

A SYSTEMATIC REVIEW OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT: URBAN FORM, LANDSCAPE AND PLANNING STRATEGIES

Dilara YILMAZ - Sevgi ÖZTÜRK

ABSTRACT

The population living in urban areas is increasing day by day all over the world. Due to the increase in population in cities, social, economic, and environmental problems are also increasing. At the forefront of these problems is the formation of an urban heat island, which is one of the microclimatic negativities. Especially due to dense construction, changes in urban morphology, decrease in green areas and increase in impermeable surfaces increasing the formation of urban heat islands. Urbanization and global climate change, which are caused by human influence, have an impact on the environment, society, and economy. Unplanned construction, which emerged as a result of urban growth and population growth, reduces the resilience of cities in this process. However, it is possible to contribute to the creation of resilient cities with the strategies and planning decisions made in urban transformation applications made to prevent unplanned construction. The urban heat island, which is the biggest impact of climate change on cities, is a long-term process that threatens living things. In this process, which affects many areas, especially urban life, ecosystem, and human life, it is an important necessity to produce effective planning strategies for harmony and resilience. Evaluation of urban form optimizations is also important in this process. In this context, the study presents a systematic review of studies that deal with planning strategies within the scope of green infrastructure, architectural design, and albedo parameters, focusing on urban heat island effects, urban form, and landscape relationship in urban heat island formation.

Keywords: Climate Change, Urbanization, Sustainable Urban Development, Green Infrastructure, Albedo.

Doktora öğrencisi, Kastamonu Üniversitesi

Mail: dlara.yilmaz94@gmail.com

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9151-0529>

Prof. Dr., Kastamonu Üniversitesi

Mail: sozturk@kastamonu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3383-7822>

Makale Atıf Bilgisi: Yılmaz, D.– Öztürk, S. (2023). "Kentsel Isı Adası Etkisinin Sistematik Bir İncelemesi: Kentsel Form, Peyzaj ve Planlama Stratejileri". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 2. Sayı: 4. ss. (302-323)

Makale Türü: Derleme
Geliş Tarihi: 26.05.2023
Kabul Tarihi: 24.06.2023
Yayın Tarihi: 31.07.2023
Yayın Sezonu: Temmuz 2023

KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN SİSTEMATİK BİR İNCELEMESİ: KENTSEL FORM, PEYZAJ VE PLANLAMA STRATEJİLERİ

Dilara YILMAZ - Sevgi ÖZTÜRK

ÖZ

Tüm dünyada özellikle kentsel alanlarda yaşayan nüfus her geçen gün artmaktadır. Kentlerde nüfus artışına bağlı olarak sosyal, ekonomik ve çevresel sorunlarda da artmaktadır. Bu sorunların en başında ise mikroklimatik olumsuzluklardan biri olan kentsel ısı adası oluşumu gelmektedir. Özellikle yoğun yapılaşmaya bağlı olarak, kentsel morfolojinin değişmesi, yeşil alanların azalarak geçirimsiz yüzeylerin artması kentsel ısı adası oluşumunu artırmaktadır. İnsan etkisi ile meydana gelen, kentleşme ve küresel iklim değişimi çevre, toplum ve ekonomi üzerinde etki oluşturmaktadır. Kentsel büyüme ve nüfus artışı sonucunda ortaya çıkan plansız yapılaşma, bu süreçte kentlerin dayanıklılık gücünü azaltmaktadır. Fakat plansız yapılaşmanın önüne geçilmesi amacıyla yapılan kentsel dönüşüm uygulamalarında ele alınan strateji ve oluşturulan planlama kararları ile dirençli kentlerin oluşturulmasına katkı sağlanması mümkündür. İklim değişikliğinin kentler üzerindeki en büyük etkisi olan kentsel ısı adası, canlı yaşamını tehdit eden uzun vadeli bir süreçtir. Kentsel yaşam, ekosistem, insan yaşamı başta olmak üzere birçok alanı etkileyen bu süreçte, uyum ve dayanıklılık için etkili planlama stratejileri üretilmesi önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreçte kentsel form optimizasyonlarının değerlendirilmesi de önem taşımaktadır. Bu bağlamda çalışma, kentsel ısı adası etkileri, kentsel ısı adası oluşumunda kentsel form ve peyzaj ilişkisine odaklanarak, yeşil altyapı, mimari tasarım ve albedo parametreleri kapsamında planlama stratejilerini ele alan çalışmaların sistematik bir incelemesini sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Kentleşme, Sürdürülebilir Kentsel Gelişme, Yeşil Altyapı, Albedo.

Giriş

Kentsel ısınma ve küresel ısınmanın etkileri kentlerin iklim değişikliğine uyum sürecinde en büyük zorluklardan biri haline gelmektedir (Parker, 2004; Patz vd., 2005; Georgescu vd., 2014; Sun vd., 2016). Günümüzde dünya nüfusunun yaklaşık % 55'i kentlerde yaşamaktadır. 2050 yılına gelindiğinde ise bu oranın yaklaşık %70'lere ulaşması beklenmektedir (UNDESA, 2023; WHO,2023). Kentleşme ve kentlileşme eğiliminin artarak devam edeceği göz önüne alındığında, kentleşme sürecinin iklim sistemi üzerindeki baskısının artmasının büyük bir sorun olarak karşımıza çıkacağı öngörüsü de en büyük endişe kaynaklarından biridir. Bu durum kentsel alanları Dünya kara yüzeyinin önemli bir bileşeni haline getirmektedir (Parker, 2004; Sun vd., 2016; Lee ve Kim, 2016; Sun vd., 2019; IPCC, 2022).

Kentler sürekli bir değişim ve dönüşüm süreci içerisinde olarak, sosyal, kültürel ve ekonomik gelişmenin temel birimi olmaya devam etmektedir. Kırsal alanlara oranla eğitim, istihdam ve yaşam kalitesi açısından daha fazla fırsat sundukları için ekonomik kalkınma açısından önemli bir rol oynamaktadır. Günümüz kentlerinde bu durum nüfus artışı, ekonomik, sosyal ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu noktada kentlerde sıklıkla mikroklimatik bir çevresel sorun olarak kentsel ısı adası oluşumu gözlemlenmektedir (Nakata ve Souza, 2013; Allegrini vd., 2015; Canan, 2017). İnsan kaynaklı faaliyetler sonucunda üretilen karbon emisyonlarının potansiyel yıkıcı sonuçlarla dünya çapında iklimi etkilediği bilinmektedir (Hornsey ve Fielding, 2020). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2022 yılında yayınlanan 6. Değerlendirme Raporu'na göre de halihazırda atmosferde bulunan sera gazları ve mevcuttaki emisyon eğilimlerinin 2040 yılına kadar günümüzden daha şiddetli olaylara neden olacağı tahmin edilmektedir. Karbon emisyonunun artması gibi insan kaynaklı nedenlerden meydana gelen iklim değişikliği, Yerküre'nin enerji bütçesinin veya enerji dengesinin değişmesine, doğal fiziki coğrafyanın bozulmasına, yeryüzü albedosunun farklılaşmasına ve bunun sonucunda da kentlerin ormansızlaşması gibi bölgesel ve küresel ölçekte önemli değişikliklere neden olmaktadır (IPCC, 2022; Türkeş, 2022).

Aynı zamanda kentlerde bulunan yüksek katlı binalar, binaların yerleşim biçimleri, bina yüzeylerinde kullanılan malzemeler ısı dağılımını etkileyerek, kentleşmenin neden olduğu ve kent iklimini olumsuz yönde etkileyen en önemli çevresel sorunlardır. Kentleşme süreci bitki örtüsü, su kütleleri ve tarım arazileri gibi doğal peyzaj alanlarının geçirimsiz yüzeylere ve kentsel altyapı alanlarına dönüşmesine neden olmaktadır. Bu dönüşüm, bitki örtüsü sayesinde elde edilen terleme ve buharlaşma döngüsünün azalmasına neden olarak, güneş radyasyonu emilimini artırmaktadır. Bu durum ise yerel ve bölgesel ölçekte iklimi etkileyerek kentsel ve kırsal alanlarda sıcaklık farkı oluşması olarak ifade edilen

kentsel ısı adası (KIA) oluşumuna neden olmaktadır (Yao vd., 2017; Dai vd., 2018). Kentsel ısı adası yoğunluğunu (Schwarz vd., 2011; Peng vd., 2012; Zhao vd., 2014) ve olası nedenlerini araştıran çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmalarda ise ulaşılan en önemli sonuç, kentsel ısı adası oluşumunun insan kaynaklı faaliyetlerinin çevresel bir etkisi olarak tespit edilmesidir (Stone vd., 2013; Zhou vd., 2014; Wang vd., 2015; Peng vd., 2016; Li vd., 2017; Canan, 2017; Dai vd., 2018; Çilek Ünal, 2022). Kentsel alanlarda aşırı sıcaklık sorununun nasıl azaltılabileceği en temel araştırma konuları arasındadır (Fischer ve Schar 2010; Çobanyılmaz ve Yüksel, 2013; Stone vd., 2013; Georgescu vd., 2014; Gunawardena vd., 2017; Ramamurthy ve Bou-Zeid, 2017; Sun vd., 2019).

İklim değişikliğinin öne çıkan önemli bir sonucu, sıcaklıklarda sürekli artışların olmasıdır. Kentsel planlama alanında, yerel ölçekte iklim değişikliği ile mücadele sürecinde kentlerin daha dayanıklı, daha uyumlu ve en az zararla bu süreci atlatabilmeleri için doğa ve tasarım temelli çözümler geliştirilmesi önemli bir gerekliliktir. Artan sıcaklıkların kentsel ısı adası oluşumunu artırması nedeniyle, gelecekte insanları daha sert ve yıkıcı bir şekilde etkileyeceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, kentsel alanların iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha dayanıklı olabilmelerinin, kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması için kentsel ısı adası etkilerinin azaltılması gerekmektedir (IPCC, 2022). Günümüzde iklim değişikliği ile mücadele sürecinde, kentsel ısı adası üzerinde durulması gereken temel araştırma konuları arasında bulunmaktadır. Küresel sıcaklığı ve enerji tüketimini önemli ölçüde artırarak küresel ısınmayı hızlandırmasından dolayı kentsel ısı adası etkisini önleme ve hafifletme stratejilerinin geliştirilmesi önemli bir gerekliliktir. Bu bağlamda çalışmada, iklim değişikliği sürecinde kentlerin daha uyumlu olabilecekleri planlama politikalarını yönlendirebilecek bir analiz sunmak amacıyla, kentsel ısı adası etkisi, kentsel ısı adası ile kentsel form ve peyzaj ilişkisi üzerinde durularak, yeşil altyapı, mimari tasarım ve albedo parametreleri doğrultusunda planlama stratejilerinin sistematik bir incelemesi sunulmaktadır.

Kentsel Isı Adası Etkisi

Kentsel ısı adası kavramı, yerel antropojenik iklim değişikliğinin en önemli formlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Kavram, "kentsel alanlardaki sıcaklıkların kırsal alanlara göre daha yüksek olması" olarak tanımlanmaktadır (Howard, 1883; Oke, 1982; Arnfield, 2003; Streutker, 2003; Yüksel ve Yılmaz, 2008; Çobanyılmaz ve Yüksel, 2013; Santamouris, 2013). Aynı zamanda, kırsal alanlara oranla kentsel alanlarda pozitif bir ısı dengesinin oluşması olarak ifade edilmektedir (Oke, 1982; Glaeser ve Kahn, 2010; Depietri vd., 2012; Bai vd., 2018). Kentsel ısı adası, yapılı çevreler başta olmak üzere, kentleri enerji tüketimi, toprak, su sistemi gibi pek çok alanda etkilemektedir (Şekil 1).

bulunmaktadır (Santamouris vd., 2007). Olumsuz etkiler genel olarak yaz dönemlerinde, kurak geçen günlerde ortaya çıkmaktadır. Bu duruma bağlı olarak ise kentsel faaliyetler azalarak enerji tüketimi artmaktadır. Kentsel ısı adası aynı zamanda, kentsel alanlarda insanların termal konforlarını etkileyerek astım, bitkinlik, yüksek tansiyon, kalp hastalıkları gibi birçok sağlık sorununa da neden olmaktadır (Buchin vd., 2016). Soğuk iklim bölgelerindeki kentlerde ise bu olumsuz etkiler aksine kentsel ısı adasının olumlu yanlarının da olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerde bulunan kentlerde özellikle kış dönemlerinde donma ve buzlanma olmadığı uzun sürelerin olması, kar örtüsü süresinin kısılması, daha uzun sürede mahsul yetiştirilmesini sağlamaktadır. Bu durum da insanlara özellikle ekonomik açıdan büyük bir fayda sağlamaktadır (Roth vd., 2013; Unger vd., 2014).

Kentlerin gelecekteki iklim durumlarının öngörülmesi açısından kentsel ısı adasının etkisinin tam olarak anlaşılması önemlidir. Kentsel alanlarda iç ve dış termal konforun bozulması, sera gazı emisyonları, artan nem, fırtına ve sellere neden olan yağış oranlarındaki ve ekosistemdeki değişimlerin hepsi kentsel ısı adası sonucunda ortaya çıkan olumsuz durumların bir kısmıdır (Sailor ve Fan, 2002; Sarrat vd., 2006; Mirzaei ve Haghighat, 2010; Santamouris, 2015; Santamouris, 2016; Yin vd., 2016; Livesley vd., 2016; Sachindra vd., 2016; Antoszewski vd., 2020).

Tüm bu etkilerin yanı sıra günümüzde hem iklim değişikliği sürecini en az hasarla atlatabilmek hem de insanların yaşam kalitesinden ödün vermeden sürdürülebilir kentsel gelişmeyi sağlayabilmek için kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi önemli bir durumdur (Tzavali vd 2015; Filho vd., 2021).

2.Yöntem

Çalışmada, sürdürülebilir kentsel gelişme çerçevesinde kentsel ısı adası oluşumunu azaltmaya yönelik çeşitli planlama stratejilerine ilişkin literatürün sistematik bir incelemesi yapılmıştır. Web of Science, Scopus, Wiley, ScienDirect, Springer Link ve Sage çevrimiçi veri tabanlarından makaleler, bilimsel raporlardan kentleşme, kentsel form, peyzaj, mimari tasarım, albedo parametreleri ile kentsel ısı adası ilişkisi konusunda inceleme yapan araştırmalar belirlenmiştir.

Kentsel ısı adası konusu küresel ölçekte çok boyutlu ve karmaşık bir olgudur. Bu nedenle çalışma kapsamına belirlenen parametreler doğrultusunda bir seçim yapılarak, bu parametreler doğrultusunda oluşturulan planlama stratejileri ele alınmıştır.

3. Kentsel Isı Adası, Kentsel Form ve Peyzaj İlişkisi

Kentsel ısı adası oluşumu, arazi kullanımında ve arazi örtüsündeki değişimlerin yerel ve bölgesel ölçekte iklimi nasıl etkilediğinin en belirgin göstergesidir (Arnfield, 2003; Yow, 2007; Pielke vd., 2011; Chun ve Guldmann, 2014). Kentleşme, iklim sürecini etkilediği gibi aynı zamanda arazi kullanımı ve peyzaj yüzey özelliklerinde hızlı değişikliklere de neden olmaktadır. Kentlerde yer alan açık alan, tarım ve orman alanlarının yerini binalar, otoparklar ve otoyollar gibi geçirimsiz yüzeylerin alması, yüzey akışının azalmasına ve yüzey ısısının da artmasına yol açmaktadır (Chapman vd., 2017). Bu durum aynı zamanda, kırsal yüzeylere kıyasla albedo ve kentsel geometriyi değiştirmektedir. Yeşil alanların azalması ve geçirimsiz yüzeylerin artması, kentsel alanlarda buharlaşma-terleme miktarını ve ısı akışını azalttığından sıcaklıkların yükselmesinde etkili unsurlardır (Oke, 1982; Grimmond ve Oke, 1991). Yapılarda kullanılan inşaat malzemeleri ve güneş ışığından gelen radyasyonun kanyon içerisindeki yansımalarından dolayı, kentsel yüzeyler kırsal alanlara oranla daha düşük bir albedoya sahiptir. Kentsel alanlardaki insan faaliyetlerinden salınan ısı olan antropojenik ısı salınımı da daha yüksek olduğundan bu alanlarda kentsel ısı adası oluşumu kaçınılmaz olmaktadır (Bonan, 2008; Unger, 2009; Chun ve Guldmann, 2014; Chapman vd., 2017). Kentsel ısı adasının oluşumu, şehirlerin şekli ve geometrisiyle doğrudan ilişkili olduğundan, kentsel büyümenin yüzey sıcaklıklarını ve kent sakinlerinin yaşadığı ısı stres seviyesini artırmaktadır. Birçok araştırma kentsel form göstergelerinin kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen en önemli faktörler arasında olduğunu göstermiştir (Stewart, 2011; Heaviside vd., 2016; Ward vd., 2016; Campbell vd., 2018; Liang vd., 2020).

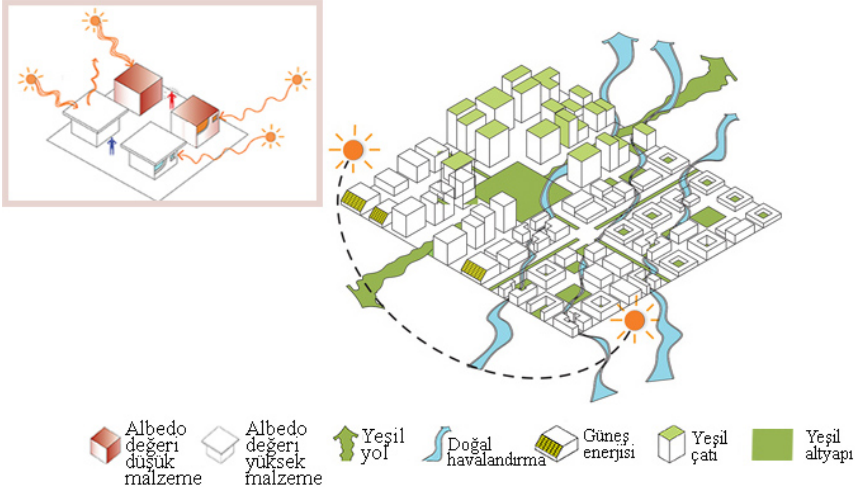
Bir kent ölçeği ele alındığında, kentsel büyüklük, form, bitki örtüsü düzeyi, termal çevre üzerinde en fazla etkisi olan kentsel formun bileşenleridir. Kent büyüklüğü ile kentsel ısı adası arasında aynı doğrultuda pozitif bir ilişki olduğu bilinmektedir. Aynı zamanda kentsel yoğunluğun ve sosyo-ekonomik faaliyetlerin de kentsel ısı adası yoğunluğu üzerinde güçlü pozitif etkileri bulunmaktadır (Oke, 1973; Estoque vd., 2017; Takebayashi ve Senoo, 2018; Wu, 2010; Debbage ve Shepherd, 2015; Zullo vd., 2019). Kentin geometrik özelliklerinin, geçirimsiz yüzeylerin albedosu, ısı transferi ve hava sirkülasyonu üzerindeki etkilerinden dolayı kentsel ısı adası oluşumu üzerinde diğer faktörlere göre daha fazla etkili olduğu belirtilmektedir (Debbage ve Shepherd, 2015; Morabito vd., 2016; Takebayashi ve Senoo, 2018; Zullo vd., 2019). Kentsel bitki örtülerinden, yeşil alanların, ağaçların ısı akışındaki soğutma etkisinden dolayı ısı adası oluşumunu azaltmaktadır. Ağaçlar yer veya bina yüzeylerinde gölge etkisiyle serinletici bir etkiye sahiptir. Bu sayede ısı adası oluşumu da azalmaktadır (Zeng vd., 2010; Monteiro vd., 2016; Bonafoni vd., 2017; Gunawardena vd., 2017). Bütün bu faktörlerin yanı sıra kentleşme ve

kentsel ısı adası arasındaki ilişki özellikle günlük, mevsimsel, iklimsel ve kentsel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Her kentin kendine özgü özellikleri olmasından dolayı her kentte kentsel ısı adası etkisi farklı olmaktadır (Yang vd., 2017; Huang ve Wang, 2019).

Yapılı çevrelerdeki ve nüfus oranındaki artış, enerji tüketimi, ekonomi, karbon veya hava kirletici emisyonları gibi farklı ölçekteki etkileriyle birleşerek, kentlerin fiziksel ve sosyo-ekonomik özelliklerinde köklü değişikliklere neden olmaktadır (Chun ve Guldmann, 2014; Li vd., 2018; Bai vd., 2019). Bu değişim sürecinde, kentsel gelişim düzeyi, kentsel form ile ısı adası etkileşimi önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle gelişmiş kentlerdeki karmaşıklık daha fazla trafik akışında artışına neden olduğundan, kirletici emisyon oranlarında da artışlar olmaktadır (Bettencourt ve West, 2010; Deng ve Wu, 2013; Jurus vd., 2016; Yuan vd., 2018). Bu durumun tam tersi olarak endüstri alanında iyileştirmeler yapılarak, gece ışık yoğunluğu artışına ve bu sayede daha az ısı emisyonu sağlanması mümkündür (Khan ve Chatterjee, 2016; Takebayashi ve Senoo, 2018).

4. Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılması İçin Planlama Stratejileri

Günümüzde kentler iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı bir mücadele süreci içerisinde. Bu mücadele süreci, insanların yaşam kalitesinin artırılması ve sürdürülebilir bir kentsel gelişmenin sağlanması konusunda önemli bir role sahiptir (Alusi vd., 2011; Folke, 2011; Santamouris, 2014; Lai vd., 2019; Khare vd., 2021). Kentleşme ve nüfus artışının devam edeceği öngörüsüne dayanarak, özellikle plansız yapılaşmaların yoğun olduğu bölgelerde kentsel sorunlara çözüm üretilmesi amacıyla yapılan kentsel dönüşüm, değişime uğrayan alanın fiziksel, çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlarına kalıcı çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. İklim değişikliği sürecinde de bu kapsamda yapılan uygulamalar, hem sağlıklı yaşam alanlarının oluşmasını hem de insanların yaşam kalitelerinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Thomas, 2003; Keleş, 2004; Öztürk vd., 2020). Kentlerin iklim değişikliğinin hem kısa vadeli hem de uzun vadeli kentsel ısı adası etkilerine karşı daha dirençli hale gelmeleri için, kent yapısını, mimari özellikleri ve yaşam alanlarının kentsel planlamasını sürdürülebilirlik çerçevesinde uyum ve azaltıcı politikaları geliştirmeleri gerekmektedir (Masson vd., 2014; Filho vd., 2018; Filho vd., 2021). Bu politikaların başında ise, doğa temelli çözümler önem taşımaktadır. Sürdürülebilirlik çerçevesinde yeşil altyapı, yapılarda kullanılan malzemelerin termal özellikleri gibi faktörler öne çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında kullanılan parametreler
(Klein-Rosenthal ve Raven, 2016)

4.1. Yeşil Altyapı

Yeşil altyapı kentsel alanlarda rekreasyon, biyoçeşitlilik, kültürel kimlik, çevresel kalite gibi birçok role sahiptir. Bu nedenle, kentsel iklim değişikliğine hem uyum hem de azaltmak için en etkili planlama araçlarından biri yeşil altyapının sağlanmasıdır. Ekosistem temelli bir yaklaşım olan yeşil altyapı, çok işlevli çevresel bir fonksiyondur. Yeşil altyapının tasarımı ve yönetimi, hem kentlerin sürdürülebilirliğe katkıda bulunmakta hem de kentsel alanların yerel karakterinin geliştirilmesinde önem taşımaktadır (Norton vd., 2015; Adedeji ve Fadamiro, 2015; Yiannakou ve Salata, 2017; Filho vd., 2021).

Hem kamusal hem de özel alanları kapsayan, birçok çevresel faydası olan planlanmış yeşil alanlardan oluşan stratejik bir ağ olarak tanımlanan mavi-yeşil altyapının kentsel ısı adası etkisini azaltmada etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Mavi altyapı, gölleri, nehirleri, sulak alan gibi alanları içerirken, yeşil altyapı ise ormanları, ekilebilir alanları, parkları, yeşil duvarlar, yeşil çatılar ve özel bahçeler gibi alanları içermektedir (Shou ve Zhang, 2012; Norton vd., 2015; Ghofrani vd., 2016; Antoszewski vd., 2020). Mavi-yeşil altyapının hava kirliliğini azaltılmasında ve insanların yaşam kalitelerini iyileştirilmesinde birçok faydası bulunmaktadır. Aynı zamanda mavi-yeşil altyapının kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında da etkili bir araç olduğunu ortaya koyan birçok araştırma bulunmaktadır (Chang vd., 2007; Lee ve Maheswaran, 2011; Lehmann, 2014; Tsilini vd., 2015; Xiao vd., 2015; Gao vd., 2016; Antoszewski vd., 2020).

Kentsel alanlarda parkların ve yeşil alanların evapotranspirasyon ve gölge etkileri sayesinde sıcaklık düşmektedir. Araştırmalarda, genel olarak yeşil alanların diğer alanlara oranla daha soğuk olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırmalarda, parkların ve yeşil alanların kentsel ısı adası etkilerini azaltmada ve özellikle yaz aylarında soğutma enerji tüketimini azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda yaz aylarında yapı malzemelerinin neden olduğu sıcak hava dalgalanması da dengelediği sonucuna ulaşılmıştır (Mirzaei ve Haghghat, 2010; Mohajerani vd., 2017; Bai vd., 2018; Gago vd., 2013; Antoszewski vd., 2020; Filho vd., 2021). Su yüzeylerinin de kentsel ısı adası etkisini azaltmada bir rolü bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar, su yüzeylerinin hava sıcaklığını yaklaşık 2,5 °C kadar düşürebileceğini göstermiştir (Jin vd., 2005; Bowler vd., 2010; Gunawardena vd., 2017). Fakat bu etkinin özellikle akarsularda mevsimsel olduğu bilinmektedir. İlkbahar ve yaz aylarında su yüzeyleri çevreyi soğuturken, sonbahar ve kış aylarında ise ortam sıcaklığı belli bir miktarda etkilemektedir (Wu vd., 2019).

Ağaçlar ve bitki örtüsünün kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında ve kentsel çevre kalitesinin artırılmasında genel olarak en etkili ve az maliyetli olduğu belirtilmektedir. Ağaç taçları, yaya bölgelerinde gölge sağlayan bir unsur olarak kullanılmaktadır (Norton vd., 2015; Jagannathan vd., 2016; Broadbent vd., 2018; Taleghani, 2018). Gölgeleme etkisi, yaz mevsiminde radyasyonun ve sıcaklığın azaltılmasında etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Pataki vd., 2011; Taleghani, 2018; Hu vd., 2020; Park ve Guldmann, 2021). Ağaçların gölgesinin büyüklüğü ve miktarı taç yoğunluğuna bağlıdır. Geniş yapraklı, tepesi yoğun olan ağaçlar kaliteli bir gölge etkisi oluşturmaktadır (Shashua-Bar vd., 2010; Lin vd., 2010; Meier ve Scherer, 2012; Antoszewski vd., 2020). Ağaç ve bitki örtüsü gölgelerinin enerji tüketiminde de azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır (Akbari ve Konopacki, 2005; Gago vd., 2013; Antoszewski vd., 2020). Sadece bitki örtüsünün binaları soğutmada yaklaşık %10'a varan bir tasarruf sağladığı tespit edilmiştir (Robitu vd., 2006; Gago vd., 2013). Özellikle yurtdışında tercih edilen yeşil çatı uygulamaları da kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Birçok araştırmada, yeşil çatıların çevrelerindeki sıcaklığı, yaklaşık 10-15 °C'ye kadar düşürdüğünü ve binaların ısı yalıtımını artırdığı tespit edilmiştir (Chudnovsky vd., 2004; Oberndorfer vd., 2007; Lehmann, 2014; Jagannathan vd., 2016; Antoszewski vd., 2020).

Kentlerin, iklim değişikliğini hem uyum içerisinde yönetilmesi hem de olumsuz etkilerini hafifletmek amacıyla yeşil altyapı kaynaklarına önem vermeleri önemli bir gerekliliktir. Yeşil altyapı kaynakları uyum ve hafifletme aşamalarının yanı sıra aynı zamanda kentlerde insan faaliyetleri sonucunda CO² emisyonlarının yaklaşık %70'ini engellemektedir. Bu nedenle, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için stratejilerde öncelikle yer verilmesi gerekmektedir.

Yeşil alanların iklim değişikliği perspektifinden en önemli katkılarından biri de kentte yaşayanların yaşam kalitelerini yükseltmeleridir. Kentsel ısı adasının etkisiyle sıcaklıklardaki artış, insanların termal strese karşı savunmasız olmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle, kentlerin günümüzde ve gelecekte sürdürülebilir bir gelişme sağlayabilmesi, kirliliğin azaltılması, ısıl konforun sağlanması için kentsel yeşillendirme politikalarına öncelik vermeleri önemli bir gerekliliktir (Gago vd., 2013; Filho vd., 2018; Antoszewski vd., 2020; Filho vd., 2020).

4.2. Mimari Tasarım ve Albedo

Albedo kavramı, bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjii yansıtma kapasitesini yani yüzeyin yansıtma gücü olarak ifade edilmektedir. Her bir unsurun yüzey alanına, dokusuna ve rengine bağlı olarak albedo değerleri değişmektedir. Açık bir renge sahip cisim yüksek bir albedoya sahip olduğundan ona çarpan ışığın çoğunu yansıtırken, koyu renge sahip cisimler düşük bir albedo değerine sahip olduğundan çarpan ışığın çoğunu emer. Bir yüzeyin albedo değeri arttıkça yüzey sıcaklığı düşmektedir. Düşük albedo değerine sahip malzemelerin kullanılması ise ortam sıcaklığını düşürmektedir. Albedo değeri düşük ve yüzey sıcaklığı yüksek olan malzemeler kentsel ortamlarda daha yüksek radyasyon enerjisi yaymaktadır. Tüm bu durumlar kentsel ısı adası oluşumunu da etkilemektedir. Kentleşmenin yüzey albedosu üzerinde birçok etkisi bulunmaktadır. Kentleşmenin etkisiyle, yüzey geometrisi değişerek, kışın kar örtüsünün azalmasına ve özellikle koyu renkli karanlık yüzeylerin eklenmesiyle albedo değerinin değişmesine neden olmaktadır (Bazrkar vd., 2015).

Uydu görüntüleri kullanarak yüzey albedo değerlerinin hesaplanması mekânsal açıdan tespiti, özellikle yerel ölçekte arazi örtüsü değişikliklerinin etkilerini anlamada önem taşımaktadır. Yüzey albedo değerindeki değişimler, karasal enerji dengesinde önemli bir rol oynamaktadır (Myhre vd., 2005; Flanner vd., 2011). Albedo değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Albedo değeri 1'e yaklaştıkça yüzeyin depoladığı enerji miktarı, yani kentsel ısı adası oluşumuna etkisi de azalmaktadır (Levinson ve Akbari, 2001). Albedo, kentsel ısı adası oluşumuna doğrudan etki eden en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için uygulanması gereken temel stratejilerden biridir. Hem albedo değeri hem de bitki yoğunluk miktarı arttıkça, yüzey sıcaklık değeri de azalmaktadır. (Oke, 1982; Albers vd., 2015).

Kentlerde ağırlıklı olarak asfalt kaplamalar kullanılmaktadır. Asfalt malzeme hızlı inşaat, pürüzsüz yüzey ve düşük gürültü açısından avantajlı olmasına rağmen, yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır (Du vd., 2018; Tsoka vd., 2018). Bunun yerine yansıtıcı kapsamlar kullanılması

emilen güneş enerjisini ve aynı zamanda yüzey sıcaklığını azaltmada uygun maliyetli bir yaklaşımdır. Özellikle beyaz veya açık renkli kaplamalar ile yüzey pürüzsüzlüğünün azaltılması, yüzey yansımaları yoluyla yüzey sıcaklığını düşürmede en etkili yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Qin ve Hiller, 2014; Santamouris, 2013; Qin, 2015; Cheela vd., 2021).

Kentsel alanlarda insanların sıklıkla kullandıkları kaldırımların termal özellikleri, yüzey malzemelerinin albedo, termal iletkenlik gibi termal ve yansıtıcı özelliklerinden, iklimsel koşullar ve coğrafi konuma göre farklılık göstermektedir. Fakat kaldırımların albedosu yüzey malzemesine göre değişiklik gösterse de genel olarak gri renkte ve 0,35-0,40 arasındadır. Zaman geçtikçe kaldırımın yüzeyi aşındıkça albedo değeri azalmaktadır. Kaldırım yüzeyinde kir birikmesi de albedo değerini düşürmektedir. Bu nedenle belirli aralıklarla kaldırımların bakımlarının yapılması ve uygun malzemelerle onarılması önemlidir (Qin vd., 2018; Qiao vd., 2020; Cheela vd., 2021).

Geleneksel mimariye sahip kaplama malzemeleri, koyu yüzeyleri ve termal özellikleri açısından güneş ışınımını depolamaktadır. Yaz aylarından ise bu süreçten dolayı sıcaklıklar artmaktadır. Albedo değerinin yüksek olduğu yansıtıcı malzemelerin kullanılması, kentsel ısı adası etkisini azaltmada etkili stratejilerden biridir. Kentlerde termal konforu artırmaya yönelik yansıtıcı ve buharlaşan yüzey kaplamalara ilişkin araştırmalar devam etmektedir (Cheela vd., 2021).

5. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışma, iklim değişikliğinin kentler üzerindeki en büyük etkisi olan kentsel ısı etkisi ele alınarak, kentsel form ve peyzaj ilişkisi çerçevesinde planlama politikalarını yönlendirebilecek stratejilerin sistematik bir incelemesini sunmaktadır. İnsanlığı küresel ölçekte tehdit eden kentsel ısı adasına karşı çok boyutlu ve çok kapsamlı önlemler alınması gerekmektedir. Kentleşme ve nüfus yoğunluğunun artması sonucunda hızla büyüyen kentleri daha sürdürülebilir kılmak, küresel ölçekte büyük bir endişe kaynağı olan iklim krizi süreciyle uyum içerisinde olan, sürdürülebilir kentler çerçevesinde oluşturulacak planlama stratejileri ile dirençli kentler oluşturmak önemli bir gerekliliktir. Kentler ulaşım, ısınma, ticari ve endüstriyel faaliyetleri nedeniyle kırsal alanlara göre daha fazla enerji tüketmektedir. Bu yüksek tüketim kentsel ısı adası etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir kentsel gelişmenin sağlanması amacıyla kentlerde ısı adası etkisini azaltıcı önlemlerin alınması önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kentlerde bulunan gecekondu bölgeleri pek çok afet riskine açık alanlar olduğu için iklim değişikliği sürecinde de kentlerin olumsuz yönde daha fazla etkilenmesine neden olmaktadır. Kentsel ısı adası etkisinin yapılaşmanın alanlarda daha yoğun olduğu göz önüne alındığında, kentsel ısı adası etkisini azaltıcı politikaların kentsel

dönüşüm alanlarında uygulanmaları iklim değişikliği sürecinde kentlerin uyum içerisinde ve daha dirençli olmalarını sağlayacaktır. Bu nedenle, iklim değişikliği sürecinde bu bölgelerin de benzer politikalar benimsenerek kentsel dönüşüm projeleri kapsamında yenilenmeleri büyük önem taşımaktadır.

Binaların ısıtılması ve soğutulması, kentsel ulaşım, ticari ve endüstriyel faaliyetler vb. faaliyetler nedeniyle şehirler kırsal alanlara göre daha fazla enerji tüketmektedir. Bu yüksek tüketim, kentsel ısı adası etkisinden etkilenmektedir. Bu noktada ise kentlerin iklim değişikliği sürecinden zarar görebilirliği ve etkilenebilirliğinin mekânsal, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla ortaya koyan değerlendirilmelerin önemi artmaktadır (Çobanyılmaz ve Yüksel 2013; Khajuria ve Ravindranath, 2012; Gizachew ve Shimelis, 2014; Zanetti vd., 2016; Yenice ve Ercoşkun, 2019). Çünkü her kentin arazi kullanımı ve yüzey özellikle farklı olduğundan kentsel ısı adası etkisi de farklılaşmaktadır. Genel olarak kentler üzerinde olumsuz bir etki olarak bilinen kentsel ısı adası, soğuk iklim bölgelerinde bulunan kentlerde de insanlara ekonomik açıdan birçok fayda sağlamaktadır (Oke, 1973; Gago vd., 2013; Roth vd., 2013; Unger vd., 2014; Mohajerani vd., 2017; Yuan vd., 2017; Zhou vd., 2017; He, 2018). Bu kapsamda iklim değişikliğine karşı mücadele gücünün düşük olduğu kentlere öncelik verilerek, iklime duyarlı kentsel gelişmeye katkı sağlamak için kalıcı politikaların oluşturulması önemli bir gerekliliktir (Thomas vd., 2014; Lehnert vd., 2015; Yuan vd., 2018; Wang vd., 2018; Dai vd., 2018; Zheng vd., 2018; Chen ve Hu, 2022).

Çalışma kapsamında incelenen araştırmalarda, kentsel ısı adasının tüm kentleri az ya da çok etkilediğini, kentsel ısı adası etkisinin ve bu etkiyi artıran veya azaltan parametrelerin kapsamlı bir şekilde analiz edilerek değerlendirilmesinin karmaşık bir süreç olduğu vurgulanmaktadır. Kentler açısından bakıldığında iklim değişikliğinin kentsel alanlar üzerindeki etkisinin daha endişe verici boyutlara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Filho vd., 2021). Bu nedenle, küresel iklim değişikliği sürecince, uygulanabilir azaltma ve uyum politikalarının geliştirilmesi son derece önem taşımaktadır. İklim değişikliğinin en büyük çevresel sorunlarından biri olan kentsel ısı adasının olumsuz etkilerini azaltmak için planlama stratejilerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu stratejilerin yerel ölçekte sıcaklığı doğrudan etkilediğinden, planlama alanında uygulanabilir olması önem taşımaktadır (Givoni, 1991; Rizwan vd., 2008; Bowler vd., 2010; Schwanen vd., 2011; Yuan ve Chen, 2011; Gago vd., 2013; Deilami vd., 2018; Fawzy vd., 2020; Hornsey ve Fielding, 2020; Yılmaz ve Işınkaralar, 2021; Filho vd., 2021).

Kapsamlı çözümlerin, yoksulluğun azaltılması, yaşam kalitesinin artması ve sürdürülebilir kentsel gelişmenin sağlanması gibi kalkınma hedefleriyle bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, "yeşil altyapı" kentlerde ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik

bütüncül stratejilerin en önemli unsuru olmaktadır (Myint vd., 2015; Li vd., 2016; Dai vd., 2018; Wang vd., 2019; Gago vd., 2013; Filho vd., 2018; Antoszewski vd., 2020; Filho vd., 220). Ayrıca kentsel mimaride, yapı malzemeleri seçiminin, kentsel ısı adası etkisini önlemek veya azaltmak için albedo özellikleri dikkate alınarak yapılması gerekmektedir (Qin ve Hiller, 2014; Santamouris, 2013; Qin, 2015; Cheela vd., 2021).

İklim değişikliği sürecinde kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yönelik olarak, duyarlı ve dirençli kentsel alanlar oluşturmak sürdürülebilir planlama anlayışı ile mümkündür. Bu konuda uzun vadeli stratejilerin oluşturulması, gelecekte kentlerin iklim felaketlerini daha az hasarla atlattıklarını kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda bu oluşturulan politika ve stratejilerin uygulanması da oldukça önem taşımaktadır. Çalışma kentsel ısı adası etkisi, kentsel ısı adası ile kentsel form ve peyzaj ilişkisine dair teorik bir temel oluşturmaktadır. Çalışmada aynı zamanda belirlenen bu teorik çerçeve dahilinde kentsel ısı adası etkisini azaltmada etkili olan mekânsal faktörler belirlenmiştir. Kentsel alanlar üzerinde sosyal, çevresel, ekonomik, ekoloji gibi farklı birçok alanda etkili olan kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için önemlerin hayata geçirilmesi her zamankinden daha önemlidir.

Teşekkür: Bu çalışmanın hazırlanmasında Kastamonu Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı'nda yürütülen "Planlamadan Tasarım Sürecine, Kentsel Isı Adasının Değerlendirilmesine Yönelik Modelleme Önerisi: Ankara-Çankaya Örneği" başlıklı doktora tezinden yararlanılmıştır.

Kaynakça

Adedeji, J. A., & Fadamiro, J. A. (2015). "Urban open space transition and management in Lagos, Nigeria". *Management of Environmental Quality: An International Journal*.

Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). "Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies". *Energy policy*, 33(6), 721-756.

Allegrini, J., Dorer, V., Carmeliet, J. (2015). "Influence of Morphologies on the Microclimate in Urban Neighbourhoods". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 144, 108-117.

Alusi, A., Eccles, R. G., Edmondson, A. C., & Zuzul, T. (2011). "Sustainable cities: oxymoron or the shape of the future?". *Harvard Business School Organizational Behavior Unit Working Paper*, (11-062), 11-062.

Antoszewski, P., Świerk, D., & Krzyżaniak, M. (2020). "Statistical review of quality parameters of blue-green infrastructure elements important in mitigating the effect of the urban heat island in the temperate climate (C) zone". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7093.

Bai, Y., Guo, R., & Xing, Y. (2018, October). "Relationship between urban heat island and green infrastructure fraction in Harbin". In *Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments III* (Vol. 10793, pp. 54-66). SPIE.

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). "Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence". *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.

Broadbent, A. M., Coutts, A. M., Tapper, N. J., & Demuzere, M. (2018). "The cooling effect of irrigation on urban microclimate during heatwave conditions". *Urban climate*, 23, 309-329.

Buchin, O., Hoelscher, M. T., Meier, F., Nehls, T., & Ziegler, F. (2016). "Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands". *Energy and Buildings*, 114, 27-37.

Canan, F. (2017). "Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği". *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 69-80.

Chang, C. R., Li, M. H., & Chang, S. D. (2007). "A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks". *Landscape and urban planning*, 80(4), 386-395.

Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., & Saaroni, H. (2004). "Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements". *Energy and buildings*, 36(11), 1063-1074.

Çilek Ünal, M. (2022). "Kentsel Yüzey Isı Adalarının Belirlenmesinde Yer Yüzey Sıcaklık Verilerinin Kullanımı". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 213-222.

Çobanyılmaz, P., Yüksel, Ü. D. (2013). "Kentlerin iklim değişikliğinden zarar görebilirliğinin belirlenmesi: Ankara Örneği." *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 39-50.

Dai, Z., Guldmann, J. M., & Hu, Y. (2018). "Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing". *Science of the total environment*, 626, 1136-1147.

Depietri, Y., Renaud, F. G., & Kallis, G. (2012). "Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services". *Sustainability science*, 7, 95-107.

Du, Y., Chen, J., Han, Z., & Liu, W. (2018). A review on solutions for improving rutting resistance of asphalt pavement and test methods. *Construction and Building Materials*, 168, 893-905.

Filho, W. L., Al-Amin, A. Q., Nagy, G. J., Azeiteiro, U. M., Wiesböck, L., Ayal, D. Y., ... & Chiappetta Jabbour, C. J. (2018). A comparative analysis of climate-risk and extreme event-related impacts on well-being and health: Policy implications. *International journal of environmental research and public health*, 15(2), 331.

Fischer, E. M., Schär, C. (2010). "Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves". *Nature geoscience*, 3(6), 398-403.

Folke, C., Jansson, Å., Rockström, J., Olsson, P., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., ... & Westley, F. (2011). "Reconnecting to the biosphere". *Ambio*, 40, 719-738.

Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). "The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects". *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 749-758.

Gao, J. X., Song, T., Zhang, B., Han, Y. W., Gao, X. T., & Feng, C. Y. (2016). "The relationship between urban green space community structure and air temperature reduction and humidity increase in Beijing". *Resour. Sci*, 38, 1028-1038.

Georgescu, M., Morefield, P. E., Bierwagen, B. G., & Weaver, C. P. (2014). Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(8), 2909-2914.

Ghofrani, Z., Faggian, R., & Sposito, V. A. (2016). "Infrastructure for development: Blue-green infrastructure". *Planning News*, 42(7).

Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). "The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development". *Journal of urban economics*, 67(3), 404-418.

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). "Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity". *Science of the Total Environment*, 584, 1040-1055.

He, B. J. (2018). "Potentials of meteorological characteristics and synoptic conditions to mitigate urban heat island effects". *Urban climate*, 24, 26-33.

Hu, Y., Dai, Z., & Guldmann, J. M. (2020). "Modeling the impact of 2D/3D urban indicators on the urban heat island over different seasons: A boosted regression tree approach." *Journal of environmental management*, 266, 110424.

IPCC (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2022). Climate Change 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Jaganmohan, M., Knapp, S., Buchmann, C. M., & Schwarz, N. (2016). "The bigger, the better? The influence of urban green space design on cooling effects for residential areas". *Journal of environmental quality*, 45(1), 134-145.

Jin, H., Cheng, H., & Zhai, H. (2005). "Calculating method of minimum load-shedding cost in transmission network planning. Proc. Electr". *Power Syst. Autom*, 17, 5-9.

Keleş, R. (2004). "Kentsel dönüşümün tüzel altyapısı". *HB Tuna (Editör), Dosya: Kentsel Dönüşüm ve Katılım, Mimarist Dergisi, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi*, 4(12), 73-75.

Khare, V. R., Vajpai, A., & Gupta, D. (2021). "A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India". *Urban Climate*, 37, 100845.

Klein-Rosenthal, J., & Raven, J. (2017). Urban Heat And Urban Design—An Opportunity To Transform In NYC.

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). "A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces". *Science of the Total Environment*, 661, 337-353.

Lee, A. C., & Maheswaran, R. (2011). "The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence". *Journal of public health*, 33(2), 212-222.

Lee, J. Y., Kim, H. (2016). "Projection of future temperature-related mortality due to climate and demographic changes". *Environment international*, 94, 489-494.

Lehmann, S. (2014). "Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure". *City, Culture and Society*, 5(1), 1-8.

Li, W., Cao, Q., Lang, K., & Wu, J. (2017). "Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature". *Science of the Total Environment*, 586, 457-465.

Lin, B. S., & Lin, Y. J. (2010). "Cooling effect of shade trees with different characteristics in a subtropical urban park". *HortScience*, 45(1), 83-86.

Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). "The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale". *Journal of environmental quality*, 45(1), 119-124.

Masson, V., Marchadier, C., Adolphe, L., Aguejdad, R., Avner, P., Bonhomme, M., ... & Zibouche, K. (2014). "Adapting cities to climate change: A systemic modelling approach". *Urban Climate*, 10, 407-429.

Meehl, G. A., Tebaldi, C., Tilmes, S., Lamarque, J. F., Bates, S., Pendergrass, A., & Lombardozzi, D. (2018). "Future heat waves and surface ozone". *Environmental Research Letters*, 13(6), 064004.

Meier, F., & Scherer, D. (2012). "Spatial and temporal variability of urban tree canopy temperature during summer 2010 in Berlin, Germany". *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 373-384.

Mirzaei, P. A., & Haghghat, F. (2010). "Approaches to study urban heat island-abilities and limitations". *Building and environment*, 45(10), 2192-2201.

Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). "The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete". *Journal of environmental management*, 197, 522-538.

Nakata C., Souza L. (2013). "Verification of the Influence of Urban Geometry on the Nocturnal Heat Island Intensit", *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2), 286-292.

Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. (2015). "Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes". *Landscape and urban planning*, 134, 127-138.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., ... & Rowe, B. (2007). "Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services". *BioScience*, 57(10), 823-833.

Oke, T. R. (1973). "City size and the urban heat island". *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.

Oke, T. R. (1982). "The energetic basis of the urban heat island". *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), 1-24.

Öztürk, S., Yılmaz, D., & İhtiyar, M. (2020). "Kentleşmenin Sosyal ve Mekânsal Rolünün Değerlendirilmesi: Kastamonu Örneği". *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43), 153-166.

Park, Y., Guldman, J. M., & Liu, D. (2021). "Impacts of tree and building shades on the urban heat island: Combining remote sensing, 3D digital city and spatial regression approaches". *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101655.

Parker, D. E. (2004). "Large-scale warming is not urban". *Nature*, 432(7015), 290-290.

Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., ... & Zipperer, W. C. (2011). "Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions." *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.

Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). "Impact of regional climate change on human health". *Nature*, 438(7066), 310-317.

Peng, J., Xie, P., Liu, Y., & Ma, J. (2016). "Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region". *Remote Sensing of Environment*, 173, 145-155.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Oettle, C., Bréon, F. M., ... & Myneni, R. B. (2012). "Surface urban heat island across 419 global big cities". *Environmental science & technology*, 46(2), 696-703.

Qiao, Y., Dawson, A. R., Parry, T., Flintsch, G., & Wang, W. (2020). "Flexible pavements and climate change: A comprehensive review and implications". *Sustainability*, 12(3), 1057.

Qin, Y. (2015). "A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect". *Renewable and sustainable energy reviews*, 52, 445-459.

Qin, Y., & Hiller, J. E. (2014). "Understanding pavement-surface energy balance and its implications on cool pavement development". *Energy and Buildings*, 85, 389-399.

Qin, Y., He, Y., Hiller, J. E., & Mei, G. (2018). "A new water-retaining paver block for reducing runoff and cooling pavement". *Journal of Cleaner Production*, 199, 948-956.

Ramamurthy, P., Bou-Zeid, E. (2017). "Heatwaves and urban heat islands: a comparative analysis of multiple cities". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(1), 168-178.

Robitu, M., Musy, M., Inard, C., & Groleau, D. (2006). "Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate". *Solar energy*, 80(4), 435-447.

Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Hammer, S. A., & Mehrotra, S. (Eds.). (2011). *Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network*. Cambridge University Press.

Sachindra, D. A., Ng, A. W. M., Muthukumar, S., & Perera, B. J. C. (2016). "Impact of climate change on urban heat island effect and extreme temperatures: a case-study". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142(694), 172-186.

Sailor, D. J., & Fan, H. (2002). "Modeling the diurnal variability of effective albedo for cities". *Atmospheric Environment*, 36(4), 713-725.

Santamouris, M. (2013). "Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240.

Santamouris, M. (2014). "Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments". *Solar energy*, 103, 682-703.

Santamouris, M. (2015). "Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges". *Energy and Buildings*, 91, 43-56.

Santamouris, M. (2016). "Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change". *Solar Energy*, 128, 61-94.

Santamouris, M., Paraponiaris, K., & Mihalakakou, G. (2007). "Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece". *Climatic Change*, 80(3-4), 265-276.

Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., & Guédalia, D. (2006). "Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution". *Atmospheric environment*, 40(10), 1743-1758.

Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R. (2011). "Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures". *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175-3186.

Shou, Y. X., & Zhang, D. L. (2012). "Recent advances in understanding urban heat island effects with some future prospects". *Acta Meteorol. Sin*, 70(3), 338-353.

Stone Jr, B., Vargo, J., Liu, P., Hu, Y., & Russell, A. (2013). "Climate change adaptation through urban heat management in Atlanta, Georgia". *Environmental science & technology*, 47(14), 7780-7786.

Sun, R., Lü, Y., Yang, X., & Chen, L. (2019). "Understanding the variability of urban heat islands from local background climate and urbanization". *Journal of cleaner production*, 208, 743-752.

Sun, Y., Zhang, X., Ren, G., Zwiers, F. W., & Hu, T. (2016). "Contribution of urbanization to warming in China". *Nature Climate Change*, 6(7), 706-709.

Thomas, K. (2003). "Post-independence transformation of secondary urban places in Jamaica". *Caribbean Geography*, 13(2), 114-129.

Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D., & Maria, E. A. (2015). "Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island". *Sustainable cities and society*, 14, 323-333.

Tsoka, S., Theodosiou, T., Tsikaloudaki, K., & Flourentzou, F. (2018). "Modeling the performance of cool pavements and the effect of their aging on outdoor surface and air temperatures". *Sustainable Cities and Society*, 42, 276-288.

Türkeş, M. (2022). "IPCC'nin Yeni Yayınlanan İklim Değişikliğinin Etkileri, Uyum ve Etkilenebilirlik Raporu Bize Neler Söylüyor?" *Resilience*, 6(1), 197-207.

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.

UNDESA (2023). <https://www.un.org/en/desa>

Wang, J., Huang, B., Fu, D., & Atkinson, P. M. (2015). "Spatiotemporal variation in surface urban heat island intensity and associated determinants across major Chinese cities". *Remote Sensing*, 7(4), 3670-3689.

Wu, C., Li, J., Wang, C., Song, C., Chen, Y., Finka, M., & La Rosa, D. (2019). "Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature". *Science of the Total Environment*, 694, 133742.

Xiao, J. Y., Ji, N., Li, X., Yu, L. X., & Ji, F. (2015). Cooling effect of city parks—A case of Shijiazhuang. *J. Arid. Landsc. Res. Environ*, 29, 75-79.

Yao, L., Yang, X., Zhu, C., Jin, T., Peng, L. L., & Ye, Y. (2017). "Evaluation of a Diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect". *Procedia Engineering*, 205, 2863-2870.

Yiannakou, A., & Salata, K. D. (2017). "Adaptation to climate change through spatial planning in compact urban areas: a case study in the city of Thessaloniki". *Sustainability*, 9(2), 271.

Yuan, Y., Xi, C., Jing, Q., & Felix, N. (2017). "Seasonal variations of the urban thermal environment effect in a tropical coastal city". *Advances in Meteorology*.

Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). "Strong contributions of local background climate to urban heat islands". *Nature*, 511(7508), 216-219.

Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). "The role of city size and urban form in the surface urban heat island". *Scientific reports*, 7(1), 1-9.

Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., & Zhu, C. (2014). "Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers". *Remote sensing of environment*, 152, 51-61.