

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yangın Hasarının ve Yangına Duyarlı Alanların Belirlenmesi: Aydıncık (Mersin) İlçesi Örneği, Türkiye

Fatih Ocak^{1,*}, Feride Cesur², Amira İsmail Aden³, Sevim Keklik³

¹Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 55850, Samsun.

²Ankara Kız Anadolu İmam Hatip Lisesi, 6150, Ankara.

³Prof. Dr. Necmettin Erbakan Anadolu İmam Hatip Lisesi, 6010, Ankara.

Özet

Akdeniz iklim kuşağında yer alan bir ülke olması sebebiyle Türkiye’de her yıl yüzlerce orman yangını meydana gelmekte ve bu yangınlar birçok zarara sebep olmaktadır. Bu zararın azaltılmasında orman yangınlarını önlemek ne kadar önemliyse yangın tahribatının azaltılması da o denli önemlidir. Dolayısıyla muhtemel bir yangın öncesinde hem erken yangın tespiti ve erken müdahale hem de tahribatın azaltılmasında orman yangınına duyarlı alanlar belirlenmelidir. Bu bağlamda Mersin’in Aydıncık ilçesinde 2021 Temmuz ayında meydana gelen orman yangınının oluşturduğu hasarı tespit etmek ve yangına duyarlı alanları belirlemek için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile yangın öncesi-sonrası arasındaki farkı belirlemek için Landsat 8 OLI/TIRS uydü görüntüleri kullanılarak NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) ve dNBR (Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) indeksleri hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise orman yangınına duyarlı alanlar belirlenerek Aydıncık ilçesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli orman yangını duyarlılık haritası oluşturulmuştur. NDVI indeksine göre 2020 yılında %13,43 olan çıplak arazi ve yerleşmelerin 2021 yılında %23,02’ye yükseldiği, farklı orman yoğunluklarının olduğu alanlarda ise azalma olduğu tespit edilmiştir. dNBR indeks sonuçlarına göre; %27,67’lik bir alanın (12.153,83 ha) yangından orta-yüksek derecede hasar gördüğü ve farklı bitki yoğunluğundaki alanlarda kayıplar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, orman yangını duyarlılık analizine göre sahanın %7,82 çok düşük, %22,46 düşük, %28,65 orta, %28,56 yüksek ve %12,50 oranında çok yüksek duyarlılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, NDVI, NBR-dNBR, Orman Yangın Hasarı, AHP, Duyarlılık

Determination of Fire Damage and Fire Susceptible Areas Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: A Case Study Aydıncık (Mersin) District, Türkiye

Abstract

As a country located in the Mediterranean climate zone, hundreds of forest fires occur every year in Türkiye and these fires cause many damages. Preventing forest fires is as important as reducing fire damage in reducing this damage. Therefore, areas susceptible to forest fire should be identified before a possible fire, both for early fire detection and early intervention and for reducing destruction. In this context, this study was carried out to determine the damage caused by the forest fire that occurred in Aydıncık district of Mersin in July 2021 and to identify fire-sensitive areas. In the first part of the study, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio) and dNBR (Differenced Normalized Burn Ratio) indices were calculated using Landsat 8 OLI/TIRS satellite images to determine the difference between before and after the fire with Remote Sensing (RS) techniques. In the second part of the study, forest fire susceptibility areas were identified, and a Geographic Information Systems (GIS) supported forest fire susceptibility map of Aydıncık district was created. According to the NDVI index, it was determined that bare land and settlements increased from 13.43% in 2020 to 23.02% in 2021, and there was a decrease in areas with different forest densities. According to the dNBR index results, it was determined that 27.67% (12,153.83 ha) was moderately-highly damaged by fire and there were losses in areas with different plant densities. In addition, according to the forest fire susceptibility analysis, it was determined that the area showed 7.82% very low, 22.46% low, 28.65% medium, 28.56% high and 12.50% very high susceptibility.

Keywords

Remote Sensing, Geographic Information Systems, NDVI-NBR-dNBR, Forest Fire Damage, AHP, Susceptibility

1. Giriş

Ormanlar hem varlıkları hem de yoklukları ile sadece ait oldukları ülkeler için değil, tüm insanlık için çok önemli doğal kaynaklardır (Bingöl, 2017). Ancak ormanlar; nüfustaki artış, kentleşme, sanayileşme ve bunların bir getirisi olan arazi kullanımındaki değişiklikler (örneğin yeni yerleşim alanı ve maden sahalarının ormanlardan yer açarak kurulması, tarım alanlarının orman yönünde genişlemesi) ve mevcut yasal düzenlemelerin yetersiz kalması nedeniyle alan olarak her geçen gün gerilemektedir. Bu sebeple en önemli doğal kaynaklar arasında yer alan ve ulusal ekonomideki değerleri her geçen gün artan orman varlığının artırılması ve hiç olmazsa mevcut halinin korunması kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir (Bilgili, 2014). Orman varlığının devam etmesi ve bu ekosistemin sürdürülebilir bir şekilde gelecek nesillere aktarılması için hem bireysel hem de küresel ölçekte sorumlu davranılması gerekmektedir. Ancak, Türkiye'nin de içinde bulunduğu iklim kuşağında orman yetiştirmek zordur. Çünkü bu kuşakta orman yetiştirmek için gerekli koşulların çok uygun olmaması, tahrip olan ekosistemin yeniden orman yetiştirmeye hazır duruma gelmesinin çok uzun yıllar gerektirmesi, dik ve engebeli topografik yapısının bozulmaya çok yatkın olması gibi sebeplerden ötürü orman varlığının artırılmasından ziyade mevcut ormanların korunması daha önemli bir hal almaktadır (Bingöl, 2017).

Orman ekosistemini en çok tehdit eden ve orman varlığının azalmasına sebep olarak ormanlar üzerinde yoğun bir baskı oluşturan unsurlardan biri orman yangınlarıdır. Orman yangınları birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de çok büyük maddi hasara ve can kayıplarına sebep olan afetlerdendir (Çepel, 1995). Orman yangınlarını engellemek çok zor olsa da zararlarını azaltmak, yangınları önceden tahmin etmek, büyümesini engellemek mümkündür. Bu durum ise orman yangınlarının oluşum, yangın ilerleme yönü ve oranı, yanıcı madde tüketimi, günlük meteorolojik etmenler (nem, rüzgârın yönü ve şiddeti) ve özellikleri, yangın şiddeti gibi yangına ait davranış özelliklerini önceden tahmin etmekle mümkün olabilmektedir (Yavuz & Sağlam, 2011; Yavuz vd., 2018; Dilekçi vd., 2021). Orman yangınlarına sebep olan etmenler çok olmakla birlikte bu etmenleri doğal ve beşeri olmak üzere iki ana başlık altında ele almak mümkündür; yıldırımlar, cam parçalarının optik etkileri ve rüzgârlı havalarda kuru dalların birbirine sürtünmesi doğal; bilinçli (ekonomik ve terör amaçlı) ve istem dışı (sigara izmariti, piknik ateşi, kazalar vb.) davranışlar ise beşerî etmenleri oluşturur (Şahin & Sipahioğlu, 2003).

Orman yangınları Akdeniz Havzası'nda yer alan diğer dünya ülkelerinde (Yunanistan, İspanya, İtalya vb.) olduğu gibi Türkiye'de de özellikle yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) meydana gelmektedir. Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibarıyla Akdeniz iklim kuşağında yer almakta ve bu durum orman yangınlarının ülkede gerçekleşmesi muhtemel afetler arasında olmasına sebep olmaktadır. Bu özellik sebebiyle Türkiye'de orman yangınları tamamen önlenemeyecek afetler arasında yer almaktadır (Doğanay & Doğanay, 2004). Orman yangınlarının özellikle Ege ve Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kesiminde ibrelili ağaçlardan oluşan ormanlarda daha çok olduğu görülmektedir (Orman Genel Müdürlüğü, 2022). Genel bir ifadeyle Ege ve Akdeniz kıyı kuşağı Türkiye'de orman yangınları açısından en riskli alanı oluşturmaktadır (Çömert vd., 2019; Dilekçi vd., 2021). Bu sahalarda meydana gelen orman yangınlarının daha çok beşeri sebeplerden ortaya çıktığı anlaşılmaktadır; Türkiye'de 2001-2020 yılları arasındaki dönemde gerçekleşen orman yangınları incelendiğinde orman yangınlarının %40'ının sebebinin tespit edilemediği, %35,3'ünün ihmâl-dikkatsizlik, %11,8'inin yıldırım, %8'inin kasit ve %4,9'unun ise kaza ile gerçekleştiği tespit edilmiştir (Orman Genel Müdürlüğü, 2022).

Son yıllarda özellikle yaz aylarında sıcaklıkların mevsim normallerinin üzerinde seyretmesi orman yangını açısından riskli bölgelerin artmasına sebep olmaktadır. Günümüzde hem küresel ısınma hem de beşeri faaliyetlerdeki olumsuz etkiler bir arada düşünüldüğünde orman yangınına duyarlı alanların yangın öncesi belirlenmesi özellikle afet öncesi dönem için yapılacak planlamalarda önem arz etmektedir. Gerek afet öncesi risk yönetimi gerek afet sonrası kriz yönetimi için orman yangınlarının erken tespiti ve yangına duyarlı alanların 7/24 izlenmesi şarttır. Önemli bir afet türü olarak kabul edilen orman yangınları için yangın öncesi ve sonrasında gerçekleştirilecek olan bu adımlar ve gözlemler oldukça önemlidir. Günümüzde bunların tespit edilmesinde ileri teknolojik uygulamalar olarak kabul edilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yaygın olarak kullanılmaktadır (Erten vd., 2005; Dong vd., 2005; Pradhan vd., 2007; Gai vd., 2011; Malik vd., 2013; Karabulut vd., 2013; Özşahin, 2014; Matin vd., 2017; Karakuş vd., 2017; Bingöl, 2017; Erdoğan vd., 2019; Dilekçi vd., 2021; Yüksel, 2022; Sivrikaya & Küçük, 2022; İban & Şahin, 2022; İban & Şekertekin, 2022; Abujayyab vd., 2022; Alkan Akıncı & Akıncı, 2023; Coşkun & Toprak, 2023; Demirel & Türk, 2023; Çelik vd., 2024; Akyürek, 2024). Bu teknolojiler yangınların önceden tahmin edilmesi, modellenmesi, yangın oluşumunun izlenmesi, söndürme çalışmalarının organize edilmesi, yangın sonrası oluşan hasarın belirlenmesi gibi çalışmalarda ucuz, hızlı ve doğruluk oranı yüksek analizlerin yapılmasına imkân sağlamaktadır (Erten vd., 2005; Tonbul, 2015; Sabuncu & Özener, 2019; Polat & Kaya, 2021; Dilekçi vd., 2021). Bu sebeple gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında CBS ve UA yöntemleri kullanılarak Mersin'in Aydıncık ilçesinde orman yangını öncesi ve sonrası arasındaki hasar farkı belirlenmiş ve yangın duyarlılık alanları tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında yangın bölgesinin yangından kaynaklı hasar tespiti yapılarak ne kadarlık bir alanda bitki örtüsü kaybı yaşandığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda NDVI, NBR ve dNBR indeksleri kullanılarak Aydıncık ilçesindeki bitki yoğunluğundaki değişim ve orman yangını hasarı hesaplanmıştır. Yine muhtemel orman yangınlarına karşı hazırlıklı olunması, yangından kaynaklanan risklerin asgari düzeye indirilmesi ve yangınların neden olduğu maddi veya fiziksel zararların önlenmesine ve karar vericiler tarafından risk planlarının yapılmasına katkı sağlamak amacıyla Aydıncık ilçesine ait orman yangını duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve özellikleri

Uydu Algılayıcısı	Zaman Aralığı	Spektral Bant	Yersel Çözünürlük	Radyometrik Çözünürlük (bits)	Günlük Görüntü Çekimi	
Landsat 8 OLI/TIRS	Yangın öncesi	05.09.2020	RED NIR	100 T, 30 MS, 15 PAN	12	400
	Yangın sonrası	25.08.2021	SWIR TIR			

MS: Multispektral, PAN: Pankromatik, T: Termal

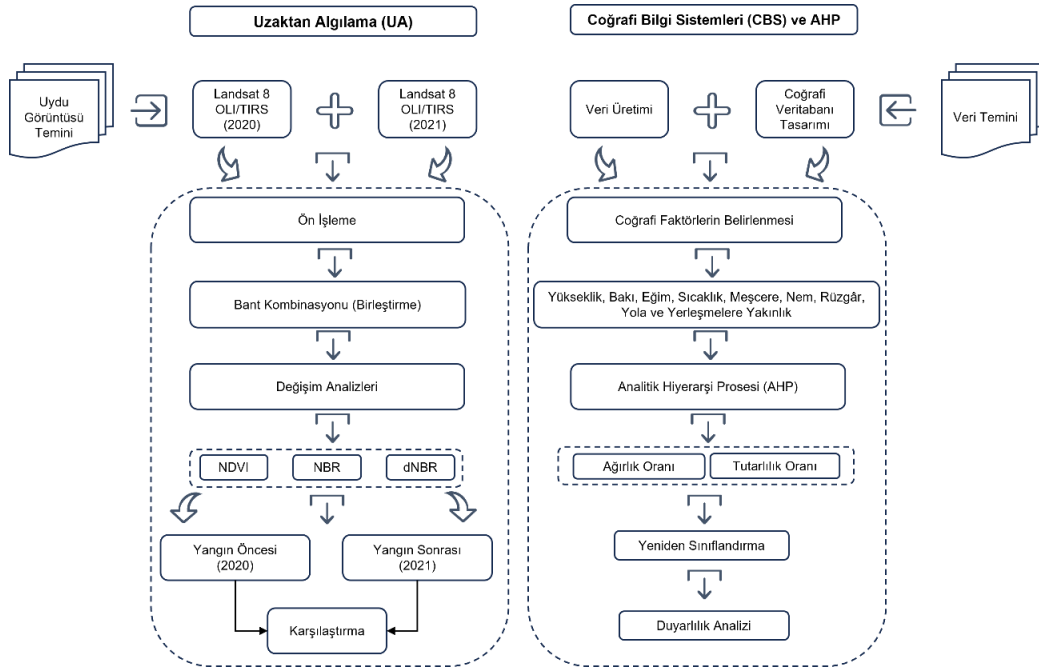
İndeks hesaplamalarını takiben gerçekleştirilen çalışmanın ikinci bölümünde ise orman yangınına duyarlı alanları belirlemek için literatürdeki geçmiş çalışmalar incelenmiş ve orman yangını duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan parametrelere ve bu parametrelere ait etki/önem puanlarına karar verilmiştir (Dong vd., 2005; Pradhan vd., 2007; Gai vd., 2011; Malik vd., 2013; Özşahin, 2014; Matin vd., 2017; Bingöl, 2017; Dilekçi vd., 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; İban & Şekertekin, 2022; Alkan Akıncı & Akıncı, 2023; Coşkun & Toprak, 2023). Duyarlılık analizinde kullanılmak üzere belirlenen parametrelere ait verilerin üretiminde ise bir dizi vektörel veriler üretilmiş ve temin edilmiştir (Tablo 2). Çalışmanın ikinci bölümünde yükseklik, bakı, eğim, sıcaklık, meşcere, nem, rüzgâr, yol ve yerleşmelere yakınlık parametreleri kullanılarak Aydıncık ilçesinde orman yangınına duyarlı alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır (Tablo 6).

Tablo 2: Çalışma kapsamında kullanılan veriler ve temin edildiği yerler

Veri	Veri Kaynağı	Üretilen Veri
1/25.000 Ölçekli Topografya Haritaları	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)	Eş yükselti eğrisi, zirve, akarsu, yerleşim yerleri, göl vb.
DEM (Digital Elevation Model)	U.S. Geological Survey (USGS)	Eğim, bakı
Meşcere	Orman Genel Müdürlüğü (OGM)	Bitki örtüsü
Ulaşım	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)	Ana yollar
İklim	Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)	Sıcaklık, rüzgâr, nem
Uydu Görüntüleri	Earth Explorer (USGS)	Spektral İndeksler

2.3. Yöntem

Çalışma kapsamında 2021 Temmuz ayında meydana gelen orman yangınının Aydıncık ilçesinde ne kadarlık bir alanda etki ettiğini hesaplamak için Uzaktan Algılama (UA) teknikleri, muhtemel yangın alanlarının önceden belirlenmesi için de CBS ve AHP tekniklerinden yararlanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2: Çalışmada kullanılan yöntemlerin iş akış şeması

2.3.1. Uzaktan Algılama (UA)

Spektral İndeksler

Orman yangın alanlarının incelenmesinde Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ile Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR), yangının verdiği hasarı belirleyebilmek içinse Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) yaygın olarak kullanılan indekslerdir (Kshetri, 2018). Aydınlık ilçesi orman örtüsündeki 2020 ve 2021 yıllarına ait değişimi ve yangın hasarını belirlemek için kullanılan indeksler ve bant değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: NDVI, NBR, dNBR indeksleri ve kullanılan bant değerleri

Uydu Algılayıcısı	İndeks	Formül	Bant	Referans
Landsat 8 OLI/TIRS	NDVI	$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$	$NDVI=(Bant\ 5-Bant\ 4)/(Bant\ 5+Bant\ 4)$	Kshetri (2018)
Landsat 8 OLI/TIRS	NBR	$NBR=(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$	$NBR=(Bant\ 5-Bant\ 6)/(Bant\ 5+Bant\ 6)$	Miller & Thode (2007)
Landsat 8 OLI/TIRS	dNBR	$dNBR=NBR(YÖ)-NBR(YS)$	-	Sabuncu & Özener (2019)

YÖ: Yangın Öncesi, YS: Yangın Sonrası

Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

Uzaktan Algılama uygulamaları ile yeşil bitki örtüsünün tespitinde zamanla pozitif ve negatif yönde değişimin izlenmesinde en sık kullanılan indeks NDVI indeksidir (Sabuncu & Özener, 2019). NDVI, yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant görüntülerinin matematiksel bir oranla ifade edilmesidir (Kshetri, 2018). NDVI değerlerini teorik olarak ifade etmek için (-1) ile (+1) arasındaki değerler kullanılmaktadır. Bitki örtüsünün gür ya da yoğun olduğu sahalarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken, bitki örtüsünün seyreltiği ya da olmadığı yerlerde bu değer -1'e doğru yaklaşmaktadır (Hatfield vd., 1985).

Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) İndeksleri

Orman yangınları sonrasında yanan sahalarda meydana gelen değişimi belirlemek için kullanılan indekslerden bir diğeri NBR ve dNBR indeksleridir. Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) indeksi özellikle yangın öncesi ve sonrası arasındaki farkı ortaya koymak için kullanılmaktadır (Key & Benson, 2005). Orman yanma şiddetini tespit etmek içinse yaygın olarak Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Differenced Normalized Burn Ratio-dNBR) indeksi kullanılmaktadır (Lutes vd., 2006; Miller & Thode, 2007). dNBR indeksi orman yangını öncesi ve sonrası normalize edilmiş yanma şiddetinin birbirinden çıkarılması ile hesaplanmaktadır (Sabuncu & Özener, 2019). dNBR indeksinde yanan ve yanmayan yerler (-2) ile (+2) değerleri arasında değişim göstermektedir (Miller & Thode, 2007). Yanmış alanlar 0,10 ile 1,35 arasında değişirken, yanmamış alanlar ise -0,10 ile +0,10 arasında değişmektedir (Sabuncu & Özener, 2019). dNBR indeksi için dikkate alınan bu değerler yanma şiddetinin hesaplanmasında kullanılan ve United States Geological Survey Fire Effects Monitoring and Inventory Protocol (USGS-FIREMON) tarafından hazırlanmış standart aralıklardır (Tablo 4; Lutes vd., 2006; Fire Effects Monitoring and Inventory System, 2024). Bu standart aralıklar sabittir. Ancak bir sahadaki yanma şiddeti kategorisi mevsimsel dönem, meteorolojik şartlar, beşeri faaliyetler ve fiziksel unsurlara (eğim şartları, jeomorfolojik etmenler vb.) bağlı olarak Tablo 4'teki gibi farklılık gösterebilmektedir. Pozitif değerler yangın sonrası NBR'nin yangın öncesi NBR'den daha küçük olduğunu, negatif değerler ise yangın sonrası NBR'nin yangın öncesi NBR'den daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır (Lutes vd., 2006). Tablo 4'e göre negatif ve negatif değere yakın alanlarda yanma şiddetinin az, pozitif ve pozitif yakın alanlarda ise yanma şiddetinin artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 4: Yanma şiddeti derece ve kategorileri (Fire Effects Monitoring and Inventory System, 2024)

dNBR	Yanma Şiddeti Kategorisi
<-0,25	Yüksek seviyede yangın sonrası yeşerme
-0,25/-0,1	Düşük seviyede yangın sonrası yeşerme
-0,1/0,1	Yanmamış alan
0,1/0,27	Düşük yanma şiddeti
0,27/0,44	Orta-Düşük yanma şiddeti
0,44/0,66	Orta-Yüksek yanma şiddeti
>0,66	Yüksek yanma şiddeti

2.3.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Duyarlılık analizi çalışmalarında özellikle bir yerleşim yerini etkileme durumu söz konusu olduğunda duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde birçok farklı yöntem kullanılmakla birlikte en çok tercih edilen yöntem AHP'dir (Ocak & Bahadır, 2022). Çünkü AHP, herhangi bir probleme çözüm üretme konusunda birden fazla coğrafi faktörün girdi olarak kullanılabilmesine ve bu faktörler arasında önem sıralaması yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca AHP, hem kolay uygulanabilirliği ve sadeliği hem de anlaşılmasının kolay olması nedeniyle duyarlılık analizlerinde sıkça başvurulan teknikler arasında yer almaktadır (Özşahin, 2014; Işık vd., 2020; Şirin & Ocak, 2020; Duman & İrcan, 2022; Coşkun & Ortaç, 2022; Ocak & Bahadır, 2022; Sivrikaya & Küçük, 2022; Coşkun & Toprak, 2023). AHP farklı sayıdaki alternatifler arasından tercih yapılmasında, bu alternatiflerin muhtemel alt sınıflara ayrılmasında ve her bir kriter için ağırlık ve tutarlılık oranlarının hesaplanarak ortaya koyduğu verilerle karar vericilere yardımcı olmaktadır (Özcan, 2017; Ocak vd., 2021). AHP ile parametreler arasında ikili karşılaştırma matrisleri kurularak her bir parametreye 1-10 arası puan verilmektedir. Burada 1 en düşük etkiye, 10 ise en yüksek etkiye sahip anlamını taşımaktadır (Saaty, 1989; Tablo 5). Karar vericiler problemlerin çözümünde AHP ile elde edilen değerleri tutarlılık oranlarına göre yorumlayabilmekte ve bu tutarlılık oranına göre elde ettikleri değerleri çalışmalarında kullanıp kullanamayacaklarına dair fikir sahibi olabilmektedir. Bahsi geçen tutarlılık değeri Saaty (1989)'a göre $\leq 10\%$ olmalıdır (Saaty, 1989). Çalışma kapsamında belirlenen ana coğrafi faktörler ve bu faktörlere bağlı alt faktörlerin ağırlık ve tutarlılık oranları K.D. Goepel tarafından tasarlanan ve daha sonra güncellenen programın 15.09.2018 tarihli versiyonu ile hesaplanmıştır (Goepel, 2013).

Tablo 5: Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) önem ölçeği (Saaty, 1989)

Önem Derecesi	Tanım		Önem Derecesi
1	Eşit derecede önemli		1
3	Orta derecede daha önemli	Orta derecede daha az önemli	1/3
5	Güçlü derecede daha önemli	Güçlü derecede daha az önemli	1/5
7	Çok güçlü derecede daha önemli	Çok güçlü derecede daha az önemli	1/7
9	Son derece daha önemli	Son derece daha az önemli	1/9
2, 4, 6, 8	Ara değerler		1/2, 1/4, 1/6, 1/8

AHP bir problemin çözümünde farklı birçok kriterin birlikte kullanılmasına imkân vermesine rağmen ortaya çıkan sayısal ifadelerin mekânsal olarak gösteriminde yetersiz kalmaktadır (Ersayın, 2016). AHP'nin bu eksikliği ise güçlü mekânsal yeteneklere sahip Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile giderilmektedir. AHP ile elde edilen sayısal değerler CBS teknikleri ile mekâna aktarılmakta ve gerçekleştirilen duyarlılık analizlerinin sonuçları izlenebilmektedir. AHP ile elde edilen değerler aynı zamanda CBS teknikleri sayesinde haritalara aktarılarak karar vericilerin afet öncesinde risk planlamalarına önemli katkıda bulunmaktadır.

CBS teknikleri ile gerçekleştirilen mekânsal analizler hem verilerden bilgi üretimine hem de üretilen bilgilerin doğru ve sağlıklı bir şekilde kullanımına yardımcı olmaktadır (Ocak, 2023). Aydıncık ilçesi ormanlık alanlarındaki yangın öncesi ve yangın sonrası uydu görüntüleri arasındaki değişiklik ve orman yangınına bağlı meydana gelen zararın boyutları hesaplandıktan sonra, CBS ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla Aydıncık ilçesinin orman yangınına duyarlı alanları tespit edilmiştir. Böylece ilçedeki potansiyel orman yangın alanları belirlenmiştir. Gerçekleştirilen orman yangını duyarlılık analizinde yükseklik, bakı, eğim, sıcaklık, meşcere, nem, rüzgâr, yol ve yerleşmelere yakınlık olmak üzere 9 ana coğrafi faktör ve bu faktörlere ait 45 adet alt coğrafi faktör kullanılmıştır. Bu faktörler ve faktörlere verilen etki puanları belirlenirken hem ilgili literatür hem de uzman görüşlerine başvurulmuştur (Dong vd., 2005; Mahdavi vd., 2012; Özşahin, 2014; Bingöl, 2017; Erdoğan vd., 2019; Dilekçi vd., 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; Coşkun & Toprak, 2023).

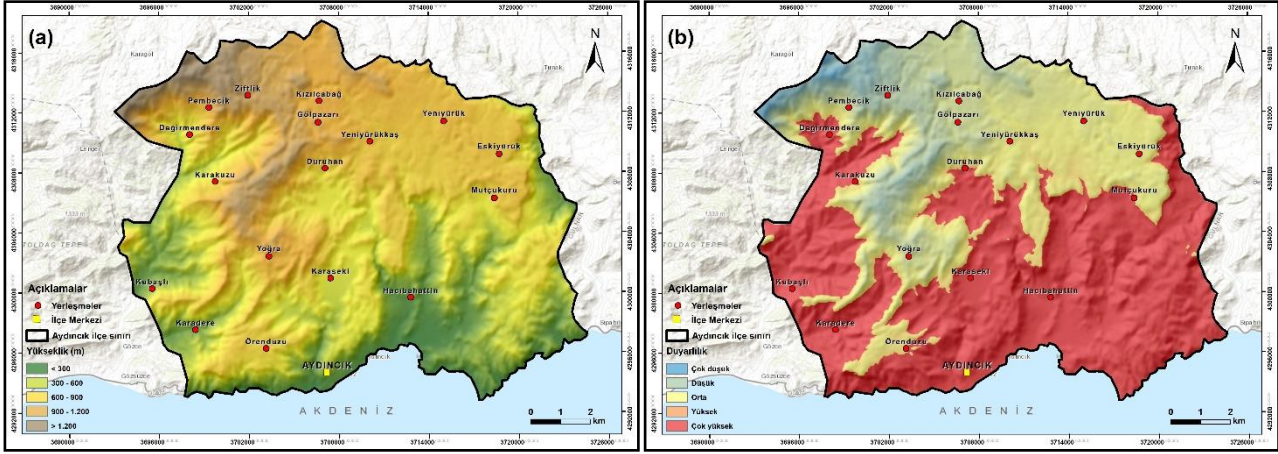
Tablo 6: Coğrafi faktörler ve sayısal değerleri

Coğrafi Faktör	Alt Kriter	Alan		Alt Kriter Ağırlık (%)	Tutarlılık (%)	Ağırlık (%)
		km ²	%			
Yükseklik (m)	<300	5,10	1,38	46,8	2	2,54
	300-600	40,31	10,89	26,8		
	600-900	120,06	32,45	14,4		
	900-1.200	124,17	33,56	7,6		
	>1.200	80,36	21,72	4,4		
Bakı	Düz	2,18	0,59	4,5	7	5,91
	Kuzeyli Sektörler (K, KB, KD)	99,91	27,00	4,9		
	Doğu	52,70	14,24	12,8		
	Batı	44,95	12,15	19,7		
	Güneyli Sektörler (G, GB, GD)	170,26	46,02	58,1		
Eğim (°)	<5	47,28	12,78	3,5	8	8,25
	5-10	65,24	17,63	6,8		
	10-20	124,72	33,71	13,4		
	20-30	89,47	24,18	26,0		
	>30	43,29	11,70	50,3		
Sıcaklık (°C)	<22	1,77	0,48	6,2	2	21,94
	22-24	34,02	9,19	9,9		
	24-26	198,29	53,59	16,1		
	26-27	87,13	23,55	26,2		
	>27	48,79	13,19	41,6		
Meşcere	Bozuk arazi	76,84	20,77	3,3	3	26,76
	Servi	5,35	1,45	9,6		
	Zeytin ve maki	26,17	7,07	15,4		
	Bozuk kızılçam	87,06	23,53	26,2		
	Kızılçam	171,58	46,37	45,5		
Nem	<20	7,54	2,04	42,7	6	11,48
	20-30	68,57	18,53	27,6		
	30-40	103,44	27,96	16,5		
	40-50	176,41	47,68	10,2		
	>50	14,04	3,79	3,0		
Rüzgâr (km/h)	<10	7,14	1,93	3,5	8	15,80
	10-16	89,13	24,09	6,8		
	16-23	145,77	39,40	13,4		
	23-29	63,15	17,07	26,0		
	>29	64,81	17,52	50,3		
Yola Yakınlık (m)	<10	250,73	67,76	47,5	1	3,12
	10-100	49,63	13,41	26,6		
	100-200	30,38	8,21	14,2		
	200-400	33,51	9,06	7,5		
	>400	5,75	1,55	4,2		
Yerleşmelere Yakınlık (m)	<10	186,78	50,48	45,6	7	4,19
	10-500	128,04	34,61	29,6		
	500-1.000	40,99	11,08	14,1		
	1.000-2.000	14,11	3,81	7,5		
	>2.000	0,08	0,02	3,3		

Duyarlılık Analizinde Kullanılan Topografik Faktörler (Yükseklik, Bakı ve Eğim)

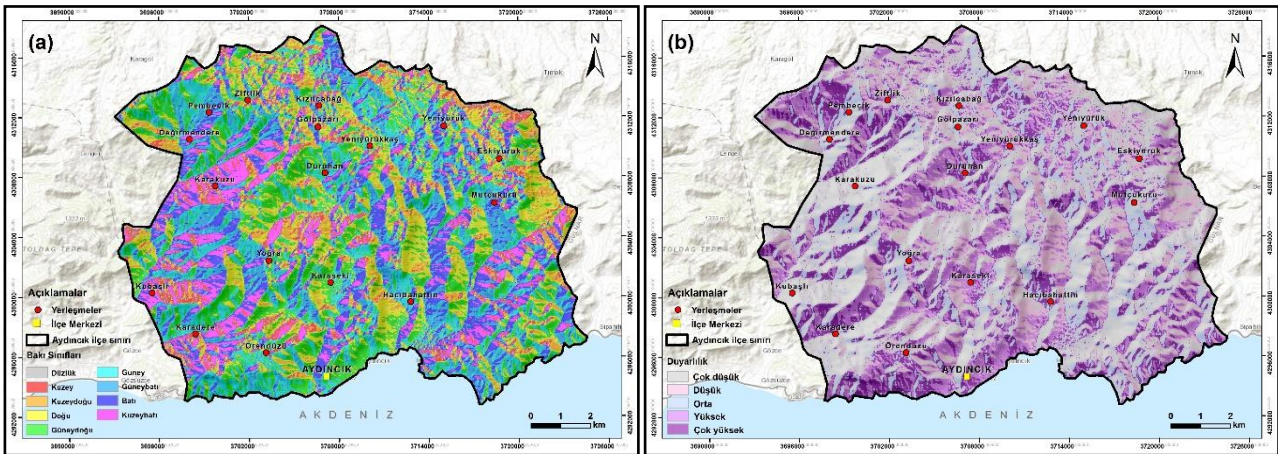
Bir bölgede orman yangınlarını etkileyen en önemli faktör topografik özelliklerdir (Dilekçi vd., 2021). Çünkü topografya, yangınların oluşumundan yangınlara müdahaleye kadar birçok özellik üzerinde etkilidir. Ayrıca topografik özelliklerin yangınların oluşumlarının yanı sıra yangın davranışlarında da etkilerinin yüksek olduğu kabul edilmektedir (Mol & Küçükosmanoğlu, 1997; Karabulut vd., 2013). Topografik özelliklerden orman yangınları ve yangınların davranışları üzerinde belirleyici rol oynayan en önemli faktörler yükseklik, bakı ve eğimdir (Pyne vd., 1996). Yükselti; yağışın oluşumu, türü, miktarı ve yükseklik artışına göre orman yangınlarına etki etmektedir. Özellikle yükseltinin çok olduğu yerlerde orman yangınları daha az iken, yükseltinin az olduğu yerlerde orman yangınlarının daha sık olduğu görülmektedir (Rothermel, 1983; Vadrevu vd., 2010; Ghobadi vd., 2012; Özşahin, 2014; Dilekçi vd., 2021).

Bu durumun temel sebebi olarak yükseltinin az olduğu yerlerde yağışın daha az, sıcaklıkların daha fazla ve antropojenik etkilerin hissedilir olduğu söylenebilir (Setiawan vd., 2004; Dong vd., 2005; Özşahin, 2014). Çalışma alanının yükseltisi 0-1.425 m arasında değişmektedir. Bu özellikleri sebebiyle duyarlılık analizi kapsamında yükseltinin az olduğu yerlere yüksek, fazla olduğu yerlere ise düşük önem puanları verilmiştir. Dolayısıyla yükseltinin 0-300 m arasında olduğu alanlar çok duyarlı, 1.200 m ve üzeri alanlar ise çok düşük duyarlı alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3). Yükselti parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %2,54, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 3: a) Yükseklik ve b) yükseklik duyarlılık sınıfları

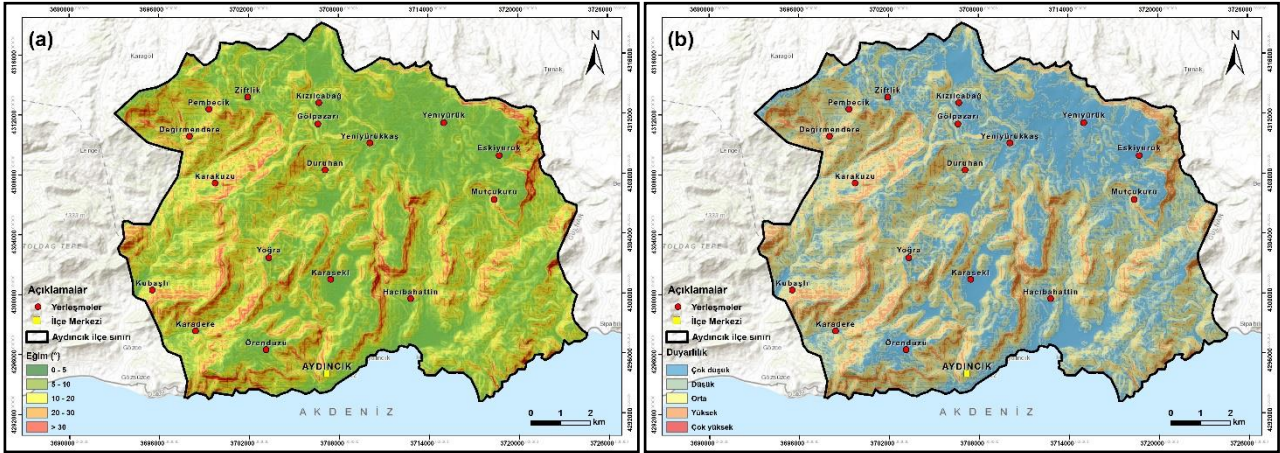
Orman yangınları üzerinde etkili olan bir diğer topografik özellik bakıdır. Bakı, orman yangınlarının oluşumu ve yayılmasında önemli bir parametredir. Bakı, yamaçların güneşlenme süresi ve nem oranına etki etmesiyle ön plana çıkmaktadır. Güneş'in etkisi Kuzey Yarım Küre (KYK) için güney yamaçlarda daha fazla hissedilmekte (Mol & Küçükosmanoğlu, 1997) ve güney yamaçların daha çok ısınmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla bu durum muhtemel orman yangınları için uygun zemin oluşturmaktadır. Bu özellikleri sebebiyle duyarlılık analizi kapsamında bakı için güney sektörlü yamaçlara yüksek, kuzey sektörlü yamaçlara düşük önem puanları verilmiştir. Sonuçta güney sektörlü yamaçlar çok duyarlı iken, kuzey sektörlü yamaçlar çok düşük duyarlı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4). Bakı parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %5,91, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 4: a) Bakı ve b) bakı duyarlılık sınıfları

Orman yangınları üzerinde etkili olan bir diğer topografik özellik eğimdir. Eğim; oluşan yangının hareketinde, sıçramasında ve yangına müdahaledeki etkileri göz önünde bulundurularak dikkate alınan bir parametredir. Eğim; rüzgârın esme yönü ve şiddetini etkilemektedir. Ayrıca eğimin yüksek olduğu alanlarda orman yangın hızı artış göstermekteyken, eğimin az olduğu alanlarda yangının hızı daha düşük olmaktadır. Yine eğimin yüksek olduğu alanlarda yangına müdahale zorlaşırken, eğimin az olduğu alanlarda yangına müdahale daha kolay olmaktadır. Çalışma sahası eğimin oldukça yüksek olduğu arazi yapısına sahiptir. Çalışma sahasında eğim değerleri 0-70° arasında değişmektedir.

Bu özellikleri sebebiyle duyarlılık analizi kapsamında eğim değerlerinin az olduğu yerlere düşük, fazla olduğu yerlere ise yüksek önem puanları verilmiştir. Dolayısıyla eğim derecesi $33-70^\circ$ arası çok duyarlı, $0-8^\circ$ arası ise çok düşük duyarlı alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5). Eğim parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %8,25, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %8 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).

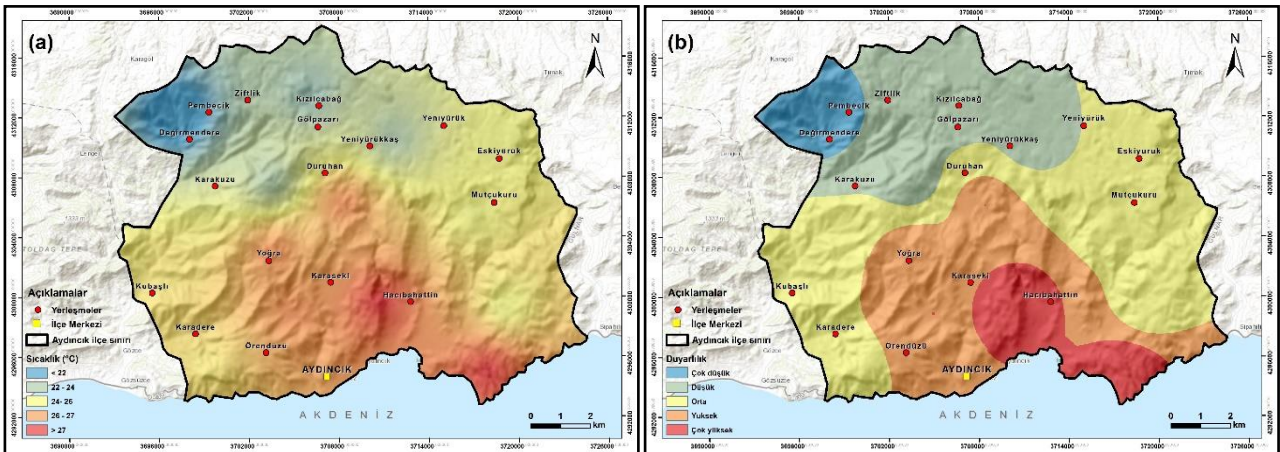


Şekil 5: a) Eğim ve b) eğim duyarlılık sınıfları

Özette topografik özellikler yerel ölçekte iklimsel farklılıklara sebep olmakta (Goldammer & Nikolov, 2009; Mahdavi vd., 2012; Özşahin, 2014; Gigovic vd., 2018) ve böylece orman yangınları ile yangınların davranışlarına etki etmektedir.

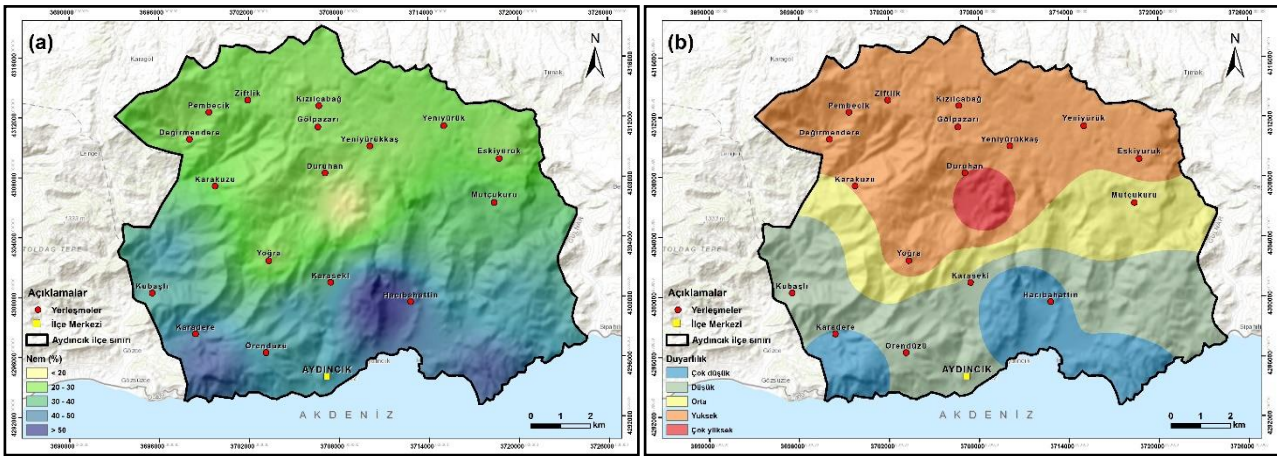
Duyarlılık Analizinde Kullanılan İklimsel Faktörler (Sıcaklık, Nem ve Rüzgâr)

İklim elemanları orman yangınlarının oluşumu ve ilerlediği alanın yönünü tayin eden faktörler olarak ön plan çıkmaktadır. Bu faktörlerden biri olan sıcaklık hem diğer iklim elemanlarını (yağış, nem, rüzgâr, basınç) hem günlük meteorolojik parametreleri (buharlaşma, yerel rüzgâr vb.) etkilemektedir. Sıcaklık, nem koşullarının da yangına elverişli olması durumunda doğadaki yanıcı cisimlerin kolayca tutuşabilme özelliğini ortaya çıkarmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Bir başka deyişle oluşabilecek küçük bir kıvılcım dahi yanıcı maddelerdeki yakıt ile havadaki nem kapasitesine bağlı olarak orman yangını oluşma potansiyelini artırmaktadır. Sıcaklıktaki yükseliş bağıl nem ve yanıcı maddeler üzerindeki nemi azaltırken, günlük meteorolojik parametrelerden olan yerel rüzgâr, atmosferik kararsızlık, evapotranspirasyon ve yakıt sıcaklığını artırmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Dolayısıyla gün içinde hava sıcaklığı arttıkça bağıl nem azalacak ve orman yangınları için uygun bir ortam oluşacaktır. Çalışma sahasında ortalama sıcaklık $22-28^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir. Yaz aylarında ise bu değer 30°C 'yi bulmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021). Bu açıklamalar ışığında duyarlılık analizi kapsamında sıcaklık değerlerinin az olduğu yerlere düşük, fazla olduğu yerlere ise yüksek önem puanları verilmiştir. Dolayısıyla sıcaklık değeri 27°C 'den fazla olan alanlar çok yüksek duyarlı, 22°C 'den az olan alanlar ise çok düşük duyarlı alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 6). Sıcaklık parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %21,94, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



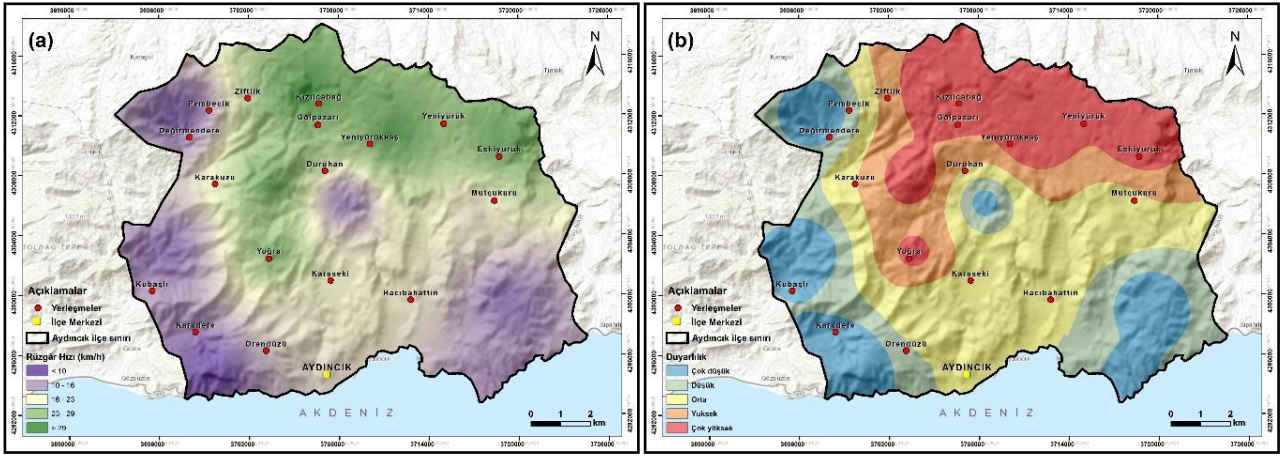
Şekil 6: a) Sıcaklık ve b) sıcaklık duyarlılık sınıfları

Orman yangınları üzerinde etkili olan bir diğer iklimsel faktör nemdir. Havadaki kuruluğun bir göstergesi olan bağıl nem, yangın potansiyeli ve yangın davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Nem, cisimler üzerindeki bulunma oranına göre orman yangınlarına etki etmektedir. Ormandaki yanıcı madde özelliği taşıyan cisimler üzerinde nem ne kadar az ise yangının meydana gelme ihtimali o denli artmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Ormanda bulunan yanıcı maddelerdeki nem oranı havanın sıcaklığı, yağış durumu ve bağıl nemden etkilenmektedir. İklim elemanları yanıcı maddeler üzerindeki nemin varlığına etki ederek nemin dolaylı bir şekilde orman yangınları üzerinde etkili olmasına sebep olmaktadır. Özellikle yaz aylarında gün içerisinde öğle vakitlerinde hava sıcaklığının artış göstermesi yanıcı cisimlerdeki nem oranını iyice düşürmekte ve meydana gelen yangınlara müdahaleyi de zorlaştırmaktadır. Bu sebeple yangınla etkili mücadelenin yanıcı maddelerdeki nem oranının arttığı gece saatlerinde olduğu bilinmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Nispi nemin yangının yayılma hızı üzerindeki etkisi %0-15 çok hızlı (tehlikeli), %16-25 hızlı, %26-40 orta, %40 ve üstü ise yavaş olmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Nemin orman yangınları üzerindeki bu etkileri göz önünde bulundurularak duyarlılık analizi kapsamında nemin az olduğu alanlara yüksek, fazla olduğu alanlara ise düşük önem puanları verilmiştir. Çalışma sahasında nem miktarının %10-60 arasında değiştiği göz önünde bulundurulduğunda nem oranının az olduğu yerler çok yüksek duyarlı, fazla olduğu alanlar ise çok düşük duyarlı alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 7). Nem parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %11,48, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %6 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 7: a) Nem ve b) nem duyarlılık sınıfları

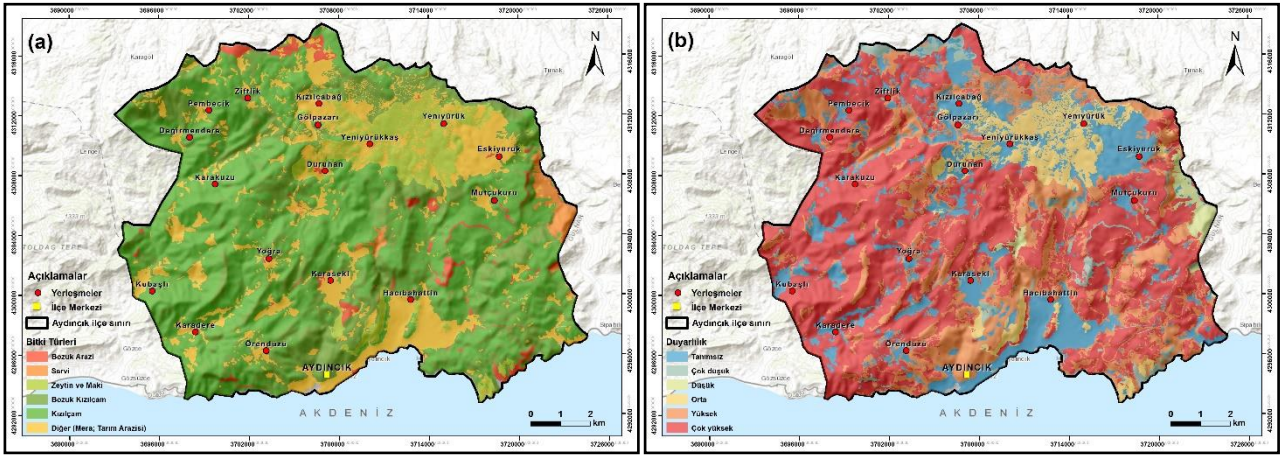
Orman yangınları üzerinde etkili olan bir diğer iklimsel faktör ise rüzgârdır. Rüzgâr, özellikle kurumuş ağaç dallarının birbirine sürtünmesi, yangının ilerleme yönü ve şiddeti sebebiyle yangının kontrol altına alınması gibi farklı değişkenler üzerinde etkilidir. Orman yangınlarında ilk tutuşmaya sebep olan kaynak ne olursa olsun yangının yayılmasında rüzgârın hızı ve yönü, hava sıcaklığı ve bağıl nem ile en önemli faktördür (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Hava sıcaklığının 25 °C ya da üzerine çıktığı ve bağıl nemin %40 altına düştüğü zamanlar orman yangını için en elverişli şartların olduğu durumlar demektir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023). Böyle durumlarda orman yangını rüzgârın da etkisiyle çok çabuk yayılır ve orman yangınının etki ettiği alan genişlemeye başlar. Günlük meteorolojik şartlar değişmedikçe böyle bir yangına müdahale etmek de oldukça güçtür. Ayrıca rüzgâr yanan orman cisimlerinin taşınması, arazideki yanıcı faktörler üzerindeki nemi azaltması ya da yanıcı maddeleri kurutması gibi sebeplerle orman yangınlarını etkiler. Bu sebeple rüzgârların hangi yönden estiği ve şiddetinin orman yangınları açısından önemi büyüktür. Bu açıklamalar ışığında duyarlılık analizi kapsamında rüzgâr hızının düşük olduğu yerlere düşük, fazla olduğu yerlere ise yüksek önem puanları verilmiştir. Çalışma sahasında rüzgâr hızının 29 km/h'den yüksek olduğu yerler çok yüksek duyarlı, 10 km/h'den düşük olduğu yerler ise çok düşük duyarlı alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 8). Rüzgâr parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %15,80, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %8 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 8: a) Rüzgâr hızı ve b) rüzgâr hızı duyarlılık sınıfları

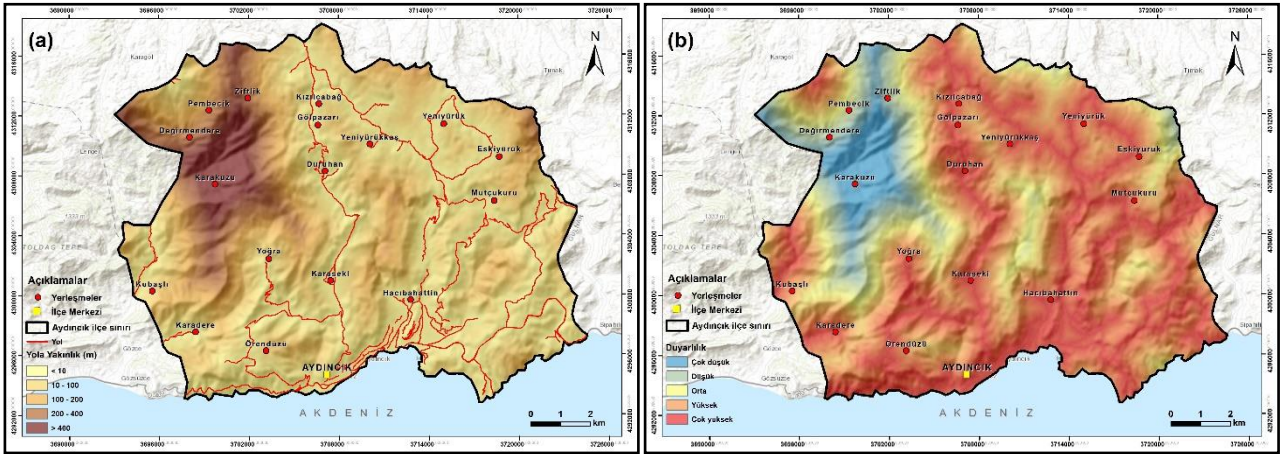
Duyarlılık Analizinde Kullanılan Diğer Faktörler (Meşcere-Bitki Örtüsü, Yola ve Yerleşmelere Yakınlık)

Orman yangınlarının başladığı noktayı ve yangının davranışını etkilemesi bakımından bitki örtüsü önemli coğrafi faktördür (Karabulut vd., 2013). Çünkü her bir bitkinin, bitki topluluğunun yangına karşı duyarlılık seviyesi farklıdır. Söz gelimi kuru karakter sergileyen kızılçam gibi iğne yapraklı bitkiler yangına karşı daha hassas olurken, nemli ortamlarda yetişen geniş yapraklı bitkiler ise yangına karşı daha az duyarlıdır ve dolayısıyla tutuşmaları zordur. Bir başka deyişle bitkilerin yangına karşı hassasiyetleri sahip oldukları su istekleri ile orantılıdır (Özşahin, 2014). Yani su isteği az olan bitkiler, su isteği yüksek olan bitkilere göre orman yangınına karşı daha çok duyarlıdır (Karabulut vd., 2013). Çalışma sahası olan Aydınçık ilçesinde hâkim olan bitki topluluğu kızılçamdır. Çalışma sahasında sahip olduğu özellikler nedeniyle kızılçamların olduğu alanlar çok yüksek duyarlı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 9). Dolayısıyla duyarlılık analizi kapsamında kızılçamlara en yüksek önem puanı verilirken, diğer bitki topluluklarına daha az önem puanları verilmiştir. Meşcere parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %26,76, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %3 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



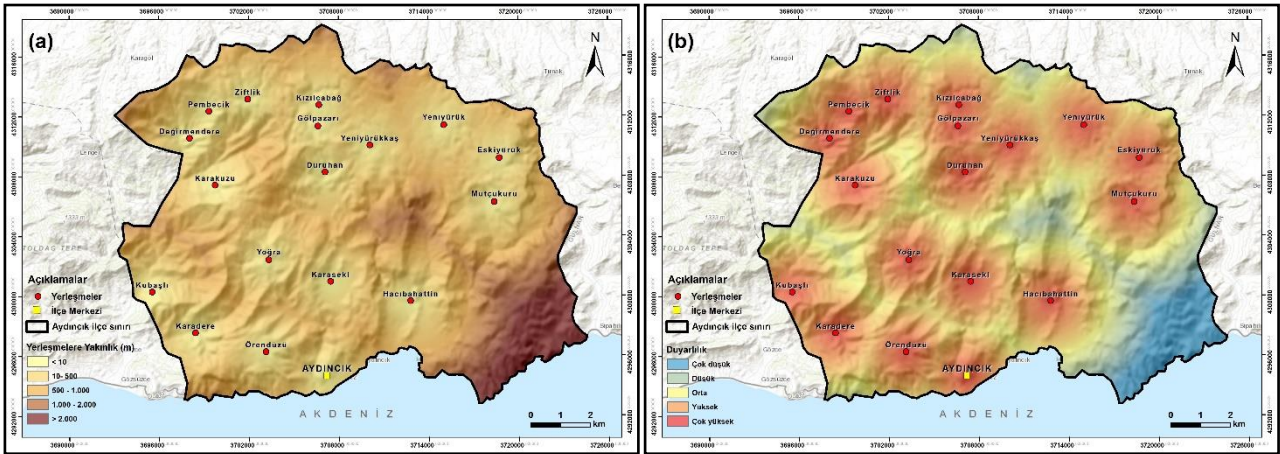
Şekil 9: a) Meşcere ve b) meşcere duyarlılık sınıfları

Sürekli bir hareket alanı ya da hareketlilik oluşturması ve beşeri faaliyetin hep faal olması nedeniyle yollar ve yollara yakın olan alanlar orman yangınları açısından önemli rol oynamaktadır. Yollar üzerinde meydana gelebilecek kazalar, araçlardan etrafa atılan cam niteliğindeki cisimler, söndürülmemiş sigara izmariti vb. gibi çeşitli unsurlar orman yangınlarının oluşmasında risk teşkil etmektedir. Beşeri faaliyetlerin etkin olması nedeniyle yola yakın olan alanlarda yangın riski de her daim yüksektir (Jaiswal vd., 2002; Erten vd., 2005; Joaquim vd., 2007). Yola yakınlık faktörünün bu etkisi göz önünde bulundurularak duyarlılık analizi kapsamında yola en yakın alanlara yüksek önem puanı verilirken, yoldan uzaklaştıkça verilen önem puanı da düşürülmüştür. Dolayısıyla çalışma sahasında yola yakın olan alanlar çok yüksek duyarlı, yoldan uzak olan alanlar ise duyarlılığın düşük olduğu alanlar olarak değerlendirilmiştir (Şekil 10). Yola yakınlık parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %3,12, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %1 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).



Şekil 10: a) Yola yakınlık ve b) yola yakınlık için duyarlılık sınıfları

Orman yangınları üzerinde etkili olan coğrafi faktörlerden bir diğeri yerleşmelere yakınlıktır. Beşeri faaliyetlerin en yoğun olduğu bu faktör orman yangınlarının oluşumundan, gelişmesi ve söndürülmesine kadar olan tüm süreçte hep etkin rol oynamaktadır. Bu süreçte orman yangınına sebep olabilir, orman yangınından etkilenerek can ve mal kaybı yaşayabilir ve orman yangınınin büyümeden söndürülmesine katkı verebilir. Dolayısıyla ormanların yerleşmelere yakın olan alanlarında yangın çıkma potansiyeli diğer alanlarına göre her zaman daha yüksek olarak değerlendirilmektedir (Karabulut vd., 2013). Yine yerleşme alanlarındaki beşeri faaliyetler kaza ya da ihmal sonucu orman yangınlarının oluşmasında yüksek etkiye sahiptir (Jaiswal vd., 2002; Erten vd., 2005; Joaquim vd., 2007). Yerleşme alanlarının bahsi geçen bu etkileri sebebiyle yerleşmelere yakın olan alanlara yüksek, yerleşmelerden uzak olan alanlara ise düşük önem puanı verilmiştir. Dolayısıyla yerleşmelere yakın olan alanlar çok yüksek, uzak olan alanlar ise düşük duyarlılığa sahip olarak değerlendirilmiştir (Şekil 11). Yerleşmelere yakınlık parametresinin orman duyarlılığı analizinde genel ağırlık oranı %4,19, kurulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kırılımları için tutarlılık oranı ise %7 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).

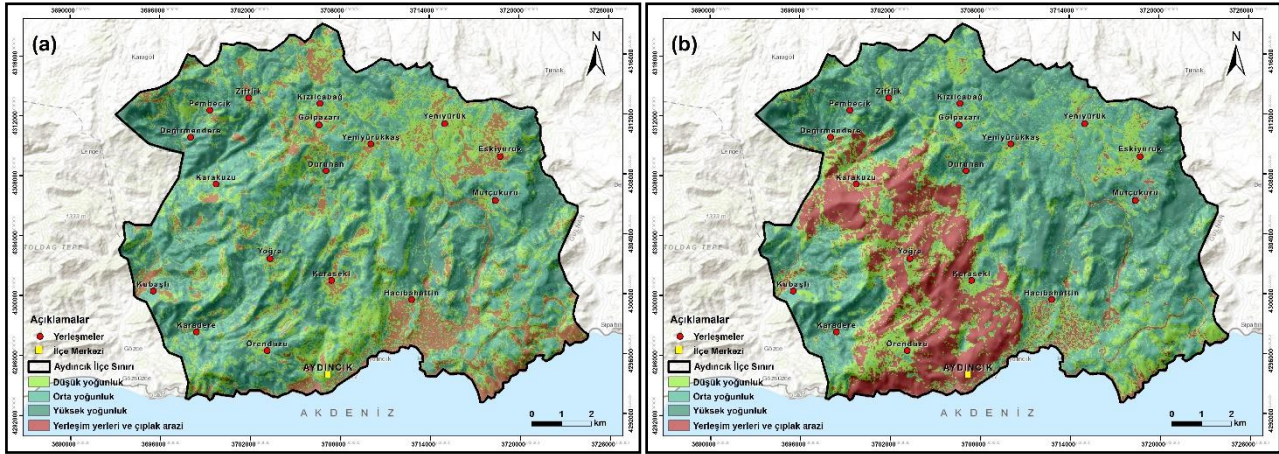


Şekil 11: a) Yerleşmelere yakınlık ve b) yerleşmelere yakınlık için duyarlılık sınıfları

3. Bulgular ve Tartışma

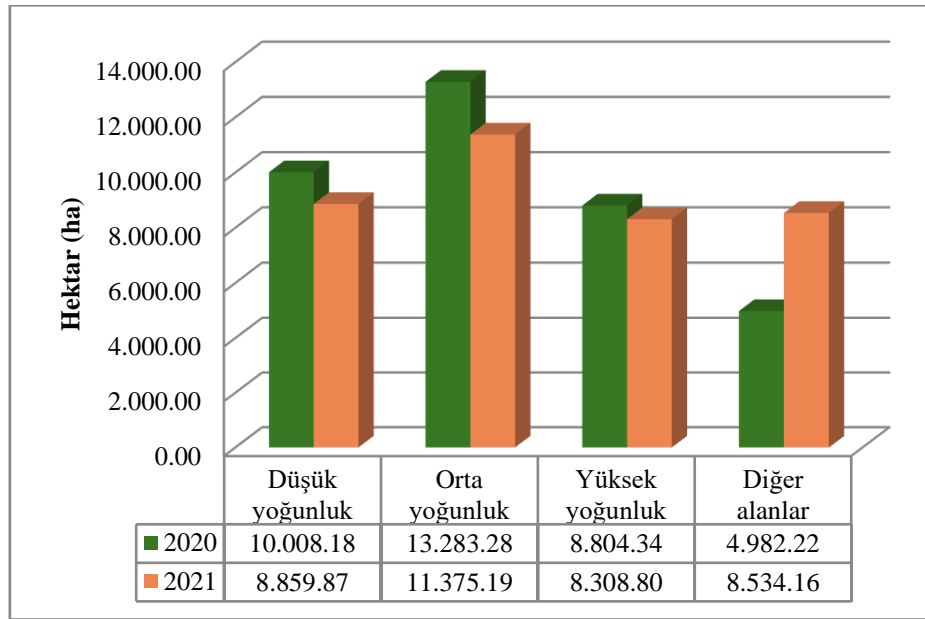
3.1. Uydü Görüntüsü Analizleri

Çalışmanın ilk bölümünde yanan alanları Landsat 8 OLI/TIRS uydü görüntüleri üzerinden tespit etmek ve haritalamasını yapmak için üç farklı NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), NBR (Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) ve dNBR (Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) indeksleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak 2020 ve 2021 yılına ait NDVI analizi sonuçlarına göre bitki türleri yoğunluk dereceleri dikkate alınarak yeniden sınıflandırılmış ve her iki döneme ait bitki örtüsü yoğunluk değışimi belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12: Aydınçık ilçesinde; a) 2020, b) 2021 NDVI sınıflarında meydana gelen değişim

İlk analizde NDVI indeksi uygulanarak 2020-2021 yılı arasındaki bitki yoğunluk değişimine bağlı fark belirlenmiş ve değişimin ne oranda gerçekleştiği tespit edilmiştir (Şekil 13). Yapılan analiz sonunda; yerleşim yeri ve çıplak arazi olarak değerlendirilen diğer alanların 2020'de %13,43 iken, 2021'de %23,02'ye yükseldiği; düşük bitki yoğunluğuna sahip alanların 2020'de %26,99 olan değerinin 2021 yılında %23,89'a gerilediği; orta yoğunluktaki alanların 2020'de %35,82 iken, 2021 yılında %30,68'e gerilediği; yüksek yoğunluktaki alanlarda 2020 yılında %23,76 olan değerinin 2021'de %22,41'e gerilediği tespit edilmiştir. Genel olarak, diğer alanlar sınıfı dışındaki yerlerde bitki yoğunluk değerlerinde 2021 yılında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu istatistiksel ifadeler 2021 yılı orman yangınının bitki yoğunluğu üzerindeki negatif etkisini göz önüne sermektedir.



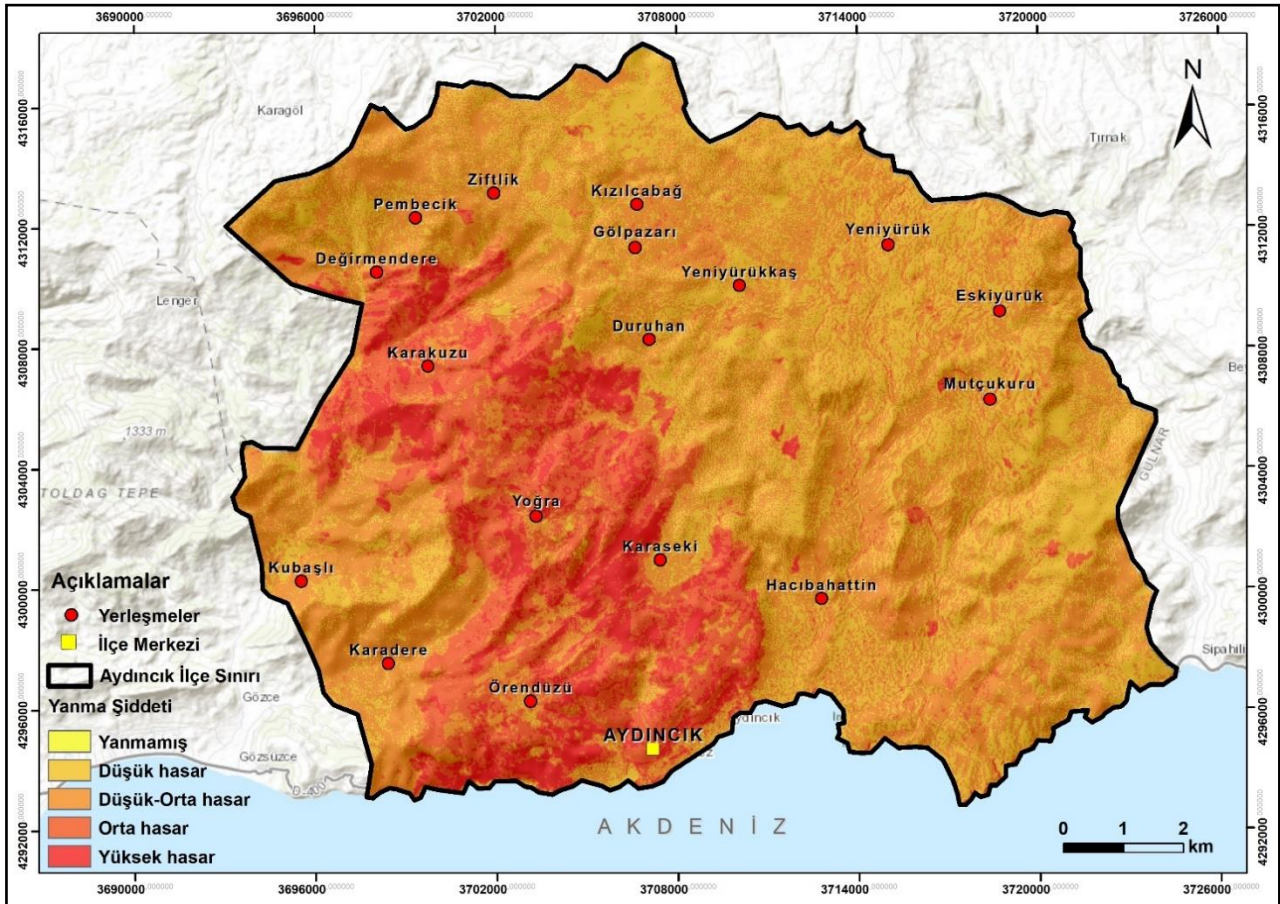
Şekil 13: 2020 ve 2021 NDVI indeks sonuçlarına göre meydana gelen değişim

Aydınçık ilçesinde 2021 Temmuz ayında meydana gelen orman yangını öncesi ve sonrası için Landsat 8 OLI/TIRS uydü görüntülerine ikinci olarak NBR indeksi uygulanmış ve ormanlık alanlarındaki yangın öncesi-sonrası arasındaki değişiklik tespit edilmiştir. Yine orman yanma şiddetini tespit etmek için 2020 ve 2021 yılının NBR indeks farkları alınarak dNBR indeksi uygulanmış ve meydana gelen zararın boyutları belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 14). dNBR indeksi analizi sonucunda Aydınçık ilçesinde meydana gelen 2021 Temmuz orman yangınında yüksek ve orta şiddette yanma hasarının olduğu belirlenmiştir. Ayrıca USGS tarafından önerilen değer aralığı düzenlenerek dNBR görüntüsünde oluşturulan sınıflar metrik olarak da incelenmiştir. Böylece bölgedeki bitki örtüsünün ne ölçüde hasar aldığı ve ne kadarlık bir bitki örtüsünün kaybedildiği hesaplanmıştır. NBR ve dNBR analizlerine göre ilçede 2021 Temmuz ayında meydana gelen orman yangını sonrasında toplamda 27.570,04 ha yeşil alanın kaybedildiği görülmektedir (Tablo 7). Hasarın yarısından fazlası düşük hasar sınıfındadır.

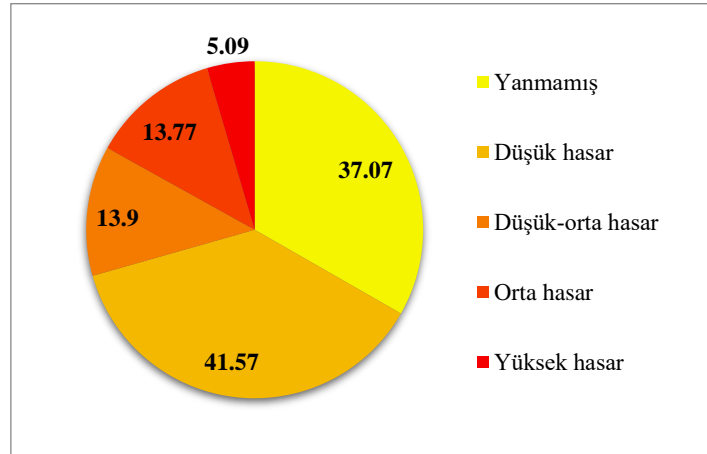
Bir başka ifadeyle yapılan dNBR analizi sonunda; toplam alanın %37,07'lik kısmının çok düşük; %41,57'lik kısmında düşük; %13,90'lık bir alanda düşük-orta; %13,77'lik bir alanda orta; %5,09'luk bir alanda da yüksek derece hasarın olduğu bulgusuna ulaşılmıştır (Şekil 15). Her ne kadar hasar sınıfları içerisinde en az değer yüksek hasar olsa da, orta sınıftaki bir yangın hasarı bile orman örtüsünün kaybı açısından önem arz etmektedir.

Tablo 7: USGS tarafından önerilen dNBR değerleri ve Aydıncık ilçesi orman yangını hasar durumu

dNBR	Yanma Şiddeti	Kapladığı Alan (ha)	Kapladığı Alan (%)
-0,1-+0,1	Yanmamış	9.508,68	37,07
0,1-0,27	Düşük hasar	15.416,19	41,57
0,27-0,44	Düşük-orta hasar	5.156,12	13,90
0,44-0,66	Orta hasar	5.108,76	13,77
>0,66	Yüksek hasar	1.888,97	5,09
Toplam Alan		37.078,20	100



Şekil 14: Aydıncık ilçesinde 2020-2021 yıllarına ait dNBR (fark normalize edilmiş yanma şiddeti) indeksi



Şekil 15: NBR ve DNBR analizlerine göre Aydıncık ilçesinde meydana gelen yangın hasarı (%)

3.2. Orman Yangını Duyarlılık Analizi

AHP kullanılarak yangın duyarlılık haritalarının hazırlanmasında ağırlıkların tahmin edilebilmesi için her bir kriterin önem hiyerarşisinin belirlenmesi gerekmektedir (Sivrikaya & Küçük, 2022). Çalışmanın ikinci ayağı olan Aydıncık ilçesinin orman yangını duyarlılığını ortaya koymak için gerçekleştirilen analiz ile yukarıda sebep oldukları etkileri etraflıca açıklanan ana coğrafi faktörler ve bu faktörlere ait alt kriterler arasında önce AHP ile önem sıralaması (1-10 arası puanlanarak), sonrasında CBS teknikleri kullanılarak duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi kapsamında kullanılan 9 farklı ana coğrafi faktörün ağırlık oranları literatürdeki farklı çalışmalar (Dong vd., 2005; Mahdavi vd., 2012; Özşahin, 2014; Bingöl, 2017; Erdoğan vd., 2019; Dilekçi vd., 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; Coşkun & Toprak, 2023) baz alınarak AHP’de kurulan ikili karşılaştırma matrisi ile hesaplanmıştır (Tablo 8). AHP ile kurulan ikili karşılaştırma matrisine göre çalışmada tutarlılık oranı %1 olarak bulunmuştur. Ana coğrafi faktörlerin hesaplanan bu tutarlılık oranı ile alt kriterlerin hesaplanan tutarlılık oranları yeterli görülmüş ve bu değerler ArcGIS for Desktop 10.x yazılımının ağırlıklı çakıştırma (weighted overlay) fonksiyonu kullanılarak orman yangını duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve Aydıncık ilçesinde olası orman yangını için duyarlı alanlar haritası oluşturulmuştur (Şekil 16).

Sivrikaya ve Küçük (2022), gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında orman yangını için çevresel faktörlerin (yerleşme, tarım alanı, yol ve nehirlerle uzaklık ile nüfus yoğunluğu) daha önemli olduğunu, İban ve Şekertekin (2022), yaptıkları çalışma ile orman yangını için en önemli faktörlerin jeomorfolojik (eğim, yükseklik, bakı) ve iklimsel faktörler (sıcaklık) olduğunu, Suryabagavan vd. (2016), orman yangını için risk teşkil eden en önemli coğrafi faktörün bitki örtüsü olduğunu belirtmişlerdir. Özşahin (2014)’e göre de orman yangını duyarlılığını belirlemek için ağırlığın en fazla olduğu faktör bitki örtüsüdür. Coşkun ve Toprak (2023) ise orman yangını riski için en önemli faktörün hem jeomorfolojik (eğim, yükseklik) hem iklimsel (sıcaklık) hem de bitki örtüsünün olduğunu belirtmiştir. Görüldüğü üzere literatürde orman yangını için risk teşkil eden birçok faktör var ve bu faktörlerin ağırlıklarının da ele alınan sahanın coğrafi şartlarına göre değiştiği açıktır. Aydıncık ilçesi için gerçekleştirilen bu çalışmada ise orman yangını için en önemli coğrafi faktör %26,76 ile meşcere olmuştur (Tablo 8). Literatüre uygun bir şekilde meşcereyi %21,94 ile sıcaklık takip etmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmaların çoğundan farklı olarak rüzgâr hızı ve nem parametreleri de dikkate alınarak orman yangını duyarlılığı daha fazla faktör ışığında tespit edilmiştir. Çünkü kullanılan faktör sayısı ne kadar fazla ve alt kriterlerden oluşursa duyarlılık için daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çalışma alanının bitki örtüsü özellikleri incelendiğinde yüksek risk oluşturan kızılçamların %46,37, bozuk kızılçamların %23,53 olduğu görülmektedir (Şekil 9). Bu bitkiler kuru ya da çok kuru yapıya sahiptir (Karabulut vd., 2013). Akdeniz ülkelerinde orman yangınlarına en duyarlı türlerden biri olan bitki kızılçamdır (Sivrikaya & Küçük, 2022). Kızılçam çalışma alanında baskın ağaç türü olduğundan bitki örtüsü, orman yangını duyarlılığı açısından en önemli faktör olarak kabul edilmiştir. Çalışma sahasında kızılçamların yaygın olması orman yangını potansiyeli artırmaktadır. Ayrıca kızılçamların kuru ve çabuk tutuşması ve yangın esnasında kozalaklarının metrelerce ötelere fırlaması gibi özelliklere sahip olması yangının etki alanının genişlemesine sebep olabilmektedir. Çalışma sahasındaki kızılçamların bu gibi özelliklerinden ötürü duyarlılık analizinde bitki örtüsü göz ardı edilmemiş, 2021 Temmuz yangını öncesi ve sonrası düşünüldükçe duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar 2021 Temmuz ayında orman yangını ile önemli oranda bir orman kaybı (bitki örtüsü) yaşanmış olsa da gerçekleştirilen duyarlılık analizi sonuçları hem 2021 öncesine ışık tutmakta hem de bundan sonraki yıllar için (orman rehabilitasyonu sağlandıktan sonra) yine buraların duyarlı alan olabileceğini göstermektedir.

Orman yangını duyarlılığı için bitki örtüsünden sonra en önemli faktör iklimsel faktörler olmuştur. Bunlardan ilki sıcaklıktır. Akdeniz Bölgesi’nde özellikle yaz aylarının kurak geçmesi ve ortalama sıcaklıkların 30 °C üzerine çıkması orman yangını açısından büyük risk taşımaktadır. Aydıncık ilçesinde de ortalama sıcaklıkların yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda sıcaklık faktörü ağırlık oranı ve matristeki hiyerarşik sırası bakımından ön sırada yer almıştır.

Çalışma kapsamında sıcaklık faktörünün ağırlık oranı %21,94 olarak hesaplanmıştır. Yine sıcak havalarda kızılcamların birbirine sürtünerek dahi tutuşma potansiyeline sahip olması bitki örtüsü ile yan yana getirildiğinde sıcaklığın orman yangını için ne denli önemli olduğunu daha net ortaya koymaktadır. Akbulak vd. (2018)'nin yangın risk haritalarında bizim de kullandığımız parametreler arasında yangın-hava indeksi kriteri ağırlığını %11,7 olduğunu tespit etmeleri (Akbulak vd., 2018) çalışmada kullandığımız sıcaklık parametresinin hiyerarşik önemini destekler niteliktedir. Orman yangını duyarlılığı için rüzgâr hızı parametresine literatürde yer veren çalışmalar sınırlı kalmıştır (Sivrikaya & Küçük, 2022). Ancak rüzgâr hızı yangının doğuşunda, ilerlemesinde ve yönünün değişmesi gibi birçok konuda etkilidir. Bu sebeple çalışma kapsamında rüzgâr hızı parametresine yer verilmiş ve hiyerarşik olarak yüksek etkiye sahip olarak değerlendirilmiştir. Rüzgâr hızının çalışmadaki ağırlığı %15,80 olarak hesaplanmıştır. Yine çoğu orman yangını çalışmasında kendisine yer bulamayan nem faktörü de çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Çünkü Aydıncık ilçesinin güneyden kuzeye doğru yükseltilsinin artması, güneyden esen rüzgârların sıcak karakterli olmaları ve topografik olarak fön rüzgârlarının etkisinin hissedilebilir olması nemin ilçede düşmesine ve de uygun koşullarda orman yangını çıkmasına sebep olabilecek niteliktedir. Nemin çalışmadaki ağırlığı %11,48 olarak hesaplanmıştır.

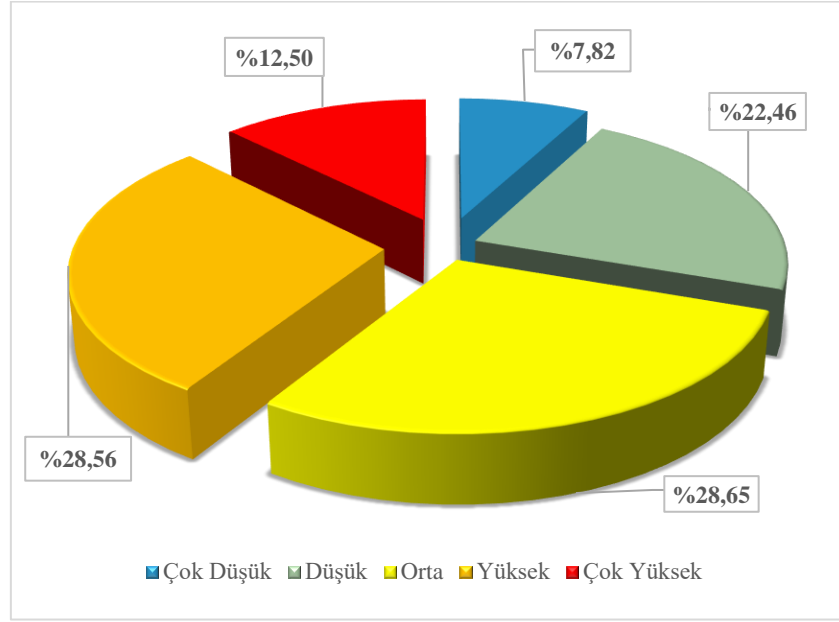
Birçok çalışma yanan alanlar ile topografik faktörler arasında da anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir (Sivrikaya vd., 2014; Özşahin, 2014; Bingöl, 2017; Eskandari, 2017; Dilekçi vd., 2021; Sivrikaya & Küçük, 2022; Coşkun & Toprak, 2023). Yükseklik, eğim ve bakı hem yerleşmelere etki etmesi hem de iklimsel faktörler üzerindeki doğrudan etkileri sebebiyle duyarlılık analizinde dikkate alınmıştır. Topografik faktörler arasında ağırlık oranı sırasıyla en fazla olan parametre %8,25 ile eğim, %5,91 ile bakı ve %2,54 ile yükseklik olmuştur. Ayrıca ağırlıkları az olsa da etkileri küçümsenmeyecek olan yola ve yerleşmelere yakınlık faktörleri de yangının çıkış noktası olabilecek potansiyeli barındırmaktadır. Bu faktörlerin ağırlık oranları sırasıyla %3,12 ve %4,19 olarak hesaplanmıştır.

Orman yangını duyarlılık analizi ile elde edilen sonuç çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş (5) farklı genel sınıfa ayrılmıştır (Şekil 16). Sonuç haritasında duyarlılık sınıflarının mekânsal olarak doğal sınırları temsil etmesi için natural break (doğal kırılım/gruplama) yöntemi tercih edilmiştir. Çünkü natural break yöntemi benzer değerleri en iyi şekilde bir araya getirmekte ve tamamen verideki değerlere göre bir sınıflandırma sunmaktadır (ArcGIS Pro Help, 2024). Gerçekleştirilen duyarlılık analizi ile Aydıncık ilçesinde orman yangınlarına karşı %7,82 çok düşük, %22,46 düşük, %28,65 orta, %28,56 yüksek ve %12,50 çok yüksek duyarlı alan olduğu tespit edilmiştir (Tablo 9; Şekil 17). Çalışma sahasında yer alan yerleşmelerin önemli çoğunluğunun orman yangınına duyarlı alanlara yakın olduğu görülmektedir. Orman yangını duyarlılık haritası incelendiğinde ise; Aydıncık ilçesinin özellikle kuzey, kuzeydoğu, ve güney bölümlerinde duyarlılığın daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Yoğra, Gölpazarı, Pembecik, Eskiüyürük, Karakuzu'da yüksek ya da çok yüksek, Değirmendere, Kubaşlı ve Mutçukuru'nda orta, Hacıbahattin, Karaseki, Karadere, Duruhan, Yeniüyürük, Yeniüyürükkaş, Kızılcabağ ve Örendüzü mahallelerinin ise düşük ya da çok düşük duyarlılığa sahip alanlarda olduğu görülmektedir.

Tablo 8: Ana coğrafi faktörlere ait ikili karşılaştırma matrisi

	Yükseklik	Bakı	Eğim	Sıcaklık	Meşcere	Nem	Rüzgâr Hızı	Yola Yakınlık	Yerleşme Yakınlık	Ağırlık Oranı
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yükseklik 1	1	1/3	1/4	1/7	1/8	1/5	1/6	1	1/2	2,54%
Bakı 2	3	1	1	1/4	1/5	1/2	1/3	2	1	5,91%
Eğim 3	4	1	1	1/3	1/4	1	1/2	3	2	8,25%
Sıcaklık 4	7	4	3	1	1	2	1	7	6	21,94%
Meşcere 5	8	5	4	1	1	3	2	7	6	26,76%
Nem 6	5	2	1	1/2	1/3	1	1	4	3	11,48%
Rüzgâr Hızı 7	6	3	2	1	1/2	1	1	5	4	15,80%
Yola Yakınlık 8	1	1/2	1/3	1/7	1/7	1/4	1/5	1	1	3,12%
Yerleşme Yakınlık 9	2	1	1/2	1/6	1/6	1/3	1/4	1	1	4,19%

Tutarlık Oranı: %1



Şekil 17: Aydıncık ilçesi orman yangını duyarlılık sınıfları dağılım oranları

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında Mersin ili Aydıncık ilçesi için 2021 Temmuz ayında gerçekleşen orman yangınının verdiği hasarın boyutu ve ilçede muhtemel orman yangınlarına karşı duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde gerçekleştirilen NDVI indeksine göre (2021 yılı yangını sonrası); diğer alanlarda (çıplak arazi ve yerleşim) %9,59'luk bir artış, düşük bitki yoğunluğu olan alanlarda %3,97, orta yoğunluktaki alanlarda %5,14 ve yüksek yoğunluktaki alanlarda %1,35 oranında azalma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yine çalışmada gerçekleştirilen spektral indeks analizlerine göre orman yangınına bağlı yeni çıplak arazilerin oluştuğu görülmüştür. Yangın hasarının belirlenmesine yönelik elde edilen bulgular incelendiğinde; özellikle düşük-orta, orta ve yüksek şiddette yangın olan alanların toplam alanın %32,76'sını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle NBR ve dNBR indeks bulgularına göre yaklaşık 12.153,85 hektarlık alanda orman kaybı yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın diğer bölümü olan orman yangınları duyarlılık alanlarının tespit edilmesine yönelik yapılan ağırlıklı çakıştırma analizine göre; toplam alanın %7,82 çok düşük, %22,46 düşük, %28,65 orta, %28,56 yüksek ve %12,50 çok yüksek duyarlılığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanlar çalışma sahasının %41,06'sına karşılık gelmektedir (151,92 km²). Hatta orta seviye duyarlı alanlar da bu gruba eklendiğinde bu alan 257,93 km² olmakta ve sahanın %69,71'ine karşılık gelmektedir. Bu durum, tespit edilen duyarlı alanlara göre tedbirler alınmadığı takdirde bir başka olası orman yangınında Aydıncık ilçesinde önemli miktarda orman kaybı yaşanabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak çalışma sahası hem 2021 Temmuz ayında meydana gelen orman yangınında aldığı hasar miktarı ve oranı hem de muhtemel orman yangınlarından etkileneceği alanların fazla olması nedeniyle orman yangını açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Bu durum dikkate alındığında bu alan için risk planlarının ivedi bir şekilde hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ancak orman yangınları için her ne kadar gerekli tedbirler alınsa da Türkiye'nin Akdeniz ikliminin etkisi altında bulunması, orman yangınlarına karşı oldukça duyarlı bir coğrafi konuma sahip olması ve insan faktörü nedeniyle orman yangınlarını tamamen önlemek pek mümkün görünmemektedir. Bu nedenle orman yangını sırasındaki müdahaleler kadar, yangınların çıkmasını ve gelişmesini önleyici çok sayıda önlemin alınması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca doğal afet olarak kabul gören orman yangınları ile etkin bir mücadele yapılabilmesi için yangın çıkmadan önce risk planları, yangın sırasındaki müdahale ve yangın söndürüldükten sonra kriz yönetimi çalışmalarının coğrafi temele dayandırılması gerekmektedir. Yine doğal afet çalışmalarında UA ve CBS; yangınların önceden tahmin edilmesi, modellenmesi, yangın oluşumunun izlenmesi, söndürme çalışmalarının organize edilmesi, yangın sonrası oluşan hasarın belirlenmesi gibi çalışmalarda ucuz, hızlı ve doğruluk oranı yüksek analizlerin yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu nedenle bu teknolojileri kullanabilen personel sayısı artırılabilir ve sürekli eğitimler verilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Ankara Keçiören Prof. Dr. Necmettin Erbakan Anadolu İmam Hatip Lisesi öğrencilerinin 2022 yılı TÜBİTAK 2204-A Lise Öğrencileri Araştırma Projeleri Yarışması Bölge 1.ligi ve Türkiye Teşvik Ödülü aldıkları projeden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Abujayyab, S. K. M., Kassem, M. M., Khan, A. A., Wazirali, R. Coşkun, M., Taşoğlu, E., Öztürk, A., & Toprak, F. (2022). Wildfire susceptibility mapping using five boosting machine learning algorithms: the case study of the Mediterranean Region of Turkey. *Advances in Civil Engineering*, 2022, Article 3959150. <https://doi.org/10.1155/2022/3959150>
- Akbulak, C., Tatlı, H., Aygün, G., & Sağlam, B. (2018). Forest fire risk analysis via integration of GIS, RS and AHP: the case of Çanakkale, Turkey. *International Journal of Human Science*, 15(4), 2127–2143. <http://dx.doi.org/10.14687/jhs.v15i4.5491>
- Alkan Akıncı, H., & Akıncı, H. (2023). Machine learning based forest fire susceptibility assessment of Manavgat District (Antalya), Turkey. *Earth Science Informatics*, 16, 397–414. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00953-5>
- Akyürek, Ö. (2024). Orman yangını sonrası oluşan hasarın ve hava kirletici parametrelerin izlenmesi: Çanakkale yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 103-112. <https://doi.org/10.21324/dacd.1355463>
- ArcGIS Pro Help, (2024): *Data classification methods*. 22 Mart 2024'te <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm> adresinden alındı.
- Bilgili, E. (2014). *Orman Koruma Dersi Geçici Ders Notları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Bingöl, B. (2017). Determination of forest fire risk areas in Burdur province using geographical information systems. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(2), 169-182. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.319155>
- Coşkun, M., & Ortaç, G. (2022). Filyos Çayı Havzası'nın (Karabük-Gökçebe) çok kriterli karar verme yöntemiyle taşkın risklerinin belirlenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 27(47), 15-27.
- Coşkun, M., & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın ili örneği. *Geomatik*, 8(3), 250-263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1192219>
- Çelik, M. Ö., Fidan, D., Ulvi, A., & Yakar, M. (2024). Akdeniz Bölgesi'ndeki orman yangınlarının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi: Mersin ili Silifke ilçesi örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 116-125. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1302553>
- Çepel, N. (1995). *Orman Ekolojisi* (Yayın No: 3886). İstanbul Üniversitesi Basımevi.
- Çömert, R., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 4(2), 78-87. <https://doi.org/10.26833/ijeg.455595>
- Demirel, Y., & Türk, T. (2023). Türkiye'de 2015 ile 2022 Yılları arasında meydana gelen orman yangınlarının coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal ve mekânsal analizi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(2), 136-150, <https://doi.org/10.9733/JGG.2023R0010.T>
- Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 6(1), 44-53. <https://doi.org/10.29128/geomatik.660623>
- Doğanay, H., & Doğanay, S. (2004). Türkiye'de orman yangınları ve alınması gereken önlemler. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(11), 31-48.
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *Journal of Forestry Research*, 16(3), 169–174. <https://doi.org/10.1007/BF02856809>
- Duman, N., & İrcan, M. R. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama tabanında Çankırı Merkez ilçesinin erozyon risk analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(1), 220-245. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1074770>
- Eskandari, S. (2017). A new approach for forest fire risk modeling using Fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian Forests of Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 10, Article 190. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2976-2>
- Erdogan, Ö., Perçin, H., & Memlük, Y. (2019). Orman alanlarının AHP yöntemi kullanılarak Kütahya kenti örneğinde irdelenmesi. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 2(1), 61-77.
- Ersayın, K. (2016). *Kızılırmak Deltası'nda ekolojik hassasiyet ve risk değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Erten, E., Kurgun, V., & Musaoğlu, N. (2005, 28 Mart-1 Nisan). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak orman yangını bilgi sisteminin kurulması* [Bildiri Sunumu]. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Fire Effects Monitoring and Inventory System. (2024). *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. 22 Mart 2024'te <https://www.frames.gov/firemon/home> adresinden alındı.
- Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2011, 15-19 Nisan). *GIS-based forest fire risk assessment and mapping* [Bildiri Sunumu]. Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, Kunming and Lijiang City, China. <https://doi.org/10.1109/CSO.2011.140>
- Ghobadi, G. J., Gholizadeh, B., & Dashliburun, O. M. (2012). Forest fire risk zone mapping from geographic information system in northern forests of Iran (case study, Golestan province). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(12), 818-824.
- Gigovic, L., Jakovljevic, G., Sekulovic, D., & Regodic, M. (2018). GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicky Vjesnik*, 25(3), 891-897. <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>
- Goepel, K. D. (2013, 23-26 Haziran). *Implementing the analytic hierarchy process as a standard method for multi-criteria decision making in corporate enterprises – A new AHP excel template with multiple inputs* [Conference presentation]. The International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.13033/isahp.y2013.047>
- Goldammer, J. G., & Nikolov, N. (2009, 26-27 Ekim). *Climate change and forest fires risk, European and Mediterranean* [Conference presentation]. Workshop Climate Change Impact on Water-Related and Marine Risks, Murcia, Spain.
- Hatfield, J. L., Kanemasu, E. T., Asrar, G., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Jr., Reginato, R. J., & Idso, S. B. (1985). Leaf area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 6(1), 167–175. <https://doi.org/10.1080/01431168508948432>
- İşık, F., Bahadır, M., Zeybek, H. İ., & Çağlak, S. (2020). Karadere Çayı Taşkını (Araklı- Trabzon). *Mavi Atlas*, 8(2), 526-547. <https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.788991>
- İban, M. C., & Şahin, E. (2022). Monitoring burn severity and air pollutants in wildfire events using remote sensing data: the case of Mersin wildfires in Summer 2021. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 487-497. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1008242>

- İban, M. C., & Şekertekin, A. (2022). Machine learning based wildfire susceptibility mapping using remotely sensed fire data and GIS: a case study of Adana and Mersin Provinces, Turkey. *Ecological Informatics*, 69, Article 101647. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101647>
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian Forest, Northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 909–926. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0>
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 1–10. [http://dx.doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
- Joaquim, G. S., Bahaeddin, A., & Josep, R. C. (2007, October 2-5). *Remote sensing analysis to detect fire risk locations* [Paper presentation]. GéoCongrès-2007, Québec, Canada.
- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M. A., & Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Başkonuş dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24), 171-179. <https://www.researchgate.net/publication/269392574>
- Karakuş, P., Karabörk, H., & Kaya, Ş. (2017). A comparison of the classification accuracies in determining the land cover of Kadırlı Region of Turkey by using the pixel based and object based classification algorithms. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 2(2), 52-60. <https://doi.org/10.26833/ijeg.298951>
- Key, C. H., & Benson, N. (2005). Landscape assessment (LA) sampling and analysis methods. In D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, & L. J. Gangi (Eds.), *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (pp 1-51). USDA Forest Service. <https://www.researchgate.net/publication/241688462>
- Kshetri, T. B. (2018). NDVI, NDBI & NDWI calculation using Landsat 7, 8. *Geomatics for Sustainable Development*, 2, 32-34. <https://www.researchgate.net/publication/327971920>
- Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S., & Gangi, L. J. (2006). *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-164>
- Mahdavi, A., Shamsi, S. R. F., & Nazari, R. (2012). Forest and rangelands wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1), 43-52. <https://www.researchgate.net/publication/263734114>
- Mandal, S., & Mondal, S. (2019). *Statistical approaches for landslide susceptibility assessment and prediction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93897-4>
- Malik, T., Rabbani, G., & Farooq, M. (2013). Forest fire risk zonation using remote sensing and GIS technology in Kansrao Forest Range of Rajaji National Park, Uttarakhand, India. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2(1), 86-95. <https://www.researchgate.net/publication/278159215>
- Matin, M. A., Chitale, V. S., Murthy, M. S. R., Uddin, K., Bajracharya, B., & Pradhan, S. (2017). Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. *International Journal of Wildland Fire*, 26(4), 276–286. <http://dx.doi.org/10.1071/WF16056>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2021). *İllere Ait Mevsim Normalleri (1991-2020)*. 12 Aralık 2022'de <https://www.mgm.gov.tr/> adresinden alındı.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *Orman Yangınları ve Meteoroloji*. 8 Aralık 2023'de <https://mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/ormanyangini.pdf> adresinden alındı.
- Müller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta normalized burn ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Mol, T., & Küçükosmanoğlu, A. (1997, October 1-4). *Forest fires in Turkey* [Paper presentation]. XI. World Forestry Congress, Antalya, Türkiye.
- Ocak, F., Bahadır, M., Uzun, A., & Şahin, K. (2021). Atakum ilçesi kıyı kuşağının taşkın ve duyarlılık analizi, Samsun/Türkiye. In M. F. Döker & E. Akköprü (Ed.), *Coğrafya araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulamaları II* (pp. 273-292). Pegem Akademi.
- Ocak, F., & Bahadır, M. (2022). CBS teknikleri kullanılarak deprem duyarlılık analizi için analitik hiyerarşi prosesi: Samsun Ladik Gölü Havzası örneği, Türkiye. *Kesit Akademi Dergisi*, 8(33), 322-348. <https://doi.org/10.29228/kesit.64705>
- Ocak, F. (2023). *Ladik Gölü Havzası'nda (Samsun) akıllı doğal afet yönetimi* [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Orman Genel Müdürlüğü. (2022). *Orman Yangınlarıyla Mücadele Değerlendirme Raporları*. 2 Aralık 2023'de <https://www.ogm.gov.tr/tr/faaliyet-raporu> adresinden alındı.
- Özcan, O. (2017). Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 9-27. <https://doi.org/10.21324/dacd.267200>
- Özşahin, E. (2014). CBS ve AHS kullanılarak orman yangını duyarlılık analizi: Antakya Orman İşletme Müdürlüğü örneği. *Route Educational and Social Science Journal*, 3, 50-71. <https://doi.org/10.17121/ressjournal.106>
- Polat, N., & Kaya, Y. (2021). Çok bantlı uydu görüntüleriyle orman yangınlarında hasar tespiti. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 172-181. <https://doi.org/10.24011/barofd.837507>
- Pradhan, B., Suliman, M.D.H.B., & Awang, M.A.B. (2007). Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). *Disaster Prevention and Management*, 16(3), 344-352. <https://doi.org/10.1108/09653560710758297>
- Pyne, S. J., Andrews, P. L., & Laven, R. D. (1996). *Introduction to wildland fire* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Rothermel, R. C. (1983). *How to predict the spread and intensity of forest and range fires* (Gen. Tech. Rep. INT-143). U.S. Department of Agriculture, Forest Service. <https://doi.org/10.2737/INT-GTR-143>
- Saaty, T. L. (1989). Hierarchical-multiobjektive systems. *Control-Theory and Advanced Technology*, 5(4), 485-489.
- Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 317-326. <https://doi.org/10.21324/dacd.511688>

- Setiawan, I., Mahmud, A.R., Mansor, S., Shariff, A.R.M., & Nuruddin, A.A. (2004). GIS-grid-based and multi-criteria analysis for identifying and mapping peat swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster Prevention and Management*, 13(5), 379-386. <https://doi.org/10.1108/09653560410568507>
- Sivrikaya, F., Sağlam, B., Akay, A.E., & Bozali, N. (2014). Evaluation of forest fire risk with GIS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), 187-194.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean Region. *Ecological Informatics*, 68, Article 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Suryabagavan, K.V., Misrak, A., & Balakrishnan, M. (2016). GIS-based multi-criteria decision analysis for forest fire susceptibility mapping: a case study in Harena Forest, Southwestern Ethiopia. *Tropical Ecology*, 57(1), 33-43.
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal afetler ve Türkiye*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Şirin, M., & Ocak, F. (2020). Gümüşhane şehrinde afet ve acil durum toplanma alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ortamında değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(44), 85-106. <https://doi.org/10.17295/ataunidcd.790893>
- Tonbul, H. (2015). *Uydu görüntü verileri kullanılarak orman yangın şiddeti ve yangın sonrası durumun zamansal olarak incelenmesi: Akdeniz Bölgesi Örneği* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Vadrevu, K.P., Eaturu, A., & Badarinath, K.V.S. (2010). Fire risk evaluation using multicriteria analysis: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 223-239. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0997-3>
- Yavuz, M., & Sağlam, B. (2011, 26-28 Ekim). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin orman yangınlarında kullanılması* [Bildiri Sunumu]. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using flammapp software and remote sensing techniques in western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(2), 171-188. <https://doi.org/10.17475/kastorman.459698>
- Yüksel, K. (2022). Yanan orman alanı tespitinde farklı uzaktan algılama indislerinin değerlendirilmesi: 2022 yılı Mersin (Gülnar) orman yangını örneği. *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 160-171. <https://doi.org/10.57165/artgrid.1179074>