 numaralı geometri)
- Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistem (3 numaralı geometri)
- Kubbe geçiş elemanındaki mukarnaslar (4 numaralı geometri)
- Sekizgendeki mukarnaslar (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) (5 numaralı geometri)
- Sekizgendeki mukarnaslar (duvar tarafındaki) (6 numaralı geometri)



Şekil 3.16: Parametrik hamam modeli için numaralandırılan geometrik bölümler

3.3.1. Hamam kubbesi (1 numaralı geometri)











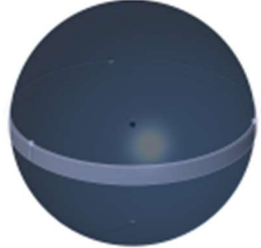

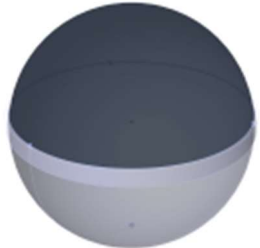

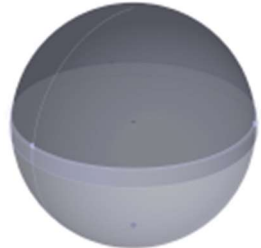

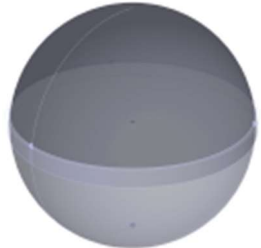

Modelleme işlemine öncelikle kubbe boşluklarıyla (ışıklıklarıyla) beraber modellenerek başlanmıştır Kubbe aşağıda listelenen kural dizisi ile Grasshopper programında oluşturulmuştur (**Tablo 3.1**)(**Şekil 3.17**).

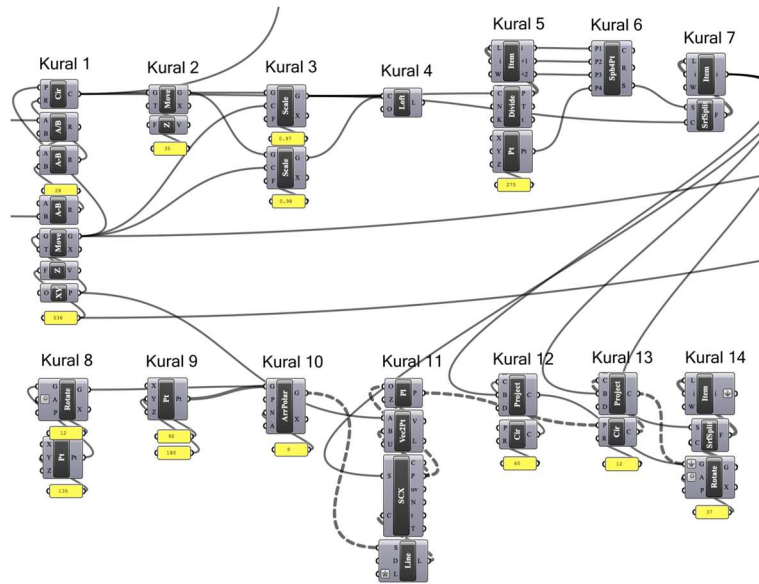
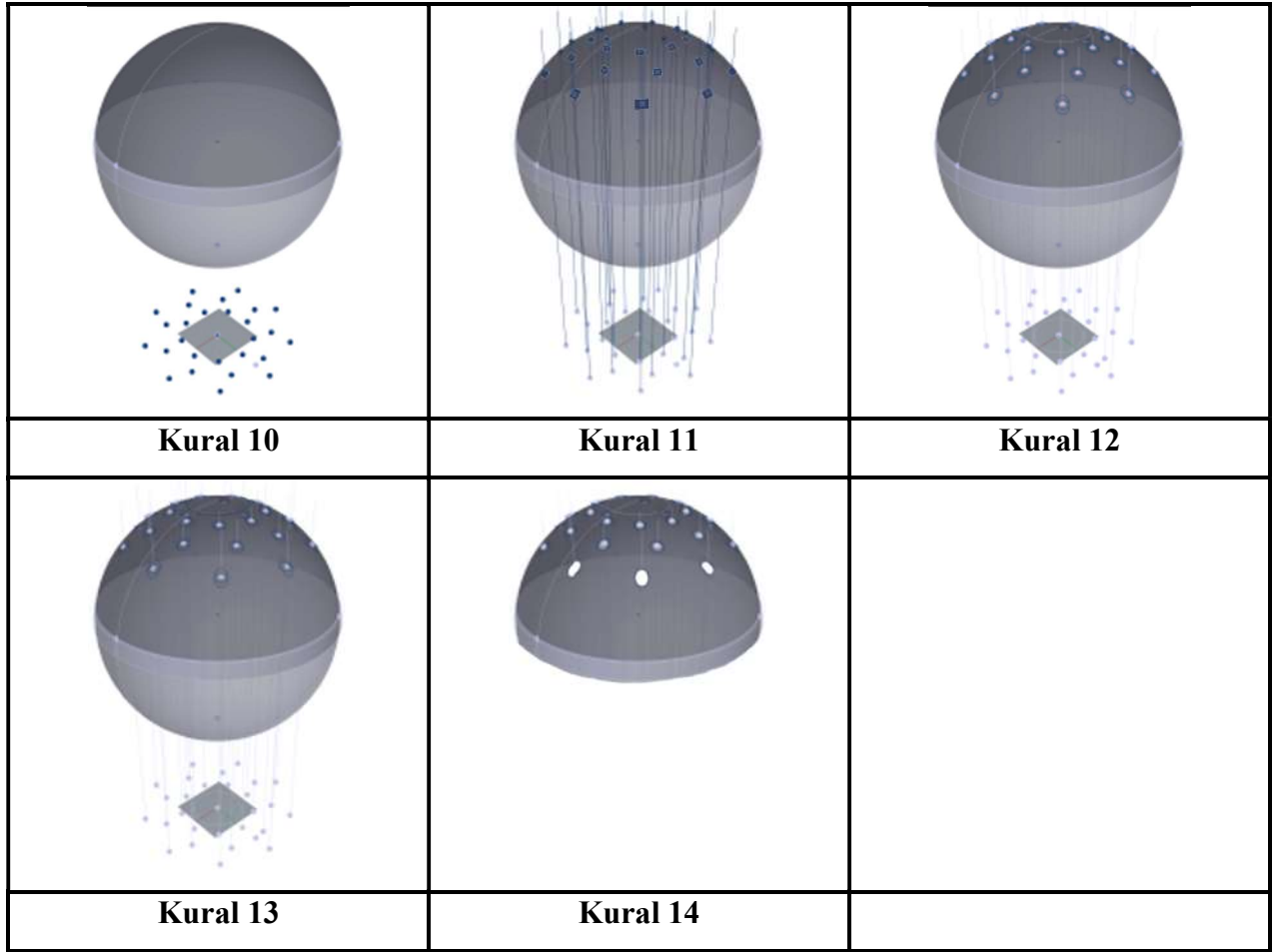
- **Kural 1:** Kubbe yerden 536 cm yüksektedir. Bu yüzden, ilk önce yer düzlemine (0 kotu) “XY plane” (XY düzlemi) çizilmiştir. Daha sonra bu düzlem Z ekseninde 536 cm kotuna getirilmek üzere “Move” komutu ile kopyalanmıştır. Bu düzlem üzerinde “Circle” komutuyla bir çember çizilmiştir. Bu çemberin yarıçapı $(544/2)-(28-HD)$ hesabı ile belirlenmiştir.
- **Kural 2:** Elde edilen çember Z ekseninde 350 cm “Move” komutu ile kopyalanmıştır.
- **Kural 3:** Kopyalanan çember “Scale” komutu ile 0.97 ve 0.98 oranlarında küçültülmüştür.

- **Kural 4:** Kural 1 ve Kural 3'te elde edilen çemberler "Loft" komutu ile birleştirilip bir yüzey elde edilmiştir.
- **Kural 5:** "Divide" komutuyla daire üzerindeki 3 nokta seçilmiştir. Ayrıca "Construct" komutuyla Z koordinatında yerden 275 cm yükseklikte küreyi oluşturabilmek için dördüncü bir nokta belirlenmiştir.
- **Kural 6:** "Sphere 4Pt" komutunu kullanarak, elde edilen 4 nokta ile bir küre yaratılmıştır.
- **Kural 7:** Kural 3'teki çember kullanılarak, küre "Surface Split" komutu ile iki ayrı parçaya bölünmüştür. Üstteki parça (yarım küre) "List item" komutu ile seçilmiştir.
- **Kural 8:** "Construct Point" komutu ile, yer düzleminde bir nokta belirlenir. Bu noktanın koordinatları (0, 135, 0)'dır. Yani Y eksenine doğru 135 cm uzaklıktadır. Nokta, döndürme ekseninin merkezi orijin noktası olacak şekilde, 12 derece "Rotate" komutu ile döndürülür.
- **Kural 9:** "Construct Point" komutu ile, koordinatları (0, 90, 0) ve (0, 180, 0) olmak üzere 2 nokta daha belirlenmiştir.
- **Kural 10:** Kural 8 ve 9'da elde edilen noktalar (3 tane) "Polar array" komutu ile, 9 adet olmak üzere, dairesel olarak çoğaltılmıştır. Toplamda 27 nokta elde edilmiştir.
- **Kural 11:** Kural 10'da elde edilen noktalar ile, "Line SDL" komutu kullanılarak Z ekseninde kubbenin üstüne taşacak şekilde çizgiler modellenmiştir. "Line SDL" komutu ile eksen ve uzunluk belirtilerek çizgiler elde edilebilmektedir. Daha sonra, Kural 7'de elde edilen yüzey ile elde edilen çizgilerin kesiştiği noktalarda düzlemler oluşturulmuştur. Bunu yapmak için ilk önce, yüzey ve çizgi (curve) kesişimlerini belirlemek için "Surface | Curve (SCX)" komutu kullanılmıştır. Bu kesişimlerde, orijine doğru vektörlerin tanımlanabilmesi (kubbe merkezine doğru) için "Vector 2Pt" kullanılmıştır. Daha sonra, vektörlere dik düzlemler yaratabilmek için "Plane normal" komutu kullanılmıştır.
- **Kural 12:** Yarıçapı 60 cm olan bir çember yer düzlemine çizilmiştir. "Project" komutuyla yarım kubbe üzerindeki izdüşümü alınmıştır.

- **Kural 13:** Kural 11’de yaratılan düzlemler kullanılarak, her düzleme 12 cm yarıçapında çemberler çizilmiştir. Bu işlem “Circle” komutu ile yapılmıştır. Ayrıca “Project” komutu ile yarım küre üzerinde izdüşümü alınmıştır.
- **Kural 14:** Orijinal hamamdaki çatı açıklıklarının yerlerine sadık kalmak için, yarım küre üzerine izdüşümü alınan tüm eğriler seçilip ve 37 derece döndürülmüştür. Bu işlem “Rotate” komutu ile yapılmıştır. “Surface Split” komutu kullanılarak yarım küre kesilmiş, istenilen kütle (çatı delikli yarım küre) “List item” ile seçilmiştir.

Tablo 3.1: Hamam kubbesinin parametrik modellenmesi

 	 	 
Kural 1	Kural 2	Kural 3
 	 	 
Kural 4	Kural 5	Kural 6
 	 	 
Kural 7	Kural 8	Kural 9



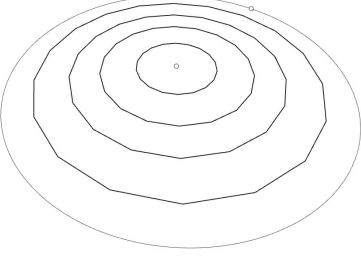
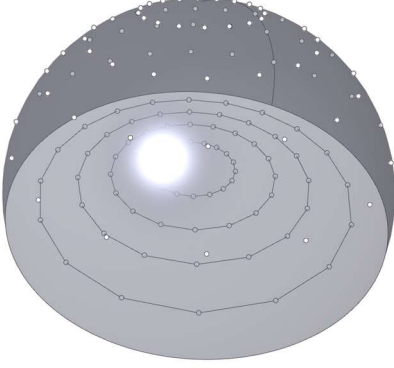
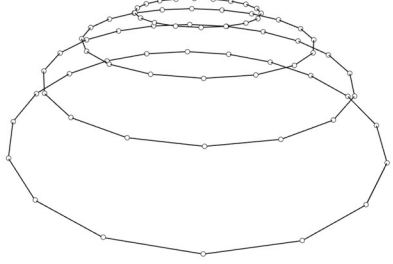

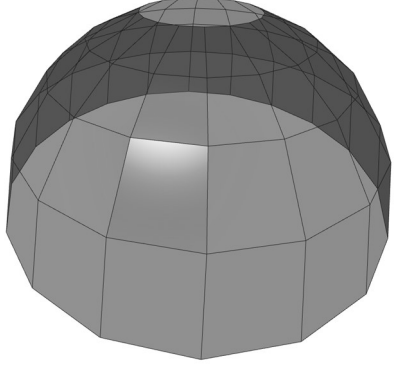


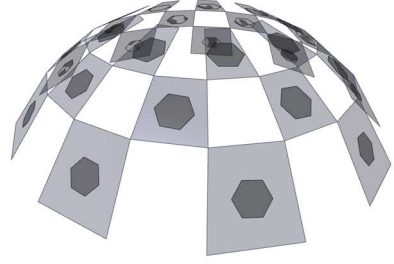
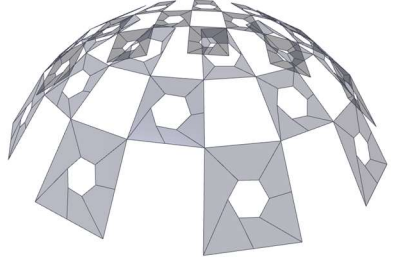
Şekil 3.17: Hamam kubbesinin Grasshopper'da kodlanması

Hamam kubbesi aydınlatma hesaplamasında kullanılan programın günışığı ve akustik simülasyonlarını yapabilmek için, girdi talebine uygun olarak model revize edilmiştir (**Tablo 3.2**) (**Şekil 3.18**). Bu işlemin kuralları aşağıda verilmiştir.

- **Kural 1:** 1 numaralı geometrinin orjinal modellemesinin Kural 3’de elde edilen geometrinin yarıçapında bir “Polygon” çizilerek, takip eden kurallardaki dizgi ile birlikte düzgün bir kubbe oluşturmaya imkan tanıyan ölçülerde elde edilen geometri sırasıyla 0.85, 0.65, 0.47, 0.25 oranlarında “Scale” komutu ile küçültülerek 4 adet yeni “Polygon” elde edilir.
- **Kural 2:** Elde edilen yeni “Polygon” geometrileri “Debrep” komutu ile patlatılarak “Vertex”leri “Project Point” komutu ile Z ekseninde 1 numaralı geometrinin orjinal modellemesinin Kural 7’de elde edilen yüzeye yansıtılır.
- **Kural 3:** Kural 2’de elde edilen noktalar “Bang” komutu ile listelerine göre parçalanarak, her liste ayrı bir “Polyline” komutu ile birleştirilerek yeni geometriler elde edilir.
- **Kural 4:** Kural 3’te elde edilen yeni geometrilerden en üstteki geometri “Boundary” komutu ile yüzey haline getirilir ve “Scale” komutu ile 0.95 oranında küçültülerek pencere elde edilir.
- **Kural 5:** Kural 3 ve Kural 1’de elde edilen geometriler “Loft” komutu ile birleştirilerek yüzeyler elde edilir.
- **Kural 6:** Kural 5’te elde edilen yüzeyler “Debrep” komutu ile parçalanarak, “Series” ve “List Item” komutları yardımı ile üzerinde pencere açılacak yüzeyler seçilir.
- **Kural 7:** Kural 6’daki “Series” komutları bu sefer “Cull Index” komutuna bağlanarak pencere açılmayacak yüzeyler seçilir.
- **Kural 8:** Kural 6’da elde edilen yüzeylerin üzerinde “Area” komutu ile yüzeylerin merkezleri seçilip “Plane Origin” ile yüzeylerin merkezlerinde “Plane” geometrileri oluşturularak bu “Plane” geometrileri yardımı ile 15 cm yarıçapında 6 kenarlı çokgenler oluşturulur. Sonrasında bir sonraki adımlarda temiz bir model elde edebilmek için “Rotate” komutu ile 245 derece elde edilen çokgenler döndürülerek “Boundary” komutu ile yüzey haline getirilerek pencereler elde edilir.









- **Kural 9:** Kural 6'da oluşturulan pencerelerin açılacağı yüzeyler “Debrep” komutu ile patlatılarak kenarları seçilir ve “Join” ile birleştirilir. Daha sonra elde edilen geometriler ile Kural 8'de elde edilen geometriler arasında “Loft” komutu yardımı ile yüzeyler oluşturulur.
- **Kural 10:** Elde edilen yüzeyler “Brep join” komutu ile birleştirilir.

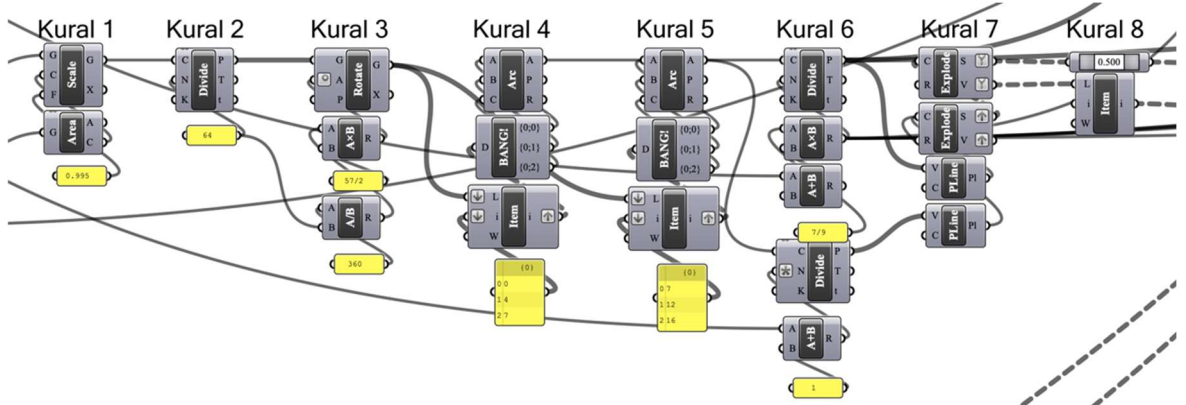
Tablo 3.2: Hamam kubbesi modelinin girdi talebine uygun olarak revize edilmesi

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	Kural 9

- **Kural 4:** Oluşturulan noktalar arasından, kubbe geçiş elemanının olmadığı bölgeye denk gelen 3 nokta seçilmiştir. “Arc 3Pt” komutu ile bu noktaları kullanarak yay çizilmiştir.
- **Kural 5:** Oluşturulan noktalar arasından, kubbe geçiş elemanının olduğu bölgeye denk gelen 3 nokta seçilerek “Arc 3Pt” komutu ile yay çizilmiştir. Kural 4’te belirlenen bir nokta ile Kural 5’te belirlenen bir noktanın konumu aynıdır.
- **Kural 6:** Kural 4’te oluşturulan yay “Divide” komutu ile 8 eş parçaya bölünmüştür (9 nokta oluşmuştur). Bu yayın bölümlendirilmesinde Hücre Sayısı+1 hesabı kullanılmıştır. Kural 5’te oluşturulan yay ise “Divide” komutu ile 6 eş parçaya bölünmüştür (7 nokta oluşmuştur). Bu yay bölümlendirilmesinde $[Hücre\ Sayısı + 1] * 7/9$ hesabı kullanılmıştır. Bu hesap mevcut hamam çiziminde kubbe geçiş elemanı ile kubbe arasındaki bağlantıyı sağlayan 9 mukarnas hücresi varken duvar ile kubbe arasındaki bağlantıyı sağlayan 7 mukarnas hücresi olmasından hareketle elde edilmiştir. Girdi değerleri değiştiğinde oluşan ondalıklı değerler tam sayıya yuvarlanarak kubbe geçiş elemanı arasında olacak mukarnas sayısı tam sayı değerlerinde elde edilerek uygulanmıştır.
- **Kural 7:** Elde edilen noktalardan “Polyline” komutu ile çizgi yaratılmıştır. Daha sonra, bu çizgiler “Explode” komutu ile parçalarına ayrılmıştır.
- **Kural 8:** “List item” komutu ile, ilk önce noktalar tanımlanmış, sonrasında ise parçalara bölünen çizginin parçalarının her birinin orta noktası “Point on Curve” komutu ile belirlenmiştir. Böylelikle kubbe altı mukarnasların yerleştirileceği yerler, nokta geometrisini tanımlanarak, belirlenmiştir.

Tablo 3.3: Kubbe altındaki mukarnasların yerleştirileceği yerlerin belirlenmesi

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	



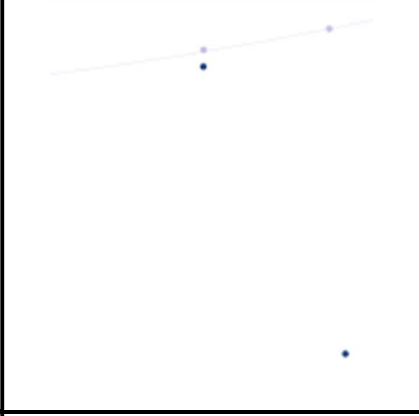
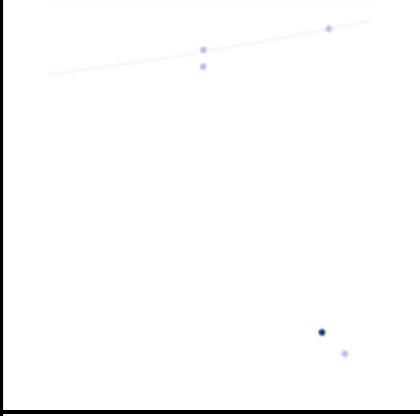
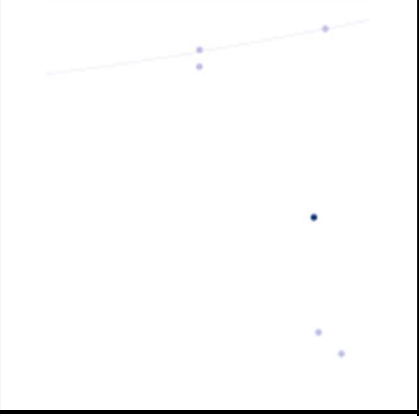
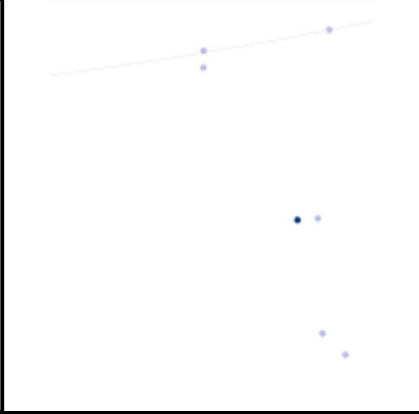
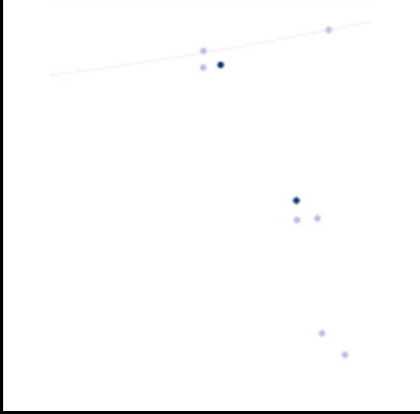
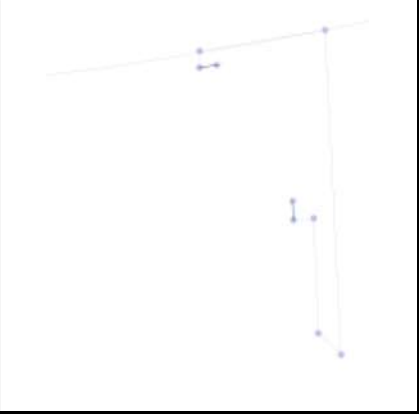
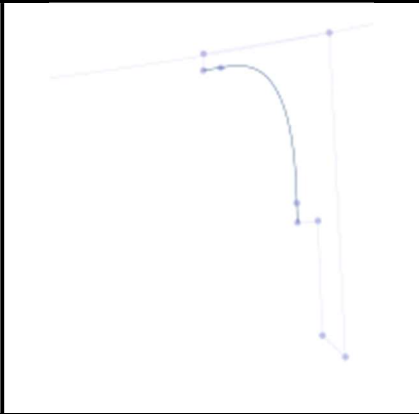
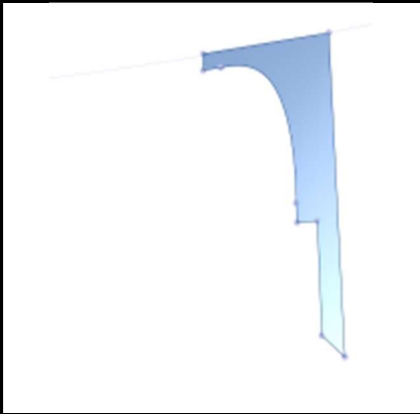
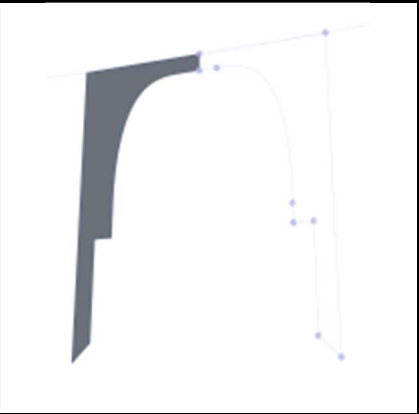
Şekil 3.19: Kubbe altındaki mukarnasların yerleştirileceği yerlerin betiği

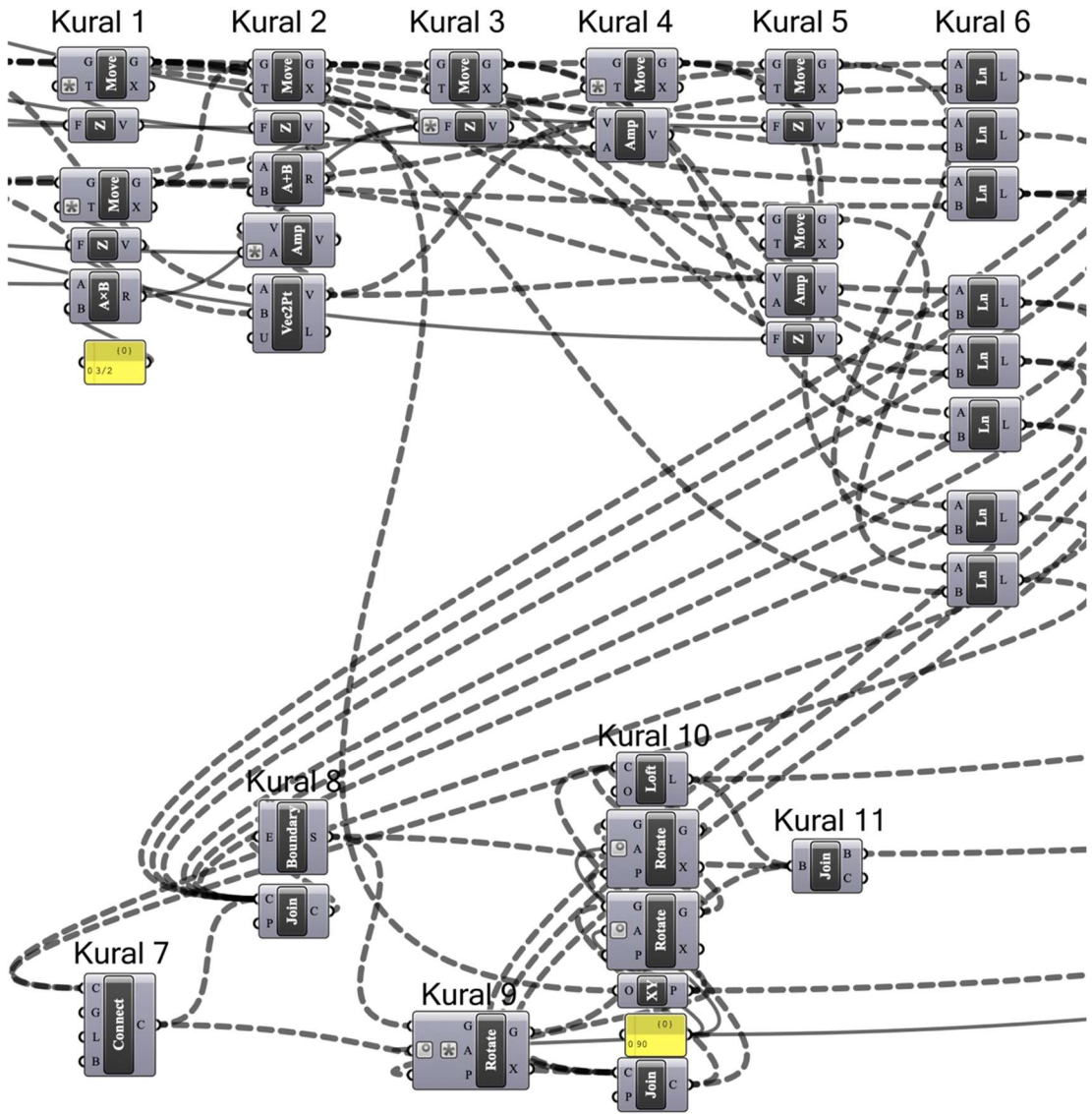
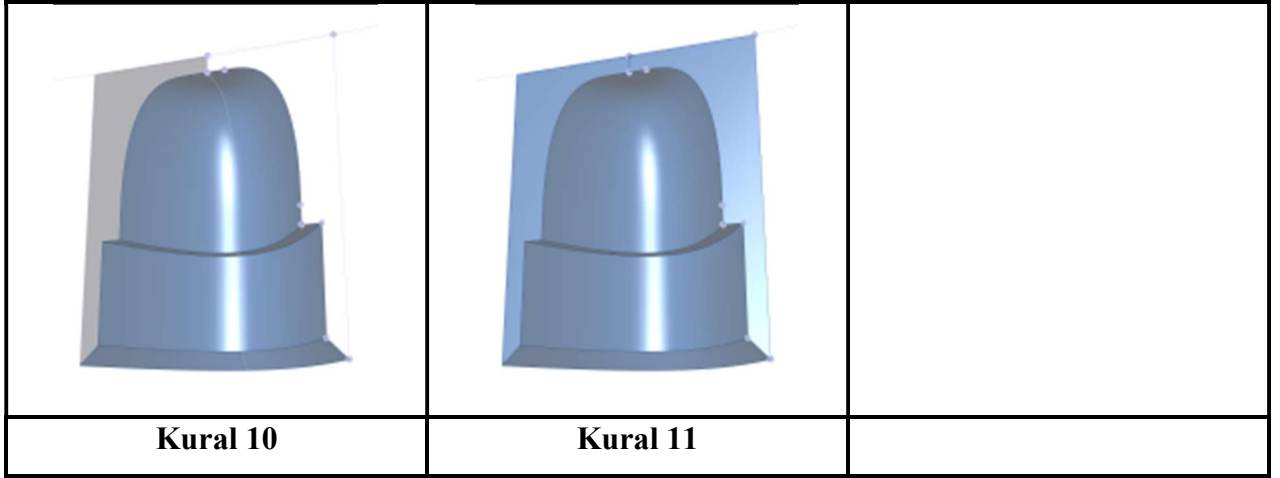
Daha sonra, kubbe altındaki mukarnasların tamamlanması için, mukarnas hücreleri modellenmiştir (Tablo 3.4). Kubbe altındaki mukarnaslar, aşağıda listelenen kural dizisi ile Grasshopper programında oluşturulmuştur (Şekil 3.20). Tek bir hücrenin modellenip çoğaltırması yerine seçilen noktalardan çok sayıda hücre oluşturulmuştur (Tablo 3.5).

- **Kural 1:** Bir önceki aşamada elde edilen noktalar, Hücre Detayı (HD) kadar, Z ekseninde, “Move” komutu ile kopyalanmıştır. Bu noktaları üst kottaki noktalar olarak adlandırabiliriz. Bir önceki çalışmada elde edilen çizgilerin orta noktaları ise, Z ekseninde, Hücre Yüksekliği (HY) değerinin 3/2 katı kadar “Move” komutu ile kopyalanmıştır. Bu sıradaki mukarnaslar diğer mukarnaslardan yükseklik olarak 3/2 kat daha uzun olduğu için, bu sıradaki mukarnasların yüksekliğini belirleyen değer 3/2 ile çarpılmıştır. Bu noktaları alt kottaki noktalar olarak adlandırabiliriz.
- **Kural 2:** Alt kottaki nokta, 2 numaralı geometrinin 8. Kuralında “List Item” ile seçilen noktalardan “Point on Curve” komutu ile elde edilen noktalara “Vector 2pt” komutu ile elde edilen vektör doğrultusunda Hücre Detayı (HD) kadar ve Z ekseninde de yine Hücre Detayı (HD) kadar “Move” komutu ile kopyalanır. Sağdaki nokta da yine Hücre Detayı (HD) değeri kadar sola ve yukarı doğru “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 3:** Bir önceki aşamada elde edilen noktalar Hücre Yüksekliği (HY) değeri kadar Z ekseninde “Move” komutu ile kopyalanır.

- **Kural 4:** Elde edilen noktalar Hücre Detayı (HD) değeri kadar Kural 2’de elde edilen vektör doğrultusunda “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 5:** Kural 1’de elde edilen üst kottaki noktalar Kural 2’de elde edilen vektör doğrultusunda ve Kural 4’te elde edilen noktalar ise Z ekseninde Hücre Detayı (HD) kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 6:** Elde edilen noktaların arası “Line” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 7:** Elde edilen çizgilerden 2 tanesi seçilerek “Connect Curves” komutu ile eğri oluşturularak birleştirilir.
- **Kural 8:** Çizgilerin içi “Boundary Surface” komutu ile doldurulur.
- **Kural 9:** Elde edilen yüzey 180 derece döndürülür.
- **Kural 10:** Mukarnasın iç kısmında kalan çizgiler “Polyline” ile tek çizgi haline getirilir ve bu “Polyline” 90 ve 180 derece “Rotate” komutu ile Kural 1’de elde edilen üst kottaki noktaları orjin olarak alarak referans alıp döndürülerek 3 adet “Polyline” elde edilir ve elde edilen 3 “Polyline” “Loft” komutuyla birleştirilir.
- **Kural 11:** “Brep Join” komutu ile tüm yüzeyler birleştirilir.

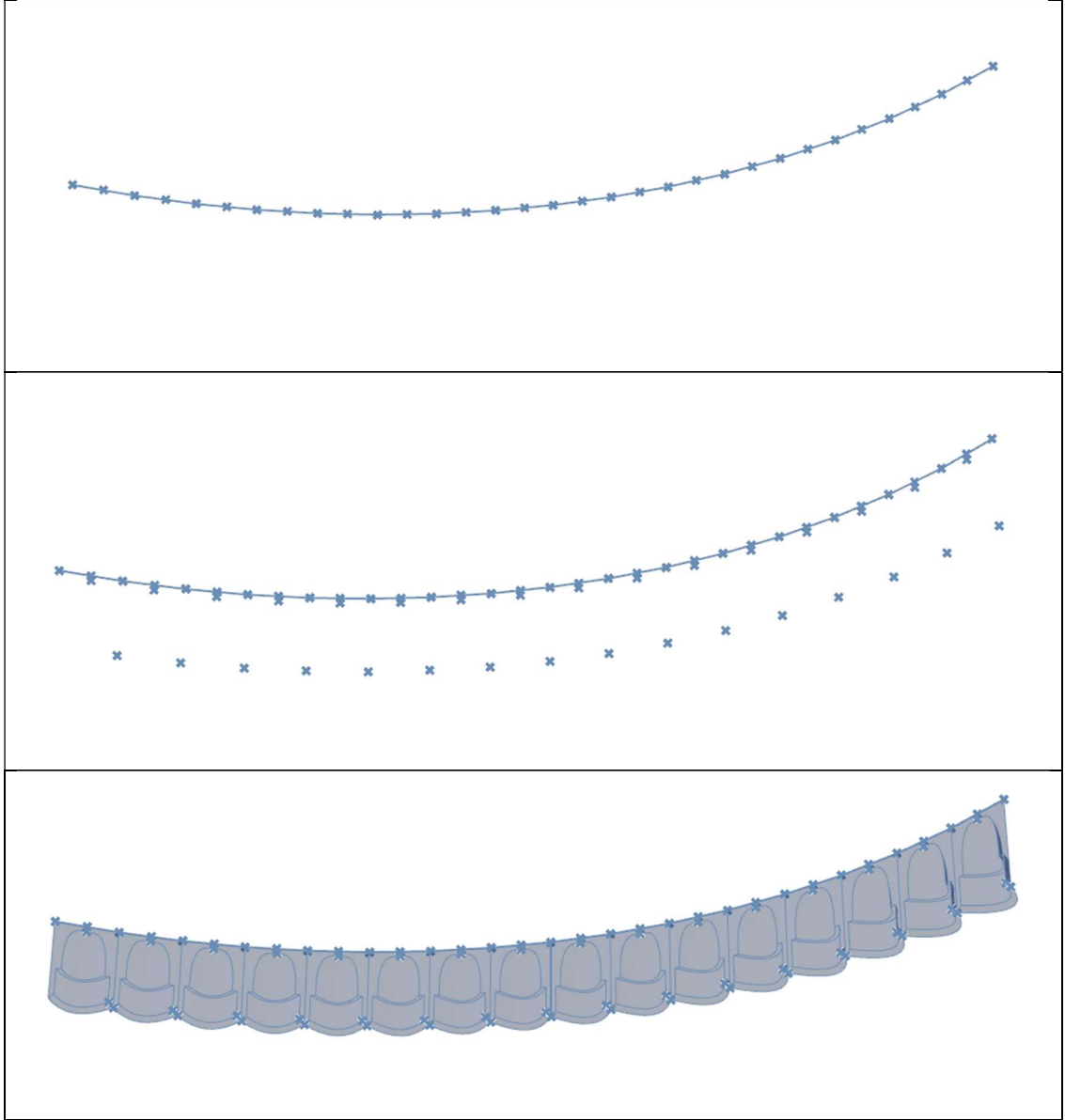
Tablo 3.4: Kubbe altındaki mukarnasların parametrik modellemesi

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	Kural 9



Şekil 3.20: Kubbe altındaki mukarnasların betiği

Tablo 3.5: Kubbe altı mukarnasların modellenme aşamalarına genel bakış



3.3.3. Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistem (3 numaralı geometri)

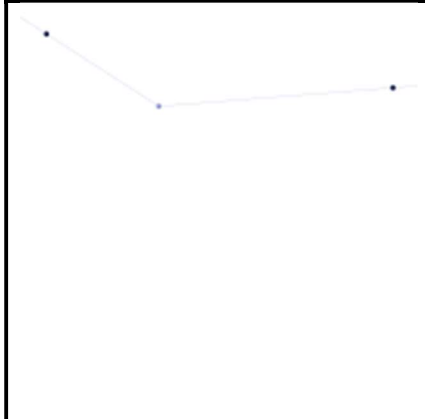
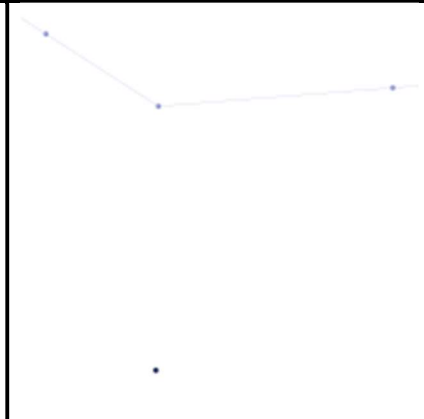
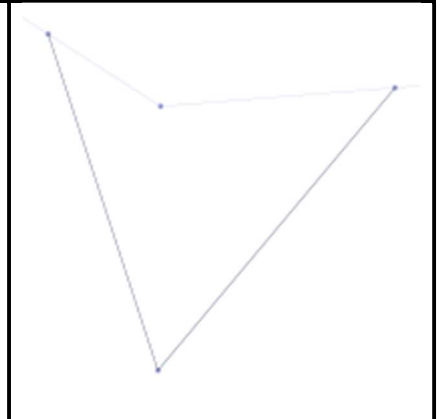
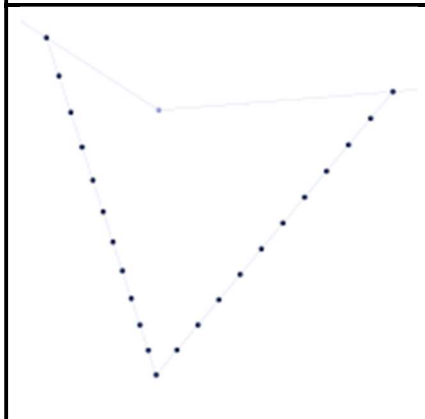
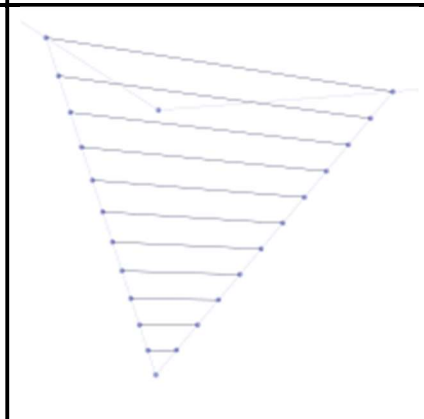
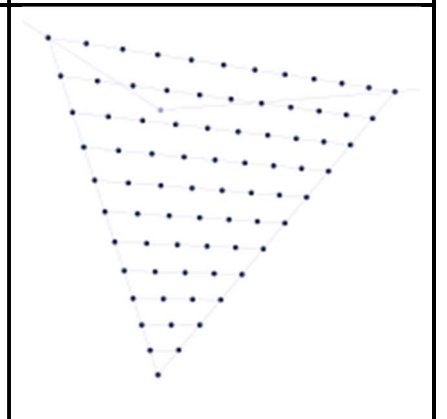
Kubbe geçiş elemanı üzerinde yer alan mukarnas için öncelikle bir nokta kümesi oluşturulmuştur (Tablo 3.6). Kubbe geçiş elemanları üzerindeki mukarnasların yerleştirileceği ızgara sistemi modellenmiştir (Şekil 3.21).

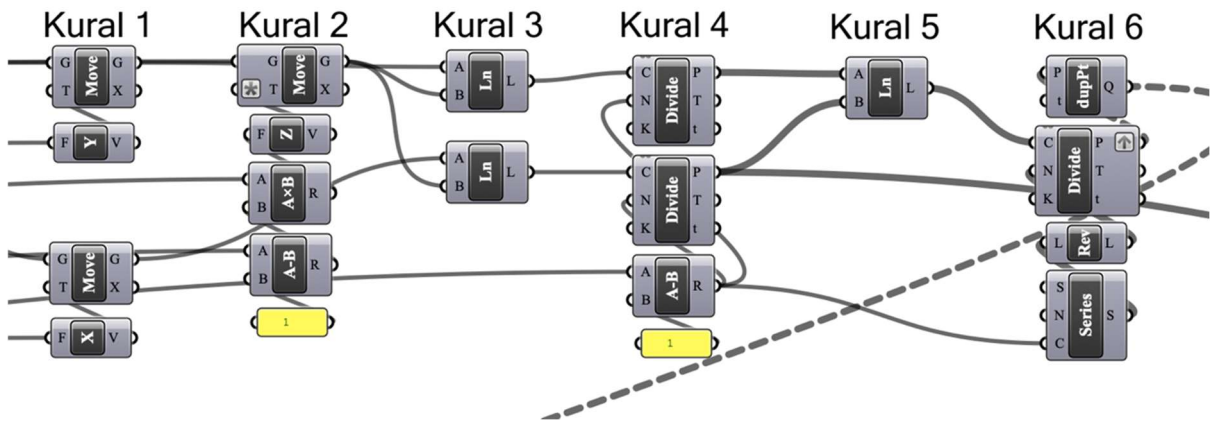
- **Kural 1:** Köşe nokta kubbe geçiş elemanının değeri kadar X ve Y eksenlerinde “Move” komutu ile kopyalanır. Dikdörtgen şemalı bir mekanda eğer kubbe geçiş elemanları düzgün bir sekizgen şeklinde yerleşmiş ise kubbe geçiş elemanlarının köşesinin mekanın köşesine olan mesafesini bulmak için

mekanın uzunluğunun $2+\sqrt{2}$ değerine bölünür. Burada da öncelikle düzgün bir sekizgen olacak şekilde mekanın uzunluğu öncelikle $(2+\sqrt{2})$ değerine bölünerek 159.33 elde edilmiştir. Daha sonra kubbe geçiş elemanları tam sekizgen olarak yerleşmediği için mevcut duruma en yakın sonucun elde edilebilmesi için elde edilen değerden $[60-(\text{Hücre sayısı}(\text{HS})\cdot 3)]$ değeri çıkartılır. Bu değer “kubbe geçiş elemanı değeri” olarak adlandırılmıştır.

- **Kural 2:** Köşe noktası -Z ekseninde Hücre Yüksekliği (HY) ile Hücre Sayısının (HS) bir eksiği ile çarpımından elde edilen değer kadar kopyalanır.
- **Kural 3:** Kural 1’de elde edilen noktalar ile Kural 2’de elde edilen noktanın arasına “Line” komutu ile çizgi çizilir.
- **Kural 4:** Elde edilen çizgiler üzerinde “Divide” komutu ile Hücre Sayısı (HS)-1 kadar bölünür ve hücre sayısı kadar nokta oluşturulmuş olur.
- **Kural 5:** Bu noktalar “Line” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 6:** “Series” komutu ile birden başlayarak birer birer artan HS değeri kadar sayı üreten sayı kümesi oluşturulur ve bu sayı kümesi ile Kural 5’te çizilen çizgilerin üzerinde noktalar oluşturulur.

Tablo 3.6: Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistemin oluşturulması

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6



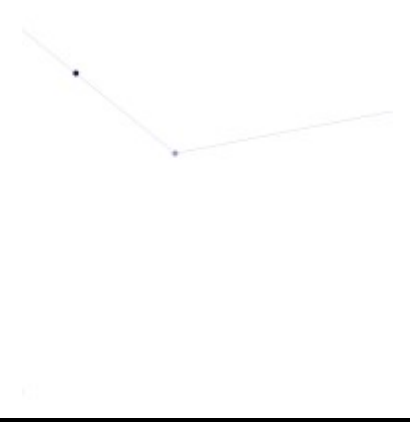

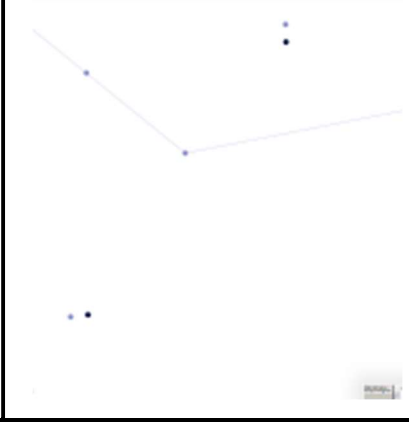

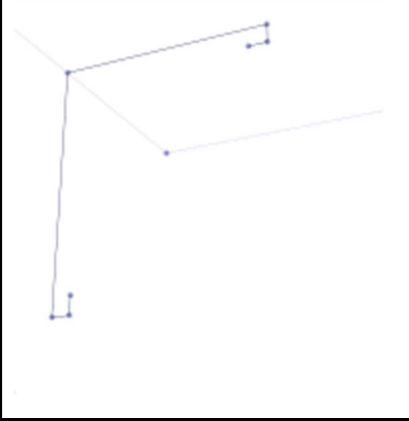
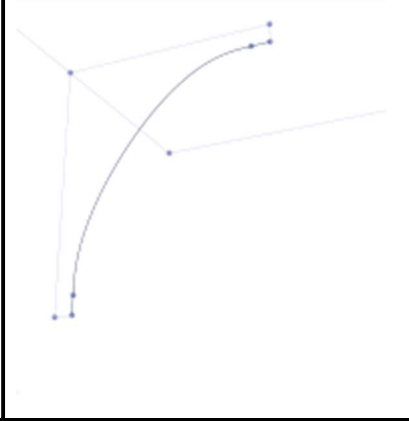

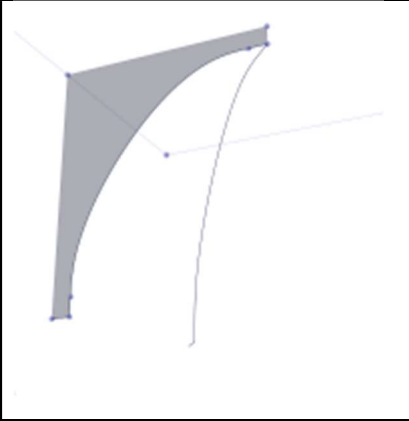
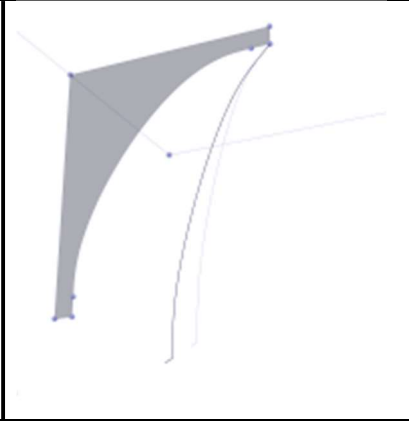
Şekil 3.21: Kubbe geçiş elemanındaki ızgara sistemin oluşturulması betiği

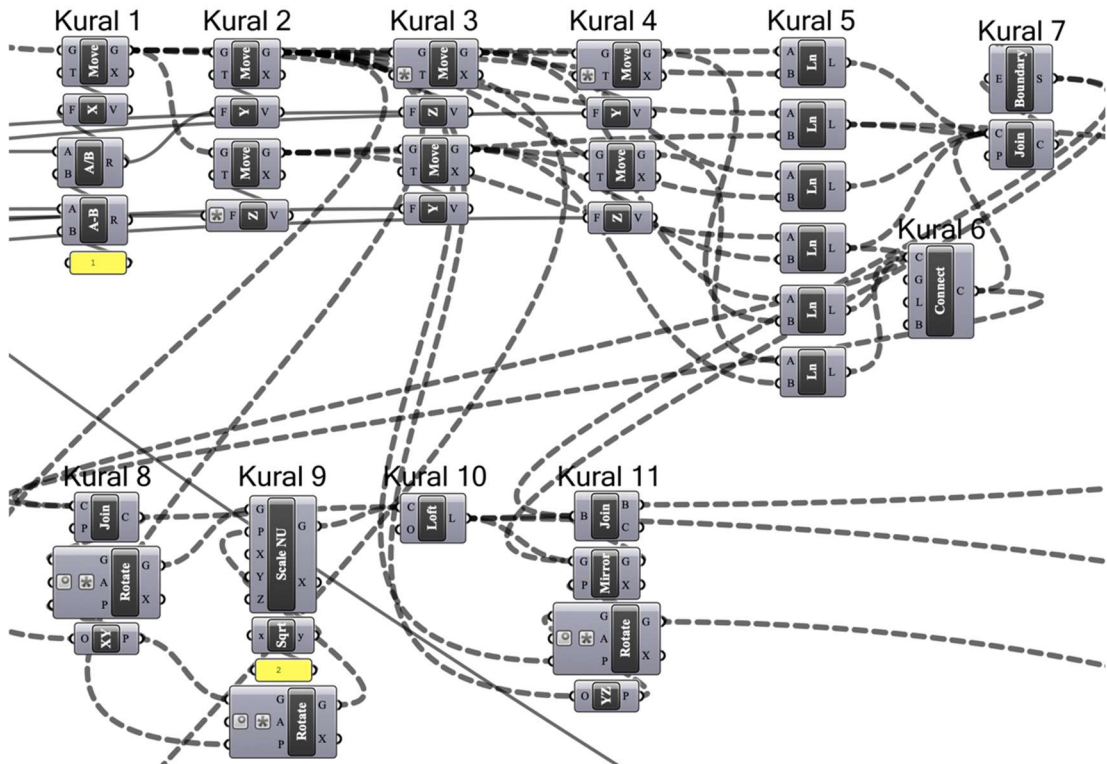
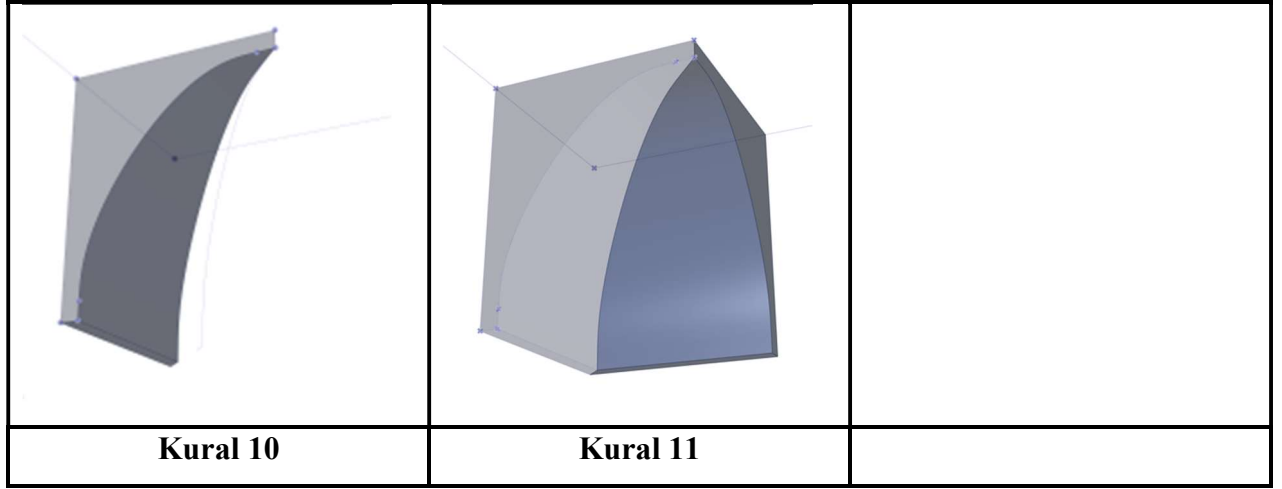
3.3.4. Kubbe geçiş elemanındaki mukarnaslar (4 numaralı geometri)

Elde edilen ızgara sistemindeki nokta kümesindeki her noktanın üzerine gelecek şekilde mukarnaslar modellenmiştir (Tablo 3.7). Nokta kümesi içine yerleştirilecek mukarnas hücrelerini oluşturmak için ise aşağıdaki kural dizisi oluşturulmuştur (Şekil 3.22).

- **Kural 1:** Kubbe geçiş elemanı değeri nin Hücre Sayısı (HS) değeri nin bir fazlasına bölümü ile elde edilen değ er kadar köşe noktası X ekseninde “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 2:** Kural 1’de elde edilen nokta kubbe geçiş elemanı değeri nin Hücre Sayısı (HS) değeri nin bir fazlasına bölümü ile elde edilen değ er kadar Y ekseninde; Hücre Yüksekli ği (HY) değeri kadarda Z ekseninde “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 3:** Kural 2’de elde edilen noktalar Y ve -Z eksenlerinde Hücre Detayı (HD) değeri kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 4:** Kural 3’te elde edilen noktalar -Y ve Z ekseninde “Move” komutu ile Hücre Detayı (HD) kadar kopyalanır.
- **Kural 5:** Elde edilen tüm noktaların arası “Line” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 6:** İşaretlenen çizgiler “Connect Curves” komutu ile birleştirilerek eğri elde edilir.
- **Kural 7:** Kural 6’da elde edilen eğri di ğer düz çizgilerle “Join” komutu ile birleştirilerek “Surface Edge” komutu ile yüzey oluşturulur.
- **Kural 8:** Kural 6’da elde edilen çizim ile alt çizgi “Join” komutu ile birleştirilerek XY düzleminde 45 derece döndürülerek kopyalanır.
- **Kural 9:** XY düzlemi 45 derece döndürülür ve tam köşeye oturması için Kural 8’de elde edilen çizime $\sqrt{2}$ değeri nde scale komutu uygulanır.
- **Kural 10:** Kural 8’de “Join” edilen çizim ile Kural 9’da elde edilen çizim “Loft” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 11:** Kural 7’de elde edilen yüzey ile Kural 10’da elde edilen yüzey “Mirror” komutu ile Kural 9’da kullanılan “Plane” ekseninde aynalanır.

Tablo 3.7: Kubbe geçiş elemanındaki mukarnasların parametrik modellenmesi

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	Kural 9








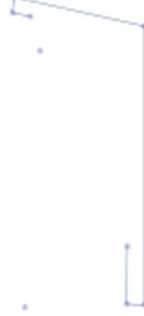



Şekil 3.22: Kubbe geçiş elemanındaki mukarnasların betiği



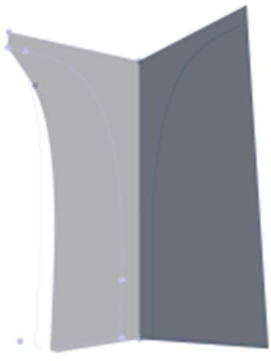

3.3.5. Sekizgendeki mukarnaslar (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) (5 numaralı geometri)

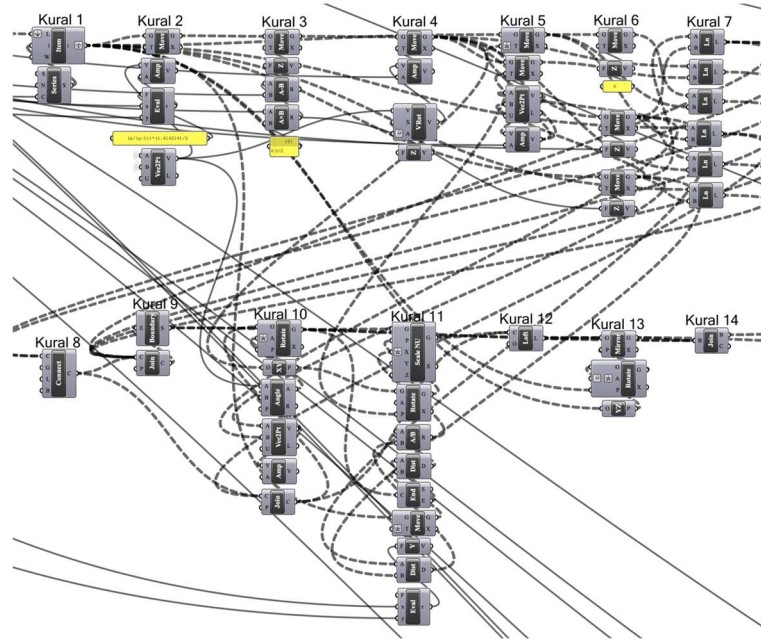
Kubbe altındaki mukarnaslar ve kubbe geçiş elemanı üzerindeki mukarnaslar arasında kalan bağlayıcı mukarnaslar ızgara sisteminin en üst sırasında bulunan noktalardan faydalanılarak noktaların her birine bir bağlayıcı mukarnas gelecek şekilde modellenmiştir (Şekil 3.23) (Tablo 3.8).

- **Kural 1:** Kubbe geçiş elemanı üzerindeki en üst sıradaki mukarnaslar seçilerek bunların üst orta noktaları seçilir.
- **Kural 2:** Seçilen orta noktalar mukarnas hücresinin ortasına gelecek şekilde XY düzleminde “Move” komutu ile kopyalanır. Mukarnas hücresinin orta noktasını bulabilmek için ise köşe noktasını XY vektörü doğrultusunda kopyalamak gerekir. Kopyalanacak mesafe, kubbe geçiş elemanı değerini Hücre Sayısının (HS) bir eksiğinin yarısına bölüp $\sqrt{2}$ ile çarparak elde edilir.
- **Kural 3:** Kural 2’de elde edilen nokta Z ekseninde “Move” komutu ile Hücre Yüksekliği (HY)- Hücre Detayı (HD) ölçüsü kadar kopyalanır. Hücre Yüksekliği, kubbe geçiş elemanında olmayan mukarnas hücrelerinde kubbe geçiş elemanında olanlara göre yüzde 50 daha büyüktür. Bu yüzden Hücre Yüksekliği değeri $3/2$ ile çarpılır. Daha sonra bu değerden detay değeri çıkartılır.
- **Kural 4:** Kural 3’de elde edilen nokta mekan merkezine doğru HÇ değeri kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 5:** Kural 1 ve Kural 4’te elde edilen nokta hücre merkezine doğru detay oluşturması için HD değeri kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 6:** Kural 1 noktası HD kadar, Kural 4 noktası HD kadar, Kural 5 noktası da 6 birim Z ekseninde “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 7:** Elde edilen noktalar “Line” komutları ile birleştirilir.
- **Kural 8:** İte kalan çizgiler “Connect Curves” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 9:** Elde edilen çizim birleştirilerek “Boundary Surface” komutu ile yüzey oluşturulur.
- **Kural 10:** İte kalan çizgi ve alttaki çizgi “Rotate” komutu ile döndürülür.
- **Kural 11:** Döndürülen çizgi “Scale” komutu ile küçültülür.
- **Kural 12:** Kural 10’da kullanılan çizim ile Kural 11’de elde edilen çizim arasında “Loft” komutu ile yüzey oluşturulur.
- **Kural 13:** Elde edilen tüm yüzeyler “Brep” komutu ile birleştirilir.

Tablo 3.8: Sekizgendeki mukarnasların (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) parametrik modelleme aşamaları

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	Kural 9

		
Kural 10	Kural 11	Kural 12
		
Kural 13		



Şekil 3.23: Sekizgendeki mukarnasların (kubbe geçiş elemanı tarafındaki) betiği

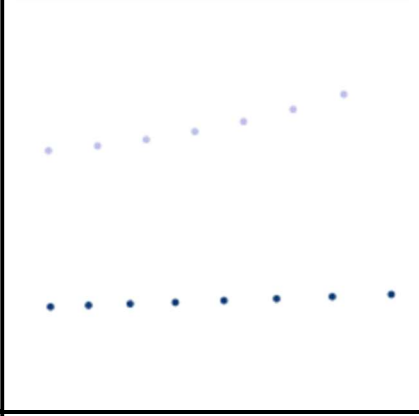
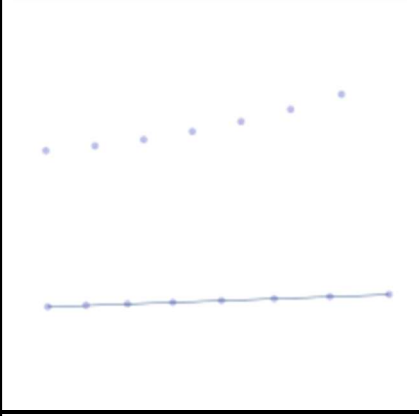
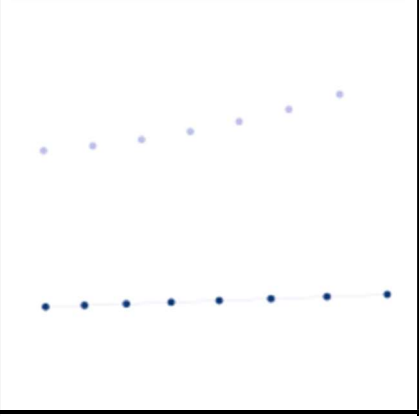
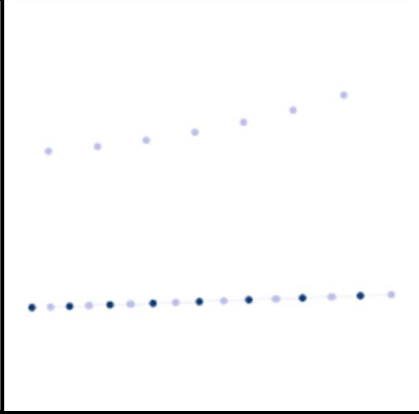


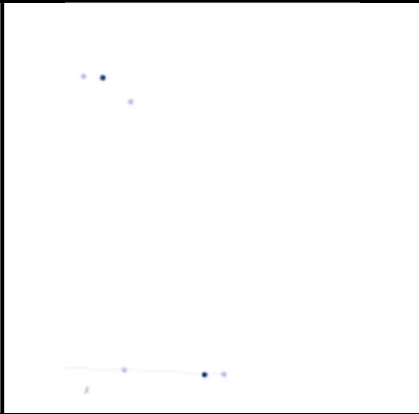
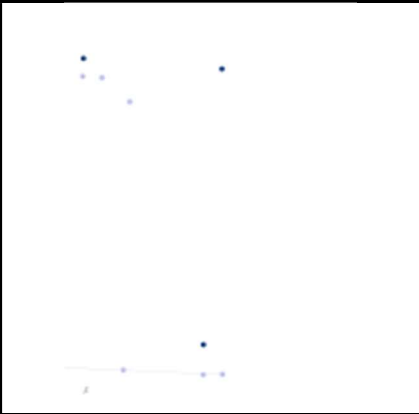
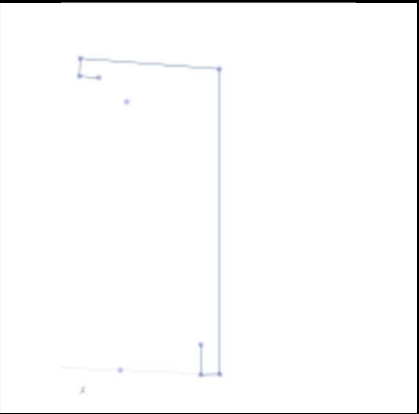
3.3.6. Sekizgendeki mukarnaslar (duvar tarafındaki) (6 numaralı geometri)

Son olarak kubbe altı mukarnasla hamamın duvarının kesiştiği bölüme tamamlayıcı mukarnaslar çizilerek parametrik modelleme işlemi tamamlanmış olur (Tablo 3.9) (Şekil 3.24).

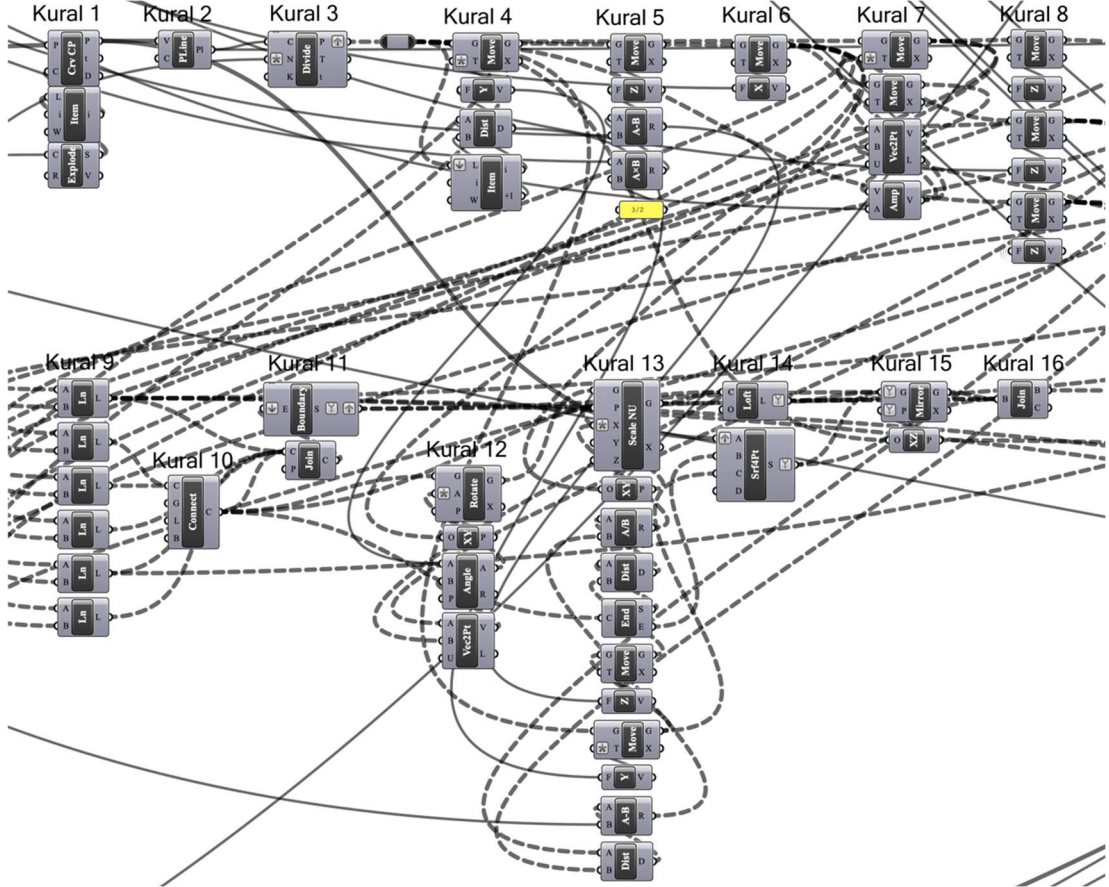
- **Kural 1:** Kubbenin altındaki mukarnas hücrelerinden kubbe geçiş elemanının üzerinde kalmayanların orta noktaları alınarak kubbe geçiş elemanları arasındaki çizgi üzerinde “Curve Closest Point” komutu ile en yakın noktaları oluşturulur.
- **Kural 2:** Kural 1’de oluşturulan noktalar “Polyline” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 3:** Elde edilen çizgi “Divide” komutu ile bölünerek aralıkları birbirine eşit olan noktalar elde edilir.
- **Kural 4:** Noktalar iki hücrenin arasındaki mesafenin yarısı kadar Y ekseninde “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 5:** Bu mukarnas hücresi normal hücre yüksekliğinin $3/2$ katı olduğu için Hücre Yüksekliği (HY) değeri $3/2$ ile çarpılarak “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 6:** Hücrede çıkıntı oluşması için elde edilen nokta Hücre Çıkıntısı (HÇ) değeri kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 7:** Kural 3’te elde edilen nokta ve Kural 6’da elde edilen nokta Hücre Detayı (HD) değeri kadar dışarı ve içeri doğru “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 8:** İlk nokta Kural 6 ve Kural 7’deki noktalar Z ekseninde Hücre Detayı (HD) değerinin $3/2$ ’si kadar ve HD değeri kadar “Move” komutu ile kopyalanır.
- **Kural 9:** Elde edilen noktalar “Line” komutları ile birleştirilir.
- **Kural 10:** İçte kalan 2 çizgi “Connect Curves” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 11:** Tüm çizgiler “Join” komutu ile birleştirilerek “Boundary Surfaces” komutu ile yüzey haline getirilir.
- **Kural 12:** Kural 10’da elde edilen çizim “Rotate” komutu ile döndürülür.

- **Kural 13:** Kural 12’de elde edilen çizgi “Scale NU” komutu ile ölçeği değiştirilir.
- **Kural 14:** Kural 10’daki çizgi ile Kural 13’te elde edilen çizginin arası “Loft” komutu ile birleştirilir. Hücrenin altında kalan noktalar seçilir ve “4point surfaces” komutu ile birleştirilir.
- **Kural 15:** Kural 11 ve Kural 14’te elde edilen çizimler “Mirror” komutu ile aynalanır. Daha sonra tüm yüzeyler “Join” komutu ile birleştirilir.

Tablo 3.9: Sekizgendeki mukarnasların (duvar tarafındaki) parametrik modellemesi

		
Kural 1	Kural 2	Kural 3
		
Kural 4	Kural 5	Kural 6
		
Kural 7	Kural 8	Kural 9

Kural 10	Kural 11	Kural 12
Kural 13	Kural 14	Kural 15

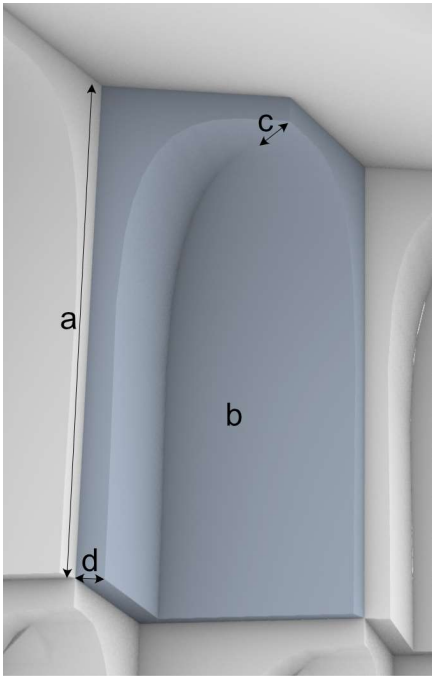


Şekil 3.24: Sekizgendeki mukarnasların (duvar tarafındaki) betiği

3.4. KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ MUKARNASLARIN PARAMETRİZASYONU

3.4.1. Değişkenler ve Sabitler

Yaratılan modelde, mukarnasların parametrize edilmesi için değişkenler belirlenmiştir (Şekil 3.25). Buna göre, hücre yüksekliğinin alabileceği en düşük değer 21 cm, en yüksek değer 29 cm, hücre sayısının alabileceği en düşük değer 7, en yüksek değer 9, hücrenin çıkıntısının alabileceği en düşük değer 5 cm, en yüksek değer 8 cm, hücre detayının ise alabileceği en düşük değer 1 cm, en yüksek değer 3 cm'dir.

	a: Hücre Yüksekliği (HY) 3 ve 4 numaralı geometrilerde her bir hücrenin yüksekliğini; 2, 5 ve 6 numaralı geometrilerde her bir hücrenin yüksekliğinin 3/2'sini tanımlar.
	b: Hücre Sayısı (HS) 3 numaralı geometride en üst sırasında yer alan hücre sayısını tanımlar.
	c: Hücre Çıkıntısı (HÇ) 5 numaralı geometri ve 6 numaralı geometride birim hücrelerin üst kısımlarının kendi merkezlerine doğru olan derinliklerini tanımlar.
	d: Hücre Detayı (HD) Mukarnas birim hücrelerinin et kalınlığını tanımlar.

Şekil 3.25: Mukarnasların parametrize edilmesi için değişkenler

Ayrıca, **Tablo 3.10**'de hamam mukarnasının gerçek ölçüleri de verilmiştir. Bu değerlere göre hücre yüksekliği 25 cm, hücre sayısı 8, hücre çıkıntısı 7 cm, hücre detayı 2 cm'dir. Ama bu değerlerin değişkenlik gösterebildiği düşünülmektedir. Çünkü bu çalışmada Agisoft programı kullanarak, hamamın ilgili bölümünün nokta bulutu geometrisi oluşturulmuştur. Bu veri kullanarak modelin ölçüleri belirlenmiştir. Bu yüzden bu ölçülerin gerçeğe yakın olduğu düşünülmektedir. Ancak, bu analizler sonucunda, ilgili bölümdeki mukarnasların her birinin birbiriyle eşit ölçüde olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.10'de verilen değişken değerleri parametrisasyonun temelini sağlamaktadır. Bu değerler değiştirildiğinde, modelin diğer ilgili kısımları da (örn. kubbe geçiş elemanı kısmı) otomatikman parametrize olmaktadır.

Bu modelde ayrıca sabitler de belirlenmiştir. Modelde sabitlerin belirlenmesinin sebebi, bu çalışmanın sonraki bölümünde yapılacak olan günışığı ve akustik hedeflerine göre mukarnas optimizasyonu çalışması içindir. Ayrıntılı bilgi sonraki bölümlerde verilmiştir. Yaratılan modelin sabitleri **Tablo 3.11**'de verilmiştir.

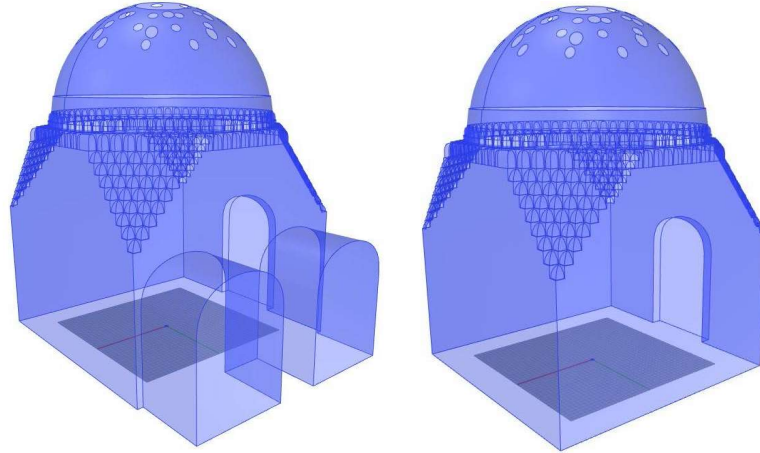
Ayrıca, hamam modellendikten sonra hesaplama işlemlerine geçilirken mekanlar arası geçiş kısımları kaldırılarak düz duvar olarak kabul edilmiştir (Şekil 3.26).

Tablo 3.10: Değişken aralıkları

Değişkenler	En düşük değer	En yüksek değer	Orijinal değerler
a: Hücre Yüksekliği	21 cm	29 cm	25 cm
b: Hücre Sayısı	7	9	8
c: Hücre Çıkıntısı	5 cm	8 cm	7 cm
d: Hücre Detayı	1 cm	3 cm	2 cm

Tablo 3.11: Sabitler ve değerleri

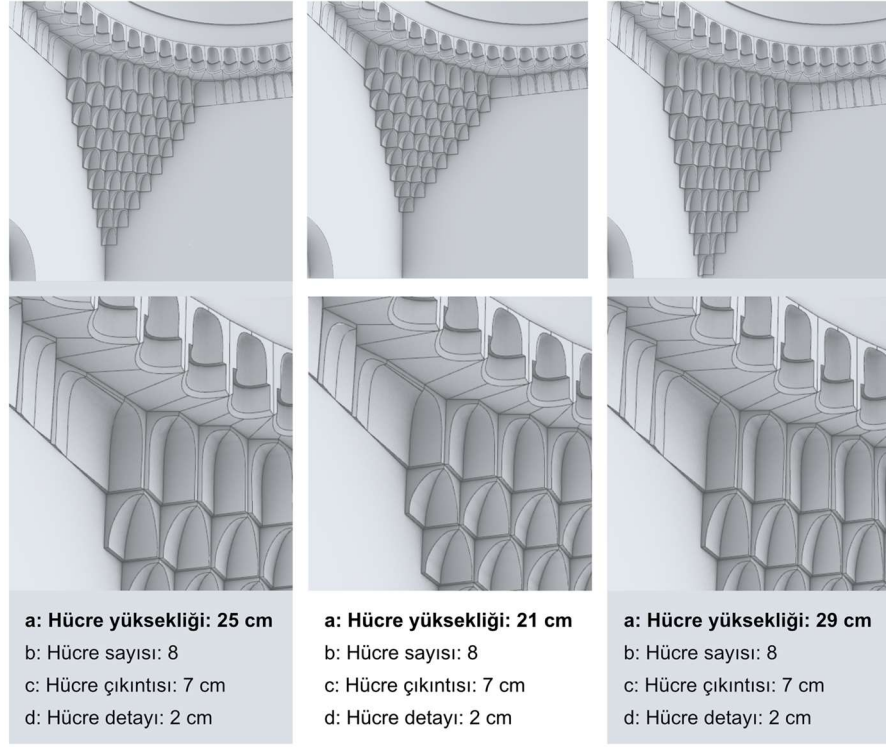
Sabitler	Ölçüleri
Kubbenin ölçüleri,	488 cm (çap), 234 cm (yükseklik)
Kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı,	24 cm (çap, 27 adet); 120 cm (çap, 1 adet)
Modelin taban ölçüleri,	544 cm, 544 cm
Duvar yüksekliği ölçüsü,	473 cm
Kapı ölçüleri	300 (yükseklik) , 180 cm (en)



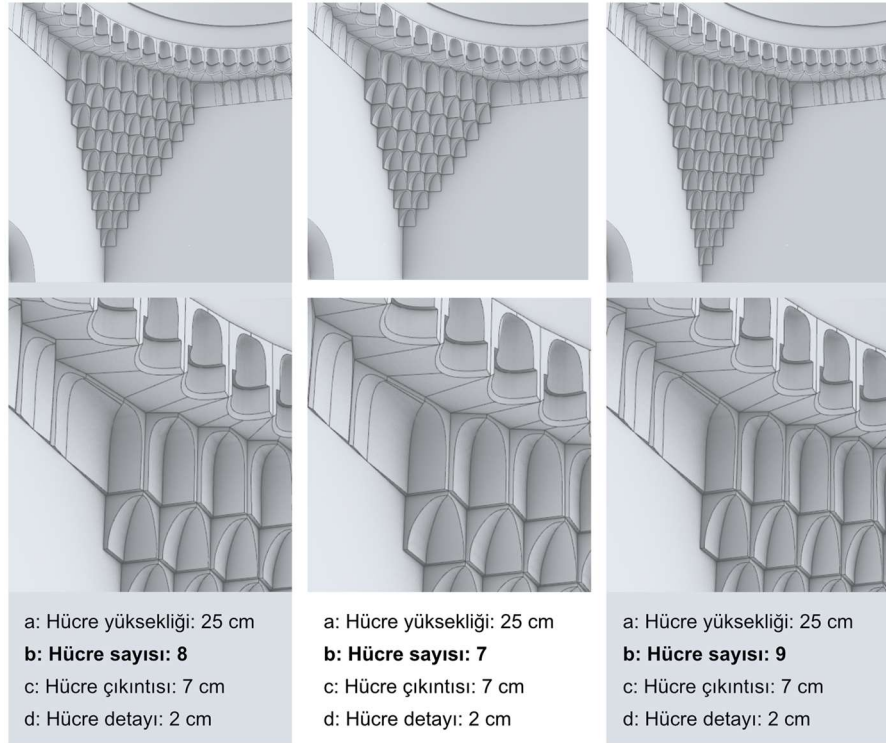
Şekil 3.26: Modelden kaldırılan mekanlar arası geçiş kısımları

3.4.2. Parametrik mukarnas varyasyonları

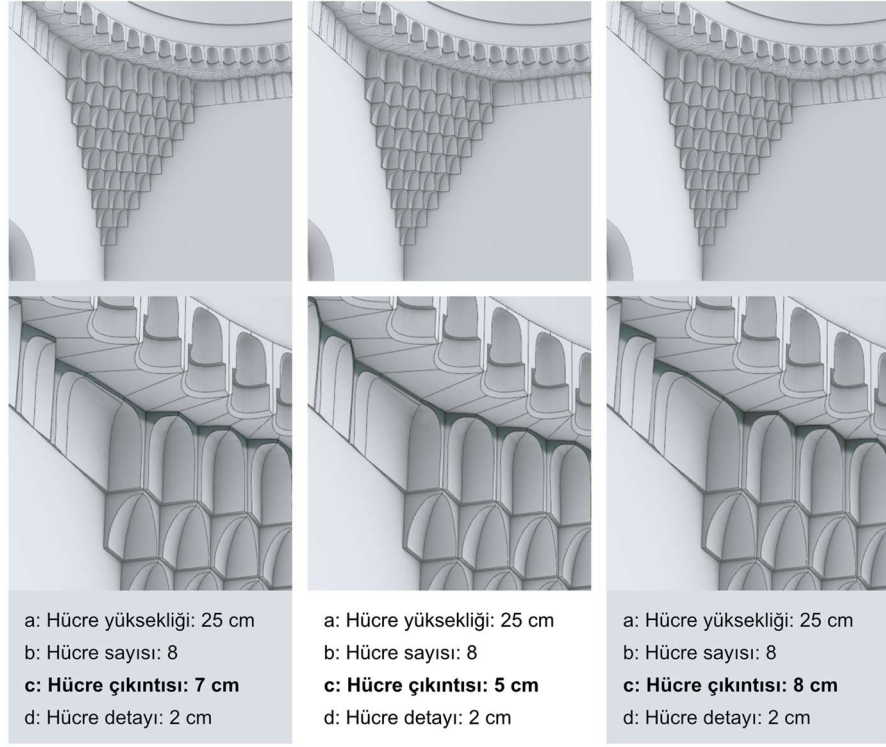
Belirlenen 4 değişkene farklı değerler verilip mukarnas varyasyonları yaratılmıştır. İlk denemede tüm değerler sabit tutularak Hücre Yüksekliği değeri sırasıyla 25, 21 ve 29 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.27). İkinci denemede Hücre Sayısı değeri sırasıyla 8, 7 ve 9 olarak ayarlanıp (diğer değerler sabit tutulup) mukarnas varyasyonları oluşturulmuştur (Şekil 3.28). Üçüncü denemede Hücre Çıkıntısı değerleri sırasıyla 7,5 ve 8 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.29). Dördüncü denemede Hücre Detayı değerleri sırasıyla 2, 1 ve 3 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.30).



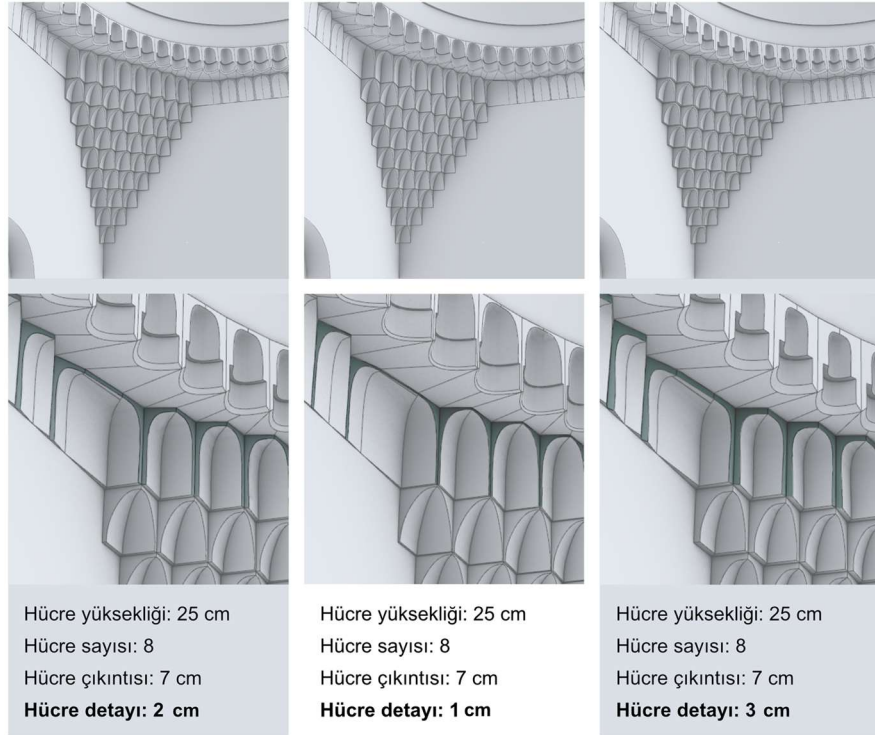
Şekil 3.27: Hücre yüksekliği değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları



Şekil 3.28: Hücre sayısı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları



Şekil 3.29: Hücre çıkıntısı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları



Şekil 3.30: Hücre detayı değişkenine farklı değerler verilerek yaratılan mukarnas varyasyonları

4. İÇ MEKAN GÜNIŞIĞI VE AKUSTİK PERFORMANSINA KUBBE GEÇİŞ ELEMANINDAKİ MUKARNASIN ETKİSİ

4.1. GÜNIŞIĞI PERFORMANSINA MUKARNASIN ETKİSİ

4.1.1. Günişığı simülasyonu ön hazırlıkları

Rhinoceros yazılımına bağlı bir eklenti olarak çalışan Grasshopper yazılımında modellenen modelin günişığı performanslarının karşılaştırılmasında Grasshopper yazılımına bağlı bir eklenti olarak çalışan Ladybug ve Honeybee eklentileri kullanılmıştır. Bu yazılımlar yardımıyla mukarnaslı ve mukarnasız hamam modelinin günişığı performansları karşılaştırılmıştır.

Günişığı ve akustik simülasyonlarına başlamadan önce ise, bazı ön ayarlar yapılmıştır. Bu ayarlar yapılırken mümkün olduğunca hamamın orijinal haline sadık kalınmaya çalışılmıştır. Ancak bazı parametreler, veri (data) olmadığı için kendisine en yakın veri seçilmek durumunda kalınmıştır. Ancak bu çalışmada mukarnasın iç mekan performansına etkisi araştırıldığından, girilen farklı parametrelerin sonucu değiştirmeyeceği aşıkardır. Hamamın orijinalindeki veriler **Tablo 4.1**'de, simülasyonda kullanılan veriler **Tablo 4.2**'de verilmiştir.

Yazılımlara hesaplamalar için EPW, yani modelin aydınlatma hesabı için kullanılan konum bilgisi, hamamın konumuna en yakın kullanılacak konum İstanbul olduğu için İstanbul girilmiştir. Çünkü Bursa'nın EPW datası mevcut değildir.

Aydınlatma hesabı için Honeybee'de oluşturulan noktaların konumlandığı taban alanı 295.936 m², aydınlatma hesabı için Honeybee'de oluşturulan noktalar arası mesafe (ızgara boyutu) 50 cm, aydınlatma hesabı için Honeybee'de girilen kubbedeki boşlukların malzemesi cam (*window*) ve yine aydınlatma hesabı için Honeybee'de girilen mekan kullanım zamanı 9-12 ve 13-17 saatleri arası, haftanın 7 günü olarak girilmiştir. Izgara boyutu 50 cm girildiğinde modelin tabanında 100 adet nokta oluşmuş ve bu noktalar modellerin karşılaştırılmasında kullanılmıştır (**Şekil 4.1**).

10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91

Şekil 4.1: Günışığı simülasyonu için hamam zemininde oluşturulan ızgaradaki sensör noktaları ve numaralandırması

Honeybee ve Ladybug kullanılarak yapılan simülasyonda binaya belirli program tipleri atanabilmektedir. Ancak bu program tipleri sınırlıdır. Hamam veya banyo (*bath*) olarak bir seçenek yoktur. Bu yüzden program, varsayılan (*default*) ayar olan ofis programında bırakılmıştır. Çalışmada mukarnasın iç mekan aydınlatmasına etkisi araştırıldığından, hamamın çevresindeki yapılar simülasyona dahil edilmemiştir. Simülasyonlarda taban alanına dahil olan kapı nişi simülasyona dahil edilmemiştir.

Tablo 4.1: Hamamla ilgili veriler (günümüzdeki durumu)

Yapı lokasyonu	Şehreküstü, Cumhuriyet Cd. No:147, 16050 Osmangazi/Bursa
Yapının programı	Çarşı, Çay ocağı
Taban alanı	366.64 m ²
Yapı Kullanım zamanı	9:30-18:30
Duvar malzemesi	Sıva (orjinalinin tarihi kireç sıva olduğu tahmin ediliyor)
Tavan malzemesi	Sıva (orjinalinin tarihi kireç sıva olduğu tahmin ediliyor)
Işık gözü malzemesi	Cam
Yer malzemesi	Ahşap kaplama (sonradan kaplama, orjinalinin bir çeşit taş olduğu tahmin ediliyor)

Tablo 4.2: Günüşığı analizi simülasyonu için kullanılan ön parametreler

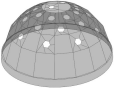

Hava datası (EPW)	İstanbul (170600)
Yapının programı	Ofis
Taban alanı	295.936 m ²
Yapı Kullanım zamanı	9-12 ve 13-17 arası, haftanın 7 günü
Izgaradaki sensör noktası sayısı	100
Izgara dilimlerinin boyutu	50 cm
Sensörlerin yerden yükseklikleri	18 cm

4.1.2. Mukarnaslı kubbe ile mukarnasız kubbe modellerinin günüşığı performanslarının karşılaştırılması

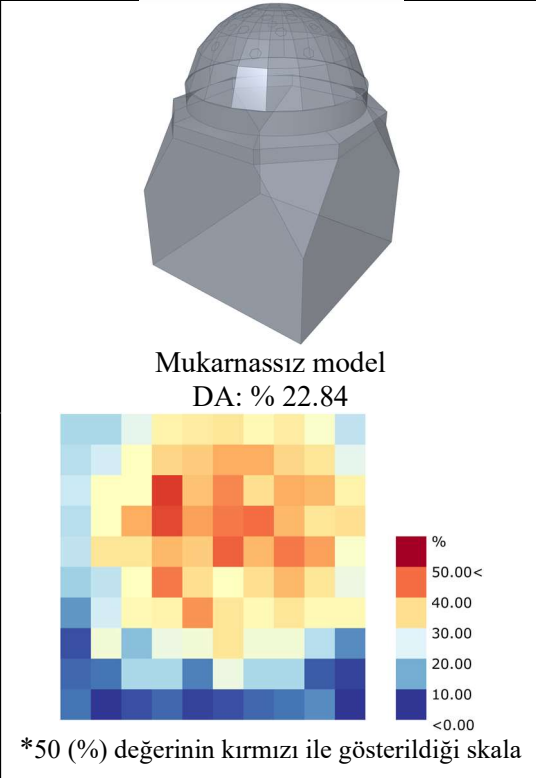
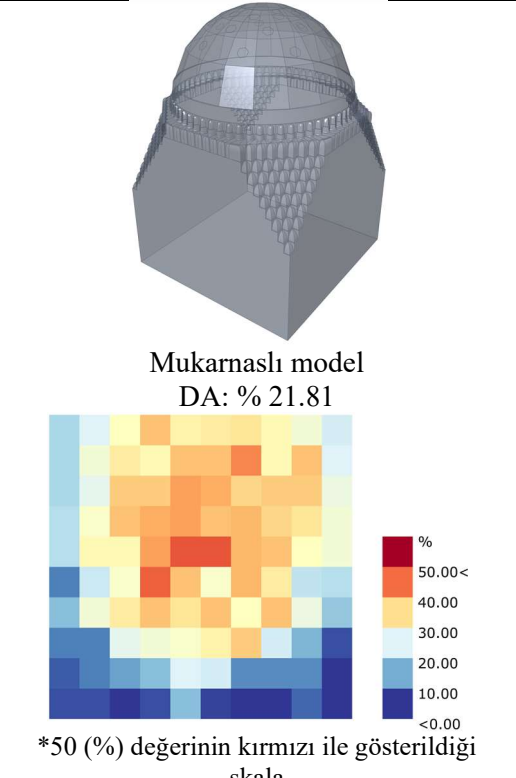
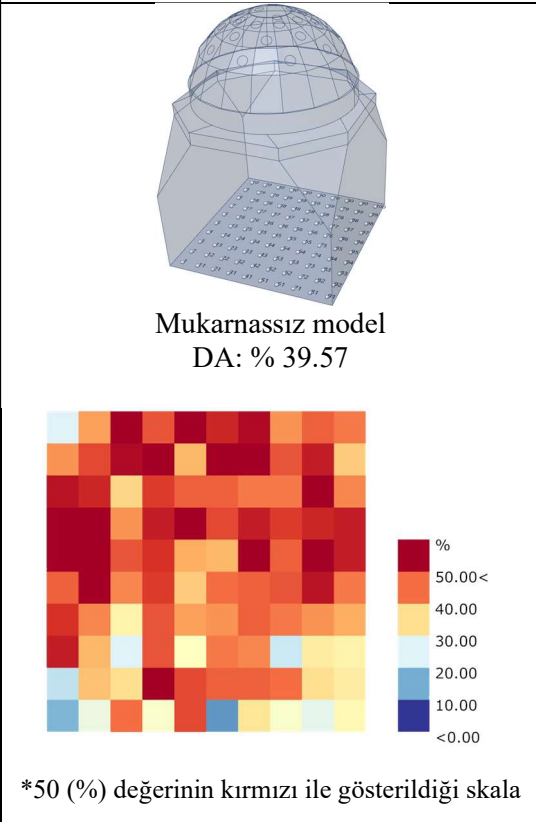
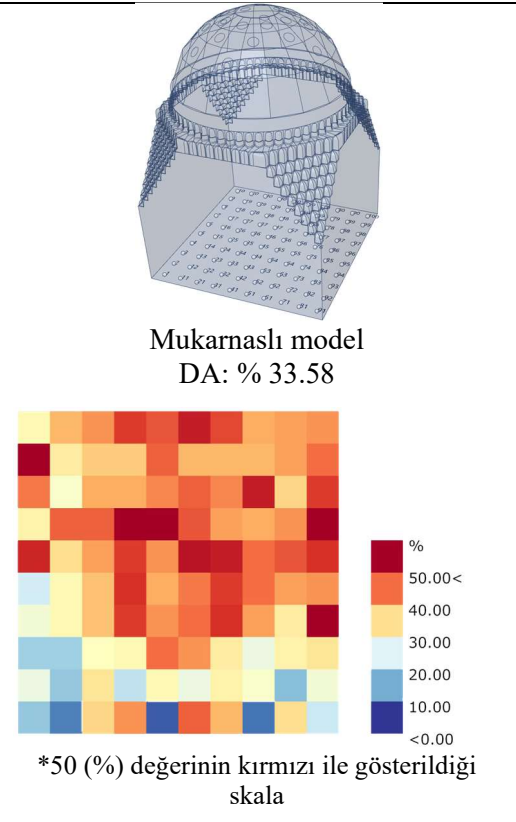
Mukarnaslı ve mukarnasız model arasındaki günüşığı alımı karşılaştırmasını yapmak için, hem köşeli (altıgen) formdaki kubbe açıklıklı model, hem de dairesel formdaki kubbe açıklıklı model kullanılarak test yapılmıştır. 2 testteki sonuçlar birbiriyle örtüşmektedir.

Yapılan günüşığı simülasyonları sonucunda DA ve cDA değerlerinin mukarnasız modelde daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 4.3). Tablo 4.4’de günüşığın, yıllık olarak, mekan içinde dağılımı grafik temsili olarak görülebilir. Bu sonuca istinaden, mukarnasların iç mekana günüşığın alımında etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Mukarnaslar, kompleks geometrilerinden dolayı ışığın daha çok kırılmasına yol açmakta olduğu söylenebilir. Bu durumun, hamamlardaki mistik atmosfere de katkısı olduğu düşünülebilir. Köşeli açıklıklar kullanılarak yapılan simülasyondaki detaylı değerler Ekler bölümündeki EK 1 tablosunda görülebilir.

Tablo 4.3: Mukarnaslı ve mukarnasız modelde günüşığı değerleri

Modeldeki Kubbe Açıklık Tipi	Mukarnasız Model					Mukarnaslı Model				
	DA (%)	UDI 0-100 lux (%)	UDI 100-2000 lux (%)	UDI 2000’den büyük (%)	CDA (%)	DA (%)	UDI 0-100 lux (%)	UDI 100-2000 lux (%)	UDI 2000’den büyük (%)	CDA (%)
 Köşeli	22.84	20.97	77.73	1.36	62.48	21.81	20.91	77.72	1.36	61.96
 Dairesel	39.57	12.07	86.45	1.48	73.57	33.58	14.12	84.44	1.46	70.23

Tablo 4.4: Mukarnassız ve mukarnaslı hamam günüşiği (DA) dağılımı

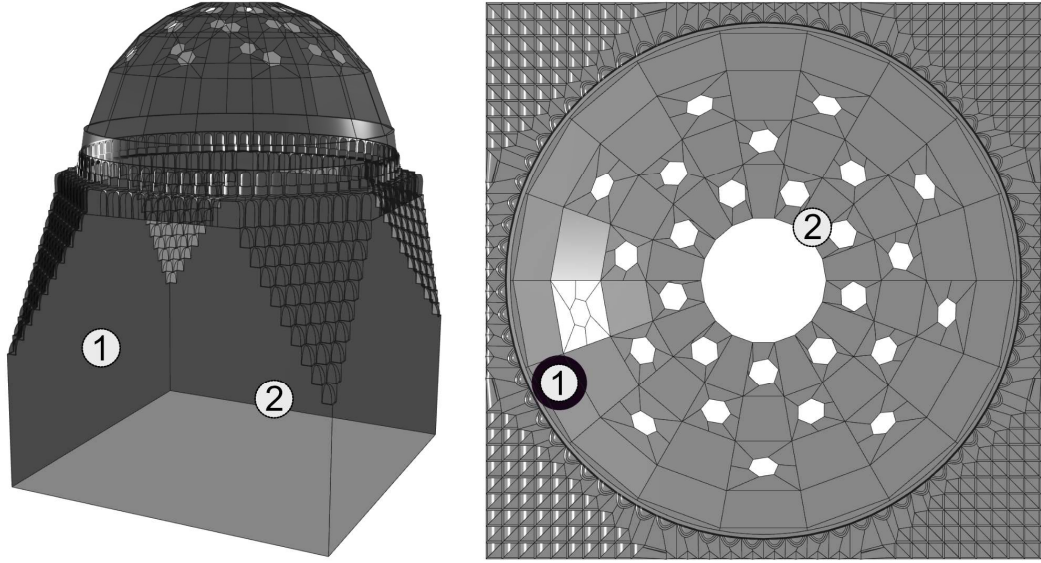
Köşeli açıklıklı	 <p>Mukarnassız model DA: % 22.84</p> <p>*50 (%) değerinin kırmızı ile gösterildiği skala</p>	 <p>Mukarnaslı model DA: % 21.81</p> <p>*50 (%) değerinin kırmızı ile gösterildiği skala</p>
Dairesel açıklıklı	 <p>Mukarnassız model DA: % 39.57</p> <p>*50 (%) değerinin kırmızı ile gösterildiği skala</p>	 <p>Mukarnaslı model DA: % 33.58</p> <p>*50 (%) değerinin kırmızı ile gösterildiği skala</p>

4.2. AKUSTİK PERFORMANSINA MUKARNASIN ETKİSİ

4.2.1. Akustik simülasyonu ön hazırlıkları

Grasshopper'a bağlı bir eklenti olarak çalışan *Pachyderm* adlı program akustik simülasyonları için kullanılmıştır. *Pachyderm* programı kullanılarak mimari form-akustik üzerine yapılmış çalışmalar mevcuttur. Buna örnek olarak Agirbas'ın (2019b), kompleks formlu duvarların oda akustiğine etkisini ölçen çalışması verilebilir.

Mukarnaslı ve mukarnasız hamamın akustik performansı ölçümü için yapılacak simülasyonda ön parametreler belirlenmiştir. İzlenen ses dışındaki sesleri belirleyen arka plan gürültüsü (*Background noise*) değeri 45 dB olarak girilmiş, sesin çıkış kaynağını ve alıcı noktasını belirten *receiver* ve *source* noktaları **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir. Mekan içinde mobilya simülasyona dahil edilmemiştir.



Şekil 4.2: Programda girilen alıcı (receiver-1) ve kaynak (source-2) noktaları

Farklı malzemeler kullanılarak, 2 farklı senaryo için simülasyon yapılmıştır. 2 farklı senaryo için de, mukarnaslı model ve mukarnasız modelin akustik performansının karşılaştırması yapılmıştır. İlk senaryoda Tavuk Pazarı Hamamı'nın zemini mermer, boşlukları cam (*window*), duvarlarının ve tavanın normal sıva ile yapıldığı düşünülmüştür (**Tablo 4.5**). 2. Senaryoda ise Tavuk Pazarı Hamamı'nın

zemini mermer, boşlukları cam, duvarlarının ve tavanın tarihi kireç sıva ile yapıldığı düşünülmüştür (**Tablo 4.6**).

Mermer ve normal sıva (*Lime Plaster*) malzemelerinin akustik katsayıları Sü ve Yılmaz'ın (2008) makalesinden alınmıştır (**Tablo 4.7**). Cam katsayıları için Pachyderm yazılımındaki varsayılan (*default*) cam değerleri kullanılmıştır (**Tablo 4.8**). Tarihi kireç sıvanın ses yutma katsayıları ise Tavukçuoğlu vd'nin (2011) bildirisinden alınmıştır (**Tablo 4.9**).

Ancak Tavukçuoğlu vd'nin (2011) çalışmasında, tarihi kireç sıva (*historical lime plaster*) için 62.5 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz değerleri verilmemiştir. Ama Pachyderm akustik simülasyonuna 62.5 Hz, 4000 Hz ve 8000 Hz değerlerinin de girilmesi gerekmektedir. Bu yüzden Tavukçuoğlu vd'nin (2011) tarihi kireç sıva 100 Hz için belirttiği değer (0.11), 62.5 Hz değeri için girilmiştir. 4000 Hz ve 8000 Hz için ise, 2000 Hz değeri ile aynı değer girilmiştir.

Tablo 4.5: Birinci senaryodaki akustik analizi simülasyonu için belirlenen ön parametreler

Yapının programı	Ofis
Taban alanı	295.936 m ²
Hacim	179.01 m ³
Duvar malzemesi	Normal Sıva
Tavan malzemesi	Normal Sıva
Işık gözü malzemesi	Cam
Yer malzemesi	Mermer
Arka gürültü (N)	45 dB
Alıcı (receiver)	1 adet
Kaynak (source)	1 adet

Tablo 4.6: İkinci senaryodaki akustik analizi simülasyonu için belirlenen ön parametreler

Yapının programı	Ofis
Taban alanı	295.936 m ²
Hacim	179.01 m ³
Duvar malzemesi	Kireç Sıva
Tavan malzemesi	Kireç sıva
Işık gözü malzemesi	Cam
Yer malzemesi	Mermer
Arka gürültü (N)	45 dB
Alıcı (receiver)	1 adet
Kaynak (source)	1 adet

Tablo 4.7: Kocatepe Camii'nde kullanılan farklı malzemelerin ses yutma katsayıları (Sü ve Yılmaz, 2008)

Material	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Scattering Factor
Smooth concrete	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0,1
Marble	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0,2
Solid wood panel	0.15	0.15	0.10	0.06	0.08	0.10	0.05	0.05	0,1
Double glazing	0.02	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0,1
Solid wooden door	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10	0,1
Prayers-1/1 per m ²	0.55	0.55	0.86	0.83	0.87	0.90	0.87	0.87	0,5
Prayers-1/3 per m ²	0.10	0.10	0.21	0.41	0.65	0.75	0.71	0.71	0,5
Ceramic tiles	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0,3
Carpet on concrete	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65	0,1
Chandelier	0.35	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04	0.04	0,2
Lime plaster	0.04	0.04	0.05	0.04	0.08	0.04	0.06	0.06	0,1

Tablo 4.8: Pachyderm yazılımındaki *default glass* malzemesi (URL-3)

Frekans, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ses Yutma Değeri	0,11	0,13	0,14	0,17	0,29	0,30	0,30	0,30

Tablo 4.9: Tarihi kireç sıvanın %80 bağıl nemde 1/3 oktav bandındaki frekans aralıklarında belirlenen ses yutma değerleri (Tavukçuoğlu vd. 2011)

Frekans, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ses Yutma Değeri	-	0,13	0,14	0,17	0,29	0,30	-	-

4.2.2. Mukarnaslı kubbe ile mukarnasız kubbe modellerinin akustik performanslarının karşılaştırılması

Birinci senaryoda (normal sıva kullanılarak yapılan), mukarnaslı ve mukarnasız model için yapılan akustik simülasyonu sonuçları Tablo 4.10'de verilmiştir. İkinci senaryoda (tarihi kireç sıva kullanılarak yapılan), mukarnaslı ve mukarnasız model için yapılan akustik simülasyonu sonuçları ise Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.10: Normal sıvalı mukarnaslı ve mukarnasız modelin RT C50 ve C80 sonuçları (N: 45 dB)

Parametre	Tip	Frekans (Hz)							
		62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT (T60)	Mukarnaslı	2.182	2.180	2.086	2.176	1.732	2.133	1.892	1.798
	Mukarnasız	2.190	2.188	2.131	2.186	1.805	2.160	1.953	1.863
C50	Mukarnaslı	-6.201	-6.169	-5.273	-6.088	-2.983	-5.705	-3.970	-3.406
	Mukarnasız	-6.788	-6.756	-5.856	-6.662	-3.526	-6.240	-4.501	-3.892
C80	Mukarnaslı	-4.203	-4.172	-3.230	-4.087	-0.764	-3.670	-1.838	-1.222
	Mukarnasız	-4.625	-4.589	-3.632	-4.498	-1.124	-4.052	-2.183	-1.530

Tablo 4.11: Kireç sıvalı mukarnaslı ve mukarnassız modelin RT, C50 ve C80 sonuçları (N: 45 dB)

Parametre	Tip	Frekans (Hz)							
		62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT (T60)	Mukarnaslı	1.272	1.267	1.179	0.964	0.569	0.520	0.516	0.503
	Mukarnassız	1.365	1.360	1.267	1.039	0.607	0.557	0.553	0.537
C50	Mukarnaslı	-0.451	-0.431	0.033	1.337	5.415	6.173	6.231	6.468
	Mukarnassız	-0.971	-0.952	-0.490	0.785	4.735	5.451	5.511	5.753
C80	Mukarnaslı	2.056	2.075	2.605	4.098	9.033	9.992	10.072	10.375
	Mukarnassız	1.775	1.806	2.330	3.807	8.643	9.567	9.645	9.962

Duvar ve tavan için tarihi kireç sıva kullanılarak yapılan akustik simülasyonu sonucunda, mukarnaslı modelde tüm frekanslarda RT değerinin, mukarnassız modele göre daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Mukarnaslı modelde RT değerinin daha düşük olması mekan içindeki konuşmanın anlaşılabilirliği açısından, mukarnassız modele göre, daha iyidir. Zaten bu durum, berraklığın ölçüldüğü C50 sonuçlarında da görülebilmektedir. Mukarnaslı modelin tüm frekanslardaki C50 değerleri, mukarnassız modele göre, daha yüksektir. Bu durum, mukarnaslı modeldeki mekanda, konuşmanın daha anlaşılabilir olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra mukarnaslı ve mukarnassız modeldeki RT, C50 ve C80 değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğunun da altını çizmek gerekir.

Test edilen mekanın yaklaşık büyüklüğündeki hacimler için, konuşma (*speech*) yapılan konferans odaları (*conference rooms*) ve ders holleri (*lecture halls*) kapsamında, Long (2014) RT değerinin yaklaşık 0.6 ve 0.8 arasında olması gerektiğini önermiştir. Yine bu grafiğe bakılarak, müzik yapılan mekanlarda ise bu hacimde bir mekanın RT değerinin 0.8 ve 1.2 arası olabileceği sonucuna varılabilir (Barron, 2010). Tarihi kireç sıvanın kullanıldığı mukarnaslı modelde, 62.5 Hz'den 500 Hz'e kadar RT değerleri 0.964 ile 1.272 arasındadır. Bu değerlerin, müzikli ortam için uygun olabileceği ama konuşma için uygun olamayacağı söylenebilir. 1000 Hz'den 8000 Hz'e kadar RT değerleri ise 0.503 ile 0.569 arasında değişmektedir. Bu değerlerin konuşma için uygun olabileceği ama müzikli ortam için uygun olmayacağı söylenebilir. Mukarnassız modelde ise, 62.5 Hz'den 500 Hz'ye kadar olan RT değerleri 1.039 ile 1.365 arasındadır. Bu değerlerin de, mukarnaslı modelde olduğu gibi, müzikli ortam için uygun olabileceği ama konuşma için uygun olamayacağı söylenebilir. 1000 Hz'den 8000 Hz'e kadar RT değerleri ise 0.537 ile

0.607 arasında değişmektedir. Bu değerlerin de, mukarnaslı modelde olduğu gibi, konuşma için uygun olabileceği ama müzikli ortam için uygun olmayacağı söylenebilir.

Kapalı bir mekandaki konuşmanın anlaşılabilirliğini (*speech clarity*, C_{50}) ölçmek için kullanılan C_{50} değerlerine baktığımızda, tarihi kireç sıva kullanılan mukarnaslı modeldeki değerlerin mukarnassız modeldeki değerlere göre daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Mukarnaslı ve mukarnassız modeldeki C_{50} değerleri, Marshall (1995)'in C_{50} skalasına göre yorumlanabilir. Mukarnaslı ve mukarnassız modeldeki C_{50} değerleri birbirine yakın olduğundan Marshall skalasında aynı kategoriye girmektedirler. Buna göre, 62.5 Hz'den 500 Hz'e kadar olan değerler Yeterli (*Fair*) kategorisine girerken, 1000 Hz'den 8000 Hz'e kadar olan değerler İyi (*Good*) kategorisine girmektedir.

Duvar ve tavan için normal sıva kullanılarak yapılan akustik simülasyonu sonucunda, mukarnaslı modelde tüm frekanslarda RT değerinin, mukarnassız modele göre daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Mukarnaslı modelde RT değerinin daha düşük olması mekan içindeki konuşmanın anlaşılabilirliği açısından, mukarnassız modele göre, daha iyidir. Zaten bu durum, berraklığın ölçüldüğü C_{50} sonuçlarında da görülebilmektedir. Mukarnaslı modelin tüm frekanslardaki C_{50} değerleri, mukarnassız modele göre, daha yüksektir. Bu durum, mukarnaslı modeldeki mekanda, konuşmanın daha anlaşılabilir olduğunu gösterir. Bunun yanı sıra mukarnaslı ve mukarnassız modeldeki RT, C_{50} ve C_{80} değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğunun da altını çizmek gerekir. Kireç sıva kullanılarak yapılan model sonuçları ile normal sıva kullanılarak yapılan model sonuçları karşılaştırıldığında, normal sıva modelindeki RT değerlerinin daha yüksek olduğu, C_{50} ve C_{80} değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda kireç sıva kullanılan mekandaki konuşmanın anlaşılabilirliğinin daha yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

Normal sıva kullanılan mukarnaslı ve mukarnassız modeldeki tüm C_{50} değerleri Marshall skalasına göre Zayıf (*Poor*) kategorisine girmektedirler. Modellerdeki RT değerleri de oldukça yüksek olup, konuşma için uygun değillerdir.

Mukarnasın, mekanda kullanıldığı durumlarda, mekan akustiğine olumlu etki gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak mekanlarda kullanılan malzemenin akustik performansına etkisinin çok olduğu görülmüştür. Bu durum bize, akustik performansına, malzemenin etkisinin, mukarnas geometrisininin etkisinden daha güçlü olduğunu da göstermektedir.

5. PARAMETRİK MUKARNASIN GÜNIŞIĞI VE AKUSTİK HEDEFLERİNE GÖRE OPTİMİZASYONU

5.1. BİRİNCİ DENEME

Bu bölümdeki optimizasyon denemeleri Octopus programı kullanılarak yapılmıştır. Optimizasyonlarda i7 işlemcili, RTX2060 grafik kartlı ve 32GB RAM kapasiteli bir bilgisayar kullanılmıştır. Günişığı optimizasyonu denemesi ve akustik optimizasyonu denemesi aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

Bu bölümdeki Octopus ile günişığı arttırma ve azaltma optimizasyon simülasyonlarında dairesel formdaki kubbe açıklıklı model kullanılmıştır. Octopus ile yapılan akustik optimizasyon simülasyonunda ise altıgen köşeli model kullanılmıştır.

Bu bölümdeki çalışmalar, bir sonraki bölüm olan ‘ikinci deneme’ bölümünün ön testleri ve denemeleri niteliğindedir. Bu bölümdeki denemeler sonucunda ‘ikinci deneme’ bölümü için değişken değerlerinin değer aralıklarının arttırılması öngörülmüştür. Böylece optimize edilmiş mukarnas formları arasında daha belirgin farklar çıkabilecektir. Ayrıca ikinci denemede, dairesel formda olan kubbe açıklıklarının yerine köşeli formdaki kubbe açıklıklarının kullanılması, uygun görülmüştür. Çünkü dairesel formdaki kubbe açıklıklarının simülasyonlarda kullanılması, simülasyon süresini oldukça arttırmaktadır. Ayrıca ikinci bölümde tek hedefli optimizasyon aracı olan Galapagos kullanılarak optimizasyon testlerine devam edilmiştir.

5.1.1. Sabitler, değişkenler ve hedefler

Aşağıdaki tabloda, yapılan optimizasyon testlerindeki parametreler ve hedefler bulunmaktadır (**Tablo 5.1**). Bu simülasyonlardaki değişkenler; hücre yüksekliği, hücre sayısı, hücre çıkıntısı ve hücre detayıdır. Bu değişkenlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler tabloda verilmiştir (**Tablo 5.2**). Sabitler ise kubbenin ölçüleri, kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı, modelin taban ölçüsü, duvar yüksekliği ölçüsü ve kapı ölçüsüdür. Bu sabitler ve değerleri **Tablo 5.3**’da verilmiştir.

Tablo 5.1: Günüşığı ve akustik optimizasyonu denemelerindeki parametreler ve hedefler

Test no	Performans kriteri	Parametre	Hedef (Objective)
1	Akustik	Berraklık (C50) (500 Hz için)	Arttırmak (+)
2	Günüşığı	DA	Arttırmak (+)
3	Günüşığı	DA	Azaltmak (-)

Tablo 5.2: Modeldeki değişkenlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler

Değişkenler	En düşük değer	En yüksek değer
a: Hücre Yüksekliği	21 cm	29 cm
b: Hücre Sayısı	7	9
c: Hücre Çıkıntısı	5 cm	8 cm
d: Hücre Detayı	1 cm	3 cm

Tablo 5.3: Modeldeki sabit değerler

Sabitler	Ölçüleri
Kubbenin ölçüleri,	488 cm (çap), 234 cm (yükseklik)
Kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı,	24 cm (çap, 27 adet); 120 cm (çap, 1 adet)
Modelin taban ölçüleri,	544 cm, 544 cm
Duvar yüksekliği ölçüsü,	473 cm
Kapı ölçüleri	300 cm (yükseklik) , 180 cm (en)

5.1.2. Günüşığı arttırma hedefli optimizasyon sonucu

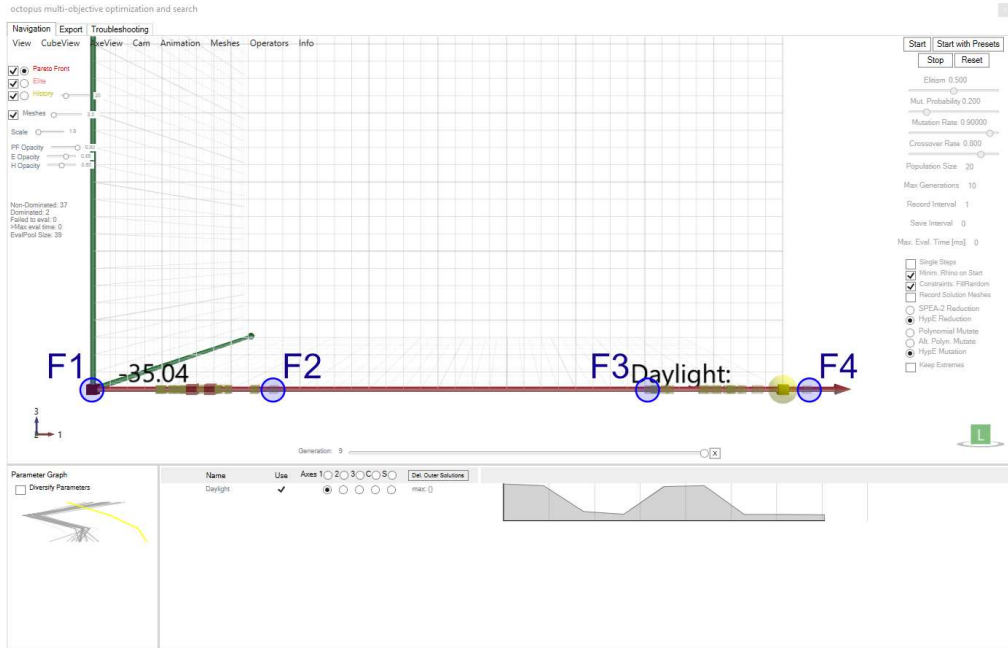
Günüşığı hedefine göre, kubbe geçiş elemanındaki mukarnasın optimizasyonu testi yapılmıştır. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde günüşığı alımını (DA), parametrik mukarnasların değişkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, maksimize etmektir.

Bu simülasyon her bir mukarnas değerler kombinasyonunun günüşığı analizini yaptığı için çok uzun sürmektedir. Simülasyon yaklaşık 5 gün sürmüştür.

Optimizasyon sonucunda 9 jenerasyon üretilmiştir. Bu simülasyon sonucunda Octopus bize birçok optimize form sonucu vermiştir. Pareto Front sonuçlardan rastgele değerler seçilip, bu değerler doğrultusunda çıkan mukarnas formlarına bakılmıştır. Optimizasyon simülasyonu sonucu ve seçilen değerler **Şekil 5.1**'de

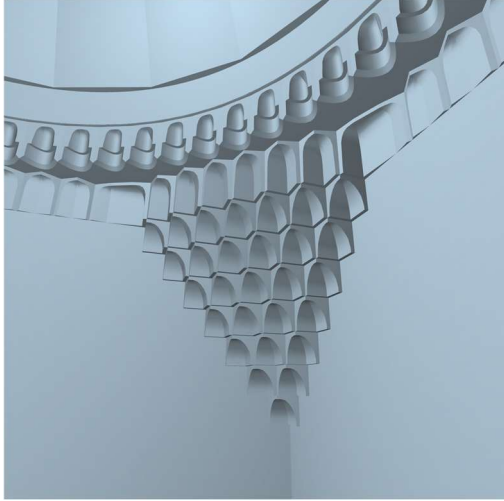
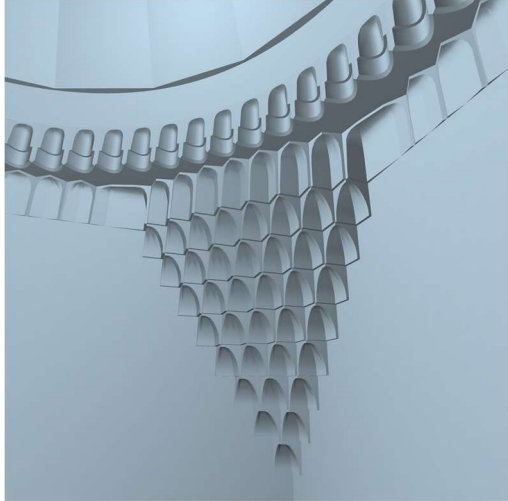
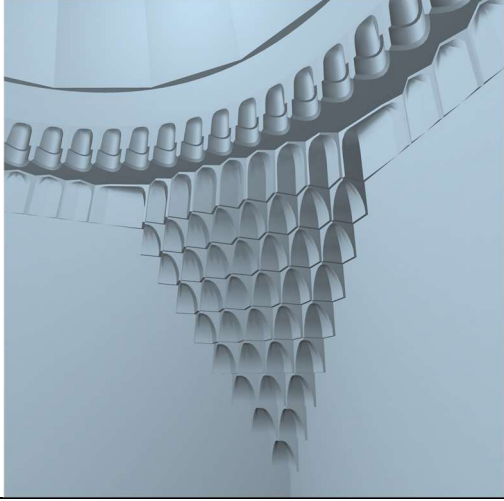
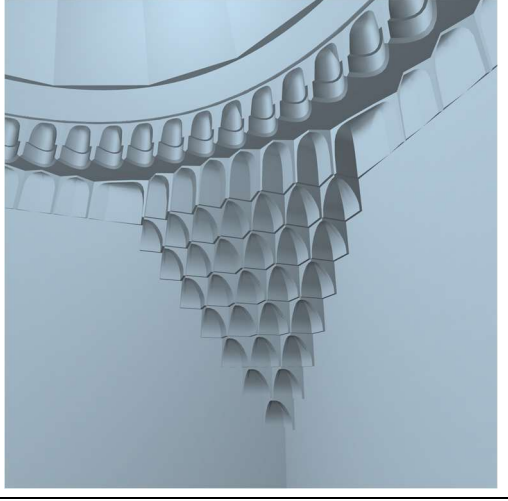
verilmiştir. Seçilen değerler kombinasyonları F1, F2, F3, F4 şeklinde adlandırılmıştır. Çıkan mukarnas formları ve değerler kombinasyonları ise **Tablo 5.4**'de verilmiştir.

4 tane değerler kombinasyonları incelendiğinde, 4 değerler kombinasyonunun da birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum değişkenlerin değer aralıklarının birbirine yakınlığı yüzünden olduğu düşünülebilir. Bunun yanı sıra, Octopus'un, mekan içinde günışığını arttırmaya çalıştığı, çıkan değerlerden görülebilmektedir.



Şekil 5.1: Octopus ile günışığı arttırma optimizasyon sonuçları arasından seçilen değerler kombinasyonları

Tablo 5.4: Octopus ile gnı arttırma sonuçları arasından seçilen noktaların değiken değerleri ve gnı değerleri sonuçları

F1 Sonucu	F2 Sonucu
	
HY: 25 cm DA: 35.04 % HS: 7 CDA: 67.82 % H: 7 cm HD: 2 cm	HY: 25 cm DA: 26.99 % HS: 8 CDA: 65.54 % H: 6 cm HD: 2 cm
F3 Sonucu	F4 Sonucu
	
HY: 25 cm DA: 28.77 % HS: 8 CDA: 67.33 % H: 8 cm HD: 2 cm	HY: 24 cm DA: 33 % HS: 7 CDA: 66.14 % H: 8 cm HD: 3 cm

5.1.3. Günüşığı azaltma hedefli optimizasyon sonucu

Günüşığı azaltma optimizasyonu denemesinde bir önceki bölümde verilen sabit ve değişkenler aynı tutulmuştur. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde günüşığı alımını (DA), parametrik mukarnasların değişkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, minimize etmektir.

Bu simülasyonda her bir mukarnas değerler kombinasyonunun günüşığı analizini yaptığı için çok uzun sürmektedir. Simülasyon yaklaşık 5 gün sürmüştür.

Optimizasyon sonucunda 9 jenerasyon üretilmiştir. Bu simülasyon sonucunda Octopus bize birçok optimize form sonucu vermiştir. Pareto Front sonuçlardan rastgele değerler seçilip, bu değerler doğrultusunda çıkan mukarnas formlarına bakılmıştır. Optimizasyon simülasyonu sonucu ve seçilen değerler **Şekil 5.2**'de verilmiştir. Seçilen değerler kombinasyonları D1, D2, D3, D4 şeklinde adlandırılmıştır. Çıkan mukarnas formları ve değerler kombinasyonları ise **Tablo 5.5**'de verilmiştir. Buna göre 4 değerler kombinasyonunun da birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum değişkenlerin değer aralıklarının birbirine yakınlığı yüzünden olduğu düşünülebilir. Ayrıca maksimize etmeye çalışılan hesaplama ile kıyaslandığında Hücre Yüksekliği'nin aydınlatmayı olumlu, Hücre Detayı'nın ise olumsuz etkilediği düşünülebilir.



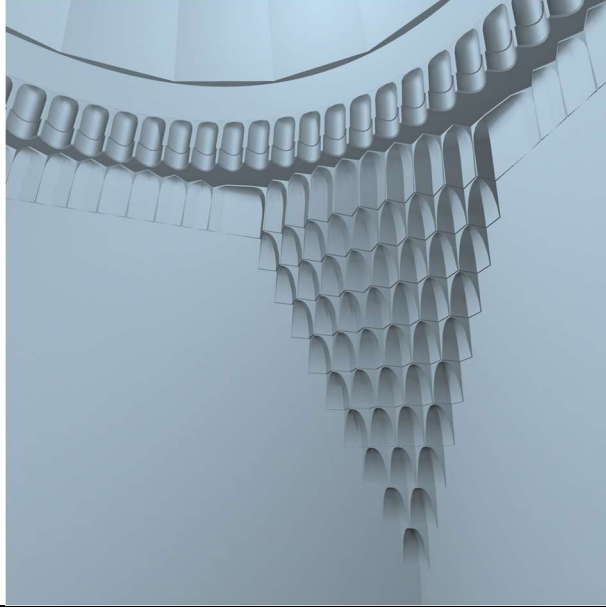
Şekil 5.2: Octopus ile günışığı azaltma optimizasyon sonuçları arasından seçilen değerler

5.1.4. Akustik hedefine göre optimizasyon sonucu

Akustik hedefine göre, kubbe geçiş elemanındaki mukarnasın optimizasyonu testi yapılmıştır. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde konuşmanın anlaşılabilirliğini (*Speech Clarity, C50*), 500 Hz frekansında, parametrik mukarnasların değişkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, maksimize etmektir. Bu değişkenlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler **Tablo 5.2**'de verilmiştir. Sabitler ise kubbenin ölçüleri, kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı, modelin taban ölçüsü, duvar yüksekliği ölçüsü ve kapı ölçüsüdür. Bu sabitler ve değerleri ise **Tablo 5.3**'de verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan malzemeler **Tablo 4.6**'de, bu malzemelerin ses yutma katsayıları ise **Tablo 4.7**, **Tablo 4.8** ve **Tablo 4.9**'de verilmiştir. Gürültü değeri (*Background noise*) 45 dB olarak girilmiş, sesin çıkış kaynağını (*source*) ve alıcı noktasını (*receiver*) belirten noktalar **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir.

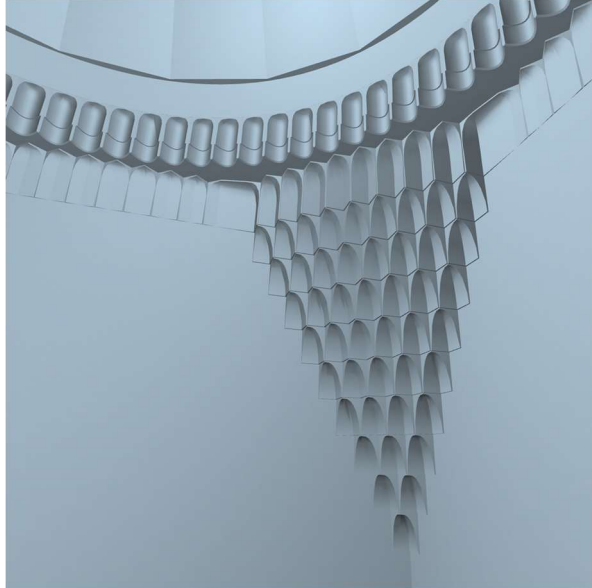
Bu simülasyon, günışığı aydınlatmasına kıyasla daha kısa sürmektedir. Simülasyon 1 güne yakın sürmüştür.

Optimizasyon sonucunda 9 jenerasyon üretilmiştir. Bu simülasyon sonucunda Octopus bize birçok optimize form sonucu vermiştir. Pareto Front sonuçlardan rastgele değerler seçilip, bu değerler doğrultusunda çıkan mukarnas formlarına bakılmıştır. Optimizasyon simülasyonu sonucu ve seçilen değerler verilmiştir (**Şekil 5.3**). Seçilen değerler A1, A2, A3 şeklinde adlandırılmıştır. Çıkan mukarnas formları ve değerler kombinasyonları ise **Tablo 5.6**, **Tablo 5.7** ve **Tablo 5.8**'de verilmiştir.

Tablo 5.7: A2 Sonucu

HY: 29 cm
HS: 9
HÇ: 8 cm
HD: 1 cm

Frekans, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT	1.430	1.245	1.179	0.970	0.573	0.531	0.526	0.512
Clarity (C50)	1.283	-0.355	-0.015	1.281	5.260	5.940	6.001	6.239

Tablo 5.8: A3 Sonucu

HY: 25 cm
HS: 9
HÇ: 8 cm
HD: 2 cm

Frekans, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT	1.449	1.256	1.189	0.976	0.581	0.540	0.536	0.522
Clarity (C50)	1.224	-0.318	-0.048	1.300	5.260	5.939	6.006	6.240

5.2. İKİNCİ DENEME

Bu bölümdeki optimizasyon denemeleri, tek hedefli optimizasyon programı olan Galapagos programı kullanılarak yapılmıştır. Optimizasyonlarda i7 işlemcili, RTX2060 grafik kartlı ve 32GB RAM kapasiteli bir bilgisayar kullanılmıştır. Günışığı optimizasyonu denemesi ve akustik optimizasyonu denemesi aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir. Galapagos ile yapılan günışığı ve akustik optimizasyon simülasyonlarında altıgen köşeli kubbe açıklıkları olan model kullanılmıştır.

5.2.1. Sabitler, değişkenler ve hedefler

Tablo 5.9'de, yapılan optimizasyon testlerinde kullanılan parametreler verilmiştir. Bu simülasyonlardaki değişkenler; hücre yüksekliği, hücre sayısı, hücre çıkıntısı ve hücre detayıdır. Bu değişkenlerin alabileceği maksimum ve minimum değerler **Tablo 5.10**'de verilmiştir. Sabitler ise kubbenin ölçüleri, kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı, modelin taban ölçüsü, duvar yüksekliği ölçüsü ve kapı ölçüsüdür. Bir önceki bölümde kullanılan sabitler aynı tutulmuştur. Bu sabitler ve değerleri **Tablo 5.11**'de verilmiştir.

Tablo 5.9: Günışığı ve akustik optimizasyonu denemelerindeki parametreler ve hedefler

Test no	Performans kriteri	Parametre	Hedef (Objective)
1	Akustik	Berraklık (C50) (500 Hz için)	Arttırmak (+)
2	Günışığı	DA	Arttırmak (+)
3	Günışığı	DA	Azaltmak (-)

Tablo 5.10: Yeni durum için belirlenen değişken değerler

Değişkenler	En düşük değer	En yüksek değer	Orijinal değerler
a: Hücre Yüksekliği	10 cm	50 cm	25 cm
b: Hücre Sayısı	7	9	8
c: Hücre Çıkıntısı	5 cm	8 cm	7 cm
d: Hücre Detayı	1 cm	3 cm	2 cm

Tablo 5.11: Modeldeki sabit değerler

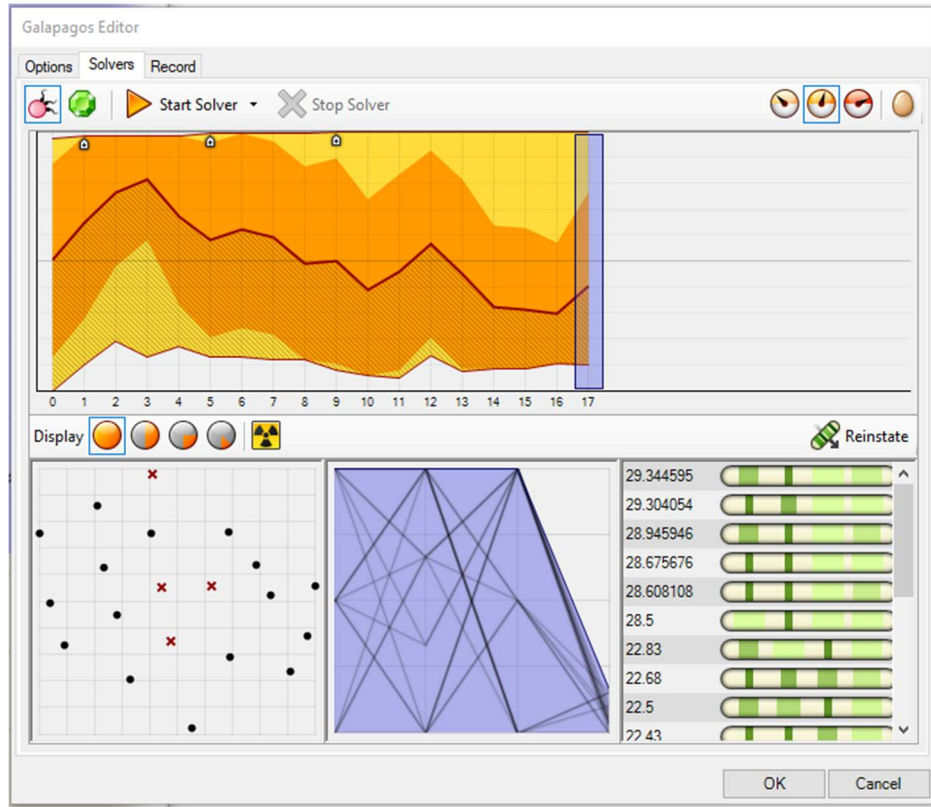
Sabitler	Ölçüleri
Kubbenin ölçüleri,	488 cm (çap), 234 cm (yükseklik)
Kubbenin üzerindeki açıklıkların ölçüleri ve sayısı,	24 cm (çap, 27 adet); 120 cm (çap, 1 adet)
Modelin taban ölçüleri,	544 cm, 544 cm
Duvar yüksekliği ölçüsü,	473 cm
Kapı ölçüleri	300 cm (yükseklik) , 180 cm (en)

5.2.2. Günüşığı arttırma hedefli optimizasyon sonucu

Günüşığı hedefine göre, kubbe geçiş elemanındaki mukarnasın optimizasyonu testi yapılmıştır. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde günüşığı alımını (DA), parametrik mukarnasların değışkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, maksimize etmektir.

Bu simülasyon her bir mukarnas değerler kombinasyonunun günüşığı analizini yaptığı için çok uzun sürmektedir. Simülasyon yaklaşık 14 gün sürmüştür.

Optimizasyon sonucunda 17 jenerasyon üretilmiştir (Şekil 5.4). Bu simülasyon sonucunda Galapagos'un bize verdiği sonuç **Tablo 5.12**'de gösterilmiştir.



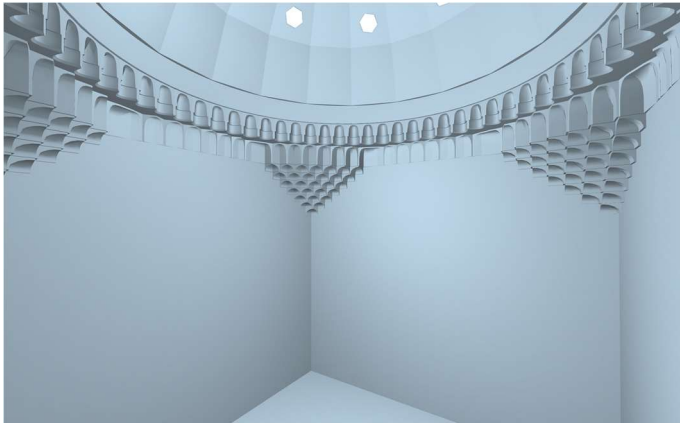
Şekil 5.4: Günüşığı alımını (DA) arttırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç

Tablo 5.12: Günüşığı alımını (DA) artırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen mukarnas modeli



HY: 14 cm
HS: 7
HÇ: 8 cm
HD: 2 cm

DA: 29.34 %
CDA: 63.97 %

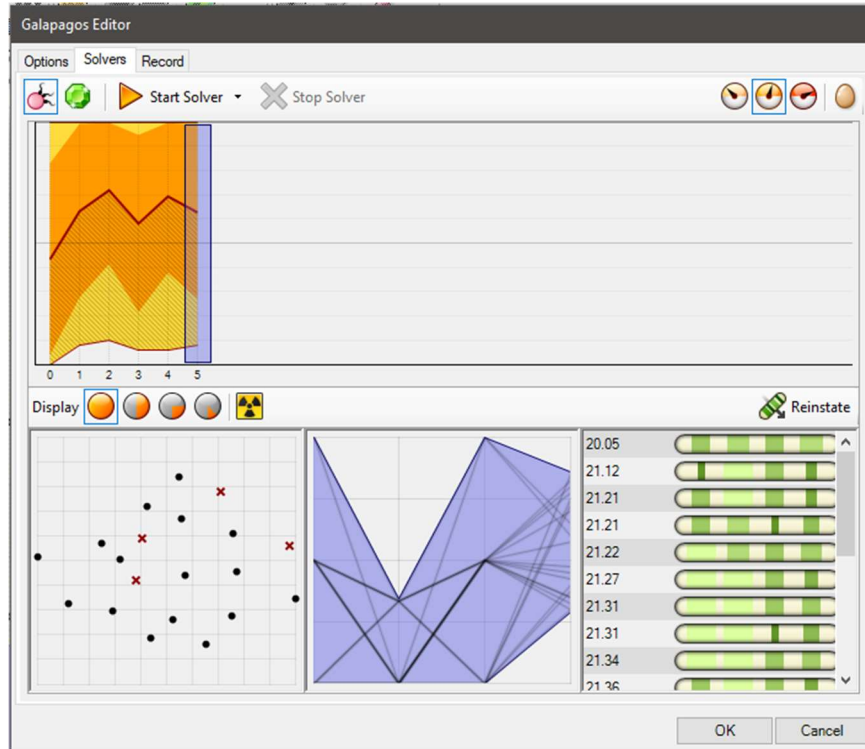


5.2.3. Günüşığı azaltma hedefli optimizasyon sonucu

Günüşığı hedefine göre, kubbe geçiş elemanındaki mukarnasın optimizasyonu testi yapılmıştır. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde günüşığı alımını (DA), parametrik mukarnasların değişkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, minimize etmektir.

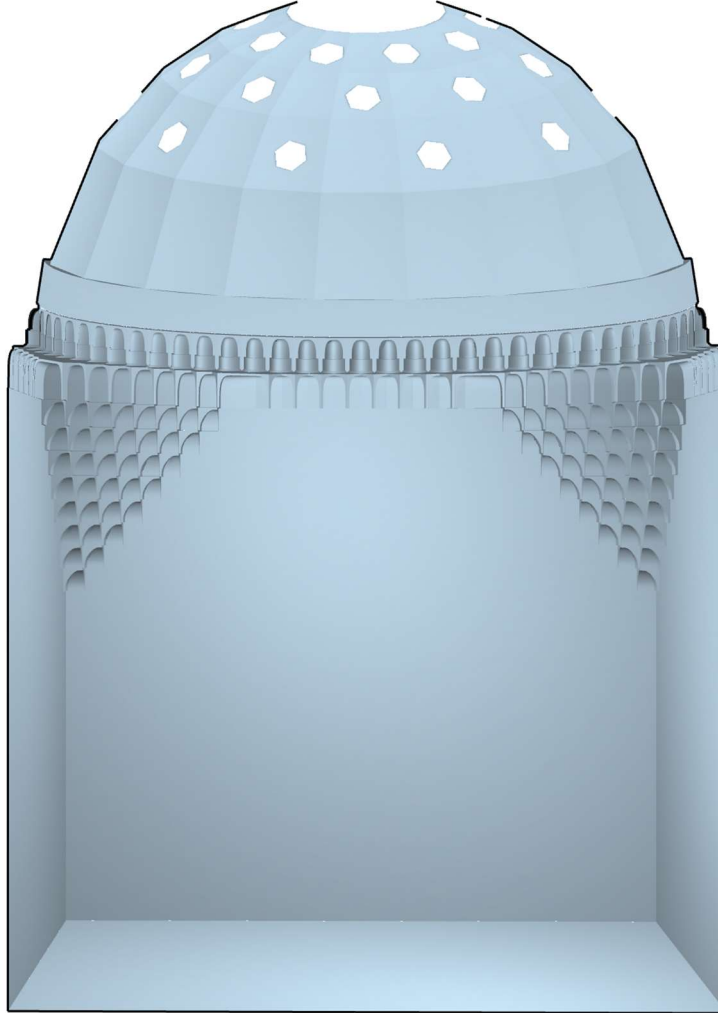
Bu simülasyon her bir mukarnas değerler kombinasyonunun günüşığı analizini yaptığı için çok uzun sürmektedir. Simülasyon yaklaşık 4 gün sürmüştür.

Optimizasyon sonucunda 5 jenerasyon üretilmiştir (Şekil 5.5). Bu simülasyon sonucunda Galapagos'un bize verdiği sonuç **Tablo 5.13**'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: Günüşığı alımını (DA) azaltma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç

Tablo 5.13: Gümüşığı alımını (DA) azaltma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen mukarnas modeli



HY: 22 cm

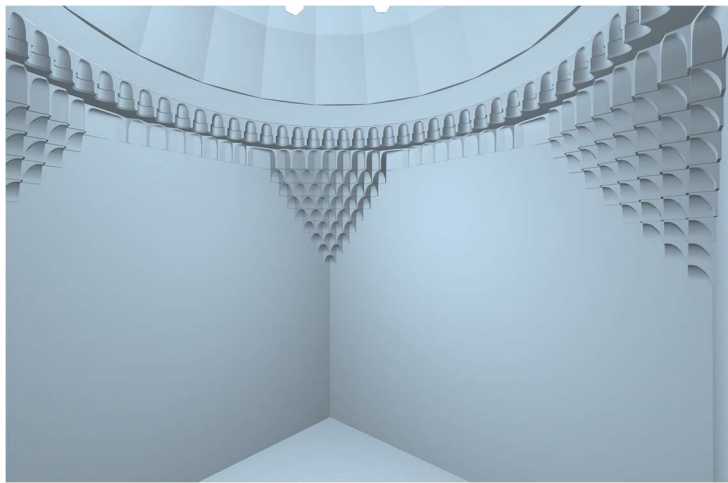
HS: 8

HÇ: 6 cm

HD: 2 cm

DA: 20.05 %

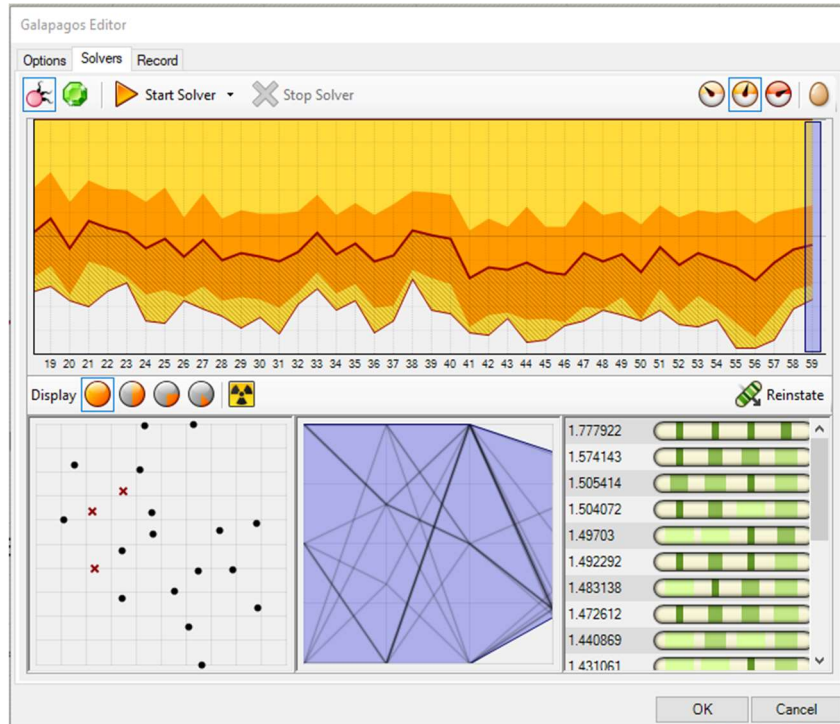
CDA: 60.3 %



5.2.4. Akustik hedefli optimizasyon sonucu

Akustik hedefine göre, kubbe geçiş elemanındaki mukarnasın optimizasyonu testi yapılmıştır. Bu optimizasyon testinde, hedef iç mekan içinde konuşmanın anlaşılabilirliğini (*Speech Clarity, C50*), 500 Hz frekansında, parametrik mukarnasların değişkenlerinin alabileceği değer aralıkları kapsamında, maksimize etmektir. Sabitler ve değişkenler **Tablo 5.10** ve **Tablo 5.11**'ta verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan malzemeler **Tablo 4.6**'de, bu malzemelerin ses yutma katsayıları ise **Tablo 4.7**, **Tablo 4.8** ve **Tablo 4.9**'de verilmiştir. Gürültü değeri (*Background noise*) 45 dB olarak girilmiş, sesin çıkış kaynağını (source) ve alıcı noktasını (receiver) belirten noktalar **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir. Simülasyon yaklaşık 5 gün sürmüştür.

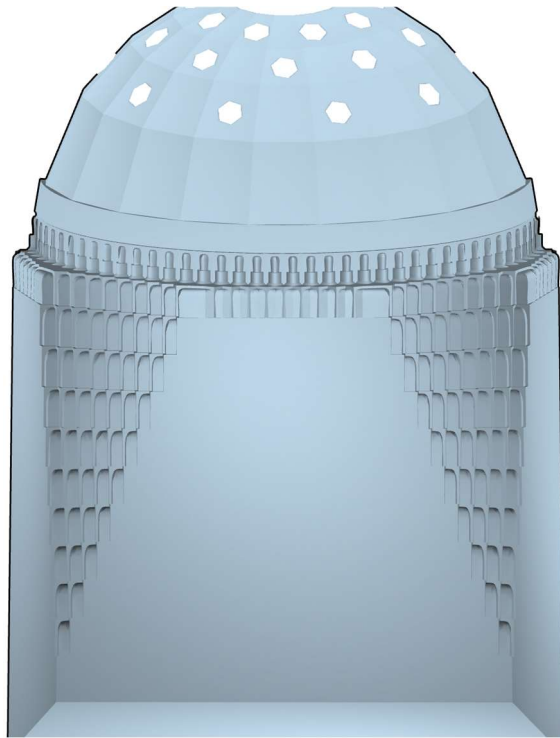
Optimizasyon sonucunda 59 jenerasyon üretilmiştir (**Şekil 5.6**). Bu simülasyon sonucunda Galapagos'un bize verdiği sonuç gösterilmiştir.



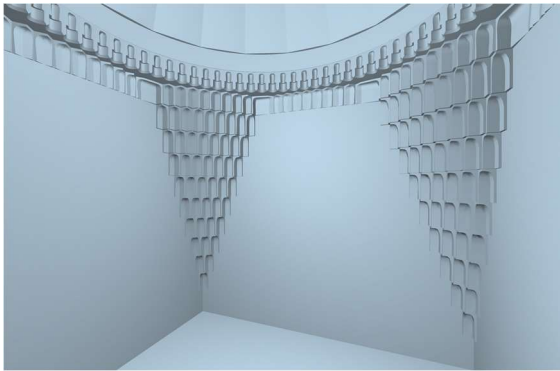
Şekil 5.6: C50 arttırma hedefli Galapagos hesaplamasında elde edilen sonuç

Çıkan mukarnas formu ve değer kombinasyonu ise **Tablo 5.14**'ta verilmiştir. Buna göre konuşmanın anlaşılabilirliğine (*Speech Clarity, C50*), hücre yüksekliği değerinin ve dolayısıyla da mukarnasların büyüklüklerinin en fazla etkiyi yaptığı görülmektedir. Bunun yanında akustik hesaplamalarda kullanılan yazılımın her hesaplamada çıkarımı etkilemeyecek derecede de olsa aynı mukarnas modellerinde farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Tablo 5.14: Akustik hesaplama sonucu elde edilen mukarnas modeli



HY: 45 cm
HS: 9
HÇ: 8 cm
HD: 3 cm



Frekans, Hz	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT	1.244	1.241	1.153	0.951	0.558	0.511	0.507	0.495
Clarity (C50)	-0.264	-0.249	0.216	1.499	5.564	6.317	6.370	6.611

5.3. BÖLÜM SONUCU

Optimizasyon denemeleri tutarlı sonuçlar vermiştir. Örneğin, köşeli kubbe açıklıkları oluşturularak yapılan mukarnaslı modelin gürültü performansı (DA) % 21.81'dir(**Tablo 5.15**). Galapagos kullanılarak ve köşeli kubbe açıklıkları kullanılarak yapılan gürültü artırma optimizasyonu sonucunda elde edilen mukarnaslı mekanın DA değeri %29.34 çıkmıştır. Yani, optimizasyon mekan içindeki gürültü performansını arttırmaya çalışmaktadır. Galapagos kullanılarak ve köşeli kubbe açıklıkları kullanılarak yapılan gürültü azaltma optimizasyonu sonucunda elde edilen mukarnaslı mekanın DA değeri %20.05 çıkmıştır(**Tablo 5.16**). Yani, optimizasyon mekan içindeki gürültü performansını bu sefer azaltmaya çalışmaktadır.

Köşeli kubbe açıklıkları oluşturularak yapılan mukarnaslı modelin akustik performansı C50 (500 Hz) 1.337 dB'dir. Galapagos kullanılarak ve köşeli kubbe açıklıkları kullanılarak yapılan akustik performans artırma optimizasyonu sonucunda elde edilen mukarnaslı mekanın C50 (500 Hz) değeri 1.499 dB çıkmıştır. Yani, optimizasyon mekan içindeki akustik performansını arttırmaya çalışmaktadır.

Optimizasyonlarda köşeli veya dairesel formda kubbe açıklık tipinin kullanılması sonucunda değerler değişmektedir. Octopus kullanılarak yapılan gürültü optimizasyon sonuç değerlerinin, Galapagos kullanılarak yapılan optimizasyon sonuç değerlerine göre daha yüksek çıkmasının nedeni dairesel kubbe açıklıklarının kullanılmasıdır. Tabloda görüldüğü gibi dairesel kubbe açıklıkları oluşturularak yapılan mukarnaslı modelin gürültü performansı (DA) % 33.58'dir. Octopus kullanılarak yapılan gürültü artırma optimizasyonu sonucu elde edilen pareto front değerlerinin de bu değere paralel çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.15: Mukarnaslı modelin gürültü performansı sonuçları

Mukarnaslı model gürültü performansı	Dairesel	Gürültü	DA	33.58 %
	Köşeli	Gürültü	DA	21.81 %
Mukarnaslı model akustik performansı	Köşeli	Akustik	C50 (500 Hz) (kireç sıvalı malzemeli)	1.337 dB

Tablo 5.16: Birinci deneme ve ikinci deneme optimizasyonları sonucunda elde edilen değerler

Deneme no	Kubbe açıklık tipi	Hedef	Hedef parametre	Sonuç
Birinci deneme (Octopus)	Dairesel	Günişığı arttırma	DA	F1: 35.04 % F2: 26.99 % F3: 28.77 % F4: 33.00 %
	Dairesel	Günişığı azaltma	DA	D1: 26.14 % D2: 26.92 % D3: 28.09 % D4: 28.82 %
	Köşeli	Akustik arttırma	C50 (500 Hz) (kireç sıvalı malzemeli)	A1: 1.255 dB A2: 1.281 dB A3: 1.300 dB
İkinci deneme (Galapagos)	Köşeli	Günişığı arttırma	DA	29.34 %
	Köşeli	Günişığı azaltma	DA	20.05 %
	Köşeli	Akustik arttırma	C50 (500 Hz) (kireç sıvalı malzemeli)	1.499 dB

SONUÇ

Mukarnasın iç mekanın g n şığı performansını etkilediği ortaya çıkmıştır. Mukarnaslı hamam modelinde iç mekana yıllık g n şığı alımı daha düşüktür. Bu durum, mukarnasların kompleks geometrisinin neden olduğu fazla kırılmalar ile bağdaştırılabilir. Ancak, hamamların geleneksel olarak mistik atmosferi olduğundan, g n şığınin çok olmaması istenen bir durumdur.

Seçilen hamamın ılıklik bölümü için yapılan akustik analizlerinin sonuçlarına göre, mukarnasların i mekandaki konuşmanın anlaşılabilirliğine olumlu etki ettiği sonucuna varılabilir. Mukarnaslı ve mukarnasız mekanlardaki akustik performans değerlerinin birbirine yakın olduğu görülse de, mukarnaslı mekanlarda C50 değerinin mukarnasız mekanlara göre daha yüksek çıktığı, mukarnaslı mekanlarda RT değerinin ise mukarnasız mekanlara göre daha düşük çıktığı görülmüştür.

Bunun yanı sıra formdan ziyade, iç mekan akustiğine malzemenin daha çok etkisi olduğu görülmüştür. Tarihi kireç sıva kullanımında, konuşma için, daha iyi bir iç mekan akustik performansı yakalanırken, normal sıva kullanımında akustik performansı düşmektedir. Dolayısıyla akustik performansının, mukarnas geometrisinden çok, malzemeye bağlı olduğu sonucuna ulaşılabilir.

Bu çalışmanın sonuçları,  ne sürülen birinci hipotezi kanıtlar niteliktedir. Ancak, akustik konusunda, iç mekanda kullanılan malzemenin, mukarnas form konfigürasyonlarından çok daha fazla akustiği etkilediğini not düşmek gerekir.

Bu çalışmada, belirlenen g n şığı hedeflerine göre optimize kubbe geçiş elemanı mukarnası yaratılabilmifitir. Yine, belirtilen akustik performansı hedefine göre optimize kubbe geçiş elemanı mukarnası yaratılabilmifitir. Bu durum da bu çalışmanın ikinci hipotezini kanıtlar niteliktedir.

Bu çalışmada, iç mekandaki mukarnas formlarının yapı fiziğine etkisi ele alınmaktadır. Ama mekanın hacmine ve formuna etki eden başka süslemeler için de çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilebileceği düşünmektedir. Bununla birlikte, benzer çalışmalar yapılması,  ne s relen ilk hipotezi güçlendirmek açısından önemli olacaktır.

Mukarnas elemanı gibi yapı ögeleri kullanarak güncel tasarım yapma çabaları olduğu söylenebilir. Çağdaş teknolojiler kullanılarak mukarnas elemanının yapıya daha fazla entegre olması sağlanabilir, ayrıca bu geometrik elemanlar daha da geliştirilebilir. Bu çalışmada olduğu gibi yapı fiziğine entegre edilerek tasarım önerileri geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Arslan, P. (2017). Sürdürülebilir Konut Cephelerinin Tasarım Kriterleri Üzerine bir İnceleme: İngiltere Örneği, Yüksek Lisans tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

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

Agirbas, A. (2019b). The effect of complex wall forms on the room acoustics: An experimental case study. *Proceedings of the eCAADe+SIGraDi Conference*, University of Porto, Porto, Portugal, 11-13 September, pp. 97-102.

Agirbas, A. (2020a). Macro-scale complex form generation through a swarm intelligence-based model with urban morphology constants. *Architectural Science Review*. <https://doi.org/10.1080/00038628.2020.177738>

Agirbas, A. (2020b). Optimization test of a rule-based swarm intelligence simulation for the conceptual design process, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. <https://doi.org/10.1017/S0890060420000323>

Agirbas, A. and Yildiz, G. (2020). Origin of Irregular Star Polygons in Ground Projection Plans of Muqarnas, *Nexus Network Journal*. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00516-x>

Aydin A., Tavukcuoglu A. & Caliskan M. (2008). Assessment of Acoustical Characteristics for Historical Baths (Hammams) , *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (5), 3605. <https://doi.org/10.1121/1.2934781>

Barron, M. (2010). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, (2. bs.). London and New York: Spon Press.

Bayazıt Tamer, N. (1999). Dikdörtgen Kesitli Konser Salonlarının Akustik Değerlendirmesi için Bir Tasarım Yöntemi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Beranek, L. (1996). Acoustics and Musical Qualities. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 99, 2647. <https://doi.org/10.1121/1.414808>

Beranek, L. L. (2004). *Concert and Opera Halls How They Sound* (2. bs.). New York: Springer.

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

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

Cox, T.J. & D'Antonio, P. (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, design and application* . London: Spon Press.

Dilmen, H. (2004). Aspendos Antik Tiyatrosunun Mimari ve Akustik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

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

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

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

Hasol, D. (1998). *Mimarlık Sözlüğü*. İstanbul: Yem Yayın.

IEA. (2016). *Energy audit and inspection procedures, A Technical Report of IEA SHC Task 50[C4]:[Daylight performance assessment methods]*, International Energy Agency.

https://task50.ieashc.org/Data/Sites/1/publications/Technical_Report_T50_C4_final.pdf

IESNA, (2011). *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application*. 10th Edition, New York : Illuminating Engineering Society of North America.

İlisulu, S. G. (2010) Tiyatro Salonlarının Akustik Açından Değerlendirilmesi ve Bir Örnek Çalışma: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Beyoğlu Sahnesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kuban, D. (1992). *Mimarlık Kavramları Tarihsel Perspektif İçinde Mimarlığın Kuramsal Sözlüğüne Giriş*. İstanbul: YEM Yayın.

Kayılı, M. (2005) *Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture*. Manchester, England: Foundation for Science Technology and Civilization.

Long, M., (2014). *Architectural Acoustics*, second ed., Elsevier Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-64452-4>

Mahdavi A. & Orehounig K. (2008). An inquiry into the thermal, acoustical, and visual aspects of indoor environment in traditional hammāms, *Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research*, 2 (3), p. 136-149.

Mehta, M., Johnson, J. & Rocafort, J. (1999). *Architectural Acoustics Principles and Design*. 1st ed., New Jersey: Prentice Hall.

Marshall, L. Gerald. (1995). Speech intelligibility prediction from calculated C50 values. *The Journal of the Acoustical Society of America* 98, p. 2845 - 2847. <https://doi.org/10.1121/1.413184>

Nabil A. & Mardaljevic, J. (2005). Useful Daylight Illuminance: a New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings. *Lighting Research and Technology*, 37 (1), p. 41-59.

ODEON. (2020). Room Acoustics Software. Erişim tarihi 06 Aralık 2020.
<https://odeon.dk/>

Orehounig K. & Mahdavi A. (2011). Performance evaluation of traditional bath buildings via empirically tested simulation models, *Journal of Building Performance Simulation*, 4 (1), p. 63-74.

Önge, Y. (1988). Anadolu Türk Hamamları Hakkında Genel Bilgiler ve Mimar Koca Sinan'ın İnşa Ettiği Hamamlar. *Mimarbaşı Koca Sinan: Yaşadığı Çağ ve Eserleri, 1*, p. 403-412.

Peters, B. (2009). Parametric acoustic surfaces. *In: Proceedings of ACADIA Conference*, Chicago, Illinois, 22-25 October, p. 174-81.

Rasmussen, B. (2010). Sound classification schemes in Europe- Quality classes intended for renovated housing. *Improving the Quality of Suburban Building Stock*, University of Malta, p. 1-8.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3 (1), p.7-31.

Senhaji, M. & Benslimane, R. (2019). Automatic 3D muqarnas architectural patterns reconstruction using plane representation, *Journal of Cultural Heritage*, 35, p. 25–40.

Sü, Z. & Yilmazer S. (2008). The Acoustical Characteristics of the Kocatepe Mosque in Ankara, Turkey. *Architectural Science Review*, 51 (1), p. 21-30.

Şehitoğlu, E. (2000). Bursa Hamamları'nın Yapısal, Çevresel, İşlevsel Sorunları ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, MSGSÜ, İstanbul.

Şehitoğlu, E. (2008). *The historic hammams of Bursa*. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Publication.

Tavukçuoğlu A., Aydın A. & Çalışkan M. (2011). Tarihi Türk Hamamlarının Akustik Nitelikleri: Özgün Hali ve Bugünkü Durumu. *9.Ulusal Akustik Kongresi, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi*, Ankara, 26-27 Mayıs.

Turan S.N. & Yıldız, E. (2018). XIII. Yüzyıl Konya mahalle mescidlerinde kullanılan kubbeye geçiş elemanları. *Türk İslam Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi*, 13(26), p. 163-187.

Vierlinger, R. (2013). Multi Objective Design Interface, Master thesis, Technischen Universität Wien Fakultät für Bauingenieurwesen, Wien.

Yılmaz F. Ş. (2014). Sürdürülebilir Çevre için Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zitzler, E. M. Laumanns, and L. Thiele, (2001). *SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm*. Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich: TIK-Report 103.

URL LİSTESİ:

URL 1: Kubbeye Geçiş Elemanları. <https://okuryazarim.com/kubbeye-gecis-eylemanlari> Erişim tarihi: 30/05/2020.

URL 2: Acoustics. <https://tr.qwe.wiki/wiki/Acoustics> Erişim tarihi: 21/05/2020.

URL 3: Pachyderm Acoustic. <https://github.com/PachydermAcoustic> Erişim tarihi: 15/08/2020.

EKLER

EK 1: Zemindeki ızgaradaki sensör noktalarının tekil günışığı değerleri

Nokta Numarası	Mukarnassız Model					Mukarnashlı Model				
	DA %	UDI 0-100 lux %	UDI 100- 2000 lux %	UDI 2000' den büyük %	CDA %	DA %	UDI 0-100 lux %	UDI 100- 2000 lux %	UDI 2000' den büyük %	CDA %
1	5	19	81	0	58	2	21	79	0	55
2	4	24	76	0	54	3	23	77	0	53
3	2	30	70	0	50	6	25	75	0	55
4	8	27	73	0	55	12	23	77	0	58
5	14	24	76	0	58	6	32	68	0	50
6	17	23	74	3	61	16	23	73	3	59
7	16	26	74	0	58	16	24	76	0	59
8	18	22	78	0	61	15	27	73	0	56
9	16	28	72	0	56	15	29	71	0	54
10	15	28	68	4	54	15	21	75	4	58
11	0	28	72	0	50	2	23	77	0	53
12	5	25	75	0	55	6	22	78	0	57
13	23	14	86	0	68	6	26	74	0	55
14	19	21	79	0	62	23	16	84	0	66
15	17	25	75	0	60	18	22	78	0	62
16	29	17	83	0	67	26	17	83	0	66
17	25	22	78	0	62	24	21	79	0	63
18	25	21	75	4	63	21	21	75	4	62
19	19	27	68	6	58	23	19	75	6	64
20	15	30	66	4	53	20	19	77	4	62
21	2	28	72	0	52	0	31	69	0	47
22	15	19	81	0	62	9	23	77	0	58
23	12	24	76	0	59	21	15	85	0	67
24	26	17	83	0	67	28	15	85	0	68
25	25	20	80	0	64	24	20	80	0	64
26	29	21	79	0	65	26	20	80	0	65
27	35	14	82	4	70	33	17	79	4	67
28	25	24	76	0	61	32	16	84	0	68
29	25	23	77	0	61	28	18	82	0	65
30	21	23	69	8	60	25	18	75	8	65
31	4	23	77	0	57	2	25	75	0	54
32	15	19	81	0	63	12	23	77	0	59
33	22	18	82	0	65	23	18	82	0	65
34	27	18	82	0	66	33	14	86	0	70
35	39	14	86	0	72	41	11	89	0	74
36	34	17	83	0	68	36	14	86	0	70
37	43	11	89	0	75	35	14	86	0	70
38	44	11	89	0	75	32	18	82	0	67
39	31	20	80	0	65	26	23	77	0	62
40	27	23	73	4	61	33	15	81	5	69
41	1	29	71	0	52	12	19	81	0	61
42	6	29	71	0	54	20	16	84	0	66
43	23	19	81	0	64	24	17	83	0	66
44	37	13	87	0	72	29	17	83	0	67
45	30	18	82	0	67	33	15	85	0	68
46	32	21	79	0	66	42	12	88	0	74
47	36	18	82	0	68	36	15	85	0	70
48	33	19	81	0	67	36	14	86	0	71

49	32	19	73	8	66	33	18	74	8	66
50	28	22	70	8	62	27	22	70	8	62
51	2	27	73	0	54	1	27	73	0	52
52	22	17	83	0	65	19	19	81	0	63
53	29	15	85	0	68	27	15	85	0	68
54	29	17	83	0	67	33	15	85	0	70
55	25	25	75	0	61	24	25	75	0	61
56	41	12	88	0	74	42	11	89	0	74
57	39	14	86	0	72	33	18	82	0	67
58	38	14	86	0	71	35	16	84	0	69
59	35	16	77	8	69	33	18	74	8	67
60	29	21	71	8	63	28	21	71	8	63
61	4	23	77	0	57	0	31	69	0	49
62	15	24	76	0	60	7	25	75	0	57
63	23	19	81	0	64	32	14	86	0	70
64	26	20	80	0	64	25	19	81	0	65
65	30	18	82	0	66	34	15	85	0	70
66	34	16	84	0	69	34	15	85	0	69
67	40	14	86	0	72	34	18	82	0	67
68	30	20	80	0	64	31	20	80	0	64
69	35	16	84	0	69	38	14	86	0	72
70	26	28	64	8	58	29	20	71	8	63
71	5	24	76	0	56	0	31	69	0	49
72	15	22	78	0	60	7	27	73	0	55
73	23	19	81	0	64	19	22	78	0	61
74	29	16	84	0	68	33	13	87	0	71
75	34	15	85	0	69	28	19	81	0	65
76	39	14	86	0	72	33	16	84	0	68
77	34	18	74	8	67	31	19	73	8	65
78	35	17	83	0	68	32	19	81	0	66
79	31	20	80	0	65	26	26	74	0	60
80	28	20	73	8	64	26	22	70	7	61
81	7	21	79	0	57	4	25	75	0	53
82	3	29	71	0	52	7	24	76	0	56
83	16	23	77	0	60	11	28	72	0	55
84	26	19	81	0	65	22	23	77	0	61
85	29	17	83	0	67	17	28	72	0	57
86	36	14	86	0	70	25	20	80	0	63
87	29	20	80	0	64	29	18	82	0	66
88	34	17	75	8	67	32	19	74	8	66
89	29	21	68	12	64	33	17	71	12	67
90	24	24	69	8	60	23	26	66	8	58
91	0	32	68	0	46	0	33	67	0	45
92	1	32	68	0	48	0	32	68	0	47
93	7	27	73	0	55	2	35	65	0	47
94	26	16	84	0	67	13	25	75	0	57
95	22	20	80	0	62	16	27	73	0	57
96	24	25	68	7	60	23	21	71	7	62
97	30	17	83	0	66	23	24	76	0	60
98	27	21	79	0	63	22	27	73	0	58
99	21	29	71	0	56	20	30	70	0	55
100	17	37	56	8	50	19	32	60	8	53
