



## Çift cidarlı cephelerdeki etkin mimari tasarım kararları

Tuğba İnan<sup>1\*</sup>, Tahsin Başaran<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir

*02.07.2013 Geliş/Received, 21.08.2013 Kabul/Accepted*

### ÖZET

Enerji kayıplarını minimuma indirmeyi ve kullanılan enerjiden maksimum düzeyde faydalanmayı hedefleyen yapı kabuğu sistem arayışı üzerine yapılan araştırmalar mimari söylemde gittikçe önemli bir yer kazanırken, yapı sektöründe çift cidarlı cıdarlı cephe sistemlerinin kullanımı küresel ölçekte yaygınlaşmıştır. Çift cidarlı cephe (ÇCC) sistemleri, dünya üzerinde yaygın bir uygulama alanına sahiptir. Ülkemizde ise bu sistemler henüz yeni ve üzerinde çok fazla uygulama ve araştırma bulunmayan bir konudur. Bu nedenle mimarlar ve mühendisler tarafından bu sistemlerden enerji kazanımları sağlayan tasarım çözümleri araştırılmalıdır. Çift cidarlı cephe sistemlerinin tasarımı birçok mimari tasarım kararına dayanmaktadır. Bu çalışmada, çift cidarlı cephe sistemlerinin enerji performansı üzerinde etkili olan tasarım kararları belirlenerek, kapsamlı bir biçimde irdelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** çift cidarlı cepheler, enerji performansı, mimari tasarım kararları

## Effective architectural design decisions in double skin facades

### ABSTRACT

In architectural discourse, it is possible to notice a rising interest in building skin configurations which promise to help minimizing the loss of energy while maximizing its gain. In parallel, it is possible to see that the use of double-skin glass facades globally pervades. All over the world double-skin facade applications multiply day by day. This technology is still quite new in Turkey and it is not possible to find many applications or researches done on this subject. For this reason, architects and engineers should be focused on the designs solutions providing energy savings. The design of DSF depends on various architectural decisions. In this study, effective design decision parameters on energy performance of DSF systems will be discussed in a comprehensive way in architectural perspective by reviewing previous studies.

**Keywords:** double skin façades, energy performance, architectural design decisions

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1970 enerji krizinden bu yana dünya çapında sürdürülebilirlik, enerji etkinlik gibi kavramlara eğilim bulunmaktadır. Bu da dünya üzerinde hızla artmakta olan enerji gereksinimlerine rağmen tüketilebilir enerji kaynaklarının hızla azalmasının sonucunda ortaya çıkan bir durumdur. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerjinin büyük bir kısmı ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Türkiyede yaklaşık olarak toplam enerjinin % 20'si ulaşım, %43'ü endüstri ve %37'si binalarda kullanılmaktadır [1]. Bu da binaları yaşam evreleri boyunca daha az enerji tüketen binalar olarak tasarlamayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir, enerji etkin bina arayışı, mimaride gün geçtikçe önemli bir rol kazanmaktadır. Bu yaklaşım mimari tasarım kararlarının gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Tipik bir binada enerji kayıplarının %40'ı dış duvarlardan, %30'u pencerelerden %17'si kapılardan, %7'si çatıdan ve %6'sı döşemelerden olmaktadır. Bu bağlamda enerji kayıplarını minimuma indirmeyi ve kullanılan enerjiden maksimum düzeyde faydalanmayı hedefleyen yapı kabuğu sistem arayışı üzerine yapılan araştırmalar mimari söylemde gittikçe önemli bir yer kazanırken, yapı sektöründe çift cidarlı cam cephe sistemlerinin kullanımı küresel ölçekte yaygınlaşmıştır.

Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygın kullanım alanına sahip olan çift kabuk cephelelerin ülkemizde uygulama alanı yok denecek kadar az sayıdadır. Soğuk iklim bölgelerinde uygulandığında binanın enerji performansını arttırmada etkili rol oynayan çift cidarlı cephe sistemleri ülkemizdeki bazı bölgelerde olduğu gibi sıcak ve ılıman iklim bölgelerinde fazla uygulama alanına sahip değildir.

Bir yapının enerji performansını arttırmak sonradan entegre edilen iyileştirmelerden ziyade, tasarım evresinin başlangıcında verilmiş olan etkili mimari tasarım kararlarına bağlıdır. Çift cidarlı cephe sistemlerde de tasarım aşamasında karar verilmesi gereken birçok parametre vardır. Bunlardan en etkili olanları; çift cam cephenin geometrik konfigürasyonu ve binadaki oryantasyonu, çift cidarlı cephenin yüzeylerinde kullanılan cam tipleri, iki cam cephe arasında kalan hava kanalının boyutları, menfezlerin cephedeki konumları, havalandırma modları ve güneş kırıcıların hava kanalındaki konumlarıdır.

Bu çalışmada sürdürülebilir, enerji etkin bir yapı kabuğu olarak dünyada kendine geniş bir uygulama alanı bulmuş çift cidarlı cephe sistemleri üzerinde etkili olan tasarım kararlarının üzerine odaklanılacaktır. Çift cidarlı

cephe sistemleri üzerinde etkili olan tasarım kararları irdelenerek bu sistemlerin kullanılabilirliğini arttırmak adına problem odaklı çözümler üzerinde durulacaktır.

## 2. ÇİFT CİDARLI CEPHELER (DOUBLE SKIN FACADES)

Çift cidarlı cephe sistemleri literatürde çeşitli adlarla anılmaktadır. Bunlardan en sık rastlanan ifadeler “çift cidarlı cephele”, “çift cam cephele”, “aktif cephele”, “enerji etkin cephele”, “havalandırılmış çift cidarlı cephele” ve “havalandırılmalı cephele” dir. Literatürde farklı adlarla nitelendirilen bu cephe sistemleri çeşitli kaynaklarda farklı şekillerde tanımlanmıştır.

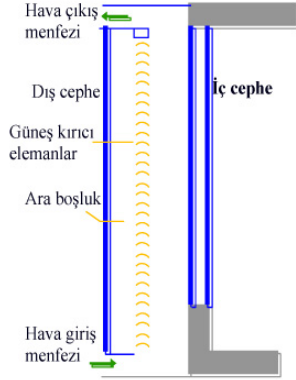
Saelens vd. [2], Çift cidarlı cephe sistemini hava kanalı gibi davranan bir boşluk ile birbirinden ayrılmış, şeffaf iki yüzeyden oluşan bir kabuk olarak ifade etmiştir. Bu hava kanalı içinde güneş kırıcı elemanlarının konumlanabilmesi ile kötü hava koşullarına karşı bu elemanların korunumu sağlanabilmektedir. Bu tanımlamada bina kabuklarının yapımı, yüzeylerdeki şeffaflık ve boşluğun hava akışındaki rolü vurgulanmıştır.

Loncour vd. [3] havalandırılmış çift cidarlı cephe sistemini, klasik tek cephenin ikinci bir cam cephe yüzeyi ile çift cephe haline gelmesi olarak ifade etmektedir. Bu yüzeyler cidar olarak adlandırılmış ve havalandırılmış boşluk bu iki cidar arasında konumlanmaktadır.

Jiru vd. [4], çift cidarlı cepheleleri iki camdan oluşan ve bu camlar arasında bir hava kanalı olan yapı kabuğu olarak tanımlamıştır. Güneş kırıcı elemanlar bu hava boşluğuna yerleştirilmiştir. Havalandırılmış boşluk bir termal tampon bölge gibi çalışmaktadır. Bu boşluk soğutma döneminde istenmeyen ısı kazançlarını, ısıtma döneminde ise istenmeyen ısı kayıplarını azaltmaktadır. Bu sistemler güneşin neden olduğu kamaşma sorununu kontrol edilebilir hale getirmekte ve gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmayı sağlamaktadır.

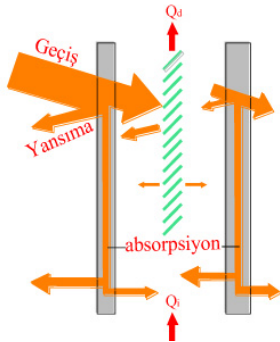
Çift cidarlı cepheleler ikinci bir yapı kabuğuna sahiptir ve genellikle bir dış cam cephe ve cam veya kısmen cam malzemenin oluşan bir iç cam cepheden oluşur. Dış cam genellikle tek saydam bir camdan oluşur. İç cam ise genellikle çift camdır ve low-e veya güneş kontrollü camlardan oluşur (Şekil 1). Bu yapı kabukları birbirinden boyutları 20cm ile 2 m arasında değişebilen, hava kanalı olarak adlandırabileceğimiz bir boşluk ile ayrılır. Bir termal tampon bölge gibi davranan bu boşluk doğal ve/veya mekanik olarak havalandırılabilir. Tampon bölge oluşturan bu hava kanalı binayı yüksek hızdaki rüzgarlardan ve rahatsız edici gürültüden binayı

korur. Güneş kırıcı elemanlar da bu hava boşluğuna yerleştirilerek olumsuz hava koşullarından etkilenmez.



Şekil 1. Çift cidarlı cephe sistemi (Double skin facade system)

Çift cidarlı cephelelerde ısı geçişleri; iletim, taşınım ve ışınım yoluyla olmaktadır. Güneş ışınlarının absorbe edilmesi ile boşğa alınan havadaki sıcaklık yükselir (Şekil 2). Bu hava kanalı olarak da adlandırılan boşlukta hava akımı olduğu sürece ısı hava akışıyla uzaklaştırılır ve aşırı ısınma problemi önlenir [5]. Aksi durumda ise boşluk içindeki sıcaklık artar; binanın termal konforu olumsuz etkilenir ve ilave soğutma yükü oluşur. Isı geçişlerinin kontrolü ile her iki cephenin yüzey sıcaklıkları arasındaki fark azaltılarak bu yapı kabukları ile enerji etkinliğine katkı sağlanabilir.

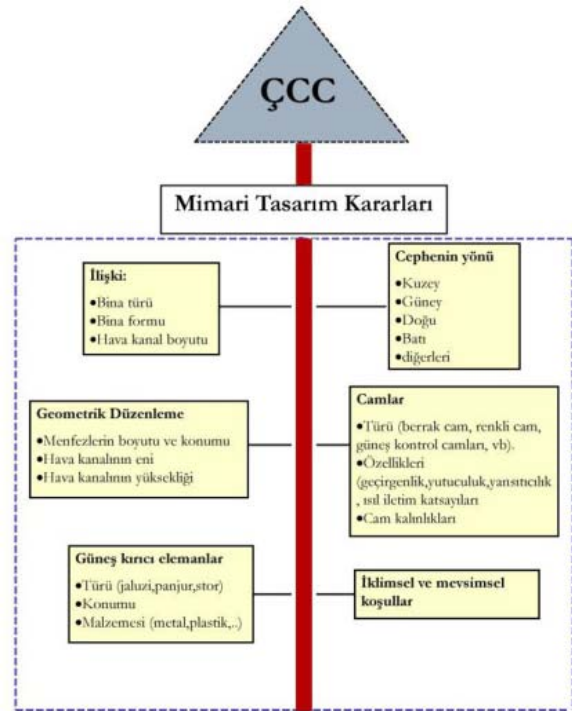


Şekil 2. Çift cam cephedeki ısı transfer mekanizması (Heat transfer mechanism at double skin facade)

Çift cidarlı cephe sistemleri kışın iç ortamın ısıtma ihtiyacını, iç cam cephenin dış sıcaklığını güneş ışığı ile arttırarak azaltır. Yazın ise hava boşluğundaki havalandırma ile iç ortamdaki soğutma gereksinimleri azaltılır. Hava giriş ve çıkış menfezleri hava boşluğunda aşırı ısınma problemlerinin artmasını önlemek amacı ile yazın açılır. Yaz gecelerinde bu hava kanalında depolanan soğuk hava gün içerisinde binanın soğutma enerjisine katkı sağlar [6]. Kışın ise hava boşluğunda güneş ışığından gelen ısıyı depolamak için hava giriş çıkış menfezleri kapatılır. Bu ısı, iç cam cephe ile iç ortama aktarılır.

### 3. ÇİFT CİDARLI CEPHELERDE ETKİLİ TASARIM KARARLARI (EFFECTIVE DECISIONS ON DOUBLE SKIN FACADES)

Çift cidarlı cephelelerin enerji performansı üzerinde aktif rol oynayan belirli parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelerin problem odaklı çözümler üretebilmek için bilinmesi önemlidir. Mimari tasarımın ilk evrelerinden itibaren bu etkili tasarım kararlarının seçiminde dikkatli olunmalıdır. Bu tasarım kararları da ısı, güneş ışığı, ses, rüzgar, yangın, estetik vb. gibi birçok tasarım etmenine bağlıdır. Bu etmenlere bağlı olarak çift cidarlı cephelelerin enerji performansını desteklemek için mimari tasarımın ilk evrelerinde verilmesi gereken bazı tasarım kararları bulunmaktadır. Bu çalışmada bu etmenlere bağlı olan kararları mimari bağlamda irdelenecektir.



Şekil 3. Çift cidarlı cephelelerde etkin tasarım kararları ( Effective design factors on double skin facades)

#### 3.1. Çift cidarlı cephede bina geometrisi ve yönlenme (building geometry and orientation on double skin facades)

Çift cidarlı cephe sistemleri komplike bir yapıya sahiptir. Çünkü tasarım sürecini, çift cidarlı cephe sistemlerinin geometrik, termofiziksel, ışıksal ve aerodinamik özellikler gibi çeşitli bileşenlerinin özellikleri belirler. Binanın geometrisi başlı başına önemli bir etkidir [7]. Mimari tasarım kararları binaların performansında belirleyici bir role sahiptir.

Çift cidarlı cephenin yönlenmesinin yıllık soğutma yükleri üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinin en etkili yönler olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır [8-9]. Öte yandan doğu yönüne uygulanan çift cidarlı cephe sistemlerinin klasik tek cam cepheli sistemlere göre ısıtma enerjisi gereksinimlerini yaklaşık %16 oranında düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca soğutma enerjisi gereksinimlerinin de artmadığı bulunmuştur [10]. Wong vd. [11], binanın doğu ve batı yönlerine yerleştirilen çift cidarlı cephe sistemlerinin, binayı güneş ışınlarından koruyarak ve doğal havalandırma ile ısıyı hava kanalından uzaklaştırarak soğutma enerjisi gereksinimlerini artırmadığını belirtmiştir. Gratia ve Herde [12] yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephede, iki cephe arasında kalan boşlukta oluşan hava sıcaklıklarını incelemiş ve çift cidarlı cephenin güneye yönlendirildiğinde sera etkisinin oluştuğunu ve diğer yönlerde ise bu etkinin görülmediğini belirtmiştir. Bu durum tüm dünyada olduğu gibi özellikle kuzey yarım kürede de geçerli bir durumdur. Bu iki cephe arasındaki boşlukta oluşabilecek aşırı ısınma problemleri çift enerji performansını kötü yönde etkileyebileceği için özellikle kuzey yarım kürede bu cephe sistemlerinin dikkatli tasarımı büyük önem teşkil etmektedir.

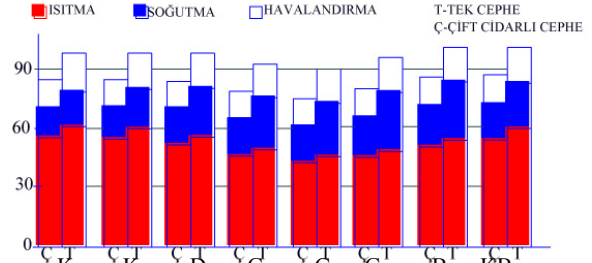
Bina yüksekliğinin havalandırma stratejilerinde ve hava kanalı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır [3]. Binanın bulunduğu dış ortam koşulları da tasarımı etkiler. Örneğin bir bina trafik yoğunluğuna sahip bir yerde olsa akustik önlemler göz önüne tasarım evresinde mutlaka alınmalıdır. Diğer yandan kırsal alanda bu önemli bir sorun teşkil etmez.

Uygun bir cephe tasarımı ile yazın ısı kazançlarında maksimum %40 gibi bir indirgeme görülürken, kışın ise %80 ısı kazanımı sağlarlar. Bu da çift cidarlı cephelerin enerji performansının, kış döneminde yaz dönemine göre iki kat daha iyi olduğunu gösterir [13].

Kim ve Song [14] çift cidarlı cephelerin ısıtma enerjisi kazanımında, cephenin yön faktörünün ve doğal havalandırmanın bu kazanıma olan etkilerini araştırmışlardır. 3 katlı bir binanın doğu ve batı cephelerine çift cidarlı cepheler uygulanmış ve kış mevsimi için ölçümler ve simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda batı cephesinde doğal havalandırma ile boşluktan binanın içine hava beslemesi yapıldığında enerji kazanımı sağlandığı görülmüştür. Doğru cephesinin ise düşük güneş ışınımına maruz kalmasından dolayı doğal havalandırma yoluyla enerji kazanımına katkı sağlanmadığı görülmüştür.

David Stribling ile Byron Stigge [15] Londra'daki bazı çift cidarlı cephe binalarda cephenin 8 farklı yöne göre ısıtma, soğutma ve havalandırma (işletim giderleri) için olan enerji tüketimlerini karşılaştırdığında çift cidarlı

cepheli sistemlerinin enerji tüketimlerinin klasik tek cepheli sistemlerden daha az olduğu görülmüştür (Şekil 3). Ayrıca yönlere bakıldığında güney, güneydoğu ve güneybatı yönlerinin daha avantajlı yönler olduğu görülür.



Şekil 4. Çift ve tek cidarlı cephenin yönlere göre enerji tüketimleri (Energy consumption of double and one facades based on orientation)

Bu cephe sistemleri enerji etkinliği ve termal konfor bakımında diğer cephelere nazaran daha iyi performans göstermektedirler. Fakat yine de opak cephelerle yarışamazlar. Çift cidarlı cephe sistemlerinde soğutma döneminde gözlenen aşırı ısınma problemleri ile ilgili olarak önlemler alınması gerekmektedir [16].

### 3.2. Gün ışığı ve cam (Daylight and glass)

Çift cidarlı cephelerin enerji kazanımı ile ilgili yararları dışında önemli özelliklerinden biri de doğal ışıktan yararlanabilme olanağıdır. Aydınlatma için gerekli olan enerji miktarlarından kazanç sağlarlar [17]. Öte yandan Hoseggen vd. [10] ise çift cidarlı cephe sistemlerinin, ilave cepheden dolayı mekan içinde günışığı aydınlık düzeylerini düşürdüğünü belirtmiştir.

Çift cephe sistemleri iç mekanın görsel konforuna katkı sağlar. Fakat, gün ışığının temel gereksinimi sadece doğal ışığın miktarını maksimum düzeye getirmek değil, aynı zamanda mekana alınan ışığın kalitesini arttırmaktır [18]. Bu durum göz önüne alındığında, iç mekana alınan ışığın parlaklık düzeyinin konfor koşullarını bozmaması gerekir [19]. Tasarımcılar cam seçerken camın sadece güneş ışığına ilişkin, fiziksel ve termofiziksel özelliklerini düşünerek değil, aynı zamanda güneş ışığının etkisi altındaki malzemenin iç mekana verdiği ısı miktarını göz önünde bulundurması gerekmektedir [20].

Tek klasik cephelerle çift cidarlı cephe sistemleri karşılaştırıldığında; gün ışığının bina içine alınması ek cam cepheden dolayı çift cidarlı cephelerde daha az orandadır. Eğer eklenen dış cam cephe tek camdan oluşuyorsa azalma en az %10 oranındadır. Saydamlığı yüksek bir camsa azalma yaklaşık %7-8 oranındadır [6]. Ayrıca iki cephe arasındaki boşluğa yerleştirilen

güneş kırıcı elemanlar oda içindeki ışık düzeyini azaltabilir [8].

Çift cidarlı cephe sistemleri güneş ışığından ısı kazanımını düşürmeye olanak sağlayabilir. Bina kabuğundaki ısı kazanımı binanın saydam bileşenleri olan cam yüzeylerinden ısının geçişi ile olur [9]. Çift cidarlı cephelelerdeki uygun cam seçimleri ile soğutma yükleri önemli derecede düşürülebilir [21]. Türkiye’de üretilen ve kullanılan camların başlıcaları; berrak camlar, renklendirilmiş camlar, yansıtıcı camlar, güneş kontrol camları, low-E camlar, temperlenmiş camlar ve enerji üreten fotovoltaik camlardır.



Şekil 5. İç ve dış cidarda güneş kontrol camları (solar control glasses indoor and outdoor skin)

Çift cidarlı cephelelerde dış cephe genelde tek camdan oluşurken iç cephe çift camlıdır. Camdaki yansımalarından dolayı oluşabilecek ışığın istenmeyen etkilerini azaltmak için dış cephe genelde renksiz şeffaf tek camdan oluşur [23]. İçteki cephede ise genellikle low-E cam türleri kullanılır. Bu cam düzenlemelerinin aksine bazı çalışmalarda içteki cephede tek cam kullanılırken dıştaki cephede çift cam kullanılmıştır [4,9,24]. Hatta bu düzenlemenin binanın soğutma enerji yüklerini düşürdüğü de görülmüştür. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada iç cepheye tek berrak cam, dışarıdaki cepheye ise çift yansıtıcı cam yerleştirmişlerdir. Bunu klasik tek emici camlı cephe ile karşılaştırdıklarında çift cidarlı cephenin binanın soğutma enerji gereksinimlerini %26 azalttığını bulmuşlardır [9]. Haase vd. [8] güney cephesine yerleştirilmiş bir çift cidarlı içinyaptıkları çalışmada pencere-duvar oranının da soğutma yüküne olan önemli katkısına değinmişler ve iç cepheye yerleştirdikleri berrak camlar soğutma yükü bakımından en yüksek değerleri aldığını göstermişlerdir. Yansıtıcı camlarla güneş camları arasında benzer özellikler görülmüştür.

### 3.3. Güneş kırıcı elemanlar (Solar shading devices)

Güneş kırıcı elemanlar, güneşten gelen ışınlar karşı binayı aşırı ısınmadan koruyan, özellikle yaz döneminde yapının dış kabuğundan bina içine geçmesi istenmeyen güneş ışınlarını yansıtarak veya bir kısmını absorbe ederek binadan uzaklaştıran elemanlardır. Binanın soğutma yüküne olumlu yönde etki etmektedirler. Genel olarak panjur, jaluzi ve stor olarak üç çeşit güneş kırıcı eleman kullanılmaktadır. Bunlar boşluğun iç yüzeyinde, dış yüzeyinde veya ortasında kullanılabilir. Jaluziler genellikle içteki cephenin dış veya iç yüzeyine konumlandırılır. Binanın kullanım ömrü boyunca bakım ve onarımının daha rahat olabilmesi için genellikle bu elemanlar iç ya da dış cepheye daha yakın konumlandırılırlar [25].

Bazı tasarımcılara göre güneş kırıcı elemanların cephenin dışına konumlandırılması bakım ve estetik kaygılar yönünden olumsuzdur. Güneş kırıcı elemanların iç cepheye yerleştirilmesi, güneş enerjisi kazanımlarının kontrolü bakımından etkili bir çözüm olarak görülmemektedir [3]. Bu elemanların iki cephe arasındaki boşluğa yerleştirilmesi durumunda absorbe edilmiş güneş enerjisi ısı kazanımlarının uzaklaştırılmasında zorluklar oluşabilmektedir [26]. Bu görüşün aksine Haase [27] güneş kırıcı elemanların dış cepheye veya boşluğun ortasına yerleştirilmesinin güneş enerjisinden olan ısı kazanımlarını azalttığını belirtmiştir.

Güneş kırıcı elemanlar ile dış cephe arasındaki mesafe, çift cidarlı cephe arasındaki boşluk içindeki hava hız profilleri bakımından önemli bir etkiye sahiptir [28]. Güneş kırıcı elemanların konumu çift cidarlı cephenin ısı performansını üzerinde belirleyici role sahiptir. Eğer güneş kırıcı elemanlar dış cepheye daha yakın konumda yerleştirilirse, bu durum doğal havalandırmaya katkıda bulunur ve iki cephe arasındaki boşlukta oluşabilecek aşırı ısınma problemlerini azaltır. Güneş kırıcı elemanlar en az dış cepheden 150 mm mesafe bulunacak şekilde boşluğun dış cephe yönünde ilk 1/3’lük kısmına yerleştirilmelidir [6].

Güneş kırıcı elemanların rengi ve açısı çift cidarlı cephelelerin performansını belirleyen diğer önemli parametrelerdir. Siyah renkli güneş kırıcı elemanlar boşlukta aşırı ısınmaya neden olur. Beyaz renkli olanlar boşlukta sıcaklığı düşürür ve aşırı ısınma sorununu azaltmaya katkı sağlar [27]. Gavan vd. [29] yılında yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephe içerisindeki sıcaklık profillerini bir deney düzeneği aracılığıyla incelemişlerdir. Çalışmaların sonucunda hava boşluğu içerisindeki sıcaklığın ve cephelelerdeki yüzey sıcaklığının güneş kırıcı elemanların açısına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Güneş kırıcı elemanlar

tamamen kapalı olduğu durumda, elemanların açık olduğu duruma göre güneş kırıcı elemanın dış cepheye bakan hava boşluğunda ve güneş kırıcı elemanlarda aşırı yüksek sıcaklıklar görülmüştür. Bir başka çalışmada ise hava boşluğunda iç cam cepheye daha yakın yerleştirilen güneş kırıcı elemanların yazın olan ısı kazanımını % 40 oranında azalttığı görülmüştür [30]. Bu da çift cam cephe arasındaki hava boşluğunda gözlenebilecek aşırı ısınma problemlerine doğal havalandırmanın olumlu etkileri olduğunu göstermektedir.

Güneş kırıcı elemanlarla ilgili bir diğer önemli konuda malzeme seçimidir. Güneş kırıcı elemanların yüzeyleri güneş ışınımından dolayı yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Güneş kırıcı elemanların yüzey sıcaklıklarını azaltmak için alüminyum profiller yerine fotovoltaik paneller kullanılabilir. Bu çift cidarlı cephenin enerji performansına katkı sağlar [31]. Stec vd. [32] yaptıkları çalışmada bitkileri güneş kırıcı olarak kullanmışlar ve iki cephe arasında kalan boşluk sıcaklığında ve binanın soğutma enerji gereksinimlerinde azalma sağlamışlardır.

#### 3.4. İklimsel ve mevsimsel durumlar (Climatical and seasonal conditions)

Çift cidarlı cephelelerin her iklim koşulundaki bölgelerde inşa edilebilmesi için tasarımının dikkatli yapılması gereklidir. Fakat bu cephe sistemlerinin her binada ve her konumda en iyi seçim olmadığını belirten çalışmalar da bulunmaktadır [33]. Her binanın birbirinden bağımsız düşünülmesi gerektiği durumu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde ise çift cidarlı cephe sistemleri ile ilgili yapılan araştırmalar sadece soğuk iklim bölgeleri için değil; sıcak-nemli, sıcak-kuru, ılıman-nemli gibi diğer iklim bölgeleri içinde yapılmaktadır.

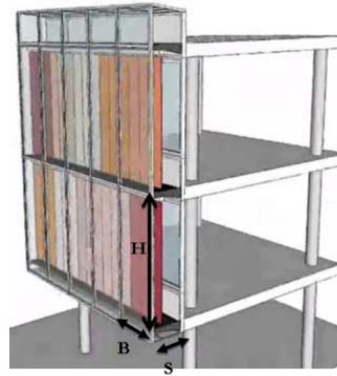
Mimari tasarım kararları çift cidarlı cephenin enerji performansını belirlemede büyük önem arz etmektedir. Özellikle yaz mevsiminde sıcak nemli iklimlerde soğutma yüklerini azaltmak çok önemlidir. Bu da ancak çift cidarlı cephenin enerji etkinliğini sağlayacak tasarımlarla olmaktadır [8]. Çift cidarlı cephe sistemleri sert kış mevsim koşullarının olduğu soğuk iklim bölgelerinde binayı dış ortam koşullarından yalıtarak ısıtma için olan enerji tüketimlerini azaltırlar [24]. Yılmaz ve Çetintaş [34] yaptıkları çalışmada tek klasik cephele ile çift cidarlı cepheleleri karşılaştırmış ve çift cidarlı cephenin kış mevsiminde binanın ısıtma enerji gereksinimini azalttığını belirtmiştir. Saelens vd. [26] yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephe sistemlerinin İstanbul için kış mevsiminde binanın enerji performansını olumlu yönde etkilediğini, yaz mevsiminde ise kullanışlı olmadığını vurgulamıştır. Bu çalışmanın aksine, Asdrubalı and Baldinelli [18] çift

cidarlı cephe sistemleri ile hem kış hem de yaz mevsiminde enerji kazanımı sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Kış mevsiminde % 28'lere kadar bir ısıtma enerjisinden kazanç söz konusu olabilirken; yaz mevsiminde ise soğutma yüklerinde % 14 civarında bir indirgenimin olabildiğini yaptıkları çalışmalar sonucunda gözlemişlerdir. Çift cidarlı bir cephenin enerji performansı ısıtma kazanç ve kayıplarına bağlı olmakla birlikte bunların haricinde de önemli faktörler bulunmaktadır. Cephe yüzeyleri arasında kalan havadaki entalpi değişimi ve tüm binanın enerji analizi çift cidarlı cephenin enerji performansını belirleme bakımından önemlidir [2].

#### 3.5. Hava kanalının boyutu (Dimension of air channel)

Çift cidarlı cephede, iki cephe arasında kalan boşluğun boyutu birçok parametreye bağlı olarak genelde 20 cm ile 200 cm arasında değişebilmektedir. Bunlardan bazıları, estetik faktörler, güneş kırıcı eleman türleri, temizlik/bakım gibi ihtiyaçlar ve havalandırma stratejileridir.

Havalandırma ve çift cidarlı cephe içindeki sıcaklık üzerinde iki cephe arasında kalan boşluğun boyutunun önemli etkileri bulunmaktadır [35]. Boşluğun eni daraldıkça boşlukta önemli basınç kayıpları oluşmaktadır. Bu durum boşluktaki hava akışının cephenin boyutu ve formu ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Zöllner vd. [36] yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephedeki kanal boyutunun eninin 0.3-1.5 m arasında değişebileceğini belirtmiştir. Ayrıca tipik kat yüksekliği 4 m olarak kabul ederek boyutsuz oranlar belirlemiştir. Kat yüksekliği (H) ile iki cephe arasında kalan boşluğun eni (S) arasında ilişki kurularak  $3 < H/S < 15$  aralığında olan bir boyutsuz aralık belirlenmiştir. Boşluğun bölümlere ayrımı ile bu bölüm boyutları (B) ile boşluğun eni arasında  $0.5 < B/S < 500$  aralığında olan boyutsuz bir oran belirlenmiştir.



Şekil 6. Hava kanal boyut örneği (An example of air channel) [37]

Yuan vd. [30], çift cidarlı cephenin enerji performansına katkısını arttırmak için eğer boşluğun eni 1 m'den küçükse bunun arttırılması gerektiğini ya da havalandırılan yüksekliğin azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan yangın faktörü göz önüne alındığında bazı deneysel incelemeler sonucunda boşluğun eninin önemli bir faktör olduğu gözlenmiştir [38]. Boşluğun yatayda bölümlere ayrılması kadar boşluğun eni de binanın yangın güvenliği bakımından önem teşkil etmektedir.

### 3.6. Çift cidarlı cephe ve menfez boyutları (Double skin facades and vent sizes)

Binanın dışında bulunan ikincil cephe, dışardan gelen gürültüye karşı sesi sönümleyici bir perde görevi görür. Dış cephede bırakılan boşluklar bu duruma önemli derecede etki eder. Dış cephede düzenlenen doğal havalandırmaya katkı sağlayan menfezler, diğer yandan binanın ses yalıtımını olumsuz etkileyebilir. Bu durumlar göz önüne alınarak, binanın bulunduğu yerin gereksinimine göre dış cephenin ses yalıtımı sağlanmalıdır. Dış cephede sağlanan bu ses yalıtımı sayesinde içteki cephede bulunan pencereler dış ortamın gürültüsüne maruz kalınmadan açılabilir [6]. Cam cephenin sağlaması gereken ses yalıtımı bölgenin gürültü durumuna ve binanın kullanımına göre değişebilmektedir. Gerekli ses yalıtımı camın kalınlığının arttırılması ya da çift camın kullanılması ile sağlanmaktadır [39].

Binanın ana cephesinin önüne yerleştirilen hava giriş çıkış açıklıkları olan cam cephe basınç dalgalanmalarını azaltır ve 10 m/s rüzgar hızlarına kadar dış cephedeki açıklıklar yoluyla doğal havalandırmaya olanak sağlar [36]. Mingotti vd. [40] cephe yüksekliği ve menfez boyutlarına ilişkin yaptıkları çalışmada çift cidarlı cephenin herbir akış moduna göre optimize edilebileceği sonucuna varmıştır. Deneysel çalışmalar ve sayısal model analizleri sonucunda; küçük menfezlerin kış mevsiminde ısı kayıplarını azaltması bakımından etkili olduğu, öte yandan geniş menfezlerin özellikle yaz döneminde oluşabilecek aşırı ısınma problemlerini gidermede etkili olacağını tespit etmişlerdir. Ayrıca çift cidarlı cephenin alt kısmına yaz mevsiminde faaliyette bulunması şartı ile hava giriş menfezleri ilave edilebilir.

Hava giriş ve çıkış menfezlerinin boyutları ve cephedeki konumları çift cidarlı cephenin enerji performansını ciddi oranda etkilemektedir [6]. Zhou ve Xue [23] yaptıkları çalışmada 2 hava giriş menfezi ve 3 hava çıkış menfezi olan cephenin 3 hava giriş menfezi ve 2 hava çıkış menfezi olan cepheye göre daha iyi enerji performansı sergilediği sonucuna varmışlardır. 2 hava giriş menfezi bulunan modelde ters akış alanı daha

fazladır. Her iki tarafta da olan ters akış bölgesi iç mekânın ısı ışınımını azaltmaya yardımcı olur. Böylece enerji kazanımına katkı sağlanmış olur. Menfez boyutları genişledikçe havalandırma hızı artmasına rağmen bu durum üst katlarda oluşan basınç farklılıkları bakımından elverişsizdir. Üst katlarda uygun bir havalandırma sağlamak için açıklıklar 2 m<sup>2</sup>'den az olmamalıdır [41]. Compagno [5] yaptığı çalışma sonucunda hava giriş-çıkış menfezlerinin cephedeki konumları, bina cephesindeki rüzgar basınç durumlarına ve açıklıkların baca etkilerine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca iki boşluk arasındaki hava akışını belirlemede en önemli etkenin hava giriş ve çıkış menfezleri arasındaki basınç farkı olduğunu vurgulamışlardır.

Mevsimsel ve iklimsel koşullara göre ayarlanabilir hava menfezleri daha işlevseldir. Yazın iki cephe arasında kalan boşluk mümkün olduğunca havalandırılmalıdır. Bu durum ısı geçişleri ile olan kazanımı azaltır ve dolayısıyla soğutma yüklerini düşürür. Eğer cephelerin arasındaki bu boşlukta havalandırma olmazsa soğutma yükleri artar [26].

## 4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

- 1990'lı yıllardan günümüze kadar uzanan süreçte çift cidarlı cephe sistemleri giderek artan bir ivme ile farklı disiplinler tarafından birçok çalışmaya konu olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. Bu bağlamdan, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'da enerji etkin yapı kabuğu olarak önerilen çift cidarlı cephe sistemlerinin ülkemizin iklim koşulları göz önünde bulundurularak, enerji etkinliği sorgulaması gereken önemli bir konudur.
- Çift cidarlı cephe sistemlerinin enerji performansı üzerinde belirleyici rol oynayan ve tasarımın başlangıç aşamasında mutlaka dikkate alınması gereken mimari tasarım kararları büyük önem teşkil etmektedir (çift cidarlı cephenin geometrik konfigürasyonu, cephenin yönü, cephede kullanılan cam türleri, iki cephe arasında kullanılan hava kanalının boyutu, hava kanalı içindeki akış mod türleri, menfezlerin cephedeki konumu ve boyutları vb) (Şekil 3)
- Bina geometrisinin tasarımı ve bu geometriye göre şekillenen çift cidarlı cephe sistemi başlı başına enerji performansını etkileyen önemli bir mimari tasarım kararıdır. Bina geometrisi ve çift cidarlı cephe etkileşimi belirlenen mimari tasarım faktörleri (Şekil 3) ile varyasyonları geliştirilerek analiz edilmelidir.

- Son on yılda çift cidarlı cephe sistemleri ile yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların bu sistemler hakkında hemfikir oldukları ortak avantaj doğal havalandırmaya olanak sağlamasıdır. Araştırmacıların büyük bir yüzde ile kabul gördükleri dezavantaj ise çift cidarlı cephe arasında oluşan aşırı ısınma probleminin mekanın ısı konforunu olumsuz etkilemesidir [42].
- Çift cidarlı cephe yüzeylerinde uygun cam seçimi ve güneş kırıcı elemanların bu iki cephe arasında kalan hava kanalına yerleştirilmesi ile bu elemanların enerji etkinliği üzerinde olan belirleyici rolünün dışında, dış ortamın olumsuz iklim koşullarından korunması da sağlanabilmektedir. Ayrıca literatürde yapılan araştırmalarda, güneş kırıcı elemanların çift cidarlı cephede bulunan hava kanalında uygun şekilde konumlandırılması durumunda, araştırmacıların çoğunluğunun en büyük dezavantaj olarak kabul ettikleri aşırı ısınma probleminin önüne geçilebileceği görülmektedir.
- Çift cidarlı cephe arasında bulunan hava kanalı tampon bir bölge görevindedir. Isıtma döneminde istenmeyen ısı kayıplarını önlemektedir. Soğutma döneminde ise cephede konumlandırılan hava menfezleri ile doğal havalandırmaya olanak sağlayarak istenmeyen ısı kazançlarını dışarıya tahliye edebilmektedir. Yüksek yapılarda bile rüzgar hızlarını sönmüleyerek doğal havalandırmaya olanak sağlayabilmesi çift cidarlı cephe sistemlerinin önemli bir avantajıdır.
- Çift cidarlı cephe sistemleri her ne kadar doğal havalandırmaya olanak sağlayarak soğutma döneminde istenmeyen ısı kazançlarını dışarı tahliye edebilme özelliğine sahip olsada, çift cidarlı cephe sisteminin yapıldığı ülkenin iklim koşullarına göre mimari tasarımında etkili olan parametrelerin seçimine (Şekil 3), özellikle sıcak-nemli ülkelerde dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü incelenen literatür taraması sonucunda özellikle sıcak-nemli ülkelerde hava kanalındaki doğal havalandırmanın yetersiz olmasından dolayı iki cephe arasında aşırı ısınma problemleri görülebilmektedir. Çift cidarlı cephelerde en büyük tehlike oluşturan sorun aşırı ısınma problemidir. Aşırı ısınma problemi kullanıcının ısı konforunu olumsuz etkilemekle beraber yapının enerji maliyetini de olumsuz etkilemektedir. Doğal havalandırma ile bu aşırı ısınma probleminin önüne geçilmeye çalışılması gerekmektedir. Bunun etkin olabilmesi için çift cidarlı cephedeki hava menfezlerinin boyutu ve cephedeki konumu irdelenmesi gereken önemli bir mimari tasarım kararıdır.
- Isıtma döneminde enerji tüketiminde kazanım sağlayarak enerji etkin yapı kabuğu olarak önerilen çift cidarlı cephe sistemlerinden, soğutma döneminde de aşırı ısınmadan dolayı olan enerji tüketiminde artışın uygun mimari tasarım kararları ile önüne geçilmesi gerekmektedir. Yani ısıtma sistemindeki kazançtan ziyade özellikle sıcak nemli bölgelerde soğutma enerji tüketimindeki kazançlar tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli bir tasarım kararıdır.
- Çift cidarlı cepheli sistemler için belirlenen tek bir tasarım modeli olamaz. Yani mimari tasarım parametrelerinin (Şekil 3) kombinasyonları ile çeşitli varyasyonlar türetilbilir ve bunlarında biri diğerinden farklı bir iklim bölgesi için daha uygun olabilir. Bu nedenle bu çalışmada çift cidarlı cephe sistemlerinin tasarımında etkin olan tasarım kararları (Şekil 3) deney ve simülasyonlarla kapsamlı bir biçimde irdelenmelidir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tüketilebilir enerji kaynaklarının azalması ile binalarda enerji korunumunu sağlamak amacıyla ekolojik, sürdürülebilir, çevre dostu bina çözümü arayışına gidilmiştir. Çift cidarlı cephe sistemleri değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen enerji etkin yapı kabuklarıdır. Bu sistemler sadece soğuk iklimlerde değil sıcak iklime sahip bölgelerde de yani her iklim koşulunda kullanılabilir. Fakat, mimari tasarım aşamasında verilmesi gereken birtakım tasarım kararları bu sistemlerin enerji performansında belirleyici rol oynar. Binanın formu, iki cephe arasında kalan boşluğun boyutları, çift cidarlı cephenin binadaki yönelmesi, havalandırma açıklıklarının cephedeki konumu ve boyutları, cephelerde kullanılan cam tipleri, güneş kırıcı elemanların türü, rengi, ve konumu, uygun havalandırma türü ve akış modları tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken önemli parametrelerdir. Bu parametrelerle ilgili tasarım kararları alınırken çift cidarlı cephenin inşa edileceği yerin iklimsel ve mevsimsel durumları da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada çift cidarlı cephelerin enerji performansında etkili olan tasarım parametreleri yapılan literatür taraması ile belirlenmiştir. Isıtma döneminde ısı kayıplarını azaltma, soğutma döneminde ısı kazançlarını azaltma iddasında olan bu sistemlerin enerji etkinliklerinin, bu çalışmada belirlenen mimari tasarım ölçütleri ile çift cidarlı cephe varyasyonları geliştirilerek, teorik ve deneysel çalışmalar eşliğinde kapsamlı olarak analiz edilip değerlendirilmelidir. Halen devam eden çalışma kapsamında, belirlenen tasarım parametreleri doğrultusunda oluşabilecek çift cidarlı cephe varyasyonlarının enerji etkinliklerinin, ülkemizin



iklim bölgeleri için varyasyonları geliştirilerek enerji etkinlikleri irdelenecektir.

Bu çalışma Tübitak 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından 112M170 numaralı proje kapsamında desteklenmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yılmaz, Z. (2006) 'Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji', Tesisat mühendisliği dergisi, sayı. 91, s. 7-15.
- [2] Saelens, D., Roels, S. & Hens, H. (2008) 'Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades', Building and Environment, vol. 43, no. 4, April, pp. 638-650.
- [3] Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flament, G. and Wouters, P. (2004) Ventilated Double Skin Façades. Belgian Building Research Institute (BBRI), Contributed Report 03.
- [4] Jiru, T.E., Tao, Y.X. & Haghghat, F. (2011) 'Airflow and heat transfer in double skin facades', Energy and Buildings, vol. 43, no. 10, October, pp. 2760-2766.
- [5] Compagno, A. (2002) Intelligent Glass Facades: Material, Practice, Design, Basel: Birkhauser.
- [6] Oesterle, E. and Lieb, R.L. (2001) Double-skin Façades – integrated planning. Munich, London: Prestel Verlag.
- [7] Hensen, J., Bartak, M. and Drkal, F. (2002) 'Modeling and simulation of a double-skin facade system/discussion', Conference Proceedings, ASHRAE Transactions Symposia, pp. 1243-1251.
- [8] Haase, M., Marques da Silva, F. & Amato, A. (2009) 'Simulation of ventiated facades in hot and humid climates', Energy and Buildings, vol. 41, no. 4, April, pp. 361-373.
- [9] Chan, A.L.S., Chow, T., Fong, K.F. & Lin, Z. (2009) 'Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong', Energy and Buildings, vol. 41, no. 11, November, pp. 1135-1142.
- [10] Høseggen, R., Wachenfeldt, B.J. & Hanssen, S.O. (2008) 'Building simulation as an assisting tool in decision making, case study: with or without a double-skin facade?', Energy and Buildings, vol. 40, no. 5, pp. 821-837.
- [11] Wong, P.C., Prasad, D. & Behnia, M. (2008) 'A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate', Energy and Buildings, vol. 40, no. 10, pp. 1941-1945.
- [12] Gratia, E. & Herde, A. (2007) 'Greenhouse effect in double-skin facade', Energy and Buildings, vol. 39, no.2, February, pp. 199-211.
- [13] Hamdan M.A. (1994) 'Thermal gains through windows', Energy Convers Manage, vol. 35, no. 6, June, pp. 861-872.
- [14] Kim, S.Y., and Song, K.D. (2007) 'Determining photosensor conditions of a daylight dimming control system using different double-skin envelope configurations', Indoor and Built Environment, vol. 16, no.5, October, pp. 411-425.
- [15] Stribling, D. and Stigge, B. A critical review of the energy savings and cost payback issues of double facades [Online], Available: <http://www.cibse.org/pdfs/8cstribling.pdf>. [15 Aug 2013].
- [16] Perino, M. and Serra, V. (2006) Advanced Integrated Façades: An Overview based on Advanced integrated façades state of the art, Final Report of Subtask A, IEA- ECBCS- 4th ANNEX 44.
- [17] Gratia, E. & Herde, A. (2007) 'Guidelines for improving natural daytime ventilatiion an office building with a double-skin facade', Solar Energy, vol. 81, no. 4, April, pp. 435-448.
- [18] Asdrubalı, F. and Baldinelli, G. (2007) 'A new double skin facade with integrated movable shading systems: numerical analysis and evaluation of energy performance Energy, climate and indoor comfort in mediterranean countries', Conference Proceedings, CLIMAMED 2007, pp. 259- 272.
- [19] Çetiner, İ. (2002) Çift Kabuklu Cam Cephelelerin Enerji ve Ekonomi Etkinliğinin Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Eşsiz, Ö. (2004) 'Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler', Sempozyum Bildirisi, 1. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, ÇATIDER, s.73.82.
- [21] Singh, M.C., Garg, S.N. and Jha, R. (2008) 'Different glazing systems and their impact on human thermal comfort-Indian scenario', Building and Environment, vol. 43, no. 10, October, pp. 1596-1602.
- [22] Poirazis, H. (2006) Double Skin Façades, Report of IEA SHC Task 34 ECBCS Annex 43.
- [23] Zhou, C. & Xue, N. (2012) 'The study of vent form of double-skin facade based on CFD', Advanced Materials Research, vols. 374-377, October, pp.440-444.
- [24] Park, C.S., Augenbroe, G., Messadi, T., Thitisawat, M. & Sadeh, N. (2004) 'Calibration

- of a lumped simulation model for double-skin facade systems', *Energy and Building*, vol. 36, no.11, November, pp.1117-1130.
- [25] Özler, M.E. (2003) Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri, Yüksek Lisans Tezi, ITU. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Saelens, D., Carmeliet, J. & Hens, H. (2003) 'Energy Performance Assessment of Multiple-Skin Facades', *Hvac & Research*, vol. 9, no. 2, February, pp. 167-185.
- [27] Haase, M. (2008) Double-skin facades for Hong Kong, PhD Thesis, University of Hong Kong.
- [28] Safer, N., Woloszyn, M. & Roux, J.J. (2005) 'Tree-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin facade equipped with a venetian blind', *Solar Energy*, vol.79, no.2, August, pp. 193-203.
- [29] Gavan, V., Woloszyn, M., Kuznik, F. & Roux, J.J. (2010) 'Experimental study of a mechanically ventilated double-skin facade with venetian sun-shading device: A full-scale investigation in controlled environment', *Solar Energy*, vol. 84, no. 2, February, pp. 183-195.
- [30] Yuan, Y., Zeng, J., Zhu, Y. & Lin, B. (2007) 'A lumped model of double skin facade with cavity shading', *Conference Proceedings, Building Simulation*, pp. 211-216.
- [31] Infield, D., Mei, L. & Eicker, U. (2004) 'Thermal performance estimation for ventilated PV façades', *Solar Energy*, vol. 76, no. 1-3, January- March, pp. 93-98.
- [32] Stec, W.J., Van Paassen, A.H.C. & Maziarz, A. (2005) 'Modelling the double skin facade with plants', *Energy and Buildings*, vol. 37, no.5, May, pp. 419-427.
- [33] Pasquay, T. (2004) 'Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy', *Energy and Buildings*, vol. 36, no.4, April, pp. 381-389.
- [34] Yılmaz, Z. & Çetintas, F. (2005) 'Double skin facade's effects on heat losses of office buildings in İstanbul', *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 7, July, pp. 691-697.
- [35] Balocco, C. (2002) 'A simple model to study ventilated facades energy performance', *Energy and Buildings*, vol. 34, no.5, June, pp. 469-475.
- [36] Zöllner, A., Winter, E.R.F. & Viskanta, R. (2002) 'Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double skin facades', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 45, no. 22, October, pp. 4401-4408.
- [37] Nikolaus, N. (2007) The need for Multi-Skin Facades in Buildings, Master Thesis, Leeds Metropolitan University, Leeds, UK.
- [38] Chow, W.K., & Hung, W.Y. (2006) 'Effect of cavity depth on smoke spreading of double-skin façade', *Building and Environment*, vol. 41, no.7, July, pp. 970-979.
- [39] Ünal, M. (2006) Çift Kabuk Cephelelerin Sistematiik Analizi ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- [40] Mingotti, N., Chenvidyakarn, T. & Woods, A.W. (2011) 'The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin facade', *Building and Environment*, vol. 46, no.4, April, pp. 807-823.
- [41] Ding, W., Hasemi, Y. & Yamada, T. (2005) 'Natural ventilation performance of a double-skin facade with a solar chimney', *Energy and Buildings*, vol. 37, no.4, April, pp. 411-418.
- [42] İnan, T., ve Başaran, T. (2012) 'Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin İncelenmesi', *Yapı Dergisi*, sayı 370, Eylül, 122-126.