

Öz


Robotik, malzeme bilimi, bilgisayar ve yapı teknolojilerindeki gelişmeler mimariyi değiştirmeye başlamıştır. Mimarlığın geleceğini şekillendirmeye başlayan kinetik mimari ile birlikte değişen mekânsal ihtiyaçlara ve iklimsel koşullara yanıt verebilecek esnek tasarım çözümleri geliştirilmiştir. Geleneksel yapılarda hareket içinde bulunduğumuz mekân ile sınırlı iken, kinetik yapılarda insan ve mekân arasında dinamik bir etkileşim vardır. Mekân, kullanıcının hareketine veya ihtiyacına göre yeniden biçimlenebilmektedir. Kinetik yapılar, mevcut bir yapıya çatı veya cephe elemanı olarak entegre edilebilir veya kendi başlarına bağımsız strüktürler olarak geçici işlevlerde kullanılabilir. Kapalı-kompakt bir formdan geniş açıklıklı bir biçime dönüşebildikleri için kompakt formlarında ihtiyaca göre farklı yerlere taşınabilir ve farklı işlevlerde tekrar kullanılabilirler. Hava koşullarına göre tepkisel olarak biçimlerini değiştirebilen cephe sistemleri, acil durumlarda hızla kurulup kaldırılan barınaklar, hareketli yaya köprüleri, stadyum ve konser salonu gibi geniş açıklıklı yapılara entegre edilen açılır-kapanır çatı sistemleri uygulama alanları arasında yer almaktadır. Değişen iklimsel koşullara, kullanıcı ihtiyacına veya işleve göre hızla biçimlerini değiştirebilmeleri, yapının enerji yükünü ciddi oranda azaltmaları ve farklı yerlere kolaylıkla taşınabilmeleri sebebiyle konvansiyonel sistemlere göre pek çok avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle, son yıllarda kinetik yapıların uygulama alanları artmaya başlamıştır.

Mimarlık ve mühendislik arakesitinde yer alan kinetik mimaride strüktür harekete göre biçimlendiğinden hareketin tasarlanması gerekmektedir. Kinetik yapılar, farklı hareket türlerine sahip olduğu için bu makalede öncelikle bu tip yapıların hareket ve mafsallı türleri açıklanmaktadır. Daha sonra, kinetik sistemler morfolojik ve kinematik özelliklerine göre örnekler üzerinden incelenmekte, mekânı ve yapıyı değişen koşullara ve ihtiyaçlara göre nasıl şekillendirdiği tartışılmaktadır. Son olarak, geometrik tessellasyon yöntemine dayalı olarak geliştirilen Mashrabiya desenli kinetik cephe tasarımı sunulmaktadır. Düzlemsel mekanizmaya sahip altıgen modülün geometrik tasarım yöntemi ve hareket kabiliyetine bağlı olarak yüzey üzerinde oluşturduğu farklı geometrik konfigürasyonlar gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kinetik mimari, teknoloji, tepkisel cepheler, tessellasyon, Mashrabiya.

Geleceğin Mimarisi: Kinetik Yapılar ve Mashrabiya Tabanlı Cephe Tasarımı

The Architecture of the Future: Kinetic Structures and Mashrabiya-Based Facade Design

 Feray Maden

Yaşar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir, Türkiye

Başvuru tarihi/Received: 10.11.2021, Revize tarihi/ Revised: 15.02.2023, Kabul tarihi/Final Acceptance: 15.02.2023

Extended Abstract

Advances in robotics, materials science, computer science, and building technology have begun to change architecture. With kinetic architecture beginning to shape the future of architecture, flexible and adaptive design solutions have been developed to respond to the changing spatial needs and climatic conditions. There is a dynamic interaction between people and space in kinetic architecture, whereas the movement in conventional buildings is limited to the space we are in. Kinetic structures allow the reshaping of space according to user movement or need.

Kinetic structures can be integrated into existing buildings as roof or façade elements or used in temporary functions as self-standing structures. Because they can transform from a compact state to an expanded form, they can be moved to different locations at their compact configurations and reused for various functions. Facade systems that can change their shapes in response to weather conditions, shelters that are rapidly assembled and removed in emergencies, movable pedestrian bridges, and retractable roofs of large-span structures such as stadiums and concert halls are among the application areas. Kinetic structures provide many advantages compared to conventional systems as they can change their shapes rapidly according to the changing climatic conditions and user needs, reduce the cooling loads of buildings, and easily be transported to different places. Therefore, the application areas of kinetic structures have increased in recent years.

Kinetic structures can move by rotating, sliding, folding or deforming, which can be reviewed under five categories: rigid bar structures (scissor and bar structures), foldable plate structures, membrane structures, pneumatic structures and material-based systems. When those are compared, it can be said that scissor structures and pneumatic structures are widely used for temporary functions because they can be assembled and removed quickly and be easily transported to the desired locations in their compact forms. Membrane structures can offer practical solutions for large-span. On the other hand, foldable plate structures and material-based systems are often encountered in kinetic facades. Although different structural systems and geometric methods are used when developing kinetic structures, the main aim is to respond rapidly to changing conditions and needs.

In kinetic architecture, which is at the interface between engineering and architecture, the structure is shaped according to the movement; therefore, the geometry of motion and corresponding mechanism must be designed first to obtain the desired form at the final geometric configuration of the structure. Within this context, first, the types of motion and the joints used in kinetic structures have been introduced in this paper. Then, the examples of kinetic structures have been examined for their morphological and kinematic properties, and how they shape the space according to the changing circumstances has been discussed. Finally, the kinetic façade developed based on the geometric tessellation method has been presented.

Regular, semi-regular and demi-regular tessellations or Mashrabiya patterns frequently encountered in Islamic architecture can be used in kinetic façade design. In this paper, the Mashrabiya pattern with a hexagonal based star shape has been chosen for the kinetic façade design. First, the hexagonal-shaped sub-module consisting of isosceles triangular elements has been created. The sub-module can retract from the center to the periphery with single-degree-of-freedom. To investigate the potentials of the Mashrabiya pattern, the sub-module has been replicated by linear iteration along -x and -y directions and by radial iteration around the sub-module. Each module can move independently of the other modules. This is because of the increased number of elements and joints in the kinetic system. The kinematic behavior of the system allows generating of different geometric configurations with the same module. While some of the modules can remain at their fully closed configurations, others can move alternately.

After presenting alternative geometric configurations of the kinetic systems generated by linear and radial iterations and discussing their movement capabilities, the proposed kinetic façade system has been introduced, which is composed of hexagonal modules moving separately on a grid frame structure. Transforming from a star-like shape to a hexagonal shape and then to a circular form, the hexagonal module can open and close to control daylight and reduce solar heat gain. Since the elements of the module retract by making linear movement along the diagonals of the hexagon, the independent movement of the modules can easily be controlled using linear actuators attached to the frame structure.

Because the proposed kinetic system has form flexibility, it can be applied to any glazed façade as a second layer to respond to changing conditions and fulfill the functions such as shading and natural ventilation. The kinetic façade proposal can be used as a guide for the development of alternative design solutions based on the tessellation method. Since kinetic facades play a significant role in energy-efficient building design, they will become more applicable in the near future with the developments in technology.

Keywords: Kinetic architecture, technology, responsive facades, tessellation, Mashrabiya

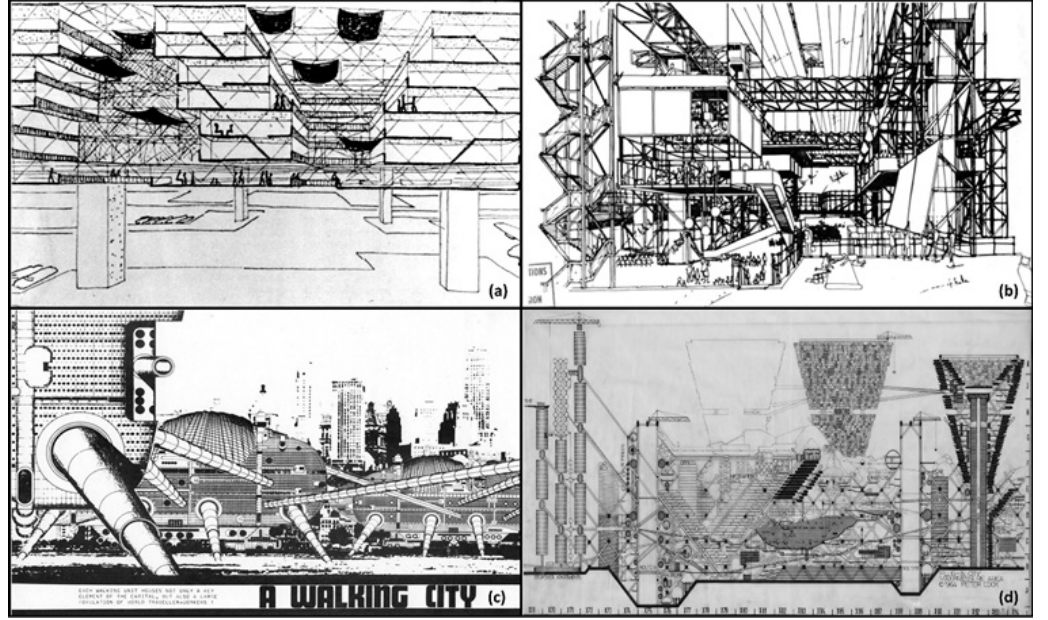
1. Giriş

Mimarlık ve teknoloji arasındaki etkileşim yirminci yüzyılın sonuna doğru ivmelenerek mimarlığı farklı bir boyuta taşımış, gelişen yapı ve bilgisayar teknolojileri ile birlikte mimarlığın geleceğini de şekillendirmeye başlamıştır. Bu etkileşim sürecinde hesaplamalı tasarım yöntemleriyle birlikte bina tasarımı strüktür, malzeme, mekanik, enerji, aydınlatma ve akustik gibi bileşenlerin de dahil olduğu bütünlüklü tasarım sürecine göre biçimlenmeye başlamıştır (Kolarevic, 2003). Binalar, doğası gereği statik olarak tasarlanmış olsa da içindeki yaşam sürekli değişim halinde olduğundan zamanın değişen ihtiyaçlarına yanıt verebilecek esnek tasarım çözümleri sunma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda tasarımcılar, kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verebilen çözümler sunmak ve binaların enerji tüketimini azaltmak amacıyla hem yapı hem de yapı kabuğu tasarımında yenilikçi arayışlara yönelmiştir. Geleneksel çözüm yöntemlerinin aksine bu yenilikçi tasarım yaklaşımları değişim, dönüşüm, hareket, sürdürülebilirlik ve adaptasyon konseptleriyle entegre olarak kinetik mimaride karşılık bulmaya başlamıştır.

Kinetik mimarinin öncü tasarımlarını sibernetik yaklaşımlarıyla karşımıza çıkan Yona Friedmann, Cedric Price ve Archigram grubunun hipotetik projelerinde görebiliriz. Teknolojiden ilham alarak değişim ve hareket kavramlarıyla bütünlüklü yenilikçi çözümler sunan bu tasarımcılar, binaların statik nosyonunu ve mekân konfigürasyonunu etkileyen kullanıcı ve çevre arasındaki ilişkiyi sorgulamıştır. Yona Friedman'ın 1958 yılında yayınladığı *L'architecture Mobile* başlıklı mobil mimarlık manifestosunda belirttiği gibi tasarımda esneklik, hareket, dönüşüm, adaptasyon ve modülerlik kavramları ön plana çıkmalı ancak yapı, çevresi olmadan kendi başına var olamayacağı için dönüşüm sürecine kent olarak adlandırdığı komünel yaşamı barındıran yapıyı çevre de dahil olmalıydı (Friedman, 1970). Bu bağlamda tasarladığı *La Ville Spatiale* projesindeki temel hedef, sakin-

lerine hem kendi yaşam alanlarını hem de kent düzenini tercihlerine göre şekillendirme özgürlüğü sağlamaktı (Friedman, 2011). Zemine çok az noktada dokunan çok katlı mega strüktür, kentin sabit unsurunu oluştururken kullanıcıların doğrudan temas ettiği mobil birimlerdeki tüm duvarlar ve yüzeyler hareketlidir (Eaton, 2002) (Şekil 1a). Price ise mekânsal belirsizlik ve mekânın kullanıcıların ihtiyaçlarına göre sürekli olarak yenilenmesi fikrinden hareketle 1961'de *Fun Palace*'ı tasarlamıştır. Friedman'ın projesinde olduğu gibi mega bir strüktüre sahip yapının modülleri vinçler yardımıyla kolaylıkla taşınarak yeni mekânlar üretebilmekte, modüllerin duvar, platform ve merdivenleri kullanıcıların isteklerine göre biçim değiştirebilmektedir (Kolarevic & Parlac, 2015) (Şekil 1b). Böylece, sınırlı sayıda mekân üretmek yerine farklı zamanlarda farklı işlevlere dönüşebilecek mekânlar oluşturularak bulunduğu zamanın ihtiyaçlarına yanıt verebilecek sosyal etkileşimli bir üst yapı ortaya çıkmaktadır (Rattenbury & Hardingham, 2007; Yiannoudes, 2016). Benzer şekilde, Archigram'ın 1964'de tasarladığı *Walking City* ve 1967'deki *Plug-In City* projelerinde de değişim ve adaptasyon kavramlarının tasarımın merkezine yer aldığı, toplumsal etkileşimin yaratılmasında ve geleceğin şekillendirilmesinde önemli stratejiler olarak kullanıldığı görülmektedir. *Walking City* projesinde her biri bağımsız kentler olarak düşünülebilecek yapılar, olumsuz çevre koşullardan kaçmak için teleskopik ayaklar üzerinde hareket ederek başka yerlere taşınmakta, zamanın ihtiyaçlarına göre yapılar yeni birimler eklenebilmekte veya kentler kendi aralarında malzeme ve bilgi alışverişinde bulunabilmektedir (Sadler, 2015) (Şekil 1c). *Plug-in City*'de ise kent yine değişim teması üzerinde kurgulanan mega bir strüktür olarak karşımıza çıkmaktadır. Konutlar, erişim yolları ve sakinler için diğer tüm hizmetlerin sağlandığı çok sayıda ticari birimden oluşan bu yapı, kolektif yaşamın gerekliliğine göre vinçler yardımıyla eklenen veya çıkartılan parçalardan oluşmaktadır (Sadler, 2015) (Şekil 1d). Bu projeler, içinde buldukları döneme göre ütöpik olarak değerlendirilse

Şekil 1. a) La Ville Spatiale; b) Fun Palace; c) Walking City; d) Plug-in City



de mimarlıkta hareket, değişim ve adaptasyon kavramlarının 90'ların sonunda farklı ölçeklerde tekrar karşımıza çıktığı görülmektedir (Yiannoudes, 2016).

Kinetik mimarlık, başlangıçta çok kısıtlı bir uygulama alanı olsa da robotik, mekatronik, mühendislik, malzeme bilimi ve yapı teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde bugün pek çok alanda ve ölçekte uygulanabilir hale gelmiştir. Cephe sistemlerinden yüzme havuzu, konser salonu ve stadyum gibi geniş açıklıklı yapılara, fuar, stant ve gezici tiyatro gibi geçici yapılardan yaya köprülerine ve hatta acil durum barınaklarına kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı mevcuttur. Değişen iklimsel, işlevsel ve mekânsal ihtiyaçlara şekil değiştirerek hızla cevap verebilen kinetik yapılar ya bir bütün halinde ya da yapıyı oluşturan elemanlar bazında hareket etmektedir (Zuk & Clark, 1970). Bütüncül olarak hareket edebilen kinetik yapılar, kompakt bir formdan daha geniş bir strükture dönüşebildiği için kompakt konfigürasyonlarında ihtiyaca göre istenilen yere kolaylıkla taşınabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde geçici yapı olarak farklı fonksiyonlarda tekrar tekrar kullanılabilen, değişen mekânsal ihtiyaca göre yeniden biçimlendirilebilmektedir. Yapı bileşeni olarak hareket eden kinetik sistemlerde ise yapı kabuğu veya cephesi

sensörler ve kontrol sistemleri aracılığıyla değişen çevre koşullarına göre biçimlerini değiştirerek enerji, aydınlatma ve iklimlendirme kontrolü sağlamaktadır. Konvansiyonel sistemlerle karşılaştırıldığında kinetik yapıların pek çok açıdan avantaj sağladığı görülmektedir. Mevcut potansiyelleri düşünüldüğünde mimarlığın geleceğini şekillendirmede daha aktif rol alacakları söylenebilir. Bu nedenle, bu tip yapıların tasarım yöntem ve prensiplerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu makede temel amaç, değişen koşullara yanıt verebilecek tepkisel bir cephe sistemi geliştirmektedir. Kinetik sistemlerin tasarım prensiplerinin anlaşılabilmesi için makede öncelikle hareket ve mafsalları açıklanmaktadır. Daha sonra, morfolojik ve kinematik özelliklerine göre farklılık gösteren kinetik sistemlerin hareket biçimleri örnekler üzerinden incelenerek değişen koşul ve ihtiyaçlara göre mekân ve strükture nasıl biçimlendirdiği tartışılmaktadır. Ardından, kinetik cephe sistemini oluşturan Mashrabiya geometrisi ve bu geometriden türetilen altıgen tabanlı modülün kinetik sisteme dönüştürülme yöntemi anlatılmaktadır. Mashrabiya geometrisinin potansiyelini araştırmak için lineer ve radyal iterasyon yöntemleri kullanılarak türetilen modülün oluşturduğu alternatif geometrik konfigürasyonlar

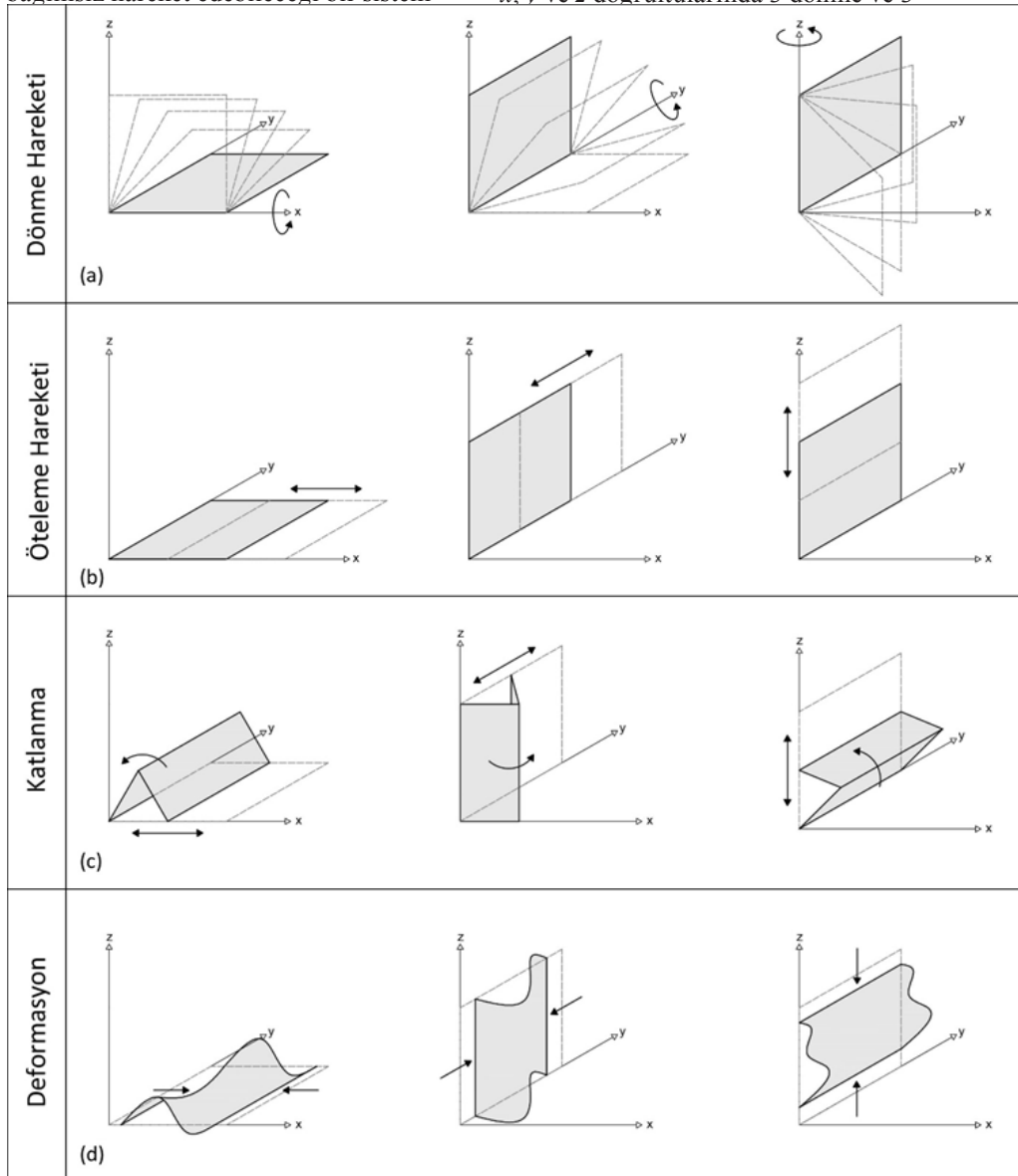
ve hareket kapasiteleri incelenmiştir. Lineer iterasyon yöntemiyle türetilen kinetik sistemin tam kapalı konfigürasyonunda modüller arasında düzgün olmayan altıgen boşluklar oluştuğu görülmüştür. Radyal iterasyon yönteminde ise altıgen modüllerin farklı düzlemlerde konumlanması ve çoklu bağlantı oluşturması gerektiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, kinetik cephe sistem önerisi için altıgen modüllerin bağımsız kullanılmasına karar verilmiştir. Oluşturulan modül, yıldız formdan altıgen forma ve ardından dairesel bir forma dönüştüğü için cephe üzerinde modüllerin bağımsız hareket edebileceği bir sistem

önerilmiştir. Modüldeki elemanlar altıgenin köşegen aksları üzerinde doğrusal hareket yaparak açılıp kapandığı için modüllerin hareketi lineer aktüatörler yardımıyla kolaylıkla kontrol edilebilir.

2. Hareket ve Mafsal Türleri

Kinetik yapıların tasarım prensiplerinin anlaşılabilmesi için öncelikle hareket tiplerinin açıklanması gerekmektedir. Rijit cisimler, temelde dönme ve öteleme hareketi olmak üzere 2 tür hareket yapabilir (Şekil 2a-b). Bu hareket, düzlemde 2 öteleme ve 1 dönme hareketi ile sınırlıyken uzayda x , y ve z doğrultularında 3 dönme ve 3

Şekil 2. Hareket türleri



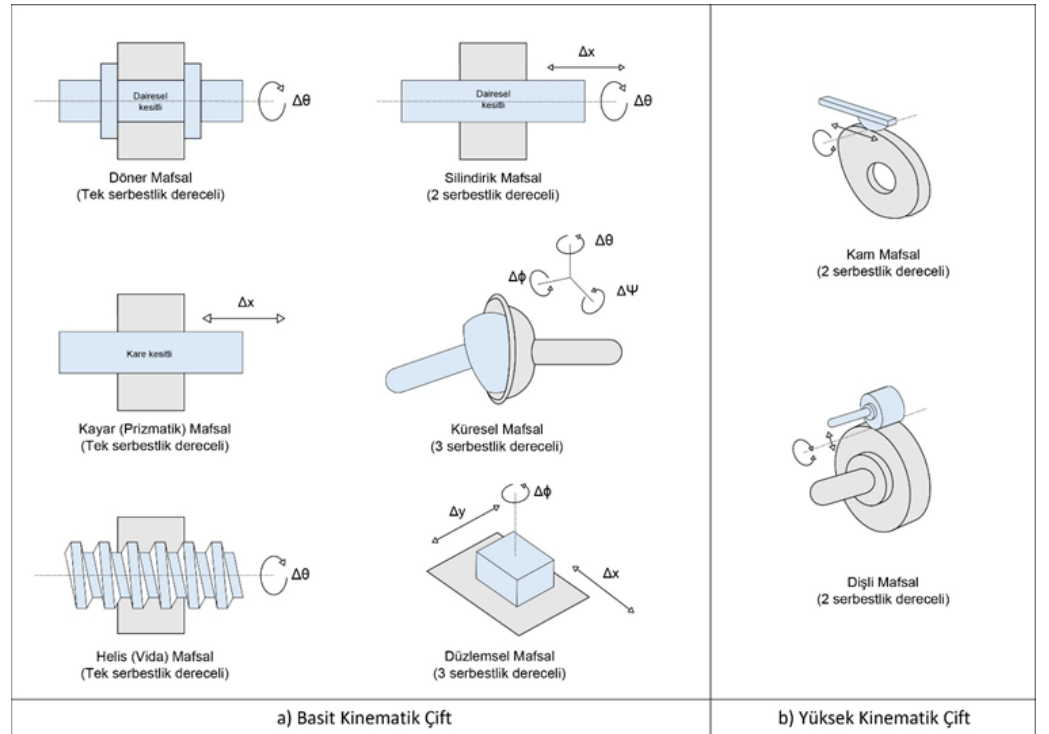
öteleme olmak üzere toplamda 6 harekete çıkmaktadır. Dönme ve öteleme hareketlerinin kombinasyonu ile katlanma hareketi elde edilmektedir (Şekil 2c). Birbirine menteşe benzeri döner mafsallarla bağlanan elemanların dönme hareketi bağlı öteleme hareketini de oluşturmaktadır. Böylece, bir eksen etrafında dönen plak eleman sistemin bir doğrultuda katlanmasını veya açılmasını sağlamaktadır. Bu hareketler dışında ısı, nem, sıcaklık veya basınç farkı altında malzemenin biçim değişikliğine izin veren malzeme deformasyonu da hareket tipleri arasında gösterilebilir (Şekil 2d).

Farklı türleri olan kinetik sistemlerde hareket çoğunlukla düzlemsel veya üç boyutlu mekanizmalar aracılığıyla sağlanmaktadır. Kuvvet ve hareketin iletilmesinde kullanılan bu mekanizmalarda elemanlar çeşitli mafsallar ile birbirine bağlanmaktadır. Kinematik çift olarak da adlandırılan mafsallar, elemanlar arasındaki temas şekline göre farklılık göstermektedir. Toplamda 6 adet basit, 2 adet ise yüksek kinematik çift bulunmaktadır (Söylemez, 2007) (Şekil 3). Yüksek kinematik çiftlerde elemanlar arasında

çizgisel veya noktasal temas vardır (Norton, 2004). Dişli ve kamlı mafsallar bu türe örnektir. Yüksek kinematik çiftler genellikle karmaşık mekanizmalarda karşımıza çıkarken mimari uygulamalarda çoğunlukla elemanlar arasında yüzeysel temasın olduğu döner, kayar (prizmatik), küresel, silindirik, helis (vida) veya düzlemsel mafsallar kullanılmaktadır.

Tek serbestlik derecesine sahip döner mafsallar, elemanların sadece bir eksen etrafında dönme hareketi yapmasına izin vermektedir. Düzlemsel makas mekanizmaları ve rijit çubuk elemanlardan oluşan kinematik yapıların çoğu döner mafsallardan oluşmaktadır. Ayrıca, katlanırlar plak sistemlerde de menteşe benzeri döner mafsallar kullanılmaktadır. Prizmatik olarak da adlandırılan kayar mafsallar ise geometriye bağlı olarak sadece belirli bir eksen boyunca öteleme hareketine izin verir ve döner mafsallar gibi tek serbestlik derecesine sahiptir (Uicker vd., 2003). Bu tip doğrusal hareketi, genişleyebilir yapıların açılıp kapanmasını sağlayan pistonlarda görebiliriz. Hareketin bağımsız olduğu mafsalların yanı sıra dönme ve öteleme hareketinin birlikte sağlandığı

Şekil 3. Mafsallar türleri



mafsal türleri de vardır. Silindirik mafsal, bir eksen etrafında dönme hareketine ve o eksen doğrultusunda kaymaya izin verir. Dönme ve öteleme hareketi birbirinden bağımsız olarak gerçekleşebildiği için serbestlik derecesi 2'dir. Dönme ve öteleme hareketini birlikte görebildiğimiz bir başka bağlantı türü ise helis (*vida*) mafsaldır. Silindirik mafsalda iki hareket birbirinden bağımsızken helis mafsalda bir eksen etrafında gerçekleşen dönme hareketi aynı zamanda elemanın ilerlemesini sağladığı için bağımlı bir hareketten söz ederiz. Dönme hareketi olmadan ilerleme olmayacağı için helis mafsalda tek serbestlik derecesi söz konusudur. Bununla birlikte, serbestlik derecesinin arttığı başka mafsal türleri de vardır. Örneğin, x , y , ve z doğrultularında sadece dönme hareketine izin veren küresel mafsal 3 serbestlik derecesine sahiptir. Düzlemsel mafsal ise düzlem üzerinde 2 yönde öteleme ve bu düzleme normal eksen etrafında dönme hareketine izin verir. Bu nedenle, toplamda 3 farklı hareket söz konusudur ve bu mafsalın serbestlik derecesi 3'e eşittir. Öte yandan, yüksek kinematik çifte örnek olan dişli ve kam mafsallarda dönme ve kayma hareketine bağlı olarak 2 serbestlik derecesi

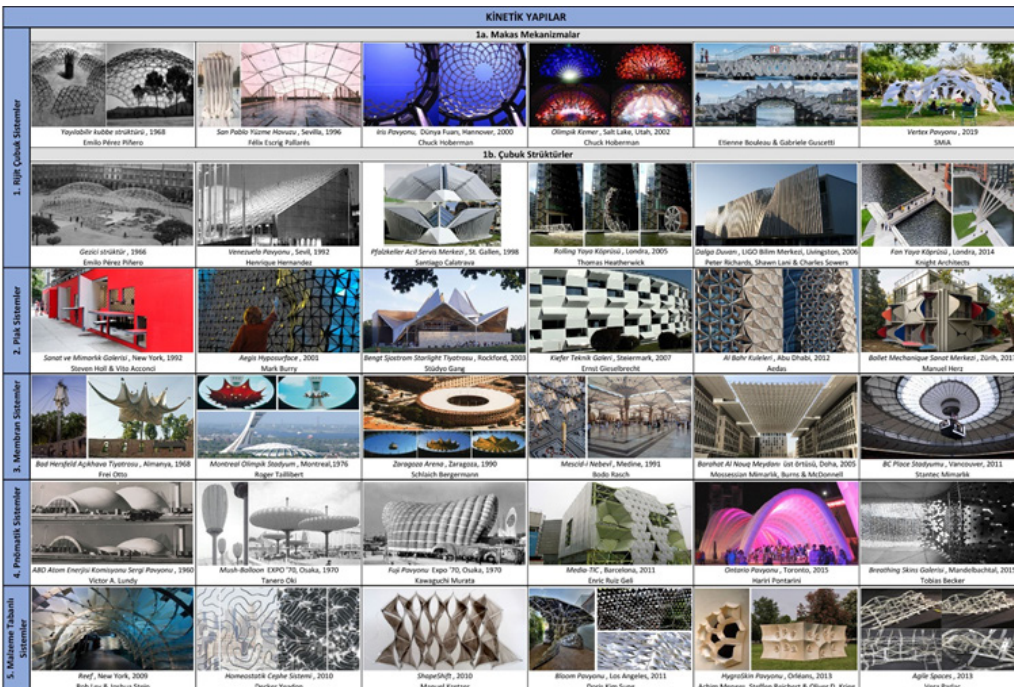
mevcuttur.

3. Morfolojik ve Kinematik Özelliklerine göre Kinetik Yapılar

Kinetik yapılar, morfolojik özelliklerine ve kinematik karakteristiklerine göre farklılık göstermektedir. Dönerek, ötelenerek, katlanarak veya deforme olarak biçim değiştirebilen kinetik yapıları 5 kategoride inceleyebiliriz: rijit çubuk sistemler, plak sistemler, membran sistemler, pnömatik sistemler ve malzeme tabanlı sistemler (Şekil 4). Rijit elemanların birleştirilmesiyle oluşturulan rijit çubuk sistemler, makas mekanizmalar ve çubuk strüktürler olmak üzere iki alt başlık altında toplanmaktadır.

Makas benzeri elemanların orta ve uç noktalarından döner mafsallarla birleştirilmesiyle oluşturulan makas mekanizmalar, kompakt bir formdan genişleyebilen bir strüktüre dönüşebildiği için çoğunlukla geniş açıklıklı yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Bu tip yapıların en büyük avantajı, kapandığında çok az yer kaplaması ve istenilen yere taşınarak farklı işlevlerde tekrar tekrar kullanılabilmesidir. Farklı türleri olan makas mekanizmaların temel prensibi, makas birimlerinin belirli geometrik koşullar altında istenilen formu oluşturacak şekilde bir araya getirilmesi

Şekil 4. Kinetik yapılar (Kaynak: Fortmeyer ve Linn, 2014, Fox, 2016; Kolarevic & Parlac, 2015)



esasına dayanmaktadır (Maden, 2011). İlk kez 1961 yılında İspanyol mimar Emilio Pérez Piñero'nun tasarladığı gezici tiyatro ile karşımıza çıkan bu tip yapılar daha sonra pek çok mimar ve mühendis tarafından farklı uygulamalarda kullanılmıştır (Gantes, 2001). 90'lı yıllarda büyük ölçekte uygulanmış örneklerden biri Piñero'nun tasarladığı genişleyebilen kubbe strüktürü, diğeri ise tasarımı Félix Escrig Pallarés'e ait *San Pablo Yüzme Havuzu* çatısı için geliştirilen açılır kapanır strüktürdür. 2000'li yıllarda makas mekanizmalar üzerine çok fazla çalışma yapılmış, farklı ölçek ve işlevlerde yapılar önerilmiş ve bir kısmı da inşa edilmiştir. Dikkat çeken uygulamalar arasında Chuck Hoberman'ın tasarladığı *Iris Pavyonu* ve *Olimpik Kemer* ile SMiA araştırma grubu tarafından tasarlanan *Vertex Pavyonu* yer almaktadır. Makas mekanizmaların farklı bir uygulaması ise Cenevre'deki *Jet D'eau Yaya Köprüsü*nde karşımıza çıkmaktadır. Doğrusal formda yaya geçişine izin veren strüktür, hidrolik pistonlar yardımıyla hareket ederek kemer formuna dönüşmekte ve bu konfigürasyonda hem kanaldan tekne geçişi sağlanmakta hem de yaya köprüsü üzerindeki basamaklar sayesinde yaya geçişine izin vermektedir. Tüm bu strüktürler morfolojik olarak farklılık gösterse de hepsinin ortak hedefi, değişen mekânsal ihtiyaçlara ve iklimsel koşullara hızlıca biçim değiştirerek yanıt vermektedir.

Rijit çubuk strüktürlerin ikinci türü olan çubuk strüktürlerde ise elemanlar döner, silindirik, küresel veya üniversal mafsallarla birleştirilebilir ancak bu strüktürlerde birim oluşturulma zorunluluğu yoktur. Ayrıca, makas mekanizmalarda elemanların bağlı hareketi söz konusu olduğu için genellikle tek serbestlik derecesine sahipken çubuk strüktürlerde elemanlar farklı kombinasyonlar ile bir araya gelebilir ve çok serbestlik derecesine sahip olabilir. Piñero'nun gezici strüktürü ile Henrique Hernandez'in *Venezuela Pavyonundaki* strüktür modüllerden oluşurken, Santiago Calatrava'nın *Pfalzkeller Acil Servis Merkezi* için tasarladığı gölgeleme işlevindeki kabuk strüktür simetrik olarak

katlanan kemer şeklinde iki kanattan oluşmaktadır. Çubuk elemanlar alt uçlarından zemine sabitlenmiştir; orta noktalarında yer alan döner mafsallar sayesinde katlanarak üst örtü açılmaktadır. Thomas Heatherwick'in tasarladığı köprüde ise modüller pistonlar yardımıyla kontrol edilerek lineer formdaki yaya köprüsünü dairesel forma dönüştürmektedir.

Kinetik yapıların ikinci türü olan plak sistemlerde elemanlar ya belirli bir aks etrafında dönerek hareket etmekte ya da belirli bir doğrultuda katlanarak açılıp kapanmaktadır. Steven Holl ve Vito Acconci tarafından tasarlanan *Sanat ve Mimarlık Galerisinin* cephesi, iç ve dış mekân arasında geçirgenliği sağlayan hareketli panellerden oluşmaktadır. Yatay ve dikey yönde dönerek hareket edebilen paneller, açıldığında caddeye doğru genişleyerek kamusal alan ile birleşmekte ve mekân sınırlarını sürekli olarak değiştirmektedir. Mark Burry tarafından tasarlanan *Aegis Hyposurface* projesinde ise elektromekanik bir sisteme sahip olan dinamik metal yüzey, çevresindeki ses, ışık ve hareket seviyesindeki değişikliklere pnömatik aktüatörler ve hareket tetikleyici elektronik sensörler sayesinde eş zamanlı olarak yanıt verebilmektedir (Goulthorpe, 2000). Kullanıcı ile direk etkileşimde olan bu yüzey, iki boyutlu bir eleman olmanın ötesine geçerek üçüncü boyutta hacimler yaratmakta ve etkiye tepki olarak yüzeyi yeniden şekillendirmektedir. Stüdyo Gang tarafından tasarlanan *Bengt Sjostrom Starlight Tiyatrosunun* çatısını oluşturan plak elemanlar ise yukarıya doğru katlanarak açılmaktadır. Farklı hava koşullarına uyum sağlamak amacıyla biçim değiştiren üst örtü, kapalı konumda seyirciler için korunaklı bir alan oluştururken açık konumda hava sirkülasyonu sağlayarak gökyüzü ile güçlü bir görsel bağlantı oluşturmaktadır. *Kiefer Teknik Galerisinin* cephesindeki plak elemanlar dikey doğrultudaki raylı sistem üzerinde kayarak katlanırken, *Al Bahr Kulelerinin* cephesinde hareket üçgen formu modüllerin merkezinde yer alan pistonlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Kinetik cephe, değişen çevre koşullarına

uyum sağlayarak yapının ısı kazanımını ve mekanik iklimlendirme kullanımını azaltmaktadır. Kinetik cephenin soğutma yükünü %35 ve enerji tüketimini %50 azalttığı tahmin edilmektedir (Kolarevic & Parlac, 2015). Manuel Herz'in tasarladığı *Ballet Mécanique* binasının cephesinde ise paneller bağımsız olarak kontrol edilebilmekte olup sağa-sola veya aşağı-yukarı katlanarak mekân önünde balkon ve üst örtü oluşturmaktadır. Dikey ve yatay konumda kalabilen paneller güneş kırıcı olarak da işlev görebilmektedir.

Üçüncü tür olan membran sistemler ise çekme dayanımlı örtünün kabloları yardımıyla çekilerek açılması veya toplanması esasına dayanmaktadır. Bu tür açılır kapanır membran sistemlerin temel amacı, çevresel etkenlere karşı kullanıcı konforunu sağlamak üzere korunaklı alanlar oluşturmaktır. Seyircileri güneş ve yağmur gibi olumsuz hava koşullarından korumak için inşa edilen *Bad Hersfeld* Açık hava Tiyatrosunun üst örtüsü, elektrik motorları yardımıyla kabloların çekilmesiyle hareket ettirilmektedir. Benzer hareket prensibini *Montreal Olimpik Stadyumu*, *Zaragoza Arena* ve *BC Place Stadyumu* gibi büyük ölçekli yapılarda da görebiliriz. Bu yapılarda hareket merkezden çepere doğru sağlanırken, *Barahat Al Nouq Meydanı* üst örtüsü lineer doğrultuda toplanmaktadır. İklimsel kontrol için Bodo Rasch tarafından tasarlanan *Mescid-i Nebevi*'nin avlusundaki şemsiye benzeri strüktürler ise güneşin hareketine bağlı olarak açılıp kapanmaktadır.

Sıkıştırılmış hava basıncı esasına dayanan pnömatik sistemler, tek ve çift cidarlı olmak üzere iki çeşittir. Tek cidarlı sistemlerde membran içine belirli aralıklarla kompresörler yardımıyla hava pompalanarak basınç farkı oluşturulmaktadır. Tanero Oki'nin tasarladığı *Mush-Balloon* bu sisteme örnek gösterilebilir. Çift cidarlı sistemlerde ise basınç farkı iki katman arasında yaratılır. *Fuji Pavyonu* ve *Ontario Pavyonu* gibi çift cidarlı pnömatik yapılar, hızlıca kurulum kaldırılabilirlikleri için çoğunlukla geçici işlevlerde kullanılmaktadır. Üç katmanlı ETFE kaplama

modüllerden oluşan *Media-TIC* binasının pnömatik cephe sisteminde ise katmanlar arasındaki basınç, sıcaklık farkına bağlı olarak değişmekte olup modülleri opak hale getirmekte ve gölgeleme sağlamaktadır (Kolarevic & Parlac, 2015). İç ve dış mekân arasındaki ışık ve ısı akışını kontrol etmek için tasarlanan *Breathing Skins Galerisinin* cephe geçirgenliği de sürekli olarak değişmektedir. İç mekân, güneşin konumuna göre istenilen düzeyde gölgelenebilmekte ve doğal havalandırma sağlanabilmektedir.

Motor, aktüatör veya sensörler yardımıyla ile kontrol edilen mekanik sistemlerin yanı sıra malzemenin fiziksel özelliğine bağlı olarak biçim değiştirebilen malzeme tabanlı sistemler de mevcuttur. Malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte ışık, ses ve mekanik gerilme gibi iç-dış etkenlere karşı fiziksel özelliklerini dinamik olarak değiştirebilen akıllı malzemeler kinetik mimariye yeni bir boyut katmaya başlamıştır (Kolarevic, 2003). *Shape Memory Alloy (SMA)* olarak adlandırılan şekil-bellek alaşımli teller aracılığıyla hareketin sağlandığı örnekler son yıllarda hızla artmaya başlamıştır. Akıllı malzeme olarak sınıflandırılan SMA'lar sıcaklık değişikliklerine hızlıca yanıt verebilmektedir. Düşük sıcaklıkta yeni bir geometrik forma geçebilen SMA, ısıtıldığında orijinal formuna dönebilmektedir. Mekanik olarak kontrol edilen sistemler ile karşılaştırıldığında SMA'ların sistem hareketi için gerekli olan elektrik enerjisine ihtiyaç duymadığı söylenebilir. Rob Ley ve Joshua Stein'in tasarladığı *Reef* ve Vera Parlac'ın tasarladığı *Agile Spaces* projelerinde elemanların hareketi bu teller aracılığıyla kontrol edilmektedir (Fox, 2016). Bir başka akıllı malzeme ise elektrik akımı uygulanarak polarize edilebilen elektroaktif polimerlerdir (EAP). EAP'ler büyük deformasyon potansiyeli, yüksek tepki hızı, düşük yoğunluğu ve geliştirilmiş esnekliği nedeniyle mimari uygulamalarda potansiyel olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır. Decker Yeadon'ın tasarladığı çift cidarlı *Homeostatik Cephe Sisteminde* cidarlar arasındaki boşlukta EAP şeritler

yer almaktadır. Esnek olan ve çok az güç tüketen dielektrik malzemenin her iki tarafı gümüş elektrotlarla kaplandığı için bu tabaka ışığı yansıtmakta ve elektrik yükünü malzemeye dağıtarak deforme olmasına neden olmaktadır. Böylece, bina içindeki sıcaklık kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Mimari ölçekte EAP'lerin potansiyel uygulamasının araştırıldığı bir başka proje ise Manuel Kretzer'in *ShapeShift* tasarımıdır. Doris Sung tarafından tasarlanan *Bloom* yapısında ise kullanılan manganez bazlı alaşımların oluşturduğu bimetalik paneller, güneş altında ısı ile birlikte kıvrılarak açılmaktadır (Kolarevic & Parlac, 2015). Bu malzeme, ısı değişikliğine doğrudan tepki vererek biçim değiştirebildiği için karmaşık sensör, aktüatör veya kontrol sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Gölgeleme ve doğal havalandırmada doğrudan etkili olan bu sistem Sung tarafından daha sonra bina cephesinde kullanılmak üzere önerilmiştir. Malzeme tabanlı bir başka örnek ise Achim Menges, Steffen Reichert Oliver ve David Krieg tarafından tasarlanan *HygroSkin* Pavyonunda karşımıza çıkmaktadır. Ahşap malzemenin kuru ortamda nemi emebilme ve yağışlı ortamda nemi atmosfere yayabilme özelliğinin kullanıldığı bu projede, akça ağaç çeşitli sentetik bileşiklerle bir araya getirilmiştir. Ahşap kompozit paneller, mekanik sistem gereksinimi olmadan nem seviyesi değişikliğine bağlı olarak kendiliğinden hareket etmektedir (Menges & Reichert, 2015). Modüller, %30-90 arasındaki bağıl nem değişikliğine cevap verebilmektedir ki bu da ılıman iklime sahip bölgelerdeki nem oranına denktir. İklimsel verilere bağlı olarak modüllerin açıklık seviyesi ve buna bağlı olarak da ışık geçirgenliği sürekli olarak değişmektedir (Correa vd., 2013).

Yukarıda incelenen örneklerin ışığında şöyle bir değerlendirme yapabilmek mümkündür: geleneksel yapılarda insanın hareketi içinde bulunduğu mekânın sınırlarına göre şekillenirken, kinetik mimaride insan ve mekân arasında dinamik bir etkileşim vardır. Mekân, insanların ihtiyaçlarına ve/veya değişen iklimsel koşullara göre değişip dönüşerek yeniden

biçimlenebilmektedir. Kinetik yapılar, farklı tür ve ölçeklerde uygulansalar da insan faktörü tasarımın merkezinde yer aldığı için optimum düzeyde kullanıcı konforu sağlamak ve değişime dönüşerek yanıt vermek temel hedeftir. Çoğunlukla cephe ve çatı strüktürü olarak karşımıza çıkan kinetik yapılar, çok işlevli özellikleri sayesinde çoğu tasarım problemine çözüm sunabilmektedir. Özellikle, son yıllarda uygulamaları hızla artmaya başlayan kinetik cepheler gün ışığı kontrolü, doğal havalandırma, gölgelendirme ve enerji tüketimini azaltma gibi konularda ciddi avantajlar sağlamaktadır. Farklı katlanma prensipleri ve mekanizma tasarımlarına sahip bu cepheler, kullanıcı konforunu sağlamak adına gün boyu biçimlerini, yönlerini ve açıklıklarını tekrar tekrar değiştirebilirler.

4. Kinetik Cephe Tasarım Yöntemi

Bina cepheleri, geleneksel mimaride yalnızca iç ve dış mekân arasında bölücülük işlevine sahip yapının dikey statik bir elemanı olarak algılanmıştır. Endüstri Devriminin beraberine getirdiği dökme demir ve cam gibi yeni yapı malzemelelerinin keşfi ve 1900'lerle başlayan modern mimari hareket ile birlikte cepheler farklı işlevler de kazanmaya başlamıştır (Fortmeyer & Linn, 2014). Yapı teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde yapının ana taşıyıcısından ayrışmaya başlayan bina cepheleri, ayrı bir yapı bileşeni olarak tasarlanabilmiştir. Özellikle camın giydirmeye cephe olarak yapı kabuğunu şekillendirmeye başlamasıyla birlikte iç ve dış arasındaki sınır görsel olarak ortadan kalkmış, cepheler bütünleştirici bir işleve sahip olmaya başlamıştır. İklimsel koşullara uyum, iç mekânda kullanıcı konforunu sağlama ve estetik kaygılar cephe tasarımında önem kazanmaya başlamıştır. Bu tip özellikler, çok işlevli cephe tasarımını gerektirmektedir.

Yapı sektörünün, ulaşım ve sanayi sektörlerinden daha fazla enerji tükettiği ve insanların zamanlarının %90'ına yakınına iç mekânda harcadığı düşünüldüğünde bina cephelerinin yapı tasarımında önemli bir rol oynadığı görülmektedir (Bougdah

& Sharples, 2009). Ancak, 20. yüzyılla başlayan cephe tasarım çözümleri enerji tüketimi, iklimsel koşullara uyumluluk ve kullanıcı konforu bağlamında incelendiğinde günümüz ihtiyaçlarına yeterli derecede cevap verememektedir. Özellikle cam giydirme cepheler, yapının ısıtma ve/veya soğutma yükünü ciddi anlamada arttırmaya başlamıştır. Yapının enerji tüketimini azaltmak ve değişen iklimsel koşullara tepkisel olarak yanıt verebilmek adına farklı katlanma prensiplerine ve mekanizmalara sahip kinetik cephe tasarımları geliştirilmiştir.

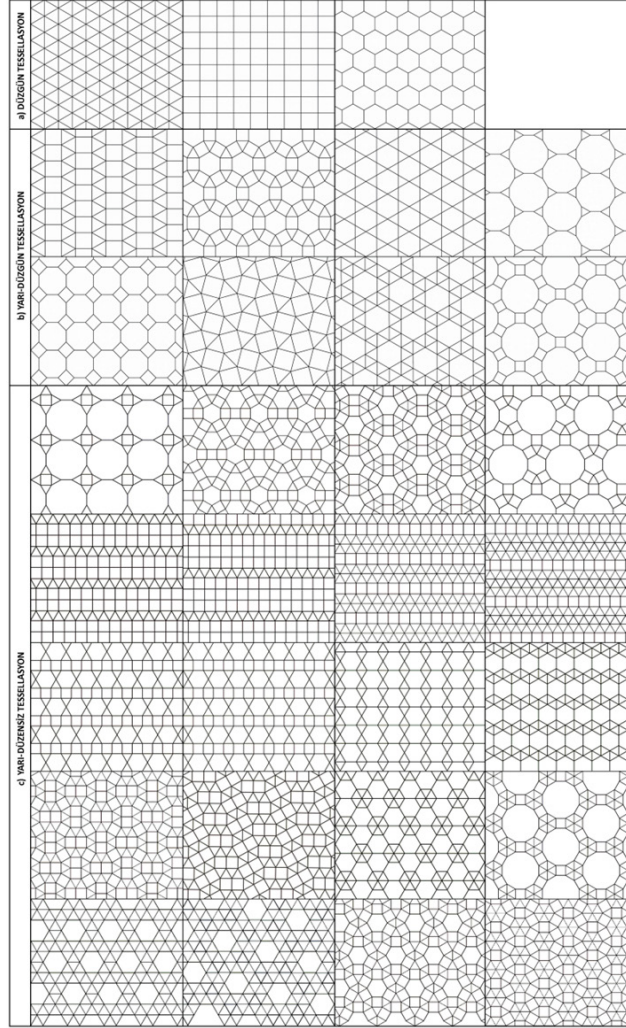
Kinetik cephe tasarımlarında farklı geometrik yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemlerden bir tanesi, tessellasyon yöntemidir. Latince kare anlamına gelen *tessella* sözcüğünden türeyen tessellasyon, düzlemsel bir yüzeyin belirli geometrik kurallar çerçevesinde benzer veya farklı şekiller kullanılarak kaplanması esasına dayanmaktadır (Grünbaum & Shephard, 1987). Tessellasyonun temel kuralı, şekiller arasında herhangi bir örtüşme olmadan ve aralarında boşluk kalmadan tekrar ederek yüzeyi örtmesidir. Tessellasyon, farklı sanat dalların yanı sıra mimarlık tarihi boyunca farklı dönemlerde bazen kaplama veya dekoratif bir eleman olarak bazen de bina yüzeylerinde cephe elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğuda İslam sanatı ve mimarisinin ayrılmaz bir parçası haline gelen tessellasyon batıda özellikle Endülüs mimarisi ile yükselişe geçmiştir.

Kinetik cephe tasarlarken düzgün, yarı-düzgün ve yarı-düzensiz çokgenlerin oluşturduğu bir tessellasyon (Şekil 5) veya İslam mimarisinde sıklıkla karşımıza çıkan *Mashrabiya* desenleri kullanılabilir (Şekil 6). Aynı çokgenin köşe noktalarından birleştirilmesiyle oluşturulan düzgün tessellasyon 3 çeşittir: eşkenar üçgen, kare ve altıgen (Coxeter, 1973) (Şekil 5a).

Düzensiz tessellasyonda kenarlar ve açılar birbirine eşittir. Buna karşın, farklı çokgenlerin bir köşe noktası etrafında birleşmesiyle oluşturulan yarı-düzensiz tessellasyon toplamda 8 (Şekil 5b), düzensiz ve yarı düzensiz tessellasyonun kombinasyonu olan yarı-düzensiz tessellasyon ise 20

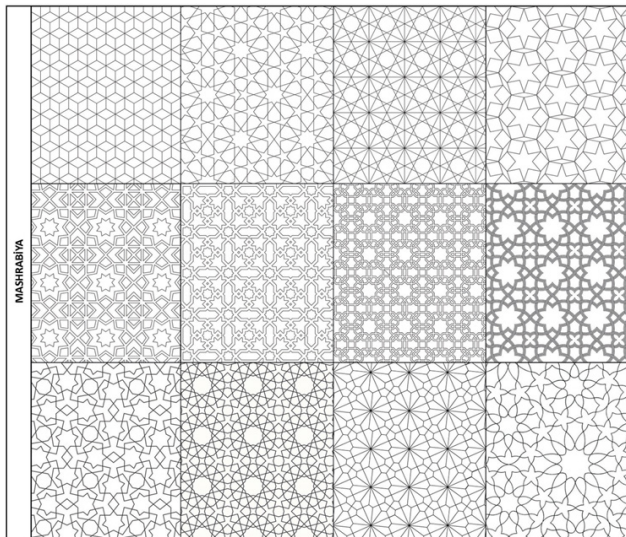
çeşittir (Ghyka, 1977; Grünbaum & Shephard,

1987) (Şekil 5c).



Şekil 5. Tessellasyon türleri

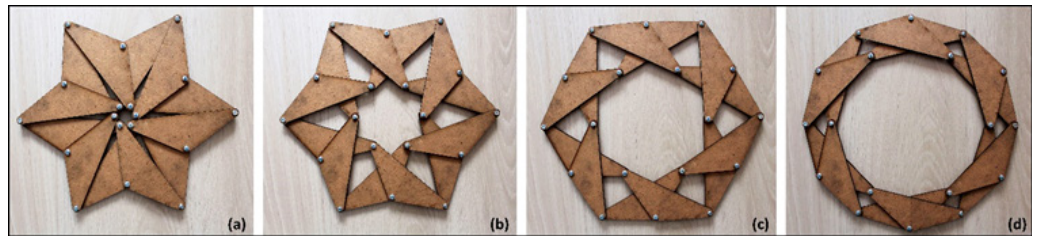
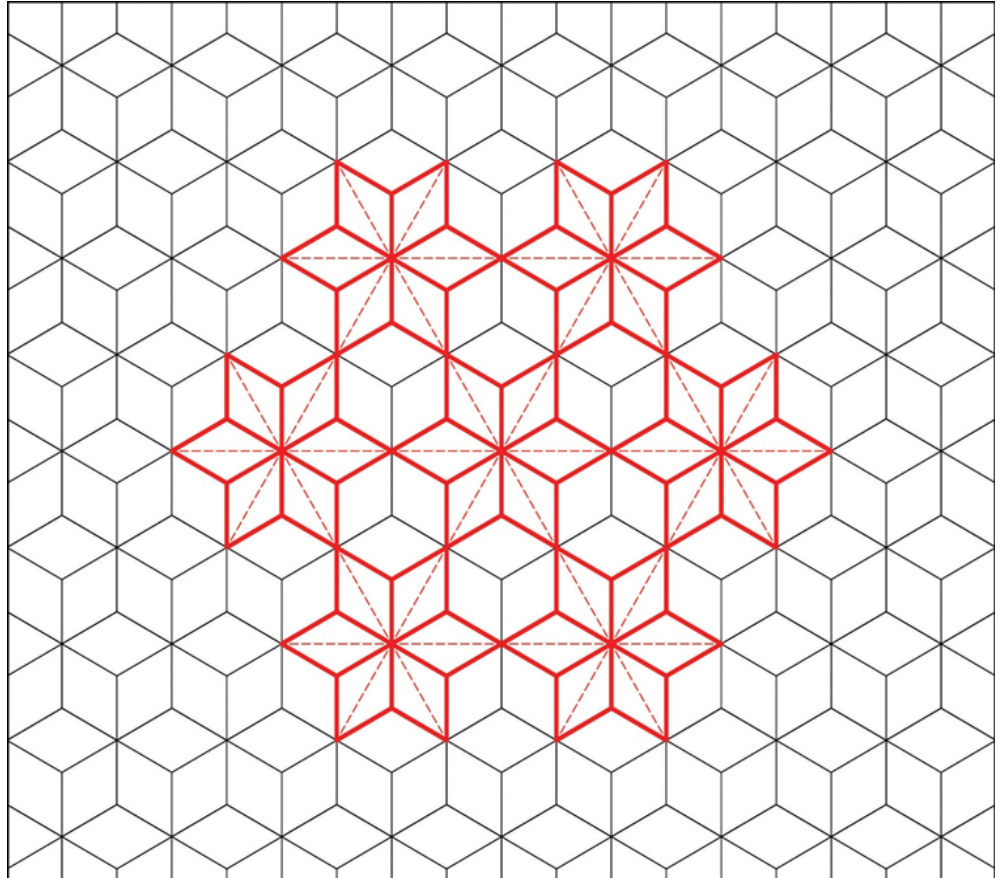
Şekil 6. Mashrabiya desenleri



Kinetik cephe tasarımı için altıgen tabanlı yıldız formu *Mashrabiya* deseni seçilmiştir (Şekil 7). Öncelikle, Şekil 8a'da görülen ikizkenar üçgen elemanlardan oluşan alt bir modül oluşturulmuştur. Toplam 12 adet üçgen elamandan oluşan bu alt modülde elemanlar birbirlerine döner mafsallar ile bağlanmıştır. Bu sayede, elemanlar birbirlerine bağlı olarak merkezden çepere doğru hareket edebilmektedir.

görülmektedir. Lineer bir şekilde birbirine eklenen alt modüller, Şekil 9b'de olduğu gibi aynı sıranın üst üste dizilmesi ile y yönünde de çoğaltılabilir. Bu dizilimde iki sıra arasında düzgün olmayan altıgen boşluklar ortaya çıkmaktadır. İkinci sıradaki modüller Şekil 9c'de olduğu gibi yarım birim ötelenerek ilk sıraya bağlanırsa modüller arasında özdeş paralelkenar boşluklar oluşmaktadır.

Şekil 7. Yıldız formu *Mashrabiya* deseni
Şekil 8. Altıgen formu alt modülün hareketi



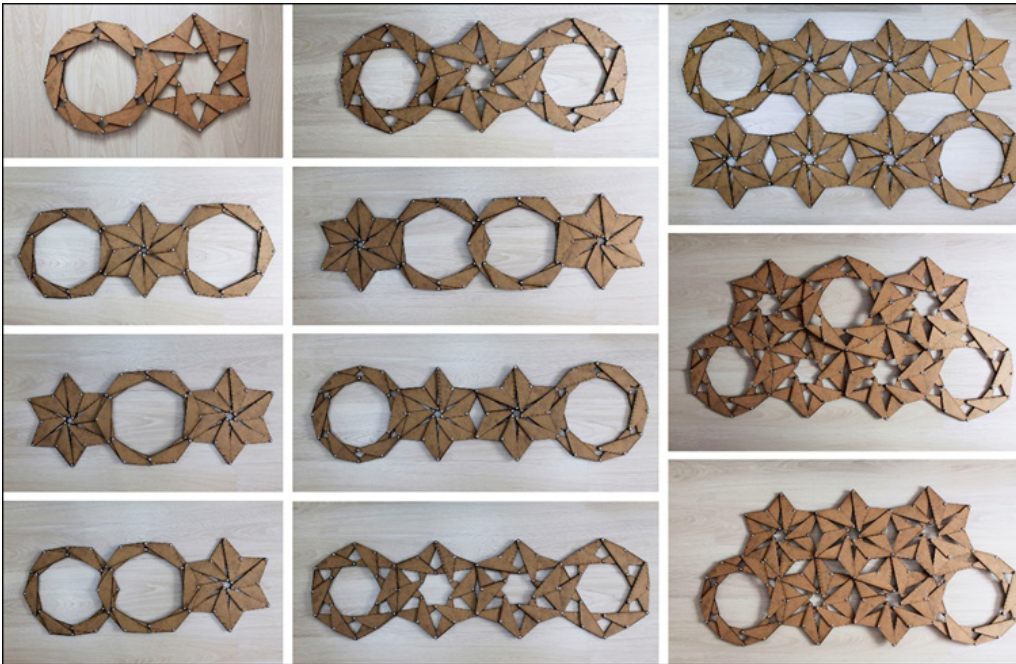
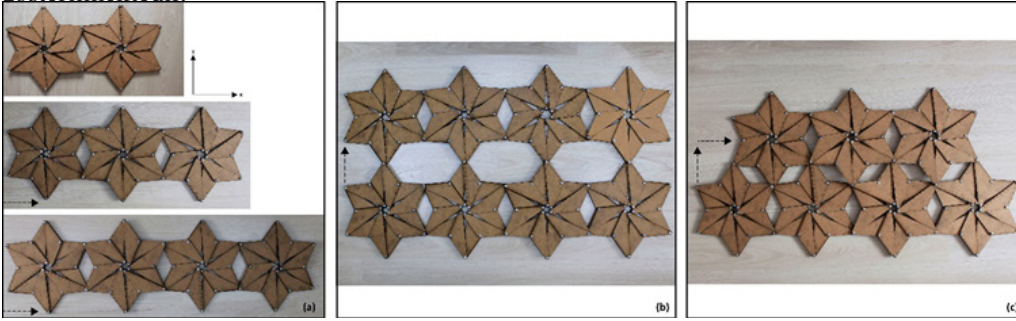
Alt modül oluşturulduktan sonraki aşama modülün çoğaltılmasıdır. Alt modül, x ve y doğrultusunda lineer bir iterasyon ile veya alt modülün kendi çevresinde birbirine eklenerek radyal iterasyon ile çoğaltılabilir. Şekil 9a'da x yönünde yapılan iterasyon

Alt modüle eklenen yeni modüller, bağlı olduğu modül veya modüllerden bağımsız olarak da hareket edebilmektedir. Bunun nedeni, tek serbestlik dereceli alt modülün çoklu birleşimlerde serbestlik derecesinin artmasıdır. Bu avantaj sayesinde tek bir

modül ile farklı konfigürasyonlar elde edilebilmektedir. Böylece, cephe üzerinde bazı modüller tam olarak kapalı konumda tutulabilirken diğer modüller açık konuma getirilebilir. Şekil 10'da bağımsız hareketin çeşitli konfigürasyonları gösterilmektedir.

benzer şekilde lineer veya radyal iterasyonlar yapabilmek mümkündür. Oluşturulan bu modül, alt modüle benzer şekilde x ve y doğrultusunda veya kendi çevresinde birbirine eklenerek türetilmektedir. Şekil 12'de 5 ana modülün birleşiminden oluşturulan kinetik yüzey

Şekil 9. a) Alt modülün x yönünde iterasyonu; b) lineer dizinin y yönünde iterasyonu; c) lineer dizinin x yönünde ötelenerek y yönünde iterasyonu



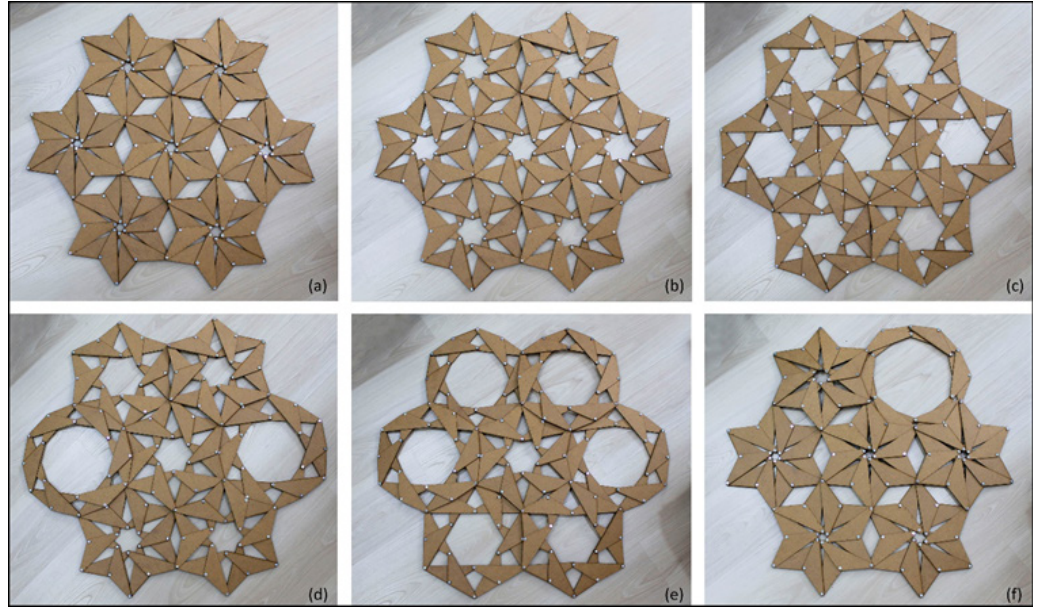
Şekil 10. Bağımsız hareket edebilen alt modüller

Modüllerin lineer diziliminin yanı sıra radyal bir iterasyon da yapılabilmektedir. Bu yöntemde, yeni modüller alt modüle köşe noktalarından saat yönünde veya tam tersi yönde eklenmektedir. Bu iterasyon ile toplamda 7 alt birimden oluşan yeni bir modül oluşturulabilmektedir (Şekil 11a). Ana modülde yer alan alt modüller Şekil 11b-c ve 11e'de görüldüğü gibi bağımlı veya Şekil 11d ve 11f'deki gibi bağımsız olarak hareket edebilmektedir.

Bu modülü kullanarak önceki yöntemle

görülmektedir. Bu yüzeyi oluşturan alt modüller hareket esnekliğine sahip olduğu için tam açık, yarı açık ve kapalı konumlarda farklı konfigürasyonlar sağlamaktadır.

Lineer ve radyal iterasyon yöntemleriyle oluşturulan kinetik sistemler karşılaştırıldığında şu sonuç ortaya çıkmaktadır. Lineer iterasyon yöntemiyle türetilen sistemde modüllerin tam kapalı konfigürasyonunda bile modüller arasında geniş boşluklar oluştuğu için cephe üzerine uygulandığında aradaki boşluklar nedeniyle

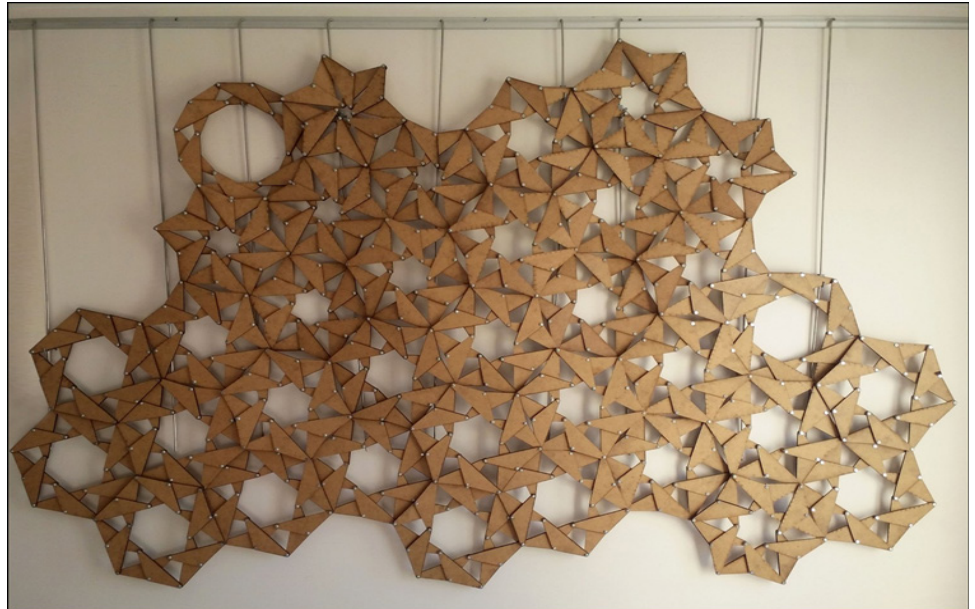


Şekil 11. 7 birimli altıgen modül

tam gölgeleme sağlamak mümkün olmayacaktır. Buna karşın, radyal iterasyon yöntemiyle türetilen sistemde modüller arasında daha küçük paralelkenar boşluklar oluşmaktadır. Ancak, modüllerin cephe üzerinde birbirine paralel farklı düzlemlerde montajının yapılması ve modüllerin bağlantı noktalarında ilk yöntemle göre çok daha fazla elemanın birleştirilmesi gerekmektedir.

hareketini kolaylaştırmak adına altıgen modüllerin bağımsız kullanılmasına karar verilmiştir. Cephe üzerinde modülleri taşıyacak bir ızgara sistem içerisinde modüllerin her biri bağımsız hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Cephe modülü, kapalı konfigürasyondan açık konfigürasyona geçerken yıldız formdan önce altıgen forma daha sonra ise daireye yakın bir forma dönüşmektedir (Şekil 13a-b). Modül, altıgenin köşegen aksları

Şekil 12. Kinetik yüzey



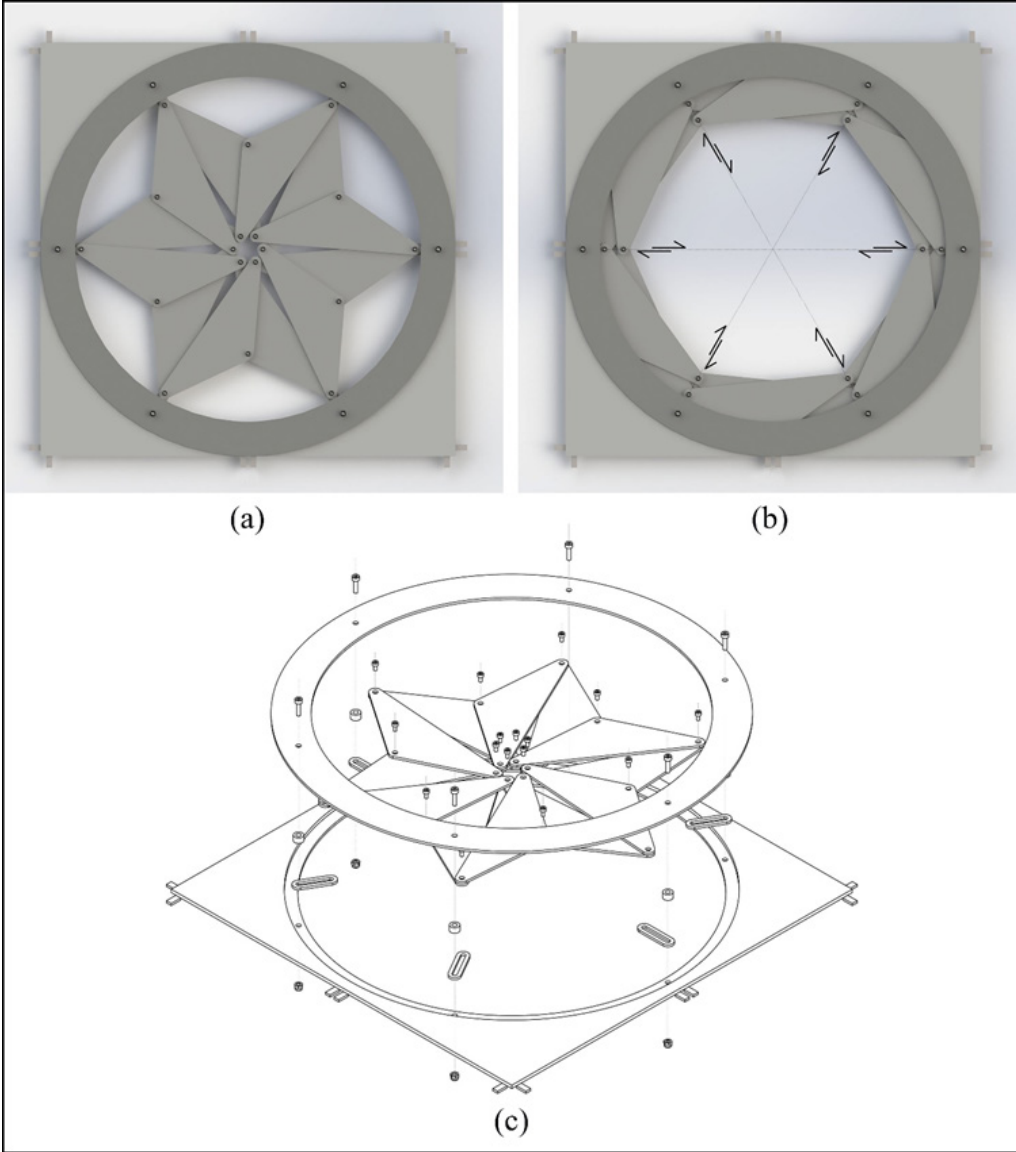
Kinetik cephe tasarımı için düzgün bir geometri oluşturmak ve modüllerin

boyunca merkezden çepere doğru hareket ettiğinden doğrusal öteleme hareketini

yapılabilmesi için öncelikle 6 köşe noktasından slotlara daha sonra ise dairesel halka elemana bağlanmıştır (Şekil 13c). Modülün cephe üzerine monte edilebilmesi için dairesel eleman kare formulu ortası boşluklu plakaya sabitlenmiştir.

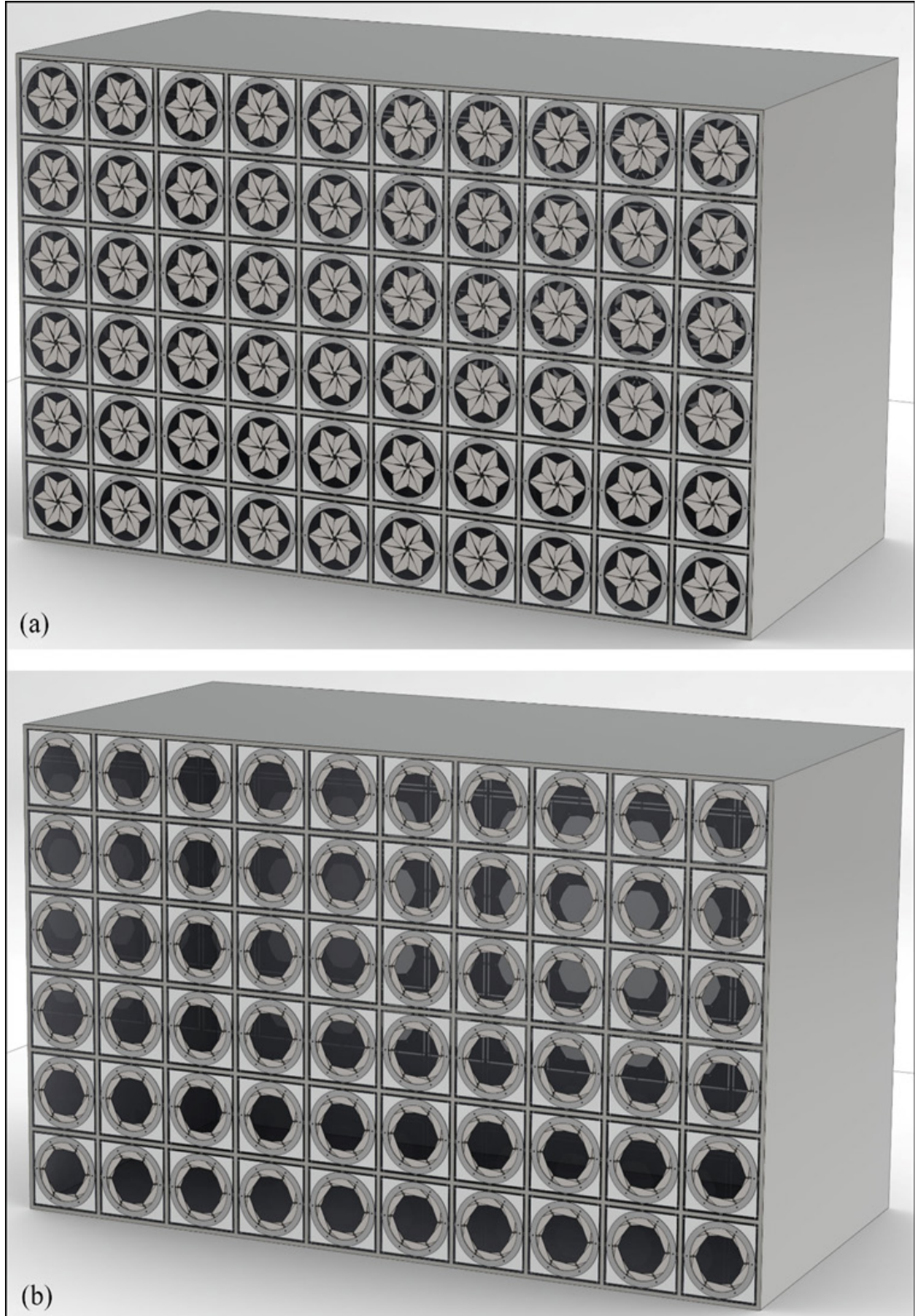
doğrultusunda kullanıcı konforuna göre biçim değiştirebileceği için özellikle sıcak iklimlere sahip olan yerlerde gölgeleme ve doğal havalandırma gibi işlevleri yerine getirmek üzere cam giydirme cephe üzerine ikinci cidar olarak uygulanabilecektir.

Şekil 13. Modül tasarımı: a) kapalı konfigürasyon; b) açık konfigürasyon; c) cephe modül elemanları



Son olarak modülü taşıyan plak elemanın kinetik cepheyi taşıyan ızgara sistemine montajı yapılmıştır (Şekil 14). Modül doğrusal hat boyunca ilerleyerek hareket ettiği için modülün hareketi ızgara sistemi arkasına yerleştirilecek lineer aktüatörler vasıtasıyla sağlanacaktır. Önerilen modüller kinetik cephe sistemi, iklimsel veriler

Şekil 14. Mashrabiya desenli kinetik cephe tasarımı: a) kapalı konfigürasyon; b) açık konfigürasyon



5. Sonuç

Çevresel koşullara şekil değişiklikleriyle hızlı ve sürekli olarak cevap verebilmeleri, kullanıcı konfor ve ihtiyaçlarına göre yön ve hareketlerini değiştirebilmeleri ve yapıların enerji yüklerini ciddi oranda azaltmaları sebebiyle kinetik yapılara olan ilgi son yıllarda hızla artmaya başlamıştır. Büyük ölçekli ve yüksek katlı yapılardan küçük ölçekli yapılara kadar geniş bir yelpazede örneklerini görebileceğimiz kinetik yapılar, morfolojik ve kinematik özelliklerine göre çeşitlilik gösterse de çok işlevli özellikleri sayesinde bugünün mimarisine yön vererek yakın geleceği de şekillendirmeye başlamıştır.

Mimarlık ve mühendislik ara kesitinde yer alan kinetik mimaride en önemli unsur hareketin geometrisinin tasarımıdır. Yapı veya yapı bileşeni farklı geometrik konfigürasyonlara izin verebildiği için hareketi sağlayacak uygun mekanizmanın tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada öncelikli olarak hareket tipleri ve kinematik özelliklere göre farklılaşan kinetik yapı sistemleri incelenmiştir. Kinetik yapı tasarımlarında farklı yöntemler kullanılsa da temel hedef, değişen koşul ve ihtiyaçlara tepkisel olarak hızla yanıt vermektir. Kinetik sistemleri kendi aralarında karşılaştırdığımızda şunları söyleyebiliriz. Makas mekanizmalar ve pnömatik sistemler hafif olmaları, hızla kurulup kaldırılabilmeleri ve kompakt formda istenilen yere kolaylıkla taşınabilmeleri nedeniyle daha çok geçici fonksiyonlarda kullanılmaktadır. Membran sistemler ise çoğunlukla geniş açıklıklar için pratik çözümler sunmaktadır. Plak sistemler ve malzeme tabanlı sistemler genellikle kinetik cephe tasarımlarında karşımıza çıkmaktadır.

Mimarlar ve mühendisler tarafından enerji etkin yapı tasarım sürecine dahil edilmeye başlanan kinetik cepheler, son yıllarda farklı coğrafi bölgelerde ve farklı işlevlerdeki yapılarda da uygulanmaya başlanmıştır. Geleneksel mimaride yüzyıllardır farklı biçimlerde uygulanan tesselasyon, kinetik mimaride hareket kavramının tasarıma dahil edilmesiyle birlikte kendi-

sine yeni bir uygulama alanı yaratmıştır. Bu alan sayesinde farklı biçimlerde cephe tasarımları geliştirilebilmiştir. Kinetik cephe tasarımında farklı geometrik yöntemler kullanılsa da matematikte kullanılan tesselasyonun farklı çeşitlerini sıklıkla görebilmekteyiz. Bu çalışmada, tesselasyonun potansiyeli kullanılarak *Mashrabiya* desenli kinetik bir cephe önerisi sunulmuştur. Bu öneri, temel mekanizma bilgisi kullanılarak tesselasyon yöntemi ile geliştirilebilecek pek çok yeni tasarıma da ışık tutacaktır. Kinetik cepheler, enerji etkin bina tasarımda önemli rol oynadıkları için yakın gelecekte gelişen teknolojilerle birlikte daha fazla uygulanır hale gelecektir.

Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

Kaynaklar

- Bougdah, H. & Sharples, S. (2009). Environment, technology and sustainability. Taylor & Francis.
- Correa, D., Krieg, O.D., Menges, A., Reichert, S. & Rinderspacher, K. (2013). HygroSkin: A climate-responsive prototype project based on the elastic and hygroscopic properties of wood. İçinde P. Beesley, O. Kahn & M. Stacey (Eds.) ACADIA 2013: Adaptive architecture (ss. 33-42). Riverside Architectural Press, <https://doi.org/10.52842/conf.acadia.2013.023>
- Coxeter, H.S.M. (1973). Regular polytopes. Dover Publications.
- Eaton, R. (2002). Ideal cities: Utopianism and the (un)built environment. Thames & Hudson.
- Friedman, Y. (1970). L'architecture mobile. Casterman.
- Friedman, Y. (2011). Architecture with the people, by the people, for the people. (M.I. Rodriguez, Ed.). Actar Coac Assn Of Catalan Arc.
- Fortmeyer, R. & Linn, C.D. (2014). Kinetic architecture: designs for active envelopes. Images Publishing Group.
- Fox, M. (2016). Interactive architecture: adaptive world. Princeton Architectural Press.
- Gantes, C. J. (2001). Deployable structures: analysis and design. WIT Press.
- Ghyka, M. (1977). The geometry of art and life. Dover Publications.
- Goulthorpe, M. (2000). Aegis hypo-surface: Autoplastic to alloplastic. İçinde M. Burry (Ed.) Architectural Design: Hypersurface Architecture II (ss. 60-65). Wiley Academy Press.
- Grünbaum, B. & Shephard, G.C. (1987). Tilings and patterns. Dover Publications.
- Kolarevic, B. (2003). Architecture in the digital age: design and manufacturing. Taylor & Francis.
- Kolarevic, B. & Parlac, V. (2015). Building dynamics: exploring architecture of change. Routledge.
- Maden, F., Korkmaz, K. & Akgün, Y. (2011). A review of planar scissor structural mechanisms: Geometric principles and design methods. Architectural Science Review 54(3), 246-257. <https://doi.org/10.1080/00038628.2011.590054>
- Menges, A. & Reichert, S. (2015). Performative wood: Physically programming the responsive architecture of the hygroscope and hygroskin projects. Architectural Design, 85(5), 66-73. <https://doi.org/10.1002/ad.1956>
- Norton, R. L. (2004). Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. McGraw-Hill.
- Rattenbury, K. & Hardingham, S. (2007). Cedric Price: Potteries thinkbelt. Routledge.
- Sadler, S. (2005). Archigram: Architecture without architecture. MIT Press.
- Söylemez, E. (2007). Makine teorisi-I: Mekanizma tekniği. Birsen Yayınevi.
- Uicker, J. J., Gordon R.P. & Shigley, J.E. (2003). Theory of machines and mechanisms. Oxford University Press.
- Yiannoudes, S. (2016). Architecture and adaptation: From cybernetics to tangible computing. Routledge.
- Zuk, W. & Clark, R.H. (1970). Kinetic architecture. Van Nostrand Reinhold.