

Harita Dergisi



Temmuz 2023
Sayı:170

ISSN 1300-5790

E-ISSN 2667-4084

Bildirici, İ.Ö.: **Harita Projeksiyonlarında Sonlu Büyüklükte ve Sonsuz Küçük Deformasyonlar  zerine Bir İnceleme** (Map Projection Distortions of Finite and Differential Magnitudes)

Gürbüz, E.: **Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması** (Comparison of Different Indexes in Determining Fire Severity by Remote Sensing)

Makineci, H.B., Arıkan, D., Alkan, D., Karasaka, L. : **Spatio-temporal Analysis of Sentinel-5P Data of Konya City Between 2019-2021** (2019-2021 Yılları Arası Konya İli Sentinel-5P Verilerinin Mekâna-Zamana Dayalı Analizi)

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, ANKARA

www.harita.gov.tr/harita-dergisi



HARİTA DERGİSİ

Temmuz 2023

Yıl: 89 Sayı: 170

ALTI AYDA BİR YAYIMLANIR.
HAKEMLİ VE BİLİMSEL
BİR DERGİDİR.
YEREL SÜRELİ YAYINDIR.
YAZI DİLİ TÜRKÇE, İNGİLİZCE'DİR.

Sahibi

Harita Genel Müdürlüğü Adına
Tuğgeneral Hurşit AĞIRCAN

Sorumlu Müdür

Harita Yük.Tek.Ok.K.İği Adına
Doç.Dr.Müh.Alb. Hasan YILDIZ

Editör

Müh.Alb. Selçuk CEYLAN

Editör Yardımcısı

Müh.Ütgm. Hasan GÜNER

Yönetim Kurulu

Doç.Dr.Müh.Alb. Hasan YILDIZ (Bşk.)
Dr.Müh.Alb. İbrahim NALCI
Dr.Müh.Alb. Osman Atila AKABALI
Müh.Alb. Selçuk CEYLAN
Doç.Dr.Müh.Alb. Mehmet SİMAV

Yönetim Yeri Adresi

Harita Genel Müdürlüğü
Harita Dergisi Yönetim Kurulu
Başkanlığı
06590 Cebeci / ANKARA

Tel: (312) 595 21 21-20

Faks: (312) 320 14 95

web: www.harita.gov.tr/harita-dergisi

e-posta: haritadergisi@harita.gov.tr

Basım Yeri

Harita Genel Müdürlüğü Matbaası
ANKARA

ISSN 1300 – 5790

E-ISSN 2667 – 4084

Bu dergide yayımlanan makaleler,
yazarlarının özel fikirlerini yansıtır.



TRİZİN
Mühendislik ve Temel
Bilimler Veri Tabanı

İ Ç İ N D E K İ L E R

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

Harita Projeksiyonlarında Sonlu Büyüklükte ve Sonsuz Küçük Deformasyonlar Üzerine Bir İnceleme (Map Projection Distortions of Finite and Differential Magnitudes)

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

1 – 7

Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması (Comparison of Different Indexes in Determining Fire Severity by Remote Sensing)

Esra GÜRBÜZ

8 – 22

Spatio-temporal Analysis of Sentinel-5P Data of Konya City Between 2019-2021 (2019-2021 Yılları Arası Konya İli Sentinel-5P Verilerinin Mekâna-Zamana Dayalı Analizi)

Hasan Bilgehan MAKİNECİ, Duygu ARIKAN,
Damlanur ALKAN, Lütfiye KARASAKA

23 – 40

Bilim Kurulu

Dr. Tuğg. Osman ALP (KKK)
Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ (AÜ)
Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER (YTÜ)
Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ (KTÜN)
Prof. Dr. Çetin CÖMERT (KTÜ)
Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK (İTÜ)
Prof. Dr. Hande DEMİREL (İTÜ)
Prof. Dr. Uğur DOĞAN (YTÜ)
Prof. Dr. Semih ERGİNTAV (BÜ)
Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR (AÜ)
Prof. Dr. Cevat İNAL (KTÜN)
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK (KTÜN)
Prof. Dr. Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU (GTÜ)
Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU (BEÜ)
Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU (İTÜ)
Prof. Dr. Haluk ÖZENER (BÜ)
Prof. Dr. Ayşe Filiz SUNAR (İTÜ)
Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI (YTÜ)
Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER (İTÜ)
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER (HÜ)
Prof. Dr. Nesibe Necia ULUGTEKİN (İTÜ)
Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN (HÜ)
Prof. Dr. Naci YASTIKLI (YTÜ)
Prof. Dr. Ferruh YILDIZ (KTÜN)
Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT (GTÜ)
Prof. Dr. Orhan ALTAN
Prof. Dr. Ahmet Tuğrul BAŞOKUR
Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL
Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU
Prof. Dr. Mahmut Onur KARSLIOĞLU
Prof. Dr. Ahmet KAYA
Prof. Dr. Ali KOÇYİĞİT
Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR
Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ
Prof. Dr. Fatma Gönül TOZ
Doç. Dr. Hakan AKÇIN (BEÜ)
Doç. Dr. Onur LENK (İÜ)
Doç. Dr. Hakan MARAŞ (ÇÜ)
Doç. Dr. Mustafa Tevfik ÖZLÜDEMİR (İTÜ)
Doç. Dr. Müh. Alb. Hasan YILDIZ (HGM)
Doç. Dr. Ali KILIÇOĞLU
Dr. Mustafa KURT (OÜ)
Dr. Müh. Alb. Yavuz Selim ŞENGÜN (HGM)
Dr. Müh. Alb. Altan YILMAZ (HGM)
Dr. Mustafa ATA
Dr. Coşkun DEMİR
Dr. Oktay EKER
Dr. Mustafa ERDOĞAN

**Harita Dergisi'nin Cilt:89, Sayı:169-170, 2023
Sayılarındaki Makalelerin Değerlendirilmesinde
Hakemlik Yapan Akademisyenler**

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER (YTÜ)
Prof. Dr. Fevzi KARSLI (KTÜ)
Prof. Dr. Ali Özgün OK (HÜ)
Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU (İTÜ)
Doç. Dr. Saygın ABDİKAN (HÜ)
Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN (GTÜ)
Doç. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU (HÜ)
Doç. Dr. Emine Tanır KAYIKÇI (KTÜ)
Doç. Dr. Osman ORHAN (MEÜ)
Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ (NEÜ)
Doç. Dr. Alihsan ŞEKERTEKİN (İÜ)
Doç. Dr. Şükran YALPIR (KTÜN)
Doç. Dr. Müh. Alb. Mehmet SİMAV (HGM)
Dr. Öğr. Üyesi Pınar KARAKUŞ (OKÜ)
Dr. Öğr. Üyesi Osman Sami KIRTILOĞLU (İKÇÜ)
Arş. Gör. Dr. Nevin Betül AVŞAR (BEUN)
Dr. Kaan KALKAN (TÜBİTAK-UZAY)
Dr. Aslı SABUNCU

Harita Projeksiyonlarında Sonlu Büyüklükte ve Sonsuz Küçük Deformasyonlar Üzerine Bir İnceleme

(Map Projection Distortions of Finite and Differential Magnitudes)

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ 

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Selçuklu, Konya

iobildirici@ktun.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 19.04.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 18.05.2023

ÖZ

Harita projeksiyonlarında sonlu ve sonsuz küçük elemanların deformasyonları birbirinden farklıdır. Temel kaynaklarda ve ilgili ders müfredatlarında deformasyon konusu sonsuz küçük büyüklükler için ele alınır. Özellikle küçük ölçekli haritalar için projeksiyon seçiminde sonlu büyüklüklerin deformasyonu da önemlidir. Bu konuda da araştırmalar ve önerilen ölçütler ve yöntemler vardır. Bu makalede sonlu büyüklüklerin deformasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar ele alınarak alternatif bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yeni yaklaşım küre yüzeyinde seçilen bir nokta etrafında tanımlanan sonlu büyüklükteki bir dairenin deformasyonunu temel almaktadır. Küre üzerinde daire üzerinde bulunan noktalara merkezden olan uzaklıklar ve açılar küre ve projeksiyon değerleri ile uzunluk, açı ve alan deformasyonuna yönelik parametreler hesaplanmaktadır. Burada söz konusu olan daire sonsuz küçük büyüklüklerin deformasyon incelemesi için kullanılan küre üzerinde tanımlanan sonsuz küçük dairenin benzeridir. Bu şekilde sonlu ve sonsuz ölçekte deformasyonları karşılaştırma kolaylığı da sağlanmış olmaktadır. Önerilen yaklaşım küçük ölçekli harita çalışmalarında yaygın kullanılan Robinson, Winkel Tripel ve Hammer projeksiyonları üzerinde rastgele seçilmiş 50 nokta ile test edilmiş ve yaklaşımın uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harita projeksiyonu, Deformasyon, Küçük ölçekli harita

ABSTRACT

In map projections, the distortions of finite and infinitesimal elements are different from each other. The subject of distortion is handled for infinitely small sizes in the main sources and related course curricula. The distortion of finite sizes is also important in the selection of projections, especially for small-scale maps. There are also studies and suggested criteria on this subject. In this article, an alternative approach is proposed by considering the studies on the distortion of finite quantities. The proposed new approach is based on the deformation of a finite size circle defined around a selected point on the sphere surface. The distances to the points on the circle on the sphere, the sphere and projection values of the angles, and the parameters for the length, angle and area distortions are calculated. In this way, it is also easy to compare distortions in finite and infinite scales. The proposed approach has been tested with 50 randomly selected points on Robinson, Winkel Tripel and Hammer projections used widely in

small-scale map making, and the applicability of the approach has been shown.

Keywords: Map projection, distortion, small-scale map

1. GİRİŞ

Harita projeksiyonlarında eğri yüzeyin düzleme aktarılması nedeniyle şekil değişiklikleri kaçınılmazdır. Bu kapsamda alan, açı ve uzunluk değişimlerinden ya da deformasyonlarından söz edilir. Alan, açı ve uzunluk değişimi sonsuz küçük (diferansiyel) ve sonlu büyük elemanlar açısından aynı değildir. Temel kaynaklarda deformasyon sonsuz küçük (diferansiyel) anlamda ele alındığından öğrenciler ve uygulayıcılar bu farklılıkların genellikle farkında değildir. Bu farklılıklardan kaynaklanan yanılgılar da söz konusudur. Örneğin “açı koruyan” projeksiyonlarda bir nokta etrafından sonsuz küçük kenarlar arasında açı korunurken bu durum sonlu büyük kenarlar arasındaki açılar için geçerli değildir. Benzer şekilde alan koruyan projeksiyonlarda da parametre eğrileri ile sınırlı olmayan şekillerin alanları tam olarak korunmaz (Bildirici, 2023a, 2023b).

Yeryüzünün tamamı ya da büyük kara parçalarının gösteriminde gerçek anlamlı projeksiyonlar ile (azimutal, silindirik ve konik) uygun gösterimlere ulaşılmaz. Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar bu tür küçük ölçekli harita çalışmaları için ortaya çıkmıştır. Özellikle Dünya haritaları açısından bir projeksiyon tartışması için Bildirici (2023a, s.227)’den yararlanılabilir.

Küçük ölçekli haritalar için yaygın kullanılan projeksiyonlar genellikle alan koruma özelliğine sahiptir. Alan koruma şekillerde fazla bozulmaya yol açtığından dengeli deformasyon özelliklerine sahip projeksiyonlar geliştirilmiştir. Bu tür projeksiyonlarda alan, açı ve uzunluk koruma özelliği yoktur, her eleman dengeli olarak deforme olur. Küçük ölçekli haritalar için projeksiyon tasarımı konusunda yapılmış güncel ve önemli çalışmalardan biri Canters (2002)’dir. Bu kitap aynı zamanda yazarın doktora tezi olup, sonlu

büyüklüklerin deformasyonu konusunu bir bölüm halinde kapsamlı olarak tartışmaktadır.

Küçük ölçekli harita çalışmaları için projeksiyon seçiminde sonlu büyüklüklerin deformasyonları önemlidir. Projeksiyon seçiminde önemli rol oynar. Canters (2002) bu bağlamda küçük ölçekli çalışmalarda kullanılabilecek projeksiyonların özelliklerini ve var olan projeksiyonlarda yapılabilecek değişiklikleri incelemiştir.

Bu makalede sonlu deformasyonlar teorik olarak ele alınmış, kaynaklarda bulunan yaklaşımlar gözden geçirilmiş, sonlu deformasyonların değerlendirilmesinde kullanılabilecek sonlu daire yaklaşımı olarak adlandırılan bir yöntem önerilmiştir. Yöntem, rastgele dağılmış bir nokta seti ile küçük ölçekli harita çalışmalarında yaygın kullanılan üç projeksiyonda Python dilinde yapılan bir kodlama çalışması ile uygulanmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Sonlu ve sonsuz büyüklüklerin deformasyonlarının farklılığını ortaya koymak için Merkator projeksiyonunda basit bir deneme yapılabilir. Projeksiyon koordinatları:

$$x = R\lambda \quad y = R \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1)$$

Diferansiyel ölçek/uzunluk deformasyonu (açı koruma nedeniyle her yönde sabit):

$$m = \frac{1}{\cos \varphi} \quad (2)$$

Seçilen bir noktayı ($\varphi_0 = 45^\circ, \lambda_0 = 33^\circ$) merkez olarak küre üzerinde bir diferansiyel daire oluşturulursa bu nokta için projeksiyon koordinatları ve diferansiyel ölçek,

$$x_0 = 5615.231km \quad y_0 = 3669.433km \\ m = 1.414214$$

olarak bulunur.

Kürede merkez nokta etrafında 300 km yarıçapında bir daire üzerinde 10° azimut farkları ile noktalar oluşturup merkez nokta ile bu noktalar arasındaki kenarlar ve azimutlar hesaplanır (Şekil 1). Bu büyüklüklerin küre ve projeksiyondaki değişimleri kenarların oranı, açıların farkları olarak hesaplanırsa Tablo 1'deki değerleri elde edilir. Burada hesaplanan parametreler diferansiyel anlamda deformasyonlar (Tissot endikatrasi elemanları) ile karşılaştırılabilir özelliktedir. Diferansiyel anlamda deformasyon ve Tissot endikatrasi konusuna burada girilmeyecek olup

ayrıntılı bilgi Bildirici (2023a), Canters (2002), Bugayevskiy ve Snyder (1997) gibi temel kaynaklarda bulunabilir.

Tablo 1'de görülen deformasyonlar incelenirse aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- Diferansiyel anlamda uzunluk deformasyonu her yönde aynı iken (1.414214), 300 km uzunluğunda kenarlar boyunca deformasyon 1.449149 ile 1.382420 arasında değişmektedir.
- 300km'lik kenarın deformasyonunun değişmesi, küre üzerindeki dairenin izdüşümünün projeksiyonda daire olmadığını göstermektedir.
- Diferansiyel anlamda açı deformasyonu sıfır iken test noktalarında 1.3480° ulaşan açı deformasyonu ortaya çıkmaktadır.
- Tissot'a göre diferansiyel anlamda en büyük ve en küçük uzunluk deformasyonu doğrultularının birbirine dik olması gerektiği halde (Bildirici, 2023a) sonlu büyüklüklerin deformasyonları bu şekilde oluşmamıştır.

Tablo 1: Merkator projeksiyonu test değerleri

$\alpha (^\circ)$	$\bar{s}/s$	$\bar{\alpha} - \alpha (^\circ)$
0	1.449149	0.0000
10	1.448570	0.2476
20	1.446857	0.4864
30	1.444084	0.7080
40	1.440367	0.9049
50	1.435859	1.0707
60	1.430733	1.2005
70	1.425180	1.2910
80	1.419393	1.3403
90	1.413561	1.3480
100	1.407863	1.3150
110	1.402460	1.2435
120	1.397496	1.1364
130	1.393094	0.9977
140	1.389358	0.8318
150	1.386369	0.6437
160	1.384190	0.4387
170	1.382865	0.2222
180	1.382420	0.0000



Şekil 1. Örnek hesaplamada (Tablo 1) kullanılan noktaların GoogleEarth üzerinde konumları

Bu örnek hesaplama sonlu ve sonsuz büyüklükler bakımından deformasyonların birbirinden ne kadar farklı olabileceğini ortaya koymaktadır. Merkator projeksiyonu özelliği gereği kutuplara doğru alan ve uzunluk deformasyonu arttığından seçilen merkez nokta daha kuzeyde alınırsa Tablo 1'de hesaplanan deformasyonlar büyüyecektir.

a. Sonlu Büyüklüklerin Deformasyonları Üzerine İlk Araştırmalar

İlk çalışmalardan biri Fisher ve Miller (1944), 20 eşkenar üçgenin harita ve projeksiyon değerlerinin karşılaştırmasını yaparak, uzunluk ve alan oranları ve açısal farkları hesaplamışlardır. Bu parametrelerin istatistiksel değerlendirmesini yaparak projeksiyonların karakterlerine ilişkin yorumlar yapmışlardır (Canters, 2002). Tobler (1964) bilişim teknolojilerinin ortaya çıkmasından da yararlanarak sonlu büyüklüklerin deformasyonları üzerine ayrıntılı araştırmalar yapmış, çok eski haritaların projeksiyonları için de en küçük kareler yöntemiyle projeksiyon tahminleri yapmıştır. Tobler, önceden belirlenmiş aynı büyüklükte ve düzenli dağılmış üçgenlerin yerine rastgele belirlenmiş üç nokta ile oluşturulan üçgenlerden yararlanmıştır. Bu şekilde belirlenen bir bölge için rastgele belirlenmiş 300-500 üçgen ile ortalama uzunluk, alan oranları ve açısal farklar belirlemiştir (Canters, 2002).

Bildirici (2023b) çalışmasında alan koruyan projeksiyonlarda büyük daire yaylarının izdüşümlerinin projeksiyonda doğru parçası olmamasından kaynaklanan alan hataları benzer şekilde küresel üçgenler ile incelenmiş, alan hatasını azaltmak için nokta sıklaştırması önerisi de yine küresel üçgenler ile test edilmiştir.

Analiz için rastgele nokta konumları, $0 \leq r \leq 1$ arası reel sayı olmak üzere,

$$\lambda = 2\pi r - \pi \quad \varphi = \arcsin(2r - 1) \quad (3)$$

eşitlikleri ile belirlenebilir (Canters, 2002).

b. Sonlu Büyüklüklerin Deformasyonu için Ölçütler

Literatürde bu amaçla önerilmiş çeşitli ölçütler bulunmaktadır. Bu bölümde önemli ve uygulanabilir bazı ölçütler hakkında bilgi verilecektir. Daha kapsamlı bir değerlendirme için Canters (2002) kaynağından yararlanılabilir.

Uzunluk deformasyonunun açı ve alan deformasyonuna doğrudan etki etmesi nedeniyle bazı uzmanlar uzunluk temelli ölçütler önermişlerdir. Gilbert (1974) bu düşünceye dayalı olarak bir ölçüt önermiştir (Canters, 2002).

$$E_G = \frac{E(|s-\bar{s}|^2)}{\sqrt{E(s^2)E(\bar{s}^2)}} \quad (4)$$

s kürede, $\bar{s}$ projeksiyon düzlemindeki kenarları göstermektedir. Beklenen değerler ise çok sayıda kenar yardımıyla belirlenir. Ölçüt uzunluk biriminden bağımsızdır.

Peters (1975) Gilbert ölçütünü eleştirerek bir ölçütün aşağıdaki özellikleri sağlaması gerektiğini savunmuştur (Canters, 2002).

1. Deformasyon yoksa ölçüt sıfır olmalı. Deformasyon arttıkça ölçüt de artmalı.
2. Ölçüt küre ve düzlem kenarları arasındaki farka bağlı olmalı, bunların büyüklüklerine değil.
3. Aynı oranda büyüme ve küçülmede ölçüt değeri aynı olmalı
4. Ölçüt değeri sonsuz olmamalı.

Peters bir ölçüt önererek 30 000 nokta ile ölçütün ortalama değerini hesaplayarak projeksiyonları karşılaştırmış, bu analizlerine dayalı bir projeksiyon da sunmuştur.

$$e_s = \frac{|s-\bar{s}|}{|s+\bar{s}|} \quad (5)$$

$$E_s = \frac{1}{n} \sum \frac{|s-\bar{s}|}{|s+\bar{s}|} \quad (6)$$

e_s ölçek faktörüne göre de düzenlenebilir.

$$e_s = \frac{|1-k|}{|1+k|}$$

Buradan ikinci derece bir denklem yazılırsa denklemin kökleri

$$k_1 = \frac{|1+e_s|}{|1-e_s|} \quad k_2 = \frac{|1-e_s|}{|1+e_s|} \quad (7)$$

elde edilir. $0 < k_2 \leq 1 \leq k_1$ olup, aynı e_s karşılık gelen büyüme ve küçülmeyi ifade eder. Peters 30 000 nokta ile yaptığı analizde bu parametrelerin de ortalamasını hesaplamıştır.

Canter (2002) Peters'in ölçütünün 5000 nokta ortalaması ile belirlenmesinin yeterli olduğunu ifade etmektedir.

Canter (2002) alan deformasyonu için Peters'in ölçütüne benzer olarak Tobler'in çalışmalarından esinlenerek küresel üçgen alanlarına dayalı bir ölçüt önermiştir.

$$E_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|f-\bar{f}|}{|f+\bar{f}|} \quad (8)$$

Burada $f, \bar{f}$ küresel üçgenlerin küre ve düzlem alanlarını ifade etmektedir. Bu noktada seçilen küresel üçgen kenar uzunluklarına bağlı olarak küresel üçgen kenarının izdüşümünün düzlem üçgen kenarı ile çakışık olmamasından kaynaklı hatanın dikkate alınması gerekebilir (Bildirici, 2023b).

Şekil deformasyonu için ölçütler bulmak daha karmaşık bir problemdir. Canter (2002) ile Başaraner ve Çetinkaya (2019) şekil deformasyonları üzerine ölçütler önermişlerdir.

Sonlu büyüklüklerde oluşan deformasyonlar için Goldberg ve Gott (2007) tarafından Goldberg-Gott endikatrasi olarak adlandırılan ölçütler önerilmiştir. Kerkovits (2019 ve 2020) bu konuda yapılan güncel çalışmalar içinde yer almaktadır.

c. Sonlu Daire Yaklaşımı

Tablo 1'de verilen örnek hesaplamada kullanılan sonlu büyüklükteki daire düşüncesinden yararlanılarak da deformasyon ölçütleri tasarlanabilir. Bu şekilde sonsuz küçük

büyüklüklerin deformasyonu için temel alınan Tissot endikatrasi benzer bir yaklaşım ortaya konabilir.

Seçilen bir merkez nokta etrafında yeterince küçük azimut farkları ile seçilen bir yarıçap değeri ile küre üzerinde bir daire üzerinde bulunan noktalar belirlenir. Merkezden daire üzerindeki noktaların kenar ve azimutlarının küre ve projeksiyon değerleri hesaplanarak uzunluk deformasyonu ve açı deformasyonu (azimut farkı) belirlenebilir.

Küre üzerinde oluşan küre kapağı alanı bellidir. Düzlemde oluşan şeklin ise düzlem alanı hesaplanarak alan deformasyonu da belirlenebilir. Bu şekilde bir merkez nokta çevresi için en büyük ve en küçük uzunluk deformasyonu (düzlem kenarın küresel kenara oranı), azimutların farkı olarak en büyük azimut deformasyonu ve alanların oranı olarak en büyük alan deformasyonu belirlenir. Bu parametreler yaygın kullanılan Tissot endikatrasi notasyonunda büyük harf kullanılarak gösterilebilir.

$$A = \max\left(\frac{s}{s}\right) \quad B = \min\left(\frac{s}{s}\right) \quad (9)$$

$$W = \max(\bar{\alpha} - \alpha) \quad (10)$$

$$P = \max\left(\frac{f}{f}\right) \quad (11)$$

Çok sayıda noktada bu parametreler hesaplanıp istatistik olarak değerlendirme yapılabilir. Değerlendirme yapılacak nokta seti (3) eşitliği ile rastgele olarak belirlenebilir. Orta meridyene ve Ekvator'a göre simetrik olan projeksiyonlarda analizin çeyrek küre ile yapılması ($0 \leq \varphi \leq 90^\circ$, $0 \leq \lambda \leq 180^\circ$) yeterlidir.

Burada tanımlanan sonlu dairenin yarıçapı büyük daire yayı, izdüşümü doğru olduğundan seçilen projeksiyona göre bir hata oluşabilir. Aynı şekilde daire üzerindeki noktaların daire üzerinde birbirlerine olan uzaklıkları da küçük olmalıdır. Bu noktaları kürede birleştiren yaylar küçük daire yayı, düzlemde ise doğru parçalarıdır. Bu da bir hata kaynağı oluşturur.

Yukarıdaki hata kaynaklarını en aza indirmek için daire üzerinde noktaları oluşturmak için azimut farkları küçük olmalıdır. Yeryüzünün tamamının gösterimine yönelik projeksiyonlarda yarıçapı 300 km'ye kadar olan dairelerde azimut artışının 1° seçilmesi uygun olur. Benzer şekilde daire yarıçapını oluşturan büyük daire yayları üzerinde de ara noktalar alınabilir. Önerilen yaklaşım yazılımlarla gerçekleştirileceğinden

ortaya çıkacak hesap yükü günümüz bilişim teknolojileri düşünüldüğünde önemsiz kabul edilebilir.

Sonlu daire yaklaşımında daire üzerindeki noktaların oluşturulması ve daire yarıçapını oluşturan büyük daire yayları üzerinde ara noktalar oluşturulması için kürede temel ödev çözümleri kullanılır. Gerekli bağıntılar ve küresel trigonometri konusunda ayrıntılar için Bildirici (2023a, s.33), Bugayevskiy ve Snyder (1995) ve Richardus ve Adler (1972) gibi kaynaklardan yararlanılabilir.

3. ARAŞTIRMA ve TARTIŞMA

Bu bölümde sonlu daire yaklaşımı ile önerilen deformasyon parametreleri seçilen 3 dünya projeksiyonunda rastgele dağılmış bir nokta seti için hesaplanacaktır.

a. Seçilen Projeksiyonlar

Küçük ölçekli harita çalışmalarında özellikle yeryüzünün tamamının gösteriminde yaygın kullanılan Robinson, Winkel Tripel ve Hammer projeksiyonları seçilmiştir.

Robinson projeksiyonu A.H. Robinson tarafından sunulmuştur. Optimal deformasyonlu gerçek anlamda olmayan silindirik bir projeksiyondur. Kartografik yayıncı R. McNally isteklerine göre tasarlanmış ve tablo değerleri ile sunulmuştur (Robinson, 1974). Literatürde tablo değerlerine uygun fonksiyonlarla projeksiyonun tanımlanması için çalışmalar vardır. Yazar tarafından tablo değerlerine göre en küçük kareler yöntemiyle iki polinom tanımlanmış ve bu çalışmada kullanılmıştır. Harita projeksiyonları için polinomların kullanımı Canters (2002) tarafından ayrıntılı tartışılmıştır. Burada seçilen polinomlar orta meridyen ve Ekvator'a göre simetrik bir projeksiyon oluşturur.

$$x = \lambda(a_0 + a_2\varphi^2 + a_4\varphi^4)$$

$$y = a_1\varphi + a_3\varphi^3 + a_5\varphi^5$$

$$a_0 = 0.852914 \quad a_1 = 0.955054 \quad (12)$$

$$a_2 = -0.152813 \quad a_3 = 0.022062$$

$$a_4 = -0.005553 \quad a_5 = -0.023979$$

Bu polinomlar Canters ve Decler (1989) tarafından da Robinson projeksiyonu için katsayıları da belirlenerek önerilmiştir. Bu

çalışmada verilen katsayılar yazar tarafından hesaplananlardan biraz farklıdır.

Winkel Tripel projeksiyonu yeryüzünün tamamının gösteriminde optimal deformasyon bakımından öne çıkan bir projeksiyondur. O. Winkel tarafından meridyen uzunluğu koruyan projeksiyon ile Aitoff projeksiyonunun ortalaması alınarak sunulmuştur (Bildirici, 2023a; İpbüker ve Bildirici, 2005; Snyder, 1997).

$$C = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cos^2 \frac{\lambda}{2}}$$

$$D = \arccos\left(\cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}\right)$$

$$x = \frac{R}{2} \left(\frac{2D \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{C} + \lambda \cos \varphi_0 \right) \quad (13)$$

$$y = \frac{R}{2} \left(\frac{D \sin \varphi}{C} + \varphi \right)$$

Winkel tarafından ortalama almakta kullandığı meridyen uzunluğu koruyan silindirik projeksiyonda kürenin toplam alanının korunmasını sağlayan standart paralel seçilmiş olup,

$$\cos \varphi_0 = \frac{2}{\pi}$$

alınmıştır.

Hammer projeksiyonu, yeryüzünü 2:1 oranında elips içinde gösteren, gerçek anlamda olmayan alan koruyan bir projeksiyondur (Bildirici, 2023a; Snyder, 1997).

$$x = \frac{2R\sqrt{2} \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}}$$

$$y = \frac{R\sqrt{2} \sin \varphi}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}} \quad (14)$$

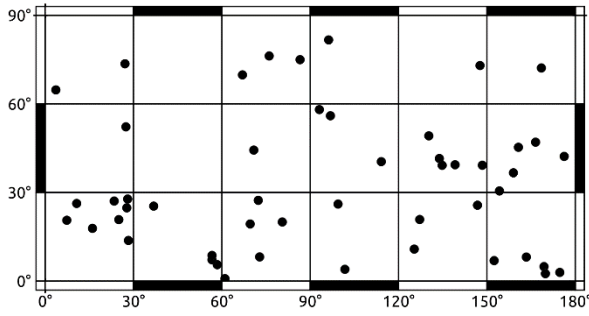
Önerilen sonlu daire yaklaşımında alan koruma özelliğinin sonlu büyüklükler açısından test edilmesi amacıyla bu projeksiyon seçilmiştir.

b. Test verisi

Seçilen projeksiyonlar orta meridyen ve Ekvator'a göre simetrik olduğundan 50 adet test noktası rastgele olarak çeyrek küre için seçilmiştir ($0 \leq \varphi \leq 90^\circ$, $0 \leq \lambda \leq 180^\circ$). Bu amaçla (3) eşitlikleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir (r , 0-1 aralığında rastgele bir sayı).

$$\varphi = \arcsin(1 - r)$$

$$\lambda = r\pi \quad (15)$$



Şekil 2. Test noktaları

(15) eşitlikleri coğrafi koordinatları radyan biriminde verir. Derece biriminde çalışılmak istenirse π yerine 180° alınmalıdır.

Test nokta kümesi Şekil 2'de görülmektedir.

c. Uygulama

Yöntemin uygulanması amacıyla yazar tarafından Python dilinde bir program hazırlanmıştır. Verilen bir noktanın etrafında verilen yarıçap ve azimut artışına göre kürede daire üzerinde noktalar oluşturulmaktadır. Bu noktalar daha sonra projeksiyon düzlemine taşınarak merkez ile noktalar arasında kenar ve azimutlar hesaplanmaktadır. Küredeki daire alanı ve düzlemdeki karşılığı olan noktaların oluşturduğu çokgen alanı da hesaplanmaktadır. Bu şekilde (9), (10) ve (11) eşitliklerindeki deformasyon parametreleri elde edilmektedir.

Uygulamada daire yarıçapı 200 km (s), azimut artışı 1° ($\Delta\alpha$) seçilmiştir. Bu şekilde her projeksiyon için $50 \times 360 = 18000$ kenar ve azimut değeri hesaplanmış olmaktadır.

Hesaplamalar i7 işlemcili bir bilgisayarda yapılmış, program çalışma süresinin hissedilmeyecek kadar kısa olduğu görülmüştür.

Her test noktası için hesaplanan parametrelerin istatistik özeti Tablo 2,3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo değerleri Robinson ve Winkel Tripel projeksiyonlarının birbirine yakın ortalama değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Maksimum ve minimum deformasyonlar dikkate alındığında en uygun deformasyon özelliğinin Winkel Tripel'de olduğu görülür. Bu projeksiyonun üstünlüğü Canters (2002) ve benzeri çalışmalarda da gösterilmiştir. Hammer projeksiyonunun alan koruma özelliğini sonlu büyüklükler açısından da kaybetmediği görülmektedir.

Geliştirilen yazılımın test aşamasında sonlu deformasyon parametrelerinin (A, B, W ve P) sonsuz küçük deformasyon parametreleri (Tissot endikatrişi elemanları) ile karşılaştırması da yapılmış, değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonlu dairenin yarıçapı küçüldükçe sonsuz küçük daireye yakınsaması beklenen bir durumdur. Dolayısı ile sonlu daire yarıçapı küçüldükçe A, B, W ve P deformasyon parametreleri Tissot endikatrişi elemanlarına yaklaşır. Bu durum Bildirici (2015) çalışmasında da gösterilmiştir.

Tablo 2: Robinson projeksiyonu istatistiği

	A	B	W (°)	P
Ort.	1.313386	0.800491	23.156383	1.013320
Maks.	3.772719	0.911469	97.355671	2.140737
Min.	0.955373	0.562118	2.925637	0.814686

Tablo 3: Winkel Tripel projeksiyonu istatistiği

	A	B	W (°)	P
Ort.	1.325249	0.815480	21.436508	1.075510
Maks.	3.020521	0.999670	70.067009	2.602223
Min.	1.000683	0.659801	5.099783	0.836609

Tablo 4: Hammer projeksiyonu istatistiği

	A	B	W (°)	P
Ort.	1.485548	0.721875	29.257371	0.999949
Maks.	2.669364	0.975893	64.526564	0.999949
Min.	1.023340	0.373377	2.597848	0.999949

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada harita projeksiyonlarında sonlu büyüklüklerin deformasyonu konusu ele alınmıştır. Mevcut kaynaklarda önerilen ölçütler gözden geçirilmiş ve alternatif bir yöntem sonlu daire yaklaşımı adı altında ortaya konmuştur. Önerilen parametreler sonsuz küçük deformasyon parametrelerinin (Tissot endikatrişi elemanları) eşlenikleri olarak değerlendirilebilir. Bu durum sonlu ve sonsuz küçük deformasyonların karşılaştırılması açısından kolaylık sağlar.

Python dilinde yapılan uygulama ile Robinson, Winkel Tripel ve Hammer projeksiyonlarında sonlu deformasyon parametreleri hesaplanmıştır. Çok sayıda noktada ve yönde hesaplanan değerlerin istatistik değerlendirmesi seçilen projeksiyonların genel özelliklerini yansıtmaktadır. Önerilen parametrelerin sonsuz küçük deformasyon ölçütlerine göre projeksiyonlar hakkında daha iyi

yorum yapmanın yolunu açtığı açıktır. En uygun projeksiyon seçiminde güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Sonuç olarak önerilen yaklaşım sonlu deformasyonlar açısından projeksiyonların değerlendirilmesi için kullanılabilir.

ORCID

İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ 

<https://orcid.org/0000-0001-7717-586X>

KAYNAKLAR

- Başaraner, M. ve Çetinkaya, S. (2019). New measures for analysis and comparison of shape distortion in world map projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 46(6), 518-531.
- Bildirici, İ.Ö. (2015) Quasi indicatrix approach for distortion visualization and analysis for map projections. *International Journal of Geographical Information Science*, 29/12, 2295-2309
- Bildirici, İ.Ö. (2023a). Kartografya: Harita tasarımı ve kullanımı için gerekli bilim sanat ve teknik (3. Baskı). Konya : Atlas Akademi Yayınevi. ISBN 978-625-8101-16-4
- Bildirici, İ.Ö. (2023b). Alan koruyan projeksiyonlar her zaman alan korur mu? *Geomatik Dergisi*, 8(3),306-311
- Bugayevskiy, L.M. ve Snyder, J.P. (1995). Map projections a reference manual. London: Taylor&Francis.
- Canter, F. (2002). Small-scale map projection design. London and New York: Taylor &Francis. ISBN 0-415-25018-8
- Canter, F. ve Decler, H. (1989). The world in perspective: a directory of world map projections. Chichester: J. Wiley.
- Fisher, I. ve Miller, O.M. (1944). World Maps and Globes. New York: Essential Books.
- Gilbert, E.N. (1974). Distortion in maps. *Society for Industrial and Applied Mathematics Review*, 16,47-62.
- Goldberg, D. M. ve Gott III, J. R. (2007). Flexion and skewness in map projections of the earth. *Cartographica*, 42(4), 297-318.
- İpbüker, C. ve Bildirici, İ.Ö. (2005) Computer program for the inverse transformation of the winkel projection. *ASCE Journal of Surveying Engineering*, 131/4, 125-129.
- Kerkovits, K. (2019). Comparing finite and infinitesimal map distortion measures. *International Journal of Cartography*, 5(1), 3-22.
- Kerkovits, K. (2020). Quadrature rules to calculate distortions of map projections. *The Cartographic Journal*, 57(3), 249-260.
- Peters, A.B. (1975). Wie man unsere Weltkarten der Erde aehnlicher machen kann. *Kartographische Nachrichten*, 25, 173-183.
- Richardus, P. ve Adler, R. K. (1972). Map Projections for Geodesists Cartographers and Geographers. Amsterdam: North-Holland.
- Snyder, J. P. (1997). Flattening the earth: two thousand years of map projections. Chicago: University of Chicago Press.
- Tobler, W.R. (1964). Geographical coordinate computations, part II, finite map projection distortions. Technical Report No:3, Ann Arbor: University of Michigan, Department of Geography.

Uzaktan Algılama ile Yangın Şiddeti Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması

(Comparison of Different Indexes in Determining Fire Severity by Remote Sensing)

Esra GÜRBÜZ^{ID}

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100 Aksaray
egurbuz@aksaray.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 03.10.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 09.03.2023

ÖZ

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de orman varlığını tehlikeye sokan en önemli olay orman yangınlarıdır. Türkiye'nin orman varlığı yüzdesi en yüksek ikinci ili durumundaki Muğla ilinin Marmaris ilçesinde 2022 yılı haziran ayında meydana gelen orman yangını bölge ormanlarında, orman yangını nedeniyle 1977'den beri yaşanan en büyük 4. alansal kayba sebep olmuştur. Bu çalışma kapsamında, ilk olarak Google Earth Engine (GEE) Platformu'ndan temin edilen Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak çalışma alanının yangın öncesi ve sonrasına ait görüntü mozaikleri oluşturulmuş, sonrasında ise bu görüntü mozaikleri kullanılarak yangın tahribatının belirlenmesinde yaygın olarak tercih edilen Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Normalize Yanma Oranı (NBR), Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR), Görelî Yanma Oranı (RBR), Görelî fark Normalize Yanma Oranı (RdNBR) indeksleri ile yangında oluşan tahribat belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların NASA FIRMS'un (The Fire Information for Resource Management System/ Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri) gerçek zamana yakın yangın verileri ile tutarlılıkları kontrol edilmiş ve indekslerin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar yangın öncesinde yoğun bitki örtüsüne sahip olan çalışma alanında yanmış ve yanmamış alanların en yüksek doğrulukla RdNBR (%85,05) ve dNBR (%84,38) indeksleri ile ayrıldığını göstermiştir. RdNBR indeksi ile oluşturulan yanma şiddeti haritasına göre toplamda 4365,68 hektar alan yanmıştır. İndeksler içerisinde en düşük tutarlılık oranı ise %83,36 ile RBR indeksinden elde edilmiştir. Bu indeks ile oluşturulan yanma şiddeti haritasına göre ise 4268,8 hektar alanın yandığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Google Earth Engine, FIRMS, NBR, dNBR, RdNBR, RBR, NDVI.

ABSTRACT

Forest fires are the most important factor that endangers the existence of forests in Türkiye as in the whole world. The forest fire that occurred in June 2022 in the Marmaris district of Muğla province, which is the second province with the highest percentage of forest assets in Türkiye, caused the 4th largest spatial loss in the regional forests since 1977 due to forest fire. Within the scope of this study, firstly, image mosaics of the study area before and after the fire were created using the Sentinel-2 images obtained from the Google Earth Engine (GEE) Platform. After that Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Burn Ratio (NBR), Difference Normalized Burn Ratio (dNBR),

Relative Burn Ratio (RBR) and Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) indexes were applied to these image mosaics to determine the damage caused by the fire. The consistency of the results with the near real-time fire data of NASA FIRMS was checked and the accuracy of the indexes was compared. The results obtained from the study showed that the burned and unburned areas in the study area, which had dense vegetation before the fire, were separated with the highest accuracy by RdNBR (85.05%) and dNBR (84.38%) indices. According to the burn severity map produced with the RdNBR index, a total of 4365.68 hectare area was burned. The lowest consistency rate among the indexes was obtained from the RBR index with 83.36%. According to the burn severity map produced with RBR, a 4268.8 hectare total area was burned.

Keywords: Google Earth Engine, FIRMS, NBR, dNBR, RdNBR, RBR, NDVI.

1. GİRİŞ

Orman yangınları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de orman varlığını tehlikeye sokan en önemli olaydır. Doğal ya da beşeri kökenli çıkan yangınlar sonrasında her yıl milyonlarca hektar orman ve ormanlık alan yok olmakta ve can kayıpları meydana gelmektedir. Özellikle büyük ve uzun süreli yangınlar, bir yandan meydana geldiği bölgede bitki örtüsünün tahribatına, habitatın zarar görmesine ve bu alanda yaşayan canlıların yaşam alanlarının yok olmasına sebep olurken, diğer yandan da ekonomik kayıpların oluşmasına neden olur. Bu nedenle orman yangınlarında zarar gören alanların doğru şekilde haritalanması ve tahribatın şiddetinin en doğru şekilde tespit edilmesi, yangının sebep olduğu ekolojik etkilerin değerlendirilmesi ve ekonomik kayıpların belirlenmesi açısından önemlidir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte uydu görüntülerinin kullanıldığı uzaktan algılama yöntemleri, pek çok alanda olduğu gibi orman yangınlarının eş ya da yakın zamanlı olarak tespit edilmesi (Schroeder, Oliva, Giglio ve Csizsar 2014; Ahmed, Hassan, Abdollahi ve Gupta., 2020; Pletsch, ve diğerleri, 2022) yanmış alanların haritalanması (Koutsias ve Karteris, 2000; Sunar ve Özkan, 2001; Key ve Benson, 2005; Giglio, Loboda, Roy, Quayle, ve Justice, 2009; Çömert, Matcı, Emir ve Avdan, 2017; Kavzoğlu, Çölkesen,

Tonbul ve Öztürk, 2021) ve bu alanlarda zamana bağlı değişimlerin gözlenebilmesi (Veraverbeke ve diğerleri, 2012; Tonbul, Kavzoğlu ve Kaya 2016; Güzel, Bıçaklı, Bıçaklı ve Kaptan, 2021; Nolè, Rita, Spatola ve Borghetti, 2022) için önemli bir araç haline gelmiştir. Uydu görüntüleri yardımıyla yanmış alanların haritalanması Landsat uydu serisinin faaliyetleri ile birlikte başlamış olup teknolojiye gelişmeler sayesinde çözünürlüğü artan sensörler, geliştirilen yöntem ve indeksler ile birlikte günümüzde etkin şekilde çalışılan bir konu haline gelmiştir (Robinson, 1991; Xiao-rui, Mcrae, Li-fu, Ming-yu ve Hong, 2005; Hall ve diğerleri, 2008; Gibson, Danaher, Hehir ve Collins, 2020; Konkathi ve Shetty, 2021).

Spektral indeksler bir uydu görüntüsünde istenen arazi örtüsü ya da özelliğini öne çıkarmayı sağlayan matematiksel işlemlerdir. Bu işlemler her nesnenin elektromanyetik spektrumunda kendine has yansıma ve soğurma özelliklerine bağlı olarak geliştirilmektedir. Sağlıklı bitki örtüsü, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi dalga boyunda çok yüksek yansıma ve kırmızı dalga boyunda yüksek soğurma gösterir. Bu yaklaşım ile geliştirilmiş Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), yangından önce ve sonra sağlıklı bitkilerin spektral özelliklerindeki değişimi ortaya çıkarması nedeniyle uzaktan algılama ile yanmış alanların tanımlanmasında kullanılan indekslerden biri olmuştur (White, Ryan, Key ve Running, 1996; Fernández, Illera ve Casanova 1997; Sunar ve Özkan, 2001; Chuvieco ve diğerleri, 2004; Vlassova, Pérez-Cabello, Mimbrero, Llovería, ve García-Martín, 2014; Kovács 2019). Bununla birlikte bir bölgede meydana gelen yangın sonrasında bitki örtüsünün spektral yansımaları yakın kızılötesi dalga boyunda azalırken, kısa dalga kızılötesi dalga boyunda artar. Yani sağlıklı bitki örtüsü ile yanmış alanların spektral tepkileri arasındaki fark, spektrumun yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerinde belirgin hale gelir. Bu durum söz konusu dalga boyları kullanılarak geliştirilmiş olan başta Normalize Yanma Oranı (NBR) ve NBR'den türetilen Fark Normalize Yanma Oranı (dNBR), Görelî Yanma Oranı (RBR) ve Görelî fark Normalize Yanma Oranı (RdNBR) gibi indekslerin yanmış alan tespitinde yaygın şekilde tercih edilmesine sebep olmaktadır (Key ve Benson, 2005; Cocke, Fuléve Crouse, 2005; Miller ve Thode 2007; Veraverbeke, Lhermitte, Verstraeten ve Goossens, 2010; Tonbul ve diğerleri, 2016; Nasery ve Kalkan 2020; Nole ve diğerleri, 2022). Bunların yanı sıra yanmış alanların farklı spektral özellikleri dikkate alınarak hazırlanmış Yanmış Alan İndeksi (BAI), Orta Kızılötesi Yanma İndeksi (MIRBI) ve Kömürleşmiş Toprak İndeksi (CSI) gibi

indeksler de bulunmaktadır (Chuvieco, Martín ve Palacios, 2002; Trigg ve Flasse, 2001; Smith ve diğerleri, 2007).

Yukarıda değinilen indekslerden hangilerinin yanmış alan tespitinde daha etkin olduğuna yönelik farklı çalışmalar da mevcuttur. Miller ve Thode (2007), uzaktan algılama ile yangın şiddetine yönelik yapılan haritalama çalışmalarında yanmış alanın doğru tespit edilebilmesinde bitki örtüsü türünün de önemli bir etken olduğunu belirtmiş ve heterojen arazi örtüsünde yanma şiddetini haritalamanın, geliştirdikleri RdNBR indeksi ile daha uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Parks, Dillon ve Miller, (2014), Miller ve Thode (2007) tarafından geliştirilen RdNBR indeksinde, denklemin içeriğine bağlı zorlukların olduğunu belirterek özellikle yangın öncesi bitki örtüsünün düşük olduğu alanlarda RdNBR'ye göre daha iyi sonuç veren, kendi geliştirdikleri RBR indeksini önermişlerdir. Sabuncu ve Özener (2019), Landsat 5 uydu görüntülerini kullanarak Ağustos 2009'da İzmir ili Seferihisar ilçesinde meydana gelen orman yangınında hasar görmüş alanları tespit ettikleri çalışmalarında, NBR ve NDVI ile bu indekslerin farkları kullanılarak elde edilen dNBR ve dNDVI indekslerini uygulayarak tahrip olan alanları haritalamış ayrıca görüntülere piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma uygulamışlardır. Çalışmada üç farklı yöntemin sonuçlarının da Orman Genel Müdürlüğü sonuçları ile tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kavzoğlu ve diğerleri (2021), 2021 yılı yazında Türkiye'de Ege ve Akdeniz bölgelerinde meydana gelen 3 farklı orman yangınında hasar gören alanların belirlenmesi için Sentinel-2 görüntülerine NDVI, MIRBI, BAI, NBR ve CSI indekslerini uygulamışlardır. Yazarlar her bir çalışma alanı için fark yanma şiddeti haritaları üretmiş, ayrıca M-istatistiği ile kullandıkları indekslerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada yanmış ve yanmamış alanların en doğru şekilde NDVI ve NBR indeksleri ile ayrıldığı ifade edilmiştir. Konkathi ve Sheety (2021), Landsat 8 ve Sentinel uydu görüntüleri üzerinden NBR, RBR ve RdNBR indekslerinin doğruluklarını karşılaştırmış, tüm indekslerin yanan alanların belirlenmesinde kabul edilebilir seviyede doğru sonuçlar verdiğini, bununla birlikte en yüksek doğruluğun RdNBR indeksinden, sonrasında ise dNBR ve RBR indekslerinden elde edildiğini belirtmişlerdir. Burada detaylı örnekler sunulmuş olmakla birlikte, uzaktan algılama ile yanmış alan tespitinde kullanılan bu ve bu gibi indekslerin karşılaştırılmasına yönelik literatürdeki çalışma sayısı görelî olarak azdır. Bu doğrultuda hazırlanan bu çalışmada da yangın analizlerinde

sıklıkla kullanılan dört farklı indeksin (NDVI, dNBR, RBR ve RdNBR) karşılaştırması 2022 yılı haziran ayında Muğla ili, Marmaris ilçesinde çıkan yangın üzerinden yapılmıştır. Tüm Marmaris'in ~2/3'sinden fazlası ormanlar ile kaplıdır (Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Ülkemizin yüksek turizm potansiyeline sahip bu ilçesi 1. derece yangına hassas Muğla Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer almaktadır. İlçede 1977-2021 yılları arasında toplamda 691 yangın meydana gelmiş ve bu yangınlarda 39413,7 ha alan yanmıştır. İlçede meydana gelen ve en fazla orman kaybına sebep olan 3 büyük yangın sırasıyla 1979 (~13574 ha), 2021 (~9102 ha) ve ardından 1996 (~7105 ha) yıllarında yaşanmıştır (Orman Genel Müdürlüğü [OGM], 2021). Bulunduğu coğrafi konum ve iklimsel parametrelerin yanı sıra, yoğun turizm faaliyetlerinin de etkisiyle özellikle yaz aylarında yangın hadisesinin yoğun şekilde görüldüğü bölgede, 2022 yılı haziran ayında da 4 gün süren ve 1977 yılından itibaren yanan alan bakımından 4. en büyük tahribatın meydana geldiği bir orman yangını daha yaşanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak, söz konusu yangında oluşan tahribat farklı indeksler ile belirlenmiş ve NASA/FIRMS' ün (The Fire Information for Resource Management System/ Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri) gerçek zamana yakın yangın verileri kullanılarak indekslerin doğrulukları karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntülerin hazırlanması ve analizi sırasında Google Earth Engine (GEE) Platformu kullanılmıştır. GEE büyük ölçekli ya da geniş tarih aralığına sahip uydu görüntülerini bilgisayara veri aktarımı yapmadan işleme olanağı sağlayan ayrıca farklı nitelik ve çözünürlükte mekânsal verilerin temin edilebildiği bulut tabanlı bir hesaplama platformudur (Gorelick, Hancher, Dixon, Ilyushchenko, Thau, ve Moore, 2017; Google Earth Engine [GEE], 2022).

GEE, özellikle uzun zaman serilerinin kullanıldığı arazi örtüsü değişiminin izlenmesi (Midekisa ve diğerleri, 2017), sulak alanların tespiti ve izlenmesi (Gürbüz, 2018; Dervişoğlu, 2021; Dervişoğlu, 2022) ve tarımsal ürünlerin takibi (Dong ve diğerleri, 2016; Ou ve diğerleri, 2019) gibi çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen bir araç haline gelmiştir. Bununla birlikte analiz edilecek görüntülerin ön işlemlerinin (radyometrik düzeltme, görüntü mozaik oluşturulması, kesme gibi) platform içerisinde hızlı bir şekilde yapılabilmesi, bir yangın sonrası yanmış alanların tespiti (Farhadi, Mokhtarzade, Ebadi ve Beirami, 2022; Gupta ve Shukla, 2022) gibi az sayıda görüntüye ihtiyaç duyulan çalışmalarda da tercih edilmesine

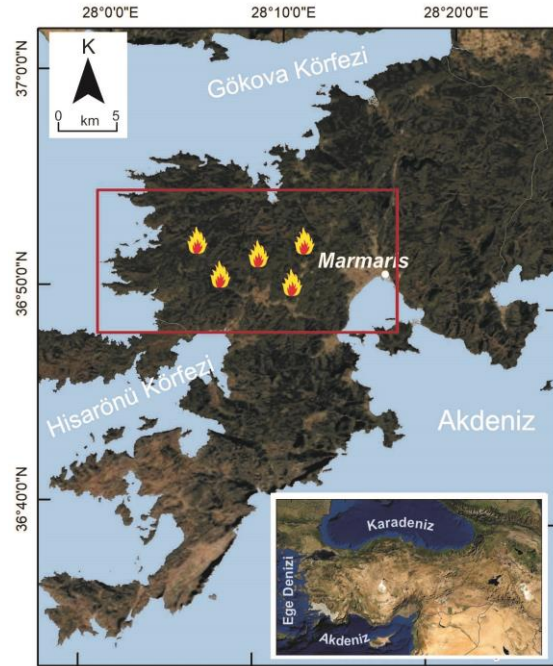
sebeptir.

Bu yaklaşımla, çalışmaya konu olan yangın özelinde, bir yangın sonrası meydana gelen tahribatın farklı indeksler ile hızlı bir şekilde tespiti yapılmış ve kullanılan indeksler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların benzer çalışmalar ile birlikte değerlendirilmesi yapıldığında, özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip alanlardaki yangın tahribatının uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmesinde tercih edilebilecek indekslerin seçimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'nin güneybatısında yer alan Marmaris, Türkiye'nin orman varlığı açısından en zengin 3. bölgesi olan Ege Bölgesi'ndeki en geniş ormanlık alana sahip Muğla ilinin (Orman Genel Müdürlüğü [OGM], 2020) 13 ilçesinden biridir (Şekil 1).

İlçe, Akdeniz ve Ege Denizi'nin kesiştiği yerde önemli bir liman ve sahil beldesi durumundadır. Yaklaşık 900 km² yüz ölçümüne sahip olan Marmaris'in doğusunda Balan Dağı (1003 m) güneyinde Palamut Dağı (831 m) bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

İlçe geneli ve çevresinin bitki örtüsü baskın olarak kızılçamlardan oluşan ormanlar ve makilerdir. Kızılçamlar yerleşim yerinin çevresinde bulunan dağların zirvelerine kadar yaygın şekilde görülürken, nadir olarak servi ağaçları, doğu çınarı ve endemik bir tür olan sığla ağaçları da bölgede seyrek olarak görülmektedir (Balcioglu, 2021). İlçe

sınırları içerisinde ~660 km²'lik bir alana yayılan orman alanları Muğla ilindeki tüm orman varlığının yaklaşık %8'ini oluşturmaktadır (Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). İlçenin coğrafi konumu ve doğal özellikleri ilçeyi önemli bir turizm merkezi haline getirirken artan insan faaliyetleri başta çevre kirliliği ve yangınlar olmak üzere insan kaynaklı tahribatların da sıklıkla görüldüğü bir alan olmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte tüm dünyayı etkileyen küresel iklim değişimi ile beraber özellikle yaz aylarında artan sıcaklık ve düşen nem miktarları yangın açısından zaten hassas olan bölgede yangın tehlikesini arttırmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

a. Materyal

Çalışma alanında meydana gelen yangının şiddetinin belirlenebilmesi için Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sentinel 2'nin 2A ve 2B olmak üzere elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bölgelerinde 13 farklı spektral bantta sahip iki uydusu bulunmaktadır. Bu bantlar 10m'den 60m'ye değişen mekânsal çözünürlüğe sahiptir. 2A ile 2B ikiz uydular sayesinde 5 günlük zamansal çözünürlük sağlanmaktadır (European Space Agency [ESA], 2015). 2022 yılı haziran ayında (21-24 Haziran) Marmaris bölgesinde meydana gelen orman yangının şiddetinin belirlenebilmesi için çalışma alanının yangın öncesi (16 ve 18 Haziran 2022) ve yangın sonrası (26 ve 28 Haziran 2022) tarihlerine ait 4'er adet, 2. Seviye (Level-2) Sentinel 2A ve 2B görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntülere ait bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Sentinel 2A ve Sentinel 2B görüntülerinin GEE içerisindeki kimlik bilgileri (uydunun veri kaydetme tarihi koyu renkle belirtilmiştir).

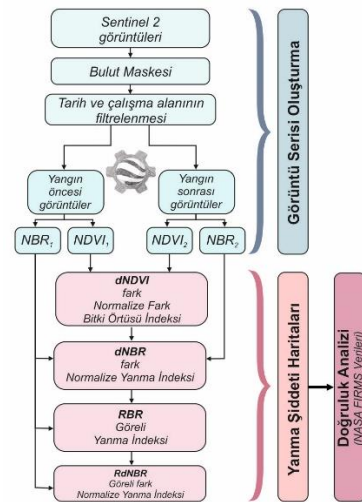
Görüntü Dönemi	Görüntü Kimliği		
Yangın Öncesi	20220616T085611	20220616T090420	T35SNA
	20220616T085611	20220616T090420	T35SPA
	20220618T084559	20220618T085011	T35SNA
	20220618T084559	20220618T085011	T35SPA
Yangın Sonrası	20220626T085611	20220626T090248	T35SNA
	20220626T085611	20220626T090248	T35SPA
	20220628T084609	20220628T085012	T35SNA
	20220628T084609	20220628T085012	T35SPA

Çalışma kapsamında farklı indekslerden üretilen yanma şiddeti haritalarının doğruluklarının kontrolü için aktif yangınlardaki sıcak noktaları gösteren NASA/FIRMS verileri kullanılmıştır. FIRMS, MODIS'in Aqua ve Terra uyduları ile

VIIRS'in SNPP ve NOAA 20 uydularından gelen Gerçek Zamana Yakın (Near Real Time/ NRT) ve standart aktif yangın verilerini sağlamaktadır ([FIRMS], 2022). MODIS Yangın ve Termal Anomali verileri, Terra (MOD14) ve Aqua (MYD14) uydularının yanı sıra birleştirilmiş Terra ve Aqua (MCD14) uydu ürününden temin edilmektedir. Sensör çözünürlüğü 1 km'dir ve zamansal çözünürlük gündüktür. Termal anormallikler, 1 km'lik pikselin yaklaşık olarak merkezine denk gelen kırmızı noktalar şeklinde temsil edilir (Schroeder ve diğerleri, 2014). VIIRS ise 375m'lik I-bandı verileri ile MODIS'in verilerini tamamlar niteliktedir. Mekânsal çözünürlüğün daha yüksek olması özellikle göreceli olarak daha küçük alanlardaki yangınlara karşı daha doğru bir yanıt ve büyük yangınların çaplarının daha iyi haritalanmasını sağlar. İki uydu da etkin nokta algılamada iyi bir uyum göstermektedir (Schroeder ve diğerleri, 2014). Veriler FIRMS'in web sitesinden temin ve talep edilebilmekte ayrıca GEE aracılığıyla söz konusu veriye bulut ortamda erişim sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında, FIRMS'ten söz konusu yangını temsil eden MODIS için 82, VIIRS için 507 nokta verisi temin edilmiş ve tüm noktalar tutarlılık karşılaştırmasında kullanılmıştır.

b. Metot

Bu çalışma kapsamında 2022 yılı haziran ayında Marmaris bölgesinde meydana gelen orman yangının şiddetinin belirlenebilmesi için bulut tabanlı bir hesaplama platformu olan GEE kullanılmıştır. Öncelikle platformdan temin edilen Sentinel verilerine bulut maskesi uygulanmış, daha sonra tarih ve çalışma alanı filtrelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışmada takip edilen akış şeması.

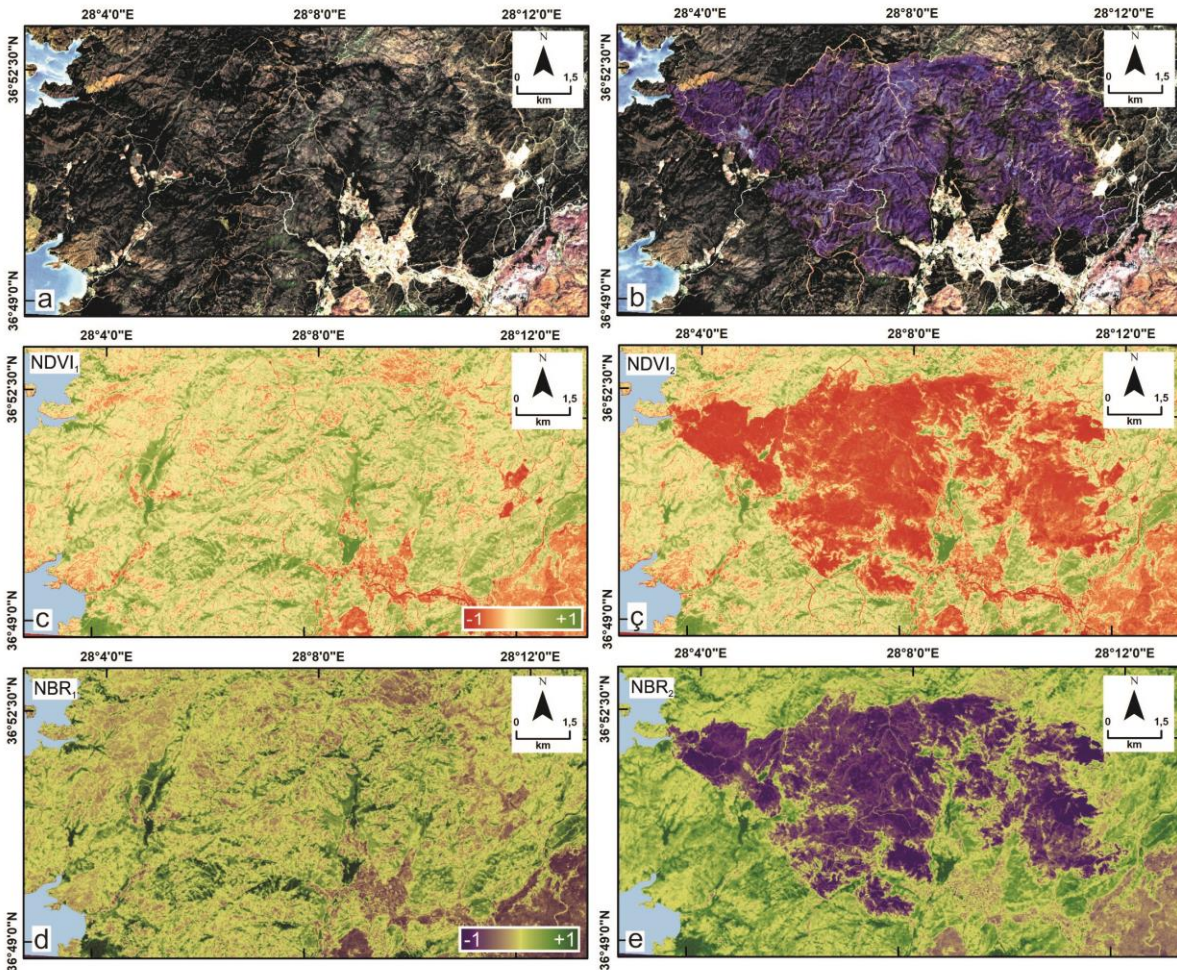
Tarih filtrelemesinde, çalışmanın sonraki aşamasında kullanılan indekslerde faydalanılmak üzere yangın öncesi ve sonrası dönemi temsil eder şekilde iki ayrı görüntü mozaïği oluşturulmuştur (Şekil 3a,b).

Oluşturulan mozaiklere ilk olarak yanma şiddeti değerlendirmesi için geniş çapta kabul gören (Vlassova ve diğerleri, 2014; Kovács, 2019) NDVI uygulanmıştır (Şekil 3c, ç). NDVI sağlıklı bitki örtüsünün yakın kızılötesi (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 8) yüksek yansıtma ve kırmızı dalga boyundaki (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 4) yüksek soğurma değerlerini kullanarak (eşitlik (1)) yeşil bitki örtüsü yoğunluğu hakkında bilgi sağlar (Tucker, 1979).

$$NDVI = \frac{\text{Yakın kızılötesi bant} - \text{Kırmızı bant}}{\text{Yakın kızılötesi bant} + \text{Kırmızı bant}} \quad (1)$$

Denklemden elde edilen sonuçlar +1 (bitki örtüsü) ve -1 (bitki örtüsü olmayan alan) arasında değerler alır. Çalışma kapsamında ayrıca yangın şiddeti haritası hazırlanması aşamasında yangın öncesi (NDVI₁) ve sonrası (NDVI₂) NDVI görüntülerinin farkı alınarak, fark NDVI (dNDVI) haritası oluşturulmuştur.

Sağlıklı bitki örtüsü, elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde çok yüksek yansıtma ve kısa dalga kızılötesi bölgesinde ise düşük yansıtma gösterir. Tam tersi şekilde yakın zamanda yanmış alanlar yakın kızılötesi bölgede düşük yansıtma ve kısa dalga kızılötesi bölgede yüksek yansıtma gösterir (Pereira ve diğerleri, 1999; Key, 2006). Bir sonraki adımda, çalışma kapsamında hazırlanmış görüntü mozaiklerine bu yaklaşım ile NBR indeksi uygulanmıştır (Şekil 3d, e).



Şekil 3. Çalışma alanının, a) yangın öncesi Sentinel 2 görüntü mozaïği b) yangın sonrası Sentinel 2 görüntü mozaïği, c) yangın öncesi NDVI (NDVI₁) görüntüsü, ç) yangın sonrası NDVI (NDVI₂) görüntüsü, d) yangın öncesi NBR (NBR₁) görüntüsü, e) yangın sonrası NBR (NBR₂) görüntüsü.

NBR, büyük yangın bölgelerindeki yanmış alanların uydu görüntülerinde belirgin hale getirilmesi için tasarlanmış yakın kızılötesi (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 8) ve kısa dalga kızılötesi bantların (Sentinel-2 görüntülerinde Bant 12) kullanıldığı (eşitlik (2)) bir indekstir (Key ve Benson, 2005).

$$NBR = \frac{(Yakın\ kızılötesi\ bant - Kısa\ dalga\ kızılötesi\ bant)}{(Yakın\ kızılötesi\ bant + Kısa\ dalga\ kızılötesi\ bant)} \quad (2)$$

NDVI' ya benzer şekilde NBR değerleri -1 ve +1 arasında değişir. +1'e yakın NBR değeri sağlıklı bitki örtüsünü, -1'e yakın NBR değeri çıplak zemini ve yakın zamanda yanmış alanları temsil ederken, yanmamış alanlar genel olarak sıfıra yakın değerler alır. Yangın öncesi ve yangın sonrası görüntülerden elde edilen NBR görüntüleri yanma şiddetini belirlemek için geliştirilmiş farklı indekslerde kullanılabilir. Bunlardan en yaygın kullanılanı eşitlik (3)'de sunulan yangın öncesi NBR görüntüsünden (NBR₁) yangın sonrası NBR görüntüsünün (NBR₂) çıkarılması ile elde edilen dNBR'dır (Key ve Benson, 2005).

$$dNBR = NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü} - NBR_{yangın\ sonrası\ görüntü} \quad (3)$$

Yüksek dNBR değerleri, daha ciddi hasarı (yanmış alanları) işaret etmektedir (Cai ve Wang, 2020). dNBR ve yangın öncesi NBR görüntüleri kullanılarak formüle edilen bir diğer indeks eşitlik (4)'te sunulan RBR indeksidir (Parks ve diğerleri 2014).

$$RBR = \frac{dNBR}{(NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü} + 1,001)} \quad (4)$$

dNBR'nin farklı bir varyantı olan indekste, paydanın sıfır değeri almaması için, paydaya 1,001 eklenmektedir (Parks ve diğerleri 2014). dNBR'nin diğer bir farklı varyantı da RdNBR'dır (Miller ve Thode 2007; Miller ve diğerleri, 2009). dNBR yangın öncesi ve sonrası görüntüler arasındaki mutlak değişimi ölçerken, RdNBR (eşitlik (5)) yangın öncesi yansımaya göre yanma şiddetinin belirlenmesini ve tanımlandığı gibi yangının neden olduğu nispi değişimin hesaplanmasını sağlar (Miller ve Thode, 2007; Soverel, Perrakis ve Coops, 2010).

$$RdNBR = \frac{dNBR}{\sqrt{|NBR_{yangın\ öncesi\ görüntü}|}} \quad (5)$$

Sentinel görüntülerine farklı indeksler uygulanarak elde edilen görüntülere USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol/ Yangın Etkilerini İzleme ve Envanter Protokolü; Lutes ve diğerleri, 2006) tarafından, bir bölgedeki yanma şiddetini tanımlamak üzere belirlenmiş eşik değerler uygulanarak (Tablo 2) çalışma alanının her bir indeks görüntüsüne göre yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur.

Söz konusu eşik değerler esas olarak dNBR indeksine bağlı olarak geliştirilmiş olsa da, literatürde bu eşik değerlerin farklı indekslere uygulanması ile yine bir bölgedeki yangın şiddetinin belirlendiği örnekler mevcuttur (Konkathi ve Shetty, 2021).

Tablo 2. Yanma şiddeti sınıflarının eşik değeri seviyeleri (Key ve Benson, 1999; 2004; 2005).

NUMARA	DEĞER ARALIĞI	YANMA ŞİDDETİ SINIFI
1	-0,50 ile -0,25	Yüksek seviyede yeniden yeşillenme
2	-0,25 ile -0,1	Düşük seviyede yeniden yeşillenme
3	-0,1 ile 0,1	Yanmamış alan
4	0,1 ile 0,27	Düşük şiddetli yanma
5	0,27 ile 0,44	Orta-düşük şiddetli yanma
6	0,44 ile 0,66	Orta-yüksek şiddetli yanma
7	0,66 ile 1,30	Yüksek şiddetli yanma

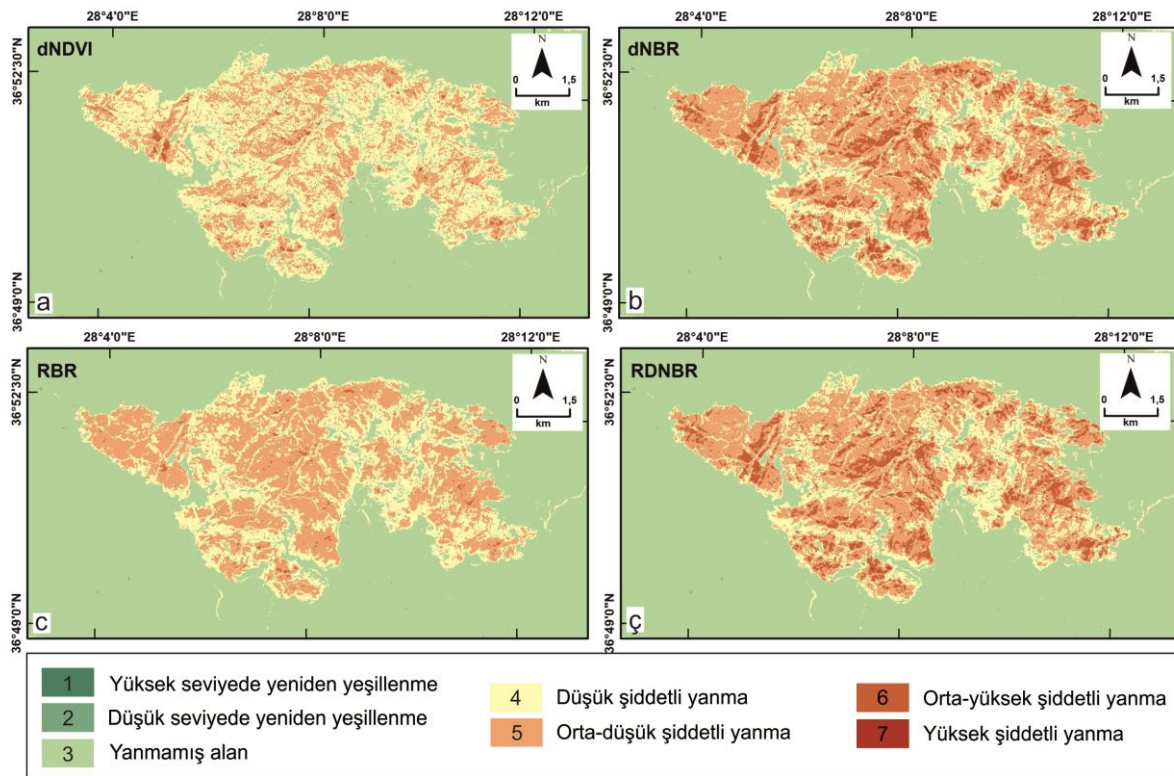
Yangın şiddet haritalarının oluşturulmasından sonra, elde edilen haritaların doğruluklarının saptanması ve birbirleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla öncelikle yangın şiddeti haritalarında 0,1'den küçük değer alan pikseller yanmamış, 0,1'den büyük değer alan pikseller ise yanmış alan olarak sınıflandırılmıştır. Bu ayırmadan sonra, NASA FIRMS'ten temin edilen aktif yangınları gösteren sıcak noktalar (MODIS için 82, VIIRS için 507 nokta verisi) kullanılarak tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. FIRMS verileri içerisindeki MODIS'ten sağlanan veriler 1000 m mekânsal çözünürlüğe sahipken, VIIRS'den sağlanan veriler 375 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. VIIRS'in sensörlerinden sağlanan yangın verileri aslında daha kaba çözünürlüklü MODIS ürünlerinin devamı, tamamlayıcısı niteliğindedir (Kaufman, Justice, Flynn, Kendall, Prins, Giglio, Ward, Menzel, Setzer, 1998; Giglio, Descloitres, Justice, Kaufman, 2003; Schroeder ve diğerleri, 2014) ve her iki veri seti kendi içerisinde uyumlu sonuçlar verir ([EarthData], 2022). Bu iki veri seti ile 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel görüntüsü üzerinden hazırlanan haritalardaki

tutarlılığın daha gerçekçi şekilde karşılaştırılabilmesi amacıyla, indekslerden üretilen raster formattaki yanma şiddeti haritaları yeni piksel boyutları belirlenerek ArcGIS programında 375 m (VIIRS verileri ile karşılaştırmak için) ve 1000 m'ye (MODIS verileri ile karşılaştırmak için) yeniden örneklenmiştir. Yeniden örnekleme işlemi sonrasında elde edilen sınırlar, Sentinel görüntülerinden üretilen indeks haritalardan elde edilen sınırlar ile karşılaştırılmıştır. Son olarak nokta formatındaki VIIRS ve MODIS verileri kullanılmış ve yanmış alan olarak belirlenen sınırlar içerisinde kalan noktalar tutarlı, dışında kalan noktalar ise tutarsız olarak değerlendirilerek yüzde hesabı yapılmıştır.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında öncelikle Haziran 2022'de Marmaris'te meydana gelen orman yangının farklı indeksler kullanılarak yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).

Bu haritalar üzerinden yapılan hesaplamalarda toplam yanan alanın dNDVI'ya göre 4136,25 ha, dNBR indeksine göre 4365,91 ha, RBR indeksine göre 4268,84 ha, RdNBR indeksine göre ise 4365,68 ha olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).



Şekil 4. a-ç) Çalışma alanının farklı indekslerden üretilmiş yanma şiddeti haritaları (Haritalardaki sınıflamalar Tablo 2'deki eşik değerler kullanılarak yapılmıştır).

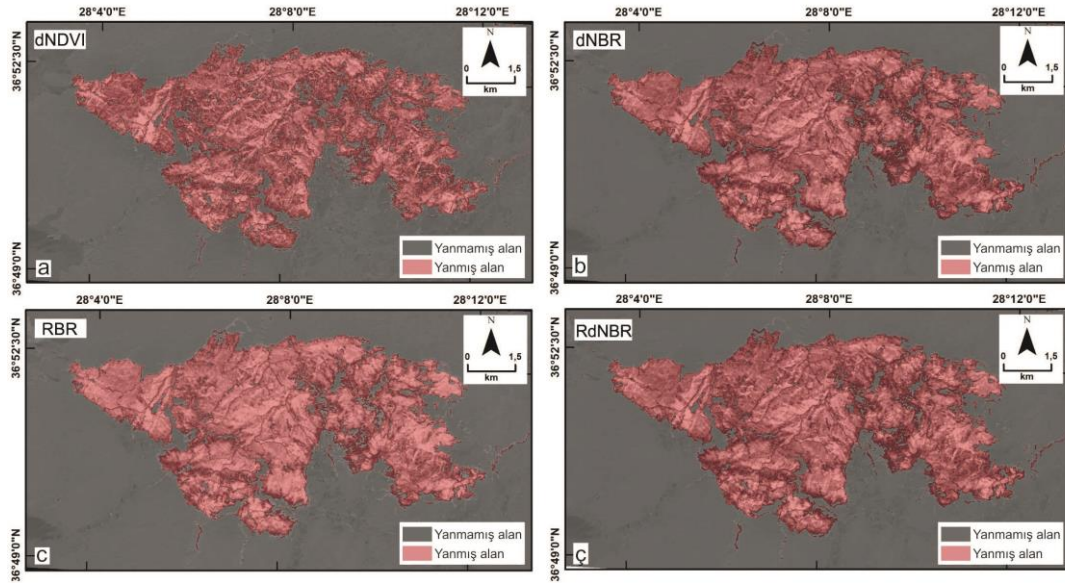
Tablo 3. Çalışma kapsamında kullanılan indekslerden hesaplanan yanmış alan sınıflarının kapladığı alanlar ve bunların tüm yanmış alana göre yüzdeleri.

Yanmış alan sınıfı (ha (%))	dNDVI	dNBR	RBR	RdNBR
Düşük şiddetli yanmış alan	2507,60 (%61)	1398,81 (%32)	1837,31 (%43)	1400,31 (%32)
Orta-düşük şiddetli yanmış alan	1566,51 (% 38)	2349,76 (%54)	2398,07 (%56)	2346,36 (%54)
Orta-yüksek şiddetli yanmış alan	62,14 (% 1)	614,89 (%14)	33,46 (%1)	616,47 (%14)
Yüksek şiddetli yanmış alan	0,00 (%0)	2,44 (%0,1)	0,00 (%0)	2,54 (%0)
Toplam yanmış alan	4136,25	4365,91	4268,84	4365,68

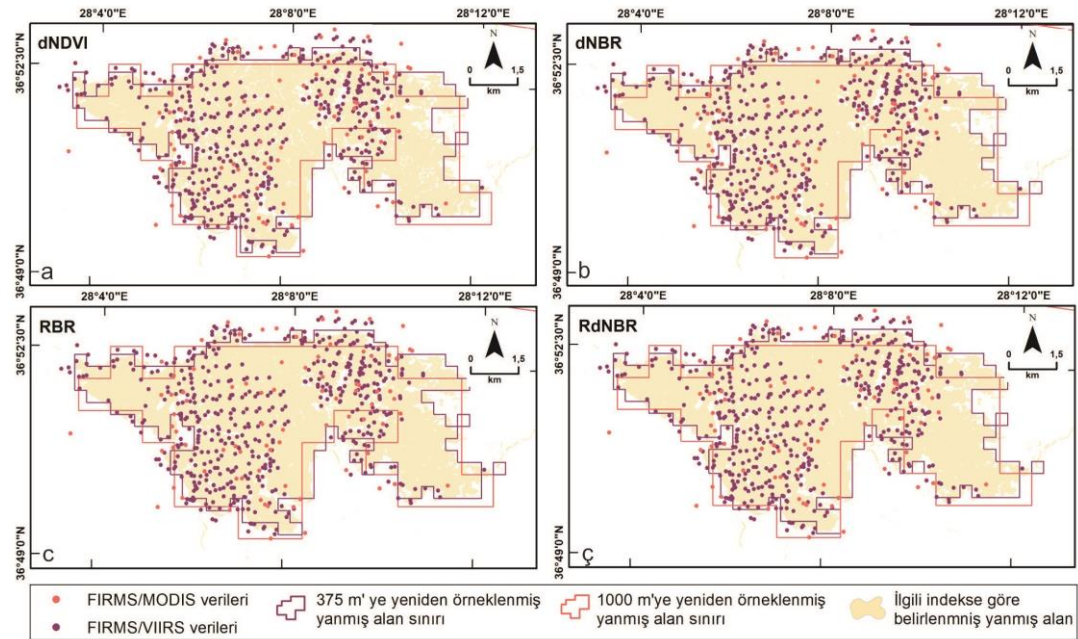
dNDVI hariç diğer tüm indekslerde orta-düşük şiddetli yanan alan miktarı toplam yanan alan içerisinde daha yüksek yüz ölçümüne sahipken dNDVI ile elde edilen şiddet haritasına göre düşük şiddetli yanma görülen bölgenin yüzey alanı daha fazladır. İlaveten tüm indekslerde yüksek şiddetli yanan alan en düşük yüzey alanına sahiptir (Tablo 3).

Bir sonraki adımda, yangın şiddeti haritaları 0,1 eşik değeri kullanılarak yanan ve yanmamış alanlara ayrılmıştır (Şekil 5). Tüm indekslerden

üretilen yanan alanların doğruluklarının belirlenebilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla, tüm indeks haritalarındaki yanan alanlar yeniden örneklenmiş ve Sentinel görüntülerinden üretilen indeks haritaları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Bu haritaların nokta formatındaki FIRMS verileri ile değerlendirilmeleri sonucunda, dNDVI hariç diğer tüm indekslerden üretilen yanan alanların MODIS verileri ile %76,83 oranında, dNDVI'dan üretilen yanan alanın ise % 75,61 oranında tutarlılık gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7).

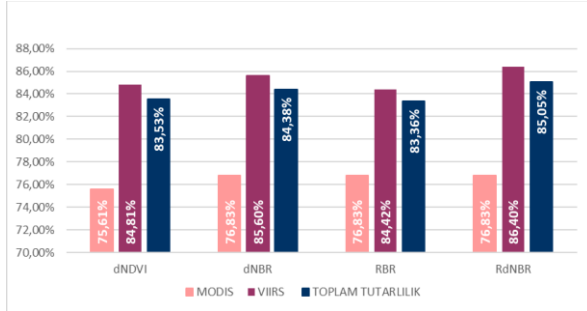


Şekil 5. Çalışma alanında farklı indekslere göre yanan alanların durumu.



Şekil 6. 375 ve 1000 m 'ye yeniden örneklenmiş indeks haritaları ve FIRMS verilerinin bunlar üzerindeki dağılımı.

İndeks haritalarından belirlenen yanmış alanların VIIRS verileri ile olan tutarlılıklarının ise % 84 ile %86 aralığında olduğu, en yüksek tutarlılığın (%86,04) RdNBR indeksi kullanılarak üretilen yanmış alan ile en düşük tutarlılığın (%84,42) ise RBR kullanılarak üretilen yanmış alan ile sağlandığı görülmektedir. Tüm noktalar bazındaki toplam tutarlılıklara bakıldığında ise yine en yüksek tutarlılık RdNBR indeksi (%85,05) ile sağlanırken, en düşük tutarlılığın RBR indeksi (%83,36) ile sağlandığı görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Farklı indeks haritalarındaki yanmış alanların MODIS ve VIIRS verileri ile tutarlılıkları.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Sentinel 2 görüntüleri kullanılarak 2022 yılı haziran ayında Marmaris'te meydana gelen orman yangınının farklı spektral indeksler (dNDVI, dNBR, RBR, RdNBR) ile yanma şiddeti haritaları üretilmiş ve bu indekslerin yanmış alanların belirlenmesindeki doğrulukları karşılaştırılmıştır.

Tüm indekslerden üretilen yanmış alan haritalarından hesaplanan en küçük toplam yanmış alan dNDVI ile tespit edilmiştir ve çalışma alanı içerisinde 4136,25 ha'lık bir alanı temsil etmektedir (Tablo 3). Ayrıca yine dNDVI indeksine göre toplam yanan alanın %60,6'sı düşük seviyede yanmış görülmektedir. Diğer indekslerde bu oranlar %32 ile %43 arasında değer almaktadır (Şekil 4).

Uzaktan algılama ile yanma şiddetinin değerlendirildiği çok sayıda çalışma NDVI'nin kullanımına odaklanmış olsa da (Kasischke ve French, 1995; Fraser, Li ve Cihlar, 2000; Diaz-Delgado, Lloret ve Pons, 2003; Escuin, Navarro ve Fernández, 2008; Chu ve Guo, 2013; Veraverbeke ve diğerleri, 2010) NDVI, klorofil miktarı yüksek, sağlıklı bitki örtüsünün yakın kızılötesi dalga boyundaki yüksek yansıtma ve kırmızı dalga boyundaki yüksek soğurma değerlerinin kullanıldığı bir indekstir (Tucker, 1979). Dolayısıyla bitki örtüsündeki klorofil miktarı azaldıkça NDVI değerleri de düşmeye başlar.

NDVI'nin doğrudan yanmış alanın spektral özelliklerine değil de bitki örtüsünün spektral özelliklerine bağlı olması, çalışma alanının yangın öncesi ve sonrası görüntülerinden üretilmiş dNDVI haritasında yanma kademelerinin diğer indekslerden tespit edilenlerden farklı çıkmasına ve toplam yanan alanın diğer indekslere göre daha düşük olmasına sebep olmuş olabilir. dNDVI'nin yanmış alanların belirlenmesindeki diğer bir dezavantajı ise bitki örtüsündeki değişimin yanma ya da farklı bir sebebe bağlı olup olmadığını ayırt edememesidir (Chongo, Nagasawa, Ahmed ve Perveen, 2007; Pirnazar ve diğerleri, 2018; Farhadi ve diğerleri, 2022). Ancak bu çalışmada kullanılan yangın sonrası görüntü mozaığının yangının söndürüldüğü gün itibari ile oluşturulmuş olması, yangın sonrası görüntü mozaığında bitki örtüsündeki azalışının farklı bir nedeni olması ihtimalini düşürmüştür.

Çalışmada dNDVI haricinde kullanılan diğer indeksler NBR ve ona bağlı olarak geliştirilmiş indekslerdir. NBR, uzaktan algılama ile yanma şiddetini belirlemek için standart spektral indeks olarak kabul görmektedir (Key ve Benson, 2005; Nassery ve Kalkan 2020, Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Dolayısıyla NBR'den üretilen dNBR, RBR ve RdNBR indeksleri de yanma şiddeti tespitinde yaygın olarak kullanılan yöntemler durumundadır.

Çalışma kapsamında bu indeksler kullanılarak üretilen yanma şiddeti haritalarındaki yanmış alan sınıflarının kapladıkları alanlar ve toplam yanmış alan miktarları görece olarak yakın değerler almışlardır. dNBR, RBR ve RdNBR indekslerinden üretilen yanma şiddeti haritalarında düşük şiddetli yanmış alanların tüm yanmış alanlara oranı sırasıyla %32, %43, %32,1; orta-düşük şiddetli yanmış alanların tüm yanmış alanlara oranları sırasıyla %53,8, %56,2, %53,7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Yine aynı sıra ile orta-yüksek şiddetli yanmış alanlar %14,1, %0,8, %14,1 olarak hesaplanmıştır. Yüksek şiddetli yanmış alanların oranı ise %0-%0,1 aralığındadır. (Tablo 3). Toplam yanmış alanların kapladığı yüz ölçümü dNBR ve RdNBR'de çok daha yakınen (4365,91 ha ve 4365,68 ha), RBR ile hesaplanan toplam yanmış alan 4268,84 ha olarak hesaplanmıştır. RBR özellikle yangın öncesi bitki örtüsünün düşük olduğu alanlarda iyi sonuç vermektedir (Parks, Dillon ve Miller, 2014). Çalışma alanında yangın öncesi bitki örtüsünün oldukça yoğun olması RBR'den hesaplanan yanmış alanın yüz ölçümünün daha düşük çıkmasına sebep olmuş olabilir.

dNBR ve RdNBR'de hem orta-düşük, orta-yüksek şiddetli yanmış alanların miktarı hem de

toplam alan oldukça yakın çıkmıştır. RdNBR'yi dNBR'den ayıran temel fark formülü gereği RdNBR'nin sadece yangının şiddetini değil aslında yangın öncesi bitki örtüsü yoğunluğu ve dağılımını da dikkate alıyor olmasıdır (Miller ve Thode, 2007). İndeksteiki Göreli (relative) ifadesi de zaten buradan gelmektedir. Genel olarak bitki örtüsünün seyrek ve yangın şiddetinin düşük olduğu alanlarda dNBR ve RdNBR değerleri arasındaki fark fazla olmakta, ancak bitki örtüsünün yoğun, yangın şiddetinin ise orta ya da yüksek seviyede olduğu alanlarda ise bu fark neredeyse ortadan kalkmaktadır (Miller ve Thode 2007; Applied Remote Sensing Training Program [ARSET], (2022)).

Çalışma alanında meydana gelen yangının tahribatını orta şiddetli olarak ifade etmek mümkündür (Ancak kullanılan yangın sonrası görüntü mozaığının yangının bittiği gün itibari ile hazırlandığı unutulmamalıdır. Görüntülerin yangın anını yansıtmaması durumunda bu şiddet değeri değişebilir).

İndekslerden üretilen yanmış alanların doğruluklarının karşılaştırılması amacıyla NASA FIRMS verileri kullanılmıştır. Bu veriler içerisindeki nokta formatındaki MODIS verileri 1000 m, VIIRS verileri ise 375 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Diğer bir ifade ile yanmakta olan alanı gösteren nokta verisi MODIS için 1000 km'lik, VIIRS içinse 375 m'lik mekânsal çözünürlüğe sahip görüntülerdeki piksellerin merkezini temsil edecek şekilde üretilmiştir. Verilerin mekânsal çözünürlüğü 10 m olan Sentinel verilerinden üretilen indeks haritalarla karşılaştırılabilmesi için her indeksin yanmış alan haritası 375 ve 1000 m'ye yeniden örneklenmiş ve bu haritalar 10 m çözünürlüklü indeks haritalar ile kesiştirilmiştir. Sonrasında MODIS ve VIIRS'tan sağlanan nokta formatındaki veriler, Sentinel görüntülerinden oluşturulmuş yanmış alanlar ve kendi çözünürlüklerine göre yeniden örneklenmiş sınırların kesişim bölgesinin içinde kalıp kalmamalarına göre değerlendirilmiştir.

Bunun sonucunda MODIS noktaları dNBR, RBR, RdNBR indekslerinden üretilen yanmış alanlar ile %76,83 oranında, dNDVI'dan üretilen yanmış alan ile %75,61 oranında uyumlu çıkmıştır. Haritaların 1000 m'ye yeniden örneklediği düşünüldüğünde oluşan kaba sınırlar, zaten birbirine yakın çıkmış olan yanmış alan sınırlarını aynı alana taşımış, dolayısıyla toplam yanmış alan sınırları ve büyüklüğü yakın çıkan bu 3 indeksin MODIS verileri ile tutarlılığı da aynı çıkmıştır. NDVI'dan hesaplanan yanmış alanın diğer indekslerden belirlenenlere göre daha

küçük yüz ölçümünü kaplıyor olması tutarlılığın da az çıkmasına sebep olmuştur.

VIIRS verileri ile olan tutarlılığa bakıldığında ise tutarlılıkların her indeks için yükseldiği ve farklı değerler aldığı görülmektedir. En yüksek tutarlılıklar RdNBR ve dNBR indekslerinde sağlanmış, bunu sırasıyla NDVI ve RBR indeksleri izlemiştir. Yeniden örneklenmiş sınırlarda çözünürlüğün artması bunda etkindir. Tüm indekslerden elde edilen toplam tutarlılık değerleri %80'in üstünde olmakla birlikte, RdNBR ve dNBR indekslerinin en yüksek doğruluğu verdiği (%85,05 ve %84,38) görülmüştür. NDVI ve RBR indekslerinde bu oran sırasıyla %83,53 ile %83,36'dır. Çalışma kapsamında dNBR ve RdNBR indeksleri ile belirlenen yanmış alanların hem yüz ölçümlerinin yakın değerlere sahip olması hem de doğruluklarının yüksek çıkması bölgenin yangın öncesinde yoğun bir bitki örtüsüne sahip olmasından kaynaklanması ile açıklanabilir.

Literatürde, yanmış alanların belirlenmesinde farklı indekslerin kullanıldığı diğer bazı çalışmalarda da NBR'den üretilen RdNBR ve dNBR indekslerinin genel olarak daha iyi sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür (örn. Konkathi ve Shetty, 2021). Benzer amaçla farklı indekslerin kullanıldığı çalışmalarda da NDVI, NBR ve bunlara bağlı olarak geliştirilen fark NDVI ve fark NBR'nin de yüksek doğruluk gösterdiği görülmüştür (Sabuncu ve Özener 2019; Kavzoğlu ve diğerleri, 2021). Uzaktan algılama ile yanmış alanların ve yanma şiddetinin belirlenmesinde özellikle pasif sensörler ile yapılan çalışmalarda, ağaç gölgeliklerinin altını tespit etmek zor olacağı için hem sınıfları ayırmakta hem de toplam doğruluğun tespit edilmesinde bazı sorunlar yaşanmasının muhtemel olduğu literatürde de belirtilmiştir (Miller ve Thode, 2007). Bu durum tek bir indeksin, her arazi örtüsü ya da bitki örtüsü türü ve yoğunluğu için en iyi olarak tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma alanında olduğu gibi yangın öncesinde yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlarda dNBR ve RdNBR indekslerinin daha iyi sonuçlar verdiğini söylemek mümkündür.

KATKI BELİRTME

Yazar makalenin biçimsel düzenlemesindeki katkılarından dolayı Harita Yüksek Mühendisi Gamze KAÇMAZ'a ve makalenin gelişmesine sağladıkları katkıları için hakemlere teşekkür eder.

ORCID

Esra GÜRBÜZ 
<https://orcid.org/0000-0001-6105-2291>

KAYNAKLAR

- Ahmed, M.R., Hassan, Q. K., Abdollahi, M. ve Gupta, A. (2020). Processing of near real time land surface temperature and its application in forecasting forest fire danger conditions. *Sensors*, (4), 984. doi: 10.3390/s20040984
- ARSET. (2022). Applied Remote Sensing Training Program. Erişim Adresi: <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-using-earth-observations-pre-and-post-fire-monitoring>
- Balcıoğlu, Y. E. (2021). Bodrum, Marmaris, Köyceğiz ve Muğla'da Sıcaklık ve Yağış Değişkenlerinin Analizi ve Ekstrem Olaylar. (Doktora Tezi) YÖK veri tabanından erişildi.(Tez No. 694681).
- Cai, L. ve Wang, M. (2020). Is the RdNBR a better estimator of wildfire burn severity than the dNBR? A discussion and case study in southeast China. *Geocarto International*, 37 (3), 758-772. doi: 10.1080/10106049.2020.1737973
- Chongo, D., Nagasawa, R., Ahmed, A. O. C. ve Perveen, M. F. (2007). Fire monitoring in savanna ecosystems using MODIS data: A case study of Kruger National Park, South Africa. *Landscape and Ecological Engineering*, 3 (1), 79–88. doi: 10.1007/s11355-007-0020-5.
- Chu, T. ve Guo, X. (2013). Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review. *Remote Sensing*, 6(1), 470-520. doi: 10.3390/rs6010470
- Chuvieco, E., Martín, M.P. ve Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103–5110. doi:10.1080/01431160210153129.
- Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., Martin, P., Martinez-Vega, J., De La Riva, J. ve Pérez, F. (2004). Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote Sensing of Environment*, 92 (3), 322-331. doi: 10.1016/j.rse.2004.01.019
- Cocke A.E, Fulé P.Z. ve Crouse J.E. (2005) Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. *Int J Wildl Fire* 14:189–198. doi: 10.1071/WF04010.
- Çömert, R., Matcı, D. K., Emir, H. ve Avdan, U. (2017). Nesne Tabanlı Sınıflandırma ile Yanmış Orman Alanlarının Tespiti. Afyon Kocatepe Üniversitesi *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 27-34. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/321533008_Nesne_Tabanli_Siniflandirma_ile_Yanmis_Orman_Alanlarinin_Tespiti
- Dervisoglu, A. (2021). Analysis of the temporal changes of inland Ramsar Sites in Turkey using Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8), 521. doi: 10.3390/ijgi10080521
- Dervisoglu, A. (2022). Investigation of long and short-term water surface area changes in coastal Ramsar Sites in Turkey with Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1), 46. doi: 10.3390/ijgi11010046
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. ve Pons, X. (2003). Influence of fire severity on plant regeneration through remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24(8), 1751- 1763. doi: 10.1080/01431160210144732.
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., ... Moore, III B. (2016). Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 185, 142-154. doi: 10.1016/j.rse.2016.02.016
- EarthData (2022). Erişim Adresi: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/viirs-i-band-375-m-active-fire-data>
- Escuin, S. Navarro R. ve Fernández P. (2008) Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images, *International Journal of Remote Sensing*, 29:4, 1053-1073, doi: 10.1080/01431160701281072.

- ESA. (2015). Sentinel-2 User Handbook. Erişim Adresi: <https://www.google.com/search?q=Sentinel-2+User+Handbook&og=Sentinel-2+User+Handbook&ags=chrome..69i57j69i60.511j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Farhadi, H., Mokhtarzade, M., Ebadi, H. ve Beirami, B. A. (2022). Rapid and automatic burned area detection using sentinel-2 time-series images in Google Earth Engine cloud platform: a case study over the Andika and Behbahan Regions, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), 1-19. doi: 10.1007/s10661-022-10045-4
- Fernández, A., Illera, P. ve Casanova, J. L. (1997). Automatic mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data. *Remote Sensing of Environment*, 60(2), 153-162. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00178-2
- Fraser, R. H., Li, Z. ve Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 74(3), 362-376. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/238241599_Hotspot_and_NDVI_Differencing_Synergy_HANDS_A_New_Technique_for_Burned_Area_Mapping_over_Boreal_Forest
- FIRMS. (2022). *The Fire Information for Resource Management System* Erişim Adresi: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- GEE. (2022). *Google Earth Engine*. Erişim Adresi: <https://earthengine.google.org>
- Gibson, R., Danaher, T., Hehir, W. ve Collins, L. (2020). A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111702. doi: 10.1016/j.rse.2020.111702
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O. ve Kaufman, Y. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87: 273-282. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B. ve Justice, C.O. (2009). An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sens. Environ.* 113, 408–420. doi: 10.1016/j.rse.2008.10.006
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. ve Moore, R., (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Gupta, P. ve Shukla, D. P. (2022). Google earth engine based temporal analysis of indices used for forest fire study in Mizoram, India. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 493-499. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-493-2022
- Gürbüz, E. (2018). Tracing Temporal Changes with Google Earth Engine: Lake Uluabat, southern Marmara Region, Turkey. *Proceedings of EurasianGIS 2018 Congress*, Baku, pp. 177-179.
- Güzel, A., Bıçaklı, K., Bıçaklı, F. ve Kaplan, G. (2021). Monitoring the Regeneration Process of Areas Destroyed by Forest Fires Aided by Google Earth Engine. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 21(2), 122-130. doi: 10.17475/kastorman.1000369
- Hall, R. J., Freeburn, J. T., De Groot, W. J., Pritchard, J. M., Lynham, T. J. ve Landry, R. (2008). Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires. *International Journal of Wildland Fire*, 17(4), 476-489. Erişim Adresi: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=28883>
- Kasischke, E. S. ve French, N. H. (1995). Locating and estimating the areal extent of wildfires in Alaskan boreal forests using multiple-season AVHRR NDVI composite data. *Remote Sensing of Environment*, 51(2), 263-275. doi: 10.1016/0034-4257(93)00074-J
- Kaufman, Y.J., Justice, C.O., Flynn, L.P., Kendall, J.D., Prins, E.M., Giglio, L., Ward, D.E., Menzel, W.P. ve Setzer, A.W. (1998). Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 103(D24): 32215-32238. doi:10.1029/98jd01644
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ., Tonbul, H. ve Öztürk, M.Y. (2021). "Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Orman Yangınlarının Zamansal Analizi: 2021 Yılı Akdeniz ve Ege Yangınları", T. Kavzoğlu (Ed.) *Orman Yangınları: Sebepleri, Etkileri, İzlenmesi, Alınması Gereken Önlemler ve Rehabilitasyon Faaliyetleri. Türkiye Bilimler Akademisi*. ss. 219-251.

- Key, C. H. (2006). Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity. *Fire Ecology*, 2(2), 34-59. Erişim Adresi: <https://fireecology.springeropen.com/articles/10.4996/fireecology.0202034>
- Key, C.H. ve Benson, N.C. (2005) Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio D.C. Lutes, et al. (Eds.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system, General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD:LA1-LA51, *USDA Forest Service*, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT (2005).
- Konkathi, P. ve Shetty, A. (2021). Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 14(2), 645-653. doi: 10.1007/s12145-020-00566-2
- Koutsias N. ve Karteris M., (2000). Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image, *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), 673-687. doi: 10.1080/014311600210506
- Kovács, K.D. (2019). Evaluation of burned areas with Sentinel-2 using SNAP: The case of Kineta and Mati, Greece, July 2018. *Geographia Technica*, Cluj University Press, 14(2), pp.20-38. doi: 10.21163/GT_2019.142.03
- Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S. ve Gangi, L. J. (2006). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164*. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD., 164. doi: 10.2737/RMRS-GTR-164
- Midekisa, A., Holl, F., Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Bennett, A., ve Sturrock, H. J. (2017). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS one*, 12(9), e0184926. doi: 10.1371/journal.pone.0184926
- Miller, J. D. ve Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66-80. doi: 10.1016/j.rse.2006.12.006
- Miller, J. D., Knapp, E. E., Key, C. H., Skinner, C. N., Isbell, C. J., Creasy, R. M. ve Sherlock, J. W. (2009). Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 113(3), 645-656. doi: 10.1016/j.rse.2008.11.009
- NASA. (2022). *National Aeronautics and Space Administration*. Erişim Adresi: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Nasery, S. ve Kalkan, K. (2020). Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The case of Karabağlar district, İzmir/Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(2), 72-77. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/turkgeo/issue/56822/770803>
- Nolè, A., Rita, A., Spatola, M. F. ve Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of The Total Environment*, 823, 153807. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153807
- OGM, 2020. 2020 Türkiye Orman Varlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü. ISBN 978-605-7599-68-1.
- OGM, 2021. *Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü, 2021 yılı Orman Yangınları, değerlendirme Raporu*. Erişim adresi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://muglaobm.ogm.gov.tr/SiteAssets/Lists/Duyurular/AllItems/2021%20Y%C4%B1l%C4%B1%20Orman%20Yang%C4%B1nlar%C4%B1%20De%C4%9Ferlendirme%20Raporu.pdf
- Ou, C., Yang, J., Du, Z., Liu, Y., Feng, Q., ve Zhu, D. (2019). Long-term mapping of a greenhouse in a typical protected agricultural region using landsat imagery and the google earth engine. *Remote Sensing*, 12(1), 55. doi: 10.3390/rs12010055

- Parks, S. A., Dillon, G. K. ve Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: the relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827-1844. doi: 10.3390/rs6031827
- Pereira, J. M., Pereira, B. S., Barbosa, P., Stroppiana, D., Vasconcelos, M. J. ve Grégoire, J. M. (1999). Satellite monitoring of fire in the EXPRESSO study area during the 1996 dry season experiment: Active fires, burnt area, and atmospheric emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D23), 30701-30712. doi: 10.1029/1999JD900422
- Pereira, M. G., Trigo, R. M., da Camara, C. C., Pereira, J. M. ve Leite, S. M. (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 129(1-2), 11-25. doi: 10.1016/j.agrformet.2004.12.007
- Pirnazar, M., Hasheminasab, H., Karimi, A. Z., Ostad-Ali-Askari, K., Ghasemi, Z., Haeri-Hamedani, M. ve Eslamian, S. (2018). The evaluation of the usage of the fuzzy algorithms in increasing the accuracy of the extracted land use maps. *International Journal of Global Environmental Issues*, 17(4), 307-321. doi: 10.1504/IJGENVI.2018.095063
- Pletsch, M. A., Körting, T. S., Morita, F. C., Silva-Junior, C. H., Anderson, L. O. ve Aragão, L. E. (2022). Near Real-Time Fire Detection and Monitoring in the MATOPIBA Region, Brazil. *Remote Sensing*, 14(13), 3141. doi: 10.3390/rs14133141
- Robinson, J. M. (1991). Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 12(1), 3-24. doi: 10.1080/01431169108929628
- Sabuncu, A. ve Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317-326. doi: 10.21324/dacd.511688
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. ve Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sens. Environ.*, 143, 85-96. doi: 10.1016/j.rse.2013.12.008
- Smith, A., Drake, N., Wooster, M., Hudak, A., Holden, Z. ve Gibbons, C. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753-2775. doi:10.1080/01431160600954704
- Soverel, N. O., Perrakis, D. D. ve Coops, N. C. (2010). Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sensing of Environment*, 114(9), 1896-1909. doi: 10.1016/j.rse.2010.03.013
- Sunar, F. ve Özkan, C. (2001). Forest fire analysis with remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 22(12), 2265-2277. doi: 10.1080/014311601300229818
- Tonbul, H., Kavzoglu, T. ve Kaya, S. (2016). Assessment of fire severity and post-fire regeneration based on topographical features using multitemporal Landsat imagery: A case study in Mersin, Turkey. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, B8. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-763-2016
- Trigg, S. ve Flasse, S. (2000). Characterizing the spectral-temporal response of burned savanna using in situ spectroradiometry and infrared thermometry. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 3161-3168. doi:10.1080/01431160050145045
- Tucker C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment*, 8(2), 127-150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. W. ve Goossens, R. (2010). The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *Remote Sensing of Environment*, 114(11), 2548-2563. doi: 10.1016/j.rse.2010.05.029

- Veraverbeke, S., Gitas, I., Katagis, T., Polychronaki, A., Somers, B. ve Goossens, R.(2012) Assessing post-fire vegetation recovery using red–near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 68, 28–39. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.12.007
- Veraverbeke, S., Somers, B., Gitas, I., Katagis, T., Polychronaki, A. ve Goossens, R.(2012). Spectral mixture analysis to assess post-fire vegetation regeneration using Landsat Thematic Mapper imagery: Accounting for soil brightness variation. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 14, 1–11. doi: 10.1016/j.jag.2011.08.004
- Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbrero, M. R., Llovería, R. M. ve García-Martín, A. (2014). Analysis of the relationship between land surface temperature and wildfire severity in a series of landsat images. *Remote Sensing*, 6(7), 6136-6162. doi: 10.3390/rs6076136
- Xiao-rui, T., Mcrae, D.J., Li-fu, S. Ming-yu, W. ve Hong, L. I. (2005). Satellite remote-sensing technologies used in forest fire management. *Journal of Forestry Research* 16, 73–78 doi: 10.1007/BF02856861.
- White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C. ve Running, S. W. (1996). Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6(3), 125-136. doi: 10.1071/WF9960125.

Spatio-temporal Analysis of Sentinel-5P Data of Konya City Between 2019-2021

(2019-2021 Yılları Arası Konya İli Sentinel-5P Verilerinin Mekâna-Zamana Dayalı Analizi)

Hasan Bilgehan MAKİNECİ^{*}, Duygu ARIKAN^{*}, Damlanur ALKAN^{*}, Lütfiye KARASAKA^{*}

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği, Konya

*Sorumlu yazar: hbmakineci@ktun.edu.tr, darikan@ktun.edu.tr, dalkan@ktun.edu.tr, lkarasaka@ktun.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 09.04.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 20.07.2023

ABSTRACT

Uncontrolled energy consumption by human beings, such as the increase in the demand for the gases used for heating purposes in houses, the rise in the number of industrial production facilities, and the uncontrollable levels of the gases emitted from the exhausts of motor vehicles, are among the causes that trigger chemical gas formation in the atmosphere. Increases in air pollution threaten people's health and disrupt ecological balances. For this reason, regularly monitoring the amount of pollution and taking the necessary precautions is crucial. In this study, which was conducted for this reason, the state of polluting gases between 2019-2021 in the province of Konya was examined using remote sensing data. The data were obtained from the TROPOMI instrument attached to the Sentinel-5 Precursor (S5P) satellite launched into orbit by the European Space Agency (ESA). Various atmospheric gases (ozone, methane, carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and formaldehyde) can be detected by the sensors in this device. For this purpose, S5P Level-2 data was accessed via the Google Earth Engine (GEE) platform, and different codes were written to obtain each data. Then, the data collection for the study region was completed. The monthly amount of carbon monoxide, ozone, methane, and nitrogen dioxide gases for the study area between the specified dates are shown in the graphs, and maps are produced for each year. As a result, it has been determined that methane gas is not observed in extensive wetlands and forest areas, and the minimum values of NO₂, O₃, and CO gases are in the summer months and CH₄ gas in the winter months. It has also been determined that the region between the west and the south of the city center is the healthiest region in terms of air pollutant gases.

Keywords: Google Earth Engine, Konya Air Quality, Pollutant Gases, Sentinel-5P, TROPOMI Satellite

ÖZ

Konutlarda ısınma amaçlı kullanılan gazlara olan talebin artması, endüstriyel üretim tesislerinin sayısının artması, motorlu taşıtların egzozlarından çıkan gazların kontrol edilemeyen seviyelere ulaşması gibi insanoğlunun kontrolsüz enerji tüketimi, atmosferde kimyasal gaz oluşumunu tetikleyen nedenler arasındadır. Hava kirliliğindeki artışlar insan sağlığını tehdit etmekte ve çevresel yaşam dengelerini

bozmaktadır. Bu nedenle kirlilik miktarının düzenli olarak izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bu çalışmada, uzaktan algılama verileri kullanılarak Konya ilinde 2019-2021 yılları arasındaki kirletici gazların durumu incelenmiştir. Veriler, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yörüngeye fırlatılan Sentinel-5 Precursor (S5P) uydusuna bağlı TROPOMI algılayıcısından elde edilmiştir. Bu algılayıcıdaki sensörler tarafından çeşitli atmosferik gazlara (ozon, metan, karbon monoksit, nitrojen dioksit, kükürt dioksit ve formaldehit) ait zamansal değişim belirlenebilir. Bu amaçla Google Earth Engine (GEE) platformu ile S5P Düzey-2 verilerine ulaşılmış ve her bir veriyi elde etmek için farklı kodlar yazılmıştır. Daha sonra çalışma bölgesi için veri elde etme işlemi tamamlanmıştır. Çalışma alanı için belirlenen tarihler arasındaki aylık karbon monoksit, ozon, amonyak ve nitrojen dioksit gazları miktarları grafiklerde gösterilmiş ve her yıl için haritalar üretilmiştir. Sonuç olarak geniş sulak alanlarda ve ormanlık alanlarda metan gazının görülmediği, NO₂, O₃ ve CO gazlarının minimum değerlerinin yaz aylarında, CH₄ gazının ise kış aylarında olduğu tespit edilmiştir. İl merkezinin batısı ile güneyi arasında kalan bölgenin havayı kirletici gazlar açısından en sağlıklı bölge olduğu da belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Google Earth Engine, Kirletici Gazlar, Konya Hava Kalitesi, Sentinel-5P, TROPOMI uydusu

1. INTRODUCTION

In recent studies, polluting air emissions have been associated with meteorological conditions and human activities (Balmes, 2019; Cheung, et al., 2020; Kurata, et al., 2020; Lu, et al., 2019; Ghasempour, et al., 2021). The seasonal and temporal analysis of different meteorological parameters, and the relationship between the atmosphere and air temperature in urban areas, has been supported by several studies in the literature (Arıkan & Yıldız, 2022; Ghasempour, et al., 2021; Safarianzengir, et al., 2020; Sager, 2019; Sobhani & Zengir, 2019; Sobhani & Zengir, 2020). Researchers have determined that the primary purpose for this is to determine which factors influence the air temperature in the atmosphere during the day in urban areas. In

addition, as a result of these studies, the factors that cause air pollution events in urban areas are identified.

Air pollution refers to the fact that air pollutants in the atmosphere reach a level above average due to human or natural causes, and their presence in the atmosphere in density, amount, and time that may adversely affect human health, living life, and ecological balance. In other words, it is expressed as the deterioration of the natural composition of the air. Artificial sources of air pollution occur as a result of human activities. As a result of heating, transportation, and industry, there is an increase in the number of pollutants emitted into the atmosphere. Heating boilers and solid, liquid, and gas fuel stoves for heating, ships, motor vehicles, railways, and airplanes in the field of transportation, processes carried out in the industry and power plants that produce thermal and hydraulic energy have a direct negative effect on air pollution (Ibbetson, Symonds, & Hutchinson). In contrast, natural sources of air pollution are natural events (URL-2). Particularly prevalent examples of natural sources are earthquakes, forest fires, volcanic eruptions, dust storms, swamps, oceans, and seas. Air pollutants from natural events do not linger in the atmosphere for long. Investigation of changes in the concentration of carbon monoxide, nitrogen dioxide, ozone, and methane, known as air pollutants, is seen as a threat to human health, the ecosystem, biodiversity, and climate (Safarianzengir et al., 2020). For this reason, monitoring polluting gases and examining their effects on humans and the environment is necessary.

High-resolution Sentinel-5P (S5P) TROPOMI satellite data have recently gained popularity in air quality monitoring research (Singh et al., 2021; Wang, et al., 2022). The S5P, developed to use institutes in the Netherlands, the United Kingdom, Finland, and Germany for scientific studies, was launched into orbit in 2017 on a seven-year operation (Farahat, 2022). The satellite data have a spatial resolution of 3.5×5.5 km and a temporal resolution with daily periods (Theys et al., 2017). Thanks to this remote sensing platform, spatial and temporal analyzes, and monitoring of air quality variability are carried out more comprehensively. Griffin et al. (2019) found a high correlation between the vertical column density of NO_2 gas and ground-based observations. In the study by Wang et al. (2022), NO_2 , CO, and CO_2 gases were used to compare the data results produced by ground observations and remote sensing techniques (Ghasempour et al., 2021a;

Ghasempour et al., 2021b). Makineci (2022) conducted a study on the region's air pollution by using S5P data and terrestrial stations on the Anatolian and European parts of İstanbul, the metropolitan city of Türkiye. As a result of the study, in which ground stations and remote sensing data were used, consistent results were revealed for two different centers of air pollution. Stratoulas and Nuthammachot (2020) found a strong positive correlation between data from ground stations for an urban area and data from S5P.

In line with the findings obtained from the studies, the consistency of the terrestrial and remote sensing data in determining anthropogenic emissions is observed. As a result, it has been concluded that satellite images can be used to detect pollutants, present the spatial distribution of gases and particles that cause air pollution, cover large areas, and provide repeated measurements due to the cost of establishing ground-based stations in the studies. In addition, S5P satellite data have benefited from the amount of gas released into the atmosphere and find solutions to the problems such as in studies on forest fires (Arikan & Yıldız, 2023; Singh et al., 2021), in the detection of oil refineries and fields (Farahat, 2022), and in explaining the relationship between air pollution and diseases (Arikan & Yıldız, 2021; Balmes, 2019; Ibbetson et al., 2020; Kurata et al., 2020; Lu et al., 2019).

Since air pollution is a global issue, the whole world must reduce their emissions of polluting gases to the minimum level locally. For this purpose, a comprehensive analysis of air pollution in Konya, Türkiye's largest city, was carried out to contribute to the literature. Temporal and spatial analyzes of methane (CH_4), ozone (O_3), carbon monoxide (CO), and nitrogen dioxide (NO_2) gases, which are the primary air pollutants within the borders of Konya Province, were conducted between July 2019 and December 2021, using the Google Earth Engine (GEE) platform and the obtained S5P data. The air quality of Konya province was monitored monthly between 2019-2021 by dividing the data into separate equal grids (25×25 m). It has been attempted to determine the increase or decrease of the pollutants in the 30-month period and the responsible factor. The fact that there is no other research in the literature that maps the air pollutants of Konya for such a long period by using the GEE platform on the S5P satellite since the data began to be published to the users encouraged this study. The density of the data, the long-term spatio-temporal analysis,

and the study's wide scope can be said to be the study's original aspect.

2. MATERIALS AND METHODS

a. Study Area and Workflow

Konya which is located in the Central Anatolia region of Türkiye and has the largest surface area (38 873 km²), was chosen as the study area. The city is located between 36°41' and 39°16' north latitudes and 31°14' and 34°26' east longitudes (Figure 1).

In the city, which is influenced by the continental climate, the summer is dry and hot, while the winter is extremely cold and has heavy snowfall. Rainfall is seen throughout the city in the spring and winter seasons. The city is located at an altitude of 1016 m above sea level. Due to the mountains surrounding the city, the effect of the wind is limited and causes fog/smoke condensation in the city (Kunt & Dursun, 2016). This causes polluted air to accumulate in the city.

According to 2022 population data, it is Türkiye's sixth most populous city, with 2 296 347 people. Although the primary economic income source of the region is known as agricultural production, it has also acquired the reputation of an industrial production city due to the increasing industrialization in recent years. The city trades quickly with other central provinces in the country thanks to its widespread transportation lines. It also contributes to the national economy by producing goods in a variety of sectors (agricultural machinery and equipment, defense and automotive industry, food, etc.).

While these factors contribute to the development of the city, their effects on air-polluting gases should also be identified. For this reason, in this study, the air pollution of Konya province was investigated temporally and spatially by using S5P satellite data. Sentinel-5 data of NO₂, CO, O₃, and CH₄ polluting gases were obtained from the GEE platform within the specified date range for analysis.

Each gas with the same temporal and spatial resolution used in the study has been analyzed with charts, then visualized and represented on maps. The workflow diagram of the study is presented in Figure 2.

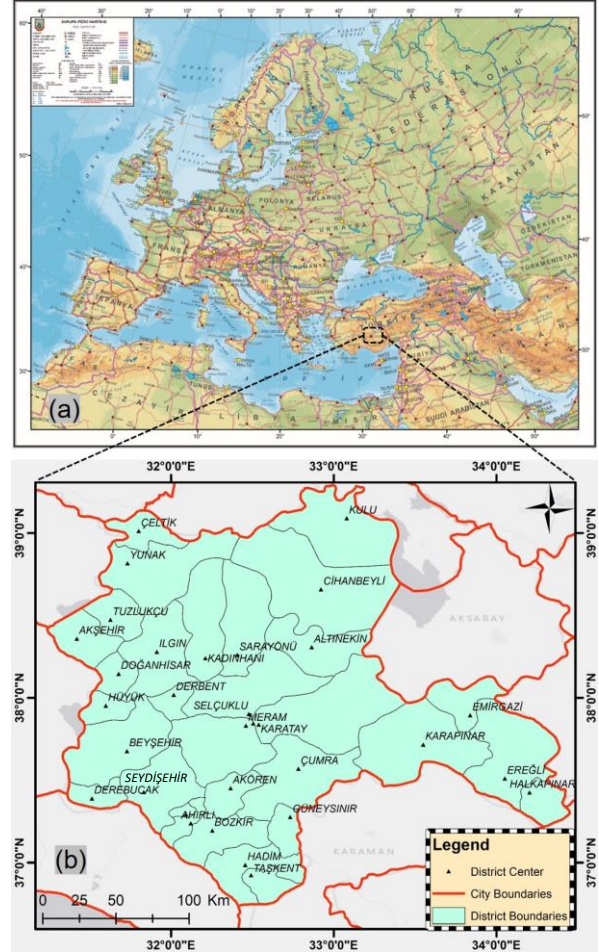


Figure 1. (a) (b) Study area (Figure 1. (a) Produced by the General Directorate of Mapping))

b. S5P Data

The data obtained from the TROPOMI device connected to the Sentinel-5 satellite by the European Space Agency was used in this study. Various atmospheric gases (ozone, methane, carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and formaldehyde) are detected and monitored by the sensors in this device (Slagter, et al., 2020; Veeffkind et al., 2012). The satellite's primary purpose, launched on October 13, 2017, is to collect atmospheric measurements with high spatio-temporal resolution for air quality, ozone, UV radiation, climate monitoring, and forecasting (Safarianzengir et al., 2020). It scans the Earth daily and records images with a coverage area of 7 km × 3.5 km. The satellite, expected to have a seven-year operational life, is in the low-orbiting satellite class with an orbital reference altitude of 824 km. It is in a sun-synchronous orbit with the equatorial transit at the nodal point rising at 13:30 local time, with an orbital inclination of approximately 98.7 degrees in polar orbit. The

orbital cycle is 16 days. The satellite is equipped with the most advanced TROPOMI instrument for measuring the ultraviolet-visible (270–500 nm), near-infrared (675–775 nm), and short-wave infrared (2305–2385 nm) spectral bands (Rohi & Ofualagba, 2020; Safarianzengir et al., 2020). The TROPOMI spectrometer in Sentinel 5P measures high spectral UV luminance (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>). The download of Sentinel-5P Level-2 data was carried out through the GEE platform, an infrastructure of Google. A separate coding process was carried out for each pollutant gas. L2 level data received from the Sentinel satellite is defined at the L3 level through GEE. Therefore, Spatial Resolution corresponds to around 1 km. This platform is a web service developed for spatial analysis (Gorelick et al., 2017). It has gained popularity in remote sensing studies in recent years because it is free to use and provides easy access to data (Farahat, 2022; Singh et al., 2021). In addition, GEE (Li et al., 2022), which enables extensive data processing, offers its users the opportunity to create and save their catalogs. Query and evaluation processes are also carried out through the functional structures in the system (Gorelick et al., 2017).

The NO₂ (nitrogen dioxide) vertical column, CH₄ (methane) column average dry air mixing ratio, total O₃ (ozone) atmospheric column between the surface and upper atmosphere, and CO (carbon monoxide) column data for 2019-2021 are downloaded as offline (OFFL). This is primarily because it should contain data from a single orbit. Additionally, only the OFFL feature is available for CH₄ data. In this study, data on certain monthly days were downloaded for each gas using the median code in GEE. This path was followed as there was a lack of data on certain days for some

gases. From 2019 to 2021, 118 images were obtained for all of the used gases. Then, the downloaded images were opened in the GIS environment and visualized (Figure 11, Figure 12, Figure 13, Figure 14 and Figure 15).

In order to eliminate the gaps seen in the methane gas daily data and to create a standard for all gases, a three-day data format was downloaded. Three-day data yield more meaningful results, so the gaps in the daily data are not filled with interpolation, based on the principle of producing maps entirely from S5P sensor data. In the GEE platform, there is a pre-acceptance assumption that the data will be downloaded for three days.

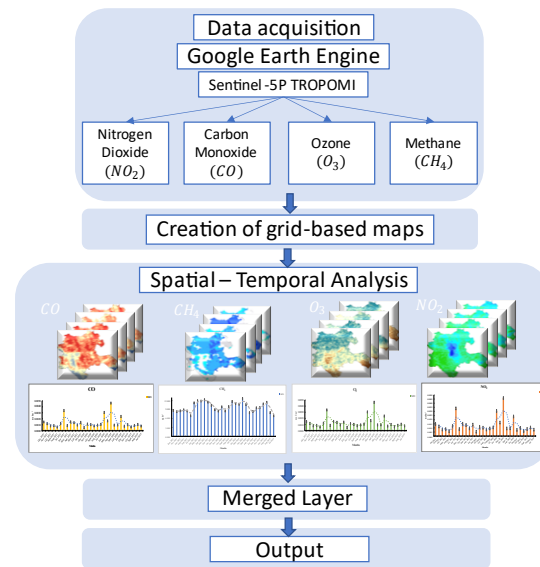


Figure 2. Workflow of research

Table 1. Sentinel-5P data used in research.

Data Type	Temporal Resolution	Spatial Resolution	Calibration Type
O ₃	First 3 days of every month	1113.2 meters	Radiometric and Geometric Calibrated
CH ₄	First 4 days of every month	1113.2 meters	Radiometric and Geometric Calibrated
CO	First 10 days of every month	1113.2 meters	Radiometric and Geometric Calibrated
NO ₂	First 10 days of every month	1113.2 meters	Radiometric and Geometric Calibrated

c. Statistical analysis

After obtaining the data, all visual base maps were gridded after trimming, and classification processes were applied to the leading data visualized in the GIS environment. The value corresponding to the midpoint of each grid was then calculated. Following the calculation, the thirty-month data of the values corresponding to the grid midpoints according to the months were tabulated. In Table 1, there are blank values for different data types in some months of the data consisting of 332 points. Gaps without data were not included in the statistical analysis of the study. No interpolation was applied to the non-data regions, and their values were left as naught.

Among the values obtained in Table 1, the maximum, minimum, mean, and median values were determined according to each data type. Additionally, standard deviation (StD.) values were calculated for the analysis.

3. RESULTS

a. Findings Obtained for CH₄ Gas

Methane gas (CH₄) is the greenhouse gas with the most critical polluting effect after carbon dioxide (Hu et al., 2018). Therefore, it is a type of gas that causes global warming at a higher rate than other pollutants (Stocker, 2014). CH₄ gas is emitted into the atmosphere, either by natural or anthropogenic resources. Anthropogenically, it

can be expressed as oil and natural gas systems, agricultural activities, coal mining, stationary and mobile incineration, wastewater treatment, and specific industrial processes. Swamps can be an example of natural causes (Lorente et al., 2021). Thanks to the near-infrared (NIR) and short-wave infrared (SWIR) spectral bands found in satellites, CH₄ gas is observed through its spread on the Earth's surface and atmosphere. Data from TROPOMI measurements are recorded with the RemoTeC algorithm (Lorente et al., 2021). The residence time of this gas in the atmosphere has been determined as approximately ten years (Hu et al., 2018).

When the July 2019 - December 2021 data for the whole of Konya were examined (Figure 3), it was determined that the highest amount of CH₄ was in September 2021, with 1900 mg/m³. When the maximum and minimum values of methane gas are examined within each month, it is understood that the mean is 40 mg/m³. Since methane gas is seen primarily as a result of heating, there is a standard distribution across urban areas. In addition, it has been determined that CH₄ release is not significantly affected by season because a balanced graphic curve was obtained in the summer and winter seasons.

In the time period of the study, 6,925 mg/m³ minimum StD. values in July 2021 and 12,658 mg/m³ maximum StD. values in April 2020 were determined (Figure 4).

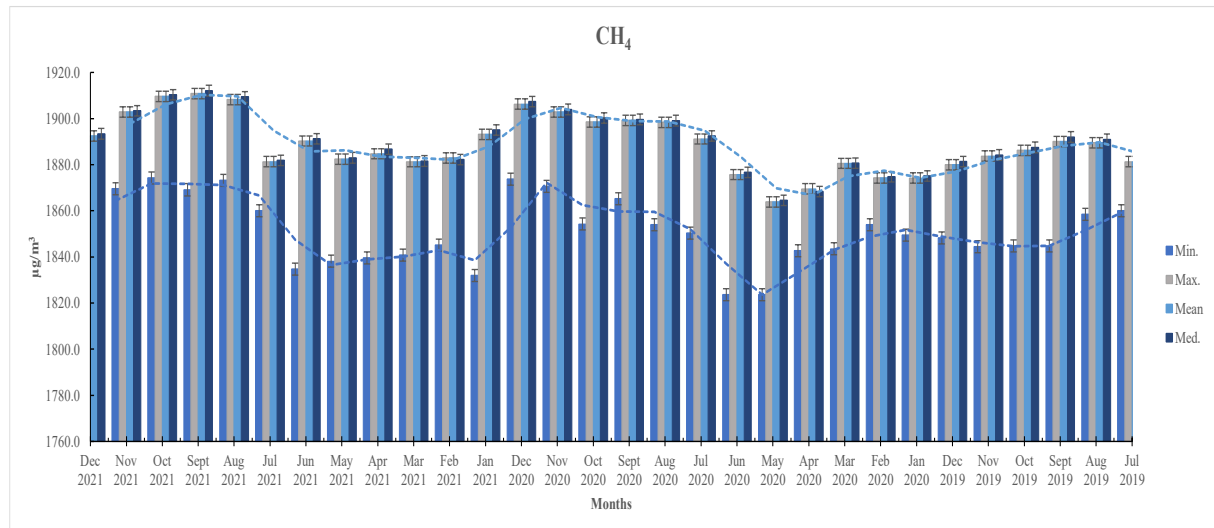


Figure 3. CH₄ Data Analysis (Minimum, Maximum, Mean and Median Values)

b. Findings Obtained for CO Gas

CO gas remains in the atmosphere for less time (by approximately two months) than methane gas. It is a product of incomplete combustion encountered in building heating, coal power generation, wood and grass burning, vehicles, and biomass burning (Ghahremanloo, Lops, Choi, & Mousavinezhad, 2021). About 40% of CO is naturally generated (volcanic eruptions, natural gas emissions, degradation of plants and animals, forest fires, and 60% results from the consumption of fossil fuels, garbage disposal systems, tobacco smoke, and coal fires (Kaplan, Avdan, & Avdan, 2019). Graphs were created each month from the CO findings obtained to cover the entire study area. Monthly maximum, minimum, mean and median values are given in Figure 5, and StD.

values are presented in Figure 6. The highest amount of CO in the monthly period was determined in April 2020, and the maximum was reached with a value of 0.1818 mol/m² in that month. The lowest amount of CO in the study period was recorded in November 2020, with a value of 0.1255 mol/m². It is worth mentioning that the change in temperature because, as can be seen from the graph, while there is a decrease in the amount of CO in the winter, it increases in the summer.

According to the StD. values of CO gas, it reached maximum levels of 0.0042 mol/m² in the same period (April 2020) as methane gas. It has been detected at a minimum in December 2020 with 0.0005 mol/m².

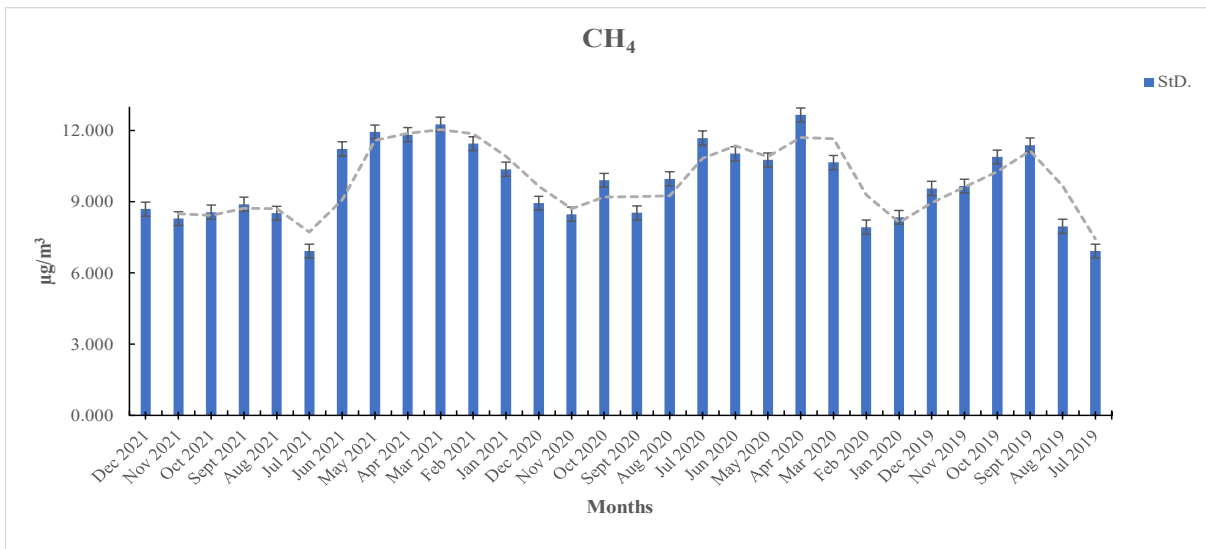


Figure 4. CH₄ Data Analysis (StD. Values)

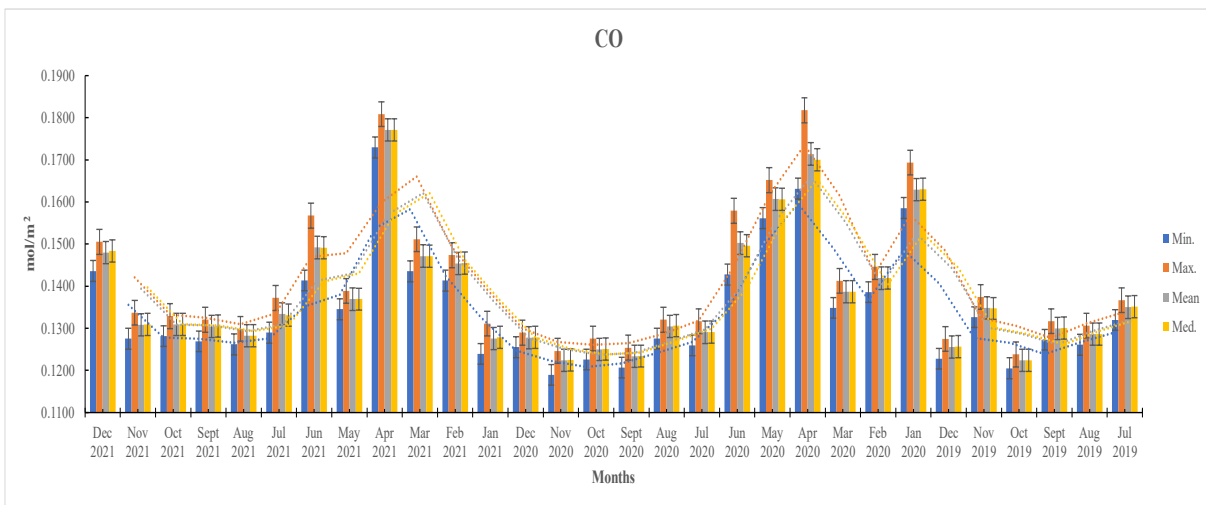


Figure 5. CO Data Analysis (Minimum, Maximum, Mean and Median Values)

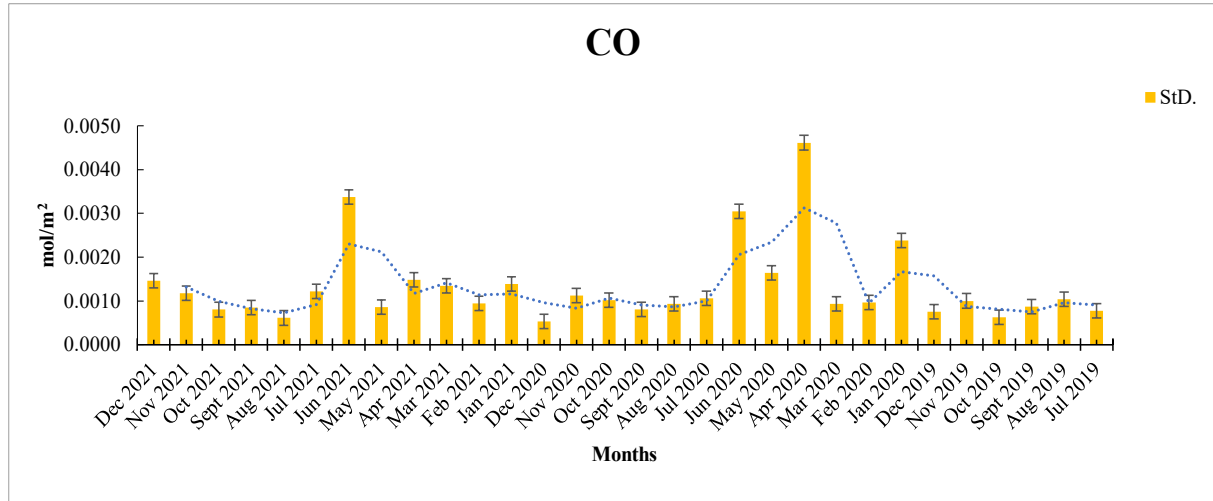


Figure 6. CO Data Analysis (StD. Values)

c. Findings Obtained for NO₂ Gas

Nitrogen oxides (NO_x) are generally the type of gas that occurs during combustion (Ialongo, Virta, Eskes, Hovila, & Douros, 2020). The leading sources of this type of gas are natural (lightning strikes) and anthropogenic pollution (burning of agricultural fields, burning fossil fuels, industrial production, and emissions from vehicle exhaust) sources (Hashim, et al., 2021; Ialongo et al., 2020).

NO₂ gas increases the symptoms of respiratory diseases (such as coughing, wheezing, or difficulty breathing) by affecting human health (Stratoulis & Nuthammachot, 2020). In addition, it causes acid rain by interacting with water, oxygen, and other chemicals in the atmosphere (Hashim et al., 2021). This occurrence weakens the soil and reduces productivity in agricultural activities. In areas where nitrogen dioxide increases, the air becomes hazy, and there is even a decrease in visibility.

Figures 7 and 8 display the time series of NO₂ measurements used in the analysis, covering the period from July 2019 to December 2021. In Figure 7, the maximum, minimum, median, and mean values of the daily monthly data are given, while in Figure 8, the StD. the graph is shown. While the maximum level of NO₂ in the studied period was observed in April 2020 with a value of 0.18176 mol/m², the minimum level was observed in November 2020 with a value of 0.11895 mol/m². It can be said that there is a seasonal effect in NO₂ gas. As shown in Figure 7, while there is an increase in the amount of this gas in the spring season (April, May), there is a decrease in the autumn season (October, November). According

to the StD. values in 30 months, A minimum of 0.0005 mol/m² was obtained in December 2020, and a maximum of 0.0046 mol/m² was obtained in April 2020.

ç. Findings Obtained for O₃ Gas

The O₃ concentration commonly found in the air consists of the photochemical interaction of the precursor gases (nitrogen oxides, volatile organic compounds) (Hashim et al., 2021). In cases of exposure to O₃ gas, airway inflammation, and respiratory disorders can be observed in living things due to oxidative stress (Adhikari & Yin, 2020). The magnitude and rate of O₃ emissions depend on atmospheric conditions and seasonal factors (Hashim et al., 2021).

O₃ emission appears to be directly proportional to NO_x. If O₃ is high in a region, NO_x is also found to be high, or vice versa (Hashim et al., 2021). On the other hand, while the amount of NO_x is high in urban areas with high traffic density, reductions in O₃ emissions are observed. This is because the gas density in urban areas is transported toward rural areas (Dentener et al., 2020). Due to the increase in temperatures and the contribution of sun rays to the formation of O₃, seasonal changes cause a decrease in O₃ gas (Stratoulis & Nuthammachot, 2020). As determined in Figure 9, while O₃ was at its maximum levels in April 2020 and 2021, it appears to have been at minimum levels in October, November, and December. When the StD. values for O₃ are examined (Figure 10), the minimum value of 0.0004 mol/m² and maximum value of 0.0040 mol/m² were obtained in December 2020 and April 2020, respectively.

When the results of the Std. values of all gases are examined, it can be determined that the

maximum and minimum values of all gases are observed in the same months. In all gases, the maximum level was reached in April 2020. While

the minimum CO, NO₂, and O₃ gas are December 2020, the time when CH₄ gas is minimum is July 2021.

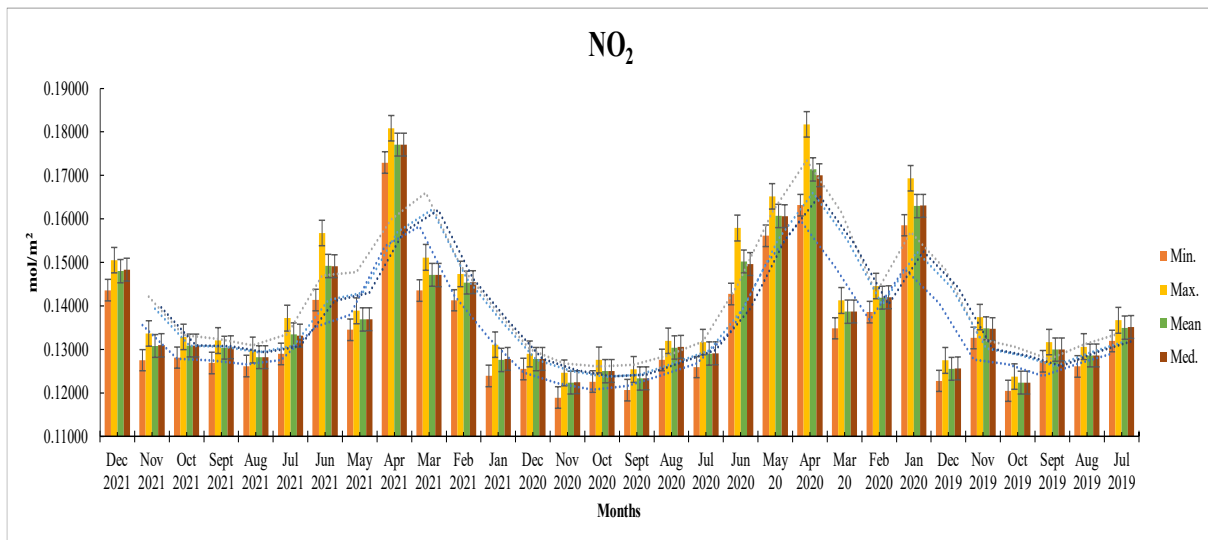


Figure 7. NO₂ Data Analysis (Minimum, Maximum, Mean and Median Values)

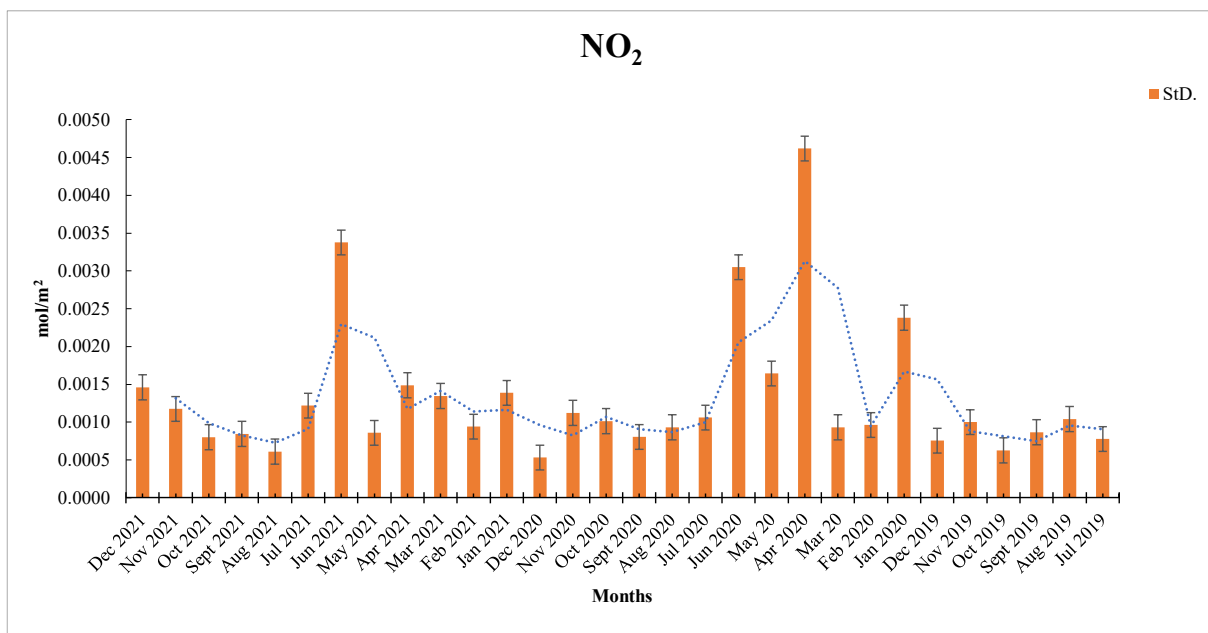
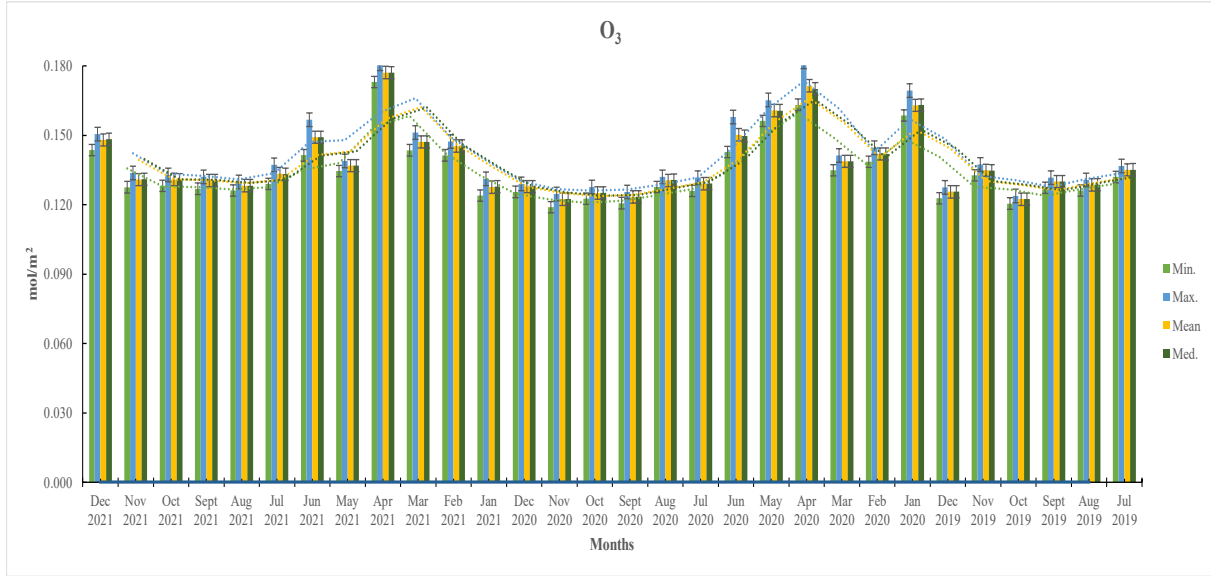
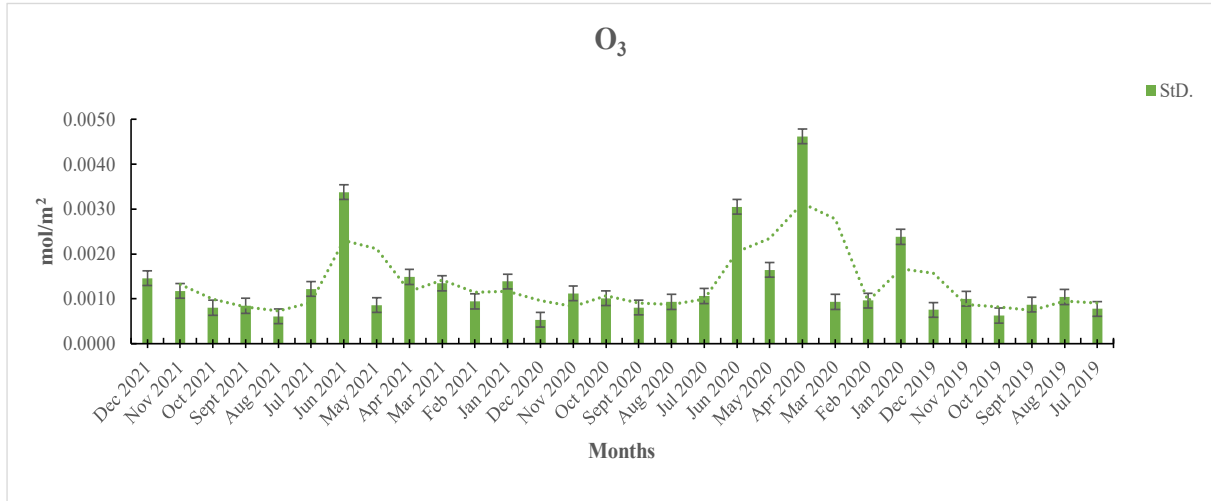


Figure 8. NO₂ Data Analysis (StD. Values)

Figure 9. O₃ Data Analysis (Minimum, Maximum, Mean and Median Values)Figure 10. O₃ Data Analysis Results (StD. Values)

d. Produced Map Outcomes

In this study, S5P satellite images taken from the GEE platform were converted to raster and vector maps in order to interpret the air pollutants in the Konya Province in spatio-temporal time. In order to determine the seasonal effect of all polluting gases used in the study, map outputs were produced by choosing the beginning of spring and the beginning of autumn. The most striking point is that the amount of polluting gas is high in the parts of the transportation networks on all maps. It can be said that pollutants vary according to the seasons and are also related to latitude, longitude, and altitude values.

When the CH₄ gas map is examined between the years 2019-2021, it is seen that no data is recorded in the wetlands. The main reason for this is that the effect of methane gas is mainly seen in swamps, reeds, or garbage areas. When the maps of NO₂ and O₃ gases are examined, it has been determined that the amount of NO₂ is high and the amount of O₃ is low in the parts where the transportation lines are located. It has been determined that O₃ emissions are primarily concentrated in rural areas. As seen in Figure 11, while the amount of O₃ gas increases relatively in rural areas in the northern parts of the city, it is found in lower amounts in the southern parts of the city where the altitude is high.

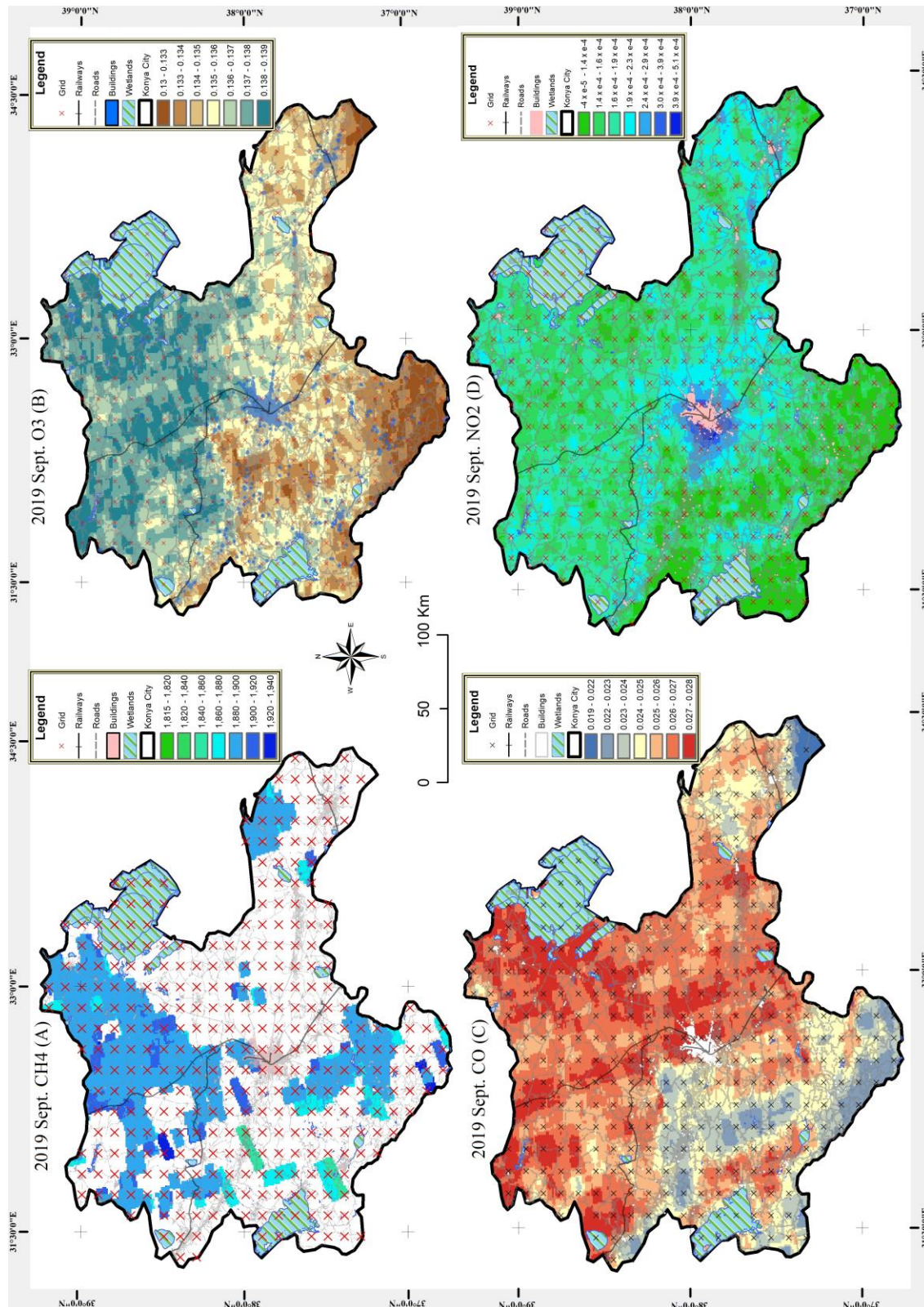
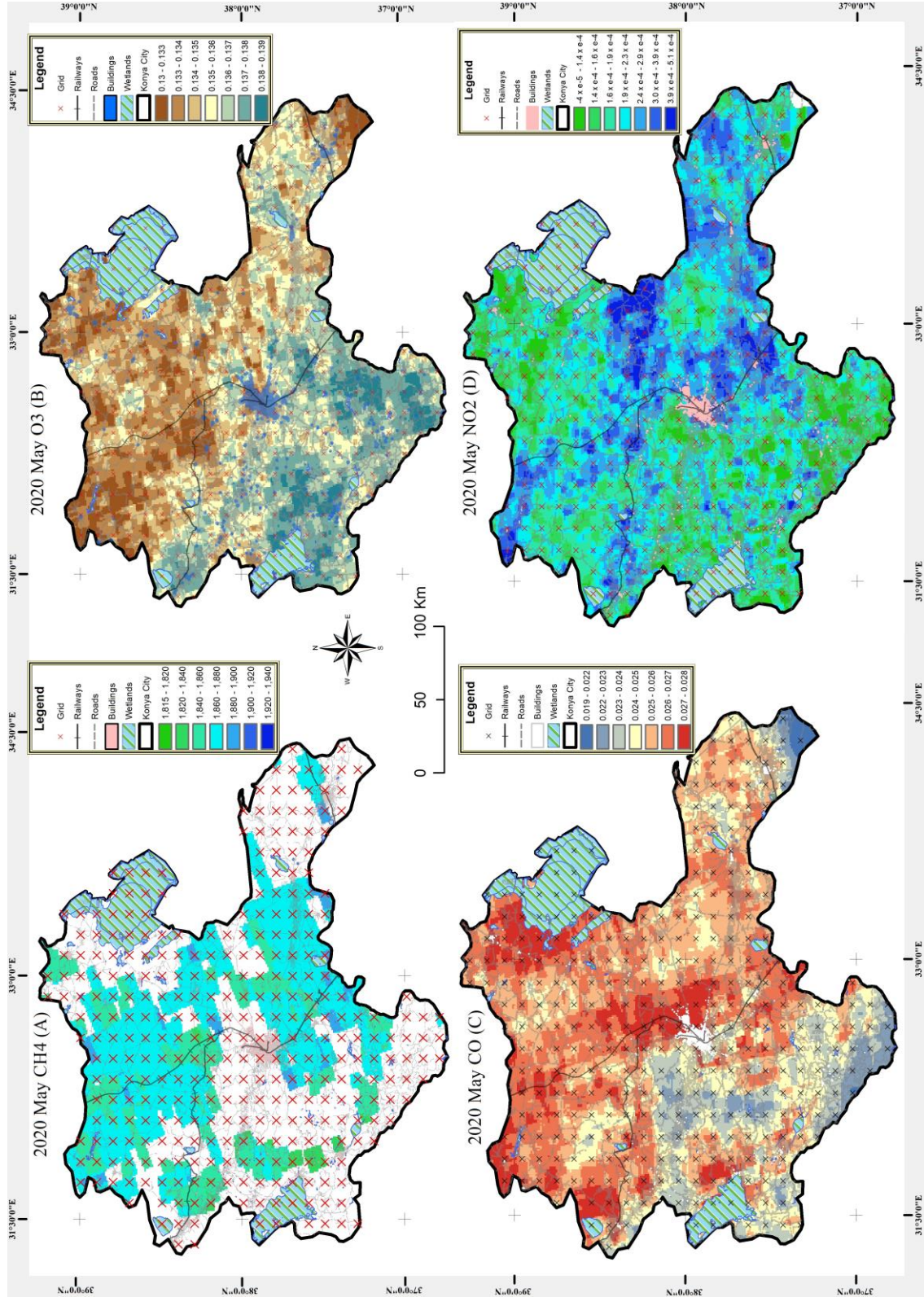


Figure 11. September 2019 Air Quality Map of Konya (A-CH₄, B-O₃, C-CO, D-NO₂)

Figure 12. May 2020 Air Quality Map of Konya (A-CH₄, B-O₃, C-CO, D-NO₂)

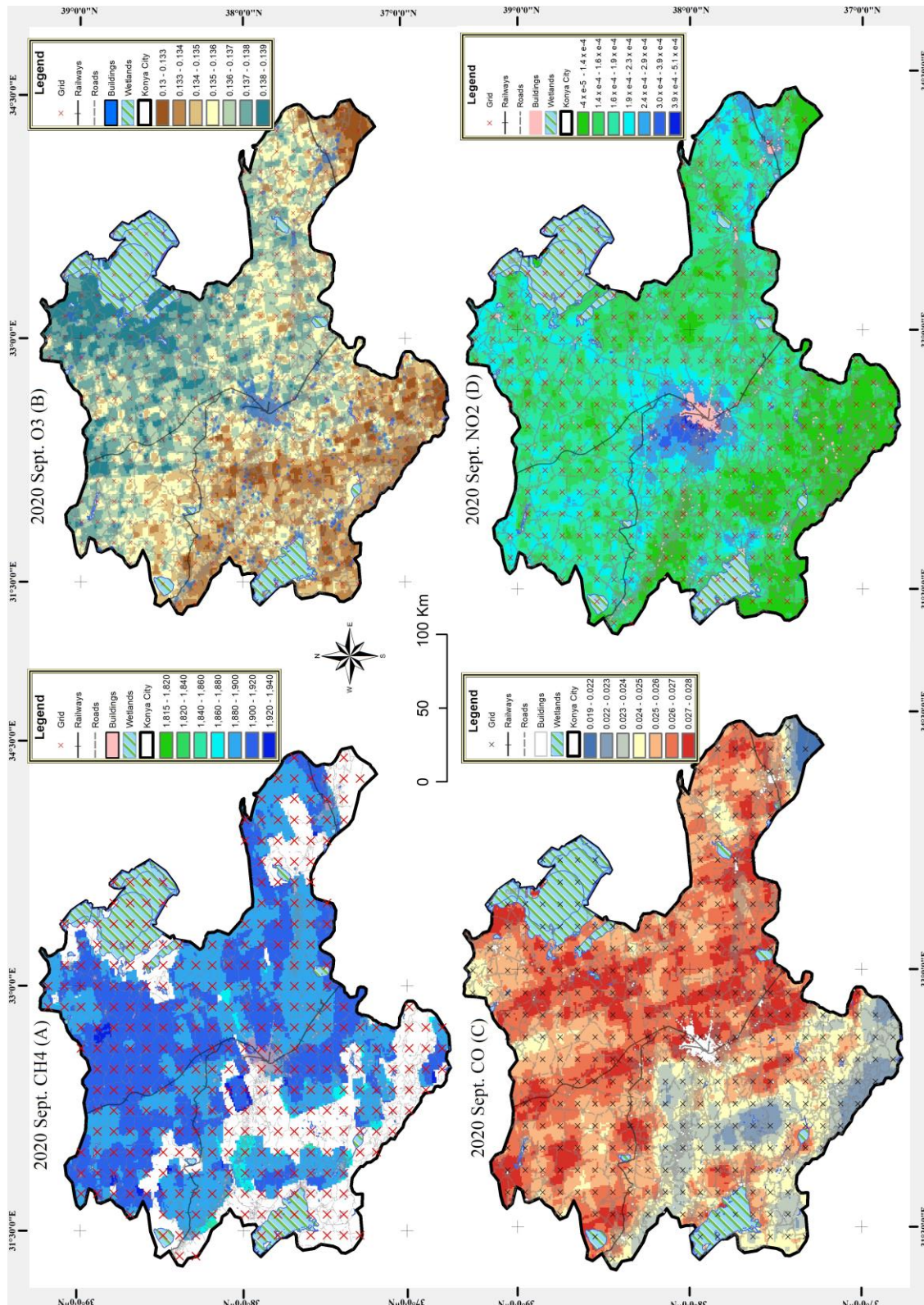
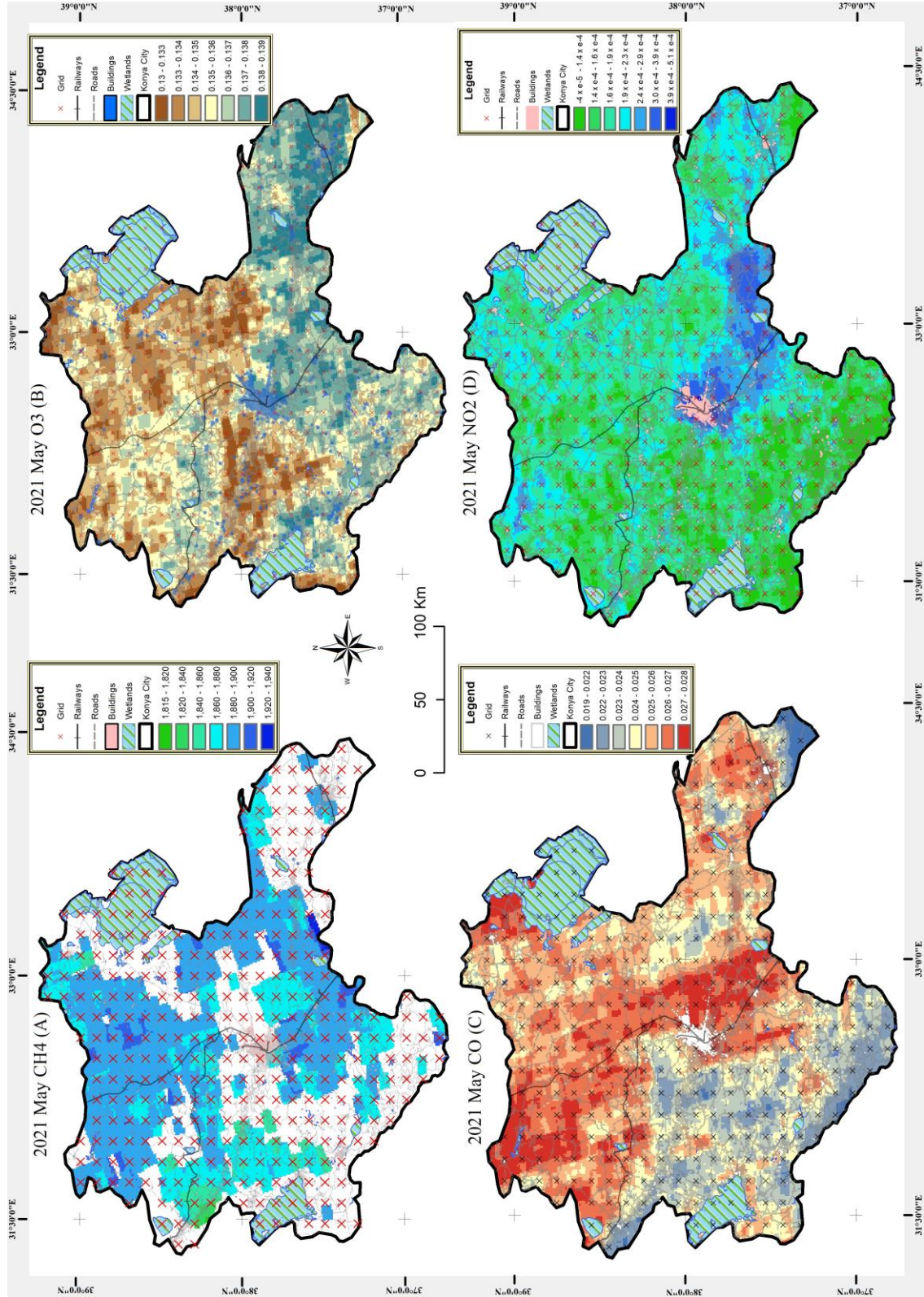


Figure 13. September 2020 Air Quality Map of Konya (A-CH₄, B-O₃, C-CO, D-NO₂)

Figure 14. May 2021 Air Quality Map of Konya (A-CH₄, B-O₃, C-CO, D-NO₂)

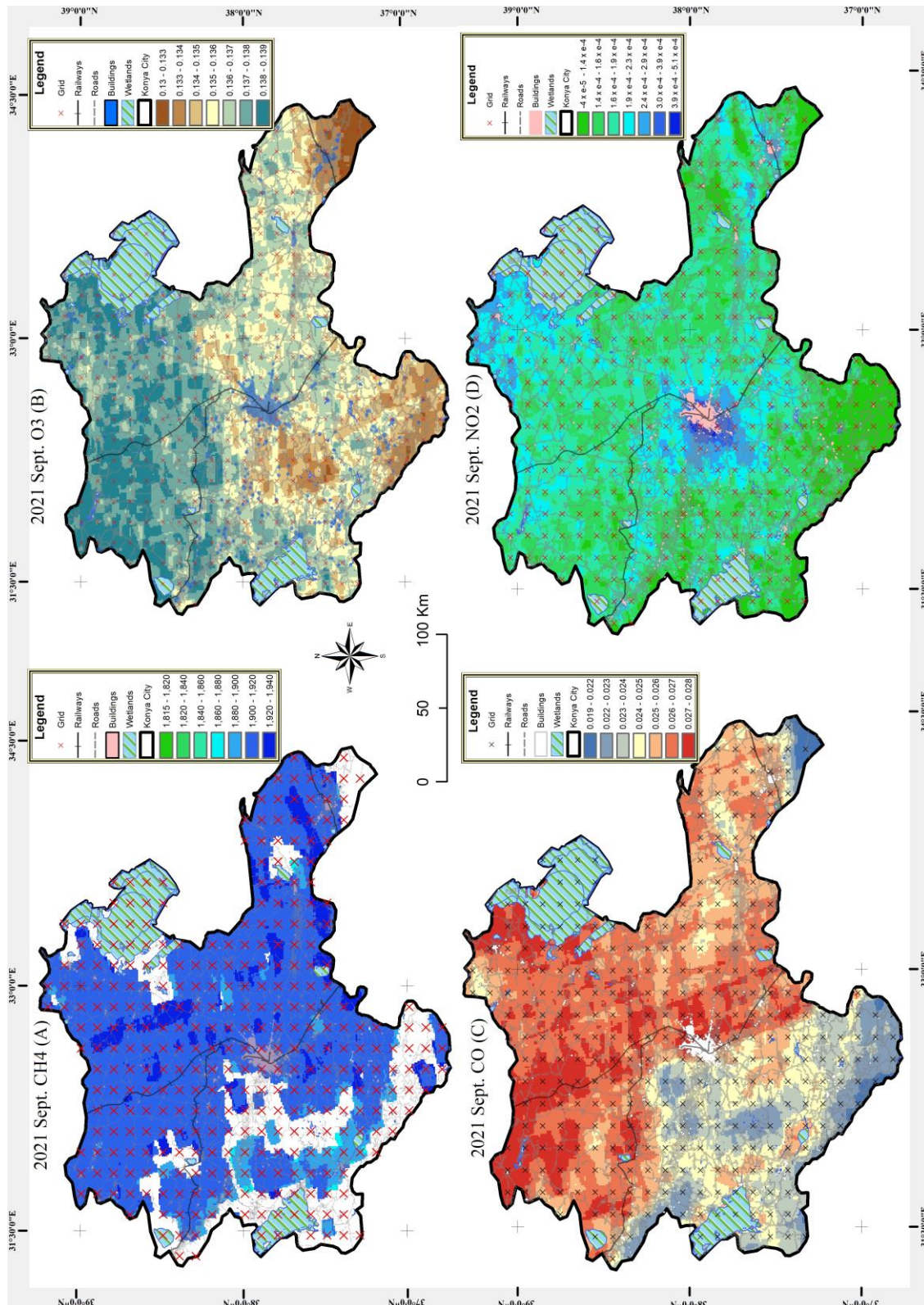


Figure 15. September 2021 Air Quality Map of Konya (A-CH₄, B-O₃, C-CO, D-NO₂)

The amount of all pollutants in 2020 is less than in other years. This is due to the epidemic disease (COVID-19), which spread worldwide during this period, showing its impact on Türkiye. As a result of the restrictions put in place to prevent the spread of the epidemic, it was determined that the impact of the pollutant gases decreased. It has also been determined that the number of pollutants in 2021 were higher than in other years (Figure 12 and Figure 13). This rise has also become meaningful due to the gradual removal of the measures taken for the epidemic. In 2020, methane gas was standard in the northern part of the city. The white parts in the methane gas map are the part where the data is not recorded. Kadınhanı, Sarayönü, and Yunak are the districts where methane gas is seen at high levels. When the methane gas values in March 2021 are examined, it is seen that there are increases in the Karapınar district. Since this region is a reed and swamp area, methane gas increased due to the decrease in water and the resulting drought (Figure 14 and Figure 15).

The situation of four polluting gases over a 30-month period has been examined using satellite data. In the study, national air quality ground station data were also downloaded. However, due to the lack of data on ground stations, it was not used in the analysis. In this study, analyses and discussions were carried out using only S5P satellite data due to factors such as missing terrestrial station data (disorder in stations) or stations representing a spatially narrow region.

4. DISCUSSIONS

The air quality in the atmosphere decreases because the smoke content that results from the combustion of fuels such as diesel and gas pollute the environment from factories and houses in winter, including the pollutants that are the subject of the research. In addition, pollutants are observed more intensely in the atmosphere in winter due to the effect of wind (air reversal phenomenon) compared to warmer seasons. When the gases released in the winter and those released in the summer are compared, it has been determined that the pollutants in hot weather are much more dangerous in terms of air quality. This is because gases such as NO₂ from motor vehicles accumulate in the lower parts of the atmosphere during the summer months, and this is a factor that directly affects human health.

In the study (Ghasempour et al., 2021b) conducted to detect and analyze NO₂ gas from S5P data, researchers were able to notice a

significant correlation between the COVID-19 outbreak and NO₂ gas. In addition, in their analysis on a national basis, they found that NO₂ gas showed a considerable decrease in the lockdown period, except for regular periods (Ghasempour et al., 2021a).

In their study, Kaplan et al. (2019) and Ghasempour et al. (2021) examined country-based polluting gases. Thus, using the Sentinel-5P satellite, they showed that the pollution of a large-scale region could be detected. This study discussed the temporal analysis of the states of polluting gases in small-scale cities, and their detectability was revealed. In addition, more gases were analyzed together, and their relations with each other were established. As in this study, the GEE platform was used to obtain the data. It has been seen that GEE is easy to use and access data, and it can be preferred for accessing S5P data in future studies.

5. CONCLUSIONS

In recent years, air quality research has become one of the critical research topics due to the increase in air pollution, the adverse effects of air pollution on living health, and the availability of rapid and reliable evaluation of air quality with remote sensing satellites. The findings are of great importance to everyone because of the issue's impact on human health and ecological order. Clean air is a vital element for the survival of all living things. For this reason, in this study, the pollutant gases in the Konya province were analyzed temporally and spatially using S5P satellite data from July 2019 to March 2021. As a result, over a 30-month period, the regions in which the pollutants are found and the months when the pollutants are at maximum and minimum levels have been determined. It has been documented that it is possible to collect information about pollutants not only temporally but also spatially, thanks to satellite data.

ORCID

Hasan Bilgehan MAKİNECİ 

<https://orcid.org/0000-0003-3627-5826>

Duygu ARIKAN  <https://orcid.org/0000-0001-9976-7479>

Damlanur ALKAN  <https://orcid.org/0000-0002-2013-0262>

Lütüye KARASAKA  <https://orcid.org/0000-0002-2804-3219>

REFERENCES

- Adhikari, A., & Yin, J. (2020). Short-term effects of ambient ozone, PM_{2.5}, and meteorological factors on COVID-19 confirmed cases and deaths in Queens, New York. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4047. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph17114047>
- Arikan, D., & Yildiz, F. (2023). Investigation of Antalya forest fire's impact on air quality by satellite images using Google earth engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100922. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100922>
- Arikan, D., & Yıldız, F. (2021, Mayıs). *An Analysis of NO₂ Emission During COVID-19 Period in Turkey*. 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu, 6-9, Mersin, Türkiye.
- Arikan, D., & Yıldız, F. (2022, Ekim). *Landsat-8 Uyduyu Kullanılarak 2018-2021 Yılları Arasında İstanbul'daki Kentsel Isı Adasının İncelenmesi*. 362-372, İzmir, Türkiye.
- Balmes, J. R. (2019). Household air pollution from domestic combustion of solid fuels and health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 143(6), 1979-1987. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2019.04.016>
- Cheung, C. W., He, G., & Pan, Y. (2020). Mitigating the air pollution effect? The remarkable decline in the pollution-mortality relationship in Hong Kong. *Journal of Environmental Economics and Management*, 101, 102316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102316>
- Dentener, F., Emberson, L., Galmarini, S., Cappelli, G., Irimescu, A., Mihailescu, D., van den Berg, M. (2020). Lower air pollution during COVID-19 lock-down: improving models and methods estimating ozone impacts on crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2183), 20200188. doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0188>
- Farahat, A. (2022). The Impact of the 2020 Oil Production Fluctuations on Methane Emissions over the Gulf Cooperation Council (GCC) Countries: A Satellite Approach. *Atmosphere*, 13(1), 11. doi:<https://doi.org/10.3390/atmos13010011>
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599.
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, H. (2021). Effect of first wave COVID-19 outbreak lockdown measures on satellite-based tropospheric NO₂ over Mersin Province, Turkey. *Intercontinental Geoinformation Days*, 2, 16-19.
- Ghahremanloo, M., Lops, Y., Choi, Y., & Mousavinezhad, S. (2021). Impact of the COVID-19 outbreak on air pollution levels in East Asia. *Science of the Total Environment*, 754, 142226. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142226>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Griffin, D., Zhao, X., McLinden, C. A., Boersma, F., Bourassa, A., Damers, E., . . . Fioletov, V. (2019). High-resolution mapping of nitrogen dioxide with TROPOMI: First results and validation over the Canadian oil sands. *Geophysical Research Letters*, 46(2), 1049-1060. doi:<https://doi.org/10.1029/2018GL081095>
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128599>
- Hashim, B. M., Al-Naseri, S. K., Al-Maliki, A., & Al-Ansari, N. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on NO₂, O₃, PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations and assessing air quality changes in Baghdad, Iraq. *Science of the Total Environment*, 754, 141978. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141978>

- Hu, H., Landgraf, J., Detmers, R., Borsdorff, T., Aan de Brugh, J., Aben, I., . . . Hasekamp, O. (2018). Toward global mapping of methane with TROPOMI: First results and intersatellite comparison to GOSAT. *Geophysical Research Letters*, 45(8), 3682-3689. doi: <https://doi.org/10.1002/2018GL077259>
- Ialongo, I., Virta, H., Eskes, H., Hovila, J., & Douros, J. (2020). Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO₂ observations with ground-based measurements in Helsinki. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(1), 205-218. doi: <https://doi.org/10.5194/amt-13-205-2020>
- Ibbetson, A., Symonds, P., & Hutchinson, E. (2020). Data to support small area health impact modelling of air pollution in the United Kingdom. *Data in brief*, 29, 105148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105148>
- Kaplan, G., Avdan, Z. Y., & Avdan, U. (2019). Spaceborne nitrogen dioxide observations from the sentinel-5P TROPOMI over Turkey. *Multidisciplinary digital publishing institute proceedings*, 18(1), 4. doi: <https://doi.org/10.3390/ECRS-3-06181>
- Kunt, F., & Dursun, Ş. (2016). Air pollution modelling of Konya City center by using artificial intelligence methods. *Wulfenia Journal*, 23(11), 76-87.
- Kurata, M., Takahashi, K., & Hibiki, A. (2020). Gender differences in associations of household and ambient air pollution with child health: evidence from household and satellite-based data in Bangladesh. *World Development*, 128, 104779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104779>
- Li, C., Chen, W., Wang, Y., Wang, Y., Ma, C., Li, Y., Zhai, W. (2022). Mapping winter wheat with optical and SAR images based on Google earth engine in Henan Province, China. *Remote Sensing*, 14(2), 284. doi: <https://doi.org/10.3390/rs14020284>
- Lorente, A., Borsdorff, T., Butz, A., Hasekamp, O., Schneider, A., Wu, L., . . . Pollard, D. F. (2021). Methane retrieved from TROPOMI: improvement of the data product and validation of the first 2 years of measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(1), 665-684. doi: <https://doi.org/10.5194/amt-14-665-2021>
- Lu, M., Schmitz, O., Vaartjes, I., & Karssenberg, D. (2019). Activity-based air pollution exposure assessment: differences between homemakers and cycling commuters. *Health & place*, 60, 102233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102233>
- Makineci, H. B. (2022). İstanbul İli Merkez İlçelerindeki NO₂ ve CO Emisyonlarının Uzaktan Algılama ve Yersel İstasyon Verileri Kullanılarak İncelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 4(2), 62-74. <https://doi.org/10.51489/tuzal.1160333>
- Rohi, G., & Ofualagba, G. (2020). Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*, 6(1), e03252. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03252>
- Safarianzengir, V., Sobhani, B., Yazdani, M. H., & Kianian, M. (2020). Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13, 709-719. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00827-5>
- Sager, L. (2019). Estimating the effect of air pollution on road safety using atmospheric temperature inversions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 98, 102250. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.102250>
- Singh, S., Singh, H., Sharma, V., Shrivastava, V., Kumar, P., Kanga, S., . . . Singh, S. K. (2021). Impact of forest fires on air quality in Wolgan Valley, New South Wales, Australia—a mapping and monitoring study using Google Earth engine. *Forests*, 13(1), 4. doi: <https://doi.org/10.3390/f13010004>
- Slagter, B., Tsendbazar, N.-E., Vollrath, A., & Reiche, J. (2020). Mapping wetland characteristics using temporally dense Sentinel-1 and Sentinel-2 data: A case study in the St. Lucia wetlands, South Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 86, 102009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.102009>

- Sobhani, B., & Zengir, V. S. (2019). Investigation hazard effect of monthly ferrrin temperature on agricultural products in north bar of Iran. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 50(1), 320-330.
doi:<https://doi.org/10.36103/ijas.v50i1.298>
- Sobhani, B., & Zengir, V. S. (2020). Modeling, monitoring and forecasting of drought in south and southwestern Iran, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 63-71.
doi:<https://doi.org/10.1007/s40808-019-00655-2>
- Stocker, T. (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge university press.
- Stratoulas, D., & Nuthammachot, N. (2020). Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of the Total Environment*, 746, 141320.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141320>
- Theys, N., De Smedt, I., Yu, H., Danckaert, T., van Gent, J., Hörmann, C., . . . Romahn, F. (2017). Sulfur dioxide retrievals from TROPOMI onboard Sentinel-5 Precursor: algorithm theoretical basis. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(1), 119-153.
doi:<https://doi.org/10.5194/amt-10-119-2017>
- Veefkind, J. P., Aben, I., McMullan, K., Förster, H., De Vries, J., Otter, G., . . . Kleipool, Q. (2012). TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications. *Remote Sensing of Environment*, 120, 70-83.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.027>
- Wang, H., Gong, F.-Y., Newman, S., & Zeng, Z.-C. (2022). Consistent weekly cycles of atmospheric NO₂, CO, and CO₂ in a North American megacity from ground-based, mountaintop, and satellite measurements. *Atmospheric Environment*, 268, 118809.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118809>

YAZIM ESASLARI

1. Harita Dergisine Yazı Hazırlama Esasları

a. Sayfa büyüklüğü A4 (210x297 mm) standardında olmalı; her sayfanın sağ kenarından 2 cm diğer kenarlarından 3'er cm boşluk bırakılmalıdır. Yazı zorunlu olmadıkça toplam 15 sayfayı geçmemelidir. Yazı, bilgisayarda Microsoft Word formatında Arial Türkçe fontu bir satır aralığı ile yazılmalıdır. Paragraflar arasında bir satır boşluk bırakılmalıdır.

b. Makale adı, Türkçe ve İngilizce olarak kelimelerin ilk harfleri büyük olacak şekilde 12 punto büyüklüğünde sayfanın üst ortasına gelecek şekilde yazılmalı ve iki satırı geçmemelidir. Makale adı, makale içeriğini en fazla ölçüde yansıtmalı; makale içeriğinde anlatılan konuların büyük çoğunluğu, makale adı ile doğrudan ilgili olmalıdır. Makale adından sonra bir satır boşluk bırakıp ortalarak yazar adı ve soyadı koyu (bold) ve 10 punto harf büyüklüğünde yazılmalıdır (Soyadı büyük harflerle). Yazar adının altına ortalarak adres ve elektronik posta adresi 9 punto harf büyüklüğünde yazılır.

c. Yazı; makalenin başlangıç kısmına yazılmış, tek paragraf Türkçe ve İngilizce olarak 100-250 kelime arası Türkçe "Öz" ile İngilizce "Abstract", ortalama 5 adet Anahtar Kelime içeren Anahtar Kelimeler ile Key Words (İngilizce anahtar kelimeler), Giriş, Bölümler, Sonuç ve Kaynaklar şeklindeki ana bölümlerden oluşur. Bu bölümlerin tamamı sayfada iki sütun olacak şekilde yazılır. Sütunlar arasında 0,5 cm boşluk bırakılır. Her ana bölüm ve alt bölüm başlığı öncesi ve sonrası bir satır boşluk bırakılır.

Öz bölümünde, yapılan çalışma tanıtılarak kullanılan yöntemler ve sonuçlar kısaca belirtilmeli; abstract bölümü, özün doğru ve eksiksiz tercümesini içermelidir. Giriş bölümünde, çalışmanın amacı ve konuyla ilgili diğer çalışmalar anlatılmalıdır. Ara bölümlerde, kullanılan yöntemler ve veriler açıklanmalı; sonuç bölümünde, bulgular başka araştırmacıların bulguları ile karşılaştırılmalı, yazarın yorumu belirtilmeli ve ayrıca bulgulardan çıkan sonuçlar ve varsa öneriler yazılmalıdır. Öz, abstract, anahtar kelimeler ve key words, 9 punto büyüklüğünde italik harflerle yazılmalıdır. Diğer bölümler 10 punto harf büyüklüğünde normal yazılır.

Ana bölüm başlıkları büyük harflerle koyu (bold) olarak ve alt bölümlerin başlıkları kelimelerin ilk harfleri büyük diğerleri küçük ve sadece birinci düzey alt bölümlerin başlıkları koyu (bold) olarak yazılmalıdır. Yazının geri kalan kısmı normal baskıda yazılmalı, italik ya da altı çizgili karakterler kullanılmamalıdır. Öz, Anahtar Kelime, Abstract (ingilizce özet), Key Words (İngilizce anahtar kelimeler) ve kaynaklar ana bölümleri dışındaki ana bölüm başlıkları 1., 2., 3.; alt bölüm başlıkları a., b., c.; (1), (2), (3); (a), (b), (c); (i), (ii), (iii); (aa), (bb), (cc) şeklinde hiyerarşik düzeyde numaralandırılmalı; ardışık düzeylerin numaraları arasındaki dikey fark 0.5 cm olmalıdır. Numaralandırılan bölümlerin başlıkları, numaralarının başlangıç hizasından 0.5 cm içeriden; bir alt satıra devam eden bölüm başlıkları sayfa başından; tüm paragraflar sayfanın 0.5 cm içerisinden başlamalıdır.

Noktalama ve imlâ için Türk Dil Kurumu tarafından en son yayımlanan İmlâ Kılavuzu ve Türkçe sözlüğüne, Haritacılık ile ilgili Yönetmeliklerde kullanılan deyimlere uyulmalıdır. İfadelerde üçüncü şahıs kullanılmalı; her sembol ilk geçtiği yerde tanımlanmalı; her kısaltma ilk geçtiği yerde parantez içinde yazılmalı (örneğin, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)); kelime ikiye bölünmemelidir. Noktalama işaretlerinden sonra bir karakter boşluk bırakılmalı; sayfa numaralama yapılmamalıdır.

ç. Tablo isimleri, tablonun üstüne sol üst köşesinden itibaren yazılmalı (örneğin, Tablo 1. Karesel ortalama hatalar.); şekil isimleri, şeklin altına ortalanarak yazılmalı (örneğin, Şekil 1. CBS tasarımı.); tablo isimlerinden ve şekillerden önce, şekil isimlerinden ve tablolardan sonra bir satır boşluk bırakılmalı; tablolar ve şekiller sayfaya ortalanmalıdır. Tablolar ve şekillerin boyutu tek sütundan büyük olduğu durumlarda, sayfanın tamamına ortalı olarak yazılabilir. Bu durumda tablo ve şekiller metini bölmemeli sayfanın en altında ya da en üstünde yer almalıdır.

d. Denklemlere verilen numaralar, kendi hizalarına ve sayfa sağ kenarına çıkışacak şekilde parantez içinde (1),(2),(3),... şeklinde yazılmalıdır. Metin içerisindeki denklemlerin kendi aralarında ve metin ile aralarında bir satır boşluk bırakılır.

e. Makaleler, "MAKALE ÖRNEĞİ"nde sunulan boşluk ve yapılandırmalara uyularak; Şekil, Tablo ve Denklemler tek sütunda olacak ise metin

aralarına konularak; iki sütuna yayılan bir bütün halindeki metin bloğundan sonra veya önce sayfanın alt veya üstünde olacak ve okuma akıcılığını bozmayacak şekilde yazılır.

f. Yazarlar; unvanlarını, görev yaptıkları kurumları, iletişim adreslerini, telefon numaralarını, e-posta adreslerini ve ORCID (Open Researcher ve Contributor ID) numarasını bildirmelidir. <https://orcid.org>

g. Öz ve abstract bölümlerinde kaynak atfı yapılmamalıdır. Metin içinde kaynak gösterme şekilleri aşağıda verilmiştir:

Tek yazarlı çalışmada ilk gönderme ve diğer göndermeler aynı biçimde olacak; gönderme cümle içerisinde yapılıyorsa Ceylan (2018) **veya** gönderme cümlelerin sonunda yapılıyorsa (Ceylan, 2018)

İki yazarlı çalışmada ilk gönderme ve diğer göndermeler aynı biçimde olacak; gönderme cümle içerisinde yapılıyorsa Simav ve Türkezer (2019) **veya** gönderme cümlelerin sonunda yapılıyorsa (Simav ve Türkezer, 2019)

Üç, dört ve beş yazarlı çalışmalarda ilk göndermede tüm yazarların soyadları Şengün, Yılmaz ve Kurt (2013) ve diğer göndermelerde Şengün ve diğerleri (2013) **veya** ilk göndermede (Şengün, Yılmaz ve Kurt, 2013) ve diğer göndermelerde (Şengün ve diğerleri, 2013)

Altı ve daha fazla yazarlı çalışmalarda ilk ve diğer göndermelerde sadece ilk yazarın soyadı belirtilir. Yıldız ve diğerleri (2014) veya (Yıldız ve diğerleri, 2014)

Tüzel yazarlı çalışmalarda ilk göndermede Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 2017) ve diğer göndermelerde MTA (2017) **veya** ilk göndermede (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA], 2017) ve diğer göndermelerde (MTA, 2017)

ğ. Kaynakların hazırlanmasında Amerikan Psikoloji Birliği (American Psychology Association)'nin hazırladığı rehberin altıncı baskısı (Publication Manual of the American Psychological Association, Sixth Edition) kuralları uygulanacaktır. <https://www.apastyle.org>

Kaynaklar ana bölümü başlığı birer aralıklı büyük harflerle koyu (bold) ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır

Kaynaklar ilk yazarlarının soyadına göre alfabetik sırada sıralanır.

Makale veya bölüm başlığındaki ilk kelimenin ilk harfi ve eğer varsa özel adların ilk harfleri büyük yazılır.

İnternet üzerinden ulaşılan ve zaman içerisinde değiştiği düşünülen kaynağın erişim tarihi internet adresi verilmeden önce (Erişim Adresi (19 Mayıs 2018): ...) belirtilmelidir.

Özellikle faydalanan elektronik kaynağın varsa doi numarası yoksa erişim adresi kaynağın sonuna eklenmelidir.

Elektronik Kaynaklar: Talimat, Rehber vb.

INSPIRE. (2014). *D2.8.I.1 Data Specification on Coordinate Reference Systems – Technical Guidelines* (D2.8.I.1_v3.2). Erişim Adresi: <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/rs>

ISO 19111. (2007). *Geographic information - Spatial referencing by coordinates*. Erişim Adresi: <https://www.iso.org/standard/41126.html>

Jekeli, C. (2016). *Geometric Reference Systems in Geodesy*. Erişim Adresi: https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/77986/Geom_Ref_Sys_Geodesy_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EU Official Journal. (2007). *Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007: Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*, (L 108/1). Erişim Adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002>

Teknik Rapor:

Demir, C. (1999). *Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı* (JEOFNIV-02-1999). Ankara: Harita Genel Komutanlığı.

Sürelî yayın:

Geymen, A., Yomralioglu, T. ve Baz, I. (2008). Developing an urban information system for local governments. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer: Published for the Institution of Civil Engineers*, 161(3), 163-173. doi: 10.1680/muen.2008.161.3.163

Moritz, H. (1988). Geodetic Reference System 1980. *Bulletin Géodésique*, 62(3), 348-358. doi:10.1007/bf02520722

Zandbergen, P.A. (2008). A Comparison of address point, parcel and street geocoding techniques. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32, 214-232. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2007.11.006

Kitap:

Torge, W. ve Müller, J. (2012). *Geodesy* (4. baskı). Berlin: Walter de Gruyter.

Vaníček, P. ve Krakiwsky, E. (1986). *Geodesy: The Concepts* (2. baskı). Amsterdam: Elsevier.

Day, R.A. (2000). *Bilimsel bir makale nasıl yazılır ve yayımlanır?* (G. A. Altay, Çev.). Ankara: TÜBİTAK.

Sempozyum, Bildiri vb:

Kılıç B. ve Gülgen F. (2017, Kasım). *A Research on Standard Address Usage in Turkey*. UCTEA International Geographical Information Systems Congress 2017, Adana, Türkiye.

Bard, G.V. (2007, Ocak). *Spelling-error tolerant, order-independent pass-phrases via the Damerau-Levenshtein string-edit distance metric*. In Proceedings of the fifth Australasian symposium on ACSW frontiers, Ballarat, Avustralya.

Yakar, M. ve Doğan, Y. (2017, Nisan). Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyum*, Afyonkarahisar.

Tez:

Kellison, M.T. (2012). *Address points and A Master address file: Improving efficiency in the city of Chino* (Doktora Tezi). ProQuest Dissertations and Theses veri tabanından erişildi. (UMI No. 1532831)

Gençerk, E. Y. (2016). *İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi)*. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

2. Makalelerin Gönderilmesi

Makaleler, "haritadergisi@harita.gov.tr" adresine e-posta ile gönderilir.

(MAKALE ÖRNEĞİ)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (Makale Başlığı-Türkçe)

(XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Xxx) (Makale Başlığı- İngilizce)

(1 satır boşluk)

Xxxx XXXX (Yazar ismi)

XXXXX XXXX XXXX, XXXXX XXXXX (Adres)

xxxxxxxx@xxxxxx (e-posta)

(1 satır boşluk)

ÖZ

0.5 cm

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX; XXXXXX XXXX
XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

Anahtar Kelimeler: XXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

(1 satır boşluk)

ABSTRACT

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX XXXXXXX XX XXXXXXXXXXXXXXX. XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXX XXXX.

(1 satır boşluk)

Keywords: XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

(1 satır boşluk)

1. GİRİŞ

(1 satır boşluk)

XX XXX XX
XXXX XXXXX /1/.

(1 satır boşluk)

a. XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXX
XXXX XXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXX

(1 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXX
(1) XXXXXXX Xxx XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXX XXXXX XXXXX XXXX.

(2 nci düzey alt bölüm)

(1 satır boşluk)

2. XXXXX XXXXX XXXX (Ana bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

a. XXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX
XXXXXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX
XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

(1 satır boşluk)

(1) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXXXXX
XXXXXXXX XXXXXXX

(2 nci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX
XXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf)

(1 satır boşluk)

(a) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXX XXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXX

XXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XX

XX

XX

XX

XX

XX

XX

(1 satır boşluk)

(b) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

(3 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

(I) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX

XXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

(4 üncü düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XX

XX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX

(1 satır boşluk)

(aa) XXXXX XXXXXXX XXXXXXX

(5 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XX

XX

XXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX XXXX XXXX

XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX.

(1 satır boşluk)

b. XXXXXXXXXXX XXXXXXX

(1 inci düzey alt bölüm başlığı)

(1 satır boşluk)

XXXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXX XXX XXXXXXX

XXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(1 nci düzey alt bölüm 1 inci paragraf)

3 cm

0.5 cm

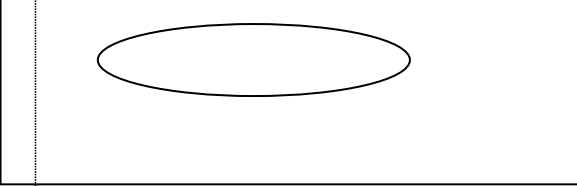
2 cm

xx

3 cm

1.25 cm

(MAKALE ÖRNEĞİ)

(1) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx XXXXXXXXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX. (2 nci düzey alt bölüm 1 nci paragraf) (1 satır boşluk) (a) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX. (1 satır boşluk) (b) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (3 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXX XXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX X XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX. (1 satır boşluk) (l) Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx Xxxx (4 üncü düzey alt bölüm başlığı) (1 satır boşluk) XXXX XXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXX XXXXXX XXXXXXXXXXX XXX XXXX. (1 satır boşluk) Tablo 1. Xxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxx (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX. (1 satır boşluk) $KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - X_{i(RASAT)}}{n}} \quad (1)$	(1 satır boşluk) XXXXXXXXXX XXXXX XXXX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXX XXXXXXXXXXXXXXX XXXXXX XXX XXXXXX XXXXXX . (1 satır boşluk)  (1 satır boşluk) Şekil 1. Xxxxxx xxxx xxxxxxxx xxxxxxx (1 satır boşluk) XXXXXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXX XX XXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXX XXXX. (1 satır boşluk) 3. SONUÇ (1 satır boşluk) XXXXX XXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXX XXXXXX XXXXX XXXXXX. (1 satır boşluk) KAYNAKLAR (1 satır boşluk) Sürelî Yayınlar: Yazar, A. A., Yazar, B. B. ve Yazar, C. C. (Yıl). Yazının başlığı. <i>Sürelî Yayının Başlığı, Cilt, s-</i> s. doi:xx.xxxxxxxx (veya Erişim Adresi:) Kitap: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Erişim adresi: http://www.xxxxxxxx Yazar, A. A. (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. doi:xxxxxxxxxxxx Editor, A. A. (Ed.). (Yıl). <i>Eserin başlığı</i>. Yer: Yayıncı. Yazar, A. A. ve Yazar, B. B. (Yıl). <i>Bölüm ya da</i> <i>giriş başlığı</i>. A. Editör, B. Editör ve C. Editör (Ed.), Kitap başlığı (s. xxx-xxx) içinde. Yer: Yayıncı. Doktora ve yüksek lisans tezleri: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans</i> <i>tezinin başlığı</i> (Yüksek lisans tezi/Doktora tezi). ... veri tabanından erişildi (Erişim ya da Sipariş No.). Yazar, A. A. (Yıl). <i>Doktora ya da yüksek lisans</i> <i>tezinin başlığı</i> (Yayımlanmamış doktora tezi/yüksek lisans tezi). Kurum adı, Yer bilgisi. Teknik raporlar ve araştırma raporları: Yazar, A. A. (Yıl). <i>Çalışmanın başlığı</i> (Rapor No. xxx). Yer bilgisi: Yayıncı. Toplantı ve sempozyumlar: Sunan, A. A. (Yıl, Ay). <i>Bildiri ya da poster başlığı</i>. Kuruluş Adının toplantısında sunulan bildiri ya da poster, Yer bilgisi.
---	--

