

SİVAS KENTİNİN YEŞİL ALAN DİNAMİKLERİNİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAĞLAMINDA NDVI ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

40

Burcu ÇİRÇİ SELÇUK¹, Sefa Furkan SELÇUK²

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, burcu_circi@hotmail.com

² Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, sefafurkan.selcuk@artvin.edu.tr

ÖZET

Kentsel alanlarda iklim değişikliğinin etkileri giderek daha belirgin hâle gelmekte; bu durum, kentlerin iklim değişikliğine uyum sağlama ve direnç geliştirme süreçlerinde yeşil alanların merkezi bir rol üstlenmesini zorunlu kılmaktadır. Yeşil alanlar, sundukları ekosistem hizmetlerinin ötesinde kent içi mikro iklimin düzenlenmesi, hava kalitesinin artırılması ve halk sağlığının desteklenmesi gibi çok yönlü katkılar sağlayarak iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir araç niteliğindedir.

Çalışmada Sivas ili merkez ilçe imar sınırları içerisinde 1990-2020 döneminde açık yeşil alanlarda meydana gelen değişimlerin ortaya konulmasını ve bu değişimlerin sıcaklık, yağış ve kuraklık gibi temel iklimsel göstergelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden elde edilen NDVI verileri kullanılmış; bitki örtüsünün yoğunluğu ve mekânsal dağılımındaki farklılaşmalar zamansal analiz yoluyla değerlendirilmiştir. Böylece yeşil alanların sadece miktaral değişimi değil, aynı zamanda kent içerisindeki dağılım örüntüleri de ortaya konmuştur. İklimsel verilerle oluşturulan grafiksel karşılaştırmalar, NDVI değişimlerinin sıcaklık artışı, azalan yağış ve artan kuraklık eğilimleriyle olan ilişkisini görsel olarak da desteklemektedir.

Yeşil alanlar yalnızca çevresel dirençlilik açısından değil, aynı zamanda fiziksel aktiviteyi destekleme, stres düzeyini azaltma ve sosyal etkileşimleri teşvik etme gibi insan sağlığına yönelik işlevleriyle de önem taşımaktadır. Bu yönüyle çalışma, kentsel ekosistemlerin iklim değişikliği bağlamında değerlendirilmesine katkı sunmakta ve sürdürülebilir kentsel planlama stratejileri için bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, yeşil alanlardaki değişimin yalnızca miktar değil, aynı zamanda ekolojik nitelik açısından da gerilediğini ortaya koymaktadır. NDVI analizleri, düşük yoğunluklu bitki örtüsünün zamanla baskın hâle geldiğini göstermekte; bu durumun sıcaklık artışı ve yağış azalışı gibi iklimsel değişkenlerle

doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Sağlıklı yeşil alanların azalması, kentte ısı adası etkisini artırmakta ve iklimsel kırılganlığı derinleştirmektedir. Bu bağlamda, yeşil altyapının korunması sürdürülebilir kent politikaları açısından öncelikli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Kentsel Yeşil Alan, NDVI Analizi, Sivas Kenti

1. GİRİŞ

Küresel ölçekte artan sıcaklık, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki artış, iklim değişikliğinin çevresel ve toplumsal etkilerini daha görünür hâle getirmiştir. Kentleşme süreciyle birlikte doğal yüzeylerin geçirimsiz yapılarla yer değiştirmesi, karbon salınımının artması, ısı adası etkisinin yoğunlaşması gibi sorunlar, şehirleri iklim değişikliğine karşı daha kırılgan hâle getirmektedir (IPCC, 2021; Grimm et al., 2008).

Bu bağlamda, sürdürülebilir kentleşme yaklaşımlarında doğa temelli çözümler giderek daha fazla önem kazanmakta; özellikle kentsel yeşil alanlar, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi açısından temel bileşenler olarak öne çıkmaktadır (Kabisch et al., 2017; Cohen-Shacham et al., 2016).

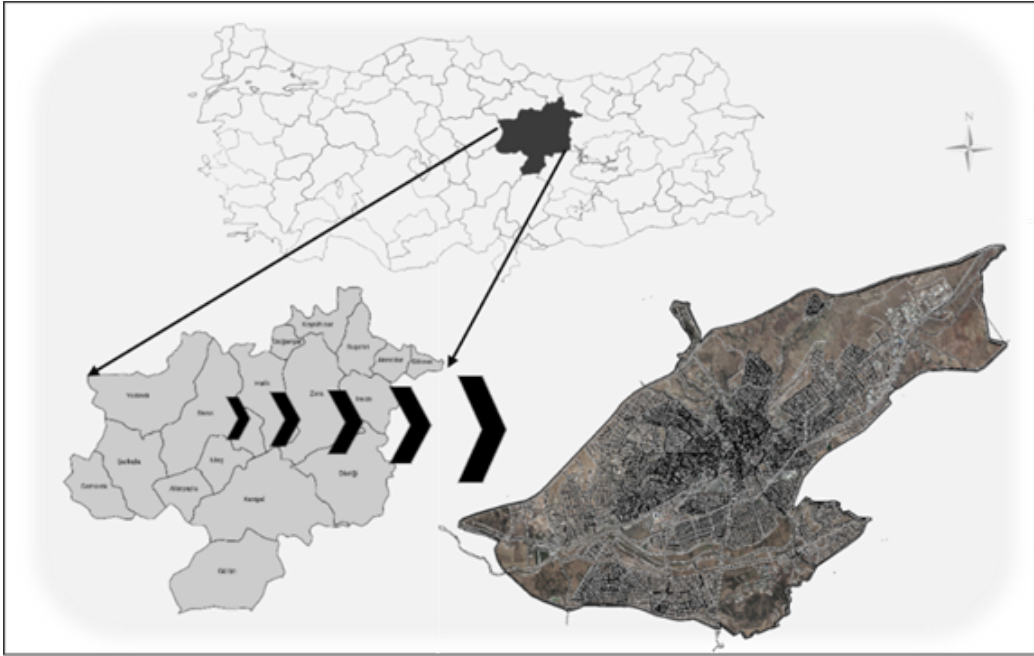
Kentsel yeşil alanlar yalnızca ekolojik hizmet sağlayıcı unsurlar olarak değil, aynı zamanda toplum sağlığını destekleyen, sosyal bütünlüğü artıran ve iklimsel stres faktörlerine karşı tampon işlevi gören stratejik kentsel altyapı elemanları olarak değerlendirilmektedir (Tzoulas et al., 2007). Yeşil alanların hava kalitesini iyileştirme, yüzey sıcaklıklarını dengeleme, karbon tutma kapasitesini artırma ve yağış rejimiyle ilişkili yüzey akışlarını azaltma gibi çok yönlü işlevleri, bu alanların özellikle yarı kurak ve karasal iklim kuşaklarındaki kentler için daha da kritik hâle gelmesine neden olmaktadır (Gill et al., 2007; Rahman et al., 2021).

Uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen NDVI verileri, kentsel alanlardaki bitki örtüsünün zamansal değişimini değerlendirmede önemli bir araçtır. Ancak bu indeksin tek başına yorumlanması, özellikle iklimsel değişkenlerin etkisini açıklamakta yetersiz kalabilmektedir. Nitekim bitki örtüsünün gelişimi ve canlılığı büyük ölçüde sıcaklık, yağış ve atmosferik su talebi gibi iklimsel etmenlere bağlıdır. Bu nedenle NDVI zaman serilerinin iklimsel göstergelerle birlikte ele alınması, özellikle yeşil alan dinamiklerinin iklim değişikliği bağlamında daha bütüncül biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır (Yıldız vd., 2012; Wang et al. 2022). Bu çalışmada, NDVI değişimlerini etkileyen iklimsel arka planı ortaya koymak amacıyla, uzun yıllık sıcaklık, yağış ve kuraklık verileri üzerinde eğilim analizi gerçekleştirilmiştir. Trend analizlerinde parametrik varsayımlara bağlı kalmaksızın otokorelasyonun etkisini göz önünde bulunduran modifiye Mann-Kendall testi kullanılmış; eğilimin yönü ve büyüklüğü ise Sen's slope yöntemi ile nicel olarak belirlenmiştir (Hamed & Rao, 1998; Hu et al. 2020; Lornezhad et al. 2023). Kuraklık değerlendirmesinde tercih edilen RDI (Reconnaissance Drought Index) ise, yalnızca yağış miktarını değil, aynı zamanda potansiyel evapotranspirasyonu da içeren yapısıyla atmosferik kuraklık koşullarını daha hassas bir biçimde temsil etmektedir (Tsakiris & Vangelis, 2005). Böylece NDVI değişimlerinin, sadece spektral değil aynı zamanda hidroklimatik temelli faktörlerle açıklanması sağlanmış ve kentsel yeşil altyapının iklim değişikliği karşısındaki duyarlılığı bilimsel temele dayalı bir bütünlük içinde değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda Sivas ili merkez ilçesinde imar sınırları dâhilinde 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait uydu görüntülerinden türetilen NDVI verileri kullanılarak yeşil alanlardaki zamansal değişim incelenmiş; bu değişimlerin sıcaklık, yağış ve kuraklık gibi temel iklimsel göstergelerle ilişkisi değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde uzaktan algılama ve CBS tabanlı yöntemler bir arada kullanılmış, elde edilen veriler doğrultusunda yeşil doku ile iklimsel faktörler arasındaki etkileşimler ortaya konmuştur. Böylece yarı kurak iklim koşullarına sahip bir kentte yeşil alanların iklimsel baskılar karşısındaki duyarlılığına dair özgün ve karşılaştırmalı bir değerlendirme sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sivas ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda, Yukarı Kızılırmak Bölümü'nde yer almakta olup, Merkez ilçesi bu ilin idari, ekonomik ve kültürel merkezidir. Sivas Merkez, 39° 45' kuzey enlemleri ile 37° 0' doğu boylamları arasında konumlanmakta ve yaklaşık 1,285 m rakıma sahiptir (Şekil.1) (Vikipedi, 2025).



Şekil.1 Çalışma Alanı Konum Haritası

Sivas Merkez ilçesi, belirgin karasal iklim özellikleri göstermektedir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Uzun yıllar ortalamasına göre yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 9 - 10 °C olup, kış aylarında sıcaklık -20 °C'ye kadar düşebilmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 400 - 450 mm arasında değişmekte; yağışlar daha çok ilkbahar ve sonbahar aylarında yoğunlaşmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025).

Bu iklimsel yapı, bölgedeki bitki örtüsünün gelişimi üzerinde doğrudan belirleyicidir. Bitki örtüsü genel olarak bozkır karakteri göstermekte; doğal step formasyonları, tarım alanları ve insan etkisiyle oluşturulmuş parçalı yeşil alanlarla birlikte, kentsel yayılım alanlarında parçalanmış bitki dokusu gözlenmektedir. Özellikle

düşük nem ve düzensiz yağış rejimi, yeşil alanların sürekliliği ve canlılığı üzerinde sınırlayıcı etki yaratmaktadır (Sivas İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2025; MGM, 2025).

Çalışmada, Sivas ili merkez ilçesinde yer alan imar sınırları içerisinde 1990 - 2020 döneminde açık yeşil alanlarda meydana gelen değişimlerin incelenmesi ve bu değişimlerin iklim değişikliği ile ilişkili temel göstergeler olan sıcaklık, yağış ve kuraklık parametreleri çerçevesinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yeşil alanlardaki zamansal değişimlerin iklimsel göstergelerle ilişkisini ortaya koymaya yönelik değerlendirme süreci, bitki örtüsünün yüzdesel dağılımı ile yoğunluk ve mekânsal farklılaşmalarının Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) aracılığıyla analiz edilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden elde edilen NDVI verileri doğrultusunda yeşil alanlardaki değişim eğilimleri hem niceliksel (alan yüzdesel verileri) hem de konumsal örüntüler (yerleşim içindeki dağılım) üzerinden detaylı biçimde değerlendirilmiştir.

Böylece yalnızca yeşil alanların miktarındaki azalış ya da artış değil, aynı zamanda bu değişimlerin kentsel yapı içindeki mekânsal desenleri de ortaya konmuştur. Buna ek olarak, sıcaklık, yağış ve kuraklık değişkenlerine ilişkin uzun dönemli veriler kullanılarak oluşturulan grafiksel karşılaştırmalar aracılığıyla, NDVI temelli yeşil alan değişimlerinin iklimsel parametrelerle olan ilişkisi görsel olarak da ortaya konmuş ve bütüncül bir analiz zemini sağlanmıştır.

Bu çalışmada, 1990, 2000 ve 2010 yıllarına ait Landsat 5 TM ile 2020 yılına ait Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri, LITP (Level-1 Terrain Precision) düzeyinde kullanılmıştır. LITP düzeyi, yer kontrol noktaları (GCP) ve sayısal arazi modeli (DEM) kullanılarak gerçekleştirilen ortorektifikasyon işlemi ile geometrik bozulmaların giderildiği ve radyometrik kalibrasyonu tamamlanmış görüntü formatını ifade etmektedir. Bu düzeydeki görüntüler, zaman serisi analizleri ve konumsal doğruluk gerektiren çalışmalarda kullanılmak üzere en yüksek hassasiyete sahiptir (USGS, 2025).

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), uydu görüntülerinden elde edilen yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (RED) bantlara ait yansıma değerlerinin belirli bir formülle karşılaştırılmasıyla hesaplanan bir vejetasyon indeksidir (Özkan, Gül ve Akın 2020).

NDVI hesaplamasında kullanılan matematiksel ifade şu şekildedir: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$

Bu formülde NIR, spektrumun yakın kızılötesi bölgesine ait bant yansımaları; RED ise kırmızı bölgedeki bant yansımaları temsil ederken, sonuçta elde edilen NDVI değeri vejetasyonun yoğunluğunu göstermektedir. NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişmektedir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda NDVI değeri +1'e yaklaşırken, seyrek bitki örtüsüne veya çıplak toprağa sahip alanlarda bu değer 0'a yaklaşmaktadır. Su, bulut ve kar gibi yüzey türlerinin yansıma karakteristikleri nedeniyle bu alanların NDVI değerleri ise genellikle -1'e yakındır (Özkan, Gül ve Akın 2020). Bu çalışmada 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden türetilen NDVI değerleri hesaplanmış, ardından bitki örtüsü yoğunluğuna göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan NDVI aralıkları ve bu aralıkların temsil ettiği bitki örtüsü kategorileri, ilgili literatür doğrultusunda aşağıda belirtilmiştir (Chouari, 2024; Sahebjalal & Dashtekian, 2013; Yavuz ve Örucü 2025);

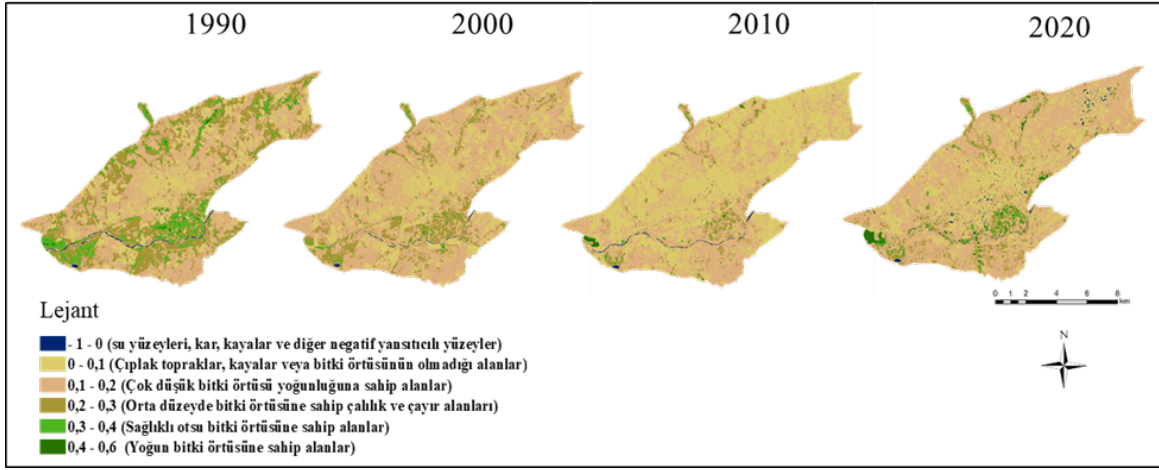
- NDVI değeri -1 ile 0 arasında olan alanlar genellikle su yüzeyleri, kar örtüsü, kayalık bölgeler ve diğer düşük yansıtıcı yüzeylerle ilişkilidir. Bu değer aralığı, bitki örtüsünün bulunmadığı veya tamamen yansıma özellikleri nedeniyle negatif indeks üreten yüzeyleri temsil etmektedir.
- 0 ile 0,1 NDVI değerine sahip alanlar, çıplak topraklar, kayalık yüzeyler ya da vejetasyonun neredeyse hiç bulunmadığı bölgeleri göstermektedir. Bu tür alanlar, bitkisel örtünün son derece sınırlı olduğu ekolojik koşulları yansıtır.
- 0,1 ile 0,2 aralığında yer alan değerler, oldukça düşük bitki örtüsü yoğunluğuna sahip alanlarla örtüşmektedir. Bu bölgeler, genellikle yarı çıplak zeminler, taşlık yüzeyler veya seyrek bitki kümeleriyle karakterizedir.
- 0,2 ile 0,3 aralığı, orta seviyede bitki örtüsünün bulunduğu alanları tanımlar. Çayırklar, çalılıklar ya da düzensiz şekilde dağılmış otsu bitkilerin yaygın olduğu bölgeler bu kategoriye girer.
- 0,3 ile 0,4 arasında kalan NDVI değerleri, sağlıklı ve gelişmiş otsu bitki örtüsüne sahip bölgeleri temsil etmektedir. Bu alanlar, daha düzenli ve yoğun vejetasyon yapısıyla dikkat çeker.
- Son olarak, 0,4 ile 0,6 NDVI aralığı, yoğun ve sağlıklı bitki örtüsüne sahip alanlarla ilişkilidir. Bu değerler, genellikle tarımsal üretim yapılan alanlar veya sulama imkânlarının olduğu yoğun yeşil bölgeler için tipiktir.

Çalışma kapsamında Sivas ili imar sınırlarına ait yeşil alan dinamiklerinin iklimsel koşullarla olan ilişkisini ortaya koymak amacıyla, uzun dönemli iklimsel veriler üzerinde zamansal eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Sivas Merkez Meteoroloji İstasyonu'ndan temin edilmiştir. İklimsel kuraklık koşullarını değerlendirmek amacıyla, 12 aylık kümülatif RDI (Tsakiris et al. 2008) değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri Hargreaves (Hargreaves and Samani 1982) yöntemiyle elde edilmiştir.

RDI, yalnızca yağış miktarını değil aynı zamanda sıcaklığa bağlı atmosferik su talebini de dikkate alarak kuraklık koşullarını daha gerçekçi biçimde temsil etmektedir. Elde edilen yağış, sıcaklık ve RDI-12 zaman serileri üzerinde Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1975) ve modifiye Mann-Kendall (Hamed and Rao 1998) testleri uygulanarak eğilim analizleri gerçekleştirilmiştir. Trendin yönü ve büyüklüğü Sen's slope yöntemi (Sen 1968) ile belirlenmiştir. Modifiye Mann-Kendall testi, zaman serilerinde sık karşılaşılan otokorelasyon etkisini dikkate alması bakımından, özellikle uzun dönemli iklim verileri için daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Yapılan analizlerde, $p < 0,05$ (%95) anlamlılık düzeyi esas alınmış ve bu eşğin altındaki sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. İklim parametrelerine yönelik bu analizlerle, çalışmanın ana odak noktası olan NDVI değişimlerinin ardındaki iklimsel eğilimlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Tüm hesaplamalar ve eğilim analizleri R yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

Çalışma kapsamında, 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak NDVI değerleri hesaplanmış; bu değerler doğrultusunda zamansal karşılaştırmaya olanak tanıyacak şekilde bitki örtüsü sınıflandırmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen NDVI haritaları aracılığıyla, 30 yıllık süreçte açık yeşil alanların mekânsal dağılımındaki değişim görsel olarak ortaya konmuştur (Şekil.2).



Şekil.2 1990 - 2020 NDVI Analizi Haritaları

NDVI haritalarına göre, 1990 yılında Sivas Merkez İmar Sınırı içinde yeşil alanlar daha bütünlüklü ve güneybatı, kuzey ve doğu kesimlerde yoğunlaşmışken; 2000 ve 2010 yıllarında bu alanların hem kapsadığı yüzey hem de mekânsal sürekliliğinde ciddi azalmalar gözlenmiştir. 2020 yılında ise, özellikle güney ve doğu kesimlerde sınırlı da olsa yeniden bir bitki örtüsü toparlanması izlenmiştir. Ancak bu toparlanma hem yoğunluk hem de kapsadığı alan açısından önceki yıllardaki yeşil doku bütünlüğünü tam anlamıyla sağlayamamaktadır.

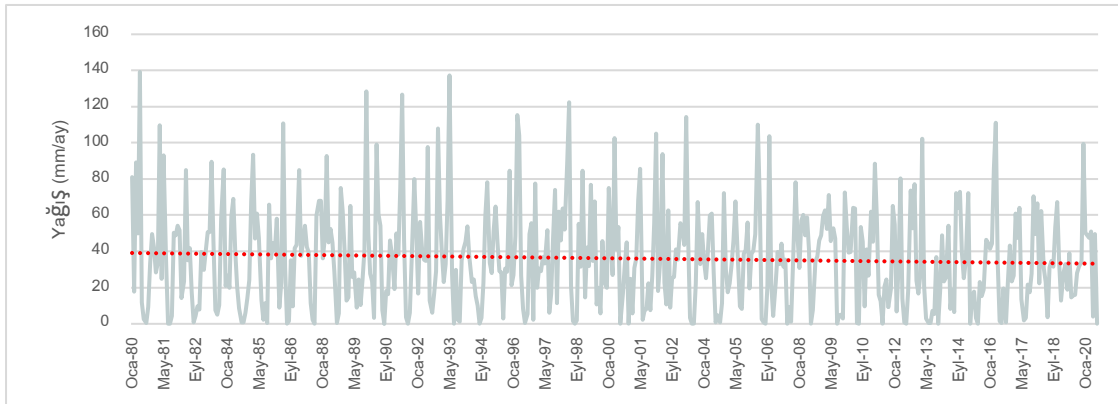
Tablo.1 Yıllara Göre NDVI Değer Aralıklarının Yüzdesel Dağılımı Tablosu

| NDVI Değer Aralığı | Alansal Dağılım Yüzdesi (%) | | | |
|---|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 |
| - 1 - 0 (su yüzeyleri, kar, kayalar ve diğer negatif yansıtıcı yüzeyler) | % 0,64 | % 0,32 | % 0,49 | % 0,86 |
| 0 - 0,1 (Çıplak topraklar, kayalar veya bitki örtüsünün olmadığı alanlar) | % 19,45 | % 27,37 | % 52,13 | % 28,20 |
| 0,1 - 0,2 (Çok düşük bitki örtüsü yoğunluğuna sahip alanlar) | % 43,45 | % 57,72 | % 41,41 | % 57,99 |
| 0,2 - 0,3 (Orta düzeyde bitki örtüsüne sahip çalılık ve çayır alanları) | % 27,72 | % 13,18 | % 4,92 | % 9,18 |
| 0,3 - 0,4 (Sağlıklı otsu bitki örtüsüne sahip alanlar) | % 8,24 | % 1,37 | % 0,70 | % 2,43 |
| 0,4 - 0,6 (Yoğun bitki örtüsüne sahip alanlar) | % 0,50 | % 0,05 | % 0,35 | % 1,34 |

Tablo 1'de yer alan NDVI değer aralıklarına ait yüzdesel dağılımlar, 1990 - 2020 döneminde Sivas Merkez İmar Sınırı içindeki yeşil alan yoğunluğunda ve mekânsal kalitede belirgin değişimler yaşandığını göstermektedir. 0,1 - 0,2 NDVI aralığında tanımlanan "çok düşük yoğunluklu bitki örtüsüne sahip alanlar" in oranı 1990 yılında %43,45 iken, bu oran 2020 yılında %57,99'a yükselmiştir. Bu artış, kent genelinde bitki

örtüsünün yoğunluk bakımından seyrekleştiğini ve mevcut yeşil dokunun ekolojik açıdan daha zayıf hâle geldiğini göstermektedir. Benzer şekilde, 0,2 - 0,3 NDVI aralığında yer alan “orta yoğunluklu çalılık ve çayır” alanlarının oranı, 1990’da %27,72 düzeyindeyken, 2010 yılında %4,92’ye kadar gerilemiş; 2020 itibarıyla ise %9,18’e ulaşarak sınırlı bir toparlanma eğilimi sergilemiştir. Bu durum, özellikle 1990 - 2010 yılları arasında bitki örtüsü yoğunluğunda ciddi bir kayıp yaşandığını, ancak son on yılda bu kaybın kısmen telafi edilmeye başlandığını düşündürmektedir.

Daha sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü temsil eden 0,3 - 0,4 ve 0,4 - 0,6 NDVI aralıklarındaki alanların toplam oranı ise 1990 yılında %8,74 iken (sırasıyla %8,24 ve %0,50), bu oran 2010 yılında %1,05’e (%0,70 + %0,35) kadar düşmüştür; 2020 yılına gelindiğinde ise %3,77’ye yükselmiştir. Bu eğilim, 1990’lı yıllarda kentsel alanda daha sağlıklı ve yüksek yoğunlukta yeşil alanların varlığına işaret ederken, zamanla bu alanların miktar ve kalitesinde gerileme yaşandığını ortaya koymaktadır. Son yıllarda tespit edilen sınırlı düzeydeki toparlanma, belirli bölgelerde bitki örtüsünün yeniden canlandığını ortaya koymaktadır; ancak bu gelişimin tüm şehir dokusu üzerinde yaygın ve kalıcı bir etki yarattığını ifade etmek için henüz yeterli kanıt bulunmamaktadır. Bu bağlamda, yeşil alanların sadece mekânsal yayılımı değil, aynı zamanda işlevsel ve ekolojik bütünlüğü de dikkate alınarak geleceğe dönük planlama stratejilerinin geliştirilmesi gerektiği açıktır.

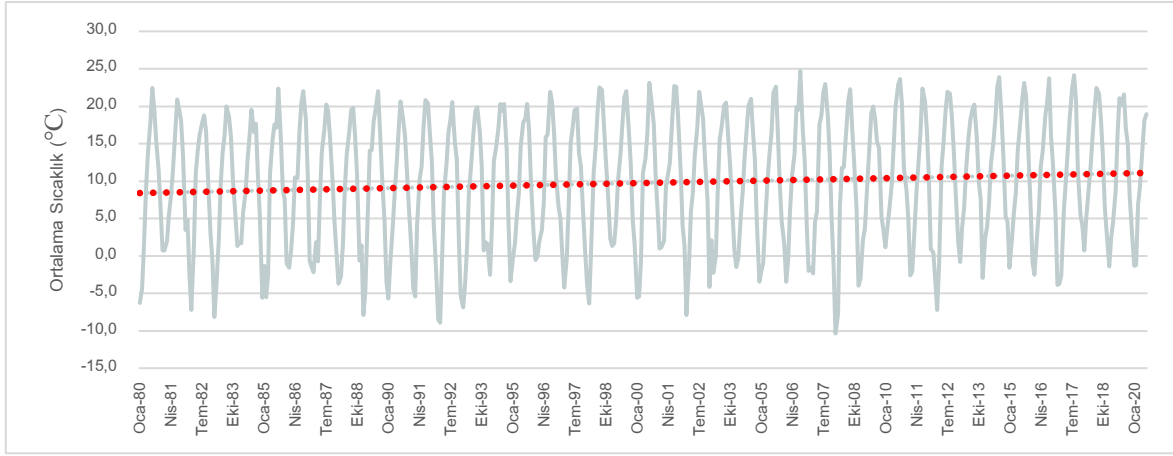


Şekil.3 Aylık Yağış Değişim Grafiği

Şekil 3’de sunulan aylık yağış değişim grafiği, Sivas/Merkez meteoroloji istasyonuna ait 1980-2020 dönemi verilerinde belirgin bir mevsimsellik ortaya koymaktadır. Özellikle Nisan ve Mayıs aylarında yağışların zirve yaptığı, buna karşın Temmuz-Ağustos ve Ocak aylarında minimum seviyelere düştüğü gözlenmiştir. Bu yapı, İç Anadolu’nun karasal iklim karakteriyle uyumludur. Grafikselleştirme göre yağışların yıllar içinde hafif azalma eğilimi gösterdiği düşünülse de, bu bulgunun istatistiksel düzlemde doğrulanması önemlidir.

Modifiye Mann-Kendall (MMK) testi sonuçlarına göre, yağış verilerinde anlamlı bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Düzeltilmiş z değeri -2.08, p-değeri 0.037 olarak hesaplanmış ve bu durum %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir (Tablo 2). Klasik Mann-Kendall (MK) testine göre (z = -0.86, p = 0.389) anlamlı olmayan bu eğilim, veri setinde otokorelasyon olduğu için klasik yöntemle maskelenmiş görünmektedir. Bu nedenle modifiye yaklaşımın kullanılması, yağış trendinin gerçek doğasını ortaya koymak açısından oldukça yerindedir. Ayrıca Sen’s slope değeri -0.0056 olarak bulunmuştur; bu da uzun vadede aylık yağış değerlerinin azalmakta olduğunu göstermektedir. Yani yağıştaki azalma hem

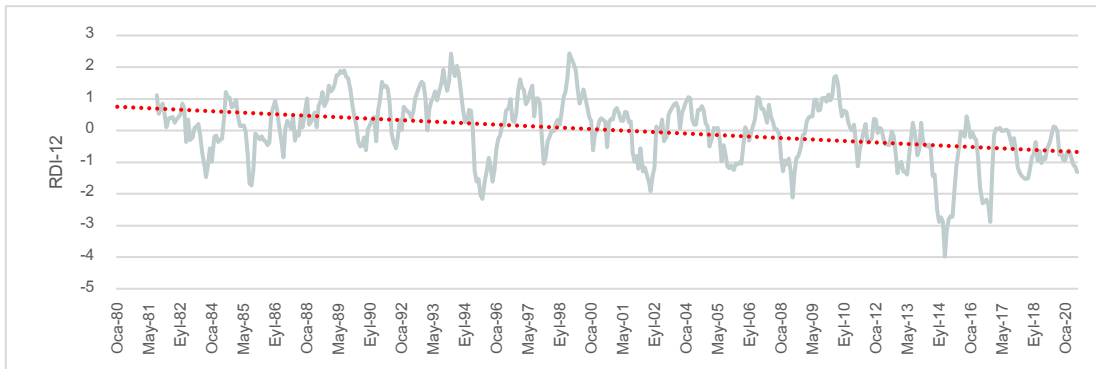
eğilim yönü hem de büyüklüğü açısından önemlidir, ancak klasik analizle fark edilemeyecek kadar düşük frekanslıdır.



Şekil.4 Aylık Ortalama Sıcaklık Değişim Grafiği

Şekil 4'te verilen ortalama sıcaklık değişim grafiği, verilerde yıllık döngüsel salınımların yanı sıra, uzun dönemli bir artış eğilimini de açıkça ortaya koymaktadır. Yaz aylarında artan sıcaklıklar ve kış dönemindeki azalan farklar, mevsimsel sıcaklık genliğinin zamanla azaldığını ve iklimsel denge kaymasının başladığını işaret etmektedir.

Trend analizine göre, sıcaklık verileri modifiye Mann-Kendall testiyle değerlendirildiğinde çok güçlü bir artış eğilimi göstermektedir. Düzeltilmiş z değeri 12,23, p-değeri $2,08 \times 10^{-34}$ gibi olağanüstü küçük bir değerdir; bu sonuç, eğilimin istatistiksel olarak kesinlikle anlamlı olduğunu ortaya koyar (Tablo 2). Ayrıca otokorelasyon düzeltmesinden önce bile klasik Mann-Kendall testi $z = 2,04$ ve $p = 0,041$ ile %5 anlamlılık düzeyinde artışı göstermekteydi; düzeltme sonrası bu güven çok daha güçlenmiştir. Sen's slope değeri 0,00547 olup, yıllık sıcaklık ortalamasının arttığını göstermektedir. Bu artış, uzun dönemde tarım, buharlaşma ve su dengesi gibi pek çok iklimsel süreci etkileyecek büyüklüktedir.



Şekil 5. RDI-12 Zamansal Değişim Grafiği

Şekil 5'te sunulan RDI-12 zamansal değişim grafiği, çalışma süresince belirgin dalgalanmalar göstermekle birlikte genel eğilimin negatif yönde olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. 1990'lı yıllardan sonra RDI-12 değerlerinin çoğunlukla negatif bölgede seyrettiği, özellikle 2000 sonrası dönemde kuraklıkların daha sık ve daha şiddetli yaşandığı gözlenmektedir. RDI-12'nin 0'ın altında kaldığı uzun periyotlar, bölgenin hidroklomatik olarak kuraklaştığının kanıtıdır.

Modifiye Mann-Kendall testi sonuçları da bu bulguları desteklemektedir. Düzeltilmiş z değeri -5.69, p-değeri 1.27×10^{-8} olup, bu durum çok güçlü ve anlamlı bir azalan trendin varlığına işaret etmektedir (Tablo 2). Klasik Mann-Kendall testi zaten $z = -8.73$ gibi güçlü bir eğilim göstermekteydi, ancak yeni analizle eğilimin otokorelasyondan kaynaklı olası sapmaları da düzeltilmiştir. Sen's slope değeri de (-0.00282) RDI-12'nin azaldığını göstermektedir. RDI-12 değerlerindeki bu düzenli ve istatistiksel olarak doğrulanmış azalma, bölgedeki iklimsel kuraklık baskısının giderek arttığını göstermektedir.

Tablo.2 Sıcaklık, Yağış ve RDI-12 Değerlerinin Trend Analizi

| Trend Analizi | | Yağış | Sıcaklık | RDI-12 |
|---------------|---|----------|------------------------|------------------------|
| MMK | Z | -2.08 | 12.23 | -5.690 |
| | P | 0.037 | 2.08×10^{-34} | 1.27×10^{-8} |
| MK | Z | -0.86 | 2.04 | -8.73 |
| | P | 0.389 | 0.041 | 2.59×10^{-18} |
| Sen's slope | | -0.00564 | 0.00547 | -0.00282 |

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elde edilen bulgular, Sivas kentindeki açık yeşil alanların yalnızca miktar açısından değil, aynı zamanda ekolojik bütünlük ve bitki örtüsü yoğunluğu bakımından da belirgin şekilde zayıfladığını ortaya koymaktadır. NDVI analizleri, özellikle 2010 ve 2020 yıllarında düşük yoğunluklu bitki örtüsünün baskın hâle geldiğini göstermekte olup, bu durum kentteki yeşil altyapının yapısal niteliğinde bir bozulma yaşandığına işaret etmektedir. Bu eğilimin, yalnızca mekânsal planlamadan kaynaklanan arazi kullanımı değişikliklerinden değil, aynı zamanda iklimsel faktörlerden etkilendiği düşünülmektedir. Özellikle sıcaklık artışı, azalan yağış miktarları ve yükselen atmosferik su talebi, bitki örtüsünün sağlıklı gelişimini engelleyen temel çevresel faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Zoran et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen araştırma, Romanya'nın Bükreş metropol alanında 2000 - 2024 yılları arasında NDVI'nın sıcaklık, nem ve hava kirliliği gibi çevresel faktörlerle olan ilişkisini kapsamlı bir biçimde analiz etmiştir. Çalışma, özellikle sıcak yaz aylarında NDVI ile hava sıcaklığı arasında şehir merkezinde ve metropol ölçeğinde güçlü negatif korelasyonlar tespit ederek, artan sıcaklık koşullarının kent içi bitki örtüsü üzerindeki baskılayıcı etkisini açık biçimde ortaya koymuştur. Bu bulgular, yeşil alanların hem nicelik hem de nitelik açısından zayıfladığını ve bu gerilemenin sıcaklık artışlarıyla paralellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Benzer biçimde Wang et al. (2022), Çin'in kuzeydoğusundaki çölleşmiş havzalarda gerçekleştirdikleri çalışmada, NDVI değerlerindeki düşüşün azalan yağış ve artan sıcaklıkla doğrudan ilişkili olduğunu belirlemiş; özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde iklimsel baskıların bitki örtüsü üzerindeki olumsuz etkilerinin daha belirgin hâle geldiğini vurgulamışlardır. Bu bağlamda, Sivas gibi karasal iklimin

etkili olduğu kentlerde, yıllar içinde gözlenen NDVI gerilemeleri, salt arazi kullanımı değil, aynı zamanda yükselen sıcaklıklar ve azalan nem koşullarının kümülatif etkisini yansıtmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın ortaya koyduğu eğilim sadece yerel bir çevresel sorun değil; aynı zamanda kentleşme-iklim etkileşiminin mekânsal yansımalarına dair küresel eğilimlerle de tutarlılık göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, yeşil alan planlamasında yalnızca mevcut arazi kullanımına odaklanmak yerine, aynı zamanda iklimsel kırılganlıkların da dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Özellikle 0,3 ve üzeri NDVI değerlerinin yıllar içinde azalması, kentsel yeşil altyapının niteliğinde bir düşüşe işaret etmektedir. Bu eğilim, sürdürülebilir kent planlaması açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Kabisch ve ark. (2017), doğa temelli çözümler kapsamında kent içi yeşil alanların, iklim değişikliğine karşı dirençli şehirlerin inşasında kritik rol oynadığını vurgulamaktadır. Sivas örneğinde, sağlıklı yeşil alanların azalması; ısı adası etkisinin artması, karbon yutak kapasitesinin zayıflaması ve toplum sağlığı üzerinde olumsuz etkiler doğurabilecek bir yapının gelişmekte olduğunu göstermektedir. Bu nedenle NDVI gibi göstergeler, sadece arazi kullanım analizlerinde değil, aynı zamanda kentlerin iklimsel kırılganlıklarının izlenmesinde de etkili bir erken uyarı aracı olarak değerlendirilmektedir.

İklimsel veriler ışığında yapılan değerlendirmeler, Sivas/Merkez bölgesine ait 30 yıllık zaman serilerinin sıcaklık, yağış ve kuraklık eğilimleri bakımından önemli bulgular sunduğunu göstermektedir. Yağış verilerinde klasik analizlerle belirgin bir değişim saptanamamış olsa da, modifiye Mann-Kendall testi ile anlamlı azalma eğilimi ortaya konmuştur. Bu durum, otokorelasyonun istatistiksel analizlerdeki belirleyici etkisini göstermekte ve kuraklık eğilimlerinin tespiti için klasik yöntemlerin zaman zaman yetersiz kalabileceğini ortaya koymaktadır.

Sıcaklıkta gözlenen anlamlı ve sürekli artış, buharlaşma talebini artırarak kuraklık riskini dolaylı olarak kuvvetlendirmektedir. Yağışların durağan kalması veya hafif azalması, artan sıcaklıklarla birleştiğinde bölgedeki hidrolojik dengesizliği daha da belirginleştirmektedir. RDI-12 indeksine yansıyan bu durum, bölgenin son yıllarda kuraklık yönünde açık bir iklimsel eğilim sergilediğini güçlü biçimde göstermektedir.

Modifiye Mann-Kendall analizi sayesinde, bu eğilimler yalnızca görsel ya da sezgisel düzeyde değil, aynı zamanda istatistiksel olarak güvenilir biçimde ortaya konmuştur. Bu nedenle çalışma, hem iklim bilimi açısından anlamlı bir bulguyu ortaya koymakta, hem de gelecekte bölgeye yönelik uyum stratejilerinin geliştirilmesinde bilimsel bir temel sunmaktadır.

Bu çalışma, NDVI verileri aracılığıyla Sivas kent merkezindeki açık yeşil alan dinamiklerini dört farklı yıl üzerinden analiz etmiş ve bu değişimlerin niteliksel açıdan giderek zayıflayan bir eğilim sergilediğini ortaya koymuştur. Sağlıklı ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanların sürekli azalması, kentin iklim değişikliğine karşı daha savunmasız bir yapıya büründüğünü göstermektedir. Bu bağlamda, kent planlamasında yeşil altyapının korunması ve güçlendirilmesi stratejik bir zorunluluk hâline gelmiştir. NDVI zaman serilerinin iklimsel göstergelerle birlikte değerlendirilmesi, yalnızca mevcut durumun tespiti açısından değil, aynı zamanda gelecekte ortaya çıkabilecek çevresel risklerin öngörülmesi ve yönetilmesi açısından da bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma hem kentsel yeşil alanların zamansal dönüşümünü hem de bu dönüşümün iklimsel etkenlerle olan ilişkisini bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, iklim değişikliğine uyum politikalarının şekillendirilmesinde bilimsel temelli bir referans sunmaktadır.

5. KAYNAKÇA

- Chouari, W. (2024). Assessment of vegetation cover changes and the contributing factors in the Al-Ahsa Oasis using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). *Regional Sustainability*, 5(1): 100111. <https://doi.org/10.1016/j.regSus.2024.03.005>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *International Union for Conservation of Nature (IUCN)*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), (pp. 756–760). <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1–4), 182–196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225–230.
- Hu Z., Liu S., Zhong G., Lin H. and Zhou Z., (2020). Modified Mann-Kendall trend test for hydrological time series under the scaling hypothesis and its application, *Hydrological Sciences Journal*, 65(14):2419–2438. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1810253>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–32). frontmatter, Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2017). *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Kendall MG (1975) Rank correlation methods. Griffin, London, UK
- Lornezhad E., Ebrahimi H. and Rabieifar H.R., (2023). Analysis of precipitation and drought trends by a modified Mann–Kendall method: a case study of Lorestan province, Iran, *Water Supply*, 23(4):1557–1570. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.068>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025, 2 Mayıs). İl ve ilçelere ait istatistikî veriler: Sivas. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SIVAS>
- Özkan, F., Gül, A., Akin, T. (2020). Kentsel Yeşil Alanların Uydu Görüntülü NDVI Verileri İle Güncel Durum Ve Zamansal Değişim Analizi, İstanbul Örneği. *İstanbul Yeşil Alanlar Çalıştayı*, İstanbul, Türkiye. <https://www.researchgate.net/publication/378395516>
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., & Pretzsch, H. (2021). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building and Environment*, 191, 107642. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606>
- Sahebjalal, E., Dashtekian, K. (2013). Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods. *African Journal of Agricultural Research*, 8(37): 4614–4622.

- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Sivas İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2025, 2 Mayıs). Bitki Örtüsü. <https://sivas.tarimorman.gov.tr/Menu/15/Bitki-Ortusu>
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10), 3-11.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemelä, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- U.S. Geological Survey (USGS). (2025, 25 Mayıs). Landsat Level-1 Processing Details. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-level-1-processing-details>
- Vikipedi. (2025, 2 Mayıs). Sivas (il). [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sivas_\(il\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sivas_(il))
- Wang, L., Qiu, Y., Han, Z., Xu, C., Wu, S., Wang, Y., Holmgren, M., Xu, Z. (2022). Climate, topography and anthropogenic effects on desert greening: A 40-year satellite monitoring in the Tengger desert, northern China, *CATENA*, 209 (2). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105851>
- Yavuz, E. E. N., Örucü, S. (2025). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama kullanarak mavi-yeşil altyapıların analizi: Isparta örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 26(1), 87-96. <https://doi.org/10.18182/tjf.1573608>
- Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E., Akbaş, F. (2012). Türkiye Bitki Örtüsünün NDVI Verileri ile Zamansal ve Mekansal Analizi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 50-56.
- Zoran, M., Savastru, D., Tautan, M., Tenciu, D., & Stanciu, A. (2025). Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Climate Change Effects on Urban Green Spaces in Bucharest Metropolis. *Atmosphere*, 16(5), 553. <https://doi.org/10.3390/atmos16050553>