

HESAPLAMALI TASARIM İLE MALZEMENİN KİNETİK DAVRANIŞLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Beyhan Elhaman^{1*}

¹ Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
beyhanelhaman@duzce.edu.tr, 0000-0003-0904-4635

ÖZET

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte mimari tasarımda esneklik ve uyarlanabilirlik ön plana çıkmış, değiştirilebilir ve dönüştürülebilir mekânlara olan ihtiyaç artmıştır. Bu ihtiyaç, çevresel verilere duyarlı olarak işlev kazanan kinetik yapıların benimsenmesine yol açmıştır. İklim koşulları, kullanıcı ihtiyaçları ve enerji verimliliği gibi faktörlere göre şekil değiştirebilen bu yapılar, özellikle akıllı malzeme gelişmeleriyle daha yaygın hâle gelmiştir. Bilgisayar destekli tasarım araçlarının gelişmesi ise kinetik mimaride üretim ve tüketim süreçlerini esnekleştirerek, parametrik, üretken ve performans odaklı yöntemlerle daha yenilikçi çözümler geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu çalışmada, malzemenin teknik özellikleri ile hesaplamalı tasarım yöntemlerinin birlikte ele alındığı kinetik mimari tasarım yaklaşımları incelenmektedir. Araştırmanın temel amacı, bu bağlamda geliştirilen tasarımların analiz edilerek tasarımcılar için referans niteliğinde sistematik bir karar alma sürecini ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında araştırılan örnekler kinetik yapı, malzeme kullanımı ve hesaplamalı tasarım yöntemlerini içeren üç ana başlık ve buna bağlı olarak belirlenen alt kriterler ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda kinetik mimari yapılarda parametrik tasarım, simülasyon ve optimizasyon gibi yöntemlerin ağırlıklı olarak kullanıldığı, malzemenin teknik ve yapım özelliklerinin süreç boyunca ele alındığı görülmüştür. Gelecek çalışmalarda kullanılacak yöntem ve malzeme açısından tasarımcılara bütünlük bir yaklaşım sunularak, başka yöntem ve kinetik özelliklerde sürece dahil edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı tasarım, Akıllı malzeme, Kinetik mimari.

INVESTIGATING THE IMPACT OF COMPUTATIONAL DESIGN AND MATERIAL ON KINETIC BEHAVIORS

ABSTRACT

With the advancement of technology, flexibility and adaptability have become increasingly prominent concepts in architectural design, leading to a growing demand for transformable and reconfigurable spaces. This shift has resulted in the adoption of kinetic structures, which function dynamically and responsively by incorporating data from the environment into elements such as façades or other building components. These structures possess the capability to change shape in response to factors such as climatic conditions, user needs, and energy efficiency requirements. In particular, the development of smart materials has facilitated the wider and more effective implementation of kinetic systems. Moreover, advancements in computer-aided design tools have enhanced the flexibility of production and generation processes in kinetic architecture, enabling more innovative and complex solutions through methods such as parametric design, generative design, and performance-based design. This study investigates kinetic architectural design approaches that integrate material properties with computational design methods. The primary aim is to analyze such design approaches and present a systematic decision-making framework that can serve as a reference for designers. The examined examples are evaluated under three main categories: kinetic structures, material usage, and computational design methods, along with their associated sub-criteria. The findings indicate that kinetic architectural applications predominantly employ parametric design, simulation, and optimization methods, while considering the technical and constructional properties of materials throughout the process. Future research may benefit from offering designers a more integrated approach, incorporating alternative methods and kinetic features into the design process.

Keywords: Computational design, Smart material, Kinetic architecture.

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Geliş/Received: 02.06.2025 Kabul/Accepted: 18.06.2025

Elhaman, B. (2025), Hesaplamalı tasarım ile malzemenin kinetik davranışlar üzerindeki etkisinin incelenmesi.

KARESİ Journal of Architecture, 4(2), 104-123.

EXTENDED SUMMARY

Research Problem

A review of the literature on kinetic architecture reveals that aspects such as movement mechanisms, material usage, design processes, and functionality have been examined from various perspectives. However, there appears to be a lack of comprehensive studies that holistically evaluate these three key dimensions—kinetic structure, material usage, and computational design methods—within a unified framework.

Research Questions

This study investigates the extent to which applications in kinetic architecture have been influenced by the development of computational design methods and smart material technologies. In this context, it also examines which building component is most commonly utilized in kinetic architectural designs, along with the preferred design approaches and material types.

Literature Review

Kinetic architecture is defined as the design of buildings with movable components that can respond to environmental conditions and user needs, and this field has rapidly advanced in parallel with technological developments (Elmokadem et al., 2018; Fox & Yeh, 1999). Since the 1960s, advancements in construction techniques, material diversity, and digital tools have transformed kinetic architecture into a design approach that offers flexible and dynamic solutions. In this process, various classifications of movement have been developed, enabling a systematic evaluation of functional aspects in kinetic designs (Schumacher et al., 2009). Today, computer-aided design tools integrate form, material, and fabrication processes, supporting innovative solutions through modular systems and the use of smart materials (Menges, 2010; Addington & Schodek, 2005).

With the advancement of materials and computational design methods, the number of kinetic architectural applications has significantly increased. In this context, selected examples of kinetic architecture were analyzed based on a literature review and evaluated according to a conceptual framework structured around three main categories: material usage, kinetic structure characteristics, and computational design methods. Accordingly, the study aims to examine contemporary applications of kinetic architecture from both conceptual and technical perspectives in a holistic manner.

Methodology

In this study, kinetic architecture applications from the year 2000 onward were selected based on a comprehensive literature review and analyzed according to a conceptual set of criteria. These criteria were structured under three main categories: material usage, kinetic structure, and computational design methods. Each example was systematically examined and evaluated according to sub-criteria defined under these categories. Through this method, the study analyzes current approaches in kinetic architecture, technology-based design strategies, and the impact of material selection on architectural outcomes. Adopting a qualitative content analysis methodology, the research presents the design parameters of the selected cases through a holistic framework.

Results and Conclusions

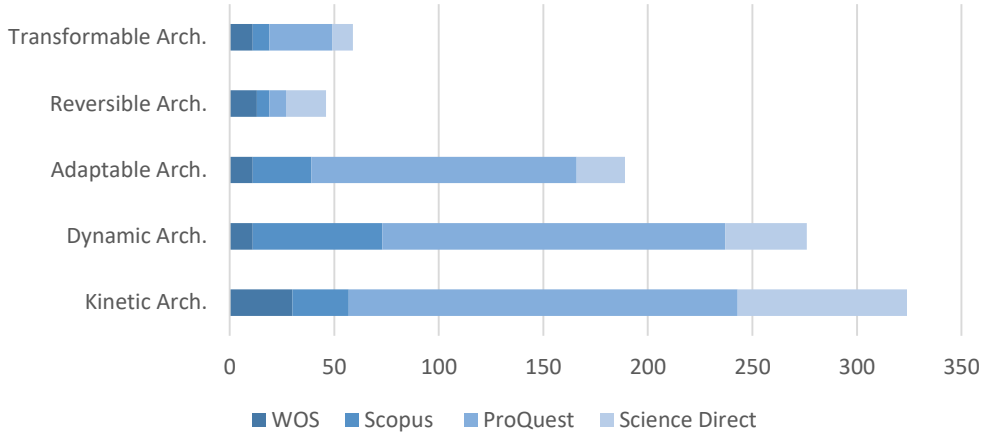
The analysis reveals that kinetic architecture examples constructed after the year 2000 employ a diverse range of material types, movement mechanisms, and computational design methods. Lightweight and permeable composite materials such as GFRP, ETFE, and PTFE-coated fiberglass have been commonly used, alongside durable materials like steel and wood. However, the use of smart materials capable of changing shape or color remains limited. Kinetic movements have predominantly been applied to façade components, utilizing sliding, rotating, and folding mechanisms to achieve natural ventilation, shading, and daylight control. In terms of control systems, environmentally responsive solutions have become prominent, while the use of passive systems that react autonomously has shown a noticeable increase.

Parametric modeling emerged as a dominant approach in all examined cases, with biomimetic strategies, simulations, and genetic algorithms also widely employed to enhance energy efficiency. In contrast, generative approaches such as shape grammars, L-systems, and cellular automata have remained limited in application.

In conclusion, this study introduces a systematic framework for analyzing kinetic architectural structures by classifying them through the lenses of kinetic architecture, computational design, and material usage. The findings demonstrate that kinetic architecture is becoming increasingly integrated with digital design technologies. Furthermore, the combined use of advanced material properties and computational methods is enabling more sustainable, performance-driven, and environmentally responsive architectural solutions. In this respect, the study serves as a reference for future kinetic architectural projects, offering a guiding framework for the integration of dynamic building elements into architectural design.

1. GİRİŞ

Kinetik mimari felsefesi, temel olarak yapının hareket edebilirliğine odaklanır. Bu hareketlilik, yapının yer değiştirebilir olması ya da bulunduğu yerde biçim değiştirebilir olması şeklinde kendini gösterebilir (Soyluk & Sarıcaoğlu, 2015). Son yıllarda kinetik mimari kavramı birçok alanda uygulanmaya başlamıştır. Ortaya çıkan alan kombinasyonları yeni terimlerin de kullanıldığını göstermektedir. Bu terimlerden bazıları diğer terimlerle örtüşmektedir. Bu durum farklı bilimsel kaynaklarda anahtar kelimelerin kullanım sıklığı incelenerek ele alınmıştır. Şekil 1'de, kavramların 1974 ve 2024 yılları arasında Proquest, Science Direct, Scopus ve Web of Science'daki kullanımları verilmiştir.



Şekil 1. Kinetik mimari ile ilgili 1974 ve 2024 yılları arasında kullanılan kavramların sayısal verileri.

Şekil 1'de kinetik mimari (kinetic architecture) en sık kullanılan terim olup, bunu "dinamik mimari" (dynamic architecture) takip etmektedir. Daha düşük sıklıkta kullanılan ancak alanla ilişkili diğer kavramlar arasında "adaptif mimari" (adaptable architecture), "dönüştürülebilir mimari" (transformable architecture) ve "tersine çevrilebilir mimari" (reversible architecture) yer almaktadır. Bu kavramların birbiriyle örtüşebildiği ve paralel olarak kullanılabilirdiği gözlemlenmektedir.

20. yüzyıldan itibaren mimari tasarımda hareket, esneklik ve uyarlanabilirlik kavramları ön plana çıkmış, buna bağlı olarak dönüşebilir mekânlara duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu dönüşüm, geleneksel statik yapı anlayışından uzaklaşarak kinetik ve hafif yapı sistemlerinin benimsenmesini beraberinde getirmiştir. Bu süreçte gelişmiş malzeme teknolojileri, değişimi destekleyen önemli unsurlardan biri olmuştur. Çağdaş malzeme teknolojileri, çevresel verilere duyarlı mekânların tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Geleneksel yaklaşımlarda malzeme yalnızca çevresel etkilere karşı direnç gösterirken, günümüzde bu etkilere tepki verebilen ve ortama uyum sağlayabilen nitelikler kazanmaktadır (Arpacıoğlu & Kuruç, 2010).

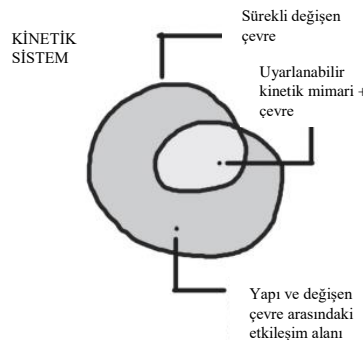
Bu gelişmeler doğrultusunda, malzeme ve mekân algısında önemli dönüşümler yaşanmış, tasarım teknikleri de bu değişimlerden etkilenmiştir. Sayısal teknolojilerin tasarıma entegrasyonu sayesinde, malzeme davranışları hesaplamalı yöntemlerle analiz edilebilir hale gelmiş ve böylece akıllı yapı sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur.

Bu bağlamda sunulan bu çalışmada, kinetik mimari kavramı çerçevesinde malzeme kullanımı ve hesaplamalı tasarım yaklaşımları ele alınmaktadır. İlk olarak kinetik mimari kavramı ve tarihsel gelişimi incelenerek yapısal sınıflandırması yapılmış, ardından mimarlıkta uygulanmış olan kinetik tasarımlar ile ilgili prensipler, *kinetik özellikler, akıllı malzemeler ve kullanılan yenilikçi (hesaplamalı) yöntemler* açısından ele alınmıştır. Araştırma sonucunda, kinetik mimari kapsamında kullanılacak kavramsal bir kriter seti geliştirilmiş ve seçilen tasarım örnekleri üzerinden kinetik mimari, malzeme ve hesaplamalı yöntemler arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışma, seçilen tasarımları geliştirilen kriterler doğrultusunda değerlendirerek, tasarımcılar için referans niteliğinde sistematik bir karar alma süreci ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. KİNETİK MİMARİ

Kinetik mimari, çevresel koşullara veya kullanıcı ihtiyaçlarına göre değiştirilebilir bileşenlere sahip yapıların tasarımı olarak tanımlanmaktadır (Elmokadem vd., 2018). Bu bağlamda, Fox ve Yeh (1999), kinetik mimariyi konumu ya da geometrisi değişebilen bina ve yapı bileşenleri olarak tanımlamışlardır. Kinetik hareket, yapının tamamında ya da yalnızca belirli bileşenlerinde görülebilmektedir.

Kinetik mimarinin temelinde, yapının hareket edebilmesi ya da biçimsel olarak dönüşebilmesi anlayışı yatmaktadır. Yapılar, taşınabilir formda tasarlanabileceği gibi, bulunduğu konumda geometrik dönüşüm geçirebilecek şekilde de kurgulanabilir (Korkmaz, 2009). Bu doğrultuda, kinetik sistemler yapısal bütünlüklerini koruyarak kısmi ya da tam biçimsel değişimlere olanak tanımakta ve çevresel faktörlere tepki verebilecek uyarlanabilirlik özellikleri sergilemektedir. Aynı zamanda kinetik sistem sürekli değişen bir çevrede konumlanmakla birlikte, kendi çevresini de üretme yeteneğine sahiptir (Şekil 2) (Sanchez-del-Valle, 2005).



Şekil 2. Kinetik konsept diyagramı (Sanchez-del-Valle, 2005).

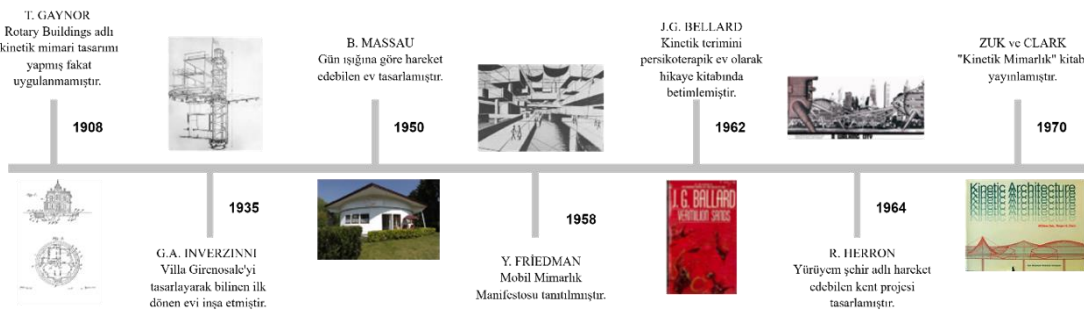
Özetle kinetik mimarlık, yapıların çevresel koşullara ya da kullanıcı ihtiyaçlarına uyum sağlamak amacıyla şekil değiştirebilen ya da hareket edebilen bir tasarım anlayışıdır. Bu tür yapılar, bütünsel olarak ya da yalnızca belirli yapısal bileşenleri aracılığıyla değişim gösterebilir.

Çalışmada, kinetik mimarlık kavramı mekânsal bağlamda yeniden ele alınarak, hareketin tasarım üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda, kinetiğin yalnızca teknik bir çözüm değil, aynı zamanda tasarım sürecinin belirleyici bir unsuru olarak nasıl işlev kazandığı ortaya konulmaktadır. Bölüm 2.1’de kinetik mimari ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve tarihsel süreç içerisindeki gelişimi özetlenmiştir.

2.1. Tarihsel Süreç

Kinetik mimari terimi 20. yüzyılın başlarında Thomas Gaynor’un tasarladığı fakat inşa edilmeyen ve iç mekânı hareketli olacak şekilde kurguladığı *Rotary Building* tasarımı ile ortaya çıkmıştır. 1935’te tamamlanan *Villa Girasole* ise, bilinen ilk dönen ev olup, gün ışığını en verimli şekilde kullanmak için güneşe göre konumlanmaktadır (Randl, 2008). 1950’lerde Bay Massau, gerektiğinde hareket edebilen bir ev inşa etmiş, 1958’de ise Yona Friedman *Mobil Mimarlık Manifestosu*’nu yayımlayarak mekânsal unsurların değiştirilebilir olduğu bir mobil şehir önermiştir (Tagliabue, 2008; Emanuel, 1980).

1960’larda bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle kinetik mimarlık tanımı evrilmiştir. 1962’de Graham Bellard, *Psikoterapik Ev* kavramını ortaya atarken, 1964’te Ron Herron’un *Yürüyen Şehir* tasarımı robotik kentlerin olasılığını göstermiştir (Afzali & Hamzehloo, 2018). 1970’lerde Zuk ve Clark, *Kinetik Mimarlık* kitabıyla uyarlanabilir sistemlerin önemine vurgu yaparak, statik yapıların yerine hareketli mekanizmaların gerekliliğini savunmuşlardır (Phocas, 2013).



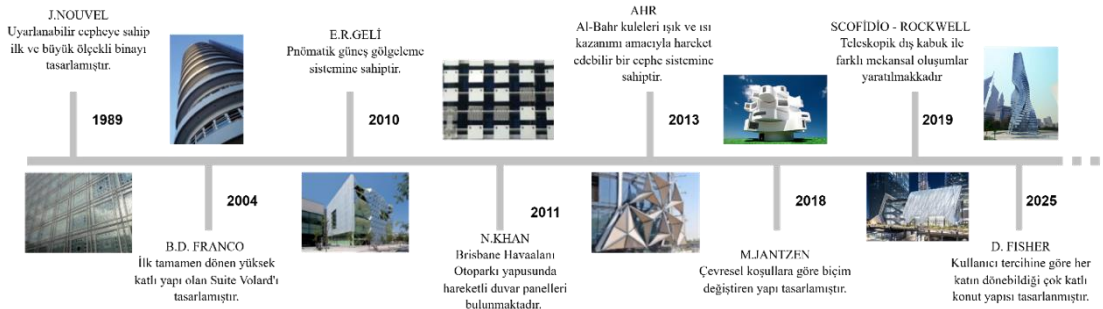
Şekil 3. Kinetik mimari tarihsel süreci (1908-1970).

1989’da Jean Nouvel’in *Institut du Monde Arabe* binası, uyarlanabilir dış cepheye sahip büyük ölçekli ilk yapılar arasındadır. 1990’ların sonlarından itibaren enerji verimliliği odaklı mekanik sistemler kinetik mimariye entegre edilmeye başlanmıştır (Koleravic, 2009; Kolaveric & Parlac, 2015). 2004’te Bruno De Franco tarafından tasarlanan *Suite Vollard*, tamamen dönebilen ilk yüksek katlı

apartman olmuştur (Randl, 2008). Sürdürülebilirlik ve teknolojik gelişmeler, kinetik mimarlığı daha ileri aşamaya taşımıştır (Yanchanka, 2024). Örneğin 2010'da Enric Ruiz-Geli'nin *Media ICT* binası pnömomatik güneş gölgeleme sistemine sahipken (Koleravic,2009), 2011'de Ned Khan'ın Brisbane Havaalanı Otoparkı'nda kinetik duvar sistemi tasarlanmıştır (Delana, 2015). 2013'te tasarlanan *AL-Bahr Kuleleri* ise, kinetik mimarinin en önemli çağdaş örneklerindedir.

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte yapılar daha işlevsel ve dinamik hale gelmiş, özellikle 20. yüzyılın sonlarına doğru yapay zekâ kavramı mimarlıkta da önemli bir etki yaratmıştır. Bu süreçte, insan benzeri görevleri yerine getirebilen bilgisayarlı sistemlerin (örneğin robotlar, uzaktan kumandalı cihazlar) gelişimi hız kazanmış; bu gelişmeler mimaride akıllı asansörler, otomatik otopark sistemleri ve biyomekanik kinetik yapılar gibi akıllı kinetik uygulamaların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Ramzy & Fayed, 2011).

Bu bağlamda 2018 yılında Michael Jantzen tarafından geliştirilen *Wind Shaped Pavilion* tasarımı, çevresel koşullara tepki vererek sürekli biçim değiştiren yapı anlayışını yansıtırken (Inhabitat, 2006), 2019'da Diller Scofidio + Renfro ve Rockwell Group iş birliğiyle inşa edilen *The Shed*, teleskopik dış kabuğu sayesinde farklı mekânsal senaryoların oluşturulmasına imkân tanımaktadır (Dom, 2025). 2025 yılında tamamlanması planlanan *Dubai Dynamic Tower* ise, her katın kullanıcının tercihine göre dönebildiği çok katlı bir konut bloğu tasarımıyla, kinetik mimaride bireysel kontrol ve yapısal esneklik örneğini sunmaktadır (Lorek,2018). Kinetik mimarinin söz konusu gelişimi Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Kinetik mimari tarihsel süreci (1989-).

Kinetik mimarlık; gün ışığı kontrolü, ısı kazanımı, gölgeleme sistemleri, kullanıcı ihtiyaçları ve yenilikçi malzeme kullanımı gibi çeşitli etkenler doğrultusunda gelişim göstermektedir. Bu alanda gerçekleştirilen yeniliklerin, geleceğin dinamik ve adaptif yapı formlarının oluşumuna katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu bağlamda, kinetik mimarlığa ilişkin uygulama örneklerini arttırabilmek ve süreci uzatabilmek mümkün olacaktır.

2.2. Kinetik Yapı

1960'lerden itibaren teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte kinetik mimarinin kullanım alanı genişlemiştir; farklı yapı sistemleri ve yenilikçi yapı formları mimari tasarıma entegre edilmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda, kinetik mimarinin hareket özelliklerine ilişkin çeşitli sınıflandırmalar geliştirilmiş ve bu sayede esnek ve dinamik yapılar sistematik bir çerçevede değerlendirilebilir hale gelmiştir.

Schumacher vd., (2009), kinetik mimaride hareket biçimlerini belirli kriterler doğrultusunda analiz etmiş ve bu hareketleri hareket şekli, nesnesi ve kullanımı olmak üzere üç ana kategori altında sınıflandırmıştır. Moloney (2011) ise kinetiği öteleme, döndürme, ölçeklendirme ve malzeme deformasyonu olmak üzere üç temel geometrik dönüşümde temsil etmektedir. Fox ve Kemp (2009)'e göre de kayma, şekil değiştirme, genişleme ve katlanma gibi hareket biçimleri bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar, kinetik yapıların tasarım ve işlevselliğini daha kapsamlı bir şekilde anlamaya imkân tanımakta; özellikle hareketli bileşenlerin mekânsal organizasyon üzerindeki etkilerini değerlendirme açısından önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Söz konusu kinetik yapıların sınıflandırması Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo.1. Mimaride kinetik yapı sınıflandırılması.

Hareket Şekli			
<i>Katlanma</i>	<i>Boyutsal- Şekil Değişirme</i>	<i>Öteleme (Kayma)</i>	<i>Dönme</i>
Dönme ve ötelemenin kombinasyonu ile karmaşık hareketlerin oluşması	Küçük ölçekli hareketler ile biçimsel veya mekânsal dönüşümlerin üretilmesi	Bir nesnenin yönü aynı kalırken konumunun değiştirilmesi	Bir nesnenin pozisyonu değişirken konumunun aynı kalması
Hareket Nesnesi			
<i>Cephe</i>	<i>Bina</i>		
Mimari yapının cephe elemanlarında meydana gelen hareket	Tasarlanan yapıda tüm binanın eksen boyunca hareketi		
Kullanım Amacı			
<i>Doğal Aydınlatma</i>	<i>Doğal Havalandırma</i>	<i>Gölgeleme Elemanı</i>	<i>Görsel Geçirgenlik</i>
Gün ışığından verimli şekilde faydalanılması	Rüzgârın yönüne göre hareketin sağlanarak yeterli havalandırmanın sağlanması	Güneş ışığının yoğun olduğu zamanlarda, gölge alanlar yaratılması	Yapıların iç mekânlarından dışarıya veya dışarıdan içeriye görsel bağlantının kontrolü

Kinetik mimaride, yapıların belirli bileşenleri hareket edebilir şekilde tasarlanarak, iklim koşulları, nem, rüzgâr gibi çevresel etkenlere ve kullanıcı ihtiyaçlarına dinamik uyum sağlanması amaçlanır. Bu yaklaşımla, yapıların işlevselliği artırılarak esnek ve sürdürülebilir mekânsal çözümler geliştirilebilir. Tarihsel süreçte hareketli öğelerin cephe panellerinden plan düzenlemelerine, tüm bina ve çeşitli mimari elemanlara kadar farklı alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Kinetik mimari, doğal aydınlatma ve havalandırmayı optimize ederek enerji verimliliği sağlamakta; hareketli elemanlarla gölgeleme ve görsel geçirgenlik kontrolü sunmaktadır. Bu yönüyle hem sürdürülebilirlik hem de kullanıcı odaklı tasarım açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

2.3. Malzeme

Günümüz mimarlığı; kültürel, sosyal ve ekolojik bağlamların yanı sıra yapım sistemi ve malzemeyi içeren yenilikçi tasarım stratejilerini gerektirmektedir. Bilgisayar teknolojileri yapım süreçlerini doğada biçim, malzeme, strüktür ve çevre arasındaki etkileşimden esinlenerek bütünleştirir ve bu unsurları mimariye uyarlayarak özgün sistemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Menges, 2010). Bu doğrultuda modüler tasarımlar ve akıllı malzemeler, söz konusu dönüşümü desteklemektedir. Isı, ışık, elektrik akımı veya kimyasal ortamlara tepki verebilen bu esnek malzemeler, yeni nesil malzemeler olarak tanımlanır (Addington & Schodek, 2005) ve bu malzemelerin özellikleri Tablo 2’de özetlenmiştir.

Kinetik sistemlerde ise hareket, çevresel etkiler veya makine-insan etkileşimiyle kontrol edilir. Çevresel sistemler rüzgâr, ışık veya ısıya tepki verirken; etkileşimli mekanizmalar kullanıcı ihtiyaçlarına yanıt sunar. Bu çerçevede Fox (2005), bu mekanizmaları iç kontrol, doğrudan kontrol ve dolaylı kontrol olarak üç başlık altında sınıflandırmıştır (Tablo 2).

Tablo.2. Malzemenin sınıflandırılması.

Malzeme Özellikleri		
<i>Şekil Değiştiren</i>	<i>Renk Değiştiren</i>	<i>Işığa duyarlı</i>
Nikel Titanyum alaşımları gibi sıcaklık farkına bağlı olarak şekil değiştiren malzemelerdir.	Isı farkından, deformasyon nedeniyle, belirli kimyasal ortamlara maruz kalma ya da bir elektrik potansiyeli uygulandığına meydana gelir.	Bir elektrik potansiyeli uygulandığında, Radyasyon (Işık)’a maruz kaldığında sıcaklık değişimine maruz kaldıklarında ışık yayan malzemelerdir.
Malzeme Davranışı		
<i>İç Kontrol</i>	<i>Doğrudan Kontrol</i>	<i>Dolaylı Kontrol</i>
İç yapılarına ilişkin doğal bir sisteme sahiptir. Doğrudan bir kontrol cihazı ya da mekanizması olmadan hareket potansiyeline sahiptirler.	Uyarıcı motorlar, çevre koşulları gibi dış etkenlere bağlı olarak hareket sağlar.	Hareket, sensör gibi geri bildirim sistemleri aracılığıyla dolaylı olarak sağlanır. Tek bir uyarana karşı kendiliğinden yanıt veren sistemlerdir.

Günümüzde bilgisayara dayalı tasarım süreçleri, biçim ve malzemenin birleştirilmesi açısından farklı alternatif fırsatları sunmaktadır. Hesaplamalı tasarımının temel yaklaşımı, dijital modelleme yoluyla geometrik katılığı aşarak, montaj mantığı ile birlikte malzeme özelliklerinin ve yapım sistemlerinin tasarıma entegre edildiği güçlü bir tasarım stratejisi ortaya koymaktır (Menges, 2010). Bu doğrultuda, yeni nesil malzeme sistemleri tasarımın sabit bileşenleri olarak değil, süreci yönlendiren ve biçimlendiren temel etmenler olarak ele alınmalıdır.

Bu bağlamda, malzemenin tasarım sürecine entegre edilebilmesi için parametrik ya da üretken tasarım yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımın bütüncül bir şekilde kurgulanabilmesi için, malzemenin biçimsel davranışı ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra uygulanacak dijital üretim yöntemlerinin de önceden belirlenmesi gerekmektedir.

2.4. Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımları

Hesaplamalı tasarım, 1960'lerde teknolojik keşiflerle ortaya çıkmış, 1980'lerde bilgisayar ve CAD araçlarının ticarileşmesiyle mimaride yaygınlaşmış, 1990'ların sonlarından itibaren ise araştırma konusu haline gelerek son yirmi yılda farklı disiplinlerde benimsenmiştir (Caetano vd., 2020). Bu tasarım anlayışı; dijital biçim tanımlama, bilgisayar destekli biçim bulma ve hesaplamalı biçim oluşturma olmak üzere üç yaklaşımla sınıflandırılır (Menges, 2010) ve tümü hesaplamalı düşüncenin ürünüdür. Hesaplamalı düşünce; bilgisayar biliminden yararlanarak problem çözme, sistem tasarımı ve insan davranışını anlama süreçlerini kapsar (Wing, 2008) ve farklı soyutlama seviyeleriyle bilgi işleme mekanizmaları üzerinden çözümler geliştirir (Çağdaş vd., 2015).

Bilgisayar destekli tasarım sayesinde, tasarım süreçlerine doğrudan müdahale edilerek karmaşık formlar üretilebilir. Algoritmik adımlarla tasarım parametreleri hızlıca değiştirilip modellenebilir, farklı parametrelerle çeşitli sonuçlar elde edilebilir. Hesaplamalı tasarım, matematiksel ve ilişkisel süreçlere dayalı yaklaşımlarla tasarım sürecine entegre edilmektedir (Çağdaş, vd., 2015).

Günümüzde mimarlıkta kullanılan hesaplamalı tasarım yöntemlerinden biri olan *parametrik tasarım*, tasarım amacı ve tepkisi arasındaki ilişkiyi belirleyen parametreler ve kurallara dayalı algoritmik bir süreçtir (Frazer, 2016). Form yerine parametrelerle ilgilenir ve farklı değerlerle çeşitli konfigürasyonlar oluşturulabilir (Koleravic, 2003). Parametrik tasarım, genellikle özel yazılım ve araçlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu süreç Grasshopper, Dynamo gibi görsel programlama araçları ile Rhino ve Fusion 360 gibi CAD/3D modelleme yazılımları üzerinden yürütülür; ayrıca Python gibi programlama dilleri de etkin şekilde kullanılır. Bir diğer yöntem olan *Üretken tasarım*, belirli bir tasarım grubuna ait alternatif çözümler üreten bir sistemdir ve tasarım bileşenleri değiştirilerek farklı çözümler üretilebilir (Fisher & Herr, 2001). Bu yöntemde *Biçim Grameri*, *L Sistemler* ve *Hücreyel Özdevinim* gibi teknikler kullanılır (Mountstephens & Teo, 2020; Palabıyık & Demircan, 2020).

Evrimsel tasarım ise, Darwin'in doğal seçim modeline dayanarak mutasyon, çaprazlama ve uygunluk prensiplerini hesaplamalı sistemlere uyarlayan bir yaklaşımdır (Jansenn, 2009). En yaygın kullanılan yöntem Genetik Algoritmalar (GA)'dır (Bentley, 1999). *Performansa dayalı tasarım*, bina performansını belirleyici bir faktör olarak ele alır, ekolojik ve çevresel verilerle estetik ve işlevselliği bütünleştirir (Oxman, 2008; Shi & Yang, 2013). Bu yaklaşım bina performans simülasyonları ve tasarım optimizasyonları için kullanılır (Oxman, 2008). Bir diğer hesaplamalı tasarım yöntemleri arasında yer alan *doğadan ilham alan tasarımlar* ise, doğadaki formları, süreçleri ve optimizasyon yöntemlerini taklit ederek minimum kaynakla maksimum verimlilik sunmayı amaçlar (Rocker, 2006). Evrimsel yaklaşımlar, sürü zekası algoritmaları ve biyomimikri gibi yöntemler bu alanda yaygın olarak kullanılırken, *Morfogenez* gibi biyolojik süreçlerden ilham alan yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Söz konusu hesaplamalı tasarım yöntemlerine dair özet Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo.3. Hesaplamalı tasarım yöntemlerinin sınıflandırılması.

Parametrik Tasarım		
<i>Algoritmik Tabanlı</i>	<i>Tasarım Araçları</i>	
Matematiksel formüller veya kurallarla şekil üretebilme.	Parametrik modellemede CAD/CAM, görsel programlama araçları ya da programlama dilleri kullanılmaktadır.	
Üretken Tasarım		
<i>Biçim Grameri</i>	<i>L Sistemler</i>	<i>Hücresele Özdevinim</i>
Tasarımı oluşturabilmek için bir başlangıç şekline biçim grameri kurallarının uygulanacağı yolları belirtir	Başlangıç noktası, kurallar, sabitler ve değişkenler ile tasarımı düzenleme.	Komşu hücreler tarafından yönlendirilen, zamana bağlı kurallar ile gelişen hücresele sistemler
Evrimsel Tasarım		
<i>Genetik Algoritmalar</i>		
Doğal evrim süreçlerini taklit ederek en uygun tasarım çözümlerini üretir.		
Performansa Dayalı Tasarım		
<i>Simülasyon</i>	<i>Optimizasyon</i>	
Bina performansını test etmek ve değerlendirmek için kullanılan yöntemdir.	Tasarım parametrelerini iyileştirmek ve en verimli çözümleri belirlemek için kullanılan yöntemdir	
Doğadan İlham Alan Tasarımlar		
<i>Biyomimesis</i>	<i>Morfogenesis</i>	
Doğadaki süreçleri ve formları taklit ederek tasarım geliştirme.	Organik büyüme ve doğanın morfolojik süreçlerinden ilham alan tasarım yöntemleri.	

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

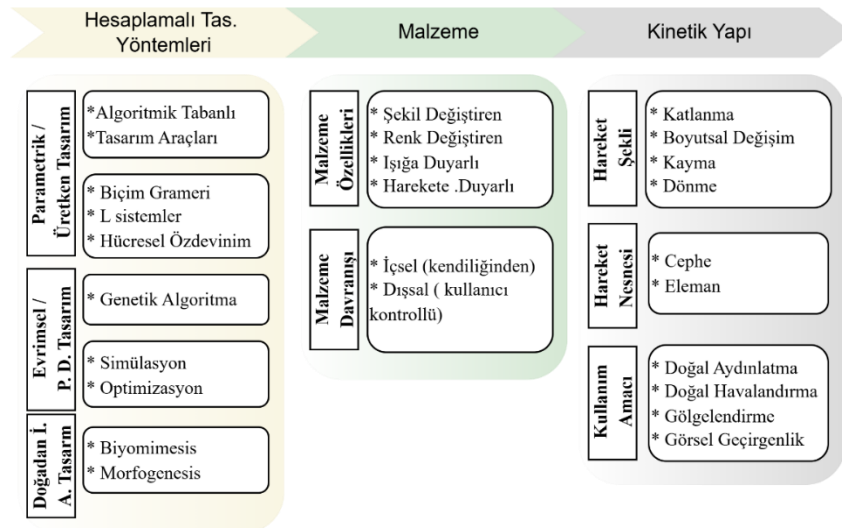
Bu bölümde, kinetik yaklaşımlar doğrultusunda geliştirilen sınıflandırmaların ele alındığı literatür çalışmaları incelenmektedir. Kinetik mimarlık alanında gerçekleştirilen araştırmalar; hareket mekanizmaları, adaptif sistemler ve interaktif tasarım prensipleri gibi farklı başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Literatür taraması ve mevcut araştırılan çalışmalar doğrultusunda, kinetik mimarlık için bir sınıflandırma sistemi ve değerlendirme kriterleri önerilmiş; belirlenen bu kriterler doğrultusunda seçilmiş örnek projeler üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

Tablo.4. Literatür özeti.

Yıl	Yazar	Özet/Yaklaşım	Kinetik Sınıflandırma
2017	Megahed, N.A.	Kinetik mimari için bir sınıflandırma çerçevesi ile tasarım stratejileri geliştirmek	-Kinetik mim.tipleri -Kinetik sis.sınıflandırma -Tasarım stratejileri
2022	Maden, F.	Teselyasyon yöntemi ile geliştirilen kinetik cephe tasarımlarını incelemek	-Morfolojik özellikler -Fiziksel Özellikler -Kinematik Özellikler -İşlev ve Perf. Özellikler
2021	Kahramanoğlu, B. ve Çakıcı Alp, N.	Parametrik tasarım ve modelleme yöntemleri aracılığıyla kinetik cephelerin tasarım sürecini incelemek	-Modelleme Yöntemi -Modelleme Araçları -Hareket Tipi -Hareket Fonksiyonu
2017	Waseef, A. ve Nashaat, B.	Yüksek performanslı cepheler (HPF) ile kinetik cephelerin rolü için yeni bir sınıflandırma önerisi geliştirmek	-Cephe Konfigürasyonu -Cephe Fonksiyonu
2023	Belek, A.N. ve Yamaçlı, R.	Kinetik cephelerin tasarım sürecinde kullanılan tasarım yaklaşımları, tasarım sistemleri ve kullanılan araçların analizi	-Kontrol mekanizması -Kullanılan malzeme -Cephe tas. Fonksiyonu -Tasarım araçları
2021	Engin, A.S. ve Dinçer, A.E.	Kinetik cephe sistemlerinde tasarım süreçlerine yönelik karar verme aşamalarını destekleyici değerlendirme yaklaşımı	-Konsept / İşlev -Malzeme -Kontrol Teknolojileri -Tasarım Stratejileri
2013	Ron,R., Weissenböck, R. ve Harari, T.	Kinetik mimaride hareket mekanizmasını ve işlevsel özellikleri analiz etmek için sınıflandırma ve analiz aracı geliştirmek	-Mekanik Analiz / Uygulama -Hareket türleri -Sensör ve Aktüatörler
2020	Abdallah, M.R. Abdelazem, A.G. ve Essa, H.Y.	Kinetik sistemlerin modern mimarideki uygulamalarını ve tasarım süreçlerini incelemek	-Kinetik bağlantılar -Kinetik yapılar -Malzemeler -Kontrol Sistemleri
2023	Elkhayat, Y.O.	Malzemelerin mimarideki yenilikçi uygulamalarını ve hareket tiplerine katkılarını incelemek	-Hareket prensipleri -Hareket tipleri -Hareket bileşenleri

Tablo 4'te yer alan çalışmalar, kinetik mimarlığın farklı boyutlarını ele alarak çeşitli sınıflandırma yaklaşımları sunmaktadır. Hareket temelli sınıflandırmalar, kinetik bileşenlerin hareket prensiplerini, türlerini ve işlevlerini analiz ederken; cephe sistemlerine odaklanan araştırmalar, kinetik cephelerin tasarım süreçleri, malzeme kullanımı ve işlevselliğini incelemektedir. Parametrik tasarım ve modelleme yaklaşımlarını ele alan çalışmalar ise, tasarım sürecinde kullanılan dijital araçları ve modelleme yöntemlerini değerlendirmektedir. Öte yandan, tasarım karar süreçleri ve stratejilerine odaklanan araştırmalar, kinetik sistemlerin kontrol mekanizmalarını ve karar verme süreçlerini tartışmakta; genel çerçeveye sunan çalışmalar ise kinetik sistemleri sürdürülebilir tasarım, malzeme seçimi ve çevresel etkileşim bağlamlarında ele almaktadır.

Bu sınıflandırmalar incelendiğinde, hareket mekanizmaları, malzeme kullanımı, tasarım süreçleri ve işlevsellik gibi konuların farklı bakış açılarıyla ele alındığı görülmektedir. Ancak mevcut literatürde, bu üç yaklaşımı -hareket yapısı, malzeme kullanımı ve hesaplamalı tasarım yöntemleri- bütüncül bir şekilde değerlendiren kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu doğrultuda, söz konusu üç yaklaşımı bir arada ele alan kriter seti geliştirilmiş ve Şekil 5'te sunulmuştur.








Şekil 5. Kinetik sınıflandırma için oluşturulan kriter seti.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde oluşturulan kriter setleri doğrultusunda seçilen örnekler incelenmiş ve belirlenen ölçütler çerçevesinde değerlendirilerek karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda tablo 5 ve 6'da hareket mekanizmaları, malzeme kullanımı ve hesaplamalı tasarım yöntemleri temel alınarak, örneklerin kinetik mimarlık bağlamında sunduğu tasarım olanakları analiz edilmiştir. Yapılan analiz, kinetik sistemlerin tasarım süreçlerine entegrasyonunu daha iyi anlamaya katkı sağlarken, gelecekte geliştirilecek tasarım stratejileri için yönlendirici bir kuramsal çerçeveye sunmayı amaçlamaktadır.

Tablo 5. Örnek Analizi.

Yapı Künyesi				Malzeme Tanımı						Kinetik Davranış										Hesaplamalı Tasarım Yöntemleri										
Görsel	Yapı Adı	Tasar. /Yılı	Kul. Malz.	Şekil Değiştiren	Renk Değiştiren	Işığa duyarlı	Harekete duyarlı	İçsel	Dışsal	Katlanma	Boyutsal Değişim	Kayma	Dönme	Cephe	Eleman	Doğal Aydınlatma	Doğal Havalandırma	Gölgeleme Elemanı	Görsel geçirgenlik	Parametrik Tasarım	Biçim grameri	L. Sistemler	Hücrel Özdevinim	Genetik Algoritma	Simülasyon	Optimizasyon	Biyomimesis	Morfogenesis		
	Thyssen Krupp Genel Merkezi	JSWD Architekt ve Chaix&Morel et Associés / 2010	Nirosta paslanmaz çelik			✓		✓					✓	✓		✓				✓					✓					
	Al Bahr Kuleleri	AHR / 2012	PTFE kaplı fiber-glas			✓		✓		✓				✓				✓	✓						✓		✓	✓		
	SDU Campus Kolding	Henning Larsen Architects / 2014	Delikli çelik sac levha			✓	✓		✓				✓	✓		✓	✓								✓	✓				
	Health and Research Institute	Woods Bagot / 2013	Çelik çerçevesi üçgen panel			✓			✓	✓				✓											✓		✓	✓		
	Helio Trace Mimarlık Merkezi	Skidmore, Owings and Merrill LLP / 2010		✓			✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓									✓		✓			

Yapılan inceleme sonucunda, incelenen yapıların farklı malzeme türleri, hareket mekanizmaları ve hesaplamalı tasarım yöntemleri kullanılarak geliştirildiği görülmektedir. Malzeme kullanımı bağlamında, özellikle GFRP, ETFE ve PTFE kaplı fiberglas gibi hafif, geçirgen ve esnek kompozit malzemelerin tercih edildiği dikkat çekmektedir. Buna ek olarak, paslanmaz çelik, delikli çelik sac levha ve ahşap strüktür gibi daha rijit ve dayanıklı malzemelere de yer verilmiştir. Ancak, çevresel uyarıcılara tepki verebilen ya da şekil ve renk değiştirme özellikleri bulunan akıllı malzemelerin kullanımının oldukça sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

Kinetik hareket mekanizmaları açısından değerlendirildiğinde, analiz edilen yapıların büyük çoğunluğunda cephe elemanlarında konumlanan kayma, dönme ve katlanma gibi lineer ve açısal hareket türlerinin tercih edildiği görülmektedir. Bu hareket türleri, doğal havalandırma, gün ışığı kontrolü ve gölgeleme gibi pasif çevresel stratejilere hizmet etmektedir. Buna karşın, boyutsal değişim gibi hacimsel dönüşüm barındıran sistemlerin yalnızca birkaç örnekte yer aldığı saptanmıştır. İncelenen projelerde görsel geçirgenlik sağlama ve enerji tasarrufu hedefleri de öne çıkan tasarım kriterleri arasında yer almaktadır. Kontrol mekanizmaları bakımından ise, çoğunlukla çevresel etkilere cevap veren sistemlerin tercih edildiği; ancak kendiliğinden tepki veren pasif mekanizmaların da malzeme teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak tasarımlara entegrasyonunun giderek yaygınlaştığı gözlemlenmiştir.

Hesaplamalı tasarım yöntemleri açısından değerlendirildiğinde, parametrik tasarım yaklaşımı tüm örneklerde öne çıkan bir yöntem olarak dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, biyomimetik tasarım, simülasyon tabanlı analizler ve genetik algoritmalar, özellikle enerji ve ısı verimliliği odaklı performans iyileştirmelerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Buna karşın, biçim grameri, L sistemleri ve hücrel özdevinim gibi üretken tasarım sistemlerinin sınırlı sayıda örnekte yer alması, bu yöntemlerin henüz kinetik mimarlık alanında yeterince yaygınlaşmadığını göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, 2000 yılı sonrasında inşa edilmiş 10 kinetik mimari örneği, malzeme kullanımı, kinetik mekanizma ve hesaplamalı tasarım yöntemleri açısından belirlenen üst ve alt kriterler doğrultusunda incelenmiştir. Analiz edilen örneklerde, tüm üst kriterlerin kullanıldığı; alt kriterlerden ise en az birinin tasarım sürecine entegre edildiği tespit edilmiştir.

Tarihsel süreç göz önünde bulundurulduğunda, dijital tasarım teknolojilerinin gelişiminden önce de kinetik tasarım örneklerine rastlanmaktadır. Ancak bilgisayar teknolojilerinin, bina yüzeylerine entegre edilen sensörlerin yönetimi, kinetik mekanizmaların programlanması ve çevresel verilerin

mekânsal hareketlere dönüştürülmesi gibi olanakları, söz konusu kriterlerin çağdaş tasarımlarda kullanımını önemli ölçüde artırmıştır.

Araştırma kapsamında, kinetik mimaride hesaplamalı tasarım yöntemleri, özellikle parametrik modelleme ve simülasyon tabanlı analizler, tasarım kararlarının oluşturulmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Buna ek olarak dijital üretim süreçleri hem malzeme kullanımının optimizasyonunu sağlamakta hem de karmaşık formların üretilebilirliğini artırarak kinetik yapıların uygulanabilirliğini desteklemektedir. Akıllı malzeme teknolojilerindeki gelişmeler, kinetik yapılarda kendi malzeme özellikleri doğrultusunda daha verimli ve yenilikçi çözümler sunmasına imkân tanımaktadır. Kontrol mekanizmaları ise, kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak çeşitlilik göstermekle birlikte, malzemelerin tasarım sürecine entegrasyonu sayesinde kendiliğinden tepki veren sistemlerin kullanımında artış gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen kinetik mimari, hesaplamalı tasarım ve malzeme sınıflandırmasının, yapıların tasarımında kullanılan sistemlerin analiz edilmesini kolaylaştırdığı ve değerlendirme sürecine sistematik bir yaklaşım kazandırdığı görülmüştür. Elde edilen bulgular, kinetik mimarinin giderek dijitalleşen bir tasarım pratiğine evrildiğini ve malzeme özellikleri ile hesaplamalı yöntemlerin entegrasyonunun, hareketli yapı bileşenlerinin daha sürdürülebilir, performans odaklı ve çevresel olarak duyarlı biçimde tasarlanmasına olanak sağladığını ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda çalışma gelecekteki kinetik mimari projeleri için bir referans niteliği taşımakta olup, hareketli yapı bileşenlerinin tasarım süreçlerine nasıl entegre edilebileceğine dair bir tasarım altlığı sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, biçim grameri ve L sistemleri gibi daha az kullanılan yöntemlerin uygulanması ya da şekil ve renk değiştiren akıllı malzemelerin tasarıma dahil edilmesiyle yeni tasarım olanaklarının geliştirilmesi mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, M. R., Abdelazem, A. G., & Essa, H. Y., (2020). Application of kinetic systems technology in design, *Journal of Engineering and Applied Science*, 67(1), 139–158.
- Addington, D. M., & Schodek, D. L., (2005). *Smart materials and new technologies: For the architecture and design professions*. Architectural Press. Corporate Drive, Burlington,
- Afzali, N., & Hamzehloo, S., (2018). Kinetic, an innovative approach in contemporary architecture. In *Proceedings of the 7th International Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architectural & Urban Development* (pp. 39–52). Munich, Germany.
- Alkhayyat, J. M. J., (2013). Design Strategy for Adaptive Kinetic Patterns: Creating a Generative Design for Dynamic Solar Shading Systems, University of Salford, UK.
- Arpacioğlu, Ü., & Kuruç, A., (2010). Zamansız malzemelerin zamanda yolculuğu. *Mimarlıkta Malzeme*, 5(15), TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul, 47-51.

- Baba Marbles Showroom, Erişim adresi: <https://archello.com/nl/project/baba-marbles>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Belek, A. N., & Yamaçlı, R., (2023). Kinetik cephe sistemlerinin performansa dayalı tasarımı ve tasarım süreci. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(2), 180–201.
- Bentley, P. (1999). *An introduction to evolutionary design by computers*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A., (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, 9(2), 287–300.
- Çağdaş, G., Bacınoğlu, Z., & Çavuşoğlu, Ö., (2015). Mimarlıkta Hesaplamalı Yaklaşımlar, Mimarlık Dosya 35, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi Dergisi, 33-42.
- Delana., (2015). "Another Wave in the Wall: Vertical Lake Building Facade," web urbanist.com, Erişim adresi: <https://weburbanist.com/2010/07/23/another-wave-in-the-wall-vertical-lake-building-facade/>
- Dom., (2025). The Shed, Erişim adresi: <https://arquitectura viva.com/obras/centro-cultural-the-shed-nueva-york>, Erişim tarihi: 10.06.2025.
- Dragspel-huset Evi, Erişim adresi: <https://architizer.com/projects/dragspelhuset/>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Elmokadem, A., Ekram, M., Waseef, A., & Nashaat, B., (2018). Kinetic architecture: Concepts, history and applications. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 7(4), 750-758.
- Elkhayat, Y. O., (2023). *Kinetic applications of smart materials in architecture: A descriptive analysis*, *Journal of Engineering Research*, 7(6).
- Emanuel. M., (1980). *Contemporary architects*, Springer, Berlin.
- Engin, A. S., & Dinçer, A. E., (2021). Kinetik mimari cephelerin sınıflandırılması özelinde bir değerlendirme yaklaşımı. *IDA: International Design and Art Journal*, 3(1), 70–85.
- Fisher, T., & Herr M.C., (2001). Teaching Generative Design. International Conference on Generative Art, Milan.
- Fox, M. A., (2005). Sustainable applications of intelligent kinetic systems: Responsive skylights. *MIT Kinetic Design Group*, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology.
- Fox, M., & Kemp, M., (2009). *Interactive Architecture*. Princeton Architectural Press.
- Fox, M.A. & Yeh, B.P., (1999). Intelligent Kinetic Systems. Cambridge, MIT, 5-10.
- Frazer, J., (2016). *Parametric computation: History and future*. *Architectural Design*, 86(2), 18–23.
- Health and Research Institute, Erişim adresi: https://www.archdaily.com/533388/south-australian-health-and-medical-research-institute-woods-bagot?ad_medium=gallery, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Hingston, P. F., Barone, L. C., & Michalewicz, Z., (2010). *Design by evolution: Advances in evolutionary design*. Berlin, Germany: Springer.
- Inhabitat., (2006). Wind Shaped Pavillion, Erişim adresi: <https://inhabitat.com/wind-shaped-pavilion/>, Erişim Tarihi: 10.05.2025.

- Janssen, P., (2009). An evolutionary system for design exploration. CAAD Futures 2009, http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2009_259.content.pdf
- Kahramanoğlu B., & Çakıcı Alp N., (2021). Kinetik Sistemli Bina Cephelerinin Modelleme Yöntemlerinin İncelenmesi, Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 5 (1). 119-138.
- Knippers, J., Oppe, M., Scheible, F., Jungjohann, H., (2012). Bio-Inspired Kinetic GFRP-Façade for the Thematic Pavilion of the EXPO 2012 in Yeosu, IASS-APCS Symposium 2012: From Spatial Structures to Space Structures, At Seoul.
- Kolarevic, B., (2003). *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. New York: Spon Press.
- Kolarevic, B., (2009). Exploring architecture of change. *ASCAAD Conference Proceedings*, 16-26.
- Kolaveric, B. & Parlac, V., (2015). *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change*, New York: Routledge.
- Korkmaz K., (2009). Kinetik mimarlık üzerine. *Arredamento Mimarlık*, 220, 64-69.
- Lorek, S., (2018). Rotating Skyscraper In Dubai Must Use BIM, Erişim adresi: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/rotating-skyscraper-in-dubai-must-use-bim-video>, Erişim tarihi: 10.06.2025.
- Maden, F., (2022). Tesselasyon Tabanlı Kinetik Cephe Tasarımları, Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, February, s:104-111. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/358900378>.
- Media-TIC., Erişim adresi: <https://www.arkitektuel.com/media-tic/>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Megahed, N.A., (2017). Understanding kinetic architecture: typology, classification, and design strategy, *Architectural Engineering and Design Management*, 13(2), 130-146.
- Menges, A., (2010). Hesaplamaya Dayalı Biçim Üretimi ve Malzemeleşme'nin Özgün Bir Sentezi, *Mimarlık ve Yapı Malzemeleri Dergisi*, 15: s.33-40.
- Moloney, J., (2011). *Designing kinetics for architectural facades: state change*. Taylor & Francis.
- Mountstephens, J. & Teo, J., (2020). Progress and Challenges in Generative Product Design: A Review of Systems. *Computers*, 9 (4), 80.
- Oxman, R., (2008). Performance-based Design: Current Practices and Research Issues, *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 1-17.
- Palabıyık, S., & Demircan, D., (2020). Mimarlıkta Hesaplamalı Tasarım Yöntemlerine Ait Potansiyellerin Yaşam Döngüsü Modeli Üzerinden Değerlendirilmesi, *International Refereed Journal of Architecture and Design*, 21, 91-123.
- Phocas. M.C., (2013). Initiations and Future Directions in the Development of Kinetic Structures for Earthquake Resistance, *J Archit Eng Tech*, 3(4).
- Ramzy, N., & Fayed, H., (2011). Kinetic systems in architecture: New approach for environmental control systems and context-sensitive buildings, *Sustainable Cities and Society*, 1, 170-177.
- Randl. C., (2008). *Revolving architecture: A history of buildings that rotate, Swivel, and Pivot*. USA: Princeton Architectural Press, New York.
- Rocker, I., (2006). *When code matters. Architectural Design*, 76(4), 16-25.

- Ron, R., Weissenböck, R., & Harari, T., (2013). *Kinetic architecture matrix (ICAMA)*. International Conference on Adaptation and Movement in Architecture (ICAMA2013), Ryerson University, Toronto, Canada.
- Sanchez-del-Valle, C., (2005). Adaptive kinetic architecture: A portal to digital prototyping. In *Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture (ACADIA)* (pp. 128–140).
- Schumacher, M., Schaeffer, O., & Vogt, M. M., (2009). *Move: Architecture in motion – Dynamic components and elements*. Birkhäuser.
- SDU Campus Kolding, Erişim adresi: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Sharifi-ha Evi, Erişim adresi: <https://mimdap.org/mimarlik-gundemi/sharifi-ha-evi-nextoffice-alireza-taghaboni/>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Shi, X., & Yang, W. (2013). Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects, *Automation in Construction*, 32, 125-135.
- Soyluk, A., & Sarıcioğlu, P., (2015). Kinetik Mimarlıkta Cephede Origami ve Akıllı Malzeme Kullanımı, *Mimaran Dergisi*, 9 (12), 62-66.
- Tagliabue., (2008). A Builder's 360° Vision Didn't Move His Neighbors. *The New York Times*. Erişim adresi: <https://www.nytimes.com/2008/09/02/world/europe/02belgium.html>
- Thyssen Krupp Genel Merkezi, Erişim adresi: <https://legantmar.livejournal.com/99934.html>, Erişim tarihi: 08.02.2025.
- Yanchanka, S., (2024). *In motion: From kinetic architecture theory to computational realisation* [Master's thesis, Politecnico di Torino]. Erişim adresi: <https://webthesis.biblio.polito.it/30174/>
- Waseef A., & Nashaat B., (2017). Towards a new classification for responsive kinetic facades. *Memaryat International Conference "MIC 2017"* At: Jeddah, Saudi Arabia.
- Wing, J. M., (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366, 3717–3725.

