



## **BİNALARDA PASİF SOĞUTMA YÖNTEMLERİ VE GELENEKSEL MİMARİDEKİ UYGULAMALARININ İNCELENMESİ**

Kemal Ferit Çetintaş<sup>1</sup> , Azadeh Rezafar<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Haliç Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

<sup>2</sup>İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

### **ÖZET**

Enerji tüketiminin ve fosil yakıt tüketimi kaynaklı çevresel sorunların önemli bir kısmının binalardan kaynaklandığı bilinmektedir. Binalarda enerji tüketiminin önemli bir kısmı binalarda konfor koşullarının sağlanması için ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Son dönemde ekonomik sorunlar, sürdürülebilirlik, çevre kirliliği sorunları ve enerji arzının güvenliği gibi nedenlerden dolayı enerji verimliliği dünya gündemini meşgul etmektedir. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde binalarda gerçekleşen soğutma enerjisi tüketimi binaların enerji tüketiminin önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Konfor koşullarını sağlamak için soğutma enerjisi ihtiyacının fosil yakıtlarından karşılanması enerji maliyetini ve fosil yakıt tüketiminin neden olduğu karbondioksit salımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Buna karşılık geleneksel konutların mimari tasarımında yer alan pasif sistemler, konfor koşullarını sağlayarak soğutma enerjisi tüketimini asgari seviyeye indirmektedir. Soğutma ihtiyacının yüksek olduğu sıcak-nemli iklim bölgelerinde yer alan geleneksel konut binalarının tasarımında pasif soğutma tekniklerinin önemli bir kısmı uygulanmıştır. Pasif soğutma sistemlerine yönelik mimari çözümler, termal konfor koşullarından ödün vermeden enerji verimliliğini sağlarken, tarihi kentsel bölgelere mimari kimlik de kazandırmıştır. Bu çalışmanın amacı pasif soğutma yöntemlerini ve mimari tasarıma uyum çözümlerini tanıtmak ve geleneksel konut mimarisindeki uygulamalarını incelemektir.

**Anahtar Kelimeler:** Pasif Soğutma, Binalarda Pasif Soğutma, Binalarda Enerji Verimliliği, Geleneksel Konut Mimari Tasarımı, Sürdürülebilirlik.

## **EXAMINATION OF PASSIVE COOLING METHODS IN BUILDINGS AND THEIR APPLICATIONS IN TRADITIONAL ARCHITECTURE**

### **ABSTRACT**

It is known that a significant part of the environmental problems is caused by energy and fossil fuel consumption, which are used by the buildings. A significant portion of the energy consumption in the buildings is carried out by heating, cooling, ventilation, and lighting in order to provide comfortable conditions inside them. Recently, energy efficiency is on the world agenda for reasons such as economic, sustainability, environmental, and energy supply security. Besides these, cooling energy consumption in the buildings, especially in the hot climate regions, constitutes a significant percentage of the energy consumption. Meeting the cooling energy need from non-renewable energy sources in order to ensure comfort conditions increases the energy cost and the carbon dioxide emission by using fossil fuel consumption. On the other hand, traditional architectural residences by their passive system design reduce cooling energy consumption to a minimum while they provide comfortable conditions. An important portion of passive cooling techniques has been applied in traditional residence architectures, which are located in hot-humid climates, where the cooling need is high. While architectural solutions for these buildings' passive cooling systems provide energy efficiency without compromising thermal comfort conditions. As well as these solutions give architectural identity to the historical urban areas. The aim of this study is to introduce passive cooling methods and architectural design adaptation solutions. In this scope, the examples of these methods in traditional architectural designs will be examined too.

**Keywords:** Passive Cooling, Passive Cooling in the Buildings, Energy Efficiency in Buildings, Traditional Houses Architectural Design, Sustainability.

**Sorumlu Yazar** : Kemal Ferit Çetintaş

**Makale Geliş Tarihi** : 06.05.2022

**Makale Kabul Tarihi** : 28.07.2022

**Makale Künye Bilgisi** : Çetintaş,K.F., Rezafar,A.(2022). Binalarda pasif soğutma yöntemleri ve geleneksel mimarideki uygulamalarının incelenmesi. *KAPU Trakya Journal of Architecture and Design*, 2(2), 37-56.

## 1. GİRİŞ

Nüfus artışı, kentleşme hızındaki artış ve teknolojik gelişmeler paralelinde insanoğlunun enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde tüketilen enerjinin önemli bir kısmının fosil yakıtlarından sağlandığı bilinmektedir (Ritchie vd., 2020). Fosil yakıtlarının tüketimi, enerji arzının güvenliği, çevresel ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtlarına ait rezervlerin sınırlı oluşu enerji kaynaklarının tükenme riskini de beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtlarının tüketimi sırasında atmosfere salınan gazlar küresel ısınma, iklim değişikliği ve kuraklık gibi ciddi çevresel sorunlara neden olmaktadır. Dünyada gerçekleşen enerji tüketiminin %30'u ve sera gazı salımlarının yaklaşık %35'i binalardan kaynaklanmaktadır (IEA, 2019). Binalarda tüketilen enerjinin önemli kısmı konfor koşullarının sağlanması için mekanik sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir (Engin, 2012). Binaların enerji tüketimleri, binanın ve yapma çevrenin özellikleri, iklim bölgesi ve bina tipolojisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, sürdürülebilir kalkınma, çevresel sorunların azaltılması ve önlenmesi, enerji arzının güvenliği gibi konular açısından önemlidir. Günümüzde binalarda enerji verimliliği bağlamında, hem yeni bina tasarımları için hem de mevcut binaların enerji etkin yenilenmesi için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Binalarda enerji verimliliğinin gerçekleştirilmesi için binaların pasif sistem olarak tasarlanarak konfor koşullarından taviz vermeden aktif sistemlere olan ihtiyacın asgari seviyeye indirilmesi esastır. Geleneksel mimarideki örnekler incelendiğinde binaların iklimsel elemanlardan azami seviyede faydalanacak şekilde pasif sistem olarak tasarlandığı görülmektedir. Tarih boyunca insanlar, ısıtma enerjisi ihtiyacının yüksek olduğu bölgelerde konfor koşullarını daha kolay sürdürebilmiştir. Ancak sıcak iklimlerde iç mekânlarda konfor koşullarının sağlanması ve sürdürülmesi soğuk iklim bölgelerine göre daha güçtür. Bu nedenle sıcak iklim bölgelerinde yer alan binaların enerji tüketimleri incelendiğinde soğutma enerjisi tüketiminin coğrafyaya bağlı olarak ısıtma enerjisi tüketiminin iki veya üç katı kadar daha fazla olduğu görülmüştür (Santamouris ve Asimakopoulos, 1996). Soğutma, bir maddenin veya ortamın sıcaklığının, onu çevreleyen ortamın sıcaklığının altına indirme ve o seviyede muhafaza etme işlemidir. Soğutma, doğal çevreye göre daha düşük bir sıcaklık ve/veya nem seviyesi elde etmek için çevreden enerji aktarılmasıdır. Konfor koşullarının sağlanması için soğutma sürecinin gelişimi ise, gölgelendirme, buharlaştırılmalı soğutma ve hava sirkülasyonu yoluyla oluşturulan doğal soğutma tekniklerinden başlayarak, klimalara kadar gelişen mekanik soğutma yöntemleriyle olmuştur. Günümüzde soğutma sadece binalarda konfor koşullarının sağlanmasının yanı sıra hazır gıdaların hazırlanması, depolanması ve ilaçların depolanması gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Nature Sustainability'de yayınlanan bir araştırmaya göre 2050 yılına kadar soğutmaya olan talebin üç katına çıkması beklenmektedir (Ellfeldt, 2020). Günümüzde soğutmanın mekanik sistemler ile sağlanması, soğutmada yakıt olarak elektriğin kullanılması fosil yakıtlarının kullanımını ve tüketim kaynaklı çevresel sorunların artmasına neden olmaktadır. Özellikle elektriğin fosil yakıtlarından üretimi birincil enerji tüketimi ve enerji tüketimi kaynaklı karbondioksit salımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu nedenle, sıcak iklim bölgelerinde soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılması binalarda enerji verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Binaların pasif sistem olarak tasarlanması ile konfor koşullarının sağlanması için ihtiyaç duyulacak enerji miktarı asgari seviyeye indirgenebilmektedir. Sıcak iklim bölgelerindeki konut mimarisi incelendiğinde pasif sistemler yardımı ile konfor koşullarının sağlandığı bilinmektedir (Oudeh, 2018). Pasif soğutma yöntemlerinin enerji verimliliği dışında sağladığı yararlar; çevresel, iç hava kalitesi ve ekonomik yararlar olarak sıralanabilir.

Soğutma amacıyla kullanılan mekanik sistemlerin önemli bir kısmı yakıt olarak elektriği kullanmaktadır. Elektrik üretim şekline bağlı olarak üretimi esnasında yüksek miktarda karbondioksit salımına neden olmaktadır. Örneğin Tablo 1'de görüldüğü gibi doğal gaz tüketimi kaynaklı gerçekleşen karbondioksit salımının hesaplanmasında dönüşüm katsayısı 0,234 Kg CO<sub>2</sub> / kWh iken elektrik için 0,617 Kg CO<sub>2</sub> / kWh dir (BEP\_TR, 2010). Dönüşüm katsayılarından görüldüğü üzere fosil yakıtlarından elektrik üretimi karbondioksit salımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Söz konusu karbondioksit salımı ciddi çevresel sorunların en önemli tetikleyicilerindedir. Ayrıca soğutma sistemlerinde kullanılan CFC (Kloroflorokarbon) ve HFC (Hidroflorokarbon) gibi gazlar ozon tabakasına ciddi şekilde zarar vermektedir. Soğutma yüklerinin artması, mekanik sistem kapasitelerinin yükselmesine ve bünyesinde daha fazla CFC ve HFC gazları barındırmasına neden olmaktadır. Soğutma sistemlerinin çalışması esnasında gerçekleşen gaz kaçaqları da ozon tabakasına zarar vermektedir (Santamouris ve Asimakopoulos, 1996).

Tablo 1. Yakıt türüne bağlı karbondioksit gazı salım faktörü değerleri (BEP\_TR, 2010)

Yakıt türü	Karbon Salımı Dönüşüm Katsayısı [kg CO <sub>2</sub> /kWh]
Fuel-Oil	0.330
Doğalgaz	0.234
Gaz (propan, bütan, metan, biyogaz)	0.277
Diğer fosil yakıtlar	0.320
Antrasit	0.394
Linyit	0.433
Kok	0.467
Talaş	0.004
Kütük, biokütle	0.014
Kayın kütüğü	0.013
Kök nar kütüğü	0.020
Hidrolik enerji santralinden elektrik	0.007
Nükleer enerji santralinden elektrik	0.016
Kömür enerji santralinden elektrik	1.340
Doğalgaz enerji santralinden elektrik	0.819
Karışık elektrik	0.617

Pasif soğutma yöntemlerinden bazıları iç mekânların hava kalitesinin korunmasına veya iyileştirilmesine önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle doğal havalandırma ile yapılan soğutma neticesinde iç mekânlardaki kirlenmiş hava bina dışına çıkartılarak iç hava kalitesinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. İç hava kalitesinin iyileştirilmesi hasta bina sendromu gibi hastalıkların önlenmesine ve kullanıcıların konfor koşullarına ilişkin memnuniyetinin artmasına olanak sağlamaktadır (Santamouris ve Asimakopoulos, 1996). Soğutma enerjisine olan ihtiyacın azaltılması hem enerji tüketimi kaynaklı enerji maliyetlerinin azaltılmasına, hem de mekanik sistemlerin daha düşük kapasitede seçilmesine olanak sağlayarak ilk yatırım ve bakım maliyetlerinin önemli ölçüde azalmasına olanak sağlayacaktır (Santamouris ve Asimakopoulos, 1996).

Bu bağlamda pasif soğutma yöntemleri özellikle sıcak iklim bölgelerinde yer alan binaların enerji tüketimlerinin ve enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında en önemli bileşendir. Bu nedenle çalışmanın amacı pasif soğutma yöntemlerini aktarmak ve söz konusu yöntemlerin geleneksel konut mimarisindeki uygulanma şekillerini göstermektedir. Böylece pasif soğutma yöntemlerinin geleneksel konut mimarisindeki örnekleri üzerinden yeni bina tasarımları için uygulanabilecek stratejilerin hatırlatılması amaçlanmıştır. Pasif soğutma yöntemlerinin uygulandığı geleneksel konut binalarının sayıca az kısmı günümüze ulaşabilmiştir. Bu nedenle çalışmada sınırlı sayıda örneğe yer verilebilmiştir. Geleneksel konut mimarisi örnekleri Ortadoğu ve Afrika coğrafyasından seçilmiştir. Çalışma literatür taraması yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

## 2. PASİF SOĞUTMA

Pasif soğutma, çeşitli teknikler kullanarak pasif sistemler yardımıyla enerji tüketimi gerçekleştirilmeden yapılan soğutma işlemidir. Binalarda soğutma enerjisi ihtiyacının oluşmasında iklim ve ısı kazançlar etkindir. Bu nedenle binalarda pasif soğutma tekniklerinin temelini ısı kazançların kontrol altına alınması oluşturmaktadır. Binalarda pasif soğutma teknikleri literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmıştır (Dnyandip vd, 2019, Santamouris ve Asimakopoulos, 1996). İncelenen çalışmaların önemli bir kısmında tekniklerin üç başlık altında toplandığı görülmüştür (Santamouris ve Asimakopoulos, 1996, Dnyandip vd, 2019). Bunlar;

- Isıl kazançların kontrol edilmesine yönelik önlemler
- Isının modülasyonu ve
- Isının dağıtılmasıdır.

## 2.1. Isıl Kazançların Kontrol Edilmesine Yönelik Önlemler

Binalar içinde buldukları iklim, coğrafi konum, bina özellikleri, kullanıcılar ve cihazlardan kaynaklı ısı kazançlarına sahiptir. Söz konusu ısı kazançları, binanın soğutma enerjisi tüketimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Isıl kazançların kontrol edilmesine yönelik önlemler mikro klima, güneş ışınımının kontrol edilmesi ve bina iç kazançları başlıkları altında incelenebilir. Peyzaj düzenlemesi güneş ışınımının kontrol altına alınması ve hava akımının oluşturulmasını/yönlendirmesini sağlayarak mikro klima oluşturarak pasif soğutmaya katkıda bulunmaktadır. Söz konusu yöntem tasarımcıların kullandığı en eski, en basit ve en ekonomik yöntemdir. Bitki örtüsünün etkin bir şekilde binayla bütünleşmiş veya bina dışında kullanılması mümkündür. Yeşil çatı ve düşey yeşil sistem gibi uygulamalar sadece binanın güneş ışınımı kazançlarını kontrol altına almakla kalmaz; aynı zamanda bina kabuğundaki ısı akışını da kontrol etme imkânı vermektedir. Yeşil çatı ve düşey yeşil sistemlerin iklim bölgesi ve bina tipolojisine bağlı olarak farklı düzeyde binaların enerji tüketimleri üzerinde etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bina etrafında gerçekleştirilecek olan peyzaj düzenlemesi ile binanın güneş ışınımından kaynaklı ısı kazancını kontrol altına almak mümkündür. Yapılan literatür taramasında bina etrafında peyzaj düzenlemesinin bina iç sıcaklığına veya enerji tüketimine olan etkisini inceleyen çalışmalarda bina iç sıcaklıklarında 5°C ila 9°C düşüş, enerji tüketimlerinde %6 ile %20 arasında enerji tasarrufu tespit edilmiştir (Dnyandip vd. 2019). Güneş ışınımı binanın pasif ısı kazançları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle güneş ışınımının kontrol edilmesi pasif soğutma teknikleri açısından önem arz etmektedir. Güneş ışınımının kontrol edilmesi bina için yer seçimi, saydam bileşen ve gölgeleme elemanı tasarımı ile kontrol edilebilir.

Binanın yer alacağı arazi seçimi, arazide yer alan doğal ve yapay engeller binanın alacağı güneş ışınımı miktarını etkilemektedir. Binanın yer alacağı konum ve binanın mevcut kent dokusu ile ilişkisi geleneksel mimaride güneş ışınımının kontrolü açısından başvurulan temel yöntemlerden biridir. Özellikle sıcak iklim bölgelerindeki geleneksel mimaride binalar arasında mesafe azaltılarak binaların birbirlerini ve sokakları gölgelemesi sağlanmıştır. Örneğin Mardin şehrinde sokak genişlikleri sokakların gün içerisinde gölgede kalmasını, binaların birbirine yakın olması da gölgeleme yaratarak binaların istenmeyen güneş ışınım kazançlarını önlemektedir (Şekil 1). Oluşturulan gölgeli yüzeyler sayesinde güneş ışınımı kazancı kontrol altına alınmaktadır. Ayrıca binaların ayrı olarak inşa edilmesi yerine bitişik nizam olarak inşa edilmesi de dış ortamla temas halinde olan yüzey sayısını azalmaktadır. Böylece binaların dış yüzeyleri vasıtası ile ısı kazanç ve kayıpları kontrol altına alınmaktadır. Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri de güneş ışınımından kaynaklı ısı kazançları önemli ölçüde etkilemektedir. Yapı kabuğunun saydam bileşenlerinin büyüklüğü ve optik özellikleri saydam bileşenlerden iletilecek, yutulacak ve yansıtılacak güneş ışınımı miktarını belirlemektedir. Saydam alanların büyüklüğü binaların güneş ışınımı kazancının artmasına neden olmaktadır. Geniş saydam yüzeyler iletimini sağladıkları güneş ışınımı vasıtasıyla hacimlerin doğal aydınlatması ve pasif ısıtması açısından avantajlıdır. Ancak söz konusu avantaj iklim bölgesine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin soğuk iklim bölgelerinde geniş saydam yüzeyler pasif ısıtma açısından avantajlı olmasına karşın saydam bileşenlerin ısı depolama kapasitesinin düşük olması ve yüksek ısı iletkenlik özelliklerinden dolayı ısı kayıplarına neden olarak binanın enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcak iklim bölgesinde ise geniş saydam yüzeyler optik özelliklerine bağlı olarak güneş ışınımını iç mekâna iletmesi ile ısı kazancı arttırmakta ve soğutma enerjisi ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Saydam bileşenlerin ısı iletim katsayısı ve güneş ışınımı toplam geçirgenlik değeri (Solar Heat Gain Coefficient: SHGC) özellikleri saydam bileşenlerden (Şekil 2) kaynaklı ısı kayıp ve kazançlarını belirlemektedir. Günümüzde geniş saydam yüzeylere sahip binalarda uygun saydam bileşen seçimi ile güneş ışınımından kaynaklı ısı kazançları kontrol etmek mümkündür. Ancak ısı kazancın azaltılması için güneş ışınımının kontrolü, soğutma enerjisi ihtiyacını azaltırken, iç mekâna iletilecek güneş ışınımının azaltılmasıyla doğal aydınlatmayı ayrıca kış döneminde ısıtma ihtiyacını da olumsuz yönde etkileyerek binanın toplam enerji ihtiyacının artmasına neden olacaktır. Günümüzde bazı çok katlı ofis binalarının saydam bileşen özellikleri nedeniyle soğutma enerjisi tüketimi düşük seviyede gerçekleşirken aydınlatma enerjisi tüketiminin yüksek seviyede gerçekleştiği bilinmektedir (Yılmaz, 2005, s.387-398). Bu nedenle pasif soğutma tekniklerinin uygulanmasına karar verilmeden enerji performans analizlerinin bütüncül bir bakış açısı ile yapılması gerekmektedir.

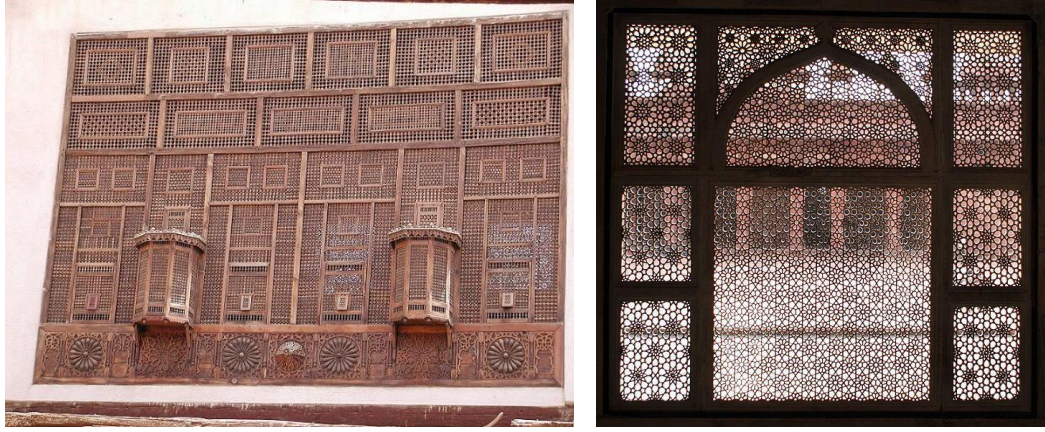


Şekil 1. Mardin sokakları (Manioğlu ve Yılmaz, 2008)

Pencere	Yatay Gölgeleme Elemanı	Yatay Çift Gölgeleme Elemanı	Tek Yöne Eğimli Gölgeleme Elemanı	Tek Yöne Eğimli Çift Gölgeleme Elemanı	Yatay Panjur	Yatay İç Yöne Eğimli Panjur
Yatay Dış Yöne Eğimli Panjur	Düşey Panjur	Tüm Cepheyi Kaplayan Güneş Kırıcı	Yarım Cepheyi Kaplayan Güneş Kırıcı	Cepheyi Yarım Kaplayan Panjur Güneş Kırıcı	Konsol Olarak Entegre Edilen Panjur	Pencere Çeperini Saran Gölgeleme Elemanı

Şekil 2. Gölgeleme elemanlarının bina kabuğuna entegrasyon türleri (Mandalaki vd.,2012)

Güneş kontrolü elemanları güneş ışınımının geçişini kontrol ederek güneş ışınımı kaynaklı ısı kazançlarının kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır. Güneş kontrolü elemanları sabit veya hareketli olarak tasarlanabilmektedir. Şekil 2'de bina kabuğuna sabit olarak entegre edilebilen farklı tiplerde güneş kontrolü elemanları örnekleri görülmektedir. Sıcak iklim bölgelerindeki geleneksel konut mimarisinde gölgeleme elemanı kullanımı ile güneş ışınımı kaynaklı ısı kazançlarının kontrol altına alınması en yaygın kullanılan pasif soğutma tekniklerinin başında gelmektedir. Sıcak iklim bölgelerinde gölgeleme elemanları sabit ve hareketli olmak üzere bina kabuğunda yer alan saydam bileşenlere farklı şekillerde entegre edilebilmektedir. Hareketli gölgeleme elemanları özellikle güneş ışınımının az olduğu dönemlerde açılarak az seviyedeki yaygın güneş ışınımının bina içerisine alınarak aydınlatma enerjisi ihtiyacının azaltılmasına olanak sağlamaktadır. Güneş kontrolünü sağlayan elemanların karakteri bölgenin mimari tasarım yaklaşımına uygun olarak farklı malzemelerden, farklı boyutlarda yapılmaktadır. Söz konusu elemanlar, içerisinde en sık kullanılan meşrebiye ve panjurlardır. Meşrebiye, sadece pencere boşluğunu öretecek şekilde yapıldığı gibi tüm cepheyi kaplayacak şekilde de düzenlenebilir (Şekil 3). Meşrebiye elemanları güneş ışınımını kontrol etmesinin yanı sıra iç mekân ile dış ortam arasında görsel teması azaltarak kullanıcıların mahremiyetini de sağlamaktadır.



Şekil 3. Meşrebiye örnekleri (Mandalaki vd, 2019; Hillenbrand, 2004)

Güneş kontrol elemanlarının tesis edilmesinin dışında bina formunda oluşturulan girinti ve çıkıntılar ile de güneş ışınımının kontrolü sağlanmaktadır. Güneş kontrol elemanlarının etkin bir biçimde kullanılabilmesi için güneş ışınımının binaya geliş açısının analiz edilerek elemanların konumu, büyüklüğü ve açısı belirlenmelidir. Güneş ışınımı yıl içerisinde atmosferik olaylara göre farklı miktarlarda yeryüzüne ulaşmaktadır. Güneş ışınımı iklim bölgesi, coğrafi konumu ve binanın yapma çevre içerisindeki konumuna bağlı olarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarına farklı oranlarda etki etmektedir. Bu nedenle güneş ışınımının kontrol edilmesinde iklim bölgesi ve bina tipolojisinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. İklim elemanlarının etkisinin atmosferik olaylardan dolayı değişken olması bina kabuğuna tesis edilecek elemanların da dinamik bir yapıya sahip olmasını gerektirmektedir. Günümüzde gölgeleme elemanları bina otomasyon sistemi ile kontrol edilerek güneş ışınımı şiddeti, iç ortamdaki aydınlık düzeyi ve iç mekândaki ısı kazanç seviyesi gibi ölçütleri dikkate alarak kendini yeniden düzenleyebilecek yapıda tasarlanabilmektedir. Abu Dabi'de 2012 yılında tamamlanan 29 katlı, 145 metre yüksekliğe sahip Al Bahar Ofis Kulesi'nin bina kabuğu tasarımında hareketli gölgeleme elemanları bulunmaktadır (Şekil 4). Dış ve iç koşullara bağlı olarak bina otomasyon sistemi tarafından kontrol edilen hareketli gölgeleme elemanları güneş ışınımının daha etkin şekilde kontrol edilerek pasif kazançlara optimum şekilde katkıda bulunmasını sağlamaktadır. Al Bahar Ofis Kulesinde istenmeyen güneş ışınımının kontrolü sayesinde sabit gölgeleme elemanına sahip bina kabuğuna göre soğutma enerjisi tüketiminin %50 ila %81 arasında daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir (Alkhayyat, 2013).



Şekil 4. Al Bahar Towers hareketli gölgeleme elemanı tasarımı (Cilento, K., 2012)

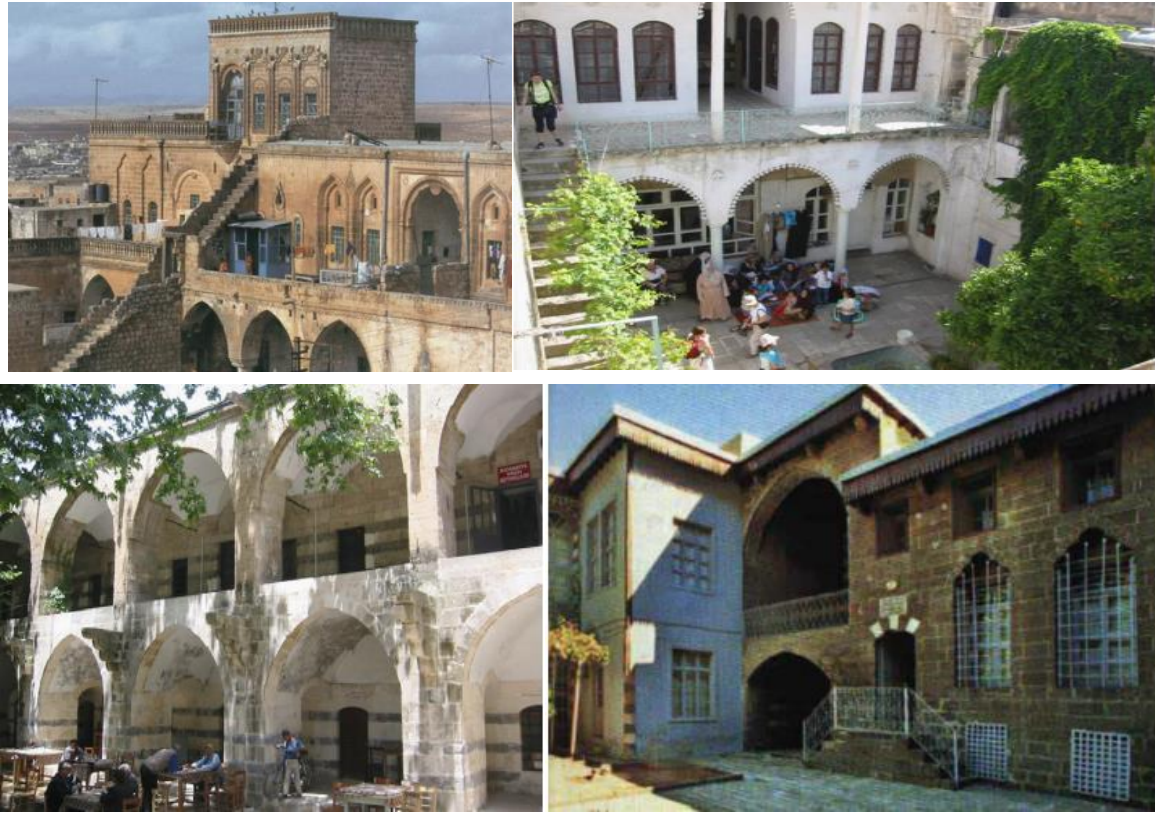
Binalarda kullanıcı ve cihazlardan kaynaklı iç kazançların binanın ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacını etkilediği bilinmektedir (Barthelmes vd., 2016; Hyemi vd., 2018). Aydınlatma sistemindeki lambalar, bina tipolojisine bağlı olarak yer alan fırın, bilgisayar ve fotokopi makinesi gibi cihazlar ısı yayılımı sağlayarak ısı kazancı oluşturmaktadır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde kullanıcı sayısı ve cihazlara bağlı gerçekleşen iç ısı kazançları binanın soğutma enerjisi ihtiyacının artmasına neden olmaktadır. Söz

konusu cihazların daha az ısı yayılım gerçekleştiren cihazlarla değiştirilmesi binalarda iç ısı kazançlarının kontrol edilerek soğutma enerjisi ihtiyacının azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Örneğin yüksek ısı kazancına ve enerji tüketimine sahip yapma ışık kaynaklarının kompakt floresan gibi yapma ışık kaynakları ile değiştirilmesi aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminde tasarruf sağlayacaktır. Artan nüfus, kentleşme oranı ve gelişen teknoloji ile birlikte binalarda kişi başına düşen cihaz yoğunluğu da artmaktadır. Cihazların çalışması esnasında iletim, taşınım ve ısı yayılım ile oluşturduğu ısı kazancı ise gelişen teknolojiye bağlı olarak yıllar içerisinde azalmaktadır (Hyemi vd., 2018).

## 2.2. Isıl Modülasyon

Isıl modülasyon, bina kabuğunda kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak binanın ısı kazancının azaltılması ve/veya geciktirilmesidir. Isıl modülasyon, pasif soğutma teknikleri içerisinde en sık başvurulan tekniklerin başında gelmektedir. Termal kütle ve serbest soğutma ısı modülasyon teknikleri arasında yer almaktadır. Yapma çevre içerisinde bina tasarımında binalar arası mesafe, binanın konumu ve yönlendirilme durumu gibi ölçütler yapma çevre koşullarından dolayı istenilen şekilde düzenlenemeyebilir. Ancak yapı kabuğunun tasarımı ve malzeme tercihi yapma çevrenin kısıtlayıcı koşullarından bağımsız olarak mimarın tercihlerine bağlı olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle yapma çevre içerisinde gerçekleştirilen mimari tasarımlarda bina kabuğuna ilişkin tercihler ve düzenlemeler pasif soğutma yöntemleri içerisinde uygulama kolaylığından dolayı en fazla kullanılan yöntemlerdir. Bina kabuğunun rengi opak bileşenler tarafından absorbe edilecek güneş ışınımı miktarını dolayısıyla pasif ısı kazancını belirlemektedir. Özellikle sıcak iklim bölgelerindeki geleneksel konut mimarisinde bina kabuğunda açık renklerin tercih edildiği görülmektedir. İsrail'in Hayfa kentinde yapılan deneysel bir çalışmada gaz beton malzemesine sahip çatının gri ve beyaz yüzey renklerine sahip olması durumlarındaki çatı dış yüzey sıcaklıkları ölçülerek karşılaştırılmıştır. Gri renge sahip çatının dış yüzey sıcaklığı 69°C iken beyaz renkli çatının dış yüzey sıcaklığı 27°C olarak ölçülmüştür (A. Al-Sallal, 2016).

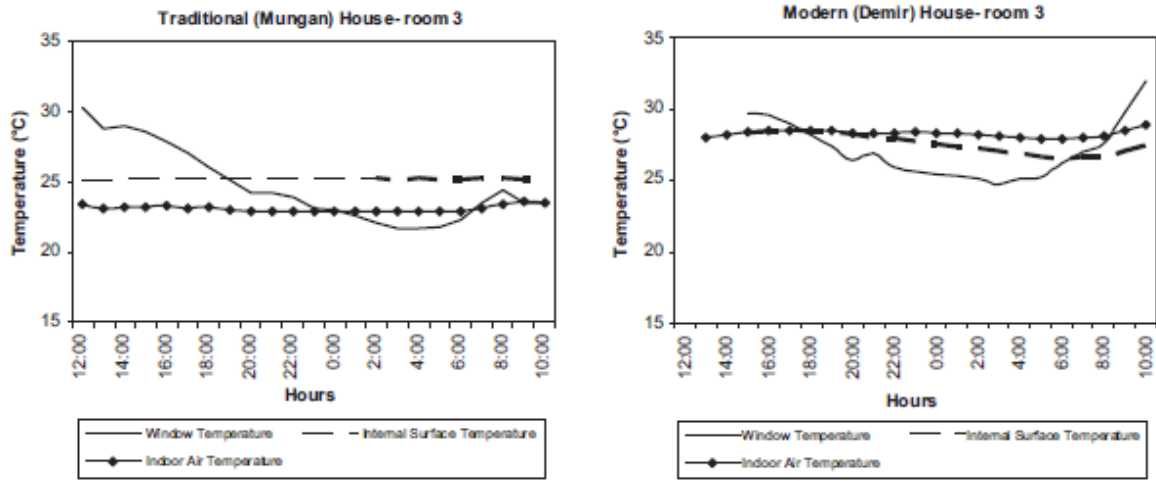
Bina kabuğunun açık renkli olması bina kabuğuna gelen güneş ışınımının yansıtılarak binanın güneş ışınımından kaynaklı ısı kazançlarını kontrol altına alınmasını sağlayarak soğutma enerjisi ihtiyacını azaltmaktadır. Bina kabuğunda kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri bina kabuğunun ısı depolama kapasitesini belirlemektedir. Bina kabuğunun genlik küçültme faktörü ve zaman geciktirme değerleri bina kabuğunun termal kütlesi ile ilgilidir. Termal kütle bina kabuğu içerisinde ısı enerjisinin depolanmasını yaz döneminde ısı kazançlarının iç mekâna gecikmeli olarak iletilmesini, kış dönemlerinde ise iç mekândan dış ortama doğru gerçekleşecek ısı kayıplarının daha yavaş gerçekleşerek iç mekânda konfor koşullarının daha uzun süre sabit tutulmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle sıcak kuru iklim bölgelerinde yer alan geleneksel konut mimarisi örneklerinde bina kabuğunun açık renkli ve termal kütle özelliğine sahip olmasına sıkça rastlanmaktadır. Şekil 5'de Güneydoğu Anadolu bölgesinde Mardin, Urfa ve Diyarbakır'da yer alan çeşitli geleneksel yapıların bina kabuğu örnekleri görülmektedir. Binalar yöresel taş malzeme ile termal kütle özelliğine sahip olacak kalınlıkta inşa edilmiştir. Benzer termal kütleyle sahip bina kabuğu örnekleri İran, Irak ve Suriye gibi ülkelerin geleneksel konut mimari tasarımlarında da görülmektedir. Bina kabuğunun termal kütle özelliği sayesinde sıcak iklim bölgesinde olmasına karşın yapıların iç mekânlarında termal konfor koşulları daha pratik bir şekilde tesis edilebilmektedir. Yapma çevrenin, kısıtlayıcı koşullarından ve uygulanmasının diğer bileşenlere göre daha kolay olması gibi nedenlerden dolayı bina kabuğu tasarımı pasif soğutmada diğer bileşenlerden daha fazla uygulanan bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5. Geleneksel konut mimarisinde termal kütleye sahip bina kabuğu örnekleri (1- Mardin'de teras ev, 2- Urfa'da avlulu ev, 3- Urfa Gümrük Han, 4- Diyarbakır'da geleneksel konut (Manioğlu ve Yılmaz, 2008)

Yılmaz ve Manioğlu (2008) tarafından Mardin'de 2004 yılında gerçekleştirilen çalışmada geleneksel konut mimarisine sahip Mungan Evi ile yakın dönemde mevcut standartlar gözetilerek yapılan konut binasının (Yüksel Evi) düşey kabuklarının termal performansı, yüzey sıcaklıklarının ölçümleri ile karşılaştırılmıştır (Manioğlu ve Yılmaz, 2008). Termal kütleye özelliği bulunan 1,2m kalınlıktaki Mungan evindeki yapı kabuğunun iç yüzey sıcaklık değişiminin stabil ve dış ortam sıcaklığından düşük olduğu bulgusu elde edilmiştir (Şekil 6) (Manioğlu ve Yılmaz, 2008). Geleneksel konutun yapı kabuğunu oluşturan kalın taş duvar termal kütle özelliği ile ısı kazancının yaz döneminde iç mekâna daha yavaş iletilmesini, kış döneminde ise iç mekândan dış mekâna doğru gerçekleşecek ısı kaybının daha yavaş gerçekleşmesi sağlamaktadır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde yapı kabuğunun termal kütle özelliği güneş ışınlarından kaynaklanan ısıl kazançların iç mekâna olan etkisini geciktirerek binanın soğutma ihtiyacını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bina kabuğunun termal kütle özelliği kullanılan malzeme ve kalınlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Geleneksel yapı malzemeleri sınırlı ısı depolama kapasitesi özelliğine sahiptir. Bina kabuğunda termal kütle etkisi oluşturmak için yapı malzemelerinin kalınlığının artırılması gerekmektedir. Ancak söz konusu artış yapım teknolojileri ve ağırlık artışından dolayı taşıyıcı sistem sınırlarını zorlamaktadır. Bu nedenle, bina kabuğunda termal kütle oluşturma yöntemi çok katlı gibi bina tipolojileri için uygulama ve maliyet açısından uygun olmamaktadır.





Şekil 6. Mungan evi ve Demir evi duvar yüzey sıcaklık değişimi grafikleri (Manioğlu ve Yılmaz, 2008)

Gizli ısının yapı malzemesi içinde depolanması termal kütle etkisinin artırılması için kullanılan bir yöntemdir. Faz değiştiren malzemeler, ısı enerjisini gizli ısı olarak depolayabilen malzemelerdir. Faz değiştiren malzemeler, yapı malzemeleri ve yapı elemanları ile farklı şekillerde bütünleştirilebilmektedir. Duvar, döşeme ve çatıya entegre edilen faz değiştiren malzemeler ile binanın güneş ışınımı kaynaklı ısı kazançlarını ve ısı kayıplarını kontrol etmek mümkündür. Bina kabuğunda faz değiştiren malzeme uygulamalarının enerji verimliliği bağlamında en etkin sonuçlar, gece ve gündüz döneminde sıcaklık farklarının yüksek olduğu karasal iklim bölgelerinde elde edilmektedir (Köse, 2019). Faz değiştiren malzemeler ile geleneksel yöntemlere göre daha ince kesite sahip yapı elemanları ile termal kütle performansı elde edilerek sadece ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından değil soğutma enerjisi ihtiyacı açısından da tasarruf sağlamaktadır (Köse, 2019; Dnyandip vd, 2019).

### 2.3. Isının Dağıtılması

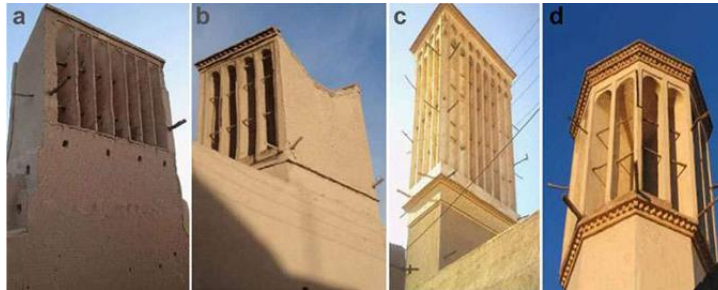
Isının dağıtılması tekniği diğer teknikler ile kontrol edilemeyen ısı kazancının bir soğutucu vasıtası ile dağıtılması, etkisinin azaltılmasıdır. Soğutucu olarak ortam havası, su ve toprak gibi doğal elemanlar kullanılmaktadır. Konveksiyon, buharlaşma ve ışınım ve toprak vasıtası ile yapılan soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Konveksiyon ile gerçekleştirilen soğutmada hava, soğutucu olarak kullanılır. Binanın fazla ısı kazancı çeşitli doğal havalandırma yöntemleri ile bina dışına atılmasıyla ısı dağılımı gerçekleşir. Doğal havalandırma aktif iklimlendirme sistemi kullanma kaynaklı enerji tüketimi, karbondioksit salımı ve iç hava kalitesinin azalması gibi olumsuzlukları da önlemektedir (Daghigh, 2015). Doğal havalandırma için gerekli olan itki gücü, basınç ve/veya sıcaklık farkı ile elde edilebilir. Basınç ve sıcaklık farklarının yetersiz kalması durumunda doğal havalandırmanın gerçekleşebilmesi için rüzgâr bacası veya rüzgâr kulesi gibi elemanlardan yararlanılmaktadır.

Badgel (Baud-geer: Farsçada rüzgâr tutucu anlamına gelmektedir), İran ve bazı Arap Körfezi ülkelerinin geleneksel mimarisinde kullanılan mimari bir pasif soğutma ve havalandırma elemanıdır (A. Al-Sallal, 2016). Badgel, geleneksel İran mimarisinin kimliğinin oluşumunda önemli bir bileşendir. Rüzgâr kuleleri özellikle sıcak iklim bölgelerinde sık kullanılan pasif soğutma yöntemlerinden biridir, kulelerin tasarımı bölgeye ve koşullara göre değişkenlik göstermektedir. (Şekil 7) (Bhanmare vd., 2019; Oudeh, 2018). Rüzgâr kuleleri baş ve taşıyıcı olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 7. Rüzgâr kulesi örnekleri (Oudeh, 2018)

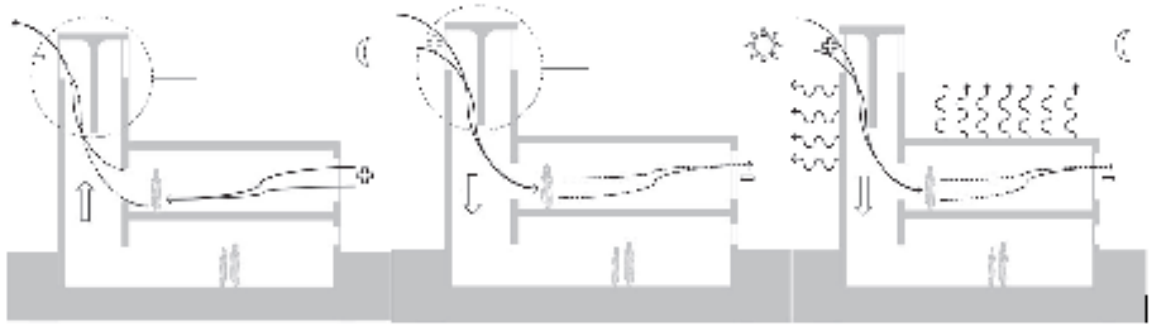
Rüzgâr kulelerinin yüksekliği, boyutları ve hava giriş çıkış noktaları rüzgâr yoğunluğuna, yönüne ve kent morfolojisine göre değişkenlik göstermektedir. Yükseklikleri çatı seviyesinden 1,5-2 metreden 30 metrelere kadar uzanmaktadır (Mahmoudi, 2006). Hava giriş ve çıkış noktaları ise kulelerde bir, iki, dört ve sekiz yönde olabilmektedir (Şekil 8) (Montezeri ve Azizian, 2008). Bu bağlamda kulelerin taban kesitleri de kare, dikdörtgen, daire veya sekizgen formda olabilmektedir (Şekil 9). Rüzgâr kulelerinin hava giriş ve çıkış noktaları hâkim rüzgâr yönüne göre teşkil edilmektedir. Deniz, nehir ve göl gibi su kaynaklarına yakın bölgelerden su kaynağı üzerinden gelen serin rüzgârları bina içerisine yönlendirmek için tek yönlü rüzgâr kuleleri tercih edilmektedir. Ayrıca tek yönlü rüzgâr kuleleri, yön sayısı fazla olanlara kule tipolojilerine göre uygulanmasının kolay olması ve ekonomikliği gibi nedenlerden dolayı daha yaygın şekilde tercih edilmiş, İran'ın Ardakan, Maybod, Mahan ve Bem şehirlerinde örnekleri yoğun şekilde görülmektedir (Hejazi ve Hejazi, 2014; Roaf, 1988). Rüzgârın yön değiştirdiği bölgelerde hava giriş noktası fazla olan rüzgâr kulesi tipolojileri tek yönlü rüzgâr kulelerine göre daha verimlidir (Melikoğlu, Bekleyen 2018).



Şekil 8. Tek (a), iki (b), dört (c) ve sekiz (d) yönden rüzgâr alan rüzgâr kulesi örnekleri İran (Montezeri ve Azizian, 2008)



Şekil 9. İran'da yapılmış farklı formlara sahip rüzgâr kulesi örnekleri (Montezeri ve Azizian, 2008)



Şekil 10. Rüzgâr kulesi çalışma prensibi (A. Al-Sallal, 2016)

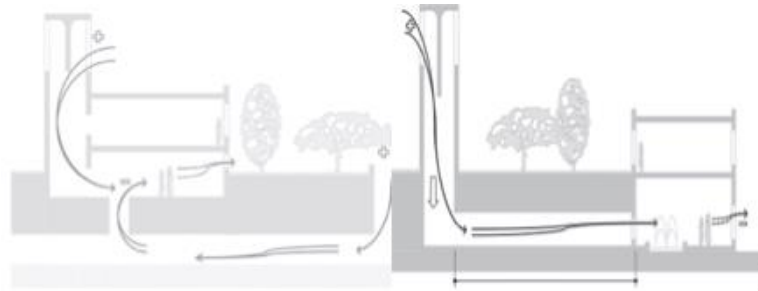
Rüzgâr kuleleri, hava giriş çıkış kanalları ile havalandırma bacası prensibi ile çalışmaktadır. Rüzgârın olduğu durumlarda temiz hava giriş kanalından iç mekâna alınır ve kirli ve ısınmış hava çıkış kanalından dışarı atılarak havalandırma sağlanmaktadır (Şekil 10). Rüzgârın olmadığı durumlarda giriş ve çıkış kanallarında depolanan ısı enerjisi kanal içerisindeki havanın sıcaklığını artırarak havanın hareket etmesini sağlamaktadır. Rüzgâr kulesinin çalışması rüzgâr koşullarına ve günün saatine bağlı olarak dört farklı şekilde gerçekleşmektedir (A. Al-Sallal, 2016; Bahadori, 1978). Bunlar;

- Gece rüzgâr olmadığı zaman: Rüzgârın olmadığı dönemlerde rüzgâr kulesi baca özelliği göstermektedir. Gün içerisinde güneş ışımlarından kaynaklı ısı kazancı rüzgâr kulesinin duvarları tarafından absorbe edilmektedir. Depolanan ısı enerjisi, rüzgâr kulesi boşluğu içerisindeki boşlukta yer alan havaya aktarılarak boşluktaki havanın sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Sıcaklık farkı nedeniyle rüzgâr kulesi içerisindeki hava yukarı yönde hareket ederek bina dışına atılmaktadır.

Bina dışına atılan sıcak havanın yerini pencerelerden binaya giren serin hava kütleli almaktadır. Sıcaklığı yüksek havanın uzaklaştırılması ile soğutma sağlanmaktadır.

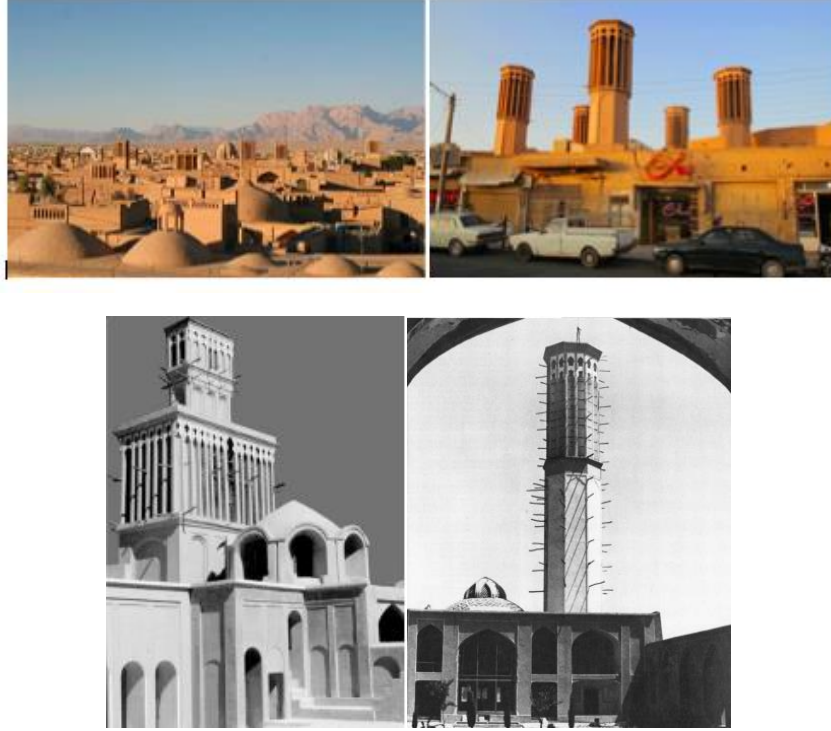
- Gün içerisinde rüzgâr olmadığı zaman: Gündüz rüzgârın olmadığı dönemlerde rüzgâr kulesi ters yönde çalışan bir baca görevini görmektedir. Rüzgâr kulesinin üst ve alt kısımlarındaki sıcaklık farkı nedeniyle oluşan ters yöndeki konveksiyon ile kulenin üst kısımlarındaki soğuk hava aşağı doğru hareket ederek iç mekâna ulaşır ve iç mekândaki sıcak havanın yerini kuleden gelen soğuk hava alır. Kule boşluğunun iç sıcaklığı ortam sıcaklığına ulaştığında kule tekrar baca gibi çalışmaya başlamaktadır.
- Gece ve gün içerisinde rüzgâr olduğu zaman: Kulenin üst kısmında yer alan giriş ve çıkış kanalları ile hava akımları yakalanarak iç mekânlara iletilir. Rüzgâr kulesinin pasif soğutmaya yüksek seviyede katkı yapabilmesi için azami miktarda rüzgârı bina içerisinde yönlendirebilmesi gerekmektedir. Rüzgâr kuleleri hâkim rüzgâr yönüne yönlendirilerek rüzgârın kulenin içerisine girdiği açıklıklar sabit olarak tanzim edilir. Ancak geleneksel mimaride bazı örneklerde rüzgârın kule içerisine girdiği açıklıkların bulunduğu kısmın hareketli yapılarak değişen rüzgâr yönüne göre kulenin yönlenmesi sağlanmıştır. Böylece rüzgâr yönünün değişimi kaynaklı verim kaybının önüne geçilmiştir. Rüzgârdan azami seviyede yararlanmak için rüzgâr kulesinin üst kısmının sabit inşa edilerek üzerinde yer alan açıklıkların kulenin her yönüne yerleştirildiği örnekler de bulunmaktadır (A. Al-Sallal, 2016). Rüzgâr kulesinin yüksekliğinin artırılması ile daha fazla rüzgâr akımının yakalaması hedeflenmektedir. Zemin veya komşu bina seviyesine yakın yapılan rüzgâr kuleleri komşu binaların rüzgârı engelleme potansiyeli nedeniyle daha az rüzgâr akımını bina iç mekânlarına yönlendirecektir. Ayrıca zemin seviyesine yakın inşa edilen rüzgâr kuleleri zemin seviyesindeki toz ve kirliliği de iç mekânlara iletme riskini taşımaktadır (A. Al-Sallal, 2016).

Suyun ısı depolama kapasitesi yüksektir. Bu nedenle su, ısı depolanmasında ve enerji iletilmesinde kullanılan bir akışkandır. Su hava ile temas ettiğinde havanın içerisinde bulunan ısı enerjisini emerek buharlaşır. Buharlaşma ile birlikte havanın sıcaklığı düşmektedir. Buharlaşma ile yapılan soğutma sıcaklığı yükselmiş havanın su ile temas etmesini sağlayarak bünyesindeki fazla ısı enerjisini suya aktarılması ile soğutmanın sağlanmasıdır. Geleneksel mimaride rüzgâr kuleleri ile yapılan soğutmanın performansını arttırmak için buharlaşma ile yapılan soğutma kullanılmıştır. Buharlaşmasının sağlanması için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Rüzgâr kulesinin içerisine veya bina içerisine su kaynağı yerleştirmek, rüzgâr kulesinin binadan daha uzakta konumlandırarak ve kule ile binayı toprak altından bağlayan bir havalandırma kanalı yapılması söz konusu tekniklerdir (Şekil 11) (A. Al-Sallal, 2016). Rüzgâr kulesinin binadan asgari 50 metre uzağa konumlandırılarak bina ile bağlantısı toprak altından giden bir hava kanalı ile sağlanmaktadır. Söz kanalın üzerinde yer alan toprak sulanarak kanalın nemli kalması sağlanmaktadır. Kanalın nemli yüzeyleri havadaki ısıyı emerek soğutma sağlamaktadır.



Şekil 11. Rüzgâr kulelerinde buharlaşma ile yapılan soğutma (A. Al-Sallal, 2016).

Rüzgâr bacalarının plan tipleri, kanal sayısı, malzeme ve yükseklik gibi özellikleri coğrafi bölge, iklim koşulları ve yapım pratikleri gibi ölçütlere göre değişkenlik göstermektedir. İran ve Körfez ülkelerinde sıkça kullanılan pasif soğutma bileşenidir. Özellikle İran'ın vernaküler mimari kimliğine önemli katkıda bulunmuştur (Şekil 12).

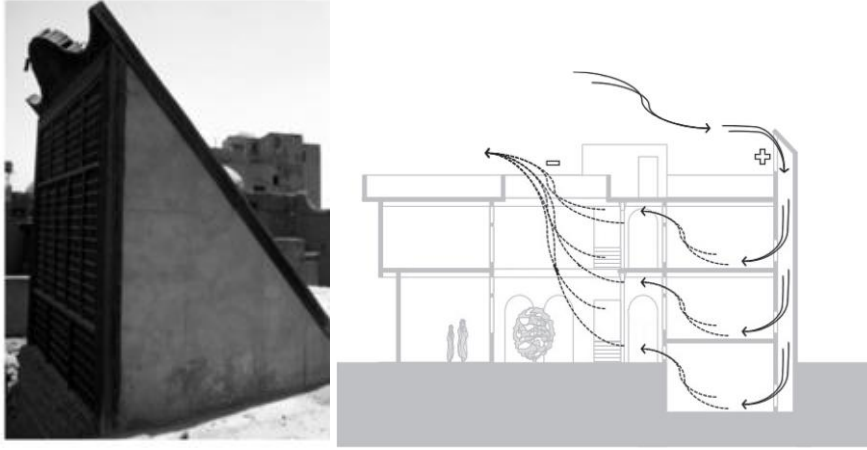


Şekil 12. İran'dan rüzgâr kulesi örnekleri (Patowary, 2015)

Rüzgâr kepçeleri hava giriş kanalı özelliğinden dolayı rüzgâr kulelerinden ayrılmaktadır. Rüzgâr kulelerinde hava giriş ve çıkışı için ayrı kanallar olmasına karşın rüzgâr kepçelerinde sadece rüzgârın giriş yapabileceği kanal yer almaktadır. Hava giriş kanalı hâkim rüzgâr yönüne yerleştirilmesi suretiyle rüzgâr kepçesi tarafından yakalanan hava akımı iç mekânlara iletilmekte, basınç farkı nedeniyle iç mekândaki hava, yapı kabuğundaki açıklıklar vasıtasıyla dışarı atılmaktadır. Rüzgâr kepçeleri Mısır, Irak, Afganistan ve Pakistan'da farklı şekilde adlandırılmaktadır. Mısır'da rüzgâr kepçeleri "malkaf" ya da "mokalaf" olarak adlandırılmaktadır (Bahramzadeh vd. , 2013). Malkaf Farsça kökenli, rüzgâr tutucu anlamına gelen bir kelimedir (A. Al-Sallal, 2016). Şekil 13'de Mısır'da yer alan bir Malkaf örneği görülmektedir. Malkaflar basınç farkı ile oluşan hava hareketi ile çalışmaktadır (Dnyandip vd. , 2019). Malkaf kuzey yönünden gelen soğuk rüzgârları bir ara bölge olarak planlanan eyvandan geçirek binanın merkez bölgesine ulaştırmaktadır. Binanın merkez bölgesi üst kısımlarında açıklıklar bulunan tavan yüksekliği diğer hacimlere göre daha fazla olma özelliğe sahiptir. Merkez bölgede oluşan sıcaklık ve basınç farkı bu hacmin havalandırma ile soğutulmasına olanak sağlamaktadır (A. Al-Sallal, 2016). Mısır'da yapılan malkaflar, dikdörtgen planlı, hâkim rüzgâr yönü olan kuzey batıya yönlendirilmiş ve çatıları rüzgârı etkin bir şekilde yakalayabilmesi için 30°'lik açıya sahiptir (Melikoğlu, 2018; Bahramzadeh vd. , 2013).

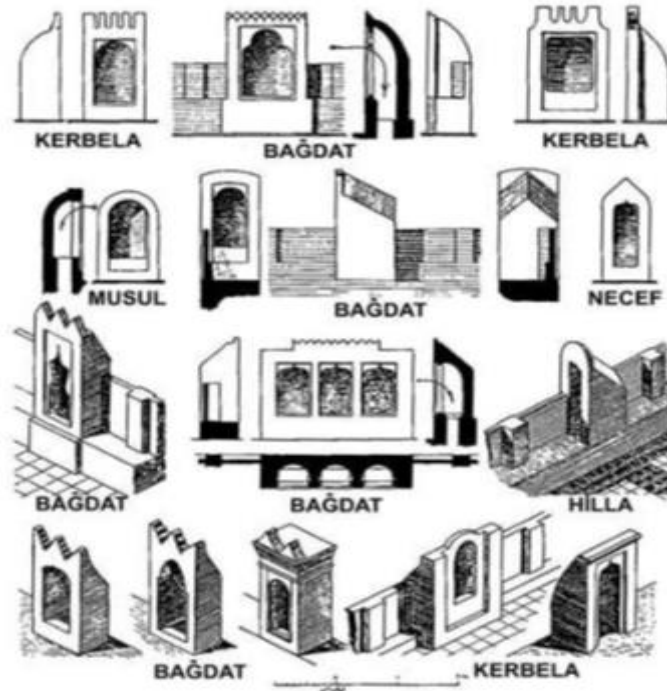


Şekil 13. Mısır'dan malkaf (Rüzgâr Kepçesi) örneği Al-Suhaymi Konağı (Melikoğlu, 2018)



Şekil 14. Bağdat'dan malkaf örneği (A. Al-Sallal, 2016)

Irak'ta rüzgâr kepçeleri "badgir" (baud geer) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 14'de Bağdat'da yer alan bir malkaf görülmektedir (A. Al-Sallal, 2016). Söz konusu rüzgâr kepçesi dikdörtgen plan şemasına ve yaklaşık 2 metre yüksekliğe sahiptir. Rüzgâr kepçesinin 45°'lik açığa sahip çatısı tuğla ve ahşap malzemeden yapılmıştır (A. Al-Sallal, 2016). Gece saatlerinde soğuk rüzgârların rüzgâr kepçesi vasıtası ile iç mekânlara alınması ve enerjinin termal kütleyle sahip kalın taş duvarlarda depolanması sağlanır. Gündüz saatlerinde rüzgâr ve kalın taş duvarların termal kütle etkisi ile sıcak hava binanın ortasında yer alan avlu vasıtası ile bina dışına atılarak soğutma gerçekleştirilir. Rüzgâr kepçeleri Bağdat'ta konut mimarisinde hâlâ kullanılmaktadır. Her odanın kendine ait bir rüzgâr kepçesi bulunmakta, büyük odalarda birden fazla rüzgâr kepçesi kullanılmaktadır. Rüzgâr kepçelerinin şekli ve dekoratif özellikleri Bağdat, Kerbela, Musul, Necef, Hille gibi şehirlerde farklılık göstermektedir (Şekil 15) (Langenegger, 1911).



Şekil 15. Irak'ın farklı şehirlerinden rüzgâr kepçesi örnekleri (Langenegger, 1911)

İran'ın genelinde rüzgâr kepçeleri "badgir" (baud geer) olarak adlandırılmakta ve biçimsel olarak Afganistan'da yer alan rüzgâr kepçelerine benzemektedir (Şekil 16) (Sahebzadeh vd., 2017). Afganistan'da kullanılan rüzgâr kepçeleri diğer ülkelerde kullanılanların aksine daha küçük alana ve 1,5 metre yüksekliğe sahiptir (Aini, 2016).



Şekil 16. İran'ın Sistan vilayetinden rüzgâr kepçesi örneği (Langenegger, 1911)

“Badkhor”, Pakistan’da rüzgâr kepçelerine verilen isimdir. Rüzgâr kepçelerinin planı yaklaşık 1 metrekarelik alana sahipken yükseklikleri de 5 metreyi bulmaktadır (Bahadori ,1978; Bahadori ve Dehghani-sanij 2014). Irak’ta olduğu gibi Pakistan’da da rüzgâr kepçelerinin çatıları 45° açığa sahiptir. Haydarabad şehrinde rüzgâr kepçeleri yaklaşık 500 yıllık geçmişe sahip olup kentin mimari kimliğinde önemli bir yere sahiptir (Şekil 17) (Bahramzadeh vd. 2013).



Şekil 17. Pakistan'ın Haydarabad şehrinde rüzgâr kepçesi örneği (Melikoğlu 2018)

Ülkemizde rüzgâr kepçelerine örnekler ise Urfa ilimizde yer alan bazı geleneksel konutlarda karşımıza çıkmaktadır. Yahya Melikoğlu (2018) gerçekleştirdiği tez çalışmasında Şanlıurfa ilinde özgün yapıları bozulmadan ayakta kalan 5 adet rüzgâr kepçesi tespit etmiştir. Şanlıurfa ilinde yer alan geleneksel konutlarda bir veya iki adet rüzgâr kepçesine rastlanmaktadır (Melikoğlu 2018). Rüzgâr kepçeleri sayısına göre tek adet ise kuzey yönüne, iki adet ise kuzey ve batı veya kuzeybatıya yönlendirildiği tespit edilmiştir (Şekil 18) (Melikoğlu 2018). Rüzgâr kepçeleri ile yakalanan serin hava kanallar vasıtası ile eyvana iletilmektedir. Şanlıurfa’da yer alan rüzgâr kepçeleri biçimsel olarak Irak’taki örnekler ile benzerlik göstermektedir (Melikoğlu 2018). Şekil 19’da hem terasa çıkan merdivenkovanı hem de rüzgâr kepçesinin terastan ve sokaktan görünüşü ile günümüzde varlığını koruyan bazı rüzgâr kepçelerinin sokaktan görünüşü yer almaktadır.



Şekil 18. Şanlıurfa'dan rüzgâr kepçesi örneği (Melikoğlu 2018)



Şekil 19. Şanlıurfa'dan rüzgâr kepçesi örneği (Melikoğlu 2018)

### 3. SONUÇ

Binalarda konfor koşullarının sağlanması için tüketilen enerji ekonomik sorunlara, çevresel sorunlara ve sınırlı kaynakların tükenmesine neden olmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin önemli kısmı binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi ihtiyacı için gerçekleşmektedir. Bu nedenle binaların pasif sistem olarak tasarlanması binaların aktif sistemlere olan ihtiyacını azaltarak enerji tüketimlerini önemli ölçüde azaltacaktır. Fosil yakıt tüketiminin neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliği olayları insan yaşamı için ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Soğutma kaynaklı elektrik tüketiminin neden olduğu karbondioksit salımının engellenmesi için pasif soğutma yöntemlerinin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada binalarda pasif soğutma yöntemleri ve sıcak iklim bölgelerinde yer alan geleneksel konut mimarisindeki pasif soğutma yöntemlerinin uygulanma türleri aktarılmıştır.

Sıcak iklim bölgelerinde binaların enerji tüketiminin önemli kısmını soğutma enerjisi ihtiyacı oluşturmaktadır. Soğutmada kullanılan aktif sistemlerde yakıt olarak elektrik kullanılmaktadır. Tablo 1'de görüldüğü üzere Elektrik üretim şekline bağlı olarak birçok yakıt türünden daha fazla karbondioksit salımına neden olmaktadır (BEP-TR, 2010). Binalarda gerçekleşen soğutma enerjisi tüketiminin azaltılması enerji verimliliği ve karbondioksit salımının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Binalarda pasif soğutma yöntemlerinin kullanılması ile konfor koşullarının sağlanması mümkündür. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde yer alan geleneksel konutlarda pasif soğutma yöntemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabildiği görülmüştür. Geleneksel mimaride pasif soğutma yöntemlerinin kullanılma yoğunluğu ve şekli bölgelere göre farklılık göstermektedir. İncelenen örneklerde bölgenin iklim yapısına bağlı olarak tüm pasif soğutma stratejilerinin uygulanmaya



çalışıldığı görülmüştür. Yöntemler iklim, topoğrafya, yapım teknolojisi ve mimari kimlik gibi ölçütlere bağlı olarak farklı düzeylerde tercih edilmektedir. Kentsel doku ve topoğrafya rüzgâr kulesi ve/veya rüzgâr kepçesi gibi uygulamaların verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle özellikle rüzgâr kulesi ve rüzgâr kepçesi tasarımlarında ülkelere göre farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu farklılıklar, boyutlar, yükseklik ve çatı eğimi gibi özelliklerde karşımıza çıkmaktadır. Rüzgâr kuleleri ve kepçeleri incelendiğinde yüksekliklerinin 1 ila 5 metre olduğu, nadir olarak daha fazla yüksekliğe sahip oldukları tespit edilmiştir. Özellikle topografik özelliklere bağlı olarak rüzgâr kule ve kepçelerinin yüksekliklerinin değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yamaçlara yerleşilen kentlerde rüzgâr kulesi ve kepçesi yüksekliklerinin vadi tabanına yerleşen kentlerdekilere göre verim alınabilmesi için daha yüksek yapıldığı tespit edilmiştir. Pasif soğutma için kullanılan yöntemlerin bölgelerin mimari kimliğinin oluşmasında ve kentsel estetik üzerinde ciddi etkisi bulunmaktadır. Özellikle rüzgâr kulesi ve rüzgâr kepçeleri pasif soğutma bileşenlerinin bina tasarımına entegrasyonu İran ve Pakistan gibi ülkelerin bazı bölgelerinde mimari kimliğin oluşmasına önemli katkı sunmuştur.

Günümüzde binaların soğutma enerjisi tüketimlerinin azaltılmasında pasif soğutma yöntemlerinin mimari tasarıma adapte edilmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak söz konusu adaptasyonun sınırlı düzeyde kaldığı görülmektedir. Özellikle rüzgâr kulesi ve rüzgâr kepçesi gibi uygulamalar günümüz mimari tasarımlarında sınırlı örneklerde karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Ortadoğu bölgesinde yenilikçi rüzgâr kepçesi tasarımları karşımıza çıkmaktadır (Şekil 20 ve 21). Günümüzde ısı kazancın aktif gölgeleme elemanları ile kontrolünü sağlanması ve faz değiştiren malzemeler ile ısı kazançların modülasyonu gibi teknikler giderek daha sık şekilde kullanılmaktadır. Enerji verimliliği ve karbondioksit salımlarının azaltılması tasarımda bütüncül bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Bina tasarımında coğrafya, iklim ve bina tipolojisi dikkate alınarak binalar pasif sistem olarak tasarlanmalıdır.



Şekil 20. Masdar Enstitüsü binasından (Abu Dabi) rüzgâr kepçesi örneği (Melikoğlu 2018)



Şekil 21. Prensess Nora Üniversitesi Binasından (Suudi Arabistan) rüzgâr kepçesi örneği (Melikoğlu 2018)

## EXTENDED ABSTRACT

### *Research Problem & Purpose*

It is known that a significant part of the environmental problems is caused by energy and fossil fuel consumption, which are used by the buildings. A significant portion of the energy consumption in the buildings is carried out by heating, cooling, ventilation, and lighting in order to provide comfortable conditions inside them. Recently, energy efficiency is on the world agenda for reasons such as economic, sustainability, environmental, and energy supply security. Besides these, cooling energy consumption in the buildings, especially in the hot climate regions, constitutes a significant percentage of the energy consumption. Meeting the cooling energy need from non-renewable energy sources in order to ensure comfort conditions increases the energy cost and the carbon dioxide emission by using fossil fuel consumption. On the other hand, traditional architectural residences by their passive

system design reduce cooling energy consumption to a minimum while they provide comfortable conditions. An important portion of passive cooling techniques has been applied in traditional residence architectures, which are located in hot-humid climates, where the cooling need is high. While architectural solutions for these buildings' passive cooling systems provide energy efficiency without compromising thermal comfort conditions. As well as these solutions give architectural identity to the historical urban areas. The aim of this study is to introduce passive cooling methods and architectural design adaptation solutions. In this scope, the examples of these methods in traditional architectural designs will be examined too.

### **Methodology**

Literature review was used as a method within the scope of the study. Within the scope of literature review, various post graduate thesis, articles, research article and research reports were scanned.

### **Findings**

It has been observed that passive cooling methods can be applied successfully, especially in traditional houses located in hot climate regions. The intensity and form of using passive cooling methods in traditional architecture differ according to regions. In the samples examined, it was observed that all passive cooling strategies were tried to be applied depending on the climatic conditions of the region. Methods are preferred at different levels depending on criteria such as climate, topography, construction technology and architectural identity. Urban texture and topography directly affect the efficiency of applications such as wind tower and/or wind scoop. For this reason, it has been determined that there are differences according to countries, especially in wind tower and wind scoop designs. These differences appear in features such as dimensions, height and roof slope. When the wind towers and scoops were examined, it was determined that their heights were between 1 and 5 meters, and they rarely had more heights. It has been observed that the heights of the wind towers and scoops vary depending on the topographic features. It has been determined that the heights of the wind tower and scoop in the cities located on the slopes are higher than those in the cities located on the valley ground in order to obtain efficiency. The methods used for passive cooling have a serious impact on the formation of the architectural identity of the regions and on the urban aesthetics. In particular, the integration of passive cooling components of wind tower and wind scoops into building design has made a significant contribution to the formation of architectural identity in some regions of countries such as Iran and Pakistan. Nowadays, it is of great importance to adapt passive cooling methods to architectural design in reducing the cooling energy consumption of buildings. However, it is seen that the adaptation in question remains at a limited level. In particular, applications such as wind tower and wind scoop are encountered in limited examples in today's architectural designs. Especially in the Middle East region, innovative wind scoop designs emerge. Today, techniques such as controlling the thermal gain from sun light with active shading elements and modulation of thermal gains with phase change materials are used more frequently.

### **Conclusions and Recommendation**

The energy consumed to provide comfort conditions in buildings causes economic problems, environmental problems and depletion of limited resources. A significant portion of the energy consumption in buildings is realized for the heating, cooling and lighting energy needs of the buildings. For this reason, designing buildings as passive system will reduce the need for active systems of buildings and significantly reduce energy consumption. Global warming and climate change events caused by fossil fuel consumption have become a serious threat to human life. It is of great importance to apply passive cooling methods in order to prevent carbon dioxide emissions caused by cooling-related electricity consumption. In hot climate regions, a significant part of the energy consumption of buildings is the need for cooling energy. Electricity is used as fuel in HVAC systems for cooling. Depending on the way electricity is produced, carbon dioxide emissions occur at different levels. Reducing the cooling energy consumption in buildings is of great importance in terms of energy efficiency and reduction of carbon dioxide emissions. It is possible to provide comfort conditions by using passive cooling methods in buildings. Energy efficiency and reduction of carbon dioxide emissions require a holistic approach in design. Buildings should be designed as passive systems by considering geography, climate and building typology in building design.

### **KAYNAKLAR**

- A. Al-Sallal, kh., (2016). *Low Energy Low Carbon Architecture Recent Advances & Future Directions*. CRC Press.
- Aini, A. H., (2016). Numerical Study of Flow Patterns in the Windcatchers in Herat, Afghanistan By using Computational Fluid Dynamic, *International Multilingual Journal of Science and Technology*, 1(1):31-36
- Alkhayyat, J. (2013). *Design Strategy for Adaptive Kinetic Patterns: Creating a Generative Design for Dynamic Solar Shading Systems*, M.Sc thesis, University of Salford., Manchester, UK, pp. 78–80.

- Bahadori, M. N. ve Dehghani-sanij, A. (2014). Wind Towers: Architecture, *Climate and Sustainability*, Springer International Publishing, Sayfa:212. İsviçre.
- Bahadori, M., N., (1978). Passive cooling systems in Iranian architecture, *Sci. Am.*, 238(2), 144-154.
- Bahramzadeh, M., Sadeghi, B. ve Rou, S.S., (2013), A comparative study to compare the wind catcher types in the Architecture of Islamic Countries, *Journal Basic and Applied Scientific Research*, 3(2): 312-316.
- Barthelmes, V. ,M., Becchio, C. ve Corgnati, S., P., (2016). Occupant behavior lifestyles in a residential nearly zero energy building: Effect on energy use and thermal comfort, *Science and Technology for the Built Environment*, 22 (7), 960-975.
- BEP-TR, (2010). *Binalarda enerji verimliliği yönetmeliği*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Bhamare, DK. Rathod, M. ve Banerjee, J., (2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art, *Energy and Buildings*, 198, 467-490.
- Cilento, K., (2012). Al Bahar Towers Responsive Facade / Aedas, ArchDaily, <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> (Erişim Tarihi: 15 Ocak 2021)
- Daghigh, R., (2015). Assessing the thermal comfort and ventilation in Malaysia and the surrounding regions, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 48, 682-691.
- Dnyandip K. Bhamare, ManishK. Rathod , Jyotirmay Banerjee.(2019). Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art, *Energy and Buildings*, 198, 467-490.
- Ellfeldt, A., (2020). The World Needs to Ramp Up Solutions for Greener Cooling, E&E News, Scientific American, <https://www.scientificamerican.com/article/the-world-needs-to-ramp-up-solutions-for-greener-cooling/> (Erişim tarihi: 15 Aralık 2020)
- Engin, N., (2012). Enerji etkin tasarımda pasif iklimlendirme: doğal havalandırma, *Tesisat Mühendisliği*, 129, 62-70.
- Hejazi, B. ve Hejazi, M., (2014). Persian wind towers: Architecture, cooling performance and seismic behaviour, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 9 (11): 56-70.
- Hillenbrand, R. (2004). *Islamic Architecture: Form, function and Meaning* ,Columbia University Press.
- Hyemi, K., Soon P., Kuyng ve Hwan Yong, K., (2018). Study on variation of internal heat gain in office buildings by chronology, *Energies*, 14 (4), 2-16.
- IEA (2019). World Energy Outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (Erişim tarihi: 20 Ekim 2020)
- Köse, E., (2019). *Binalarda enerji korunumu açısından yapı bileşenlerinde kullanılan faz değiştiren malzemelerin performansının değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Langenegger, F., (1911). *Die Baukunst des Iraq*, Gerhard Kuhtmann, Dresden.
- Mahmoudi, M., (2006). Wind catcher: An attractive and charming feature of Yazd city, *Bagh-e Nazar*, 3(5): 91-99.
- Mandalaki M., Zervas K, Tsoutsos T. ve Vazakas A., (2012). Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use, *Solar Energy*, 86-9, 2561-2575.
- Manioğlu, G. ve Yılmaz, Z., (2008). Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey, *Building And Environment*, 43, 1301-1309.
- Melikoğlu, Y., (2018). *Geleneksel yaşam alanlarından öğrenilen sürdürülebilir dersler: Şanlıurfa'nın geleneksel rüzgâr yakalayıcıları*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye.
- Melikoğlu, Y. ve Bekleyen A. (2018). Şanlıurfa'nın Geleneksel Rüzgâr Yakalayıcıları: Kaybolan Bir Gelenekün Günümüze Kadar Gelen Örnekleri, *ECJSE Journal*, 8,1, 268-286.
- Montezeri, H., ve Azizian, R., (2008). *Experimental study on natural ventilation performance of onesided wind catcher*, Building and Environment, 43(12): 2193-2202.
- Oudeh, Sh., (2018). *Sürdürülebilirlik bağlamında geleneksel ve yerel mimari: geleneksel İran mimarisi*, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Patowary, K., (2015). The Wind Catchers of Iran, *AmusingPlanet*, <https://www.amusingplanet.com/2015/02/the-wind-catchers-of-iran.html> (Erişim Tarihi: 8 Ocak 2021)

- Ritchie, H., Roser, M. ve Rosado, P. (2020) - "Energy". <https://ourworldindata.org/energy> (Erişim tarihi: 20 Ekim 2020)
- Roaf, S., (1998). *The wind catcher of Yazd*, (PhD Thesis), Oxford Polytechnic, Department of Architecture, Oxford, UK.
- Sahebzadeh, S., Heidari, A., Kamelnia, H. ve Baghbani, A., (2017). *Sustainability features of Iran's Vernacular Architecture: A comparative study between the architecture of hot-arid and hotarid-windy regions*, Sustainability, 9(5), Art. No. 749.
- Santamouris, M., ve Asimakopoulos, D., (1996). *Passive cooling of buildings*, Earthscan from Routledge.
- Yılmaz, Z., (2005). Akıllı Binalar, 7. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 23-26 Kasım, 387-398.