



Antalya'nın Termal Konfor Özellikleri, İklim Model Verileri Kullanılarak Gelecek Projeksiyonları ve Turizme Etkileri

Thermal Comfort Features of Antalya, Future Projections Using Climate Model Data and Its Effects on Tourism

Serhat Şensoy^a, Necla Türkoğlu^b, İhsan Çiçek^b, Andreas Matzarakis^c

Makale Bilgisi

DOI:
10.33688/ aucbd.706150

Makale Geçmişi:
Geliş: 25.03.2020
Kabul: 18.06.2020

Anahtar Kelimeler:
FES
mFES
Trend
Turizm
Antalya

Öz

İklim verilerinin turizm sektöründe planlama, zarar azaltma faaliyetlerinde hayati önemi vardır. Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES) indislerindeki trendler, Antalya'da turistlere, tur operatörlerine, sektörle ilgili karar vericilere önemli bilgiler verecektir. Bu amaçla çalışmada Antalya için 1960-2017 saatlik sıcaklık, nispi nem, rüzgar hızı, radyasyon verileriyle 2018-2099 günlük projeksiyon verileri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile kullanılmıştır. FES, mFES indisleri RayMan yazılımı kullanılarak hesaplanmış, karşılaştırmaları yapılmıştır. FES, mFES arasında kış, ilkbahar, yaz ve sonbaharın korelasyon katsayıları sırasıyla 1.00, 0.99, 1.00, 0.98 bulunmuştur. mFES değerleri kışın FES'ten yüksek, yazın ise düşüktür. FES ve mFES indislerinde, her iki senaryoya göre de artış eğilimleri bulunmuştur. İndislerdeki artış eğilimleri kış ve ilkbaharda termal konforu arttırıcı, yaz ve sonbaharda ise azaltıcı etki yapacaktır. RCP8.5 senaryosuna göre kışın Manavgat, Finike, Demre ve Kemer'de konforlu yıllar ortaya çıkacaktır. Sonuçlar Antalya'da konforlu ilkbaharla birlikte kıyılarda kışın da konfora rastlanacağını, sonbaharda Korkuteli ve Elmalı gibi dağlık alanların kıyıda azalan konforu tamamlayıcı rol üstleneceğini göstermektedir.

Article Info

DOI:
10.33688/ aucbd.706150

Article History:
Received: 25.03.2020
Accepted: 18.06.2020

Keywords:
PET
mPET
Trend
Tourism
Antalya

Abstract

Climate data has a crucial role for planning and mitigation activities in the tourism. Trends in the Physiologically Equivalent Temperatures (FES) will provide important information to tourism. In this study hourly temperature, relative humidity, wind speed and radiation data between 1960-2017 and daily projection data between 2018-2099 with RCP4.5 and RCP8.5 scenarios have been used for Antalya. PET and mPET have been calculated by using RayMan software. The R² of winter, spring, summer and autumn have been found 1.00, 0.99, 1.00, 0.98 respectively which shows a well co-relationship. mPET values were found higher than PET in Antalya in the winter and lower in summer. There are increasing trends in both indices in both scenarios. According to RCP8.5, in winter, comfortable years may occur in Manavgat, Finike, Demre and Kemer. The results show, beside the comfortable spring, comfort will emerge on coasts in winter. Korkuteli and Elmalı will complement decreasing comfort in autumn.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ssensoy@mgm.gov.tr

^a Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-6150-6035>

^b Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, Ankara, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3885-1495>

^b Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, Ankara, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

^c İnsan Biyometeorolojisi Araştırma Merkezi, DWD, Freiburg, Germany, <https://orcid.org/0000-0003-3076-555X>

1. Giriş

İklim geniş bölgelerde çok uzun zaman içinde gerçekleşen ortalama hava koşullarıdır. Aynı zamanda ekstrem hava olaylarını da içeren iklim, bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini ve bitki örtüsünü de tayin eder. İklim değişikliği ise “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler” biçiminde tanımlanmaktadır (Akçakaya vd, 2015; UNFCCC, 1994). İklimde meydana gelen değişiklikler insanoğlu ve tüm canlıların yaşamını doğrudan etkilemektedir. Gelecekte görülmesi muhtemel iklimin tahmin edilmesinde en önemli araç iklim modelleridir. Sanayi devrimiyle birlikte insan faaliyetleri nedeniyle küresel olarak iklimde meydana gelen değişiklikleri önleyebilmek, azaltabilmek ve iklim değişikliği ile ilgili çalışmaları küresel manada koordine edebilmek adına 1988 yılında Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kurulmuştur. Bu kurumların oluşturdukları emisyon senaryoları, sera gazları ve aerosoller gibi yer yüzünün radyasyon dengesini düzenleyen maddelerin gelecekteki konsantrasyonlarının tahmin edilmesi için üretilir (Moss vd., 2010). Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP: Representative Concentration Pathways) IPCC'nin en son yürürlükte olan senaryosudur. En yaygın olarak kullanılan iki senaryo RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarıdır ve 4.5 ile 8.5 Watt/m² ışımsal zorlamaya karşılık gelirler. İklim projeksiyonları, bölgesel iklim modellerinin küresel model verisini bu senaryolar ile ölçek küçültme (downscaling) metodu kullanılarak çalıştırılmasıyla üretilirler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü RegCM4 bölgesel iklim modelini kullanarak HadGEM, MPI, GFDL küresel verilerini RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ile ölçek küçültme yaparak, Türkiye için 2100 yılına kadar 20 km çözünürlükte iklim projeksiyonu çıktılarını üretmiştir (Akçakaya vd, 2015). Model sonuçları, başlangıç verilerindeki hatalar ve belirli matematiksel formüller kullanıldığı için bir miktar hata içerir fakat bu hatalar model geriye doğru çalıştırılarak gözlem verileri ile kalibre edilirler.

İnsanoğlu faaliyetleri sonucu atmosfere saldırdığı ilave sera gazlarıyla iklimin doğal dengesini bozmaktadır. Antropojenik kökenli iklimdeki bu değişimlerin sadece sıcaklıklardaki artış ve yağışlardaki azalma şeklinde sonuçlanmayacağı, beraberinde iklimle ilgili olan her şeyi değişime zorlayacağı bilinmektedir. İklim değişikliklerinden dolayı aşırı olayların hem sıklığında hem de büyüklüğünde artış beklenmektedir (IPCC, 2013). Her ülke bu değişimlerin artık delillerini değil; tarımdan enerjiye, ulaşımdan sanayiye, hayvancılıktan turizme kadar tüm sektörlerde etkilerini de görmeye başlamıştır (Viner, 2006). Turizm, iklim değişikliğinin etkilerinin hissedilmeye başladığı sektörlerin başında gelmektedir. Kıyı ve deniz turizminde en önemli faktör iklimdir. İklim konfor şartlarının uygun olduğu destinasyonlar, bu avantajları ile önemli cazibe merkezleri haline gelirler (Kum ve Gönençgil, 2018).

Termal konfor, insanın çevresindeki ortamdan memnun olması, insan ile onu çevreleyen ortam arasındaki ısı denge durumudur (ASHREA, 2004; ISO 2002). İnsan vücudu sürekli olarak ısı üretir. Üretilen bu ısı, cilt ve solunum yoluyla uzun dalga radyasyon (ışınım) şeklinde çevreye verilmelidir. İnsanın bulunduğu çevrede termal konforun uygun olmaması durumunda hipotalamus derideki algılayıcıları devreye sokarak sıcaklık düzenlemesi (termoregülasyon) yapar. Isı transferinin büyük kısmı, deriden terleme ve buharlaşma yoluyla (gizli ısı transferi) (%80), solunum yoluyla (%10), konveksiyonla (taşınım) (% 9), çok az bir kısmı da kondüksiyon (temas) (%1) yoluyla olmaktadır. Çekirdek vücut sıcaklığı, 37 °C'dir ve termoregülasyon sayesinde sadece ±0.1 sapma ile normal değerlerinde tutulan, insan fizyolojisinin en sıkı düzenlenmiş parametresidir. Termal konforu etkileyen

faktörler, giysi ve aktivite gibi kişisel faktörler, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, radyan ısı, nispi nem gibi çevresel faktörler ile güneşten gelen enerji, yüzeylerin enerji tutma/yayma kapasiteleri, atmosferin ısı tutma kapasitesi ve uzak bağlantılar (tele-connections) gibi iklimsel faktörlerdir. Termal konforun sağlanamadığı durumlarda zihinsel ve fiziksel performansta azalma, sıcak çarpması, kas krampları, hipotermi, soğuk ısırgını gibi sağlık sorunları ortaya çıkar.

Bugüne kadar termal konforu hesaplayan PMV, SET, OUTCOMES, UTCI, PT, PET ve mPET gibi birçok indis geliştirilmiştir (Matzarakis vd., 2017). mPET, PET'e göre nispi nem, giysi ve aktiviteyi daha fazla dikkate alan bir indistir. UTCI ve OUTCOMES indisleri dış ortam termal konforunu hesaplamak için kullanılır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan önemli termal konfor dizini Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES) (Physiologically Equivalent Temperature (PET)'dir. Bu dizin, ilk kez Höppe, 1984 tarafından oluşturulmuştur. Bu modelde açık alanlardaki meteorolojik koşullar, insan ısı dengesi göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. 80W'lık bir iş yapan, kıyafetlerinin ısı direnci 0.9 clo olan, 35 yaşında, 175 cm boyunda bir erkeğin açık havada karşılaştığı koşullar tipik kapalı mekânda karşılaştığı hava durumuna, vücut ısı dengesinin vereceği tepkiye eşitlenmiştir. FES dizinini hesaplayan yazılım "RayMan" Alman Meteoroloji Servisi (Deutscher Wetterdienst) İnsan Biyometeorolojisi Araştırma Merkezi'nden Dr. Andreas Matzarakis ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Matzarakis vd, 2000). Bu çalışmada, FES indisi ve RayMAN yazılımı kullanılmıştır.

Dünya'da ve Türkiye'de turizm amaçlı termal konfor çalışmaları yapılmıştır. Bir yerin turizm potansiyelini belirleyen doğal kaynaklardan biri de iklimdir. Mayer vd., 1997'de yaptıkları araştırmada Freiburg'un batı sınırındaki kırk yaşında meşe ve kayın ağaçlarından oluşan ormanın, ormansız alanlara nazaran daha düşük ve konforlu FES değerleri sağladığını vurgulamışlardır.

Höppe ve Hermann, 1991 Kuzeydoğu İtalya'da 22 Haziran-2 Temmuz 1989 arası yaptıkları çalışmada günün en sıcak zamanında kumsaldaki termal stresin kara içinden çok daha düşük seviyelerde olduğunu bulmuşlardır.

Türkiye'de de termol konfor çalışmaları yapılmıştır. Topay ve Yılmaz (2004), Muğla ili özelinde biyoklimatik konfor alanlarının tanımlanmasında Olgay 1973 konfor aralığını kullanmışlardır. Buna göre sıcaklığı 21-27°C arasında değişen, rüzgâr hızı <5m/s olduğu ve nispi nemin %30-65 arasında olduğu koşullar biyoklimatik olarak konforlu sayılmaktadırlar. Sonuç olarak biyoklimatik açıdan uygun konforlu ayların haziran, ağustos ve eylül olduğu, konforsuz ayların ise temmuz ve ekim ayları olduğunu bulmuşlardır. Bunların yanı sıra, alan olarak Muğla ilinin orta kesimleri ve kuzeyinin daha konforlu açık hava koşullarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Çalışkan vd., 2012'de yaptıkları çalışmada turizm endüstrisi tarafından kullanılması yararına Bursa'nın iklimik ve biyoklimatik şartlarını ve bunların yıl boyunca değişimlerini incelemişlerdir. Bulgularına göre mayıs-eylül arası termo-fizyolojik konfor şartlarını sağladığı için Bursa, farklı sağlık, rekreasyon, ve doğa turizmi aktiviteleri için uygundur. Temmuz ve ağustos ayları öğle saatlerinde sıcak sabah ve akşam saatleri konforlu bulunmuştur. Bursa'nın denize yakınlığı ve alçak irtifası ekstrem termal koşulları engellemektedir. Ilıman kış ve sıcak yaz günleri Bursa için turizm açısından uygun biyoklimatolojik şartları sağlamaktadır. Bulgular hazırlanan bir turizm broşüründe kullanılmıştır. Bu broşür, turizmde sadece deniz, kum, güneş (SSS) üçlüsünün değil aynı zamanda çeşitli doğal kaynakların ve alternatiflerin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Çalışkan vd., 2013’de yaptıkları bir diğer çalışmada Uludağ ve Bursa’nın biyoklimatolojik koşullarını araştırmışlar, Uludağ’ın yılın büyük çoğunluğunda soğuk stresi altında olduğunu, yazın bile sabah ve akşam saatlerinde ciddi soğuk stresi söz konusu olduğunu bulmuşlardır. Uludağ’dan 1778 m. aşağıda olan Bursa’da ise yazın, özellikle temmuz ve ağustos aylarında öğleden sonraki saatlerde sıcaklık streslerinin söz konusu olduğu, sabah ve akşam saatlerinde ise konforlu hatta serin koşulların var olduğu belirlenmiştir.

Toy ve Matzarakis (2017), yaptıkları çalışmada 2026 Kış Olimpik Oyunları’na aday Erzurum için biyoklimatik koşulların miktarlandırılması çalışmasını yapmışlardır. Çalışmada 1950’den 2016’ya kadar saatlik veriler (Ta, RH, bulut kapallılığı, rüzgâr hızı) kullanılarak PET değerlerini elde etmek için RayMan yazılımını kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları kış mevsiminde açık havada seyirciler için rahat bir zaman aralığı bulunmadığını göstermiştir. Araştırmacılar, geç ilkbahar ya da sonbaharda yeryüzü halen karla kaplı iken gündüz sıcaklığı açıkta kalmayı kolaylaştırabileceğini, oyunlar için bu zamanların tercih edilebileceğini belirtmişlerdir. Karın albedo etkisinden faydalanmak için de en iyi zaman aralığı öğle saatleri olduğu önerisi yapılmıştır.

Bu çalışmada Türkiye’ye gelen turistlerin yaklaşık üçte birine ev sahipliği yapan Antalya’da termal konfor şartlarının gözlem verileri ile nasıl değiştiği ve iklim model verisi kullanılarak yüzyılın sonuna doğru nasıl değişeceği araştırılmıştır. Çalışmada aynı zamanda Antalya’da kıyı ve dağlık alanlar arasındaki termal konfor farkları ortaya konmuştur. Sonuçların Antalya’da turizmin yeri ve zamanında ne gibi değişikliklere neden olabileceği tartışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Sahası Özellikleri

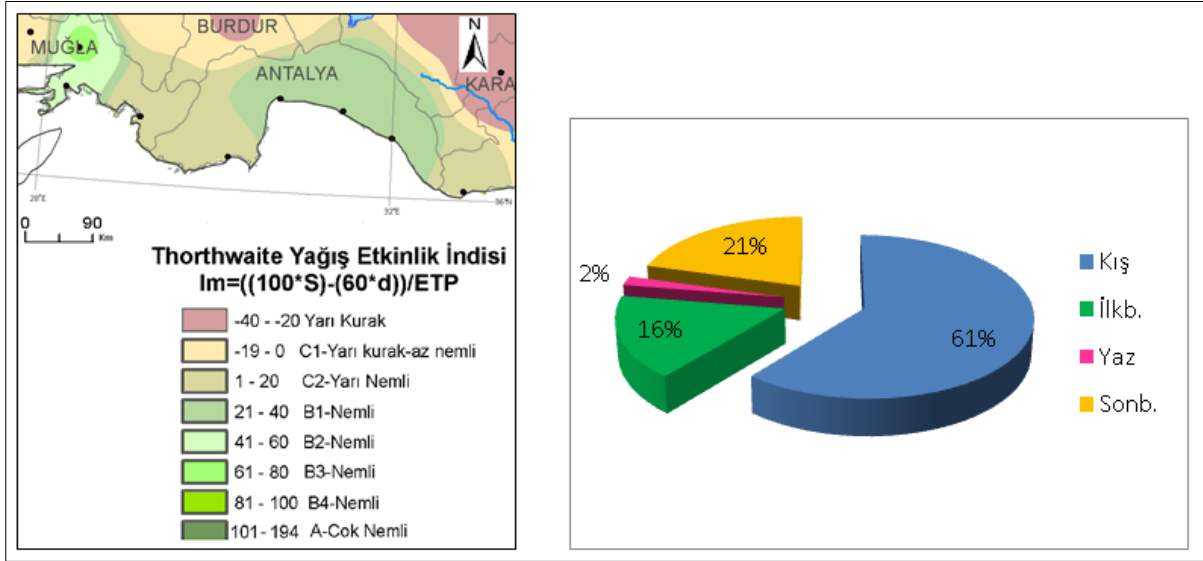
Antalya, Akdeniz Bölgesinin batısında yer alır (Şekil 3). Antalya’nın arazi yapısı Batı Toroslar olarak bilinen dağlık alan ve onun kenar kısmını oluşturan kıyı kesimleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında 0 – 3070 m. arasında değişen farklı yükselti değerleri ile karşılaşılır. Antalya’nın en yüksek yeri Bey Dağları üzerindeki Kızlar sivrisi Tepesi’dir (3070 m). Batıda kıyı ile dağlık alanlar arasında yükseltileri değişen Eşen, Elmalı ve Korkuteli Ovaları, Teke Platosu ile Bey Dağları ve Akdağlar akarsularla parçalanmış bir topografya görünümü sunar. Korkuteli Ovası, 7-8 km. uzunlukta ve 2-3 km. genişlikte olup, dağlar arasında verimli bir ovadır. İçerisinden Bozçay geçer ve bu çay, Korkuteli Ovasında bol meyve ve ürün yetiştirilmesinde başlıca rolü oynar. Ayrıca Korkuteli Ovası’nın birer devamı olan Aşağı ve Yukarı Bozova Ovaları da çok verimlidir. Antalya’nın orta ve doğu kesimlerinde ise seraların bol olduğu Antalya ovası ve bu ovanın iç kesimlerinin doğu ve batı yakasında yükselen Batı Toroslar genel morfolojik yapıyı oluşturur. Batı Torosların sınırlandırıcı etkisiyle, şehir kuzey ve doğu yönünde gelişmiştir. Antalya’nın kıyı uzunluğu hat olarak 500 km’yi bulmaktadır (Şekil 3).

Antalya’da ekonomik hayat büyük oranda tarım, ticaret ve turizme dayalıdır. Şehir aynı zamanda sera tarımı ile de önemli bir tarımsal potansiyele sahiptir. Antalya ili toplam nüfusu 2019 yılında 2.511.700 kişiye ulaşmıştır (URL 2).

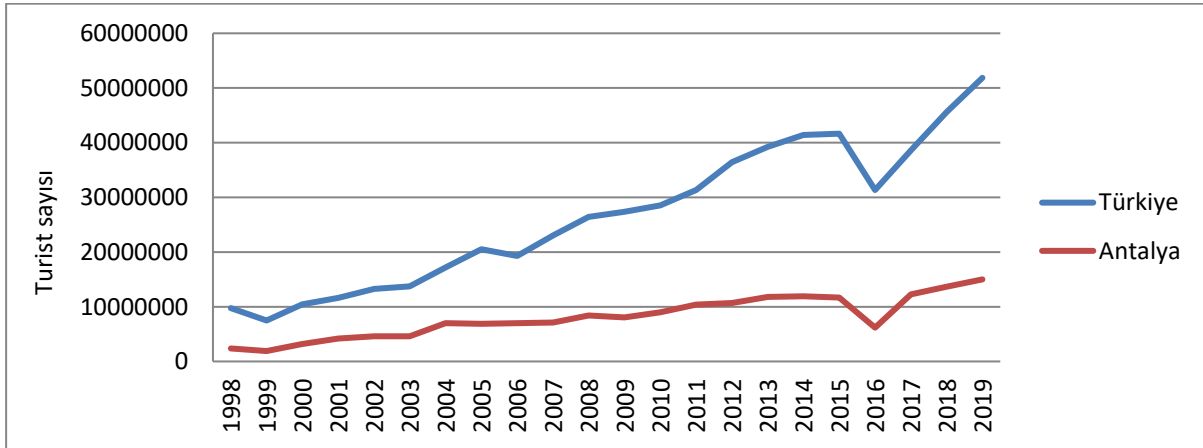
Antalya Türkiye’nin en çok antik kenti bulunan ilidir. Sırasıyla Likyalılar, Lidyalılar, Pamfilyalılar, Bergamalılar, Romalılar, Bizanslılar, Selçuklular, Osmanlılar ve son olarak da Türkiye Cumhuriyeti hâkimiyetinde bulunmuş fakat bu medeniyetlerin hiçbirine başkent olmamıştır. Antalya tarihi yapıları, denizi, mavi bayraklı plajları ve bölgedeki çok sayıda beş yıldızlı otelleri ile Türkiye

turizminin başkenti sayılabilir. Antalya, sahilinde denize girilirken, dağlarında kayak yapılabilen dünyanın ender şehirlerinden biridir.

Antalya ilinde Akdeniz iklimi hüküm sürer. Yazları sıcak ve kurak geçer. Yazın öğleden sonra meltem rüzgarı ile sahiller biraz serinler. Kış mevsimi bol yağışlı geçer. Dağlara kar yağar. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Antalya'nın orta ve doğu kesimleri nemli, batı kesimi yarı nemli, mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde, yaz buharlaşma oranı yüksek (%53), kışları ılıman (10.7°C), yazları sıcak (27.3°C), deniz tesirinde bir iklime sahiptir (Şekil 1, sol). Antalya yağışının çoğunu kış mevsiminde alır (%61). Sonbahar yağışlarının oranı %21 iken ilkbahar yağışlarının oranı ise %16 civarındadır. Yaz yağışları ise yok denecek kadar azdır (%2) (Şekil 1, sağ).



Şekil 1. Thornthwaite metoduna göre Antalya iklim sınıflandırması (sol), Antalya mevsimlik yağış oranları grafiği (sağ)
Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü (www.mgm.gov.tr)

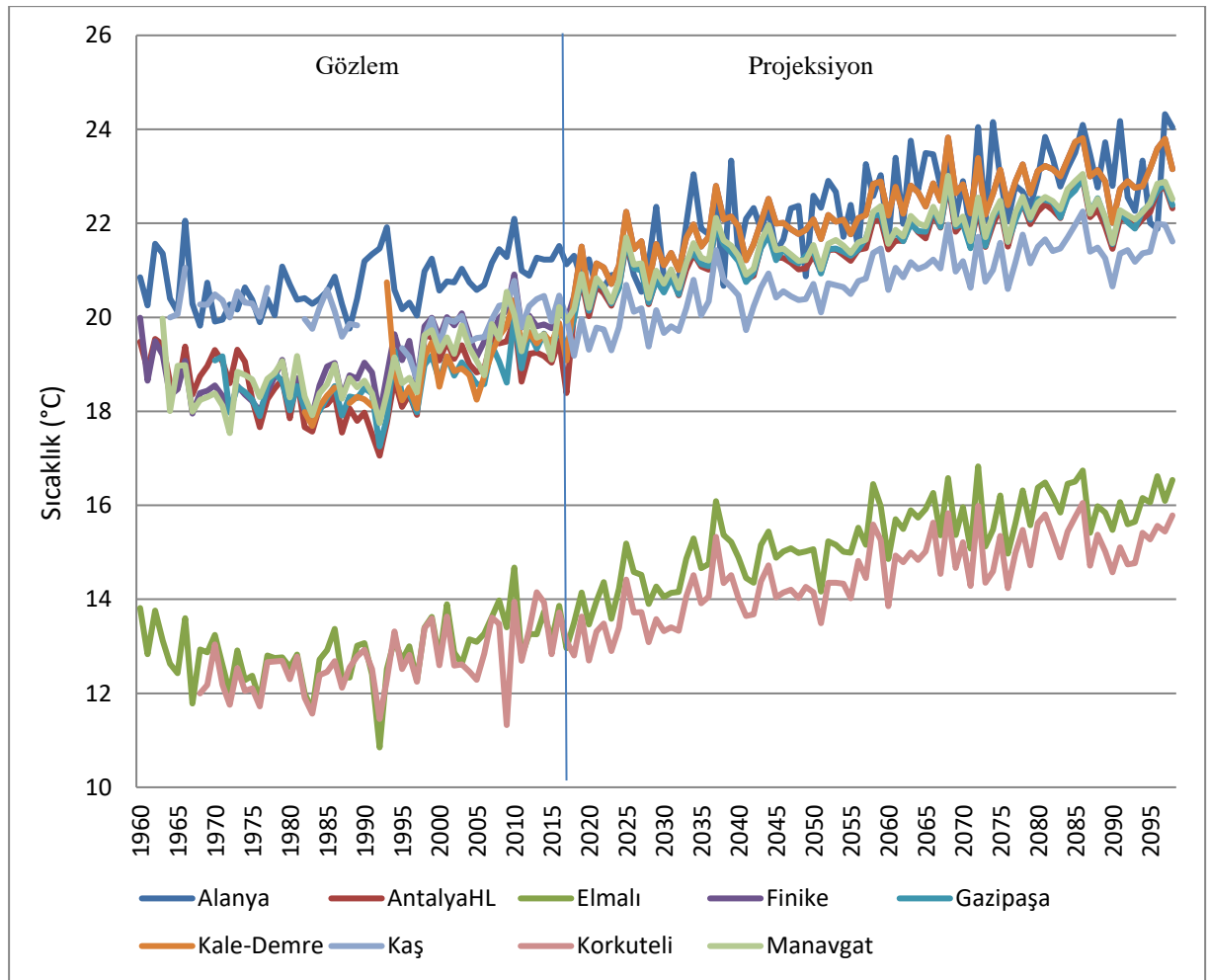


Şekil 2. Yıllara göre Türkiye ve Antalya turist sayıları grafiği
Kaynak: Grafik TÜİK, 2020. Çıkış yapan ziyaretçi istatistikleri ile www.turizmdatabank.com verilerinden oluşturulmuştur.

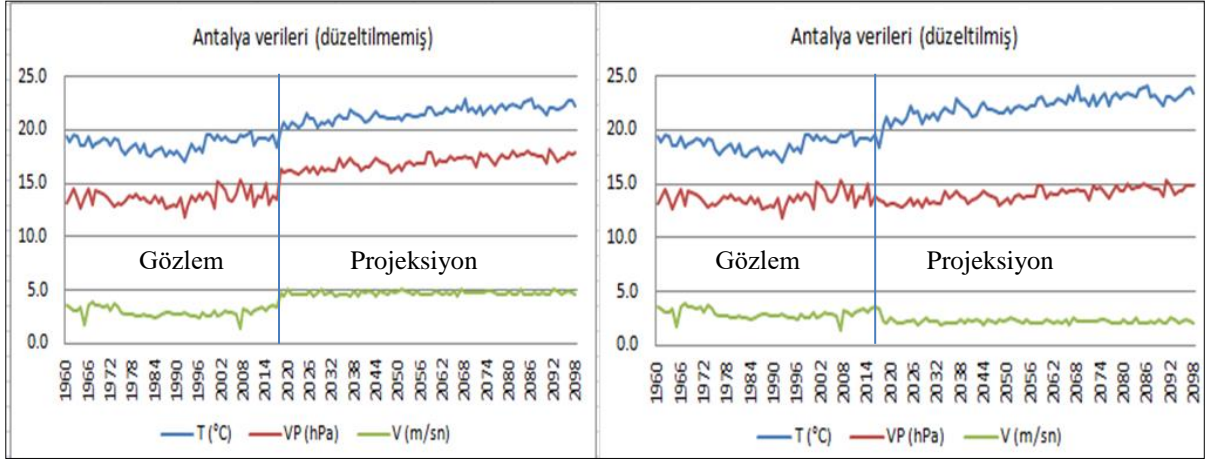
Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Dünya Turizm Örgütü (UNWTO) verilerine göre, 2019 yılında Türkiye 51.860.042 ziyaretçiyle dünyanın altıncı büyük turizm ülkesi olmuştur. Türkiye'ye gelen turistlerin yaklaşık %30'u ise Antalya'yı ziyaret etmektedir (Şekil 2). Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin çok önemli bir turizm destinasyonu olan Antalya'da iklim gözlem ve model projeksiyon verilerini

Elmalı, 1000 metreden daha yüksek rakımlarda bulunur ve dağlık alanları temsil ederler. Diğer istasyonlar kıyı alanını temsil etmektedir. Çalışmada 1960-2017 yılları arasında ölçülen saatlik sıcaklık, nispi nem, rüzgâr hızı ve radyasyon verileri kullanılarak saatlik ve aylık termal konfor indisleri hesaplanmıştır. 2018'den 2098'e kadar olan projeksiyon verileri ise günlükdür. Projeksiyon verilerinden mevsimlik termal konfor indisleri RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre hesaplanmış ve indislerin alansal dağılımını görüntülemek için ArcGIS ortamında Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon tekniği ile haritalanmıştır.

Şekil 4'de gösterilen sıcaklık verilerinden 1960-2017 arası olanlar gözlem, 2018-2098 arası olanlar ise projeksiyon verileridir. Grafiğin incelenmesinden istasyonların tümünde sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu; en düşük ortalama sıcaklıkların dağlık Korkuteli ve Elmalı, en yüksek ortalama sıcaklıkların ise kıyı istasyonlarından Alanya ve Demre'de olduğu ve olacağı izlenmektedir.



Şekil 4. Antalya istasyonlarının gözlem ve projeksiyon dönemlerindeki ortalama sıcaklık verileri grafiği



Şekil 5. Antalya ortalama sıcaklık gözlem ve projeksiyon verileri: düzeltilmemiş veri (sol) ve düzeltilmiş veri grafiği (sağ)

Gözlem ve projeksiyon veri kümelerinin birleştirilmesi sırasında, 2017-2018 yılları arasında veride kırılma meydana gelmiş (Şekil 5, sol), bunu önlemek için, projeksiyon verileri, model-gözlem saçılımından elde edilen regresyon denklemi kullanılarak bias düzeltmesine tabi tutulmuş ve düzeltilmiştir. Model gözlem saçılımından elde edilen Korelasyon katsayısı $R^2=0.96$ olduğu için üretilen regresyon denklemi ($y=1.3365x-6.47$) kullanılabilir özelliktedir. Formüle göre, Antalya Havalimanı için üretilen sıcaklık projeksiyon verileri 1.3365 ile çarpılıp, çarpımdan 6.47 çıkartılırsa projeksiyon verisi gözlem verisine en yakın şekilde düzeltilmiş olur. Bu işleme sapma düzeltmesi (bias-correction) denir (Şekil 5, sağ).

2.3. Metot

Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES)

İnsan termal konforunun değerlendirilmesi için en yaygın kullanılan indis Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklıktır (FES). FES tipik bir iç mekân ortamında, insan vücudunun enerji bütçesinin, değerlendirilecek karmaşık dış ortam koşulları ile aynı cilt sıcaklığı ile dengelendiği hava sıcaklığı olarak tanımlanır (Mayer ve Höppe 1987, Höppe 1999, Matzarakis vd., 1999:131). FES, insan enerji denge modeli "Bireyler için Münih Enerji Dengesi Modeli (MEMI)" ne dayanmaktadır. FES'te gerçek ortamın termal etkisi, insan enerji denge denklemi ile değerlendirilir. Çalışmada FES Modelinin seçilme nedeni, modelin meteorolojik parametreler yanında insan enerji dengesini hesaplamaya dahil etmesi ve sonuçlarının °C olmasıdır. FES termal algı ve fiziksel stres dereceleri Çizelge 3'te verilmiştir. Değişik iklim bölgelerinde evrensel uygulama için modifiye fizyolojik eşdeğer sıcaklık (mFES) geliştirilmiştir. mFES, nispi nem (RH) ve giysi katsayısı (clo) değişkenlerinin değerlendirilmesini artırarak FES'in zayıflıklarına karşı iyileştirilmiştir (Chen ve Matzarakis, 2018:1).

FES, eşitlik 1 kurallarına göre üretilir. Eşitlikte M, metabolik ısı, W_o , mekanik çalışma, R, radyasyon akıları, C, hissedilebilir ısı ve E, gizli ısı'yı ifade eder. E, terleme yoluyla ve solunum yoluyla cilde doğru veya ciltten dışarı doğru oluşan akılara ayrılır. Herhangi bir zamanda bu değişkenlerin toplamının 0'a eşit olduğu varsayılır. Gerçek ortam, $v=0,1$ m/s ve $V_p=12$ hPa koşullarında $T_{mrt} = T_a$, sanal iç ortama eşitlenir (Höppe, 1999).

$$M+W_o+R+C+E_{sk} +E_{res}+E_{sw}+S = 0 \quad (1)$$

2.4. Yazılım

RayMan, basit ve karmaşık ortamlarda radyasyon akılarını hesaplamak için Freiburg Albert-Ludwigs Üniversitesi'nde geliştirilen mikro ölçekli bir modeldir. RayMan modeli Alman VDI-Kılavuz

3787 Bölüm I (VDI 1998) ve VDI-Kılavuz 3789, Bölüm II (VDI 1994) esas alınarak geliştirilmiştir. Model, kısa dalga radyasyon akımlarını bulutlar ve katı engellerin etkileriyle birlikte tahmin etmektedir. Karmaşık yapıları dikkate alan model, farklı yerel ve bölgesel düzeylerde kullanım ve planlama amaçlarına uygundur (Matzarakis vd. 2007, 2010, 2017:3). Bu model insanlar için enerji dengesi indislerinin hesaplanmasında girdi olarak kullanılan ortalama radyan sıcaklığı (Tmrt) hesaplar. İnsan enerji dengesine dayalı termal indislerin hesaplanabilmesi için meteorolojik (hava sıcaklığı, rüzgar hızı, nispi nem, kısa ve uzun dalga radyasyon akımları) ve termo-fizyolojik (aktivite ve giysi) veriler gereklidir (Matzarakis vd., 2017:7). Modelin çıktısı olarak ürettiği biyoklimatik indisler, turizmde, enerjide, sağlıkta, iş sağlığı ve güvenliğinde, kentsel ve kırsal biyo-iklim çalışmalarında insan termal konforunu değerlendirmek için gerekli olan; Öngörülen Ortalama Oy (PMV), modifiye ve orijinal Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (mPET, PET), Standart Etkili Sıcaklık (SET*), Evrensel Termal İklim İndisi (UTCI) ve Algılanan Sıcaklık (PT) gibi indislerdir (Şekil 6).

The screenshot shows the RayMan Pro software interface with the following data:

Category	Parameter	Value
Date and time	Date (day.month.year)	1.5.2018
	Day of year	121
	Local time (h:mm)	17:20
	Button	Now and today
Geographic data	Location	Turkey (Antalya)
	Buttons	Add location, Remove location
Geographic data	Geogr. longitude (*E)	30*42'
	Geogr. latitude (*N)	36*52'
	Altitude (m)	64
	Timezone (UTC + h)	3.0
Current data	Air temperature Ta (*C)	27.0
	Vapour pressure VP (hPa)	20.0
	Rel. humidity RH (%)	56.2
	Wind velocity v (m/s)	0.1
	Cloud cover N (octas)	0.0
	Surface temperature Ts (*C)	33.0
Current data	Global radiation G (W/m²)	
	Mean radiant temp. Tmrt (*C)	30
Personal data	Height (m)	1.75
	Weight (kg)	75.0
	Age (a)	35
	Sex	m
Clothing and activity	Clothing (clo)	0.9
	Activity (W)	80
	Position	standing
	Checkbox	<input checked="" type="checkbox"/> Auto Standard Clo for mPET
Thermal indices	<input checked="" type="checkbox"/> PMV	
	<input checked="" type="checkbox"/> PET	
	<input checked="" type="checkbox"/> SET*	
	<input checked="" type="checkbox"/> UTCI	
	<input checked="" type="checkbox"/> PT	
	<input checked="" type="checkbox"/> mPET	

Şekil 6. RayMan yazılımı meteorolojik, kişisel, giysi ve aktivite veri yapısı ve üretilen indisler

Kaynak: Matzarakis vd, 2017:7-14

RayMan Programı anlık meteorolojik, kişisel, giysi ve aktivite verileri kullanılarak çalıştırılabileceği gibi Input /Datafile seçeneği ile önceden hazırlanan (Çizelge 2) veri dosyasının modele girdi olarak verilmesiyle de çalıştırılabilir. Bu girdi dosyası ile çalıştırılan RayMan programı PMV, PET, SET*, UTCI, PT, mPET gibi termal konfor indislerini hesaplar ve bunları bir çıktı dosyasına yazar. Radyasyon verisi girdi olarak verilmez ise RayMan programı havayı bulutsuz, güneşli kabul ederek radyasyon değerini kendisi hesaplar. RayMan programı çalıştırılan her veri için set edilen giysi (clo) ve aktivite verileriyle çalışabileceği gibi Çizelge 2'de belirtildiği gibi her ay ve saate uygun bir giysi katsayısı (clo) da girdi dosyasında verilebilir. Elde edilen FES değerleri ile bunlara karşılık gelen termal algı ve fiziksel stres dereceleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. RayMan Programı dış veri dosyası formatı

Tarih	Saat	T (°C)	RH (%)	V (m/sn)	G (W/m2)	clo
15/07/2017	06:00	24.0	62.4	2.4	0.0	0.6
15/07/2017	07:00	25.0	59.3	2.5	27.1	0.6
15/07/2017	08:00	27.6	52.8	2.7	43.2	0.6
15/07/2017	09:00	29.8	45.2	3.2	95.3	0.5
15/07/2017	10:00	31.0	44.6	3.5	429.2	0.5
15/07/2017	11:00	31.7	45.2	3.7	499.0	0.5
15/07/2017	12:00	32.3	44.4	3.8	535.8	0.4
15/07/2017	13:00	32.4	45.7	3.9	534.2	0.4
15/07/2017	14:00	32.4	46.7	4.1	504.5	0.4
15/07/2017	15:00	32.2	49.2	4.4	442.6	0.4
15/07/2017	16:00	31.8	47.7	4.4	358.6	0.4
15/07/2017	17:00	31.3	48.7	4.2	249.6	0.4
15/07/2017	18:00	30.8	51.7	3.7	105.9	0.5
15/07/2017	19:00	30.0	55.5	3.0	19.1	0.5
15/07/2017	20:00	28.8	61.9	2.2	0.0	0.6
15/07/2017	21:00	27.7	68.5	1.6	0.0	0.6

Çizelge 3: İnsanlar için termal algı sınıfları

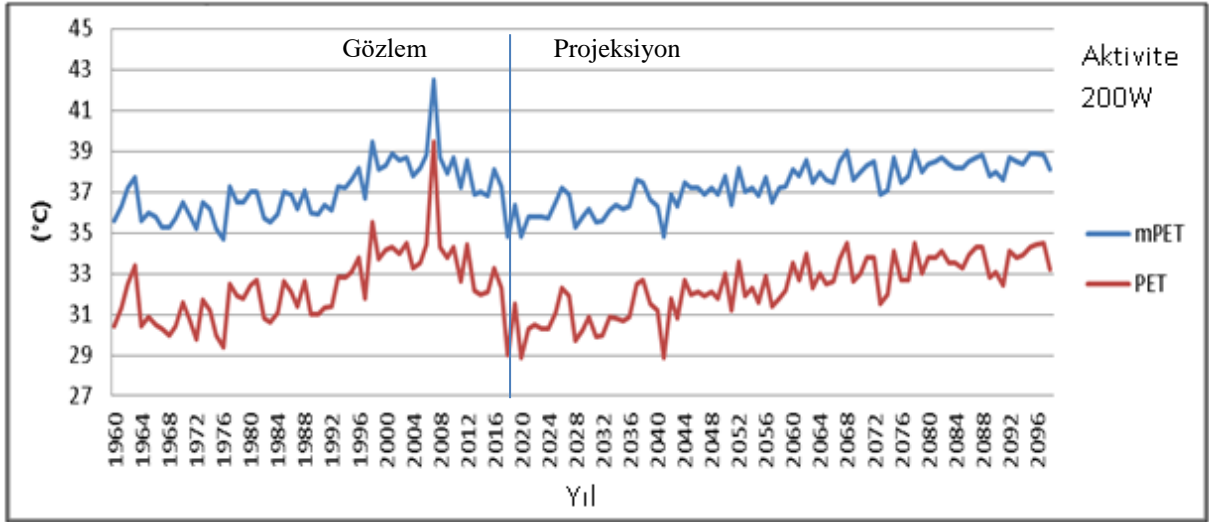
FES (°C)	Termal algılama	Fiziksel stres derecesi
>41	Aşırı sıcak	Ekstrem ısı stresi
35-41	Çok sıcak	Güçlü ısı stresi
29-35	Sıcak	Orta ısı stresi
23-29	Biraz sıcak	Hafif ısı stresi
18-23	Konforlu	Isı stresi yok
13-18	Biraz serin	Hafif soğuk stresi
8-13	Serin	Orta soğuk stresi
4-8	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
<4	Çok soğuk	Ekstrem soğuk stresi

Kaynak: Matzarakis vd., 2017:58

Yüksek sıcaklıklarda artan rüzgar hızı konfor sağlanmasına yardımcı olur. UTCI'yi hesaplayabilmek için rüzgar hızı $>0.5\text{m/sn}$ olmalıdır (Şekil 7). mPET indisi, nispi nem, giysi ve aktiviteye daha fazla duyarlı, daha karmaşık bir insan enerji denge modeline dayanmaktadır (Chen ve Matzarakis, 2018:1). Aynı aktivite seviyesinde, mPET soğuk aylarda nispi nem yüksekliğinden dolayı PET'ten daha yüksek, sıcak aylarda ise daha düşüktür. Aktivite arttırılırsa, mPET, PET'ten daha yüksek değerlere ulaşır (Şekil 8).

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım																	
RayMan Pro 2.3 beta © 1999 - 2014 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany																	
place: Turkey (Antalya)																	
geogr. longitude: 30°42' latitude: 36°52' timezone: UTC +3.0 h																	
horizon limitation: 0.0% sky view factor (RayMan): 1.000																	
Girdiler																	
date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts	Ta	VP	RH
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	°C	°C	hPa	%
1.5.2018	121	16:48	6:03	19:45	822	822	1.000	542.4	542.4	447.0	95.4	375.9	492.0	33.0	27.0	20.0	56.2
Çıktılar (Termal indisler)																	
v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PMV	PET	SET*	UTCI	PT	mPET			
m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C	°C	°C	°C			
0.0	0.0	30.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	0.9	22.3	23.2	20.6	23.8	21.4			
v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PMV	PET	SET*	UTCI	PT	mPET			
m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C	°C	°C	°C			
0.5	0.0	30.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.4	27.6	27.8	28.2	27.1	27.5			
v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PMV	PET	SET*	UTCI	PT	mPET			
m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C	°C	°C	°C			
0.1	0.0	30.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.6	28.9	30.2	9999.0	28.2	28.7			
v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PMV	PET	SET*	UTCI	PT	mPET			
m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C	°C	°C	°C			
0.1	0.0	30.0	1.8	75.0	35	m	0.90	300.0	3.2	29.0	30.5	9999.0	28.2	38.5			

Şekil 7. RayMan programı girdi ve çıktıları, indislerin sonuçlarını etkileyen parametreler



Şekil 8. Yaz mevsiminde 200W aktivite durumunda mPET (mFES) ve PET (FES) indislerinin zaman serisi

1960-2017 yılları arasındaki gözlem verileri saatliktir. Bu nedenle, saatlik ve aylık termal konfor indisleri (FES ve mFES) ve bunların oranları hesaplanmıştır. Saatlik, günlük, aylık ve mevsimlik verilerin ortalamaları, Excel'deki özet tablo (Pivot table) kullanılarak hesaplanmıştır. Bundan sonra RayMan veri dosyası "Tarih, Saat, T, RH, V, Global Radiation, clo" formatında oluşturulmuş ve RayMan yazılımı bu girdi dosyası ile çalıştırılmıştır. Programı çalıştırırken saat, ay ve mevsime uygun farklı clo değerleri verilmiştir (Çizelge 2). 2018-2098 arasındaki projeksiyon verileri günlüktür. Bu birleştirilmiş veri dosyalarından mevsimlik termal konfor indisleri hesaplanmıştır. ArcGIS yazılımı altında IDW (Ters Mesafe Ağırlıklı) enterpolasyon tekniği uygulanarak alansal dağılım haritaları üretilmiştir. RayMan programının ürettiği çıktılar Excel ortamına alınarak zaman serisi grafikleri, saatlik ve aylık termal konfor indisi ve frekans tabloları ile yüzde (%) istatistikleri oluşturulmuştur. Verilerin yıllık ortalama değerleri, yıl içerisindeki termal konforu iyi temsil etmediğinden bu verilerle FES hesaplaması yapılmamıştır.

3. Bulgular

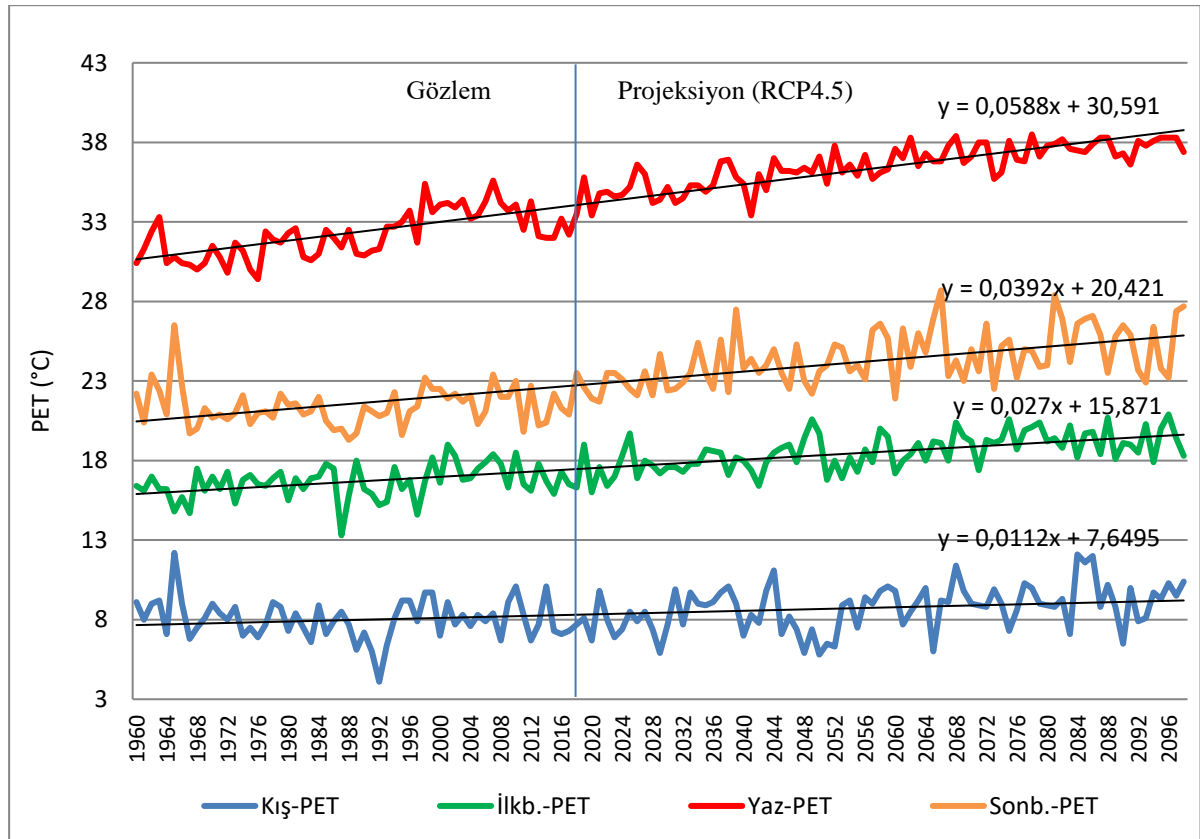
Makalede yer darlığı nedeniyle Antalya İli kıyı alanları için Antalya Havalimanı, dağlık alanlar için Elmalı istasyonu anlatılacaktır.

3.1. Antalya Havalimanı Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES- PET) Analizleri

Bu çalışmada Antalya havalimanına ait iki senaryoya göre FES eğilimleri ve frekansları, FES ve mFES karşılaştırması, saatlik Tmrt, FES, mFES indislerinin aylık değişimleri ile FES indislerinin saatlik dağılımı ve bunların aylık oranlarına bakılmıştır.

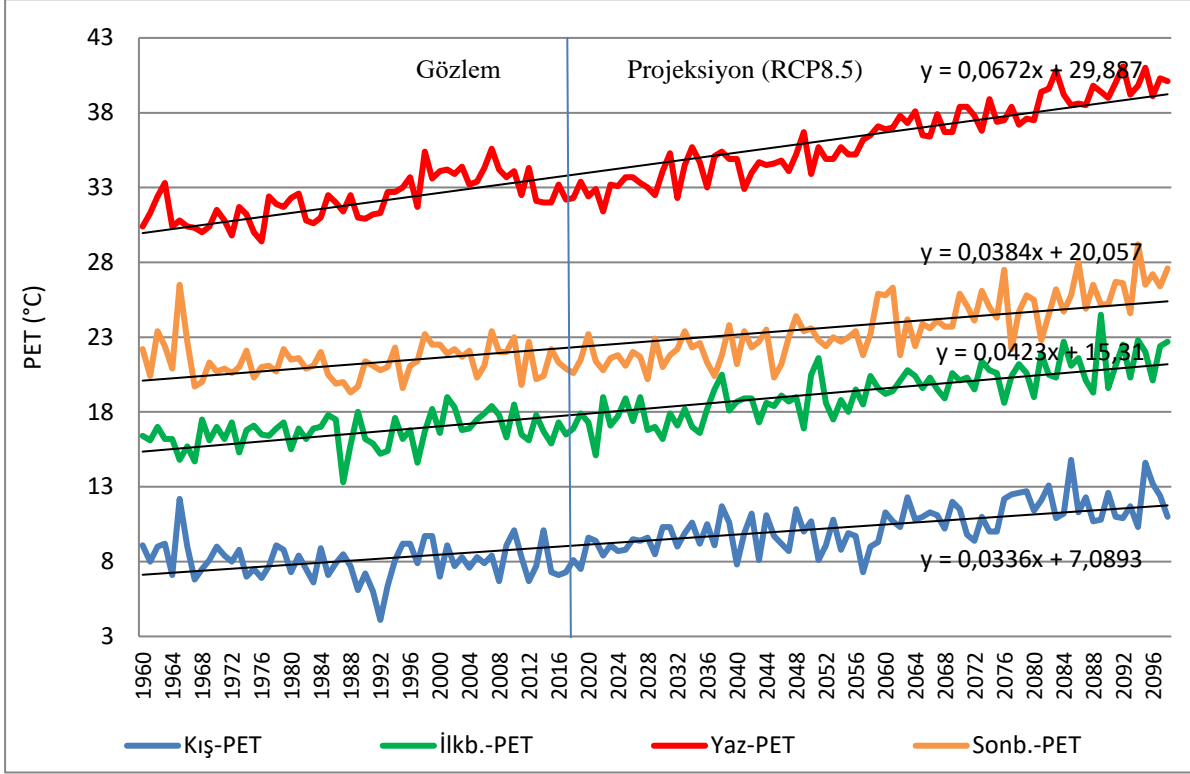
3.1.1. Antalya Havalimanı FES eğilimleri

Antalya Havalimanı için yapılan mevsimlik FES analizinde, termal konfor açısından kış mevsimi gözlem periyodunda “soğuk/serin” arası bulunmuş iken, RCP4.5 senaryosuna göre “serin” kategorisine doğru bir eğilim, RCP8.5 senaryosuna göre ise “serinlerin” daha baskın olacağı hesaplanmıştır. İlkbahar mevsimi gözlem periyodunda “biraz serin” kategorisinde iken projeksiyon periyodunda her iki senaryoya göre de “konfor” bölgesine geçecektir. Yaz mevsimi gözlem periyodunda “sıcak” kategorisinde iken projeksiyon periyotlarında “çok sıcak” kategorisine geçecektir. Sonbahar mevsimi ise gözlem periyodunda “konforlu” iken projeksiyon dönemlerinde her iki senaryoya göre de “biraz sıcak” kategorisine geçecektir. FES (PET) indis değerlerinde her mevsimde artış eğilimleri bulunmuştur (Şekil 9, Şekil 10).



FES kategorileri: 4-8 soğuk, 8-13 serin, 13-18 biraz serin, 18-23 konforlu, 23-29 biraz sıcak, 29-35 sıcak, 35-41 çok sıcak

Şekil 9. Antalya Havalimanı mevsimlik FES(PET) dizinleri ve eğilimleri (Projeksiyon HadGEM-ES, RCP4.5)

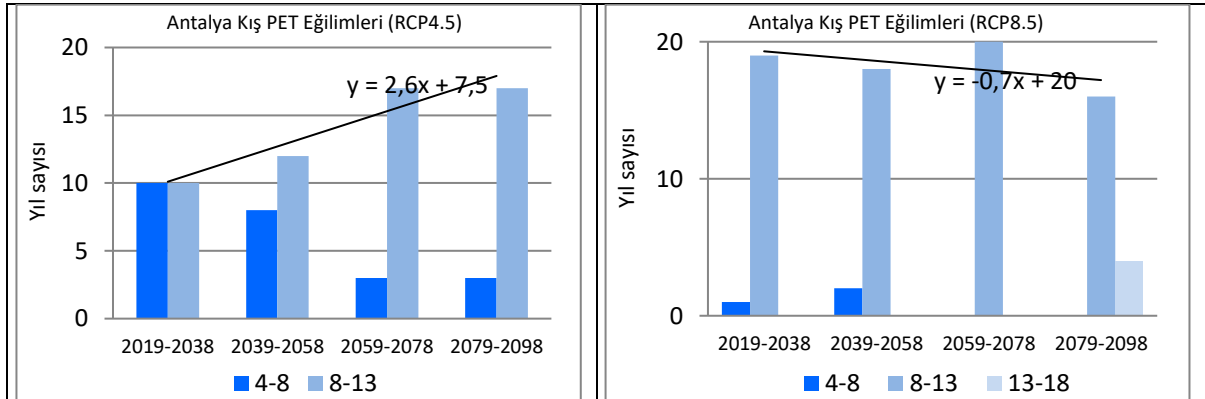


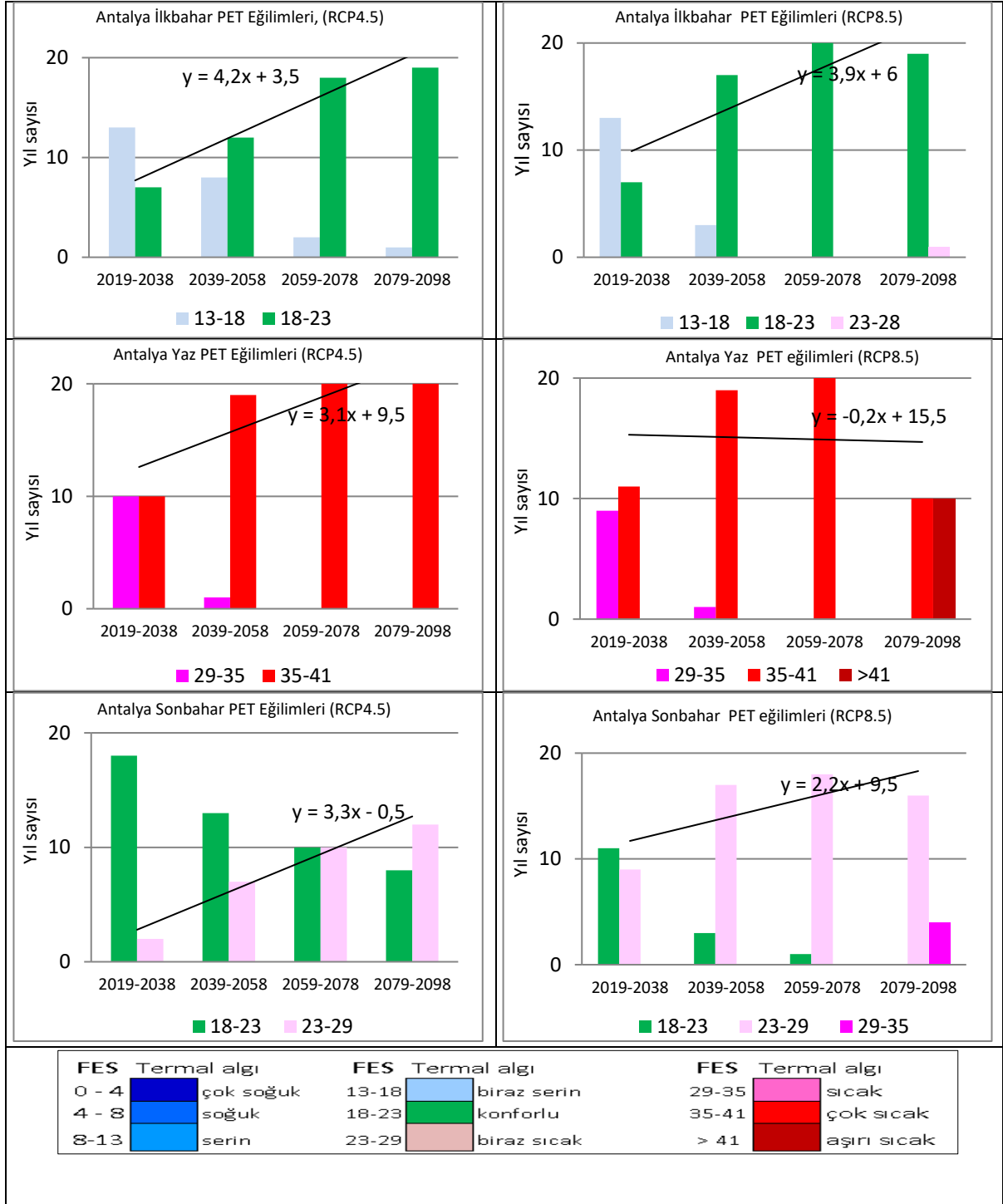
FES kategorileri: 4-8 soğuk, 8-13 serin, 13-18 biraz serin, 18-23 konforlu, 23-29 biraz sıcak, 29-35 sıcak, 35-41 çok sıcak

Şekil 10. Antalya mevsimlik FES(PET) dizinleri ve eğilimleri (Projeksiyon HadGEM-ES, RCP8.5)

3.1.2 Antalya Havalimanı'nda mevsimlik FES indislerinin iki senaryoya göre frekansları

Termal konfor açısından kış mevsiminde RCP4.5 senaryosuna göre soğukların eğilimleri azalırken serinlerin eğilimleri artmaktadır. RCP8.5 senaryosunda ise soğuk yıl ortadan kalkarken, serinlerin sayısı artmaktadır. İlkbahar mevsiminde her iki senaryoda da konforlu yılların sayısı artmaktadır. Yaz mevsiminde her iki senaryoda da çok sıcak günler artmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre son dönemde (2079-2098) aşırı sıcak yıllar da ortaya çıkmakta, sonbahar mevsiminde RCP4.5 senaryosuna göre konforlar azalış, biraz sıcaklar ise artış eğiliminde olacaktır. RCP8.5 senaryosunda ise biraz sıcak yılların sayısı çok artmakta, son dönemde 4 sıcak yıl da ortaya çıkmaktadır (Şekil 11).

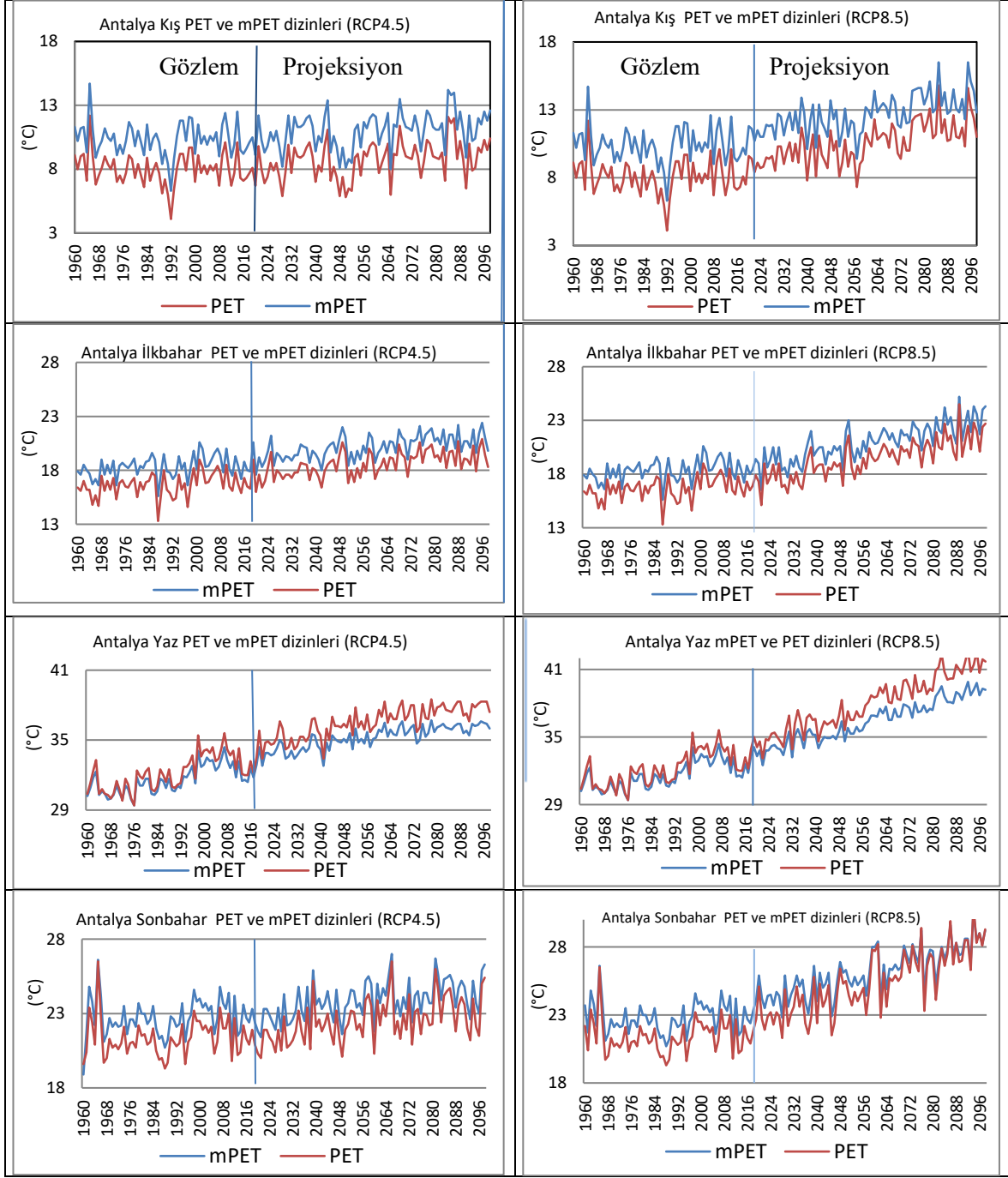




Şekil 11. Antalya Havalimanı RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre mevsimlik FES (PET) frekansları

3.1.3. Antalya Havalimanı'nda FES ve mFES konfor indislerinin karşılaştırması

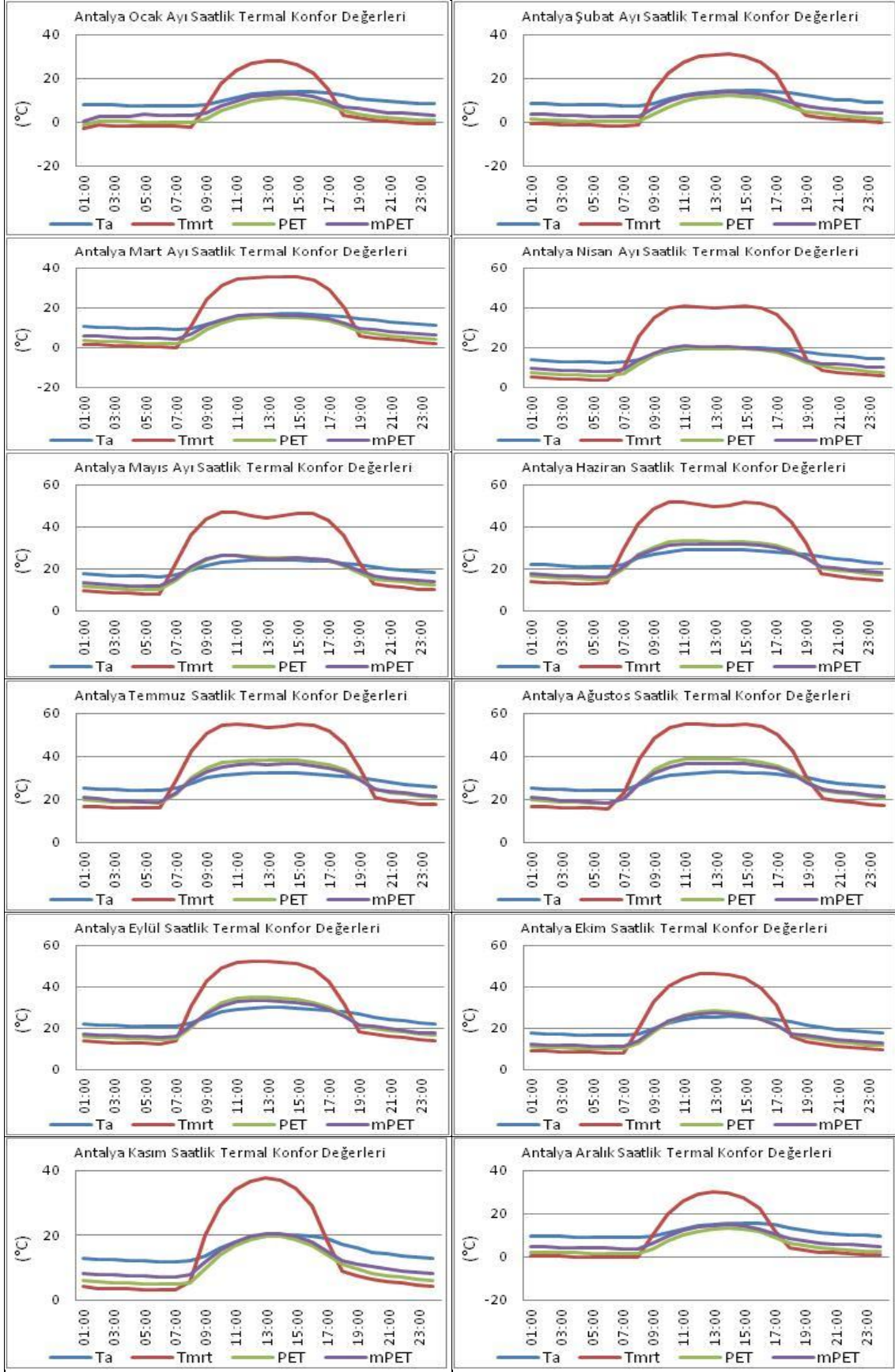
FES ve mFES konfor indislerinde her iki senaryoya göre de artış eğilimleri söz konusudur fakat RCP8.5 senaryosuna göre beklenen artışlar daha yüksektir. mFES, nispi nem ve giysi katsayısına daha duyarlı olduğundan Antalya'da soğuk aylarda FES'ten daha fazla, sıcak yaz döneminde ise FES'ten daha düşük çıkmakta, bu nedenlerle FES'ten daha fazla konforlu özellik göstermektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Antalya Havalimanında RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre mevsimlik PET ve mPET dizinleri

3.1.4. Antalya Havalimanı'nda aylık konfor indislerinin saatlere göre değişimleri

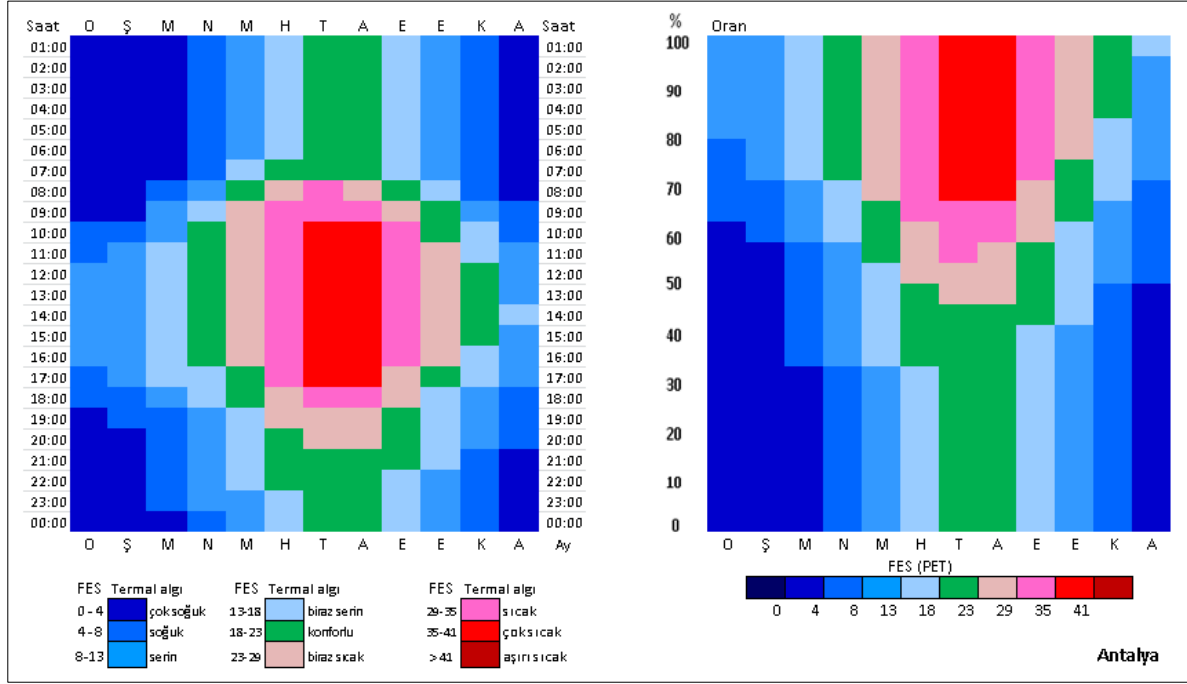
Eşdeğer yüzey sıcaklığı sayılabilecek ortalama radyan sıcaklık (T_{mrt}), Antalya'da gece saatlerinde düşük, gündüz saatlerinde ise güneş ışınlarına bağlı olarak yüksek değerlere ulaşmakta; haziran-eylül arası saat 13:00 civarı 50°C'lerin üzerine çıkmaktadır. Aylık mPET değerleri ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, kasım ve aralık aylarında PET değerlerinden yüksek bulunmuştur. FES'in önemli bir girdisi olan T_{mrt}, yaz aylarında FES'in "çok sıcak" olmasına neden olmaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. Antalya'da saatlik konfor indislerinin aylık grafikleri

3.1.5. Antalya Havalimanı'nda FES indislerinin saatlik dağılımı ve aylık oranları

1960-2017 tarihleri arasındaki her ay ve her saatin ortalama verisi (12x24=288 veri) Excel özet tablo ile hazırlanıp, RayMan programında Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES) hesaplanmıştır. Elde edilen FES indislerinin, gün içerisinde nasıl değiştiğini incelemek için Excel'de koşullu biçimlendirme ile renklendirme yapılmış ve her kategorinin aylık oranları hesaplanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Antalya saatlik FES indis dağılımı (sol) ile bunların aylık oranları (sağ), (veri periyodu 1960-2017), MGM

Antalya Havalimanı'nda termal konfor açısından kış geceleri çok soğuk, gündüzleri serin; nisan ve kasım ayları geceleri serin, gündüzleri konforlu; mayıs ve ekim aylarında geceleri serin, gündüzleri biraz sıcak; haziran ve eylül aylarında geceleri biraz serin, gündüzleri sıcak; temmuz ve ağustos aylarında geceleri konforlu, gündüzleri çok sıcak olarak belirlenmiştir (Şekil 13, Çizelge 4).

Çizelge 4. Antalya saatlik termal konfor değerlendirilmesi

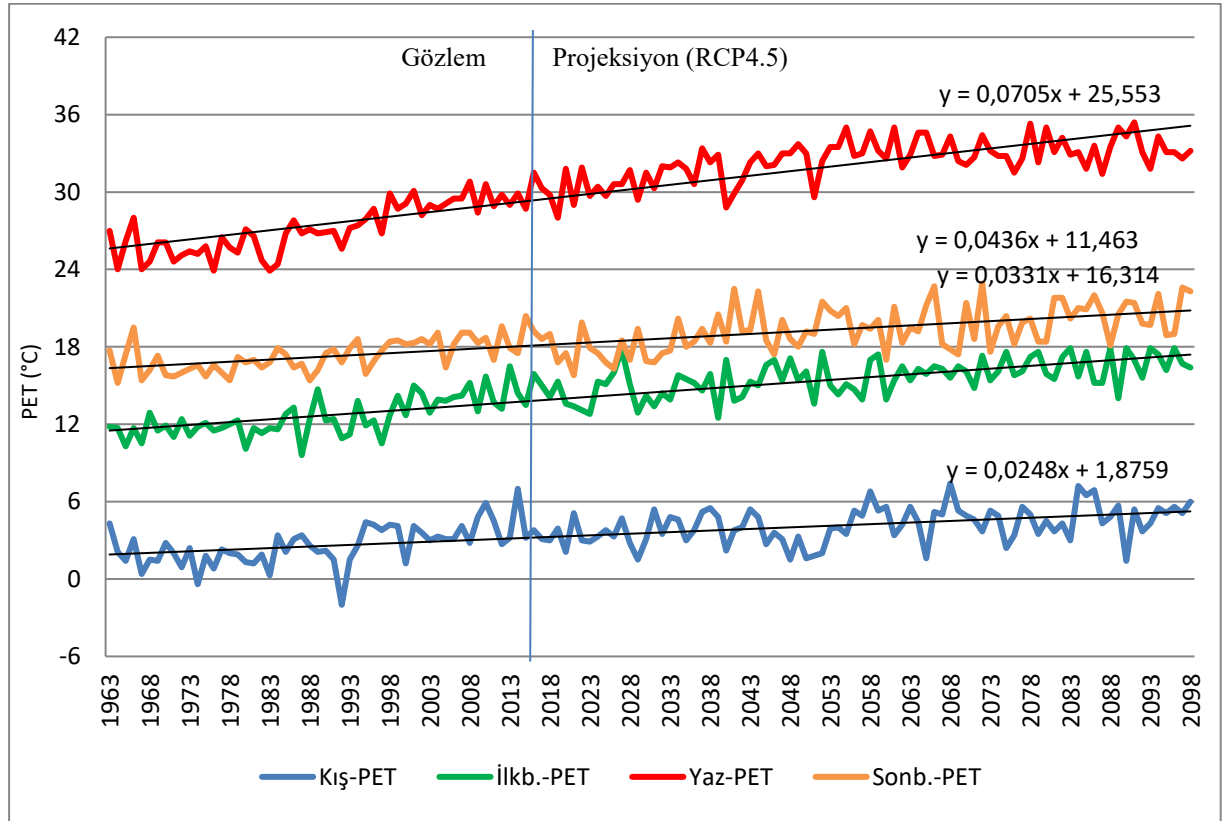
Ay	Gece	Sabah/Akşam	Gündüz	Oran (%)
Ocak	Aşırı/çok soğuk	Soğuk	Serin	%60 çok soğuk, %20 soğuk, %20 serin
Şubat	Çok soğuk	Soğuk	Serin	%60 çok soğuk, %10 soğuk, %30 serin
Mart	Çok soğuk	Soğuk/serin	Biraz serin	%30 çok soğuk, %30 soğuk, %10 serin, %30 Biraz serin
Nisan	Soğuk	Serin/Biraz serin	Konforlu	%30 soğuk, %30 serin, %10 Biraz serin, %30 konforlu
Mayıs	Serin	Biraz serin, konforlu	Biraz sıcak	%30 serin, %20 ç. az serin, %15 konfor, %35 Biraz sıcak
Haziran	Biraz serin	Konforlu/ Biraz sıcak	Sıcak	%30 Biraz serin, %20 konfor, %15 Biraz sıcak, %35 sıcak
Temmuz	Konforlu	Sıcak, Biraz sıcak	Çok sıcak	%40 konfor, %10 Biraz sıcak, %20 sıcak, %30 çok sıcak
Ağustos	Konforlu	Sıcak, Biraz sıcak	Çok sıcak	%40 konfor, %20 Biraz sıcak, %10 sıcak, %30 çok sıcak
Eylül	Biraz serin	Konforlu	Sıcak	%40 Biraz serin, %20 konfor, %10 Biraz sıcak, %30 sıcak
Ekim	Serin	Konforlu/Biraz serin	Biraz sıcak	%40 serin, %20 Biraz serin, %10 konfor, %30 Biraz sıcak
Kasım	Soğuk	Serin/Biraz serin	Konforlu	%50 soğuk, %20 serin, %15 Biraz serin, %15 konfor
Aralık	Çok soğuk	Soğuk	Serin	%50 çok soğuk, %20 soğuk, %25 serin, %5 Biraz serin

3.2. Elmalı Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (FES- PET) Analizleri

Bu analizde 1095m rakımlı Elmalı'ya ait iki senaryoya göre FES eğilimleri ve frekansları, FES ve mFES karşılaştırması, saatlik Tmrt, FES, mFES indislerinin aylık değişimleri ile FES indislerinin saatlik dağılımı ve bunların aylık oranları hesaplanmıştır.

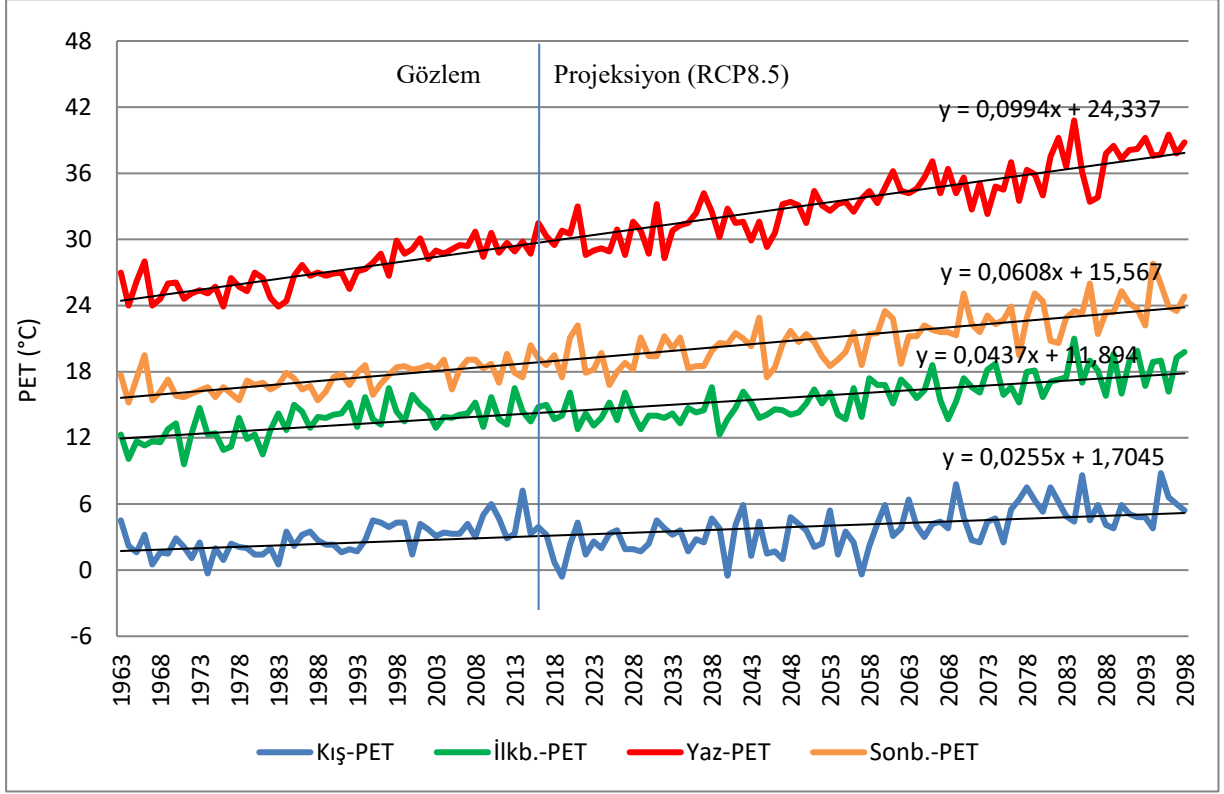
3.2.1. Elmalı FES eğilimleri

Elmalı istasyonu 1095m yükseklikte, Batı Toroslar üzerinde Elmalı ovasında yer almaktadır. Dağlık alanlardaki termal konfor şartlarının belirlenmesi amacıyla incelenmiştir. Yapılan analizlerde Elmalı'da termal konfor açısından gözlem periyodu kış mevsiminde *çok soğuk/soğuk* arası bulunmuş iken, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre *çok soğuklar* azalma eğiliminde olacaktır. Gözlem periyodu ilkbahar mevsiminde *biraz serin* iken RCP8.5 senaryosuna göre 21 YY. sonlarına doğru *konfor* bölgesine doğru geçiş olacaktır. Gözlem periyodunda yaz mevsimi *biraz sıcak/sıcak* kategorisinde iken özellikle RCP8.5 senaryosuna göre son 40 yılda *çok sıcak* kategorisine geçecektir. Sonbahar mevsimi gözlem periyodunda *biraz serin* ve *konforlu* iken RCP4.5 senaryosunda *konforlar* baskın olmaya başlayacak, RCP8.5'a göre de yüzyılın sonuna doğru *biraz sıcaklar* da ortaya çıkacaktır (Şekil 14, Şekil 15).



FES: <4 çok soğuk, 4-8 soğuk, 8-13 serin, 13-18 biraz serin, 18-23 konforlu, 23-29 biraz sıcak, 29-35 sıcak, 35-41 çok sıcak

Şekil 14. Elmalı mevsimlik FES(PET) dizinleri ve eğilimleri (Projeksiyon HadGEM-ES, RCP4.5)

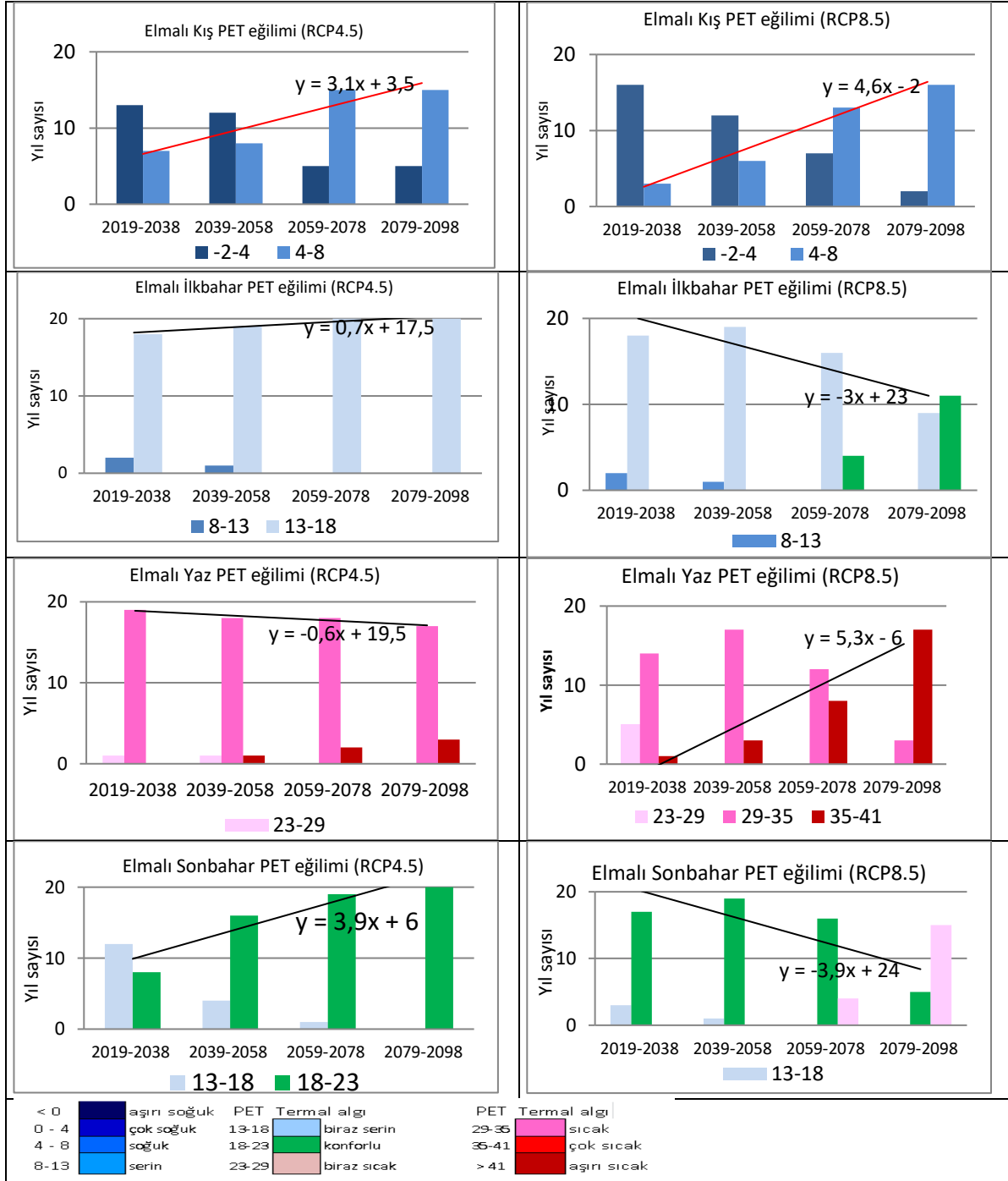


FES: <4 çok soğuk, 4-8 soğuk, 8-13 serin, 13-18 biraz serin, 18-23 konforlu, 23-29 biraz sıcak, 29-35 sıcak, 35-41 çok sıcak

Şekil 15. Elmalı mevsimlik FES(PET) dizinleri ve eğilimleri (Projeksiyon HadGEM-ES, RCP8.5)

3.2.2. Elmalı'da mevsimlik FES indislerinin iki senaryoya göre eğilimleri

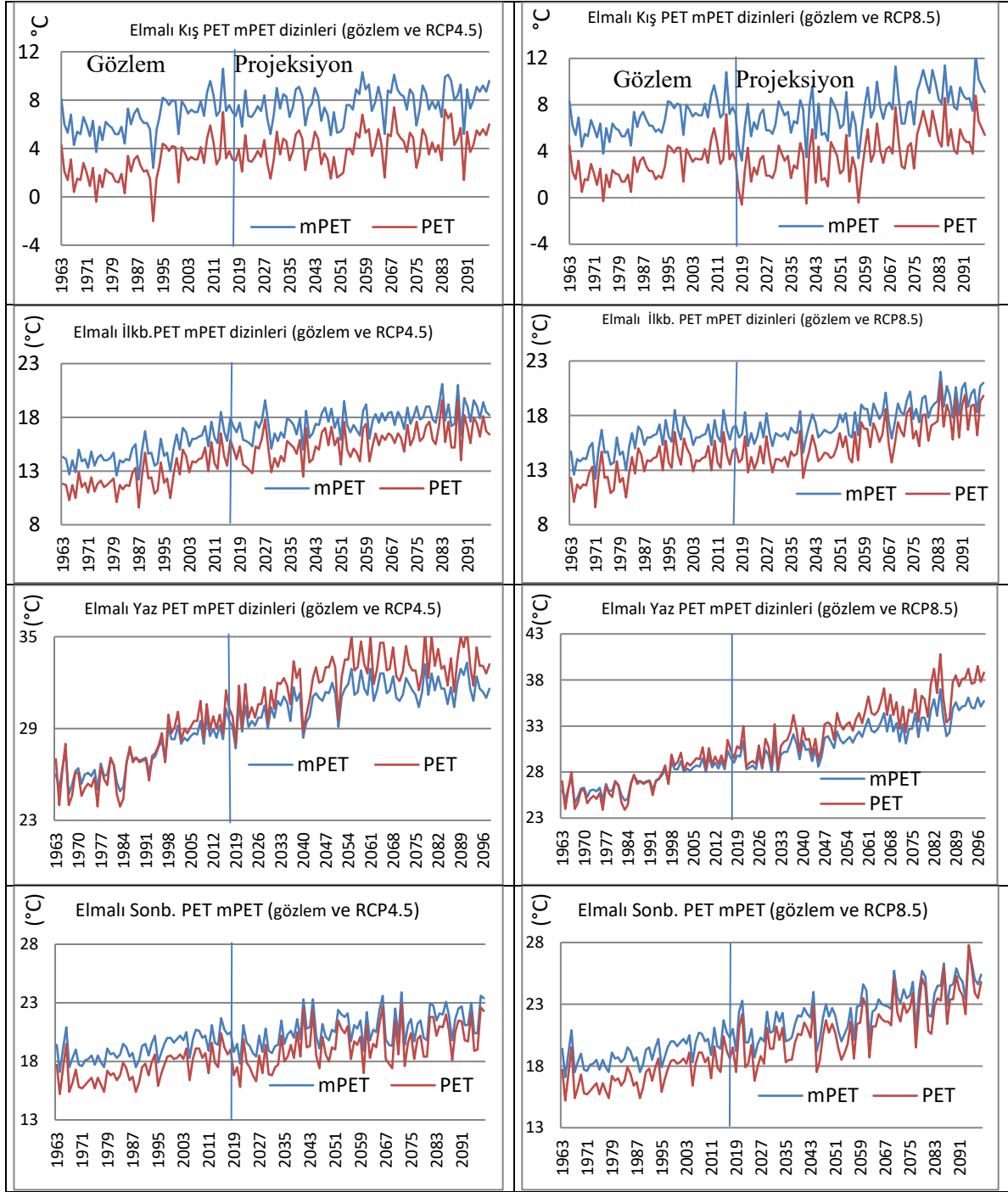
Elmalı için yapılan FES projeksiyonlarında termal konfor açısından kış mevsiminde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre *çok soğuklar* azalış, *soğuklar* artış eğiliminde olacaktır. İlkbahar mevsiminde RCP4.5 senaryosunda *biraz serinler* baskın iken RCP8.5 senaryosuna göre son 40 yılda konfor bölgesine doğru geçiş olacaktır. Yaz mevsiminde her iki senaryoda da *sıcak* kategori azalırken RCP8.5'a göre son 40 yılda *çok sıcaklar* artacaktır. Sonbahar mevsiminde RCP4.5 senaryosuna göre *biraz serinler* azalış *konforlar* artış eğiliminde olup, RCP8.5'a göre de yüzyılın sonuna doğru *biraz sıcaklar* ortaya çıkacaktır (Şekil 16).



Şekil 16. Elmalı RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre mevsimlik FES (PET) frekansları

3.2.3. Elmalı'da gözlem ve projeksiyon dönemleri FES ve mFES dizinleri

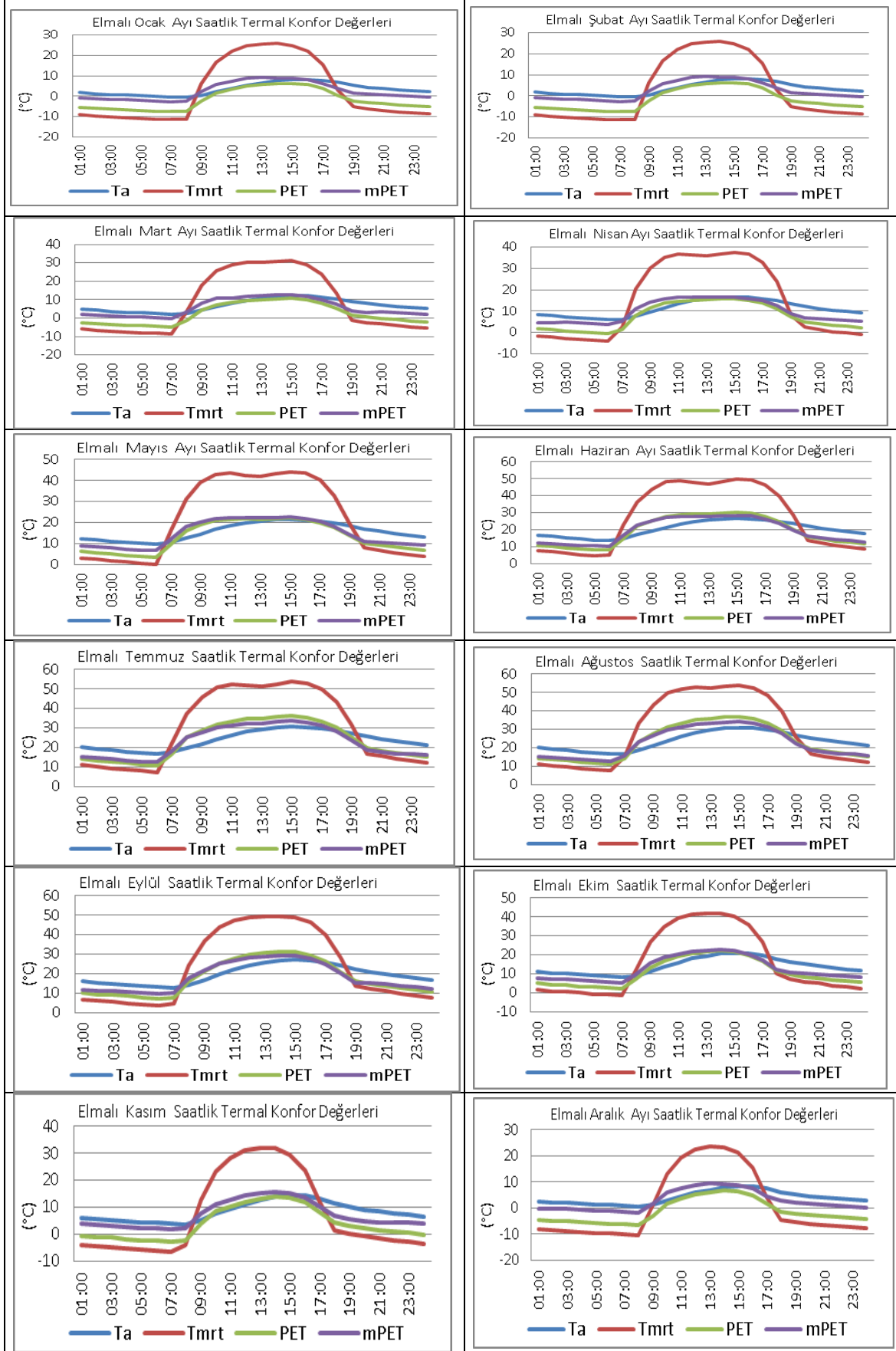
Elmalı'da FES ve mFES konfor indislerinde her iki senaryoya göre de artış trendleri söz konusudur fakat RCP8.5 senaryosuna göre beklenen artışlar çok daha yüksektir. mFES indis sonuçları Elmalı'da soğuk aylarda FES'ten daha fazla, yazın ise daha düşük çıktığından FES'ten daha fazla konfor göstermektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Elmalı RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre mevsimlik PET ve mPET dizinleri

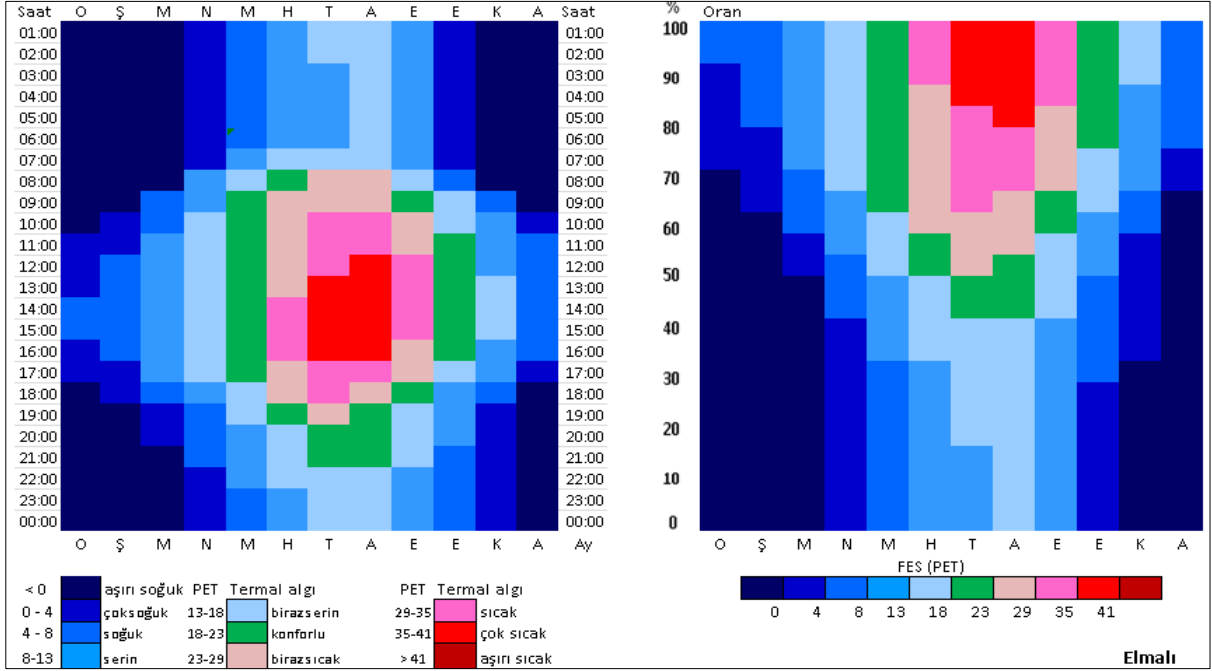
3.2.4. Elmalı saatlik FES dağılımları ve bunların aylık oranları

Ortalama radyan sıcaklık (T_{mrt}), Elmalı'da gece saatlerinde düşük, gündüz saatlerinde ise güneş ışınlarıyla birlikte yüksek değerlerine; haziran-eylül arası saat 13:00 civarı 50°C 'ler civarına çıkmaktadır. Aylık mPET değerleri ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, kasım ve aralık aylarında PET değerlerinden yüksek bulunmuştur. FES'in önemli bir girdisi olan T_{mrt} yaz aylarında onu *çok sıcak* yapmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18. Elmalı'da saatlik konfor indislerinin aylık grafikleri

3.2.5. Elmalı'da FES indislerinin saatlik dağılımı ve bunların aylık oranları



Şekil 19. Elmalı saatlik FES dağılımları (sol) ile bunların aylık oranları (sağ) (veri periyodu 1963-2017), MGM

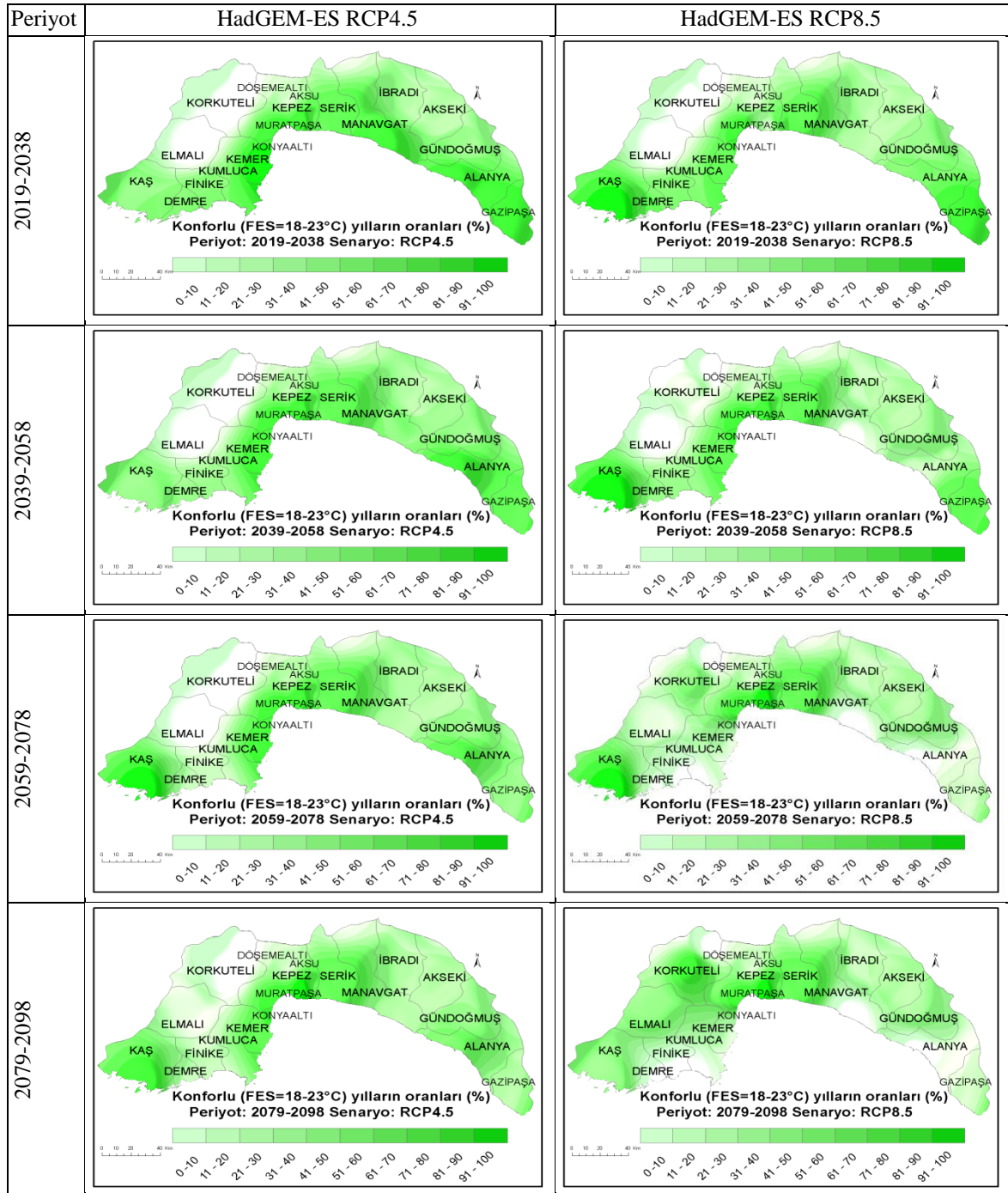
1963-2017 tarihleri arasındaki saatlik veriler kullanılarak hesaplanan FES değerlerine göre Elmalı'da kış ayları aşırı ve çok soğuk, mayıs ve ekim ayları geceleri soğuk/serin iken gündüzler konforlu, haziran eylül arası ise gece serin/biraz serin, gündüz sıcak ve çok sıcak bulunmuştur (Şekil 19, Çizelge 5).

Çizelge 5. Elmalı saatlik termal konfor değerlendirmesi

Ay	Gece	Sabah/Akşam	Gündüz	Oran (%)
Ocak	Aşırı soğuk	Aşırı soğuk	çok soğuk /soğuk	%70 aşırı soğuk, %20 çok soğuk, %10 soğuk
Şubat	Aşırı soğuk	Çok soğuk	çok soğuk /soğuk	%60 aşırı soğuk, %20 çok soğuk, %20 soğuk
Mart	Aşırı soğuk	soğuk	serin	%50 aşırı soğuk, %10 çok soğuk, %10 soğuk, %30 serin
Nisan	Çok soğuk	serin	Biraz serin	%40 çok soğuk %15 soğuk % 15 serin, %30 biraz serin,
Mayıs	soğuk	Serin/biraz serin	konforlu	%30 soğuk %20 serin, %15 biraz serin, %35 konforlu
Haziran	serin	Konforlu	Biraz sıcak/ sıcak	%30 serin, %20 biraz serin, %10 konfor, %20 biraz sıcak, %20 sıcak
Temmuz	Biraz serin	Biraz sıcak/ konforlu	Sıcak/ çok sıcak	%40 biraz serin, %10 konfor, %15 biraz sıcak, %20 sıcak, %15 çok sıcak
Ağustos	Biraz serin	Biraz sıcak/ konforlu	Sıcak/ çok sıcak	%40 biraz serin, %10 konfor, %15 biraz sıcak, %15 sıcak, %20 çok sıcak
Eylül	serin	biraz serin/ konforlu	Biraz sıcak/ sıcak	%40 serin, %20 biraz serin, %5 konforlu, %15 biraz sıcak, %20 sıcak
Ekim	Çok soğuk/ soğuk	Soğuk/serin	konforlu	%30 çok soğuk, %20 soğuk, %10 serin, %10 biraz serin, %30 konforlu
Kasım	Aşırı ve çok soğuk	soğuk	Serin/biraz serin	%35 aşırı soğuk %25 çok soğuk, %10 soğuk, %20 serin, %10 biraz serin
Aralık	Aşırı soğuk	aşırı soğuk	çok soğuk /soğuk	%70 aşırı soğuk, %10 çok soğuk, %20 soğuk

3.3. İlkbahar Mevsiminde Antalya'da PET Özellikleri

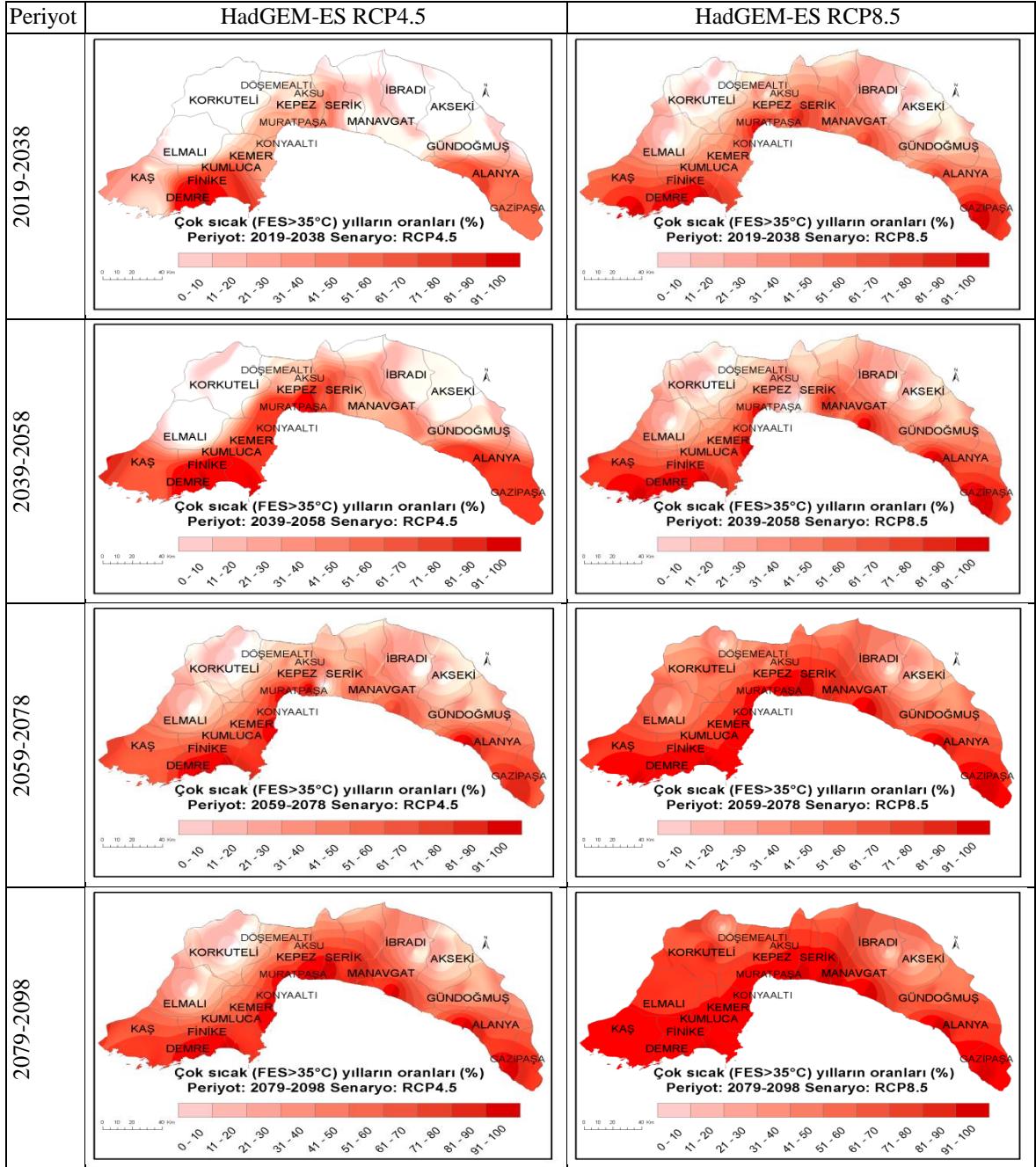
Çalışmada ilin genelindeki konforun nasıl değişeceğinin incelenmesi amacıyla tüm istasyonlar birlikte değerlendirilmiştir. İlkbahar mevsiminde dört dönemde (2019-2038, 2039-2058, 2059-2078, 2089-2098) termal konforlu yılların (PET=18-23°C) yüzdelere göre Antalya, Korkuteli ve Elmalı hariç her dört dönemde konforlu olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, artan sıcaklıklarla birlikte, RCP8.5 senaryosuna göre, ilk dönemden sonraki konforlu yılların yüzdelерinin kıyı bölgelerinde azalması ve dağlık alanlarda artması beklenmektedir (Şekil 20).



Şekil 20. Antalya'da ilkbahar mevsiminde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre hesaplanan termal konforlu

(FES=18-23°C) yıl yüzdelilerinin 20'şer yıllık dönemlerde alansal dağılımları
3.4. Yaz Mevsiminde Antalya'da FES Özellikleri

Çalışmada ilin genelindeki çok sıcak yılların ($PET > 35^{\circ}\text{C}$) nasıl değişeceğinin incelenmesi amacıyla tüm istasyonlar birlikte değerlendirilmiştir. Yaz mevsiminde dört dönemde (2019-2038, 2039-2058, 2059-2078, 2079-2098) çok sıcak yılların yüzdeleri RCP4.5 senaryosuna göre hesaplanmış, yaz mevsiminde Korkuteli ve Elmalı dışında genellikle çok sıcak bulunmuştur. RCP8.5 senaryosuna göre, çok sıcak yılların yüzdesi iki katına çıkacaktır (sırasıyla %46, %51, %70 ve %81) (Şekil 21).



Şekil 21. Antalya'da yaz mevsiminde RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre hesaplanan çok sıcak ($FES > 35^{\circ}\text{C}$) yılların yüzdelilerinin 20'şer yıllık dönemlerde alansal dağılımları

Mevsimlerdeki FES değişimleri 3.1.2 ve 3.2.2. başlıklarında verildiği için son iki analizde FES indisinin aldığı kritik değerlerden konforlu ve çok sıcak olanların dağılımları incelenmiştir. Bu nedenle sonbahar ve kış mevsimi için alansal dağılım haritaları hazırlanmamıştır.

3.5. İklim değişikliğinin termal konfor üzerine etkisi

İklimin insanların termal konforu üzerine etkilerini incelerken sadece gözlenen değişikliği vermek yeterli değildir. Bu nedenle çalışmada 2098 yılına kadarki iklim projeksiyon verileri de kullanılmıştır. Türkiye ve çevresi için Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP) senaryoları ile çalıştırılan RegCM4 bölgesel iklim modeli sonuçlarına göre, 21. yüzyılın sonlarına doğru beklenen sıcaklık artışları RCP4.5 senaryosuna göre 2-3°C, RCP8.5 senaryosuna göre ise 2-6°C'dir. Mevsimsel açıdan yaz mevsimindeki, bölgesel açıdan Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki, dönemsel açıdan ise 2071-2099 dönemlerindeki sıcaklık artışlarının görece olarak fazla olacağı, dolayısıyla termal konforu azaltacağı tahmin edilmektedir (Akçakaya vd., 2015:65).

Çizelge 6. İstasyonların projeksiyon dönemlerinde konforlu olacağı mevsimler

İstasyon	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Gazipaşa			+	+			+	
Alanya			+	+				
Manavgat		+	+	+				
Antalya			+	+			+	+
Kemer		+	+	+				
Finike		+	+	+				
Kaş			+	+			+	
Demre		+	+	+				
Elmalı				+			+	+
Korkuteli				+			+	+

RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarıyla HadGEM sıcaklık, nispi nem ve rüzgar hızı projeksiyon verileri kullanılarak hesaplanan FES(PET) termal konfor dizinlerine göre, istasyonların *konforlu* olduğu mevsimler az da olsa farklılık göstermektedir (Çizelge 6).

Kış mevsiminde RCP8.5 senaryosuna göre Kemer, Manavgat, Finike ve Demre'de az da olsa *konforlu* yılların ortaya çıkabileceği belirlenmiştir.

İlkbahar mevsiminin kıyı istasyonlarında her iki senaryoya göre *konforlu* olacağı beklenirken RCP8.5 senaryosuna göre *konforlu* yılların sayısı gittikçe azalır, *biraz sıcaklar* artacaktır. Dağlık istasyonlardan Elmalı ve Korkuteli'nde ise RCP8.5 senaryosuna göre *konforlu* dönemler ortaya çıkabilecektir.

Projeksiyon verileri ile yapılan analizde yaz mevsimi *konforlu* değildir. RCP8.5 senaryosuna göre birbirini takip eden 20 yıllık dönemlerde çok sıcak yılların yüzdesi (PET > 35 °C) kademeli olarak artacak ve RCP4.5'a kıyasla iki katına çıkacaktır (sırasıyla %46, % 51, % 70 ve % 81).

Sonbahar mevsiminin Antalya ile dağlık Elmalı ve Korkuteli istasyonlarında her iki senaryoya göre de *konforlu* olacağı hesaplanmış, Gazipaşa ve Kaş'ta RCP4.5 senaryosuna göre var olacak *konforlu* yılların RCP8.5 senaryosuna göre ortadan kalkacağı; Antalya'da ise azalacağı hesaplanmıştır. Alanya, Manavgat, Kemer, Finike ve Demre'de ise sonbahar mevsiminde *konforlu* dönem olmayacaktır.

4. Tartışma ve Sonuç

Turizm ülke ekonomileri açısından çok önemlidir. Türkiye 2019 yılında 52 milyon ziyaretçiyle dünyanın altıncı büyük turizm ülkesi olmuştur. Türkiye'yi seçen turistlerin yaklaşık üçte biri Antalya'ya gelmektedir. Antalya valiliği verilerine göre 2019 yılında Antalya, kendi nüfusunun altı katı turiste (15 milyon) ev sahipliği yapmıştır. Turizm, Türkiye ve Antalya ekonomisi ve bu sektörle ilgili su, enerji, gıda, ulaştırma ve sağlık sektörleri açısından da çok önemlidir.

FES indisinin sıcaklık verilerine göre bazı avantajları söz konusudur. İndisler verilerden türetilir ve verileri temsil ederler, ancak verilerden daha kolay yayınlanırlar. Termal konfor indisleri turizm ve sağlık sektörü için ve ayrıca çok çeşitli iklim değişikliği çalışmaları için çok faydalıdır. Ayrıca model - gözlem karşılaştırmaları için ve uç noktaların analizi için de kullanışlıdır.

Çalışmanın önemli sonuçlarından biri, kış mevsiminde RCP8.5 senaryosuna göre, Manavgat, Finike, Demre ve Kemer istasyonlarında 2050'li yıllardan sonra *konforlu* yılların yaşanabileceğidir. Korkuteli ve Elmalı dağlık istasyonları kış aylarında *konforlu* olmayacaktır. Bu sonuç, Toy ve Matzarakis'in 2017'de Erzurum için yaptıkları çalışmayla örtüşmektedir.

İlkbahar mevsiminde kıyı alanlarının her iki senaryo göre de *konforlu* olacağı anlaşılmaktadır. RCP8.5 senaryosuna göre kıyılarda *konforlu* yılların sayısı azalacak, *biraz sıcak* yıllar ortaya çıkacaktır. Elmalı ve Korkuteli gibi dağlık istasyonlarda ise RCP8.5 senaryosuna göre *konforlu* yıllar ortaya çıkacaktır.

Yaz mevsimi projeksiyon verileri ile hesaplanan termal konfor indisleri hiçbir istasyonda *konforlu* çıkmamıştır. Çok sıcak yılların yüzdesi (PET > 35°C) RCP8.5 senaryosuna göre RCP4.5'a kıyasla iki katına çıkacaktır (sırasıyla %46, %51, %70 ve %81). Ancak gözlem verileriyle hesaplanan saatlik FES indisleri, kıyı istasyonlarında yazın gecelerin *konforlu* olduğunu göstermiştir. Bu da bize FES indisleri ile çalışırken, günlük ortalama verilerin kullanılmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Güneşten alınan enerji miktarları gün içerisinde her saat değiştiği için çalışmada saatlik FES ve mFES değerleri de hesaplanmıştır (Şekil 13, Şekil 19). Günlük ortalama veriler uzun süreli eğilimleri göstermede faydalı olsa da gün içerisindeki bazı gerçekleri gizleyebilmektedir. Çalışkan vd. 2012 ve 2013'de Bursa ve Uludağ için yaptıkları çalışmada 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerindeki verileri kullanarak termal konfor indislerini hesaplamışlar ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Sonbahar mevsiminin Antalya ile dağlık Elmalı ve Korkuteli istasyonlarında her iki senaryoya göre de *konforlu* olacağı, RCP4.5 senaryosuna göre Gazipaşa ve Kaş'ta yaşanacak *konforlu* yılların RCP8.5 senaryosuna göre ortadan kalkacağı; Antalya'da da azalacağı hesaplanmıştır. Alanya, Manavgat, Kemer, Finike ve Demre'de yazdan kalma sıcaklıklar nedeniyle sonbahar *konforlu* olmayacaktır. Elmalı ve Korkuteli dağlık alanları, sonbaharda kıyı alanlarında azalacak konforu tamamlayıcı rol üstlenecektir. Sonuçlar Çalışkan vd'nin 2012 ve 2013'de Bursa-Uludağ için yaptığı çalışmaya benzemektedir.

Gözlem verileri ile hesaplanan FES indisleri, Antalya'nın kıyı istasyonlarında *konforlu* zamanların, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde gündüz saatlerine, yaz mevsiminde ise gece saatlerine sıkıştığını göstermektedir. Dağlık istasyonlar Elmalı ve Korkuteli'nde ise ilkbahar ve sonbahar gündüz saatlerinde *konforlu* iken gece saatlerinde konforsuz olmaktadır.

Projeksiyon verileri ile hesaplanan FES indis sonuçları, RCP4.5 senaryosuna göre ilkbahar ve sonbaharın hala *konforlu* kalacağını fakat RCP8.5 senaryosuna göre 2040'lardan sonra *konforlu* yıl sayılarının kıyı kesimlerinde azalıp dağlık kesimlerde artacağını göstermiştir. Konfor açısından kıyı kesimleri ve dağlık alanlar birbirlerini tamamlayıcı olacaktır. Çalışmada ayrıca RCP8.5 senaryosuna göre 2050'lerden sonra kıyı bölgelerinde kış mevsiminde de *konforlu* yılların ortaya çıkması turizm sezonunun ilkbahardan kışa doğru genişleyeceğini göstermiştir.

Hesaplanan FES dizinlerinin tüm mevsimlerde artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu durum kıyı istasyonlarında kışın termal konforu arttırırken sonbaharda azaltacaktır. Kıyı alanlarında termal konfor zamanlarının kış mevsimine doğru uzanıp, sonbaharda azalacak olması, dağlık istasyonlarda ise sonbaharın avantajlı hale gelmesi, Antalya'da turizmin yeri ve zamanının değişeceğini göstermektedir. Sonuçlar Matzarakis ve Rutz'un 2005'te Atina için yaptığı çalışma ile Topay ve Yılmaz'ın 2004'te Muğla için yaptığı çalışmanın sonuçlarına benzemektedir.

Çalışma alanında FES, mFES ve Tmrt indisleri arasındaki farklara da bakılmıştır. mFES indisi FES'ten farklı olarak nispi nem, giysi ve aktiviteye daha duyarlıdır. Aktivitenin arttırıldığı durumlarda mFES değerleri FES'ten çok daha yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 8). Mevsimlik FES ve mFES dizinleri arasında iyi bir ilişki (kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar korelasyon katsayıları sırasıyla 1.00, 0.99, 1.00, 0.98) bulunmuştur. Antalya'da mFES değerleri nispi nem ve clo katsayısı yüksekliği nedeniyle kış aylarında FES'ten yüksek, yaz ve sonbaharda ise hafif düşük olarak bulunmuştur. Bu nedenle mFES, FES'ten daha iyi *konfor* göstermektedir. Antalya'da eşdeğer yüzey sıcaklığı sayılabilecek ve güneşe duyarlı ortalama radyan sıcaklık (Tmrt), gece saatlerinde düşük, gündüz saatlerinde ise yüksek değerlerine ulaşmakta; haziran-eylül arası ise saat 13:00 civarında 50°C'lerin üzerine çıkmaktadır. Tmrt, FES'in en önemli girdisi olduğu için yaz aylarında FES'i *çok sıcak* yapmaktadır (Chen ve Matzarakis, 2018).

Antalya'ya gelen 15 milyon turist önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Turist sayısının fazla olması, sektör ve ülke ekonomisi açısından çok iyidir. Bununla birlikte, değişen iklim Akdeniz'de gıda, enerji, ulaşım ve su sektörleri üzerinde büyük baskılar oluşturacaktır. Bu nedenle turizm sektörüne destek veren tarım, enerji, ulaştırma ve su kaynakları sektörlerinde altyapıların, iklim ve turist projeksiyonlarına uygun olarak yapılması gerekmektedir. 6360 sayılı kanuna göre, büyükşehir belediyelerinin genel bütçeden alacakları paylar hesaplanırken, kriterlere nüfusları ile birlikte yüzölçümleri de eklenmiş fakat konaklama sayıları bu kriterler arasında yer almamaktadır. Yıl içerisinde sürekli olmasa da, bir anlamda Antalya, 2.5 milyon nüfus için ayrılmış ödenekle, 17.5 milyon insana hizmet vermeye çalışmaktadır. Bölgedeki beş yıldızlı otellerin her şey dâhil konseptiyle misafir kabul etmesi, gıda sektörü üzerinde baskılar oluşturmaktadır. Su kaynakları altyapı projelerinde de şehir nüfusunun yanında misafir ettiği turist sayılarının da dikkate alınması gereklidir. Yüzyılın sonlarına doğru Antalya'da soğutma için harcanacak enerji miktarı ısıtma için olanın RCP4.5 senaryosuna göre 2 katına, RCP8.5 senaryosuna göre 9 katına çıkması beklenmektedir (Sensoy, S, 2020:107). Enerji altyapıları, artacak sıcaklıklar ve soğutma gereksinimlerini karşılayabilecek şekilde planlanmalı, şehirde enerji verimliliğine ve yenilenebilir enerji yatırımlarına öncelik verilmelidir. Yazın sıcak hava dalgası sayılarının ve termal konforda '*çok sıcak*' kategorinin artacak olması, şehirde ağaçlandırma ve yeşil bina konseptine geçmek gibi bazı önlemleri gerektirmektedir. İklim değişikliği ayrıca, termal konforu değiştirerek, sektörü turizmin zamanı, çeşidi ve yerlerinde değişikliklere zorlayacaktır. Bulgulara göre yüzyıl ortalarından itibaren Antalya'nın kıyı kesiminde ilkbaharda var olan termal konfor, kış

mevsimine doğru genişlerken, sonbahardaki konfor azalacak, fakat Elmalı ve Korkuteli gibi dağlık alanlarda artacaktır. Bu da Antalya'da turizmin çeşitlenmesini sağlayacaktır. Antalya'nın turizm potansiyeli büyük oranda deniz, kum ve güneş turizmi (3S) çerçevesinde kullanılmaktadır (BAKA, 2012). 3S turizminin yanında Antalya'da kültür, spor, sağlık, kış, golf, kongre, yayla, doğa yürüyüşü, mağara, kamp/karavan, botanik, yaban hayatı (av) ve inanç turizmi gibi seçeneklerin de var olduğu görülmektedir. Kış aylarında turist sayısı düşse bile sahip olduğu çok sayıda turizm seçenekleri sayesinde Antalya her ay turist çekebilecektir.



Thermal Comfort Features of Antalya, Future Projections Using Climate Model Data and its Effects on Tourism

Serhat Şensoy*^a, Necla Türkoğlu^b, İhsan Çiçek^b, Andreas Matzarakis^c

Submitted: 25.03.2020

Accepted: 18.06.2020

EXTENDED ABSTRACT

Climate data has a crucial role for planning and mitigation activities in the tourism sectors. Observation data of between 1960-2017 and projection data of between 2018-2099 with RCP4.5 and RCP8.5 scenarios have been used for Gazipaşa, Alanya, Antalya, Manavgat, Kemer, Korkuteli, Elmalı, Finike, Demre and Kaş stations. Two stations, Korkuteli and Elmalı are mountainous locations where elevations are more than 1000m. The other stations can be assessed as coastal areas. This study will show different thermal comfort between coastal and mountainous locations. The Physiologically Equivalent Temperatures (PET and mPET) have been calculated by using RayMan software. Determining of the trends of these tourism related indices are expected to provide important information to academy, tourists, tour operators and sector-related decision makers in Antalya.

The principles of mPET and differences between original PET are introduced and discussed in this study. Additionally, a comparison of mPET and PET models has been done in Antalya condition. The R² of winter, spring, summer and autumn have been found 1.00, 0.99, 1.00, 0.98 respectively. This shows a well co-relationship between PET and mPET in Antalya. At the same activity level, mPET values were found higher than PET in Antalya in cold seasons and lower in summer. These results show that mPET demonstrate more comfort than PET.

There are increasing trends in PET and mPET comfort indices in the case of the both scenarios. However, according to the RCP8.5 scenario, the increase after 2050 is much higher than RCP4.5. The increasing tendency in indices has an effect that increases comfort in winter and spring, while it has a decreasing effect in summer and autumn. According to the RCP8.5 scenario in the winter season, it has been calculated that comfortable years may occur in Manavgat, Finike, Demre and Kemer after 2050.

1. Introduction

Tourism is very important for Turkey and Antalya. In 2019, Antalya hosted 15 million tourist which is 6 times greater than its population (2.5 million) (Url 1,2). Climate change is one of the biggest challenges facing humanity in the 21st century. Increases in both frequency and magnitude of extreme events are expected due to climate changes (IPCC, 2013). Projected increases in temperatures (Akçakaya et al, 2015) are expected to change the thermal bioclimatic conditions in Antalya.

*Corresponding Author: ssensoy@mgm.gov.tr

^a Turkish State Meteorological Service, Ankara/Turkey, <https://orcid.org/0000-0002-6150-6035>

^b Ankara University Faculty of Language, History and Geography, Ankara/Turkey, <https://orcid.org/0000-0003-3885-1495>

^b Ankara University Faculty of Language, History and Geography, Ankara/Turkey, <https://orcid.org/0000-0002-9000-2805>

^c Research Centre Human Biometeorology, DWD, Freiburg, Germany, <https://orcid.org/0000-0003-3076-555X>

Thermal comfort studies have been conducted in the world and in Turkey for tourism purposes. One of the natural resources that determine the tourism potential of a place is the climate. Mayer et al., 1997, their research emphasized that the forest consisting of forty years old oak and beech trees on the western border of Freiburg provides comfortable PET values compared to the forestless areas. Caliskan et al. investigated the bioclimatological conditions of Uludag and Bursa in a study they conducted in 2011, and found that Uludag was under cold stress for the majority of the year. Bursa which is below 1778 m from Uludağ has temperature stresses in the afternoon, while comfortable in the morning and evening.

The aim of this study is to show observed and projected changes in thermal comfort in an important tourism destination, Antalya, Turkey and to make some suggestions to the sector on timing and locations of tourism, according to findings of this study.

2. Methodology

The Data

Hourly temperature, relative humidity and wind speed data between 1960-2017 and daily projection data between 2018-2099 with RCP4.5 and RCP8.5 scenarios have been used for Gazipaşa, Alanya, Antalya, Manavgat, Kemer, Korkuteli, Elmalı, Finike, Demre and Kaş stations.

Physiologically Equivalent Temperature

A regularly used index for the assessment of human thermal comfort is the Physiologically Equivalent Temperature (PET). It is defined as "the air temperature at which, in a typical indoor setting, the energy budget of the human body is balanced with the same core and skin temperature as under the complex outdoor conditions to be assessed" (Mayer and Höppe 1987, Höppe 1999, Matzarakis et al. 1999). The thermal impact of the actual environment in PET is assessed through a human energy balance equation (Table 1). Modified physiologically equivalent temperature (mPET) is improved against the weaknesses of the PET by enhancing evaluation of the humidity and clothing variability (Chen and Matzarakis, 2018).

$$M+W_o+R+C+E_{sk}+E_{res}+E_{sw}+S=0 \tag{1}$$

It consists of the metabolic heat production M , mechanical work W_o , the fluxes of radiation R , sensible heat C , and latent heat E . In eq. 1 E is divided into fluxes from or to the skin sk , through sweating sw and via the respiratory system res . The heat storage S is assumed equal to $0W$ at any time. The actual environment is transferred to a virtual indoor environment with $T_{mrt}=T_a$, $v=0.1m/s$, and $VP=12hPa$ (Höppe 1999).

Table 1: Thermal perception classes for human beings and physical stress

PET (°C)	Thermal perception	Physical stress
>41	Very hot	Extreme heat stress
35-41	Hot	Strong heat stress
29-35	Warm	Moderate heat stress
23-29	Slightly warm	Slight heat stress
18-23	Comfortable	No thermal stress
13-18	Slightly cool	Slight cold stress
8-13	Cool	Moderate cold stress
4-8	Cold	Strong cold stress
<4	Very cold	Extreme cold stress

Source: Matzarakis et al., 2017:58.

The Software

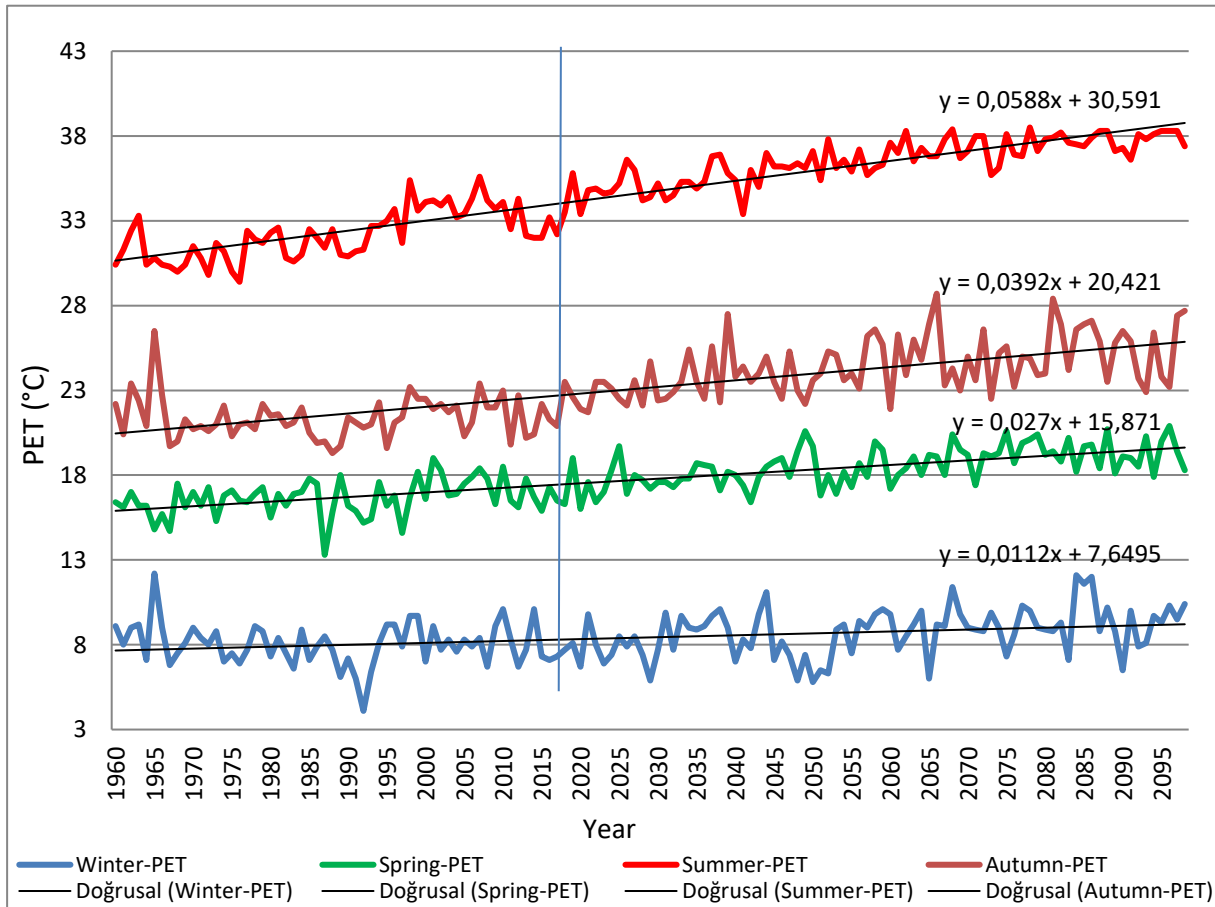
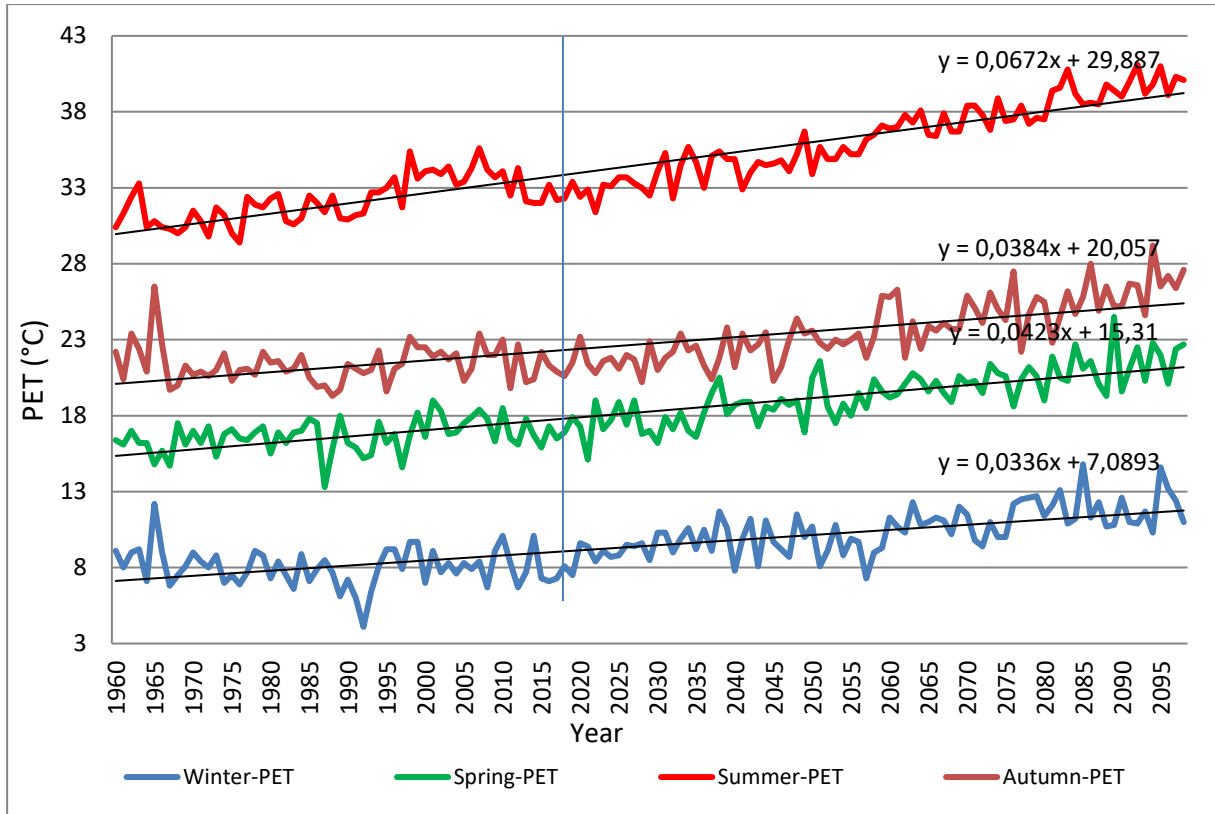
RayMan is a micro-scale model developed at the Albert-Ludwigs-University, Freiburg to calculate radiation fluxes in simple and complex environments (Matzarakis et al. 2007; 2010). The model RayMan is developed based on the German VDI-Guidelines, 1994, 1998. For the calculation of thermal indices, meteorological (*air temperature, wind speed, air humidity and radiation*) and thermo physiological data (*activity and clothing*) are required. Radiation data can be computed by the software (Matzarakis et al, 1999).

Due to observation data between 1960-2017 were hourly, hourly and monthly PET values were calculated. RayMan data file has been created in “Date-Time-T-RH-V-Rad-clo” format and it was given as input file. Different clo value has been given appropriate for hour, month and season. The projection data between 2018-2098 were daily. Seasonal thermal comfort indices were calculated from these combined data. Annual PET indices were not calculated, because average annual values do not well represent thermal comfort.

3. Results

In the analysis made, while the winter season at Antalya Airport was found to be between *cold* / *cool* during the observation period, it was calculated that according to the RCP4.5 scenario, the trend towards the *cool* and according to the RCP8.5 scenario, the *cool* would be dominant. While the spring season is *slightly cool* during the observation period, it will switch to the *comfort* zone in both scenarios during the projection period. While the summer season is in the *hot* category during the observation period, it will be in the *very hot* category in the projection periods. While the autumn season is *comfortable* during the observation period, it will be moved to *slightly warm* in both scenarios during the projection periods. Increasing trend was found in PET indices values in all seasons (Figure 1). Similar results were obtained at all coastal stations. Increasing trends in indices have an effect that increases the *comfort* in winter and spring seasons at the coastal stations, while they have a decreasing effect on it in summer and autumn seasons.

In the mountainous stations, in Elmalı, the two scenarios will manifest themselves as a change from *very cold* to *cold* in winter, from *cool* to *comfort* in spring, from a *slightly warm* to *warm* in summer, and in autumn from *slightly cool* to *comfort*. Increasing trends play a role to increase *comfort* in autumn in mountainous areas.



PET: <4 very cold, 4-8 cold, 8-13 cool, 13-18 slightly cool, 18-23 Comfortable, 23-29 slightly warm, 29-35 warm, 35-41 hot, >41 very hot

Figure 1. Seasonal PET trends in Antalya according to RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

At Antalya Airport, winters are *very cold* at night and *cool* during the day, April and November are *cool* at night, *comfortable* during the day, May and October are *cool* at night and *slightly warm* during the day. June and September are *slightly cool* at night, *warm* during the day. July and August were *comfortable* during the night and *very warm* during the day (Figure 2, Table 2).

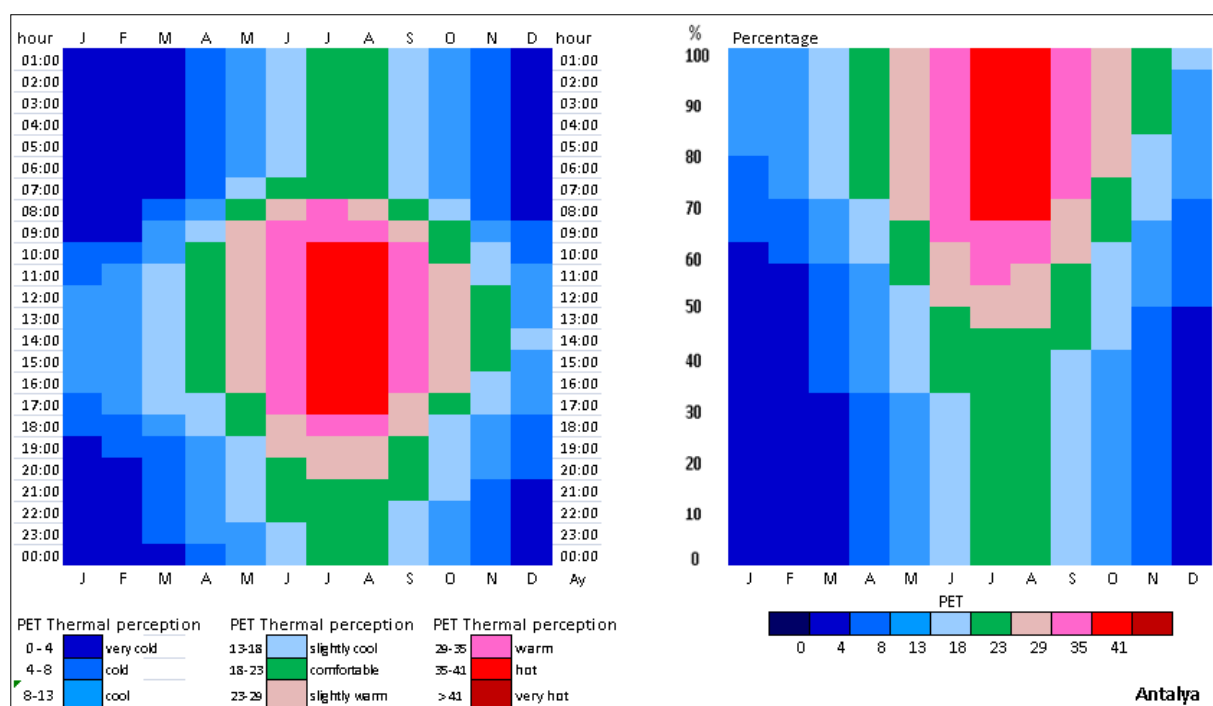


Figure 2. Distribution of hourly and monthly PET values (left) and their percentage (right) in Antalya (period 1960-2017)

Table 2. Antalya hourly/monthly thermal comfort assessment

Month	Night	Morning/evening	Daytime	Frequency
January	Very cold	Cold	cool	%65 very cold, %15 cold, %20 cool
February	Very cold	Cold	cool	%60 very cold, %10 cold, %30 cool
March	Very cold	Cold/cool	very little cool	%30 very cold, %30 cold, %10 cool, %30 very little cool
April	cool	Cool/ very little cool	comfortable	%30 cool, %30 cool, %10 very little cool, %30 konforlu
May	cool	V.little cool / comfortable	very little warm	%30 cool, %20 very cool, %15 konfor, %35 çok az sıcak
June	Very little cool	Comfortable/ very little warm	Warm	%30 very little cool, %20 comfortable, %15 very little warm, %35 warm
July	comfortable	warm, very little warm	Very warm	%50 comfortable, %10 very little warm, %10 warm, %30 very warm
August	comfortable	warm, very little warm	Very warm	%50 comfortable, %10 very little warm, %10 warm, %30 very warm
September	Very little cool	comfortable	warm	%40 very little cool, %20 comfortable, %10 very little warm, %30 warm
October	cool	Comfortable/ very little cool	Very little warm	%40 serin, %20 very little cool, %10 comfortable, %30 very little warm
November	cold	cool/ very little cool	comfortable	%50 cold, %20 cool, %15 very little cool, %15 comfortable
December	Very cold	cold	cool	%50 very cold, %20 cold, %25 cool, %5 very little cool

The same studies have been carried out for mountainous Elmalı station where the winter months are *extremely very cold*. The months of May and October are *cold / cool* at night, while the daytime is *comfortable* and between June and September, the night is *cool*, evening *comfortable* and the day is *warm/very warm* they were found.

4. Discussion

Climate change will change thermal comfort which will affect the time and places of the tourism. For these reasons, Antalya Province was chosen as the study area. Thermal indices have some

advantages compared to temperature data. They are derived from data and represent data. However, they are more readily released than data. It is very useful for tourism sector and also for a wide variety of climate change studies. It's also useful for model–observations comparisons and useful for analyses of extremes.

5. Conclusion

According to the RCP8.5 scenario in the winter season, it has been calculated that *comfortable* years may occur towards 2050s in Manavgat, Finike, Demre and Kemer. However, mountainous stations Korkuteli and Elmalı will not be *comfortable* in winter time. This result is similar to Toy and Matzarakis, 2017 study for Erzurum.

It is expected that the spring season will be *comfortable* for both scenarios at the coastal areas, the number of *comfortable* years will decrease and *slightly warm* years will occur according to the RCP8.5 scenario. In mountainous stations such as Elmalı and Korkuteli, *comfort* may emerge according to the RCP8.5 scenario.

Summer season is not *comfortable* at any station with projection data. According to the RCP8.5 scenario, percentage of *hot* years ($PET > 35^\circ$) will gradually increase and it will double in the projection periods. But hourly PET indices calculated with observation data are found to be *comfortable* at night in coastal areas. The daily average data can hide some facts. For this reason, we have calculated hourly PET values as the amount of energy taken from the sun changes every hour during the day (Çalışkan et al, 2011).

While it is calculated that the autumn season will be *comfortable* for both scenarios in Antalya and the mountainous Elmalı and Korkuteli stations. The *comfortable* years that will exist in Gazipaşa and Kaş according to the RCP4.5 scenario will disappear according to the RCP8.5 scenario. Autumn will not be *comfortable* in Alanya, Manavgat, Kemer, Finike and Demre.

These results show that beside the *comfortable* spring season in Antalya, towards 2050s, tourism season will extend towards the winter season in the coastal areas while autumn season will be *comfortable* in mountainous areas like Korkuteli and Elmalı. Increasing temperatures will reduce thermal comfort in coastal areas in autumn while increasing them in mountainous stations. In this sense, they can complement each other. These results are similar to Çalışkan et al, 2012 work for Bursa-Uludağ.

It is calculated that the PET and mPET indices tend to increase in all seasons in Antalya. This will increase the thermal comfort in winter at coastal areas and decrease it in autumn. The results are similar to those of Matzarakis and Rutz, 2005 study for Athen and Topay and Yılmaz, 2004 study for Muğla.

The facts that the thermal comfort times in the coastal areas extend towards the winter season and will decrease in the autumn, and the advantage of the autumn in the mountainous stations show that the location and time of tourism in Antalya will change.

Another result of the study is that the mPET indice, which has higher values than PET in winter and lower than it in summer, indicates more comfort than PET in Antalya conditions because it is more sensitive to relative humidity.

Referanslar/References

- Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F. (2015). *Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC*. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx> adresinden alındı.
- ASHRAE Standard 55 (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- BAKA, (2012). Antalya İli Turizm Endüstrisinin Kümelenme, Rekabetçilik ve Strateji Ön Çalışması. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı (BAKA) Projesi, <https://www.baka.gov.tr/uploads/1557478701AntalyailininTurizmKumelenmeRekabetcilikveStratejioncalismasi.pdf> adresinden alındı.
- Çalışkan, O., Çiçek, İ., Matzarakis, A. (2012). The Climate and Bioclimate of Bursa (Turkey) from Perspective of Tourism. *Theoretical and Applied Climatology*, 107 (3-4), 417-425. doi: 10.1007/s00704-011-0489-6.
- Çalışkan, O., Türkoğlu, N., Matzarakis, A. (2013). The Effects of Elevation on Thermal Bioclimatic Condition in Uludağ (Turkey). *Atmosfera*, 26 (1), 45-57. <http://www.scielo.org.mx/pdf/atm/v26n1/v26n1a4.pdf> adresinden alındı.
- Chen, Y. C., Matzarakis, A. (2018). Modified Physiologically Equivalent Temperature-Basics and Applications for Western European Climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 132 (3-4), 1275-1289. doi: 10.1007/s00704-017-2158-x.
- Höppe, P. (1984). Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München*, 49.
- Höppe, P. R., Hermann A. J. S. (1991). Problems in the Assessment of the Bioclimate for Vacationists at the Seaside. *International Journal of Biometeorology*, 35 (2), 107-110. doi: 10.1007/BF01087486.
- Höppe, P. R. (1999). The Physiological Equivalent Temperature-A Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. *International Journal of Biometeorology*, 43 (2), 71-75. doi: 10.1007/s004840050118.
- IPCC (2013). Summary for Policymakers. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex ve P.M. Midgley (Ed.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* içinde (1-30). Cambridge ve New York: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> adresinden alındı.
- ISO 7726 (2002). Ergonomics of the Thermal Environment - Instruments for Measuring Physical Quantities.
- Kum, G., Gönençgil, B. (2018). Türkiye'nin Güneybatı Kıyılarında Turizm İklim Konforu. *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, 17 (1), 70-87. doi: 10.21547/jss.341541.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. (1999). Applications of a Universal Thermal Index: Physiological Equivalent Temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43 (2), 76-84. doi: 10.1007/s004840050119.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2000). Estimation and Calculation of the Mean Radiant Temperature within Urban Structures. R. J. de Dear, J. D. Kalma, T. R. Oke ve A. Auliciems (Ed), *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium* içinde (273-278), (Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026). Sydney, Avustralya.
- Matzarakis, A., Rutz, F. (2005). Application of RayMan for Tourism and Climate Investigations. *Annalen der Meteorologie*, 41 (2), 631-636.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2007). Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments-Application of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323-334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. (2010). Modelling Radiation Fluxes in Simple and Complex Environments: Basics of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology*, 54 (2), 131-139. doi: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Chen, Y., Fröhlich, D. (2017). RayMan Pro, A Tool for Applied Climatology, Rayman Manual Version 0.1. <https://www.urbanclimate.net/rayman/RayManManual.pdf> adresinden alındı.
- Mayer, H., Höppe, P. (1987). Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. *Theoretical and Applied Climatology*, (38), 43-49. doi: 10.1007/BF00866252.
- Mayer H, Matzarakis A. (1997). The Urban Heat Island Seen from the Angle of Human-Biometeorology, *Proceedings of the International Symposium on Monitoring and Management of the Urban Heat Island* içinde (84-95), Fujisawa, Japonya.
- Moss, R. H., Edmonds, J.A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S.K., Vuuren, D.P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., Wilbanks, T. J. (2010). The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*, 463, 747-756. doi:10.1038/nature08823.
- Nüfus İstatistikleri (2020). 15.02.2020 tarihinde <https://www.nufusu.com/il/antalya-nufusu> adresinden alındı.
- Sensoy, S. (2020). *Turizm Sektörünün Geleceği Açısından Sıcaklık İndisleri İle Termal Biyoklimatik İndisler Arasındaki İlişkiler: Antalya Örneği*. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara.

- Topay, M., Yılmaz, B. (2004). Biyoklimatik Konfora Sahip Alanların Belirlenmesinde CBS'den Yararlanma Olanakları: Muğla İli Örneği, *Proceedings of 3th GIS Days in Turkey* içinde (425-434), 6-9 Eylül 2004, Türkiye. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/98386/mod_resource/content/1/%2B%2B%C4%B0KL%C4%B0M%20TASARIM%206_BIYOKLIMATIK%20KONFOR.pdf adresinden alındı.
- Toy, S., Matzarakis, A. (2017). Quantification of Bioclimatic Condition for Humans for Winter Sport Events-Candidate City Erzurum for Winter Olympic Games 2026, *Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 1-4 Kasım 2017, İstanbul. https://www.researchgate.net/publication/324656876_QUANTIFICATION_OF_BIOCLIMATE_CONDITIONS_FOR_HUMANS_FOR_WINTER_SPORT_EVENTS-CANDIDATE_CITY_ERZURUM_FOR_WINTER_OLYMPIC_GAMES_2026 adresinden alındı.
- VDI, (1994). VDI 3789, Part 2: Environmental Meteorology, Interactions between Atmosphere and Surfaces; Calculation of the Short-and Long Wave Radiation. Beuth, Berlin.
- VDI. (1998). VDI 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the Human Biometeorological Evaluation of Climate and Air Quality for the Urban and Regional Planning at Regional Level. Part I: Climate. Beuth, Berlin.
- Viner, D. (2006). Climate Change and Its Interactions with Tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 14 (4), 317-322. doi: 10.1080/09669580608669064.
- Turizm Data Bank (2020). 15.02.2020 tarihinde <http://www.turizmdatabank.com/turizm-istatistikleri/aaa/> adresinden alındı.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu (2020). *Çıkış Yapan Ziyaretçi İstatistikleri*, 10.02.2020 tarihinde http://www.tuik.gov.tr/PrelstatistikTablo.do?istab_id=2397 adresinden alındı.
- UNFCC (1994). İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.