



Computational analysis of visual complexity in architecture: Şehzade Mosque, Süleymaniye Mosque and Selimiye Mosque

Emre Kuruçay^{1*}, Özgür Ediz²

Department of Architecture, Faculty of Art, Design and Architecture, Sakarya University, 54050, Serdivan, Sakarya, Türkiye

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Bursa Uludağ University, 16120, Nilüfer, Bursa, Türkiye

Highlights:

- The measurability of intuitive and intellectual expressions in architecture through numerical data
- A multi-layered numerical analysis of Sinan's architecture
- The mathematical definition of architecture

Keywords:

- Fractal analysis,
- Mathematics and architecture,
- Sinan, Şehzade Mosque,
- Selimiye Mosque,
- Süleymaniye Mosque

Article Info:

Research Article

Received: 01.05.2024

Accepted: 24.12.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1476466

Acknowledgement:

We would like to express our deep gratitude to the Directorate General of Foundations for the generous support and valuable resources provided for the realisation of this study.

Correspondence:

Author: Emre Kuruçay

e-mail:

kurucay@sakarya.edu.tr

phone: +90 264 295 3936

Graphical/Tabular Abstract

The design philosophy of Mimar Sinan, who shaped the classical architecture of the Ottoman Empire, is currently being extensively studied by researchers and historians. Sinan's architectural strategies are evaluated against the social, cultural, political, and religious contexts of the era, leading to intuitive and cognitive interpretations. Among these interpretations, the most significant is that Sinan's architectural design approach is based on multiple layers, including form, ornamentation, and material. In this context, understanding the multi-layered structure of Sinan's designs holds particular importance (Figure A).

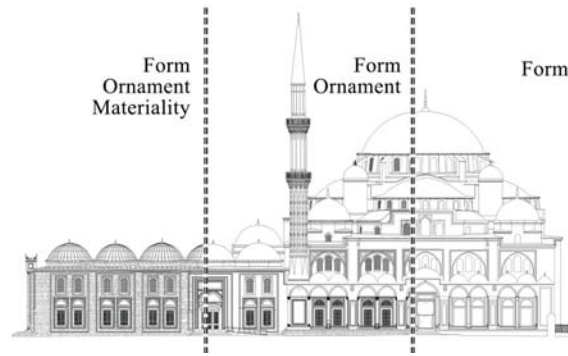


Figure A. Selimiye Mosque Southwest Elevation

Purpose: The study aims to (i) examine the characteristics of Sinan's architecture and the Şehzade, Süleymaniye, and Selimiye mosques in light of insights from historians and researchers, (ii) conduct three-layered fractal analyses of the facades of these works and provide mathematical definitions, and (iii) ultimately, compare numerical analyses within the context of conceptual discussions on Sinan's architecture in terms of periodical differences.

Theory and Methods: Within the scope of the research, a study was conducted on three mosques designed by Sinan using the fractal analysis method, a computational analysis technique. This study compared and examined the information that architectural historians and theorists have established about Sinan through quantitative methods.

Results: When the three frequently studied masterpieces of Sinan are examined through shape grammar and fractal analysis methods, it is observed how his design philosophy simplified and evolved over time. It has been determined that with each new structure, he added innovations, thereby enhancing his knowledge base. Furthermore, it has been identified that the patrons of Sinan's works had significant influences on the visual complexity and the formal and spatial configurations of the structures.

Conclusion: The use of fractal dimension in the architectural context emerges as an extremely effective tool for deeply analyzing the transformation and development processes of architectural constructs, from large-scale planning to detailed design. In this study, the fractal dimension was employed to meticulously examine the evolutionary changes and inter-structural relationships in the works of Mimar Sinan. The intuitive and cognitive architectural theoretical knowledge has been supported with quantitative data. This integration has bridged various disciplines such as architectural design, architectural history, and mathematics, adding new perspectives to architectural criticism and debates.



Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi

Journal of The Faculty of Engineering
and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Mimaride görsel karmaşıklığın hesaplamalı analizi: Şehzade Camii, Süleymaniye Camii ve Selimiye Camii

Emre Kuruçay^{1*}, Özgür Ediz²

¹Sakarya Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 54050, Serdivan, Sakarya, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 16120, Nilüfer, Bursa, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Mimaride, sezgisel ve düşünsel ifadelerin sayısal verilerle ölçülebilirliği
- Sinan mimarisinin çok katmanlı sayısal analizi
- Mimarinin matematiksel olarak tanımlanması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.05.2024

Kabul: 24.12.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1476466

Anahtar Kelimeler:

Fraktal analiz,
Matematik ve Mimari,
Sinan,
Şehzade Camii,
Selimiye Camii,
Süleymaniye Camii

ÖZ

Osmanlı Devleti'nin klasik mimarisine şekil veren Mimar Sinan'ın tasarım anlayışı, günümüzde araştırmacılar tarafından detaylı bir şekilde incelenmektedir. Sinan'ın mimari stratejileri, dönemin sosyal, kültürel, politik ve dini bağlamı üzerinden değerlendirilerek, sezgisel ve düşünsel ifadelerle erişilmektedir. Bu ifadelerden en önemlisi, Sinan'a ait mimari tasarım yaklaşımının farklı katmanlar (form, süsleme ve malzeme) üzerine kurulu olduğudur. Bu bağlamda, Sinan'ın tasarımlarının çok katmanlı yapısının, konuyla ilgili yapılan daha önceki çalışmalar ışığında, anlaşılması önem taşımaktadır. Sinan mimarisi hakkında yapılan araştırmalara ve sayısal incelemelere katkı sağlamak amacıyla banileri sultanlar olan eserlerin ele alınması makalenin konusunu oluşturmaktadır. Çalışmada yardımcı bir ölçüm aracı olarak 'fraktal analiz' yönteminden faydalanılmaktadır. Çalışmanın içeriği; (i) araştırmacıların görüşleri doğrultusunda Sinan mimarisinin yanı sıra Şehzade (1543-1548, İstanbul), Süleymaniye (1551-1558, İstanbul) ve Selimiye (1568-1575, Edirne) camilerinin temel niteliklerini incelemek, (ii) eser cepheleri üzerinde üç katmanlı fraktal analiz gerçekleştirilerek matematiksel tanımları ortaya koymak ve (iii) Sinan mimarisi üzerinden yürütülen kavramsal tartışmalar kapsamında sayısal analizleri dönemsel farklılıklar çerçevesinde ele alıp karşılaştırmaktan oluşmaktadır. Makale, Sinan'ın dönemsel evrimini ve bıraktığı kültürel mirası niceliksel yöntemlerle çözümlemekte ve hesaplamalı analizlerin mimarlık alanında ne kadar yol gösterici olabileceğini ortaya koymaktadır.

Computational analysis of visual complexity in architecture: Şehzade Mosque, Süleymaniye Mosque and Selimiye Mosque

HIGHLIGHTS

- The measurability of intuitive and intellectual expressions in architecture through numerical data
- A multi-layered numerical analysis of Sinan's architecture
- The mathematical definition of architecture

Article Info

Research Article

Received: 01.05.2024

Accepted: 24.12.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1476466

Keywords:

Fractal analysis,
Mathematics and
architecture,
Sinan,
Şehzade Mosque,
Selimiye Mosque,
Süleymaniye Mosque

ABSTRACT

Mimar Sinan, the architect who shaped the classical architecture of the Ottoman Empire, has been the subject of detailed examination by contemporary researchers. By evaluating Sinan's architectural strategies within the social, cultural, political, and religious context of his time, scholars gain insight into his intuitive and intellectual expressions. One of the most significant findings is that Sinan's architectural design approach is based on different layers (form, ornamentation, and material). In this regard, understanding the multi-layered nature of Sinan's designs-especially in light of previous studies-is of critical importance. This article focuses on the works commissioned by sultans, aiming to contribute to the research and numerical analyses related to Sinan's architecture. The study employs "fractal analysis" as a supplementary measurement tool. Its content involves: (i) examining the fundamental characteristics of Sinan's architecture as well as those of the Şehzade (1543-1548, İstanbul), Süleymaniye (1551-1558, İstanbul), and Selimiye (1568-1575, Edirne) mosques based on researchers' perspectives; (ii) conducting a three-layered fractal analysis on the façades of these structures to reveal their mathematical definitions; and (iii) discussing and comparing these numerical analyses within the conceptual debates surrounding Sinan's architecture, taking into account the periodical differences. The article quantitatively analyzes Sinan's architectural evolution and the cultural heritage he left behind, thereby illustrating how computational analyses can guide the field of architecture.

1. Giriş (Introduction)

Mimar Sinan, 16. yüzyılda faaliyet gösteren ve Osmanlı İmparatorluğu'nun önde gelen mimarlarından biri olarak kabul edilen, zamanının ötesine geçmiş bir mimar olarak tanımlanmaktadır. Sinan'ın bıraktığı eserler, çok çeşitli fonksiyonlara hizmet etmiş olup, günümüze ulaşanların sayısı ne yazık ki sınırlıdır. Bu eserlerin de ancak bir kısmı yazılı belgelere sahiptir [1]. Son yıllarda araştırmacılar, Sinan'ın eserlerinin literatüre katkısını ve kültürel miras olarak korunmasını sağlamak amacıyla kavramsal yaklaşımlar kullanarak çalışmalar yapmakta ve çeşitli yaklaşımlar önermektedir. Mimar Sinan'ın eserleri, kültürel mirasın korunması ve literatüre katkı sağlama amacıyla çeşitli kavramsal yaklaşımlar kullanılarak incelenmektedir. Goodwin, Sinan'ın yapılarını tarihsel perspektiften ele alarak Osmanlı mimarlık tarihine geniş bir bakış açısı sunar [2]. Stratton ise, Sinan'ın eserlerini biçimsel ve estetik özellikler üzerinden değerlendirir [3]. Kuran, Sinan'ın mimari anlayışını tipolojik ve morfolojik yaklaşımlarla analiz ederek, eserlerin yapısal özelliklerini detaylandırır [4]. Rogers, Sinan'ın anlamsal yaklaşımlarını, yorumlayıcı bir çerçeve içinde ele alarak, eserlerin sembolik ve kültürel anlam katmanlarını detaylıca analiz etmiştir. Bu çalışmada, Rogers, Sinan'ın mimarlık dilinde yer alan sembollerin ve süslemelerin ardındaki derin kültürel ve tarihsel referansları açığa çıkararak, yapıların sadece estetik değil, aynı zamanda sosyal ve dini açıdan nasıl bir anlam taşıdığını ortaya koymaktadır [5]. Kuban, Sinan mimari üretiminin form, işlev ve süsleme öğeleriyle toplumsal ve kültürel yapılar arasındaki ilişkiler üzerinden analiz etmektedir. Sinan'ın mimarlığını, dönemin estetik anlayışları ve teknik yenilikleriyle birlikte ele alır, bu şekilde Sinan'ın hem bir sanatçı hem de bir mühendis olarak yaptığı katkıları vurgulamaktadır [6]. Necipoğlu'nun çalışmalarında, Sinan'ın mimari yaklaşımı, çağdaşlarına kıyasla daha sade süslemeler ve daha güçlü bir formal kurgu üzerine odaklanmış olarak yorumlanmaktadır [7]. Erarslan ve Günay'ın çalışmaları, Sinan'ın mimari yaklaşımı ve tasarım stratejileri üzerine yapılan araştırmalarla, dönemin sosyal, kültürel, politik ve dini yapıları hakkında değerli bilgiler sunmaktadır [8, 9]. Harmankaya, Sinan'ın cami tasarımlarının, sadece estetik ve fonksiyonel yönleriyle değil, aynı zamanda bu yapıların yüklendiği kozmolojik ve simgesel anlamlarla da zenginleştirildiğini ortaya koyar. Çalışma, Sinan'ın camilerinin mimari elemanlarının, İslam dininin yanı sıra diğer kültürel ve dini öğelerle nasıl iç içe geçtiğini ve bu unsurların cami mimarisine nasıl sembolik bir boyut kazandırdığını analiz eder [10]. Tuztaşı ve Koç, Sinan mimarlığının kavranış yöntemleri sorgulanmakta ve mimari yazın kültürümüzde historyografik olarak Sinan mimarlığında imgeselleştirilen bağintıların araştırmacılarca nasıl ele alındığı açığa çıkarılmaya çalışılarak araştırmalardaki benzerlikler ve ayrışmalar bu rotada değerlendirmektedir [11]. Tarihsel ve fenomenolojik yöntemleri bir arada kullanan bu çalışmalar, eserlerin fiziksel, teknik ve tasarım özelliklerini yorumlamayı amaçlamaktadır. Erzen tarafından yapılan çalışmalarsa, Sinan'ın tasarım yaklaşımlarının birçok farklı yapısal katmana dayandığını öne sürmektedir [12]. Bu bulgu, Sinan üzerine yapılan diğer araştırmalarla desteklenmekte ve Sinan'ın mimari anlayışının çok katmanlı bir yapıda olduğunu kabul gören bir görüş haline gelmektedir.

Cami tasarımı ile ilgili yapılan nitel iddialar ve düşünceler, belirli bir potansiyel taşımakla birlikte, mimarinin karmaşık geometrik form ve dokularını detaylı bir şekilde incelemek için nicel bir metodolojinin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Hesaplamalı analiz yöntemlerindeki son gelişmeler, Mimar Sinan'ın yapılarındaki görsel katmanların derecesini ölçme ve ileri sürülen yaklaşımları destekleme veya bu yaklaşımlara karşıt görüşler sunma imkânı sağlamıştır [13]. Cami tasarımıyla ilgili nitel argümanlar potansiyel olarak doğru olarak kabul görmesine rağmen, karmaşık geometrik form ve dokuları

incelenmesi ve nicel bir yaklaşım kullanmadan doğrulanması mümkün değildir. Böyle bir yaklaşım, tamsayı olmayan sayıların matematiğinden türetilen, fraktal analiz yöntemi ile mümkündür. Fraktal analiz, bir görüntü veya nesnenin görsel karmaşıklığının ve karakteristik özelliklerinin derecesini ölçebilmekte, bu ölçümleri fraktal boyut (D) cinsinden ifade ederek, yapısal analizlerde yeni bir perspektif sunmaktadır [14]. Fraktal boyutunun ölçümü, Sinan'ın cami cephelerinin incelenmesi için teknik açıdan önemli bir katkı sağlamaktır. Birlikte, bu yaklaşım, Sinan mimarisinin geçmişte yapılan yorumlarının derinlemesine değerlendirilmesine doğrudan yardımcı olmayabilir. Bu nedenle çalışma, Sinan camilerinin cephelerinde bulunan üç temel bilgi katmanı üzerinden analizlerini gerçekleştirmek için belirli bir metodolojiyi benimseyecektir. Metodoloji, daha önce Ediz ve Ostwald tarafından Süleymaniye Camii ve Kılıç Ali Paşa Camii cephe kurguları üzerinden ele alınarak geliştirilmiştir. Araştırmacılar, bu çalışmalarında; ilgili camilere ait cephelerin sayısal ortamdaki çizimleri üzerinden daha sonra detaylı olarak açıklanacak olan “çok katmanlı fraktal analiz” yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmanın temelini ve sonraki adımını oluşturan “çok katmanlı fraktal analiz yöntemi” asıl olarak banileri sultanlar olan üç Sinan yapısının karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine odaklanmaktadır [15, 16]. Seçilen bu metodolojik yaklaşım, eserlerin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayarak, mimari analizlerde yeni perspektifler sunmayı amaçlamaktadır.

Bu araştırma, Sinan'ın üç başyapıtı olarak kabul edilen, Şehzade (1543-1548, İstanbul), Süleymaniye (1551-1558, İstanbul) ve Selimiye (1568-1575, Edirne) camilerinin cephelerindeki geometrik bilgiler üzerine yoğunlaşmaktadır. Araştırma, Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan rölöve çizimlerini temel alarak, sayısal teknolojiler kullanılarak yapılan karşılaştırmalı analizleri içermektedir. Kullanılan sayısal analiz yöntemi, mimarlık alanında şimdiye kadar uygulanan en gelişmiş fraktal analiz gösterimlerinden birini sunmaktadır. Çalışmada ele alınan üç cami, Sinan'ın mimarlık kariyerindeki önemli dönüm noktalarını temsil eden, banilerinin padişahlar olduğu, Şehzade, Selimiye ve Süleymaniye camileridir. Yapıların her birinin dört cephesi incelenmiş ve bu yapıların (a) form, (b) form ve süsleme, (c) form, süsleme ve malzeme olmak üzere üç bilgi katmanında matematiksel tanımları yapılmıştır [15]. Böylelikle, bu çalışma Sinan mimarisine ait eserlerin kuramsallaşmış özelliklerini destekleyen ölçülebilir veriler sağlamaktadır. Makale, Sinan'ın mimari eğilimleri hakkındaki argümanları matematiksel olarak türetilmiş yeni ölçümler aracılığıyla yeniden değerlendirilmesine olanak tanımakta ve Sinan'ın tasarım yaklaşımındaki zaman içindeki değişimlere dair açıklamalar sunmaktadır. Araştırma, Sinan'ın kariyerine ve mimarisine genel bir girişle başlamakta, ardından hesaplamalı fraktal analiz yöntemini tanıtmaktadır. Bu metodoloji, geçmişte yaygın olarak kullanılmış olup, bu makalede yalnızca referanslarla desteklenen daha ayrıntılı açıklamalara yer verilmektedir. Her cephe için analiz edilen üç bilgi katmanına ait fraktal boyutlar (D) tanımlanmış ve grafik olarak sunulmuştur. Analiz sonuçları, öncelikle camilere tekil olarak odaklanarak sunulmuş, ardından karşılaştırmalı bir şekilde ele alınmıştır. İlerlemeden önce, makale kapsamının, bu karmaşık ve kültürel olarak zengin mimarilerin matematiksel olarak ölçülebilir özellikleriyle sınırlı olduğu vurgulanmalıdır.

1.1. Sinan'ın Mimarlığına Bakış (Sinan's Architecture)

Osmanlı Devleti'nde monarşi altında, devlet adamlarının liyakat esasına dayalı bir sistem olan meritokrasi ile seçilmesi uygulaması çerçevesinde, Sinan baş mimarlık görevine getirilmiştir. Sinan'ın kökenine ilişkin, o dönemin şartları göz önüne alındığında, belirlenebilecek en önemli nokta, onun bir Osmanlı vatandaşı olmasıdır [1]. Tahminen 1490'lı yıllarda Kayseri vilayetinin Ağırnas

köyünde dünyaya gelen Sinan, genç yaşta devşirilmiş, Müslüman olmuş ve Osmanlı ordusuna katılmıştır. Askeri görevi sırasında, marangozluk eğitimi sayesinde kazandığı becerileri sergileme fırsatı bulmuş, ayrıca mimari çalışmalarında kullanacağı disiplin, denetim ve örgütlenme yeteneklerini geliştirmiştir. Bu deneyimler, Sinan'ın mimari kariyerinde temel bir role sahiptir. 1538 yılında askeri görevi sona eren Sinan, mimarbaşı olarak atandı ve yaklaşık 50 yıl boyunca bu pozisyonda kalmıştır. Mimarbaşı olarak görev yaptığı süre zarfında, 500'den fazla yapı tasarımı, inşası ve restorasyonundan sorumlu olmuş, bu yapılar arasında en önemlileri Şehzade Camii, Süleymaniye Camii ve Selimiye Camii olmuştur [17].

Sinan'ın bugün geniş çapta tanınmasını sağlayan, onun rasyonel ve işlevsel tasarımlarını ilk kez fark eden araştırmacılar, Rönesans mimarisinde görülen özelliklerle benzerlik taşıyan modernist yaklaşımları Sinan'ın eserlerinde de tespit etmişlerdir. Egli'nin görüşlerine göre, Sinan'ın mimarlığının özgünlüğü, biçim ile içeriğin uyumundan, büyüklüğünü ve biricikliği ise mimar olarak bireysel yaklaşımının evrensel değerlere ulaşmasından kaynaklanmaktadır [18]. Egli'nin ardılı Taut ise, Sinan'ın akılcı inşa teknikleri ve oranlar arasındaki uyumu vurgularken, kubbeli yapılarında ulaştığı gelişmiş estetik ve teknik düzeyi öne çıkarır [19]. Eldem, Sinan'ın mimarisinin, Avrupa Rönesans mimarisine kıyasla daha modern bir yaklaşım sergilediğini, cephe ve süsleme öğelerini öne çıkarmak yerine, formel ve plastik formlara öncelik verdiğini belirtmektedir [20]. Cansever, Sinan'ın mimarlığını, Osmanlı mimarisinin zirvesi olarak değerlendirir ve onun tasarımlarındaki uyum, denge ve proporsiyon anlayışını vurgular. Sinan'ın yapılarını sadece estetik açıdan değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel bağlamlar içinde değerlendiren Cansever, mimarın eserlerindeki insani ve evrensel değerlere dikkat çeker [21]. Necipoğlu ise, hamilik kavramına dayanarak yaptığı yazım sistematigi açısından diğer araştırmacılardan farklılaşmaktadır. Sinan camilerinin anlatısını hiyerarşik düzen içinde ve analitik tarihten faydalanarak yapmış görsel belge zenginliğini kullanarak sistematik yorumlamalar geliştirmiştir [7]. Sinan'ın tasarımlarında özellikle dönemin yapılarında yaygın olan dekoratif süslemeler yerine, geometrik formların strüktürel ve görsel açıdan yalın bir şekilde kullanılması ve malzemenin özelliklerinin güçlü bir tasarım ögesi olarak ele alınması dikkate değerdir [10]. Bu özellikler, Sinan eserlerinin sadece ölçek ve işlevsel yapılarıyla değil, aynı zamanda sade ve plastik formlarıyla da önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır.

Sinan'ın mimarisinin estetik değerleri üzerine yapılan araştırmalar, Sinan'ın eserlerinin kavramsal olarak farklı hiyerarşik katmanlardan oluştuğunu ortaya koymaktadır [12]. Bu araştırmalara göre, formel kurgu ve strüktürel yapı gibi üst ölçekteki mimari tektoniğin, son ürüne doğrudan etkisi bulunmaktadır. Erzen'in önerisine göre

cephelerdeki ilk katman, mimari formu belirleyen dinamikler (kubbe, kemer ve duvar) ve yapının strüktürel kurgusunu (kolon, kiriş ve payanda) içermektedir. İkinci katman, yapıyı oluşturan temel elemanlar ve malzemelerdeki ana değişiklikleri kapsamaktadır. Son katman ise yüzeydeki malzemenin geometrisi, oluşturduğu örüntüler ya da dokusu gibi daha detaylı özelliklerden oluşmaktadır. Bu katmanlar arası ilişki, mimari yapının görsel bütünlüğünün sürekliliği açısından önem taşımaktadır [22]. Erzen'in çalışmaları, yapısal ve estetik detayların daha derin anlaşılması sağlamakta olup, bu durum ve katmanlar araştırmanın temel çıkış noktasını oluşturmaktadır.

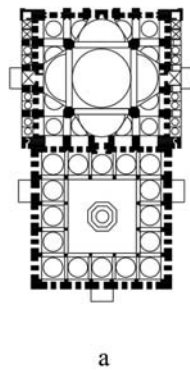
1.2. Şehzade Mehmed Camii (Şehzade Mehmed Mosque)

Şekil 1'de plan ve giriş cephesi ifade edilen Şehzade Mehmed Camii, 1543-1548 yılları arasında Sultan Süleyman tarafından erken yaşta vefat eden oğlu Şehzade Mehmed anısına yaptırılmıştır. Bu yapı, Mimar Sinan'ın tasarladığı ilk sultani cami olarak kaydedilmiştir [1]. Caminin öne çıkan özellikleri arasında, modüler bir düzen sağlayan dört yarım kubbeli baldaken, güçlü bir merkezi plan ve Sinan mimarisinde nadiren rastlanan yoğun süslemeler yer alır [23]. Bu özellikler, Sinan'ın estetik anlayışının ve mimari yeteneğinin erken dönem örneklerini sergiler. Ayrıca, caminin bezemeli çift minaresi, Şehzade Mehmed'in Osmanlı hiyerarşisindeki ayrıcalıklı konumuna vurgu yapar ve bu detaylar yapıya özel bir simgesellik katmaktadır [10].

Divan Yolu üzerinde konumlanan cami, sultani ihtişamı simgeleyen şadırvan avlusu ile çevrilmiştir. Yapının çevresini saran dış avlu duvarları, yol üzerinden caminin görünürlüğünü artırmak amacıyla saydamlaştırılmıştır [24]. Caminin en çok seyredilen güneybatı cephesindeki duvar, külliye'nin asimetrik kompozisyonunu vurgulamak için özel olarak tasarlanmıştır [7]. Kademelendirilmiş cephelerdeki taçlı kornişler ve kullanılan malzemeler, süslemenin coşkusu gözler önüne serer. Özellikle, güneydoğu cephesi, sivri kemerli pencerelerle diğer cephelerden farklılık gösterir, bu detaylar yapının estetik değerini artırır [25].

1.3. Süleymaniye Camii (Süleymaniye Mosque)

Şekil 2'de plan ve giriş cephesi ifade edilen Süleymaniye Camii, iddiasını 'cihan hükümdarı' olarak ortaya koyan Sultan Süleyman ile özdeşleştirilmiş ve padişahın bu büyük iddiasını mimari bir ifadeyle sunmuştur [26]. Süleymaniye Camii, estetik sofistikasyonu ve büyük boyutlarıyla İstanbul'un şehir silüetinde belirleyici bir unsur haline gelmiştir. Yapı, hem Sinan'ın mimari mükemmelliğinin hem de dönemin kültürel ve siyasi vizyonunun bir yansıması olarak, şehrin manzarasında dominant bir figür olarak öne çıkmaktadır. Cami İstanbul'un en yüksek tepelerinden birine inşa edilmiştir ve bu



Şekil 1. Şehzade Mehmed Camii; a/plan, b/kuzeybatı cephesi (Şehzade Mehmed Mosque; a/plan, b/northwest elevation)

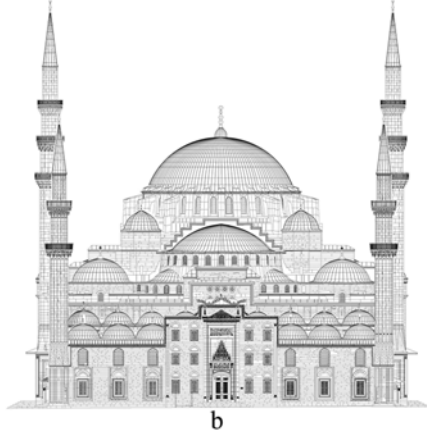
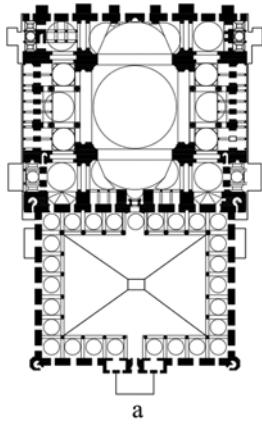
topografik konum, caminin görsel etkisini artıran önemli bir faktördür. Mimar Sinan, caminin hem şehir silüetinde belirgin bir yer tutmasını hem de altındaki zeminin eğiminden faydalanarak yapıyı daha ihtişamlı göstermeyi amaçlamıştır. Cami etrafında, üç tarafı taş duvarlarla çevrili geniş bir avlu bulunmaktadır. Bu duvarların pencerelerinden mescid ve mezarlık görülebilmektedir. Dördüncü tarafında duvar yapılmamış olup, bu sayede şehir ve Haliç'in panoramik manzarası izlenebilmektedir. Teraslar üzerinde üç boyutlu olarak inşa edilen Süleymaniye külliyesi, üzerine kurulduğu tepeye adeta yükselerek çıkmış ve çevresine hâkim bir görünüm kazanmıştır [27].

Süleymaniye Camii, Osmanlı klasik mimari anlayışını temsil eden önceki örneklerin (Bıyıklı Mehmet Paşa Cami ve Fatih Cami gibi) aksine, asimetrik ve çevresiyle uyumlu, organik bir formda tasarlanmıştır. Yapının görsel olarak en etkileyici olan kuzeydoğu ve güneybatı ana cepheleri, dinamik bir görsellik sunmaktadır. Sinan, bu önemli cepheleri daha da belirginleştirmek için, cephelere yönelik dış avlu duvarlarının köşelerini pahlayarak bir bakış açısı oluşturmuştur. Yan cepheler, payandalarla üç bölüme ayrılmış, ortadaki bölüm ise çift revaklı olup, sultani bir ayrıcalık olan renkli mermer kemer taşları ve 'kırmızı ve somaki daireler' ile bezenmiştir. Revakın üzerindeki saçakta da bezemeler bulunmaktadır. Güneydoğu cephesi, iç ve dış mekân arasında bütünlüğü artıracak bir saydamlıktadır. Ayasofya'nın belirgin payandalarının aksine, yapıda gerçekleştirilen kademelenmeler ile payandalar kısmen gizlenmiş ve üst yapıdaki ağırlık kuleleri yivli kubbelerle süslenmiştir. Ancak, Şehzade Mehmed Camii'ndeki gibi renkli sırlı çinilerle sağlanan süslemeler, bu yapıda görülmemektedir [26, 27].

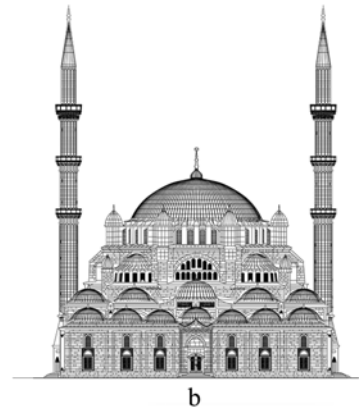
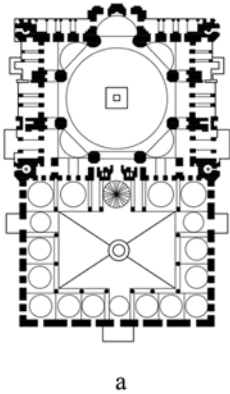
1.4. Selimiye Camii (Selimiye Mosque)

Şekil 3'te plan ve giriş cephesi ifade edilen Selimiye Camii, batıdan gelenler için Edirne'ye girildiğinde karşılaşılan ilk anıtsal yapı olarak öne çıkmaktadır. Mimar Sinan, bu yapıyı İstanbul'daki benzer örnekleri gibi, şehir topografyasına hâkim bir konumda tasarlamıştır. Ancak, caminin İstanbul yerine Edirne'de inşa edilmiş olmasına dair çeşitli görüşler bulunmaktadır. Necipoğlu'nun analizlerine göre, İstanbul'da Haliç'i izleyen uygun bir tepe kalmamış olması, İstanbul'da bir yapı için arazi istimali yapılması gerekliliği ve II. Selim'in Edirne'ye olan özel ilgisi gibi faktörlerin bir araya gelmesi, caminin Edirne'de, eski saray arazisine inşa edilmesine neden olmuştur [7, 28].

Sinan, Selimiye Camii'nin tasarım sürecine başlamadan önce, yapının banisi Sultan II. Selim'den, süslü mü yoksa sade bir tasarım mı tercih ettiğini sormuştur [1]. Sultan süslü bir tasarımı tercih etmiş olmasına rağmen, caminin süslemeleri esas olarak iç mekanlardaki çini kaplamalarla sınırlı kalmıştır. Kesme taş kullanılarak inşa edilen cami, külliye içerisindeki diğer yapılar arasından öne çıkmaktadır. Selimiye Camii'nde, destekleyici yarım kubbe veya küçük kubbeler olmaksızın yükselen merkezi kubbe, yapının piramidal değil, daha çok düşey bir duruş sergilemesini sağlamaktadır. Yüksek cephelerde yer alan farklı ritimdeki pencere dizileri yapıya dinamik bir hareketlilik kazandırmıştır [12]. Yapının kuzeydoğu ve güneybatı cepheleri, Süleymaniye Camii'ndeki gibi üç eşit parçaya bölünmüş, ancak daha yalın bir şekilde tek revaklı olarak tasarlanmıştır. Üst bölümde, Sinan camilerinin ayırt edici özelliklerinden biri olarak, iç mekânı daha fazla aydınlatmak için büyük açıklıklar yer almaktadır. Güneydoğu



Şekil 2. Süleymaniye Camii; a/plan, b/kuzeybatı cephesi (Süleymaniye Mosque; a/plan, b/northwest elevation)



Şekil 3. Selimiye Camii; a/plan, b/kuzeybatı cephesi (Selimiye Mosque; a/plan, b/northwest elevation)

cephesi, cumbalı bir köşkü andıran çıkıntılı bir yapıya sahiptir ve her iki yanı revaklarla süslenmiştir. Kuzeybatı cephesi ise, caminin kubbesini daha da vurgulayacak şekilde özel olarak tasarlanmıştır. Şadırvan avlusuna açılan taç kapı, özellikle mukarnas kullanılmadan tasarlanmış ve oldukça sade bir görünüme sahiptir. Camiyi çevreleyen dört ince minare, çizgili gövdeleriyle mimariye yalınlık katmaktadır [29]. Ayrıca, caminin beden duvarlarında yer alan açıklıklar, yapıyı formuna uygun bir şekilde şeffaf hale getirmiştir.

2. Materyal ve Yöntem: Hesaplamalı Fraktal Analiz (Materials and Methods: Computational Fractal Analysis)

Bilgi teknolojileri, kendi değişim süreçlerindeki gelişmelere koşut olarak, mimarlık alanında da yeni kullanım ortamlarının şekillenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu süreç, sayısal ortamda ürün temsillerinin oluşturulmasından, veri işleme, bilgi yönetimi ve yaratıcı karar destek sistemlerine kadar evrilmektedir [30, 31]. Böylece, mimarlık yalnızca tasarım odaklı bir yaklaşımla kalmayıp, tasarım süreci ve üretim metodolojilerine de entegre olmuştur. Sayısal teknolojiler, mimarlığın ön tasarım, tasarım, üretim ve analiz-eleştiri aşamalarında etkin bir şekilde yer almaktadır [14, 32]. Özellikle 1970'lerde doğal fenomenlerin karmaşıklığını açıklayan fraktal geometrinin keşfi, bu teknolojilerin mimarlıkta nasıl kullanılabileceğine dair yenilikçi perspektifler sunmaktadır [33, 34]. Fraktal kavramı ilk olarak matematikte kabul görmüş, ardından tasarımın her alanında uygulanabilir bir metodoloji olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıçta matematik alanında kendisine yer edinen fraktal analiz yöntemi, mimarlıkta yüzey karmaşıklığını ölçmek için kullanılmakta ve kentsel ölçekten yapıların en ince detaylarına kadar geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır [35, 36]. Fraktal analiz ile yapılan çalışmalar, parametrik tasarım yaklaşımlarından [37] kent morfolojisine [38], doğal yapılar ile mimari arasındaki benzerliklerin karşılaştırılmasından [39], yapıların plan ve cephe sistemlerinin sayısal verilerle analizine [40, 41] kadar çeşitlilik göstermektedir.

Araştırma, hesaplamalı sistemler bağlamında, mimari bir gramer biçimi olan iki boyutlu cephenin incelenmesini hedeflemektedir. Çalışmanın akışı, Şekil 4'te gösterildiği üzere, ilk olarak Sinan ve onun mimarisi üzerine detaylı bir inceleme ile başlamaktadır. Bu aşamadan sonra, hesaplamalı sistemler bağlamında iki boyutlu cephe gibi mimari bir temsil biçiminin fraktal analizi gerçekleştirilmektedir. Analiz sonucu elde edilen sayısal veriler, Sinan'ın mimarisine yönelik var olan sezgisel düşüncelerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek ve bu süreçte, Sinan'ın eserlerinin farklı dönemlerdeki mimari karakteristiklerinin ilişkileri ve özellikleri detaylı bir şekilde irdelenecektir. Bu analizler, Sinan'ın eserlerinin dönemsel farklılıklarını belirginleştirmek amacıyla kullanılacak ve çalışmanın önemli bir boyutunu oluşturacaktır.

2.1. Üç Katmanlı Fraktal Analiz Modeli (Three-Layer Fractal Analysis Model)

Metodoloji, daha önce Ediz ve Ostwald (2012) tarafından Süleymaniye Camii ve Ostwald ile Ediz (2014) tarafından Kılıç Ali Paşa Camii cephelerinin sayısal ortamdaki çizimleri üzerinden gerçekleştirilen fraktal analizlerin bir uzantısı olarak, banileri sultanlar olan üç Sinan başyapıtının karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine odaklanmaktadır [15, 16]. Önceki bölümlerde Sinan, Sinan'ın mimarlığı ve fraktal analiz yöntemi hakkında temel bilgiler sunulmaktadır. Çalışma, Sinan'ın mimarlık kariyerinde belirgin olarak öne çıkan eserleri referans alınarak -banilerinin sultanlar olduğu- eserleri (Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye camileri) referans alınarak geliştirilmiştir. Analiz sürecine geçmeden önce, Sinan'ın eserlerinin görsel özellikleri üzerine yapılan yorumlar incelenmiştir. Bu yorumlar, hesaplama sonuçlarıyla birlikte değerlendirilecektir. Camilerin mimari cephelerinin her biri için Ediz ve Ostwald'ın geliştirmiş olduğu çok katmanlı fraktal analiz yöntemi kapsamında; üç farklı katmanda (form $D_{[F]}$, form + süsleme $D_{[FS]}$, form + süsleme

+ malzeme $D_{[FSM]}$) fraktal değerler hesaplanmıştır. Bu değerlendirme, cephelerin ilk katmanını mimari forma dayalı dinamikler (kubbe, kemer, duvar) ve yapısal kurgu (kolon, giriş, payanda) oluşturmaktadır. İkinci katman kütleli oluşturan yapı elemanları ve malzemedeki ana değişiklikler üzerinden belirlenmiştir. Üçüncü katman ise yüzeydeki malzemenin geometrisi, oluşturduğu örüntüler ve malzeme dokuları gibi detayları içermektedir.

2.2. Modelin Uygulanması (Application of the Model)

Tarihi binaların cephelerinde yer alan binlerce karmaşık çizgiyi nicel olarak ölçmek için az sayıda nicel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan fraktal analiz, iki boyutlu çizgisel kurguların fraktal boyutunu hesaplamada etkilidir. Fraktal boyutunun hesaplanması için çeşitli metodolojiler mevcuttur, bu çalışmada kutu sayma yöntemi tercih edilmiştir. Kutu sayma yöntemi, yapıyı temsil eden çizgilerin sayısal olarak sayılmasına dayanmaktadır ve genellikle bir plan ya da cephe çizimi üzerinden uygulanmaktadır. Yöntemin doğruluğunu sağlamak ve sonuçlardaki tutarsızlıkları en aza indirmek için, plan ve cephe çizimlerinin dikkatle hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca, bu yöntemin istatistiksel geçerliliğini artırmak için gerekli ek işlemler bulunmaktadır bu işlemler aşağıda üç aşamada detaylandırılmıştır.

2.2.1. İlk işlem (First transaction)

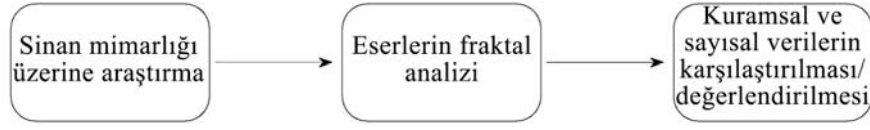
Bu araştırmada, hesaplamalar için temsil hatasını en aza indirmek amacıyla yapıların rölöve çizimleri tercih edilmiştir. Teknik çizimlerin analizi öncesinde, yapının cephesine ait olmayan unsurların çizimlerden arındırılması gerekmektedir. Bu unsurlar; taramalar, sembolik ifadeler (kot gösterimleri, yön okları gibi), ve çevresel elemanlar (peyzaj öğeleri, ağaçlar, araçlar gibi) analiz sonuçlarını etkileyebilecek faktörlerdir. Ayrıca, çizimde yalnızca siyah çizgiler bulunmalı, doldurma yüzeyleri ya da gri tonlamalar gibi diğer görsel unsurlar hariç tutulmalıdır [42]. Analiz edilecek resmin çözünürlüğü de sonuçların doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; çözünürlük ne kadar yüksekse, sonuçların doğruluğu o derece artar. Bu nedenle, araştırma kapsamında Vakıflar Genel Müdürlüğü'nden temin edilen CAD formatındaki çizimler kullanılmıştır. Çalışmanın ana strüktürünün yansması ve en önemli düzenleme olarak; temin edilen çizimler, çalışma kapsamında yeniden düzenlenerek form, form ve süsleme, form, süsleme ve malzeme şeklinde çok katmanlı mimari temsiller olarak organize edilmiştir.

2.2.2. İkinci işlem (Second transaction)

İlk aşamada bahsedilen ayıklama işlemleri tamamlandıktan sonra, analiz sürecine geçilmiştir. Bu süreçte, incelenen görüntünün üzerine ızgara kurguları yerleştirilerek her bir kare içerisinde çizgi varlığı kontrol edilmiştir. Fraktal boyutun analizi için yardımcı araç olarak Image-J yazılımının 1.8 sürümü ve bu yazılıma entegre FracLac eklentisi kullanılmıştır. Bu yazılım ve eklenti kombinasyonu, 1 ile 2 arasında değişen fraktal değer aralıklarının hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Fraktal boyut değeri ne kadar yüksek olursa, yüzeyin üzerindeki görsel karmaşıklık o derece artar. Bu değerler, yapıların geometrik karmaşıklığını ve detay seviyesini nicel olarak ifade etmektedir ve analiz sonuçlarının doğruluğu için kritik öneme sahiptir.

2.2.3. Üçüncü işlem (Third transaction)

Analizler bilgisayar ortamında gerçekleştirildikten sonra, görseller üzerinden elde edilen sayısal veriler, Sinan'ın mimarlığı ve onun dönemsel varsayımları ile karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma, Sinan'ın eserlerinin zaman içindeki değişimlerini ve mimari yaklaşımlarını daha iyi anlamamızı sağlayacak, aynı zamanda sayısal verilerin tarihsel bağlamda değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.



Şekil 4. Araştırmanın akışı (Research of flow)

Tablo 1. Camilere ait dört farklı cephenin fraktal değerleri (Fractal values of four different elevations of mosques)

Camiler	Fraktal Katmanlar	Kuzeybatı Cepheleri	Güneydoğu Cepheleri	Kuzeydoğu Cepheleri	Güneybatı Cepheleri	Yapının Ortalama $D_{[ort.]}$
Şehzade Mehmet Camii	$D_{[F]}$	1,4098	1,4459	1,4293	1,4131	1,4245
	$D_{[FS]}$	1,5729	1,5822	1,6249	1,6235	1,6008
	$D_{[FSM]}$	1,7626	1,7408	1,7941	1,7928	1,7726
Süleymaniye Camii	$D_{[F]}$	1,677	1,598	1,688	1,674	1,6592
	$D_{[FS]}$	1,689	1,638	1,702	1,691	1,6800
	$D_{[FSM]}$	1,807	1,790	1,792	1,801	1,7975
Selimiye Camii	$D_{[F]}$	1,4863	1,5006	1,5364	1,5396	1,5157
	$D_{[FS]}$	1,5379	1,5526	1,5851	1,5897	1,5663
	$D_{[FSM]}$	1,6314	1,6328	1,6482	1,6503	1,6407

Tablo 2. Şehzade Mehmet Camii'nin $D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ ve $D_{[FSM]}$ değerleri ($D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ and $D_{[FSM]}$ values of Şehzade Mehmet Mosque)

Katman (Şehzade Mehmet Cami)	Faktör	Kuzeybatı Cephesi	Güneydoğu Cephesi	Kuzeydoğu Cephesi	Güneybatı Cephesi	Ort.
form	$D_{[F]}$	1,4098	1,4459	1,4293	1,4131	1,4245
	$D_{[Fark]}$	—	—	—	—	—
	% Bütüne Oran	64,8	70,6	63,6	62,1	64,3
form + süsleme	$D_{[FS]}$	1,5729	1,5822	1,6249	1,6235	1,6008
	$D_{[Fark]}$	0,1631	0,1363	0,1956	0,2104	0,1739
	% Bütüne Oran	16,3	13,6	19,5	21	17,3
form + süsleme + malzeme	$D_{[FSM]}$	1,7626	1,7408	1,7941	1,7928	1,7726
	$D_{[Fark]}$	0,1897	0,1586	0,1692	0,1693	0,1842
	% Bütüne Oran	18,9	15,8	16,9	16,9	18,4

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Çalışmada, her bir caminin cephesi için üç farklı katman için form, form + süsleme, form + süsleme + malzeme ($D_{[F]}$, $D_{[FS]}$, $D_{[FSM]}$) dikkate alınarak fraktal değerleri (D) hesaplanmıştır. Bu kapsamlı analiz, Şehzade, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin dört farklı cephesini de kapsamış, Tablo 1'de ifade edildiği üzere otuz altı farklı fraktal değer elde edilmiştir. Her bir değer, mimari unsurların karmaşıklığını ve çeşitliliğini nicel olarak ifade etmektedir. Bu veriler, camilerin mimari özelliklerinin derinlemesine anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Sayısal verilerin doğrudan karşılaştırılması yanıltıcı sonuçlar doğurabileceğinden, elde edilen değerler yüzde olarak belirlenecek ve sonuçlar kendi aralarında bir kıyaslamaya tutulacaktır. Ayrıca, nicel bulguların incelenmesinden önce, camilerin görsel özelliklerinin dikkate alınması önemlidir; bu nedenle, sayısal analizlerden önce nitel verilere de yer verilmiştir.

3.1. Şehzade Mehmet Camii Analiz Sonuçları (Şehzade Mehmet Mosque Analysis Results)

Şehzade Mehmet Cami'nin fraktal analizi üzerine yapılan çalışmada, Tablo 2'de ifade edildiği üzere, dört önemli bulgu öne çıkmaktadır. İlk olarak, kuzeybatı cephesinden elde edilen süsleme değeri $D_{[Fark]} = 0,1631$ iken, güneydoğu cephesi için bu değer $D_{[Fark]} = 0,1363$ olarak ölçülmüştür. Bu iki cephe arasında yaklaşık %2,7'lik bir fark bulunmakta olup, bu farkın nedeni olarak kuzeybatı cephesinin zengin süslemeler ve mukarnaslar ile daha fazla bezenmiş olması

gösterilmektedir. İkinci olarak, güneydoğu cephesinde form değeri $D_{[F]} = 1,4459$ ile en yüksek sayısal değere sahiptir, bu değer sivri kemerli pencerelerin yoğun olarak bulunduğu kible cephesinin giriş cephesine göre daha fazla yoğunluğa sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Üçüncü olarak, yapı yan cephelerinin simetrik özellikleri paralel değerler sergilerken, bu cephelerdeki süsleme oranları diğer iki cepheye kıyasla daha yüksektir; bu durum, yan cephelerde yoğun olan taçlı kornişlerin bir sonucudur. Dördüncü ve en önemli bulgu, yapı genelinde ortalama süsleme değeri $D_{[Fark]} = 0,1739$ olarak belirlenmiştir. Caminin ortalama cephe değerleri analiz edildiğinde, %64,3'ünün form, %17,3'ünün süsleme ve %18,4'ünün malzeme kaynaklı olduğu görülmektedir.

Bu bulgular, Şehzade Mehmet Cami'nin süsleme oranının oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Baninin, oğlunun anısına yaptırdığı bu camide süslemenin yoğun olmasını tercih ettiği bilinmekte olup, Sinan'ın diğer camilerinde nadiren rastlanan süslü kornişler, minare süslemeleri ve diğer cephe bezemeleri sayısal değerlerin yüksek çıkmasına katkıda bulunmaktadır.

3.2. Süleymaniye Camii Analiz Sonuçları (Süleymaniye Mosque Analysis Results)

Süleymaniye Cami'nin fraktal analizi sonucunda, Tablo 3'de ifade edildiği üzere, dört önemli bulgu öne çıkmıştır. İlk olarak, güneydoğu cephesi için elde edilen $D_{[F]} = 1,598$ ve $D_{[FS]} = 1,638$ değerleri, diğer cephelerin değerlerine kıyasla daha düşüktür. Bu durum, güneydoğu

cephesinin, yani kible cephesinin, diğer cephelere göre daha az kütsel hareketliliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu cephenin $D_{[FSM]}$ değeri, malzemenin yapıdaki görsel karmaşıklığa önemli ölçüde katkı sağladığını göstererek diğer cephelerden daha yüksek çıkmıştır. İkinci olarak, kuzeydoğu cephesi ile güneybatı cephesi arasında az bir fark gözlemlenmiştir; bu fark, kuzeydoğu cephesindeki avlu duvarına ilave edilmiş bir kapının varlığından kaynaklanmaktadır. Kuzeydoğu cephesi için $D_{[F]}=1,688$, $D_{[FS]}=1,702$, $D_{[FSM]}=1,792$ iken, güneybatı cephesi için $D_{[F]}=1,674$, $D_{[FS]}=1,691$, $D_{[FSM]}=1,801$ olarak belirlenmiştir. Üçüncü olarak, cepheler arasında süsleme açısından bir süreklilik bulunmaktadır; $D_{[F]}$ ve $D_{[FS]}$ değerleri arasında paralel bir ilişki gözlemlenmiştir. Dördüncü bulgu olarak, caminin süsleme değerleri genel olarak düşüktür; süsleme miktarının yüzeye oranı, kuzeybatı için %1,2, güneydoğu için %4,0, kuzeydoğu için %1,4 ve güneybatı için %1,7 olarak tespit edilmiştir.

3.3. Selimiye Camii Analiz Sonuçları (Selimiye Mosque Analysis Results)

Selimiye Cami üzerinde gerçekleştirilen fraktal analiz çalışması, Tablo 4'te ifade edildiği üzere, caminin cepheleri arasında üç önemli bulgu ortaya koymuştur. İlk olarak, cami cephelerinin fraktal değerleri olan $D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ ve $D_{[FSM]}$ birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Bu sonuçlar, caminin cephelerinde görsel bir süreklilik ve uyumun olduğunu göstermektedir, bu da Mimar Sinan'ın tasarımındaki bütünlüğü vurgulamaktadır. İkinci olarak, kible cephesinin $D_{[F]}=1,5006$ değeri, giriş cephesinin $D_{[F]}=1,4863$ değerinden %1,2 daha yüksektir. Bu farklılık, yapının merkezi kubbesi altında düşey bir duruş sergileyen kible cephesindeki açıklıkların varlığı ile açıklanabilir. Üçüncü olarak, cephelerin süsleme değerleri genel olarak düşük çıkmıştır. Süsleme miktarının bütün yüzeye oranı, cepheler itibarıyla kuzeybatı için %5,1, güneydoğu için %5,2, kuzeydoğu için %4,8 ve güneybatı için %5 olarak hesaplanmıştır. Bu

sonuçlar, Selimiye Cami'nin süslemelerden arındırılmış yalın mimari stiline sayısal verilerle de desteklenmiş olduğunu göstermektedir.

3.4. Karşılaştırmalı Bir Analiz (A Comparative Analysis)

Sayısal verilerin kullanımı, mimari analizlerde iki veya daha fazla yapının matematiksel temeller üzerinden objektif olarak karşılaştırılabilmesi mümkün hale getirmektedir. Önceki bölümlerde, Sinan'ın camileri arasındaki görsel farklılıklar, form, süsleme ve malzeme açısından tekil olarak değerlendirilmiştir. Bu evrede, eserler arasında karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilecektir. Camiler, fonksiyonel yapıları gereği belirli ihtiyaçlara sahiptir; bu, genellikle giriş cephelerinin kibleye ters yönde olması, son cemaat yerinin veya avlunun giriş cephesinde konumlanması gibi özelliklerle belirlenir. Bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurulduğunda, cami yapılarının tüm cephelerine ait ortalama fraktal değerlerinin yanı sıra, aynı yöne bakan cepheler üzerinden yapılan kıyaslamalar daha doğru sonuçlar verebilir. Bu tür kıyaslamalar, cephelerdeki fraktal boyut değişimlerini açıkça gösteren Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'deki grafiklerle gözlemlenmektedir.

Kuzeybatı cepheleri, camilerde genellikle ana giriş işlevini görür ve ziyaretçileri karşılayarak içeri davet eden bir yapı sergiler. Bu cepheler, diğer cephelere kıyasla genellikle daha fazla süsleme öğeleri içerir; bu öğeler arasında başlıklı sütunlar, revaklar ve mukarnaslar bulunur. Şekil 5'te ifade edildiği üzere, sayısal değerlerin karşılaştırmalı analizi yapıldığında, Şehzade Mehmet Camii'nin bezeme ve süsleme açısından en detaylı işlemlere sahip olduğu görülürken, en yalın tasarıma sahip olan cami Süleymaniye Camii olarak belirlenmiştir. Şehzade Mehmet Camii'nin yüksek sayısal değerleri, cephede bulunan kornişler, pencere yoğunluğu, bezemeler ve minare süslemelerinin yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 3. Süleymaniye Camii'nin $D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ ve $D_{[FSM]}$ değerleri ($D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ and $D_{[FSM]}$ values of Süleymaniye Mosque)

Katman (Süleymaniye Camii)	Faktör	Kuzeybatı Cephesi	Güneydoğu Cephesi	Kuzeydoğu Cephesi	Güneybatı Cephesi	Ort.
form	$D_{[F]}$	1,677	1,598	1,688	1,674	1,659
	$D_{[Fark]}$	—	—	—	—	—
	% Bütüne Oran	87,0	80,8	89,6	87,3	86,2
form + süsleme	$D_{[FS]}$	1,689	1,638	1,702	1,691	1,680
	$D_{[Fark]}$	0,012	0,04	0,014	0,017	0,021
	% Bütüne Oran	1,2	4,0	1,4	1,7	2,1
form + süsleme + malzeme	$D_{[FSM]}$	1,807	1,790	1,792	1,801	1,797
	$D_{[Fark]}$	0,118	0,152	0,09	0,11	0,117
	% Bütüne Oran	11,8	15,2	9,0	11,0	11,7

Tablo 4. Selimiye Cami'nin $D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ ve $D_{[FSM]}$ fraktal değerleri ($D_{[F]}$, $D_{[FS]}$ and $D_{[FSM]}$ values of Selimiye Mosque)

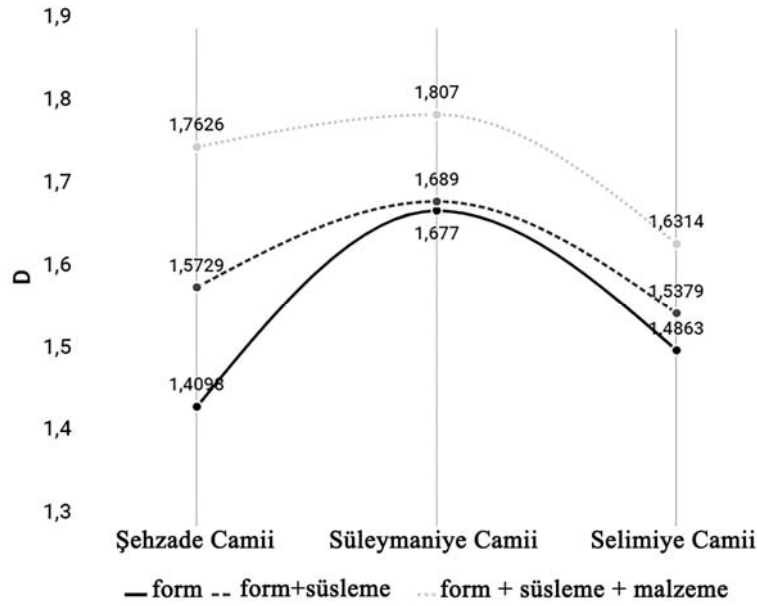
Katman (Selimiye Camii)	Faktör	Kuzeybatı Cephesi	Güneydoğu Cephesi	Kuzeydoğu Cephesi	Güneybatı Cephesi	Ort. — $D_{[archi]}$
form	$D_{[F]}$	1,4863	1,5006	1,5364	1,5396	1,5157
	$D_{[Fark]}$	—	—	—	—	—
	% Bütüne Oran	85,6	86,8	88,9	89	87,6
form + süsleme	$D_{[FS]}$	1,5379	1,5526	1,5851	1,5897	1,5663
	$D_{[Fark]}$	0,0516	0,0520	0,0487	0,0501	0,0506
	% Bütüne Oran	5,1	5,2	4,8	5	5
form + süsleme + malzeme	$D_{[FSM]}$	1,6314	1,6328	1,6482	1,6503	1,6407
	$D_{[Fark]}$	0,0935	0,0802	0,0631	0,0606	0,0744
	% Bütüne Oran	9,3	8	6,3	6	7,4

Süleymaniye Camii'nde ise, genel olarak sayısal değerler yüksek olmasına rağmen süsleme miktarı oldukça düşüktür. Bu durum, caminin cephesinin süslemelerden ziyade, yapısal ve strüktürel özelliklere odaklanılarak tasarlandığını göstermektedir.

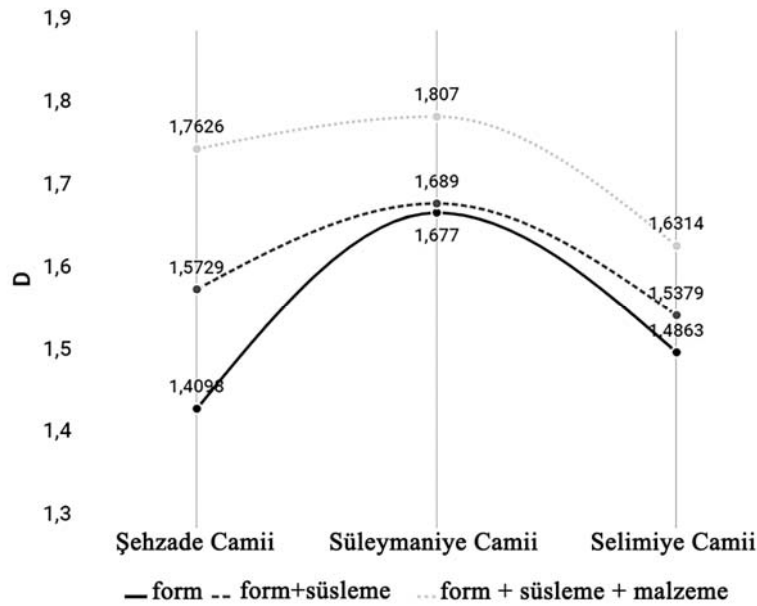
Güneydoğu cepheleri, camilerde kible yönünde konumlandırıldığından genellikle giriş verilmeyen cephelerdir ve özel durumlar dışında, bu cepheler camilerin en sade yüzeylerini oluşturur. Mimar Sinan'ın tasarladığı incelenen eserler arasında yapılan değerlendirmelerde, Şehzade Mehmet Camii kible cephesinde en yoğun süsleme ve bezeme özelliklerine sahiptir. Buna karşın, Şekil 6'da ifade edildiği üzere, Süleymaniye ve Selimiye camilerinin kible cephelerindeki süsleme oranları birbirlerine oldukça yakındır ve daha az detay içermektedir. Bu bulgular, Sinan'ın camilerinin kible

cephelerindeki tasarım yaklaşımlarını ve estetik tercihlerini ayırt edici bir şekilde ortaya koymaktadır, ayrıca bu camiler arasındaki stilistik ve fonksiyonel farklılıkları da belirginleştirmektedir.

Kuzeydoğu ve güneybatı cepheleri, camilerin yan cepheleri olarak genellikle benzer mimari özellikler sergiler. Sinan'ın tasarımlarının incelenmesi sonucunda yapılan değerlendirmelerde, Şehzade Mehmet Camii'nin yan cepheleri en yoğun süsleme ve bezeme özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 7 ve Şekil 8 üzerinden okunabilmektedir. Şehzade Mehmet Camii'nin yan cephelerinde kullanılan detaylar, zengin süslemeleri ile dikkat çekerken; Süleymaniye Camii'nin yan cepheleri, göreceli olarak daha yalın bir tasarım benimsenmiştir. Bu durum, Sinan'ın farklı eserlerindeki tasarım yaklaşımlarının ve estetik tercihlerinin, yan cepheler



Şekil 5. Camilerin kuzeybatı cephelerine ait fraktal değer grafiği (Fractal value graph of the northwest elevations of mosques)



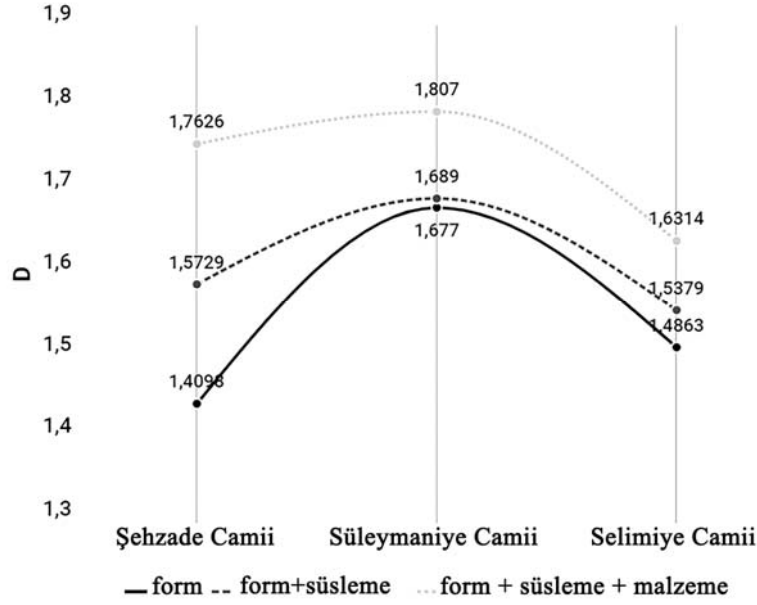
Şekil 6. Camilerin güneydoğu cephelerine ait fraktal değer grafiği (Fractal value graph of southeast facades of mosques)

üzerinden karşılaştırmalı bir şekilde analiz edilmesini sağlar ve her iki caminin mimari karakteristiklerini belirgin bir şekilde ortaya koyar. Selimiye Camii, diğer eserlere kıyasla katman değerlerinin birbirine daha yakın olmasıyla dikkat çeker, bu da caminin çok daha dengeli ve yalın bir tasarıma sahip olduğunu göstermektedir.

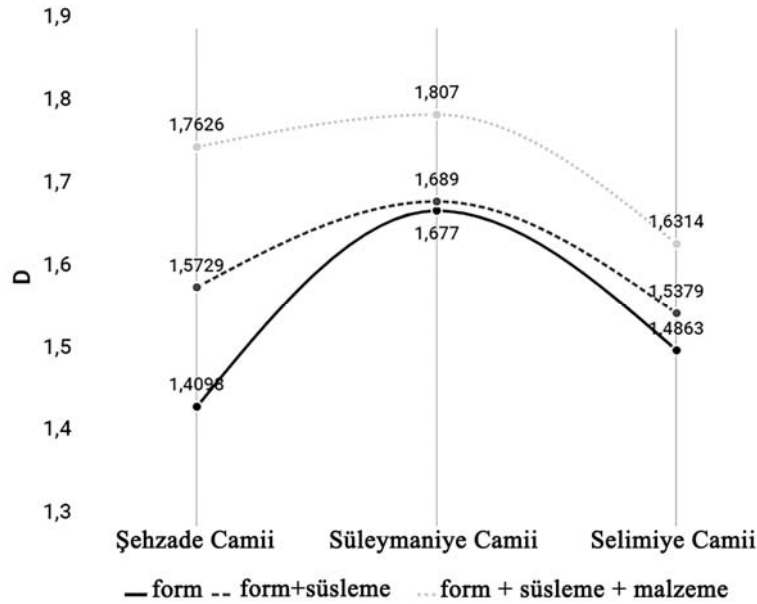
Eserlerin tüm cephelerinden elde edilen sayısal değerlerin ortalaması, her bir yapı için kümülatif fraktal boyut bilgisini sağlar. Bu bilgi, camilerin bütünsel olarak kıyaslanmasına olanak tanır. Şekil 9'da dikkat çektiği üzere, Sinan'ın eserleri arasında yapılan bu karşılaştırmada, yas anıtı olarak inşa edilen Şehzade Mehmet Camii, süsleme ve bezeme açısından en zengin yapı olarak öne çıkar. Buna karşın, Süleymaniye Camii en yalın tasarıma sahip olan yapıdır. Ayrıca, üç farklı katman üzerinden gerçekleştirilen analizlerde,

Sinan'ın son dönem eserlerinden olan Selimiye Camii, diğer eserlere kıyasla katman değerlerinin birbirine daha yakın olmasıyla dikkat çeker, bu da caminin çok daha dengeli ve yalın bir tasarıma sahip olduğunu gösterir.

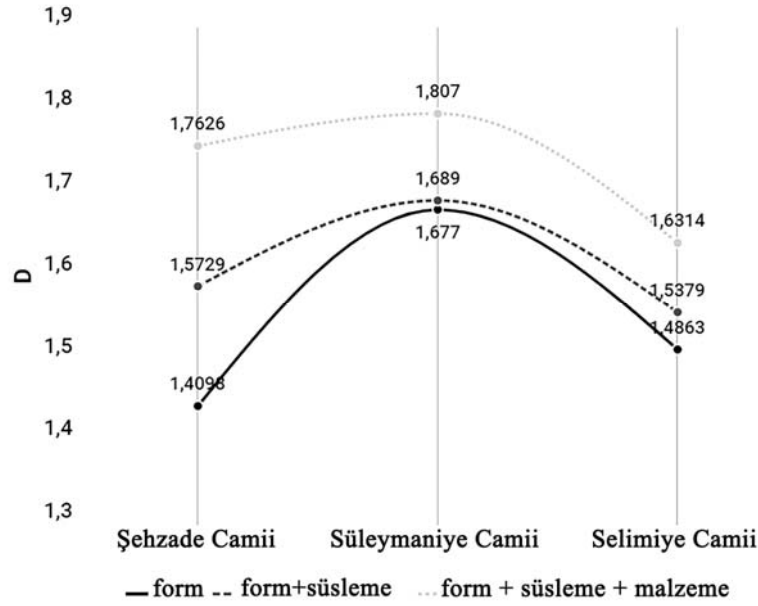
Sinan'ın, birçok çalışmada konu edilen bu üç başlıca eseri fraktal analiz yöntemleriyle incelendiğinde, tasarım anlayışının zaman içerisinde sadeleştiği ve geliştiği görülmektedir. Çalışmalar, Sinan'ın her bir sonraki yapısında, önceki projelerinden elde ettiği deneyimlerle sürekli yenilikler ekleyerek vaka bilgisini ilerlettiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Sinan'ın eserlerinde görsel karmaşıklığın, yapıların biçimsel ve mekânsal kurgusunun şekillenmesinde, eser banilerinin büyük etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 5'te ifade edildiği üzere, Şehzade Mehmet Camii'nde, I. Süleyman'ın oğlunun



Şekil 7. Camilerin kuzeydoğu cephelerine ait fraktal değer grafiği (Fractal value graph of the northeastern elevations of mosques)



Şekil 8. Camilerin güneybatı cephelerine ait fraktal değer grafiği (Fractal value graph of southwestern elevation of mosques)



Şekil 9. Camilerin ortalama fraktal değer grafiği (Average fractal value graph of mosques)

anısına yapılan süsleme ve bezemeler, onun talebi üzerine yoğun olarak kullanılmıştır [1]. Bu durum, proje banilerinin projelere olan etkisinin sayısal veriler üzerinden de incelenebileceğini göstermektedir. Ancak, projelerin mimari gramerlerinin farklı faktörler tarafından etkilenebileceği göz ardı edilmemelidir.

Hesaplamalı analiz çalışmaları, mimari yapıların net bir şekilde yorumlanmasını ve tartışılmasını her zaman mümkün kılmamakla birlikte, mimari tartışmalara matematiksel bir perspektiften önemli katkılarda bulunmaktadır. Araştırma, mimarlık tarihi literatüründen elde edilen bilgilerle fraktal boyut analizi yaklaşımından elde edilen sayısal verilerin birbirini desteklediğini göstermektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada kullanılan fraktal boyut yöntemi, Sinan'ın camilerinin cephelerinde gözlemlenen geometrik ve görsel özelliklerin analiz edilmesi sürecinde özellikle değerli olmuştur. Yöntem, camilerin form, süsleme ve malzeme katmanlarını matematiksel olarak ifade ederek, bu eserlerin genel kapsamda kabul görmüş özelliklerinin niceliksel olarak ölçülmesini sağlamıştır. Sonuç olarak, araştırmanın bulguları, mimarlık kuramları ve pratiklerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunmuş ve mimari yapıların karmaşıklığını değerlendirmek için fraktal analiz yönteminin kazanımlarını somut örneklerle desteklemiştir.

Tablo 5. Camilerin süsleme yüzdeleri
(Ornamentation percentages of mosques)

Camiler	Süsleme %
Şehzade Mehmet Camii	17,6
Selimiye Camii	5
Süleymaniye Camii	2,1

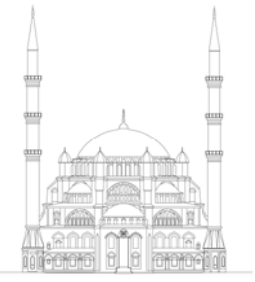
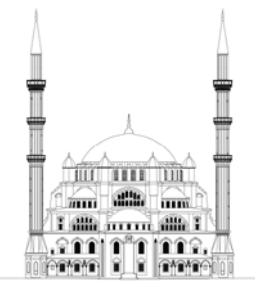
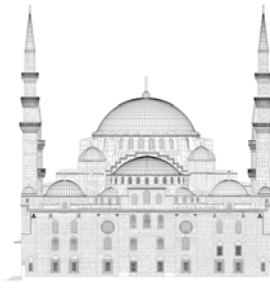
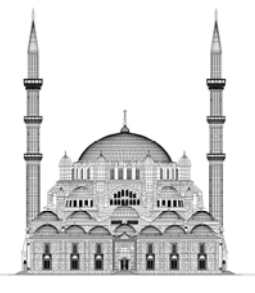
4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Sinan mimarlığı, çeşitli kültürel geleneklerden beslenirken; yaşantısı boyunca almış ve edinmiş tecrübe kaynaklı formal ve informal eğitimleri, katıldığı askeri seferler gibi çeşitli etkenlerle şekillenerek sürekliliği olan bir gelişim göstermiştir. Araştırmacılar, Sinan mimarisinin süslemelerden arındırılmış karakteriyle birlikte, cephe kurgularında plastik bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişler; diğer

tarafтан her yeni eserine mekânsal ve strüktürel bağlamda yenilik kazandıran unsurlar aktardığını belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında elde edilen sayısal verilerle bu değerlendirmeler kıyaslandığında, birçok ortak nokta tespit edilmektedir. Güneydoğu cepheleri üzerinden camiler ve katmanları Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak temsil edilmektedir. Özellikle, Sinan'ın mimari kompozisyonlarında bezeme unsurlarının yoğun olarak yer almadığı açıktır. Sinan mimarisinin temeli, süslemelerden uzak olmakla birlikte, yapısal formdan ve strüktürel yapıdan kaynaklanan estetik kaygılardır. Yapılan araştırmada, sayısal verilerle yapı cephelerinin görsel karmaşıklığı arasındaki süreklilik, çok katmanlı fraktal analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada Sinan'ın eserleri üzerinde yürütülen sayısal analizler, daha önce bahsedilen akademik görüşlerle önemli paralellikler göstermiştir. Özellikle, Sinan'ın tasarım sürecinde form, süsleme ve malzeme kullanımı gibi unsurların evrimi üzerine yapılan değerlendirmeler, fraktal analiz yöntemiyle elde edilen verilerle doğrulanmıştır. Bu analizler, Sinan'ın mimari yaklaşımının sadeleşme ve dönemsel değişimlerini nicel olarak göstermiş, ayrıca yapılarının geometrik ve görsel karmaşıklığını matematiksel bir çerçevede sunarak, önceki yorum ve yaklaşımların doğruluğunu ve derinliğini artırmıştır. Bu sonuçlar, Sinan mimarlığının anlaşılması ve değerlendirilmesi konusunda yeni perspektifler sunmaktadır. Bulgular, Sinan'ın mimari kimliğinin şekillenmesinde sadece içsel dönüşümlerin değil, aynı zamanda dış etkenlerin de olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, sayısal yöntemler kullanılarak Sinan'ın mimari kariyerinin belirli dönemlere net bir şekilde ayrılmasının mümkün olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları, seçilen yapıların cephelerindeki görsel karmaşıklığı açığa çıkarmıştır. Sinan, genel olarak yapılarında süslemelerden uzak durmuş, tezhip ya da tarsi gibi geleneksel süsleme tekniklerinden çoğunlukla kaçınmıştır. Yapılarında bezemelere sınırlı yer verilmiş olup, süsleme yoğunlukları eserlerin banisine göre değişkenlik göstermiştir. Bu gözlemler, çok katmanlı fraktal boyut analizi yoluyla da desteklenmiştir. Sinan'ın mimarisine süsleme, yapısal kurgu öğeleri olan kubbeler, tonozlar, sütunlar ve kemerler aracılığıyla entegre edilmiştir. Formun genel kurgusu, yapı strüktüründen türetilmiş olup, binanın görsel karmaşıklığının büyük bir kısmı bu yapısal öğeler tarafından sağlanmıştır.

Tablo 6. Camilerin güneydoğu cephelerine karşılaştırmalı bir bakış (A comparative look at the southeastern elevations of mosques)

	Şehzade Mehmet Camii	Süleymaniye Camii	Selimiye Camii
Form			
Form + Süsleme			
Form + Süsleme + Malzeme			

Sinan'ın camilerinin estetik görünümünün, cephede bulunan süslemelerden ziyade, yapının formuna bağlı olduğunu ifade eden sezgisel ve düşünsel yorumlar, araştırmanın sağladığı sayısal verilerle doğrulanmıştır. Bu sonuçlar, Sinan'ın mimarisinde görsel karmaşıklığın süslemelerden ziyade, form ve malzeme kullanımıyla şekillendiğini belirten önceki araştırmaları güçlendiriyor.

Sayısal veriler kullanılarak Sinan'ın değişen tasarım diline ilişkin varsayımlarda bulunmak mümkün olsa da, bu verilerin sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Tekil ve karşılaştırmalı cephe analizleri yapılmış olmasına rağmen, sayısal veriler politik durumlar, işgücü ve maddi kaygılar gibi önemli faktörleri ölçmemektedir; bu faktörlerin Sinan'ın mimarisini şekillendirmedeki etkileri bilinmemektedir. Sayısal analiz yöntemleri, bir mimari yapının kesin bir yorumunu sağlayamasa da, diğer inceleme yöntemleri ile birlikte kullanıldığında yardımcı bir eleştiri aracı olarak değerli olabilir. Bu çalışmalar, mimarlar veya mimari yapılar üzerinden yapılan karşılaştırmalı analizlere nicel verilerle yaklaşım olanağı sunarak mimari bağlamda büyük bir değer taşır. Böylece, elde edilen nicel veriler, mevcut kuramsal bilgileri desteklemenin yanı sıra, mimari pratiklerde gerçekleştirilecek yeni tasarımlar için de değerli bir yol gösterici olarak işlev görebilir. Gelecek çalışmalar için, bu araştırma metodolojisinin mimarlık tarihi ve kuramsal çalışmalarda nasıl bir katkı sağlayabileceğini detaylandırmak önemlidir. Fraktal boyuta dayalı yöntemlerin kullanımının, mimari tasarımların sezgisel

yönlerini sayısal olarak test etme ve sınamaya olanak vermesi, bu yöntemin hem teorik hem de pratik mimari çalışmalarda önemli bir yere sahip olabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, mimarlık tarihi araştırmalarında, farklı dönem ve mimarların eserlerini karşılaştırmak için de benzer sayısal tekniklerin kullanılması önerilebilir. Bu yaklaşımlar, yeni tasarımların geliştirilmesinde ve mevcut yapıların daha derinlemesine analiz edilmesinde yol gösterici olabilir.

Sonuç olarak, fraktal boyutun mimari bağlamda kullanımı, büyük ölçekli planlamalardan detay tasarımına kadar, mimari kurguların değişim ve gelişim süreçlerini derinlemesine analiz etmek için son derece etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada fraktal boyut, Mimar Sinan'ın eserlerindeki evrimsel değişiklikleri ve yapılar arası ilişkileri detaylı bir şekilde incelemek amacıyla kullanılmıştır. Sinan eserleri üzerine araştırmacıların ortaya koyduğu mimari kuramsal bilgiler, sayısal verilerle desteklenmiştir. Bu entegrasyon, mimari tasarım, mimarlık tarihi ve matematik gibi farklı disiplinler arasında köprü kurarak, mimari eleştiri ve tartışmalara yeni perspektifler katmıştır. Ayrıca, hesaplamalı analizlerin mimarlık alanında ne denli yol gösterici olabileceği ve çok katmanlı fraktal analizin mimari eleştiride önemli bir araç olarak nasıl kullanılabileceği bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Bu çalışma ve benzeri hesaplamalı yöntemler kullanılarak yapılan diğer araştırmalar, gelecekte mimari kurguların nicel analizi için daha geniş bir metodolojik çerçeve sunabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde göstermiş olduğu cömert destek ve sağladığı değerli kaynaklar nedeniyle Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne derin minnettarlığımızı ifade etmek istiyoruz. Araştırmanın temel taşlarından olan rölöve çizimleri ve tarihi belgeler gibi önemli materyallerin sağlanmasında gösterdikleri iş birliği, araştırmanın bilimsel doğruluğunu ve kapsamını büyük ölçüde artırmış ve çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasına olanak sağlamıştır.

Kaynaklar (References)

1. Çelebi, S. M., Yapılar kitabı: Tezkiretü'l-bünyan ve Tezkiretü'l-ebniye: Mimar Sinan'ın anıları, Koç Kültür ve Sanat Tanıtım, İstanbul, 2003.
2. Goodwin, G., A history of Ottoman architecture. Thames and Hudson Yayınları, London, England, 1971.
3. Stratton, A., Sinan. Charles Scribner's Sons Yayınları, Newyork, 299, 1972.
4. Kuran, A., Mimar Sinan. Hürriyet Vakfı Yayınları, İstanbul, 320, 1986.
5. Rogers, J. M., Sinan. Oxford University Press, Oxford, England, 2006.
6. Kuban, D., Sinan'ın Sanatı ve Selimiye. İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 2011.
7. Necipoğlu, G., Sinan Çağı: Osmanlı İmparatorluğu'nda Mimari Kültür, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 799, 2013.
8. Erarslan A., Mimar Sinan Era Kulliyes in the Ottoman Urban Landscape, BELLETEN, 84 (299), 75-104, 2020.
9. Günay, R., Sinan Neden Bir Tasarım Dehasıdır?, Yem Yayınları, İstanbul, 128, 2019.
10. Harmankaya, N. Ç. A., Mimar Sinan camilerinde sembolizm, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Türkiye, 2017.
11. Tuztaşı, U., Pınar, K. O. Ç., Sinan Anlatısında Metodolojik Benzeşim ve Ayrışmalar: Dört Kaynak Üzerinden Bir Karşılaştırma Denemesi, International Journal of Social Humanities Sciences Research, 4 (14), 1585-1598, 2017.
12. Erzen, J. N., Mimar Sinan estetik bir analiz. Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, Ankara, 153, 2005.
13. Yu, R., Gu, N., Ostwald, M. J., Computational design: technology, cognition and environments, CRC Press, 2021.
14. Kuruçay, E., Karadag, İ., Computational Approaches in 21st Century Architectural Design: Defining Digital Representation Methods. Duzce University Journal of Science and Technology, 10 (3), 1201-1217, 2022.
15. Ediz, Ö., Ostwald, M. J., The Süleymaniye Mosque: a computational fractal analysis of visual complexity and layering in Sinan's masterwork, Arq: Architectural Research Quarterly 16, 171-182, 2012.
16. Ostwald, M. J., Ediz, Ö., Measuring form, ornament and materiality in Sinan's Kılıç Ali Paşa Mosque: an analysis using fractal dimensions, Nexus Network Journal, 17, 5-22, 2014.
17. Kuban, D., Osmanlı Mimarisi. Yem Yayınları, İstanbul, 1-720, 2016.
18. Egli, E., Sinan: Der Baumeister Osmanischer Glanzzeit, 1954.
19. Taut, B., Mimari Bilgisi, Güzel Sanatlar Akademisi, 1938.
20. Eldem, S. H., Türk mimari eserleri, Binbirdirek Matbaaerhk Sanayii Yayınları, 1974.
21. Cansever T., Mimar Sinan, Albaraka Yayınları, 2010.
22. Kuruçay, E., Sinan mimarisinde görsel karmaşıklığın hesaplamalı analizi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 2020.
23. Erarslan, A., Structural and Spatial Analysis of the Mosques of the Architect Sinan With Hexagonal and Octagonal Baldachin Systems, Journal of History Culture and Art Research, 10 (3), 1-26, 2021.
24. Idham, N. C., Numan, I., Megadome Evolution in The Ottoman's Mosques; The Links. Journal of Design and Built Environment, 20 (3), 52-70, 2020.
25. Arslan, A., An Investigation into Spatial Dome Structures of Mimar Sinan Projects. In ICONARCH International Congress of Architecture and Planning; 2020: ICONARCH IV-Space and Process in Architecture and Planning. Konya Technical University Faculty of Architecture and Design, 2020.
26. Özyalvaç, A. N., The pointed arch formations and comparative analysis of Süleymaniye Mosque, İstanbul. International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 7 (54), 1518-1530, 2020.
27. Günay, R., Mimar Sinan. YEM Yayın, İstanbul, 234, 2014.
28. Saatçi, S., Mimar Sinan Bir Osmanlı Mucizesi. Ötüken Neşriyat, İstanbul, 2011.
29. Geisler, P., Sinan's Iconic Practices: Staging Early Modern Ottoman Architecture and Power. Studies on Modern Orient, 303, 2023.
30. Caetano, I., & Leitão, A., Architecture meets computation: an overview of the evolution of computational design approaches in architecture. Architectural Science Review, 63 (2), 165-174, 2020.
31. Gökmen, S., Aykin, Y., Basik, A., Alacam, S., A Recursive Algorithm for the Generative Study of Seljuk Muqarnas in Kayseri and Sivas. Nexus Network Journal, 25 (3), 751-772, 2023.
32. Güzelci, O. Z., Alaçam, S., Bekiroğlu, B., Karadag, I., A machine learning-based prediction model for architectural heritage: The case of domed Sinan mosques. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 35, 2024.
33. Mandelbrot, B., Fractal geometry of nature. W. H. Freeman and Company, New York, 468, 1982.
34. Bovill, C., Fractal geometry in architecture and design, 1996.
35. Jahanmiri, F., Parker, D. C., An overview of fractal geometry applied to urban planning. Land, 11 (4), 475, 2022.
36. Yu, R., Ostwald, M.J., Gu, N., Mathematically defining and parametrically generating traditional Chinese Private Gardens of the Suzhou Region and Style. Environment and Planning B: UrbanAnalytics and City Science, 45, 44-66, 2018.
37. Driscoll, J. C., Fractal Patterns as fitness criteria in genetic algorithms applied as a design tool in architecture. Nexus Network Journal, 23 (1), 21-37, 2021.
38. Driscoll, J.C., Fractal Patterns as Fitness Criteria in Genetic Algorithms Applied as a Design Tool in Architecture, Nexus Network Journal, 23, 21-37, 2021.
39. Vaughan, J., A computational fractal analysis of wright's Kaufman house in the context of his theories and domestic architecture. Ph.D. Thesis, The University of Newcastle, Faculty of Architecture, Callaghan, Australia, 2017.
40. Yıldız, M. A., Ertoşun Yıldız, M., Beyhan, F., Developing Dynamic and Flexible Façade Design with Fractal Geometry. Journal of Architectural Sciences and Applications, 8, 1-14, 2023.
41. Lionar, M.L., Ediz, Ö., Measuring Visual Complexity of Sedat Eldem's SSK Complex and Its Historical Context: A Comparative Analysis Using Fractal Dimensions, Nexus Network Journal, 22, 701-715, 2020.
42. Lee, J. H., Ostwald, M. J., Fractal dimension calculation and visual attention simulation: assessing the visual character of an architectural façade. Buildings, 11 (4), 163, 2021.

