



ULUSLARARASI (BİYO)İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SEMPOZYUMU 2022



BİLDİRİLER KİTABI

24 - 25 MART



ERTUALAKADEMİ



ULUSLARARASI (BİYO)İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

@2022 Atatürk Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
Erzurum

Editörler: Doğan Dursun, Defne Dursun, Merve Yavaş

ISBN No: 978-625-7960-37-3

Sertifika No: 42997

Bu kitap e-kitap olarak yayınlanmıştır.

Etik ve yasal sorumluluklar yazarlara aittir.

e-posta: mimarliktasfak@atauni.edu.tr

<https://birimler.atauni.edu.tr/mimarlik-ve-tasarim-fakultesi/>



BCCS2022

(Bio)Climate Change Symposium 2022 - Conference Proceedings

<https://bccs2022.atauni.edu.tr/en/>

Copyright@Authors, BCCS2022 Symposium, Erzurum

İklim Değişikliği Bağlamında Isı Adası Etkisinin Azaltılmasına Yönelik Sürdürülebilir Soğutma Yaklaşımı

Mehmet Oğuz DURU^{a1}, İlhan KOÇ^{a2}

Sorumlu Yazar: Mehmet Oğuz DURU; E-mail:moduru@ktun.edu.tr

Özet

Günümüzde insanlığın karşılaştığı en büyük zorlukların başında küresel iklim değişikliği gelmektedir. Yapılan araştırmalar, küresel iklim değişikliği etkisinin, 1951 yılından günümüze her on yılda, yeryüzü sıcaklığını 0.12°C artmasına neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu değişim; kuraklık, orman yangınları, deniz ekosistemlerinin bozulması, bitkisel üretkenliğin düşmesi, buzulların eriyerek deniz seviyelerinin yükselmesi, birçok canlı habitatının yok olması gibi çevresel tehlikelerin görülme sıklığını ve büyüklüğünü artırmıştır. Bu çalışmanın amacı, küresel sıcaklığın artmasıyla ortaya çıkan kentsel ısı adası olgusunun negatif etkilerini azaltmaya yönelik hem kent ölçeğinde hem de yapı düzeyinde sürdürülebilir soğutma alternatiflerinin tespit edilerek, öneriler getirmek olarak belirlenmiştir. Sürdürülebilir soğutma yöntemlerinin irdelendiği bu çalışmada, kapsamlı literatür analiziyle elde edilen verilerin, amaç doğrultusunda sentezlenmesini içeren niteliksel araştırma yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, günümüzün en önemli iklimsel sorunlarının başında gelen küresel sıcaklık artışı ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir soğutma yaklaşımının; uygulama yöntemleri, sağlayacağı avantajlar ve iklim değişikliği ile mücadeledeki önemi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Kentsel ısı adası
Sürdürülebilir tasarım
İklim değişikliği
İklim odaklı tasarım

Sustainable Cooling Approach to Reduce the Heat Island Effect in the Context of Climate Change

Abstract

Nowadays global climate change is one of the biggest challenges facing humanity. Studies have revealed that the effect of global climate change has caused the earth's temperature to increase by 0.12°C every ten years since 1951. This change: It has increased the incidence and magnitude of environmental hazards such as drought, forest fires, degradation of marine ecosystems, decreased vegetative productivity, melting of glaciers and rising sea levels, and destruction of many living habitats. The aim of this study is to identify sustainable cooling alternatives both at the city scale and at the building level and to make suggestions in order to reduce the negative effects of the urban heat island phenomenon that arises with the increase in global temperature. In this study, in which sustainable cooling methods are examined, qualitative research methods including the synthesis of the data obtained from the comprehensive literature analysis in line with the purpose were applied. As a result of the study, the sustainable cooling approach aimed at reducing the global temperature increase and urban heat island effect, which is one of the most important climatic problems of today; application methods, the advantages it will provide and its importance in the fight against climate change have been obtained.

Keywords

Urban heat island
Sustainable design
Climate change
Climate-oriented design

1. GİRİŞ

^{a1} Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya.

^{a2} Konya Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya.

Günümüzde insanlık sıcaklığı değeri devamlı olarak yükselen bir dünyada yaşamaktadır. Amerikan Ulusal Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA-National Aeronautics and Space Administration) verilerine göre, 2020 yılı ortalama yeryüzü sıcaklığı son yüzyıldan yaklaşık 1.3°C daha yüksek değere sahip olarak, kayıtlara geçen en sıcak yıl olmuştur. Buna ilaveten, 2014-2020 yılları arasındaki yedi yıllık dönem son 140 yılın en sıcak periyodu olarak tespit edilmiştir. İnsan kaynaklı faaliyetlerle sürekli artan sera gazı emisyonunun bir sonucu olan bu durum, eğer gerekli önlemler alınmaz ise küresel bir felaket olmaya doğru gitmektedir. Artan nüfus ve hızlı şehirleşme gibi nedenler küresel ısınma etkisinin en çok kentsel alanlarda hissedilmesine yol açmaktadır.

Uluslararası gerçekleştirilen birçok bilimsel çalışma, dünya üzerinde yoğun göç alan şehirlerin yüzey sıcaklığının 2100 yılına kadar yaklaşık olarak 4°C artabileceğine işaret etmektedir (Zhao ve ark., 2021). Tahmin edilen bu artış düzeyi, Paris İklim Anlaşması'nda küresel sıcaklık artışının eşik değeri olarak belirlenen 1.5°C'yi oldukça fazla geçmektedir. Sıcaklık değerleri yükselen şehirler hem insanlar hem de diğer canlılar için tehdit edici düzeyde olmaktadır. Yüksek sıcaklık olarak kabul edilen ortalama 35°C yaz sıcaklığına maruz kalan kentsel nüfusun, bu yüzyılın yarısına varmadan %800 artarak 1.6 milyar kişi olması beklenmektedir (C40, 2021). Dolayısıyla bu durum; sağlık ve üretkenliğe kaybına yol açmakta ve soğutma için gerekli olan enerji kullanım miktarını artırmaktadır. Fosil esaslı enerji kullanımıyla gerçekleştirilen soğutma yöntemleri ise başta CO₂ olmak üzere birçok sera gazının atmosfere salınmasına neden olarak iklim değişikliği etkisini hızlandırmaktadır.

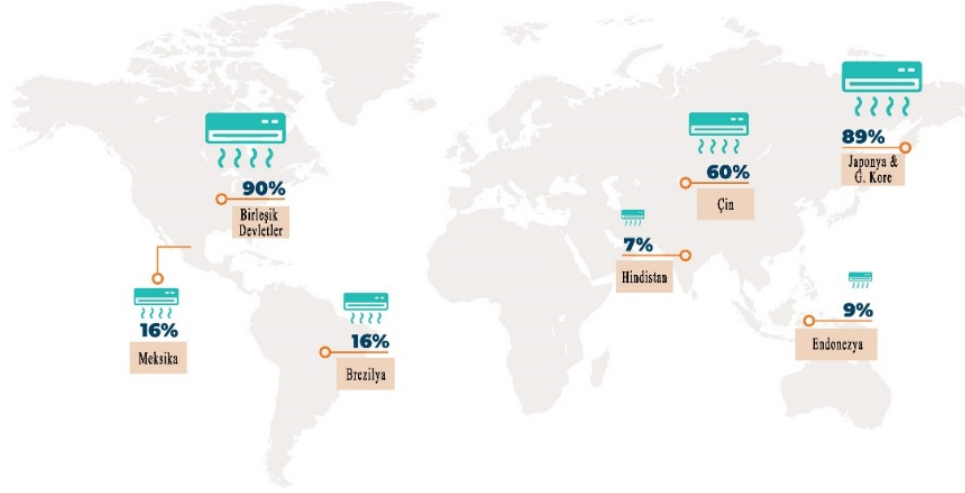
Enerji kullanımına yönelik gelecek tahminin yapıldığı bir bilimsel çalışmada, binaların iç ortam konfor koşullarının sağlanmasına yönelik talebin 2016 yılından 2050'e kadar yaklaşık olarak %300 yükseleceği belirlenmiştir. 2016 yılında gerçekleşen 2.020 TWh (terawatt-hour) elektrik tüketimi 2050 yılında 6.200 TWh olması beklenmektedir. Tahmin edilen bu değer yaklaşık olarak, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya'nın toplam elektrik tüketimine eş değerdir (Enerdata, 2021). Ayrıca, iklimlendirme için kullanılan mekanik soğutma

sistemleri, atık ısı içeren CO₂ gazını atmosfere bırakmakta ve kentsel alanların daha fazla ısınmasına neden olacak verimsiz döngüye neden olmaktadır. Günümüzde küresel olarak iç ortam soğutması için tüketilen enerji düzeyi toplam elektrik tüketiminin %13'lük payına sahipken, bu değer 2050 yılında %30-50 arasında olacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2018). Elektrik tüketimindeki söz konusu artış, benzer şekilde CO₂ içeren sera gazı salınımını da olumsuz etkilemektedir. 2016-2050 yılları arası soğutma için tüketilecek fosil esaslı enerji kaynaklarından dolayı küresel karbon salınımının seviyesinin günümüz değerlerine göre %18 daha fazla gerçekleşecektir tahmin edilmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA-International Energy Agency) gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanılmasına rağmen, önümüzdeki otuz yılda binaların soğutulması nedeniyle ortaya çıkan dolaylı karbon emisyonlarının iki katına çıkabileceği bildirilmiştir. 2016 yılında 1.135 milyon ton eşdeğer karbon olan salınım değerinin, 2050 yılında 2.070 milyon ton eşdeğer olacağı düşünülmektedir. Hesaplanan değer dolaylı emisyonları içermektedir. Doğrudan emisyonlarında dikkate alınması durumunda ise, sadece konutlarda kullanılan soğutma sistemlerinin ortaya çıkaracağı sera gazı miktarının, 2100 yılına kadar küresel sıcaklığı 0.5°C artıracığı ön görülmektedir (Campbell ve ark., 2018). Dolayısıyla, kentsel alanlarda devamlı yükselen sıcaklık etkisine karşı çözüm yolu olarak mekanik sistemlerin seçilmesi sürdürülebilir ve ekolojik olmaktan uzaktır.

Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun gelir seviyesindeki artış ve üreticilerinin alternatif mekanik sistemleri kullanıcıya sunmuş olması gibi nedenler, iç ortam soğutmasında bu çözümün tercih edilmesini kolaylaştırmasına rağmen, doğal çevre üzerindeki olumsuz etkisi çoğu zaman göz önünde bulundurulmamaktadır. Doğal çevre üzerindeki olumsuz etkisinin yanında ekonomik olarak da sürdürülebilir olmayan mekanik soğutma yaklaşımı, dünya üzerinde birçok ülkede hane halkı tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Şekil 1) (Campbell ve ark., 2018). Kentsel ısı adası nedeniyle meydana gelen iklim değişikliğinin ekonomik etkisinin belirlenmesi amacıyla en kalabalık

1.692 farklı şehirde gerçekleştirilen bir araştırmaya göre, araştırma bölgesinde yaşayanların, dünyanın geri kalan toplam nüfusuna göre iki kat daha fazla bir maliyet yüklenmek zorunda kaldıkları tespit edilmiştir (Estrada ve ark., 2017).



Şekil 1. Dünyada Hane Halkının Mekanik Soğutma Çözümü Kullanımı (Campbell Ve Ark., 2018)

Bu çalışmada, kentsel alanlarda birçok olumsuz etkiye neden olan ısı adası etkisinin (UHI-Urban Heat Island) azaltılmasına yönelik sürdürülebilir soğutma yaklaşımı ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında; ısı adası etkisi kavramsalının tanımlanması, bu olumsuz etkiye karşı hem kentsel ölçekte hem de bina ölçeğinde geliştirilecek sürdürülebilir soğutma yaklaşımları irdelenmektedir. Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkisinin her geçen gün daha fazla hissedilmeye başladığı günümüzde, makro ölçekte kentsel planlama kararlarından başlayarak, mikro ölçek olarak kabul edilen bina tasarımına kadar karar verici paydaşların koordinasyon içinde olması artık bir zorunluluk olmuştur. Ayrıca çalışmada, kentsel alanların oluşturulmasında koordinasyon içinde olması gereken bütün paydaşlara sürdürülebilir soğutma yaklaşımı kavramının tanıtılması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

Isı adası etkisi etkisinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir soğutma yaklaşımının irdelendiği çalışmada hem kentsel ölçek hem de bina ölçeği materyal olarak belirlenmiştir. Böylelikle iklim

değişikliği ile mücadele bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Çalışmanın materyalini oluşturan kentsel alanlar ve binalar genellikle, kentsel ısı adası etkisinin çok daha fazla hissedildiği sıcak ve nemli iklim bölgelerindeki yer almaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir soğutma için getirilen öneriler farklı iklim bölgelerinde de olumlu sonuçlar verebilmektedir.

2.2. Methot

“Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilir soğutma yaklaşımının sağlayacağı avantajlar nelerdir?”, “Sürdürülebilir soğutma yaklaşımı uluslararası literatürde nasıl ele alınmakta ve değerlendirilmektedir?”, “Kentsel alanların sıcaklıkları devamlı olarak neden yükselmektedir?” ve “Sürdürülebilir soğutmanın hem kentsel hem bina ölçeğinde bütüncül yaklaşımı mümkün müdür?” gibi önemli araştırma sorularına cevap arayan bu çalışma, niteliksel araştırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. 1. Adım olarak belirlenen araştırma sorularında; çalışmanın ortaya çıkmasına neden olan sorular belirlenmiş ve bu sorular etrafında çalışma geliştirilmiştir. 2. Adım’a geçilmeden önce gerçekleştirilen

kapsamlı literatür araştırmasıyla sürdürülebilir soğutmaya ilişkin okumalar yapılmıştır. 2. Adım'da uluslararası literatür üzerinden gerçekleştirilen okumalar aracılığıyla kavramsal çerçeve belirlenmiş ve analiz edilmiştir. 3. Adım'da elde edilen veriler "kentsel ölçek" ve "bina ölçeği" olmak üzere iki başlıkta sentezlenmiş ve bulgular irdelenmiştir. Son olarak 4. Adım'da ise bir önceki adımda üretilen bilimsel çıktılar, öneri ve sonuç haline getirilerek çalışma tamamlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan Niteliksel Araştırma Metodunun Aşamaları

3. KENTSEL ISI ADASI ETKİSİ

Nüfus artışıyla birlikte gelişen kentsel alanlar, doğal çevrenin değişmesine neden olmaktadır. Açık araziler ve bitki örtüsü yerini kentsel kullanım için gerekli olan binalara, yollara ve alt yapı sistemlerine bırakmaktadır. Kentsel kullanım öncesi geçirgen ve nemli olan doğal arazi yüzeyleri zamanla geçirimsiz ve kuru sert zeminler haline gelmektedirler. Dolayısıyla geçirimsizliği azalan ve kuru olan kentsel

bölgeler, doğal arazi ve bitki örtüsüne sahip kırsal bölgelere kıyasla daha sıcaktır. Bu değişim, kentsel ısı adası etkisi oluşumuna neden olmaktadır. Birçok yerleşke (şehir veya banliyö) kendilerini çevreleyen kırsal bölgelere oranla daha yüksek sıcaklıkta olmaktadır. Yaklaşık olarak bir milyon veya daha fazla kişinin yaşadığı bir şehrin yıllık ortalama sıcaklığı çevresine göre 1°-3°C daha yüksek olduğu ölçümlenmiştir. Bununla birlikte, kırsal bölgelerde açık ve serin gecelerde sıcaklık farkının 12°C'ye kadar çıktığı bilinmektedir. Yerleşim bölgesinin büyüklüğüne göre değişebilen ısı adası etkisi; "yüzeysel (surface)" ve "atmosferik (atmospheric)" olmak üzere iki farklı biçimde belirlenmiştir (Şekil 3) (EPA, 2008).



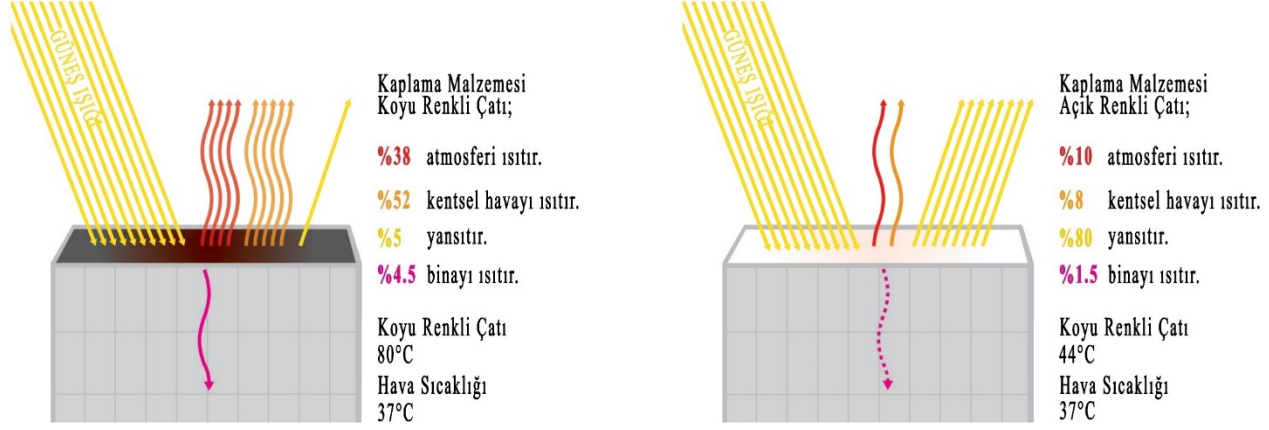
Şekil 3. Isı adası etkisinin yerleşim bölgelerine göre değişimi (URL-1, 2022)

3.1. Yüzeysel Isı Adası Etkisi

Güneş ışınlarının doğrudan; çatı ve yol kaplaması, bina yüzeyleri, kaldırımlar gibi insan eliyle üretilmiş yüzeylerde oluşturduğu etkidir. Güneş ışınları, geçirimsiz ve kuru yüzeylerde yansımadan (emilerek) kalmakta ve yüzeyin sıcaklık değerini yükseltmektedir. Sıcak bir yaz gününde çatı ve asfalt gibi yüzeyler bulunduğu dış mekân hava sıcaklığından 27°-50°C arasında daha yüksek bir değere sahip olabilmektedir. Söz konusu bu sıcaklık farkı geçirgen ve nemli olan kırsal bölgelerde ise oldukça düşmektedir. Yüzeysel ısı adası, gündüz ve gece fark etmeksizin etkisini sürdürmekle birlikte özellikle güneşin tam tepede olduğu gündüz saatlerinde çok daha belirgin olmaktadır. Mevsimlere göre değişkenlik gösteren yüzeysel ısı adası etkisi aynı zamanda güneş yoğunluğu, zemin kaplaması ve hava şartlarında bağlı olarak da farklılık gösterebilmektedir (EPA, 2008). Birçok farklı bilimsel çalışmada, kentsel bir alana gökyüzünden bakıldığında yaklaşık olarak

%60'nın çatı ve zemin yüzeyleri (asfalt yollar, kaldırımlar vb.) gibi insan eliyle meydana getirilmiş bileşenlerden oluştuğu tespit edilmiştir. %20-25 çatı yüzeyi ve %30-45 zemin kaplaması oranında olan bu yüzeyler, güneşten gelen ışınlarının %80 üzerinde emilimini

(absorbe) gerçekleştirerek, güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olmaktadır. Meydana gelen ısı enerjisi, binaların sıcaklığını arttırarak soğutma yükünü fazlalaştırmaktadır (Şekil 4) (LBNL, 2012).



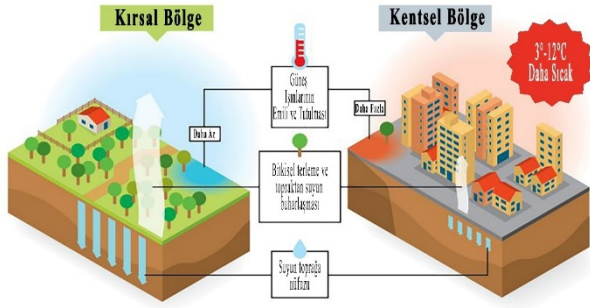
Şekil 4. Kaplama Malzemesinin Yüzeysel Isı Adası Oluşumuna Etkisi (LBNL, 2012)

Söz konusu bu durumun oluşmasında kentsel yüzeylerin termal özellikleri neden olmaktadır. Kentsel yüzeylerin termal özellikleri kırsal alanlara göre oldukça farklıdır. Çatılar, yollar ve kaldırımlarda kullanılan malzemeler doğrudan kentsel yüzey alanlarının termal özelliklerini belirlemektedir. Isı tutma ve soğuma (heating and cooling), termal iletkenlik (thermal conductivity) ve yansıtma (reflectivity) gibi malzeme bazlı değişebilen değerler, doğrudan yüzeysel ısı adası etkisine katkıda bulunmaktadır. Yüzeylerin gelen güneş radyasyonunu yansıtma değeri olan albedo, ısı adası etkisi çalışmalarında en önemli konulardan birisi oluşturmaktadır. Yüzeylerin ısı tutucu niteliklerinin belirlenmesinde albedo değeri oldukça önemlidir. Her malzemeye özgü olarak belirlenen bu değer, 0 ve 1 arasında değişmektedir. 0 değeri yansıtma (%0) özelliği göstermeyi temsil ederken, 1 değeri ise tam yansıtma (%100) niteliğine işaret etmektedir (Şekil 5) (Erell ve ark., 2011).



Şekil 5. Albedo değerinin 0-1 arasında değişimi (URL-2, 2022)

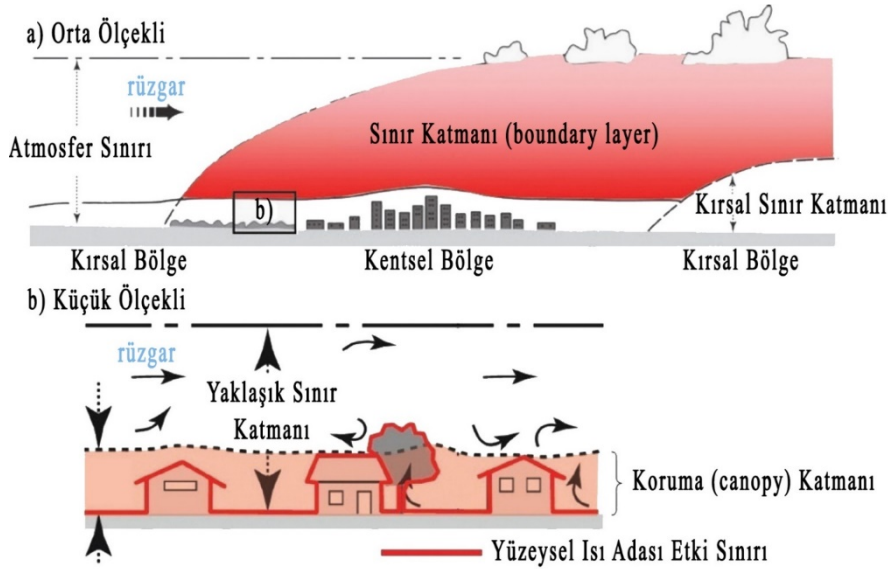
Yüzeysel ısı adası etkisi, günümüzde kentsel bölgelerin karşılaştığı en önemli sorunların başında gelmektedir. Yapı malzemelerinin termal özellikleri dikkate alınmadan gerçekleştirilen inşa faaliyetleri doğrudan kentsel bölgenin ortalama sıcaklığını, en yakın kırsala göre arttırmaktadır. Ayrıca, kentsel alanların planlama aşamasında çoğu zaman göz ardı edilebilen yeşil alanlar, doğal bitki örtüsü ve kent dokusu içinde ağaçlandırma gibi yüzeysel ısı adası etkisini azaltan adımlar atılmamaktadır. Halbuki söz konusu bu alanlar; yağmur suyunu tutarak, hem toprak bünyesine alabilen hem de buharlaşma ile ortamın sıcaklığını azaltabilen peyzaj alanları yüzeysel ısı adası etkisinin düşürülebilmesini sağlamakta ve sürdürülebilir soğutma yaklaşımına katkıda bulunmaktadır (Şekil 6) (EPA, 2008).



Şekil 6. Kentsel bölgelerin yüzey sıcaklığını etkileyen diğer faktörler (URL-3, 2022)

3.2. Atmosferik Isı Adası Etkisi

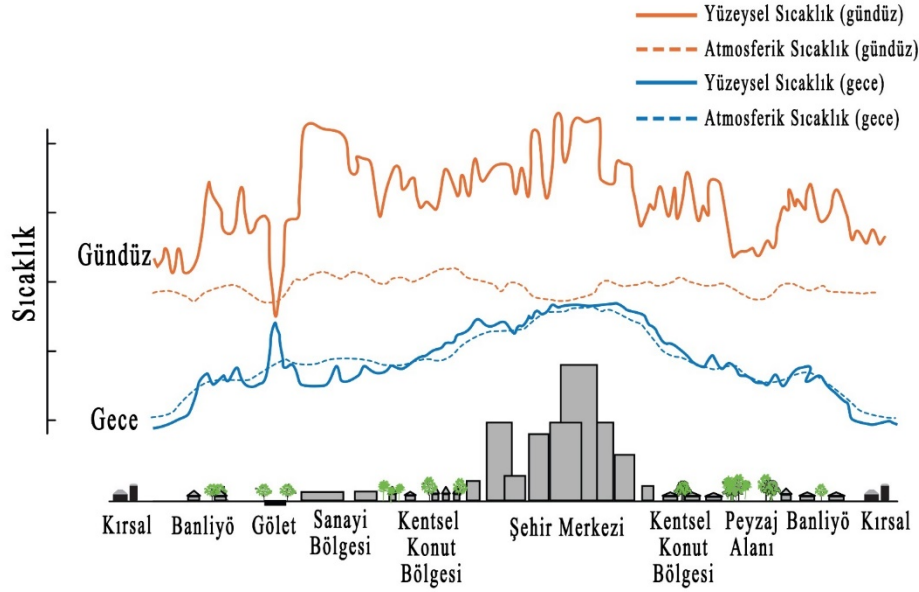
Atmosferik ısı adası etkisi, kentsel alanların sahip olduğu daha sıcak havanın, kentsel alana en yakın kırsal bölgedeki daha serin hava ile karşılaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Atmosferik ısı adası etkisi, koruma katmanı (canopy layer) ve sınır katmanı (boundary layer) olmak üzere kendi içerisinde iki farklı yaklaşımla ele alınmaktadır. Koruma katmanı; insanların yaşadığı zeminden başlayıp ağaç ve çatıların en üst seviyesi arası iken, Sınır katmanı; ağaç ve çatıların en üst noktasından başlayarak kentsel alanların atmosfer sıcaklığından etkilenmeyeceği, yaklaşık olarak 1.5 km, uzaklıktaki atmosfer sınırı arası olarak ifade edilmektedir. (Şekil 7) (EPA, 2008).



Şekil 7. Atmosferik Isı Adası Etkisi Yaklaşımları ve Yüzeysel Isı Adası ile İlişkisi (Srivaniit Ve Hokao, 2012)

Kentsel ısı adası hesabına, atmosferik etki olarak genellikle koruma katmanı (canopy layer) dahil edilmektedir. Atmosferik ısı adası etkisi, yüzeysel etkiye kıyasla daha düşük sıcaklık değerleri barındırmaktadır. Ancak, gece-gündüz

arasındaki sıcaklık geçişleri bu farkın azalıp artmasına neden olabilmektedir. Kentsel ve kırsal bölgelerin yüzey ve atmosferik ısı adası etkisi ilişkileri Şekil 8'deki gibi gerçekleşmektedir (EPA, 2008).

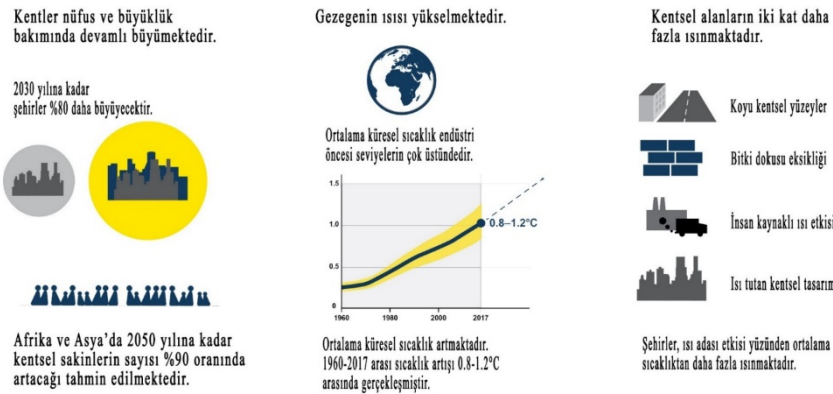


Şekil 8. Yüzeysel Ve Atmosferik Isı Adası Etkisinin Farklı Yerleşimlerde İlişkisi (EPA, 2008)

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR SOĞUTMA YAKLAŞIMI

Yirmi birinci yüzyılın en büyük sürdürülebilirlik zorluklarından biri, devamlı artan nüfusu aşırı sıcaktan koruma ihtiyacıdır. Gelişmekte olan ülkelerde hızlı artan kentleşme, küresel iklim değişikliği ve kentsel alanlardaki aşırı sıcaklık artışı gibi nedenler insanoğlunun yaşamını devam ettirebilmek için sürdürülebilir soğutma

çözümlerine erişmenin yollarını bulması gerektiğini göstermektedir. Kentsel alanlardaki aşırı ısının negatif etkisi yaşamın her alanını etkilemektedir (Şekil 9) (ESMAP, 2020a). Dolayısıyla kentsel alanlarda başarılı biçimde uygulanacak sürdürülebilir soğutma yaklaşımları; sağlık, üretkenlik, hava kalitesi ve enerji sistemlerinde iyileşme başta olmak üzere birçok kazanım elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 9. Kentsel Alanlardaki Isı Artışına Neden Olan Etmenler (ESMAP, 2020a)

Birçok farklı etmen kentsel yüzeylerin ısınmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, kentsel soğutmaya yönelik stratejiler; kentsel ısı adası etkisini ele alabilen, gelecekteki soğutma ihtiyacı kaynaklı emisyonları pasif hale getirebilen sürdürülebilir ve bütüncül bir yaklaşım olması gerekmektedir. Sürdürülebilir kentsel soğutmaya yönelik bütüncül yaklaşım, yoğun nüfusa sahip şehirlerin verimli bir şekilde

serin tutulabilmesinin temelini oluşturmaktadır. Söz konusu bu yaklaşım; kentsel ölçekte ısının düşürülmesi, binaların soğutma yükünün azaltılması ve binaların soğutma yükünün verimli bir şekilde karşılanması olarak ifade edilen üç önemli bileşenden oluşmaktadır (Şekil 10) (Campbell ve ark., 2021).

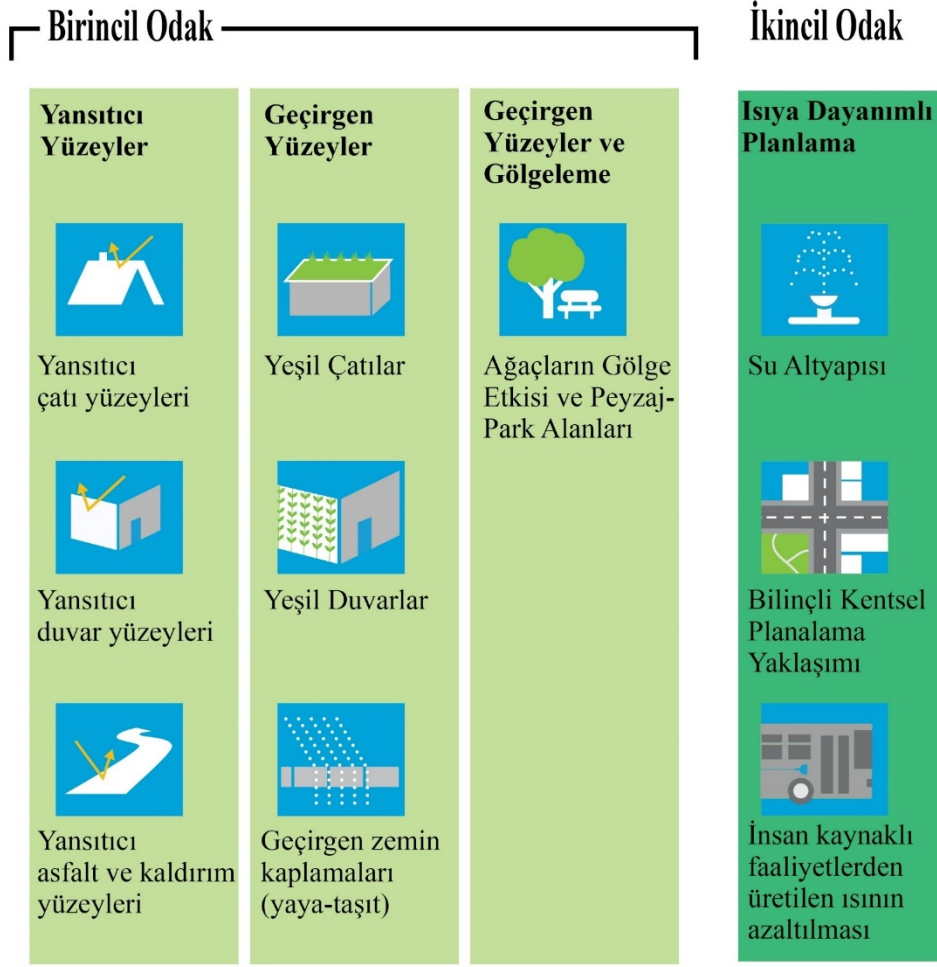


Şekil 10. Sürdürülebilir Bütüncül Soğutma Yaklaşımı (Campbell Ve Ark., 2021)

Kentsel form ve tasarımların ısıyı en aza indirecek şekilde gerçekleştirilmesi, kentsel ısı adası etkisini azaltmak amacıyla doğal yüzeylerin artırılması, çatı-zemin kaplamalarında geçirgenlik ve yansıtma faktörlerinin göz önünde bulundurulması gibi verimli planlama yaklaşımları kentsel ölçekte ısının azaltılmasına yardımcı olmakta ve soğutma yüklerini düşürmektedir. Yapıların termal performanslarının artırılması ve pasif tasarım ilkeleri ile soğutma yüklerinin en aza indirilmesi gibi bina ölçeğinde gerçekleştirilen tasarıma ilişkin kararlar, bütüncül soğutma yaklaşımı kapsamında ikinci adıma girmektedir. Üçüncü adımda ise, en az karbon salınımı gerçekleştiren, atık ısı düzeyi düşük, temiz enerji kaynağı kullanan, hassas algılayıcılar ile otomasyon üzerinden ve gerektiği kadar soğutma yapan verimli mekanik sistemlerinden yararlanılması gelmektedir. Çalışma kapsamında, sürdürülebilir bütüncül bir soğutma yaklaşımı kentsel ve bina ölçeğinde olmak üzere iki başlıkta irdelenmektedir.

4.1. Kentsel Ölçekte Sürdürülebilir Soğutma

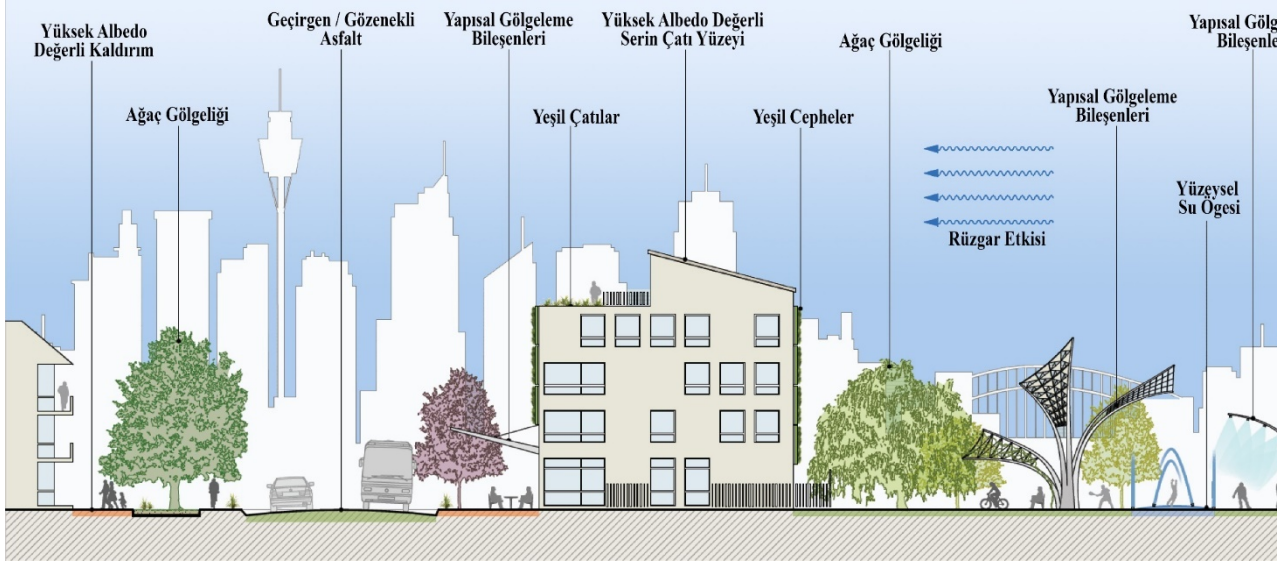
Kentsel yüzeylerin sıcaklığı, dünya üzerindeki coğrafi konumları ve iklim şartları başta olmak üzere birçok farklı değişken tarafından etkilenmektedir. Söz konusu değişkenler; yapılaşma yoğunluğu, binaların konumu ve üretiminde sıklıkla kullanılan yapı malzemeleri, yeşil alanlar, ağaç miktarı, geçirgen ve nemli yüzeylerin oranı, asfalt ve kaldırım kaplamaları, hâkim rüzgarlar gibi birçok başlık altında toplanabilmektedir. Özellikle yol, kaldırım, çatı ve bina duvarı gibi kentsel yüzeylerde kullanılan malzemelerin bilinçsiz tercih edilmesi sadece yüzeysel ısı adası etkisi oluşturmakla kalmamakta aynı zamanda atmosferik ısı adası etkisinin de meydana gelmesine neden olmaktadır. Koyu çatı yüzeylerinin yaygın olarak kullanımı, geçirgen olmayan koyu renkli asfalt ve kaldırım bileşenlerinin tercihiyle birlikte kent içindeki yeşil bitki örtüsü ve su ögelerinin azalması ısı adası etkisini yoğunlaştırmaktadır. Bütün söz konusu bu olumsuzluklar kentsel alanlardaki soğutma ihtiyacını artırmakta ve mekanik çözümlerin kullanımını gerekli kılarak verimsiz bir döngünün ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Mevcut olan kentsel bir dokunun, özellikle bina yükseklikleri ve konumları bağlamında değiştirilebilmesi fazla mümkün olmamakla birlikte yeni kentsel gelişim alanlarında yapılaşmanın yükseklik ve konumuna dikkat edilmesi oldukça önemli faydalar sağlayacaktır. Mevcut veya yeni planlanan kentsel alanlar için sürdürülebilir soğutma yaklaşımı Şekil 11'de ifade edilmektedir.



Şekil 11. Kentsel Alanlar İçin Sürdürülebilir Soğutma Yaklaşımı (ESMAP, 2020a)

Kentsel alanlarda yansıtıcı ve geçirgen yüzeylere doğru bir değişim, güneşten gelen ısı enerjisi yüklü fotonların en az düzeyde biriktirilerek geri iletilmesini sağladıkları için şehirlerin sürdürülebilir soğutulmasına katkı sağlar. Buna paralel şekilde, ağaçların gölge etkisi ve peyzaj alanlarının bilinçli tasarımı da kentsel ısı adası etkisini herhangi bir karbon emisyonu ve enerji harcaması gerçekleştirilmeden azaltmaktadır. Albedo değerlerinin artırılmasının karbon salınımını olan etkisini inceleyen bir çalışmada, dünyanın bütün büyük şehirlerinde kullanılan

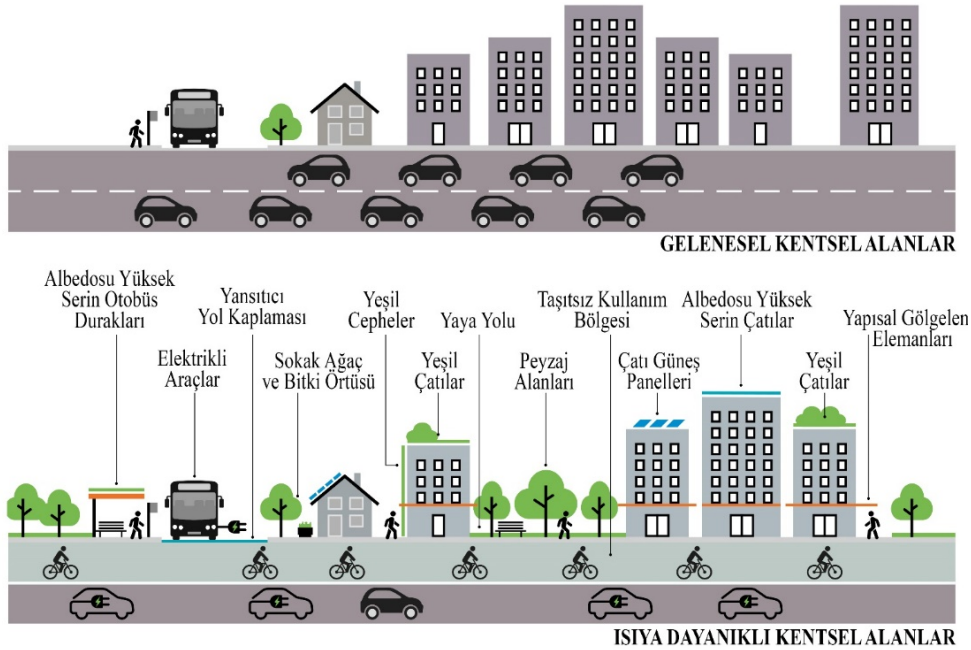
çatı ve kaldırım bileşenlerinde yüksek yansıtma değerine sahip malzemenin tercih edilmesi durumunda 44 GtCO₂'luk bir salınımın önüne geçilebileceği sonucuna ulaşılmıştır (Akbari ve ark., 2009). Dolayısıyla sürdürülebilir soğutma yaklaşımı, iklim değişikliği ile mücadele atılması gereken en önemli adımların başında gelen karbon emisyonu azaltımını kentsel yüzeylerde uygulanması oldukça kolay tedbirlerle mümkün kılmaktadır (Şekil 12) (Osmond ve Sharifi, 2017).



Şekil 12. Kentsel Bir Kesitte Sürdürülebilir Soğutma Adımları (Osmond Ve Sharifi, 2017)

Şehirler geleneksel anlayışının dışında, kentsel ısı adası etkisi kavramını önceleyen bir planlama anlayışıyla ele alınması, gelecek kuşaklara yaşanılabilir bir dünyanın miras kalmasını sağlayacaktır. Kentsel alanlarda başta insan kaynaklı (antropojenik) ısı üretimi olmak üzere ısı adası etkisi oluşturan bütün etmenlerin

detaylıca irdelenmesiyle, sürdürülebilir soğutma ilkelerini esas alan ısıya dayanıklı (heat-resilient) planlama anlayışı geliştirmek mümkündür. Şekil 13'de geleneksel ve ısıya dayanıklı kentsel alanlar arasındaki fark belirtilmektedir (ESMAP, 2020a).

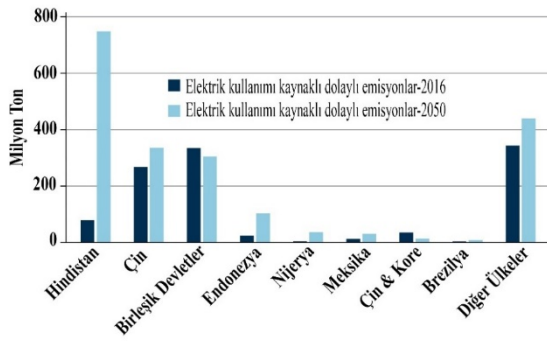


Şekil 13. Geleneksel Ve Isıya Dayanıklı (Heat-Resilient) Kentsel Alanlar Arasındaki Farklar (ESMAP, 2020a)

4.2. Bina Ölçeğinde Sürdürülebilir Soğutma
İnsanların yaşam mekânı olan binalar, kentsel ısı adası etkisi oluşumuna büyük oranda etki etmektedir. Küresel ısınma sonucu artan soğutma ihtiyacı, artan ekonomik gelişmişlikle

birlikte, başta konut olmak üzere pek çok farklı bina türünde fazlalaşarak devam etmektedir. Özellikle alışveriş merkezi, hastane gibi karmaşık fonksiyonlara sahip binalarda soğutma kaynaklı atık ısı ve karbon salınımı önemli

çevresel baskılara neden olmaktadır. Sıcak ve nemli iklim bölgesindeki bir binada mekanik soğutma sistemleri toplam enerji kullanımının yaklaşık %50'sini oluşturabilmektedir. Bu oran yoğun zamanlarda %80'e kadar çıkabilmektedir (Katili ve ark., 2015). Mekanik sistemle gerçekleştirilen soğutma, büyük miktarda sera gazı (GHG-Greenhouse gas) emisyonuna neden olmaktadır. Söz konusu bu emisyon; hem mekanik sistemin çalıştırılmasında kullanılan elektrik enerjisi nedeniyle dolaylı (indirect) hem de soğutma sürecinde kullandığı yüksek karbon değeri içeren akışkan gazların atmosfere bırakılması nedeniyle doğrudan (direct) gerçekleşmektedir. Günümüzde soğutma amaçlı kullanılan neredeyse bütün mekanik sistemler soğutucu akışkan gazlar kullanmaktadır. Kloroflorokarbonlar (CFC) ve hidroflorekarbon (HFC) gibi güçlü ve yoğun çevre kirleticisi olan bu gazlar, kentsel ısının devamlı yükselmesine yol açmaktadır. Ayrıca, mekanik sistemlerin işletilebilmesi için gerekli olan elektrik enerjisi, büyük oranda fosil esaslı kaynaklardan elde edilmesi nedeniyle, mekânsal soğutma için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi kaynaklı CO₂ salınımı, 2016-2050 yılları arasında, toplam küresel karbon salınımını %18 oranında artıracığı tahmin edilmektedir (Şekil 14) (ESMAP, 2020b)



Şekil 14. Mekanik Soğutma Kaynaklı Dolaylı Emisyon Öngörüsü (ESMAP, 2020b)

Servis ömürleri oldukça uzun olan binalarda soğutma yükünü sürdürülebilir biçimde azaltmaya yönelik gerçekleştirilecek verimlilik faaliyetleri önemli kazanımlar sağlar. Tasarımında ve inşasında pasif soğutma ilkelerinin verimli olarak uygulandığı binalar, uygun malzeme ve yüzey kullanımı sayesinde ısı kazanımını azaltarak ısı adası etkisinin ortaya çıkmasını engellemektedir. Buna ilaveten, binanın işletilmesinde gerekli olan toplam enerji

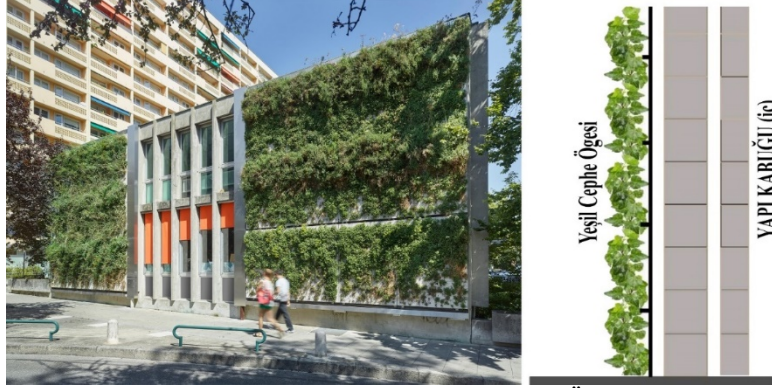
miktarı azalmakta ve pasif yöntemler ile sağlanan sürdürülebilir soğutma sayesinde mekanik soğutma araçlarına olan ihtiyaç önemli düzeyde azalmaktadır. Yeni binalarda uygulanan sürdürülebilir pasif tasarım ile soğutma yaklaşımının benzeri mevcut binalarda da uygulanabilmektedir. Mevcut yapılara, kapsamlı bir tadilat ile pasif yaklaşımın uygulanması mümkün olmakla birlikte, yüksek performanslı pencereler, gölgeleme elemanları, albedo değeri yüksek çatı kaplamaları, yeşil çatı ve cephe gibi daha az maliyetlerle önemli kazanım sağlayabilecek fırsatlarda bulunmaktadır. Böylelikle mevcut yapının, enerji kullanım düzeyi azaltılarak, kullanım ömrünün sonuna kadar çok daha az karbon ayak izi değerine sahip olacaktır. Bina ölçeğinde sürdürülebilir soğutma yaklaşımı; bina yönlendirmesi (building orientation), kabuk tasarımı (envelope design), havalandırma (ventilation) ve termal kütle (thermal mass) genel ilkeleriyle ele alınmaktadır (Campbell ve ark., 2021).

Bina yönlendirmesi: Mimari tasarımın başlangıcında gerçekleştirilecek analizler, bina kütlelerinin güneşlenme ve rüzgâr yönü dikkate alınarak yerleştirilmesine yardımcı olur. Yapının inşa edileceği iklim bölgesine göre değişebilen yönlendirme kararları, binanın enerji verimliliği üzerine etkisi büyüktür. Binanın şekli, yapı kabuğundaki boşlukların (kapı-pencere) yeri ve oranı gibi yapının işletilmesi için gerekli olan enerjiye etki eden değişkenler bina yönlendirmesi aşamasında belirlenerek optimum çözüm bulunmaktadır (PEEB, 2020).

Kabuk tasarımı: Bina enerji performansına etki eden en önemli bileşen olan kabuk tasarımı, enerji verimliliğini önceleyen malzeme ve tasarım sayesinde ısı kayıp-kazançlarını en az düzeye indirilmesine yardımcı olmaktadır. Opak yüzeylerde kullanılacak ısı yalıtım malzemesi, ısı akışının önüne geçerek sıcak-soğuk hava değişimini azaltmaktadır. Böylelikle hem soğutma hem de ısıtma yükü düşürülmektedir. Yetersiz veya yanlış uygulanmış yalıtım katmanı, düşey kabuk elemanından hava sızmasına neden olarak ısı kayıplarına neden olur. Duvarlarda ısı kayıp kazancının engellemek için tedbirler alınabildiği gibi, çatı yüzeyleri için de birtakım önlemler bulunmaktadır. Yapılan birçok araştırmaya göre çatı yüzeyleri, güneş ışınlarının en fazla

etkilediği ve ısı kazanımının en fazla olduğu noktalardır. Bu nedenle, çatı yüzeylerinde albedo değeri yüksek kaplama malzemelerinin kullanımı veya yeşil çatı uygulamaları büyük miktarda güneş ışınının hapsedilmeden yansıtılmasını sağlar. Özellikle bitki örtüsüyle

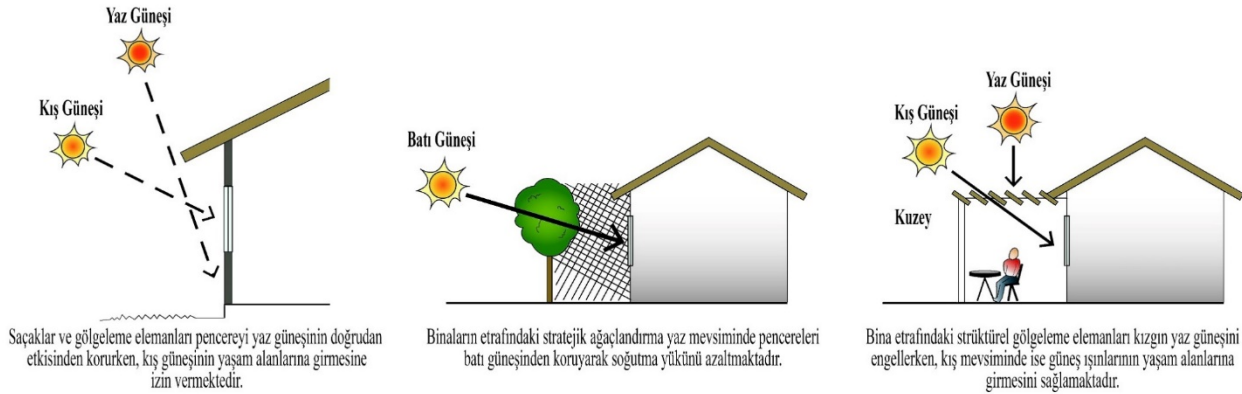
kaplanmış çatı yüzeyleri aynı zamanda yüksek yalıtım özelliği de göstermektedir. Serin çatı olarak tanımlanan bu uygulama benzer şekilde dikey elemanları olan duvar yüzeylerinde de yapılabilmektedir (Şekil 15) (Hadba ve ark., 2017).



Şekil 15. Kabuk Tasarımında Yeşil Cephe Uygulama Örneği (URL-4, 2022)

Yapı kabuğunda yer alan saydam bileşen olan pencereler, ısı kayıp-kazançlarının meydana geldiği ve iç-dış mekân görsel ilişkisinin gerçekleştiği bir başka önemli noktadır. Özellikle binanın inşa edildiği iklim bölgesine göre pencere elemanlarının, konumlanmasına ve ebatlarına sürdürülebilir pasif soğutma sağlanabilmesi için dikkat edilmesi gereklidir. Pencerelerde kullanılacak olan cam malzemenin termal özellikleri de ısı kayıp-kazancını etkiler. Güneş ısı kazancı ve termal iletkenlik değerlerine göre seçilecek cam malzeme, binanın mekanik tesisat ile gerçekleştirilen

soğutma yükünü azaltılmasında yardımcı olur. Kabuk tasarımında yer alarak sürdürülebilir soğutmaya hem bina hem de kentsel ölçekte yardımcı olan gölgeleme elemanları, güneş ışınlarının binaya yüzeyine temasını engelleyerek soğutma yükünün hafifletilmesini sağlar. Gölgeleme elemanları, bir ağaç olabileceği gibi yapı strüktürüne bağlı bir saçak da olabilmektedir. Dolayısıyla mimari tasarımın başlangıcında gölgeleme elemanı tercihi, gerçekleştirilecek analizler ile tespit edilerek sürdürülebilir soğutmaya önemli katkı sağlanabilmektedir (Şekil 16) (ESMAP, 2020b).



Şekil 16. Gölgeleme Elemanlarının Sürdürülebilir Soğutmaya Etkisi (URL-5, 2022)

Havalandırma: Bina içinde oluşacak hava hareketi iç ortam sıcaklığının düşürüp, mekanik soğutma ihtiyacını azaltarak konfor koşullarına

önemli katkı sağlamaktadır. Yapı içinde nem kontrolünü sağlayan doğal havalandırma, yalnız soğutma amaçlı enerji giderlerini azaltmakla

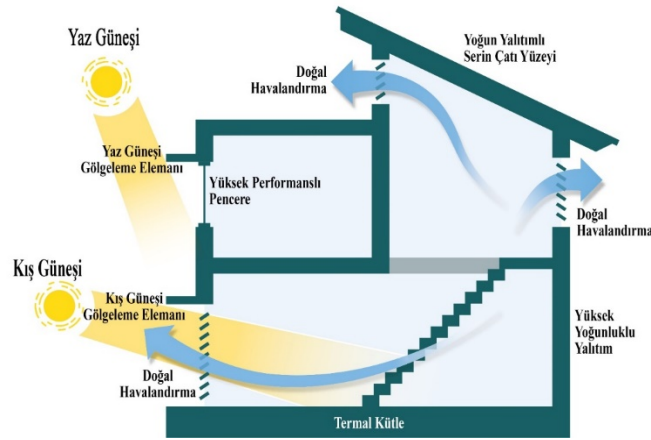
kalmaz, aynı zamanda temiz havanın bina içine alınmasıyla kullanıcıların sağlıklı ortamlarda yaşamlarına yardımcı olur. Doğal havanın bina içerisinde sirkülasyonuna yönelik birçok tasarım yaklaşımı bulunmaktadır. Doğal havalandırma çözümleri, yeni inşa edilecek yapılarda tasarımın başlangıcında yapılacak analizler ile belirlenebilirken, söz konusu durum mevcut yapılarda daha zor gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla sıcak ve kuru iklim bölgelerinde sürdürülebilir soğutmanın gerçekleştirilebilmesi, mimari tasarım ile bütünleştirilerek ele alınan havalandırma yaklaşımı ile mümkün olabilmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. İkkesel Doğal Havalandırma Yaklaşımları (URL-5, 2022) (URL-6, 2022)

Termal kütle: Genel tanımıyla termal kütle, yapı malzemelerinin ısıyı bünyesine alması, depolaması ve geri bırakması olarak ifade edilmektedir. Bütün yapı malzemeleri belirli miktarda ısıyı depolayabilmektedir. Ancak beton(arme), tuğla, kum (taş), toprak esaslı malzemeler gibi yoğunluğu yüksek olan yapı malzemeleri daha fazla ısı toplarken, ahşap ve kumaş gibi daha düşük yoğunluğa sahip olanların hacimsel ısı değerleri (volumetric heat

capacity-kj/m³.K) çok daha düşüktür. Sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, termal kütle olarak yüksek yoğunluğa sahip yapı malzemelerinin doğrudan güneş etkisinden korunması gerekmektedir. Doğal havalandırma ile teması olan termal kütlelerin ısı değeri düşerek, sürdürülebilir soğutmaya yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, binanın inşa edileceği iklim bölgesine göre malzeme tercihinin gerçekleştirilmesi termal kütlelerin kolaylıkla sürdürülebilir soğutma amacıyla kullanılabilmesini olanaklı kılacaktır. Söz konusu yaklaşımın tam tersi, karasal iklim bölgelerinde ısıtma amacıyla gerekli olan enerji miktarının azaltılmasında da tercih edilmektedir. Bir yapı malzemesi olmamakla birlikte birçok yapı malzemesinin bünyesinde yer alan su, en yüksek hacimsel ısı değerine (4186 kj/m³.K) sahiptir. Günümüzde suyun bu özelliği ekolojik tasarımın vazgeçilmez bir ögesi olmuştur. Su dolu tüpler (water-filled tubes) termal kütle olarak hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılmaktadır (URL-7, 2022). Bina ölçeğinde gerçekleştirilen pasif sistemler, küresel ölçekte soğutma için gerekli olan enerji miktarını azaltırken, sera gazı salınımının düşürülmesine yardımcı olarak iklim değişikliği ile mücadele de en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Devamlı artan küresel sıcaklık baskısı, soğutma ihtiyacını artırmaktadır. Kentsel ölçekte olduğu gibi bina ölçeğinde de alınacak bütüncül önlemler sayesinde soğutma ihtiyacı sürdürülebilir olarak sağlanabilecektir (Şekil 18) (ESMAP, 2020b).



Şekil 18. Bina Ölçeğinde Pasif Yaklaşımla Sürdürülebilir Soğutma (ESMAP, 2020b)

Pasif soğutma yaklaşımıyla birlikte enerji korunumuna ilişkin, zorunlu veya gönüllü,

bina yönetmelikleri sürdürülebilir soğutmaya olumlu etkilemektedir. Avrupa Birliği ve

Birleşik Devletler gibi gelişmiş ülkelerde yürürlüğe konulan enerji korunumuna ilişkin yönetmelikler sayesinde, 2010-2040 yılları arasında 841 milyon ton CO₂ salınımının engellenebileceği ve 3.757 TWh enerji tüketiminin önüne geçileceği tahmin edilmektedir. 177 milyon binek aracın veya kömürle çalışan 245 termik enerji santralının emisyonuna eşit olan bu değer, bina enerji yönetmeliklerinde düzenlemeler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir (US-DOE, 2022). Ancak, bina enerji yönetmeliklerinde yapılan değişikliklerin inşa sırasında kontrol edilmemesi, ilk yatırım maliyetlerinin fazlalığı, bina tasarımının birçok değişkeni dikkate alarak gerçekleşmesi, paydaşların iklimsel tasarıma olan farkındalığının yetersizliği gibi birçok sebep hesaplanan teorik kazançların gerçekleşmemesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, yapı yaşam döngüsüne dahil olan bütün paydaşların, enerji etkin tasarım konusunda duyarlı olması gerekmektedir.

5. SONUÇ

Binalarda termal konfor şartlarının sağlanması için gerekli olan soğutma ihtiyacı, günümüzde iklim değişikliğinin olumsuz bir sonucu olarak, önemli bir zorunluluk haline gelmiştir. Başta kentleşme olmak üzere insan kaynaklı faaliyetler küresel ekolojinin bozulmasına neden olmuştur. Doğal alanların yerini alan kentsel yüzeyler hem güneşten gelen ısıyı tutmakta hem de önemli düzeyde sera gazı emisyonu oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, kentsel ısı adası olgusunu ortaya çıkarmıştır. Özellikle sıcak ve nemli iklim bölgelerinde artan soğutma ihtiyacı kentsel ısı adası etkisinin sürekli tekrarlanan bir verimsiz döngü halini almasına neden olmaktadır. Kullanıcı konforunu olumsuz etkileyen kentsel ısı adası etkisinin tersine çevrilebilmesi ancak sürdürülebilir soğutma yaklaşımıyla mümkündür. Kentsel ve bina ölçeğinde bütünleşik biçimde geliştirilecek sürdürülebilir soğutma, sadece kullanıcıların konfor şartlarını sıfır emisyon miktarıyla sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda Paris İklim Anlaşması'yla küresel sıcaklık artışının eşik değeri olarak belirlenen 1.5°C hedefinin gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Özellikle normal sıcaklık değerlerinin çok üzerinde

geçen son on yıl sürdürülebilir soğutmanın önemine işaret etmektedir. Enerji kullanarak karbon emisyonu üreten mekanik araçlar yerine pasif tasarım stratejileri ile gerçekleştirilen sürdürülebilir soğutma, uluslararası düzeyde teşvik görmektedir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals) ile artan farkındalık sayesinde birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler sürdürülebilir soğutma eylem planı hazırlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, sürdürülebilir soğutma için bütünleşik bir yaklaşımla araştırılarak, pasif tasarım anlayışıyla öneriler getirilmiştir. Kentsel ve bina ölçeğinde getirilen öneriler; kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, mekanik tesisat ile soğutma gereksiniminin düşürülmesi, insan kaynaklı sera gazı salınımının en aza indirilmesi gibi küresel iklim değişikliğiyle mücadele adımlarını içermektedir. Dünyanın birçok kentinde aktif olarak uygulanan bu yaklaşımlar, enerjisinin büyük çoğunluğunu dışarıdan satın alan ülkemizde de uygulanmalıdır. Ülkemiz cari açığının en önemli kalemi olan enerji giderleri, kentsel ve bina ölçeğinde bütünleşik biçimde planlanan sürdürülebilir soğutma sayesinde azaltılabilir. Dolayısıyla şehir plancıları ve mimarlar başta olmak üzere ülkemizde kentsel alanların oluşturulmasında yer alan bütün paydaşlar koordinasyon içinde çalışarak, sürdürülebilir kentsel soğutmayı önceleyen planlama yaklaşımları geliştirmelidir. Kentsel düzeyde gerçekleştirilen sürdürülebilir soğutma yaklaşımı bina düzeyinde de pasif tasarımlar anlayışıyla ele alınmalıdır. Ülkemiz bina yönetmeliklerinde sürdürülebilir soğutmaya ilişkin tanımlamalar yer almalı ve teşvikler sağlanmalıdır. Ancak, sürdürülebilir soğutmanın yaklaşımının yeterli olmadığı ülkemizin belirli coğrafi bölgelerinde “Merkezi Soğutma” prensibinin uygulanmalıdır. Enerji verimliliği en üst seviyede olan merkezi bir birimden ihtiyaç duyulan bütün kentsel bileşenlerin soğutulması üzerine temellenen merkezi soğutma prensibi, mikro ölçekte bina bazlı bireysel soğutmaya kıyasla büyük avantajlar sunmaktadır. Kentsel ısı adası etkisi oluşuma neden olan mekanik soğutma araçlarının ortaya çıkardığı atık ısı, kentsel alanda yer alan her bir binadan ayrı ayrı olmak yerine merkezi bir noktada toplanır.

Böylelikle, ısı enerjisi içeren atık gazlar sadece atmosfere emisyonunun önüne geçilmekle kalınmaz aynı zamanda mevcut olan ısı enerjinin dönüştürülerek (kojenerasyon) tekrar kullanımı sağlanabilir. Gelecek nesillerin de yaşamlarını rahatlıkla sürdürebilmeleri için onlara yetecek kaynaklar bırakmak amacıyla, günümüz insanının ihtiyaçlarının karşılanması anlayışı üzerine temellenen sürdürülebilirlik olgusunun, ancak bütüncül bir yaklaşımla uygulanması durumunda başarıya ulaşabileceği unutulmamalıdır.

REFERANSLAR

Akbari, H., Menon, S. ve Rosenfeld, A., 2009, Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂, *Climatic Change*, 94 (3), 275-286.

C40, 2021, The Future We Don't Want, https://www.c40.org/wp-content/uploads/2021/08/1789_Future_We_Dont_Want_Report_1.4_high-res_120618.original.pdf [Erişim Tarihi: 17.03.2022]

Campbell, I., Sachar, S. ve Ankit Kalanki, 2018, Solving the Global Cooling Challenge-How to Counter the Climate Threat from Room Air Conditioners, https://rmi.org/wp-content/uploads/2018/11/Global_Cooling_Challenge_Report_2018.pdf [Erişim Tarihi: 17.03.2022]

Campbell, I., Sachar, S., Meisel, J. ve Nanavatty, R., 2021, Beating the Heat: A Sustainable Cooling Handbook for Cities, <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37313/BTH.pdf> [Erişim Tarihi: 20.03.2022]

Enerdata, 2021, Electricity Domestic Consumption, <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html> [Erişim Tarihi: 17.03.2022]

EPA, 2008, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island

Basics, https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf [Erişim Tarihi: 17.03.2022]

Erell, E., Pearlmutter, D. ve Williamson, T., 2011, Urban Microclimate – Designing the Spaces Between Buildings, p.

ESMAP, 2020a, Primer for Cool Cities: Reducing Excessive Urban Heat with a Focus on Passive Measures, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/34218/Primer-for-Cool-Cities-Reducing-Excessive-Urban-Heat-With-a-Focus-on-Passive-Measures.pdf?sequence=6&isAllowed=y> [Erişim Tarihi: 18.03.2022]

ESMAP, 2020b, Primer For Space Cooling, <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/34567/Primer-for-Space-Cooling.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Erişim Tarihi: 21.03.2022]

Estrada, F., Botzen, W. J. W. ve Tol, R. S. J., 2017, A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts, *Nature Climate Change*, 7 (6), 403-406.

Hadba, L., Silva, L. ve Mendonça, P., 2017, Green Walls an Efficient Solution for Hygrothermal, Noise and Air Pollution Control in the Buildings, p.

IEA, 2018, The Future of Cooling-Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning, https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf [Erişim Tarihi: 17.03.2022]

Katili, A., Boukhanouf, R. ve Wilson, R., 2015, Space Cooling in Buildings in Hot and Humid Climates – a Review of the Effect of Humidity on the Applicability of Existing Cooling Techniques, p. 87-89.

LBNL, 2012, A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements, https://www.coolrooftoolkit.org/wp-content/pdfs/CoolRoofToolkit_Full.pdf [Erişim Tarihi: 18.03.2022]

Osmond, P. ve Sharifi, E., 2017, Guide to Urban Cooling Strategies, https://www.researchgate.net/publication/318982885_Guide_to_Urban_Cooling_Strategies [Erişim Tarihi: 20.03.2022]

PEEB, 2020, Better Design for Cool Buildings: How Improved Building Design Can Reduce the Massive Need for Space Cooling in Hot Climates, https://www.peeb.build//imglib/downloads/PEEB_Cool%20Buildings_Working%20Paper_August%202020.pdf [Erişim Tarihi: 21.03.2022]

Srivanit, M. ve Hokao, K., 2012, Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: An Application for the City of Bangkok, Thailand, *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 9, 83-100.

URL-1, 2022, Urban Heat Island–7 Things You Should Know, <https://gosmartbricks.com/urban-heat-island/> [Erişim Tarihi: 18.03.2022]

URL-2, 2022, The Albedo Effect, Urban Heat Islands, and Cooling Down Your Playground, <https://www.sciencefriday.com/educational-resources/the-albedo-effect-urban-heat-islands-and-cooling-down-your-playground/> [Erişim Tarihi: 18.03.2022]

URL-3, 2022, Urban Heat Islands (UHIs), <https://www.rmets.org/metmatters/urban-heat-islands-uhis> [Erişim Tarihi: 18.03.2022]

URL-4, 2022, Green Wall Facade System, <https://www.architonic.com/en/product/creabeton-materiaux-skyflor-green-wall-facade-system/1367577> [Erişim Tarihi: 21.03.2022]

URL-5, 2022, What is Passive Design & How Does It Save You Money?, [https://www.lanser.com.au/2019/02/06/what-](https://www.lanser.com.au/2019/02/06/what-is-passive-design-how-does-it-save-you-money/)

[is-passive-design-how-does-it-save-you-money/](https://www.lanser.com.au/2019/02/06/what-is-passive-design-how-does-it-save-you-money/) [Erişim Tarihi: 21.03.2022]

URL-6, 2022, Heating, Ventilation Air Conditioning Basic, <https://www.buildersmart.in/blogs/HVAC-basics/> [Erişim Tarihi: 23.03.2022]

Zhao, L., Oleson, K., Bou-Zeid, E. ve Krayenhoff, E. S., 2021, Global multi-model projections of local urban climates, *Nature Climate Change*, 11 (2), 152-157.