



Yeni Bir Yaklaşımla Termal Konfor Koşullarının Günümüzde ve Gelecek İklim Koşullarındaki Mekânsal Dağılımın Analizi: Bolu Kenti Örneği

Analysis of Spatial Distribution of Thermal Comfort Conditions in Current and Future Climate Conditions with a New Approach: Bolu City Example

Savaş Çağlak^{*a}, Murat Türkeş^b

Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:

10.33688/aucbd.1097989

Makale Geçmişi:

Geliş: 03.04.2022

Kabul: 08.08.2022

Anahtar Kelimeler:

Bolu

Kent iklimi

Termal konfor

RCP iklim senaryoları

İklim değişikliği

Öz

Gözlenen ve öngörülen iklimsel değişimler nüfusun çoğunluğunun yaşadığı kentsel alanları önemli derecede etkileyecektir. Bu amaçla Bolu kentinin, yılın Mayıs ile Eylül arasındaki sıcak döneminde belirlenen termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı ve iklim projeksiyonlarına göre geleceğe dair öngörülerde bulunulmuştur. Çalışmada 1991 – 2020 dönemi ölçüm verileri ile RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryolarının verileri kullanılmıştır. Yöntem olarak RayMan modelinden elde edilen Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (PET) indisinden yararlanılmıştır. Termal konfor şartlarının mekânsal dağılımında Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak; yükselti, arazi kullanımı, Güneş radyasyonu, ortalama radyant sıcaklık (MRT) ve rüzgâr hızı altlık haritalarıyla hesaplama yapılmıştır. Analizler sonucunda günümüzde “hafif sıcak” ve “sıcak” stresleri yaşanırken, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre gelecekte “çok sıcak” streslerinin etkili olacağı, kentsel ısı adasının genişleyeceği ve Bolu'nun halk sağlığını tehdit edecek şekilde aşırı sıcak stresine maruz kalacağı belirlenmiştir.

Article Info

Research Article

DOI:

10.33688/aucbd.1097989

Article History:

Received: 03.04.2022

Accepted: 08.08.2022

Keywords:

Bolu

Urban climate

Thermal comfort

RCP climate scenarios

Climate change

Abstract

Observed and projected climatic changes will significantly affect urban areas where more than half of the world population lives. Predictions for the future climate conditions were made for the spatial distribution of thermal comfort conditions and climate projections determined in the hot period of the city of Bolu between May and September of the year. In the study, the measurement data of the period 1991 – 2020 and the data of the RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios were used. The Physiological Equivalent Temperature (PET) index obtained from the RayMan model was used. Geographic Information Systems were used in the spatial distribution of thermal comfort conditions, taking into account the landuse variables. According to analysis, “slightly warm” and “hot” stresses were determined today. According to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, “very hot” range (extreme heat stresses) will be effective in the future, the urban heat island will expand and Bolu will be exposed to extreme heat stress, threatening public health.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: savas_caglak@hotmail.com

^a Milli Eğitim Bakanlığı, Amasya/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-9051-7710>.

^b Boğaziçi Üniversitesi, İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-9637-4044>.

1. Giriş

İklim koşulları ile insan yaşamı ve faaliyetleri arasında sıkı bir ilişki vardır. Dünya nüfusunun büyük çoğunluğunun orta kuşaktaki ılıman iklim koşullarının yaşandığı kentlerde bulunması, yine tarım, ticaret ve turizm gibi ekonomik faaliyetlerin bu kuşakta yoğunlaşması bu durumu kanıtlar örneklerdir. Kentler insanlık tarihinin soyut ve somut evrensel miras alanlarıdır. Kentler, sosyoekonomik gelişmelerin, bilimsel buluşların, kültürel ilerlemenin kaynağını oluşturmaktadır (Yazar, 2006). Bunlarla birlikte sanayi devrimiyle kırdan kente yaşanan göç hareketiyle kentsel alanların yayılması, motorlu taşıt kullanımının artması, asfalt ve beton yüzeylerin artması, doğal alanların tahrip edilmesi, evsel ve sanayi atıklarının artması kentlerin iklim koşullarını çevrelerindeki yarı kırsal ve kırsal alanlardan farklılaşmasına neden olmuştur. Bu durum bir çok çalışmada ortaya konmuştur (Charalampopoulos vd., 2013; Çağlak, 2017; Çağlak vd., 2021; Çiçek ve Doğan, 2005; Erlat ve Türkeş, 2017; Lerner, 1964; Mayer, 1993; Oke, 1973; Toy vd., 2021; Türkeş ve Erlat, 2017; Unger, 1999).

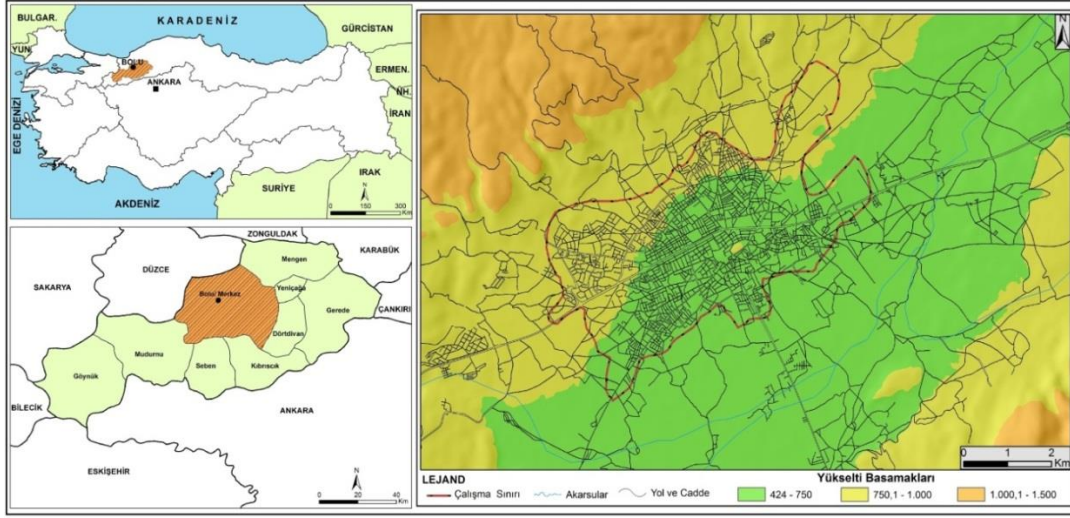
Yaklaşık 4,5 milyar yıl yaşındaki Dünya’da tüm zaman ölçeklerinde doğal bir değişme eğilimi gösteren iklim koşulları 19. yüzyıldan beri artan insan baskısına (kentleşme, sanayileşme, ormansızlaşma, asfaltlaşma, betonlaşma, fosil yakıt kullanımı, yanlış arazi kullanımı vb.) bağlı olarak daha farklı bir boyut kazanmıştır (NASA, 2018; Türkeş, 2013a;). İklim değişikliğinin etkileri gelecek yıllarda daha da olumsuz koşullara neden olacağı öngörülmektedir (Atay vd., 2012). İklim koşullarındaki değişimler iklimle ilgili olan tüm sektörleri ve tüm faaliyetleri de beraberinde etkileyecektir (Godfrey ve Tunhuma, 2020; Norwegian Red Cross, 2019). İklimdeki bu değişimler iklim elemanlarının tümünün hissedilen ortak etkisi olan termal konfor koşullarının da değişmesine neden olmaktadır. Termal konfor, insanların buldukları termik çevrede (asıl olarak sıcaklık, nem, rüzgâr klimatolojisi) kendini konforda ya da rahat/mutlu hissetme durumu olarak tanımlanabilir (Olgay, 1973; Sungur, 1980). İnsanların bu tür bir konfordan yoksun olması durumunda refah ve mutluluklarında azalma, sağlık sorunları ve enerji kullanımında artış, iş veriminde azalma gibi birçok sosyal, ekonomik ve fiziksel olumsuzluklar gözlenmektedir (Aboubakri vd., 2020; Anderson ve Bell, 2009; Błażejczyk vd., 2018; Fallah ve Mayvaneh, 2016; Huang vd., 2015; Nastos ve Matzarakis, 2011; Nastos vd., 2013; Scherber vd., 2014; Türkeş, 2010; Türkeş ve Erlat, 2017). İnsanların buldukları ortamın iklimsel koşullarına karşı geliştirdikleri tepkileri ölçmeye yarayan termal konfor indeksleri 1900’lü yılların başında (Haldane, 1905) başlamış ve gün geçtikçe geliştirilen yöntemlerle önemli bir konu olmuştur. Başlangıçta çalışanların iş verimliliği için iç ortam koşulları belirlenirken, günümüzde özellikle ılıman kuşakta kentlerin dış ortam koşulları, turizm-iklim ilişkileri ve enerji tüketimleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Termal konfor koşullarını somut bir şekilde açıklayabilmek için sayıları 200’ü aşkın indeks geliştirilmiş ve bunlarla ilgili bibliyografik çalışmalar yapılmıştır (de Freitas ve Grigorieva, 2015; Driscoll, 1992; Epstein ve Moran, 2006; Landsberg, 1972; Parsons, 2014). Bu indisler içerisinde dış ortam termal şartlarının belirlenmesinde ve özellikle kentsel alanlarda yaygın kullanılan Physiological Equivalent Temperature (PET) indisidir. PET indisi insan termal konforunu termal ortamın insanlar üzerine yaptığı bütün etkileri (kısa ve uzun dalga Güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, nispi nem ve rüzgâr hızı) ve insan vücudunun termofizyolojik şartlarını (giysi tipi ve yapılan aktivite) ayrı ayrı değerler olarak ele alıp hesaplama yapmaktadır (Gulyas vd., 2006; Matzarakis vd., 1999; Höpfe, 1999). PET indisi radyasyon modeli olan RayMan yazılımı ile hesaplanmaktadır (Matzarakis vd., 2000). PET indisi

farklı iklim tiplerindeki insan termal konforunun hesaplanması için ideal bir araçtır (Toy, 2010). Bundan dolayı çalışmada PET indisi kullanılmıştır.

İklim değişikliğine bağlı olarak yılın konforsuz dönemlerinde artışlara, konforlu dönemlerinin değişmesine, ısıtma gereken gün sayılarının azalmasına, soğutma gereken gün sayılarının artmasına ve kentlerde güçlü sıcaklık streslerinin yaşanmasına neden olması öngörülmektedir (Cheung ve Hart, 2014; Çağlak, 2021; Mcgregor vd. 2002; Nastos ve Matzarakis, 2019; Şensoy, 2020). Bu olumsuzluklar dünya nüfusunun büyük çoğunluğunun yaşadığı kentsel alanlarda daha fazla etkili olacaktır. 2020 yılı verilerine göre, Türkiye’de kentsel alanlarda (il ve ilçe merkezlerinde) yaşayan nüfus oranı % 90’ı geçmiş durumdadır (TUİK, 2021). Bugün Dünya nüfusunun % 50’den fazlası kentlerde yaşamaktadır. Birleşmiş Milletlere göre 2050 yılında Dünya nüfusunun % 69’unun kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir (World Bank, 2018).

İklim değişikliği uzun yıllardır dünya gündeminde bulunmaktadır. Bundan dolayı iklim değişikliği ile ilgili çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. İklim değişikliğinin termal konfor koşulları üzerine etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda sıcak streslerinde ise artışlar yaşanması ve yaz mevsiminde insan sağlığını tehdit edecek şiddetli yakıcı ve boğucu etkilere sahip sıcak stresleri beklenmektedir (Cheung ve Hart, 2014; Erlat vd., 2020; Larsen vd., 2019; Matzarakis ve Amelung, 2008; Matzarakis ve Endler, 2010; Mcgregor vd., 2002; Nastos ve Matzarakis, 2019; Shartova ve Konstantinov, 2019). Türkiye’de iklim değişikliğinin termal konfor koşulları üzerine etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar Batı Akdeniz’de ve turizm ilişkisi ile sınırlı kalmıştır (Kum, 2011; Kum ve Gönençgil, 2018; Şensoy, 2020). Türkiye, iklim değişikliği açısından riskli ülkeler arasında yer almaktadır. Termal konfor koşullarının değişmesiyle kentsel alanlarda yaşanacak sıcak stresleri için önlemler alınması gerekmektedir. Tüm dünyada yaşanan kentleşme hareketleri Türkiye’de de yaşanmıştır. Bu amaçla yeşil doğası ile bilinen Bolu kentinin termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı ve gelecek projeksiyonları incelenmiştir.

Bolu, istatistiki bölge sınıflamasına göre Doğu Marmara Bölgesi’nin Kocaeli alt bölgesinde yer almaktadır. Coğrafi olarak Karadeniz Bölgesi’nin Batı Karadeniz Bölümünde 40° 06' ve 41° 01' kuzey enlemleri ile 30° 32' ve 32° 36' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bolu kenti, merkezi tektonik bir ova olan Bolu ovası üzerinde kurulmuştur. Kent, 600 ile 900 metreler arasında gelişme göstermektedir (Şekil 1). İstanbul ve Ankara gibi merkezlere ulaşan önemli karayolu güzergâhında bulunmasından dolayı tarihi bir yerleşim olma özelliği vardır.



Şekil 1. Bolu kentinin yer bulduru (lokasyon) haritası

Bolu kentinin iklim koşulları iklim sınıflandırmalarına göre değerlendirildiğinde; De Martonne'ye göre yarı kurak – nemli arası, Aridite İndisi ve Erinç Yağış Etkinliği İndisi 'ne göre yarı nemli ve Thorntwaite göre yarı nemli iklim (C2,B'1,s,b'3) olarak ifade edilmektedir (URL 1). Uzun yıllık ortalamalara göre yıllık ortalama sıcaklık 10,5 °C olup, en yüksek ortalama sıcaklık Temmuz ve Ağustos aylarında (19,8 °C), en düşük ortalama sıcaklık Ocak (0,6 °C) ölçülmüştür. Maksimum sıcaklıklarda en yüksek değer Ağustos ayında (39,8 °C), minimum sıcaklıklarda en düşük değer Ocak ayında (-24,3 °C) ölçülmüştür. Ortalama nispi nem % 73,4, en az nemlilik Ağustos ayında (% 69,4), en fazla nemlilik (% 79,2) meydana gelmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı 563,6 mm, en fazla yağış Mayıs ayında (63,4 mm) ve en az yağış Ağustos ayında (27,3 mm) düşmektedir. Her mevsim yağış düşmekle birlikte yaz mevsiminde yağış azlığı görülmektedir. Rüzgâr hızı ortalama 1,3 m/s olarak ölçülmüş olup rüzgâr hızının düşük olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık ortalama bulutluluk oranı 4,1 okta, en fazla bulutluluk Ocak ayında (5,2 okta), en az bulutluluk Ağustos (2,7 okta) ayındadır. Bolu kentine ait iklimsel veriler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bolu kentinin ortalama ve uç meteorolojik değerleri (1960 – 2020)

Aylar	Ortalama Sıcaklık (°C)	Maksimum Sıcaklık (°C)	Minimum Sıcaklık (°C)	Yağış (mm)	Nispi Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Bulutluluk (okta)
1	0,6	19,8	-24,3	57,8	78,6	1,2	5,2
2	2	24,1	-24	45,2	75,8	1,4	5,1
3	5,1	28	-17,8	52,2	72,4	1,5	4,9
4	9,7	31,8	-10	51,6	69,9	1,5	4,5
5	14	34,4	-2,3	63,4	71,8	1,4	4
6	17,4	37	2,2	58,9	71,7	1,4	3,4
7	19,8	39,3	4,4	29,3	69,5	1,5	2,8
8	19,8	39,8	3,2	27,3	69,4	1,4	2,7
9	16,1	37,3	0,4	27,8	71	1,3	3,1
10	11,7	34,4	-5,8	43,9	75,4	1,1	4
11	6,7	26,2	-19,6	44	75,8	1,1	4,3
12	2,7	23,5	-22,6	62,2	79,2	1,2	5,1
Yıllık	10,5	31,3	-9,7	563,6	73,4	1,3	4,1

Ortalama, maksimum ve minimum sıcaklıklarda en yüksek sıcaklıklar Mayıs ile Eylül ayları arasında görülmektedir. Bundan dolayı çalışmada yılın sıcak dönemi olarak Mayıs ile Eylül arası incelenmiştir.

Bolu kent merkezinin toplam nüfusu 1965 yılında 21.600 kişi iken, 2020 yılına gelindiğinde 179.223 kişiye yükselerek 7.25 kat artış göstermiştir. 1965 yılından 2020 yılına kadar % 3,1 - 5,5 arasında artış göstermiştir. Bolu kentine ait nüfus miktarları ve artışları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Bolu kent merkezinin nüfus miktarı ve artış hızı (1965 – 2020)

Yıllar	Nüfus Miktarı (Kişi)	Mutlak Artış Miktarı (Kişi)	Ortalama artış hızı * (%)
1965	21.700	-	-
1970	26.944	5.244	4,3
1975	32.812	5.868	3,9
1980	38.283	5.471	3,1
1985	50.288	12.005	5,5
1990	60.789	10.501	3,8
2000	84.565	23.776	3,3
2010	119.898	35.333	3,5
2020	179.223	59.325	4,0

Kaynak: TÜİK *Üstel değişim hızı kullanılarak hesaplanmıştır.

Bolu kentinde yüksek oranlarda nüfus artışı meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu durum kentsel alanın yapısındaki değişikliklere neden olarak termal konfor koşullarını da etkilemektedir. Bundan dolayı Bolu kenti çalışma sahası olarak seçilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kent merkezinde kurulu olan 17070 nolu Bolu Meteoroloji Müdürlüğü’nün meteoroloji istasyonunun 1991 – 2020 yılları arası (30 yıllık) saatlik; hava sıcaklığı (°C), nispi nem (%), rüzgâr hızı (m/s) ve bulutluluk (okta) verileri kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada kullanılan Bolu meteoroloji istasyonu

Yakın (2021 – 2050) ve uzak gelecek (2069 -2098) dönemleri için Temsili Konsantrasyon Yolları'ndan (RCPlar) RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı iklim projeksiyonlarının günlük hava sıcaklığı (°C), nispi nem (%), rüzgâr hızı (m/s) ve Güneş radyasyonu (W/m²) verileri kullanılmıştır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları; sırasıyla 4.5 ve 8.5 Watt/m² ışımsal zorlamaya karşılık gelmektedir ve en yaygın olarak kullanılan iklim senaryolarıdır (IPCC, 2013; Türkeş, 2013b).

RCP Nedir, RCPlar Nelerdir?

Gelecekteki iklimi modellemek ve tahmin etmek için çevremizde iklim değişikliğini etkileyecek ekonomik, sosyal ve fiziksel değişiklikler hakkında varsayımlarda bulunmak gerekir. Temsili Konsantrasyon Yolları (RCPlar), bir dizi senaryo içinde bu varsayımları yakalamak için geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Her senaryonun koşulları, gelecekteki olası iklim evrimini modelleme sürecinde kullanılır.

RCPlar, sanayi öncesi düzeylere göre 2100 yılına kadar hedeflenen bir oranda artan toplam ışımsal zorlamayla sonuçlanacak olan atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını (birikim) belirtir. Toplam ışımsal zorlama, atmosferin tepesinde gelen ve giden radyasyon arasındaki farktır. 2100 için ışımsal zorlama hedefleri, çok çeşitli olası gelecek salım senaryolarını kapsamak için metrekare başına 2.6, 4.5, 6.0 ve 8.5 watt (W· m⁻²) olarak belirlenmiştir ve bu hedefler RCPların adlarına eklenmiştir; RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5. Her yol, 21. yüzyılda farklı bir küresel ortalama sıcaklık artışı aralığı ile sonuçlanır (Çizelge 3).

RCP yolları, çok çeşitli iklim sonuçlarını temsil eder ve ne tahminler ne de politika önerileridir. Nüfus artışı, ekonomik gelişme, teknolojik yenilik ve sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik tutumlarla ilgili çok çeşitli varsayımları içerirler. Her yol, farklı sosyoekonomik varsayımların bir kombinasyonu ile karşılanabilir (IPCC, 2013).

Çizelge 3. RCP yolları için sanayi öncesi döneme (1850-1900 dönemi ortalaması) kıyasla 2081-2100 dönemindeki küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki artış (IPCC, 2013; WG1, Tablo 12.3'ten kısaltılarak yeniden düzenlendi). % 5-95 güven aralığındaki en iyi kestirme değerleri parantez içinde verilmiştir.

RCP	ΔT (°C) 2081–2100
RCP2.6	1.6 ± 0.4 (0.9, 2.3)
RCP4.5	2.4 ± 0.5 (1.7, 3.2)
RCP6.0	2.8 ± 0.5 (2.0, 3.7)
RCP8.5	4.3 ± 0.7 (3.2, 5.4)

İklim model çıktıları, başlangıç verisindeki bazı hatalar ve matematiksel formüller kullanılmasından dolayı bazı hatalar içermektedir. Model geriye doğru çalıştırılarak gözlem verisiyle kalibre edilerek bu hatalar en aza indirilmiştir. Ayrıca projeksiyon verileri, model-gözlem saçılımından elde edilen regresyon denklemi kullanılarak yanlışlık (bias) düzeltilmesi yapılmıştır. Regresyon denkleminin korelasyon katsayısı $R^2 = 0.98$ olduğu için ($y = + 0.081 + 0.9711x$) kullanılabilir özelliktedir.

Yöntem olarak termal konfor çalışmalarında birçok etkeni bir arada hesaplayan ve RayMan Pro modelinden elde edilen Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (Physiological Equivalent Temperature - PET) indisinden yararlanılmıştır (Matzarakis vd., 1999; Höppe, 1999). PET indisi insan termal konforunu

vücut ısı enerjisi dengesine göre hesaplar. İndis termal ortamın insanlar üzerine yaptığı tüm etkileri (kısa ve uzun dalga güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, nispi nem ve rüzgâr hızı) ve insan vücudunun termo fizyolojik şartlarını (giysi tipi ve yapılan aktivite) dikkate alarak hesaplar (Gulyas vd., 2006; Matzarakis vd., 1999; Höppe, 1999). PET indisinin hesaplanmasında saatlik; hava sıcaklığı, nispi nem, rüzgâr hızı, bulutluluk ve Güneş radyasyonu verileri kullanılmaktadır. İndisin hesaplanmasında Höppe (1984) tarafından geliştirilen formül (*Denklem 1*) kullanılmaktadır (Türkoğlu ve Çalışkan, 2011).

$$M+W+Q*(T_{mrt,v})+QH(T_a,v)+QL(e,v)+QSW(e,v)+QRe(T_a,e)+S=0 \quad (1)$$

Denklemden M metabolizma oranı (aktivite), W mekanik güç (aktivite türü), Q* radyasyon bütçesi, QH hissedilen sıcaklığın değişimi, QL gizli ısının değişimi (buharlaştırma), QSW gizli ısının terleme yoluyla dağılımı, QRe solunum yoluyla ısı değişimi (hissedilen ve gizli sıcaklık), S depolama, T_a hava sıcaklığı, e buhar basıncı, v rüzgâr hızı, T_{mrt} ortalama radyan sıcaklıktır. PET indisinde termal stres seviyeleri 35 yaşında, 175 cm boyunda, 75 kg ağırlığında, 0.9 clo giysi yükü ve 80W iş yükü yapan sağlıklı erkek birey dikkate alınmıştır (Çizelge 4).

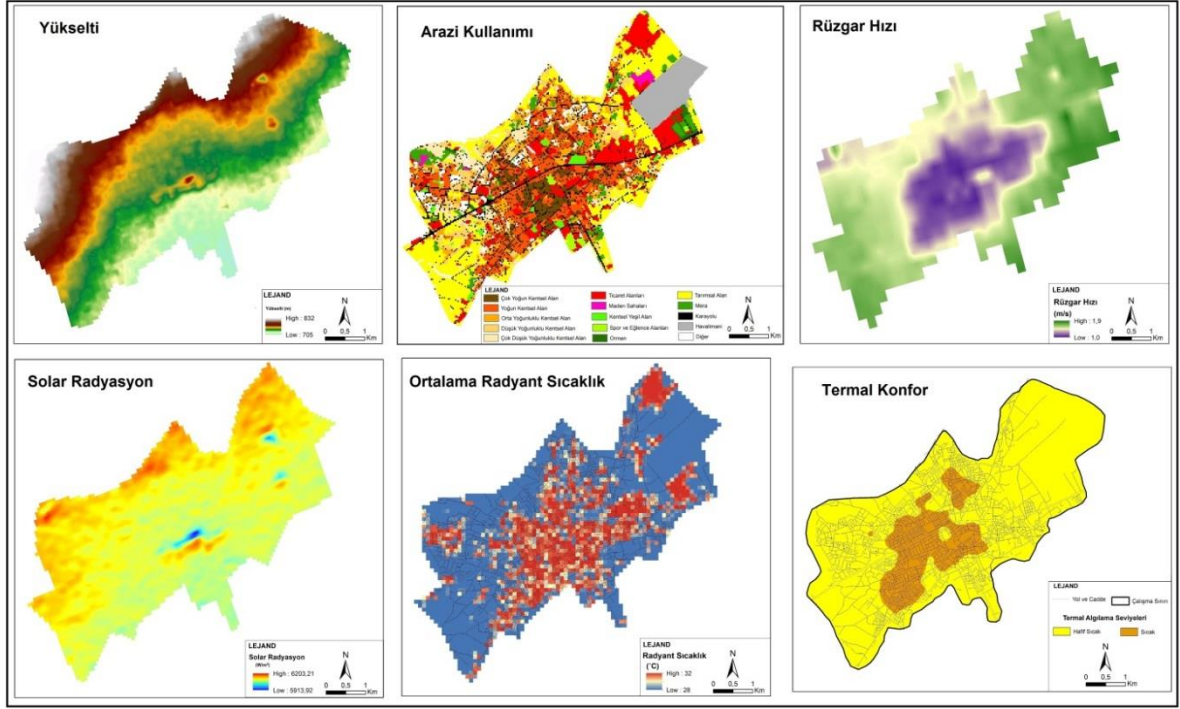
Çizelge 4. PET indisinin termal his ve stres seviyeleri (Matzarakis vd., 1999; Höppe, 1999; Toy, 2010)

PET (°C)	İnsanın sıcaklık hissi	Termal stres seviyesi
< 4,0	Çok soğuk	Aşırı soğuk stresi
4,1–8,0	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
8,1–13,0	Serin	Orta soğuk stresi
13,1–18,0	Hafif serin	Hafif soğuk stresi
18,1–23,0	Konforlu	Termal stres yok
23,1–29,0	Hafif sıcak	Hafif sıcak stresi
29,1–35,0	Sıcak	Orta sıcak stresi
35,1–41,0	Çok Sıcak	Güçlü sıcak stresi
>41,0	Aşırı sıcak	Aşırı sıcak stresi

Termal konfor şartlarının mekânsal dağılımında yeni geliştirilen bir model yaklaşımı kullanılmıştır. Geliştirilen bu yöntem üç farklı iklim bölgesinde test edilmiş ve % 95'in üzerinde güvenilir olduğu tespit edilmiştir (Çağlak, 2021). Bu yöntemde Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından ArcGis 10.5 programı aracılığıyla; yükselti, arazi kullanımı, Güneş radyasyonu, ortalama radyant sıcaklık (MRT) ve rüzgâr hızı altlık haritalarıyla hesaplama yapılmıştır (Çizelge 5; Şekil 3).

Çizelge 5. PET indeksinin mekânsal dağılımını etkileyen parametreler (Steenveld vd., 2011; Koopmans vd., 2018;Perkhurova vd., 2019; Koopmans vd., 2020)

Parametreler	Değişim	PET (°C)
Rüzgâr hızı	1 (m/s)	2.50
Ortalama radyant sıcaklık (MRT)	1 °C	0.6
Yükselti	100 (m)	0.5
Güneş radyasyonu (saat 14:00)	100 (w/m ²)	0.4
Güneş radyasyonu (saat 07:00)	100 (w/m ²)	1.2



Şekil 3. Termal konfor koşullarının mekânsal dağılımında kullanılan altlık haritalar

Rüzgâr hızı haritaları insan vücudunun ağırlık merkezi referans seviyesini oluşturan 1,1 m olarak düzenlenmektedir (Nastos vd., 2013; Nastos ve Matzarakis, 2019). Meteoroloji istasyonundan alınan rüzgâr hızı verileri aşağıdaki formül (Denklem 2) kullanılarak 1,1 metreye göre değerlendirilmiştir.

$$WS_{1.1} = WS_h \cdot (1.1/h)^a \quad (2)$$

Eşitlikte, $a = 0.12 \cdot z_0 + 0.18$;

WS_h : yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı değeri (m/s) (genellikle 10 metre)

H, İstasyonun yüksekliği (genellikle 10 metre)

A, Yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak ampirik bir üstür. z_0 , Yüzey pürüzlülük uzunluğu (Troen ve Petersen, 1989).

Pürüzlülük uzunluğu (z_0) değeri Avrupa Rüzgâr Atlası'ndan elde edilmiştir.

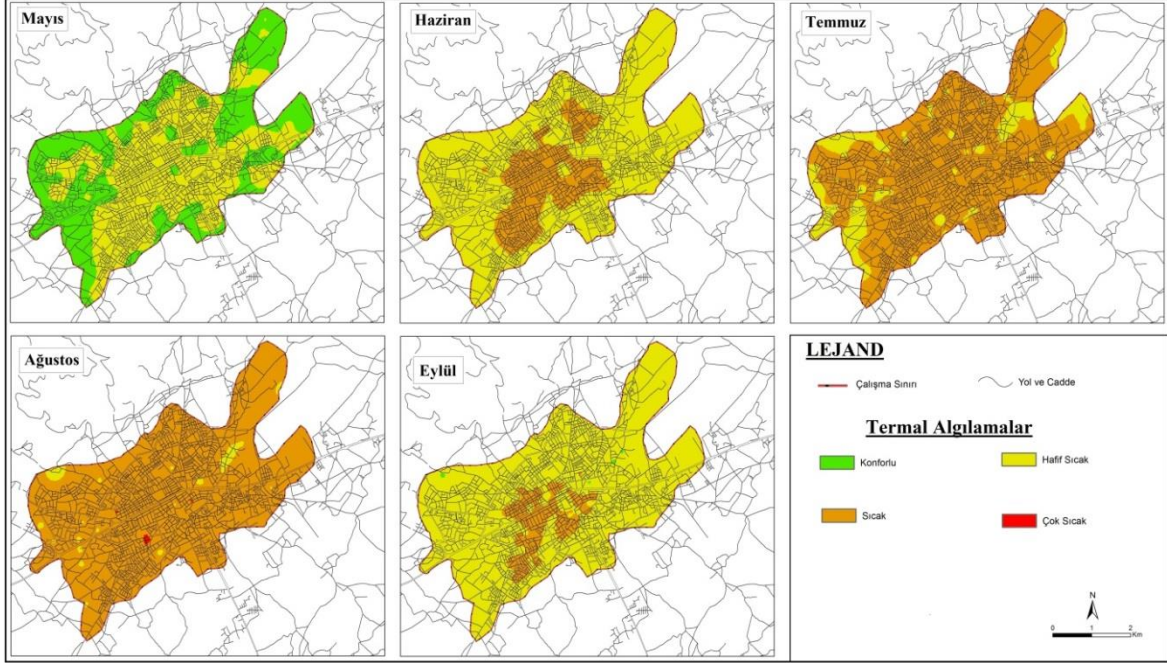
3. Bulgular

Bolu kentinin termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı günümüz (1991 – 2020), yakın gelecek (2021 – 2050) ve uzak gelecek (2069 – 2098) şeklinde 30 yıllık dönemlere ayrılarak incelenmiştir. Yılın sıcak dönemi olan Mayıs ayından Eylül ayına kadar olan dönem aylık haritalar şeklinde açıklanmıştır.

3.1. Günümüz (1991 – 2020) termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı

Mayıs ayında Bolu kentinin büyük çoğunluğunda özellikle kentsel dokunun sıklaştığı alanlarda “hafif sıcak” stresi, kent çeperlerinde ise “konforlu” koşullar algılanmaktadır. Haziran ayında yoğun

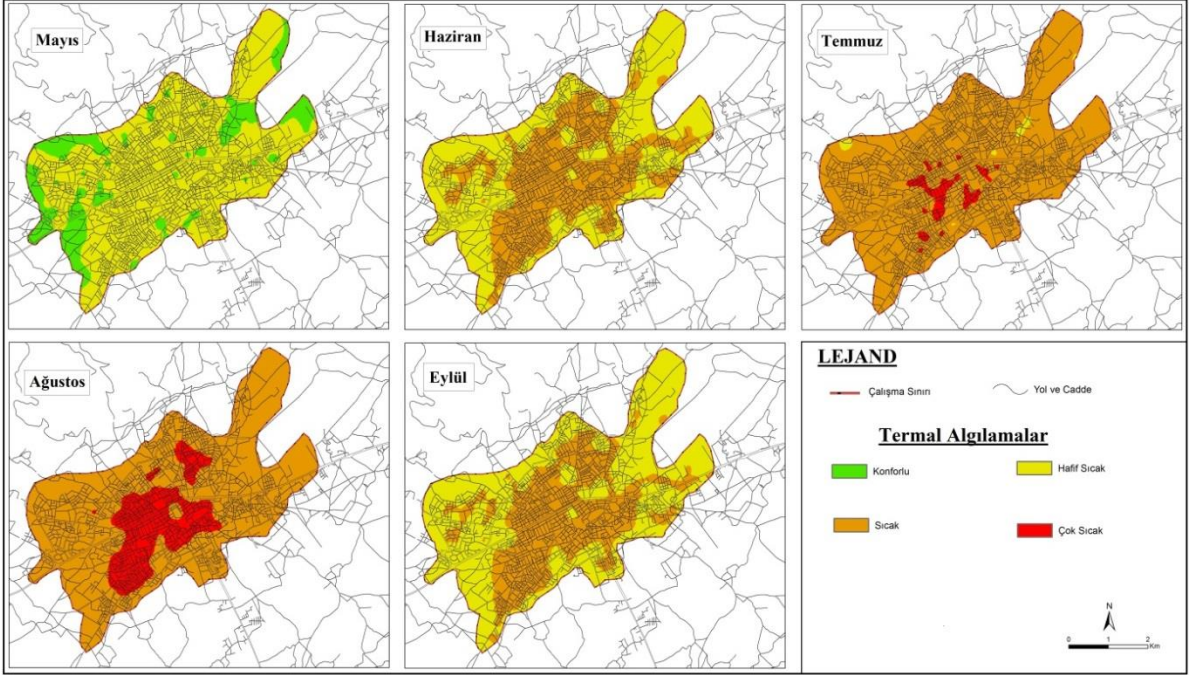
kentsel alanlarda “sıcak” stresi görülürken, sahanın büyük çoğunluğunda “hafif sıcak” stresi görülmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında kentin tamamına yakınında “sıcak” stresi hâkim olmakla birlikte, Ağustos ayında sahada “çok sıcak” stresli alanlarda yaşanmaktadır. Eylül ayında yoğun ve yüksek yapıları alanlarda “sıcak” stresi, diğer alanlarda ise “hafif sıcak” stresi yaşanmaktadır (Şekil 4).



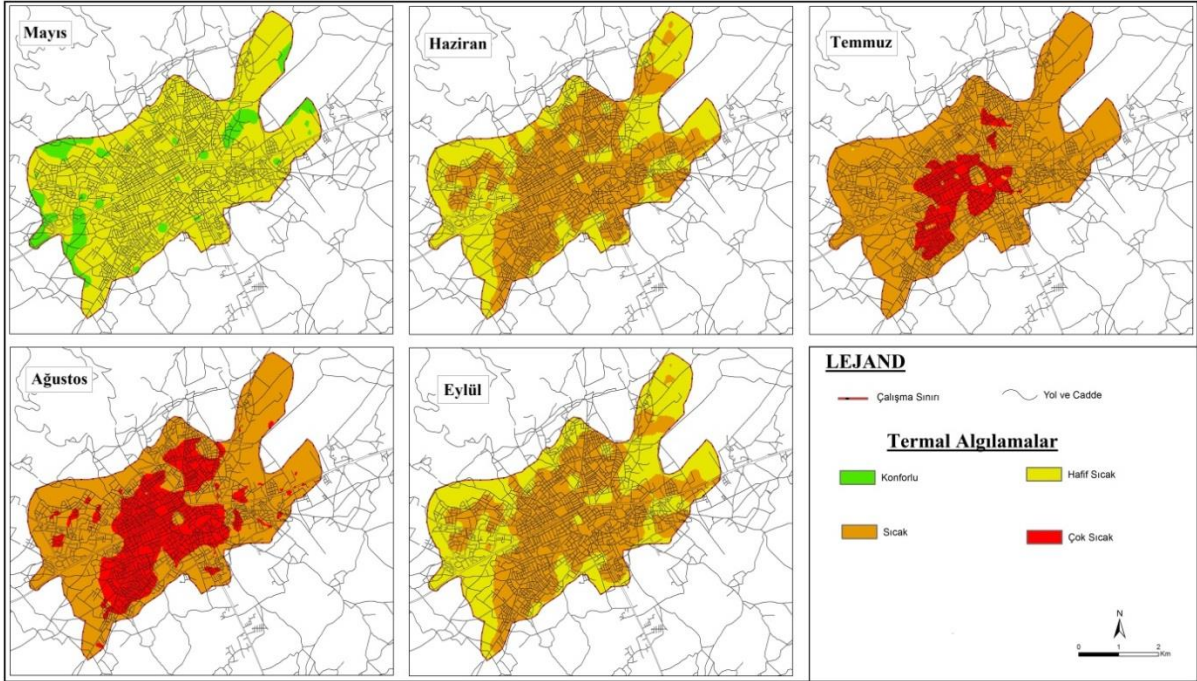
Şekil 4. Bolu kentinde yılın sıcak döneminde termal konfor koşullarının dağılımı

3.2. Yakın gelecekte (2021 – 2050) termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı

RCP 4.5 ve RCP 8.5 göre sıcak streslerinin artış göstermesi beklenmektedir. Mayıs ayında “konforlu” alanların azalacağı ve “hafif sıcak” streslerinin kentte baskın hale geleceği öngörülmektedir. Haziran ve Eylül aylarında “sıcak” streslerinin kentte hâkim olması, kent çeperlerinde “hafif sıcak” streslerinin yaşanması beklenmektedir. Yılın en sıcak ayları olan Temmuz ve Ağustos aylarında yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda yakıcı-boğucu etkilere sahip “çok sıcak” stresinin algılanacağı ve diğer alanlarda “sıcak” streslerinin algılanacağı öngörülmektedir (Şekil 5; Şekil 6).



Şekil 5. Yakın gelecekte RCP4.5 senaryosuna göre Bolu kentinin yılın sıcak döneminde termal konfor koşullarının dağılımı

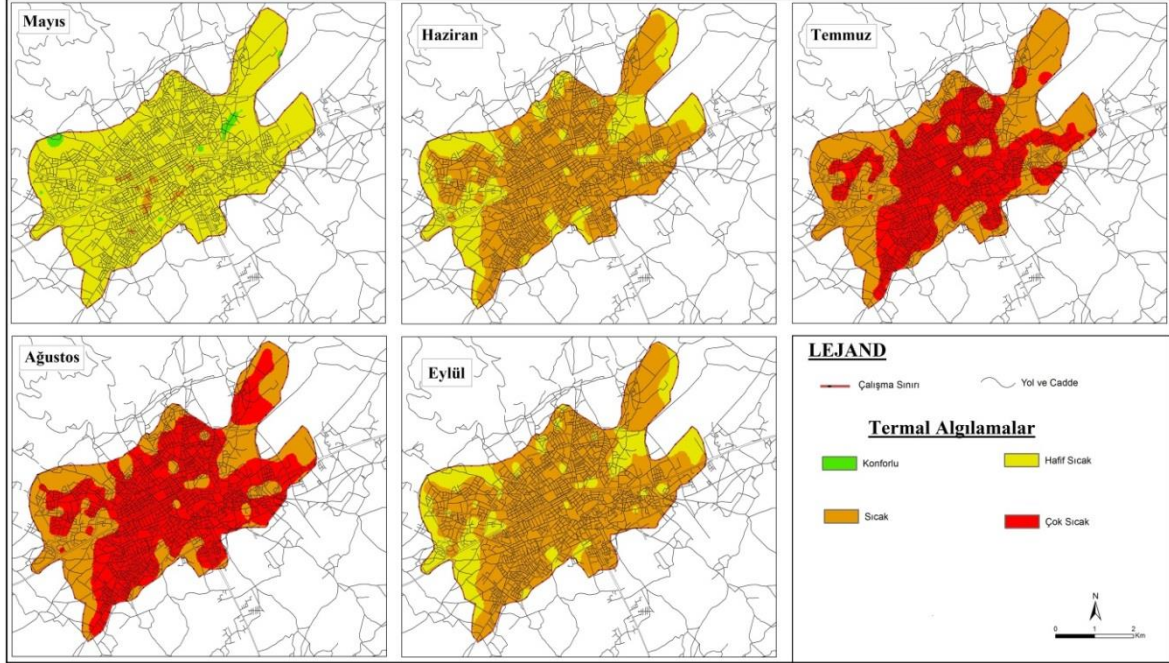


Şekil 6. Yakın gelecekte RCP8.5 senaryosuna göre Bolu kentinin yılın sıcak döneminde termal konfor koşullarının dağılımı

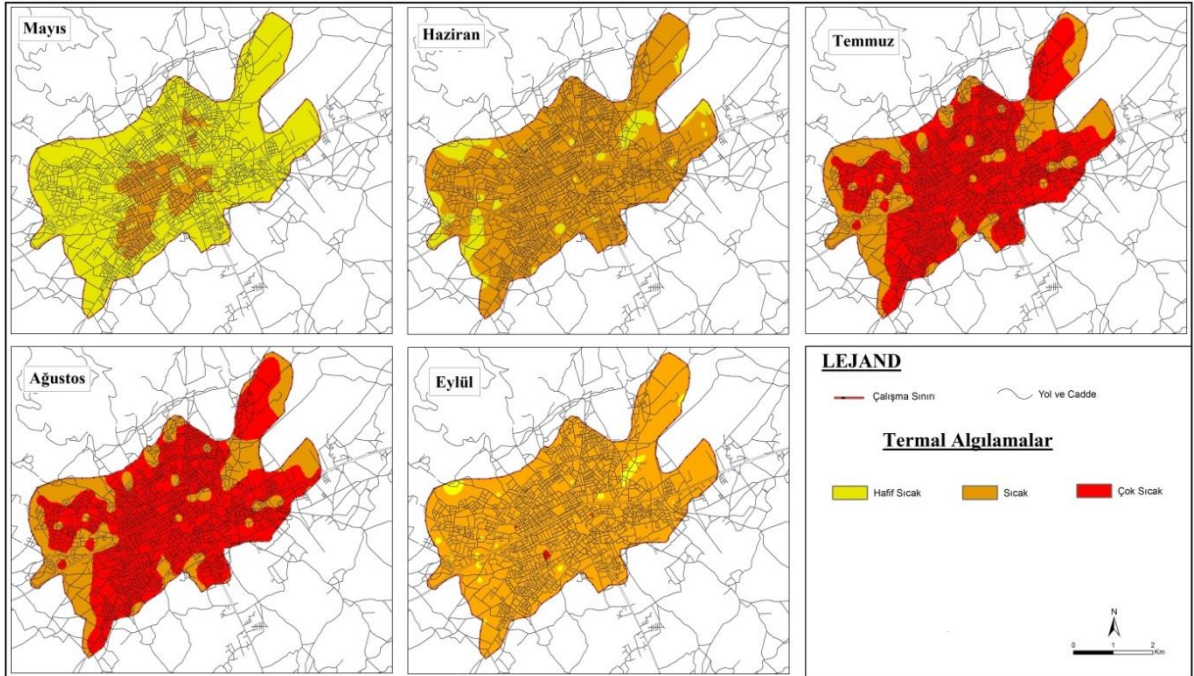
3.3. Uzak gelecekte (2069 – 2098) termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı

Uzak gelecekte sıcak streslerinin hem alanlarının genişleyeceği hem de şiddetlerinin daha fazla olacağı öngörülmektedir. RCP4.5 senaryosuna göre Mayıs ayında “konforlu” alanların çok küçük bir alanda yaşanabileceği, RCP8.5 senaryosuna göre ise hiç yaşanmayacağı beklenmektedir. Haziran ayında iki senaryoya göre de “sıcak” streslerinin sahanın tamamına yakınında yaşanacağı öngörülmektedir.

Temmuz ve Ağustos aylarında iki senaryoda da sahanın büyük çoğunluğunda “çok sıcak” sıcak streslerinin baskın olması beklenmektedir. Eylül ayında sahada “sıcak” streslerini hâkim olması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre “çok sıcak” stresinin de yaşanacağı öngörülmektedir (Şekil 7; Şekil 8).



Şekil 7. Uzak gelecekte RCP4.5 senaryosuna göre Bolu kentinin yılın sıcak döneminde termal konfor koşullarının dağılımı



Şekil 8. Uzak gelecekte RCP8.5 senaryosuna göre Bolu kentinin yılın sıcak döneminde termal konfor koşullarının dağılımı

3.4. Termal konfor koşullarının mekânsal dağılımlarının yüzdelik oranları

Bolu kentsel alanının yüzölçümü yaklaşık 27 km²'dir. Günümüz ve gelecek projeksiyonlarına göre termal konfor koşullarının mekânsal dağılımının yüzdelik oranları Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre "konforlu" koşullar günümüzde Mayıs (% 46) ve Eylül (% 0,1) aylarında etkili iken, yakın gelecekte sadece Mayıs ayında (RCP4.5: % 18; RCP8.5: % 10), uzak gelecekte ise RCP4.5 senaryosuna göre; sadece Mayıs ayında sahanın % 1'inde etkili olacağı ve RCP8.5 senaryosuna göre hiç yaşanmayacağı öngörülmektedir. "Hafif sıcak" stresi günümüzde Mayıstan Eylül'e kadar (sırasıyla % 54, % 79, % 15, % 2,2, % 90,2) yaşanırken, yakın gelecekte RCP4.5 senaryosuna göre 4 ayda (Mayıs: % 82, Haziran: % 56, Temmuz: % 1 ve Eylül: % 60), RCP8.5 senaryosuna göre üç ayda (Mayıs: % 90, Haziran: % 44, ve Eylül: % 46) yaşanması beklenmektedir. Uzak gelecekte ise her iki senaryoya göre de üç ay etkili olacağı (Mayıs, Haziran ve Eylül) fakat etki alanlarının azalacağı öngörülmektedir. "Sıcak" stresi günümüzde Haziran ayından Eylül ayına kadar 4 ay (sırasıyla % 21, % 85, % 97,6 ve % 9,7) etkili olmaktadır. Yakın gelecekte her iki senaryoya göre de yine aynı aylarda etkili olması, uzak gelecekte ise tüm aylarda etkili olması beklenmektedir. Yakıcı- boğucu etkilere sahip "çok sıcak" stresi günümüzde sadece Ağustos ayında sahanın % 0,2'sinde yaşanırken, yakın gelecekte iki senaryoya göre de Temmuz (RCP4.5: % 4, RCP.85: % 14) ve Ağustos (RCP4.5: % 19, RCP.85: % 31) aylarında yaşanacağı öngörülmektedir. Uzak gelecekte ise RCP4.5 senaryosuna göre yine Temmuz (% 48) ve Ağustos (% 63) aylarında etkili olması beklenirken, RCP8.5 senaryosuna göre Temmuz (% 70), Ağustos (% 86) ve Eylül (% 1) aylarında yaşanması beklenmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Bolu kentinin termal konfor koşullarının mekânsal dağılımının dönemlere göre yüzdelik (%) oranları

Aylar / Aralıklar	Günümüz (1991 – 2020)				Yakın Gelecek (2021 – 2050)				Uzak Gelecek (2069 – 2098)											
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5									
	Konforlu	Hafif Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak	Konforlu	Hafif Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak	Konforlu	Hafif Sıcak	Sıcak	Çok Sıcak								
M	46	54			18	82			10	90			1	97	2			86	14	
H		79	21			56	44			44	56			30	70			10	90	
T		15	85			1	9	4			86	14			52	48			30	70
A		2.2	97.6	0.2			81	19			69	31			37	63			14	86
E	0.1	90.2	9.7			60	40			46	54			23	77			2	97	1

İklim değişikliğine bağlı olarak gelecekte Bolu kentinde daha sıcak termal koşulların yaşanacağı görülmektedir. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına dayalı projeksiyon verilerine göre, gelecekte Bolu kentinde "sıcak" stresinin daha da şiddetleneceği, "çok sıcak" stresinin etkili olacağı ve kentsel ısı adasının genişleyeceği öngörülmektedir. Günümüzde sadece Ağustos ayında yaşanan sahanın % 0,2'sinde yaşanan "çok sıcak" etki alanlarının ve yaşanma sıklığının artması beklenmektedir. Ayrıca tüm konfor aralıklarının bir sonraki sıcak aralığa doğru kayması muhtemeldir.

4. Tartışma ve Sonuç

Termal konfor koşulları bakımından insan sağlığı açısından en ideal aralık konforlu şartlar olmasına karşın, hafif sıcak ve hafif serin stresler karşılanabilir koşullardır. Fakat sıcak ve çok sıcak stresler, insanları yoğun stres altında bırakan termal koşullardır. Bu yönüyle çalışmada yılın sıcak dönemi (Mayıs – Eylül arası) incelenmiştir (Çizelge 1). İklim değişikliği nedeniyle birçok sektör olumsuz etkilenmektedir. Gelecekte yaşanacağı öngörülen iklimdeki değişikliklere bağlı olarak, olası

olumsuz hava koşulları (aşırı yağış, sıcak hava dalgaları, soğuk hava dalgaları, kuraklık vb.) birçok sektörü önemli derecede tehdit etmektedir. Bu olumsuz koşullardan etkilenen alanların başında ise günümüzde nüfusun büyük çoğunluğunun yaşadığı ve gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYİH) büyük çoğunluğunun üretildiği kentler gelmektedir. Kentlerde şiddetli ve aşırı yağışlar nedeniyle yaşanan şehir selleri, bunaltıcı şehir ısı adaları ve sıcak hava dalgaları gibi birçok risk bulunmaktadır. Bu tür riskler içerisinde iklim elemanlarının tümünün ortak etkisi olan termal konfor koşullarındaki değişimler sağlıktan ekonomiye kadar insan yaşamı ve etkinliklerini etkileyecektir. Bundan dolayı kentlerin termal konfor koşullarının mekânsal dağılımları ve geleceğe dair projeksiyonlar geliştirilmesi alınabilecek önlem ve planlamalar için büyük bir öneme sahiptir.

Termal konfor koşullarının belirlenmesi ile ilgili birçok yöntem geliştirilmiş olmakla birlikte, verileri eksiksiz, uzun ve kullanılabilir yeterli istasyon bulunmaması vb. gibi faktörler nedeniyle mekânsal dağılımları tespit etmek bir hayli zordur. Bu çalışmada termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı için yeni geliştirilen ve fiziki coğrafyanın birçok değişkenini (arazi kullanımı, yükselti, Güneş radyasyonu, ortalama radyant sıcaklık, rüzgâr hızı vb.) hesaplamaya dâhil eden bir yöntem ile açıklanmıştır. Geleceğe ait iklim projeksiyonlarıysa, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının günlük verileri Rayman yazılımı aracılığıyla hesaplanarak elde edilmiştir.

Bolu kenti, Ankara ve İstanbul gibi önemli merkezlerin ulaşım güzergâhında bulunan, yeşil doğası ile bilinen küçük bir Anadolu kentidir. Kentleşme hareketleriyle birlikte kentte nüfus artışı meydana gelmiş ve bu durum kentte nüfus yoğunluğunu artırmıştır (Çizelge 2). Artan nüfus yoğunluğu beraberinde kentsel alanın genişlemesine, doğal alanların tahrip edilmesine (ör. ormansızlaşma, yeşil alanların azalması, vb.), asfalt ve beton yüzeylerin artmasına neden olmuştur. Bu gibi antropojen faktörlere bağlı olarak Bolu’da yılın sıcak döneminde (Mayıs – Eylül arası) olumsuz termal konfor koşulları yaşanmaktadır.

Her mevsim yağışlı Karadeniz iklimi görülen Bolu’nun termal konfor koşullarının mekânsal dağılımı yılın sıcak dönemi için incelenmiş ve projeksiyon verilerden hareketle geleceğe dair öngörülerde bulunulmuştur. Çalışma sonucunda günümüzde yılın sıcak döneminde sadece Mayıs ayında konforlu algılamaların yaşandığı ve bu ayda da kentin düşük yoğunluklu yerleşime sahip olan kent çeperlerinde algılandığı tespit edilmiştir. Diğer aylarda ise sıcak streslerinin yaşandığı görülmüştür. Yakın ve uzak gelecek dönemlerinde ise konforlu koşulların hiç kalmayacağı, sıcak ve çok sıcak streslerinin gerek yaşanma sıklığının gerekse etkili oldukları alanların artacağı öngörülmektedir. Özellikle yoğun yapılaşmış ve yeşil alan miktarının az olduğu kentsel alanlarda yakıcı-boğucu çok sıcak stresleri hâkim olacaktır. Aynı zamanda termal konfor koşullarının giderek bir sonraki sıcak aralığa doğru kayması muhtemeldir.

Çalışmanın sonuçları literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında; Mcgregor vd. (2002) Atina’da (Yunanistan) yılın konforsuz dönemlerinde artışlar olduğu açıklanmıştır. Dünya’da ve Türkiye’de yapılan çalışmalarda gelecekte sıcak streslerinin artacağı ve soğutmaya daha çok ihtiyaç duyulacağı (Andric vd., 2017; Kolokotroni vd., 2012; Larsen vd., 2019; Matzarakis ve Amelung, 2008; Matzarakis ve Endler, 2010; Şensoy, 2020), gelecekte şehirlerde güçlü sıcaklık streslerinin yaşanacağı (Cheung ve Hart, 2014), turizm açısından ‘ideal’ turizm sezonlarının bir yıldaki uzunluk ve sürelerinin değişmesi

beklenmektedir (Amelung vd., 2007; Amelung ve Nicholls, 2014; EUROCONTROL, 2021; Hamilton ve Tol, 2007; Kum, 2011; Nastos ve Matzarakis, 2019). Çalışmadaki elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla benzer olduğu görülmüştür.

Dünya nüfusun artması, teknolojik gelişmelerin hız kazanması ve insan üretim-tüketim felsefesindeki değişimler doğal alanların yapay alanlara dönüşmesine neden olmaktadır. Bu alanların başında ise Dünya kara yüzeyinin % 2 – 3'ünden sorumlu olan kentsel alanlar gelmektedir. Kentlerdeki yoğun yapılaşma ve betonlaşma, arazi kullanımı değişikliği, ormansızlaşma ve yeşil alanların azaltılması, motorlu taşıt kullanımı, fosil yakıt tüketiminin artması vb. faktörler iklimde değişimlere neden olmaktadır. İklimdeki bu değişimler Bolu kentinde gelecekte insan sağlığında yakıcı-boğucu etkilere sahip sıcak streslerinin yaşanmasına ve şiddetlenmesine neden olacaktır. Yaşanması olası bu değişimleri azaltmak ve iklim direngen sürdürülebilir kentlere (ör. yeşil ya da akıllı kentler) yönelik adaptasyon çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Öncelikle kentsel planlama ve tasarımlarında coğrafi bakış açısıyla bütüncül bir yaklaşım geliştirilmelidir. Kentsel alanlarda parklar, yeşil çatılar ve su yüzeyleri gibi serin ortamlar oluşturulmalıdır. Kentsel alanda peyzaj bakımından uygun türler seçilerek ağaçlandırmalar yapılmalı ve yeşil alan oranları artırılmalıdır. Bu yeşil alanlar kentsel alana dengeli dağıtılmalı ve yapılı alan ile yeşil alan arasında gerçekleşecek ısı farkına bağlı yerel rüzgâr (meltem) etkisi oluşacak ve kentin 'taze hava' hava sirkülasyonu da olumlu etkilenecektir. Ayrıca yeşil bina tasarımlarının geliştirilmesi de alınacak önlemler arasındadır. Özetle iklim değişikliğinin iklimsel insan konforuna olan olumsuz etkilerini azaltmak ve sürdürülebilir sağlıklı kentler için, coğrafi bakış açısıyla (beşeri, biyotik ve fiziksel çevre koşullarını dikkate alan) kentsel tasarım ve planlamaların yapılması gerekmektedir.



Analysis of Spatial Distribution of Thermal Comfort Conditions in Current and Future Climate Conditions with a New Approach: Bolu City Example

Savaş Çağlak*^a, Murat Türkeş^b

Submitted: 03.04.2022

Accepted: 08.08.2022

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

There is a close relationship between climatic conditions and human life and activities. Cities are the intangible and tangible universal heritage sites of human history. In addition to these, the spread of urban areas, the increase in the use of motor vehicles, the increase in asphalt and concrete surfaces, the destruction of natural areas, the increase of domestic and industrial wastes caused the climatic conditions of the cities to differ from the semi-rural and rural areas around them. This situation has been demonstrated in many studies (Charalampopoulos et al., 2013; Çağlak, 2017; Çağlak et al., 2021; Çiçek and Doğan, 2005; Erlat and Türkeş, 2017; Lerner, 1964; Mayer, 1993; Oke, 1973; Türkeş and Erlat, 2017; Toy et al., 2021 Unger, 1999).

The climatic conditions that show a natural tendency to change in all time scales on Earth, which is approximately 4.5 billion years old, has gained different dimensions due to increasing human pressure since 19th century (urbanization, deforestation, asphaltting, concretization, fossil fuel use, improper land use, etc.). (NASA, 2018; Türkeş, 2013a;). These changes in the climate cause the thermal comfort conditions, which are the common effect of all climate elements, to change. Thermal comfort can be defined as the state of feeling comfortable or comfortable/happy in the thermal environment (mainly temperature, humidity, wind climatology) (Olgay, 1973; Sungur, 1980). When people are deprived of such comfort, many social, economic and physical negativities such as decrease in welfare and happiness, health problems and increase in energy use, decrease in work efficiency are observed (Aboubakri et al., 2020; Anderson and Bell, 2009; Błażejczyk et al., 2018; Fallah and Mayvaneh, 2016; Huang et al., 2015; Nastos and Matzarakis, 2011; Nastos. et al., 2013; Scherber et al., 2014; Türkeş, 2010; Türkeş and Erlat, 2017).

In the studies conducted, it is expected that there will be an increase in heat stresses and hot stresses with severe burning and suffocating effects that will threaten human health in the summer season (Cheung and Hart, 2014; Erlat et al., 2020; Matzarakis and Amelung, 2008; Matzarakis and Endler, 2010; Mcgregor et al., 2002; Larsen et al., 2019; Nastos and Matzarakis, 2019; Shartova and

* Corresponding Author: savas_caglak@hotmail.com

^a Ministry of Education, Amasya/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-9051-7710>.

^b Boğaziçi University, Climate Change and Policies Implementation and Research Center, Istanbul/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-9637-4044>.

Konstantinov, 2019). Studies on the effects of climate change on thermal comfort conditions in Turkey have been limited to the Western Mediterranean and the relationship with tourism (Kum, 2011; Kum and Gönençgil, 2018; Şensoy, 2020). Turkey is among the risky countries in terms of climate change. With the change of thermal comfort conditions, it is necessary to take measures for the heat stresses to be experienced in urban areas.

According to NUTS, Bolu is located in the Kocaeli sub-region of the Eastern Marmara Region. Geographically, it is located in the Western Black Sea Region of the Black Sea Region between 40° 06' and 41° 01' north latitudes and 30° 32' and 32° 36' east longitudes (Figure 1). It has the feature of being a historical settlement because it is located on the important highway route that reaches centers such as Istanbul and Ankara.

While the total population of Bolu city center was 21,600 people in 1965, it increased to 179,223 people in 2020, increasing 7.25 times. From 1965 to 2020, it increased between 3.1 and 5.5%. The population amounts and increases of the city of Bolu are given in Table 2.

2. Methodology

In the study, hourly; air temperature (°C), relative humidity (%), wind speed (m/s) and cloudiness (octa) data of the meteorology station of Bolu Meteorology Directorate no. 17070 located in the city center between 1991 and 2020 (30 years) were used (Figure 2).

Climate projections based on RCP4.5 and RCP8.5 scenarios from Representative Concentration Paths (RCPs) for the near (2021 – 2050) and far future (2069 -2098) periods, daily air temperature (°C), relative humidity (%), wind velocity (m/s) and solar radiation (W/m²) data were used. RCP4.5 and RCP8.5 scenarios; corresponds to 4.5 and 8.5 Watt/m² radiative forcing, respectively, and are the most commonly used climate scenarios (IPCC, 2013; Türkeş, 2013b).

In addition, bias correction was made by using the regression equation obtained from the projection data, model-observation scatter. Since the correlation coefficient of the regression equation is $R^2 = 0.98$ ($y = + 0.081 + 0.9711x$), it is usable.

As a method, the Physiological Equivalent Temperature (PET) index, which calculates many factors together in thermal comfort studies and obtained from the RayMan Pro model, was used (Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999). PET index calculates human thermal comfort according to body heat energy balance. The index calculates all the effects of the thermal environment on humans (short and long wave solar radiation, air temperature, relative humidity and wind speed) and the thermo-physiological conditions of the human body (type of clothing and activity) (Höppe, 1999; Matzarakis et al., 1999; Gulyas et al., 2006).

A newly developed model approach is used in the spatial distribution of thermal comfort conditions. In this method, through the ArcGIS 10.5 program from the Geographical Information Systems software; Calculations were made with base maps of altitude, land use, solar radiation, mean radiant temperature (MRT) and wind speed (Table 5; Figure 3).

3. Result

3.1. Spatial distribution of today's (1991 - 2020) thermal comfort conditions

In the majority of the city of Bolu in May, "slightly warm" stress is perceived, especially in areas where the urban texture is dense, and "comfortable" conditions are perceived in the city peripheries. While "warm" stress is seen in dense urban areas in June, "slightly warm" stress is seen in the majority of the field. In July and August, "warm" stress is dominant in almost the entire city, but in August, "hot" stress areas are experienced in the field. In September, "warm" stress is experienced in dense and high built areas, while "slightly warm" stress is experienced in other areas (Figure 4).

3.2. Spatial distribution of thermal comfort conditions in the near future (2021 – 2050)

According to RCP 4.5 and RCP 8.5, heat stresses are expected to increase. It is predicted that "comfortable" areas will decrease in May and "slightly warm" stresses will become dominant in the city. It is expected that "warm" stresses will dominate in the city in June and September, and "slightly warm" stresses are expected to be experienced in the city peripheries. In the hottest months of the year, July and August, it is predicted that "hot" stress with burning-suffocating effects will be perceived in densely built urban areas, and "warm" stresses will be perceived in other areas (Figure 5; Figure 6).

3.3. Spatial distribution of thermal comfort conditions in the distant future (2069 – 2098)

In the distant future, it is predicted that both the areas of heat stresses will expand and their severity will be more. According to the RCP4.5 scenario, it is expected that "comfortable" areas will be experienced in a very small area in May, and not at all according to the RCP8.5 scenario. According to both scenarios, it is predicted that "warm" stresses will be experienced in almost the entire area in June. In July and August, "hot" heat stresses are expected to dominate the majority of the site in both scenarios. While it is expected that "warm" stresses will prevail in the field in September, it is predicted that "hot" stress will also be experienced according to the RCP8.5 scenario (Figure 7; Figure 8).

3.4. Percentages of spatial distribution of thermal comfort conditions

The surface area of the Bolu urban area is approximately 27 km². According to the findings, "comfortable" conditions are effective in May (46%) and September (0.1%) today, while in the near future only in May (RCP4.5: 18%; RCP8.5: 10%) and in the distant future. According to the RCP4.5 scenario; It is predicted that it will only be effective in 1% of the field in May. While the "very hot" stress with its burning-suffocating effects is experienced only in 0.2% of the field in August today, according to two scenarios in the near future, July (RCP4.5: 4%, RCP.85: 14%) and August (RCP4. 5: 19%, RCP.85: 31%) months. In the distant future, it is expected to be effective in July (48%) and August (63%) according to the RCP4.5 scenario, while it is expected to be experienced in July (70%), August (86%) and September (1%) according to the RCP8.5 scenario. (Table 6).

4. Discussion and Conclusion

As a result of the study, it has been determined that comfortable perceptions are experienced only in May during the hot period of the year and that the city is perceived in the city peripheries with low density settlements in this month. In other months, heat stresses were observed. In the near and

distant future periods, it is predicted that comfortable conditions will never remain, the frequency of hot and very hot stresses and the areas where they are effective will increase. Burning-suffocating very hot stresses will dominate especially in urban areas with densely built and low amount of green space. At the same time, thermal comfort conditions are likely to gradually shift towards the next warm range.

When the results of the study are compared with the studies in the literature; McGregor et al. (2002) In Athens (Greece) increases were reported during uncomfortable periods of the year. In studies conducted in the world and in Turkey, heat stresses will increase and cooling will be needed more in the future (Andric et al., 2017; Kolokotroni et al., 2012; Larsen et al., 2019; Matzarakis and Amelung, 2008; Matzarakis and Endler, 2010; Şensoy, 2020), strong heat stresses will be experienced in cities in the future (Cheung and Hart, 2014), the length and duration of 'ideal' tourism seasons in a year in terms of tourism are expected to change (Amelung et al., 2007; Amelung and Nicholls, 2014; EUROCONTROL, 2021; Hamilton and Tol, 2007; Kum, 2011; Nastos and Matzarakis, 2019). The results obtained in the study were found to be similar to the studies in the literature.

Changes in the climate will cause heat stresses, which have burning-suffocating effects on human health, to be experienced and intensified in the city of Bolu in the future. It is necessary to reduce these possible changes and adapt to climate resistant sustainable cities (eg green or smart cities). In order to reduce the negative effects of climate change on climatic human comfort and for sustainable healthy cities, urban design and planning should be done from a geographical perspective (taking into account human, biotic and physical environmental conditions).

Referanslar/References

- Aboubakri, O., Kahnjani, N., Jahani, Y., Bakhtiari, B. (2020). Thermal comfort and mortality in a dry region of Iran, Kerman; A 12-year time series analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 139: 403–413. doi: 10.1007/s00704-019-02977-8
- Amelung B, Nicholls S, Viner D. (2007). Implications of global climate change for tourism flows and seasonality. *Journal of Travel Research*, 45 (3), 285-296. doi:10.1177/0047287506295937
- Amelung, B., Nicholls, S. (2014). Implications of climate change for tourism in Australia. *Tourism Management*, 41, 228-244. doi:10.1016/j.tourman.2013.10.002
- Anderson B.G, Bell M.L. (2009). Weather-related mortality: How heat, cold, and heat waves affect mortality in The United States. *Epidemiology* (Cambridge, Mass) 20:205–213. doi: 10.1097/EDE.0b013e318190ee08
- Andric, I., Pina, A., Ferrão, P., Fournier, J., Lacarrière, B., Le Corre, O. (2017). The impact of climate change on building heat demand in different climate types. *Energy and Buildings*, 149, 225–234. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.05.047
- Atay, H., Tüvan A., Demir, Ö., Balta, İ. (2012). *İklim Değişikliğinin Sağlık Üzerine Etkileri*. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü. 07.08.2022 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/16_iklim-saglik-etki.pdf adresinden alındı.
- Blazejczyk, K., Baranowski, J., Blazejczyk, A. (2018). Climate related diseases. Current regional variability and projections to the year 2100. *Quaestiones Geographicae*, 37 (1): 23-36. doi: 10.2478/quageo-2018-0003
- Charalampopoulos, I., Tsiros, I., Sereli, A., Matzarakis, A. (2013). Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosyst*, 16, 217–233. doi: 10.1007/s11252-012-0252-5
- Cheung, C.S.C., Hart, M. A. (2014). Climate Change and Thermal Comfort in Hongkong. *International Journal of Biometeorology*, 58 (2): 137- 148. doi: 10.1007/s00484-012-0608-9
- Çağlak, S. (2017). *Samsun'un Biyoklimatik Konfor Şartlarının İncelenmesi ve Şehirleşmenin Biyoklimatik Konfor Şartlarına Etkisi*. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Ana Bilim Dalı, Samsun. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tez475568.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Çağlak, S. (2021). *İklim Değişikliğinin Biyoklimatik Konfor Şartları Üzerine Etkileri ve Olası Sonuçları*. Basılmamış Doktora

- Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tez690729.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Çağlak S., Aydemir K.P.K., Kazancı G. (2021). Kentleşmenin biyoklimatik konfor şartları üzerine etkileri; Bolu örneği. *City Health Journal*, 2 (2), 47-55. <https://cityhealthj.org/index.php/cityhealthj/article/view/21> adresinden edinilmiştir.
- Çiçek İ., Doğan U. (2005). Ankara'da şehir ısı adasının incelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3 (1), 57-72. doi: 10.1501/Cogbil_0000000049
- de Freitas, C. R., Grigorieva, E.A. (2015). A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *International Journal of Biometeorology*, 59: 109–120. doi: 10.1007/s00484-014-0819-3
- Driscoll, D.M. (1992). Thermal comfort indexes. Current uses and abuses. *Nat. Weather Digest*, 17 (4), 33-38.
- Epstein, Y., Moran, D.S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44: 388–398. doi: 10.2486/indhealth.44.388
- Erlat, E., Türkeş, M. (2017). Türkiye'de tropikal gece sayılarında gözlenen değişimler ve eğilimler (Observed variations and trends in number of tropical nights in Turkey). *Ege Coğrafya Dergisi* 26 (2), 95-106, (in Turkish with an English abstract, figure and table captions). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/391788> adresinden edinilmiştir.
- Erlat, E., Türkeş, M., Aydın, F. (2020). Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology*, 145, 137–157. doi:10.1007/s00704-021-03620-1
- EUROCONTROL (2021). Climate Change Risks for European Aviation study 2021 Impact of Climate Change on Tourism Demand Technical report <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-09/eurocontrol-study-climate-change-risk-european-aviation-annex-4.pdf> adresinden edinilmiştir.
- Fallah Ghalhari G, Mayvaneh F. (2016). Effect of air temperature and universal thermal climate index on respiratory diseases mortality in Mashhad, Iran. *Arch Iran Med.*, 19 (9), 618 – 624.
- Godfrey, S., Tunhuma, F.A. (2020). *The Climate Crisis: Climate Change Impacts, Trends and Vulnerabilities of Children in Sub Sahara Afric*. United Nations Children's Fund Eastern and Southern Africa Regional Office, Nairobi.
- Gulyas, A., Unger, J., Matzarakis, A. (2006). Assessment of the micro climatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment*, 4, 1713–1722.
- Hamilton, J.M., Tol, R.S.J. (2007). The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study. *Reg Environ Change*, 7, 161–172. doi:10.1007/s10113-007-0036-2
- Haldane J.S. (1905). The influence of high air temperature. *Journal of Epideomology and Infection*, 5 (4), 494–513. doi:10.1017/S0022172400006811
- Höppe, P. (1984). Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München*, 49.
- Höppe P. (1999). The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43, 71-75. doi:10.1007/s004840050118
- Huang, F, Zhao, A, Chen, RJ, Kan, HD, Kuang, X.Y. (2015) Ambient temperature and outpatient visits for acute exacerbation of chronic bronchitis in Shanghai: A time series analysis. *Biomed Environ Sci*, 28:76–79. doi:10.3967/Bes2015.008
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Thomas F. Stocker., et al. (Eds.), Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Kolokotroni, M., Ren, X., Davies, M., Mavrogianni, A. (2012). London's urban heat island: Impact on current and future energy consumption in office buildings. *Energy and Buildings*, 47: 302-311. doi:10.1016/j.enbuild.2011.12.019
- Koopmans, S., Ronda, R., Steeneveld, G.J., Holstlag, A.A.M., Tank, A.M.G. (2018). Quantifying the effect of different urban planning strategies on heat stress for current and future climates in the agglomeration of the Hague (The Netherlands). *Atmosphere*, 9 (3), 1-20. doi:10.3390/atmos9090353
- Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., Steeneveld, G. J. (2020). A standardized physical equivalent temperature urban heat map at 1-M spatial resolution to facilitate climate stress tests in The Netherlands. *Building and Environment*, 181, 1-13. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106984
- Kum, G. (2011). *İklim Değişikliğinin Türkiye'nin Güneybatı Kıyılarında Turizmin Konfor Şartlarına Etkileri*. Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Bölümü, İstanbul. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tez287776.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Kum, G., Gönençgil, B. (2018). Türkiye'nin güneybatı kıyılarında turizm iklim konforu. *Gaziantep University Journal of Social*

- Sciences*, 17 (1), 70-87. doi: 10.21547/jss.341541
- Landsberg, H.E. (1972). *The Assessment of Human Bioclimate, a Limited Review of Physical Parameters*. World Meteorological Organization, Technical Note No. 123, WMO-No. 331, Geneva
- Larsen, S. F., Filippín, C., Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina, *Energy and Buildings*, 184, 216-229. doi:10.1016/j.enbuild.2018.12.015
- Lerner, D. (1964). *The Passing of Traditional Society Modernizing The Middle East*. Newyork: The Free Press.
- Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43, 76–84. doi:10.1007/s004840050119
- Matzarakis, A. Rutz, F., Mayer, H. (2000). Estimation and Calculation of the Mean Radiant Temperature within Urban Structures. (Eds. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems) in: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium: Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99*, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.
- Matzarakis A., Amelung B. (2008). Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. Madeleine C. Thomson, Ricardo Garcia-Herrera R, Martin Beniston (Eds) *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. Advances in Global Change Research*, vol 30. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-1-4020-6877-5_10
- Matzarakis, A., Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: Impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 54 (4), 479-483. doi:10.1007/s00484-009-0296-2
- Mayer, H., (1993). Urban bioclimatology. *Experientia*, 49, 957-963. doi: 10.1007/BF02125642
- McGregor G. R., Markou M. T., Bartzokas A., Katsoulis B. D. (2002). An evaluation of the nature and timing of summer human thermal discomfort in Athens, Greece. *Clim Res*. 20, 83–94 doi:10.3354/cr020083
- NASA (2018). The Causes of Climate Change. <https://climate.nasa.gov/causes/> adresinden alındı.
- Nastos, T.P., Matzarakis, A. (2011). The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology*. 3 (4), 591-599. doi: 10.1007/s00704-011-0555-0
- Nastos, P. T., Giaouzaki, K. N., Kampanis, N. A., Matzarakis, A. (2013). Acute coronary syndromes related to bio-climate in a Mediterranean area. The case of IeraTHira, Crete Island, Greece. *International Journal of Environmental Health Research*, 23 (1), 76-90. doi: 10.1080/09603123.2012.699031
- Nastos, P.T., Matzarakis, A. (2019). Present and future climate—tourism conditions in Milos Island, Greece. *Atmosphere*, 10 (3): 97-107. doi:10.3390/atmos10030145.
- Norwegian Red Cross (2019). *Overlapping Vulnerabilities: The Impacts of Climate Change on Humanitarian Needs*, Oslo: Norwegian Red Cross. ISBN 978-82-7250-201-9.
- Oke TR. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7 (8): 769-779. doi:10.1016/0004-6981(73)90140-6
- Olgyay, V. (1973). *Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press, New Jersey.
- Parsons, K. (2014). *The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance, Third Edition*. Singapore: CRC Press., ISBN 9781466595996.
- Perkhurova, A. A., Konstantinov, P.I., Varentsov, M.I., Shartova, N.I., Samsonov, T.E., Krainov, V.N. (2019). Real-time microscale modeling of thermal comfort conditions in Moscow region. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 386: 1-8.
- Scherber, K., Langner, M., Endlicher, W. (2014). Spatial Analysis of Hospital Admissions for Respiratory Diseases During Summer Months in Berlin Taking Bioclimatic and Socio-Economic Aspects into Account. *DIE ERDE – Journal of the Geographical Society of Berlin*, 144(3-4), 217-237. doi:10.12854/erde-144-16
- Shartova N., Konstantinov P. (2019) Climate change adaptation for Russian cities: A case study of the thermal comfort assessment. Leal Filho W., Leal-Arcas R. (eds), in *University Initiatives in Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-89590-1_15
- Steenveld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., Hove, L.W.A, Holstlag, A.A.M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in The Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, 116: 1-14. doi:10.1029/2011JD015988
- Sungur, K. A. (1980). Türkiye’de insan yaşamı açısından uygun olan ve olmayan ısı değerlerinin aylık dağılımı ile ilgili bir

- deneme. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 23: 27-36.
- Şensoy, S. (2020). *Turizm Sektörünün Geleceği Açısından Sıcaklık İndisleri ile Termal Biyoklimatik İndisler Arasındaki İlişkiler: Antalya Örneği*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Ana Bilim Dalı, Ankara. <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12575/73228> adresinden edinilmiştir.
- Toy, S. (2010). *Biyoklimatik Konfor Değerleri Bakımından Doğu Anadolu Bölgesi Rekreatiyonel Alanların İncelenmesi*. Basılmamış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Erzurum. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tez274669.jsp> adresinden edinilmiştir.
- Toy, S., Çağlak, S., Esringü, A. (2021). Assessment of bioclimatic sensitive spatial planning in a Turkish city, Eskisehir. *Atmosfera Early Online Release*. 35 (4) doi: 10.20937/ATM.52963.
- Troen, I., Petersen, E. (1989). *European Wind Atlas*. National Laboratory Roskilde, ISBN 87-550-1482-8.
- TUİK (2021). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020>.
- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Türkeş, M. (2013a). İklim değişiklikleri: Kambriyen'den Pleyistosen'e, Geç Holosen'den 21. yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22 (1) : 1- 25. <https://dergipark.org.tr/pub/ece/issue/4867/66879> adresinden edinilmiştir.
- Türkeş, M. (2013b). IPCC İklim Değişikliği 2013: Fiziksel Bilim Temeli Politikacılar İçin Özet Raporundaki Yeni Bulgu ve Sonuçların Bilimsel Bir Değerlendirmesi. İçinde: İklim Değişikliğinde Son Gelişmeler: IPCC 2013 Raporu, s.8-18. Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (IPM): İstanbul.
- Türkeş, M., Erhat, E. (2017). Aşırı Hava ve İklim Olaylarında Dünya ve Türkiye'de Gözlenen Değişiklik ve Eğilimlerin Bilimsel Bir Değerlendirmesi. Meltem Ucal (Ed.), içinde *İklim Değişikliği ve Yeşil Boyut: Yeşil Ekonomi, Yeşil Büyüme*, s.5-38. İstanbul: Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği.
- Türkoğlu, N., Çalışkan, O. (2011). Nevşehir'de termal biyoklimatik koşulların analizi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 6 (2): 80 – 92. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsanature/issue/10847/130532> adresinden edinilmiştir.
- Unger J. (1999). Urban–Rural Air Humidity Differences in Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology*, 19 (13): 1509-15015. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19991115)19:13<1509::AID-JOC453>3E3.0.CO;2-P
- World Bank (2018). <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL>
- Yazar, K. H. (2006). *Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Orta Ölçekli Kentlere Dönük Kent Planlama Yöntem Önerisi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=jn6etrqlhuABMeMmDj_wpg&no=cu2Lffz_YsrIP45PmuM76A adresinden edinilmiştir.
- URL 1: <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx?m=BOLU> Erişim tarihi: 29.03.2022.