



**SELÇUKLU DÖNEMİ TAŞ BEZEME ÖRNEKLERİNİN FRAKTAL
ANALİZİ: SİVAS GÖKMEDRESE ÖRNEĞİ**

Merve ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Merve ARSLAN

19/08/2022

SELÇUKLU DÖNEMİ TAŞ BEZEME ÖRNEKLERİNİN FRAKTAL ANALİZİ: SİVAS
GÖKMEDRESE ÖRNEĞİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Merve ARSLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Mimari, geçmişten itibaren sürekli bir değişme ve gelişme göstermiş; her dönemde farklı tasarım kriterleri hâkim olmuştur. Tasarım yöntemleri değişkenlik gösterebilir; tasarımcı, ürettiği eserlerde matematik ve geometriden her zaman yararlanmış. Geçmiş dönemlerde birçok yapının formundan en küçük detayına kadar basit Öklid (Euclid) geometrisinin etkin şekilde kullanıldığı görülür. Öte yandan mimaride Euclid etkisinin azaldığı dönemlerdeki tasarım kurguları incelendiğinde ise pek çok tasarımcının doğanın geometrisini örnek aldığı görülmektedir. Doğanın geometrisi daire, kare ve buna benzer birçok basit geometrik şekilden çok daha karmaşıktır. Fraktaller, Euclid geometrisinin tanımlayamadığı, doğada, mimaride vb. birçok yerde karşımıza çıkan düzensiz biçimleri tanımlama yeteneğine sahiptir. Fraktal geometri, düzensiz gibi görünen; fakat tekrar ve özbenzerlik yoluyla belli kuralları uygulayarak kendi içinde düzeni oluşturan karmaşık kurguları açıklamayı sağlar. Bu özelliği ile fraktaller mimariyi anlamak ve analiz etmek için sık sık başvurulmuş bir yöntemdir. Fraktaller, mimaride farklı bakış açıları ile değerlendirildiğinde; yerleşim ölçeğinde, bina ölçeğinde kütle oranlarının, plan, kesit ve strüktürel oranların, cephesel elemanlarda bulunan oranların ya da tarihi süreçlerde oluşan detaylarda (bezeme) bulunan oranların analizi için kullanılabilir. Tez çalışmada, Anadolu Selçuklu Dönemi geometrik taş bezemelerinin kurgusunun fraktal yöntemle analiz edilmesi hedeflenmiştir. Yöntem olarak fraktal geometrinin seçilme nedeni, aslında çok karmaşık gibi görünen bezemelerin yapısında tekrar gibi basit kurallar ile oluşturulan geometrik bir düzenin var olmasıdır. Çalışmada, Anadolu Selçuklu Dönemi ürünü olan Sivas Gökmedrese'nin taş bezemelerinden örnekler seçilerek analiz yapılmıştır. Alan çalışmasına konu olan Sivas Gökmedrese, Anadolu Selçuklu Dönemi eserlerinden büyük öneme sahip, içerisinde ince taş işçiliği olan geometrik bezemelerin bol bulunduğu, korunması gereken özel bir yapıdır. Çalışma kapsamında Sivas Gökmedrese'nin özellikle ön cephesinde, portalinde bulunan iki boyutlu geometrik taş bezemeler analiz edilmiştir. Analiz edilen bezemeler incelendiğinde fraktalin dört ana kuralının bezemelerin oluşum kurgusunda bulunduğu görülmektedir: fraktal kesir, özbenzerlik, tekrar (iterasyon), çevrim sayısı. Bu çalışma sayesinde farklı bir bakış açısı ile fraktal geometriden yararlanılarak aynı ya da farklı dönemde yapılmış başka bir İslami yapının iki boyutlu, üç boyutlu bezemelerinin analiz edilebileceği düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 80107
Anahtar Kelimeler : Mimari analiz, bilgisayar destekli tasarım, fraktal, kendine benzerlik, Anadolu Selçuklu dönemi, geometrik kompozisyon, süsleme (bezeme)
Sayfa Adedi : 116
Danışman : Prof. Dr. Arzu ÖZEN YAVUZ

FRACTAL ANALYSIS OF STONE DECORATION SAMPLES OF THE SELJUK PERIOD:
THE CASE OF SİVAS GÖKMEDRESE

(M. Sc. Thesis)

Merve ARSLAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

Architecture has shown a constant change and development since the past; different design criteria have been dominant in each period. Although the design methods vary, the designer has always benefited from mathematics and geometry in his works. It is seen that simple Euclidean geometry was used effectively from the form to the smallest detail of many buildings in the past. On the other hand, when the design fictions in the periods when the Euclid effect in architecture were reduced, it is seen that many designers took the geometry of nature as an example. The geometry of nature is much more complex than the circle, square and many other simple geometric shapes. Fractals can be found in nature, architecture, etc., which Euclidean geometry cannot describe. It has the ability to identify irregular shapes that appear in many places. Fractal geometry, seemingly irregular; but by applying certain rules through repetition and self-similarity, it enables to explain the complex constructs that constitute the order in themselves. With this feature, fractals are a frequently used method to understand and analyze architecture. When fractals are evaluated from different perspectives in architecture; It can be used for the analysis of mass ratios, plan, section and structural ratios, proportions in façade elements or in details (ornamentation) formed in historical processes at settlement scale, building scale. In the thesis study, it is aimed to analyze the geometrical stone decorations of the Anatolian Seljuk Period with the fractal method. The reason for choosing fractal geometry as a method is that there is a geometrical order created with simple rules such as repetition in the structure of decorations that seem to be very complex. In the study, samples from the stone decorations of Sivas Gökmedrese, a product of the Anatolian Seljuk Period, were selected and analyzed. Sivas Gökmedrese, which is the subject of the field study, is a special structure that has great importance among the works of the Anatolian Seljuk Period, and has a lot of geometric decorations with fine stonework and needs to be protected. Within the scope of the study, two-dimensional geometric stone decorations on the portal, especially on the front facade of Sivas Gökmederese, were analyzed. When the analyzed ornaments are examined, it is seen that the four main rules of fractal are found in the formation of the ornaments: fractal fraction, self-similarity, repetition (iteration), number of cycles. Thanks to this study, it is thought that two-dimensional and three-dimensional decorations of another Islamic structure built in the same or different period can be analyzed by using fractal geometry from a different perspective.

Science Code : 80107

Key Words : Architectural analysis, computer aided design, fractal, self-similarity, Anatolian Seljuk period, geometric composition, ornamentation

Page Number : 116

Supervisor : Prof. Dr. Arzu ÖZEN YAVUZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamda tez danışmanlığımı üstlenen, konu seçimimden başlayarak tezimin bitimine kadar her konuda beni yüreklendiren, emeğini, anlayışını, yardımlarını eksik etmeyen, bilgi birikimleri ile bana her konuda yol gösteren kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. Arzu Özen YAVUZ'a minnet ve şükranlarımı sunarım. Bugünlere gelmemde büyük emeği bulunan canım aileme; hayatımın her anında koşulsuz sevgisi ile hep yanımda olan, her konuda, emeğini ve güvenini esirgemeyen annem Havva SANCILI'ya, her zaman arkamda duran babam Fatih SANCILI'ya, sevgisini, neşesini benden eksik etmeyen ve her konuda bana destek olan sırdaşım, biricik kardeşim Melike SANCILI'ya teşekkür ederim. Sivas Gökmedrese'nin ön cephe rölöve çizimini paylaşarak tez çalışmamda büyük bir yardımı olan Mimar Argun KOCADAĞISTAN'a teşekkürü borç bilirim. Son olarak hayatımın her anında sabır, sevgi, anlayış ve desteğini hissettiğim, beni cesaretlendiren, çalışmamın her aşamasında mimari bilgi ve birikimleriyle bana yardımcı olan hayat arkadaşım, meslektaşım, canım eşim Eyyüb ARSLAN'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. MİMARİ VE ANALİZ	7
3. MİMARİ TASARIM VE GEOMETRİ İLİŞKİSİ	11
3.1. Altın Oran ve Fibonacci Dizisi	12
3.2. Fraktal Kavramı ve Geometri İlişkisi.....	20
3.3. Fraktal Kurgu	23
3.3.1. Doğadaki fraktal kurgular	27
3.3.2. Üretken algoritmalar ile oluşturulan fraktal kurgular.....	29
3.4. Mimari Tasarım Girdisi Olarak Fraktal Karakteristik	34
3.4.1. Yerleşim ölçeğinde fraktal kurgular	35
3.4.2. Bina ölçeğinde fraktal kurgular	38
4. SÜSLEME (BEZEME).....	57
4.1. Mimaride Süsleme (Bezeme) Sanatı	57
4.2. Anadolu Selçuklu Dönemi'nde Taş Bezemelerin Genel Niteliği	59
4.3. Geometrik Bezemeler.....	61
4.3.1. Doğrusal gelişen kompozisyonlar	62

Sayfa

4.3.2. Merkezi gelişen kompozisyonlar.....	62
5. ALAN ÇALIŞMASI.....	69
5.1. Sivas Gökmedrese ve Mimarisi	69
5.2. Sivas Gökmedrese Taş Bezemeleri ve Anlamları	72
5.3. Fraktal Geometri Kavramı ile Gökmedrese Bezeme Örneklerinin Analizi	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	109
ÖZGEÇMİŞ	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Altın oran üzerine yapılmış çalışmaların tarih çizelgesi.....	13
Çizelge 3.2. Euclid geometrisi ve fraktal geometri.....	23
Çizelge 5.1. Seçilen geometrik karakterli bordürün analizi.....	84
Çizelge 5.2. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi	89
Çizelge 5.3. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi	93
Çizelge 5.4. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi	97
Çizelge 5.5. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Merkezi organizasyonlar	8
Şekil 2.2. Notre-Dame cephe proporsiyon analizi	9
Şekil 2.3. Los Angeles-California kent analizi	10
Şekil 3.1. Doğru parçası ile altın oran ifadesi	13
Şekil 3.2. Altın dikdörtgen çizimi.....	14
Şekil 3.3. Altın spiral çizimi	15
Şekil 3.4. Bazı çiçeklerde altın spiral.....	15
Şekil 3.5. Çam kozalağında Fibonacci sayıları analizi	16
Şekil 3.6. (a) Ağaç dallanmasında Fibonacci dizisi, (b, c) İrene ve Sandy hortumlarının uydu görüntüsü	16
Şekil 3.7. İnsan vücudunda altın oran.....	16
Şekil 3.8. Nautilus pompilius kabuğunda altın oran	17
Şekil 3.9. Parthenon cephesinde yapılan bir altın oran çalışması	18
Şekil 3.10. Parthenon Tapınağı.....	18
Şekil 3.11. Aziz Isaac Katedrali.....	18
Şekil 3.12. (a) Modena's Katedrali ön cephesinde yapılan bir altın oran çalışması, (b) Kayravan'daki Büyük Cami minaresinde yapılan bir altın oran çalışması.....	19
Şekil 3.13. Shah-Mosque-İsfahan giriş cephesinin altın dikdörtgenlerle analizi çalışması.....	19
Şekil 3.14. Villa Savoye cephesinde yapılan bir oran çalışması.....	19
Şekil 3.15. Emo Villasının planında yapılan bir oran çalışması	20
Şekil 3.16. Fraktalin doğası	21
Şekil 3.17. Britanya kıyılarının bir çizginin segmentlerini arttırarak ölçülmesi.....	22
Şekil 3.18. Julia kümesi	24
Şekil 3.19. Fraktal geometride kullanılan kendine benzerlik (self-similarity), iterasyon ve ölçeklendirme kavramları	24

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. Fraktal geometriye sahip ağaç dallarının sürekli tekrar eden yapısı.....	25
Şekil 3.21. Başlangıç şekline kuralın uygulanması	26
Şekil 3.22. Fraktal boyutlar.....	26
Şekil 3.23. Kesirsel olarak fraktal boyut kavramı.....	27
Şekil 3.24. Üreten ve başlatan.....	30
Şekil 3.25. Koch Kar Tanesi, (a) Üreten ve başlatan, (b) Birinci çevrim, (c) İkinci çevrim (d) Üçüncü çevrim	30
Şekil 3.26. Koch Anti Kar Tanesi (a) Üreten ve başlatan, (b) Birinci çevrim, (c) İkinci Çevrim, (d) Üçüncü Çevrim.....	31
Şekil 3.27. Koch eğrisi.....	31
Şekil 3.28. Sierpinski üçgeni	31
Şekil 3.29. Minkowski eğrisi	32
Şekil 3.30. (a) Mandelbrot kümesi, (b) Barnsley Eğrelti otu.....	33
Şekil 3.31. Eğrelti otu	34
Şekil 3.32. Ba-ila yerleşmesi, Güney Zambia.....	35
Şekil 3.33. Kotoko yerleşmesinin fraktal büyüme kurgusu	36
Şekil 3.34. (a) Kent planlamasındaki mandala diyagramları, (b) Manasara'daki sekiz diyagram.....	36
Şekil 3.35. (a) Filarete, Sforzinda ideal kent planı, (b) Scamozzi, Parma Nova ideal kent planı.....	37
Şekil 3.36. Londra'nın fraktal değişimi	37
Şekil 3.37. İlk aşamada algılanan konturlar, İkinci aşamada algılanan boşluklar, Üçüncü aşamada algılanan detaylar	39
Şekil 3.38. Fin d'Out Hou S, Peter Eisenman.....	40
Şekil 3.39. Habitat Konut Grubu kütle organizasyonu ve konut tipleri, 1967, Montrel, Canada - Moshe Safdie	41
Şekil 3.40. Sky Village ve tasarım kurgusu, 2008, Danimarka, MVRDV	41
Şekil 3.41. (a) Fogong Tapınağı Sakyamuni Pagodası, (b) Kesiti ve Dougong bileşenleri	42

Şekil	Sayfa
Şekil 3.42. Algoritma (IFS) yardımı ile Dougong sisteminin oluşturulması	43
Şekil 3.43. (a) Dougong sisteminde yük transferi, (b) Dougong sisteminin uygulanması yakınlştırılmış bir kesit	44
Şekil 3.44. (a) Saint Karl Kilisesi, (b) Dresden’de Zwinger	44
Şekil 3.45. Sultan Ahmet Camisi ve planı	45
Şekil 3.46. Galinski okulu, Berlin-Zwi Hecker	45
Şekil 3.47. (a) Palmer evi planı, (b) Palmer evi plansal şema	46
Şekil 3.48. Agri Chapel, iç mekânı ve kesiti.....	46
Şekil 3.49. (a) Gotik katedralde kullanılan sivri kemer formu, (b) Reims Katedrali’nde farklı ölçeklerde kendini tekrar eden sivri kemer, Chartres Katedrali’nde farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden dairelerden oluşan gül penceresi	47
Şekil 3.50. (a) Milano Duomo Katedrali’nde ön cephede fraktal kurgu sağlayan sütunlar, (b) Celosia Plumosa bitkisinin benzer fraktal kurgusu	47
Şekil 3.51. Barcelona’da bulunan tarihi bir konut cephesi	48
Şekil 3.52. Ozenfant stüdyo	49
Şekil 3.53. Erken dönem mimaride fraktal örnekler.....	50
Şekil 3.54. (a) Basilica diSan Clemente’te bir süsleme (b) Anagni Katedrali.....	50
Şekil 3.55. (a) Chartres Katedrali gül penceresi vitrayı, (b) Chartres Katedrali gül penceresinin farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden dairelerden oluşan fraktal kurgusu	51
Şekil 3.56. (a) Süslemede kullanılan Mısır kolon başlıkları, (b) Papirüs bitkisi	51
Şekil 3.57. Karbandi'nin plan geometrisi.....	52
Şekil 3.58. Karbandi'nin üç boyutlu geometrisi.....	53
Şekil 3.59. Plan ve üç boyutlu geometrinin birleşimi.....	53
Şekil 3.60. Mukarnas blok üretiminin örnek geometrisi	54
Şekil 3.61. (a) Ali Kapu müzik salonunun tavan planı, (b) Işınlrın müzikhol boşluğunda yayılmasının simülasyonu	55
Şekil 4.1. Altıgen oluşum şeması.....	63
Şekil 4.2. Altıgenin çemberden hareketle kompozisyonu oluşturması.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Sekizgen oluşum şeması	64
Şekil 4.4. Sekizgenin çemberden hareketle kompozisyonu oluşturması	65
Şekil 4.5. Ongen oluşum şeması	66
Şekil 4.6. Onikigen oluşum şeması	67
Şekil 4.7. Burçların hava, ateş, su ve topraktan hangi gruba dahil olduğunu gösteren bir tablo.....	68
Şekil 5.1. Sivas Gökmedrese planı	69
Şekil 5.2. Eric Brough tarafından çizilen bir süsleme	79
Şekil 5.3. Eric Brough tarafından yapılan analiz altlığı	80
Şekil 5.4. Eric Broug'un deseni nasıl analiz ettiğini gösteren bir şematik çizim	81
Şekil 5.5. Bordür detayı ve çizimi, bordürün tamamlanmış hâli	83
Şekil 5.6. Çiçek şeklinde geometrik bezeme detayı ve çizimi.....	88
Şekil 5.7. Çiçek şeklinde geometrik bezeme detayı ve çizimi.....	92
Şekil 5.8. Geometrik bezeme detayı ve çizimi	96
Şekil 5.9. Bordür detayı ve çizimi, bordürün tamamlanmış hâli	100

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. (a) Fraktal nehir deltası, (b) Nil Nehri uydu görüntüsü	28
Resim 3.2. (a) Nautilus kabuğu, (b) Salyangoz kabuğu, (c) Mercan polipleri	28
Resim 3.3. (a) Piramit brokoli (Romanesco Broccoli), (b) Eğrelti otu, (c) Ağaçlar.....	29
Resim 3.4. (a) Kalp ve damar sistemi, (b) Akciğer	29
Resim 3.5. Paris Opera Binası	39
Resim 3.6. (a) Notre Dame Katedrali'nin birbirini tekrar eden gül penceresi, (b) Birbirini tekrar eden kemer kurgusu ve iç mekân kurgusu	48
Resim 3.7. Jean Nouvel, 1988-L'Institut du Monde Arabe/ Paris, France	49
Resim 3.8. İç mekânda bulunan Karbandi fraktal sistemi	52
Resim 3.9. Mukarnas fraktal sistemi ile tasarlanan müzikhol tavanı	53
Resim 5.1. Sivas Gökmedrese ön cephesi	70
Resim 5.2. Sivas Gökmedrese çeşmesi.....	71
Resim 5.3. (a) Sivas Gökmedrese güney duvarı, (b) mescit mekânı, (c) süslü pencere	71
Resim 5.4. Sivas Gökmedrese avlusu ve süs havuzu, sütun, revak ve kapılar	72
Resim 5.5. Sivas Gökmedrese taç kapısı	73
Resim 5.6. Sivas Gökmedrese mukarnas ve mermer bezeme detayları	73
Resim 5.7. Hayvan başlı bezeme	74
Resim 5.8. Dendan bezeme, bordür ve çini detayları	75
Resim 5.9. Rumî ve lale motifi, geometrik ve bitkisel motifli bezemeler	75
Resim 5.10. Taç kapıda bulunan hayat ağacı motifi.....	76
Resim 5.11. Avluda bulunan hayat ağacı bezemesi.....	77
Resim 5.12. Köşe kuleleri ve bezeme detayı	78
Resim 5.13. Taç kapının sağında bulunan pencerenin etrafını üç yönlü çevreleyen geometrik karakterli bordür	82
Resim 5.14. Taç kapının sağında bulunan pencerenin iki yanında bulunan geometrik karakterli çiçeksi bir motif	87

Resim	Sayfa
Resim 5.15. Çeşmenin üzerinde bulunan pencerenin üst kısmında yer alan geometrik karakterli çiçeksi bir motif	92
Resim 5.16. Hayat ağacının altında bulunan kitabenin dış konturünde yer alan geometrik karakterli bir motif	96
Resim 5.17. İç avluda bulunan eyvanın etrafını üç yönlü çevreleyen geometrik karakterli bordür	99



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm

Santimetre

m

Metre

vb.

Ve benzeri

vs.

Vesaire

yy.

Yüzyıl

Kısaltmalar

Açıklamalar

IFS

Iterated Function System

M.Ö.

Milattan Önce

1. GİRİŞ

Tasarım, birçok temel yaklaşımı ve süreçleri harmanlayan yöntem-bilimsel kurallarla ilişkilidir. Bir tasarım oluşturulurken çok yönlü, karmaşık bir sürecin süzgecinden geçer. Bu süreçte mimari ürünlerin oluşturulmasında farklı tasarım yaklaşımları kullanılmaktadır. Bir tasarımda dönemin siyasi, ekonomik ve sosyo-kültürel koşulları belirleyici olduğu gibi, tasarım yaklaşım ve yöntemleri de tasarımcının deneyimleri ile elde ettiği birikimden etkilenir. Başka bir deyişle, tasarım döngüsü ele alındığında birçok tasarım yöntemi sayesinde farklı zamanlarda, mekânlarda, farklı mimari akımlar, biçim ve çizgiler var olmuştur.

Matematik bilimi, her dönemde mimariyi beslemiştir. Mekân, zaman, yapım tarzı, tasarımın beslendiği akımlar fark etmeksizin nerdeyse tüm yapılarda tasarım, form, plan, kesit, desen, detay gibi elemanların ilişkilerini oluşturan ve açıklayan matematiksel kurallar vardır. Belirli matematiksel kurallarla oluşturulan tasarımlar kendi içinde daha uyumlu, tutarlı ve dengelidir. Yapılarda amaçlanan görsel haz, düzen ve estetik matematikte yer alan geometri ve oranları tarif etmektedir. Mekân üretiminde doğa, bazı tasarımcılar için ilham kaynağı ve çözüm yöntemi olmuştur. Doğa tabanlı üretilen tasarımların kullanılması, doğadaki yapıların nasıl oluştuğu ile ilgili matematiksel verilere dayalı bilimsel bir sistem kullanılmasını gerektirmiştir. Bu konudaki en temel sistem Öklid (Euclid) geometrisidir.

Mimari, teknolojik değişme ve gelişmelerden etkilenmiştir. Değişen şartlar ve ortamlar tasarım sürecinde meydana gelen problemlere farklı pencereden bakmayı, dolayısıyla da farklı yaklaşımların ortaya çıkmasını zorunlu hâle getirmiştir. Bu yaklaşımların teknoloji ile harmanlanması karşılaşılan problemleri dijital ortamda çözme arayışlarını doğurmuştur. 1970'lerde Mandelbrot'un doğadaki her şeyin Öklid (Euclid) geometrisi ile tanımlanamayacağı ile ilgili görüşleri doğrultusunda ileri sürdüğü fraktal geometri, bilgisayar destekli tasarım alanında yapılan çok sayıda çalışma ve araştırmanın temelini oluşturmuştur. Fraktal geometri tasarım kurgusunda yer alan basit temel bir biçimin tekrar, kesirli ifade ve kendine benzerlik gösteren belli kuralları takip ederek örüntü oluşturmaktadır.

Fraktal geometri bir tasarımı anlamak, tasarımın dilini çözmek ve tasarımı oluşturan kuralların analiz edilmesi için etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Fraktaller, mimariyi oluşturan vaziyet planı, kütle, plan, kesit, strüktür, cephe ya da bu çalışmada

olduğu gibi süsleme (bezeme) detayları gibi farklı elemanların analizinde kullanılabilir. Geometrik bezemeler, doğanın matematiği ile benzerlik göstermektedir. Fraktal geometri sayesinde analiz edilen doğada yer alan karmaşık biçimler basit kuralların belirli kurallar dahilinde bir araya gelerek oluşmuştur. Benzer şekilde analiz edilen geometrik bezemelerin kurgusu karmaşık görünse de bütünü oluşturan temel şekiller basittir. Temel geometrik şekiller belirli kurallar ile farklı ölçeklerde, farklı şekiller ile bir araya gelerek kurgu bütünü oluşturmıştır. Bu kurallar irdelendiğinde, karmaşık geometrik bezemelerin aslında fraktal kurgunun temelinde yer alan dört temel özellik ile ilişkili olduğu sonucuna varılacaktır: tekrar, kesirli oran, çevrim sayısı ve özbenzerlik.

Araştırmanın amacı

Teknolojinin gelişmesi birlikte, ürün tasarımında ve analizinde bilgisayar sistemlerinden yararlanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar sistemleri mimari tasarımı oluşturma ve analiz etme süreçlerinde bilgisayar destekli tasarım yöntemleri olarak karşımıza çıkmıştır. Bu yöntemler bilgisayar ortamına sistemli bir şekilde entegre olabilen kurallar sayesinde tasarım ve analiz olgularının teknolojinin gücü ile değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bir dizi kuralın uygulanması ile oluşturulan tasarım yöntemlerinden biri fraktal geometridir. Fraktal geometri düzensiz gibi görünen; fakat iterasyon (tekrar) ve özbenzerlik (kendine benzerlik) yoluyla belli kuralların uygulanarak kendi içinde düzeni oluşturan karmaşık kurgular ile ilgilenir.

Üretken tasarım, kusursuza ulaşmak için bir tasarımı çeşitlendirmeyi amaç edinen hesaplamalı bir yaklaşım sürecidir. Üretken bir tasarım yöntemi olan fraktal geometri, geometrik örüntü (pattern) oluşturmak ya da örüntünün analizini yapmak için kullanılabilir. Buradan hareketle çalışmada *üretken geometrik sistemlerin* hesaplamalı tasarlama süreci üzerindeki etkisi üzerinde durulmuş bezemelerde fraktal kurgu kavramı ve sayısal ortamın olanakları ile bir çözümleme yapılması hedeflenmiştir. Geometrik düzen ile üretilen desenler yani geometrik kompozisyonlar sonsuz düzenleme çeşitliliği sunmaktadır. Geometrik örüntüler İslam sanatının etkisinde gelişen Türk mimarisi süslemelerinde (bezeme) kullanılmıştır. Geometrik süslemelerde malzeme olarak taş kullanılması örüntü çeşitliliğinin artmasını sağlamaktadır. Türk mimarisini incelediğimizde özellikle Anadolu Selçuklu Dönemi'nde taş bezemelerde geometrik örüntüler çok yaygın kullanılmıştır.

Bu çalışma özelinde de İslam Sanatı'nda büyük önem arz eden, yapılara görsel ve estetik açıdan kimlik katan Anadolu Selçuklu Dönemi geometrik bezemelerinden seçilen örneklerin fraktal kurgu bağlamında analiz edilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, Türk mimarisinde karmaşık gibi görünen geometrik bezemelerin fraktal çözümlenmesi ile bezeme kurallarının açıklanması hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan bu yöntem ile yapının süsleme unsurlarının matematik mantığına yönelik bir çözümleme, analiz yapılmıştır. Analiz için Anadolu Selçuklu Dönemi eserlerinden biri olan Sivas Gökmedrese örnek olarak seçilmiştir.

Araştırmanın kapsamı

Tez çalışması kapsamında fraktal geometri yöntemi kullanılarak Anadolu Selçuklu Dönemi eserlerinden biri olan Sivas Gökmedrese'de bulunan geometrik taş bezemelerdeki örüntüler incelenmiştir. Bu örüntülerin biçim kuralları çıkarılarak geometrik dili analiz edilmiştir. Sivas Gökmedrese'den seçilen geometrik taş bezemelerin şematik oluşum kurguları çizilerek fraktal açıdan değerlendirilmiştir. Alan çalışmasına konu olan Sivas Gökmedrese estetik ve teknolojik bağlamda anı değeri yüksek, korunması gereken nadide yapılardan biridir, 2014 yılında Dünya Miras Geçici Listesi'ne girmiştir. Yapı incelendiğinde içerisinde çok farklı bezemeler ve çini, tuğla, taş işçiliği bir arada bulunmaktadır. Ayrıca grup değeri olan nadide yapılardan biridir. Yapının portalinde analizde kullanılabilecek çok sayıda karmaşık geometrik taş bezeme bulunmaktadır. Çalışma ile bu süsleme unsurlarının oluşum kurgusuna yönelik bir analiz yapılmıştır. Analiz aşamasında özellikle yapının ön cephesinde, portalinde amaca uygun bulunan geometrik bezemelere ağırlık verilmiştir. Ayrıca iki boyutlu geometrik bezemeler seçilmiştir. Bu analiz ile fraktal geometri ile yapılmış bir tasarımın, şeklin ya da motifin biçim kuralları çıkarılarak karmaşık geometrisini bilgisayar ortamında çözümleyebilmenin mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmanın yöntemi

Tez çalışmasında, Selçuklu bezemelerinin kurgusu araştırılırken fraktal geometriye dayalı mimari bir analiz yapılması hedeflenmektedir. Çalışmada analiz yöntemi olarak fraktal geometri kullanılmıştır. Tekrar, özbenzerlik (kendine benzerlik) ve kesirli ifade özellikleri içeren karmaşık kurgular fraktal geometri içermektedir. Bu çalışmada fraktal, tümevarım yönteminden çok bütünsel bir biçimin nasıl kesirli olarak bölünebileceğini araştırır

tümdengelimci bir yaklaşım olarak ele alınmıştır. Doğadaki karmaşık, birbirini tekrar eden kurgular fraktal geometri ile nasıl açıklanabiliyorsa; benzer şekilde karmaşık geometrik bezeme kurgularının da fraktal geometri ile açıklanabileceği düşünülmüştür.

Anadolu Selçuk Dönemi bezemeleri üzerine biçim grameri yöntemi kullanılarak yapılan analiz çalışmaları bulunmaktadır. Aslı Bökü, “Biçim Grameri Türetme Yönteminin Anadolu Selçuklu Geometrik Bezemeleri Üzerinde Denenmesi (Örüntü Türetme Yöntemi Olarak Biçim Grameri)” adlı tez çalışmasında, var olan bezeme örneklerini kullanarak Anadolu Selçuklu Dönemi geometrik bezemelerini, biçim grameri yöntemi ile analiz etmiş ve bu analizi kullanarak yeni örüntüler türetmeyi amaçlamıştır. Ebru Ulu, “İslami Geometrik Örüntü Türetimi Amaçlı Bir Biçim Grameri Modeli” adlı tez çalışmasında, var olan İslami bezemelerin çokgen ve çok kollu yıldız geometrilerini biçim grameri yöntemi ile analiz etmiş ve bu yöntem yardımı ile yeni örüntüler türetmeyi amaçlamıştır. Volkan Dalağan, “İslâmi Yıldız Geometrik Örüntülerin Biçim Grameri Yöntemleri ile Kurallı Üretimi” adlı tez çalışmasında, altı, sekiz, on ve on iki kollu düzgün İslâmi rozet ve yıldız örüntülerini biçim grameri yardımı ile incelemiş ve bu yöntemi kullanarak yeni biçimler üretmeyi amaçlamıştır. Begüm Hamzaoğlu, “Computing The Making of Seljuk Geometric Patterns” adlı tez çalışmasında, taş üzerine oyulmuş Selçuklu geometrik desenlerini, biçim grameri yöntemi ile analiz etmiş ve bu yöntem yardımı ile yeni desenlerin üretilmesini amaçlamıştır. Biçim grameri, kurallara bağlı kalarak yeni biçimlerin üretilmesidir. Birçok çalışmada biçim grameri ile analizler yapılırken bir geometrik örüntü olarak ele alan ve bu bağlamda fraktal geometri ile analiz eden bir örneğe rastlanmamıştır.

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda ilk bölümde konuya giriş yapılmış, ikinci bölümde mimari analizden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde geometri-mimari ilişkisi, fraktal teriminin ortaya çıkışı, fraktal kavramı, fraktalin geometrisi, fraktal karakteristik incelenmiştir. Fraktal türleri, üretim modelleri ve kaos teorisiyle fraktal boyut ilişkisi araştırılmıştır. Dördüncü bölümde süslemelere giriş yapılmış Anadolu Selçuklu Dönemi bezemelerinden bahsedilerek İslam Sanatında kullanılan geometrik bezemeler genel hatlarıyla açıklanmıştır.

Son bölümde ise alan çalışması yapılmış Sivas Gökmedrese mimarisi hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra da Anadolu Selçuklu dönemi eseri olan Sivas Gökmedrese’den

seçilen geometrik bezemelerin fraktal geometri yöntemiyle analizi yapılmış şeklin oluşma kuralları şematik olarak özömlenmiştir.

Sonuç bölümünde yapılan özömlerle karmaşık bir bezemenin, bir örüntünün çizgilerden hareketle nasıl meydana geldiğini anlamanın ve geometrik kurgunun varlığını bilgisayar ortamı ile çözmenin mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca analiz edilen bezemeler incelendiğinde fraktalin dört ana kuralının bezemelerin oluşum kurgusunda bulunduğu görölmektedir: fraktal kesir, özbenzerlik, iterasyon ve çevrim sayısı. Bu bölümde analiz edilen bezemelere dair değerlendirmelerde bulunulmuştur. Çalışmada farklı özelliklerde iki boyutlu geometrik karakterli bezemeler, bordür şeklinde oluşturulan geometrik bezemeler, bitkisel karakterli geometrik bezemeler analiz edilmiştir. Analiz edilen bezemelerin hepsi vektörelidir. Çünkü analiz edilen tüm bezemeler iki boyutludur. Bütün analizlerde vektöre bağlı bir döndürme olayı vardır. Düzeni sağlayan şey de aslında bir dairenin etrafında gerçekleşen döndürme olayıdır. Seçilen bezemeler fraktal geometri kullanılarak hem şekil hem de düzen üzerinden analiz edilmiştir. Ayrıca çalışmada genel olarak, bezeme seçimi yapılırken dairenin etrafında dönme yeteneğine sahip olan çokgen tabanlı olmalarına dikkat edilmiştir.



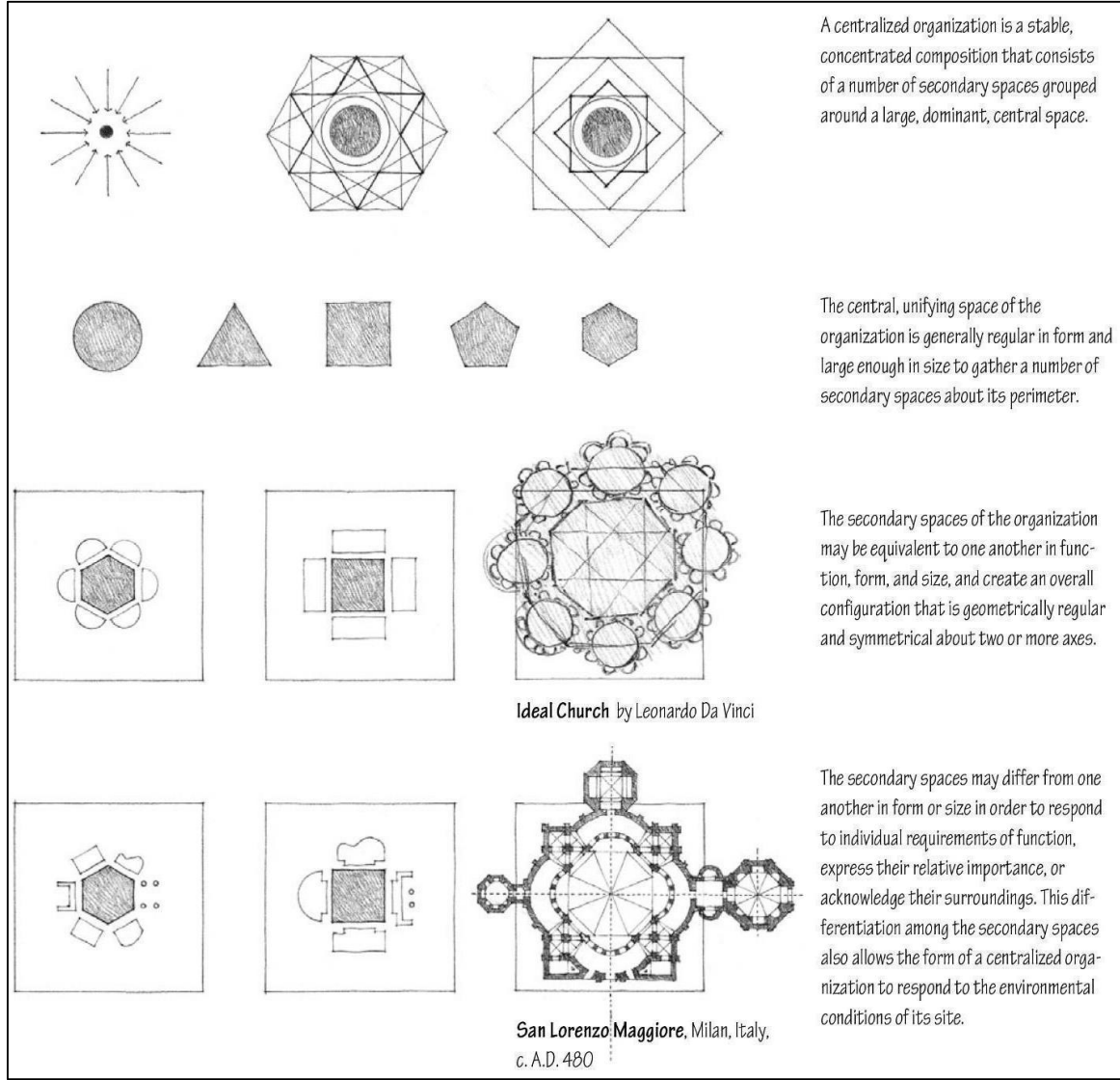
2. MİMARİ VE ANALİZ

Fransızca “analyse” kelimesinden türeyen analiz kelimesi, sözlük anlamı olarak çözümleme ve tahlil anlamlarına gelmektedir. Analiz, bir bütünü yapı taşlarına ayırma, bütün ile parçaları arasındaki ilişkileri tanımlayarak sonuca ulaşma yöntemidir (URL-1, 2016). İncelenen konuya ve yönteme bağlı olarak analizler; sezgiye, yoruma dayalı ya da tarihsel-görsel verilere, imajlara, belgelere, kanıtlara dayalı yapılabilir. Buradan hareketle analizden elde edilen sonuçların, verilerin, sayısal, sözel ya da görsel olabilmesi mümkündür.

Analiz tüm bilim ve sanat dallarında, araştırmalardaki mihenk taşı olarak kendini göstermektedir. Bilim ve sanat olarak kabul edilen mimaride de araştırma yapılırken analiz yöntemine sıklıkla başvurulmaktadır (Kanatlar, 2012).

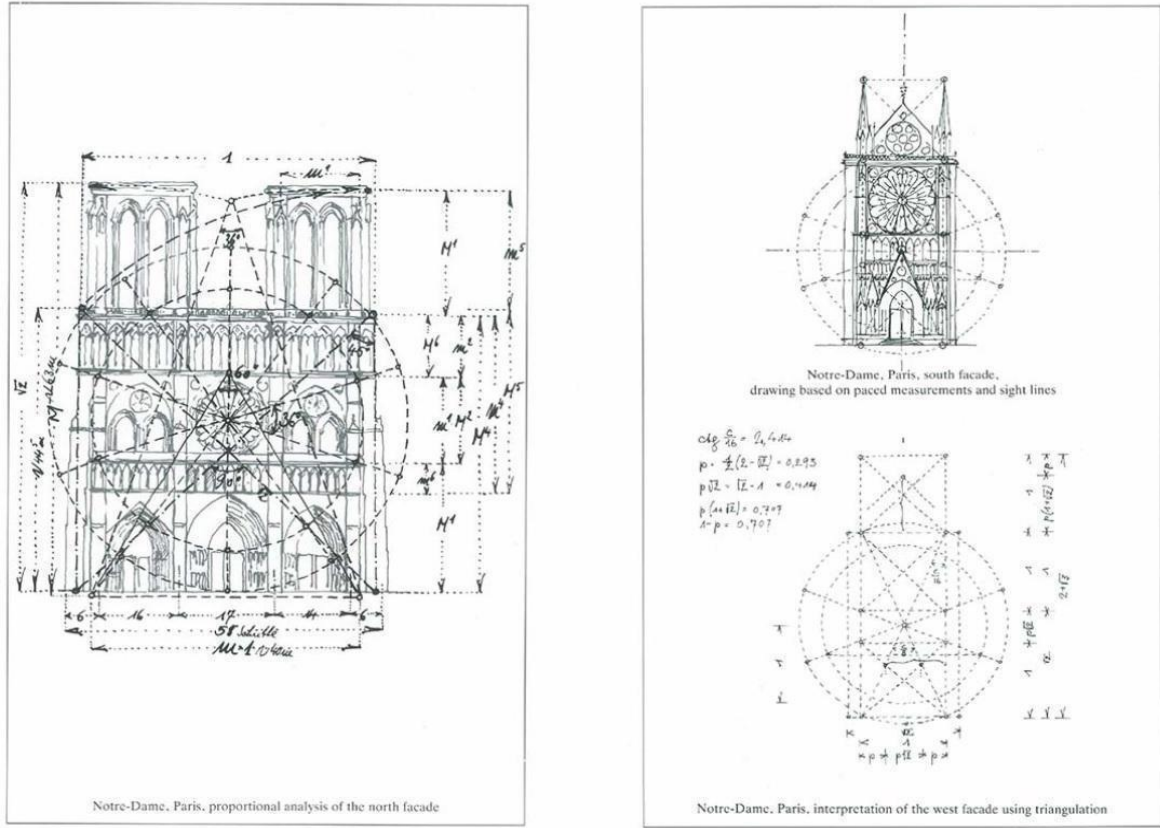
Mimarlık ürünü ait olduğu toplumun ihtiyaçlarına, sosyal ve ideolojik yapısına, kültür ve eğitim seviyesine, dini inançlarına vs. göre şekillenir, ortaya konulduğu dönemin özelliklerine ve bu dönemdeki teknolojik değişim ve gelişmelere bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Tüm bu değişken etkenler bir mimari ürünü incelerken araştırmacıyı analiz yapmaya zorlamıştır. Geçmişten günümüze mimaride analiz farklı alanlarda pek çok yöntemle yapılmıştır; bazı analizler yapısal, bazıları işlevsel, bazıları kavramsal, bazıları ise kentsel ölçektedir.

Yapısal analizler yapının kütlesi, formu ile ilgilenir. Bu analizler bina ölçeğindedir; plan, cephe, kesit düzleminde hatta bir yapının detay ölçeğinde karşımıza çıkabilir. Mekânın fiziksel yapısını oluşturan elemanları, bu elemanların geometrilerini, geometrilerin birbirleri ile oluşturduğu organizasyonları, içerdikleri doluluk-boşluk kurgularını inceleyerek vb. birçok şekilde analiz yapılabilir (Kaya, Bölen, 2006). Bu analiz örneklerinden biri Ching tarafından yapılmıştır. Ching, “Architecture: Form, Space and Order” kitabında mimari formu ele almış; formları mekânsal organizasyon olma şekilleri üzerinden belli prensiplere göre analiz etmiştir (Ching, 2007: 192).



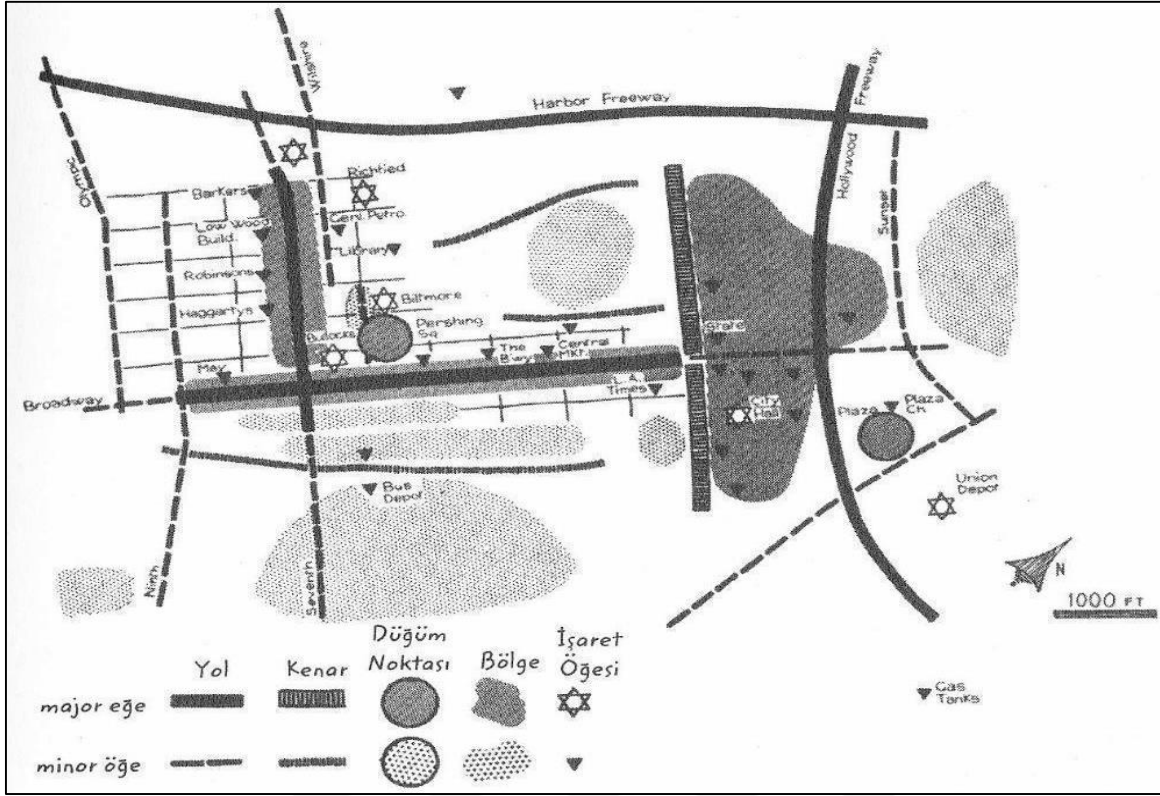
Şekil 2.1. Merkezi organizasyonlar (Ching, 2007: 196)

Yapısal açıdan analiz yapan başka bir araştırmacı ise Krier'dir. Krier, "Architectural Composition" adlı kitabında oran ve geometri kullanarak proporsiyon, simetri, gibi kavramlar üzerinden öğrenci projelerini ve önemli mimari yapıları plan, kesit ya da cephe olarak analiz etmiştir (Krier, 1988: 262-263).



Şekil 2.2. Notre-Dame cephe proporsiyon analizi (Krier, 1988: 262-263)

Kentlerin oluşum süreçleri, alt ölçeğin (binaların) tasarlanarak bütünü oluşturması ya da direkt kentin bütünü planlayarak gerçekleştirilmektedir (Kaya, Bölen, 2006). Kevin Lynch mimariyi kentsel ölçekte ele almıştır. Kevin Lynch, “Kent İmgesi” adlı kitabında mimarlığı kentsel açıdan ele almış; var olan kent formunu ve bu formun kentli üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Analiz için üç Amerikan kentinin merkez bölgeleri seçilmiştir: Boston-Massachusetts, Jersey City-New Jersey ve Los Angeles-California. Lynch, kent planlarını “yollar, kenarlar, düğüm noktaları, bölgeler ve kentsel işaretler” olarak elemanlara ayırmış bu şekilde analizini yapmıştır (Lynch, 1975: 35).



Şekil 2.3. Los Angeles-California kent analizi (Lynch, 1975: 35)

Mete Tapan gibi bazı araştırmacılar ise mimariyi kavramsal açıdan ele almışlardır. Mete Tapan “Mimarlıkta Değerlendirme” kitabında mimarlık ürünlerinin değerlendirilmesinde estetik sorununun işlenmesine olanak sağlayan yarar-değer analizi yapmış ve bu analize özgü değerlendirme teknikleri geliştirmiştir (Tapan, 2004: 23-62).

Yukardaki örneklerde de görüldüğü gibi araştırmacılar, mimariyi farklı şekillerde olarak çeşitli analizler yapmışlardır. Bu çalışmada ise, bina ölçeğinde yapısal bir analiz yapılacaktır. Analiz kavramı, yapının süsleme ölçeğinde mimarlık tarihimizde kullanılan bezemeler üzerinden ele alınacak; fraktal geometri ve fraktal kurgu kavramları, bir mimari analiz yöntemi olarak kullanılacaktır.

3. MİMARİ TASARIM VE GEOMETRİ İLİŞKİSİ

Mimarlık, özünde mekân üretme işidir. İnsanoğlu, temel gereksinimi olan barınma ihtiyacını karşılamak için çeşitli çözümler üretmiş; fakat zamanla insan ihtiyaçları değişmiştir. Bu duruma bağlı olarak da ürettikleri mekânlar farklılaşmıştır. Mekân tasarımı bağlamında doğa, insanlar için ilham kaynağı ve çözüm yöntemi olmuştur. Matematiğin bir dalı olan geometri, insanların belli kurallarla doğadaki birçok şeyi anlamak ve algılayabilmek için kullandıkları disiplindir; bu sayede akı ve mantığı kullanarak maddelerin görünüşlerini, hareketlerini sayısal olarak çözmek mümkün olmuştur. Tasarımcılar doğa üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda doğadan esinlenerek yapısal oluşum ve işlevleri taklit ederek ya da yorumlayarak mekânlar üretmişlerdir.

Mimarlık ve matematik bilimleri her dönemde birbirlerine paralellik göstermekte, birbirini beslemektedir. Mimarlık yapılar, matematik ise doğada düzen ve estetik arayışı içindedir. Yapılarda amaçlanan düzen ve estetik, matematikte yer alan geometri ve oranları tarif etmektedir. Aslında tasarımın dili de geometri üzerine kuruludur; bir tasarımı çözmek, dilini anlamak geometri sayesinde mümkündür. Mimari biçimler tasarlamak, aynı zamanda tasarlanan bu biçimleri sınırlamak ya da tasarlanan biçimi çözmek amacıyla geometri ve oransal kurallar sıklıkla kullanılmıştır. Geçmişe bakıldığında mekân, zaman, yapı tarzı, geleneği vs. fark etmeksizin hemen hemen her yapıda tasarım, plan, desen, detay gibi ayrıntıların kendi içindeki ilişkisini oluşturan ve açıklayan matematiksel kurallara sahiptir. Matematiksel kurallarla yapılan tasarımların kendi içinde daha uyumlu, tutarlı ve dengeli olduğu da aşîkârdır.

Tarihsel süreç boyunca mimaride geometri üzerine birçok oranlama kuramı geliştirilmiştir. Unwin “Analysing Architecture” kitabında, tasarımda biçimlerin geometrisini meydana getiren kriterlerin tasarımcıların tercihi yönünde ilerlediğinden bahsetmektedir (Unwin, 1997: 106-107). Antik Yunan mimarisinde tasarımların özünde doğadan esinlenen altın oran kullanılmış, Mısır mimarisinde astronomi ışığında doğanın düzen ve ahengi üzerine yapılan hesaplamalar ile gelişen geometrik oranlar kullanılmıştır. Rönesans mimarisinde matematiğin etkisi büyüktür; Vitruvius’un türettiği geometrik ilişkilere dayalı formlar, oranlar, simetriler kullanılmıştır. Modern mimaride de basit formların kabul görmesiyle süsten, abartıdan ve füzuli ayrıntılardan uzaklaşma, formun işlevi takip etmesi gerektiği fikri gibi yaklaşımlar Euclid etkisinin görülmesine sebep olmuştur. Her dönemde belli sistemler

aracılığıyla bir sonraki döneme fikirler aktarılmıştır. Sistemlerin ve dönemlerin farklılıklarına rağmen ilkeler ve değerlerde çok büyük benzerlikler bulunmaktadır (Terzi, 2009). Yapılarda amaçlanan düzen ve estetiği sağlamak için her dönemde kullanılan temel oranlardan biri altın orandır.

3.1. Altın Oran ve Fibonacci Dizisi

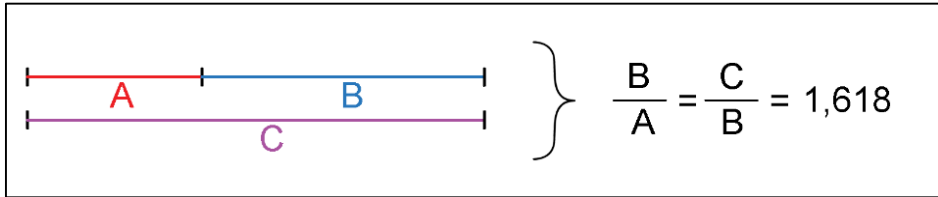
Doğadan ilham alan mimari tasarım süreci tasarımcının ürettiği basit veya karmaşık yapıların ortaya çıkmasıyla tamamlanır, tasarımcı her süreçte belirli geometrik oranları kullanılmaktadır. İnsanın güzel olarak nitelendirdiği, görsel algısına hitap eden ve insana haz veren oran “Altın Oran” olarak ifade edilir (Beytekin, 2015). Altın oran tasarımı oluşturan yapısal elemanların ve detayların anlaşılması için oluşum süreçlerinin çözümlenmesinde, geometrik tabanlı kurallı biçimlerin (pattern) matematiksel olarak ifade edilmesini sağlar.

Altın oran, doğada ve matematikte tarihin başlangıcından itibaren hep vardır; fakat insanoğlu tarafından keşfedilip ortaya çıkmasının tarihi net olarak bilinmemektedir. Kayıtlara göre altın oran, ilk defa M.Ö. 3.yy.da Euclid’in Stoikheia (Elementler) kitabında “eşit ve ortalama oran” olarak yer almaktadır. Euclid bu kitapta, altın dikdörtgenden (altın orandan) bahsetmektedir. Eski Mısır’da M.Ö. 3000 yılına dayandığı, Grek dünyasına da Pythagoras ve Pythagoras’cular aracılığı ile tanıtıldığı söylenmektedir. Yunanlılar, insan vücudunda altın oranın önemini savunmuş ve bu oranları tapınak inşa ederken kullanmışlardır. Rönesans mimarlığında da önemli bir yere sahip olan altın oran, ayrıca Le Corbusier Modülör sisteminin de özünü oluşturur (URL-2, 2013).

Çizelge 3.1. Altın oran üzerine yapılmış çalışmaların tarih çizelgesi (S. Arslan Selçuk, Gönenç Sorguç ve Er Akan, 2009).

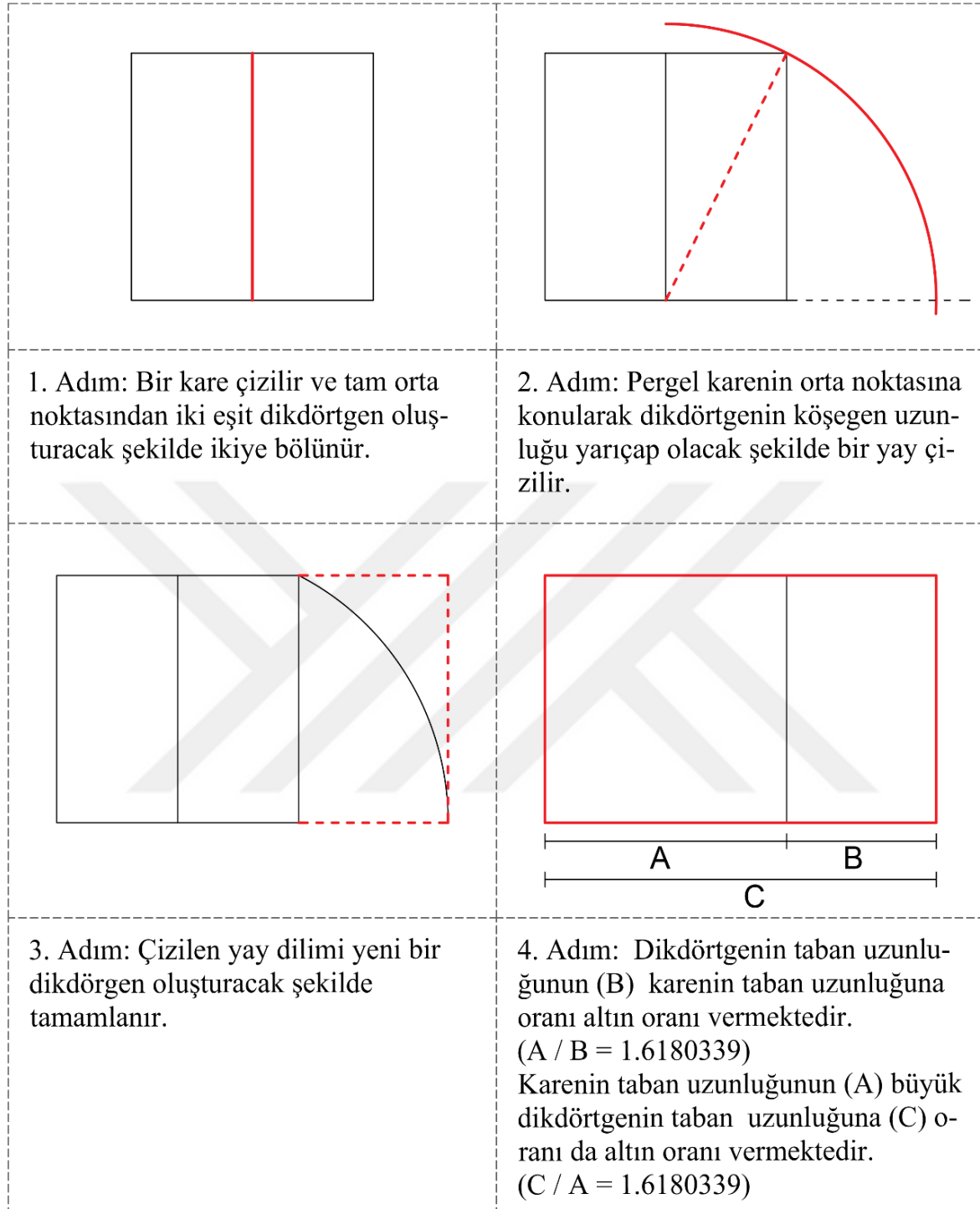
fi kodu tarih çizelgesi		MÖ.490-430 Phidias	MÖ.427-347 Plato	MÖ. 325-265 Euclid	1170-1250 Fibonacci	1445-1517 Luca Pacioli	1571-1630 Johannes Kepler	1720-1793 Charles Bonnet	1792-1872 Martin Ohm	1842-1891 Edouard Lucas	20. yy Mark Barr	d.1931 Roger Penrose
		...			12.yy		16.yy			19.yy	20.yy	...
		yaptığı heykelerde altın oranı kullandı	Timaheus adlı eserinde altın oranla ilişki kurduğu olası 5 kat cisimden bahsetti 4-6-8-12-2-0 yüzü	Element's adlı eserinde ilk kez "extreme and mean ratio" altın oranını tanımlı kayıtlara geçti	Über Abaci adlı eserinde altın oranı veren bir sayı dizisini anlattı.	Divina Proportione eserinde altın oranı ilahî oran olarak tanımladı.	Pisagor teoremi ve "extreme and mean ratio". Bu ikisini Kepler üçgeninde birleştirdi.	Bitkilerin yapılarındaki diziliş keşfetti phyllotaxis bu iki ardışık Fibonacci sayısını vermektedir	Goldener Schnitt altın oran temini ilk kez kullandı.	Fibonacci sayıların son şeklini verdi.	0 1 1 2 3 5 8 13 21 34 55 89 144 233 ...	Kuvasi kristal geometrisinde yeni keşiflere yol açan aperiodic tilinglerde altın oranın kullanıldığı simetrik bir pattern buldu.
												

Geometri alanında “Altın Oran”: Bir doğru parçası bölündüğünde küçük parçanın büyük parçaya oranı ile büyük parçanın bütün parçaya oranına eşittir. Yunan heykeltıraş Phidias’ın baş harfi ve Yunan alfabesinin 21. harfi olan “Φ” altın oran simgesi olarak kullanılmaktadır (S. Arslan Selçuk ve diğerleri, 2009).



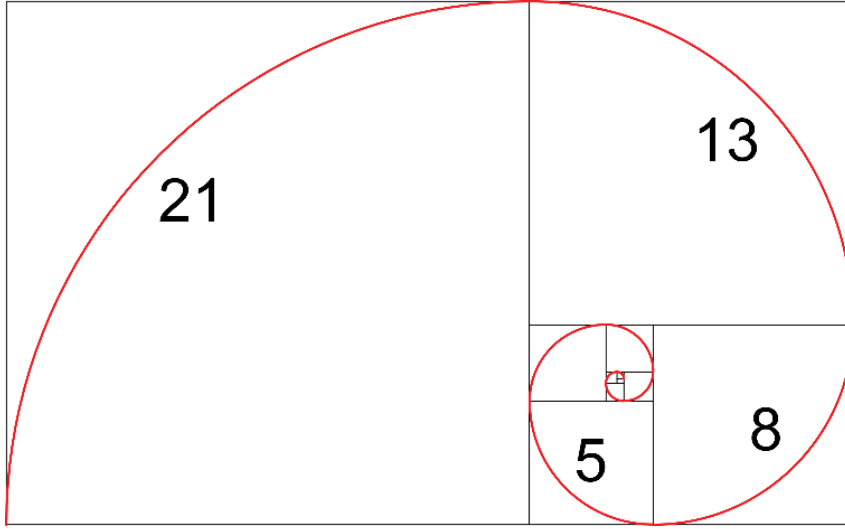
Şekil 3.1. Doğru parçası ile altın oran ifadesi (Değirmenci, 2009).

Altın oranda yaklaşık 1,618 değeri oldukça ideal bir değerdir. Altın oranla ilişkilendirilen her seri eklemeli ve geometriktir. 1, Ø1, Ø2, Ø3 ... Øn, serisinde her terim kendisinden önce gelen iki terimin toplamına eşittir. Altın orana yaklaşan bir başka seri ise Fibonacci Serisi’dir, ardışık sayıların oranı neredeyse aynıdır; 13. sayıdan sonrada bu oran, altın orana eşittir. (Fibonacci Sayıları: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, ...) (S. Arslan Selçuk ve diğerleri, 2009).



Şekil 3.2. Altın dikdörtgen çizimi

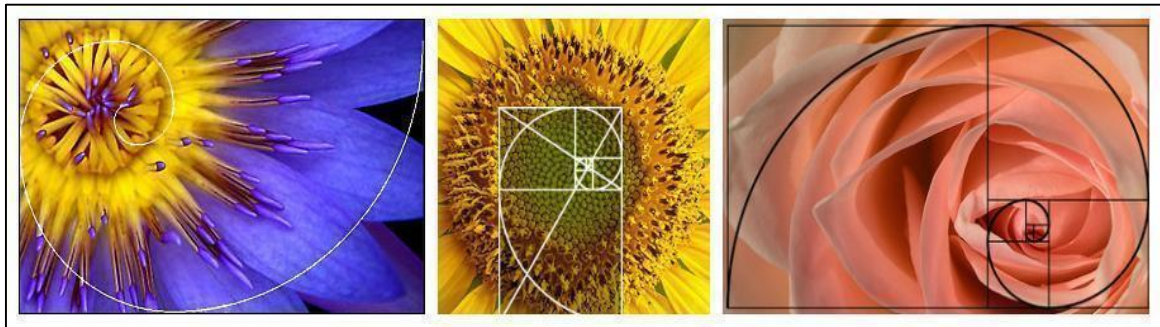
Altın dikdörtgenden kare çıkardığımızda kalan hep altın dikdörtgeni verir. Bu işlemi sürekli tekrarladığımızda karelerin kenar uzunluğu yarıçap olacak şekilde yay çizersek oluşan şekil altın spiral olur. Ayrıca karelerin kenarları da fibonacci sayılarını vermektedir (URL-3, 2014).



Şekil 3.3. Altın spiral çizimi

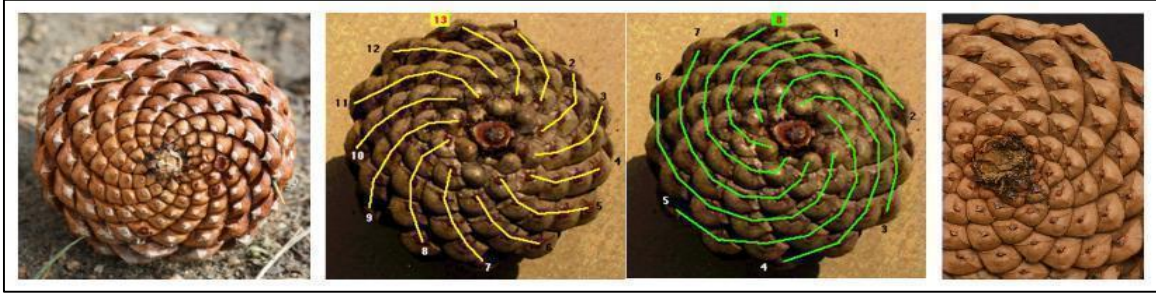
Altın oran yüzyıllarca doğa, bilim, sanat, mimari başta olmak üzere birçok alanda gözle görülür bir biçimde karşımıza çıkmıştır. Doğaya dikkatlice baktığımızda bazı çiçeklerde, tohumlarda, ağaç dal ve yapraklarında, doğa olaylarında, bazı böceklerde ve deniz kabuklularında altın oran bariz şekilde göze çarpmaktadır. Ayrıca altın oran vücudumuzda da karşımıza çıkmaktadır; vücut parçalarının birbirleri ile olan oran ilişkisini açıklamada kullanılmaktadır. Sanatçılar ve tasarımcılar ürünlerini ortaya koyarken ölçüt olarak insan bedenini, altın oranı kullanmışlardır (Akhtaruzzaman, Shafie, 2011).

Çiçekler genelde ortasından başlayarak dışarı doğru mükemmel bir sırada devam eder ve bu sıralama Fibonacci dizisinin sayıları şeklinde ilerler.



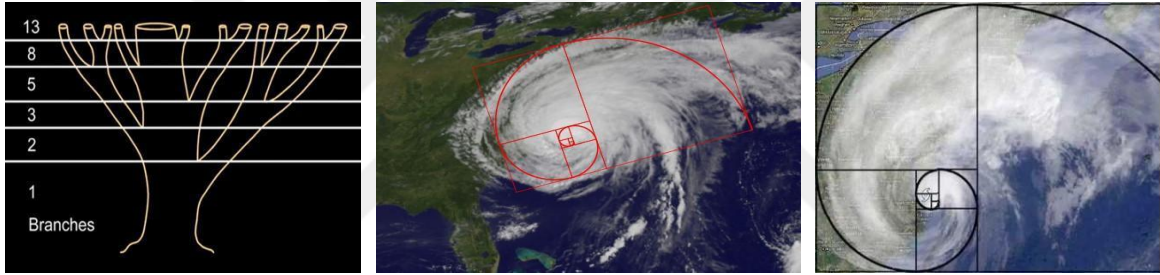
Şekil 3.4. Bazı çiçeklerde altın spiral (URL-4, 2020)

Kozalaklarda da her sıra, bir üst sırada çaprazındaki tohumlarla spiral oluşturan bir sarmaldan oluşur ve Fibonacci sayılarıyla eşleşir.



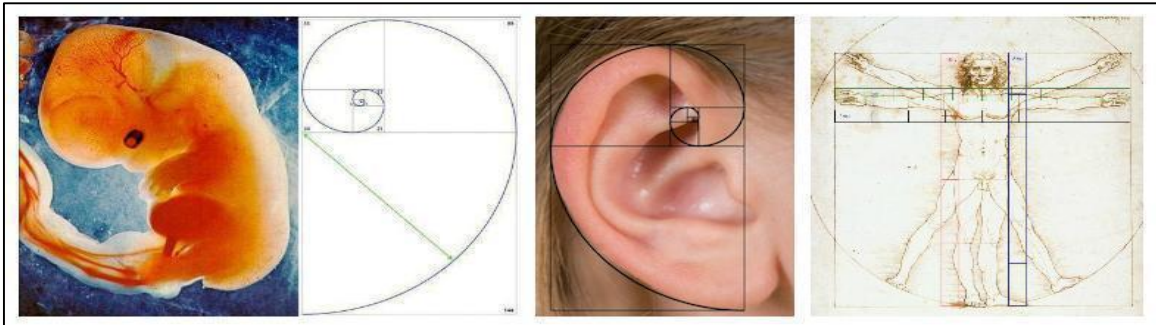
Şekil 3.5. Çam kozalağında Fibonacci sayıları analizi (URL-4, 2020)

Ağaç dalları incelendiğinde, dallanmalar aşağıdan yukarıya çıkıldıkça Fibonacci sayıları şeklinde artar. Bazı doğa olaylarında da altın orana rastlanılmaktadır. Amerika’da oluşan İrene ve Sandy adlı hortumların uydu görüntüleri incelendiğinde yayılmalarının altın spiral şeklinde olduğu görülmüştür.



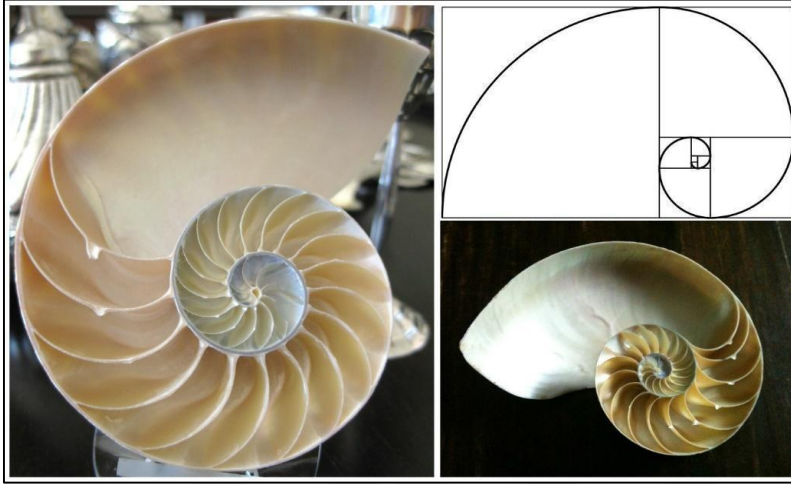
Şekil 3.6. (a) Ağaç dallanmasında Fibonacci dizisi, (b, c) İrene ve Sandy hortumlarının uydu görüntüsü (URL-5, 2013)

İnsan vücudunda da aynı sıralı işleyiş vardır; insan embriyosunda, kulaklarımızda bile aynı spiral şekil altın oranı sağlamaktadır. Leonardo da Vinci, Marcus Vitruvius Pollio'nun (M.Ö.80-15) “De Architectura” eserinde yer alan oranlardan yola çıkarak çizdiği “Vitruvius Adamı” olarak geçen eskizinde bir erkek figürünün kol ve bacaklarını bir daire ve bir karede birleştirerek altın oranı kullanmıştır.



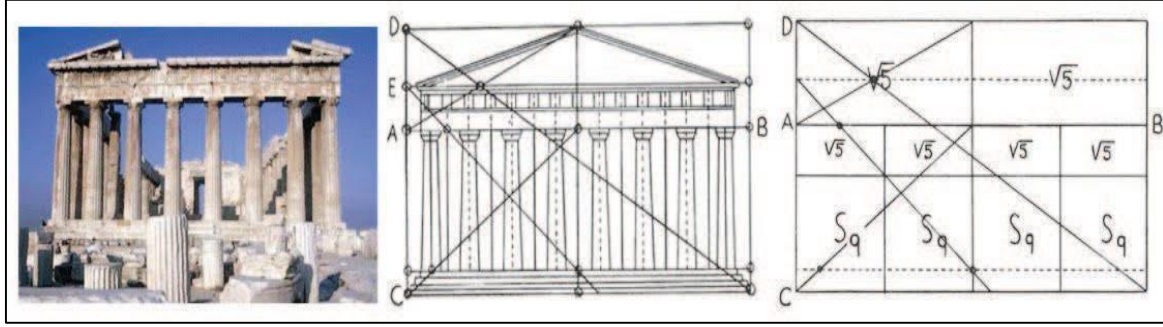
Şekil 3.7. İnsan vücudunda altın oran (URL-4, 2020)

Nautilus pompilius olarak bilinen canlı altın oran ile spiral büyümenin net görüldüğü örneklerdendir. Hayvanın kabuğu birçok odacıklardan oluşur, hayvan büyüdükçe küçük odacıklar kapanır ve sarmal şeklinde büyüyen yeni odacıklar oluşur.



Şekil 3.8. Nautilus pompilius kabuğunda altın oran (URL-4, 2020)

Matematik ve geometri doğanın yapı taşı olduğu gibi, mimarinin de yapı taşıdır. Tarihsel süreçlerde tasarımcı tasarımda teknik, işlev, planlama, denge, düzen gibi tasarım girdilerini kullanırken doğanın matematiğini örnek alarak doğayı taklit etmeye çabalamıştır. Ayrıca tasarımcı kullandığı yapı elemanlarında hem işlev, denge ve estetik amacıyla hem de tasarımda insana haz veren güzeli yakalamak amacıyla oranları kullanmıştır. Oran-orantı, tasarımın zihinsel ve fiziksel açıdan tüm öğeleri ile kavranabilmesini kolaylaştırırken; tasarımın tüm duyular ile hissedilebilmesini sağlayarak algısal açıdan karşı tarafa haz vermesini sağlar. Altın oran, doğada bulunan en düzgün ve mükemmel matematiksel düzendir. Mimaride de altın oran kullanımı geçmişten günümüze her dönemde karşımıza çıkmakta ve bu oran-orantı tasarımdaki vaziyet planında, mekân kurgusunun oluşması sırasında, plan ve cephe tasarımı sırasında, yapının kesitinde, süslemelerde, strüktür olan bir öge olarak vs. birçok detayda karşımıza çıkmaktadır. Mimaride oranı sıkça kullanan ve dini inançlarından ötürü oranı kullanırken insan bedeni ölçülerini dikkate alarak tasarım yapan Yunan mimarisinde, güzelliğin ve uyumun en mükemmel ifade edilme yöntemi oranlardır. Yunanlılar, mimaride en eski örneklerden sayılan ve en önemli eserleri olarak gösterilen Parthenon Tapınağı'nı yaparken altın oranı kullanmıştır. Tasarımın geometrik dili çözümlendiğinde tapınağın bütününden en küçük ayrıntısına kadar altın dikdörtgenler ve altın oran spirali kullanılarak tasarım yapıldığı görülmektedir (M. Arslan, Özen Yavuz, 2022).

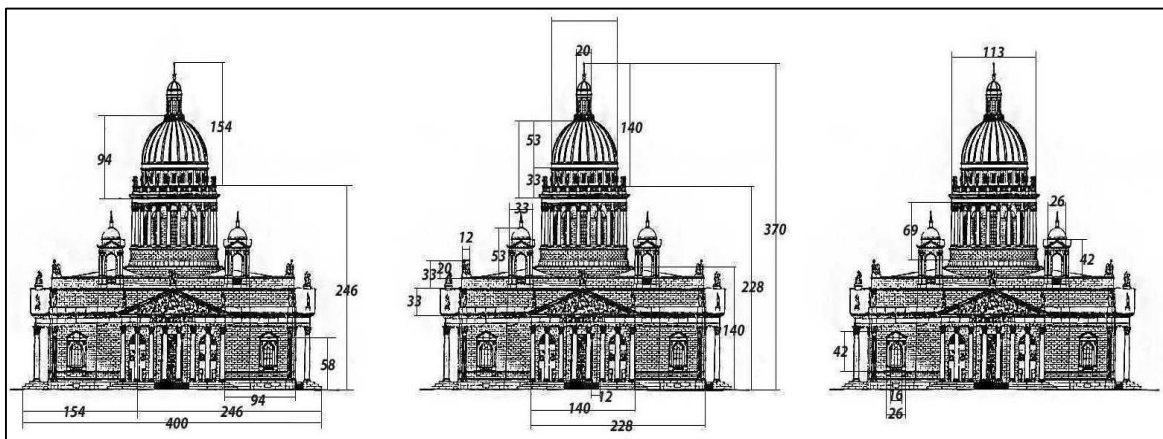


Şekil 3.9. Parthenon cephesinde yapılan bir altın oran çalışması (S. Arslan Selçuk ve diğerleri, 2009)

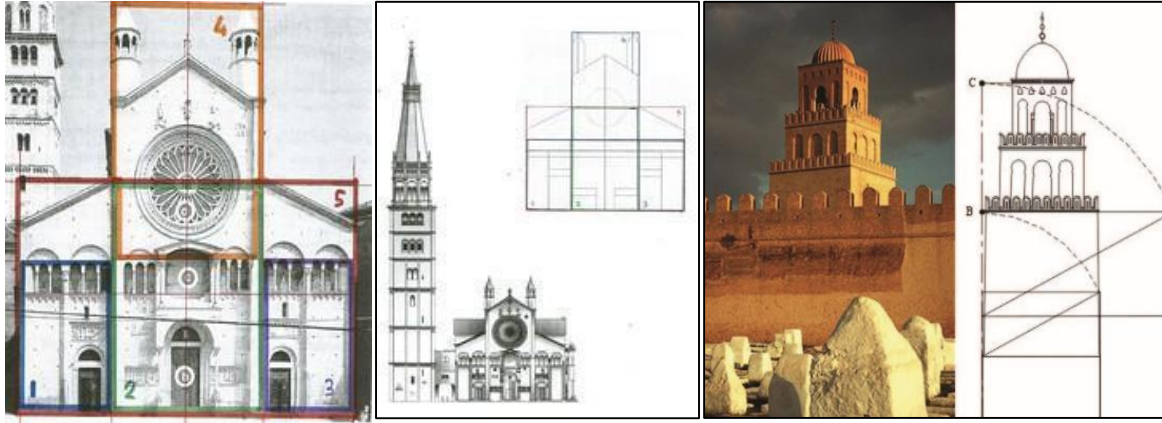


Şekil 3.10. Parthenon Tapınağı (M. Arslan, Özen Yavuz, 2022)

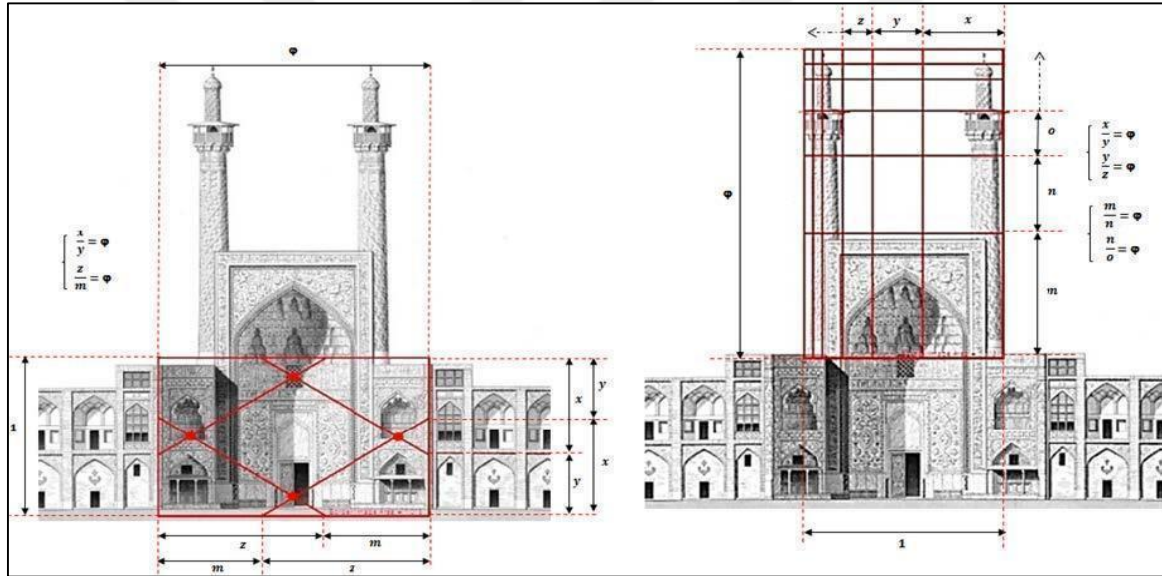
Aziz Isaac Katedrali'nin ve Modena's Katedrali'nin, Kayravan'daki Büyük Cami'nin, Shah-Mosque-İsfahan'ın ve Villa Savoye'nin cepheleri üzerine yapılmış çalışmaları ele aldığımızda yine altın oranlar kullanılarak tasarım yapıldığı görülmektedir.



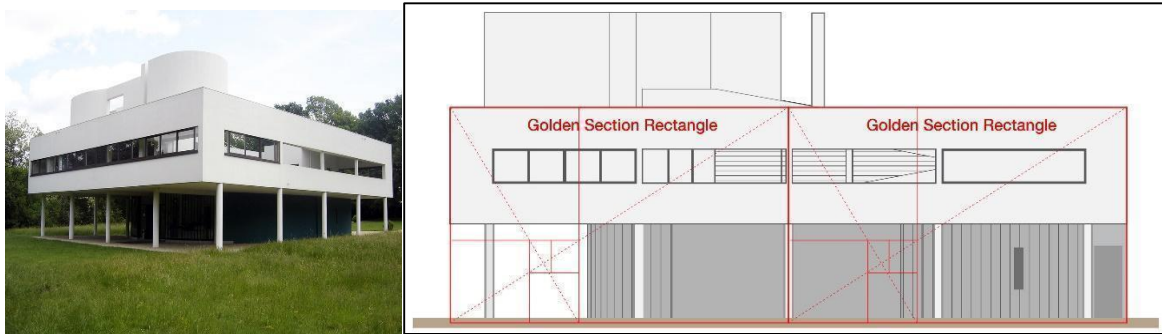
Şekil 3.11. Aziz Isaac Katedrali (M. Arslan, Özen Yavuz, 2022)



Şekil 3.12. (a) Modena's Katedrali ön cephesinde yapılan bir altın oran çalışması (M. Arslan, Özen Yavuz, 2022), (b) Kayravan'daki Büyük Cami minaresinde yapılan bir altın oran çalışması (S. Arslan Selçuk ve diğerleri, 2009)

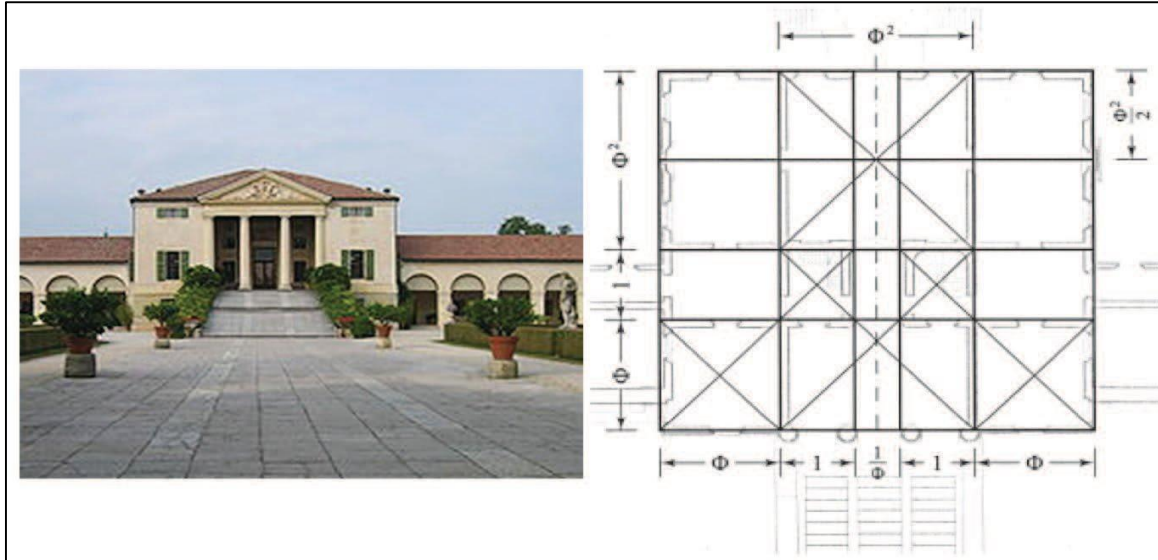


Şekil 3.13. Shah-Mosque-Isfahan giriş cephesinin altın dikdörtgenlerle analizi çalışması (Goudarzi, Bermanian ve Leylian, 2020)



Şekil 3.14. Villa Savoye cephesinde yapılan bir oran çalışması (URL-6, 2013)

Plan düzleminde incelendiğinde Emo Villasının altın oran kullanılarak tasarlandığı görülmektedir.



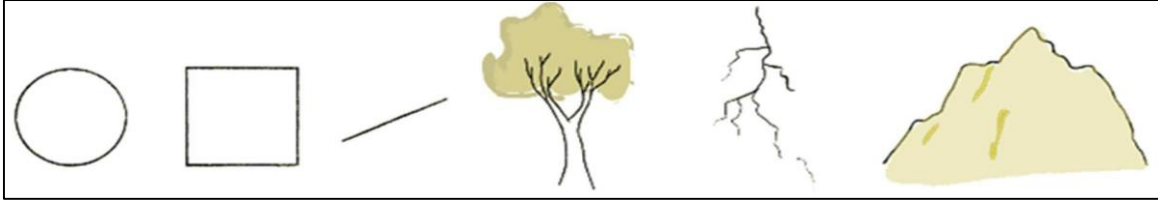
Şekil 3.15. Emo Villasının planında yapılan bir oran çalışması (S. Arslan Selçuk ve diğerleri, 2009)

Sonuç olarak, farklı dönemlerde ve farklı kültürlerde ortaya konulan birçok mimari eserin yapısında bulunan çoğu unsur altın orana dayanır. Farkında olarak veya olmayarak yaygın bir biçimde mimaride kullanılan bu oran, aslında insanların doğadan nasıl etkilendiğini de göstermektedir. Altın oranın insanlığa en büyük katkısı da doğadaki ve mimarideki geometrinin incelenmesinde kilit nokta olmasıdır. Fakat doğada bulunan karmaşık şekilleri tanımlamak için Euclid geometrisi yetersiz kalmıştır. Çünkü Euclid geometrisinde şekiller düzgün ve mükemmeldir.

3.2. Fraktal Kavramı ve Geometri İlişkisi

Kâinatın ve doğanın insanlar tarafından anlaşılabilmesi ancak bilim, yani matematik ve geometri ile mümkün olacaktır. Geometri ile insanların doğayı algılama biçimi birbirine bağlantılıdır. İnsanların doğayı anlama ve analiz etme konusundaki çabası, doğadaki yapıların oluşumu ile ilgili verilere dayalı bilimsel bir sistem kullanılmasını gerektirmiştir. Bu konudaki en temel sistem Öklid (Euclid) geometrisidir. Etkisi 20. yy.ın sonlarına kadar devam eden bu geometri doğada var olan şekilleri üçgen, kare, küre, doğru, düzlem gibi basit şekillerle çözümlemeye çalışmış, fakat doğada bulunan karmaşık yapıları anlamak, algılamak, çözümlemek için yetersiz kalmıştır. Aslında doğayı ele aldığımızda, Euclid

geometrisindeki basit şekillerle açıklanamayacak biçimde düzensiz ve daha karmaşık olduğu açıkça görülecektir. Yakından incelediğimizde kıyı şeritleri daire, bulutlar küre, dağlar koni biçiminde değildir (Mandelbrot, 1982). Yani doğayı daha iyi anlamak için yeni bir geometriye gereksinim vardır. Bu geometri, Benoit Mandelbrot tarafından keşfedilen fraktal geometridir (Yılmaz, 2018).



Şekil 3.16. Fraktalin doğası (Alik, Ayyıldız, 2016)

Fraktal kavramının ortaya çıkışı kaos teorisi ve karmaşıklık terimi ile yakından ilişkilidir. Doğa bilimlerini inceleyen bilim adamlarının doğada karşılaştıkları düzensizlik, kaosun ortaya çıkmasında temel etken olmuştur. Kaos, karmaşık (kaotik) sistemlerin çözümlenmesinde kullanılan bir terimdir. Kaos üzerine yapılan çalışmalar karmaşık sistemlerin aslında düzensiz, rastgele bir şekilde oluşmuş gibi görünmelerine rağmen belli kurallar doğrultusunda oluştuklarını ve belli bir iç düzene sahip olduklarını göstermiştir. Gürsakal kaos ile ilgili olarak: “Kaos kuramı daha çok *“düzensizliğin içindeki düzen”* in (order of disorder) araştırması ile ilgilenmektedir.” demiştir. Fraktaller ile ilişkili, hatta iç içe olan “kaos” düzensizliğin dinamiklerini açıklarken; fraktal düzensizliğin geometrisini açıklamaktadır (Kanatlar, 2012).

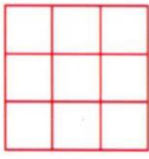
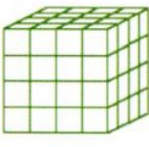
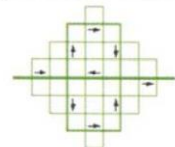
Fraktal geometri araştırmalarına Britanya kıyılarının uzunluğunu hesaplamak için başlayan Mandelbrot, Euclid geometrisine ait şekillerin doğal formları tanımlamak için yeterli olmadığını fark etmiştir (Terzi, 2009).



Şekil 3.17. Britanya kıyılarının bir çizginin segmentlerini arttırarak ölçülmesi (Turhan, 2018)

Euclid geometrisi, insanların daha kolay algılayabilmesi için doğayı basitleştirmeyi amaçlar. Bir ağacın dallanmasını sadeleştirerek geometrisi çıkarılabilir, ancak bu dallanmaya yakından bakıldığında detayında daha karmaşık şekillerin olduğu görülecektir. Sadeleştirme yapılarak Euclid geometrisi yardımı ile doğa resmedilebilir, fakat matematiksel anlamda etkili bir modelleme elde edilemez (Değirmenci, 2009). Euclid ile başlayan geometrik araştırmalar, Mandelbrot'un 20. yüzyılın sonlarına doğru fraktal geometriyi bulmasına olanak sağlayan araştırmaları ile başka bir boyut kazanmıştır (Terzi, 2009).

Çizelge 3.2. Euclid geometrisi ve fraktal geometri (Ediz, Çağdaş, 2005)

Euclid Geometrisi				Fraktal Geometri				
Geleneksel (>200yıl)				Modern (~20 yıl)				
Karakteristik bir ölçek ve boyut var				Özel bir şekilde ya da ölçekte değil				
Basit objeler için uygulanır				Doğadaki formlara uygulanabilir				
Bir formül ile tanımlanabilir				Çevrimli bir algoritma ile tanımlanabilir				
	r	N	$N=r^D$		D_T	r	N	$D_S = \frac{\log N}{\log r}$
 line	5	5	5^1	 Cantor Set	0	3	2	0.63
 square	3	9	3^2	 Sierpinski Gasket	1	2	3	1.58
 cube	4	64	4^3	 Peano Curve	1	3	9	2.00

Kökünü Latince olan fraktal kelimesi “parçalanmış”, “bölünmüş” anlamına gelmektedir. Fraktaller, Euclid geometrisindeki basit şekillerden çok başkadır; doğada Euclid geometrisi ile açıklanamayan pek çok geometrik olarak düzensiz biçimi, şekli tanımlama kabiliyetine sahiptir. Fraktaller, karmaşık ve sonsuz detaya sahip şekillerdir. Fraktalin bir kesitine yaklaştığımızda, her bir kesit birbirini tekrarlayan bütünle aynı detaya sahiptir. Fraktalleri bir fonksiyon olarak düşünersek; $f(x)$, fonksiyonunda x yerine $f(x)$ yazarsak $f(x)$, $f(f(x))$, $f(f(f(x)))$ şeklinde sonsuza kadar tekrarlanabilir (Değirmenci, 2009).

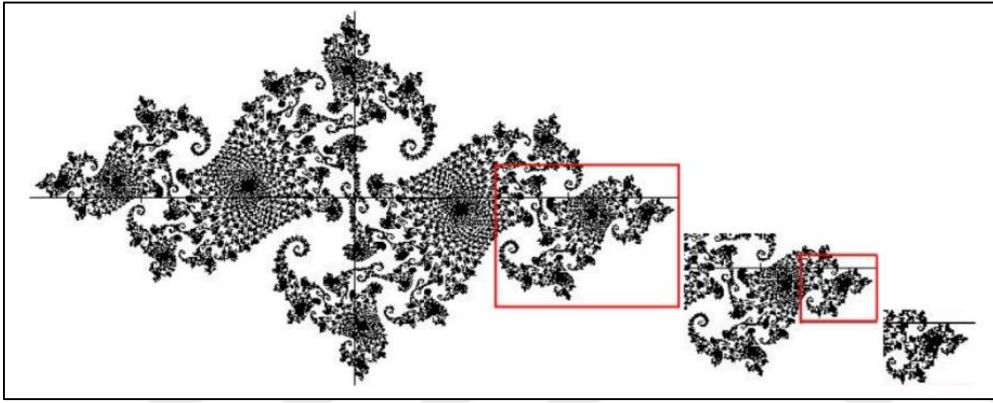
Fraktaller, her ölçekte kendi içinde tekrar olgusu içeren örüntüleri barındıran geometrik kurgulardır (Terzi, 2009). Fraktallerde, sürekli ana şeklin yinelenmesi yani kendine benzerlik (self-similarity) vardır (Değirmenci, 2009).

3.3. Fraktal Kurgu

Bu çalışma kapsamında yapılacak olan sayısal analizde yöntem olarak fraktal kurgular kullanılacaktır. Analizde kullanılan fraktal kurguyu çözümleyebilmek için bazı kavramları açıklamak gerekir:

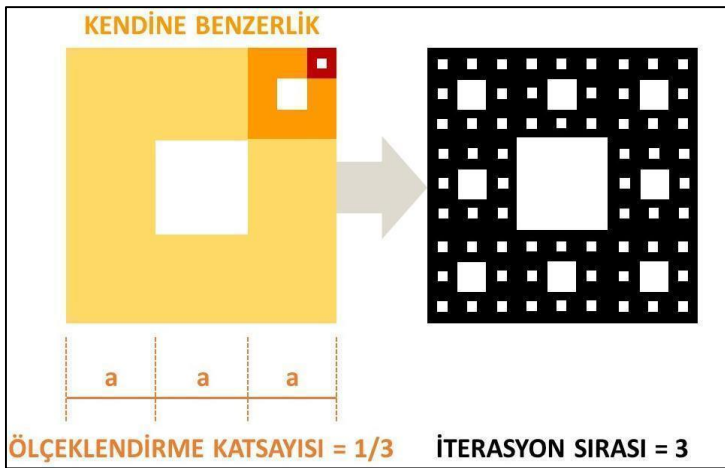
Kendine benzerlik (self similarity)

Kendine benzerlik kavramı, yapısal kurgunun bütünü ile en küçük parçası arasında bulunan benzerlik ilişkisidir (Kanatlar, 2012). Bu benzerlik kurgusunu incelediğimizde bütün ile en küçük birim arasında bulunan katmanlarda, her ölçekte tıpatıp aynı özellikleri taşıması şart değildir. Bu sayede yapının her katmanı farklı ölçeklerde yapısal kurguda kendine benzer sonsuz bir süreklilik gösterir. Yapısal olarak kendine benzerlik gösteren bir kurguya yaklaştığımızda bütünde var olan kurgunun detayda da var olduğu açıkça görülmektedir (İbrahim ve Krawczyk, 2001).



Şekil 3.18. Julia kümesi (Kanatlar, 2012)

Bovill'e göre bir yapının içinde aynı ölçek ile değişime uğrayan strüktürler bulunuyorsa, bu yapı kendine benzerlik gösterir. Çünkü bu strüktürler, küçük, büyük ya da çevrilmiş olabilir ama boyutlarındaki oran sabittir (Bovill, 1996: 194).

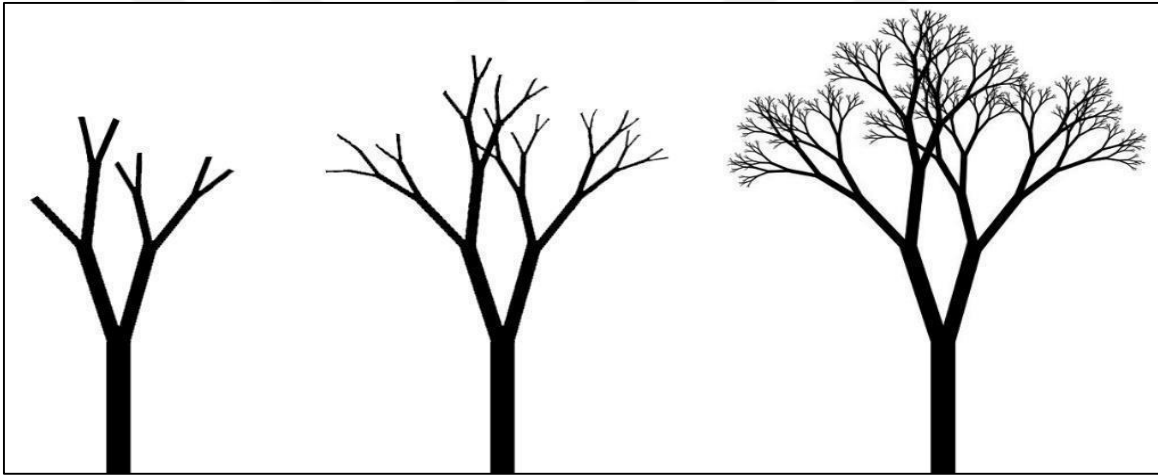


Şekil 3.19. Fraktal geometride kullanılan kendine benzerlik (self-similarity), iterasyon ve ölçeklendirme kavramları (Lionar, 2021)

Yapısal olarak kendine benzerlik gösteren kurguları mimarlık tarihinde sıklıkla görmek mümkündür. Örneğin Gotik dönemde inşa edilen bir katedralin kolon başlığı, katedralin bütününde farklı detaylarda görülebilir (Ediz, 2003).

Fraktal geometri

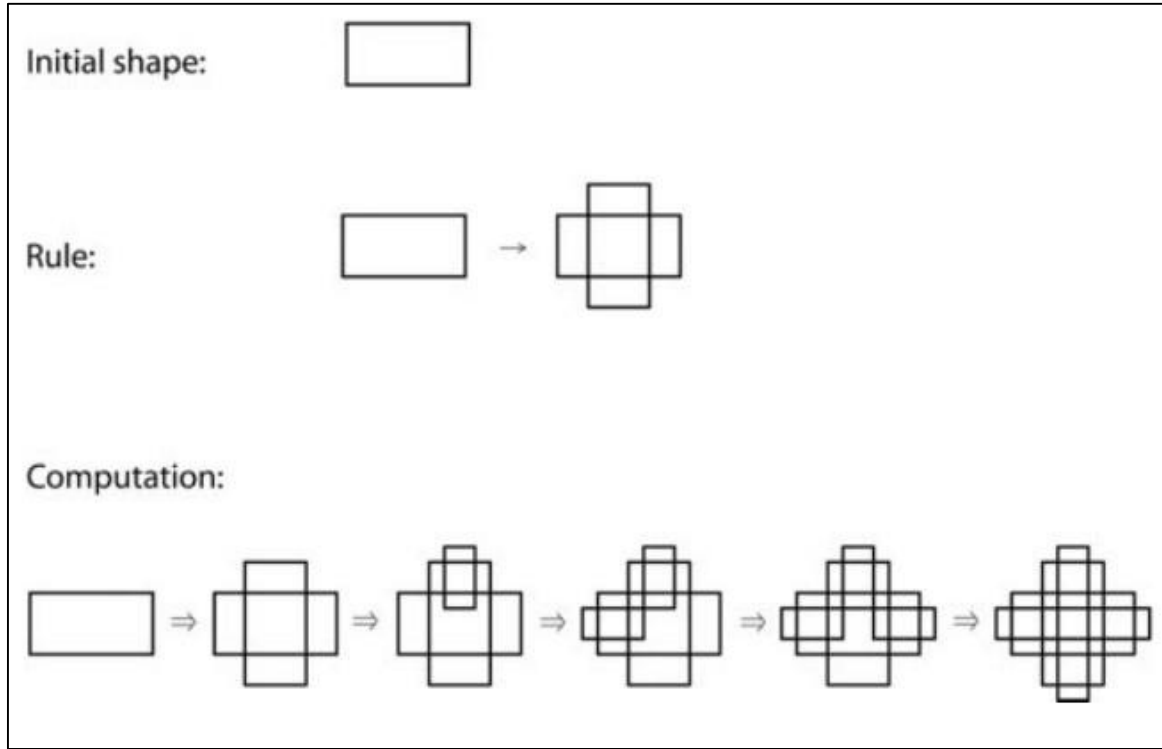
Süreklilik ve kendine benzerlik özelliği gösteren karmaşık kurguların oluşturduğu matematiksel bir ifadedir. Ağaç dalları, akarsu kollarının ayrılması vb. gibi doğadaki birçok olgu fraktal geometriye sahiptir. Fraktal geometri sayesinde karmaşık oluşumlar en küçük parçasından bütününe kolaylıkla incelenebilir. Aslında fraktal geometri ile her türlü karmaşık yapı matematiksel anlamda karşılık bulabilmektedir (Kanatlar, 2012).



Şekil 3.20. Fraktal geometriye sahip ağaç dallarının sürekli tekrar eden yapısı (URL-7, 2020)

Üretken algoritmalar ve biçim grameri

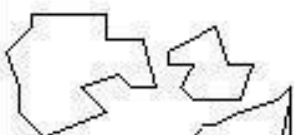
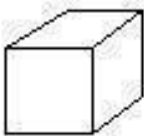
Fraktaller sadece doğada yer almazlar, aynı zamanda yapay yoldan insan eli ile de üretilebilirler. Bu üretken algoritmalar belli kuralları olan diziler için tanımlanır, diziyi yeniden oluşturmak için diziye belli kuralların eklenmesi gerekir. Üretken algoritmaların önemli bir örneği olan biçim gramerleri, belirli kurallara bağlı kalarak yeni bir biçim üretir; yani bir şekli bu kurallara uyarak yeniden şekillendirir. Üretken algoritma ile oluşan fraktaller, belirlenen bir başlangıç birimine sürekli tekrar eden belirli bir kural eklenerek oluşturulan biçim grameri yöntemi üretilir (Kanatlar, 2012).



Şekil 3.21. Başlangıç şekline kuralın uygulanması (Knight, Stiny, 2001)

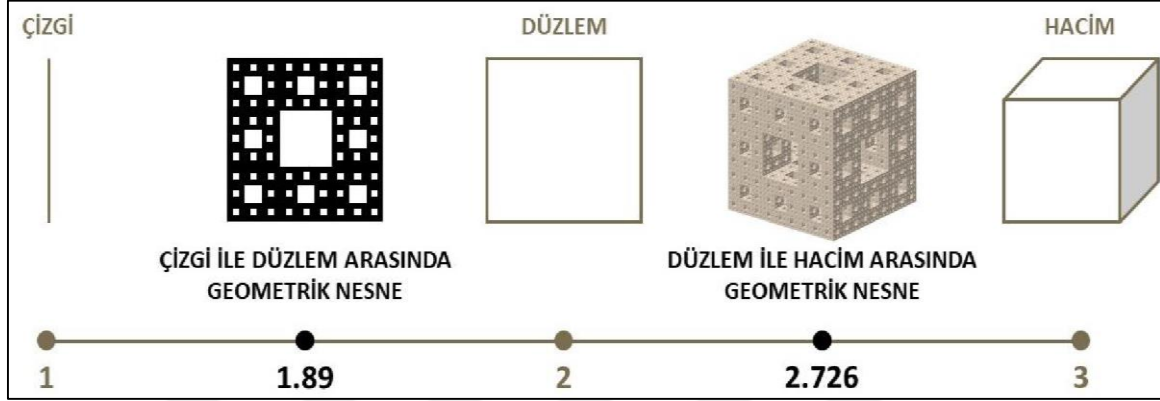
Fraktal (kesirli) boyut

Bir nesnede var olan pürüzlülük derecesini açıklamaya yarayan boyutun sayısal karşılığıdır. Euclid geometrisi, düz çizgiyi “1” boyut olarak kabul eder. Fraktaller orta boyutlara sahip ve pürüzlüdür (Mohtasib, 2021).

EUCLİDYEN BOYUTLAR		FRAKTAL BOYUTLAR	
• (nokta)	0	— — — — —	0.4
—	1		1.4
	2		1.8
	3		2.6

Şekil 3.22. Fraktal boyutlar (Terzi, 2009)

Mandelbrot'a göre fraktal, ölçeğe bağlı olmaksızın eğri, yüzey ya da üç boyutlu olabilir. Doğru boyutu 1, yüzey boyutu 2, katı cisimlerin boyutu ise 3 iken; pürüzlü bir yüzeyin fraktal boyutu 1 ile 2 arasında kesirli bir değeri; pürüzlü bir katı cismin fraktal boyutu ise 2 ile 3 arasında kesirli bir değeri ifade etmektedir (Mohtasib, 2021).



Şekil 3.23. Kesirsel olarak fraktal boyut kavramı (Lionar, 2021)

Bu kavramları ana hatları ile açıkladıktan sonra fraktalleri daha iyi anlamak için doğada bulunan ve üretken algoritmayla oluşturulan fraktaller olarak iki farklı grupta ele alabiliriz.

3.3.1. Doğadaki fraktal kurgular

Doğada bulunan pek çok oluşum yapısal olarak kendine benzerlik, pürüzlülük ve karmaşıklık içerir; doğa Euclid geometrisi gibi düz değildir. Aslında doğada kendiliğinden oluşan bu kendine benzer karmaşık oluşumlar belirli bir biçimin belirli kurallar çerçevesinde birbirini üzerine eklenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle doğadaki fraktal oluşumlar özü, yapı taşı doğrusal olmayan bir denkleme yeni bir biçimin kendi içinde iterasyon (tekrar) yöntemi ile sürekli eklenerek oluşturduğu kurgudur (Kavlak, 2006).

Doğada kendine benzerlik gösteren yapılar ile akarsularda, kara ve deniz canlılarında, ağaçlarda ve bitkilerde, sebzelerde, insan vücudunda, gökyüzünde, doğa olaylarında vb. birçok yerde karşılaşmak mümkündür. Büyük akarsulardan olan nehirlerde kaynağından çıkan su kollara ayrılarak büyüme gösterir; zaman geçtikçe yeni açılan kollarda farklı kollara ayrılır. Bu tekrarlar ile kendine benzer kollardan oluşan yapı doğal bir fraktaldir.



Resim 3.1. (a) Fraktal nehir deltası (URL-8, 2021), (b) Nil Nehri uydu görüntüsü (Osama, Sherif ve Ezzeldin, 2018)

Nautilus'un kabuğunun yapısı incelendiğinde, sedef duvarlarla bölünen bir sürü odacığın oluşturduğu sarmal yapı, doğal fraktale örnektir. Hayvanın her büyüme evresinde kabuğunun ağız kısmında, öncekinden daha büyük bir odacık oluşmaktadır, büyüme biçimi bu şekilde kendini tekrar eder. Salyangoz kabuğunda da gitgide büyüyen benzer spiralleri görmek mümkündür (URL-8, 2021).



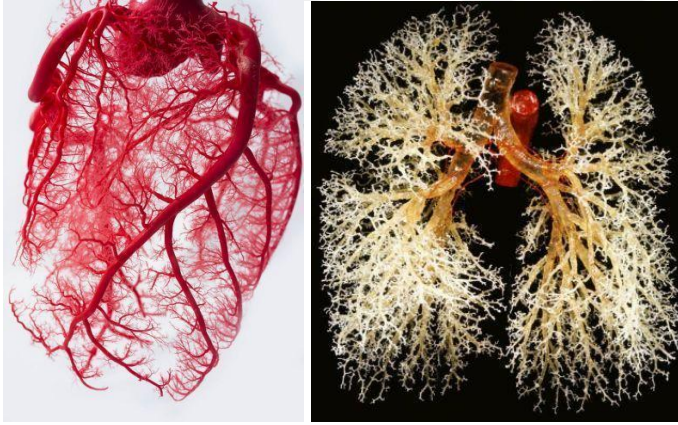
Resim 3.2. (a) Nautilus kabuğu, (b) Salyangoz kabuğu, (c) Mercan polipleri (URL-9, 2014)

Fraktalin en iyi örneklerinden biri olan romenesko brokolisine yaklaştığımızda tek bir desenin sürekli kendini tekrar ederek bir örüntü oluşturduğu görülür. Matematikçi Michael Barnsley'in "Fractals Everywhere" kitabında yer alan ve Barnsley Eğrelti Otu fraktali olarak anılan eğrelti otu bitkisinde tek bir desen dallarda, yapraklarda hatta yapraklarında damarlarında kendini tekrar eder. Ağaç dallarının oluşum kurgusu da doğal fraktallere örnektir. Bu kurguda, ağacın gövdesinden büyüyen her bir dal yeni bir dal oluşturur, küçülerek devam eden bu tekrar olgusunda ağacın her bir dalı bütünü kendine benzer halidir (URL-8, 2021).



Resim 3.3. (a) Piramit brokoli (Romanesco Broccoli), (b) Eğrelti otu, (c) Ağaçlar (URL-9, 2014)

Fraktalleri, insan bedeninde dolaşım ve solunum sisteminde görmek mümkündür. İnsan vücudunda aynı ağacın dallanması gibi kendine benzer fraktal bir kurgu vardır.



Resim 3.4. (a) Kalp ve damar sistemi, (b) Akciğer (URL-8, 2021)

3.3.2. Üretken algoritmalar ile oluşturulan fraktal kurgular

Fraktal bir kurgu, doğada var olan fraktal geometriyi ve kendine benzerlik kavramını esas alarak ve üretken algoritmaları kullanarak yapay yolla oluşturulabilir. Bu fraktaller, bir başlangıç olarak seçilen bir şekle belirli dönüşüm kuralları sürekli uygulanarak matematiksel denklemler yardımı ile oluşturulmaktadır. Basit bir biçim ile başlayan bu süreç sonucu elde edilen ürün karmaşık, fraktal bir yapıya sahip olur (Gözübüyük, 2007).

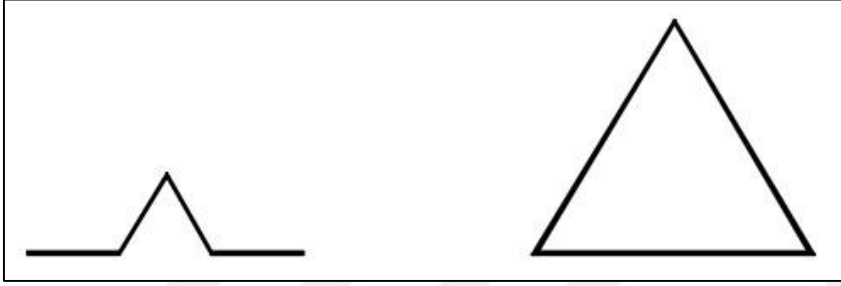
Doğadaki bir şekil üretken algoritma ile kendi kurgusu sürekli devam ettirilerek sonsuz sayıda tekrar yapılabilir. Yani üretken algoritma yardımı ile oluşturulan bir çevrim (tekrar) ile aynı kurguda yapay bir şekil oluşturulabilir, sonuç olarak elde ürün kendine benzerlik gösterir. Doğadaki çevrim 3-4 defa ile sınırlı iken üretken algoritmadaki çevrimler sonsuz

olabilmektedir. Üretken algoritmalar, doğada var olan bir kuralı temel alır ancak doğada bulunan düzende çevrimler sınırlıdır (Değirmenci, 2009).

Üretken algoritmalar ile oluşturulan fraktalleri yaratılma yolları ve hesaplanması için kullanılan yöntem bakımından sınıflandırabiliriz:

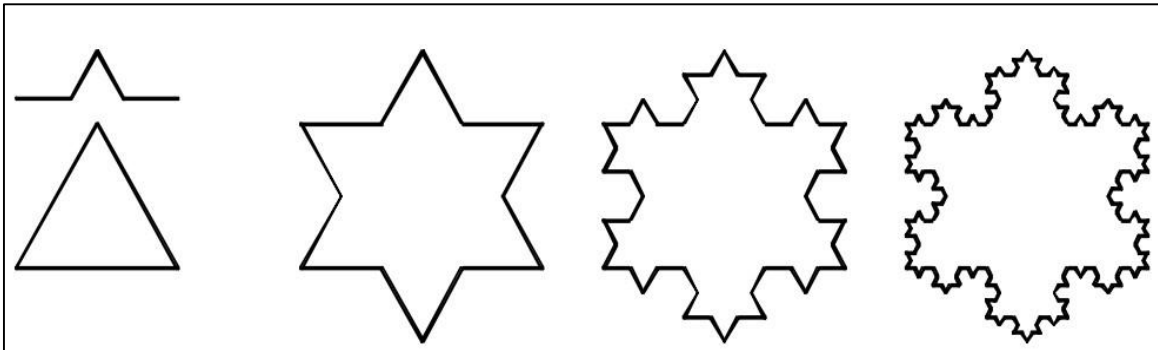
Çizgisel-vektörel fraktaller

Bir dizi vektörün yer değiştirmesi ile üretilirler. Burada fraktal iki parçadan oluşur: başlatan (initiator) ve üreten (generator). Koch kar tanesinin üretken algoritma ile elde edilmesi için şekildeki gibi bir üreten ve eşkenar bir üçgen olan başlatan bulunur:



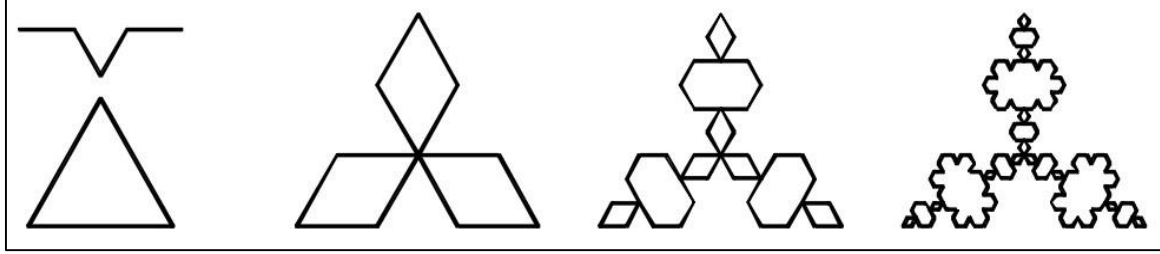
Şekil 3.24. Üreten ve başlatan (İbrahim, Krawczyk, 2001)

Başlatanın her çizgisi, üreten ile yer değiştirilir ise ilk çevrim (iteration) tamamlanmış olur. Bu çevrimin sürekli tekrar edilmesi sonucu kar tanesine benzer bir ürün ortaya çıkmaktadır. Çevrim işlemi sonsuza kadar yapılabilir (Kanatlar, 2012).



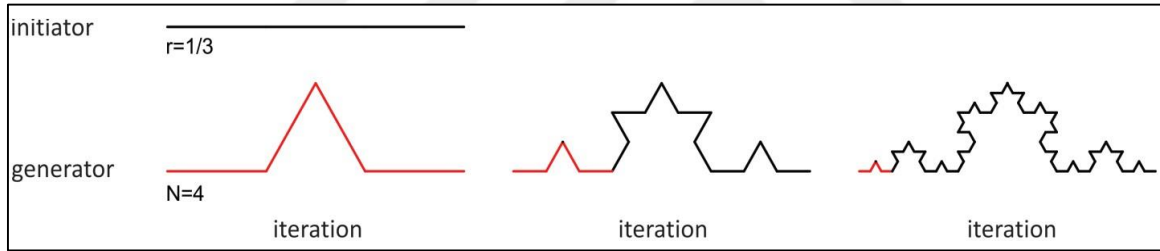
Şekil 3.25. Koch kar tanesi, (a) Üreten ve başlatan, (b) Birinci çevrim, (c) İkinci çevrim, (d) Üçüncü çevrim (İbrahim, Krawczyk, 2001)

Eğer üretene ters çevirirsek çevrimler sonucu bambaşka bir şekil karşımıza çıkacaktır (İbrahim, Krawczyk, 2001).



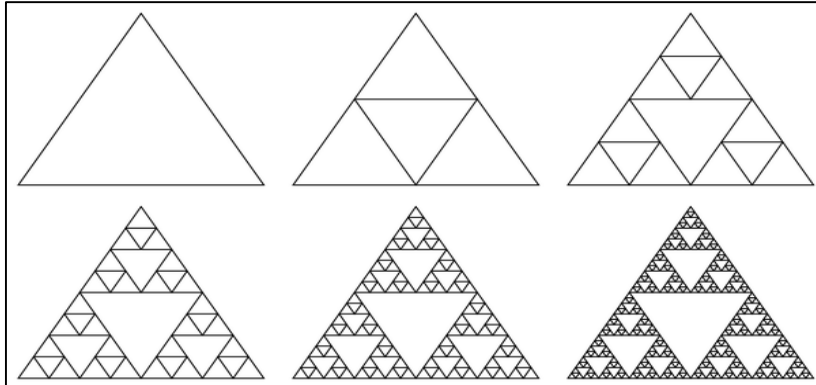
Şekil 3.26. Koch anti kar tanesi (a) Üreten ve başlatan, (b) Birinci çevrim, (c) İkinci Çevrim, (d) Üçüncü Çevrim (İbrahim, Krawczyk, 2001)

Helge von Koch tarafından üretilen Koch eğrisinde başlatan ve üreten aynı şekillerdir, bu şekil düz çizginin üçe bölünerek ve orta parçanın çıkarılması ve orta parçanın yerine tabanı olmayan bir eşkenar üçgen eklenmesi ile oluşmaktadır (Kanatlar, 2012).



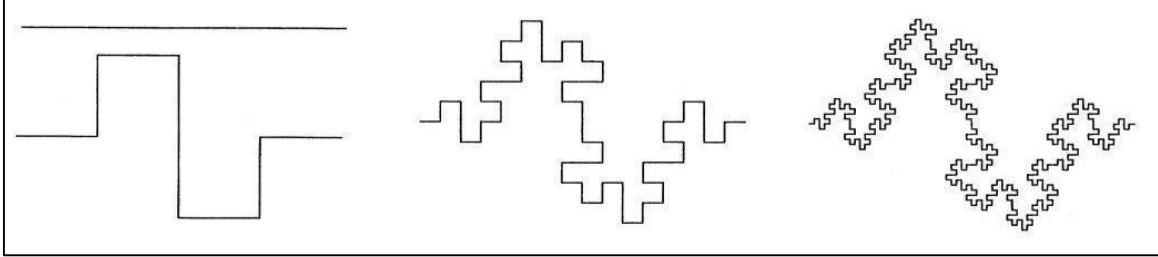
Şekil 3.27. Koch eğrisi (Papasterevski, Cenovski, 2020)

Waclaw Sierpinski tarafından üretilen Sierpinski üçgeninde başlatan ve üreten boyutları farklı olan iki eşkenar üçgendir. Şekil üretene köşe noktalarının başlatan üçgenin kenarlarının orta noktalarına gelecek şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulur (Kanatlar, 2012).



Şekil 3.28. Sierpinski üçgeni (Kanatlar, 2012)

Minkowski eğrisi ise düz çizginin dörde bölünerek ortadaki iki parçanın çıkarılması ve orta iki parçanın yerine birbirine ters yerleştirilen iki tabanı çıkarılmış karenin eklenmesi ile oluşmaktadır (Kanatlar, 2012).

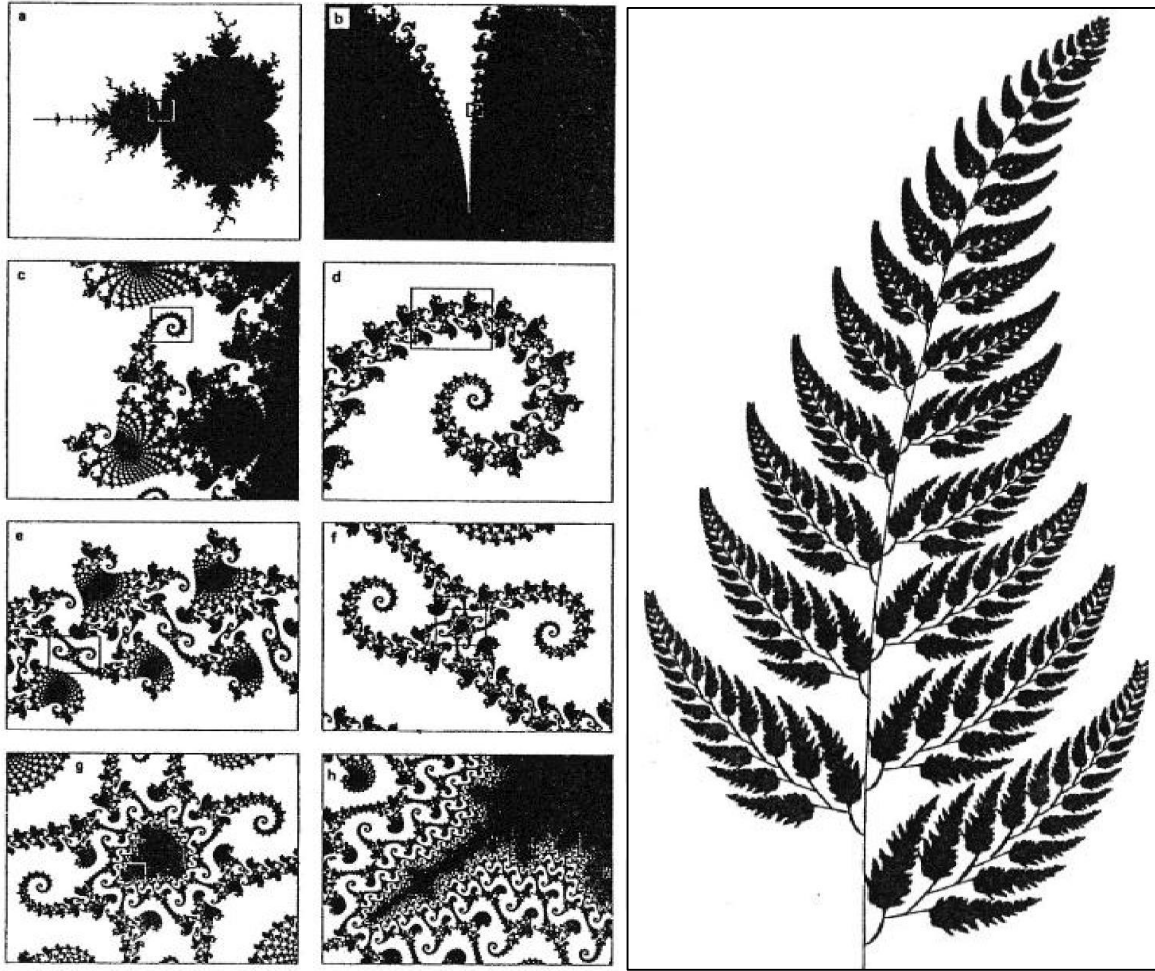


Şekil 3.29. Minkowski eğrisi (Kanatlar, 2012)

Kaotik fraktaller

Karmaşık düzlemde bir dizi noktadan oluşurlar (Kanatlar, 2012). Karmaşık sayılar ile elde edilen fonksiyonların şekle dönüştürülmesi ile kendini tekrar eden sonsuz şekiller kümesidir. Bu şekli, çözümü karmaşık sayılara karşılık gelen bir denklem oluşturur. Bir başlangıç sayısı seçilir ve denklemde yerine konulur, çıkan sayı tekrar denklemde yerine konulur. Bu şekilde işlem tekrar ettirilir ve bir grafik elde edilir. Çizgisel fraktallerden farkı, sürekli sonuçta elde edilen sayının kullanılması nedeniyle eklemlenerek büyüme göstermesidir (Gözübüyük, 2007)

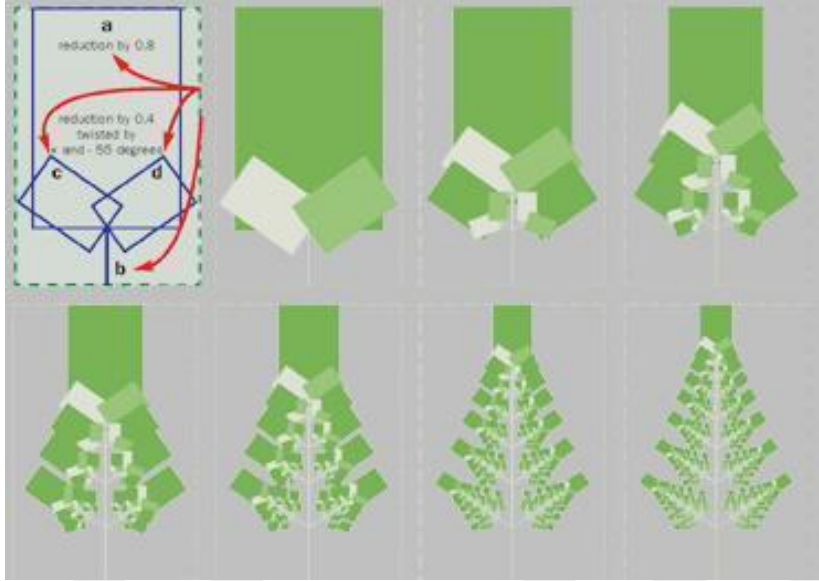
Bu tür fraktallerin en bilinen örnekleri Julia kümesi ve Mandelbrot kümesidir. Bransley'in eğrelti otu, bu fraktallere örnek olarak verilebilir (Kanatlar, 2012).



Şekil 3.30. (a) Mandelbrot kümesi, (b) Barnsley eğrelti otu (Kanatlar, 2012)

Yinelenen fonksiyon sistemi (iterated function system-IFS) ile oluşturulan fraktaller

Bir başlangıç şekline ölçek değiştirme, yer değiştirme, döndürme veya şeklin yansımalarının eklenmesi gibi basit geometrik dönüşüm kurallarının sürekli uygulanması ile oluşturulan algoritmalarlardır. Bu fraktallere en iyi örnek Barnsley tarafından üretilen eğrelti otudur. Başlatan olarak bir dikdörtgen (a) seçilir. Alt orta noktaları, başlatan dikdörtgenin alt orta noktasına (b) gelecek şekilde başlatan dikdörtgene ölçeklendirme ve döndürme dönüşümleri kullanılarak oluşturulan simetrik iki dikdörtgen (c, d) çizilir, daha sonra bu iki dikdörtgene aynı kural tekrar uygulanarak eğrelti otu elde edilir (Gözübüyük, 2007).



Şekil 3.31. Eğrelti otu (Gözübüyük, 2007)

Sonuç olarak, üretken algoritmalar yardımı ile doğanın fraktal kurgusu taklit edilebilir, aynı zamanda soyutlama yöntemi ile yeni bambaşka fraktal kurgular da üretilebilir. Üretken algoritmalar ile oluşturulan fraktal kurgular, mimari tasarımda çok yönlü mimari kurgular üretilmesini sağlama konusunda bir çeşit araç olarak kullanılmaktadır (Değirmenci, 2009).

3.4. Mimari Tasarım Girdisi Olarak Fraktal Karakteristik

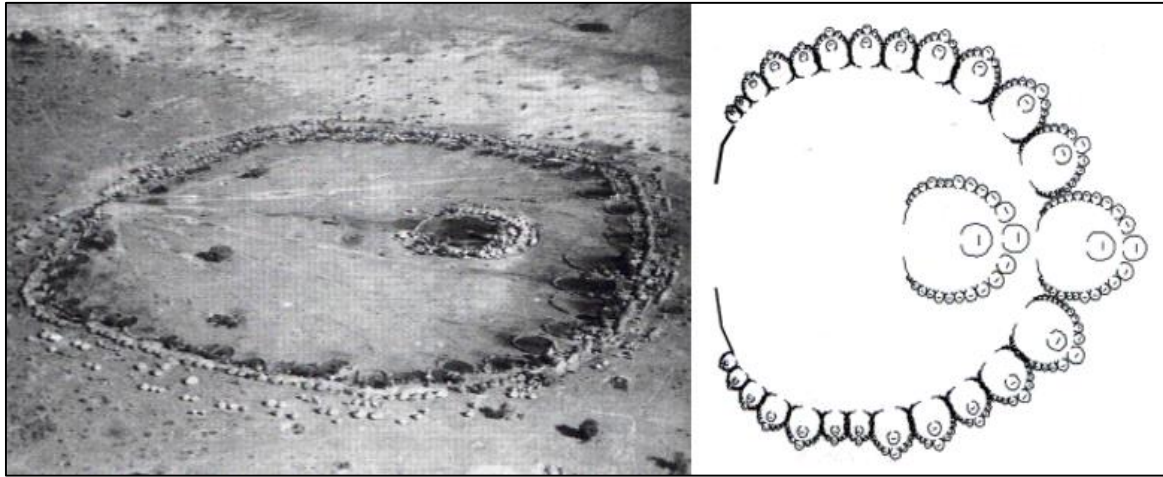
Doğanın bir parçası olan insanoğlu, yerleşik hayata geçtiği ilk andan beri doğayı ihtiyaçları doğrultusunda kullanmıştır. Barınma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla doğada halihazırda var olan mağara, ağaç kovuğu gibi barınakları kullanarak hayatlarını sürdüren insanlar zaman geçtikçe bu oluşumların ihtiyaçlarına cevap vermemesi sonucu, yeni ihtiyaçları doğrultusunda yapay formlar üretmeye başlamışlardır. İlk başta sadece ihtiyaçların karşılanmasına yönelik basit formlar üreten tasarım süreci bu basitlik ile yetinmeyip estetik arayışına girmiştir. Bu da insanın geometriyi keşfine olanak sağlamıştır. Matematik ve geometri aslında birbirine paralel ve iç içedir, ikisinin de düzen arayışına ek olarak estetiği yakalama arayışı vardır. Matematik doğada, mimarlık ise yapılarda bu arayışlara karşılık bulmak ister (Shadmand, 2015). İnsan zihni her zaman doğaya yakın, doğal formları daha iyi algılamış bu da insanda estetik haz yaratmıştır; bunu keşfeden tasarımcı güzeli yakalamak adına doğanın matematiğini esas almıştır. Mandelbrot (1977), fraktal geometrinin doğadaki kaosu çözülmesinde kullanımının yanı sıra mimarlık, sanat gibi yaratıcılık isteyen bilim dallarında da kullanılabileceğini söylemiştir (Mohtasib, 2021). Mandelbrot (1977), Euclid

etkisinin mimarlık üzerindeki payının azaldığını belirtmiş geometrik mimari ve resim anlayışının eski etkisini kaybettiğini söylemiştir. Geometrik rasyonel bir biçimin ölçeği, keskin kuralları vardır. Oysa estetik haz veren sanatta ölçek diye bir şey yoktur; ona değer katan tüm detaylar çeşitli büyüklüklerde olabilir (Gözübüyük, 2007).

Doğanın karmaşık matematiğini oluşturan fraktal kurgular, tasarımın şekillenmesinde önemli role sahip olmuştur. Tasarımı şekillendiren mimari bir kurguyu birçok ölçekte görmek mümkündür; bu ölçek bazen kentsel düzeyde olup bir yerleşimin kurulmasındaki kurguyu kapsarken bazen de bina ölçeğindeki fraktal kurguyu kapsar.

3.4.1. Yerleşim ölçeğinde fraktal kurgular

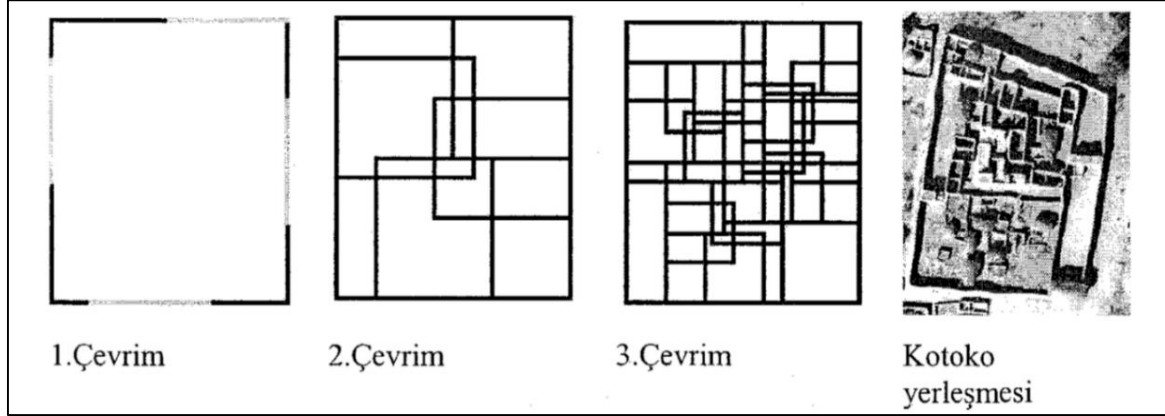
Pek çok coğrafya ve kültürde fraktal mimari karşımıza çıkmaktadır. Afrika'da yerleşmeler büyük köyler şeklinde ilerlemiş ve bu köylerin düzenini de fraktal şekilde büyüme göstererek sağlamışlardır. Güney Zambia'daki Ba-ila yerleşmesinde evler yüzük biçimindedir, yerleşim gelişme gösterdikçe evler arazinin eğimi ile orantılı yüzük şeklindeki fraktal kurguyu bozmayacak şekilde büyük halkanın içine doğru büyür (Alik, 2015).



Şekil 3.32. Ba-ila yerleşmesi, Güney Zambia (Alik, 2015)

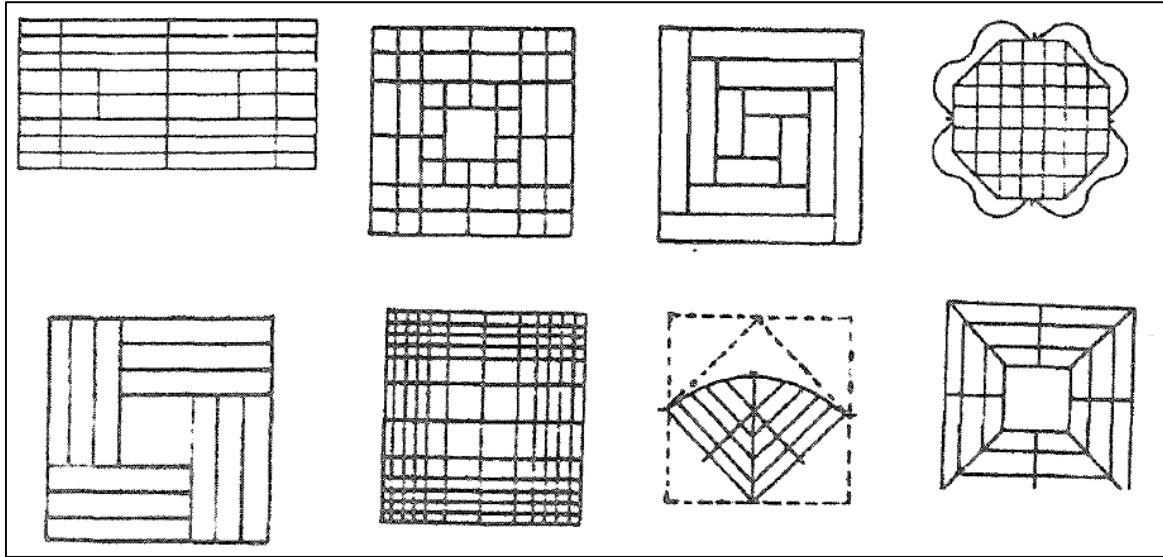
Vaziyet planı düzleminde diğer bir örnek de Kotoko yerleşmesidir. Kamerun'da, Kotoko halkının inşa ettiği bu yerleşmede konutların yeni-eski ilişkisinde geliştiği görülmektedir. Yeni konutlar, var olan eski konutların etrafında inşa edilmektedir. Konutların konumlanış biçiminde ataerkil ve fraktal bir düzen vardır, yani bir babanın evinin var olan duvarları

kullanılarak oğlu için yeni bir konut inşa edilir. Kurgu, bu şekilde sürekli kendini tekrar ederek spiral fraktal bir kurgu şeklinde gelişim gösterir (URL-10, 2016).



Şekil 3.33. Kotoko yerleşmesinin fraktal büyüme kurgusu (URL-10, 2016)

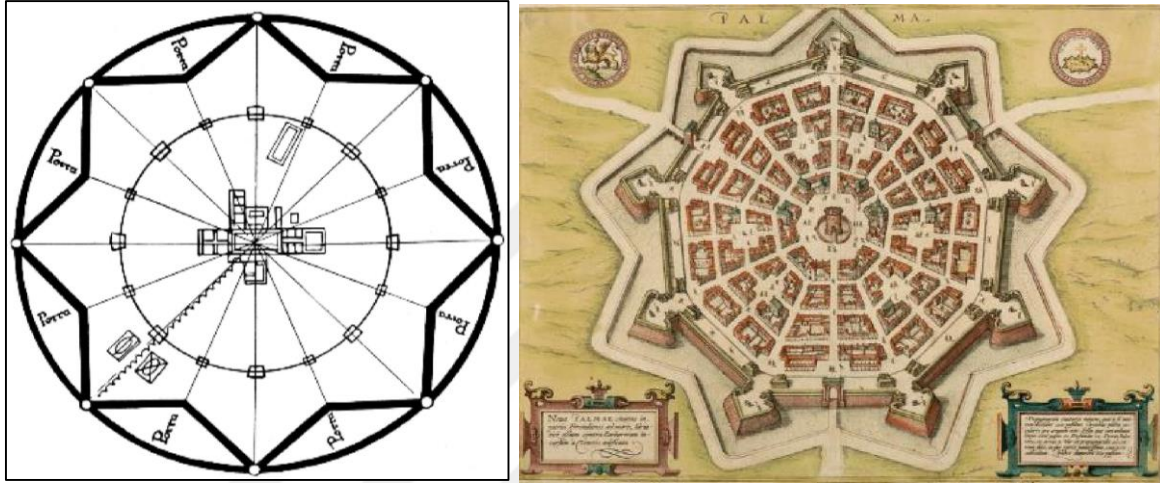
Hinduizm, mistik bir dindir. Hinduların anlayışına göre tapınak evreni simgeler ve evrenin merkezinde yer alır. Evrenin bir parçası olan kenti inşa ederken Tanrıların yaptığı gibi kaostan düzeni sağlamak için fraktallerden yararlanılmalıdır. Bu yüzden Hindular kent inşasında mistik sembollerden oluşan mandala diyagramlarını kullanmışlardır (Ediz, 2003).



Şekil 3.34. (a) Kent planlamasındaki mandala diyagramları, (b) Manasara'daki sekiz diyagram (Ediz, 2003)

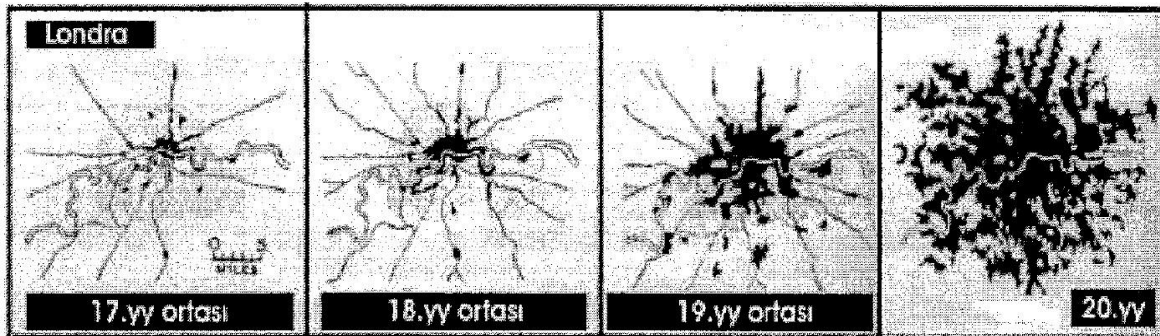
Rönesans döneminde, kentsel planlama için fraktal büyüyen geometrik kent şemaları hazırlanmıştır. İdeal kent planı olarak Filarete tarafından tasarlanan Sforzinda, bir daire içine yerleştirilen sekiz köşeli yıldız surlar ile çevrili yıldızın köşelerinden merkeze doğru radyal

yollarla birleşen bir kent şeması içermektedir. Başka bir fraktal büyüyen geometrik şema ile Scamozzi tarafından tasarlanan Parma Nova kenti, dışta kenti saran çokgen sur duvarları ile merkeze doğru radyal yollarla birleşen bir kent şeması oluşturmaktadır. İki örnekte de kent merkezinden başlayarak dışa doğru açılan geniş akslar ile ışınsal bir birleşim gösteren ve düzenli büyümeye olanak veren geometrik bir organizasyon şeması söz konusudur (Gertik, 2018).



Şekil 3.35. (a) Filarete, Sforzinda ideal kent planı, (b) Scamozzi, Parma Nova ideal kent planı (Gertik, 2018)

Kentlerde meydana gelen büyüme ile yapılarının sürekli değiştiği görülür. Kentin kurgusunun farklı dönemlerde fraktal olarak ele alınması, kent mekanının değerlendirilmesine farklı bir yaklaşım önerisi sağlamaktadır. Londra kentine vaziyet planı ölçeğinde bakıldığında, başlangıç koşullarının kent gelişimi üzerinde etkili olduğu ve gelişimin süreklilik gösterdiği görülmektedir (Kaya, Bölen, 2006)



Şekil 3.36. Londra'nın fraktal değişimi (Kaya, Bölen, 2006)

3.4.2. Bina ölçeğinde fraktal kurgular

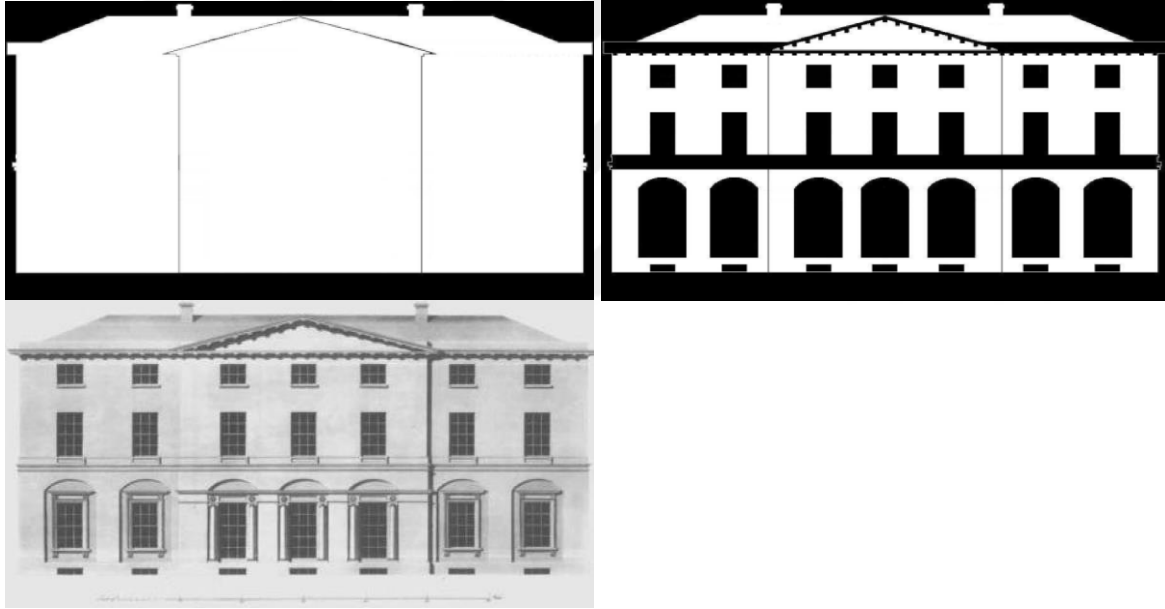
Fraktal geometri kavramı 19. yy.ın sonlarında keşfedilmiştir; fakat mimarlık tarihi incelendiğinde bu kavramın henüz varlığı bile bilinmezken yapılmış birçok eser fraktal kurguya sahiptir. Bu eserlerin plan, cephe, süsleme düzenleri aynı formun ya da motifin farklı ölçeklerde belli bir düzen ile bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu fraktal kurgular, kendine benzerlik kavramından hareketle oluşturulmuştur (Gözübüyük, 2007).

Bovill (1996), mimaride var olan fraktal karakteristiği detay zenginliği olarak adlandırmıştır. Ona göre mimari kurgu, yapının cephesine çok uzak bir noktadan bakıldığında zihnin algıladığı ana bina hatları (konturlar, akslar) ile başlayan yapıya yakınlaşarak çok yakın bir noktadan bakıldığında ise zihnin algıladığı en küçük ayrıntı, detay ile sonlanan sürecin tamamını kapsayan olgudur. Binaya uzaktan bakıldığında görülen kurgu yaklaştıkça da bütünü yansıtan bir hâl almalı, kurgu sürekliliği ve tekrarlar kendini göstermeli ve böylece yapı adeta hayranlık uyandıran görsel şölene dönüşmelidir (Gözübüyük, 2007).

Yapıların fraktal nitelik taşıması zihnin algıladığı görsellik ile ilişkilidir. İlk başta form olarak algılanan tek boyutlu dış hat-bina kabuğu yaklaşıldıkça üç boyutlu görsellik kazanır, bunun yanında da detay zenginliği barındırır. Bir yapıya çok uzaktan baktığımızda algılanan yapı boyutu sıfırdır, yapı noktasal tek boyutludur; biraz yaklaştığımızda algılanan yapının konturları-çerçevesi-ana hatları ile yapı iki boyutlu düzlemsel hâldedir. Daha çok yaklaştığımızda yapıda bulunan boşluklar (kapı ve pencere) algılanır; yani bina artık üç boyutludur. Yapıya iyice yaklaştığımızda ise zihin cephe süslemeleri, pencere detayları gibi detayları algılar ve göz tüm aşamalarda mimari kurgunun sürekliliğini görmek ister. Örneğin, Beaux Arts mimarisi ürünü olan Paris Opera Binası'na farklı uzaklıktaki noktalardan baktığımızda zihin, her seferinde dikkati çeken farklı ayrıntıları fark eder (Gözübüyük, 2007).



Resim 3.5. Paris Opera Binası (URL-11, 2009)



Şekil 3.37. İlk aşamada algılanan konturlar, İkinci aşamada algılanan boşluklar, Üçüncü aşamada algılanan detaylar (Gözübüyük, 2007)

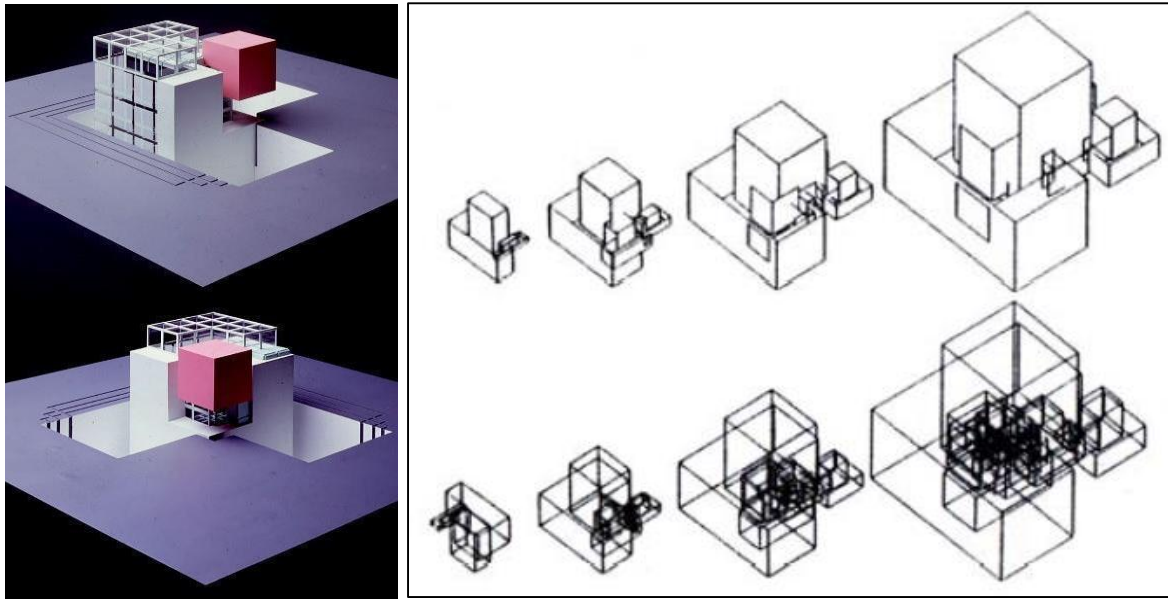
Lorenz (2003), geometriyi tarih boyunca kullanılan bütün yaklaşımlarda mimarlığın hedeflediği noktaya ulaşmada en etkin bilim dalı olarak tanımlamıştır. Eski Yunan mimarisinde, güzeli elde etme yolu olarak altın oran kullanılmış ve Mısır mimarisinde, astronomi bilimi etkisinde geliştirilen geometrik oranlar kullanılmıştır. Rönesans mimarisinde, simetri ve perspektif kullanılmış, Modern mimaride Euclid Geometrisi etkisinde oluşturulan çizgisel, rasyonel formlar kullanılmıştır. Doğa etkisi altında gelişen mimari akımlar ise, doğadaki karmaşık geometrinin (fraktalin) oluşum biçiminden etkilenmiştir. Kaosun etkisi altında kalan aşına olmadığımız ve kendine benzerlik gösteren

karmaşık formların çokça görüldüğü günümüz mimarisi, fraktal geometri ile şekillenmektedir (Alik, 2015).

Fraktali ele alırken yapıya bina ölçeğinde bakıldığında kütle, plan, cephe, kesit, görünüş, iç mekân gibi ölçeklerde kurguyu analiz edebiliriz. Bu kurguyu, cephesel olarak incelediğimizde ise cephedeki simetri, uyum, ölçek, oran, tekrar, denge, doluluk-boşluk hatta kapı, pencere detaylarına kadar bakılabilir. Bir mimari kurgunun tasarımındaki fraktal karakteristik yapının bütünü ve detayındaki biçimin kendine benzer sürekliliğinin devamı şeklinde ifade edilebilir. Yani tasarımın fraktal kurgusu büyük ölçekten küçük ölçeğe inene kadar kendine benzer biçimlerin var olması olarak da ifade edilebilir. Kurgunun kendine benzer süreklilik göstermesi yapının algısını güçlendirir (Kanatlar, 2012).

Kütle ölçeğinde yapılmış fraktal analizler

Fraktal geometriyi kütle ölçeğinde ele aldığımızda kütleli organizasyonda kendine benzerlik özelliği gösteren yapıları gözlemlemek mümkündür. Peter Eisenman tarafından tasarlanan Fin d'Out Hou S konut projesinde kütleli kurguya bakıldığında birbirine benzer geometrik biçimlerin, dikdörtgen prizmaların farklı ölçeklerde bir araya gelmesi söz konusudur (Ediz, Çağdaş, 2005).



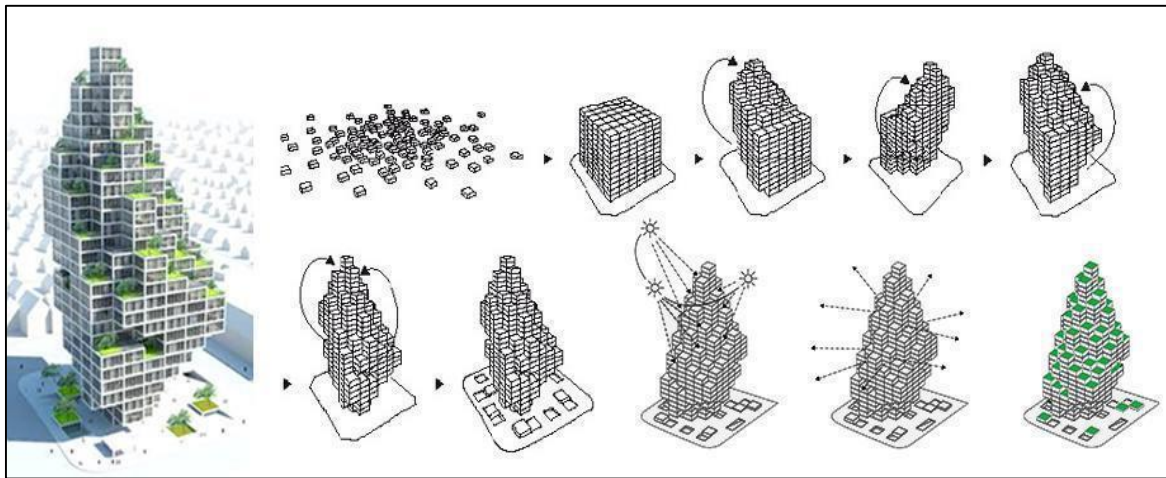
Şekil 3.38. Fin d'Out Hou S, Peter Eisenman (Ediz, Çağdaş, 2005)

Moshe Safdie'nin Kanada'da yaptığı Habitat konut grubunda dikdörtgenler prizmasından oluşan birbiri ile ilişkili kütsel bir organizasyon, kendine benzer elemanlardan oluşan fraktal bir kurgu söz konusudur (Kanatlar, 2012).



Şekil 3.39. Habitat konut grubu kütle organizasyonu ve konut tipleri, 1967, Montrel, Canada, Moshe Safdie (Kanatlar, 2012)

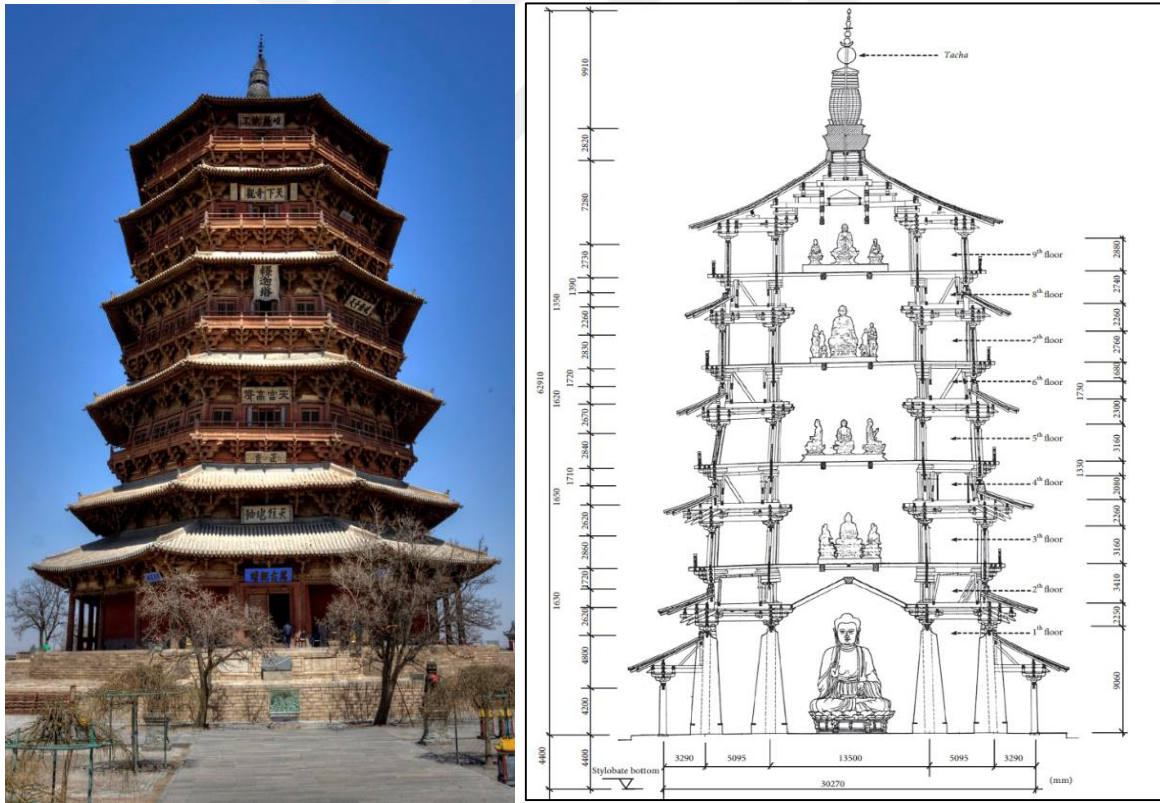
2008 yılında Danimarka'da yapılan Sky village esnek bir tasarımıdır, tasarımın ana elemanı dikdörtgenler prizmasıdır. Tasarımcı dikdörtgen prizmaları üst üste koymuş daha sonra da maksimum güneşten faydalanmak adına bu dikdörtgen prizmaları yer değiştirmiştir (girinti-çıkıntı yaparak). Bu kütsel organizasyonda dikdörtgen prizmaların kendine benzer bir fraktal kurgusu söz konusudur (Kanatlar, 2012).



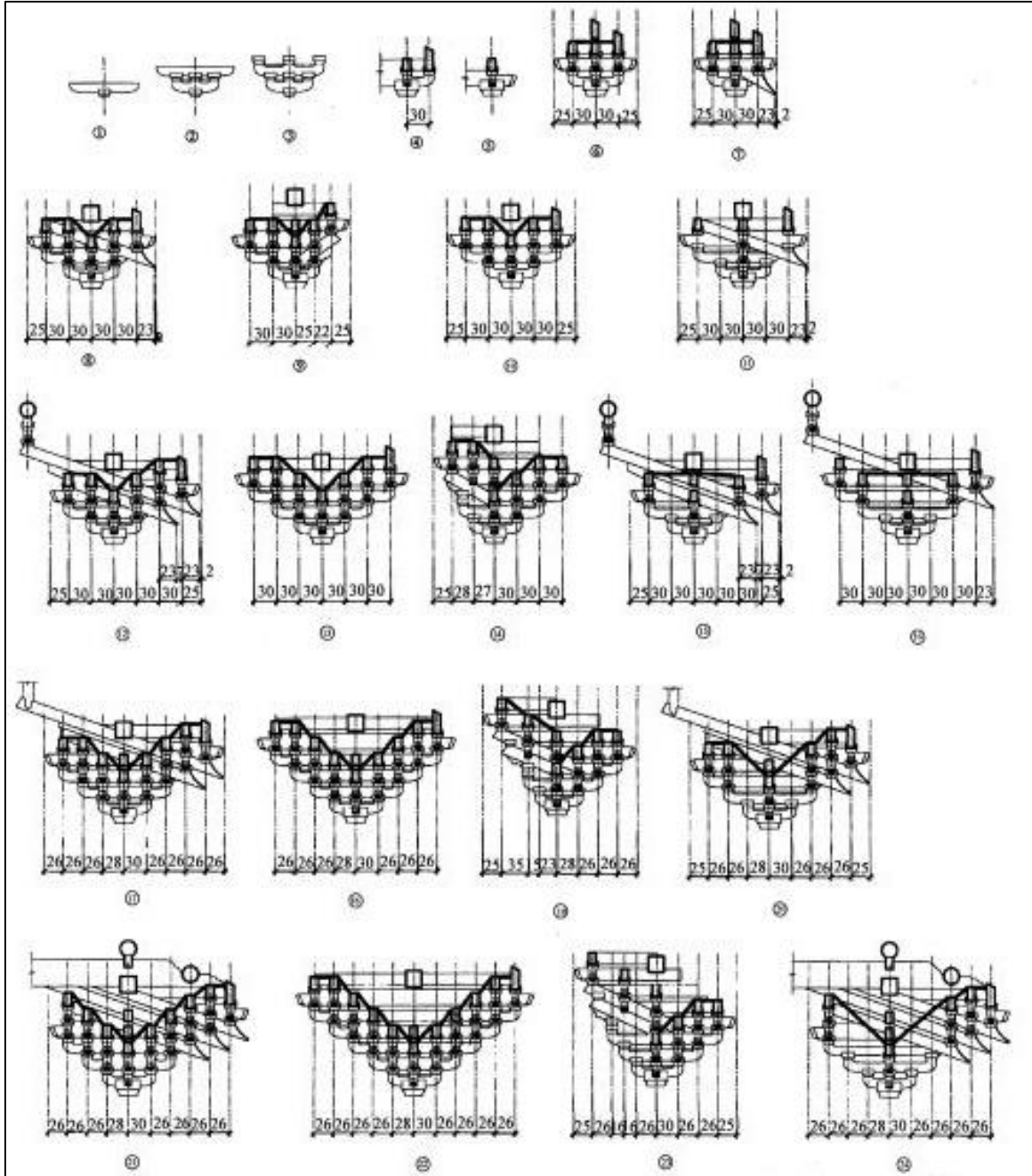
Şekil 3.40. Sky village ve tasarım kurgusu, 2008, Danimarka, MVRDV (URL-12, 2008)

Plan-kesit-strüktür ölçeğinde yapılmış fraktal analizler

Dünyanın en eski ahşap çok katlı yapısı olarak bilinen Fogong Tapınağı Sakyamuni Pagodası, 1056 yılında Shaxi, Çin'de inşa edilmiş, 67,58 m. yüksekliği ile beş katlı ahşap bir yapıdır. Bu ahşap yapı, yük taşıyıcı elemanları olan kirişler, kolonlar ve Dougong braketlerinden oluşmaktadır (Zanganehfar, 2021). Dougong, Çin mimarisinde antik yüksek binaları statik olarak destekleyen sistemlerden biridir. Büyük ahşap konstrüksiyon kullanmanın zorluğu ve büyük boyutundan dolayı malzemenin dayanıksızlığı, hava koşullarına karşı gerekli sertlik ve dayanıma sahip olmaması sebebiyle ustalar büyük braketleri birkaç küçük braketle değiştirmiştir. Uyguladıkları bu stratejiyi yapının bütününde tekrarlayarak braketlerin boyutunu ölçek üzerinde en aza indirmiş ve yapıda gerekli sertliği elde etmişlerdir. Bu işlem, geometrik olarak bakıldığında fraktal geometri oluşturmanın Yineleme Fonksiyon Sistemi (IFS) yöntemiyle açıklanabilir (Zanganehfar, 2021).

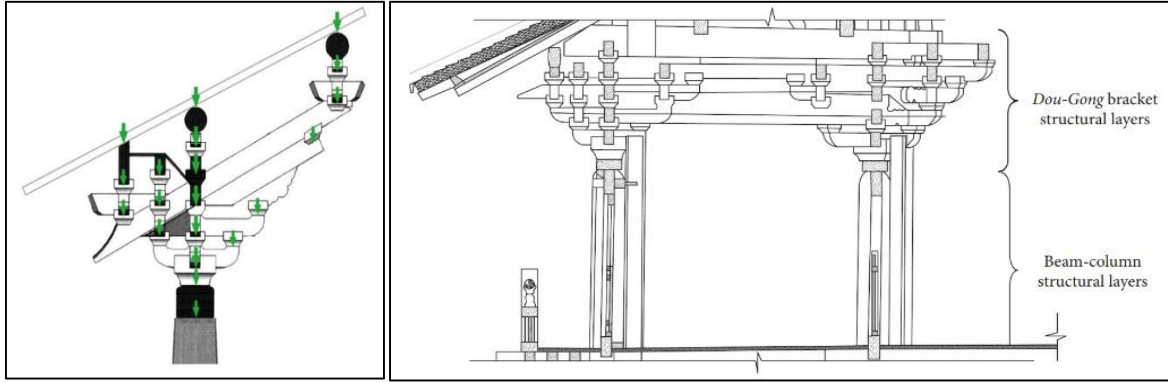


Şekil 3.41. (a) Fogong Tapınağı Sakyamuni Pagodası (Zanganehfar, 2021), (b) Kesiti ve Dougong bileşenleri (Zanganehfar, 2021)



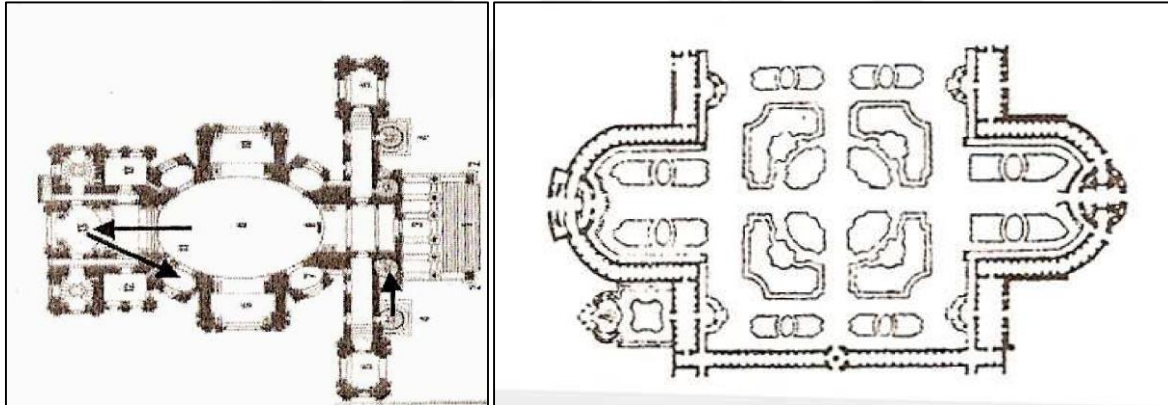
Şekil 3.42. Algotitma (IFS) yardımı ile Dougong sisteminin oluşturulması (Zanganehfar, 2021)

Bu teknik çatının ve kirişlerin yapısal ağırlığını sütunlara aktarma görevini üstlenmiş ve yağmur suyu geçirgenliğini, nemin neden olduğu yapı elemanlarının bozulmasını engellemek için çatıların saçaklarına uzantı sağlamıştır (Zanganehfar, 2021).



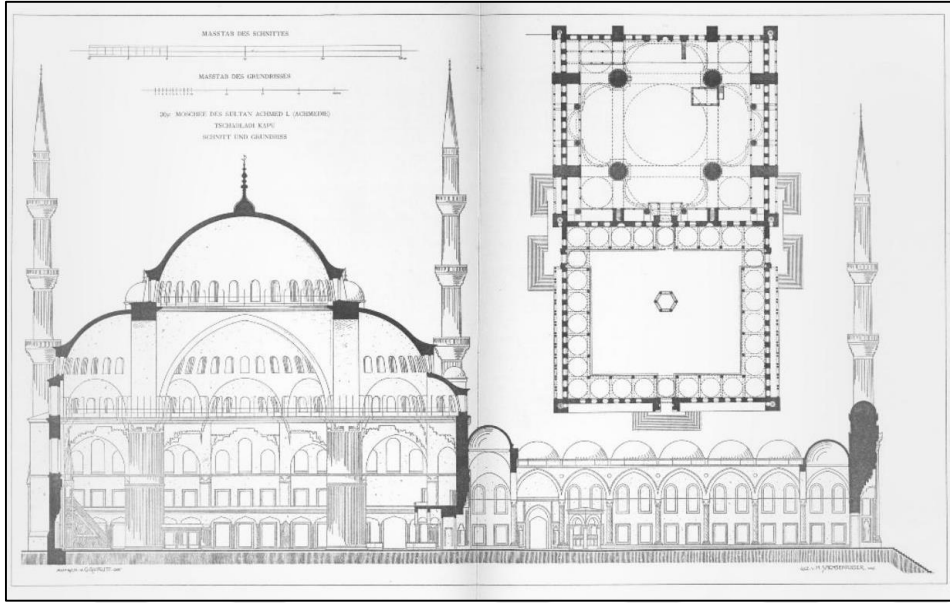
Şekil 3.43. (a) Dougong sisteminde yük transferi (Zanganehfar, 2021), (b) Dougong sisteminin uygulanması yakınlştırılmış bir kesit (Zanganehfar, 2021)

Barok mimarisinde eğriler, dairesel formlar, girinti-çıkıntılardan oluşan karmaşık planlar kendini göstermektedir. Barok yapılarıdaki fraktal karakteristik, bütün ve en küçük detay arasındaki kurgunun kendine benzerlik ilkesi doğrultusunda süreklilik göstermesi ile ilişkilidir (Gözübüyük, 2007).



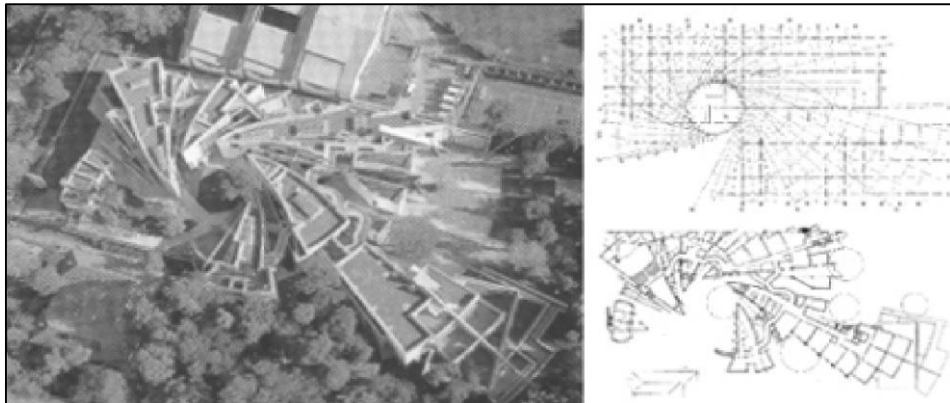
Şekil 3.44. (a) Saint Karl Kilisesi (Gözübüyük, 2007), (b) Dresden’de Zwinger (Gözübüyük, 2007)

Kendine benzer öğelerden oluşan fraktal kurguları, Osmanlı mimarisinde de gözlemleyebiliriz. Sultan Ahmet Camisi’nde bulunan kemer ve kubbelerin farklı ölçek ve konumlarda bulunan fraktal kurgusu dikkati çeker. Benzer şekilde camiye üstten kuşatan kubbe ve yarım kubbeler, farklı konum ve ölçeklerde kendini tekrar ederek fraktal kurgu oluşturur. Bu kurgu, hem kesit hem de plan ölçeğinde kendini göstermektedir (Kanatlar, 2012).



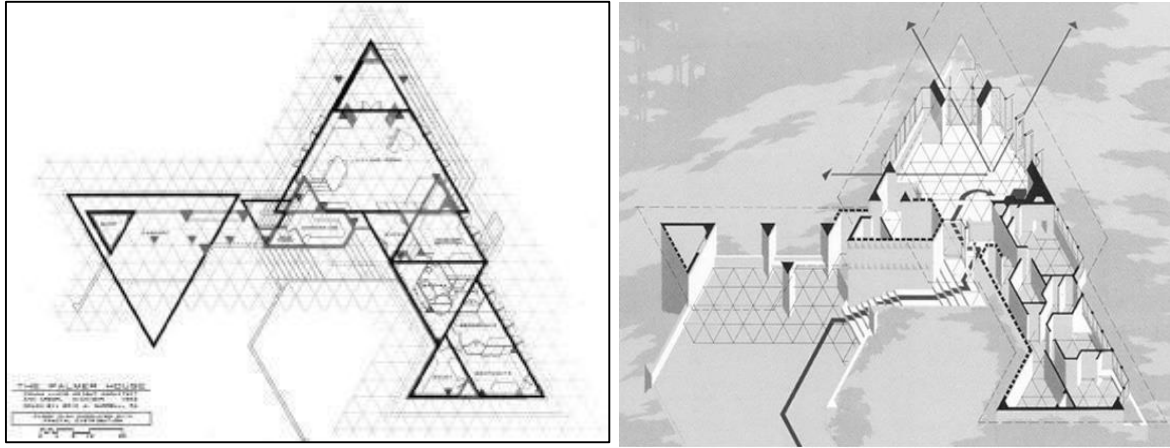
Şekil 3.45. Sultan Ahmet Camisi ve planı (URL-13, 2021)

Galinski okulu, Zwi Hecker tarafından Berlin’de yapılan ayçiçeğine benzer form ve plana sahip kendine benzer odalardan oluşan bir okul projesidir. Farklı renklere boyanan yapı parçaları sayesinde yapının karmaşık formundan ötürü yön bulmayı kolaylaştırmak amaçlamıştır. Bu da kaos ve karmaşayı yalınlaştırarak binayı okunabilir hâle getirmiştir. Fraktal geometrinin bir özelliği de karmaşık bir biçimi, basit algoritmalar kullanarak tanımlanabilir hâle getirmektir (Gözübüyük, 2007).



Şekil 3.46. Galinski okulu, Berlin-Zwi Hecker (Gözübüyük, 2007)

Frank Lloyd Wright (1867-1959), Palmer evini tasarken planında fraktal kurguya sahip kendine benzer farklı ölçeklerde eşkenar üçgenler kullanmıştır. Palmer evine plan düzleminde bakıldığında, fraktal bir biçimin (eşkenar üçgen) farklı ölçeklerde adeta yuvarlanarak bir kurgu oluşturması söz konusudur (Mohtasib, 2021).



Şekil 3.47. (a) Palmer evi planı (Mohtasib, 2021), (b) Palmer evi plansal şema (Kim, 2002)

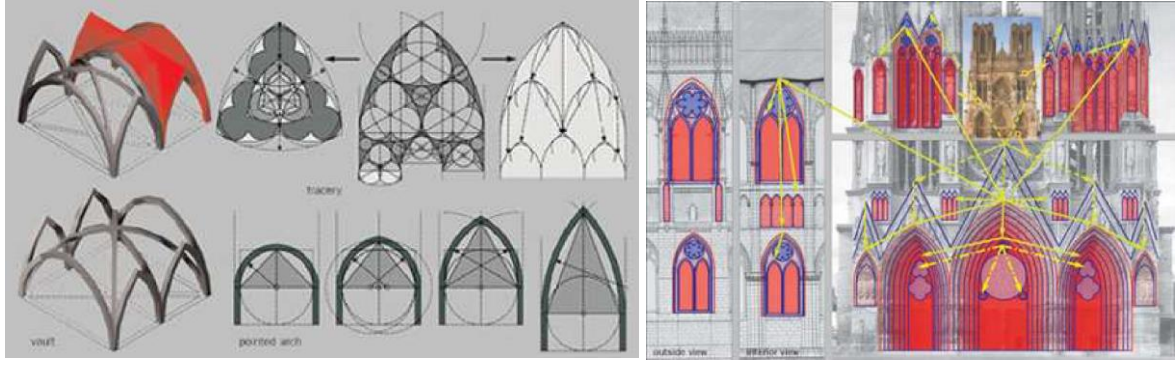
Yu Momoeda mimarlık ofisi tarafından tasarlanan Agri Chapel kübik forma sahip basit bir kütlenin iç mekânda ağaca benzer bir yapıda dallanan ahşap strüktür kurgusundan oluşmaktadır. Bu strüktür, fraktal kurguya dayanarak tasarlanmıştır, 12x12 cm'den başlayarak, 9x9 cm ve daha sonra 6x6 cm'e düşerek incelen dallar biçiminde yükselir (Mohtasib, 2021).



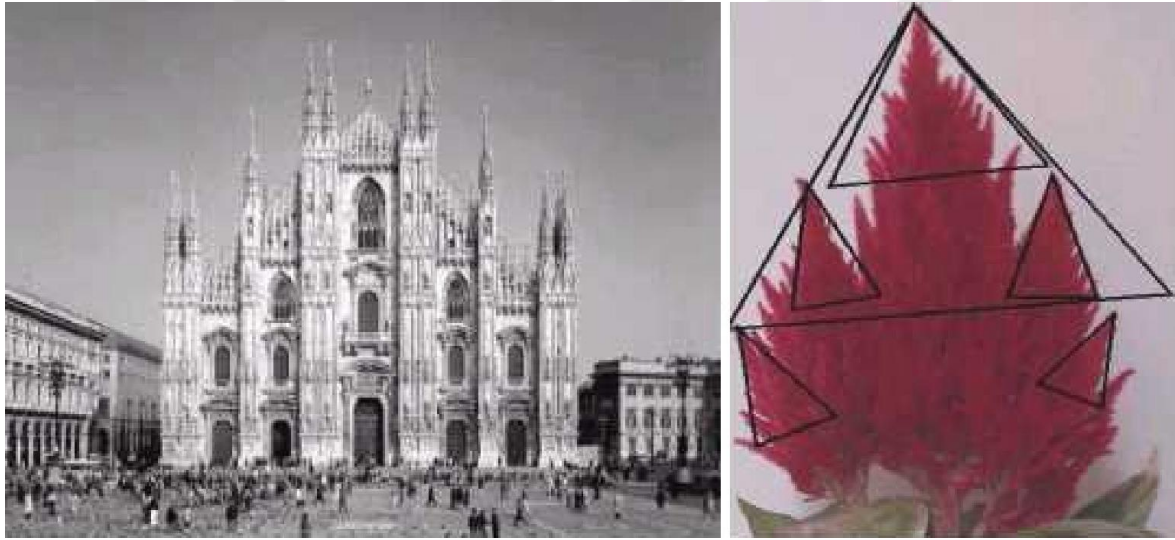
Şekil 3.48. Agri Chapel, iç mekânı ve kesiti (URL-14, 2021)

Cephe ölçeğinde yapılmış fraktal analizler

Gotik mimarinin kendine has olan ibadet yapılarında, yapı kütlesinde fraktal kurgu oluşturan uçan payandalar, kaburga tonozlar, sivri kemerler ve süsleme elemanı olarak pencereler kullanılmaktadır. Ön cephede göğe erişen sütunlar, farklı ölçek ve konumlarda kendine benzer şekilde yer alarak kurguya bütünlük katar, yapıyı heykelsi hale getirir (Gürani, Yalçın ve Gezicioğlu, 2021).



Şekil 3.49. (a) Gotik katedralde kullanılan sivri kemer formu, (b) Reims Katedrali'nde farklı ölçeklerde kendini tekrar eden sivri kemer, Chartres Katedrali'nde farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden dairelerden oluşan gül penceresi (Gözübüyük, 2007)



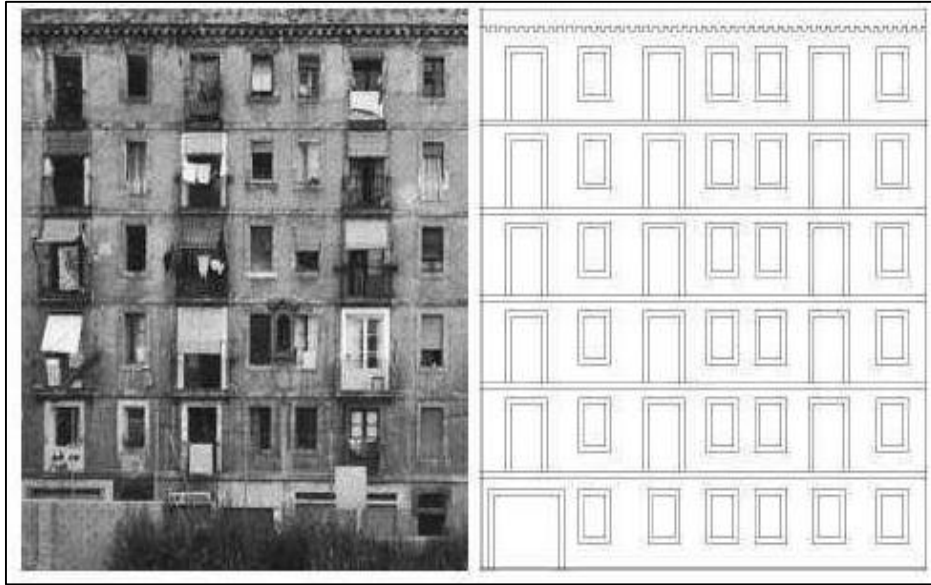
Şekil 3.50. (a) Milano Duomo Katedrali'nde ön cephede fraktal kurgu sağlayan sütunlar, (b) Celosia Plumosa bitkisinin benzer fraktal kurgusu (Sala, 2006).

Fransız Gotik mimarisinin bir örneği olan Notre Dame Katedrali'nde, farklı konumlandırılmış farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden örüntüler bulunmaktadır. Binanın cephesi incelendiğinde farklı ölçek ve farklı konumlarda bulunan kendine benzerlik gösteren kemerlerden oluşan fraktal bir kurgu söz konusudur. Ayrıca bu kurguyu yapının iç mekânında bulunan kemerlerde de görmek mümkündür. Başka bir fraktal kurgu ise gül penceresinde mevcuttur. Ortadaki kemerin içinde konumlandırılmış büyük bir gül penceresi vardır. Bu gül penceresini farklı boyutlarda (ölçeklerde), kendine benzer biçimde, farklı yerlerde konumlandırılmış şekilde görebiliriz (Gözübüyük, 2007).



Resim 3.6. (a) Notre Dame Katedrali'nin birbirini tekrar eden gül penceresi (URL-15, 2007),
(b) Birbirini tekrar eden kemer kurgusu ve iç mekân kurgusu (URL-16, 2019)

Barcelona'nın tarihi konut yapılarını incelediğimizde cephede kendini tekrar eden geometrik şekilli fraktal kurguları görebiliriz.



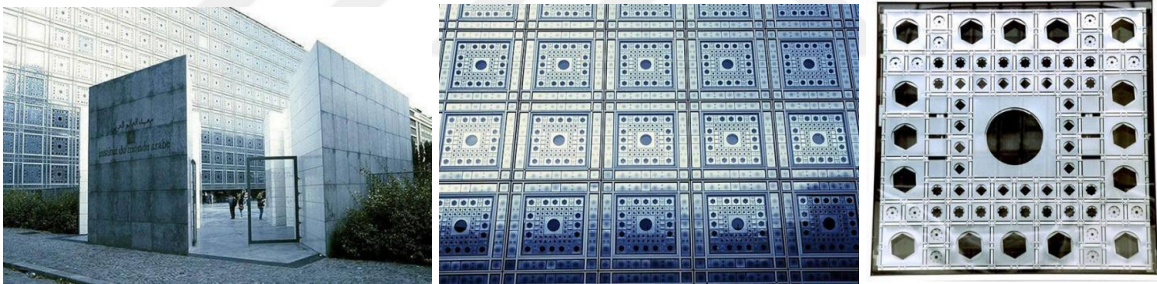
Şekil 3.51. Barcelona'da bulunan tarihi bir konut cephesi (Lu, Clements-Croome ve Viljanen, 2012)

Le Corbusier, Ozenfant stüdyo binasının cephesini tasarlarken, bütün cephe ve pencere oranlarını, farklı ölçülerde diyagonaller kullanarak IFS dönüşüm kurallarına benzer şekilde oluşturmuştur (Gözübüyük, 2007).



Şekil 3.52. Ozenfant stüdyo (Gözübüyük, 2007)

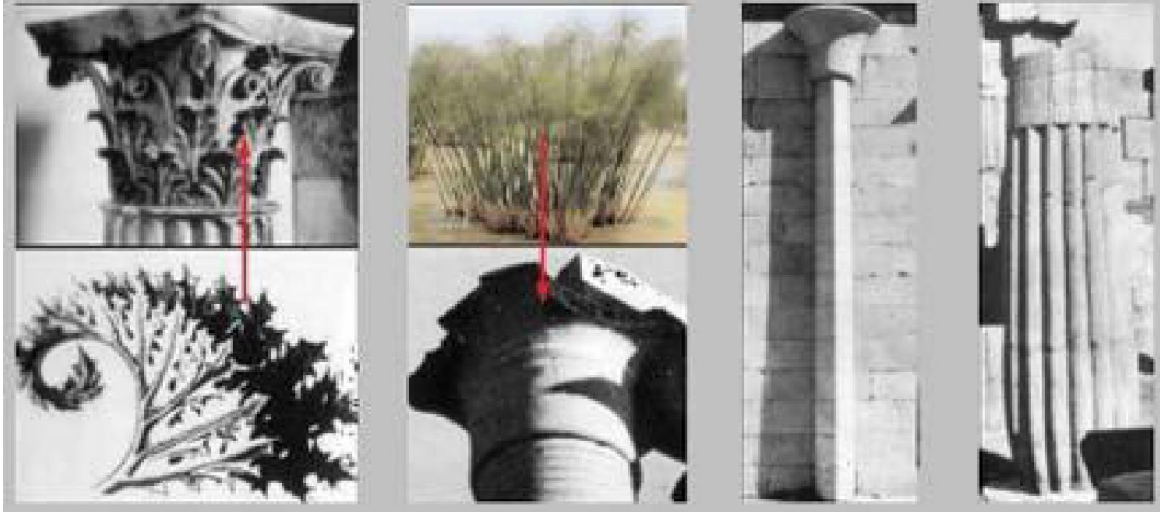
Jean Nouvel tarafından tasarlanan L'Institut du Monde Arabe, cephede birbirini tekrar kare ve dairelerden meydana gelen bir örüntü kurgusuna sahiptir. Arap süsleme sanatını hatırlatan cephe tekrarları, ısı kontrolünü sağlamak amacı ile tasarlanan yapısal olarak dışardaki gün ışığı şartlarına göre genişleyip kapanabilen bir çeşit kinetik duvar şeklinde adlandırılabilir metal gözlerden meydana gelmektedir (Değirmenci, 2009).



Resim 3.7. Jean Nouvel, 1988-L'Institut du Monde Arabe/ Paris, France (URL-17, 2021)

Süsleme ölçeğinde yapılmış fraktal analizler

Avrupa'da, Afrika'da bulunan erken dönem mimari yapılar incelendiğinde Gotik bir katedralin kolon başlığının aslında katedralin ölçeklendirilmiş bir benzeri olduğu görülecektir; yani katedralin küçük bir detayından yapının tamamı tahmin edilebilir. Mimarlık tarihinde çok sık görülen kendine benzer öğelerden oluşan bu kurgu, fraktal mimaridir (Alik, 2015).



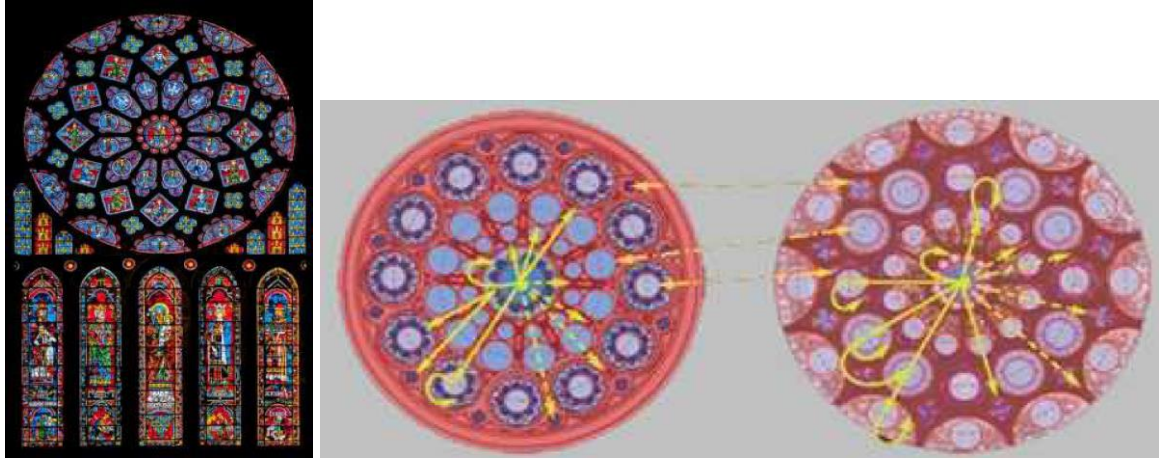
Şekil 3.53. Erken dönem mimaride fraktal örnekler (Değirmenci, 2009)

4. yüzyılda yapılmış olan Basilica diSan Clemente'nin süslemesinde benzer öğelerden oluşan Spierpinski üçgenine benzer bir fraktal kurgu bulunmaktadır (Kanatlar, 2012). Ayrıca 1104 yılında İtalya'da inşa edilen Anagni Katedrali'nin zemininde de aynı kurgu söz konusudur.



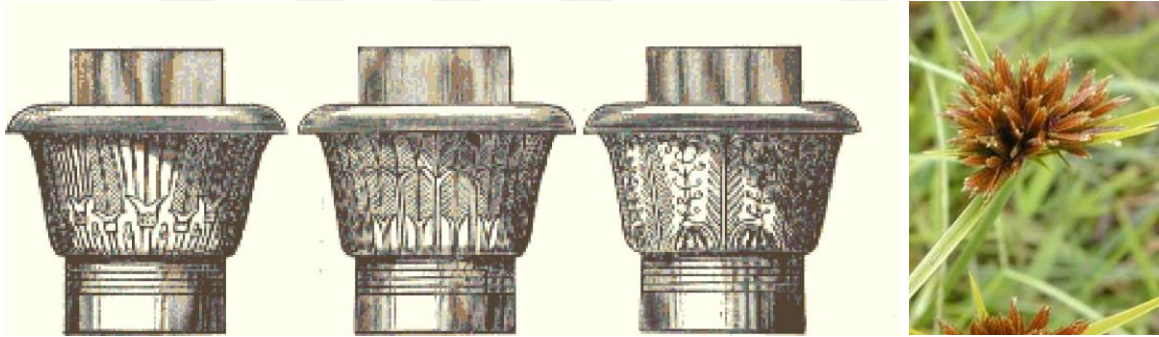
Şekil 3.54. (a) Basilica diSan Clemente'te bir süsleme (Kanatlar, 2012), (b) Anagni Katedrali (URL-18, 2021)

13. yy.da yapılan Chartres katedralinin bir süsleme ögesi olarak yapılan gül penceresi farklı ölçek ve farklı konumlardaki dairelerin oluşturduğu fraktal bir kurgu mevcuttur.



Şekil 3.55. (a) Chartres Katedrali gül penceresi vitrayı (Gürani ve diğerleri, 2021), (b) Chartres Katedrali gül penceresinin farklı ölçeklerde birbirini tekrar eden dairelerden oluşan fraktal kurgusu (Gözübüyük, 2007)

İlk kez Frank Lloyd Wright tarafından kullanılan organik mimari terimi, doğa ile yapıların bütünlük sağlaması için oluşturulan mimari organizasyonu ifade etmektedir. Tasarımda doğadaki oluşumların kurguları ve örüntüleri farklı ölçeklerde kullanılır, bu da kurgunun fraktal özellik göstermesi ile ilişkilidir (Gözübüyük, 2007).



Şekil 3.56. (a) Süslemede kullanılan Mısır kolon başlıkları, (b) Papirüs bitkisi (Gözübüyük, 2007)

Broujerdi'nin İran'ın Kaşan şehrinde bulunan ve 1892 yılında tamamlanan evi tuğla, çamur ve kerpiçten yapılmıştır. Evin ana salonunda, İran mimarisinde önemli yapıım tekniklerinden sayılan matematiksel ve hassas kaplama tekniklerinden biri olan ve “karbandi” tekniği kullanılmıştır. Bu teknik, yapısal ve geometrik özellikleri ile sistemattiktir (Zanganehfar, 2021). Borujerdi evinde, bu teknik iç mekânda Karbandi fraktal sistem süsleme tekniği olarak kullanılmıştır. Süsleme yapısal olarak iki boyutlu geometrinin üç boyuta taşındığı kendine benzerlik gösteren en küçük birimin belli kurallar dahilinde bütünü oluşturması ile görsel şölene dönüşür.

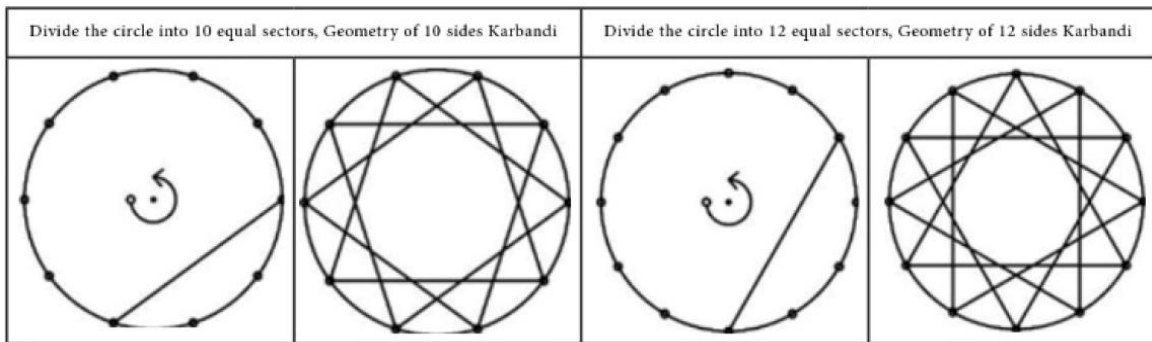


Resim 3.8. İç mekânda bulunan Karbandi fraktal sistemi (Zanganehfar, 2021)

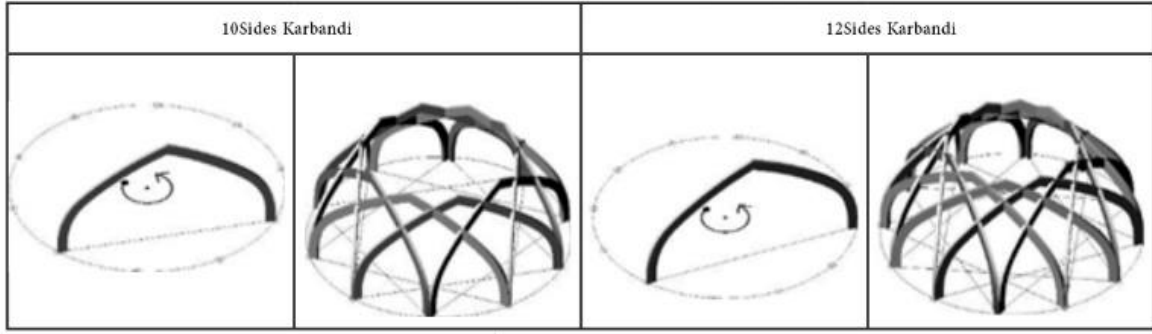
Karbandi oluşumu iki temel ilkeye dayanır:

- 1- Plan geometrisi: Bir daireyi eşit parçalara bölmeye ve bölme noktaları arasında kesişen eşit kırılgan çizmeye dayanır (Zanganehfar, 2021).
- 2- Üç boyutlu geometrisi: Bir kemerin çemberin merkezi etrafında dönmesine dayanır (Zanganehfar, 2021).

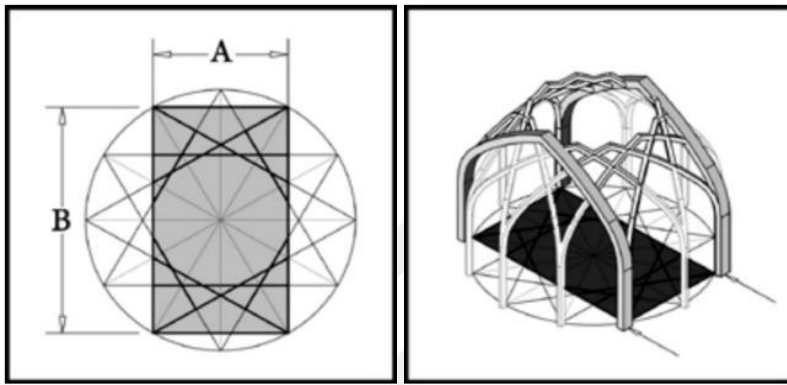
Plan ve üç boyutlu organizasyonlar birleşir ve belli algoritmalar kullanılarak büyür, bu şekilde de fraktal süslemeyi oluşturur.



Şekil 3.57. Karbandi'nin plan geometrisi (Zanganehfar, 2021)

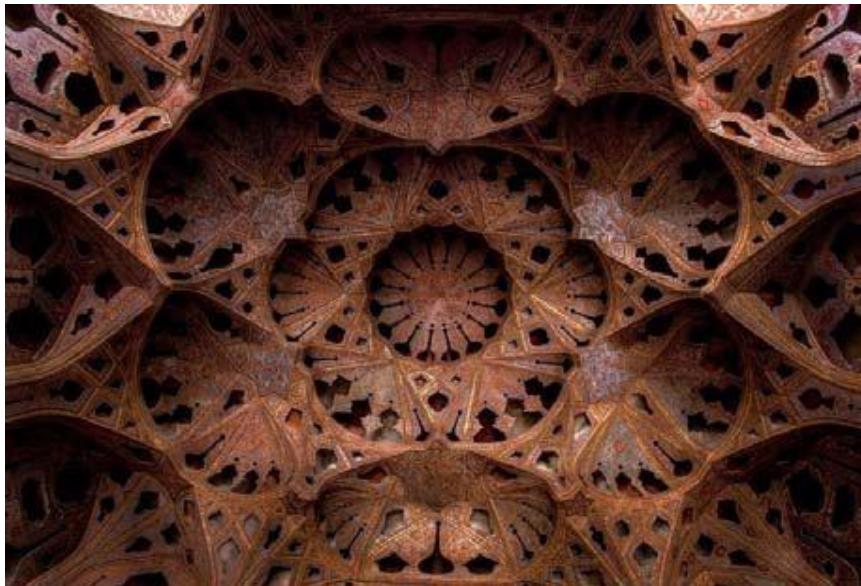


Şekil 3.58. Karbandi'nin üç boyutlu geometrisi (Zanganehfar, 2021)



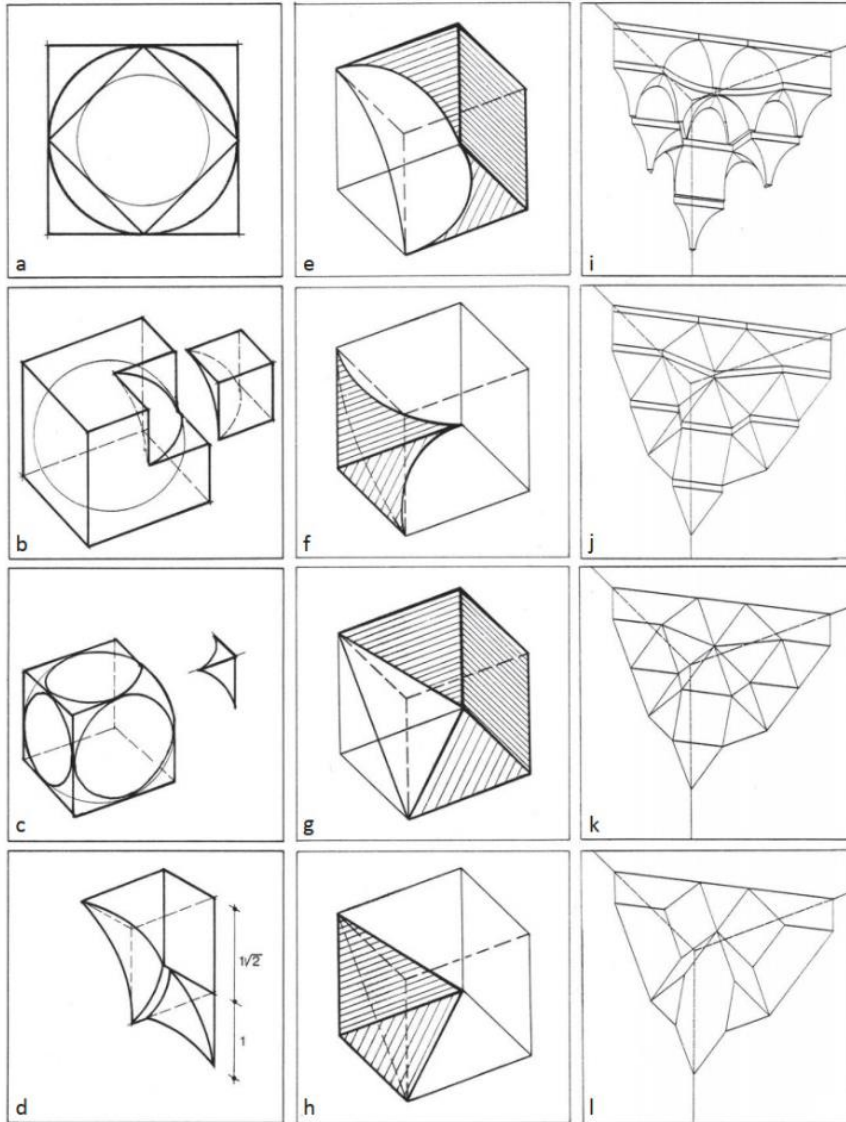
Şekil 3.59. Plan ve üç boyutlu geometrinin birleşimi (Zanganehfar, 2021)

İran'ın İsfahan şehrinde, 1597'de bitirilen ve Safevi mimarisinin önemli yapılarından biri sayılan Ali Kapu Sarayı'nın altıncı katında akustik açıdan karmaşık örüntüye (mukarnas sistemine) sahip bir müzikhol bulunmaktadır (Zanganehfar, 2021).



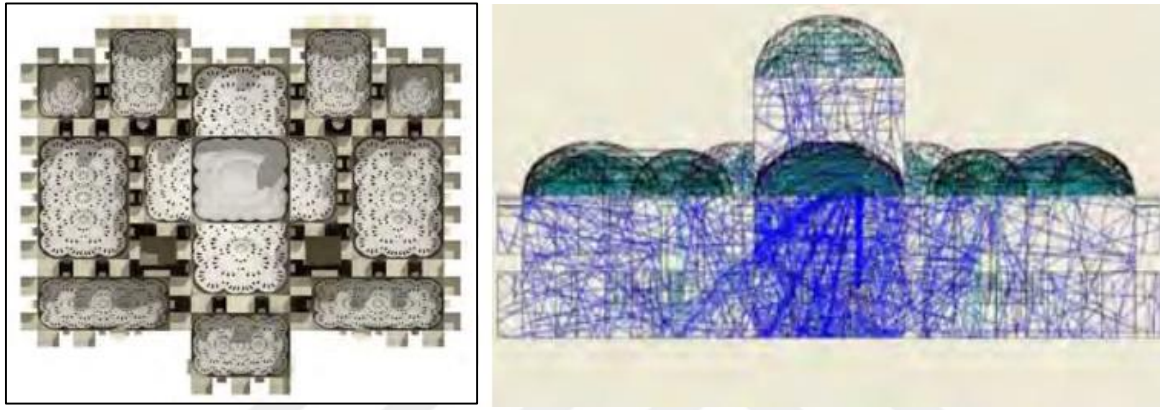
Resim 3.9. Mukarnas fraktal sistemi ile tasarlanan müzikhol tavanı (Zanganehfar, 2021)

Mukarnas, sistematik olarak ilerleyen algoritmalar yardımı ile iki boyutlu geometrinin üç boyuta dönüşüm hikayesidir. Mukarnasların yapıları incelendiğinde geometrik olarak yüksek karmaşıklık ve ayrıntıya sahip olmalarına rağmen çözümlendiğinde üretken algoritma ve bu algoritmaya eklenen kurallar zinciri ile açıklanabilecek kadar basittir. Mukarnaslar, sahip olduğu kurguların düzen içinde düzensizliği oluşturduğu fraktal örüntülerdir. Biçimsel karmaşıklığının yanı sıra büyüme ve ortaya çıkma modelinde bulunan iç organizasyonlardan ve iç düzenden oluşan organize fraktal bir nesnedir (Zanganehfar, 2021). Aslında mukarnasları oluşturan örüntüyü karmaşık bütüne dönüştüren küçük prizmatik üç boyutlu birleşen geometrik şekil grubudur, bu grubun büyüyerek belli kurallar dahilinde karmaşık şekli oluşturması da fraktal özellik göstermesi sayesinde (Zanganehfar, 2021).



Şekil 3.60. Mukarnas blok üretiminin örnek geometrisi (Zanganehfar, 2021)

Ali Kapu Sarayı müzikholünde iç mekân akustiğini sağlayan mukarnaslar sayesinde kulağa hoş gelmeyen yansımalar olmadan sadece doğal sesler duyulur. Mukarnasların amacı, içbükey yüzeyler oluşturarak salondaki rahatsız edici gürültüleri ortadan kaldırmak, salonu izole etmek ve ses iletimi için uygun alan yaratmaktır (Zanganehfar, 2021). Ses dışbükey bir yüzeye çarptığında ses demetinin yayılma açısı ve yönü değişir, bu şekilde sesin frekansı uzaklaşır; ses içbükey yüzeye çarptığında ise bu olayın tam tersi görülür (Zanganehfar, 2021).



Şekil 3.61. (a) Ali Kapu müzik salonunun tavan planı, (b) Işıkların müzikhol boşluğunda yayılmasının simülasyonu (Zanganehfar, 2021)



4. SÜSLEME (BEZEME)

4.1. Mimaride Süsleme (Bezeme) Sanatı

Süs, bir yüzeyde estetik haz veren görsel imajdır. Bu imajların içindeki şekillerin, motiflerin oluşturduğu kurguya, süsleme (bezeme) denir (Algan, 2008). İnsanoğlu her dönemde çevresine görsel katkı sağlamış belirli bir amaç uğruna yarattığı formu göze hoş gelecek şekilde çeşitli eklemeler, süslemeler ile zenginleştirmiştir. Süsleme tarih boyunca işlevli veya işlevsiz, estetik hazzın karşılanmasında ve karşı tarafa aktarılmasında önemli bir iletişim aracı, evrensel bir dil olmuştur. Özneldir, coğrafya ve zamandan bağımsızdır; farklı zamanlarda farklı kültürler incelendiğinde benzer motifler görülebilmektedir. Aynı zamanda farklı kültürler arasındaki etkileşimler sonucu yapılarda kullanılan motifler bir kültürden diğerine aktarılmış; bu aktarım sırasında genelde kendi kültürünün izlerini taşıyacak şekilde değişime uğramıştır (Algan, 2008).

Farklı kültürler incelendiğinde güzelleştirme çabası sonucu ortaya çıkan süsleme (bezeme) tasarımlarının ağırlıklı olarak kullanıldığı alan mimari yapılar olmuştur (Algan, 2008). Yapı, eser, mimari ürün tarih boyunca yalnızca insan yaşantısını sürdürebilmek için gerekli işleve sahip olma özelliği ile sınırlı kalmamıştır. Yapının, ürünün insana haz vermesi amaçlanmıştır. Yapının görsel etkisini artırmak için yapı elemanlarında geometri, ölçek, oran-orantı, uyum, denge gibi kavramların öne çıkması tasarımda etkili olmuştur. Tekdüze ve yalın görünümü gidermek için süslemeler (bezeme) mimarlık tarihinden bu yana çok sık kullanılmıştır (Algan, 2008). Mimari yapılarda bezemeler oluşturulurken farklı teknikler kullanılabilir:

1- Cephede kullanılan malzemenin renk ve dokusu ile yapım tekniğini birleştirerek yüzeyde bir ahenk, bezeme etkisi sağlanabilir. Örneğin, tuğla ve doğal taş gibi yapı elemanlarının her birinin farklı doku ve rengine sahip olmasının yanında almalı diziliş şekli kullanılarak bezeme elde edilebilir (Algan, 2008).

2- Yapım süreci tamamlanan yapı elemanları başka malzeme ve biçimlerle bezenebilir, duvarlar süsleme amaçlı desenlerle boyanabilir (fresk) ya da başka malzemelerle kaplanabilir (mermer, renkli taşlar, mozaik, çini, alçı mukarnaslar gibi). Bu şekilde yüzeyde bezeme etkisi yaratılabilir (Algan, 2008).

3- Yapım süreci tamamlandıktan sonra yüzeyi süslemek amaçlı sütun kaidesi, sütun başlığı, söve, pencere doğraması, korkuluk gibi yapı elemanlarına oyma, yontma gibi işlemler yapılarak bezeme elde edilebilir (Algan, 2008).

Doğan Kuban, mimaride cephe süslemelerinin bir amacının olduğunu, bu süslemeler (bezeme) ile karşı tarafa bir ileti, bir mesaj gönderilmek istendiğini söylemiştir. Aslında bezemeler karşı tarafa güç gösterisinin, zenginliğin veya inancın ulviliğinin göstergesi, bir aktarım şeklidir. Mimari elemanların, düz ve rasyonel formların içinde kullanılan süsleme ile yapıyı yumuşatmak ve güzelleştirerek görsel haz vermek amaçlanmıştır (Algan, 2008).

Türklerin İslamiyeti kabul etmesinden sonra, Türk sanatında geometrik bezemeler gelişim göstermiştir. Geometrik bezemelerde farklı desenler, birbirine geçerek ya da farklı merkezlerden yayılan çizgilerin sürekli uzaması ile sonsuz bir ağ oluştururlar. Geometrik bezemelerde en yaygın kullanım bir dairenin beşe, altıya, sekize bölünmesi ile oluşturulan şemalardır. Çünkü dairenin beşe ve altıya bölünmesi ile gözün en güzel oran olarak algıladığı altın oranın olduğu öngörülmektedir. Ayrıca geometrik bezemelerde yedi, dokuz, on bir, on iki, yirmi dört kollu yıldızlar da kullanılmaktadır (Bökü, 2009).

Bezeme, özellikle İslam mimarisinde İslam kültürünün, sanat alanında güçlü bir ifade biçimi olarak görülür. Bezemeler sayesinde İslam Sanatının anlaşılması kolaylaşmıştır (Kuban, 1982: 8). İslam bezemeleri, diğer kültürlerden farklı şekilde gelişme göstermiştir. Bezemelerde betimlenen şey zamandan bağımsızdır; bu durum İslam bezemelerinin genelde bitkisel, geometrik ve yazı (hat) şeklinde olmasına neden olmuştur. İslam bezemelerinde görsel hazzı veren estetiği yakalayan geometrik örüntülerdir (Algan, 2008).

Bitkisel ve hat bezemelerinde çember, kare, daire, çokgen gibi geometrik şekiller düzenlemeyi oluşturur ve düzenleme dikdörtgen ya da kare çerçevelerle kurulur. İslam bezemelerinde kullanılan en yaygın yöntem, yüzey doldurmasıdır. Bu yöntem ile açık, sonsuz düzenlemeler sağlanmış ve birbirinin içine geçerek oluşturulan girift bezeme (arabesk) düzeni geliştirilmiştir. Ayrıca İslam mimarisine has üretilen bir süsleme tekniği olan ve geometrik bezemenin üçüncü boyuta taşınması olarak tanımlanan “mukarnas”lar en nadide eserleridir (Bökü, 2009).

4.2. Anadolu Selçuklu Dönemi'nde Taş Bezemelerin Genel Niteliği

Anadolu'da çok sayıda yapı ortaya koyan Selçukluların kullandıkları temel malzeme taş olmuştur (Öney, 1992: 9-13). Selçuklular taşı, sanat amaçlarına en uygun malzeme olduğu için seçmişlerdir. Ayrıca Selçukluların eserlerinde bol kullandığı kalker taşı Orta Anadolu'da çok fazla bulunmaktadır, daha ender bulunan mermer malzemeyi ise daha özel yapılarda kullanmışlardır (Ögel, 1966: 3). Taşı özellikle sivil ve dini yapıların portallerinde hayran bırakan ustalık ve estetik bir zevkle bezeyerek Anadolu'ya has karakteristik bir üslup oluşturmuşlardır. Selçuklular, temel malzeme olarak tuğla kullanılan İran Selçuk mimarisinden sonra, Anadolu'ya büyük yenilikler getirmişlerdir (Öney, 1992: 9-13).

Anadolu Selçuklu yapılarının dış yüzleri genellikle bezemesiz sade, düz yüzeylerdir, bu düz cephe düzenlerinden abidevi bezemeli bir portalin yükselmesi etkili, anıtsal nitelikli bir cephe oluşmasını sağlamaktadır (Ögel, 1966: 3). Cephe kurgusuna bakıldığında, girişler yani portaller (taçkapı); cephenin ana elemanı ve cepheyi vurgulayıcı eleman olarak dikkat çekicidir (Caner, Bakırer, 2009). Anadolu Selçuklu eserlerinde cephenin ortasında yer alan portaller, yapı duvarlarının seviyesini aşarak abidevi özellik kazanan ve ortalama 8 m. yükseklik, 4 m. genişlik, 2 m. derinliğe sahip dikdörtgen bloklardır (Ögel, 1966: 3). Portaller, cephe ve plansal düzlemde dışa doğru çıkıntı yapmaktadır (Caner, Bakırer, 2009). Eserlerin cepheleri incelendiğinde bütün ağırlık portallerde toplanmıştır (Öney, 1992: 9-13). Sembolik ve estetik değeri olan yapıların en süslemeli ögesi olarak karşımıza çıkmaktadır (H. Karpuz, E. Karpuz, 2013). Genellikle mukarnas bezemeli olan portal nişi, öne bir sivri kemer, sonra da dikdörtgen, taş bezemelerle oluşturulan bordürlerle çevrelenir. Nişin yan duvarlarında çoğunlukla mihrabiye görür. Sütunceler ve niş köşelerinde yer alan iri rozetler, genellikle portallerde bulunan bezeme unsurlarındandır. İç kısımda ise yayvan kemerli kapı açıklığı bulunur. Selçuklularda taş süsleme, portaller harici minare, mihrap, minber, eyvan, kemer, pencere kemerleri, tonozlar ve sütun başlıklarında da kullanılmıştır (Öney, 1992: 9-13).

Selçuklu eserlerinden medrese, cami, kervansaray gibi çeşitli yapılarda kullanılan taş bezemeler, yapı türüne has değişkenlikler göstermez. Ayrıca bölgeye göre değişen kesin özellikler söylemek de olanaksızdır. Ancak Erzurum, Sivas ve Divriği eserlerinde yüksek kabartmalı taş bezemelerin daha çok kullanıldığı görülür, daha yassı kabartmalı taş bezemeler ise daha çok Kayseri ve Konya bölgesinde görülmektedir (Öney, 1992: 9-13).

Anadolu Selçuklu taş bezemelerinde kompozisyonlar çeşitlilik gösterir, her eserde farklıdır; fakat belli bir sistem ve şema aynı kalır. Taş bezemelerde bitkisel motifler, geometrik motifler ve yazı temel bezeme unsurlarıdır. Bitkisel bezemelerde, temel motif üç dilimli palmet yapraklarıdır, bazılarında ise sadece yarım palmet yaprağı işlenmiştir. Çoğu kez de yarım ve tam palmetler girift bir bitkisel ağ, arabesk meydana getirir. Yarım ve tam palmetlerin uçlarında meydana gelen düğüm gibi kıvrılmalar (volut), Türk bezeme sanatının en belirgin özelliğidir. Bitkisel bezemelerde, hayat ağacı kaynaklı iri desenler de görülmektedir (Öney, 1992: 9-13). Geometrik motifler, bordürler veya panolar içerisinde kesişen, iç içe geçmiş, tekrara dayanan zengin düzenlemelere sahiptir (H. Karpuz, E. Karpuz, 2013). Selçuklu eserlerinin taş bezemelerinde bordür olarak, zincire benzer geçme motifler sıklıkla uygulanmıştır (Öney, 1992: 9-13). Ayrıca bezemelerde, geometrik geçme ağların, çokgenlerin ve yıldızların belirli bir geometrik kurguya dayanan zengin düzenlemelere sahip kompozisyon oluşturduğu örnekler de çok fazladır (H. Karpuz, E. Karpuz, 2013). Bu geometrik geçme ağların içinde genellikle farklı boyutlarda rozetler ve portal köşelerinde ise iri rozet yer almaktadır. Bu rozetler, yassı ve işlemeli ya da küre şeklinde kabarık olabilir. Rozetlerin üstlerinde bitkisel ajur desen bulunmaktadır. Rozetlerin genelde gezegenleri sembolize ettiği kabul edilir, ikili büyük rozet ise güneş ve ayı sembolize etmektedir. Önemli bezeme unsurlarından biri olan yazı, 13. yüzyılın ortalarına kadar kitabelerde yer almaktayken; sonradan portal ve mihrap kompozisyonlarında girift bordürler olarak bulunmaktadır. Erken örneklerde kufi ve bitkisel unsurla karışmayan yazılar bulunurken, zaman geçtikçe çok katlı etkisi veren arabesk zemin üzerinde yer alan yazılar görülmektedir (Öney, 1992: 9-13).

Sonuç olarak geometrik bezemelerin bolca kullanıldığı ve oluşumunda tasavvufi düşüncenin büyük bir etkisi bulunan Anadolu Selçuklu Sanatı, medeniyet tarihimizde büyük önem arz eder. Bu sanat dikkatle analiz edildiğinde dün, bugün ve yarın arasında bağ kurmuştur; kendinden önceki dönemlerin kazanımlarını referans almış, kendine has eklemeler yapmış ve bir sonraki dönemlere örnek olmuştur. 11. yy.da, Anadolu’da kullanılan Selçuklu süslemeleri, 12. yy.da kendini geliştirerek devam etmiş ve 13. yy.da bezeme kompozisyonları kendini tepe noktasına taşımıştır. Bu dönemde eksen sistemleri, kendi içinde tutarlı kaymalar yaparak bezemelere hareketli bir görünüm sağlamıştır. Ayrıca çokgenlerin kenar sayısı artarken, içe ve dışa küçük kırılmalar yapması sonucu rozet benzeri şekiller oluşmuştur, bu da natüralizm akımına bir eğilim olduğunun göstergesidir. Başlarda, geometrik motiflerle, bitkisel motifleri, acemice harmanlamaya çalışan bezeme üslubu,

zaman ilerledikçe kendinden emin, yaygın kullanılan güçlü bir akım olmuştur (Mülayim, 1982: 69-70).

4.3. Geometrik Bezemeler

İslam ve Anadolu Selçuklu Sanatında uygulanan geometrik bezemeleri oluşturan kurallar ile ilgili herhangi bir yazılı belge bulunmamaktadır. Geometrik bezemeler konusunda yapılan araştırmaların çoğu da çizim kurallarının bilinen tekniklerinin bezemelere uygulanması ile ilgilidir (Mülayim, 1982: 69-70). Bilgisayar destekli tasarım kullanılmadan önce karmaşık geometrik bezeme kompozisyonlarının anlaşılması, araştırılması ya da mimariye aktarılması oldukça güç olmuştur. Günümüzde ise bilgisayar destekli tasarım yardımı ile mimari süslemelerde, özellikle de Anadolu Selçuklu Dönemi bezemelerinde sıkça karşımıza çıkan ve karmaşık düzeyde olan geometri düzenlemelerinin çözümlenmesi, anlaşılır hâle gelmesi sağlanmaktadır. Geometrik bezemelerin en temeline indiğimizde karşımıza çıkan ilk ifade nokta olacaktır. Uzunluğu, genişliği ve hacmi olmayan nokta, kalem ucunun yüzeye vurulduğunda yüzeyde bıraktığı iz ya da iki kesişen doğrunun kesişme yeri olarak açıklanmaktadır (Mülayim, 1982: 69-70). Noktadan sonra karşımıza çıkan temel şekil, çizgidir. Düz veya eğri çizgiler birçok farklı açıda bir araya gelerek basit, temel geometrik şekilleri oluştururlar. Bezemeleri oluşturan karmaşık kompozisyonlarda, farklı birçok malzeme ve teknik kullanılmasına rağmen; bu kompozisyonların temeli nokta, çizgi ve yay gibi basit geometrik elemanların birleşmesine dayalıdır. İki doğru parçasının birbirine dik kesişmesi, dik eksenleri oluşturur (Mülayim, 1982: 69-70). Bu eksen üzerine yerleştirilen geometrik elemanların belli aralıklarla tekrarı, aynı ya da farklı geometrik elemanların eklemlenmesi, şekillerin bir eksene veya noktaya göre kaydırılması, yansıması gibi çeşitli kuralların uygulanması geometrik kompozisyonları meydana getirmektedir. Basit olarak düz, kırık ve eğri çizgilerle oluşturulan üçgen, dörtgen, beşgen, altıgen, sekizgen gibi kapalı şekillerin belli kurallar çerçevesinde birleştirilmesi ile geometrik kompozisyonlar oluşur. Bezemelerde bulunan bütün kompozisyonların temeli geometrik elemanlara ve düzensizlik içinde düzen kavramına dayanır. Kompozisyonlar birçok geometrik elemanın bir araya gelmesi ile oluşuyor ise kompozisyonunda mutlak ana geometrik eleman vardır ve kompozisyon bu eleman üzerinden gerçekleşen geometrik düzen ile kurulur. (Mülayim, 1982: 69-70)

Bu çalışmada, çokgen tabanlı yapılmış kompozisyonları meydana getiren çizgilerden hareketle Anadolu Selçuklu Sanatını temsilen Sivas Gökmedrese’de bulunan karmaşık geometrik bezemelerin analizi yapılacaktır. Yapılan analiz ile bu kompozisyonların kurgusundaki fraktal geometrinin varlığını ortaya koymak amaçlanmıştır. Aslında kaos ve karmaşa içeren bu karmaşık kurguların geometrik dili çözülerek bu kompozisyonların daha basit, anlaşılır hâle gelmesine olanak sağlanmıştır.

Birçok kuralın birbirini takip etmesi ile meydana gelen kompozisyonların oluşturduğu geometrik bezemeler açılara göre şekillenen eksenlerden oluşmaktadır. Anadolu Selçuklu mimarisindeki bütün geometrik bezemelerin analizi için altlık olarak kompozisyonun üzerine oturduğu bir eksenler sistemi ya da kareleme sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu altlık üzerinde bir desen analizi, çizimi yapılırken kompozisyonu oluşturan çizgilerin bazıları altlığın yatay ve düşey eksenleri ile kesişmektedir. Bu eksenler, yardımcı çizgiler sayesinde kompozisyonun geometrik dili çözülebilmektedir. Desen çizildikten sonra da yardımcı çizgiler silinerek desenin, bezemenin son hâli ortaya çıkarılır (Mülayim, 1982: 69-70).

İslami geometrik bezemeleri iki ana başlıkta ele alabiliriz. Birincisi, doğrusal gelişen kompozisyonlardır. İkincisi ise, merkezi sistemde gelişen kompozisyonlardır; sonsuz desenler, çoklu yıldızlar ve düzgün çokgenler bu bezemelerin örnekleridir (Ulu, 2009).

4.3.1. Doğrusal gelişen kompozisyonlar

Çizgi sisteminde tek eksen üzerinde iki yönlü gelişirler; tekrar simetri ve sonsuzluk özelliklerine sahiptirler. “V” biçimli kırılan çizgiler, birbirini çapraz ya da dik açılı kesen doğrular bu kompozisyonda yer almaktadır. Bordür, zikzak, meander ve zencirek geometriler bu kompozisyona ait örneklerdir. Bordür geometrilerde, kompozisyonların çokgen geometrileri, bitkisel motifleri, hasır örgüleri içerdiği örnekler oldukça sık görülmektedir (Ulu, 2009).

4.3.2. Merkezi gelişen kompozisyonlar

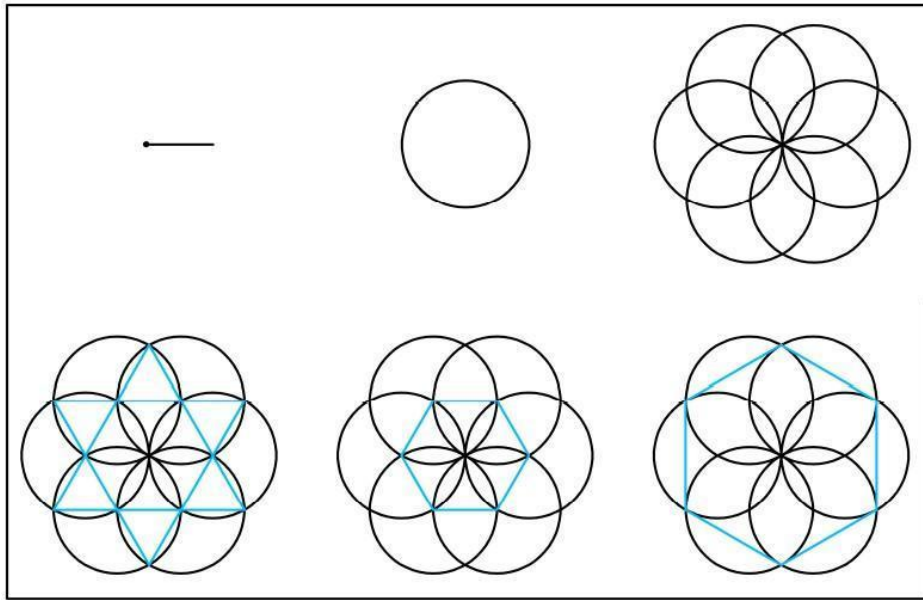
Bu kompozisyonlar, kapalı örüntülerden meydana gelmekte, simetrik ve sonsuz karakterli örüntüleri oluşturmaktadır. Bu kompozisyonu meydana getiren kapalı şekiller yalnızca

düzgün çokgen ve çoklu yıldız şeklinde olmayıp karma geometriler ile (madalyon) oluşmuş olabilir. Kompozisyonu meydana getiren şeklin tekrarlanması ile bezeme meydana geldiğinden dolayı bu kompozisyonlar sonsuz desenleri oluşturmaktadır (Ulu, 2009).

Çok kollu yıldız geometrileri

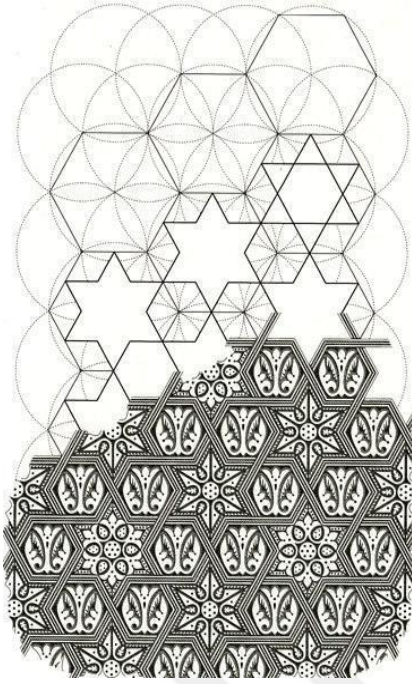
Çok kollu yıldız geometrileri, kapalı şekillerdendir ve düzgün çokgenlerden meydana gelmektedirler (Ulu, 2009).

Altıgen ve 6-kollu yıldızlar



Şekil 4.1. Altıgen oluşum şeması (Ulu, 2009).

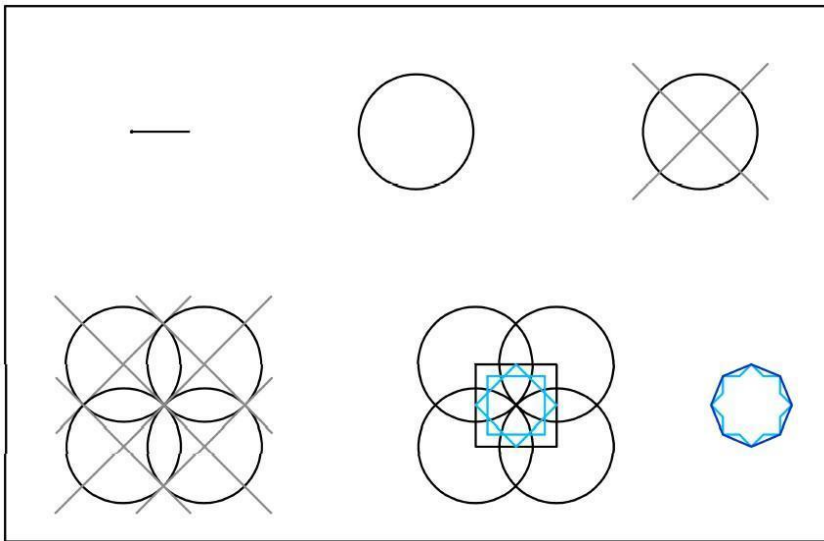
Altıgen, geometrik bezemelerde sıkça karşılaşılan temel biçimlerden biridir. Altıgen biçimini meydana getirmek için birliği sembolize eden çember kullanılmaktadır. İlk olarak, 1 birim yarıçapa sahip bir adet çember çizilir ve çemberin merkezine dik olan bir teğet noktası etrafında altı defa kopyalanır. Oluşan çiçeğe benzer biçimin dıştaki yapraklarının, iç taraftan birleşimi ile birbirinin içine geçen iki adet eşkenar üçgen çizilir. Bu çizim ile düzgün altıgen ve 6 köşeli yıldız elde edilmiş olur. Başka bir yöntem ise içteki küçük yaprakların dış taraftan birleşimi ile çizilen veya dıştaki yaprakların dış taraftan birleşimi ile çizilen çizgiler yardımı ile düzgün altıgenler elde edilebilmektedir (Ulu, 2009).



Şekil 4.2. Altıgenin çemberden hareketle kompozisyonu oluşturması (Ulu, 2009).

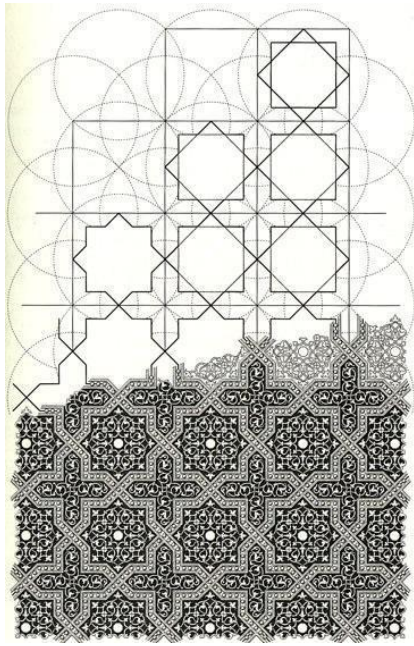
Tüm biçimlerin başlangıcı bir noktadır. Nokta, geometrik açıdan 1 ile ifade edilmektedir. 1 rakamının iki anlamı bulunmaktadır; başlangıç ifadesidir ve tek olan “ilahinin” simgesidir. (Ulu, 2009). 6 rakamı, Tanrı’nın evreni yaratmasının 6 günde olduğunu sembolize etmektedir. Ayrıca İslam dininde, birbirini kesen iki eşkenar üçgen ile oluşan biçim, Hz. Süleyman’ın mührünü simgelemektedir (Ulu, 2009).

Sekizgen ve 8-kollu yıldızlar



Şekil 4.3. Sekizgen oluşum şeması (Ulu, 2009).

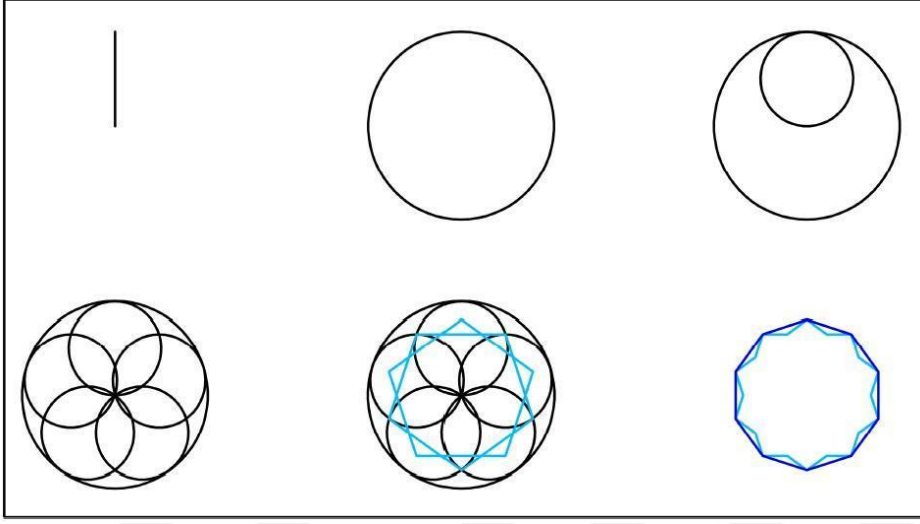
Sekizgen oluşturmak için, çemberden yararlanılmaktadır. Merkezden geçen ve birbirini dik kesen iki doğru çizilir. Doğrunun çember ile kesiştiği noktalara ve çemberin merkezine teğet dört adet çember çizilir. Yukarıdaki çizimde görüldüğü gibi çiçeğe benzeyen bir şekil oluşmaktadır. Çizilen bu dört çemberin merkez noktalarını köşe olarak kabul eden bir kare çizilir. Karenin kenarlarının orta noktalarını köşe kabul eden ikinci bir kare daha çizilir. Çizilen bu karenin merkezi sabit tutulup 45° döndürülerek kopyası çizilirse, oluşan çizimden 8 köşeli bir yıldız elde edilir. Yıldızların köşelerini birleştirdiğimizde oluşan şekil ise sekizgendir (Ulu, 2009).



Şekil 4.4. Sekizgenin çemberden hareketle kompozisyonu oluşturması (Ulu, 2009).

Çizim, mistik olarak şevkatin nefesini (The Breath of the Compassionate) simgelemektedir. Şevkatin nefesi, yaratılışın kaynağı sayılan dört elementin (ateş, toprak, hava, su) imkanlarının serbest kalmasını sağlayan İlahi nefesi sembolize etmektedir (Ulu, 2009).

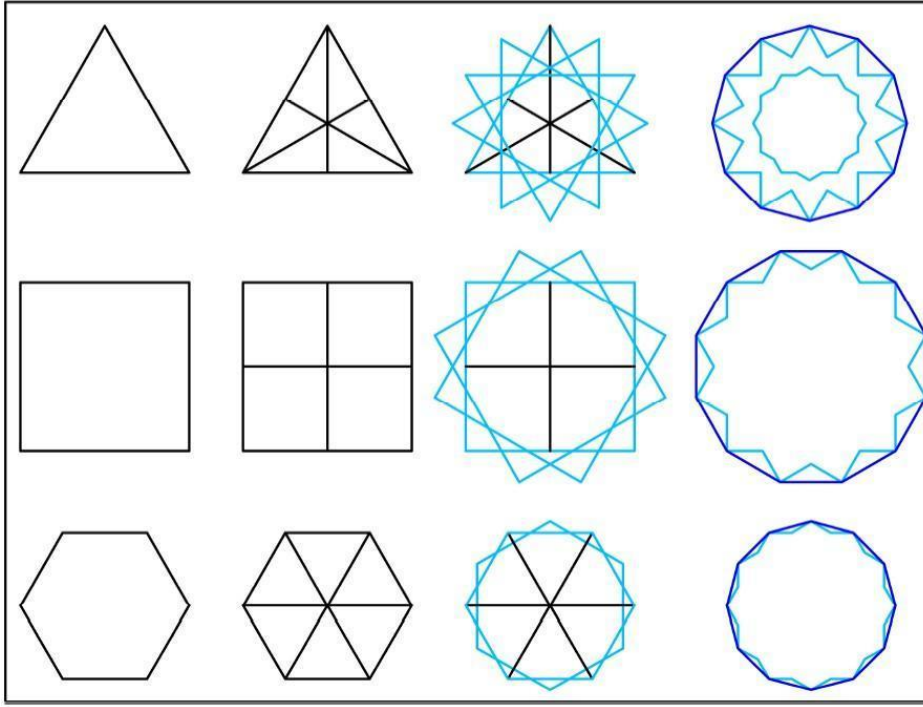
Ongen ve 10-kollu yıldızlar



Şekil 4.5. Ongen oluşum şeması (Ulu, 2009).

Yarıçapı 1 birim olan çemberin içine, çapı 1 birim olan ve çembere teğet geçen bir çember daha çizilir. Küçük çember büyük çemberin merkezi etrafında beş defa kopyalanır. İçte bulunan çemberlerin, dışta bulunan çember ile kesişim noktalarını birleştirdiğimizde bir beşgen elde edilir. Çizilen bu beşgen merkezi sabit tutularak 36° döndürülerek kopyası çizilirse oluşan çizimden 10 köşeli bir yıldız elde edilir. Yıldızın köşelerini birleştirdiğimizde ise düzgün ongen elde edilir (Ulu, 2009). Geometrik kompozisyonlarda, 10 kollu yıldızlar sıkça kullanılmaktadır. 10 rakamı, tamlığı ve kusursuzluğu sembolize etmektedir. İslam dininde, 5 içsel duyu ile 5 dışsal duyunun birbirinin karşılığı olduğu kabul edilmektedir (Ulu, 2009).

Onikigen ve 12-kollu yıldızlar

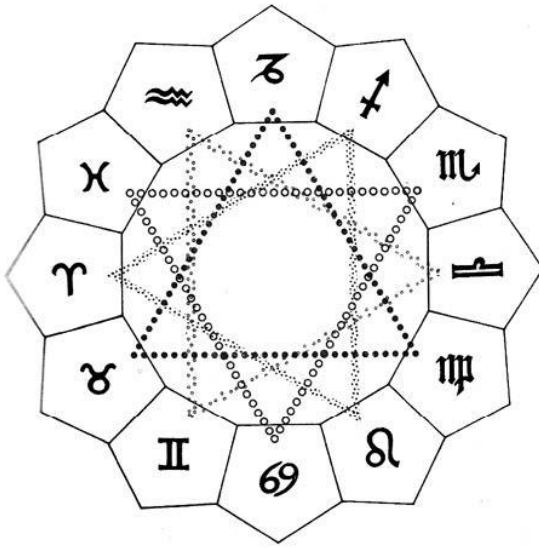


Şekil 4.6. Onikigen oluşum şeması (Ulu, 2009).

12 kollu yıldız üçgen, kare ve altıgen geometrik şekillerinden türetilmektedir. Bir eşkenar üçgenin merkezi sabit tutularak 90° 'lik açıyla döndürülmesi ve dört kere kopyalanması ile elde edilebilir. Bir karenin merkezi sabit tutularak 120° 'lik açıyla döndürülmesi ve üç kere kopyalanması ile elde edilebilir. Bir düzgün altıgenin merkezi sabit tutularak 30° 'lik açıyla döndürülmesi ve kopyalanması ile elde edilebilir. Oluşan yıldızın köşelerini birleştirdiğimizde ise düzgün onikigen elde edilir (Ulu, 2009).

12 kollu yıldız, geometrik süsleme sanatında yüzey kaplaması olarak sıkça karşımıza çıkmaktadır. Geometrik kompozisyonlarda kullanılan onikigenin yapısında bulunan üçgen, kare ve altıgen ile örüntünün devamlılığı sonsuza dek sağlanabilir (Ulu, 2009).

12 rakamı, astrolojiye bakıldığında burçları ifade etmektedir. Burçlar üçerli dört gruptan oluşmakta, 4 adet eşkenar üçgenin köşeleri, burçların hava, ateş, su ve topraktan hangi gruba dahil olduğunu göstermektedir (Critchlow, 1995).



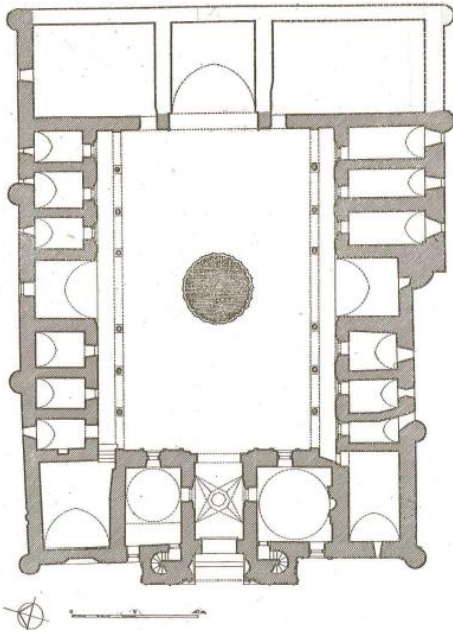
Şekil 4.7. Burçların hava, ateş, su ve topraktan hangi gruba dahil olduğunu gösteren bir tablo (Ulu, 2009).

5. ALAN ÇALIŞMASI

5.1. Sivas Gökmedrese ve Mimarisi

Sâhibiye medresesi olarak da bilinen Sivas Gökmedrese Anadolu Selçuklu dönemi eseridir. 1271 yılında Anadolu Selçuklu Sultanı III. Gıyaseddin Keyhüsrev'in döneminde ebul-hayrat (hayırların babası) olarak bilinen Vezir Sahip Ata Fahreddin Ali tarafından mimar Konyalı Kaluyan elKoneviye'ye yaptırılmıştır (URL-19, 2022).

Sivas Gökmedrese, gösterişli cephe mimarisi ile anıtsal nitelikte bir yapıdır. Medrese mimari büyüleyiciliği, ihtişamı yanında ilmî kazanımlara rehber olma görevini de yerine getirmiştir. Medresede din, hukuk gibi bilim dallarının eğitimi ve araştırılması faaliyetleri gerçekleşmiştir (Özkul, 2020). Plan şemasına bakıldığında simetrik, doğu-batı yönlü dikdörtgen şemaya sahip medresenin açık avlusu ve dört eyvanı bulunmaktadır. Avlusunda kuzey ve güney yönde, kemerleri sivri şekilli revaklar bulunmaktadır. Revakın gerisinde üzeri beşik tonoz ile örtülü olan dikdörtgen şeklinde öğrenci hücreleri yer almaktadır. Medresenin büyük ölçüde tahrip olmuş doğu cephesinde ise ana eyvan ve eyvanın iki yanında da birimler olduğu bilinmektedir (URL-20, 2020).



Şekil 5.1. Sivas Gökmedrese planı (Kuran, 1969: 93).

Kesme taştan inşa edilen Selçuklu medresesi, giriş eyvanının sağında bulunan mescit tavanında ve iki yan eyvanda bezenmiş gök mavisi ve turkuaz renkli çinilerin yoğunluğu nedeni ile Gökmedrese olarak adlandırılmıştır (Üçer, 2008). Mimarisini süsleme sanatı ile harmanlayıp bütünleştiren Gökmedrese, Selçuklu Sanatının biricik, abidevi eserlerinden biri olmuştur.

Yapının ön cephesinde mukarnas bezemeli, heykelsi bir taç kapısı bulunmakta ve tuğladan örülmüş iki adet minaresi göğe yükselmektedir. Tüm ihtişamı ile göğe uzanan minareleri aynı zamanda kabartmalar, geometrik ve bitkisel motifler ile bezenmiştir. Medresenin sol tarafında Selçuklu Döneminin ilk çeşmesi, köşelerinde ise kabartma bezemeler ile işlenmiş masif yapıdaki köşe kuleleri bulunmaktadır (Aslanapa, 1997: 148).



Resim 5.1. Sivas Gökmedrese ön cephesi



Resim 5.2. Sivas Gökmedrese çeşmesi

Ayrıca medresede güney duvarın orta kısmında üç tane, kuzey duvarın orta kısmında ise iki tane daha kule vardır. Giriş kısmının üzeri yıldız şeklinde dört kollu yuvarlak bir kubbe ile örtülüdür (Özkul, 2020). Giriş eyvanı kısmında, karşılıklı konumlanmış iki kapının solunda darü'lkurra/ da'rüt-tedris (dershane), sağında ise kubbeli mescidi yer almaktadır. Bunlar hem de minarelere çıkışı sağlamaktadır. Ayrıca bu iki odada hem dışarıya hem de avluya bakan süslü pencereler bulunmaktadır (Üçer, 2008).



Resim 5.3. (a) Sivas Gökmedrese güney duvarı (URL-21, 2019), (b) mescit mekânı (URL-20, 2020), (c) süslü pencere

Girişin köşelerinde sivri beşik tonoz ile örtülü iki salon yer almaktadır. İki yanı revaklar ile çevrilmiş açık avlunun ortasında altıgen şeklinde süs havuzu vardır. Avlunun kuzey kısmının güney kısmından ayrılmasını sağlayan birbirine devşirme kemerlerle bağlı altı adet sütun bulunmaktadır. Sütun başlıkları, kalkerli taş ve mermer ile inşa edilmiş, revaklar ise sadece mermerden yapılarak tonozlar ile örtülmüştür. Revakların arka tarafında tonozlarla örtülü ve

her birinin kapısında temasında ilim, bilim, iyilik, doğruluk olan hadisler yazılı medrese odaları bulunmaktadır (Üçer, 2010).



Resim 5.4. Sivas Gökmedrese avlusu ve süs havuzu, sütun, revak ve kapılar

Bütün bu özellikleri ile Selçuklu mimarisinin bütün ihtişamı ve özelliklerini gözler önüne seren Gökmedrese hem sanat hem de mimari olarak bakını adeta büyüler. Evliya Çelebi, Kızıl Medrese olarak tanımladığı Gökmedrese hakkında şunları söyler:

Bu eserin mislini yapmak mümkün değil. Diyar-ı İslamda emsaline rastlanmamıştır. Timurlenk'in hayretle temaşa ettiği bu medresenin kapısı kale kapısı kadar sağlamdır. İki katlı yapılmış, 80 oda ihtiva etmiştir. Talebeler kışın alt katlardaki odalarda çalıştıklarından bir müderris, iki sufi 20 talebesi vardır. Mescidin bir imamı, iki müezzini, kütüphanesinde bir hafız-ı kütup, bir kapıcı ve ferraş bulunmakta, mescit kütüphaneden başka bir de fakirler için yemek pişirilen darüziyafesi vardır. (URL-19, 2022)

Süheyl Ünver ise Gökmedrese hakkında şöyle söyler: “Sivas bir yüzükse, onun taşı Gökmedresedir.” (URL-19, 2022)

5.2. Sivas Gökmedrese Taş Bezemeleri ve Anlamları

Sivas Gökmedrese, geometrik motifli bezemeleri, bitkisel desenli bezemeleri, anıtsal niteliğinde olan mukarnas bezemeli taç kapısı, hayat ağacı motifleri ile oluşturulmuş bezemeleri, kufi yazıları, kabartma motifli bezemeleri ve çinileri ile adeta bir şaheserdir (Özkul, 2020).

Taç kapısı

Gökmedrese'ye ilk bakıldığında dikkati üzerine toplayan gösterişli taç kapısı, göreni ilk bakışta mest eder. Geometrik ve bitkisel motifli bezemelerin simetrik olarak birbirini tamamladığı taç kapıda, mermer malzeme kullanımı ile ışık-gölge oyunları oluşturarak görsel zenginlik sağlanmaktadır. Kapının etrafını saran, geometrik ve bitkisel motifli bezemelerden oluşan beş dilimli kemer ise cepheye hareketlilik katmaktadır (Özkul, 2020).



Resim 5.5. Sivas Gökmedrese taç kapısı



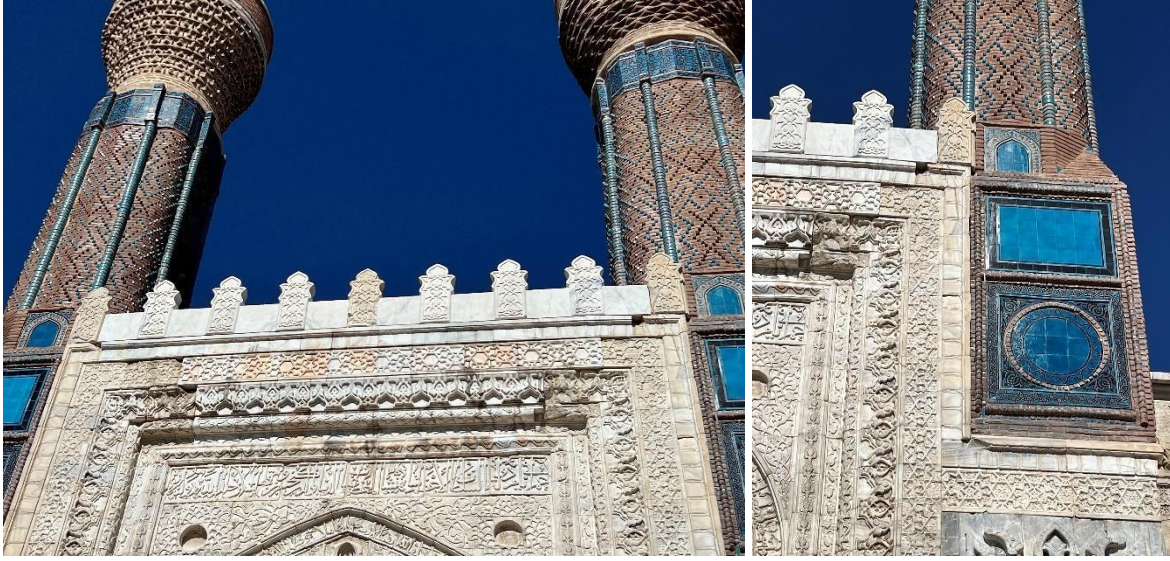
Resim 5.6. Sivas Gökmedrese mukarnas ve mermer bezeme detayları

Taç kapının giriş, sağ ve sol üst köşesinde konumlanan simetrik olarak iç içe geçmiş, burçları temsilen Türklerin on iki hayvanlı takvimlerinde bulunan aslan, ejder, yılan, koç başları ile oluşturulduğu düşünülen hayvan başlı bir kompozisyon bulunmaktadır (Özkul, 2020).



Resim 5.7. Hayvan başlı bezeme

Gökmedrese'nin taç kapısı ile minare arasındaki bağlantıda, rumî desenlerle oluşturulan 9 tane mermer dendan bezeme konumlandırılmıştır. Taç kapıda, kapıyı çerçeveleyen dış şeritlerden sonra üç yönde bezenmiş bitkisel ve geometrik motifli bordürler yer almaktadır. Bu motiflerden sonra da portalın üzeri mermer malzemedeki yapılan dendanlar ile sonlandırılmaktadır (URL-22, 2022). Taç kapıda bulunan geometrik kompozisyonlu taş bezemeler ile minarelerin altında bulunan çini ve renkli sırlı tuğla karakterli bezemelerin oluşturduğu geometrik süslemeler bütünlük sağlayarak taç kapıya zenginlik katmaktadır (Özkul, 2020).



Resim 5.8. Dendan bezeme, bordür ve çini detayları

Taç kapıda yer alan ince işçilikli birbirinden güzel ve derin manalar taşıyan taş bezemeler görsel bir şölen sunmaktadır.



Resim 5.9. Rumî ve lale motifi, geometrik ve bitkisel motifli bezemeler

Evliya Çelebi, Gökmedrese hakkında taç kapısının bir kale kapısını anımsattığını, medresede seksen kadar öğrenci ve dersane odasının bulunduğunu, kışın medresenin alt katında, yazın ise üst katında oturulduğunu ve bu medresenin daha önce eşi benzeri görülmediğini yazmıştır (Özkul, 2020).

Hayat ağacı

Hayat ağacı motifi evrenin üç elementini tasvir ederek kökleri ile yeraltını, gövdesi ile yeryüzünü, göğe yükselen dalları ile ise cenneti simgelemektedir (Özkul, 2020). Yeryüzü ile cennetin iletişimini sağlayan hayat ağacı motifi, Anadolu Selçuklu Dönemi'nde yaygın olarak kullanılmıştır (Şimşek, Kaynar, 2011). Gökmedrese'de iki tane hayat ağacı motifi vardır. Bunlardan ilki, taç kapıda konumlandırılmıştır. Taç kapının iki tarafında konumlanan sekiz köşeli yıldız bezemesi, yerküreyi temsil etmektedir. Hemen altında yer alan simetrik bezenmiş hayat ağacı motifinin ise birçok anlamı bulunmaktadır; evrenin direği, bilim, bereket, barış, kudret, hikmet, sonsuzluk, devletin koruyucu gücünü temsil etmektedir (Özkul, 2020). Bu hayat ağacı motifi palmetlerden oluşmaktadır. Palmetler nar, rumî desenler, kuş tasvirleri ile bezenmiştir (Özkul, 2020). Nar, cenneti ve bereketi betimlemektedir. Rumî motifler ise Anadolu'ya aidiyeti simgelemektedir (Özkul, 2020). Bu hayat ağacı motifinin tepesinde kudret, koruyuculuk, adalet ve asaleti simgeleyen çift başlı kartal bulunmaktadır. Kartalın çift başlı kullanılması Anadolu Selçuklu Devleti'nin hem doğuya hem de batıya hakim olduğunu simgelemektedir (Özkul, 2020).



Resim 5.10. Taç kapıda bulunan hayat ağacı motifi

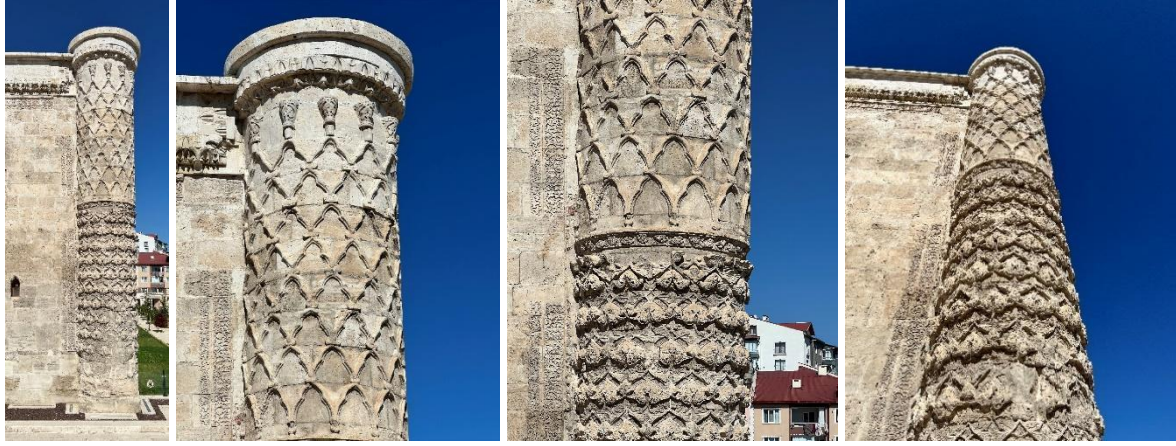
İkinci hayat ağacı motifi ise 1978’de yapılmış bir kazı çalışması sırasında avluda bulunmuştur. 13.yy.ın ikinci yarısında yapılmış bir mihrap kalıntısı olan bu motif, iri palmiyelerle bezenmiş abartılı bir hayat ağacı motifidir (Şimşek, Kaynar, 2011). Simetrik kompozisyonlu bu motif, mermer bloklar üzerine yüksek kabartma tekniği kullanılarak bezenmiştir. Hayat ağacı motifinin üçüncü, dördüncü, beşinci yapraklarında nar, dallarında kiraz salkımları, orta ekseninde bulunan yaprağın içerisinde ise hurma salkımı bezenmiştir. Hayat ağacına bezenmiş olan bu meyve motiflerinin taşta işlenen bir cennet tasviri olduğu düşünülmektedir. Kur’an-ı Kerim’de yer alan nar ve hurma, cennet meyvelerindendir (Şimşek, Kaynar, 2011).



Resim 5.11. Avluda bulunan hayat ağacı bezemesi

Köşe kuleleri

Medresenin ön cephesindeki köşelerde altı, yüksek kabartmalı bitkisel ve rumî motiflerle bezenmiş, üstü ise daha hafif kabartmalı geometrik motiflerle bezenmiş iki adet dayanma kulesi yer almaktadır. Bezemeler, kulelerin üzerinde yer alan yarım külah ile birleşerek cephede bütünlüğü sağlamakta ve cephe bitişlerine estetik katmaktadır (Özkul, 2020).



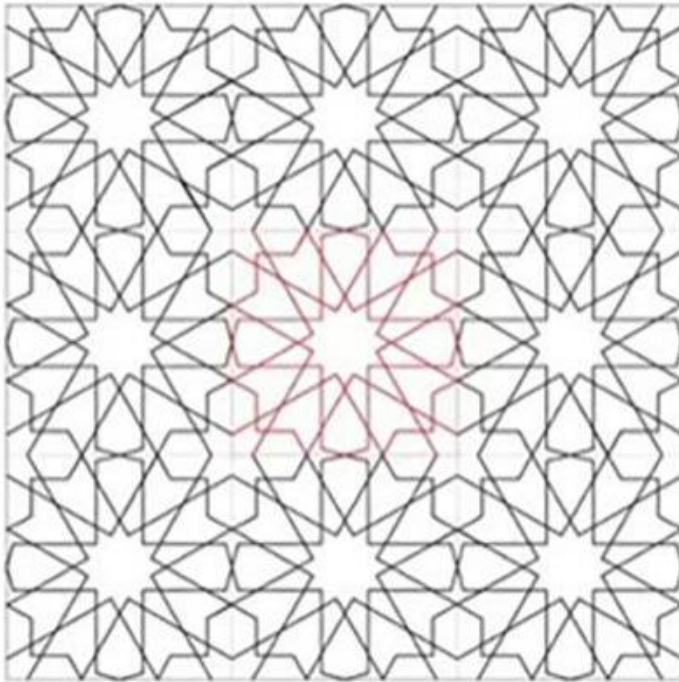
Resim 5.12. Köşe kuleleri ve bezeme detayı

5.3. Fraktal Geometri Kavramı ile Gökmedrese Bezeme Örneklerinin Analizi

Geometrik bezemeler analiz edildiğinde İslam coğrafyasında pek çok farklı tekniğin uygulandığı ve bezemelerin çok çeşitli malzemelerden oluştuğu, yapılara anıtsal nitelik kattığı dikkat çekmektedir. Geometrik bezemeler birçok İslam yapısında karşımıza çıkmaktadır. Bu çeşitlilik, karmaşık olarak algılanan geometrik desenlerin aslında uygulama aşamasında basit ve esnek yöntemler ile kompozisyonun oluşturulduğunu göstermektedir. Geometrik bezemelere ilk baktığımızda kompozisyon karmaşık gelir, ancak detaylı incelediğimizde geometrik bezemelerin basit geometrik şekillerin belirli kurallar dahilinde farklı boyutlarda bir araya gelerek birbirini tekrar etmesi ile kompozisyonu oluşturduğu görülür. Karmaşık kompozisyonlar, küçük ve basit şekillerin çeşitli kurallar dahilinde birleşmesi sonucu oluşur. Geometrik bezemeleri analiz ederken ilk olarak desenin temeline bakılmalı, kendini tekrar etmeyen üçgen, daire, kare, beşgen, altıgen gibi en basit geometrik şekil bulunmalıdır. Daha sonra bu temel şekil üzerinden kompozisyonun nasıl ilerleyerek deseni oluşturduğu ile ilgili kurallar çıkarılmalıdır. İslam yapılarına bezenen geometrik desenlerin, önce kompozisyonun kendini tekrar etmeyen en küçük biriminin çizildiği, sonra ise farklı açı, yön ve boyutlar kullanılarak farklı yöntemler ile bu birime bazı eklemeler de yapılarak çoğaltıldığı ve kompozisyonun son hâlini aldığı gözlemlenmektedir. Bezeme, deseni oluşturan temel biçime bağlı olarak kare tabanlı, daire tabanlı, beşgen tabanlı, altıgen tabanlı vs. olabilir. Temel biçim farklı boyutlarda, farklı yönlerde tekrar yolu ile çoğaltılarak desen kurgulanabilir. Bu da desenin sonsuza kadar devam edebileceği anlamına gelmektedir (Eryılmaz, Selimgil, 2021). Tüm bu yönleri ile ele alındığında geometrik bezemeler, fraktal kurgulu bir kompozisyon ile ortak özellikler göstermektedir.

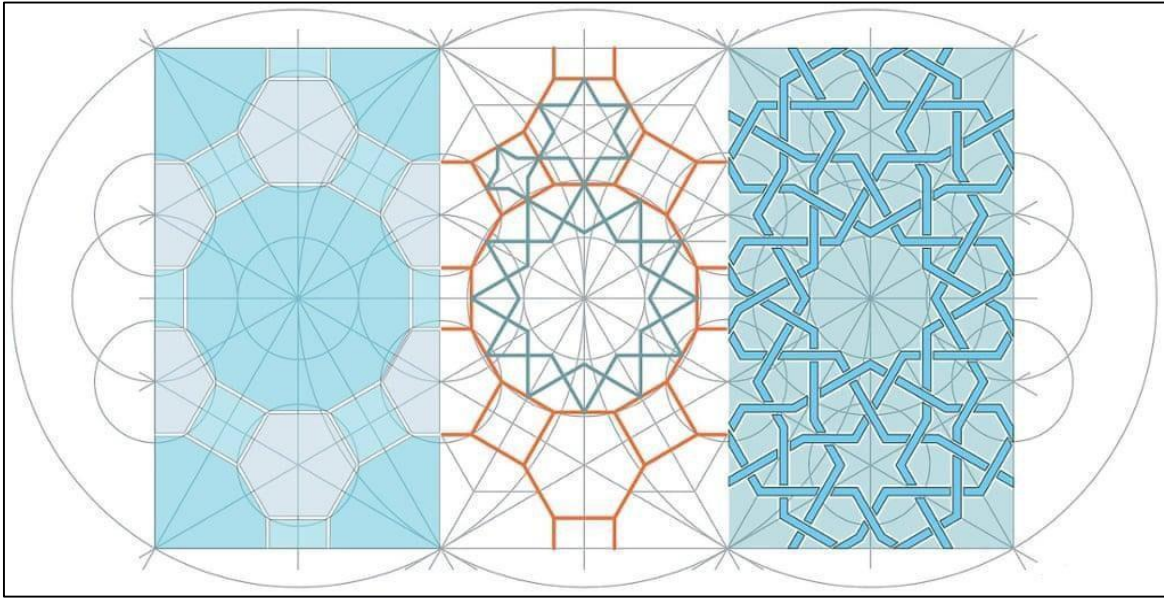
Yapılan bu çalışmanın, Selçuklu mimarisi taş bezemelerini seçilen örnekler üzerinden fraktal geometri ve fraktal kurgu kavramlarının yardımı ile analiz etmeyi amaçladığına daha önce değinilmiştir. Önceki bölümlerde mimari ve analiz, geometri ve mimarlık ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada analizin yöntemi olan fraktal, fraktal geometri ve fraktal kurgu kavramları hakkında bilgiler verilmiştir. Tekrar, özbenzerlik (kendine benzerlik) ve kesirli ifade özellikleri ile oluşturulan karmaşık kurguların fraktal geometri içerdiğine değinilmiştir. Mimaride bezeme sanatı ve Anadolu Selçuklu Sanatında taş bezemelere genel hatları ile değinilerek geometrik süslemeler açıklanmıştır. Bu bilgilere dayanarak hedeflenen amaç doğrultusunda çalışma geliştirilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında bu çalışmanın asıl amacı olan Sivas Selçuklu eseri olan Gökmedrese’de bulunan bezemeler fraktal geometri ve fraktal kurgu yöntemi ile analiz edilecektir. Bu yöntem ile yapının süsleme unsurlarının matematik mantığına yönelik bir çözümleme, analiz yapılacak, oluşum kurallarında fraktal kurgunun varlığı değerlendirilecektir. Analiz yapılırken “Üretken Algoritma ile Oluşturulan Fraktal Kurgular” başlığı altında incelediğimiz “Çizgisel-Vektörel Fraktaller”in oluşum yöntemleri örnek alınarak tümdengelim yöntemi ile analiz yapılacaktır. Bu analiz yapılırken örüntüyü oluşturan ve kendini tekrar etmeyen ana şekil belirlenerek kurgu üçgenden üretilen, daireden üretilen, kareden üretilen, altıgenden üretilen vb. şeklinde ele alınmıştır.

Örnek Çizim: Daireden üretilen bir fraktal:

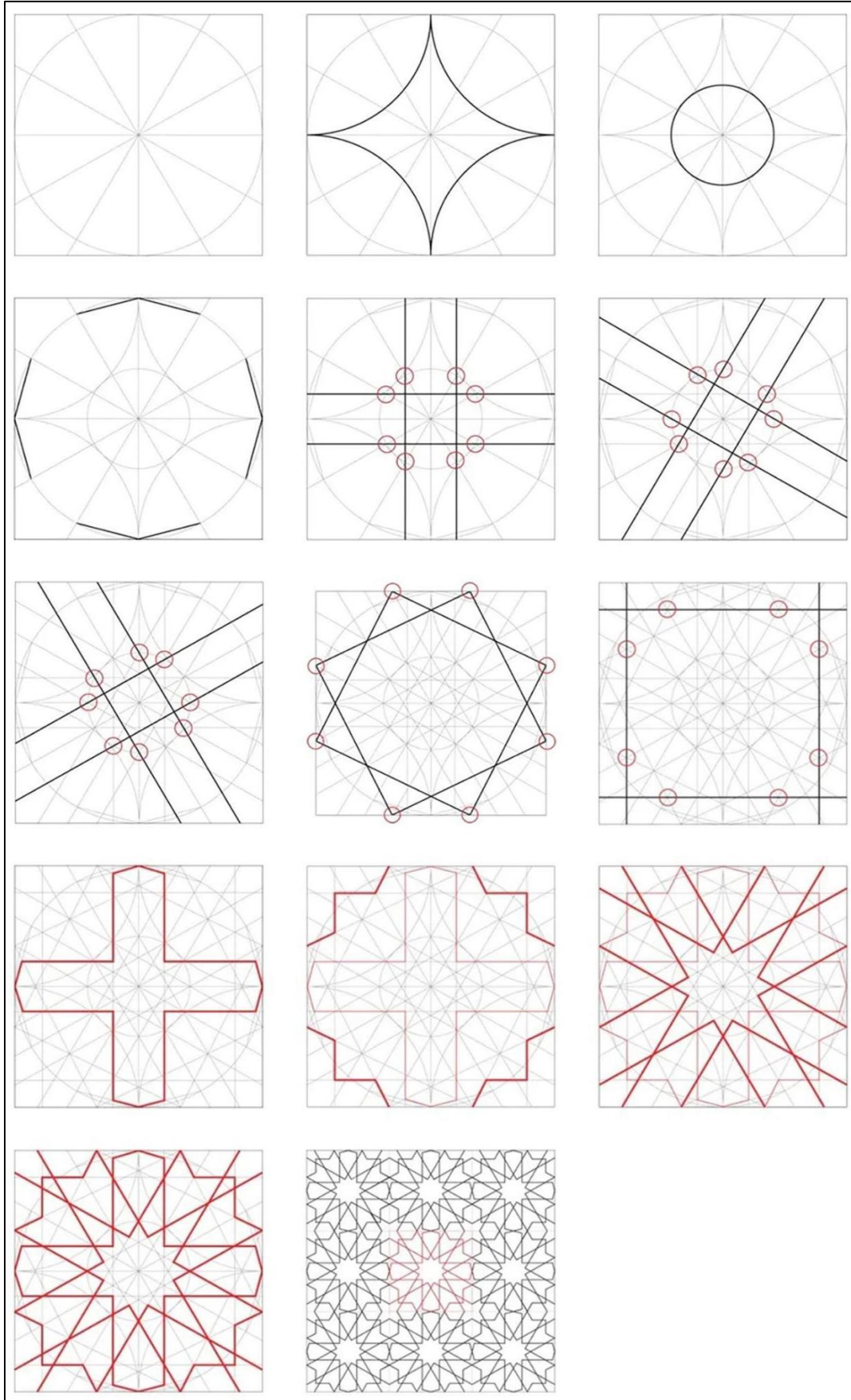


Şekil 5.2. Eric Brough tarafından çizilen bir süsleme (URL-23, 2015)

Eric Brough, geometrinin evrensel bir dil olduğunu ve insanların farkında olmasalar bile içgüdüsel olarak geometri ile ilişki kurabileceklerini söylemiştir. Brough'a göre boş bir kağıda çizgiler ve daireler çizerek başlamak ve çizimi güzel bir desenle sonuçlandırmak arasında geçen süreç bizi doğrudan bir tasarım mirasına bağlamaktadır. İslami geometrik tasarım matematik, sanat ve tarih unsurlarını karıştırır. Bitmiş bezemeleri oluşturan adımları deşifre etmeye çalışmak matematiksel bir bilmece gibidir. Yeni desenler inşa etmek, kullanılan desenlerin (bezeme) yapım aşamalarının anlaşılmasıyla karıştırılmış yaratıcılığı içerir (URL-23, 2015).



Şekil 5.3. Eric Brough tarafından yapılan analiz altlığı (URL-23, 2015)



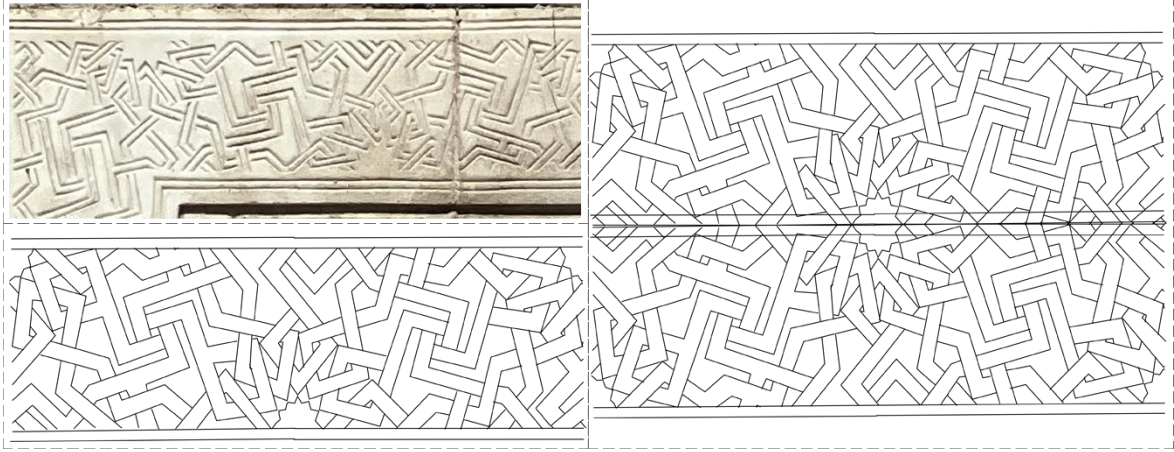
Şekil 5.4. Eric Broug'un deseni nasıl analiz ettiğini gösteren bir şematik çizim (URL-23, 2019)

Bu çalışmada, çokgen tabanlı yapılmış geometrik kompozisyonları meydana getiren çizgilerden hareketle Anadolu Selçuklu sanatındaki karmaşık geometrik bezemelerin analizinin yapılarak bu kompozisyonların kurgusundaki fraktal geometrinin varlığını ortaya koymak amaçlanmıştır. Aslında kaos ve karmaşa içeren bu karmaşık kurguların düğümü çözülerek bu kompozisyonların daha basit, anlaşılır hâle gelmesine olanak sağlanmıştır. Sivas Gökmedrese geometrik taş bezemeleri üzerinden analiz yapılmıştır.

1. Sivas Gökmedrese bezemesi:



Resim 5.13. Taç kapının sağında bulunan pencerenin etrafını üç yönlü çevreleyen geometrik karakterli bordür

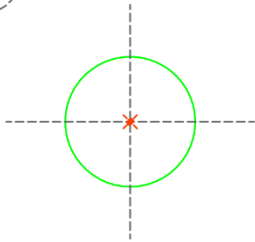
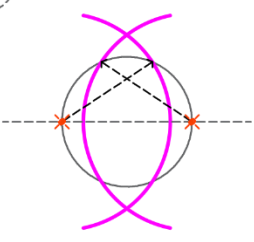
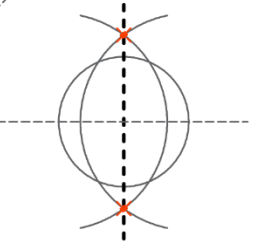
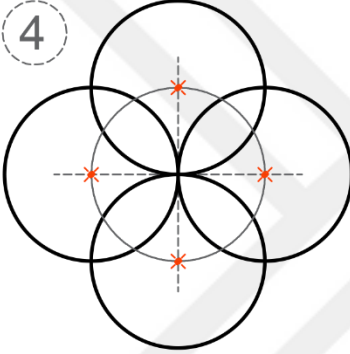
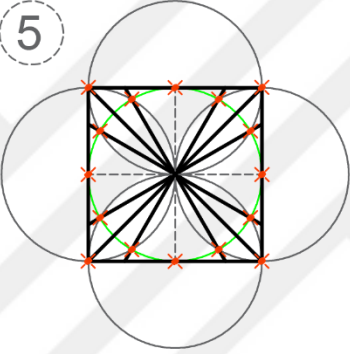
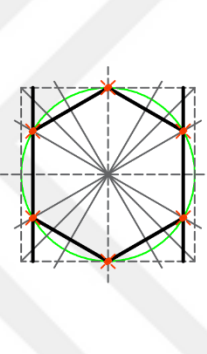
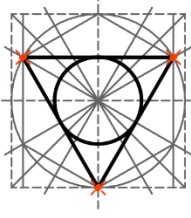
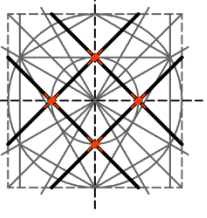
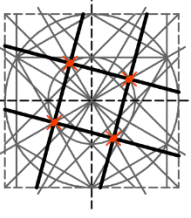


Şekil 5.5. Bordür detayı ve çizimi, bordürün tamamlanmış hâli

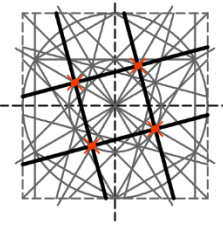
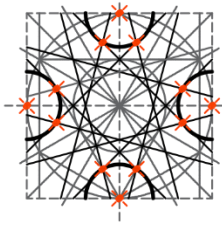
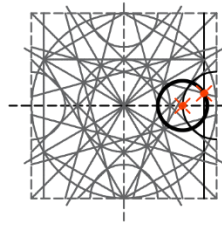
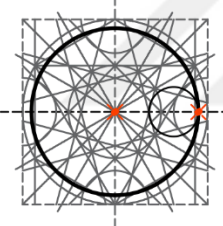
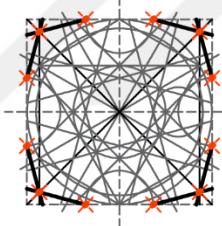
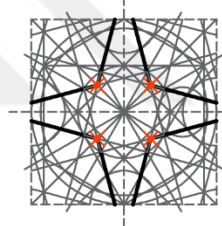
Kurgu fraktal açıdan ele alındığında vektörel bir fraktaldır, çizgilerden oluşur; bezemenin oluşumu açısından ele alındığında ise doğrusal gelişen kompozisyonlardan geometrik kompozisyonlu bordür sınıfındandır. Kompozisyon açısından yarım kalmış gibi görünen bu bordürü tamamladığımızda ise merkezi gelişen çokgen tabanlı kompozisyon oluşmaktadır.

Tekrar etmeyen en küçük birimi ise kare olduğundan kare tabanlı gelişmiş bir fraktaldır. Bezemeyi analiz ederken ilk olarak bezemenin başlangıç biçimi belirlenmiştir. Daha sonraki adımlarda ise bu başlangıç biçiminin, parametrik açıdan belli kurallar çerçevesinde farklı biçimlerin eklemlenmesi ile başka biçime dönüştüğü analiz edilmiş; bu dönüşümde kullanılan kurallar açıklanmıştır.

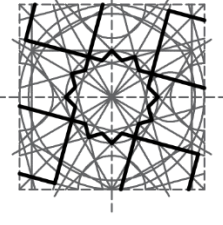
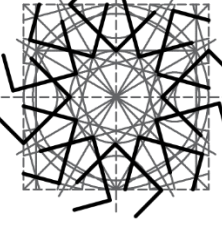
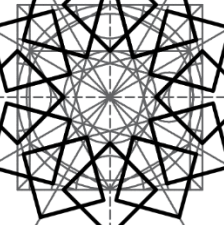
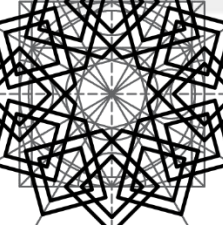
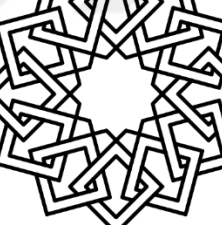
Çizelge 5.1. Seçilen geometrik karakterli bordürün analizi

		
1. Adım: Bir daire çizilir.	2. Adım: Pergel kesişim noktalarına yerleştirerek iki yay çizilir.	3. Adım: Yayların alt ve üst noktalarını birleştiren bir çizgi çizilir.
		
4. Adım: Merkezi kesişim noktalarından geçen dört adet eşit daire çizilir.	5. Adım: Dairelerin birbirini kestiği noktalar birleştirilerek bir kare çizilir ve karenin merkezinden dairelerin birbirini kestiği noktaları birleştiren çizgiler çizilir. Ayrıca karenin köşegenlerini birleştiren iki çizgi çizilir.	6. Adım: Çizgilerin daire ile kesiştiği noktalardan geçen bir altıgen çizilir.
		
7. Adım: Altıgen içine şekildeki kesişim noktalarından geçen bir üçgen çizilir ve üçgene teğet bir daire çizilir.	8. Adım: Daire ve onikiye bölünen karenin dik çizgilerinden geçerek ortada bir kare oluşturacak şekilde paralel iki çizgi çizilir.	9. Adım: Aynı işlem farklı kesişim noktaları kullanılarak tekrarlanır.

Çizelge 5.1. (devam) Seçilen geometrik karakterli bordürün analizi

10 	11 	12 
10. Adım: Aynı işlem farklı kesişim noktaları kullanılarak tekrarlanır.	11. Adım: Kare ve dairenin kesiştiği noktayı merkez alarak önceki adımda çizilen çizgilerin birbirini kestiği noktalardan geçen dört adet yay çizilir.	12. Adım: Pergel sağdaki yay ile yatay eksenin kesiştiği noktaya konularak bu noktanın merkez olduğu ve altıgenin sağ kenarındaki noktadan geçen bir daire çizilir.
13 	14 	15 
13. Adım: Pergel karenin merkezine konularak yatay çizgi ile son çizilen dairenin kesiştiği noktadan bir daire çizilir.	14. Adım: Yayların işaretli eklenti noktalarından ve kareye dik çizilen çizgi ile karenin köşegeninin kesiştiği noktadan geçen sekiz adet çizgi çizilir.	15. Adım: Sekiz, dokuz ve onuncu adımlarda çizilen çizgilerin kesiştiği noktalardan başlayarak kareye kadar devam eden çizgiler çizilir.

Çizelge 5.1. (devam) Seçilen geometrik karakterli bordürün analizi

16 	17 	18 
16. Adım: Şuana kadar çizilmiş olan şekilde yukarıda kalın çizgi ile gösterilen çizgiler belirginleştirilir.	17. Adım: Bir önceki adımda çizilen çizgiler onikigenin tüm köşelerine gelecek şekilde döndürülür.	18. Adım: Bir önceki adımda çizilen çizgiler onikigenin köşelerinden geçen çizgilerle kesişecek şekilde tamamlanır, onaltı ve onyedinci adımdaki işlemler çizgiler saat yönünün tersine dönecek şekilde tekrarlanır.
19 	20 	
19. Adım: Son adımda çizilen çizgilerin oluşturduğu karelerin içine aynı oranda küçültülmüş kareler çizilir.	20. Adım: Gereksiz çizgiler silinerek desen oluşturulur.	

Değerlendirme

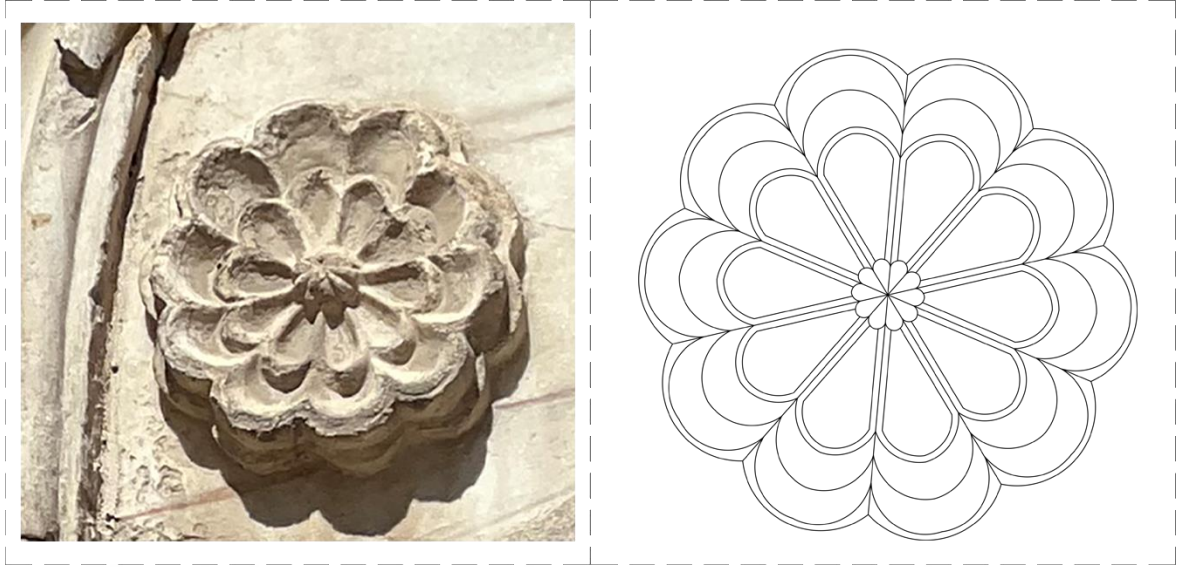
Sonuç olarak, analiz çiziminde görüldüğü gibi bezemenin yapısında birçok farklı boyutta birbiri ile bağlantılı, birbirini takip eden kareler, daireler ve altıgenlerden oluşmaktadır. Bu geometrik şekiller birbirine eklenilerek karmaşık kurgu oluşturulur. Kareler, daireler ve altıgenler ile oluşturulan bu motif, bu adımların sürekli devam ettirilmesiyle sonsuz çevrim oluşturabilir. Sonuç itibari ile 20 adımda analiz edilen bu bezeme birbirine eklenilen farklı

geometrik şekillerin farklı boyutlarda büyüyüp küçülmesi ile kendine benzer yapılardan oluşan fraktal bir kurguya sahiptir.

2. Sivas Gökmedrese bezemesi:



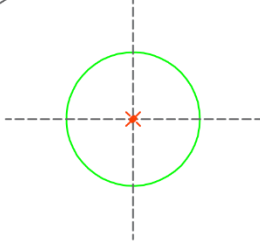
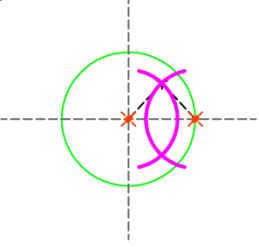
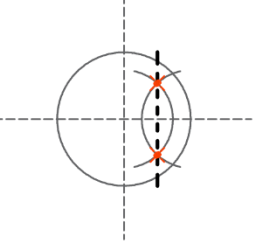
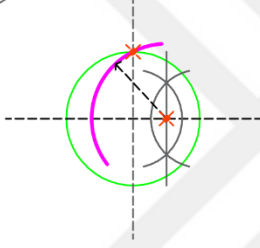
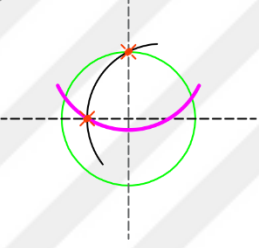
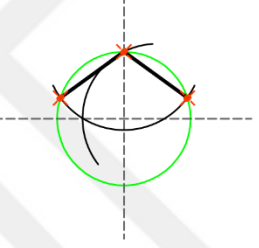
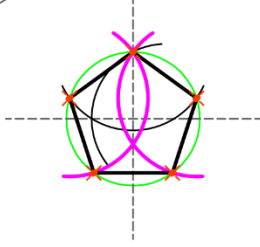
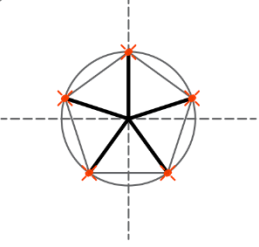
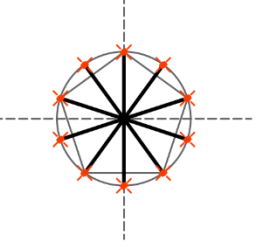
Resim 5.14. Taç kapının sağında bulunan pencerenin iki yanında bulunan geometrik karakterli çiçeksi bir motif



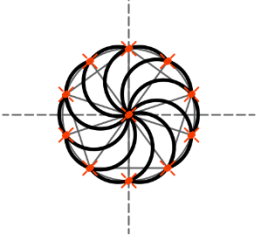
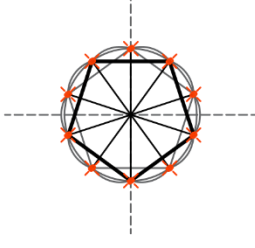
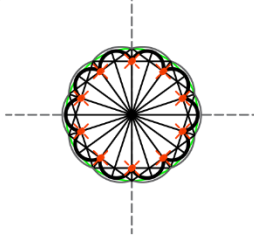
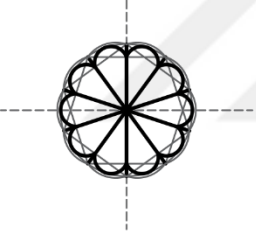
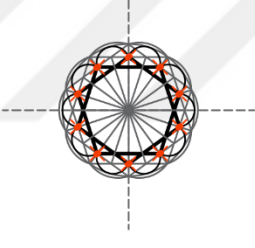
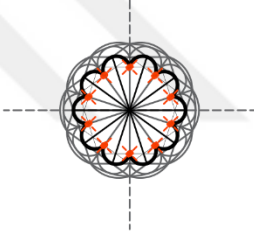
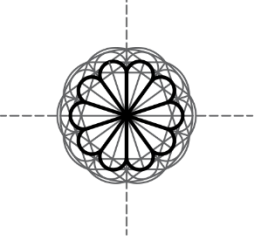
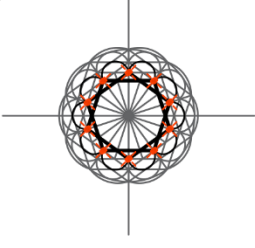
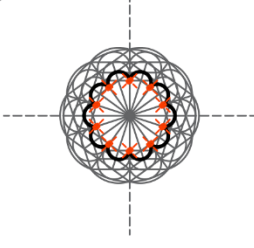
Şekil 5.6. Çiçek şeklinde geometrik bezeme detayı ve çizimi

Kurgu fraktal açıdan ele alındığında vektörel bir fraktaldır, çizgilerden oluşur; bezemenin oluşumu açısından ele alındığında ise merkezi gelişen çokgen tabanlı kompozisyon sınıfındandır. Tekrar etmeyen en küçük birimi ise beşgen olduğundan beşgen tabanlı gelişmiş bir fraktaldır. Bezemeyi analiz ederken ilk olarak bezemenin başlangıç biçimi belirlenmiştir. Daha sonraki adımlarda ise bu başlangıç biçiminin, parametrik açıdan belli kurallar çerçevesinde farklı biçimlerin eklemlenmesi ile başka biçime dönüştüğü analiz edilmiş; bu dönüşümde kullanılan kurallar açıklanmıştır.

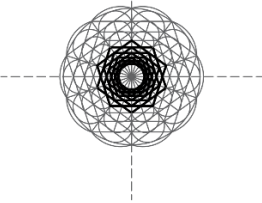
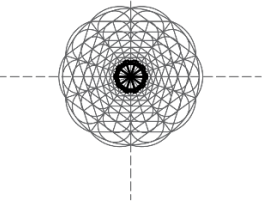
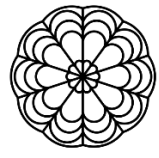
Çizelge 5.2. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

		
1. Adım: Yatay ve dikey eksenlerin kesiştiği bir daire çizilir.	2. Adım: Pergel işaretli noktalara yerleştirilerek kesişen iki yay çizilir.	3. Adım: Yayların kesiştiği iki noktayı birleştiren bir çizgi çizilir.
		
4. Adım: Pergel yuvarlak içine alınmış kesişim noktasına yerleştirilerek ilk dairenin tepe noktasını ve yatay eksenini kesen bir yay çizilir.	5. Adım: Pergel dairenin üst noktasına yerleştirilerek bir önceki adımda çizilen yay ve yatay eksenini kesen bir yay daha çizilir.	6. Adım: Dairenin üst noktası ile yayın daireyi kestiği kesişim noktaları birleştirilerek beşgenin çatısı oluşturulur.
		
7. Adım: Pergel kesişim noktalarına konularak dairenin üst noktasını kesen bir çift yay daha oluşturulur ve beşgen tamamlanır.	8. Adım: Beşgenin merkezinden başlayarak beşgenin tepe noktalarını birleştiren çizgiler çizilir.	9. Adım: Beşgenin merkezinden başlayarak beşgenin kenarlarını ikiye bölen ve daireyi kesen çizgiler çizilir.

Çizelge 5.2. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

10 	11 	12 
10. Adım: Beşgenin merkez noktasından, keşişim noktalarının birinden ve bu keşişim noktasının sağındaki noktadan geçen bir yay çizilir ve işlem tekrarlanır.	11. Adım: Gereksiz çizgiler silinir. Beşgen 72 derece döndürülerek bir beşgen daha çizilir.	12. Adım: Beşgenlerin birbirini kestiği noktalardan geçen ve daireyi kesen yaylar çizilir.
13 	14 	15 
13. Adım: Gereksiz çizgiler silinir.	14. Adım: Yayları kesen noktaları birleştiren iki beşgen daha çizilir.	15. Adım: Beşgenlerin birbirini kestiği noktalardan geçen ve dıştaki beşgeni kesen yaylar çizilir.
16 	17 	18 
16. Adım: Gereksiz çizgiler silinir.	17. Adım: Yayları kesen noktaları birleştiren iki beşgen daha çizilir.	18. Adım: Beşgenlerin birbirini kestiği noktalardan geçen ve dıştaki beşgeni kesen yaylar çizilir.

Çizelge 5.2. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

19 	20 	21 
19. Adım: Yayları kesen noktaları birleştiren iç içe geçen on adet beşgen daha çizilir.	20. Adım: Beşgenlerin birbirini kestiği noktalardan geçen ve dıştaki beşgeni kesen yaylar çizilir.	21. Adım: Gereksiz çizgiler silinerek desen oluşturulur.

Değerlendirme

Analiz çiziminde görüldüğü gibi bezemenin yapısında birçok farklı boyutta birbiri ile bağlantılı, birbirini takip eden yaylar, beşgen ve beşgenin oluşturduğu on kollu yıldızlardan oluşmaktadır. Bu geometrik şekiller birbirine eklemlenerek karmaşık kurgu oluşturulur. Yaylar, beşgenler ve beşgenin oluşturduğu on kollu yıldızlar ile oluşturulan bu motif, bu adımların sürekli devam ettirilmesiyle sonsuz çevrim oluşturabilir. Sonuç itibarı ile 21 adımda analiz edilen bu bezeme birbirine eklemlenen farklı geometrik şekillerin büyüüp küçülmesi ile kendine benzer yapılardan oluşan fraktal bir kurguya sahiptir.

3. Sivas Gökmedrese bezemesi:



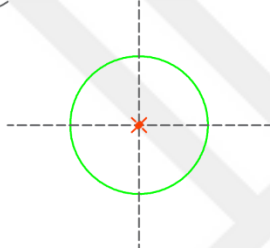
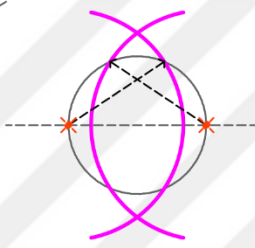
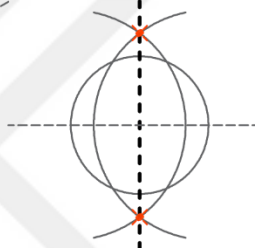
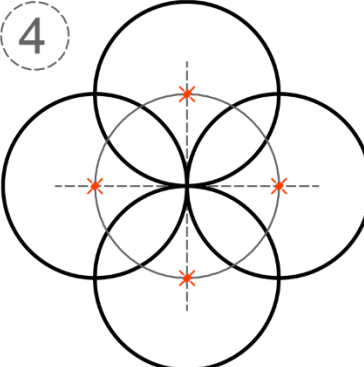
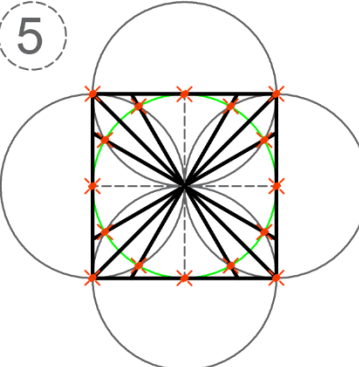
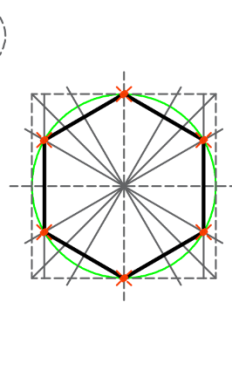
Resim 5.15. Çeşmenin üzerinde bulunan pencerenin üst kısmında yer alan geometrik karakterli çiçeksi bir motif



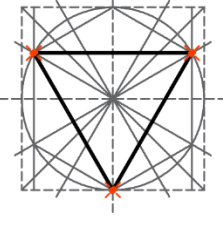
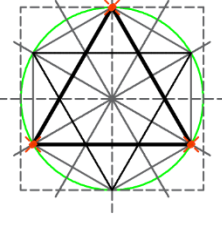
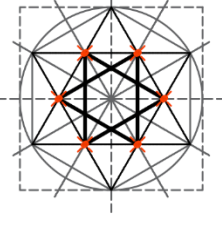
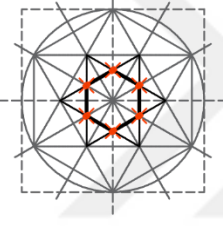
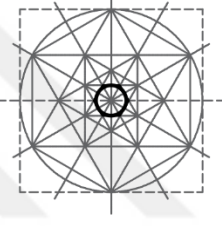
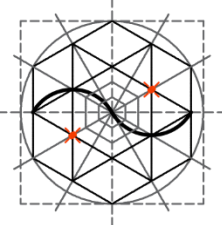
Şekil 5.7. Çiçek şeklinde geometrik bezeme detayı ve çizimi

Kurgu fraktal açıdan ele alındığında vektörel bir fraktaldır, çizgilerden oluşur; bezemenin oluşumu açısından ele alındığında ise merkezi gelişen çokgen tabanlı kompozisyon sınıfındandır. Tekrar etmeyen en küçük birimi ise altıgen olduğundan altıgen tabanlı gelişmiş bir fraktaldır. Bezemeyi analiz ederken ilk olarak bezemenin başlangıç biçimi belirlenmiştir. Daha sonraki adımlarda ise bu başlangıç biçiminin, parametrik açıdan belli kurallar çerçevesinde farklı biçimlerin eklenmesi ile başka biçime dönüştüğü analiz edilmiş; bu dönüşümde kullanılan kurallar açıklanmıştır.

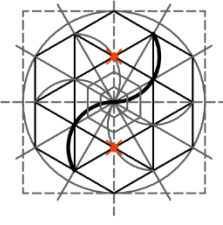
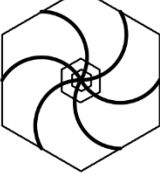
Çizelge 5.3. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

		
1. Adım: Bir daire çizilir.	2. Adım: Pergel kesişim noktalarına yerleştirilerek, iki yay çizilir.	3. Adım: Yayların alt ve üst noktalarını birleştiren bir çizgi çizilir.
		
4. Adım: Merkezi kesişim noktalarından geçen dört adet eşit daire çizilir.	5. Adım: Dairelerin birbirini kestiği noktalar birleştirilerek bir kare çizilir ve karenin merkezinden dairelerin birbirini kestiği noktaları birleştiren çizgiler çizilir. Ayrıca karenin köşegenlerini birleştiren iki çizgi çizilir.	6. Adım: Çizgilerin daire ile kesiştiği noktalardan geçen bir altıgen çizilir.

Çizelge 5.3. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

7 	8 	9 
7. Adım: Altıgenin içine şekildeki kesişim noktalarından geçen bir üçgen çizilir.	8. Adım: Kesişim noktaları kullanılarak bir üçgen daha çizilir.	9. Adım: Kesişim noktalarından oluşan altıgen ile iki adet üçgen daha çizilir.
10 	11 	12 
10. Adım: Üçgenlerin kesişim noktalarından bir altıgen elde edilir.	11. Adım: Kesişim noktalarından oluşan altıgen ile iki adet üçgen daha çizilir.	12. Adım: Üçgenlerin kesişim noktalarından oluşan altıgenin içinde kalacak şekilde bir daire çizilir.
13 	14 	15 
13. Adım: Kesişim noktalarından oluşan bir altıgen daha çizilir.	14. Adım: Kesişim noktalarını kullanarak en dıştaki altıgen merkezinden dikey kenara uzanan (en dıştaki üçgenin kestiği) bir yay çizilir.	15. Adım: Kesişim noktaları değiştirilerek işlem tekrarlanır.

Çizelge 5.3. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

16 	17 	18 
16. Adım: Kesişim noktaları değiştirilerek işlem tekrarlanır.	17. Adım: Desenin yardımcı çizgiler olmadan görünüşü çizilir.	18. Adım: Aynı işlem saat yönünün tersinde tekrarlanır.
19 	20 	21 
19. Adım: Kesişen iki yay küçük altıgenin köşe noktalarına taşınır.	20. Adım: Büyük altıgenin köşelerinden geçecek şekilde orantılı iki eşit yay çizilir.	21. Adım: Gereksiz çizgiler silinerek desenin son hali çizilir.

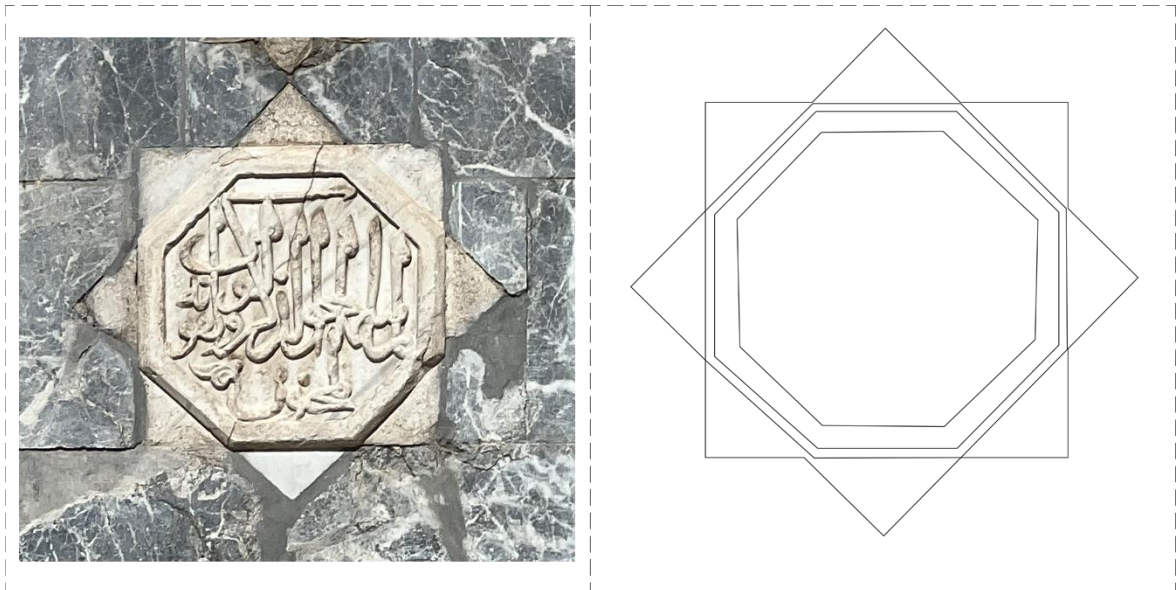
Değerlendirme

Analiz çiziminde görüldüğü gibi bezemenin yapısında birçok farklı boyutta birbiri ile bağlantılı, birbirini takip eden altıgenler, üçgenler, yaylar, altıgen ve üçgenin oluşturduğu altı kollu yıldızlardan oluşmaktadır. Bu geometrik şekiller birbirine eklenerek karmaşık kurgu oluşturulur. Altıgenler, üçgenler, yaylar, altıgen ve üçgenin oluşturduğu altı kollu yıldızlar ile oluşturulan bu motif, bu adımların sürekli devam ettirilmesiyle sonsuz çevrim oluşturabilir. Sonuç itibari ile 21 adımda analiz edilen bu bezeme birbirine eklenen farklı geometrik şekillerin büyüüp küçülmesi ile kendine benzer yapılardan oluşan fraktal bir kurguya sahiptir.

4. Sivas Gökmedrese bezemesi:



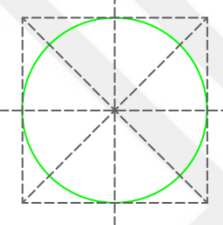
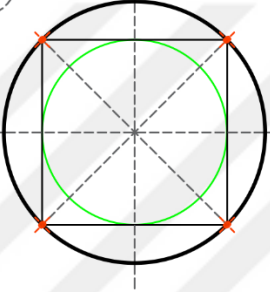
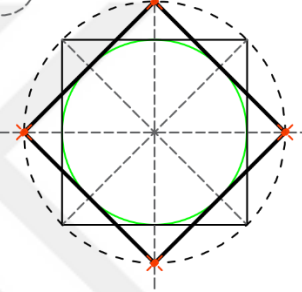
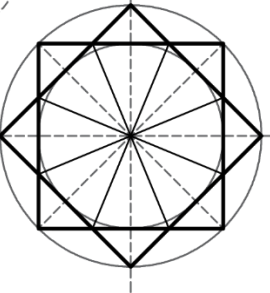
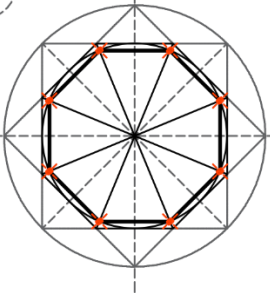
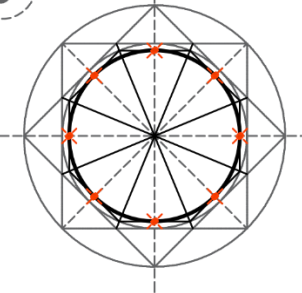
Resim 5.16. Hayat ağacının altında bulunan kitabenin dış konturünde yer alan geometrik karakterli bir motif



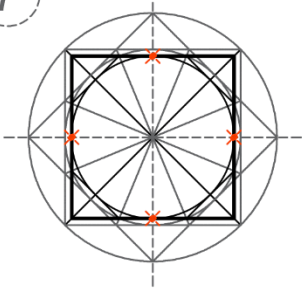
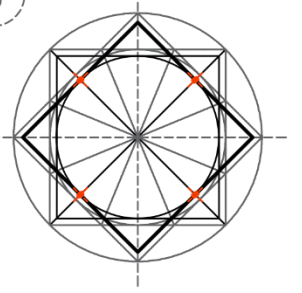
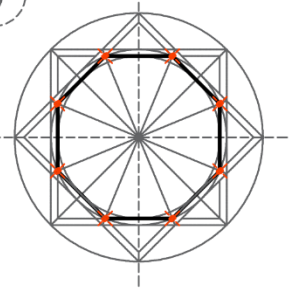
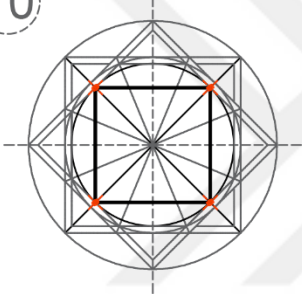
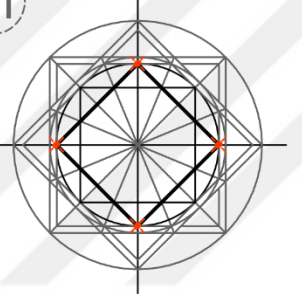
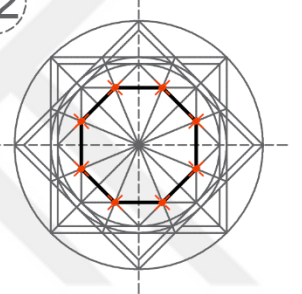
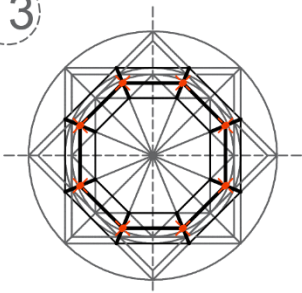
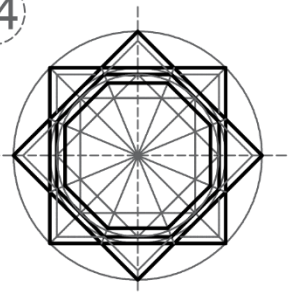
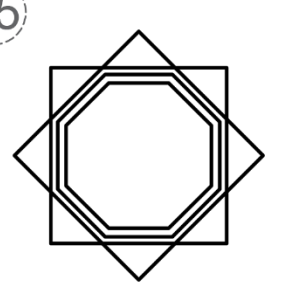
Şekil 5.8. Geometrik bezeme detayı ve çizimi

Kurgu fraktal açıdan ele alındığında vektörel bir fraktaldır, çizgilerden oluşur; bezemenin oluşumu açısından ele alındığında ise merkezi gelişen çokgen tabanlı kompozisyon sınıfındandır. Tekrar etmeyen en küçük birimi ise kare olduğundan kare tabanlı gelişmiş bir fraktaldır. Bezemeyi analiz ederken ilk olarak bezemenin başlangıç biçimi belirlenmiştir. Daha sonraki adımlarda ise bu başlangıç biçiminin, parametrik açıdan belli kurallar çerçevesinde farklı biçimlerin eklenmesi ile başka biçime dönüştüğü analiz edilmiş; bu dönüşümde kullanılan kurallar açıklanmıştır.

Çizelge 5.4. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

		
1. Adım: Bir karenin içine bir daire çizilir. Karenin köşegenlerinden geçen ve yatay-dikey ekseninde kesişen dört çizgi çizilir.	2. Adım: Karenin dört köşesinden teğet geçen bir daire daha çizilir.	3. Adım: Büyük daireyi yatay ve dikey ekseninde kesen noktalardan geçen bir kare çizilir.
		
4. Adım: İlk kare ve ikinci kare birleştirilerek şekildeki gibi kalınlaştırılır.	5. Adım: Birleşen karelerin kesiştiği noktalara merkezden başlayan birer çizgi çizilir, küçük daire ile kesiştiği noktalar birleştirilerek bir sekizgen elde edilir.	6. Adım: Sekizgenin kenarlarının orta noktalarından teğet geçen bir daire çizilir.

Çizelge 5.4. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

7 	8 	9 
7. Adım: Daireye yatay ve dikey eksenden geçen dıştan teğet bir kare çizilir.	8. Adım: Aynı daireye karenin köşegenlerinden geçen ve dıştan teğet olan bir kare çizilir.	9. Adım: İki kare birleştirilerek şekildeki gibi kalınlaştırılır ve bir sekizgen elde edilir.
10 	11 	12 
10. Adım: Daireyi köşegenlerden kesen içten teğet bir kare çizilir.	11. Adım: Daireyi yatay ve dikey eksenlerden kesen içten teğet bir kare daha çizilir.	12. Adım: İki kare birleştirilerek şekildeki gibi kalınlaştırılır ve bir sekizgen elde edilir.
13 	14 	15 
13. Adım: En dıştaki ve en içteki sekizgenlerin köşelerini birleştiren çizgiler çizilir, bu çizgilerin orta noktası işaretlenir. İşaretlenen noktalar birleştirilerek bir sekizgen daha elde edilir.	14. Adım: Şekildeki çizgiler kalınlaştırılır.	15. Adım: Gereksiz çizgiler silinerek desenin son hali oluşturulur.

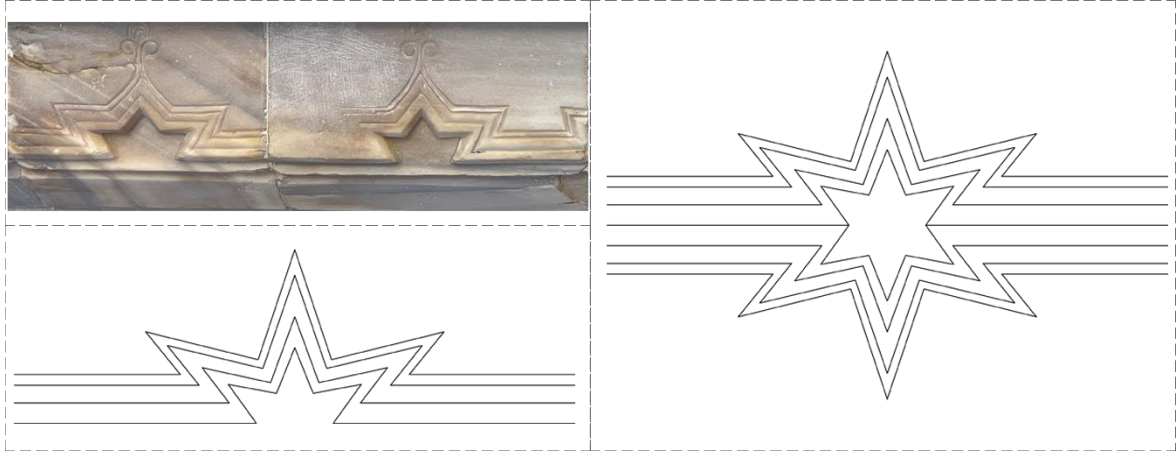
Değerlendirme

Analiz çiziminde görüldüğü gibi bezemenin yapısında birçok farklı boyutta birbiri ile bağlantılı, birbirini takip eden kareler, daireler, bu iki ana geometrik şeklin oluşturduğu sekizgenler ve sekiz kollu yıldızlardan oluşmaktadır. Bu geometrik şekiller birbirine eklenerek karmaşık kurgu oluşturulur. Kare, daire, sekizgen ve sekiz kollu yıldızlar ile oluşturulan bu motif, bu adımların sürekli devam ettirilmesiyle sonsuz çevrim oluşturabilir. Sonuç itibari ile 15 adımda analiz edilen bu bezeme birbirine eklenen farklı geometrik şekillerin büyüüp küçülmesi ile kendine benzer yapılardan oluşan fraktal bir kurguya sahiptir.

5. Sivas Gökmedrese bezemesi:



Resim 5.17. İç avluda bulunan eyvanın etrafını üç yönlü çevreleyen geometrik karakterli bordür



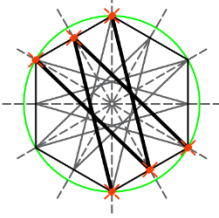
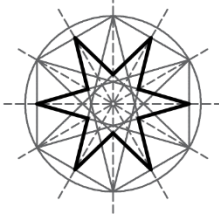
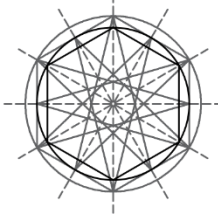
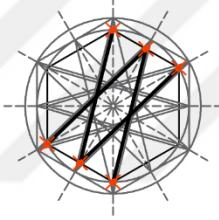
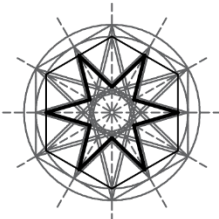
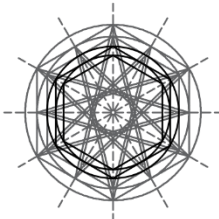
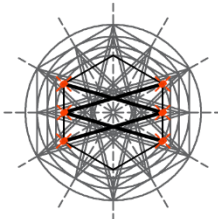
Şekil 5.9. Bordür detayı ve çizimi, bordürün tamamlanmış hâli

Kurgu fraktal açıdan ele alındığında vektörel bir fraktaldır, çizgilerden oluşur; bezemenin oluşumu açısından ele alındığında ise doğrusal gelişen kompozisyonlardan geometrik kompozisyonlu bordür sınıfındandır. Kompozisyon açısından yarım kalmış gibi görünen bu bordürü tamamladığımızda ise merkezi gelişen çokgen tabanlı kompozisyon oluşmaktadır. Tekrar etmeyen en küçük birimi ise altıgen olduğundan altıgen tabanlı gelişmiş bir fraktaldır. Bezemeyi analiz ederken ilk olarak bezemenin başlangıç biçimi belirlenmiştir. Daha sonraki adımlarda ise bu başlangıç biçiminin, parametrik açıdan belli kurallar çerçevesinde farklı biçimlerin eklemlenmesi ile başka biçime dönüştüğü analiz edilmiş; bu dönüşümde kullanılan kurallar açıklanmıştır.

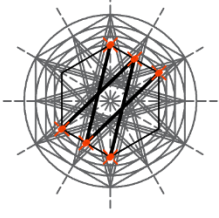
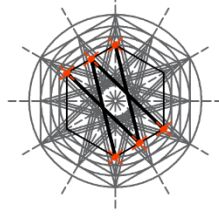
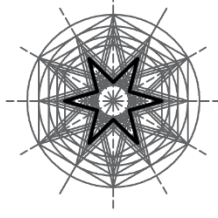
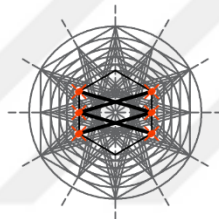
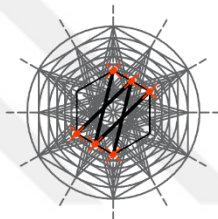
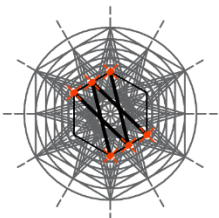
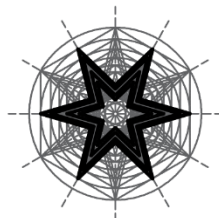
Çizelge 5.5. Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

1	2	3
1. Adım: Bir daire içine daireyi kesen bir altıgen ve altıgenin köşegenlerinden geçen yardımcı çizgiler çizilir.	2. Adım: Altıgenin birbirine paralel kenarları üzerinde işaretlenen noktalardan geçen V şeklinde çizgiler çizilir.	3. Adım: İkinci adım diğer iki paralel kenar için şekildeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.

Çizelge 5.5. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

4 	5 	6 
4. Adım: İkinci ve üçüncü adımlardaki işlem şeklindeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.	5. Adım: İkinci, üçüncü ve dördüncü adımlardaki kalın çizilen çizgiler birleştirilerek ve gereksiz olanlar silinerek bir yıldız oluşturulur.	6. Adım: Altıgenin içine altıgene teğet bir daire ve dairenin içine bir altıgen daha çizilir.
7 	8 	9 
7. Adım: Altıgenin birbirine paralel kenarları üzerinde işaretlenen noktalardan geçen V şeklinde çizgiler çizilir.	8. Adım: Yedinci adım diğer iki paralel kenar için şeklindeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.	9. Adım: Yedinci ve sekizinci adımlardaki işlemler şeklindeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.
10 	11 	12 
10. Adım: Yedinci, sekizinci ve dokuzuncu adımlardaki kalın çizilen çizgiler birleştirilerek ve gereksiz olanlar silinerek bir yıldız oluşturulur.	11. Adım: Altıgenin içine altıgene teğet bir daire ve dairenin içine bir altıgen çizilir ve bu işlem bir kere daha tekrarlanır.	12. Adım: Son çizilen altıgenin birbirine paralel kenarları üzerinde işaretlenen noktalardan geçen V şeklinde çizgiler çizilir.

Çizelge 5.5. (devam) Seçilen geometrik karakterli bezemenin analizi

13 	14 	15 
13. Adım: Onikinci adım diğer iki paralel kenar için şekildeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.	14. Adım: Onikinci ve onüçüncü adımlardaki işlemler şekildeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.	15. Adım: Onikinci, onüçüncü ve ondördüncü adımlardaki kalın çizilen çizgiler birleştirilerek ve gereksiz olanlar silinerek bir yıldız oluşturulur.
16 	17 	18 
16. Adım: Altıgenin içine altıgene teğet bir daire ve dairenin içine bir altıgen çizilir ve bu işlem bir kere daha tekrarlanır.	17. Adım: Son çizilen altıgenin birbirine paralel kenarları üzerinde işaretlenen noktalardan geçen V şeklinde çizgiler çizilir.	18. Adım: Onyedinci adım diğer iki paralel kenar için şekildeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.
19 	20 	21 
19. Adım: Onyedinci ve onsekizinci adımlardaki işlem şekildeki kesişim noktalarından geçecek şekilde tekrarlanır.	20. Adım: Onyedinci, onsekizinci ve ondokuzuncu adımlardaki kalın çizilen çizgiler birleştirilerek ve gereksiz olanlar silinerek bir yıldız oluşturulur.	21. Adım: Gereksiz çizgiler silinerek desenin son hali çizilir.

Değerlendirme

Sonuç olarak da analiz çiziminde görüldüğü gibi bezemenin yapısında birçok farklı boyutta birbiri ile bağlantılı, birbirini takip eden daireler, altıgenler, altıgen ve ikizkenar üçgenin oluşturduğu altı kollu yıldızlardan oluşmaktadır. Bu geometrik şekiller birbirine eklenerek karmaşık kurgu oluşturulur. Daireler, altıgenler, altıgen ve ikizkenar üçgenin oluşturduğu altı kollu yıldızlar ile oluşturulan bu motif, bu adımların sürekli devam ettirilmesiyle sonsuz çevrim oluşturabilir. Sonuç itibari ile 21 adımda analiz edilen bu bezeme birbirine eklenenen farklı geometrik şekillerin farklı boyutlarda büyüyüp küçülmesi ile kendine benzer yapılardan oluşan fraktal bir kurguya sahiptir.





6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fraktal geometri kavramı, Euclidyen olmayan karmaşık geometrideki nesneleri açıklamasının yanı sıra mimari analizde de yol gösterici olabilir, hatta çözümün parçası olarak kullanılabilir. Aslında çok karmaşık gibi görünen bu bezemelerin temel geometrik elemanların oransal tekrarı gibi basit kurallardan oluşması fraktal düzenin varlığını ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında da karmaşık gibi görünen geometrik bezemelerin çiziminde fraktal geometrinin kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışmada amaç doğrultusunda, kullanılan fraktal analiz yönteminin sadece mimari yapıların plan ve cephe düzenlerinde değil süsleme detaylarında da kullanılabileceği görülmüştür.

Fraktal geometri bir tasarımı anlamak, tasarımın dilini çözmek ve tasarımı oluşturan kuralların analiz edilmesi için etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Fraktal geometri ve fraktal boyut kavramları farklı şekillerde ele alınabilir; bir kurguya ait fraktal geometri, kurguyu analiz etmek için kullanılabilirken, var olan kurgudan hareketle yeni bir kurgu tasarlamak için de kullanılabilir. Fraktaller, mimaride de farklı bakış açıları ile ele alınabilmektedir. Yerleşim ölçeğinde bakıldığında vaziyet planı olarak şehrin dokusunu analiz etmek için kullanılabilir. Bina ölçeğinde bakıldığında kütle oranları, plan, kesit ve strüktürel oranları, cephesel elemanların oranlarını ya da bu çalışmada olduğu gibi tarihi süreçlerde oluşmuş detayları (bezemeleri) analiz etmek için kullanılabilir. Geçmiş dönemlerde yapılmış yapıların farklı ölçeklerde (yerleşim ve bina ölçeği) analizinde kullanılabilen fraktal geometri, mimarlık tarihini yeniden okuma olanağı sağlar. Bu bakış açısı ile de farklı dönem ve coğrafyalardaki geometrik gelişmeleri gözler önüne serer.

Geometrik bezemeler, doğanın matematiği gibi karmaşık görünse de bütünü oluşturan temel şekiller basittir. Temelinde düzensizlik içinde düzeni içeren bezemelerin kendi içindeki uyumu, doğadaki ahengin bir yansımasıdır. Bu çalışmada, doğadaki karmaşık yapıları anlayabilmek için kullanılan fraktal analizin; aynı şekilde karmaşık geometrik örüntülerin analizinde de kullanılabileceği öngörülmüştür. Çalışmada, geometrik bezemelerin bolca kullanıldığı ve bezemeler sayesinde İslam dünyasına eşsiz eserler verilen bir dönem olan Anadolu Selçuklu Dönemi seçilmiştir. Anadolu Selçuklu Dönemi eserlerinde kendine has bir süslemede tekniği olarak kullanılan geometrik bezemeler ile yapıları bakan kişilerin estetik haz alması amaçlanmış bu amaç doğrultusunda bezemeler ile yapıların adeta görsel şölene dönüşmesi sağlanmıştır. Bu bezemelerin örüntüsünde yer alan parçalar

arasında bulunan ölçü, ritim, ahengin oluşturduğu düzenin kendi içindeki mükemmel uyumu, tek bir yaratıcının varlığını tasvir etmektedir.

Doğadaki karmaşık yapıları basit kurallar yardımı ile çözümleyerek anlamamıza yardımcı olan fraktallerin, aynı yöntem ile karmaşık geometrik bezemeleri anlamamıza da olanak sağlaması amaçlanmıştır. Anadolu Selçuklu Dönemi eserlerinden biri olan Sivas Gökmedrese’de bulunan geometrik taş bezemelerin analizi yapılarak bu karmaşık bezemelerin kurgusunun nasıl olduğu irdelenmiş, bezemelerde fraktal kurgunun varlığı araştırılmıştır. Analiz edilen geometrik bezemeleri incelediğimizde kurgu ilk bakışta karmaşık gelir, çözümlenmesi zorlayıcı görülür. Fakat detaylı olarak incelendiğinde aslında basit geometrik şekillerin, farklı ölçeklerde, belirli kurallar dahilinde birbirine eklenilerek oluşturduğu fark edilir. Bu kuralların fraktal kurgu ile bir ilişkisinin bulunup bulunmadığını anlamak için bezemeyi oluşturan ve kendini tekrar etmeyen daire, kare, üçgen, beşgen, altıgen gibi en basit geometrik şekil bulunmalıdır. Bu en basit geometrik şekil bir eksene, koordinat sistemine yerleştirilerek oluşum kuralları analiz edildiğinde; geometrik elemanın belli aralıklarla kendi içinde tekrarı, aynı geometrik elemanın, farklı ölçekte veya farklı geometrik elemanların aynı ölçeklerde ya da farklı ölçeklerde eklenmesi gibi yapısal tekrarlar karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca tekrar eden geometrik şekillerin bir eksene, bir noktaya (bu nokta geometrik kesişim noktaları olabilir) göre kaydırılması, yansımaları, döndürülmesi gibi çeşitli kuralların uygulanması sonucu bu karmaşık geometrik kompozisyonların oluşturduğu görülmektedir.

Çalışmanın amacı doğrultusunda yapılan çizimlerle analiz edilen Sivas Gökmedrese’de bulunan geometrik taş bezemelerin, yapısındaki oransal ilişkilerle fraktal bir kurguya sahip olduğu açıkça görülmektedir. Analiz çizimlerinin sonunda yapılan değerlendirmelerde bezemelerde fraktal kurgunun ne şekilde kullanıldığı ifade edilmiştir. Seçilen geometrik bezemelerin kurgusu analiz edildiğinde; basit bir şekilde Klasik geometri, Euclid geometrisinde yer alan temel geometrik şekillerin olduğu gibi yan yan getirilerek (üç adet kareyi yan yana koyarak bir düzen oluşturulması gibi) kurguları oluşmamıştır. Geometrik şekiller tekrar gibi belirli kurallar ile farklı ölçeklerde, farklı şekiller ile birlikte kullanılarak kurgu, bütünü oluşturmuştur. Analiz edilen bezemeler incelendiğinde fraktalin dört ana kuralının bezemelerin oluşum kurgusunda bulunduğu görülmektedir: fraktal kesir, özbenzerlik, tekrar ve çevrim sayısı. Bezemelerde var olan fraktal bir kurgunun tekrar özelliği göstermesi, yapısında bulunan geometrik elemanların aynı ölçekte kendini

yinelemesi ile kurguyu oluşturmasıdır, tekrar özelliğinde geometrik şekillere döndürme, yansıtma gibi kurallar uygulanarak yeni bir düzen elde edilebilmektedir. Bezemelerde var olan fraktal bir kurgunun kesirli oran ile ifade edilmesi yapısında bulunan geometrik elemanların sadece tam sayı ile değil; kesirli oranlarda da ölçeklenebilmesidir. Bezemelerde var olan fraktal bir kurgunun yapısı incelendiğinde belli kuralların sürekli tekrar edilmesinin karşılığı olan, çevrim sayısı geometrik elemanların bulunduğu ölçek ile ilişkilidir; çevrim sayısının değişmesi ile farklı süslemeler elde edilebilmektedir. Ayrıca geometrik bir bezemede, sonsuz çevrim yapılabilmektedir. Bezemelerde var olan fraktal bir kurgunun kendine benzer özellik göstermesi, bezemenin bütünü ile en küçük birimi gibi farklı katmanlarda kendini gösteren benzerlik ilişkisidir.

Bu çalışmada farklı özelliklerde iki boyutlu geometrik karakterli bezemeler, bordür şeklinde oluşturulan geometrik bezemeler, bitkisel karakterli geometrik bezemeler analiz edilmiştir. Analiz edilen bezemelerin hepsi vektörelidir. Çünkü analiz edilen tüm bezemeler iki boyutludur. Bütün analizlerde vektöre bağlı bir döndürme olayı vardır. Düzeni sağlayan şey de aslında bir dairenin etrafında gerçekteşen döndürme olayıdır. Örneğin analiz edilen 4. bezemeye bakarsak kare tabanlı olan bezemede karenin bir dairenin etrafında dönerek düzeni sağladığı görölmektedir. Yani düzeni sağlayan şey dairesel harekettir. Bu döndürme işlemi ile yeni bir şekil olan sekizgen elde edilir. Seçilen bezemeler fraktal geometri kullanılarak hem şekil hem de düzen üzerinden analiz edilmiştir. Ayrıca çalışmada genel olarak, bezeme seçimi yapılırken dairenin etrafında dönme yeteneğine sahip olan çokgen tabanlı olmalarına dikkat edilmiştir.

Fraktal analiz yöntemi kullanılarak aynı ya da farklı dönemde yapılmış başka bir İşlami yapının süslemelerinin, iki boyutlu ya da mukarnas gibi üç boyutlu bezemelerinin analizinin yapılabileceği düşünölmektedir. Sadece Sivas Gökmedrese’de bulunan geometrik taş bezemelerinin fraktal yöntem ile analiz edildiği bu çalışmada çıkarılan sonuçların, tüm Anadolu Selçuklu taş bezemelerine genellenemeyeceği düşünölmektedir. Ancak bu çalışma ile analizde yapılan örneklerin farklı Anadolu Selçuklu Dönemi örnekleri ile karşılaştırılması sonucu, bu dönemde yapılan tüm örneklere dair genel sonuçlara ulaşabilmek için bir adım oluşturulmuştur. Alan çalışmasında yapılan tüm analizler özgün olarak yapılmıştır. Bu çalışmanın İşlami geometrik bezemelerin kurgularının oluşma kuralları analiz edildiğinde geometrik dillerinin fraktal geometri ile açıklanabileceği başka çalışmalara yardımcı olacağı öngörülmektedir. Bina bilgisi, mimarlık tarihi, geometri ve matematik gibi farklı bilim ve

disiplinler ile beraber çalışmanın ve çalışmada izlenilen yöntemin benzer incelemeler yaparken araştırmacılara farklı bakış açıları sunabileceğine inanılmaktadır.



KAYNAKLAR

- Algan, N. (2008). *Anadolu Selçuklu Dönemi Mimarisi Taş Yüzey Süslemelerinin İncelenmesi ve Seramik Yorumları*. Sanatta Yeterlilik Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 35-60.
- Akhtaruzzaman, M., Shafie, A. A. (2011). Geometrical Substantiation of Phi, the Golden Ratio and the Baroque of Nature, Architecture, Design and Engineering. *International Journal of Arts*, 1(1), 1-22.
- Alik, B. (2015). *Mimarlıkta Tasarlama Yöntemleri ve Fraktal Tasarımlar Üzerine Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 36-64.
- Alik, B., Ayyıldız, S. (2016, 3-4 Kasım). *Fractals And Fractal Design in Architecture*. 13. International Conference ‘Standardization, Prototypes and Quality: a Means of Balkan Countries’ Collaboration, Romania, 282-291.
- Arslan, M., Özen Yavuz A. (2022, 17-18 Ocak). *Mimaride Geometrik Kuralların Farklı Kullanım Alanları: Altın Oran ve Fraktal Geometri*. 2. Ispen Ulusal Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Adana, 1-9.
- Arslan, Selçuk, S., Gönenç Sorguç, A. ve Er Akan, A. (2009). Altın Oranla Tasarlamak: Doğada, Mimarlıkta ve Yapısal Tasarımda Φ Dizini. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 10(2), 149-157.
- Aslanapa, O. (1997). *Anadolu’da Türk Sanatı*. (2. Baskı). İstanbul: Remzi Kitapevi, 148.
- Beytekin, C. (1996). *Cazın Piyano Üzerinden Matematiksel Analiz ile Fraktal Geometri ile İlişkisinin Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-24.
- Bökü, A. (2009). *Biçim Grameri Türetme Yönteminin Anadolu Selçuklu Geometrik Bezemeleri Üzerinde Denenmesi (Örüntü Türetme Yöntemi Olarak Biçim Grameri)*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 26-31.
- Bovill, C. (1996). *Fractal Geometry in Architecture and Design*. (1. Baskı). Berlin: Birkhauser, 194.
- Caner, Ç., Bakırer, Ö. (2009). Anadolu Selçuklu Dönemi Yapılarından Medrese ve Camilerde Portal. *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 10(10), 13-30.
- Ching, F. D. K. (2007). *Architecture: Form, Space and Order*. (3. Baskı). Canada: John Wiley & Sons, Inc, Wiley, 192-196.
- Değirmenci, F. B. (2009). *Fraktal Geometri ve Üretken Sistemlerle Mimari Tasarım*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 7-39

- Ediz, Ö. (2003). *Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 49-75.
- Ediz, Ö., Çağdaş, G. (2005). Mimari Tasarımda Fraktal Kurguya Dayalı Üretken Bir Yaklaşım. *İTÜ Dergisi/a, Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 71-83.
- Eryılmaz, H. İ., Selimgil, B. (2021). İslam Eserlerinde Kullanılan Altıgen Tabanlı Geometrik Desenlerin Çözümlemesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım. *Mizânü'l-Hak: İslami İlimler Dergisi*, 12, 217-254.
- Gertik, A. (2018). *Biomimetik Tasarımda Fraktal Yaklaşımlar: Le Corbusier ve Patrik Schumacher Çalışmaları Üzerinde Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme*. Doktora Tezi, Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, 80-93.
- Goudarzi, M., Bemanian, M., Leylian, A. (2020). Geometrical Analysis of Architectural Drawings in the Shah-Mosque Isfahan. *Curved and Layered Structures*, 7(1), 68-79.
- Gözübüyük, G. (2007). *Farklı Mimari Dillerde Fraktallere Dayalı Form Üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 35-58.
- Gürani, F. Y., Yalçın, S. ve Gezicioğlu, F. Y. (2021). Gotik Mimarinin Moda Tasarımına Yansımaları: Guo Pei Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(77), 514-526.
- İbrahim, M. M., Krawczyk, R. J. (2001). Generating Fractals Based on Spatial Organizations. *Illinois Institute of Technology College of Architecture*, 8(2), 1-9.
- İnternet: Analiz tanımı. (Mart, 2016). URL-1: <https://analiz.nedir.org/>, Son Erişim Tarihi: 04.06.2020.
- İnternet: Çubukçu, B. (Aralık, 2013). Altın oran. URL-2: <http://www.felsefetasi.org/altin-oran/>, Son Erişim Tarihi: 08.06.2020.
- İnternet: Altın dikdörtgen çizimi. (Kasım, 2014). URL-3: <http://www.aoder.org.tr/tr/altin-oran/36.aspx>, Son Erişim Tarihi: 08.06.2020.
- İnternet: Doğada bulunan altın oran. (Fotoğraf). URL-4: <https://www.galaktikhaber.com/single-post/2016/12/21/fibonacci-do%C4%9Fa-ve-bilimin-muhte%C5%9Fem-uyumu>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2020.
- İnternet: Doğada bulunan altın oran. (Fotoğraf). (Eylül, 2013). URL-5: <https://islamdergisi.com/genel/dogada-fibonacci-dizilimi-ve-yaratilis/>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2021.
- İnternet: Elam, K. (Temmuz, 2013). Doğada bulunan altın oran. (Fotoğraf). URL-6: <https://www.behance.net/gallery/10026583/Corbusiers-Villa-Savoye>, Son Erişim Tarihi: 08.04.2021.
- İnternet: Şengül, S. (Nisan, 2020). Doğada bulunan altın oran. (Fotoğraf). URL-7: <https://aserhatsengul.blogspot.com/2020/04/fraktal-geometri-nedir.html>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2021.

- İnternet: Kara, B. (Ocak, 2021). Doğada bulunan fraktaller. (Fotoğraf). URL-8: <https://ungo.com.tr /2021/01/fraktal-nedir/>, Son Erişim Tarihi: 17.06.2021.
- İnternet: Ceylan, E. (Ocak, 2014). Doğada bulunan fraktaller. (Fotoğraf). URL-9: <https://onedio.com/haber/ dogadagorulen-en-hipnotize-edici-29-fraktal-234554>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2021.
- İnternet: Doğada bulunan fraktaller. (Fotoğraf). (Mart, 2016). URL-10: <http://arch365bilgi.blogspot.com/ 2016/03/fraktal-kurguya-dayal-tasarm-ve-mimari.html>, Son Erişim Tarihi: 25.06.2021.
- İnternet: Paris opera binası. (Fotoğraf). (Mayıs, 2009). URL-11: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Paris_Opera_full_frontal_architecture%2C_May_2009.jpg, Son Erişim Tarihi: 13.07.2021.
- İnternet: Krzykowski, M. (Kasım, 2008). Sky village tasarım kurgusu. (Fotoğraf). URL-12: <https://www.dezeen.com/2008/11/04/ r%C3%B8dovre-skyscraper-by-mvrdv-and-adept/>, Son Erişim Tarihi: 13.07.2021.
- İnternet: Sultanahmet Camisi planı. (Fotoğraf). URL-13: <http://www.sultanahmetcamii.org/tr/yapi-ve-formu/>, Son Erişim Tarihi: 22.07.2021.
- İnternet: Agri chapel iç mekânı ve kesiti. URL-14: <https://www.archdaily.com/884875/ agri-chapel-yu-momoeda-architecture-office>, Son Erişim Tarihi: 08.08.2021.
- İnternet: Notre Dame Katedrali gül penceresi. (Fotoğraf). (Ocak, 2007). URL-15: https://tr.wikipedia.org/wiki/Notre_Dame_Katedrali#/media/Dosya:NotreDame_Sul_1.jpg, Son Erişim Tarihi: 16.08.2021.
- İnternet: Ertuğrul, E. (Nisan, 2019). Notre Dame Katedrali iç mekân kurgusu. (Fotoğraf). URL-16: <https://arkeofili.com/notre-dame-katedrali-devrim-napoleon-ve-yangin/>, Son Erişim Tarihi: 16.08.2021.
- İnternet: Institut du Monde Arabe cephesi. (Arap Dünyası Enstitüsü). (Fotoğraf). (Eylül, 2010). URL-17: <http://mimdap.org/2010/09/jean-nouvelden-goz-alyocy-muze-cephesi/>, Son Erişim Tarihi: 28.08.2021.
- İnternet: Anagni Katedrali zemini. (Fotoğraf). URL-18: <https://i.pinimg.com/originals/8d/73/b3/8d73b39da29d6f9b8f5d02622dcadfc5.jpg>, Son Erişim Tarihi: 02.07.2021.
- İnternet: Sivas Gökmedrese mimarisi. (Şubat, 2022). URL-19: <https://www.fikriyat.com/galeri/tarih/sivastaki-selcuklu-muhru-gok-medrese/2>, Son Erişim Tarihi: 08.06.2022.
- İnternet: Sivas Gökmedrese mimarisi. (Fotoğraf). (Kasım, 2020). URL-20: <https://www.tarihcantasi.com/sivas-gok-medrese-tarihi/>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2022.
- İnternet: Sivas Gökmedrese güney duvarı. (Fotoğraf). (Aralık, 2019). URL-21: <https://www.istenci.com/2019/12/gok-medrese.html>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2022.

- İnternet: Sivas Gökmedrese taç kapısı. URL-22: <https://www.kulturportali.gov.tr/portal/tasa-yansiyan-sanat-tac-kapilar>, Son Erişim Tarihi: 18.02.2022.
- İnternet: Erigh Brough bezeme analiz çizimi. (Fotoğraf). (Şubat, 2015). URL-23: <https://www.theguardian.com/science/alexsadventuresinnnumberland/2015/feb/10/muslim-rule-and-compass-the-magic-of-islamic-geometric-design>, Son Erişim Tarihi: 07.05.2019.
- Kanatlar, Z. (2012). *Fraktal Boyuta Dayalı Mimari Bir Analiz: Sedat Hakkı Eldem ve Konut Mimarisi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 3-58.
- Karpuz, H., Karpuz E. (2013, 29-30 Kasım-1 Aralık). *Selçuklu Döneminde Sanat ve Estetik*. VI. Dini Yayınlar Kongresi, İstanbul.
- Kavlak, İ. (2006). Doğadaki Fraktaller. *Journal of İstanbul Kültür University*, 4(3), 105-112.
- Kaya, S. H., Bölen F. (2006). Kentsel Mekan Organizasyonundaki Farklılıkların Fraktal Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Journal of İstanbul Kültür University*, 4(4), 153-172.
- Kim, K. (2022). A Study on the Concept of Prospect in Frank Lloyd Wright's Works. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1(1), 297-301.
- Knight, T., Stiny, G. (2001). Classical and Non-Classical Computation. *Architecture and Building Engineering*, 5(4), 355-372.
- Krier, R. (1991). *Architectural Composition*. (2. Baskı), London: Academy Editions. 262-263.
- Kuran, A. (1969). *Anadolu Medreseleri*. (1. Baskı). Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi, 93.
- Kuban, D. (1982). *Türk ve İslam Sanatı Üzerine Denemeler*. (1. Baskı). İstanbul: Arkeoloji ve Sanat Tarihi Yayınları, 8.
- Lionar, M. L. (2021). *Fraktal Boyuta Dayalı Çok Katmanlı Bir Analiz: Eldem ve Doshi Mimarlığı*. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 76-79.
- Lynch, K. (Başaran, İ.). (2016). *Kent İmgesi*. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 35.
- Lu, X., Clements-Croome D. and Viljanen, M. (2012). Fractal Geometry and Architecture Design: Case Study Review. *Chaotic Modeling and Simulation (CMSIM)*, 2, 311-322.
- Mandelbrot, B. B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. (3. Baskı). San Francisco: W. H. Freeman and Company. 468.
- Mohtasib, I. (2021). *Çok Katmanlı Fraktal Analiz Yöntemi: Şehzade Camisi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 10-32.
- Mülayim, S. (1982). *Anadolu Türk Mimarisinde Geometrik Süslemeler (Selçuklu Çağı)*. (1. Baskı). Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, 69-70.

- Osama, A., Sherif, L. and Ezzeldin, S. (2014). Fractal Geometry in Architecture: From Formative Idea to Superficial Skin Design. *Archdesign Journal* 14, 39-49.
- Ögel, S. (1966). *Anadolu Selçukluları'nın Taş Teziniatı*. (1. Baskı). Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 3.
- Öney, G. (1992). *Anadolu Selçuklu Mimari Süslemesi ve El Sanatları*. (3. Baskı). Ankara: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 9-13.
- Özkul, K. (2020). Sivas Gök Medrese Bezemeleri, Semboller ve Anlamları. *Şehir ve Medeniyet*, 6(11), 51-74.
- Öztürk, M. S., Türkoğlu, M. T. (2016). Anadolu Selçuklu Sanatı Geometrisinin Günümüz Kent Estetiğinde Uygulanabilirliği (Konya İli Örneği). *İdil Dergisi*, 6(28), 167-198.
- Papasterevski, D., Cenovski, P. (2020). Architecture Term: Self-Similarity. *South East European Journal of Architecture and Design*, 10054, 1-4.
- Sala, N. (2006). Fractal Geometry and Architecture: Some Interesting Connections. *Eco-Architecture: Harmonisation between Architecture and Nature*, 86, 163-173.
- Shadmand, S. (2015). *Biçim Oluşturmada Doğadan Yararlanılarak Üretken Bir Sistemin Denenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-21.
- Şimşek, S., Kaynar, H. (2011). Sivas'taki Tarihi Eserlerde Mermer Kullanımı. *Dergisi Art-e Sanat Dergisi*, 4(8), 1-14.
- Tapan, M. (2017). *Mimarlıkta Değerlendirme*. (2. Baskı). İstanbul: İTÜ Vakfı Yayınları, 23-62.
- Terzi, N. (2009). *Mimarlıkta Hesaplamalı Teknolojiler ve Geometri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-63.
- Turhan, K. (2018). *Fraktal Geometrinin İç Mimari Kurguda Kullanımına Yönelik Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara, 5-13.
- Ulu, E. (2009). *İslami Geometrik Örüntü Türetimi Amaçlı Bir Biçim Grameri Modeli*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 34-48.
- Unwin, S. (1997). *Analysing Architecture*. (1. Baskı). London: Routledge, 106-107.
- Üçer, M. (2008). Sivas Gök Medrese ve Bezemeleri. *Hayat Ağacı Dergisi*. 12.
- Yılmaz, A. (2012). *Fraktal Seramik Yorumlamalar*, Yüksek Lisans Sanat Çalışması Raporu, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Seramik Anasanat Dalı, Ankara, 2-4.

Zanganehfar, M. (2021). Function of Fractals: Application of Non-linear Geometry in Continental Architecture. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering*, 15(9), 418-428.





GAZİ GELECEKTİR...