**Kentsel Isı Adasının Nedenleri, Etkileri ve Çözüm Önerileri**

**Özet**

Kentsel ısı adası, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği ile daha da kötüleşen büyük bir çevresel sorundur. Kentsel ısı adası, kentsel alanların insan faaliyetleri, azalan bitki örtüsü ve altyapı yoğunluğu nedeniyle çevredeki kırsal bölgelerden önemli ölçüde yüksek sıcaklıklara sahip olduğu bir fenomendir. Bu çalışmada kentsel ısı adalarının nedenleri, etkileri ve çözüm önerilerini incelemek amaçlanmıştır. Kentsel ısı adalarına katkıda bulunan temel faktörler arasında yeşil alanların azalması, yüksek alt yapı yoğunluğu, antropojenik ısı emisyonları ve meteorolojik koşulların değişimi yer alır. Kentsel ısı adalarının hava kalitesine ve meteorolojik olaylara, kent sakinlerinin sağlığına ve ekonomiye etkileri bulunmaktadır. Kentsel ısı adalarında görülen yüksek sıcaklıklar özellikle sıcak hava dalgaları sırasında enerji tüketiminde artışa, hava kirliliğine ve daha fazla ölümlere yol açar. Etkili azaltma stratejileri arasında yeşil altyapı, uygun yapı malzemesi seçimi, havalandırma koridorları, kentsel parkların ve bitki örtüsünün arttırılması, insan kaynaklı kirliliğin azaltılması ve enerji açısından verimli kentsel planlamanın entegrasyonu yer alır.

**Anahtar Kelimeler:** Kent, Sağlık, Isı Adası

**Causes, Effects and Solutions for Urban Heat Island**

**Abstact**

Urban Heat Island is a major environmental problem that is exacerbated by rapid urbanization and climate change. Urban heat island is a phenomenon where urban areas have significantly higher temperatures than surrounding rural areas due to human activities, reduced vegetation and infrastructure density. This study aims to examine the causes, effects and solutions of urban heat islands. The main factors contributing to urban heat islands include the decrease in green areas, high infrastructure density, anthropogenic heat emissions and changing meteorological conditions. Urban heat islands have effects on air quality and meteorological events, health of urban residents and economy. High temperatures seen in urban heat islands lead to increased energy consumption, air pollution and more deaths, especially during heat waves. Effective mitigation strategies include green infrastructure, appropriate selection of building materials, ventilation corridors, increasing urban parks and vegetation, reducing anthropogenic pollution and integrating energy efficient urban planning.

**Keywords:** City, Health,

**GİRİŞ**

Kentsel ısı adası, kentleşme ve endüstrileşmenin bir sonucu olarak, 21. Yüzyılda insan sağlığı, kent planlaması ve çevresel sürdürülebilirlik için en önemli sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir (Rizwan, Dennis, & Liu, 2008). Bu terim ilk kez 1820 yılında, Londra’da Luke Howard tarafından tanımlanmıştır (Yüksel & Yılmaz, 2008). Kentlerin yerel iklimi üzerindeki en önemli insan etkisinin kentsel ısı adası olduğu söylenebilir (Gabriel & Endlicher, 2011). Kentsel ısı adası, kent içindeki sıcaklıkların çevredeki kırsal alanlara kıyasla daha yüksek olmasıyla tanımlanır (Yüksel & Yılmaz, 2008). Aşırı sıcakların hakim olduğu dönemlerde, genellikle geceleri New York, Londra, Manchester ve Birmingham gibi kent merkezlerinde kırsal kesimlere göre 5-10°C’lik yükseklik gözlemlenmektedir. Ancak kentsel ısı adalarında dış ortamla ortalama sıcaklık farkının 2-4°C olduğu söylenebilir (Bohnenstengel, Evans, Clark, & Belcher, 2011).

Kentsel ısı adası genellikle açık bir günün sonunda, hava durumlarının belirleyici olmadığı gecelerde gelişir. Kent alanlarının kırsal alanlara kıyasla soğumasının gecikmesi neticesinde oluşur (Santamouris, Paraponiaris, & Mihalakakou, 2007). Kentsel ısı adaları hem atmosferik hem de kara sıcaklığıyla ölçülebilir (Voogt & Oke, 2003). Kırsal alanlardan kentlere gidildikçe nüfusun yoğunlaşması kentleşmenin artmasına ve kentsel yüzeylerin ısı emilim kapasitesinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu durumda kent içi sıcaklıklar belirgin bir şekilde artar ve ısı adaları olarak görülür hale gelir (Üstündağ, Karataş, Parildar, & Artar, 2023). Kentler büyüdükçe de etki belirginleşmektedir. Nüfusu 100 bin olan bir kentten 1 milyon olan bir kente hareket edildiğinde maksimum kentsel ısı adası etkisi 2.66°C, nüfusu 1 milyon olan kentten 10 milyon olan kente gidildiğinde kentsel ısı adası etkisi 3.87°C artmaktadır (Wei, 2020).

Kentlerde yaşayan insan sayısının 2030 yılına kadar 4,9 milyara ulaşması beklenmektedir (Aliyu & Amadu, 2017). Bununla birlikte, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık %70’lik bir kısmının kentsel alanlarda yaşayacağı öngörülmektedir. Bu durum kentleşmenin ve kentsel yayılımın daha da artmasına neden olacaktır (Kohlhase, 2013). Gelişmiş ülkelerde nüfus ve nüfus artış oranları azalmasına rağmen kentleşme sürecinin artacağı ve kentlerin mevcut alanlarının 2.5 kat genişleyeceği öngörülmektedir (Tzavali, Paravantis, Mihalakakou, Fotiadi, & Stigka, 2015). Dünya genelinde hızla artan kentleşme, kentlerdeki önemli çevresel sorunlardan biri olan kentsel ısı adalarının daha sık karşılaşılan bir olgu haline gelmesine neden olmuştur.

Dünyada iklim değişikliğiyle birlikte hızlanan bu süreç, kentlerde aşırı sıcak hava dalgalarının daha sık yaşanmasına, hava kalitesinin daha fazla bozulmasına ve insan sağlığı üzerinde daha ciddi etkilere neden olacaktır. Artan sıcaklıklar enerji tüketimini artırarak soğutma sistemlerine olan bağımlılığı artıracak ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını artırarak küresel ısınmayı daha da şiddetlendirecektir. Bu döngü kentsel sürdürülebilirliği tehdit eden kritik bir sorunu gün yüzüne çıkarmaktadır.

Bu bağlamda, kentsel ısı adalarının oluşum nedenlerinin ve etkilerinin belirlenebilmesi, sorununun çözülmesi için gerekli fırsatı da sağlayabilir. Çalışmanın amacı kentsel ısı adalarının neden kaynaklandığını, çeşitli alanlardaki etkilerini ve güncel çözüm önerilerini belirlemektir.

**YÖNTEM**

Çalışma bir derleme çalışmasıdır. Çalışmaya Google Scholar’da yer alan 2000-2025 yılı arasında yayınlanmış makaleler dahil edilmiştir. Arama kısmına tırnak içinde “ısı adası” (62 sonuç), “kentsel ısı adası” (44 sonuç), “heat island” (8250 sonuç) ve “urban heat island” (6790 sonuç) kelime öbekleri yazılarak arama gerçekleştirilmiştir. Aramada bir dil seçimi yapılmamış olup, Türkçe ve İngilizce makaleler derlemeye dahil edilmiştir. Aramada “makaleleri incele” seçeneği seçilmiştir.

**BULGULAR VE TARTIŞMA**

**Kentsel Isı Adası Nedenleri**

Kentsel ısı adası, kent içindeki sıcaklıkların kırsal alanlara kıyasla daha yüksek olduğu bir mikro iklim olgusudur. Kentleşme ve insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan bu olgu kentlerin yoğun yapılaşması, yüzey kaplamaları, bitki örtüsünde azalma ve insan kaynaklı enerji tüketimi gibi birçok faktörün etkisiyle ortaya çıkar. Kentsel ısı adalarının nedenleri 4 başlıkta toplanabilir:

**Azalan yeşil alanlar ve doğal araziler**

Çalışmalarda, yarı kurak kentlerde hava sıcaklığını soğutmada bitki örtüsünün önemi vurgulanmıştır (Feyisa, Dons, & Meilby, 2014; Oliveira, Andrade, & Vaz, 2011). Kentlerde yeşil alanların yeterli olmaması, kentsel ısı adası oluşumunu artırmaktadır (Takebayashi & Moriyama, 2007). Kentlerde bitki örtüsünün azalması buharlaşmayı azaltır ve sıcaklıkların yükselmesine neden olur. Ekosistem dengesinin sürdürülebilmesi için güneş ışınlarının suyu buharlaştırması ve atmosferde yoğunlaştırması, daha sonra bu buharın tekrar yeryüzüne düşmesi gerekir. Bu süreç toprağın nem dengesini korur ve bitki örtüsünün canlı kalmasına katkıda bulunur. Kırsal alanlarda doğal arazi örtüleri nedeniyle bu döngünün büyük ölçüde korunduğu düşünülür. Ancak kentsel alanlarda bitki örtüsündeki azalma ve doğal yüzeylerin yerini geçirimli olmayan malzemelerin alması nedeniyle güneş ışınları daha fazla absorbe edilir. Bu süreç güneş ışınlarının yüzeyden atmosfere geri yayılımını geciktirir (Üstündağ et al., 2023).

Kentsel alanlarda yeşil alanların varlığı serinletici bir etki yaratır ve temiz hava temini sağlayarak sıcak hava dalgalarının etkilerinin en aza inmesine yardımcı olur (Gill, Handley, Ennos, & Pauleit, 2007). Bunun yanında, kentlerde bulunan bitki örtüsü yakın gelecekte beklenen olumsuz iklim koşullarının hafiflemesine neden olacaktır. Aynı zamanda kent sakinlerinin bu sürece uyum sağlamasına kolaylaştıracaktır (Gill et al., 2007). Karbondioksithavadan alınarak havaya oksijen verilir ve yeşil alan varlığından kaynaklanan daha düşük sıcaklıklar nedeniyle de enerji tüketimi azalır (Wang, 2006). Kentsel çevrede yeşil alanların etkisi, yeşil alanın büyüklüğüne ve bitki örtüsünün yapısına, mevsim ve günün saatine, yeşil alanlardaki gökyüzü engeline, hakim yerel hava koşullarına ve yeşil alanın entegre olduğu iklim koşullarına göre değişmektedir (Oliveira et al., 2011). Kentsel yeşil alanların etkisi özellikle gündüz sıcaklıklarının 0.94 °C daha düşük olduğu parklar ve kent ormanları için geçerlidir. Kentlerde bulunan yeşil alanlar boyutları ve şekillerine bağlı olarak kentsel ısı adaları üzerinde etkili olurlar. Özellikle doğrudan bu etkinin bitki örtüsü ve ağaç gölge alanı ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Jamei, Rajagopalan, Seyedmahmoudian, & Jamei, 2016).

**Bina ve altyapı yoğunluğu**

Kent içi yüzeylerde ve binalarda kullanılan malzemelerin ısıl özellikleri, albedo etkisi, kentsel yapıların yoğunluğu ve gökyüzü açıklığı gibi faktörler de kentsel ısı adası oluşumu üzerinde etkilidir (Üstündağ et al., 2023). Malzemenin yansıtma özelliğini gösteren albedo kavramı malzemeden malzemeye değişmektedir. Yüzeyde kullanılan malzemelerin albedo değerleri malzemenin yüzey alanına, dokusuna ve rengine bağlı olarak değişmektedir. Albedo 0-1 arasında değişmektedir. 0 albedo değerindeki bir malzeme gelen ışının tamamını emerken, albedo değeri 1 olan malzeme gelen ışının tamamını yansıtır. Kent ortamında bulunan açık renkteki cisimlerde yüksek albedo değeri bulunması nedeniyle gelen güneş ışınlarını yansıtarak kentsel ısı adası oluşumunu azaltmaktadırlar (Yılmaz & Öztürk, 2023).

Kentlerde binaların, beton yapıların ve asfalt yüzeylerin fazla olması kentsel ısı adası oluşumunu artırmaktadır (Takebayashi & Moriyama, 2007). Kentsel yapılar ve asfalt yüzeyler gün boyunca güneş ışınlarını emer ve ısı depolama kapasitesi artar. Bu enerji gece saatlerinde atmosfere yavaş bir şekilde salınır. Bu süreç kent içi hava sıcaklıklarının kırsal alanlara göre daha yüksek seyretmesine neden olarak kentsel ısı adası denilen olgunun ortaya çıkmasını sağlar (Üstündağ et al., 2023). Kentlerdeki modifiye edilmiş arazi yüzeyleri, kırsal ortamlara kıyasla hem radyoaktif hem de türbülanslı ısının depolanması ve transferini etkiler (Gartland, 2012).

Kentsel ısı adalarında ısı oluşumunda kentlerdeki planlama süreçleri önemlidir (Yüksel & Yılmaz, 2008). Az sayıda yüksek katlı binanın bulunduğu bir kentte, çok sayıda yüksek katlı binanın bulunduğu bir kente göre ısı adası etkisi daha zayıftır. Kentleşmenin etkisi ayrıca doğal kara yüzeyinden de etkilenir. Kent bataklık bir arazide inşa edilmişse, gece hava sıcaklıkları artmayabilir. Buna bataklığın termal özellikleri etki etmektedir (Parker, 2010).

Kentlerdeki geçirimsiz yüzeylerin yanında yoğun kentsel yapılar nedeniyle güneş radyasyonu birden fazla kez yansır. Yoğun kentsel yapılar gün boyunca güneşten gelen enerjiyi depolar ve geceleri bu enerji ısı olarak yayılır (Doulos, Santamouris, & Livada, 2004). Atmosferdeki aerosol konsantrasyonlarının da yerel olarak artması kentsel sıcaklıkları etkileyebilir. Kentsel ısı adalarının etkileri genellikle geceleri, yüksek katlı kent merkezinde en güçlü, yerleşim bölgelerinde daha zayıf, ayrıca parklarda daha az sıklıkta etki eder (Peterson, 2003). Kentsel ekosistemi dengelemek ve kent sakinleri için daha kabul edilebilir ve konforlu sıcaklığa sahip yaşam ortamlarının kalitesinin korunması için kentsel ısı adası etkisi hafifletilmeli ve kentlerde termal konforu iyileştirecek kentsel planlama, mimarlık ve peyzaj çalışmaları desteklenmelidir (Zou & Zhang, 2021).

**İnsan faaliyetleri sonucu açığa çıkan ısı**

Kentlerde fosil yakıtların kullanımı, yaz aylarında iç ortamı soğutmak amacıyla kullanılan klimalar, sera gazları ve diğer hava kirletici gazların kullanımı kentsel ısı adasının etkilerini artırmaktadır (Üstündağ et al., 2023). Çok sayıda klima cihazı, yaz aylarında artan soğutma yüklerine ek olarak elektrik enerjisinin de aşırı tüketimine yol açmaktadır. Bu durum birçok kent merkezinde enerji nakil hatlarında arızalara neden olmaktadır. Yaz aylarında kentlerde pik enerji talebinde artış yaşanır (Shahmohamadi, Che-Ani, Ramly, Maulud, & Mohd-Nor, 2010). Klima kullanımının kentlerde yüksek olmasının yanında, bölgesel ısıtma özellikleri, trafik ve endüstriyel faaliyetlerin özelliği kentsel ısı adalarının oluşumu üzerinde etkilidir (Louiza, Zéroual, & Djamel, 2015).

Kentlerde yoğun araç kullanımı, fosil yakıt tüketimini artırarak hava kirliliği ve çevresel bozulmaya katkıda bulunmaktadır. Arabaların egzoz emisyonları ve hava koşulları kentsel atmosferdeki kirlilik seviyesini belirleyen ana faktörlerdir. Tüm bu koşulların da hava ile toprak arasındaki yüzeylerde meydana gelen ısı transferi ve radyasyonu etkileyeceği düşünülmelidir. Bu etkileşim kentsel alanlarda, kent ile çevresel alanlar arasındaki aşırı hava sıcaklık farklarına yol açabilir. Bu da doğrudan kentsel ısı adalarıyla ilişkilendirilir (Louiza et al., 2015). Kentlerde araçların yaymış olduğu toplam ısı, yetersiz hava akışının olduğu kentlerde hapsolabilir. Böylece kent sakinlerinin termal konforu azalabilir. Araç emisyonları ayrıca kentsel duman ve küresel ısınma oluşumunda da etkilidir (Younger, Morrow-Almeida, Vindigni, & Dannenberg, 2008).

**Meteorolojik koşullar**

Meteorolojik koşullar da kentsel ısı adalarının oluşumunda etkilidir (Montavez, Rodriguez, & Jimenez, 2000; Morris, Simmonds, & Plummer, 2001). Özellikle rüzgar hızı ve bulut örtüsünün kentsel ısı adası gelişimi üzerinde etkili olduğu, bulutsuz gökyüzünün ve hafif rüzgarın hakim olduğu bir günde kentsel ısı adalarının geliştiği ve yoğunluğunun arttığı belirtilmiştir (Gartland, 2012; Mihalakakou, Santamouris, Papanikolaou, Cartalis, & Tsangrassoulis, 2004). Kentsel alanlardaki ısı depolama kapasitesi, binaların gölgeleme etkisi, ısı akışı ve hava kirliliği nedeniyle güneş radyasyonunun zayıflaması günlük ve mevsimsel değişikliklerle sıcaklık farkına yol açmaktadır. Bu yüzden kentsel ısı adalarının mevsimsel değişimi farklı bölgelerde değişiklik gösterebilir (Tzavali et al., 2015).

Hava sıcaklığı, kent sakinlerinin termal konforuna etkileyen en önemli faktördür. Hava sıcaklığı kolayca ölçülebilir ve değerlendirilebilir bir parametredir (Watkins, Palmer, & Kolokotroni, 2007). Daha yüksek bir bağıl nem daha düşük bir kentsel ısı adası yoğunluğuyla ilişkilidir (Santamouris, 2015). Havanın vücut yüzeyi üzerinde hareket ettiği hız, ısı dengesinde oldukça etkilidir. Rüzgar hızı termal konfor hissini etkileyen önemli etkenlerden biridir (Watkins et al., 2007). Buna, rüzgarın hareketler yoluyla insan vücudu tarafından salınan ısıyı uzaklaştırabilmesi neden olmaktadır. Rüzgarın kent içindeki akışının kontrol altına alınması, bölgedeki ısının hızla uzaklaştırılmasını ve daha serin bir ortam algısı yaratmayı kolaylaştırır. Rüzgar hızındaki artış aynı zamanda bölgede bulunan kentsel ısı adası yoğunluğunu düşürmektedir (Santamouris, 2015). Bulutlu bir iklime sahip bir kent, güneşli bir iklime sahip kente göre daha zayıf kentsel ısı adaları üretebilir. Kıyı deniz melteminin etkisindeki bir kentte daha zayıf kentsel ısı adaları görünmektedir. Dağlık bir bölgede bulunan bir kent anormal termal rejimlere sahip olabilir (Sun, Brazel, Chow, Hedquist, & Prashad, 2009). Kentsel ısı adaları ayrıca rüzgar altında kayabilir ve banliyölere ve kırsal alanlara etki edebilir (Brandsma, Können, & Wessels, 2003).

Freitas ve ark. yaptıkları sayısal simülasyonlarda Paris bölgesinde siklonların görülmediği bir yaz dönemi için kentsel ısı adalarının etkilerini incelemişlerdir. Çalışmaya göre, gece saatlerinde kentin üstünde yaklaşık 200 metre derinliğinde hafif dengesiz bir sınır tabakası oluştuğu belirtilmiştir. Ancak gündüz saatlerinde bu sınır tabakası türbülansın etkisiyle 500 metre daha derin hale gelmiştir. Bu durum, sakin hava koşullarında bölgedeki kirleticilerin yayılmasını etkiler. Çalışmada, düşük seviyelerde hava akımlarının birleştiği, sınır tabakasının tepesinde de hava akımlarının dağıldığı bir yapı tespit edilmiştir. Bu yapı bir kentsel esinti oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle kıyı kentlerinde, kent merkezinde güçlü bir şekilde hava akımlarının birleştiği bir kuşak oluşması durumunda deniz melteminin kent merkezine doğru hareketi hızlanarak kentsel ısı adası etkisinin daha da belirgin hale geldiği belirtilmiştir (Freitas, Rozoff, Cotton, & Dias, 2007). Bu bulgular, meteorolojik faktörlerin kentsel ısı adalarının oluşumunda kritik bir rol oynadığını ve kent planlamasında hava hareketliliğinin dikkate alınmasının önemini göstermektedir. Özellikle kıyı kentleri ve büyük metropoller için bu tür rüzgar dinamikleri, Kent içi sıcaklığını yönetiminde stratejik bir öneme sahiptir.

**Kentsel Isı Adası Sonuçları**

Kentsel ısı adaları özellikle yoğun nüfusun yaşadığı ve yoğun ekonomik faaliyetlere sahip bölgelerde belirgindir. Günümüzde dünya genelinde kentsel alanlarda yaşayan yaklaşık 3 milyar insan kentsel ısı adalarının olumsuz etkilerine doğrudan maruz kalabilir. Kentlerde yaşayan insan sayısının gelecekte daha da artabileceği beklentisi hakimdir. Bu durum kent planlamasında ve sürdürülebilir çevre politikaları açısından kapsamlı önlemlerin alınmasının zorunlu olduğunu düşündürmelidir (Rizwan, Dennis, & Liu, 2008). Kentsel ısı adalarının sonuçları 3 başlık altında incelenecektir:

**Hava Olaylarında Değişim**

Kentsel ısı adasının görüldüğü bölgede sıcaklık yoğunluğunun artması hava olaylarının değişmesine, sel ve taşkınların daha sık yaşanmasına neden olmaktadır. Kentsel alanlara düşen yağışların toprağa düşmesi güçleştiği için bölgede kuraklık görülmektedir. Kentsel ısı adaları nedeniyle iklim dengesi bozulacağı için sıcaklık artışı ya da yağış rejiminde değişiklikler, kuraklık, su krizleri ve sıcak hava dalgaları gibi olumsuz çevresel koşulların oluşması tetiklenir (Üstündağ et al., 2023). Kentlerdeki ısı adaları yağış düzenlerini etkiler (Collier, 2006), hava kirliliğiyle etkileşime girer, kirlilik (Xu, Yin, & Xie, 2014) ve sel riski artar, su kalitesi azalarak (Hester & Bauman, 2013) sağlık etkileri şiddetlenir.

Kentsel ısı adası fenomeni, düşük inversiyon tabakası ile büyük ölçekli hava sistemleri tarafından desteklendiği durumda, hava akımları bir bölgede toplanarak birleşme fenomenine neden olabilir. Bu durum kirleticilerin atmosferde birikimini arttırarak hava kalitesinin kötüleşmesine neden olur (Lai & Cheng, 2009). Özellikle yoğun kentleşmenin görüldüğü bölgelerde inversiyon tabakasının varlığı kirleticilerin yükselmesini engeller ve kentsel hava kirliliği daha da artabilir. Sanayi emisyonları, egzoz gazları ve enerji üretim sistemlerinden kaynaklanan atık gazlar bu durum üzerinde etkilidir. Hava akımının sınırlı olduğu günlerde PM2.5 ve diğer kirlilik göstergelerinin atmosferde uzun süre kalması önemli bir halk sağlığı problemidir.

**Ekonomik Sonuçlar**

Kentsel ısı adaları doğal yaşamın dengesini bozarak afetlere neden olabileceği için aynı zamanda ekonomik kayıplara da yol açar (Üstündağ et al., 2023). Kentsel ısı adasının sonuçları, yoğunluğa bağlı olarak daha sıcak kış geceleri gibi avantajlı etkilerden, toplum, çevre ve ekonomi üzerinde karmaşık ve zincirleme olumsuz sonuçlara kadar geniş bir yelpazede değişiklik gösterebilir (Phelan et al., 2015). Santamouris ve ark.’nın çalışmasında kentsel merkez Atina bölgesinde binaların soğutma yükünün yazın neredeyse 2 katına çıktığı, ısıtma yükünün banliyö bölgelerindeki binalarla karşılaştırıldığında kışın %30-55 kadar azaldığı bulunmuştur (Santamouris et al., 2001). Bu durum, açık bir şekilde iklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın bir kent ortamında enerji tüketimi ve maliyet açısından belirgin etkileri olduğunu gösterir. Bu durum büyük kent bölgeleri için düşünüldüğünde kentsel ısı adalarıyla kısa ve yoğun bir biçimde kendini gösterebilir. Fung ve ark.’nın çalışmasında 1°C'lik ortam sıcaklığı artışı için elektrik tüketiminin evlerde %9.2, ticari işletmelerde %3, endüstri sektöründe %2.4 oranında artacağı gösterilmiştir. Çalışmada, toplam elektrik tüketimi üzerinde bu etkinin yaklaşık 1.7 milyar Hong Kong dolarına denk gelecek bir etki yaptığı belirtilmiştir. (Fung, Lam, Hung, Pang, & Lee, 2006).

Her geçen zaman artmakla birlikte, kentsel alanlar enerjinin yaklaşık %75’inin tüketildiği yerlerdir (Bretzke, 2013). Özellikle bu etki mega kentlerde belirgindir. Yüksek nüfusa sahip kentlerin daha yoğun kentsel ısı adası etkilerine maruz kalacağı söylenebilir (Tran, Uchihama, Ochi, & Yasuoka, 2006). Kentsel ısı adalarının yüksek morbidite riski de dahil olmak üzere kapsamlı ve iyi anlaşılmamış maliyetleri de bulunmaktadır (Golden, Hartz, Brazel, Luber, & Phelan, 2008).

**Sağlık etkileri**

Kentlerde yaşayan insanlar, sanayi ve trafik kaynaklı hava, su ve toprak kirliliği bir gürültü, aşırı kalabalık ve kötü konut koşulları nedeniyle çevre sağlık riskleriyle karşı karşıyadır. Bu durum halk sağlığı için endişe vericidir. 2007 yılında kentsel nüfusun kırsal nüfusu aştığı düşünüldüğünde sorunun ne kadar büyük bir öneme sahip olduğu anlaşılabilir (Heaviside, Macintyre, & Vardoulakis, 2017). İklim değişikliğinin en ciddi etkisi gelecekte sürekli artan sıcaklık olarak öngörülmektedir. Kentsel ısı adası etkisinin de iklim değişikliği senaryosu altında daha da kötüleşeceği endişesi vardır. Yaz aylarında kentlerde sürekli yüksek sıcaklıkların görülmesi doğrudan olumsuz sağlık etkilerine neden olmaktadır. Aynı zamanda artan sıcaklıklar kent sakinlerinin refahını ve yaşam kalitesini tehdit etmektedir. Sürekli yaz sıcağı, sıcak hava dalgalarını artırmakta ve kent sakinlerinde morbiditeyi ve mortaliteyi artırmaktadır (Gabriel & Endlicher, 2011).

Kentsel ısı adalarının insan sağlığı üzerindeki en önemli etkisi artan sıcağa maruz kalmaktır (Heaviside et al., 2017). Yüksek ya da düşük sıcaklıklara maruz kalmayı küresel olarak artan hastalık sıklığı, hastaneye yatış ve mortalite ile ilişkilendiren çalışmalar vardır (Gasparrini et al., 2015). Kentsel ısı adalarının neden olduğu sıcak hava dalgalarının sıklığı ve şiddetindeki artışlar insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Kentleşme ve hava kirliliği nedeniyle solunum yolu hastalıkları, cilt hastalıkları ve çeşitli psikolojik rahatsızlıklar gibi sağlık sorunlarının yaygınlaştığı görülmektedir. Kentsel alanlarda hava kalitesinin azalması, partiküler madde ve ozon seviyelerinin yükselmesine neden olarak astım ve kronik solunum yolu hastalıkları riskini artırır. Uzun süreli sıcak maruziyeti ısıya bağlı stresi, uyku bozukluklarını artırır (Üstündağ et al., 2023).

Kentsel ısı adalarının yaratmış olduğu sıcaklık artışları özellikle yaşlıları, kronik hastalığı olanları ve sosyoekonomik dezavantajlı grupları etkilemektedir. Artan sıcaklıklar kardiyovasküler ve solunum hastalıklarını tetikleyebildiği gibi acil servis başvurularını ve hastane yatış oranlarını da arttırabilir. Ayrıca sıcak hava dalgalarının etkileri yalnızca fiziksel sağlıkla sınırlı kalmamaktadır, sağlıkla ilişkili tüm faktörler üzerinde etkili olabilir. Kentsel ısı adası aynı zamanda öldürebilir. Örneğin 2003 Avrupa Sıcak Hava Dalgası binlerce kent sakininin ölümüyle sonuçlanmıştır (Robine et al., 2008). Kent sakinleri sıcak hava dalgaları sırasındaki kentsel ısı adası etkisiyle ilişkili olarak görülen sıcaklıklar nedeniyle risk altındadır. Örneğin Paris ve diğer Fransız kentlerinde özellikle 2003 sıcak hava dalgasının etkisi görülmüştür (Le Tertre et al., 2006). Bu olgu daha iyi anlaşıldığında birçok kent sakininin hayatı kurtulabilir. Bilgi temelli veri üretildiğinde sorumluların da kaçamayacağı önlemler alınabilir (Gasparrini et al., 2015; Miner, Taylor, Jones, & Phelan, 2017).

**Çözüm Önerileri**

Kentsel ısı adası etkisini azaltmak için planlama ve politika desteği son derece önemlidir. Kent sakinlerinin termal konforunu iyileştirme yöntemleri arasında teknolojik, politik, mühendislik ve enerji stratejileri yer alır. Yeni temiz enerji yöntemleri geleneksel yöntemlerin yerini alır (Zou & Zhang, 2021). Kentsel ısı adalarının insanlar üzerindeki sağlık etkilerini azaltmak için uyarı sistemleri geliştirilebilir, kentlerdeki buharlaşma artırılabilir, bölgesel sıcaklıklar azaltılabilir, yeşil ve mavi alanların sayısı arttırılabilir, güneş ışınlarını yansıtacak yüzeyler ve malzemeler kullanılabilir (Heaviside et al., 2017). Bu stratejiler kentsel planlama, akıllı bina tasarımları, sürdürülebilir ulaşım ve yenilenebilir enerji politikalarıyla desteklendiğinde kentler daha yaşanabilir ve çevre dostu ortamlar haline gelecektir. Çözüm önerileri 6 başlık altında toplanabilir:

**Yeşil altyapı çözümleri**

Yeşil altyapı çözümleri, gelecekteki kentlerin yaşanabilirliğini arttıracak ve sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Özellikle kentleşmiş bölgelerde doğal ve yeşil alanların korunması sağlanacaktır. Kentlerdeki planlama ve tasarım yaklaşımlarıyla yeşil altyapı uygulamaları entegre edilerek kentsel ısı adası etkisinin azaltılması hedeflenmektedir (Ortaçeşme & Altunbey, 2022). Parklardan ve sokaktaki ağaçlardan yeşil çatılara, sokaklara ve bahçelere kadar hem doğal hem de tasarlanmış yeşil alan uygulamaları bu başlıkta toplanabilir (Balany, Ng, Muttil, Muthukumaran, & Wong, 2020). Yeşil altyapı çözümleri arasında bitki örtüsünün ve suyun kullanımı, gölgelendirme, yeşil çatı ve duvarlar yer alır. Kurulan sistemler sayesinde yağmur suyunun akışı kontrol edilmekte, hava kalitesi ve biyoçeşitlilik korunmaktadır (Ortaçeşme & Altunbey, 2022). Yeşil çatılar, yeşil duvar mühendislik tesisleri, yapay gölge yapılar kentlerdeki termal konforu iyileştirmede etkilidir (Zou & Zhang, 2021). Günümüzde, birçok kentte binaların enerji verimliliğini artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla çeşitli teşvikler sunulmaktadır. Bu teşvikler değerlendirilerek enerji tüketimi azaltılabilir ve iklim değişikliğine katkı sağlanabilir (Fung et al., 2006).

Çatılar kentsel yüzeyin yaklaşık %20-25’lik kısmını oluşturur (Akbari, Shea Rose, & Taha, 2003). Çatılar, kent yüzeyinde güneşe en çok maruz kalan açık alanlardır. Bu nedenle kentlerde yeşil çatı sistemlerinin yaygınlaştırılması kentsel ısı adalarının oluşmasını engellemek için önemli bir çözümdür (Susca, Gaffin, & Dell’Osso, 2011). Yoğun yapılaşmanın görüldüğü kentlerde yeşil alanlara dönüştürülebilecek yüzey sayısı azaldığı için geleneksel çatılar yerine yeşil çatılar oluşturulması önemli faydalar sağlayacaktır (Susca et al., 2011). Kentlerde yeşil çatı yüzeylerinin yaygınlaşması kentsel ısı adalarını azaltmakta, toprağın altındaki yapı malzemelerinin kullanım ömrünü arttırmakta, gürültünün azalmasını sağlamakta ve yaz aylarında binadaki enerji kullanımını azaltmaktadır (Saiz, Kennedy, Bass, & Pressnail, 2006). Yeşil çatıları oluşturan bitki örtüsü sayesinde yaz aylarında güneşten gelen ışınlar emilerek nem seviyesi kontrol altında tutulur. Kışın ve güneşin olmadığı saatlerde ısı enerjisi bitkilerden atmosfere doğru salınır. Bu sayede yeşil çatıların sıcakları serin, soğukları da ılık tutma özelliği devreye girer (Aras, 2019).

Kentsel ısı adalarının ekonomik maliyetinin yanında kentlere uygulanmak istenen karşıt projeler de belirli bir maliyete sahiptir. Örneğin Lizbon'da yeşil çatı uygulamalarının tahmini net değeri 320 milyon Euro olarak belirlenmiştir (Teotónio, Silva, & Cruz, 2018). Bazı çalışmalarda yeşil çatı yatırımlarının sınırlı faydaları göz önüne alındığında, %19-50 arasında finansal kayba neden olduğu belirtilmiştir (Ascione, Bianco, de’ Rossi, Turni, & Vanoli, 2013; Blackhurst, Hendrickson, & Matthews, 2010). Bu ekonomik sorunlara yatırım maliyetlerinin yüksekliği, bakım gereksinimi ve bazı iklim bölgelerinde sınırlı enerji tasarrufu sağlayabilme gibi faktörler eklenebilir. Ancak yeşil çatılar uzun vadede su yönetimi ve hava kalitesinde iyileşme ve kentsel ısı adası etkisini azaltmak gibi çevresel ve toplumsal faydalar sağlamaktadır.

**Parklar ve ağaçlandırma**

Ormanlar ve ağaçlar yararlı ekosistem hizmetleri sağlar. Ağaçlar havadaki kirleticileri temizler. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde kentlerde bulunan ağaçların yılda 711.000 metrik tondan fazla havayı temizlediği tahmin edilmektedir. Bu sayede hasarlar önlenerek 3.8 milyar dolarlık bir kâra neden olurlar (Nowak, Crane, & Stevens, 2006). Ağaçlar aynı zamanda kentlerdeki önemli rekreasyon alanlarıdır. İnsanları fizik aktiviteye teşvik ederek daha sağlıklı olmalarını sağlarlar (Coombes, Jones, & Hillsdon, 2010). Ağaçlar, aynı zamanda dış ortam sıcaklıklarını düşürürler. Bu sayede doğal soğutma mekanizmaları gibi davranarak kentlerdeki ısı adası etkisini azaltırlar. Aynı zamanda yaz aylarında elektrik kullanımını %1.5-5.2 oranında azaltırlar (Donovan & Butry, 2009).

Ağaçlar, kentsel alanlarda gölge oluşturarak ısı birikimini önler ve buharlaşma yoluyla ortamın bağıl nemini arttırırlar. Yeşil alanlar, mikro iklimi düzenler, kentsel sıcaklıkları düşürür ve nemi artırmaya yardımcı olur. Daha yüksek ağaç yoğunluğu ile yeşil alanların varlığı daha iyi soğutma etkisi sağlayabilir. Yeşil alanların 60 metrelik çaptaki bölgede ölçülen sıcaklığı ve nemi etkileyebildiği bilinmektedir (Grilo et al., 2020). Buna ek olarak bitki örtüsü gibi doğal buharlaşan yüzeyler gün boyunca gelen radyasyonun büyük bir kısmını emebilir (Vieira et al., 2018). Daha karmaşık bitki örtüleri mikro iklimi ayarlama konusunda daha yüksek yeteneğe sahiptir. Çok katmanlı bitki toplulukları kentsel ısı adası karşısında soğutma ve nemlendirme de etkili yaklaşımlardan biri olabilir (Zhang, Lv, & Pan, 2013). Binaların ve kentin bazı bölümlerinde doğal havalandırma sağlayan yeşil alanların ve binaların farklı katmanlarında çok amaçlı işleve sahip uygun peyzaj düzenlemelerinin binaların soğutulması için gereken enerjiyi önemli ölçüde azalttığı söylenebilir.

Bazı Çin megakentlerinde son 20-30 yılda geçirimsiz yüzeyler oldukça artmıştır. Bu yüzeylerin yeşillendirme çabalarına tanık olunmuştur (Dou & Kuang, 2020). Örneğin Pekin’de 2012’den 2015’e kadar bölgede bulunan orman örtüsü %10’dan fazla artırılmıştır (Yao et al., 2019). Çin’in Şangay kentinde bulunan Gubei Altın Caddesi 700 m uzunluğunda ve 50-80 metre genişliğinde olan bir gezinti yoludur ve 3 bloktan oluşmaktadır. Bu yol, dik 2 büyük açık parkla engellenmiştir. Parkta kullanılan bitkiler ve su özellikleri nedeniyle bir kentsel doğa manzarası yaratılmıştır. Yolun efradında bulunan kanopiler büyük ve yoğun olduğu zaman ortamı daha serin tutmaktadır. Ancak projenin ortasında, çeşitli etkinliklerin yapılması için ayrılmış halka açık bir alanda bile kentsel ısı adası etkisi görülmektedir. Proje daha fazla bitki örtüsüyle devam ettirilmeye çalışılmaktadır (Zou & Zhang, 2021). ABD’de bulunan Kaliforniya eyaletinde yapılan bir modellemede, eyaletin kentsel alanlarına 36 milyon ağacın dikilmesi için yetecek alan olduğu belirlenmiştir. Bu ağaçların dikilmesi halinde kentsel arazi yüzey sıcaklığında 1.8 °C’lik bir düşüş görüleceği ve bunun da hastane başvurularını azaltacağı ve 1.1 milyar dolarlık bir ekonomik katkıya neden olacağı öngörülmüştür (Chakraborty et al., 2022). ABD’de Las Vegas kentinde planlanan bir projede günün belirli saatlerinde gölgelerindirme mekanizmaları kullanılarak serin bir ortam elde edilmeye çalışılmıştır. Projede, bölgede bulunan potansiyel sıcak alanların su kütlelerinin varlığı nedeniyle hafifletilebileceği ve belirli ölçüde soğutulacağı öngörülmektedir (Zou & Zhang, 2021).

**Uygun malzeme ve ekipman seçimi**

Yüksek yansıtma özelliğine sahip malzemeler gün boyunca daha az güneş ısısını alır ve kentsel ısı adalarını azaltma ve termal ortamı iyileştirme üzerinde önemli bir etki gösterirler. Malzemenin gün boyunca gelen güneş ışınlarını yansıtıcı özelliği malzemenin yüzeyinin termal dengesini etkileyecektir. Bu durum malzemelerin rengine, yüzey dokusuna ve yapısına bağlıdır. Pürüzsüz, açık renkli ve düz olarak karakterize edilen dış mekan döşeme malzemeleri termal konforu iyileştirme üzerinde önemli bir etki gösterebilir (Doulos et al., 2004).

Serin çatılar bina ısı kazanımını ve yaz aylarında görülen klima harcamalarını azaltır. Hem çatı membranının hem de binanın soğutma ekipmanlarının kullanımı bina ömrünü uzatır. Çatı yalıtımının termal verimliliğini iyileştirir, elektrik enerjisine olan talep azalır. Aynı zamanda hava kirliliğini azaltır ve sera gazı emisyonlarının azalmasını sağlar, enerjiden tasarruf sağlayarak kentsel ısı adası etkisini hafifletir (Shahmohamadi et al., 2010). Bina yüzeylerinde yüksek albedolu bir malzeme kullanımı gündüzleri güneş ısı kazanımını azaltır. Kentsel ortam sıcaklığı bina cephesinin yüzey sıcaklığı ile ilişkilidir. Daha düşük yüzey sıcaklığı ortam hava sıcaklığını azaltabilir. Bu durum kentsel ortama da katkı sağlar (Shahmohamadi et al., 2010). Endüstriyel ve ticari bölgelerin kentin ısınmasına olan katkısının yanında, yolların yapıldığı çimento ve asfalt gibi malzemeler ısıyı kolayca emer ve bu da yüzey sıcaklığında artışlara yol açar (Hsieh & Huang, 2016). Kentlerde asfalt sıcaklığı 63°C'ye ulaşabilir, ancak beyaz kaldırımların yalnızca 45°C'ye ulaştığı bilinmektedir (Santamouris et al., 2001). Daha düşük yüzey sıcaklıkları elde edildiğinde ortam havasının sıcaklığının azalmasına katkıda bulunur. Bu tür sıcaklık değişimlerinin kentsel alanlardaki soğutma enerjisi tüketimi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır (Shahmohamadi et al., 2010).

**Serin Koridorlar**

Arttırılmış rüzgar hızı, kentsel ısı adalarının etkisini azaltarak konforlu dış mekan sıcaklarına ve kirleticilerin azalmasına neden olur (Krüger, Minella, & Rasia, 2011). Kentin büyüklüğü, caddelerin genişliği, binaların geometrisi ve kentsel planlama ve tasarımla ilgili olan cephe malzemeleri kentsel ısı adası yoğunluğunu ve kentsel bölgelerdeki termal çevreyi etkileyebilir. Soğutucu etki esas olarak kentsel havalandırma koridorları ve sokak kanyonları oluşturularak elde edilebilir. Derin kanyon görünümündeki bu oluşumlar rüzgarın etkisini azaltarak yayaların termal konforunu önemli ölçüde iyileştirir (Jamei, Ossen, & Rajagopalan, 2017). Ancak kentlerde oluşturulan havalandırma koridorları, binaların en ve boy oranları, halka açık alanların gökyüzü görüş açıları, sokakların genişliği, dış mekan malzemeleri ve bu faktörlerin mikro iklim koşullarıyla olan etkileşimi gibi birçok faktörün göz önünde bulundurulduğu bir yaklaşımla oluşturulmalıdır (Hsieh & Huang, 2016). Örneğin Tayvan’da, yaz aylarında kentsel ısı adası etkisi nedeniyle kent dayanılmaz bir sıcaklığa erişir. Bu etkiyi azaltmak için banliyö alanlarında, denizden esinti çekmek için rüzgar koridorları oluşturulmaktadır. Bu koridorlar toplam yüzey ısısının yeniden dağılmasına neden olarak net gündüz ısınmasını en aza indirmeyi hedeflemektedir (Hsieh & Huang, 2016). Pekin’de yapılan bir çalışmada kentsel rüzgar koridorlarının hakim olduğu alanlarda sıcaklığın 1.23°C daha düşük olduğu bulunmuştur (Liu et al., 2022). Fang ve Zhao’nun çalışmasında kentlerdeki havalandırma koridorlarının kesiştiği noktalarda PM2.5 konsantrasyonlarının ve yüzey sıcaklıklarının azaldığı gösterilmiştir (Fang & Zhao, 2022).

**Enerji tüketimini azaltma**

Kentsel ısı adası mekan soğutma talebini artırarak ve mekan ısıtma talebini azaltarak bina enerji tüketimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Li ve ark.’nın çalışmasında kentsel adasının binada soğutma enerjisi tüketimini %19 arttırdığı belirtilmiştir (Li et al., 2019). Kentsel ısı adası, aşırı enerji kullanımına yol açar ve kentsel nüfusu büyük bir morbidite ve mortalite riski ile zorlayabilir (Shahmohamadi et al., 2010). Özellikle yapı sektöründe enerji kullanımını azaltmak ve yeşil enerjileri teşvik etmek için çaba gösterilmelidir. Enerji dengesi enerji talebini en aza indirir. Rasyonel enerji kullanımıyla ısı geri kazanılarak daha fazla yeşil enerji kullanılabilir (Shahmohamadi et al., 2010).

Klima kullanımı da tüm ülkelerde artmaktadır. Birçok büyük kentte görülebilen çok sayıda, küçük ve düşük verimli kişisel klimalar kentsel planlama açısından son derece Verimsizdir (Miner et al., 2017). Doğal havalandırma hem gündüz hem de gece soğutması sağlayabilen en etkili pasif soğutma tekniğidir. Gece havalandırma ise sıcak iklimlerdeki en etkili stratejilerden biridir (Shahmohamadi et al., 2010). Kentsel alanlar ve binalar için bazı stratejiler doğal havalandırma sağlayabilir ve aynı zamanda enerji tasarrufu sağlar. Binalarda bulunan açıklıkları hakim rüzgar yönünün olduğu yere bakacak şekilde düzenlemek doğal havalandırma için verimlilik sağlar. Aynı zamanda iç hava kalitesi daha sağlıklı olur. Havalandırmalı çatılar kullanılarak doğal havalandırma sağlanır ve aşırı ısınma ortadan kaldırılır. Aynı zamanda zemin seviyesinde ya da orta açıklıkta binanın geçirgenliği sağlanmalıdır (Shahmohamadi et al., 2010). Kentsel binaların enerji tüketimini azaltacak, alternatif pasif ısıtma, soğutma ve aydınlatma teknikleri kullanılarak çevresel sorunların etkisi azaltılabilir (Shahmohamadi et al., 2010

**İnsan kaynaklı kirliliği azaltma**

Kentsel ısı adalarının oluşumunda insan faktörü belirgindir. Bu faktörün etkisini azaltmak için toplu taşımaların kentlerde yaygınlaştırılması ve halkın da toplu taşıma kullanımının artması gereklidir. Toplu taşıma ücretlerinin düşürülmesi gibi uygulamalarla toplu taşıma teşvik edilebilir ve kişilerin motivasyonu artırılabilir. Bu şekilde kentlerdeki yakıt tüketimi ve gaz emisyonu azaltılabilir. Kentin yoğun bölgelerinde halkın yürümesi ve bisiklet kullanımı teşvik edilebilir. Bunun yanında araçlarda kullanılan yakıtların kalitesi iyileştirilebilir (Louiza et al., 2015). Son zamanlarda kullanılmaya başlayan elektrikli araçların ve şarj istasyonlarının daha yeşil kullanıma sahip olması sağlanarak yaygınlaşmasına özen gösterilmelidir. Kentleri ağaçlandırılarak gaz haldeki kirleticilerin emilimi sağlanabilir ve havanın ısınması azaltılır. Ağaçları, kentin atmosferine katkı sağlayan kentsel mobilyalar olarak düşünmek gerekir (Louiza et al., 2015).

**SONUÇ**

Kentsel ısı adaları, kentleşmenin ve insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak kent içi sıcaklıkların kırsal alanlara kıyasla daha yüksek olduğu bir fenomendir. Yeşil alanların azalması, yapı yoğunluğunun artması ve insan kaynaklı ısı emisyonları bu etkiyi tetikler. Kentsel ısı adalarının hava kalitesinin bozulması ve göz sağlık riskleri ve artan enerji tüketimi gibi olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Bu sorunu azaltmak için yeşil alt yapı, yansıtıcı malzemeler, Selin koridorlar ve enerji verimli kentsel planlama stratejileri önerilmektedir.

**Kaynaklar**

Akbari, H., Shea Rose, L., & Taha, H. (2003). Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape and Urban Planning*, 63(1), 1–14. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00165-2

Aliyu, A. A., & Amadu, L. (2017). Urbanization, Cities, and Health: The Challenges to Nigeria – A Review. *Annals of African Medicine*, 16(4), 149. Retrieved from https://doi.org/10.4103/aam.aam\_1\_17

Aras, B. B. (2019). Kentsel Sürdürülebilirlik Kapsamında Yeşil Çatı Uygulamaları. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 469–504. Retrieved from https://doi.org/10.33206/mjss.474314

Ascione, F., Bianco, N., de’ Rossi, F., Turni, G., & Vanoli, G. P. (2013). Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? *Applied Energy*, 104, 845–859. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.068

Balany, F., Ng, A. W., Muttil, N., Muthukumaran, S., & Wong, M. S. (2020). Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water*, 12(12), 3577. Retrieved from https://doi.org/10.3390/w12123577

Blackhurst, M., Hendrickson, C., & Matthews, H. S. (2010). Cost-Effectiveness of Green Roofs. *Journal of Architectural Engineering*, 16(4), 136–143. Retrieved from https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000022

Bohnenstengel, S. I., Evans, S., Clark, P. A., & Belcher, S. e. (2011). Simulations of the London urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(659), 1625–1640. Retrieved from https://doi.org/10.1002/qj.855

Brandsma, T., Können, G. P., & Wessels, H. R. A. (2003). Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *International Journal of Climatology*, 23(7), 829–845. Retrieved from https://doi.org/10.1002/joc.902

Bretzke, W.-R. (2013). Global urbanization: a major challenge for logistics. *Logistics Research*, 6(2–3), 57–62. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s12159-013-0101-9

Chakraborty, T., Biswas, T., Campbell, L. S., Franklin, B., Parker, S. S., & Tukman, M. (2022). Feasibility of afforestation as an equitable nature-based solution in urban areas. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103826. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103826

Collier, C. G. (2006). The impact of urban areas on weather. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132(614), 1–25. Retrieved from https://doi.org/10.1256/qj.05.199

Coombes, E., Jones, A. P., & Hillsdon, M. (2010). The relationship of physical activity and overweight to objectively measured green space accessibility and use. *Social Science & Medicine (1982)*, 70(6), 816–822. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2009.11.020

Donovan, G. H., & Butry, D. T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings*, 41(6), 662–668. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.002

Dou, Y., & Kuang, W. (2020). A comparative analysis of urban impervious surface and green space and their dynamics among 318 different size cities in China in the past 25 years. *Science of The Total Environment*, 706, 135828. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135828

Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231–249. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005

Fang, Y., & Zhao, L. (2022). Assessing the environmental benefits of urban ventilation corridors: A case study in Hefei, China. *Building and Environment*, 212, 108810. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108810

Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87–95. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008

Freitas, E. D., Rozoff, C. M., Cotton, W. R., & Dias, P. L. S. (2007). Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. *Boundary-Layer Meteorology*, 122(1), 43–65. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s10546-006-9091-3

Fung, W. Y., Lam, K. S., Hung, W. T., Pang, S. W., & Lee, Y. L. (2006). Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong. *Energy*, 31(14), 2623–2637. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.12.009

Gabriel, K. M. A., & Endlicher, W. R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, 159(8), 2044–2050. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016

Gartland, L. M. (2012). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. London: Routledge. Retrieved from https://doi.org/10.4324/9781849771559

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., … Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369–375. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. Retrieved from https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

Golden, J. S., Hartz, D., Brazel, A., Luber, G., & Phelan, P. (2008). A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *International Journal of Biometeorology*, 52, 471–480.

Grilo, F., Pinho, P., Aleixo, C., Catita, C., Silva, P., Lopes, N., … Branquinho, C. (2020). Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution. *Science of The Total Environment*, 724, 138182. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138182

Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. *Current Environmental Health Reports*, 4(3), 296–305. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3

Hester, E. T., & Bauman, K. S. (2013). Stream and Retention Pond Thermal Response to Heated Summer Runoff From Urban Impervious Surfaces. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(2), 328–342. Retrieved from https://doi.org/10.1111/jawr.12019

Hsieh, C.-M., & Huang, H.-C. (2016). Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 130–143. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.02.005

Jamei, E., Ossen, D. R., & Rajagopalan, P. (2017). Investigating the effect of urban configurations on the variation of air temperature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 389–399. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.001

Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002–1017. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104

Kohlhase, J. E. (2013). The new urban world 2050: perspectives, prospects and problems. *Regional Science Policy & Practice*, 5(2), 153–166. Retrieved from https://doi.org/10.1111/rsp3.12001

Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621–634. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.09.006

Lai, L.-W., & Cheng, W.-L. (2009). Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of The Total Environment*, 407(8), 2724–2733. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.002

Le Tertre, A., Lefranc, A., Eilstein, D., Declercq, C., Medina, S., Blanchard, M., … Ledrans, M. (2006). Impact of the 2003 Heatwave on All-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology*, 17(1), 75. Retrieved from https://doi.org/10.1097/01.ede.0000187650.36636.1f

Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *Energy*, 174, 407–419. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183

Liu, Y., Xuan, C., Xu, Y., Fu, N., Xiong, F., & Gan, L. (2022). Local climate effects of urban wind corridors in Beijing. *Urban Climate*, 43, 101181. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101181

Louiza, H., Zéroual, A., & Djamel, H. (2015). Impact of the transport on the urban heat island. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(3), 252–263.

Mihalakakou, G., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Cartalis, C., & Tsangrassoulis, A. (2004). Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 429–451.

Miner, M. J., Taylor, R. A., Jones, C., & Phelan, P. E. (2017). Efficiency, economics, and the urban heat island. *Environment & Urbanization*, 29(1), 183–194. Retrieved from https://doi.org/10.1177/0956247816655676

Montavez, J. P., Rodriguez, A., & Jimenez, J. I. (2000). A study of the Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20(8), 899–911. Retrieved from https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<899::AID-JOC433>3.0.CO;2-I

Morris, C. J. G., Simmonds, I., & Plummer, N. (2001). Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology*, 40(2), 169–182.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3), 115–123. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007

Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46(11), 2186–2194. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.034

Ortaçeşme, V., & Altunbey, P. Z. (2022). İklim Adaptasyonunun Anahtarı Olarak Yeşil Altyapı: Kentsel Doğa ve İklim Değişikliği. *PEYZAJ*, 4(2), 123–132. Retrieved from https://doi.org/10.53784/peyzaj.1220747

Parker, D. E. (2010). Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *WIREs Climate Change*, 1(1), 123–133. Retrieved from https://doi.org/10.1002/wcc.21

Peterson, T. C. (2003). Assessment of Urban Versus Rural In Situ Surface Temperatures in the Contiguous United States: No Difference Found. Retrieved 17 March 2025 from https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/16/18/1520-0442\_2003\_016\_2941\_aouvri\_2.0.co\_2.xml

Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva, H., & Taylor, R. A. (2015). Urban Heat Island: Mechanisms, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 285–307. Retrieved from https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4

Robine, J.-M., Cheung, S. L. K., Roy, S. L., Oyen, H. V., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus. Biologies*, 331(2), 171–178. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001

Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., & Pressnail, K. (2006). Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Environmental Science & Technology*, 40(13), 4312–4316. Retrieved from https://doi.org/10.1021/es0517522

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of The Total Environment*, 512–513, 582–598. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060

Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., & Assimakopoulos, D. N. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, 70(3), 201–216. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00095-5

Santamouris, M., Paraponiaris, K., & Mihalakakou, G. (2007). Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climatic Change*, 80(3), 265–276.

Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Ramly, A., Maulud, K. N. A., & Mohd-Nor, M. F. I. (2010). Reducing urban heat island effects: A systematic review to achieve energy consumption balance. *International Journal of Physical Sciences*, 5(6), 626–636.

Sun, C.-Y., Brazel, A. J., Chow, W. T. L., Hedquist, B. C., & Prashad, L. (2009). Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(3), 323–335. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s00704-009-0120-2

Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8), 2119–2126. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007

Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971–2979. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017

Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2018). Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 199, 121–135. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.084

Tran, H., Uchihama, D., Ochi, S., & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(1), 34–48.

Tzavali, A., Paravantis, J. P., Mihalakakou, G., Fotiadi, A., & Stigka, E. (2015). Urban heat island intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(12b), 4537–4554.

Üstündağ, Ç., Karataş, Ş. İ., Parildar, N. N., & Artar, M. (2023). Kentsel Isı Adalarının Azaltılmasında Yeşil Altyapı Sistemlerinin Önemi. *PEYZAJ*, 5(2), 124–134. Retrieved from https://doi.org/10.53784/peyzaj.1406139

Vieira, J., Matos, P., Mexia, T., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., … Pinho, P. (2018). Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks. *Environmental Research*, 160, 306–313. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.006

Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. Retrieved from https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8

Wang, Z. (2006). A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. *Building and Environment*, 41(8), 1034–1039. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.020

Watkins, R., Palmer, J., & Kolokotroni, M. (2007). Increased Temperature and Intensification of the Urban Heat Island: Implications for Human Comfort and Urban Design. *Built Environment*, 33(1), 85–96. Retrieved from https://doi.org/10.2148/benv.33.1.85

Wei, Y. (2020). Scaling of Urban Heat Island and NO2 with Urban Population: A Meta-Analysis. *International Congress on Environmental Modelling and Software*. Retrieved from https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2020/Stream-F/5

Xu, L.-Y., Yin, H., & Xie, X.-D. (2014). Health Risk Assessment of Inhalable Particulate Matter in Beijing Based on the Thermal Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(12), 12368–12388. Retrieved from https://doi.org/10.3390/ijerph111212368

Yao, N., Konijnendijk van den Bosch, C. C., Yang, J., Devisscher, T., Wirtz, Z., Jia, L., … Ma, L. (2019). Beijing’s 50 million new urban trees: Strategic governance for large-scale urban afforestation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 44, 126392. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126392

Yılmaz, D., & Öztürk, S. (2023). Kentsel Isı Adası Etkisinin Sistematik Bir İncelemesi: Kentsel Form, Peyzaj ve Planlama Stratejileri. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(4), 302–323.

Younger, M., Morrow-Almeida, H. R., Vindigni, S. M., & Dannenberg, A. L. (2008). The Built Environment, Climate Change, and Health: Opportunities for Co-Benefits. *American Journal of Preventive Medicine*, 35(5), 517–526. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.017

Yüksel, Ü. D., & Yılmaz, O. (2008). Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 0.

Zhang, Z., Lv, Y., & Pan, H. (2013). Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 323–329. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.03.010

Zou, M., & Zhang, H. (2021). Cooling strategies for thermal comfort in cities: a review of key methods in landscape design. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62640–62650. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s11356-021-15172-y