
AKADEMİK PERSPEKTİFTEN FİZİKİ COĞRAFYA

Editör: Doç.Dr. Kadir TUNCER



yaz
yayınları

Akademik Perspektiften Fiziki Coğrafya

Editör

Doç.Dr. Kadir TUNCER

yaz
yayınları

2025

Akademik Perspektiften Fiziki Coğrafya

Editör: Doç.Dr. Kadir TUNCER

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5596-90-1

Haziran 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

NDVI Verileri Kullanılarak Bitki Örtüsünün Zamansal Değişiminin İncelenmesi: Arsuz Çayı Havzası (Hatay) Örneği.....	1
<i>Semir DEMİRBİLEK</i>	
Kuzeydoğu Türkiye’de İklim Değişimi: Ardahan Özelinde Geçmiş Eğilimler ve Gelecek Projeksiyonları (1961-2100).....	20
<i>Ferhat KESERCİ, Sinan ŞAHİNOĞLU, Muhammed BAŞPINAR</i>	
Tosya İlçe Merkezinde (Kastamonu) Mahalle Bazlı Deprem Risk Değerlendirilmesi.....	50
<i>Celalettin DURAN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

NDVI VERİLERİ KULLANILARAK BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ: ARSUZ ÇAYI HAVZASI (HATAY) ÖRNEĞİ¹

Semir DEMİRBİLEK²

1. GİRİŞ

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), çok bantlı görüntülerin karmaşıklığını azaltmak amacıyla geliştirilen en eski uzaktan algılama analizlerinden biridir. Günümüzde, bitki örtüsünün değerlendirmede en yaygın ve popüler olarak kullanılan indeks haline gelmiştir (Esendal Bozkurt, vd. 2018). Bu yaygın kullanımın temelinde, NDVI'nin görünür (kırmızı) ve yakın kızılötesi (NIR) bantlarına sahip herhangi birçok spektral sensörle kolayca hesaplanabilmesi yatmaktadır. Çok spektral sensörlerin maliyet ve ağırlık açısından giderek daha erişilebilir hale gelmesi, bu sistemlerin uydulara, hava araçlarına ve özellikle İnsansız Hava Araçları'na (İHA) entegre edilmesini mümkün kılmıştır (Huang, vd. 2021; Meera Gandhi, vd. 2015).

Bitki örtüsünün durumunu izlemek amacıyla uzaktan algılamada en sık başvurulanan yöntemlerden biri olan NDVI analizi, uydu görüntülerindeki farklı spektral bantlardan yararlanılarak uygulanmaktadır. NDVI, dünya genelinde kuraklık takibi, tarım alanlarındaki verimliliğin öngörülmesi, bitki

¹ Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'nde tamamlanan "Arsuz Çayı Havzası'nın (Hatay) Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir.

² Arş. Gör. Dr. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Hatay/Türkiye. semirdemirbilek@mku.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4463-4016,

sağlığının izlenmesi ve yangın sonrası bitki örtüsünde meydana gelen zararların tespiti gibi çeşitli araştırma ve izleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-1).

Bitkiler, ekosistem döngüsünün sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bitki örtüsündeki artış ve azalışların izlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde bu amaçla en sık kullanılan yaklaşımlardan biri, uzaktan algılama teknikleridir. Bu yöntem, fiziksel olarak araziye gitmeye gerek kalmadan, uydu görüntüleri aracılığıyla bitki örtüsünde meydana gelen değişimlerin izlenmesini mümkün kılar (URL-1).

Uydular, elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarında yeryüzüne sinyaller gönderir ve bu sinyallere yüzeyden gelen yansımalarla göre veri toplar. Toplanan bu veriler, farklı spektral bantlara ayrılarak işlenir. Böylece, belirli bir coğrafi alana ait bitki örtüsünün durumu, uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla haritalanabilir hale gelir. Bu teknoloji, özellikle erişimi zor ya da geniş alanlarda yer alan bölgelerin bitki örtüsü yoğunluğunu belirlemede son derece etkilidir. Aynı zamanda, arazi çalışmalarına kıyasla daha az zaman ve maliyet gerektirmesi nedeniyle de tercih edilmektedir (URL-1).

2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KULLANILAN MATERYAL-YÖNTEM

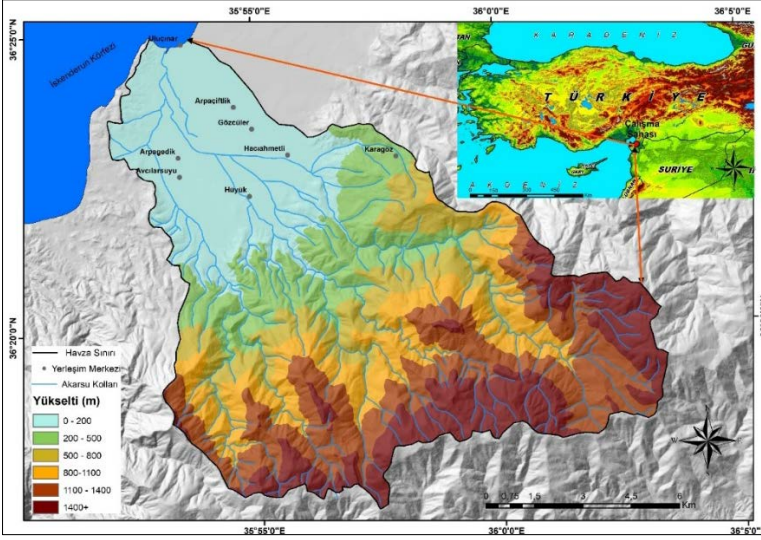
Araştırmanın amacı NDVI verileri kullanılarak Arsuz Çayı Havzası'nın 2015, 2020 ve 2024 yılları bitki örtüsünün zamansal değişimini tespit edip analiz etmektir. Bu amaç doğrultusunda ArcGIS 10.5 ile ArcGIS Pro yazılımları kullanılmış ve gerekli haritalar oluşturulmuştur.

Arsuz Çayı Havzası'nın NDVI analizleri, sahadaki bitki örtüsü durumu, 2015, 2020 ve 2024 yılı Landsat-8 OLI

görüntülerine göre yapılmış, NDVI değerlerinin mekânsal dağılımını belirlemek amacıyla NDVI haritaları üretilmiştir. Bu kapsamda, Landsat uydu görüntülerinden elde edilen Uzaktan Algılama verileri kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi) ve DEM (Sayısal Yükselti Modeli) veri katmanları analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, bölgedeki bitki örtüsü yoğunluğunun topografya ile ilişkisini ortaya koymak amacıyla coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında değerlendirilmiştir.

2.1. Araştırma Sahasının Genel Coğrafi Özellikleri

Arsuz Çayı Havzası, Hatay İli sınırları içerisinde yer almakta olup, kaynağını Amanos Dağları'nın zirvelerinden almaktadır. Havza içerisinde öne çıkan başlıca yükseltiler; Kısıcık Tepe (1795 m), Karanlık Tepe (1788 m), İşaret Tepe (1773 m), Ziyaret Tepe (1676 m) ve Susuz Tepe (1702 m) şeklinde sıralanmaktadır. Arsuz Çayı, Amanos Dağları'nın kuzeybatı yamaçlarını drene ederek İskenderun Körfezi aracılığıyla Akdeniz'e ulaşmaktadır. Çayın denize dökülmeden önceki kesiminde yer alan Arsuz Ovası, Amanos Dağları'nın batı yamaçlarından gelen Arsuz Çayı ve onun kolları tarafından taşınan alüvyonların birikimi sonucu oluşmuştur. Arsuz Çayı; Hacıahmetli, Hüyük ve Avcılar derelerinin birleşmesiyle meydana gelmektedir. Havza içerisindeki başlıca yerleşim birimleri ise Uluçınar, Hacıahmetli, Gözcüler, Arpagedik ve Hüyük köyleridir (Şekil 1).



Şekil 1. Arsuz Çayı Havzası ve Konumu

2.2. Bitki Örtüsü Özellikleri

Bitki örtüsünün özellikleri, sel ve taşkın olayları ile yamaç süreçleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Özellikle erozyon potansiyelinin kontrolünde bitki örtüsü önemli bir etkindir. Bitki örtüsü, yağış sonrası yeryüzüne düşen yağmur damlalarının doğrudan toprağa temasını engelleyerek, bu damlaların bitki yaprakları ve diğer bitkisel bileşenler tarafından tutulmasını sağlar. Bu durum, yüzey akışını azaltmakta ve dolayısıyla erozyonun oluşumunu önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. (Hoşgören, 2004; Mutlu ve Soykan, 2018).

Orman ekosistemleri, sel ve taşkınların etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol üstlenmektedir (Görcelioğlu, 1996). Ormanların hidrolojik süreçler üzerindeki etkisi; intersepsiyon, infiltrasyon, toprak suyu depolama kapasitesi ile yüzey ve yüzey altı akışlar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu süreçlerden intersepsiyon, yağışın bitkilerin toprak üstü organları tarafından tutulması ve ardından bu suyun bir kısmının buharlaşarak tekrar

atmosfere dönmesi olarak tanımlanmaktadır (Görcelioğlu, 1996; Özhan, 2004; Tanyel, 2019; Sarıgül, 2023).

İntersepsiyon kapasitesi, iğne yapraklı ağaç türlerinde, geniş yapraklı türlere kıyasla daha yüksek düzeydedir. Bu durum, özellikle sel ve taşkınlara neden olabilecek yağış sularının bir kısmının tutulmasını sağlayarak yüzey akışını azaltmaktadır (Görcelioğlu, 1996). Literatürde yapılan çeşitli araştırmalar, intersepsiyonun akarsu akımlarını, toprak nem dengesini ve toprak erozyonu süreçlerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur (Herwitz, 1988; Chang ve Matzner, 2000; Neave ve Abrahams, 2002). Bu bulgular doğrultusunda, intersepsiyonun havza ölçeğinde sel ve taşkınların yanı sıra erozyon ve heyelan riskleri üzerinde de belirleyici bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Tanyel (2019) tarafından yapılan araştırmaya göre, bir sahada bulunan bitki türlerinin intersepsiyon kaybı değerleri türden türe farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, bazı ağaç türlerine ait intersepsiyon oranları Tablo 1’de sunulmuştur. Araştırmada, farklı ülkelerde yayılış gösteren çeşitli bitki türlerinin intersepsiyon oranları karşılaştırılmış; en yüksek intersepsiyon oranlarının sırasıyla ladin (%34,2), karaçam (%32,3), kayın (%32,1) ve sarıçam (%31,3) türlerinde gözlemlendiği belirlenmiştir (Tanyel, 2019)(Tablo 1).

İnfiltrasyon, yağış sonucu oluşan suyun toprak yüzeyinden aşağıya doğru sızması süreci olarak tanımlanır. İnfiltrasyon kapasitesinin azaldığı durumlarda, yağış suları yüzeysel akışa geçerek sel, taşkın ve erozyon gibi olumsuz hidrolojik olaylara zemin hazırlayabilir. Doğal yapısı bozulmamış orman zeminlerinde ise insan müdahalesinin sınırlı olması nedeniyle yüzeysel akış genellikle düşük seviyededir. Bu alanlarda infiltrasyon hızı, yağmurun miktarı ve şiddetine kıyasla daha yüksektir (Görcelioğlu, 1996; Mater, 1998). Bu durum,

orman alanlarının hidrolojik dengeli koruyarak taşkın ve erozyon risklerini azaltmada önemli bir işlev gördüğünü göstermektedir.

Tablo 1. Bazı orman ağaçlarının intersepsiyon kaybı değerleri (Tanyel, 2019).

Ağaç Türü	İntersepsiyon Kavbı (%)	Çalışma Alanı	Araştırmacı	
Çam (Diğer)	(<i>Pinus radiata</i> D.Don.)	18,7	Avustralya	Smith (1972)
	(<i>Pinus pinaster</i> Ait.)	11	Portekiz	Valente vd. (1997)
	(<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.)	19,2	Meksika	Silva ve Rodriguez (2001)
	(<i>Pinus taeda</i> L.)	19	Birleşik Amerika	Gavazzi vd. (2016)
Karaçam	(<i>Pinus nigra</i> Arnold)	28,3	Türkiye	Özhan (1982)
	(<i>Pinus nigra var.maritima</i> Ait.Melville)	32,3	İngiltere	Roberts vd. (1982)
	(<i>Pinus nigra</i> Arnold)	27,7	Türkiye	Aydın vd. (2018)
Kayın	(<i>Fagus sylvatica</i> L.)	21	Belçika	Staelens vd. (2008)
	(<i>Fagus orientalis</i> Lipsky)	32,1	İran	Ahmedi vd. (2009)
	(<i>Fagus orientalis</i> Lipsky)	11,7	İran	Nezamdoost vd. (2018)
Ladin	(<i>Picea sitchensis</i> Bong.)	30	İskoçya	Ford ve Deans (1978)
	(<i>Picea abies</i> L. Karst.)	34,2	Fransa	Viville vd. (1993)
	(<i>Picea abies</i> L. Karst.)	23,3	İran	Nezamdoost vd. (2018)
Meşe	(<i>Quercus dscherochenensis</i> K. Koch.)	15,6	Türkiye	Özhan (1982)
	(<i>Quercus castaneifolia</i> C.A. Mey.)	24,6	İran	Hosseini G Bahmani vd. (2012)
	(<i>Quercus</i> sp.)	13,6	Meksika	Silva ve Rodriguez (2001)
	(<i>Quercus suber</i> L.)	20,5	Birleşik Amerika	Xiao vd. (2000b)
Ökalyptus	(<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.)	17	Portekiz	Valente vd. (1997)
	(<i>Eucalyptus dumii</i> Maiden)	8,9	Brezilya	Momoli vd. (2019)
Sarıçam	(<i>Pinus sylvestris</i> L.)	31,3	İngiltere	Roberts vd. (1982)
	(<i>Pinus sylvestris</i> L.)	20,2	Türkiye	Aydın vd. (2018)

Toprak suyu depolama kapasitesi; intersepsiyon yoluyla tutulan su miktarının yanı sıra, toprak yüzeyinde, anakayada ve akarsu yataklarında gerçekleşen su birikimini kapsamaktadır. Bu kapasite, mevsimsel değişimlere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Görcelioğlu, 1996). Yüzeysel ve yüzey altı akış süreçleri ise özellikle yoğun ormanlık alanlarda farklılık arz etmektedir. Bu tür alanlarda yüzeysel akışın sel ve taşkın gibi doğal afetler üzerindeki etkisi oldukça sınırlıdır. Orman içi havzalarda taşkınlara neden olan akımın büyük ölçüde yüzey altı akıştan kaynaklandığı belirtilmektedir (Görcelioğlu, 1996). Yağışlı dönemlerde toprağın su ile doymuş hale gelmesi sonucunda hem yüzeysel hem de yüzey altı akışın şiddeti artmakta; bu durum da sel, taşkın, erozyon ve heyelan gibi hidro-morfolojik risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

2.3. Bitki Formasyonları

Türkiye, coğrafi konumu ile birlikte sahip olduğu özgün iklim, toprak ve jeomorfolojik özellikler sayesinde oldukça

zengin bir bitki çeşitliliğine ev sahipliği yapmaktadır. 1950’li yıllarda ülkede yaklaşık 2.480 bitki türü tespit edilmişken, günümüzde bu sayı 10.000’in üzerine çıkmıştır. Türkiye'nin bu zengin flora yapısı, üç ana fitocoğrafik bölge çerçevesinde değerlendirilmektedir: Avrupa-Sibirya Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve İran-Turan Bölgesi. Bu bölgesel ayrımlara ek olarak, Davis (1971) tarafından Türkiye flora yapısının farklılaşmasını açıklamak üzere “Anadolu Diagonalı” kavramı ortaya konmuştur. Bu diagonal, doğu ve batı Anadolu arasında bitki türlerinin dağılımını etkileyen önemli bir biyocoğrafik sınır olarak kabul edilmektedir (Davis, 1971; Avcı, 1993: 225–227).

Akdeniz Bölgesi florası içerisinde yer alan Arsuz Çayı Havzası, flora açısından önemli bir geçiş alanında bulunmaktadır. Havzanın kuzeyinde İran-Turan (İç Anadolu) flora bölgesi, doğusunda ise Anadolu Diagonalı yer almaktadır (Avcı, 1993: 225–227). Bu coğrafi konum, havzanın flora çeşitliliğini etkileyen temel faktörlerden biridir. Havzanın alçak kesimlerini oluşturan Arsuz Ovası'nda, bitki örtüsü ağırlıklı olarak otsu türlerden meydana gelmektedir. Buna karşılık, çalı ve ağaç formasyonlarına ait türlerin varlığı oldukça sınırlıdır. Bu durum hem topoğrafik yapı hem de mikroklimatik koşullar ile ilişkilendirilebilir.

Akdeniz Bölgesi florası içerisinde yer alan Amanos Dağları, sahip olduğu yüksek bitki çeşitliliği ve endemik türlerin yoğunluğu nedeniyle ayrı bir flora sahası olarak değerlendirilmektedir (Avcı, 1993: 240). Bu dağlık alan, Türkiye florasının önemli endemizm merkezlerinden biri olup, burada tespit edilen endemik bitki türü sayısının 250’yi aştığı bilinmektedir. Endemik türlerin yanı sıra Amanoslar, Avrupa-Sibirya flora bölgesine ait çeşitli relik türlerin varlığıyla da dikkat çekmektedir. Bölgede yayılış gösteren önemli Avrupa-Sibirya elemanları arasında porsuk (*Taxus baccata*), kayın (*Fagus orientalis*), şimşir (*Buxus sempervirens*), çobanpüskülü (*Ilex*

aquifolium), karayemiş (*Laurocerasus officinalis*) ve boylu gıcır (*Smilax excelsa*) gibi türler yer almaktadır (Avcı, 2005). Bu durum, Amanos Dağları'nın sadece endemik türlerin değil, aynı zamanda farklı fitocoğrafik bölgelerden gelen türlerin bir arada bulunabildiği önemli bir biyocoğrafik geçiş sahası olduğunu göstermektedir.

2.3.1. Orman formasyonu

Amanos Dağları'nın Arsuz Çayı Havzası'nda yer alan kesiminde, Asıl Akdeniz kuşağı ormanları ile Akdeniz dağ kuşağı ormanları geniş bir yayılım alanına sahiptir. Havzanın alt kesimlerinde baskın olarak kızılçam (*Pinus brutia*) türü görülmektedir (Fotoğraf 1). Yükselti 1000 metrenin üzerine çıktığında ise iğne yapraklı türlerden oluşan Akdeniz dağ kuşağı ormanları hâkim hale gelmektedir. Bu kuşakta başlıca karaçam (*Pinus nigra*), Toros göknarı (*Abies cilicica*) ve sedir (*Cedrus libani*) türleri yer almaktadır (Çetinkaya, 2008: 279; Atalay, 2005: 416). Bu tür dağılımı, yükseltiye bağlı bitki örtüsü çeşitliliğinin arttığını açıkça ortaya koymaktadır.



Fotoğraf 1. Hüyük deresi vadisinde dağınık gösteren kızılçam ormanları ile makilerin dağınık gösterdiği alanlar.

Çalışma sahasında, bitki örtüsü çeşitlilik göstermektedir. Maki formasyonunun ardından, yaklaşık 1200 metreye kadar olan yükseltilerde geniş yapraklı ormanlar, 1200 metre üzerindeki alanlarda ise iğne yapraklı ormanlar hakimdir. Sahadaki ormanların büyük bir bölümünü kızılçam (*Pinus brutia*) ve çeşitli meşe (*Quercus* sp.) türleri oluşturmaktadır. Geniş yapraklı türler arasında meşeler baskın olup, çalışma alanında tespit edilen başlıca meşe türleri; saçlı meşe (*Quercus cerris*), Suriye meşesi (*Quercus syriaca*), Lübnan meşesi (*Quercus libani*), palamut meşesi (*Quercus aegilops*) ve mazı meşesi (*Quercus infectoria*) olarak belirlenmiştir (Mülazımoğlu, 1979). Bu tür çeşitliliği, sahadaki orman ekosisteminin biyolojik zenginliğine ve yükseltiye bağlı bitki örtüsü değişimine işaret etmektedir.

2.3.2. Çalı formasyonu

Çalı formasyonu değerlendirildiğinde, Asıl Akdeniz ormanlarının çeşitli düzeylerde tahribata uğraması sonucunda ikincil bir vejetasyon tipi olarak gelişen maki formasyonu ön plana çıkmaktadır. Bu formasyon, Akdeniz ikliminin karakteristik bitki örtüsünü yansıtan sert yapraklı, kuraklığa dayanıklı çalı ve küçük ağaçlardan oluşmaktadır. Maki formasyonu içerisinde sıklıkla rastlanan türler arasında tesbih (*Styrax officinalis*), zakkum (*Nerium oleander*), kermez meşesi (*Quercus coccifera*), katırtırnağı (*Spartium junceum*), kocayemiş (*Arbutus unedo*), defne (*Laurus nobilis*), zeytin (*Olea europaea*), mersin (*Myrtus communis*), keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*), hayıt (*Vitex agnus-castus*), erguvan (*Cercis siliquastrum*) ve sandal (*Arbutus andrachne*) gibi türler yer almaktadır (Çetinkaya, 2008: 279; Atalay, 2005: 414). Bu tür çeşitliliği, bölgenin ekolojik zenginliğini ve maki formasyonunun biyolojik çeşitlilik açısından önemini ortaya koymaktadır.

Araştırma sahasında, dar ve derin vadilerin yer aldığı alanlar ile eğimin arttığı bölgelerde bitki örtüsünün seyrekleştiği

gözlemlenmektedir. Buna karşın, bu topoğrafik birimlerle Arsuz Çayı'nın kaynak kesimine yakın bölgelerde, maki formasyonuna ait türlerin daha yoğun olarak yayılım gösterdiği tespit edilmiştir. 2021 yılına ait Sentinel-2 WorldCover uydu verilerine göre, maki formasyonları çalışma sahasında yaklaşık 4,5 km²'lik bir alanı kaplamaktadır (URL-2). Bu formasyonlar özellikle yamaç süreçlerinin etkin olduğu eğimli arazilerde ve benzer morfolojik özelliklere sahip sahalarda yoğunlaşmaktadır. Bu durum, topografik özelliklerin ve erozyon süreçlerinin bitki örtüsü dağılımı üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymaktadır.

2.4. Bitki örtüsünün kapalılık durumu

Bitki örtüsünün kapalılık durumu, belirli bir alanda bitkilerin yüzey üzerinde kapladığı alanın oranını ifade eden bir ölçüttür. Yüzde cinsinden ifade edilen bu oran, sahadaki bitki örtüsünün yoğunluğunu ve dağılımını nicel olarak tanımlamaktadır. %100 kapalılık, arazinin tamamının bitki örtüsü ile kaplı olduğunu gösterirken, %0 kapalılık, alanın tamamen çıplak ve bitki örtüsünden yoksun olduğunu belirtmektedir. Bu gösterge, özellikle ekolojik değerlendirmelerde, erozyon riski analizlerinde ve arazi kullanım planlamalarında önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır. Ormanlık sahalarda tepe kapalılığı %1 ile %10 olan sahalarda “boşluklu kapalı ormanlar” olarak adlandırılmaktadır. Tepe kapalılığı %11 ile %40 olan sahalarda kapalılık “1”, %41 ile %70 olan sahalarda kapalılık “2”, %71 ile %100 olan sahalarda ise kapalılık “3” olarak değerlendirilmektedir (Tablo 2.) (OSİB, 2017).

Tablo 2. Ormanların Kapalılık Durumuna Göre Fonksiyonel Verimlilik (Etkinlik) Durumları (OSİB, 2017).

Kapalılık Durumu	Erozyon Önleme	İklim Koruma	İçme Suyu Koruma	Kullanma Suyu Koruma	Su Kaynaklarını Koruma
Boşluklu Kapalı Kapalılık % 1-10	1	2	1	2	1
1 Kapalı Kapalılık % 11- 40	2	2	2	3	2
2 Kapalı Kapalılık % 41-70	3	3	3	2	3
3 Kapalı Kapalılık % 71-100	4	4	4	2	4
Fonksiyonel Etkinlik Düzeyi: 0-Yok, 1-Az, 2-Orta, 3-Yüksek, 4-Çok Yüksek					

Çalışma sahasında Sentinel-2 Worldcover (2021), Corine (1990-2018), Google Earth görüntüleri ile yapılan arazi çalışmalarından yararlanılarak yapılan incelemeler arazinin yaklaşık % 60'ının ormanlarla kaplı olduğunu göstermektedir (Demirbilek, 2024). Burada, özellikle ormanların yoğunluk gösterdiği sahalar, sel ve taşkınlar ile yamaç süreçlerinin ortaya çıkmasını engelleme konusunda büyük bir öneme sahiptir.

3. NDVI (NORMALİZE EDİLMİŞ FARK BİTKİ ÖRTÜSÜ İNDEKSİ) ANALİZLERİ

NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) analizi, uydu görüntülerinin özellikle kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarından elde edilen yansıma verilerinin işlenmesiyle gerçekleştirilen bir yöntemdir. Bu analiz, belirli bir alandaki bitki örtüsünün potansiyelini ve sağlıklı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. NDVI değeri -1 ile +1 arasında değişmekte olup, negatif değerler genellikle su kütleleri ve kayalık alanları temsil ederken, pozitif değerler bitki örtüsünün yoğunluğunu göstermektedir. Değerin maksimum seviyede olduğu alanlar ise, bitki örtüsünün en yoğun ve sağlıklı olduğu

bölgeleri ifade etmektedir (URL-3; Yıldız, vd. 2012). Bu analizin gerçekleştirilmesinde uygulanan formül şu şekilde ifade edilir (1):

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

olarak hesaplanır. Formülde NIR: yakın kızılötesi band, RED: kırmızı band'tır.

Arsuz Çayı Havzası'ndaki bitki örtüsü değişimini belirlemek amacıyla NDVI analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, Landsat-8 OLI uydusuna ait 2015, 2020 ve 2024 yıllarına ait görüntüler kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin doğruluğunu sağlamak amacıyla, görüntülerin bulutsuz olmasına özellikle dikkat edilmiş ve sırasıyla 07/05/2015, 15/08/2020 ve 15 /06/ 2024 tarihlerine ait uydu verileri tercih edilmiştir.

Elde edilen NDVI değerlerine göre, 2015 yılında yansımaya değerleri -0.088 ile 0.656 arasında değişirken; 2020 yılında bu değerler -0.116 ile 0.630 aralığında ölçülmüştür. 2024 yılına ait veriler ise -0.135 ile 0.599 arasında bir dağılım göstermektedir. Bu bulgular, 2015 yılından itibaren bitki örtüsünün yansımaya değerlerinde genel bir düşüş eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle maksimum NDVI değerinin 2015 yılında 0.656 iken, 2024 yılında 0.599'a gerilemesi, bölgede bitki örtüsü yoğunluğunda azalma yaşandığını göstermektedir (Tablo 3).

Havzada, dar ve derin vadilerde yansımaya değerlerinin minimum olduğu, dolayısıyla bitki örtüsünün daha seyrek olduğu alanlarda yansımaya değerlerinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 3, Şekil 4). Bu artışın temel nedenleri arasında mevcut erozyon süreçleri ile kütle hareketleri arasında güçlü bir korelasyonun bulunması yer almaktadır. Çünkü söz konusu bölgelerde hem erozyon faaliyetleri hem de kütle hareketleri yoğun olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca, aylık farklı tarihlerde elde edilen uydu görüntülerinden yapılan analizler, mevsimsel iklim koşullarına

bağlı olarak özellikle kuraklık ve sıcaklık değişimlerinin etkisiyle otlakların bitki örtüsü yansımalarına dahil olması nedeniyle mevcut bitki örtüsü yansıma değerlerinin doğruluğunu sınırlamaktadır. Uydu görüntülerinin incelenmesi sonucunda, çalışılan alanın ormanlık ve bitki örtüsünden yoksun bölgelerinin NDVI analiz sonuçlarını yansıttığı belirlenmiştir (Şekil 3, Şekil 4).

Arsuz Çayı Havzası'nda gerçekleştirilen NDVI analiz sonuçlarına göre, 2015-2024 yılları arasında dokuz yıllık dönemde yansıma değerinin 0'ın altında olduğu alanlarda %46,88 oranında bir değişim meydana gelmiştir. Yansıma değeri 0 ile 0,3 arasında olan bölgelerde ise %7,49'luk bir değişim gözlenmiştir. Ayrıca, 0,3 ile 0,5 arasında yansıma değerine sahip olan, seyrek ağaçlar ve ağaççık türlerinin bulunduğu alanlarda %17,46 oranında bir değişim yaşandığı tespit edilmiştir. Yansıma değeri 0,5'in üzerinde olan, ağırlıklı olarak tarım bitkileri ve geniş yapraklı ağaç türlerini temsil eden alanlarda ise %46,81 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Tablo 3). Bu bulgular, havzadaki bitki örtüsü dağılımı ve yoğunluğunda önemli değişikliklerin yaşandığını göstermektedir.

Tablo 3. Arsuz Çayı Havzası'nda 2015 ve 2024 yılları arasındaki arazi örtüsü değişim oranları.

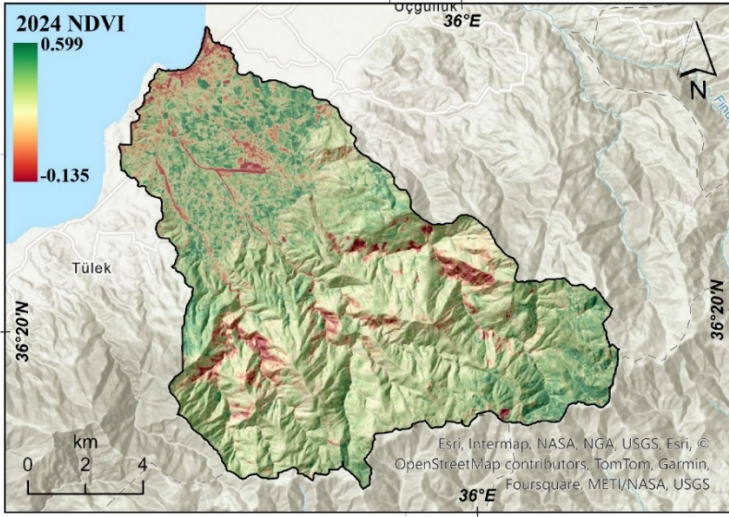
Ndvi Sınıflandırması	2015 Yılı %	2024 Yılı %	Değişim oranı % (2015-2024)
<0 (Su ve nemli topraklar)	3.2	4.7	+46.88
0-0.3 (Çıplak toprak, kayalık, çalılık ve otlaklarla kaplı alanlar)	65.4	60.5	-7.49
0.3-0.5 (Seyrek ağaçlar, ağaççık türleri ağırlıklı ve kısmen sağlıklı bitki türleri ile kaplı alanlar)	12.6	14.8	+17.46
0.5> (Tarım bitkileri ağırlıklı, geniş yapraklı ağaç çeşitleri, kapalılık durumu iyi sağlıklı ormanlar)	18.8	10	-46.81
Toplam	100	100	



Şekil 2. Arsuç Çayı Havzası'nın 2015 yılına ait NDVI analiz sonuçları.



Şekil 3. Arsuç Çayı Havzası'nın 2020 yılına ait NDVI analiz sonuçları.



Şekil 4. Arsuz Çayı Havzası'nın 2024 yılına ait NDVI analiz sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen analiz sonuçlarına göre NDVI değerleri 2015 yılında -0.088 ile 0.656, 2020 yılında -0.116 ile 0.630 ve 2024 yılında -0.135 ile 0.599 aralığında yansıma değerleri göstermiştir. 2015–2024 döneminde bitki örtüsünün maksimum yansıma değerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiş; 2015 yılında 0.656 olarak ölçülen maksimum NDVI değeri, 2024 yılında 0.599 seviyesine gerilemiştir.

Havza genelinde özellikle dar ve derin vadilerde bitki örtüsünün seyrek olduğu alanlarda düşük NDVI değerleri tespit edilmiştir. Bu alanlarda gözlenen düşük yansıma değerlerinin zaman içerisinde daha geniş alanlara yayıldığı, dolayısıyla bitki örtüsünün mekânsal olarak azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

Farklı tarihlerde alınan aylık uydu görüntülerine dayalı olarak gerçekleştirilen analizler, mevsimsel iklim koşullarına, özellikle de kuraklık ve yüksek sıcaklık etkilerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çerçevede, otlak alanların da bitki örtüsü yansımaya dâhil edilmesi, NDVI verileri ile tespit edilen bitki örtüsü yoğunluğunun doğruluğu açısından bazı belirsizliklere yol açmaktadır.

Sahaya ait uydu görüntüleri değerlendirildiğinde, mevcut ormanlık alanlar ile bitki örtüsünden yoksun bölgelerin NDVI analiz sonuçlarında net bir şekilde ayırt edilebildiği görülmektedir. Ancak, otlak ve geçici bitki örtüsüne sahip alanların mevsimsel farklılıklardan etkilenerek değişken yansıma değerleri üretmesi, saha genelindeki bitki örtüsü analizlerinin yorumlanmasını karmaşıktırmaktadır.

Araştırma sahasında orman alanlarının tahrip edilerek tarım arazisine dönüştürülmesi uygulamalarının önüne geçilmesi, havzanın doğal dengesinin korunması açısından kritik bir gerekliliktir. Bitki örtüsünden yoksun alanların ağaçlandırılması, yüzey erozyonunun önlenmesine katkı sağlarken, aynı zamanda zemin tutuculuğunu artırarak infiltrasyon kapasitesini yükseltecektir. Bu tür uygulamalar, bölgedeki hidrolojik dengeyi iyileştirmek ve taşkın riskini azaltmak adına sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Ayrıca araştırma sahasında meydana gelebilecek yamaç süreçlerinin olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla, özellikle eğimli alanlardaki bitki örtüsünün korunması büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, bitki örtüsünü artırmaya yönelik ekolojik ve yapısal önlemlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Atalay, İ. (2005). Genel Fiziki Coğrafya, İzmir, Meta Basım Matbaacılık.
- Avcı, M. (1993). Türkiye'nin Flora Bölgeleri Ve Anadolu Diagonaline Coğrafi Bir Yaklaşım, Türk Coğrafya Dergisi, Sayı 28,225-248.
- Avcı, M. (2005). Çeşitlilik ve Endemizm Açısından Türkiye' nin Bitki Örtüsü. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi, no.13, 27-55.
- Chang, S.C., Matzner, E. (2000). The Effect of Beech Stemflow on Spatial Patterns of Soil Solution Chemistry and Seepage Fluxes İn a Mixed Beech/Oak Stand. Hydrological Processes, 14 (1): 135-144.
- Çetinkaya, S. (2008). Arsuz Yöresinin Turizm Açısından Değerlendirilmesi, Hatay, VII. Hatay Tarih ve Kültür Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 275-292.
- Davis, P. H. (1971). "Distribution Patterns in Anatolia With Particular Reference To Endemism," Plant Life of South-West Asia, (Eds. P. H. Davis, P. C. Harper, I. C. Hedge). Published by The Botanical Society of Edinburgh, 15-28. Edinburgh.
- Demirbilek, S. (2024). Arsuz Çayı Havzası'nın Arazi Örtüsü Değişimi. Fiziki Coğrafyada İleri Araştırmalar (pp.35-46), Afyonkarahisar: YAZ YAYINLARI.
- Esendal Bozkurt, N., Zontul, M.,Aslan, Z. (2018). Uydu Verilerine Dayalı Olarak Bitki Örtüsü Analizi. AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture, 2(1), 75-82.

- Görcelioğlu, E. (1996). Ormanların Sel ve Taşkınlar Üzerine Etkileri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Cilt-XLVI, Sayı 1-2-3-4, 15-25. İstanbul.
- Herwitz, S.R. (1988). Buttresses of tropical rainforest trees influence hillslope processes. Earth Surface Processes and Landforms, 13 (6): 563-567.
- Hoşgören, M. Y. (2004). Hidrografya'nın Ana Çizgileri Yeraltı suları- Kaynaklar- Akarsular. İstanbul. Çantay Kitabevi.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J.P. et al. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. J. For. Res. 32, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Mater, B. (1998). Toprak Coğrafyası. İstanbul, Çantay Kitabevi.
- Meera Gandhi, G., Parthiban, S., Thummalu, N., Christy, A. (2015). Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District. Procedia Computer Science. Volume 57, 2015, p. 1199-1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Mutlu, Y. E., Soykan, A. (2018). RUSLE (3D) Modeli Kullanılarak Toprak Erozyonu Tahmini: Havran Çayı Örneği. Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi, (1), 50-66.
- Mülazımoğlu, N. S. (1979). İskenderun Körfezi Tabanı, Kıyıları ve Çevresinin Kuvaterner Jeolojisi ve Jeomorfolojisi (Tez No.173824). [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Neave, M., Abrahams, A.D. (2002). Vegetation influences on water yields from grassland and shrubland ecosystems in the Chihuahuan Desert. Earth Surface Processes and Landforms, 27 (9): 1011-1020.

- Osib, (Orman ve Su İşleri Bakanlığı). (2017). Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınları. Ankara.
- Özhan, S. (2004). Havza Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 481. İstanbul.
- Sarıgül, O. (2023). Aksu Çayı (K.Maraş) Havzasının Su Yönetimi Amaçlı Coğrafi Analizi (Tez No.806947). [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Tanyel, M. (2019). Aynı Yetiştirme Ortamında Yer Alan Farklı Ağaç Türlerinde İntersepsiyonun Belirlenmesi (Tez No.595630). [Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- 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.
- Url-1: <https://www.basarsoft.com.tr/ndvi-analizi>, Erişim Tarihi: 10.04.2025
- Url-2: <https://worldcover2021.esa.int/viewer>, Erişim Tarihi: 10.11.2023
- Url-3: <https://esular.com/ndvi-normallestirilmis-fark-bitki-ortusu-indeksi-nedir>, Erişim Tarihi: 28.06.2024

KUZEYDOĞU TÜRKİYE’DE İKLİM DEĞİŞİMİ: ARDAHAN ÖZELİNDE GEÇMİŞ EĞİLİMLER VE GELECEK PROJEKSİYONLARI (1961-2100)

Ferhat KESERCİ¹

Sinan ŞAHİNOĞLU²

Muhammed BAŞPINAR³

1. GİRİŞ

İklim değışikliği, atmosfer, okyanuslar ve kara yüzeyi üzerinde uzun vade sıcaklık, yağış rejimi, rüzgâr paterni ve diğer iklim bileşenlerindeki sistemik değışikliklerdir (Çiner, 2003; Zreda vd., 2006; Akçar vd., 2007; Akçar vd., 2008; Turoğlu, 2009’a; Sarıkaya vd., 2008; Gönençgil, 2008; Sarıkaya vd., 2011; Turoğlu, 2011; Turoğlu, 2015; IPCC, 2021). Küresel iklim değışiklikleri, doğal süreçlerle meydana gelen olaylar genellikle volkanik faaliyetler, güneş ışınlmı, gezegenimizin yörüngesel salınımlar ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarından yapılan muamelede öncelikli bölgelerdir; karbondioksit, metan ve azot oksit. Bu kadar ve doğal olaylar; (volkanik faaliyetler, güneş ışınlmındaki değışiklikler, yeryüzünün yörüngesel salınımları gibi faktörler) hem de insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları (karbondioksit, metan ve azot oksit gibi gazların artışı) nedeniyle

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, ferhatkeserci@ardahan.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2123-3551.

² Arş. Gör. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi/İklim Bilimi ve Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, sahinoglus20@itu.edu.tr, ORCID: 0009-0009-1274-4852.

³ Meteoroloji Mühendisi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü/Ardahan Meteoroloji Müdürlüğü, mbaspinar@mgm.gov.tr, ORCID: 0009-0000-9457-7641.

meydana gelmektedir (Stocker vd., 2013). Modern iklim çalışmalarında ortak bir görüş olarak, Sanayi Devrimi'nden bu yana insan kaynaklı sera gazı emisyonları, küresel ortalama sıcaklıkların 1850-1900 referans dönemine göre yaklaşık 1.1°C artmasına neden olmuştur (IPCC, 2021). İklim değişikliği, yalnızca sıcaklık artışıyla sınırlı olmayıp, hidrolojik döngüde bozulmalara, aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde artışa, deniz seviyesinin yükselmesine ve ekosistemlerin dönüşümüne neden olmaktadır (Hansen vd., 2012). Örneğin, tropikal bölgelerde şiddetli yağışlar ve fırtınaların şiddetleri ve frekansları artmış, Akdeniz Havzası gibi iklim değişikliğine duyarlı bölgelerde ise uzun süreli kuraklıkların yaygınlaştığı ortaya koyulmuştur (Rahmstorf & Coumou, 2011). IPCC'nin yapmış olduğu gelecek iklim projeksiyonlarına göre mevcut sera gazı emisyonlarının bu şekilde artması durumunda küresel olarak 21. yüzyılın sonuna kadar 2.6 ila 4.8°C arasında sıcaklık artışlarının gerçekleşebileceğini ve bu durumun geri dönüşü olmayan ekolojik ve sosyo-ekonomik etkiler yaratacağını göstermektedir (Meinshausen vd., 2011).

İklim değişimi, 21. yüzyılın en kritik küresel sorunlarından biri haline gelmiş ve dünya genelinde sıcaklık artışları, yağış rejimlerindeki değişiklikler ve aşırı hava olaylarının frekanslarındaki artış gibi çeşitli şekillerde kendini göstermiştir. Sanayi Devrimi'nden itibaren artan sera gazı emisyonları, özellikle karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) gibi gazların atmosferde birikmesine neden olmuş ve bu da küresel ortalama sıcaklıklarda belirgin bir yükseliş eğilimi yaratmıştır (IPCC, 2021). Küresel iklim sisteminde doğal döngülerle ısınma ve soğuma periyotları meydana gelebilmesine rağmen günümüzde yaşanan süreç doğal değişkenliklerle açıklanmakta yetersiz kalmakta ve insan ve onun faaliyetleri bu durumda en önemli sorumlu görülmektedir (Hansen vd., 2012). Atmosferdeki CO₂ seviyeleri, Sanayi Devrimi öncesindeki

yaklaşık 280 ppm (milyonda bir parçacık) seviyesinden günümüzde 420 ppm düzeyine çıkmış, bu da dünya genelinde sıcaklıkların 1.1°C'den fazla artmasına neden olmuştur (Meinshausen vd., 2011).

Bu sıcaklık artışı, küresel ölçekte çok çeşitli etkilere yol açmaktadır. 2023 yılı, modern dönemdeki var olan iklim kayıtlarındaki en sıcak yıl olarak kaydedilmiş olup, NASA ve NOAA verilerine göre sanayi öncesi ortalamalara kıyasla yaklaşık 1.4°C daha sıcak geçmiştir (Collins vd., 2013). Isınmanın hız kazanması, küresel iklim sisteminin birçok bileşeni üzerinde etkili olmuş; buzulların ve deniz buzlarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve yağış rejimlerindeki düzensizlikler gibi çeşitli sonuçlara yol açmıştır (Stocker vd., 2013). IPCC'nin son raporlarına göre, küresel ısınmanın 2°C sınırını aşması halinde, aşırı sıcak hava dalgalarının ve kuraklıkların daha sık ve daha uzun süreli hale gelmesi beklenmektedir (Rahmstorf & Coumou, 2011). Yine benzer şekilde Dünya'nın farklı bölgelerinde ise aşırı yağışlar ile sel ve taşkın hadiselerinin de artması beklenmektedir. Ancak özellikle Türkiye'ninde bulunduğu Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkeler için su kıtlığı, tarımsal verim kaybı ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceği ifade edilmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimlerin kesişim noktasında yer almakta olup, iklim değişikliğinden doğrudan etkilenen ülkeler arasında yer almaktadır. Küresel iklim değişikliği bağlamında Türkiye'nin sıcaklık ve yağış rejimlerindeki değişimleri birçok çalışmada ele alınmıştır (Türkeş, 1996; Altınsoy vd., 2011). Son 50-60 yıl içerisindeki uzun dönemli iklim gözlemleri, Türkiye'nin ortalama sıcaklıklarında belirgin bir artış trendi olduğunu ve yağış rejiminde bölgesel farklılıklar görüldüğünü ortaya koymaktadır (Demircan vd., 2017). Özellikle 1990'lardan itibaren sıcaklık artışlarının hızlandığı ve yıllık ortalama sıcaklıkların her on yılda

yaklaşık 0.5°C yükseldiği belirlenmiştir (Karabulut vd., 2008). Türkiye genelinde yaz günleri ve tropik gece sayıları artarken, donlu günler ve soğuk hava dalgalarının süresi azaldığı tespit edilmiştir (Kadıoğlu, 1997).

Yağış değişimleri ise sıcaklık artışları kadar tekdüze bir özellik göstermeyip, bölgesel farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin kuzey kesimlerinde (Karadeniz ve Kuzey Anadolu Dağları) yıllık yağış miktarları artış eğilimi gösterirken, Akdeniz, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da azalma eğilimleri gözlemlenmiştir (Ünal vd., 2003). Örneğin, 1960-2010 yılları arasındaki gözlemler, Karadeniz Bölgesi'nde yağış miktarının %5-15 arasında artış gösterdiğini, buna karşın Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu'da %10-30 oranında azaldığını ortaya koymaktadır (Türkeş, 1996; Bozkurt vd., 2011). Aşırı yağış olayları ise genel olarak artan sıcaklıklara bağlı olarak daha şiddetli hale gelmekte, kısa sürede büyük miktarda suyun düşmesine neden olarak sel ve taşkın risklerini artırmaktadır (Sensoy vd., 2008).

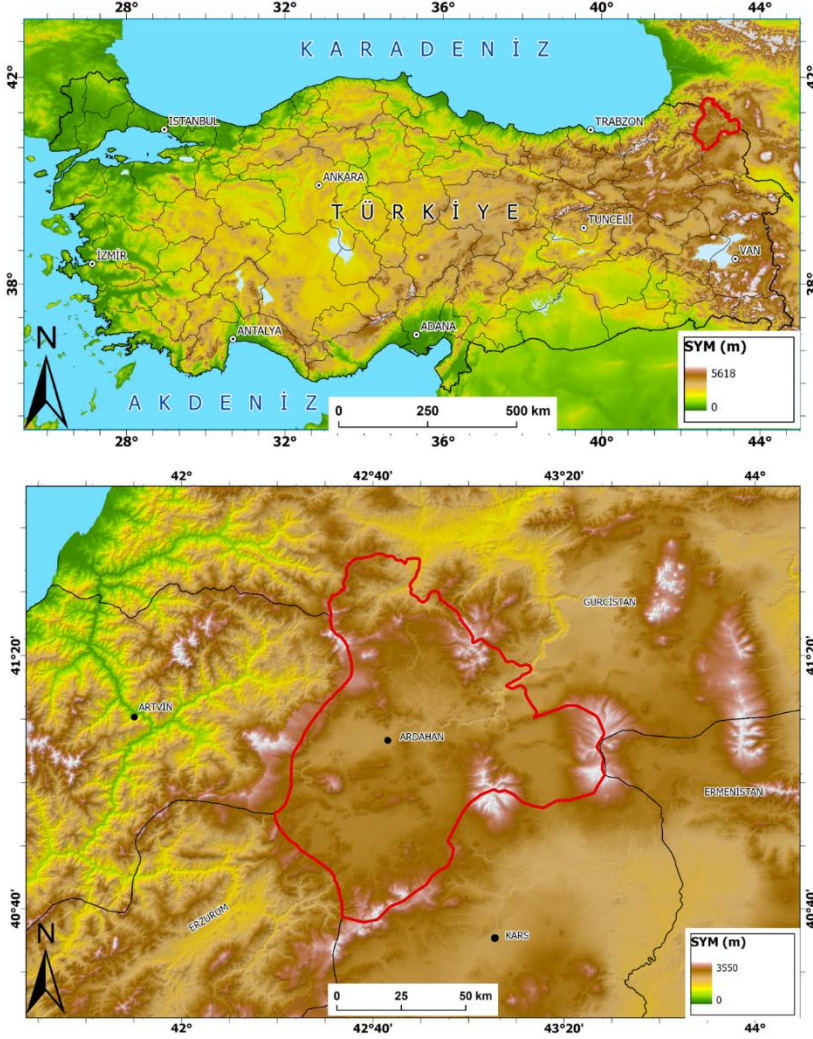
Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan ve yüksek rakımlı bir bölge olan Ardahan ili özelinde iklim değişikliğinin geçmişten günümüze nasıl bir evrim gösterdiği ve gelecekte nasıl değişeceği analiz edilecektir. Bu amaç doğrultusunda iklim değişiminin etkilerinin Ardahan özelinde anlaşılması amacıyla, Ardahan Merkez Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) verileri kullanılarak 1961-2024 periyodu için yapılan bu çalışmada; maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve minimum sıcaklıkların yıllara göre değişimi ile toplam yağış miktarının aylara ve yıllara göre değişiminin görülmesi hedeflenmiştir. Daha sonra ERA5-Land verileri kullanılarak 1961'den 2024'e kadar Ardahan'ın belirlenen periyot aralığında ne kadar kalınlığı ve kaç gün kar yağışı görüldüğü analizi yapılacaktır. Ardahan'nın iklim parametrelerindeki değişimlerin gelecekte (2100 yılının sonuna kadar) nasıl şekilleneceğini

irdelemek ve tespit etmek için ise Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) projeksiyonlarında üç farklı Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (SSP) senaryolarında yağış ve yere yakın hava sıcaklığı analizleri yapılacaktır.

Bu çalışma, bölgesel ölçekte detaylı bir iklim değişikliği analizi sunarak hem akademik literatüre hem de politika yapıcılara önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir. Özellikle, yüksek rakımlı ve karasal iklim özelliklerine sahip bölgelerdeki sıcaklık ve yağış değişimlerinin anlaşılması, tarımsal faaliyetler, su kaynakları yönetimi ve doğal afet risk değerlendirmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Ardahan gibi nispeten az çalışılmış bölgelerde uzun dönemli iklim analizlerinin yapılması, Türkiye genelindeki iklim değişikliği eğilimlerinin daha bütüncül bir şekilde anlaşılmasına katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda, çalışmanın çıktıları hem bilimsel literatüre önemli bir referans sağlayacak hem de bölgesel ölçekli karar alma süreçlerinde bilimsel temelli veriler sunarak, iklim değişikliğine uyum politikalarının oluşturulmasına katkıda bulunacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Ardahan ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Karadeniz Bölgesi ile sınır oluşturduğu kuzeydoğu kesiminde yer alır (Şekil 1). Coğrafi konumu itibarıyla 40°37' ile 41°35' kuzey enlemleri ve 42°15' ile 43°28' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kuzeyde Gürcistan, doğuda Ermenistan ile Gürcistan, güneyde Kars, batıda Artvin ve güneybatıda ise Erzurum illeriyle komşudur (Şekil 1).

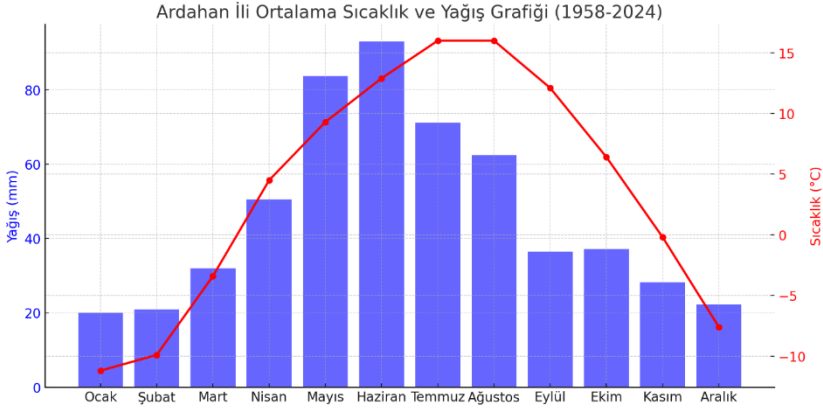


Şekil 1. Ardahan İli ve Yakın Çevresinin Lokasyon Haritası

Ardahan ili, 4.934 km² yüzölçümüne sahip olup, ortalama rakımı 1.829 metredir. İl topraklarının büyük bir kısmı yüksek platolar ve dağlık alanlarla kaplıdır. Yalnızçam Dağları, Çoruh ve Kelkit havzalarının en doğusunu oluştururken, Artvin sınırı boyunca uzanır. Kuzeydoğusunda Keldağ (3.033 m), doğusunda ise Akbaba Dağı (3.026 m) yer alır. Güneyde yer alan engebeli araziler Allahuekber ve Kısır Dağları tarafından

şekillendirilmiştir. Ardahan'ın en yüksek noktası, Çıldır Gölü'nün güneybatısında yükselen ve 3.197 metreye ulaşan Kısır Dağı'dır. Ayrıca il sınırları içinde 3.000 metreyi aşan birçok zirve bulunmaktadır. Ardahan'ın iç kesiminde yer alan geniş düzlükler Ardahan Platosu olarak adlandırılmakta olup, deniz seviyesinden yüksekliği 1.800 ila 2.000 metre arasında değişmektedir. Platonun en çukur alanı Ardahan Ovasıdır. Bunun dışında, Kısır Dağı'nın batısında bir çöküntü sahası niteliğindeki Hasköy Ovası ile güneybatıdaki Göle Ovası da ilin diğer düzlükleri arasında yer alır. İlde çok sayıda küçük ve büyük göl bulunmakta olup, en önemlileri arasında Çıldır Gölü, Aktaş Gölü, Ayı Gölü, Karagöl, Balık Gölü, Kanlı Göl ve Segre Gölleri bulunmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük ikinci gölü olan Çıldır Gölü, 123 km²'lik bir alan kaplamakta olup, %58'i Ardahan, %42'si ise Kars il sınırları içerisinde yer almaktadır.

Ardahan'ın en önemli akarsuyu Kura Nehri olup, il sınırlarını geçerek Gürcistan ve Azerbaycan üzerinden Hazar Denizi'ne dökülür. Kura Nehri'nin yanı sıra Posof Çayı ve Çıldır Karaçay'ı da ilin önemli akarsularındandır. Ardahan'da karasal iklim hâkimdir. Yıllık ortalama sıcaklık 3,7°C olup, yılın beş ayında sıcaklık ortalaması 0°C'nin altındadır. En yüksek sıcaklık 35°C ile ağustos ayında kaydedilirken, en düşük sıcaklık -39,8°C ile ocak ayında kaydedilmiştir. Yıllık ortalama yağış miktarı 551 mm'dir (Şekil 2) (MGM,2025). En yüksek yağışlar haziran ayında 92 mm, mayıs ayında 82 mm, en düşük yağışlar ise ocak ayında 19 mm, şubat ayında 21 mm ve aralık ayında 22 mm'dir (Şekil 2) (MGM,2025). Yağışların %41'i yaz, %30'u ilkbaharda düşer. Rüzgâr hızı ortalama 2,1 m/sn olup, maksimum 32 m/sn'dir.



Şekil 2. Ardahan Uzun Yıllar Ortalama Yağış ve Sıcaklık Grafiği

3. YÖNTEM

3.1. Güncel İklim Parametrelerindeki Eğilimlerin Analizi

Bu çalışmada, Ardahan iline ait sıcaklık ve yağış değerlerinin yıllar içindeki değişimini analiz etmek amacıyla, Ardahan Merkez Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) tarafından kaydedilen 1961-2024 dönemi verileri kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen günlük maksimum, günlük minimum ve günlük ortalama sıcaklık değerleri ile günlük toplam yağış miktarı verileri, aylık ve yıllık ortalamalar halinde işlenerek uzun dönemli analizlere tabi tutulmuştur. İstasyondaki yağış ölçümleri 10 Eylül 2009 tarihinden itibaren otomatik plüviyometre ile yapılmaya başlandığından, bu tarihten sonraki analizlerde otomatik plüviyometre verileri kullanılmıştır. Sıcaklık ve yağış değişkenlerinin yıllara göre gösterdiği eğilimler, (lineer regresyon) doğrusal regresyon yöntemiyle hesaplanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında, günlük sıcaklık verileri aylık ve yıllık ortalamalara dönüştürülmüş, bu sayede uzun yıllara ait sıcaklık ortalamaları elde edilerek eğilim analizleri

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, belirlenen üç farklı iklim referans dönemi (1971-2000, 1981-2010, 1991-2020) için ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise günlük toplam yağış verileri aylık ve yıllık bazda sınıflandırılarak toplam yağış miktarının aylara ve yıllara göre dağılımı analiz edilmiştir. Benzer şekilde, belirlenen iklim referans dönemleri için ortalama yağış miktarları elde edilmiştir. Bu analizler sonucunda, Ardahan'ın meteorolojik verilerindeki uzun dönemli değişimlerin ortaya konulması ve mukayese edilmesi hedeflenmiştir.

1961-2024 yılları arasındaki ifade edilen meteorolojik değişimlerin (sıcaklık ve yağış) değişimleri elde edildikten sonra Ardahan ili için kar yağışlı gün sayısı ve yerdeki kar kalınlığı değerleri ERA5-Land (Muñoz Sabater, 2019) modelinden saatlik olarak indirilerek Ardahan Merkezi'ndeki Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonuna (OMGİ) en yakın grid noktası seçilerek değerler elde edilmiştir. ERA5-Land modeli verisinin ekvator enlemindeki yatay çözünürlüğü 9 kilometre (km) olup ERA5 modelinden farkı daha sofistike bir kara modeli kullanmasıdır. Ardahan'ın yerde birikim yapan kar yağışlarının görüldüğü aralık, ekim ayının başından nisan ayının sonuna kadardır. Bu yüzden model verisinde 15 Ekim ila 15 Nisan arasındaki periyotta her bir yıl ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Kar yağışlı gün sayısının tespiti için model çıktısındaki günlük toplam kar yağışı miktarının 0.5 milimetre (mm) ve üzerindeki günler kar yağışlı gün olarak kabul edilmiştir.

3.2. Gelecek İklim Parametrelerindeki Eğilimlerin Analizi

İçinde bulunduğumuz yüzyıldaki iklim değişimi sinyalinin tespit edilmesi için Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) Yer Sistem Modellerinden (ESM) CNRM-CM6-1-HR, CNRM-ESM2-1, EC-Earth3-Veg, EC-

Earth3-Veg-LR, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, MPI-ESM2-0 ve NorESM2-MM ESM'leri üç farklı senaryoda (SSP245, SSP370, SSP585) aylık ortalama yağış akısı ve aylık ortalama yere yakın hava sıcaklıkları 1990-2014 referans periyodunda Ardahan ili için maskelenerek 1980 yılından başlayarak 2100 yılına kadar yıllık ve mevsimlik olarak analiz edilecektir (Döscher vd., 2022; Dunne vd., 2020; Séférian vd., 2019; Seland vd., 2020; Voldoire vd., 2019; Yukimoto vd., 2019). Ardahan'ın yüz ölçümü diğer illere kıyasla küçük ve kompleks bir topografyaya sahip olduğundan mümkün olduğunca görece yüksek çözünürlüklü Yer Sistem Modelleri seçilmeye ve Türkiye'de iyi başarımlar sergileyen modeller seçildi (Bağçacı vd., 2021). Kullanılan modeller ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Model Çıktılarının Özellikleri ve Kullanılan Değişkenler

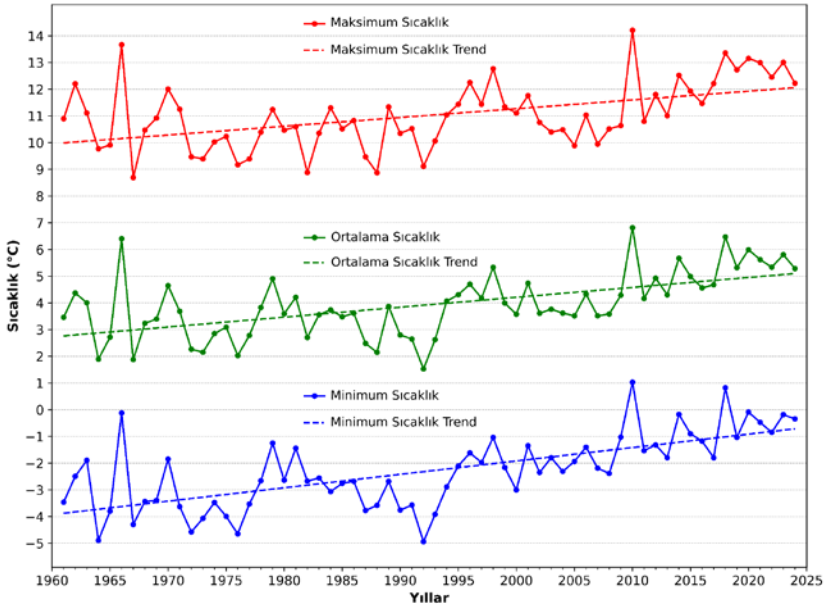
Model Adı	Yatay Çözünürlük	Zamansal Çözünürlük	Değişkenler
ERA5-Land	9 km	Saatlik	Kar kalınlığı, kar yağışı
CNRM-CM6-1-HR	50 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
CNRM-ESM2-1	250 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
EC-Earth3-Veg	100 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
EC-Earth3-Veg-LR	250 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
GFDL-ESM4	100 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
MPI-ESM1-2-HR	100 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
MRI-ESM2-0	100 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık
NorESM2-MM	100 km	Aylık	Yağış akısı, sıcaklık

4. BULGULAR

4.1. Güncel İklim Parametrelerindeki Eğilimler

Ardahan Merkez MGİ'den elde edilen; günlük maksimum, günlük ortalama ve günlük minimum sıcaklık verilerinin yıllık bazda ortalamaları hesaplanarak 1961-2024 dönemi için yapılan analizler Şekil 3'de gösterilmiştir. Buna göre

en sıcak yıl, ortalama 6.8 °C ile 2010 yılı olurken, en soğuk yıl ise 1.6 °C ile 1992 yılı olmuştur. Maksimum sıcaklık ortalamasının en yüksek olduğu yıl 14.2 °C ile 2010 yılı, en düşük olduğu yıl ise 8.7 °C ile 1967 yılı olmuştur. Minimum sıcaklık ortalamasına bakıldığında ise en yüksek ortalama 1.0 °C ile yine 2010 yılı olurken, en düşük ortalama değeri -4.9 °C ile 1992 yılında gerçekleşmiştir. Her üç sıcaklık değişkeni için yapılan trend analizlerine göre; Ardahan’da 1961-2024 periyodunda sıcaklık ortalamalarında artış eğilimi olduğu görülmektedir. Ortalama sıcaklık değerinin eğimi 0.37/10 yıl, maksimum sıcaklık ortalama değerinin eğimi 0.33/10 yıl ve minimum sıcaklık değerinin ortalama değerinin eğimi 0.50/10 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, yıllara göre en anlamlı sıcaklık artışı minimum sıcaklıklarda meydana gelmiştir.



Şekil 3. Ardahan İlının Maksimum, Ortalama ve Minimum Sıcaklık Ortalamalarının Yıllara Göre Dağılımı ve Eğilimi

Her üç sıcaklık değişkeninin 1961-2024 periyodu için hesaplanan aylık ve yıllık ortalama değerleri Tablo 2’de

gösterilmiştir. Buna göre Ardahan'da uzun yıllar maksimum sıcaklık ortalaması 11.02 °C, minimum sıcaklık ortalaması -2.29 °C ve ortalama sıcaklık değeri ise 3.93 °C olmuştur. Ardahan'da ağustos ayı en sıcak ay olurken, en soğuk ay ise ocak ayıdır.

Tablo 2. Ardahan İlinin Uzun Yıllar (1961-2024) Ortalama Sıcaklık Değerleri

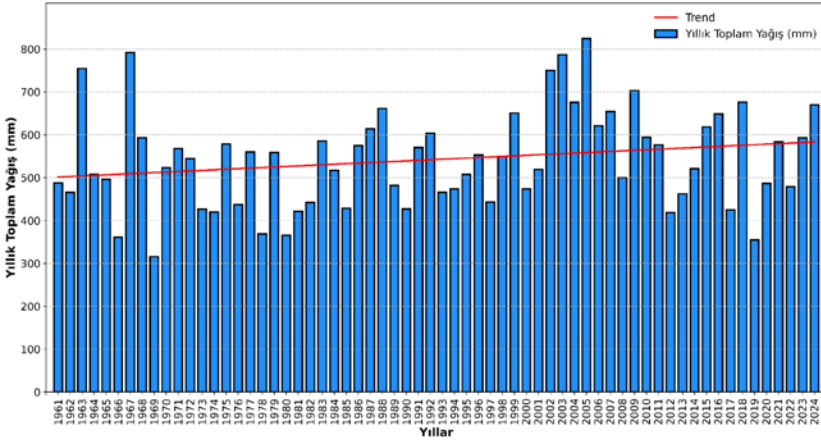
Aylar	Maksimum Sıcaklık Ortalaması (°C)	Minimum Sıcaklık Ortalaması (°C)	Ortalama Sıcaklık (°C)
Ocak	-4.90	-16.52	-11.08
Şubat	-3.14	-15.56	-9.77
Mart	2.78	-8.64	-3.25
Nisan	11.04	-1.05	4.58
Mayıs	16.21	3.25	9.38
Haziran	20.45	06.03	12.95
Temmuz	24.06	8.91	16.11
Ağustos	24.84	8.64	16.23
Eylül	20.92	4.51	12.24
Ekim	14.52	-0.03	6.61
Kasım	6.58	-5.41	-0.08
Aralık	-1.81	-12.41	-7.50
Yıllık Ortalama	11.02	-2.29	3.93

Ardahan için belirlenen üç farklı iklim referans dönemlerinin sıcaklık ortalamaları hesaplanarak, dönemsel ve sezonluk sıcaklık ortalamaları Tablo 2'de verilmiştir. İklim referans dönemleri incelendiğinde; 1971-2000 döneminde sıcaklık ortalaması 3.36 °C, 1981-2010 döneminde 3.71 °C ve 1991-2020 döneminde 4.33 °C olmuştur. Buna göre Ardahan ilinin dönemsel olarak sıcaklık farklarının olduğu ve özellikle son dönemlerde ortalama sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu tüm sezonlara da yansiyarak belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Ardahan İlinin İklim Referans Dönemlerine Göre Ortalama Sıcaklık Değerleri

Dönem	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Genel Ortalama
1971-2000	-10.38	2.87	14.76	5.96	3.36
1981-2010	-9.75	3.21	14.97	6.18	3.71
1991-2020	-8.89	3.99	15.46	6.53	4.33

Ardahan Merkez Meteoroloji Gözlem İstasyonundan elde edilen günlük toplam yağış verilerinin, yıllık bazda toplamaları hesaplanarak 1961-2024 dönemi için yapılan analizler Şekil 4’de gösterilmiştir. Yıllık toplam yağış miktarları incelendiğinde en fazla yıllık toplam yağış miktarı 824.7 mm ile 2005 yılında olurken, en az yıllık toplam yağış miktarı ise 315.8 mm ile 1969 yılında olmuştur. Trend analizine göre Ardahan’da yıllık toplam yağış miktarının artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Ardahan İlinin Yıllık Toplam Yağış Miktarının Yıllara Göre Dağılımı ve Eğilimi

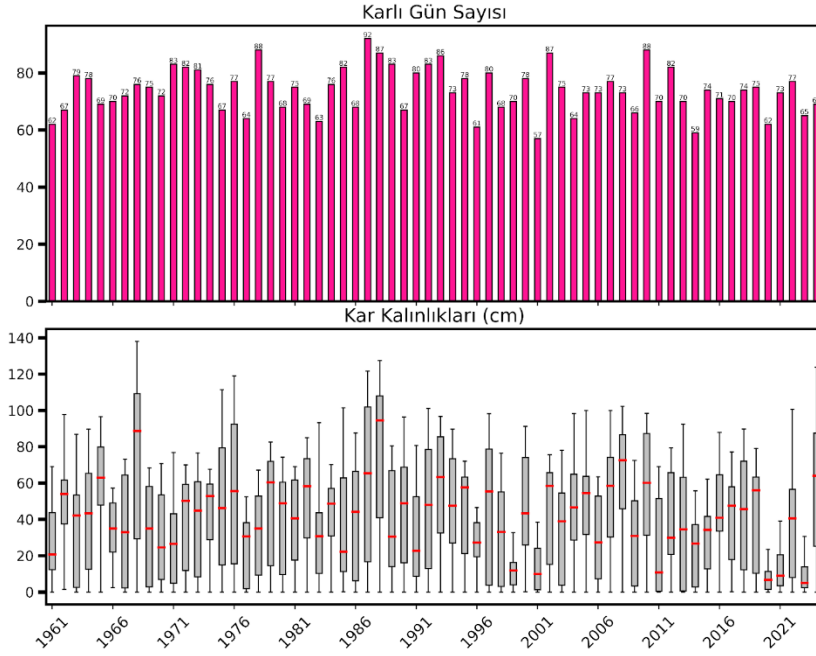
Toplam yağış verileri ile uzun yıllar (1961-2024) için aylık ve yıllık ortalamalar incelendiğinde; Ardahan’ın uzun yıllar yağış miktarı ortalaması 542.4 mm olmuştur. En fazla yağış 91.9 mm ile haziran ayında düşerken, en az yağış 17.4 mm ile ocak

ayında düşmektedir (Tablo 4). Belirlenen üç farklı iklim referans dönemine göre yıllık toplam yağış miktarı ortalamaları hesaplandığında; 1971-2000 döneminde 509.2 mm, 1981-2010 döneminde 569.1 mm ve 1991-2020 döneminde 570.3 olmuştur. Sonuç olarak, Ardahan’da bir önceki döneme göre yıllık toplam yağış miktarının ortalaması artış göstermiştir.

Tablo 4. Ardahan İli Uzun Yıllar (1961-2024) Toplam Yağış Ortalama Değerleri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kas.	Aralık	Yıllık Top.
Yağış (mm)	17.4	19.5	31.2	49.7	82.2	91.9	71.1	61.1	34.3	36.5	26.7	21.1	542.4

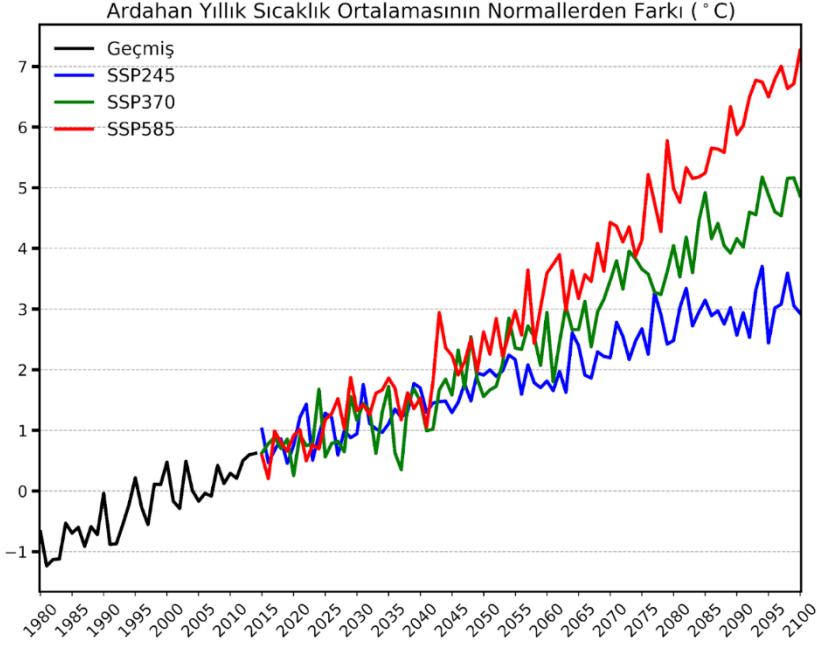
ERA5-Land verilerine göre Ardahan’da 1961 kışından 2024 kışına kadar olan periyotta karlı gün sayıları en düşük 57, en yüksek ise 92’yi görmüştür (Şekil 5). Karlı gün sayılarında önemli bir değişiklik görülmezken kar kalınlıklarında da 2020’ye kadar değişimler mevcutken ilk defa, 2022 yılı hariç, dört yıl içinde üç yılda kar kalınlıklarında diğer yıllara kıyasla önemli ölçüde azalma meydana gelerek bu yıllarda ortalama kar kalınlıkları 20 santimetrenin (cm) altında kalmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. ERA5-Land, Ardahan İli İçin Karlı Gün Sayısı ve Kar Kalınlıkları (Cm)

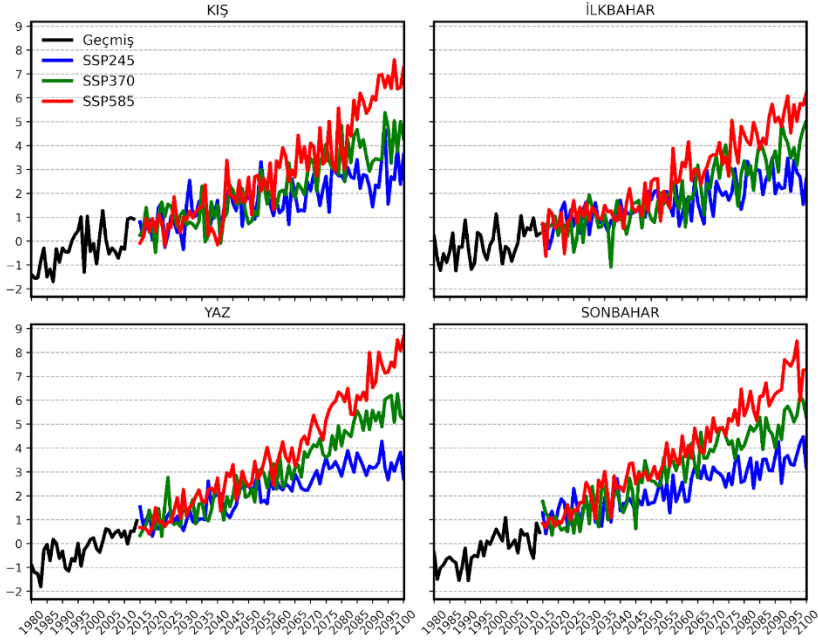
4.2. Gelecek İklim Parametrelerindeki Eğilimler

1980'den 2100'e kadar, yer sistem modelleri tarafından öngörülen yere yakın hava sıcaklığındaki yıl ölçeğindeki değişim sonuçlarına göre en kötümser senaryoya göre (SSP585) Ardahan'da 21. yüzyılın sonunda sıcaklıkların normallerden 7 °C ve üstü kadar, bölgesel rekabet olarak da bilinen SSP3 senaryosunun 7 W/m² radyatif zorlamalı senaryosuna göre ise sıcaklık artışının yüzyıl sonunda 5 °C'ye ulaşması ve son olarak da iyimser senaryoya göre (SSP245) sıcaklık artışının diğer senaryolardan farklı olarak 2075-2080 yılları arasında 3 °C'ye ulaşması ve o civarlarda salınması öngörülmektedir (Şekil 6).



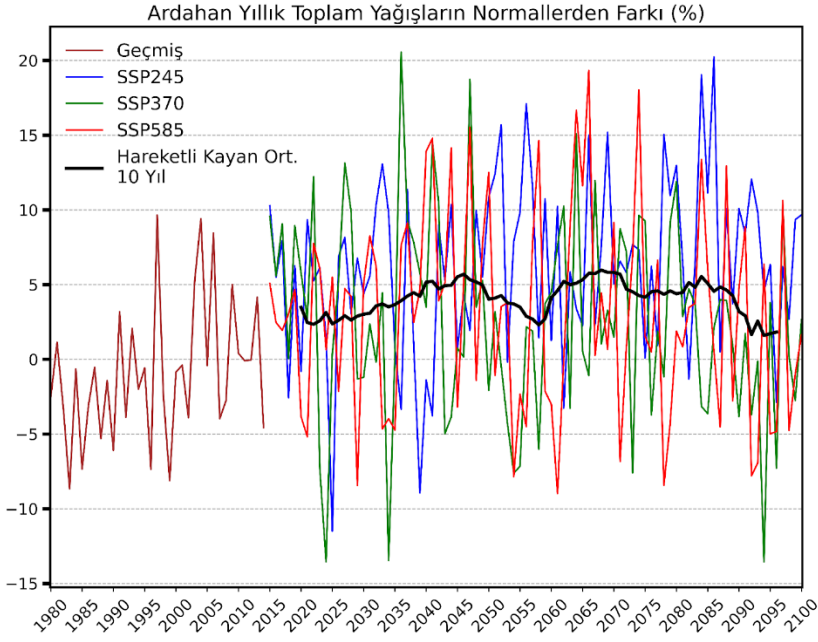
Şekil 6. Ardahan İli CMIP6 Modelleri Yıllık Sıcaklık Ortalamasının Normallere Göre Değişimi (°C).

Mevsim ölçeğindeki öngörülerde normallere göre en fazla artışın kötümser senaryoda (SSP585) olduğu ve bu değerlerin yaz ve sonbahar mevsimlerinde yaklaşık olarak 9 °C'ye kadar ulaşırken SSP245 ve SSP370 senaryolarında yazın ve sonbaharda sırasıyla 21. yüzyılın sonunda 4 °C ve 6 °C'ye ulaşmaktadır. Kışın kötümser senaryoda 7 °C'ye, ilkbaharda ise 6 °C'ye ulaşması öngörülmektedir. İyimser ve bölgesel rekabet senaryolarında kışın 5 °C ve yaklaşık 4 °C'ye yükselirken ilkbahar mevsiminde de kış mevsimiyle benzer değerlerde artması beklenmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Ardahan İli CMIP6 Modelleri Mevsimsel Sıcaklık Ortalamasının Normallere Göre Değişimi (°C)

Yıllık toplam yağışların referans döneme göre yüzdece değişimleri, Şekil 8’de de görüleceği üzere yıldan yıla değişimler tüm senaryolarda %20 artış görülürken iyimser ve bölgesel rekabet senaryolarında azalışlar %15’e varırken kötümser senaryoda bu azalışlar neredeyse %10’a ulaşmaktadır. On yıllık hareketli kayan ortalama ise değişimlerin yaklaşık %2 ila %6 arasında olduğu, bu da yağışlarda bir artışın mevcut olduğu yer sistem modelleri çıktılarında görülmektedir.



Şekil 8. Ardahan İli CMIP6 Modelleri Yıllık Toplam Yağışların Normallere Göre Yüzdece Değişimi (%)

Mevsimsel ölçekteki yağışların yüzdesel değişimlerinde kış ve ilkbahar mevsimlerinde tüm senaryolarda %40'a varan artışla %20'lik azalmaya varan bir değişim mevcutken yaz mevsiminde ise sadece bölgesel rekabet senaryosunda %40'lık bir artış mevcutken azalmalar %40'a ve altına kadar inmektedir (Şekil 8). Hareketli kayan ortalamalarda kış ve sonbahar mevsimlerindeki yağışlarda net bir artış mevcutken yazın ve sonbaharda ise net bir azalma mevcuttur. Yaz mevsiminde yağışlardaki önemli miktardaki azalışın sebeplerinden birisi tropik kuşakta bulunan Hadley hücresinin çökme kolunun Türkiye'ye kadar uzanması sonucu daha kuru ve açık koşullara sebep olmasıdır (Lu vd., 2007).

5. TARTIŞMA

Ardahan Merkez Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) verileri kullanılarak 1961-2024 dönemini kapsayan bu çalışmada, Ardahan ilinin sıcaklık ve yağış verilerindeki uzun dönemli değişimler incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, Ardahan'da sıcaklıkların arttığı ve yağış miktarında da artış eğilimi olduğunu göstermektedir.

Ardahan'da yıllık ortalama sıcaklık değeri 1961-2024 döneminde 3.93 °C olup, bu dönemde ortalama sıcaklıkların eğimi 0.37 °C/10 yıl hesaplanmıştır. En anlamlı sıcaklık artışı, minimum sıcaklıklarda (0.50 °C/10 yıl) gözlenmiştir. En sıcak yıl 6.8 °C'lik ortalama ile 2010 yılı olurken, en soğuk yıl 1.6 °C ile 1992 yılı olmuştur. İklim referans dönemleri incelendiğinde, özellikle son dönemde (1991-2020) ortalama sıcaklıkların belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Öztürk ve Kılıç (2018), Ardahan ilinin 1961-2015 dönemi için yaptıkları çalışmada benzer şekilde sıcaklık ortalamalarında artış eğilimi gözlemlemiş olup, en anlamlı sıcaklık artışını minimum sıcaklık ortalamalarında tespit etmişlerdir. Kaltakkıran (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Ardahan ilinde maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerinde artış eğilimi tespit edilmiştir. 2001-2003 dönemi ile karşılaştırıldığında, 2019-2021 yıllarında maksimum sıcaklık %8.78, minimum sıcaklık %24.50 ve ortalama sıcaklık %40.45 oranında yükselmiştir.

Ardahan'da yıllık toplam yağış miktarı 1961-2024 döneminde 542.4 mm olup, bu dönemde yıllık toplam yağış miktarında artış eğilimi göstermektedir. Aylık bazda yapılan uzun dönem yağış ortalamalarına göre en fazla yağış 91.9 mm ile haziran ayında düşerken, en az yağış ise 17,4 mm ile ocak ayında düşmektedir. İklim referans dönemlerine göre incelendiğinde, son dönemde (1991-2020) yıllık toplam yağış miktarı ortalaması önceki dönemlere göre artmıştır. Öztürk ve Kılıç (2018), Ardahan

ilinin 1961-2015 dönemi için yaptıkları çalışmada benzer şekilde yıllık toplam yağış değerlerinde artış eğilimi gözlemlemişlerdir. Kaltakkıran (2018) tarafından yapılan çalışmada, Ardahan'da en yüksek toplam yağış miktarının 2004-2006 döneminde kaydedildiği belirlenmiştir. Ancak sonraki yıllarda yağış miktarı sürekli azalarak 2019-2021 döneminde %28.34 oranında düşüş göstermiştir.

ERA5-Land verilerine göre, Ardahan'da 1961-2024 kış mevsimleri arasında karlı gün sayılarında belirgin bir değişim gözlenmemesine rağmen, kar kalınlıklarında son yıllarda dikkat çekici bir azalma yaşanmıştır. Özellikle 2020 yılına kadar kar kalınlıklarında dalgalanmalar gözlemlenirken, 2022 yılı hariç tutulduğunda, son dört yılın üçünde kar kalınlıkları 20 cm'nin altına düşmüştür. Bu durum, Ardahan'da kış koşullarında önemli bir değişimin var olduğunu göstermektedir. Kar kalınlıklarında gözlenen bu azalma, Ardahan meteoroloji istasyonundaki son dönemlerde artan sıcaklıklarla oldukça bağlantılıdır. Sıcaklıkların daha yüksek seyrettiği kış ayları, yağış türünün değişmesine neden olabilmekte veya düşen karın daha kısa sürede erimesine yol açabilmektedir. Bu eğilim, Ardahan'daki su kaynakları, ekosistem dengesi ve tarımsal faaliyetler üzerinde uzun vadeli etkiler yaratabilir. Kar kalınlıklarının azalması, kar erimesine bağlı yüzey suyu akışını etkileyerek özellikle ilkbahar döneminde su kaynaklarının azalmasına yol açabilir. Bunun yanı sıra, kar örtüsü ve kalınlıklarının azalması, toprak sıcaklığının daha hızlı artmasına neden olarak bölgede ilerleyen süreçlerde mikroiklim koşullarında önemli değişimler yaratabilir.

Yer sistem modelleri tarafından öngörülen sıcaklık ve yağış değişim senaryoları, Ardahan'ın 21. yüzyıl boyunca önemli iklimsel değişimler yaşayacağını göstermektedir. Özellikle kötümser SSP585 senaryosuna göre, yüzyılın sonunda sıcaklıkların normallerden 7°C ve üzerinde artması, bölgedeki ekosistem, su kaynakları ve tarımsal üretim açısından ciddi riskler

doğuracaktır. Daha az radyatif zorlamaya sahip SSP3-7.0 senaryosunda bile sıcaklık artışlarının 5°C 'yi bulması, iklim değişikliğinin bölge üzerindeki etkilerinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. İyimser SSP245 senaryosunda ise sıcaklık artışlarının 3°C civarında kalması, sera gazı emisyonlarının azaltılması durumunda iklim değişikliğinin kısmen sınırlandırılabilmesine işaret etmektedir. Mevsimsel ölçekte sıcaklık değişimlerinin özellikle yaz ve sonbahar aylarında daha belirgin olacağı öngörülmektedir. SSP585 senaryosuna göre yaz sıcaklıklarının 9°C 'ye kadar artması, bu dönemde buharlaşmanın artmasına ve su kaynaklarının daha hızlı tükenmesine yol açabilir. Bununla birlikte, kış ve ilkbahar aylarında öngörülen sıcaklık artışları, kar örtüsünün süresini kısaltarak su döngüsünde önemli değişimlere neden olabilir. Yağış değişimleri açısından incelendiğinde, yıllık yağış miktarında genel olarak %20'ye kadar artış öngörülmesine rağmen, senaryolara bağlı olarak azalışlar da dikkat çekmektedir. Özellikle iyimser ve bölgesel rekabet senaryolarında yağışların %15'e varan oranlarda azalması, hidrolojik döngüde değişikliklere sebep olabilir. Yaz mevsiminde yağışların azalma eğiliminde olması, kuraklık risklerini artırırken, kış ve ilkbahar aylarında yağışlardaki artış, su kaynaklarının yönetimi açısından kritik olacaktır.

Genel olarak, iklim değişiminin Ardahan üzerinde önemli etkiler yaratacağı öngörülmektedir. Tarımsal üretim, hayvancılık ve su kaynakları gibi sektörlerde uyum stratejilerinin geliştirilmesi, bu değişimlerin etkilerini hafifletmek oldukça önemli görülmektedir. İklim modellerinin gösterdiği eğilimler doğrultusunda, bölgesel iklim politikalarının belirlenmesi ve su yönetimi planlarının oluşturulması gerekmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışma, Ardahan ilinin 1961-2024 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış değişimlerini inceleyerek gelecekteki iklim eğilimlerini değerlendirmiştir. Analizler, yıllık ortalama sıcaklıkların belirgin bir artış gösterdiğini ve en yüksek sıcaklık artışının minimum sıcaklıklarda yaşandığını ortaya koymaktadır. 1961-2024 dönemi için ortalama sıcaklık eğimi $0.37^{\circ}\text{C}/10$ yıl olarak hesaplanmış, en sıcak yıl 6.8°C ile 2010, en soğuk yıl ise 1.6°C ile 1992 olmuştur. Yağış açısından bakıldığında, uzun dönemli verilere göre yıllık toplam yağış miktarında artış eğilimi gözlemlenmiş, 1961-2024 ortalaması 542.4 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak, aylık bazda incelendiğinde en fazla yağışın haziran ayında (91.9 mm), en az yağışın ise ocak ayında (17.4 mm) düştüğü tespit edilmiştir. ERA5-Land verileri, karlı gün sayılarında belirgin bir değişiklik olmadığını ancak 2020 sonrası kar kalınlıklarında ciddi bir azalma yaşandığını göstermektedir. 2022 yılı hariç tutulduğunda, son dört yılın üçünde ortalama kar kalınlıklarının 20 cm'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, sıcaklık artışlarının kar birikimi üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymakta ve kış koşullarında önemli değişimlerin yaşandığını işaret etmektedir.

CMIP6 model projeksiyonları, 21. yüzyılın sonuna kadar Ardahan'da sıcaklıkların önemli ölçüde artacağını öngörmektedir. En kötümser senaryo olan SSP585'e göre sıcaklık artışının 7°C 'yi aşması beklenirken, SSP3-7.0 senaryosunda 5°C 'ye, iyimser SSP245 senaryosunda ise 3°C 'ye ulaşması öngörülmektedir. Mevsimsel ölçekte, yaz ve sonbahar aylarında sıcaklık artışlarının daha belirgin olacağı, yaz sıcaklıklarının kötümser senaryoda 9°C 'ye kadar yükselebileceği hesaplanmıştır. Yağış projeksiyonları, yıllık bazda %20'ye kadar artış öngörse de, bazı senaryolarda %15'e varan düşüşler beklenmektedir. Özellikle yaz aylarında yağış miktarında azalma eğilimi dikkat çekmekte, bu durum kuraklık risklerini

artırmaktadır. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde ise yağışlarda belirgin bir artış öngörülmektedir.

Genel olarak bu bulgular, Ardahan’da iklim değişikliğinin belirgin bir şekilde hissedildiğini ve gelecekte daha büyük değişimlerin yaşanacağını göstermektedir. Tarımsal üretim, hayvancılık ve su kaynakları gibi sektörlerde uyum stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bölgesel iklim politikalarının belirlenmesi, su yönetimi planlarının oluşturulması ve ekosistem üzerindeki olası etkilerin dikkate alınarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., Vardar, M., & Schlüchter, C. (2007). Palaeoglacial records from Kavron Valley, NE Turkey: Field and cosmogenic exposure dating evidence. *Quaternary International*, 164(65), 170–183.
- Akçar, N., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., Vardar, M., & Schlüchter, C. (2008). A case for a downwasting mountain glacier during Termination I, Verçenik Valley, northeastern Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 23(3), 273–285.
- Altınsoy, H., Öztürk, T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2011, September). Projections of future air temperature and precipitation changes in the Mediterranean Basin by using the global climate model. In *Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation (CD-R)* (pp. 7-10).
- Bağcı, S. Ç., Yücel, İ., Düzenli, E., & Yılmaz, M. T. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research*, 256, 105576.
- Bozkurt, D., Turunçoğlu, U., Sen, O. L., Öno, B., & Dalfes, H. N. (2012). Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: Evaluation of the reference period. *Climate Dynamics*, 39(1–2), 207–225. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1187-x>
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J. L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W. J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A. J., & Wehner, M. (2013). Long-term climate change:

- Projections, commitments and irreversibility. In Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC (pp. XX–XX). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.024>
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin güncel buzulları ve Geç Kuvaterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55–78.
- Demircan, M., Doğan, Z., Kahya, C., & Atay, H. (2017). Climate change projections for Turkey: Three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1), 22–43. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.333114>.
- Döscher, R., Acosta, M., Alessandri, A., Anthoni, P., Arsouze, T., Bergman, T., Bernardello, R., Boussetta, S., Caron, L.-P., Carver, G., Castrillo, M., Catalano, F., Cvijanovic, I., Davini, P., Dekker, E., Doblas-Reyes, F. J., Docquier, D., Echevarria, P., Fladrich, U., Fuentes-Franco, R., Gröger, M., v. Hardenberg, J., Hieronymus, J., Karami, M. P., Keskinen, J.-P., Koenigk, T., Makkonen, R., Massonnet, F., Ménégos, M., Miller, P. A., Moreno-Chamarro, E., Nieradzick, L., van Noije, T., Nolan, P., O'Donnell, D., Ollinaho, P., van den Oord, G., Ortega, P., Prims, O. T., Ramos, A., Reerink, T., Rousset, C., Ruprich-Robert, Y., Le Sager, P., Schmith, T., Schrödner, R., Serva, F., Sicardi, V., Sloth Madsen, M., Smith, B., Tian, T., Tourigny, E., Uotila, P., Vancoppenolle, M., Wang, S., Wårlind, D., Willén, U., Wyser, K., Yang, S., Yepes-Arbós, X., and Zhang, Q.: The EC-Earth3 Earth system model for the Coupled Model Intercomparison Project 6, *Geosci. Model Dev.*, 15, 2973–3020, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2973-2022>, 2022.

- Dunne, J. P., Horowitz, L. W., Adcroft, A. J., Ginoux, P., Held, I. M., John, J. G., Krasting, J. P., Malyshev, S., Naik, V., Paulot, F., Shevliakova, E., Stock, C. A., Zadeh, N., Balaji, V., Blanton, C., Dunne, K. A., Dupuis, C., Durachta, J., Dussin, R., Gauthier, P. P. G., Griffies, S. M., Guo, H., Hallberg, R. W., Harrison, M., He, J., Hurlin, W., McHugh, C., Menzel, R., Milly, P. C. D., Nikovon, S., Paynter, D. J., Ploshay, J., Radhakrishnan, A., Rand, K., Reichl, B. G., Robinson, T., Schwarzkopf, D. M., Sentman, L. T., Underwood, S., Vahlenkamp, H., Winton, M., Wittenberg, A. T., Wyman, B., Zeng, Y., Zhao, M. (2020). The GFDL Earth System Model Version 4.1 (GFDL-ESM 4.1): Overall coupled model description and simulation characteristics. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12(11). <https://doi.org/10.1029/2019MS002015>
- Gönençgil, B. (2008). Doğal süreçler açısından iklim değişikliği ve insan. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perceptions of climate change: The new climate dice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2415–E2423. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205276109>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kadıoğlu, M. (1997). Trends in surface air temperature data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 17(5), 511–520. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199704\)17:5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199704)17:5)

- Kaltakkıran, G. (2023). Ardahan ilinin meteorolojik verilerindeki değişimin istatistiksel olarak incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- Lu, J., Vecchi, G. A., & Reichler, T. (2007). Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophysical Research Letters*, 34(6). <https://doi.org/10.1029/2006GL028443>.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J. F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M., & van Vuuren, D. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1–2), 213. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- Muñoz Sabater, J. (2019). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac> (Accessed: February 10, 2025).
- Öztürk, T., & Kılıç, G. (2018). Ardahan ilinde iklim değişikliğinin sıcaklık ve yağış üzerindeki etkileri. *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 71(2), 45–63. <https://doi.org/10.31807/tcd.201871020>.
- Rahmstorf, S., & Coumou, D. (2011). Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(44), 17905–17909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101766108>
- Sarıkaya, M. A., Çiner, A., & Zreda, M. (2011). Quaternary glaciations of Turkey. In J. Ehlers (Ed.), *Quaternary glaciations—Extent and chronology* (pp. 393–403).
- Sarıkaya, M. A., Zreda, M., Çiner, A., & Zweck, C. (2008). Cold and wet Last Glacial Maximum on Mount Sandiras, SW

Turkey, inferred from cosmogenic dating and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 27(7–8), 769–780.

- Séférián, R., Nabat, P., Michou, M., Saint-Martin, D., Voldoire, A., Colin, J., Decharme, B., Delire, C., Berthet, S., Chevallier, M., Sénési, S., Franchistéguy, L., Vial, J., Mallet, M., Joetzjer, E., Geoffroy, O., Guérémy, J., Moine, M., Msadek, R., & Madec, G. (2019). Evaluation of CNRM Earth System Model, CNRM-ESM2-1: Role of Earth system processes in present-day and future climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(12), 4182–4227. <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>
- Seland, Ø., Bentsen, M., Olivié, D., Toniazzi, T., Gjermundsen, A., Graff, L. S., Debernard, J. B., Gupta, A. K., He, Y.-C., Kirkevåg, A., Schwinger, J., Tjiputra, J., Aas, K. S., Bethke, I., Fan, Y., Griesfeller, J., Grini, A., Guo, C., Ilıcak, M., Karset, I. H. H., Landgren, O., Liakka, J., Moseid, K. O., Nummelin, A., Spensberger, C., Tang, H., Zhang, Z., Heinze, C., Iversen, T., & Schulz, M. (2020). Overview of the Norwegian Earth System Model (NorESM2) and key climate response of CMIP6 DECK, historical, and scenario simulations. *Geoscientific Model Development*, 13, 6165–6200. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-6165-2020>.
- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., & Balta, I. (2008). *Climate of Turkey*. Turkish State Meteorological Service Report.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Alexander, L. V., Allen, S. K., Bindoff, N. L., Breon, F. M., Church, J. A., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J. M., Hartmann, D. L., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Krishna Kumar, K., Lemke, P., & Zwiers, F.

- (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Turoğlu, H. (2009a). Yenilenen Kuaterner kronostratigrafisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 53, 85–90.
- Turoğlu, H. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları. İstanbul: Çantay Yayınları.
- Turoğlu, H. (2015). Tarihlendirilmiş bazı jeomorfolojik verilere dayandırılan, Anadolu'nun Kuaterner iklim özellikleri rekonstrüksiyonu. In R. Efe (Ed.), Prof. Dr. h.c. İbrahim Atalay'ın 45. meslek yılına armağan kitabı (pp. 75–102). Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057–1076. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199609\)16:9<1057](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199609)16:9<1057).
- Unal, Y., Kindap, T., & Karaca, M. (2003). Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. *International Journal of Climatology*, 23(9), 1045–1055. <https://doi.org/10.1002/joc.910>
- Voltaire, A., Saint-Martin, D., Sènesi, S., Decharme, B., Alias, A., Chevallier, M., Colin, J., Guérémy, J. F., Michou, M., Moine, M. P., Nabat, P., Roehrig, R., Salas y Méliá, D., Séférian, R., Valcke, S., Beau, I., Belamari, S., Berthet, S., Cassou, C., Cattiaux, J., Deshayes, J., Douville, H., Ethé, C., Franchistéguy, L., Geoffroy, O., Lévy, C., Madec, G., Meurdesoif, Y., Msadek, R., Ribes, A., Sanchez-Gomez, E., Terray, L., & Waldman, R. (2019). Evaluation of

CMIP6 DECK experiments with CNRM-CM6-1. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11, 2177–2213. <https://doi.org/10.1029/2019MS001683>

- Yukimoto, S., Kawai, H., Koshiro, T., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., Tsujino, H., Deushi, M., Tanaka, T., Hosaka, M., Yabu, S., Yoshimura, H., Shindo, E., Mizuta, R., Obata, A., Adachi, Y., & Ishii, M. (2019). The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component. *Journal of the Meteorological Society of Japan, Series II*, 97(5), 931–965. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>.
- Zreda, M., Zweck, C., & Sarıkaya, M. A. (2006). Early Holocene glaciation in Turkey: Large magnitude, fast deglaciation and possible NAO connection. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (pp. PP43A-1232).

TOSYA İLÇE MERKEZİNDE (KASTAMONU) MAHALLE BAZLI DEPREM RİSK DEĞERLENDİRİLMESİ

Celalettin DURAN¹

1. GİRİŞ

Afet yönetiminde, afet öncesi hazırlık aşamasında şehir planlarının detaylı analizi son derece önemli konulardan biridir. Şehirlerin yüksek nüfus/yapı yoğunluğuna sahip kesimleri, afetlerin etkilerini artırabilir ve müdahale süreçlerini zorlaştırabilir. Tosya İlçe Merkezi, Kastamonu il sınırları içinde yer alan ve tarihsel olarak çeşitli sismik risklere maruz kalmış bir yerleşim alanıdır. 1943 Tosya–Ladik Depremi, 26 Kasım 1943 tarihinde Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde meydana gelmiş ve yaklaşık 45000 km²'lik bir alanda hissedilmiştir. Deprem, özellikle Kastamonu, Çankırı, Amasya, Samsun ve Tokat illerinde büyük yıkıma yol açmış; Tosya ilçesinde 700'ün üzerinde can kaybı ve 1375'ten fazla hayvanın telef olmasına neden olmuştur (Çelebi, 2021).

Kentsel yoğunluk, bir bölgedeki insan ve yapı yoğunluğunu ifade eder ve bu yoğunluk, deprem gibi afetlerden zarar görebilirlik ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, iç içe yapılar, zayıf yapı kalitesi gibi faktörlerle birleşerek, büyük depremler sırasında yüksek maruziyet oranlarına yol açabilir (Xing vd., 2022; Spence, 2007). Buna karşın, kentsel alanlarda yapılan yapıların çoğu, zayıf yapı direncine sahip olup, hızlı bir şekilde artan nüfusla birlikte, büyük

¹ Doç.Dr., Kastamonu Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, cduran@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6864-5564.

ölçekli depremler sırasında yüksek ölüm oranlarına yol açabilir (He vd., 2021).

Deprem afetinden zarar görebilirlik, yalnızca nüfus/yapı yoğunluğu ile sınırlı değildir. Araştırmalar, sokak genişliği, erişilebilirlik, yapı kalitesi ve açık alanların varlığı gibi kentsel form göstergelerinin de bu ilişkiyi şekillendirdiğini ortaya koymaktadır (Rastegar, 2017; Fayaz vd., 2017). Özellikle dar sokaklar ve yüksek yapı yoğunluğu, kurtarma ve tahliye operasyonlarını zorlaştırabilir, bu da afet sonrası iyileşme süreçlerini olumsuz etkileyebilir (Balişepalli ve Oppong, 2014).

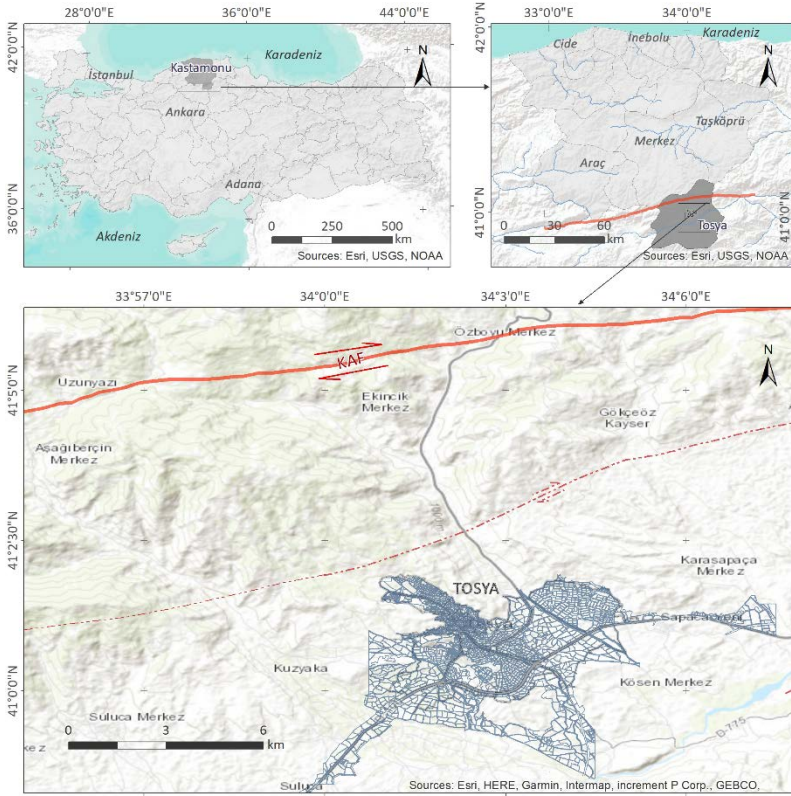
Bu çalışma, Tosya Şehri'ndeki kentsel yoğunluk ve deprem afetine karşı zarar görebilirlik arasındaki ilişkiyi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve mekânsal analiz yöntemleri kullanarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, deprem riskine ve zarar görebilirlik düzeyine ilişkin gerekli önlemler ve stratejiler mahalle bazlı olarak araştırılmıştır. Tosya şehrindeki mahallelerin idari birer birim olarak, afet risklerinin azaltılması ve sürdürülebilir şehir planlaması için önemine odaklanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma alanı

Tosya ilçesi, Kastamonu ilinin güneydoğusundaki alt idari birimi konumundadır. İlçe sınırları içerisinde, Ilgaz Dağları'nın önemli bir bölümü yer almaktadır. Bölgenin jeolojik yapısında Kuzey Anadolu Fay Hattı belirleyici bir role sahiptir; bu fay hattı ilçe merkezinin kuzeyinden geçmektedir. Fay hattının oluşturduğu tektonik çöküntü alanına Devrez Çayı yerleşmiş olup, çayın GB-KD (güneybatı-kuzeydoğu) doğrultusundaki uzanımı boyunca gelişen alüvyonlu araziler üzerinde çeltik tarımı yaygın olarak yapılmaktadır. D100 Karayolu, Devrez Çayı'nın uzanımına paralel olarak GB-KD doğrultusunda ilerleyerek,

önemli yerleşim merkezlerini birbirine bağlayan stratejik bir ulaşım arterini oluşturmaktadır. Karayolunun çevresinde çok sayıda yerleşim birimi sıralanmıştır. İdari sınırlar açısından Tosya ilçesi; Kuzeyde Kastamonu Merkez ve Taşköprü ilçeleri, Batıda Çankırı iline bağlı Ilgaz ilçesi, Güneyde Çankırı ili Yapraklı ilçesi ile Çorum iline bağlı Bayat ilçesi, Doğuda ise Çorum iline bağlı İskilip ve Kargı ilçelerinin idari sınırlarıyla komşudur. Tosya şehri, 40°59'30" – 41°02'0" Kuzey enlemleri ile 34°0'50" – 34°5'15" Doğu boylamları arasında konumlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Tosya ilçe merkezinin lokasyon haritası

Tosya şehrinin kuruluşunda ve gelişiminde, şehri ikiye bölerek akan Kuruçay'ın büyük rolü vardır (İbret, 2004). Tosya ilçe merkezi, tarihî yerleşim merkezinin kuzeyi ve güneyine doğru genişleyerek gelişmiş olup, yaklaşık 10 km²'lik bir alana

yayılmıştır. İlçe merkezindeki yerleşim yerlerinin ortalama yükseltisi 750 ile 950 m arasında değişmektedir. Küre ve Ilgaz Dağları, denizel karakterli hava kütlelerinin iç bölgelere ulaşmasını engellediğinden, bu dağların ardında kalan Tosya ilçe merkezinde karasal iklim özellikleri daha belirgin görülür.

2.2. Yöntem

Tosya ilçe merkezindeki mahallerin deprem tehlikesi karşısında bazı önemli mekânsal özelliklerini belirleyebilmek için; Harita Genel Müdürlüğünün (HGM) 1/25000 ölçekli topografya haritaları ve 10m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (DEM), Türkiye İstatistik Kurumuna (TÜİK) ait veri tabanlarındaki nüfus, konut/işyeri sayılarına ilişkin verileri elde edilmiştir. Tosya ilçe merkezine ait sayısal mahalle verileri ve nüfusa/konut-işyerine ilişkin tablosal veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak bir araya getirilmiştir. CBS ortamında mahallelerin mekânsal dağılımı ve mahallelere ait kategorik veriler analiz edilmiştir. Yerleşim yerindeki mahalleler, imar planlarından elde edilmiştir. TÜİK veritabanlarına eklenen güncel iki mahalle (Karşıyaka ve Kuzyaka) bu çalışma kapsamının dışında bırakılmıştır.

Deprem üretme potansiyeli yüksek ana fay hattı nedeniyle, Tosya şehri mahalle düzeyinde zarar görülebilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Mahallelerin nüfus yoğunluğu, bina yoğunluğu ve topografik özellikleri incelenmiştir. Topografya özellikleri, deprem sonrası faaliyetleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Arazinin morfolojisi (eğim/engebe), müdahale ve iyileştirme aşamalarında dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. Sayısal yükseklik modeli (DEM, 10m) kullanılarak, yükseklik, eğim ve Topografik Pürüzlülük İndeksi (Topographic Roughness Index, TRI) belirlenmiştir. TRI, bir hücrenin ve onu çevreleyen sekiz hücrenin maksimum ve minimum değerleri arasındaki fark olarak hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Tosya ilçe merkezindeki mahalleler

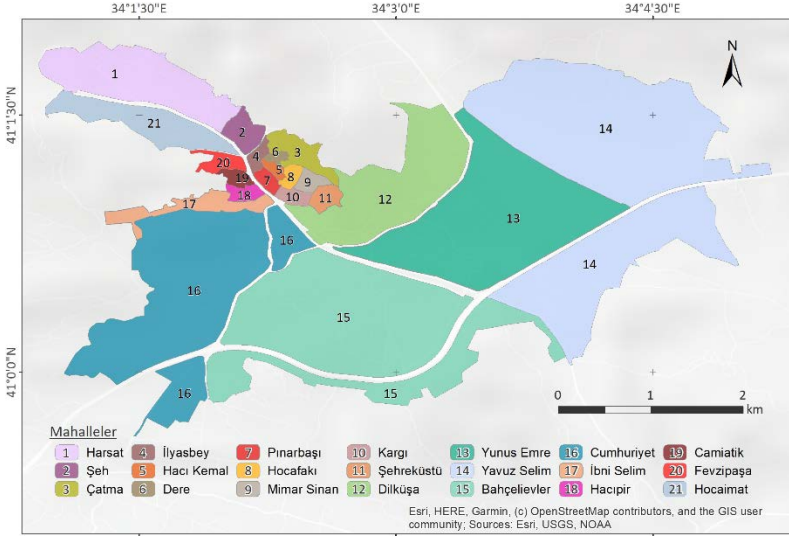
Tosya şehrinin ilk nüvesi, Hocafaklıh, Hacıkemal, İlyasbey, Kargı, Pınarbaşı mahalleleri ile vadinin karşı tarafında bulunan Cami-i Atik ve Hacıpir mahallelerini içine alan iki tepe arasındaki Kuruçay'ın vadisinden her iki yamacına doğru yükseliyordu. Tosya şehrinin daha sonraki şekillenmesinde de bu ilk nüve etkili olmuş ve şehrin sınırları ilerleyen yıllarda, bir yandan bu nüve etrafında dairevi bir şekilde genişlerken, diğer yandan da Kuruçay'ın kaynağına doğru yükselerek, Harsat mahallesini içine almıştır. Şehrin merkezi eski Çankırı yolunun bir devamı olan Atatürk Caddesi'nin Kuruçay vadisine ulaştığı kesimde bulunan meydanın etrafıdır. Hükümet ve belediye gibi yönetim merkezleri bu meydanın çevresinde bulunmaktadır (İbret, 2004). Tosya Şehri'nin yeni mahalleleri ve gelişim alanı, şehrin güney eteklerinde çok katlı binalardan meydana gelmektedir.

Tosya Belediyesi imar planı üzerinden sayısallaştırılan 21 mahalle sınırı belirlenmiştir. Ancak TÜİK veri tabanlarında mahalle statüsüne geçmiş olan Karşıköy ve Yakaköy, ilçe merkezine bağlı olmalarına rağmen çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. İncelenen 21 mahalle; ilçe merkezinde yer alan ve küçük yüzölçümlere sahip eski merkezi mahalleler ve bu mahallerin çevresinde daha geniş alanlar üzerine planlanmış yeni mahallelerden oluşmuştur (Şekil 2).

3.2. Tosya ilçe merkezindeki mahallere göre nüfus ve yapı yoğunluğu/dağılımı

Tosya şehrindeki mahallelerin kapladığı alan, nüfus ve bina dağılımı çok büyük değişkenlik göstermektedir. Bazı mahalleler, belirlenen bazı özelliklere göre dikkat çekici bir şekilde ön plana çıkmaktadır. Nüfus yoğunluğu, şehrin küçük yüzölçümlerinden oluşan İlyasbey, Hacıpir, Fevzipaşa, Hacı

Kemal, Hocafakı, Camiatik gibi eski merkezi mahallelerde yüksektir. Konutlar, en fazla Bahçelievler, Dilküşa, Cumhuriyet ve Yunus Emre mahalleleri gibi yeni mahallelerde bulunmaktadır. İşyerleri, şehrin ticari merkezi sayılan meydanı ve ana caddeleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu kesimler, Cumhuriyet, Harsat, Pınarbaşı ve Kargı mahalleleridir. Eski merkez mahallelerde yer alan yapılar, dar sokaklar boyunca bitişik nizamda (sırt sırta) ve az katlı olarak inşa edilmiş, dolayısıyla yoğun ve sık bir kentsel doku oluşturmuştur. Buna karşılık, daha geniş yüzölçümüne sahip yeni mahallelerde ise yapılaşma, genellikle çok katlı binalardan oluşan daha seyrek ve planlı bir yerleşim düzeni sergilemektedir (Tablo 1; Şekil 3, 4, 5, 6).

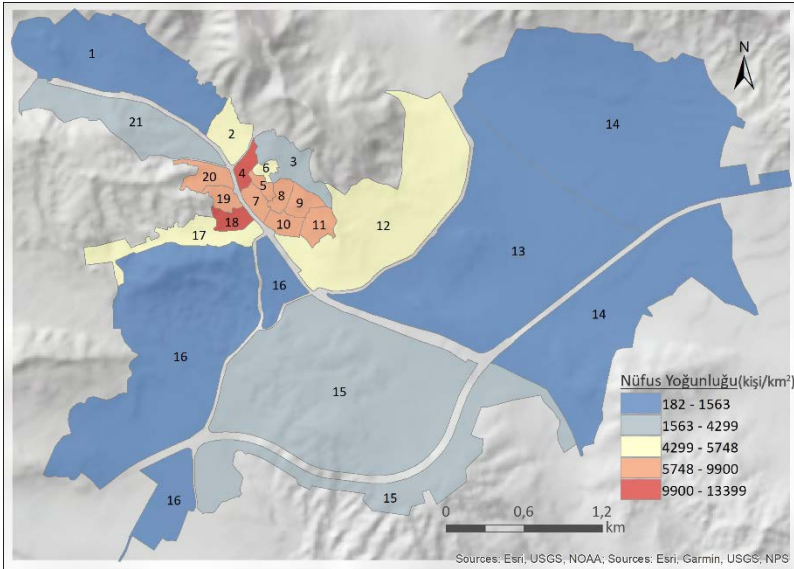


Şekil 2. Tosya şehri mahalle idari birimlerinin dağılımı

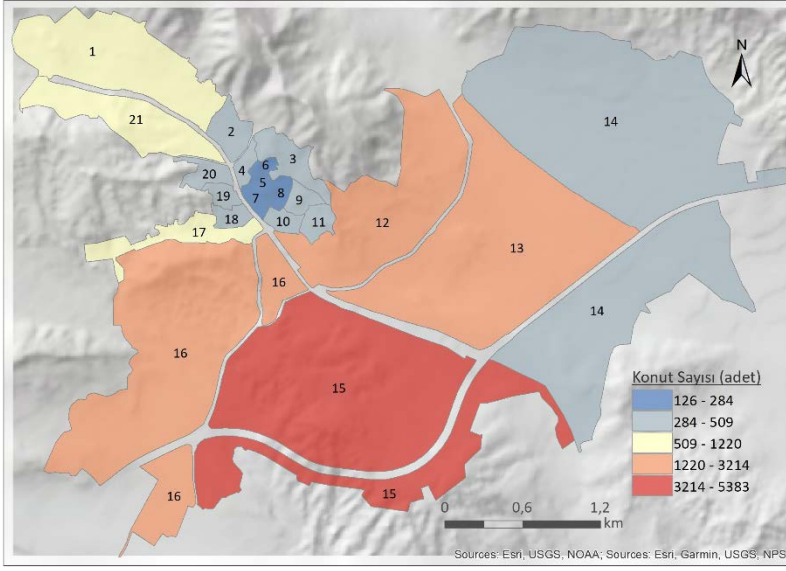
Tablo 1. Tosya şehri mahallelere göre nüfus, konut ve işyeri sayıları

Mahalle	Toplam nüfus(kişi)	Konut sayısı(adet)	İşyeri sayısı(adet)	Mahalle alanı (ha)	Nüfus yoğ. (kişi/km ²)	Yapı yoğ. (yapı/km ²)
Harsat	1177	873	612	75,3	1562,7	1971,7
Şeh	547	509	4	9,9	5520,5	5177,4
Çatma	595	425	4	13,8	4298,6	3099,3
İlyasbey	489	384	24	3,6	13399,4	11179,9
Hacı Kemal	209	181	1	2,2	9694,0	8441,7
Dere	116	126	0	2,0	5748,1	6243,6
Pınarbaşı	290	284	393	3,7	7876,6	18387,8
Hocafakı	321	236	15	3,4	9576,8	7488,4
Mimar Sinan	385	347	3	4,7	8229,6	7481,4
Kargı	376	364	339	4,3	8749,5	16358,8
Şehreküstü	427	439	1	5,8	7355,3	7579,2
Dilküşa	4643	3214	182	98,9	4693,6	3433,1
Yunus Emre	2813	2091	145	181,3	1551,7	1233,4
Yavuz Selim	626	326	253	344,9	181,5	167,9
Bahçelievler	8163	5383	209	252,0	3239,3	2219,1
Cumhuriyet	2440	2331	644	202,8	1203,1	1466,9
İbni Selim	1009	1220	182	19,4	5198,3	7223,0
Hacıpir	511	436	103	4,4	11694,7	12335,5
Camiatik	356	315	15	3,9	9074,4	8411,7
Fevzipaşa	638	461	14	6,4	9900,2	7370,9
Hocaimat	1544	1037	21	39,1	3949,9	2706,6
TOPLAM	27675	20982	3164	1281,8	2159,0	1883,7

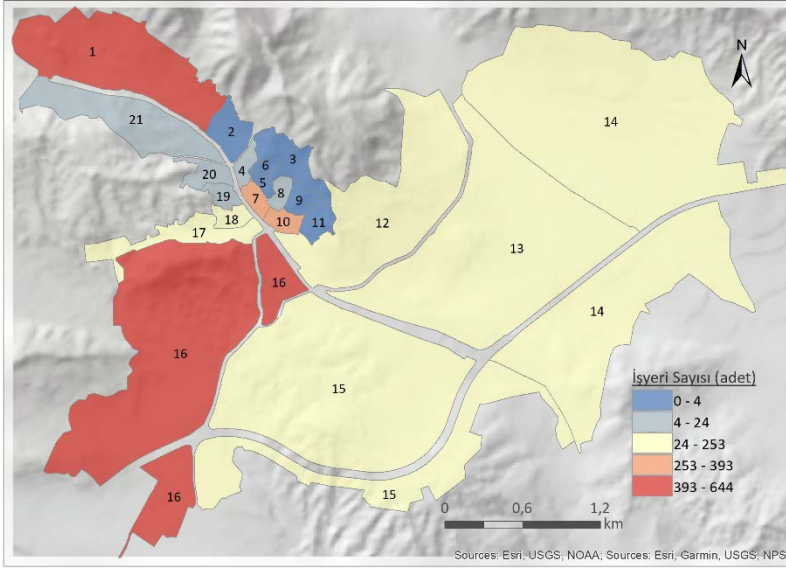
Kaynak: TÜİK



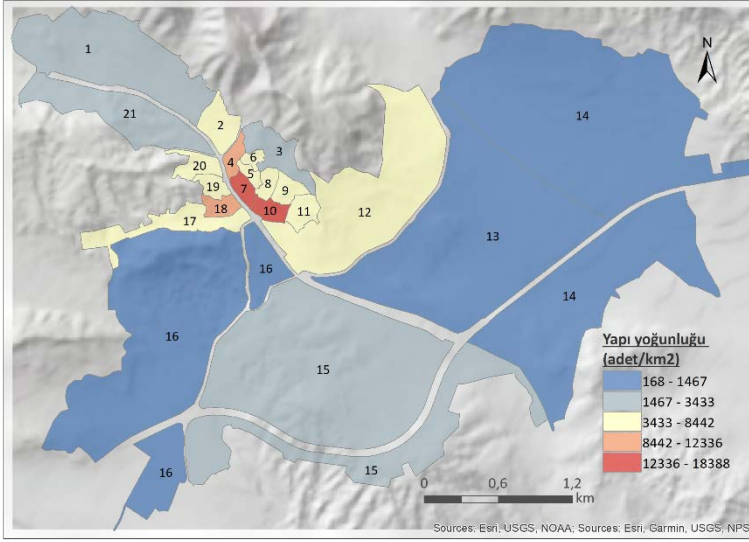
Şekil 3. Mahallelere göre nüfus yoğunluk haritası (kişi/km²)



Şekil 4. Konut sayısının mahallelere göre dağılımı



Şekil 5. İşyeri sayısının mahallelere göre dağılımı

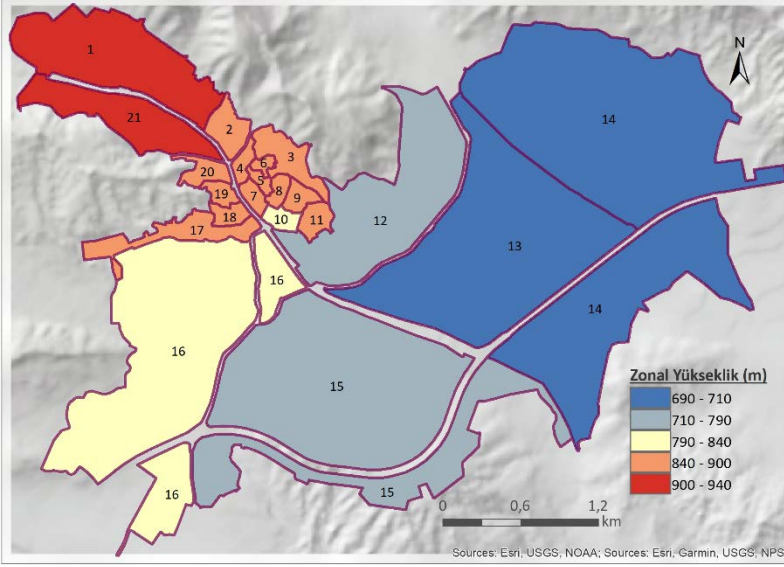


Şekil 6. Yapı yoğunluğunun mahallelere göre dağılımı (adet/km²)

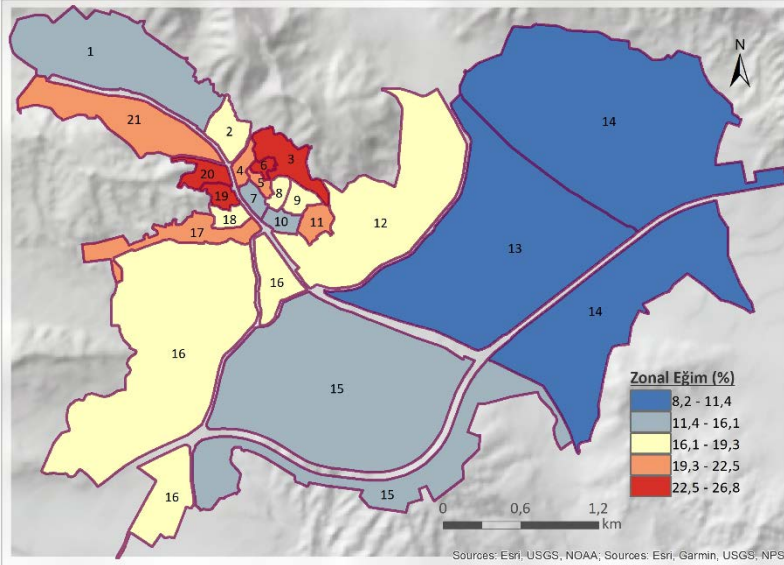
3.3. Tosya ilçe merkezindeki mahallelerin bazı topografik özellikleri

Tosya ilçe merkezine ait mahallelerin bazı topoğrafik özellikleri incelendiğinde (Şekil 7, 8, 9), yerleşim yerinin kuzeybatı-güneydoğu (KB-GD) doğrultusunda belirgin bir yükselti farkı gösterdiği tespit edilmiştir. Kuzeybatı kesimindeki mahalleler daha yüksek rakımlarda, güneydoğudakiler ise daha düşük kotlarda yer almaktadır. Mahalleler, ortalama eğim değerlerine göre sınıflandırıldığında; eski merkezi mahallelerin daha yüksek eğim gruplarında, yeni oluşturulan mahallelerin ise daha düşük eğimli alanlarda konumlandığı görülmektedir. Arazinin yüzey pürüzlülüğünü yansıtan TRI değerleri, özellikle eski merkez yerleşimin batı ve doğu kesimlerinin yanı sıra kuzey ve güney yönlerinde farklılık göstermektedir. Pürüzlülük değerleri güneydoğuda daha yüksek seviyelerdeyken, kuzeybatı yönünde daha düşüktür. Bu durum, müdahale ve zarar azaltma önlemlerinde dikkate alınması gereken unsurlardan biridir.

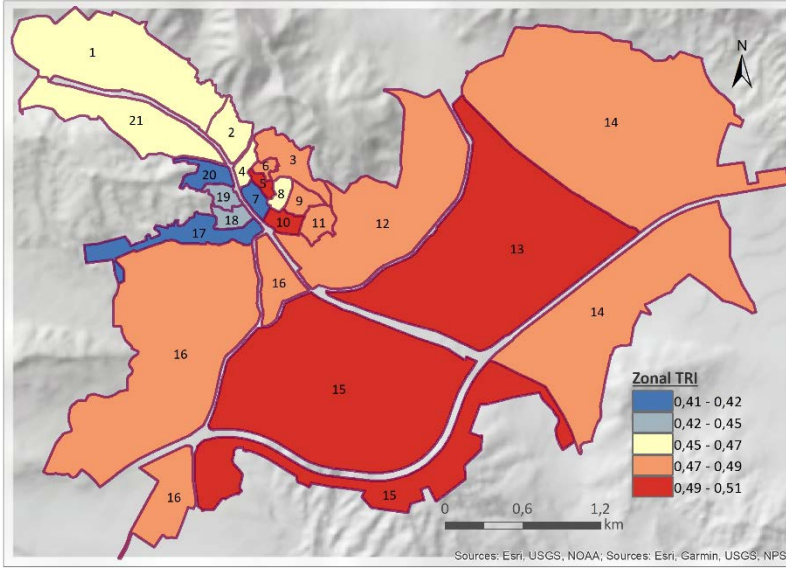
Alçak alanlarda oluşturulan mahallerin gevşek zemini ve çok katlı binaları, deprem tehlike düzeyini arttırmaktadır.



Şekil 7. Tosya şehrindeki mahallelerin ortalama yükseklikleri



Şekil 8. Tosya şehrindeki mahallelerin ortalama eğim oranları



Şekil 9. Tosya şehrindeki mahallelerin ortalama TRI değeri

4. SONUÇ

Bu çalışma, Tosya ilçe merkezindeki mahallelerin nüfus, yapılaşma ve topoğrafik özelliklerinin deprem riskine etkisini mahalle ölçeğinde ortaya koymaktadır. Eski merkezi mahallelerin yüksek nüfus yoğunluğu, sık ve az katlı yapılaşması ile engebeli arazi yapısı, afet anında müdahale zorluklarını artıran önemli unsurlar olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, yeni gelişim alanlarındaki daha planlı ve geniş yüzölçümlü, çok katlı yapılaşmalar, gevşek zemin ile düşük eğimli alanlar, farklı risk dinamiklerini beraberinde getirmektedir. Ayrıca, güneydoğu yönünde gevşek zemin üzerinde inşa edilen çok katlı yapılar, deprem tehlikesi açısından kritik bir risk faktörü oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, afet öncesi planlama süreçlerinde kentsel yapı ve topoğrafyanın ayrıntılı değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Tosya özelinde afetlere dirençli şehirleşme, mikro bölgeleme ve sürdürülebilirlik gibi risk azaltıcı stratejilerin kent planlama kararlarına entegre edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Balijepalli, C., & Oppong, S. (2014). Earthquake vulnerability assessment of the built environment in the city of Srinagar, Kashmir Himalaya, using a geographic information system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(5), 1593-1605.
- Çelebi, E. (2021). Büyük Hareket: 26 Kasım 1943 Tarihli Tosya-Lâdik Depremi'nin Kastamonu Merkez ve Tosya İlçesindeki Etkileri Üzerine Bir Değerlendirme. *Karatekin Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 42–64. <https://dergipark.org.tr/en/pub/karefad/issue/61341/877902>
- Fayaz, M., Romshoo, S. A., Rashid, I., and Chandra, R. (2023). Earthquake vulnerability assessment of the built environment in the city of Srinagar, Kashmir Himalaya, using a geographic information system, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 1593–1611, <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1593-2023>
- He C., Huang Q., Bai X., Robinson D.T., Shi P., Dou Y., Zhao B., Yan J., Zhang Q., Xu F., Daniell J. A global analysis of the relationship between urbanization and Fatalities in earthquake-prone areas. *Int J Disaster Risk Sci.* 2021;12:805–820. doi: 10.1007/s13753-021-00385-z.
- İbret, B. (2004). Tosya Şehrinin Fonksiyonel Özellikleri. *Marmara Coğrafya Dergisi* (9).
- Rastegar, A. (2017). Assessing urban streets network vulnerability against earthquake using GIS – Case study: 6th zone of Tehran. *ISPRS Archives*, XLII-4/W4, 455-462.
- Spence, R. (2007). Earthquake risk and mitigation in developing countries. *Earthquake Spectra*, 23(3), 535-552.

Xing, Y., Li, M., & Yang, B. (2022). Impact of Urbanization on Seismic Risk: A Study Based on Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 14(10), 2415. <https://doi.org/10.3390/rs14102415>

AKADEMİK PERSPEKTİFTEN

FİZİKİ COĞRAFYA

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com