



Ege Coğrafya Dergisi 26 (2), 2017, 95-106, İzmir-Türkiye  
Aegean Geographical Journal, 26 (2), 2017, 95-106, İzmir-TURKEY

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

## TÜRKİYE'DE TROPİKAL GECE SAYILARINDA GÖZLENEN DEĞİŞMELER VE EĞİLİMLER

*Observed Variations and Trends in Number of Tropical Nights in Turkey*

**Ecmel ERLAT<sup>1</sup>**

*Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi  
Coğrafya Bölümü 35100 Bornova-İzmir  
ecmel.erlat@ege.edu.tr*

**Murat TÜRKES**

*İklim Değişikliği ve Politikaları Uygulama ve  
Araştırma Merkezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul  
murat.turkes@boun.edu.tr*

*(Teslim: 27 Eylül 2017; Düzeltme: 28 Kasım 2017; Kabul: 4 Aralık 2017)  
(Received: September 27, 2017; Revised: November 28, 2017; Accepted: December 4, 2017)*

### Abstract

This study has examined observed variations and trends in annual number of the tropical nights recorded at the 92 climatological and meteorological stations of Turkey during the 1950-2016 periods. Tropical nights are defined as the number of days with a daily T<sub>min</sub> greater than 20°C. Mann-Kendall rank correlation and linear regression analyses revealed that numbers of the tropical nights has tended to increase statistically at majority of the stations (87 of 92). When year to year variations are considered, it is seen that annual numbers of the tropical nights were mostly below long-term average of 1950-1984 period with a decreasing trend. The minimum annual numbers of the tropical nights during this period occurred in the years of 1976, 1968 and 1984. On the other hand, annual numbers of the tropical nights indicated persistent increasing trend with marked positive anomalies after the year of 1985, and reached the maximum numbers in the years of 2010, 2012 and 2016. Observed increasing trends become apparent at the coastal stations with already higher numbers of the tropical nights, whereas the trends decreased at the continental stations of the Central and Eastern Anatolia regions characterised with already lower numbers and higher variability. These results have shown that the night-time air temperatures tended to increase rapidly beginning since the mid-1980s, and revealed also that the night-time minimum air temperature regime or statistical distribution in Turkey changed evidently.

**Keywords:** Climate change and variability, minimum air temperature, number of the tropical night, time-series analysis.

---

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar/ Corresponding author: Ecmel ERLAT / emel.erlat@ege.edu.tr

## Öz

Çalışmada, Türkiye’deki 92 klimatoloji ve meteoroloji istasyonunda 1950–2016 döneminde kaydedilen yıllık tropikal gece sayılarında gözlenen değişimler ve eğilimler incelenmiştir. Tropikal gece, 2 metrede gözlenen minimum hava sıcaklıklarının ( $T_{\min}$ ) 20°C’den büyük olduğu gece olarak tanımlanmakta ve günlük  $T_{\min}$ ’lerin 20°C’den yüksek olduğu günler sayısı olarak adlandırılan basit bir indis aracılığıyla yıllık olarak incelenmektedir. Mann-Kendall sıra ilişki katsayısı ve basit doğrusal regresyon analizleri, tropikal gece sayılarının istasyonların çoğunluğunda (92’nin 87’sinde) istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. Yıllar arası değişimler göz önüne alındığında, değerlerin 1950-1984 döneminde uzun dönem ortalamasının genellikle altında kaldığı ve azalma eğilimi gösterdiği görülür. Türkiye’de bu dönem içinde en düşük yıllık tropikal gün sayılarına 1976, 1968 ve 1984 yıllarında rastlanmaktadır. Yıllık tropikal gün sayıları 1985 yılından sonra sürekli pozitif anomali göstererek kuvvetli bir artış eğilimi sergilemiş ve en yüksek sayılara 2010, 2012 ve 2016 yıllarında ulaşmıştır. Gözlenen artış eğilimi tropik gece sayılarının zaten yüksek olduğu kıyı istasyonlarında belirginleşirken, karasallığın arttığı, tropik gece sayılarının düşük ve daha değişken olduğu İç ve Doğu Anadolu istasyonlarında zayıflamaktadır. Bu sonuçlar Türkiye’de gece sıcaklıklarının 1980’li yılların ortalarından itibaren hızla yükseldiğini ve minimum sıcaklık rejiminin ya da istatistiksel dağılımının dikkat çekici bir biçimde değiştiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişikliği ve değişkenliği, minimum hava sıcaklığı, tropikal gece sayısı, zaman dizisi analizi.

## 1. Giriş

Küresel ortalama sıcaklıklar son 140 yılda zamansal olarak belirgin bir artış eğilimi içindedir. Ortalama sıcaklıklar yanında tüm dünyada özellikle 1950’li yıllardan itibaren ekstrem (aşırı, uç) sıcaklıkların frekansı, şiddeti, uzunluğu, zamanlaması ve alansal dağılımında farklılıklar gözlenmekte ve bu durum iklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Katz ve Brown, 1992; Easterling vd., 2000; IPCC 2012). Günümüzde birçok çalışmanın sonuçları aşırı hava sıcaklıklarında gözlenen değişikliğin ağırlıklı olarak antropojen etkilere bağlanabileceğini göstermektedir (ör. Stott, 2003; Christidis vd., 2005; Shiogama vd., 2006). Örneğin, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2012 yılına ait raporunda, “Değişen bir iklim, aşırı hava ve iklim olaylarının frekansı, yoğunluğu, coğrafi dağılışı, süresi ve zamanlamasında değişikliklere neden olur ve benzeri görülmemiş aşırı hava ve iklim olaylarına neden olabilir” ifadesine yer vermiştir (Seneviratne vd., 2012). İnsanların oluşturduğu veya doğal ekosistemler, ortalama sıcaklık koşullarında gözlenen değişime daha kolay uyum sağlarken, nadir ve ani olarak gözlenen sıcaklık ekstremlerine uyum sağlamakta zorlanmaktadır. Bu durum, ekstrem sıcaklıklardaki değişimin başta insan sağlığı olmak üzere hidrolojik ve ekolojik

özellikleri birçok yönden olumsuz etkileme potansiyelini de arttırmaktadır.

Yapılan çalışmalar, 1950’li yıllardan itibaren küresel olarak sıcak ekstremlerin frekansı ve şiddetinin arttığını, soğuk ekstremlerin ise azaldığını göstermektedir. Örneğin küresel olarak 20. yüzyılın ikinci yarısında sıcak gece sayıları (günlük minimum sıcaklığın 90. persantilin üzerinde olduğu) hem gözlemlerde hem de iklim model kestirimlerinde önemli bir artış eğilimi göstermiştir. Artış eğilimi 1970-2003 alt döneminde daha da belirginleşmektedir. Sıcak gece sayılarında gözlenen değişim ortalama sıcaklıklar ile yüksek bir korelasyon göstermekte, bölgesel olarak ortalama sıcaklıkların daha hızlı arttığı alanlarda sıcak gece sayılarında gözlenen artış eğilimi de kuvvetlenmektedir (Morak vd., 2011). 1951-1980 referans dönemine göre mevsimlik ortalama sıcaklık anomalilerinin incelendiği çalışmanın sonuçları, normal dağılımda yaklaşık % 0.13’lük bir yer tutan ekstrem anomalilerin ( $+3\sigma$ ) frekansının, referans döneminin yaz mevsiminde yaklaşık % 0.1–0.2 olduğunu göstermiştir. Son yıllardaysa, yaz mevsiminde  $+3\sigma$  standart değerini (standart normal  $Z$  değeri) geçen sıcaklık ekstremlerinin oranı % 10’a ulaşmıştır (Hansen vd., 2012). 1950-2011 dönemindeki sıcak devreleri (en az birbirini izleyen 3 gün boyunca sıcaklıkların 90. persantilin üzerinde kaldığı) ve sıcak hava dalgalarındaki küresel eğilimleri inceleyen bir

araştırmanın sonuçları, Kuzey Amerika, Avrasya ve Avustralya'da sıcak devre sayılarının (% 1.2/on yıl) yılın her mevsiminde olmak üzere sıcak hava dalgalarına göre çok daha hızlı ve belirgin bir şekilde artma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur (Perkins vd., 2012). Küresel ölçekte 7000 istasyonun 1901-2010 dönemini kapsayan bir çalışmanın sonuçları, serin gecelerin (günlük maksimum sıcaklığın 10. persantilin altında kaldığı) 1950'li yıllardan 2010'a kadar yaklaşık % 50 (18 gün) azaldığını, sıcak gece (günlük minimum sıcaklığın 10. persantilin üzerinde kaldığı) sayılarının ise küresel olarak son 60 yılda yaklaşık % 55 (yılda 20 gün) arttığını ortaya koymuştur. Artış eğilimleri 1901-2010 dönemi ile karşılaştırıldığında 1951-2010 döneminde çok daha belirgin duruma geldiği belirtilmektedir (Donat vd., 2013). 1990'lı yılların sonlarından itibaren küresel ortalama sıcaklık artış hızında gözlenen yavaşlama eğilimi ve ekstrem olayların frekansını arttıran kuvvetli bir El Niño olayı gözlenmemesine karşın, sıcak ekstremlerinde belirli eşik değerleri aşma oranı artmaya devam etmiştir. Son yıllarda küresel ortalama sıcaklıklardaki gözlenen artma/azalma yönündeki eğilimler ile ekstremlerde gözlenen eğilimlerin birbirine paralel olmaması, karalar üzerinde doğrudan sıcaklık ekstremlerini etkileyen geri besleme mekanizmalarının güçlendirici sonuçlarına bağlanmaktadır. Örneğin orta enlemlerde kuraklığın artması, yüksek sıcaklıklara ait ekstrem olayların frekansındaki artış eğilimini güçlendirmektedir (Seneviratne vd., 2014). 16 sıcaklık indisine göre 1960-2010 dönemi günlük minimum ve maksimum hava sıcaklıklarındaki değişiminin incelendiği bir başka çalışma, küresel olarak yıllık tropikal gece sayılarında % 5 anlamlılık düzeyinde olmak üzere doğrusal trendin 0.181, Avrupa'da ise 0.099 artış eğilimi içinde olduğunu göstermektedir (Christidis ve Stott, 2016). Yapılan çalışmalar sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişimlerde önemli bir kır-kent farkının da bulunduğunu göstermektedir. Örneğin Floransa'da kent merkezi ile yakın çevresindeki kırsal alanlar arasında yer alan 25 istasyonda 5 yıl boyunca ekstrem sıcaklıklarda gözlenen farklılıkları araştıran bir çalışmanın sonuçları, yaz mevsiminde tropikal gece sayılarının kent merkezi ile kırsal bölgeler arasında 42 ile 37 gün, sonbaharda 3 gün farklılaştığını, ilkbaharda

ise bu farkın 1 geceden aza düştüğü belirlenmiştir (Petralli vd., 2011).

Küresel sonuçlarla uyumlu olarak Türkiye'de de ortalama sıcaklıklar yükselmekte, soğuk ekstremler azalırken sıcak ekstremlerin frekansı, şiddeti ve alansal dağılışı artmaktadır. Yıllık ortalama, yıllık ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıkları üzerinde yapılan bir çalışma, çalışmada kullanılan istasyonların çoğunda sıcaklıkların istatistiksel açıdan anlamlı bir artış eğilimi içinde olduğunu ortaya koymuştur (Türkeş vd., 2002). Türkiye'de 1950-2010 döneminde günlük maksimum sıcaklıklarda gözlenen değişimlere ilişkin yapılan bir çalışma, yıllık yaz ( $\geq 25$  °C) ve tropikal gün ( $\geq 30$  °C) sayılarının 1950-1975 döneminde hafif bir azalma, 1975 sonrasında belirgin bir artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. 2010 yılında, başta Kuzeydoğu Anadolu bölümü olmak üzere Türkiye'nin büyük bir bölümünde yıllık yaz/tropikal gün sayıları 1961-1990 dönemi ortalamasının 3 standart sapma değeri üzerine çıkmıştır (Erlat ve Türkeş, 2013). Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından iklim komisyonu (CCI/CLIVAR Expert Team) tarafından önerilen 27 iklim indisine göre, birçoğu % 5 düzeyinde anlamlı olmak üzere Türkiye'deki yaz, sıcak gün ve gece ile tropikal gece sayıları 1960-2010 döneminde artış, don olaylı gün, serin gün ve serin gece sayıları ise azalma eğilimi göstermiştir (Şensoy vd., 2013). Türkiye'de yaz mevsiminde günlük maksimum hava sıcaklıklarında 90. persantil ölçütüne göre sıcak gün ve sıcak dalgalarının incelendiği bir çalışmada, 1965-2006 döneminde Türkiye'nin batısında sıcak gün sayıları ve sıcak dalgalarının süresinin arttığı, bu artışın 1998 sonrası belirginleştiği bulunmuştur. Yazarlar ayrıca, bu dönemde sıcak dalgalarının sayısı ile Akdeniz'de deniz yüzeyi sıcaklıkları ve orman yangınları arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğu sonucuna ulaşmıştır (Ünal vd., 2013).

Bu çalışmada, ekstrem/rekor yüksek/düşük hava sıcaklıklarındaki değişiklikleri belirlemeye yönelik çalışmalarımızın bir devamı olarak, konuyla ilgili önerilen indislerden biri olan tropikal gece sayılarının Türkiye'deki 92 meteorolojik-klimatoloji istasyonunda 1950-2016 döneminde gösterdiği değişimler ve eğilimler incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, 1950-2016 döneminde (67 yıl) Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 92 meteoroloji-klimatoloji istasyonunda kaydedilen günlük minimum hava sıcaklıkları kullanılmıştır. İstasyonların seçiminde kayıt uzunlukları ve kayıt süresi içinde eksik gözlemlerin olmaması gibi ölçütler esas alınmıştır (Şekil 1). Buna göre çalışmada günlük minimum sıcaklıkları kullanılan 92 istasyonun 66'sında rasat süresi 67 yıldır, 26 istasyonda ise 54-65 yıl arasında değişmektedir.

Tropikal gece sayılarının saptanmasında Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) 2001 yılında bir uzman ekip tarafından formüle edilen ve günlük sıcaklık ve yağış verilerine dayanan Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDI) ([http://etccdi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)) 27 indis setinde yer alan tropikal gece indisi esas alınmıştır (Peterson vd., 2001). Buna göre tropikal gece sayısı (TR), 2 m'deki günlük minimum hava sıcaklığının  $> 20$  °C olduğu gün olarak tanımlanır.

92 istasyonda 1950-2016 döneminde yıllık tropikal gece sayı dizilerindeki artma veya azalma yönündeki olası eğilimleri belirlemede basit doğrusal regresyon analizi ile parametrik olmayan Mann-Kendall sıra ilişki katsayısından (Sneyers, 1990) yararlanılmıştır. Basit doğrusal regresyon analizi ile zaman bağımsız değişken, yıllık tropikal gece sayıları ise bağımlı değişken kabul edilerek hem istasyonların hem de Türkiye ortalamasına ait zaman serilerinin trend oranları hesaplanmıştır. Regresyon katsayısı  $\beta$ 'nin istatistiksel anlamlılığı ( $n-2$ ) serbestlik dereceli Student  $t$  testi ile sınıd.

Mann-Kendall sınamaya örneklemdeğeri, bir dizideki (monotonik gidişli doğrusal olmayan) uzun süreli eğilimin yönünü ve istatistiksel büyüklüğünü vermektedir (Türkeş vd., 2002; Türkeş, 2013). Orijinal  $x_i$  değerleri yerine sıralı dizideki sıra numaralarına karşılık gelen  $y_i$  değerleri kullanılarak, her  $y_i$  değeri için, ( $i > j$ ) olmak üzere kendisinden önceki  $y_j$  elemanlarının sayısı şeklinde tanımlanan bir  $n_i$  sayısı,  $y_i > y_j$  olan sıra numaralarının sayısı hesaplanarak bulunur. Dizideki ilk sıra numarası  $y_1$ , dizide kendinden önceki tüm  $y_i$ 'lerin sıra numaralarıyla karşılaştırılır. Değeri  $y_1$ 'den küçük olan önceki

$y_i$ 'lerin sayısı hesaplanır ve bu sayı  $n_1$  olarak gösterilir. Sonra ikinci sıra numarası  $y_2$ , kendinden önceki tüm terimlerin sıra numaralarıyla karşılaştırılır;  $y_2$ 'den küçük önceki terimlerin sayısı hesaplanır ve bu sayı  $n_2$  olarak gösterilir. Bu işlem dizideki her  $y_i$  terimi için  $y_n$ 'e kadar sürdürülür.  $M-K$  sıra ilişki katsayısı  $u(t)$  aşağıdaki şekilde hesaplanır (Türkeş, 2013):

Önce sınama örneklemdeğeri,  $t$ , Eşitlik (1) ile gösterilir:

$$t = \sum_{i=1}^n n_i \quad (1)$$

Sınama örneklemdeğerinin dağılım fonksiyonu, boş hipotez altında asimtotik normaldir.

Dağılım fonksiyonunun ortalaması ( $E(t)$ ) ve varyansı ( $\text{var}(t)$ ), aşağıdaki eşitlikler (Eşitlik 2, Eşitlik 3) hesaplanır:

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (2)$$

$$\text{var}(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (3)$$

Son olarak, Mann-Kendall sınamaya örneklemdeğeri,  $u(t)$ ,

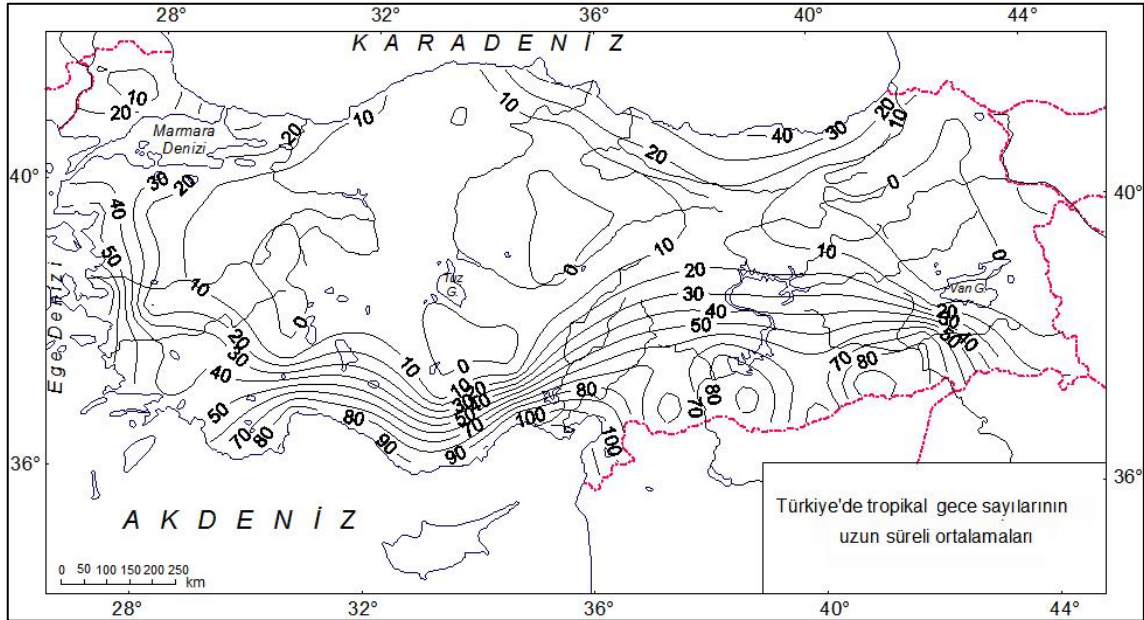
$$u(t) = \frac{t - E(t)}{\sqrt{\text{var}(t)}} \quad (4)$$

eşitliği ile gösterildiğinde, “Gözlem dizisinin ortalamasında herhangi bir eğilim yoktur” boş hipotezi,  $u(t)$ 'nin büyük değerleri için reddedilir. Hesaplanan  $u(t)$  değerinin, 0.05 ya da 0.01 düzeyinde anlamlı olması durumunda  $u(t) > 0$  ise artan  $u(t) < 0$  ise azalan yönde önemli bir eğilimin varlığı kabul edilir (Türkeş vd., 2002; Türkeş, 2013).



Şekil 1- Çalışmada kullanılan klimatoloji ve meteoroloji istasyonlarının yerleri ve coğrafi bölgelere göre dağılışı.

Figure 1- Locations and geographical distribution of the climatological and meteorological stations used in the study.



Şekil 2- Türkiye'de yıllık tropikal gece sayılarının uzun süreli ortalamalarının coğrafi dağılışı.

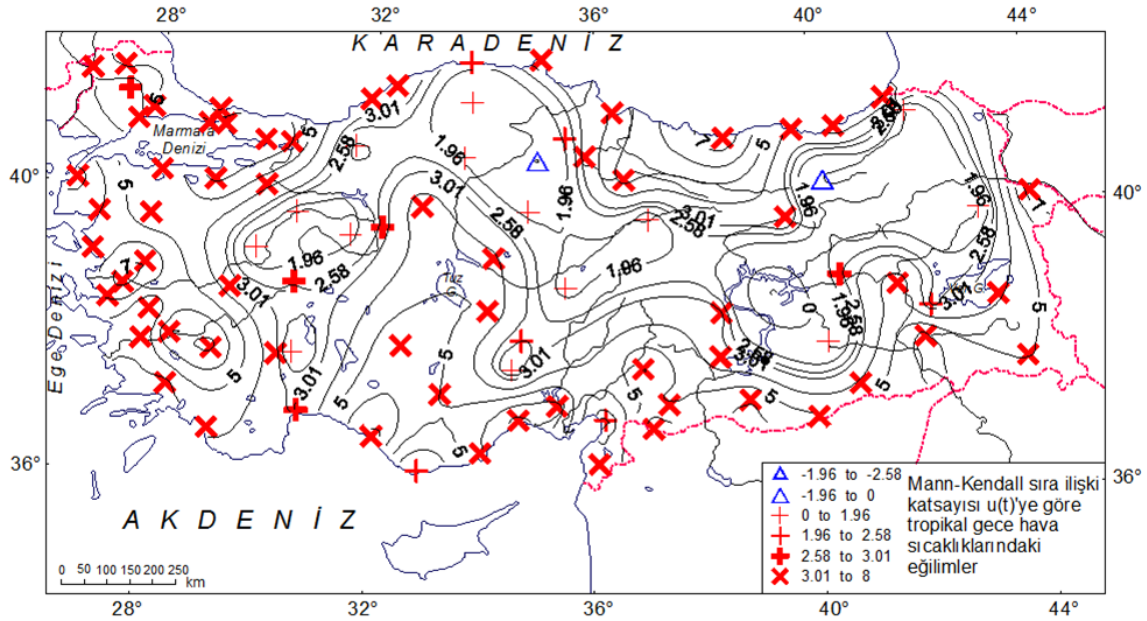
Figure 2- Geographical distribution of long-term averages of the annual number of tropical nights in Turkey.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Türkiye’de yıllık tropikal gece sayılarının alansal dağılışı

Türkiye’de yıllık ortalama tropikal gece sayılarının alansal dağılımı yükselti, karasallık ve yer şekilleri gibi fiziki coğrafya faktörlerine bağlı olarak önemli bölgesel farklılıklar göstermektedir (Şekil 2). Tropikal gece sayılarında en yüksek yıllık ortalama değerlere, 90 gün ile güneşlenme süresi ve şiddetinin en yüksek olduğu, denize yakın, yükseltinin az olduğu ve yılın büyük bir bölümünde güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin etkisinde kalan Akdeniz kıyılarındaki istasyonlarda erişilmektedir. Özellikle Akdeniz kıyı kuşağının doğusunda yer alan Silifke, Mersin, Dört Yol ve Antakya gibi istasyonlarda yıllık ortalama tropikal gece sayıları 100 günün üzerine çıkmaktadır. Güneydoğu Anadolu’nun güneyinde yer alan Adıyaman, Mardin ve Şanlıurfa gibi istasyonlarda ise bu sayı 90-80 gün aralığında değişmektedir. Edremit körfezinden başlamak

üzere kıyı Ege ve Akdeniz bölgesinin iç kısımlarında bu değer 50 gün civarında değişmektedir. Doğu Karadeniz’de 40-30 gün arasında değişen yıllık ortalama tropikal gece sayıları, Marmara bölgesinde 20 güne düşmektedir. Kıyılarından iç kesimlere gidildikçe artan yükselti ve karasallık değerlerine bağlı olarak yıllık ortalama tropikal gece sayılarında belirgin bir değişim göze çarpmaktadır. Türkiye’de İç Batı Anadolu eşliğinin doğusunda başlamak üzere İç Anadolu ve Doğu Anadolu’nun yer alan birçok istasyonda bu sayı 10 günün altına düşmektedir. Bu alanda yer alan Kütahya, Ulukışla, Sivas ve Bayburt gibi istasyonlarda yıllık ortalama tropikal gece sayısı 1 günün altındadır. Doğu Anadolu’nun kuzeydoğusunda yer alan istasyonlarında ise rasat süresi içinde ölçülen minimum sıcaklıklarda tropikal gece sayıları ölçütüne uyan değerler gözlenmemiştir. Örneğin bu alanda bulunan Ardahan, Kars ve Sarıkamış istasyonlarında son 67 yılda minimum sıcaklıklar 20 °C üzerine hiç çıkmamıştır.



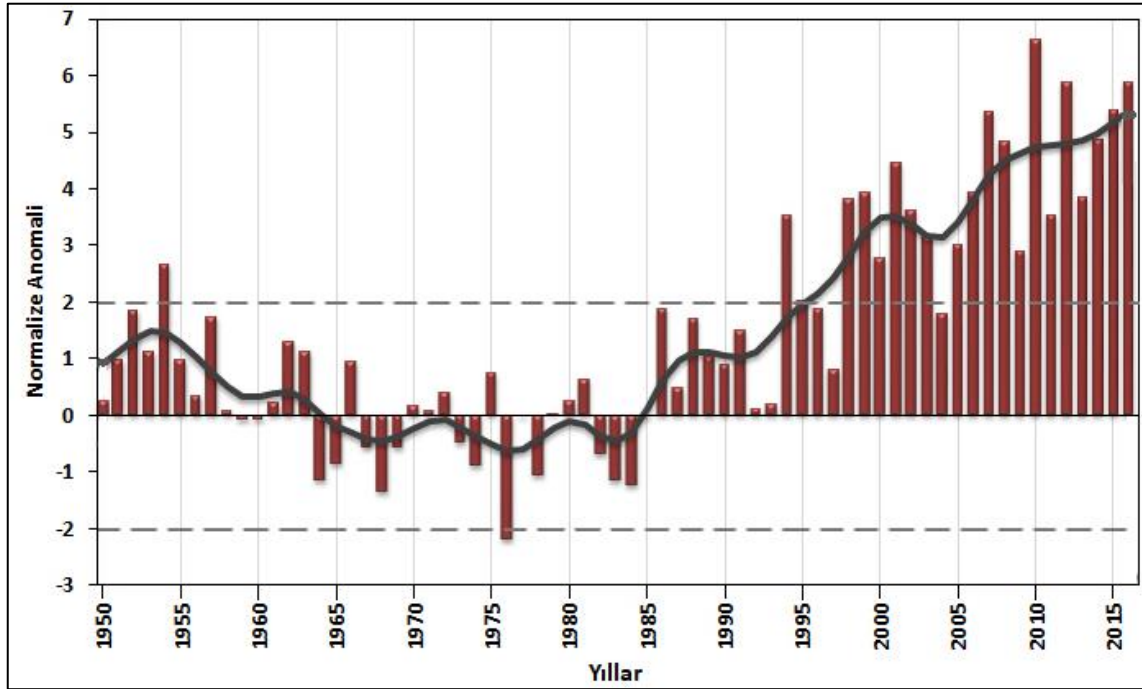
Şekil 3- Mann-Kendall sıra ilişki sınavına göre, Türkiye’de 1950-2016 döneminde yıllık tropikal gece sayılarında saptanan uzun süreli eğilimlerin coğrafi dağılışı desenleri.

Figure 3- Geographical distribution patterns of long-term trends in the annual numbers of tropical nights of Turkey during the period 1950–2016, according to the Mann–Kendall rank correlation test.

### 3.2. Tropikal gece sayılarında gözlenen değişim ve eğilimler

Mann-Kendall sınavasının sonuçlarına göre, 1950-2016 yılları arasını kapsayan 67 yıllık dönemde, yıllık tropikal gece sayıları 87 istasyonda artış eğilimi göstermiştir. Buna karşın, Elazığ istasyonunda anlamlı olmak üzere Bayburt ve Çorum istasyonlarında azalma eğilimi gözlenmiştir. Son 67 yılda yıllık tropikal gece sayılarında en belirgin artış eğilimi Akdeniz, Ege ve Karadeniz bölgelerinin kıyı kuşağında yer alan istasyonlar ile Akdeniz iklim tipinin özelliklerini taşıyan Iğdır istasyonunda görülmektedir. İç Batı Anadolu eşliğinin doğusunda, Orta Karadeniz'in iç kısımlarında ve kuzeydoğu Anadolu'da bu eğilim zayıflamaktadır (Şekil 3). Mann-Kendall sınavasının sonuçları ile uyumlu olarak basit doğrusal regresyon analizine göre tropikal gece

sayılarının gözlendiği 89 istasyonun 87'sinde yıllık tropikal gece sayıları 1950-2016 dönemi içinde artış eğilimi göstermiştir. Bu artış eğilimi 8 istasyon dışında, 69 istasyonda % 1, 10 istasyonda ise % 5 düzeyinde olmak üzere anlamlıdır. En kuvvetli artış eğilimi Denizli, Manisa, Giresun ve Çanakkale istasyonlarında gözlenmektedir. Karasallığın arttığı ve tropikal gece sayılarının azaldığı buna karşılık değişkenliğin yükseldiği İç ve Doğu Anadolu'da yer alan Ağrı, Bolu, Çankırı, Kastamonu ve Sivrihisar gibi istasyonlarda ise artış eğilimi zayıflamaktadır. Buna karşılık son 67 yıllık dönemde Elazığ ve Bayburt istasyonlarında ise yıllık tropikal gece sayıları azalma eğilimi göstermiştir. Gözlenen azalma eğilimi Elazığ istasyonunda % 1 düzeyinde anlamlıdır.



Şekil 4- Türkiye ortalaması yıllık tropikal gece sayılarının 1961-1990 normaline (ortalama ve standart sapması) göre standartlaştırılmış yıllık anomalilerindeki uzun süreli dalgalanma ve yıllararası değişimler. Yıllık anomali dizilerindeki yıllararası değişkenlik 9 noktalı Gauss filtresi (standart normal dağılımlı) (—) ile düzleştirildi.

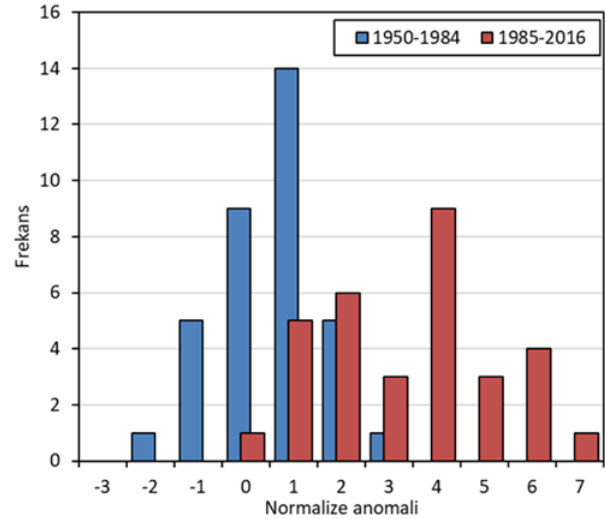
Figure 4- Long-term fluctuations and year-to-year variability in standardized annual anomalies of country-based averaged number of tropical nights in Turkey relative to the average and standard deviation of 1961–1990 normal period. Bold solid curve shows the 9-point Gaussian smoothing (—).

Türkiye’de yıllık tropikal gece sayılarında zaman içinde gösterdiği değişimleri göz önüne alarak, yıllık tropikal gece sayılarındaki eğilimleri 1950-1984 ve 1985-2016 olmak üzere iki dönem halinde incelemek mümkündür (Şekil 4). Referans dönemi ortalaması esas alındığında, değerlerin 1950-1984 dönemi içinde daha değişken olduğu, 1950-1958 yılları arasında ortalamanın üzerinde kalan yıllık tropikal gece sayılarının, 1959 yılından başlamak üzere ağırlıklı olarak ortalamanın altında kaldığı gözlenir. 1950-1984 yılları arasında dönemi karakterize eden özelliklerden biri de Türkiye’deki istasyonlarda en düşük yıllık tropikal gece sayılarının bu dönem içinde gözlenmesidir. Türkiye ortalamasına göre yıllık tropikal gece sayılarında en düşük değere  $-2.20$  anomali değeri ile 1976 yılında rastlanmaktadır. Örneğin referans dönemine göre yıllık ortalama tropikal gece sayılarının 27 gün olduğu Muğla’da bu değer 1976 yılında 2 güne ( $-2.70$ ), ortalama 38 gün olan Dikili’de 10 güne ( $-2.55$ ) düşmüştür. Bunu 1968 ( $-1.35$ ) ve 1984 ( $-1.25$ ) yılları izlemektedir. Basit doğrusal regresyon analizine göre 1950-1984 döneminde Türkiye’de yıllık tropikal gece sayıları her on yıl için  $-2.4$  gün olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir.

Türkiye ortalamasına göre 1985 ile 2016 yılları arası ise yıllık tropikal gece sayıları bakımından kesintisiz pozitif anomali değerleri ile karakterize olmaktadır. Bu dönem içinde birçok istasyonda yıllık tropikal gece sayıları 1991 yılında Pinatubo volkanının püskürmesini izleyen ilk 2 yılda bir azalma göstermiştir. Volkanik püskürmenin oluşturduğu soğuma etkisinin zayıfladığı 1994 yılından itibaren değerler birkaç yıl dışında uzun süreli ortalamanın  $+3$  standart sapma değerinin üzerinde kalmıştır. Bu dönem içinde 2010 ( $+6.67$ ), 2016 ( $+5.90$ ) ve 2012 ( $+5.89$ ) yılları gözlenen en yüksek pozitif anomali değerleri ile dikkati çekmektedir (Şekil 4). Örneğin referans dönemine ortalamasına göre yıllık tropikal gece sayılarının 5 gün olduğu Bursa istasyonunda 2010 yılında bu değer 40 güne ( $+9.8$ ), ortalamanın 3 gün olduğu Artvin ve Burdur’da 28 ( $+8.47$ ,  $+8.45$ ) güne yükselmiştir. Doğrusal trend analiz sonuçları 1985-2016 döneminde (32 yıl) tüm istasyonlarda bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Bu dönemde yıllık tropikal gece sayılarının  $0.01$  anlamlılık düzeyinde olmak üzere

her on yıl için  $6.6$  gün arttığı görülür (Şekil 6). 1985 yılı sonrası en hızlı artış eğilimi Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Ege kıyılarında yer alan istasyonlarda gözlenmektedir. Yıllık tropikal gece sayıları  $0.01$  anlamlılık düzeyinde olmak üzere 1985-2016 döneminde Fethiye’de  $29.1$  gün/on yıl ve Antalya’da  $25.5$  gün/on yıl artış göstermiştir. Trabzon, Göztepe, Tekirdağ ve Dikili istasyonlarda ise bu değerler  $16$  gün/on yıl civarındadır.

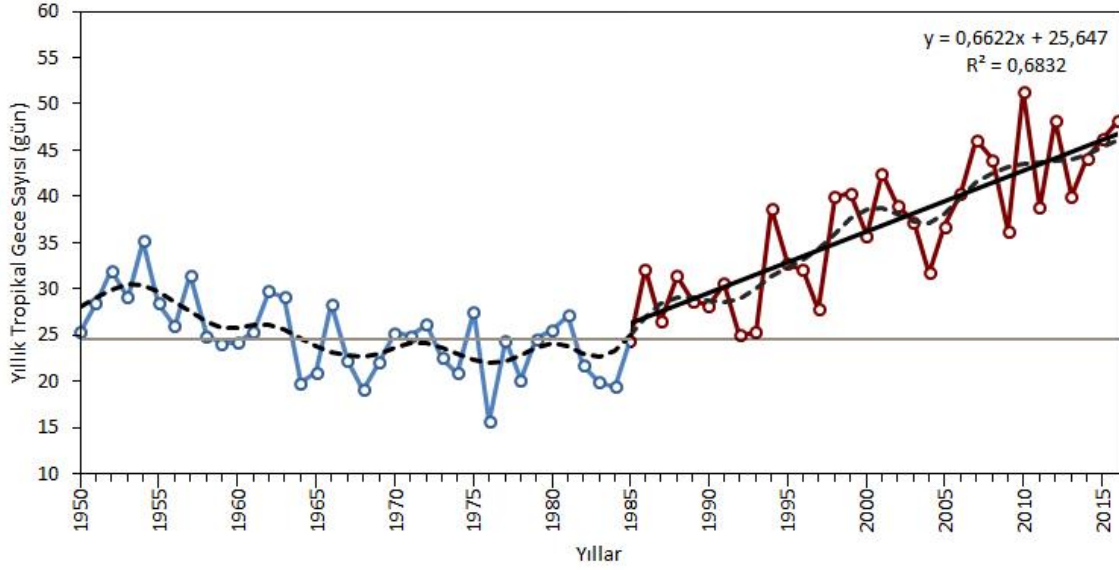
Belirlenen iki döneme ait histogramlar incelendiğinde, bu dönemlerin ortalamalarının önemli ölçüde değiştiği belirgin bir biçimde görülmektedir. Bu karşılaştırmaya göre, 1950-1984 döneminde  $24.9$  gün olan yıllık tropikal gün sayısı 1985-2016 döneminde  $36.6$  güne yükselmiştir. İlk dönemde en yüksek frekansa, referans dönemine göre  $+1$  anomali gösteren değerler sahipken, ikinci dönemde dağılımın değişerek ortalamadan  $+4$  anomali değeri gösteren aralığa doğru kaydığı gözlenir. Ortalamaların yanı sıra her iki döneme ait verilerin değişkenliğinde de farklılıklar göze çarpmaktadır. 1985-2016 döneminde sıklık dağılımının basıklık oranındaki artış, yıllık tropikal gece sayılarının ortalamadan uzaklaştığını ve daha değişken hale geldiğini göstermektedir.



Şekil 5- Yıllık tropikal gün sayılarının 1950-1984 ve 1985-2016 dönemlerine ait frekans histogramlarının karşılaştırılması. Sınıf aralıkları 1961-1990 normal dönemi anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 5- Comparison of the frequency histograms of number of the tropical days for the 1950-1984 and 1985-2016 periods. Class ranges were arranged according to the anomalous values of the 1961-1990 normal period.





Şekil 6- Türkiye’deki 92 istasyonun yıllık toplam tropikal gece sayılarının yıllık ortalamalarında 1950-2016 döneminde gözlenen yıllararası değişimler ve 1985 yılı sonrasında gelişen istatistiksel açıdan anlamlı doğrusal artış eğilimi. Grafikteki düz ince çizgi 1961-1990 normalini (ortalamasını), kesik eğri çizgi 9 noktalı Gauss filtresini ve kalın düz çizgi ise 1985-2015 dönemi Türkiye ortalaması yıllık verilere uydurulan en küçük kareler doğrusal regresyon trend çizgisini gösterir.

Figure 6- Inter-annual variations in Turkey’s annual numbers of the tropical nights averaged from 92 stations observed during the period of 1950–2016. Graph shows interannual variability of annual numbers of tropical nights relative to 1961-1990 normal (thin solid line) with a 9-point Gaussian filter (dashed curve) and linear trend line of the least-squares regression (boldsolid line) fitted to the annual average data of Turkey.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Türkiye’de 92 istasyonun 1950-2016 dönemine ait günlük minimum sıcaklıklar kullanılarak gece sıcaklıklarının  $> 20$  °C olduğu tropikal gece sayılarının zaman içinde değişimi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1-Basit doğrusal regresyon ve Mann-Kendall sonuçları, tropikal gece sayılarının gözlemlendiği 89 istasyondan 87’sinde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere yıllık tropikal gece sayılarının artma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Doğrusal trend sonuçlarını 1960-2010 döneminde yıllık tropikal gece sayılarında küresel (+ 0.181) ve Avrupa’da (+ 0,099) gözlenen doğrusal artış eğilimi ile karşılaştırdığımızda (Christidis ve Stott, 2016), aynı dönemde Türkiye’de bu eğilimin (+ 0.411) çok daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar küresel ve bölgesel ölçekte 20. yüzyıldan itibaren günlük minimum sıcaklıkların maksimum

sıcaklıklara göre çok daha hızlı arttığı yönündeki çalışmaların sonuçları ile uyumludur (Morak vd., 2013). Bu asimetri antropojen kökenli iklim değişiminde daha sıcak bir rejime doğru kaymanın yanında sıcaklık dağılımının da değiştiğini göstermektedir. Türkiye’de 1950-2016 döneminde yıllık tropikal gece sayılarının istatistiki olarak anlamlı olmak üzere azalma eğilimi gösterdiği tek istasyon Elazığ’dır. Bu durum su tutumu 1975 yılında tamamlanan Keban baraj gölünün çevresinde oluşturduğu iklimik etkilere bağlanabilir. Mann-Kendall analizi sonuçları, 1963-1990 döneminde Keban baraj gölü çevresinde DSI’nin kurduğu meteoroloji istasyonlarında kış mevsimi dışında minimum sıcaklıkların belirgin bir azalma eğilimi gösterdiğini, azalma eğiliminin yaz mevsimde % 1 seviyesinde anlamlı olduğunu işaret etmektedir (Kadıoğlu vd., 1994).

2- Türkiye’de tropikal gece sayılarının yıllara göre gösterdiği değişim esas alındığında iki dönem ayırt edilebilir. Bunlardan 1950-1984 yılları

arasında değerler çoğunlukla uzun yıllar ortalamasının altında kalmış ve genel olarak bir azalma eğilimi göstermiştir. Türkiye ortalamasına göre son 67 yıl içinde tropikal gece sayılarının en düşük değerine 1976 rastlanmaktadır. Türkiye’de 1976 yılı özellikle yaz mevsimi minimum sıcaklıkların yanı sıra günlük maksimum sıcaklıklarında azaldığı bu nedenle 1950 yılından itibaren en az yaz ve tropik gün sayısının gözlemlendiği yıl olma özelliğini taşımaktadır (Erlat ve Türkeş, 2013). Yapılan çalışmalar 1970’li yılların ortalarının sadece Türkiye için değil tüm dünyada küresel iklim sisteminin yeni bir dengeye oturduğu döneme karşılık geldiğini göstermektedir. Nitekim 1976-1977 yılları tropikal Pasifik’te deniz suyu sıcaklıklarında gözlenen anormal bir artış, Pasifik Onyıllık Salınım İndisinin (PDOI) negatif evreden pozitif evreye kaymasına yol açmıştır (Coper ve Garreaud, 2015). Gözlemler ve nümerik modeller 1970’li yılların ortalarında tüm dünyada iklim anomalileri ile kendini belli eden bu dönemin ortaya çıkışının ana nedeni olarak atmosferde sera gazlarındaki artış ve buna tropikal kuşaktaki okyanus suyu sıcaklıklarındaki değişimi göstermektedir (Hare ve Mantua, 2000; Meehl vd., 2014, 2016).

3- Türkiye’de yıllık tropikal gece sayılarındaki en önemli değişim ise 1980’li yılların ortalarında gözlenmektedir. 1985 yılından itibaren Türkiye’de birçok istasyonda yıllık tropikal gece sayıları uzun yıllar ortalamasının 3 standart sapma değerinin üzerine çıkarak kuvvetli bir artış eğilimi göstermiştir. 1970’li yılların ortasında olduğu gibi 1980’li yılların ortaları da iklim sistemindeki bir başka değişim dönemine (İng. climate shift) karşılık gelmektedir. Etkisi daha çok kuzey yarımkürede hissedilen bu dönemde, başta fenolojik gözlemlerde olduğu gibi karasal ve denizel biyosferde, meridyonel ve zonal rüzgâr desenlerinde ve Arktik bölgede deniz seviyesi basınç koşullarında önemli değişimler gözlenmiştir (Reid vd., 2016). Bu dönem içinde Türkiye’de tropikal gece sayıları maksimum değerine 2010 yılında ulaşmıştır. 2010 yılında incelenen 89 istasyonun 30’unda, yıllık tropikal gece sayıları rasat süresi içindeki en yüksek değerine ulaşırken, değerler uzun dönem ortalamasının 4 standart sapma üzerine çıkmıştır. Türkiye’de 2010 yılı, tropikal gece sayılarının yanı

sıra yaz ve tropik gün sayılarının en yüksek sayıya buna karşılık don olaylı gün sayılarının en düşük değerine ulaştığı yıl olma özelliğini taşımaktadır (Erlat ve Türkeş, 2012).

4-Doğrusal trend analizinin sonuçları istasyonlarda en hızlı artış eğiliminin havadaki nem içeriğinin daha yüksek olduğu Karadeniz, Ege ve Akdeniz kıyı kuşağında yer alan istasyonlarda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum küresel iklim değişimi ile birlikte atmosferde artan nem içeriğinin oluşturduğu pozitif geri besleme mekanizmasını düşündürmektedir. Uydu ve yer gözlemleri yükselen hava sıcaklıklarına paralel olarak atmosferde artan nem içeriğinin, atmosferin karşı radyasyonunu güçlendirdiğini özellikle yüksek enlem ve irtifalarda sıcaklıkların yükselmesine önemli bir katkı sunduğunu göstermektedir (Chen vd., 2011; Rangwala vd., 2009; Gordon vd., 2013).

5- Elde edilen sonuçlar Türkiye’de 1980’li yılların ortalarından itibaren minimum sıcaklıkların ve buna bağlı olarak tropik gece sayılarının belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Uzun dönem ortalamasının 5 standart sapma değerini geçen sayıların 2010, 2012 ve 2016 yıllarına ait olması, bu eğilimin son yıllarda şiddetlenerek devam ettiğini kanıtlamaktadır. Yıllık tropik gece sayılarında gözlenen bu artış eğiliminin, günlük sıcaklık aralığının azalmasına, fenolojik olayların başlama ve sona erme tarihlerinin değişmesine bununla bağlantılı olarak tarım zararlılarının ve patojenlerin çoğalma ve hayatta kalma sürelerinin farklılaşmasına yol açacağı öngörülebilir. Ayrıca gece sıcaklıklarının yükselmesi özellikle büyük kentlerde yaşayan nüfus başta olmak üzere insan konforunu olumsuz etkileyeceği açıktır. Bu durum soğutma gün sayıları ve enerji tüketiminin artacağı anlamına gelmektedir.

## REFERANSLAR

- Chen, Y., Miller, J.R., Francis J.A., Russell, G.L. 2011. Projected regime shift in Arctic cloud and water vapor feedbacks, *Environmental Research Letters*, 6, 044007, DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/044007.
- Christidis, N., Stott P. A., Brown S., Hegerl, G., Caesar, J. 2005 Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century, *Geophysical Research Letters*, 32, L20716, doi:10.1029/2005GL023885.
- Christidis, N., Stott, P. A. 2016. Attribution analyses of temperature extremes using a set of 16 indices, *Weather and Climate Extremes*, 14, 24–35.
- Coper, M.J., Garreaud, R. D. 2015. Characterization of the 1970s climate shift in South America, *International Journal of Climatology*, 35, 2164–2179.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., vd. 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 2098–2118, doi:10.1002/jgrd.50150.
- Easterling, D.R., Gerald, A.M., Camille, P., vd. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts, *Science*, 289, 2068-2074.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2012. Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010, *International Journal of Climatology*, 32(12), 1889–1898. DOI: 10.1002/joc.2403
- Erlat, E., Türkeş, M. 2013. Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey, *International Journal of Climatology* 33, 1898–1908.
- Gordon, N. D., Jonko, A. K., Forster, P. M., Shell, K. M. 2013. An observationally based constraint on the water-vapor feedback, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 12435–12443, doi:10.1002/2013JD020184.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R. 2012. Perception of climate change, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109, E2415–23.
- Hare, S.R., Mantua, N. J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Progress in Oceanography*, 47, 103–145.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., et al., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582 pp.
- Kadıoğlu, M., Satılmış, S., Özgüler, H. 1994. Büyük su yapılarının çevre iklimine etkisi, Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Ankara, Türkiye, 12-14 Nisan 1994.
- Katz, R.W., Brown, B.G. 1992. Extreme Events in a Changing Climate: Variability Is More Important than Averages. *Climate Change*, 21, 289-302.
- Meehl, G.A., Teng, H. 2014. CMIP5 multi-model initialized decadal hindcasts for the mid-1970s shift and early-2000s hiatus and predictions for 2016-2035, *Geophysical Research Letters*, 41, doi:10.1002/2014GL059256.
- Meehl, G.A., Hu, A., Santer, B.D., Xie, S. P. 2016. Contribution of the Interdecadal Pacific Oscillation to twentieth-century global surface temperature trends, *Nature Climate Change*, 6 (11), 1005–1008, DOI:10.1038/nclimate3107.
- Morak, S., Hegerl, G. C., Kenyon, J. 2011. Detectable regional changes in the number of warm nights, *Geophysical Research Letters*, 38, L17703, doi:10.1029/2011GL048531.
- Morak, S., Hegerl, G. C., Christidis, N. 2013. Detectable Changes in the Frequency of Temperature Extremes, *Journal of Climate*, 26 (5), 1561-1574. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00678.1

- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. 2001. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Reporters 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143p.
- Petralli, M., Massetti, L., Orlandini, S. 2011. Five years of thermal intra-urban monitoring in Florence (Italy) and application of climatological indices, *Theoretical and Applied Climatology*, 104 (3-4), 349-356.
- Perkins, S.E., Alexander, L.V., Nairn, J.R. 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, *Geophysical Research Letters* 39, L20714, doi:10.1029/2012GL053361.
- Rangwala, I., Miller, J., Xu, M. 2009. Warming in the Tibetan Plateau: possible influences of the changes in surface water vapor, *Geophysical Research Letters*, 36(6), L06703.
- Reid, P.C., Hari, R. E., Beaugrand, G., vd. 2016. Global impacts of the 1980s regime shift, *Global Change Biology* 22 (2), 682–703, doi: 10.1111/gcb.13106
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Easterling, D., vd. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., et al. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, NY, pp. 109-230.
- Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Mueller, B., Alexander, L. V. 2014. No pause in the increase of hot temperature extremes, *Nature Climate Change* 4161-4163, doi:10.1038/nclimate2145.
- Shiogama, H., Christidis, N., Caesar, J., Yokohata, T., Nozawa, T., Emori, S. 2006. Detection of greenhouse gas and aerosol influences in changes in temperature extremes, *SOLA*, 2, 152–155, doi:10.2151/sola.2006-039.
- Sneyers, R. 1990 *On the Statistical Analysis of Series of Observations*. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.
- Stott, P. A. 2003. Attribution of regional-scale temperature changes to anthropogenic and natural causes, *Geophysical Research Letters*, 30, 1728, doi:10.1029/2003GL017324.
- Şensoy, S., Türkoğlu, N., Akçakaya, A., Ekici, M., Demircan, M., Ulupınar, Y., Atay, H., Tüvan, A., Demirbaş, H. 2013. Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. 6. *Atmosfer Bilimleri Sempozyumu İTÜ*, İstanbul (s. 24-26).
- Türkeş, M., Sümer, U.M., Demir, İ. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999, *International Journal of Climatology*, 22, 947-977.
- Türkeş, M. 2013. Klimatolojik ve Hidrolojik Verilerin Türdeşlik ve İklimsel Değişkenlik Analizi. Yüksek Lisans Ders ve Kurs Notları (yayımlanmamış), Çanakkale.
- Ünal, Y.S., Tan, E., Menteş, S.S. 2013. Summer heat waves over western Turkey between 1965 and 2006, *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (1-2), 339-350.
- [http://etcddi.pacificclimate.org/list\\_27\\_indices.shtml](http://etcddi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml)