Güneş Enerjisine Dayalı Yenilikçi Kinetik Yapı Kabuğu Uygulamaları

*[1]Arzu Güncü ve [2]Aslıhan Kurnuç
*[1] Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan Üniversitesi, Türkiye
[2] Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan Üniversitesi, Türkiye

Özet

Son yıllarda enerji kaynaklarının hızla tüketilmesi, kendi enerjisini kendisi üreten, enerji etkin, çevre duyarlı, yenilikçi mimarlık anlayışını zorunlu hale getirmiştir. Bu yaklaşım özellikle güneş enerjisinin kullanımına yönelik uygulamalarla yapı kabuğu tasarımlarına yansımıştır. Böylelikle değişen iklim koşullarının etkisinde kalan ve statik bir yapı elemanı olan geleneksel yapı kabuğu kinetik bir elemana dönüşmüştür. Güneş enerjisine maruz kalan kinetik yapı kabuğu değişen güneş koşullarına hareket ederek yanıt verirken, iç ve dış iklim arasında denge kurma görevini üstlenmektedir. Bu tip kabuk sistemler, değişen günlük ve mevsimlik şartlara adapte olabilme özellikleri sayesinde, iç ortam konforunu sağlarken enerji kazanımını arttırıp/azaltarak enerji tüketimini azaltmaya imkân vermektedir. Çalışmada mevcut teknolojilerle gerçekleştirilen günümüz kinetik yapı kabuğu uygulamalarının ısı kazanımı, ısı ve ışık kontrolü ve elektrik üretimi açısından tarama modeli kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinetik yapı kabuğu, güneş enerjisi, yenilikçi mimarlık

Abstract

Because of rapid depletion of energy sources in recent years, innovative architectural concept which generates their own energy, energy efficient and environmentally sensitive has become necessary. This approach is reflected in the design of the building envelope especially with applications for the usage of solar energy. Thus, static traditional building envelope which is under the influence of changing sun conditions transformed into kinetic element. Kinetic building envelope which is exposed to solar energy, responds mobil modes while change of the sun conditions. It undertakes the task of establishing a balance between internal and external climate. This type of envelope systems, due to their ability to adapt to changing daily and seasonal requirements, provide opportunities to reduce energy consumption by energy gain increase / decrease, while providing the comfort of the internal environment. It is aimed that contemporary kinetic building envelopes which is built by the available technologies will be examined in terms of solar heat gain, control of heat and light and electric generation by using scanning model.

Keywords: Kinetic building envelope, solar energy, innovative architecture

1. GİRİŞ

Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, enerji tüketiminin hızla artmasına paralel olarak alışılagelen enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Bu durum küresel ölçekte enerji konusunu en önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkarmakta, enerji kaynaklarının tasarruflu tüketimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından optimum düzeyde yararlanmak öncelikli amaçlar arasında yer almaktadır. Günümüzde özellikle binalarda kendini

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Erzincan University, 24100, Erzincan TURKEY. E-mail address: aguncu@erzincan.edu.tr, Phone: +904462240077 Fax: +904462240077

yenileyebilen kaynaklardan biri olan güneş enerjisinden etkin şekilde yararlanılması, böylelikle enerji verimliliğinin artırılması yönünde kapsamlı araştırmalar yapılırken [1-12], kendi enerjisini kendisi üreten, enerji etkin, yenilikçi mimari yaklaşımlar dikkati çekmektedir. Bu bağlamdaki tasarım yaklaşımları öncelikli olarak güneş ışınlarına doğrudan maruz kalan yapı kabuğunun içeriği ve biçimlenmesini de etkilemekte [13], kabukta yüksek performanslı akıllı camlar, güneş kontrol elemanları, fotovoltaik piller, güneş panelleri vb. malzeme ve bileşenlerin kullanılması ile binayı gereksiz ısı kazancı ve kaybına karşı koruyacak pasif denetimin sağlanması, binanın enerjisinin bir kısmının ya da tamamının güneş enerjisinden karşılanması hedeflenmektedir.

Ancak güneş yeryüzündeki her nokta için tarihe, saate ve yönelimlere göre farklı durumlar oluşturmaktadır. Bu çerçevede son yıllarda devingen güneş durumları içerisinde, binalarda enerji etkinliğinin nasıl artırılabileceği, enerjinin en iyi şekilde nasıl yönetilebileceği, kabuk biçimlenmesinde temel arayışlardan biri olmuştur. Yapı kabuğunun bu değişkenler karşısında sabit özellikler taşıması ve değişen koşullara uyum özelliğinin bulunmamasının bu yöndeki arayışlara aykırı olacağı bir gerçektir. Dolayısıyla mimarlık tarihinin erken dönemlerinden itibaren süregelen, güneşten yararlanabilme beklentileriyle biçimlenen geleneksel yapı kabuğu, çok parametreli değişken güneş durumları karşısında adaptasyon özelliği içeren hareketli bir yapı elemanına dönüşmeye başlamıştır. Mimarlıkta hareketli yapı kabuğu fikri yeni bir olgu değildir. Pencere kanatları ve kapı gibi elemanlar eskiden beri uygulanan ve kabuğu biçimlendiren ilk hareketli öğelerdir [14]. Süreç içinde işin içine giren yeni malzeme/bileşen ve teknolojilerle kendi kendine düşünen, bilgisayar desteğiyle karar verebilen ve bu karar doğrultusunda içeriğindeki mekanik sistemlerle kendiliğinden şekil değiştirebilen kinetik sistemler, günümüz hareketli yapı kabuğu anlayışında yenilikçi yaklaşımlardan biri olmuştur.

Yunanca “devinim” anlamına gelen κίνησις kelimesinden türeyen “kinetik” kavramı, fizikte “hareketle ilgili, hareket sebebiyle oluşan”, biyolojide ise “sıcaklık, nem gibi çevre değişkenlerine karşılık organizmaların morfolojik, fiziksel ve davranışsal değişimleri ile adaptasyonu” şeklinde tanımlanmaktadır [15]. 1970 yılında Prof. William Zuk kinetik mimarlığı, bina veya bina bileşenlerinin biçim değiştirme ve hareket modu ile değişime uyum sağlayabildiği bir mimarlık alanı olarak tanımlamıştır. Dolayısıyla bu tip mimarlıkta, yapı kabuk bileşenleri görünür fiziksel davranışlarıyla (katlanma, kayma, şişme-sönme, dönme, uzayıp kısalma vb. fiili hareketler) değişen iklim çevrelerine adapte olmaktadır [16].

İlk kez göçebelikle ortaya çıkan kinetik mimarlık, gelişen malzeme, sensör ve bilgisayar teknolojisi, kendiliğinden çeşitli girdiler elde edip, bunlardan analiz ve hesaplamalarla çıktı sağlayan, farklı hareket mekanizmalarıyla farklı şartlara uyum sağlayabilen formların ortaya çıkışını sağlamaktadır. Fox “değişken yeri, mobilitesi ve/veya değişken geometrisi ve hareketi olan” yapıları kinetik olarak tanımlamış, aralarında açılır-kapanır sistemlerin de bulunduğu çeşitli kinetik sistem sınıflandırmaları yapmıştır [17]. Oosterhuis ise kinetik mimarlığı “ hareketin biçiminden elde edilen bilgiye sensör ve erişim düzenekleriyle elde edilen kontrolle karşılık verebilen” mimarlık olarak kabul etmiştir [18].

Mimarlıkta kinetizmin ortaya çıkış nedeni ihtiyaç duyulan hareketlilik ve esnekliktir. Hareket ve esneklik, güneşten etkin olarak yararlanma düşüncesi içerisinde kendilerine yer bulabilecek olgulardır. Güneşin sürekli devinimi ve dolayısıyla değişken güneş-yapı ilişkisi karşısında ancak

şekil değiştirebilen yapılar, mekânlar ve yapı elemanları ihtiyaç duyulan esnekliği sağlayabilmektedir. Hareketli bir hedefe hareketli elemanlarla yanıt vermek, geleneksel yöntemlere göre çok daha etkindir. Dolayısıyla mimarlıkta kinetik sistemlerin temel ilkesi, ortaya bir hareket çıktısının sağlanmasıdır. Bu temel ilkeye bağlı olarak güneşe dayalı kinetik yaklaşımlar hareketli yapılar, hareketli mekânlar ve hareketli kabuk olmak üzere 3 farklı şekilde uygulanmaktadır [19]. Bunlar arasından hareketli kabuklar en yaygın olanıdır. Açıklıklar, yarı ve tam geçirgen yüzeylere çeşitli malzeme form ve hareket mekanizmalarıyla uygulanarak, hem iç-dış, güneş ışınımı-mekân ilişkileri düzenlenebilir hem de güneş enerjisi farklı enerji çeşitlerine dönüştürülerek binanın enerji ihtiyacı karşılanabilir.

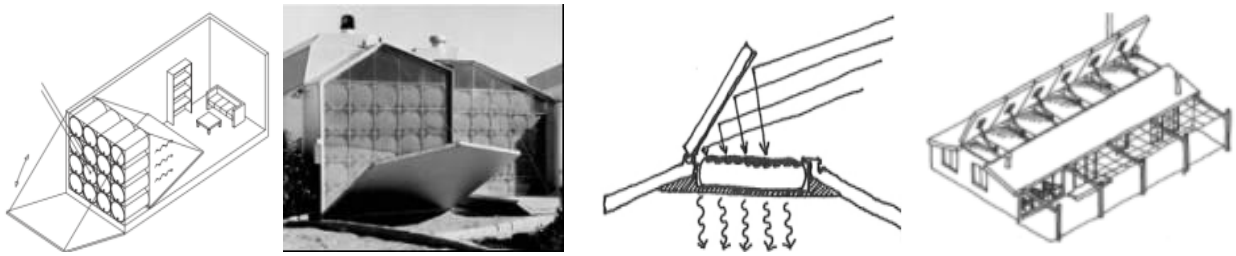
Bu çalışmanın amacı günümüz kinetik yapı kabuğunun, güneşten ısı kazanımı, ısı/ışık kontrolü ve elektrik üretimi açısından irdelenmesidir. Çalışmada yapı ile bütünleştirilmiş kinetik bileşenleri içeren örnek binalar, tarama modeli kullanılarak incelenmiş, kinetik özellikler, faz değişim malzemeleri gibi malzemenin içyapısından ziyade kabuk ya da kabuk elemanlarında görünebilir değişen hareketler bağlamında ele alınmıştır. Güneş ışınımının şiddetine göre opaklaşma özelliği taşıyan akıllı elektrokromik ve fotokromik camlar ile hareketi sağlayan sistemler (mekanik/akıllı) çalışma alanı dışında bırakılmıştır.

2. Güneş Enerjisine Dayalı Kinetik Yapı Kabuğu Uygulamaları

Güneş enerjisine dayalı kinetik yapı kabuğu sistemleri ısı kazanımı, ısı ve ışık kontrolü ve elektrik üretimi olmak üzere 3 temel amaca yönelik sınıflandırılabilir.

2.1. Isı Kazanımına Dayalı Kinetik Kabuk Sistemler

Güneşten ısı kazanımına dayalı sistemler, termofiziksel özelliklerini değiştirerek, kışın ısı geçişini artırırken yazın ısı kazanımını azaltmayı amaçlamaktadır. Baer tarafından 1973 yılında tasarlanan Solar Barrel duvarı (Şekil 1a) bu tip yapı kabuğunun basit bir örneğidir [20]. Yapıda iç düşey cidara yerleştirilmiş su dolu yağ varilleri, gün içinde, önündeki duvarın açılması ile güneş ısısını depolamakta, duvarın kapatılmasıyla da varillerde depolanan ısı iç mekâna yayılmaktadır.



(a) (b)

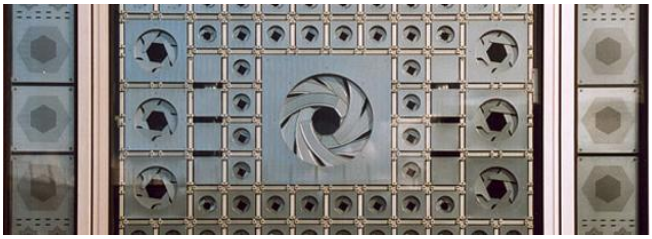
Şekil 1. (a) Solar Barrel duvarı [20], (b) Jonathan Hommond Evi [21]

Benzer şekilde Jonathan Hommond Evinde (Şekil 1b) içinde su torbaları bulunan çatı, güneş radyasyonuna göre açılıp kapanabilen, mekanik kapaklardan oluşmaktadır [21]. Dolayısıyla çatı elemanının değişen güneş radyasyonuna göre açılma ve kapanma hareketiyle ısı geçişi kontrol edilmektedir.

2.2. Isı ve Işık Kontrolüne Dayalı Kinetik Kabuk Sistemler

İkinci tip kinetik yapı kabukları daha çok güneş kontrolüne yöneliktir. İç ortam aydınlatma düzeyi, ışık dağılımları ve parlama gibi iç mekân optik özelliklerini sağlarken aynı zamanda güneş kazanımını da kontrol etmektedir. Böylece iç mekân aydınlatma ve ısıtma/soğutma için gerekli enerji tüketimini en aza indirerek iç ortam iklim konforunu artırmaktadır. Bu alanda Lawrence Berkeley National Laboratuarı (LBNL) tarafından yürütülen deneysel ve simülasyona dayalı bilimsel araştırmalar, sıcaklık ve güneşin pozisyonuna göre otomatik olarak kontrol edilebilen kabuk elemanlarının (güneş gölgeleme, güneş kırıcı vb.) kullanıldığı kinetik sistemlerin diğerlerine göre görsel konfor ve enerji kazanımı açısından daha etkin olduğunu göstermiştir [22]. Benzer şekilde Oakland'da yürütülen bir araştırmada güneş kontrolü açısından statik ve dinamik karakterli iki sistem karşılaştırılmıştır. Buna göre kinetik gölgeleme elemanlarından oluşan yapı kabuğunun diğerine göre kışın ortalama %35, yazın ise %40-75 arasında değişen oranlarda enerji kazancı sağladığı görülmüştür. Los Angeles'ta kuzey cephe dışındaki cephelerde kullanılan kinetik jaluzi sistemler ile Low-E kaplamalı pencere sistemleri DOE-2 simülasyonu ile kıyaslanmış, kinetik sistemin Low-E kaplı pencere sistemine göre yıllık enerji kazanımının %16-26 oranında daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır [23]. Son yıllarda, bu çalışmaların dışında, güneş kontrolü bağlamında kinetik yapı kabuğuna yönelik yürütülen bilimsel araştırmaların sayısı her geçen gün artarken mimari ifade boyutuyla da mimarların ilgisini çekmektedir. Dolayısıyla devingen güneş durumlarına dönme, katlanma, kayma ya da şişme/sönme fiili hareketi ile uyum sağlayan hareketli gölgeleme elemanlarının özellikle düşey yapı kabuğuna entegrasyonuna dayanan yenilikçi mimari uygulamalar her geçen gün yaygınlaşmaktadır [24].

Jean Nouvel'in Paris'te 1987 yılında inşası tamamlanan Arap Kültür Enstitüsü binası (Şekil 2) düşey yapı kabuğunda hareketli sistemlerin kullanıldığı önemli örneklerden biridir. Yapının güney cephesinde bulunan 27.000 adet alüminyum diyaframı, bilgisayar yönetimindeki elektropnömatik mekanizma ile kendi ekseninde dönerek açılıp kapanmakta ve güneş ışığı girişini 0.10 ile 0.30 oranları arasında kontrol etmektedir. Bu diyaframlar dıştaki ısı yalıtım camı ile içte yer alan tek cam yüzey arasında yer almaktadır [25]. Gün ışığının durumuna göre otomatik olarak ayarlanan diyaframlar iç ortamdaki aydınlık düzeyini de kontrol etmektedir.

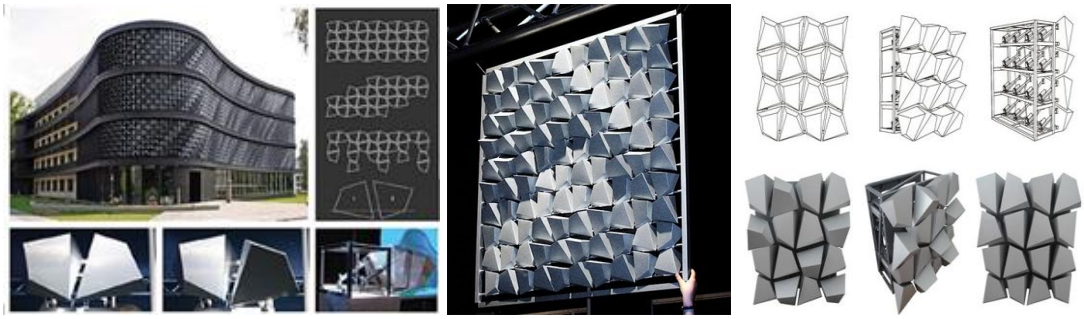


Şekil 2. Arap Enstitü Binası [26]

Benzer şekilde Newcastle Üniversitesinde Dewjoc ve ortakları tarafından tasarlanan 2004 yılında inşası tamamlanan Devonshire binasının (Şekil 3) dış yüzeyinde yer alan güneş kontrol amaçlı gölgeleme elemanı olarak kullanılan jaluziler, pencerelerden giren gün ışığı miktarına göre belirli açı aralıklarında dönerek günlük ve mevsimsel şartlara adapte olmaktadır [27].

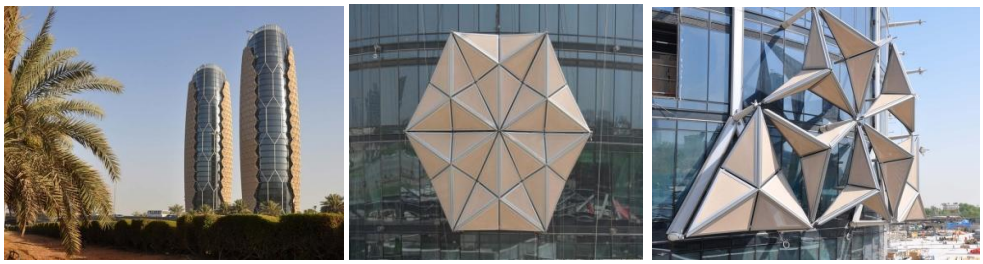
Şekil 3. Devonshire binası [28-29]

Berlin'de Staab Architects tarafından tasarlanan (2009) binada (Şekil 4) ise güneş ışığına duyarlı "flare" olarak isimlendirilen metal pulların dönmesiyle dinamik bir yapı cidarı elde edilmiştir [30-31].



Şekil 4. Flare cephe [31-32]

Abu Dhabi'de Aedas tarafından tasarlanan, inşası 2012 yılında tamamlanan 145 m yüksekliğindeki Al Bahar kulesi (Şekil 5) katlanarak hareket eden kinetik yapı kabuğu örneklerinden biridir. Yapı dış cephesinden 2m dışarıda bağımsız bir çerçeve üzerinde yer alan ikincil kinetik yüzey, fiberglass kaplamalı üçgen biçimli gölgeleme elemanlarından oluşmaktadır. Gereksiz ısı kazanımı ve parlamayı azaltacak, iç mekanda optimum aydınlatma sağlayacak şekilde güneşin hareketi ve geliş açısına göre kumanda edilmektedir [33].



Şekil 5. Al Bahar kulesi [34]

JSWD ve Chaix & Morel mimarlık firmaları tarafından tasarlanan, Essen'de inşa edilen Q1 Thyssen Krupp Quarter binasında (Şekil 6) yüzey 3 katmandan oluşmaktadır: Isıl özellikli cam giydirme, içte parlamayı engelleyen tekstil yüzey, dışta ise güneş gölgeleme elemanları. Düşey

bir eksen üzerine yatay olarak yerleştirilmiş 400.000 adet paslanmaz çelik lamel, kinetik özellikli dış gölgeleme yüzeyini oluşturmaktadır. Trapez, üçgen ve dikdörtgen şeklinde değişen pozisyonları ile çelik lameller güneşi izlemektedir [35].

Şekil 6. Q1 Thyssen Krupp Quarter binası [36]

dRMM tarafından tasarlanan, İngiltere'de 2009 yılında inşa edilen, yaratıcı bir kinetik tasarım konsepti içeren Sliding evi (Şekil 7) projesi sürgülü (kayar) harekete örnek olarak verilebilir. Duvarlar, pencereler ve çatıyı içeren tüm kabuk konut hizasında iki ray üzerinde kayabilmektedir. Mevsime, hava şartlarına ya da isteğe bağlı olarak otomatik kontrol sistemi ile kabuğun görsel ve termal özellikleri ayarlanabilmektedir [37]. İlk bakışta sıradan bir ev görüntüsüne sahip olan Sliding evinde, bir tuşa basıldığı anda hareket eden dış kabuğu sayesinde şeklini ve ışığını değiştirmeye başlamaktadır. 20 tonluk ev, raylı bir sistem üzerine oturtulan kabuğu ile mobil bir yapıya dönüşmektedir.

Şekil 7. Sliding evi [37]

Bir diğer kayar kabuğa örnek ise Avusturya Kiefer'deki sergi salonu projesidir (Şekil 8). Giselbrecht ve ortakları tarafından tasarlanan yapı, dış cepheye entegre edilmiş 112 adet gölgeleme elemanının kayma hareketine dayanan ve her güne hatta günün her saatine göre değişen kinetik heykel görüntüsüyle yenilikçi tasarım örneklerinden birini oluşturmaktadır [38].Yapıda iç mekan ısı ve ışık kontrolü 56 adet motorun kontrolü ile cephede yer alan 112 gölgeleme elemanının, isteğe bağlı olarak, kesintisiz hareketi ile sağlanmaktadır.

Şekil 8. Avusturya Kiefer'deki sergi salonu projesi [38]

İspanya'nin Barselona şehrinde Enric Ruiz Geli liderliğinde Cloud 9 Mimarlık Ofisi tarafından tasarlanan Media-TIC binası (Şekil 9) şişme ve sönme hareketine dayanan kinetik karakterli bir yapı kabuğundan oluşmaktadır. Günde 6 saat güneşe maruz kalan güney doğu ve güney batı cephelerinde kullanılan malzeme ve teknoloji ile bina değişen ısı ve ışık şartlarına uyum sağlamaktadır. Güney-doğu cephesi içbükey ve dışbükey üçgen ETFE panellerinden oluşan bir mozaik olarak tasarlanmıştır. Şeffaf paneller üzerindeki gölgeleme desenlerinin örtüşmesi ile güneş kırıcı görevi görürken, balonun içinde oluşan hava hazneleri ile de ısıl yalıtım sağlamaktadır. Güney-batı cephesindeki ETFE panelleri dışbükey merceğe benzer bir düzenekle düşey şekilde tasarlanmış ve çatıya yerleştirilmiş bir kaynaktan nitrojen gazı ile şişirilmektedir. Nitrojen gazının yoğunluğu paneller içinde bir sis etkisi oluşturarak, cephede buluta benzer bir güneş filtresi oluşturmaktadır. Kış aylarında kaplama güneş ışınlarını içine çekmekte ve iç mekânda ışık ve ısı miktarını maksimuma çıkarmaktadır [39].

Şekil 9. Media-TIC binası [39]

2.3. Elektrik Üretimine Dayalı Kabuk Sistemler

Üçüncü tip kinetik kabuklar, cephe ya da çatıya entegre edilen hareketli fotovoltaik paneller ile bir taraftan yapıda enerji etkinliğini arttırırken diğer taraftan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmektedir. Bu sistemde en tipik kinetik hareket panellerin, güneş izleme sistemlerine bağlı olarak kayması ya da dönmesidir. 2005 yılında Oldenburg'da inşa edilen EWE Arena binası (Şekil 10a) [40] ve Weiz'deki Gemini Evinde (Şekil 10b) [41], cepheyi dairesel biçimde saran fotovoltaik paneller bina çevresinde güneşin konumuna göre dönerek, enerji üretmektedir. Bu panellerden oluşan düşey kabuk, aynı zamanda iç mekânda daha iyi bir günışığı performansı ve gölgeleme sağlamaktadır. Güneş enerjisinden direkt olarak elektrik üreten fotovoltaik hücreler, fotovoltaik modüller ve fotovoltaik paneller şeklinde yapıda cephe ve/veya çatı kaplaması olarak çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Fotovoltaik modül düzeyinde, fotovoltaik yapraklar dikkati çekmektedir. SMIT tarafından geliştirilen fotovoltaik yapraklar, polietilen ile kaplı ince film malzemeden oluşmakta olup yapraklar birbirine piezoelectric ile bağlanmaktadır. Güneş ışığına

duyarlı yapraklar (Şekil 10c), güneş ve rüzgârın etkisiyle hareket ederek güneşi izlemekte ve elektrik üretmektedir [42].

(a) **(b)** **(c)**

Şekil 10. Kinetik Solar Elektrik tasarım örnekleri

Avusturya'da inşası 2003'te tamamlanan Hermaan Kaufmann tarafından tasarlanan konutun güney cephesine (Şekil 11) güneş gölgeleme işlevi de üstlenen hareketli PV modüller entegre edilmiştir. Yapının ahşap dış cephe kaplaması ile yapı yüksekliği ve pencere boyutlarına göre biçimlendirilen kayar PV modül panjurlar cephede bütünsellik oluşturmaktadır [43].

Şekil 11. Dwelling evi [43-44]

3. SONUÇ

Son yıllarda yaşanan enerji sorununa karşı en yaygın enerji etkin tasarım yaklaşımları ve yapı kabuğu teknolojileri, binalarda enerji tasarrufu ile tükenmeyen doğal kaynaklardan biri olan güneşten optimum düzeyde yararlanmaya yöneliktir. Ancak devingen güneş durumuna karşı statik özelliklere sahip geleneksel yapı kabuğu optimum çözüm olmayabilir. Bu nedenle değişen güneş durumuna hareket mekanizmalarıyla şekil değiştirerek uyum sağlayan yenilikçi kinetik yapı kabuğu teknolojilerine ilgi her geçen gün artmaktadır. Çalışmada sadece fonksiyonu değil, güneş şartlarına uyumu ve performansı izleyen akıllı ve dinamik sistemlerle şekillenen kinetik yapı kabuğunun, mevcut uygulamalar üzerinden, ısı kazanımı, ısı ve ışık kontrolü ve elektrik üretimi bağlamında incelenmesi amaçlanmıştır.

İncelenen örnekler üzerinden otomasyona bağlı ya da kullanıcı müdahalesi ile form değiştiren bu kabuk sistemlerin yapıda güneş kontrolü, enerji tasarrufu, alternatif enerji üretimi ile bina iç konforuna organik bir süreç içinde katkıda bulunduğu görülmüş, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1- Binada gün ışığı kontrolünü amaçlayan, düşey yapı kabuğuna entegre edilmiş gölgeleme elemanlarının dönme, katlanma vb. hareket mekanizmalarına dayanan kinetik yapı kabuğu uygulamalarının, duvar yada çatı elemanının açılma/kapanma hareketi ile güneşten ısı kazanımı amaçlayan sistemlerden daha yaygın olduğu,

2- Güneş kontrol elemanları devingen güneş durumlarına dönerek, katlanarak, sürgülü (kayar) ya da şişme-sönme hareketleriyle uyum sağlarken, mimari ifadenin önemli bir öğesi durumuna geldiği,
3- Elektrik üretme amaçlı özellikle düşey kabuğa entegre edilen dönme ve katlanma hareketi ile güneşi izleyen fotovoltaik panellerin güneş kontrolünü de sağlayarak hibrid bir elemana dönüştüğü görülmüştür.

Güneş durumunu izleyen ve hareket ederek uyum sağlayan kinetik sistemlerin yapı kabuğuna entegrasyonu mimaride yenilikçi yaklaşımları beslemekte, şekil değiştiren kabuk formu ile yapı dinamik bir heykele dönüşmektedir. Ancak çoğunlukla mekanik kontrol sistemlerine dayanan kabuğun ayrıca enerji kullanması, ilk yatırım maliyetleri ve bakım giderlerinin yüksek olmasından dolayı, sistem seçiminde maliyet analizlerinin gerekliliğini kaçınılmaz kılmaktadır. Güneşten optimum düzeyde yararlanma konusunda deneysel çalışmalar ve değişik ölçeklerdeki uygulamaları da ayrıca önem taşımakta, kabuğu biçimlendirecek malzeme/eleman seçimi, hareket şekli ve hareketi gerçekleştirecek mekanik sistemin tasarım ve uygulaması disiplinler arası çalışmayı gerektirmektedir.

4. KAYNAKLAR

[1] Hui HF, Fong T, Lai KW. Passive Solar Design in Architecture, Hongkong University, www.hku.hk/bse/e-conf/k/solar_k.htm
[2] Passive Solar Guidelines, www.greenbuilder.com/sourcebook/PassSolGuide12.html
[3] Goulding JR., Lewis JO.,and Steemers TC. Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook, Ed: Batsford for the Commission of the European Communities, London, 1992.
[4] Crosbie MJ. Steven Winter Associates, Inc., The Passive Solar Design and Construction Handbook, John Wiley &Sons, New York, 1997.
[5] Herzog T. Solar energy in Architecture and Urban Planning, Ed: Prestel, Munich, 1996.
[6]Şen Z, Karaosmanoğlu F, Şahin A, Tan E. "Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli", III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul,2000.
[7] Anderson, B, Michal, C. Passive solar design. Annual Review of Energy. 1978;3(1), 57-100.
[8] Zhai XQ, Wang RZ, Dai YJ, Wu JY, XuYX, Ma Q; "Solar integrated energy system for a green building", Energy and Buildings, Volume 39, Issue 8, August 2007, Pages 985–993.
[9] Zhiyang Shi, , Xiong Zhang , "Analyzing the effect of the longwave emissivity and solar reflectance of building envelopes on energy-saving in buildings in various climates", Solar Energy Volume 85, Issue 1, January 2011, Pages 28–37
[10] Martin Vraa Nielsen, , Svend Svendsen, Lotte Bjerregaard Jensen, "Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight" Solar Energy, Volume 85, Issue 5, May 2011, Pages 757–768
[11] Dorota A. Chwieduk , "Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope", Renewable Energy, Volume 34, Issue 3, March 2009, Pages 736–741
[12] Beta Paramitaa, , M. Donny Koerniawanb , "Solar Envelope Assessment in Tropical Region Building Case Study: Vertical Settlement in Bandung, Indonesia" , Procedia Environmental SciencesVolume 17, 2013, Pages 757–766
[13] Çelebi G., Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2002, Vol 17, No 3, 17-33,

[14] Ramzy N., Fayed H., Kinetic Systems in Architecture: New Approach for environmental control systems and context-sensitive buildings, Sustainable Cities and Society 1(2011) 170-177
[15] http://encyclopedia.farlex.com/acclimatization
[16] Zuk W., Clark R., H., Kinetic Architecture, New York: Van Nostrand Reinhold, 1970
[17] Fox, M. A., & Yeh, B. P. Intelligent Kinetic Systems, 2000
[18] Oosterhuis, K., Hyperbodies: Towards an e-motive architecture, 2003,
[19] Bostancı C., S.,Akıllı kinetic güneş control sistemi önerisi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006, İstanbul
[20] Baer, S. (2009). Some passive solar buildings with a focus on projects in New Mexico. Paper presented at the Albuquerque chapter of AIA.
[21] Anderson B, Michal C. Passive solar design. Annual Review of Energy. 1978; 3(1), 57-100.
[22] Lee ES, Selkowitz,SE. Design and performance of an integrated envelope / lighting system, Paper presented at the Fifth ICBEST conference, Bath, UK;1997.
[23] Lee ES, Selkowitz SE. Integrated envelope and lighting systems for commercial buildings: A retrospective. Paper presented at the ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
[24] Miao Z, Li J, Wang J. Kinetic building envelopes for energy efficiency: modeling and products, Applied Mechanics and Materials; 2011, 71-78, 621-625.
[25] Compagno A. Intelligente Glasfassaden: Material, Anwendung, Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Basel, 2002.
[26] http://blog.kineticarchitecture.net/2011/01/arab-world-institute/
[27] Razaz ZE. Sustainable vision of kinetic architecture. Journal of Building Appraisal, 2010, 5(4),341-356.
[28]http://www.battlemccarthy.com/datasheets/Education/2255%20Uni%20of%20Newcastle,%20Devonshire%20Building-PC-gen-220205.pdf
[29] http://www.constructionphotography.com/Details.aspx?ID=11424&TypeID=1
[30] http://www.flare-façade.com
[31] http://kineticfacade.blogspot.com/2010/04/flare.html
[32]http://christianguder.com/index.php5?content=content/1.portfolio/12.flare_fassade/1.product/
[33] http://www.aedas.com/Al%20Bahar%20Towers
[34] http://www.archiscene.net/firms/aedas/al-bahar-towers/
[35] http://www.greenbuildconsult.com/pdfs/case-study_thyssen.pdf
[36] http://facadesconfidential.blogspot.com/2010/12/thyssenkrupp-quarter-facades-giants.html
[37] http://www.drmm.co.uk/projects/sliding-house/
[38]http://www.architonic.com/aisht/dynamic-facade-kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner/5100449
[39] Suner A. "Adaptive Architecture: Çevresel etkenlere göre değişebilen mimari, Ekoyapı Dergisi (5), Mayıs-haziran, 2011.
[40] Müller H. Building integrated photovoltaics. Paper presented at the PREA Workshops, Stellenbosch, Dares Salaam, Kampala,2007.
[41] http://www.erwin-kaltenegger.at/projekte/wb_ef.php?was=0909151547
[42] http://www.s-m-i-t.com/
[43] http://www.hermann-kaufmann.at/v2-1.php?kid=3&lg=en&oid=00_99&dsc=Spinnereistra%DFe
[44] http://csc.esbensen.dk/