



Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği

Mücahit Coşkun¹, Ferhat Toprak^{*1}

¹Karabük Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Karabük, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Orman Yangını Risk Analizi
Gri İlişkisel Analiz
CBS
Bartın

Araştırma Makalesi

Geliş: 20.10.2022
Revize: 21.02.2023
Kabul: 27.02.2023
Yayınlanma: 19.04.2023



Öz

Karadeniz Bölgesi nemli bir saha olmasına rağmen son zamanlarda çok sayıda orman yangını yaşanmıştır. Bu bölgede yer alan Bartın ili biyoçeşitlilik açısından zengin ormanlar barındırmaktadır. Ayrıca il, ülkemizin 9 sıcak noktasından biri olan Küre Dağları Milli Parkı'nın uzantısı Batı Küre Dağları'nı da kapsamaktadır. Bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda Bartın il sınırları içerisindeki ormanlık sahaların yangın risklerine karşı korunması gerekmektedir. Bu çerçevede çalışmanın amacı, Bartın ilinde orman yangını açısından riskli alanların bulunmasıdır. Bunun için çalışmada, kullanışlı bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve görüntülenmesi bakımından gelişmiş bir yaklaşım olan CBS, risk analizlerine olanak sağlamasıyla öne çıkmaktadır. Araştırmada, yangın riskini belirlemek için Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kullanılmıştır. GİA, faktörlerin etki derecesini değerlendirmek için etkili bir formüldür. Hesaplama yangını etkileyen faktörler ile acil müdahale faktörleri birbirinden ayrı analiz edilerek haritalanmıştır. Daha sonra bu haritalar birleştirilerek yangın risk haritası oluşturulmuştur. Yapılan yangın risk haritası sonucuna göre Bartın ilinin %18'i çok yüksek riskli alan çıkmıştır. Bu alanlarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması dikkat çeken unsurlar olmuştur.

Geographical information systems (GIS) based forest fire risk analysis: Case of Bartın

Keywords

Forest Fire Risk Analysis
Grey Relational Analysis
GIS
Bartın

Research Article

Received: 20.10.2022
Revised: 21.02.2023
Accepted: 27.02.2023
Published: 19.04.2023

Abstract

Although the Black Sea Region is humid, there have been many forest fires recently. The province of Bartın, located in this region, has forests rich in biodiversity. In addition, the province also includes the Western Küre Mountains, an extension of the Küre Mountains National Park, which is one of the 9 hot spots of our country. Considering these conditions, forest areas within the provincial borders of Bartın should be protected against fire risks. In this context, the aim of the study is to determine the forest fire risk in Bartın province. For this purpose, Geographic Information Systems (GIS), which is a useful tool, was used in the study. GIS, an advanced approach to processing and displaying data, stands out by enabling risk analysis. In the research, Grey Relational Analysis (GRA) method was used to determine the fire risk. GRA is an effective formula for assessing the degree of influence of factors. In the calculation, the factors affecting the fire and the emergency response factors were analyzed and mapped separately. Then, these maps were combined to create a fire risk map. According to the result of the fire risk map, 18% of Bartın province is a very high risk area. In these areas, the temperature is high, the altitude is low, and the presence of conifers has been remarkable.

*Sorumlu Yazar

(mcoskun@karabuk.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7881-6742
(tqrak27@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-5452-5855

Kaynak Göster (APA)

Coşkun, M. & Toprak, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. Geomatik, 8(3), 250-263

1. Giriş

Ormanlık alanlar, nefes alınan havadan, yakacak ve yapacak ihtiyacını gidermek için kullanılan ürünlere kadar çok farklı amaçlarla faydalanılan önemli doğal kaynaklardır. Bünyesinde sayısız ekosisteme ev sahipliği yapmaktadır. Bitki örtüsü ve toprak içerisinde karbon depoladıklarından iklim üzerindeki rolleri büyüktür. Ayrıca rekreasyon faaliyetlerinin yapıldığı yerlerin başında gelmektedir. Fakat bu ormanlık alanlar kaçak kesim, açma, aşırı otlatma, amaç dışı yararlanma ve yangınlar nedeniyle baskı altındadır (Doğanay ve Doğanay, 2004; Kırış ve Toprak, 2007; Atalay ve Efe, 2015; Atmiş, 2020; Başaran ve ark., 2022).

Yerkürede karasal bitkilerin ortaya çıkmasından kısa bir süre sonra başlayan orman yangınları (Scott ve Glasspool, 2006; Bowman ve ark., 2009), orman verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür (Pausas ve Ribeiro, 2013). Ormanlık alanlar antropojenik etkilerden dolayı azalırken, orman yangınları bu süreci hızlandırmaktadır. Çünkü bu alanlarda oluşan orman yangınlarının kontrol dışında gerçekleşmesi daha fazla kayba ve zarara yol açmaktadır (Gai ve ark., 2011).

Orman yangınları, her yıl dünyanın ve ülkemizin önemli bir bölümünde çıkmaktadır. Türkiye’de gerek iklim koşullarının uygun olması gerek kolay tutuşan bitki topluluklarının fazla olması çıkan yangın sayılarını etkilemektedir (Avcı ve Korkmaz, 2021). Ülkemizde kısa ve uzun olmak üzere iki yangın sezonu vardır. Batı Karadeniz Bölümü kısa yangın sezonunun görüldüğü yerler arasındadır (Arslantürk, 2007). Bu bölüm, yağışın bol olduğu nemli bir bölge olarak gözükse de son zamanlarda orman yangınlarında artış söz konusudur (Küçük ve ark., 2012; Arıcak ve ark., 2014; Yavuz ve ark., 2018). Tepe yangını ile büyük kayıpların yaşandığı bu sahalar yangının karaçam ve kızılçam meşcerelerinde başlaması dikkat çekici unsurdur. Bu meşcerelerin yayılış gösterdiği sahalar yangın riski açısından potansiyel taşımaktadır (Küçük ve ark., 2008). Batı Karadeniz Bölümü’nde yangın riskine karşın ormanların korunması ve kaybın azaltılması için orman yangını yönetim planlaması ve stratejileri büyük önem taşımaktadır. Orman yangınlarında, yangınları etkileyen faktörleri belirleyerek analiz etmek (Chuvieco ve Salas, 1996; Barnwell ve Rodman, 2005; Gai ve ark., 2011) ve yangın risk haritaları hazırlamak, yangının vereceği tahribatın önüne geçilmesine yardımcı olacaktır (Jaiswal ve ark., 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) problemleri çözmek ve yönetmek için güçlü bir araçtır. Mekânsal verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve görüntülenmesinde kullanılabilen gelişmiş bir sistemdir (Ali, 2020). Bu yüzden risk analizlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Tarhan ve Saygın, 2006; Gai ve ark., 2011; Selim ve Demir, 2019; Kalbani ve Rahman, 2022). Mekânsal bilgiye hem daha hızlı hem daha kolay ulaşmanın önemli bir yolu olan CBS, yangına riskli alanların tespit edilmesi için de kullanılmaktadır (Gai ve ark., 2011). CBS tabanlı risk analizi sadece yangın anında değil öncesinde ve sonrasında yapılacak araştırmalarda kullanışlı veriler oluşturmayı mümkün kılmaktadır (Küçük ve Bilgili, 2006; Akbulak ve ark., 2018; Akay ve Şahin, 2019; Dilekçi ve ark., 2021). Literatürde orman

yangınları için CBS tabanlı analizler başvurulan yöntemler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Yin ve ark. (2004), Çin’in Da Hinggan dağında yapmış olduğu CBS tabanlı Analytic Hierarchy Process (AHP) analizinde çalışma sahasının yaklaşık %60’ını orman yangınına karşı üst orta riskli bölge olarak tahmin etmiştir. Akay ve Erdoğan (2017), Balıkesir Dursunbey sınırları içerisinde CBS tabanlı AHP analizi ile orman yangını risk haritası oluşturmuştur. Sonuçlara göre sahanın %23’ü aşırı riskli bulunmuştur. Burdur ilinin orman yangın risk alanlarını haritalamak için Bingöl, (2017), CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmıştır. Sonuçlara göre sahanın %12’si çok riskli çıkmıştır. Said ve ark., (2017), Brunei Muara bölgesinde CBS tabanlı Hotspot analizi ile orman yangını risk değerlendirmesi yapmıştır. Gigović ve ark. (2018), Bosna Hersek’in Nevesinje bölgesinde, CBS tabanlı AHP analizi ile orman yangını risk haritalaması gerçekleştirmiş ve sahanın %13’ünün çok riskli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Tien Bui ve ark., (2018), Vietnam Lam Dong eyaletinde gerçekleştirmiş olduğu orman yangını tehlike haritalamasında, Yapay Sinir Ağı (ANN) kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada ANN ağırlıkları CBS veri tabanına uyacak şekilde optimize edilmiş ve sonuca ulaşmıştır. Gheshlaghi ve ark., (2020), İran Noshahr ormanlarında yangın risk haritası geliştirmek için Analytical Network Process (ANP) ve Fuzzy Logic analizleri kullanmış ve CBS’den faydalanmıştır. Sonuçlar sahanın yaklaşık %28’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını göstermiştir. Manisa ilinde orman yangınına karşı riskli alanları belirlemek için Gülçin ve Deniz, (2020), CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmış ve sahanın %25’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını saptamıştır. Kavlak ve ark., (2020), Kütahya Ören Orman İşletme Şefliği’nde gerçekleştirmiş olduğu orman yangını risk haritalamasında CBS tabanlı ağırlıklandırma yöntemini kullanmış ve sahanın %36’sı çok riskli grupta yer aldığı sonucuna ulaşmıştır. Nikhil ve ark., (2021), Hindistan’ın güneyindeki The Parambikulam Tiger koruma alanında yapmış olduğu CBS tabanlı AHP analizinde sahanın yaklaşık %71’inin çok yüksek ve yüksek risk grubunda yer aldığını saptamıştır.

CBS tabanlı çeşitli analizler, orman yangını risk haritalamasına olanak sağlamaktadır. Gri İlişkisel Analiz (GİA) de bu yöntemlerden birisidir (Gai ve ark., 2011). AHP yöntemi orman yangını risk haritalamasında sıklıkla tercih edilen bir analiz olmasına rağmen bu çalışma GİA ile yapılmıştır. GİA, çoklu karar verme problemlerinde her alternatif için dikkate alınan tüm performans öznelik değerleri aralığını tek bir değerde birleştirmesiyle öne çıkmaktadır (Kuo ve ark., 2008). Ayrıca birden çok faktör ve değişken arasındaki karmaşık ilişkilere sahip sorunları çözmek için uygun olan gri sistem teorisinin bir parçasıdır (Morán ve ark., 2006). Bu yönleriyle GİA hem uygulanabilirliği hem de güvenilirliği (Kuo ve ark., 2008) açısından bu çalışmada tercih edilmiştir.

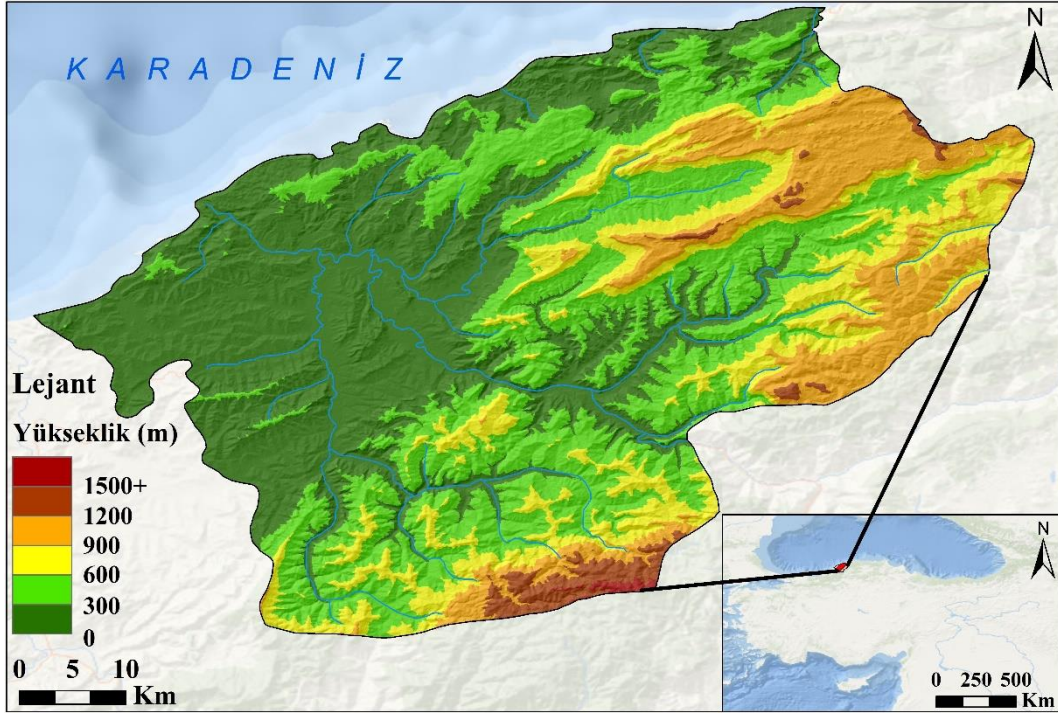
Hazırlanan bu çalışmanın amacı, Bartın il sınırları içerisinde olası yangın tehditlerine karşı riskli yerlerin belirlenmesi ile orman yangını yönetimi planlaması ve stratejileri için kullanılacak yangın risk haritası oluşturulmasıdır. Bu tür haritalar orman yangınlarını en aza indirmeye ve meydana gelecek hasarların

önlenmesine katkıda bulunacaktır. Bundan dolayı orman yangınlarına sebep olan faktörlerin belirlenip analiz edilmesi, orman varlığının korunması açısından önemlidir. Araştırma alanının zengin bitki örtüsüne sahip olması ve bu saha ile ilgili yapılan yangın risk analizi çalışmalarının az olması (Ateşoğlu, 2014) araştırmayı bu çalışma sahasında yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Çalışma, belirlenen faktörlerin CBS tabanlı GİA analiziyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca literatür dikkate alındığında araştırma, GİA yönteminin Türkiye’de yangın risk analizi çalışmalarında ilk defa uygulanması bakımından da ön plana çıkmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Araştırma alanı Şekil 1’de görüldüğü gibi Karadeniz Bölgesi’nin Batı Karadeniz Bölümü’nde yer alan Bartın il sınırları içerisinde kalan bir sahadır. Bartın ili, $41^{\circ} 53'$ kuzey enlemi ile $32^{\circ} 45'$ doğu boylamı arasında yer almaktadır. İl, doğuda Kastamonu, güneydoğuda Karabük, batıda ise Zonguldak illeriyle komşuyken, kuzeyini Karadeniz sahil şeridi çevrelemektedir. İlin toplam yüzölçümü 2.321 km^2 ’dir.



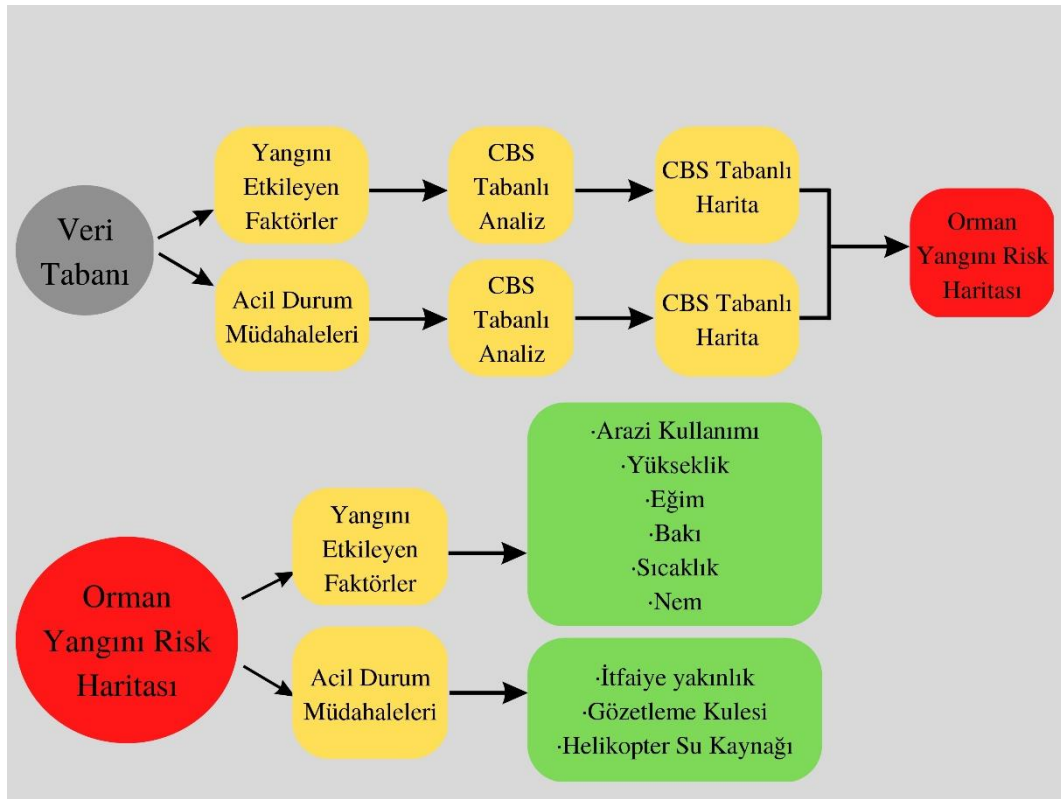
Şekil 1. Çalışma alanı haritası

Bartın ili doğu, batı ve kuzey yönlerden dağlarla çevrilidir. Dağlar, 2000 metreyi geçmemekle birlikte oldukça dik, sahile doğru sarp ve kayalık bir yapıya sahiptir. Saha, bitki örtüsü ve orman ekosistemi, nadir rastlanan bitki toplulukları ve endemik türler açısından zengindir. Ayrıca ülkemizin 9 sıcak noktasından biri olan Küre Dağları Milli Parkı’nın uzantısı Batı Küre Dağları çalışma sahasının içinde bulunmaktadır (Aktaş, 2006; DKMP, 2012; Toprak, 2020). Kaya ve Başaran (2006) 1996-1999 yılları arasında Bartın ilinde yapmış oldukları çalışmada 1245 bitki toplamış ve 672 takson belirlemişlerdir. 672 taksonun 7’si endemik olup endemizm oranını %1.04 bulmuşlardır (Kaya ve Başaran, 2006). Tunçkol ve Aksoy (2018) Küre Dağları Milli Parkı’nın Florası (Bartın Bölümü) adlı çalışmada 1450 bitki örneği içinden 357 cins ve 95 familyaya ait 655 takson tespit etmiştir. Bu taksonlardan 22’si endemik ve 6’sı ise nadir rastlanan türlerdir (Tunçkol ve Aksoy, 2018). Araştırma alanında yapılan bu çalışmaların sonuçları Bartın ilinin biyoçeşitlilik açısından zengin olduğunu göstermektedir. Çalışma sahasının 30 metre yükseltili Bartın Meteoroloji İstasyonu 1961-2021 ölçüm periyoduna göre yıllık ortalama sıcaklık 13.1°C ’dir. Ortalama en yüksek sıcaklık 19.4°C iken ortalama en

düşük sıcaklık 7.9°C ’dir. Yıllık toplam yağış ise 1049.1 mm ’dir. Yağışın mevsimlere göre dağılımında en fazla yağış 338.4 mm ile kış mevsimine düşmektedir. En az ise 191.7 mm ile ilkbahar mevsimindedir.

2.2. Materyal

Biyoçeşitlilik açısından zengin olan araştırma alanı yangın risklerine karşı korunması gerekmektedir. Bu nedenle ilk adım olarak yangın risk haritası için faktörler belirlenmiş ve faktörler ile ilgili veri toplanmıştır. İkinci adımda, toplanan veriler Şekil 2’deki gibi 2 gruba ayrılmıştır: Yangını Etkileyen Faktörler ve Acil Durum Müdahaleleri. Böylece çalışmanın temel amacı olan sahanın yangın riski belirlenecektir. Yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri risk analizinin indekslerini oluşturmaktadır. Yangını etkileyen faktörler arazi kullanımı, yükseklik, eğim, baki, sıcaklık ve nem (Chuvieco ve Salas, 1996; Barnwell ve Rodman, 2005; Sivrikaya ve Küçük, 2022); acil durum müdahale faktörleri itfaiyeye yakınlık, gözetleme kulesi (Kucuk ve ark., 2017) ve helikopter su kaynağı Şekil 2’de verilmiştir (Gai ve ark., 2011).

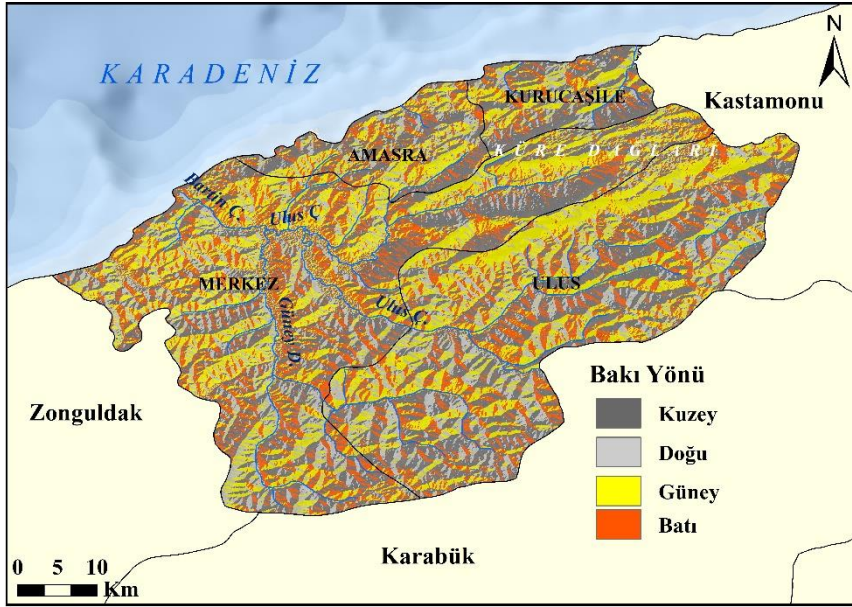


Şekil 2. Orman yangını risk analizi indeksleri

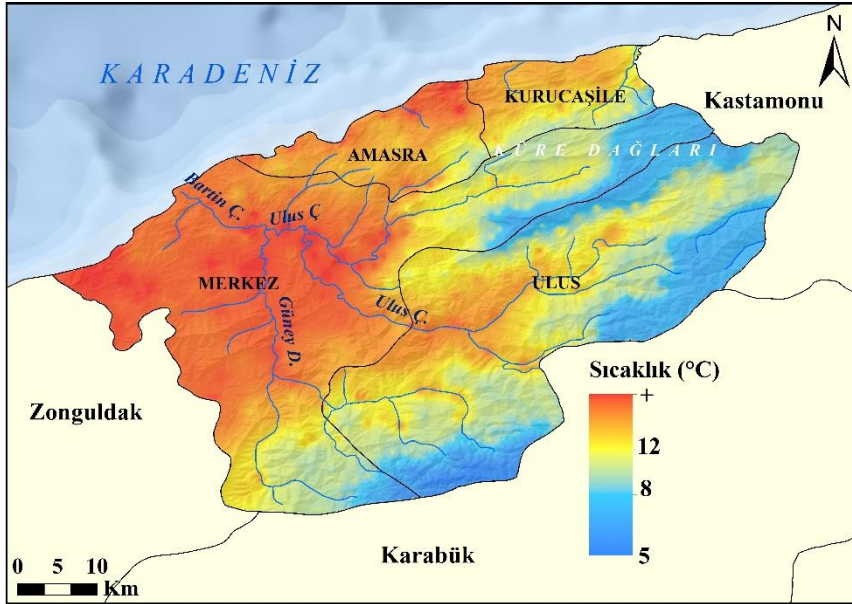
Yangın tehlike indekslerinden biri olan arazi kullanımı için CORINE Land Cover (CLC) verisinden yararlanılmıştır. CLC verisi, Avrupa Birliği'nin 1985 yılında başlattığı, belirli periyodlarda güncellediği, Dünya ve çevresine bakan gözlem programından üretilmektedir. Bunun yanı sıra ESA Sentinel-2 görüntülerinden türetilen küresel arazi kullanımı verisi de mevcuttur. CLC verisi sınıflandırması itibariyle daha uygun olduğundan bu çalışmada tercih edilmiştir. CLC verisi, son güncelleme olan 2018 yılına aittir. Elde edilen bu arazi kullanım verisi Şekil 3'te olduğu gibi kendi içerisinde iğne yapraklılar, karışık orman, geniş yapraklılar ormanı, çalılık alan-otlaklar, yerleşim alanları, su kütleleri gibi sınıflara ayrılmıştır. Bunlar içerisinde iğne yapraklılar orman yangınlarına karşı diğer yapraklılara nazaran daha hassastır. İğne yapraklıların tutuşma özelliği yüksektir. Bu yüzden tepe yangınına hızlı bir şekilde ilerlemektedir (O'Brien ve ark., 2008; Yılmaz ve ark., 2021). Diğer bir indeks olan ve Şekil 4-6'da verilen topografya unsurları (yükselti, eğim, bakı) için 34*34 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Yanıcı maddeler ve hava olayları üzerinde rol oynayan topografya faktörleri, yangının davranışını etkilemektedir. Örneğin, eğim yangının yayılma oranı ve yönü; bakı sahadaki güneş radyasyonu; yükselti hava sıcaklığı, yağış türü ve yağış miktarı gibi durumlar üzerinde etkili olmaktadır (Linn ve ark., 2007). Şekil 7 ve 8'deki sıcaklık ve nemlilik oranı ise yangını etkileyen diğer unsurlardır. Bu unsurlar için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bültenlerden yararlanılmıştır. Belirlenen bu faktörler ArcGIS yazılımı ile hazırlanmış ve yetkili uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda ağırlıklandırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Yangını etkileyen faktörlerin sınıflandırılması

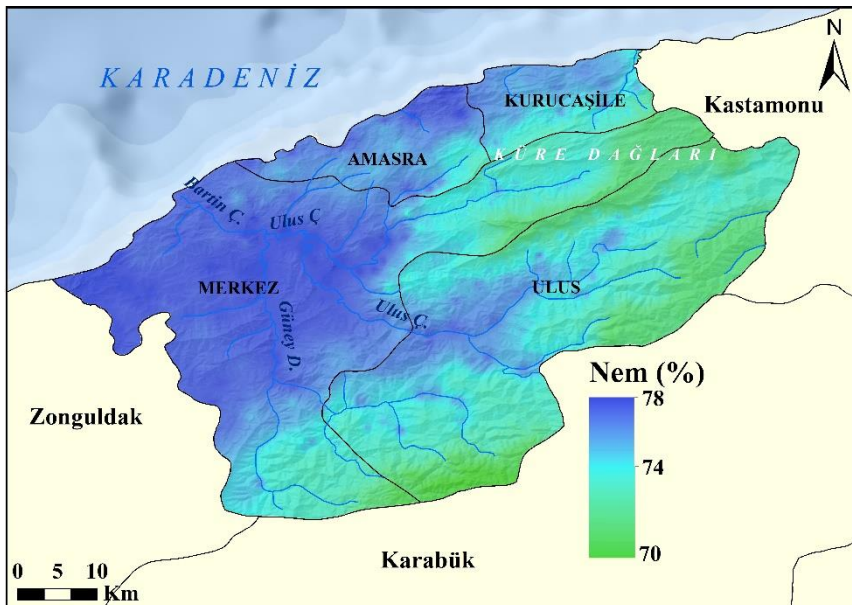
Veri	Sınıfı	Değer
Arazi Kullanımı	Su Kütleleri	0
	Yollar	1
	Yerleşim Alanı-Sanayi	3
	Tarım Alanları	5
	Otlaklar-Çalılar	7
	Geniş Yapraklılar	8
	Karışık Ormanlar	9
Yükselti	İğne Yapraklılar	10
	>900 m	1
	800-900 m	3
	700-800 m	5
	600-700 m	7
	500-600 m	9
Eğim	0-500 m	10
	0-5°	1
	5-15°	3
	15-25°	5
	25-35°	7
Bakı	35°>	10
	Kuzey	2
	Doğu	5
	Batı	7
Sıcaklık	Güney	10
	<5 (°C)	3
	5-15 (°C)	5
Nem	15> (°C)	7
	<75 %	3
	75>%	5



Şekil 6. Bartın İli baki haritası



Şekil 7. Bartın İli sıcaklık haritası

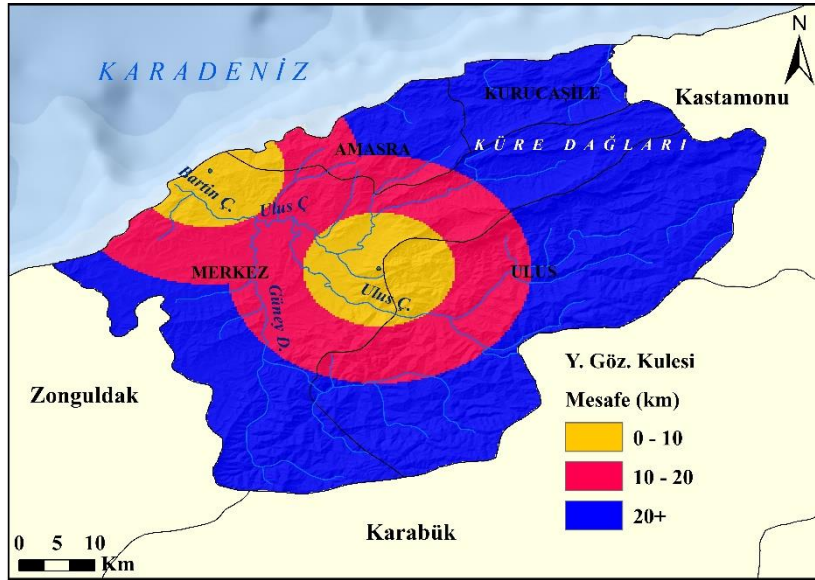


Şekil 8. Bartın İli nem haritası

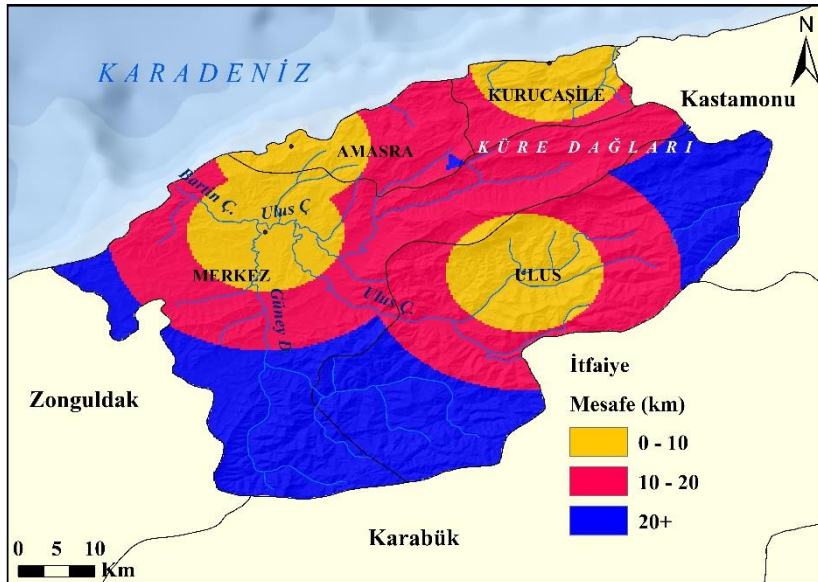
Acil müdahale indeksleri yangın oluştuğunda büyümesini engelleyen önlemlerdir. Orman yangınları, profesyonel yangın söndürme araçları veya erken uyarı sistemi ile kontrol altına alınabilmektedir. Bu kapsamda yangın gözetleme kulesi, helikopter su kaynağı ve itfaiye yangını kontrol altına alabilecek acil müdahale önlemine girmektedir. Yangın gözetleme kulesi, kameralar kullanılarak ya da görevli kişilerin gözlemleri ile yangın çıktığı anda fark edilebilir ve erken müdahale edilmesine yardımcı olur. Fakat yangın kulelerinin görüş mesafesi arttıkça yangını görme potansiyeli azalır. Bu yüzden Şekil 9'da da olduğu gibi kuleden uzaklaştıkça risk de artmaktadır (Başaran ve ark., 2003). Orman yangınları ile mücadele kapsamında itfaiye araçları ve onlardan sorumlu ekipler yangının büyümesini ve yayılmasını engelleyen önemli bir etkidir. Orman Genel Müdürlüğü (OGM)'de genel olarak kullanılan araçlar şunlardır: Arazöz (3000-6000 lt), İlk Müdahale Aracı (350 lt), Su İkmal Aracı (12000 lt) ve İş Makinesi (Dozer). İlk üç araç yangını söndürmede, son araç ise ateş ile yanıcı arasındaki bağı koparmak için kullanılmaktadır (TOD, 2020). Şekil 10'da görüldüğü gibi uzaklaştıkça risk

artmaktadır. Helikopter ise erişilemeyen yerlerde yangını söndürmek için kullanılan önemli hava desteğidir. Yolun olmadığı yüksek kesimler, bakir ormanlar gibi erişilemeyen yerlere müdahalede kullanılan helikopter için su kaynağı büyük önem arz etmektedir. Şekil 11'deki gibi su kaynağı yangından ne kadar uzakta ise risk de o kadar artmaktadır.

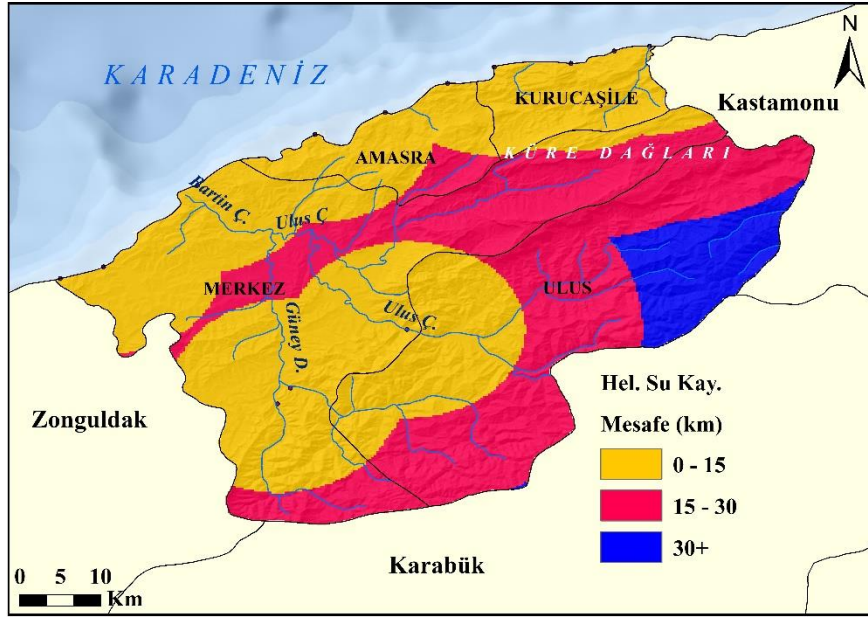
Acil müdahale indekslerinin orman yangını riskine olan etkisini belirleyebilmek için belirli mesafelerde sınıf oluşturulması gerekmektedir. Faktörler yangına müdahale durumuna göre 3 sınıfa ayrılmış ve ağırlıklandırılmıştır. Sınıflandırma ve ağırlıklandırma yapılırken alanındaki uzman kişilerin görüşleri alınmıştır (Tablo 2). Belirlenen acil müdahale indeksleri ArcGIS programı üzerinden Euclidean Distance Tool'u ile hazırlanmıştır. Çoğunlukla çok kriterli karar verme analizlerinde yaygın bir araç olarak kullanılan Öklid Uzaklığı, raster verideki her hücrenin en yakın kaynağa yakınlığını hesaplamak için kullanılmaktadır. Tool, her hücrenin kaynağa yakınlığını hesaplayarak çıktı sağlamaktadır.



Şekil 9. Yangın kulesine olan uzaklık



Şekil 10. İtfaiye merkezlerine olan uzaklık



Şekil 11. Helikopter su kaynaklarına olan uzaklık

Tablo 2. Acil müdahale faktörlerinin sınıflandırılması

Acil Durum Müdahaleleri	Sınıfı	Değer
Yangın Kulesi	0-10 km	3
	10-20 km	5
	20+ km	7
İtfaiye Merkezleri	0-10 km	3
	10-20 km	5
	20+ km	7
Helikopter Su Kaynağı	0-15 km	3
	15-30 km	5
	30+ km	7

2.3. Yöntem

Orman yangını riski için ilk önce yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri olmak üzere iki veri seti ArcGIS yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Ardından bu faktörler ağırlıklandırılarak hesaplama işlemine geçilmiştir. CBS tabanlı hesaplamada GİA kullanılmıştır. GİA, her faktörün etki derecesini değerlendirmek ve problemleri çözmek için kullanılacak basit ve doğrudan çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Özellikle yeterli verinin olmadığı ve örnek dağılım modelinin bilinmediği durumlarda hem eksik hem de kesin olmayan bilgileri işleyebilmektedir (Zhang ve ark., 2005). Ayrıca orijinal verileri de doğrudan değerlendirme özelliğine sahiptir. Bu özellikleri ile GİA, performans değerlendirmeleri ve çok kriterli karar verme ile ilgili birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmakta ve diğer analizlerden öne çıkmaktadır (Zhai ve ark., 2009).

Hesaplama için belirlenen faktörler ilk önce 0 ila 1 arasında normalize edilir. Normalize edildikten sonra gerçek ve istenen veriler arasındaki ilişkiyi ifade etmek için gri ilişkisel katsayı hesaplanır. Son olarak gri ilişkisel katsayısının ortalaması alınarak GİA hesaplaması tamamlanır. Analiz, 4 formülden oluşur ve belirlenen her faktör için ayrı ayrı hesaplanır. Yangını etkileyen faktörler ve acil durum müdahaleleri için belirlenen her

faktör hesaplandıktan sonra iki farklı harita oluşturulur. Daha sonra oluşturulan her iki harita ArcGIS programı üzerinden Raster Calculator aracı ile birleştirilir. Bu analize göre basamaklar ve formüller (Zhai ve ark., 2009; Gai ve ark., 2011) şöyledir:

- Veri setini hazırlanması
- Veri setinin ağırlıklandırılması
- Normalleştirme süreci ve normalleştirme matrisinin oluşturulması

Eğer yüksek değer daha az riskli durum oluşturuyorsa (örneğin, yükseklik arttıkça riskin azalması) Eşitlik 1 kullanılır:

$$X_i(k) = \frac{Y_i(k) - \min Y_i(k)}{\max Y_i(k) - \min Y_i(k)} \quad (1)$$

$Y_i(k)$ = Veri $\max Y_i(k)$ = Yüksek değer $\min Y_i(k)$ = Alçak değer

Eğer yüksek değer daha fazla riskli durum oluşturuyorsa (örneğin, sıcaklık yükseldikçe risk artması) Eşitlik 2 kullanılır:

$$X_i(k) = \frac{\max Y_i(k) - Y_i(k)}{\max Y_i(k) - \min Y_i(k)} \quad (2)$$

$Y_i(k)$ = Veri $\max Y_i(k)$ = Yüksek değer $\min Y_i(k)$ = Alçak değer

- Mutlak değerlerin oluşturulması (Sapma Dizisi) (Eşitlik 3)

$$\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3)$$

$x_0(k) = 1, 2, \dots, m$ $x_0(k) = \text{Veri}$

- Her alternatif için gri ilişkisel katsayının hesaplanması (Eşitlik 4)

$$Y_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (4)$$

Δ_{\max} = Yüksek değer Δ_{\min} = Alçak değer $\zeta = 0,5$ (Sabit değer)

- Gri ilişkisel derecenin hesaplanması (Eşitlik 5)

$$\Gamma_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_{oi}(k) \quad (5)$$

n = Veri sayısı

$$\text{Harita 1: } 0.16 * ((0.16 * "A.Kullanımı") + (0.16 * "Yükselti") + (0.16 * "Eğim") + (0.16 * "Bakı") + (0.16 * "Sıcaklık") + (0.16 * "Nem")) \quad (6)$$

$$\text{Harita 2: } 0.33 * ((0.33 * "HSK") + (0.33 * "YGK") + (0.33 * "İt.)) \quad (7)$$

- Oluşturulan haritaların ArcGIS Raster Calculator aracı ile birleştirilmesi (Eşitlik 8)

$$\text{Orman Yangını Risk Haritası: ("Harita1" * 0.50) + ("Harita2" * 0.50) \quad (8)$$

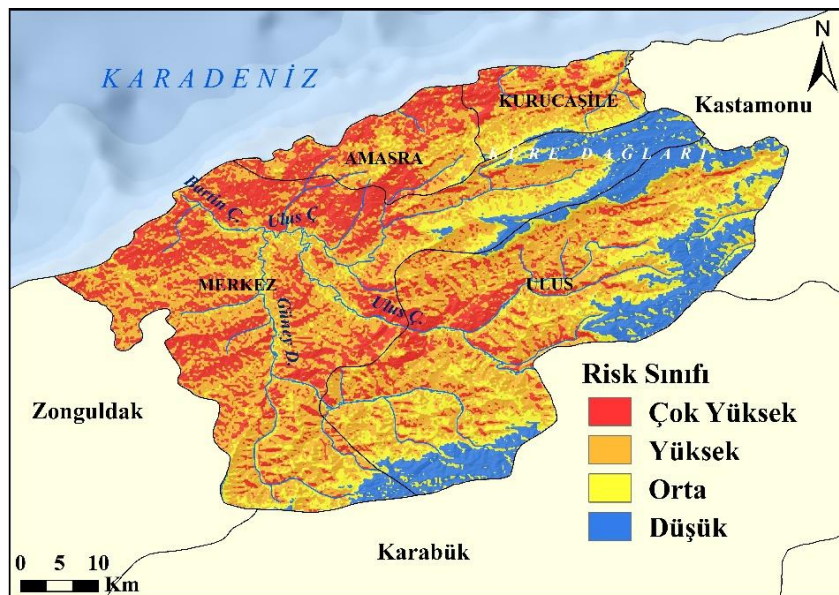
3. Bulgular

Orman yangınına etkileyen faktörler, (arazi kullanım, yükselti, eğim, bakı, sıcaklık, nem) hesaplama sonucunda haritalanmıştır (Şekil 12). Yapılan harita, bölgede acil durum müdahalesi olmadan orman yangınına etkileyen faktörler analiz ederek gerçekleştirilmiştir. Bu harita riskin hangi bölgelerde olduğunu anlamak amacıyla sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma, orman yangını risk analizi üzerine yapılan uluslararası literatür (Gai ve ark., 2011; Lamat ve ark., 2021) dikkate alınarak eşit aralıklıdır ile yapılmıştır. Kırmızı alan en yüksek, mavi alan ise en düşük risk bölgesini göstermektedir. Riskli bölgelerin olduğu sahalar incelendiğinde 500 metrenin altında olduğu göze çarpmaktadır. Bunlara paralel olarak bu bölgelerde sıcaklığın fazla olması, güney ve batı yönlü bakıların da bulunması riski arttıran faktörler arasındadır. Riskli bölgelerin bulunduğu yerde eğim değerleri yer yer değişkenlik gösterip, nemlilik ile negatif yönlü ilişki meydana getirmektedir. 4 sınıfa ayrılan risk grubunda en fazla alan kaplayan 906.6 km² ile yüksek risk sınıfıdır. Diğer grupların dağılımları Şekil 13'te gösterilmiştir. Yüksek risk sınıf grubunun dağılımına bakıldığında daha çok dağ yamaçlarına denk geldiği görülmektedir. Bu durum eğimle bağdaştırılabilir. Eğimin arttığı dağ yamaçlarında risk fazladır. Fakat bazı

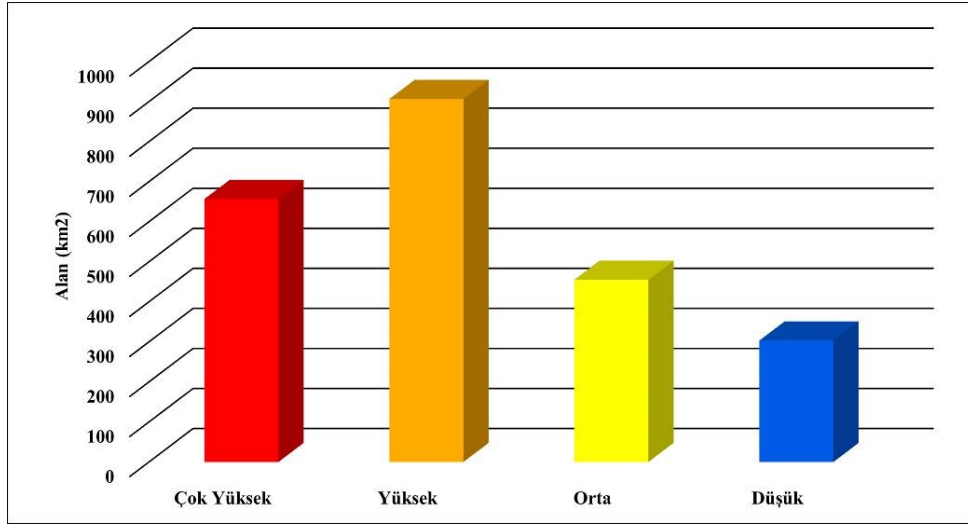
- Faktörlerin ArcGIS Raster Calculator aracı ile haritalanması (Eşitlik 6-7)

kesimlerde, yükseltinin artmasına ve sıcaklığın düşmesine bağlı olarak risk azalmaktadır. Bu duruma bakı faktörü de eklenince yamaçların yüksek ve orta risk grubunda dağıldığı görülür. Yükseltinin az, sıcaklığın fazla olduğu yamaçlarda ise bakı faktörüne bağlı olarak güney yamaçlar çok yüksek risk alanına girmiştir.

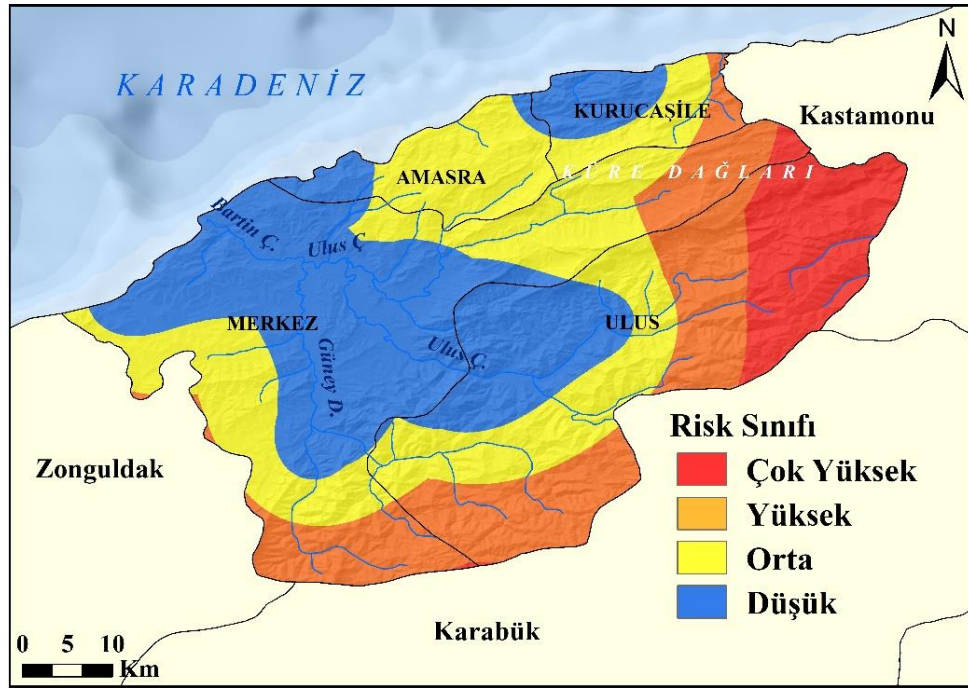
Hesaplama sonucu oluşturulan haritalardan diğeri de Şekil 14'te gösterilen acil durum müdahaleleridir. Harita, orman yangınına etkileyen faktörlerden bağımsız olarak oluşturulmuştur. İtfaiye, yangın gözetleme kulesi ve helikopter su kaynağının uzaklığına göre oluşturulan harita, yangın risk haritasında olduğu gibi renklendirilmiştir. Riskin en az olduğu mavi renk toplamda 830 km² ile en fazla alanı kaplamaktadır. Grupların alan dağılımı Şekil 15'te gösterilmiştir. Bartın Karadeniz'e kıyısı olduğu için deniz, helikopter su kaynağı olarak gösterilmiştir. Fakat orta bölümün kıyı kesimi orta derece riskli çıkmıştır. Bunun sebebi o bölümde itfaiye istasyonu ve yangın gözetleme kulesinin yani acil müdahale ekiplerinin az olmasıdır. Batı kesimindeki mavi bölgede helikopter su kaynağı, itfaiye ve yangın gözetleme kulesi birbirlerine yakındır. Diğer mavi bölge olan Kurucasıle ilçe merkezi de itfaiye ve helikopter su kaynağına uzak değildir. Risk, güney kesime doğru artmaktadır.



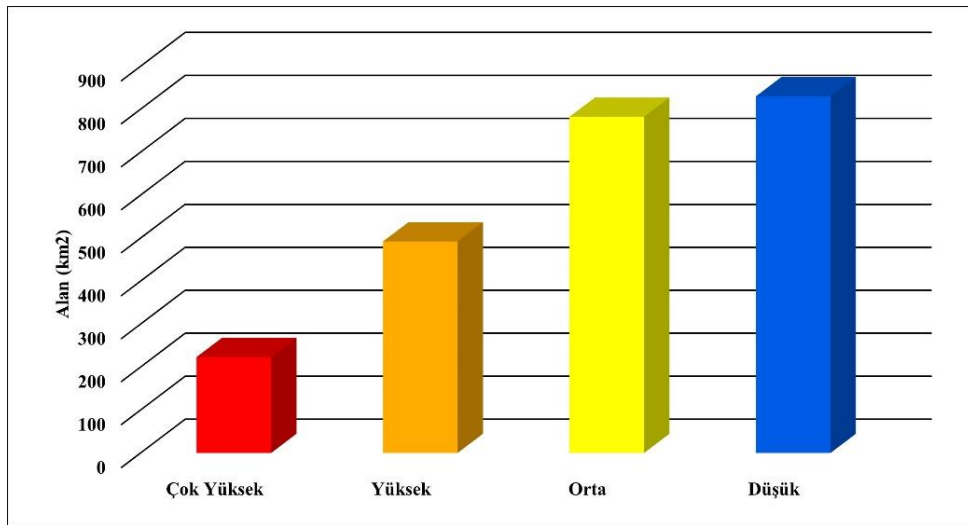
Şekil 12. Orman yangınına etkileyen faktörlerin haritası



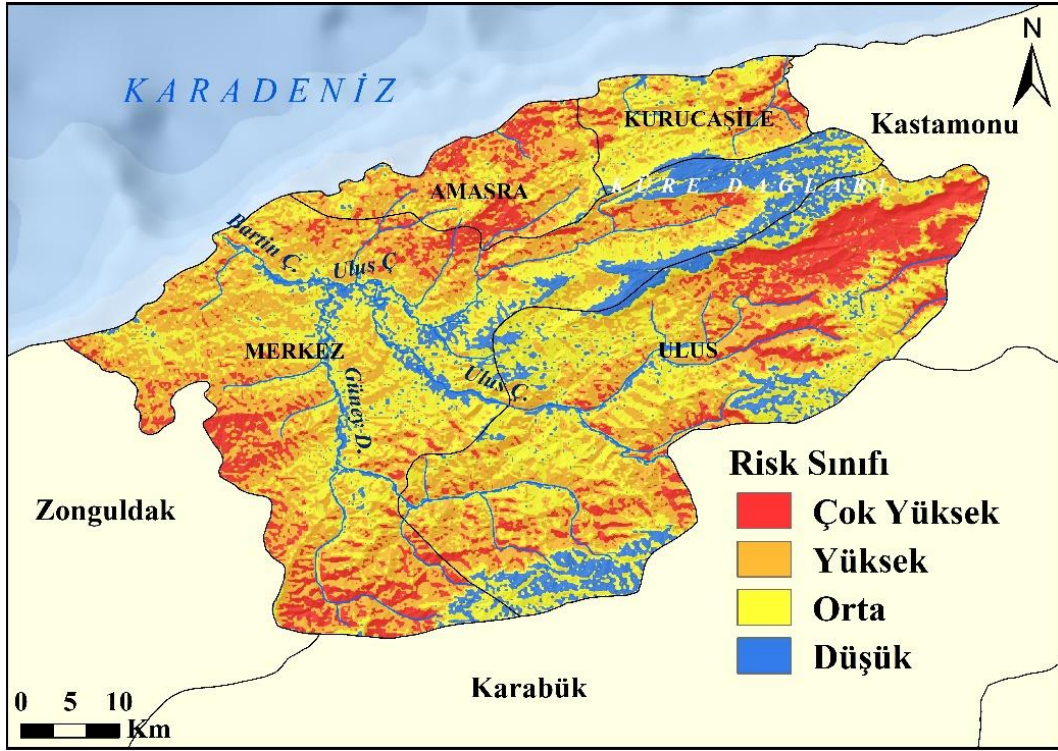
Şekil 13. Orman yangınına etkileyen faktörlerin alan dağılımı



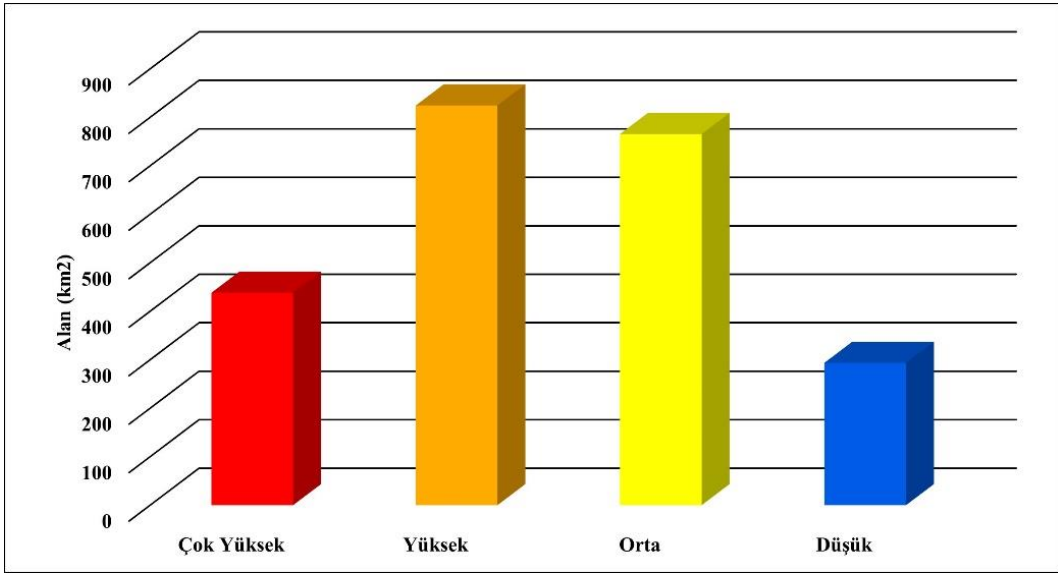
Şekil 14. Acil durum müdahalesi haritası



Şekil 15. Acil durum müdahalesi alan dağılımı



Şekil 16. Orman yangını risk haritası



Şekil 17. Orman yangını risk haritası alan dağılımı

Son olarak haritaların birleştirilmesi ile Bartın ilinin yangın risk haritası oluşturulmuştur. Harita, Şekil 16'da gösterilmiştir. Diğer haritalarda olduğu gibi risk haritası da renklendirilmiştir. Kırmızı rengin hâkim olduğu sahalarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması, güney-batı yönlü bakıda bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması dikkat çeken unsurlardır. Riskin en az olduğu mavi renkli alanlardan biri Batı Küre Dağları ve güney kesimde bulunan yüksek yerlerdir. Bu alanlarda iğne yapraklıların bulunmasına ve acil durum müdahalelerinden uzak olmasına rağmen yükseltinin fazla, sıcaklığın da düşük olması sebebiyle risk az çıkmıştır. Diğer mavi renkli alan ise orta batı kesimdir. Bu alanda da acil durum müdahale faktörlerinin fazla olması, riski azaltmaktadır. Turuncu ve sarı renkli

alanlarda ise risk orta derecedir. Şekil 17'de gösterildiği gibi yangın risk haritasında en fazla alan kaplayan sınıf 824 km² ile yüksek risk sınıfıdır. Ardından 765.6 km² ile orta risk sınıfı gelmektedir. Riskin en fazla olduğu kırmızı bölgeler 438.1 km², en az olduğu mavi alanlar 293.5 km² yer kaplamaktadır.

4. Sonuçlar

Risk analizi için CBS tabanlı GİA metodu kullanılarak çalışma yapılmıştır. Hesaplama sürecinde orman yangınına etkileyen faktörler (arazi kullanım, yükselti, eğim, bakı, sıcaklık, nem) ve acil durum müdahaleleri (itfaiye, yangın gözetleme kulesi ve helikopter su kaynağı) olmak üzere birbirinden bağımsız iki harita oluşturulmuştur. Orman yangınına etkileyen faktörler

haritasında en riskli olan kırmızı sahalarda 656.7 km²'lik alan kaplanmaktadır. Bu alanların büyük bir çoğunluğu 500'in metre altında alanlardan oluşmaktadır. Acil durum müdahaleleri haritasında riskin en az olduğu mavi sahalarda 830 km² alana sahiptir. Mavi alanlarda helikopter su kaynağının, itfaiye ve yangın gözetleme kulelerinin birbirlerine yakın olması göze çarpan unsurlardır. Bu haritaların birleştirilmesi ile Bartın ilinin yangın risk haritası yapılmıştır. Riskin en fazla olduğu kırmızı sahalarda 438.1 km²'lik alan kaplanmaktadır. Bu alanlarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunması, güney-batı yönlü bakıda bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması riski arttırmıştır.

Ateşoğlu (2014), Bartın ilinde orman yangın tehlikesinin tanımlanmasıyla ilgili çalışmada CBS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden olan AHP analizinden yararlanmıştır. Çalışmada orman yangınlarına sebep olan faktörler için arazi kullanım/vejetasyon koşulları, eğim, baki, yükseklik, yerleşmeye yakınlık ve yollara uzaklık parametrelerini kullanmıştır. AHP tekniği sonucunda Bartın ilinin 260.8 km²'lik alanında yangın tehlikesi yüksek çıkmıştır. Yüksek tehlike çıkan sahalarda eğim fazla, yükselti azdır. Ayrıca bozulmuş meşcere alanları ve doğal ormanlar ile tarım alanlarının iç içe geçtiği sahalarda yüksek tehlike çıkan yerler arasındadır. Bu çalışmada kullanılan GİA yöntemi ile Bartın ilinin 438.1 km²'lik alanı çok yüksek riskli çıkmıştır. Çok yüksek riskli alanlarda sıcaklığın fazla yükseltinin az olması, iğne yapraklı alanların ve güney-batı yönlü bakıların bulunması, acil durum müdahalelerinden uzak olması dikkat çekicidir. Çalışma sahasında yükseltinin az olduğu ve bazı ormanlık alanlar iki çalışmada risk açısından benzerlik göstermektedir. Bununla beraber çalışma sahasında risk açısından farklılıklar da bulunmaktadır. Bu farkın oluşmasında elbette oluşturulan sınıf sayısının etkisi vardır. Sınıf sayısından ayrı olarak bu çalışmada kullanılan faktörlerin fazla olması farklılıkların oluşmasına etki ettiği düşünülmektedir. Ayrıca orman yangını etkileyen faktörler ile acil müdahale faktörlerinin birbirinden bağımsız olarak analiz edilmesi ve sonrasında birleştirilerek risk haritası oluşturulması bahsi geçen çalışma ile farklılıklar oluşmasına da sebep olmuş olabilir.

Gün geçtikçe iklimin orman yangınları için uygun şartlara gelmesi riskli alanların artmasına hatta yeni riskli sahalarda oluşmasına neden olmaktadır. Antropojenik etkiler de bu sürecin hızlanmasını, yanan alanların ve orman yangını sayılarının artmasını etkilemektedir. Burada dikkat çekici durum sahanın nemli olmasına rağmen riskli alanlarda ciddi orman yangınlarının çıkabileceğidir.

5. Öneriler

Orman yangınlarıyla mücadele kapsamında yapılacak olan planlamalar ve stratejiler için CBS tabanlı GİA metodu kullanılabilir ve elde edilen bulgular ile orman işletme şefliklerine yardımcı olunabilir. Ayrıca metod sadece Bartın ilinde değil, Türkiye'deki diğer tüm ormanlık sahalarda için uygulanabilir.

Biyocoşunluk açısından zengin olan Bartın ilinin ormanlık sahalarda risk alanlarının belirlenerek tedbirlerin alınması ve kontrol altında tutulması için bu çalışmaya gereklilik duyulmuştur. Bundan dolayı yapılan bu yangın risk analizi ile ormanlık sahalarda çıkabilecek yangınlar öngörülebilir. Riskin fazla olduğu sahalarda tespit edilerek, yangın sezonunda daha dikkatli olunabilir. Özellikle sıcaklığın fazla, yükseltinin az olduğu başta iğne yapraklı sahalarda olmak üzere tüm ormanlarda kontrol arttırılmalıdır. Diğer bir önlem ise riskin fazla olduğu sahalarda yangın gözetleme kulelerinin arttırılmasıdır. Yangın gözetleme kulelerinde kamera veya görevli kişilerce orman gözetimi, yangın çıktığı anda büyümeden önüne geçmeyi sağlamaktadır. Ayrıca orman gözetimleri ile yangının büyüme yönüne dair bilgi veren kulelerde haberleşme araçları da ekip araçlarını yönlendirmek için son derece önem arz etmektedir. Bununla birlikte son zamanlarda gelişen teknoloji ile yüksek donanımlara ve yazılımlarla sahip İnsansız Hava Araçları (İHA) yangın belirlemede kullanılabilir. Yangın gözetleme kulelerine nazaran daha fazla alanı tarayabilen İHA'lar kuytu sahalarda bile çıkabilecek yangınları belirleyebilir. Bu yönleri sayesinde İHA'lar vasıtasıyla hem zamandan hem de daha fazla alanın taranmasından fayda sağlanabilir.

Yangın riskinin yüksek olduğu sahalarda, özellikle yerleşmelere yakın olan yerlerde yangının hızını yavaşlatacak ateş dikenini, kuşburnu, akasya gibi ateşe daha dayanıklı bitkiler ile doğal set denemeleri yapılabilir. Bu sayede çıkabilecek yangının büyümesi ve hızının yavaşlaması sağlanabilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Mücahit Coşkun: Makale yazımı, Düzenleme, Literatür taraması; **Ferhat Toprak:** Analiz, Şekiller, Makale yazımı, Düzenleme, Literatür taraması

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akay, A. E., & Erdoğan, A. (2017). GIS-Based Multi-criteria Decision Analysis for Forest Fire Risk Mapping. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(IV-4/W4), 25-30. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-25-2017>
- Akay, A. E., & Şahin, H. (2019). Forest fire risk mapping by using GIS techniques and AHP method: A case study in Bodrum (Turkey). *European Journal of Forest Engineering*, 5(1), 25-35. <https://doi.org/10.33904/ejfe.579075>
- 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. *Journal of Human Sciences*, 15(4), 2127. <https://doi.org/10.14687/jhs.v15i4.5491>
- Aktaş, U. (2006). Kastamonu-Bartın Küre Dağları Milli Parkının, Bartın İli Sınırları İçerisinde Kalan Bölümünün Odunsu Florası. *Zonguldak Karaelmas*

- Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.
- Ali, E. (2020). Geographic information system (GIS): definition, development, applications & components. Department of Geography, Ananda Chandra College. India.
- Aricak, B., Küçük, O., & Enez, K. (2014). Determining a fire potential map based on stand age, stand closure and tree species, using satellite imagery (Kastamonu Central Forest directorate sample). *Croatian Journal of Forest Engineering*, 35(1), 101–108.
- Arslantürk, N. (2007). Yangının vejetasyon üzerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 29, 141–153.
- Atalay, İ., & Efe, R. (2015). *Türkiye Biyocoğrafyası* (1. baskı). İzmir: META Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Atesoğlu, A. (2014). Forest Fire Hazard Identifying. Mapping Using Satellite Imagery-Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process: Bartın, Turkey. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 725(2), 715–725.
- Atmış, E. (2020). Türkiye Ormancılar Derneği'nin 95. Kuruluş Yıldönümünde: Orman Varlığımız ve Ormancılık Üretim Faaliyetleri Editör: K. Ok), ISBN: 978-975-93478-8-8, 82 sayfa, Ankara.
- Avcı, M., & Korkmaz, M. (2021). Türkiye'de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 22(3), 229–240. <https://doi.org/10.18182/tjf.942706>
- Barnwell, C., & Rodman, S. (2005). Urban Wildfire Exposure Modeling in the Municipality of Anchorage, Alaska. ESRI User Conference.
- Başaran, M., Sarıbaşak, H., & Cengiz, Y. (2003). Yangın Söndürme Planı Temel Esaslarının Belirlenmesi (Manavgat Örneği). *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten*, (225), 1–96.
- Başaran, N., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2022). Using Multiple Linear Regression To Analyze Changes in Forest Area: The case study of Akdeniz Region. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 247–263. <https://doi.org/10.26833/ijeg.976418>
- Bingöl, B. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Burdur İli Orman Yangını Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(2), 169–182. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.319155>
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the earth system. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Chuvienco, E., & Salas, J. (1996). Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *Geographical Information Systems*, 10(3), 333–345. <https://doi.org/10.1080/026937996138070>
- 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>
- DKMP. (2012). Küre Dağları Milli Parkı Uzun Devreli Gelişme Planı. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.
- Doğanay, H., & Doğanay, S. (2004). Türkiye'de Orman Yangınları ve Alınması Gereken Önlemler. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(11), 31–48.
- Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2011). GIS-based forest fire risk assessment and mapping. *Proceedings- 4th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2011, (May)*, 1240–1244. <https://doi.org/10.1109/CSO.2011.140>
- Gheshlaghi, A. H., Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2020). GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3), 481–499. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1594726>
- Gigović, L., Jakovljević, G., Sekulović, D., & Regodić, M. (2018). GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicki Vjesnik*, 25(3), 891–897. <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>
- Gülçin, D., & Deniz, B. (2020). Remote sensing and GIS-based forest fire risk zone mapping: The case of Manisa, Turkey. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 21(1), 15–24. <https://doi.org/10.18182/tjf.649747>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)
- Kalbani, K. Al, & Rahman, A. A. (2022). 3D city model for monitoring flash flood risks in Salalah, Oman. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 17–23. <https://doi.org/10.26833/ijeg.857971>
- Kavlak, M. Ö., Kurtipek, A., & Çabuk, S. N. (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Orman Yangını Risk Haritası Oluşturulması: Ören Örneği. *Resilience*, 4(1), 33–54. <https://doi.org/10.32569/resilience.597887>
- Kaya, Z., & Başaran, S. (2006). Bartın Florasına Katkıları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(1303–2399), 40–62.
- Kırış, R., & Toprak, S. (2007). İklim Değişikliğinde Ormanların Rolü. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi*, 379–384.
- Kucuk, O., Topaloglu, O., Altunel, A. O., & Cetin, M. (2017). Visibility analysis of fire lookout towers in the Boyabat State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6008-1>
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers and Industrial Engineering*, 55(1), 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.12.002>
- Küçük, Ö., & Bilgili, E. (2006). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Yangın Davranışının Uygulamaya Aktarılması: Kastamonu Örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(2), 262–273.
- Küçük, O., Bilgili, E., Bulut, S., & Fernandes, P. M. (2012). Rates of surface fire spread in a young calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantation. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(8), 1475–1480. <https://doi.org/10.30638/eemj.2012.184>

- Küçük, Ö., Kalaycık, H., & Kapukran, İ. (2008). Batı Karadeniz Ormanlarında Orman Yangını Gerçeği. VI. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi, 69–75.
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A., & Lal, D. (2021). Forest fire risk mapping using analytical hierarchy process (AHP) and earth observation datasets: a case study in the mountainous terrain of Northeast India. *SN Applied Sciences*, 3(4), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04391-0>
- Linn, R., Winterkamp, J., Edminster, C., Colman, J. J., & Smith, W. S. (2007). Coupled influences of topography and wind on wildland fire behaviour. *International Journal of Wildland Fire*, 16(2), 183–195. <https://doi.org/10.1071/WF06078>
- Morán, J., Granada, E., Míguez, J. L., & Porteiro, J. (2006). Use of grey relational analysis to assess and optimize small biomass boilers. *Fuel Processing Technology*, 87(2), 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.08.008>
- Nikhil, S., Danumah, J. H., Saha, S., Prasad, M. K., Rajaneesh, A., Mammen, P. C., ... Kuriakose, S. L. (2021). Application of GIS and AHP Method in Forest Fire Risk Zone Mapping: a Study of the Parambikulam Tiger Reserve, Kerala, India. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s41651-021-00082-x>
- O'Brien, J. J., Hiers, J. K., Callahan, M. A., Mitchell, R. J., & Jack, S. B. (2008). Interactions among overstory structure, seedling life-history traits, and fire in frequently burned neotropical pine forests. *Ambio*, 37(7–8), 542–547. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.542>
- Pausas, J. G., & Ribeiro, E. (2013). The global fire-productivity relationship. *Global Ecology and Biogeography*, 22(6), 728–736. <https://doi.org/10.1111/geb.12043>
- Said, S. N. B. M., Zahran, E.-S. M. M., & Shams, S. (2017). Forest Fire Risk Assessment Using Hotspot Analysis in GIS. *The Open Civil Engineering Journal*, 11(1), 786–801. <https://doi.org/10.2174/1874149501711010786>
- Scott, A. C., & Glasspool, I. J. (2006). The diversification of Paleozoic fire systems and fluctuations in atmospheric oxygen concentration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(29), 10861–10865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604090103>
- Selim, S., & Demir, N. (2019). Detection of Ecological Networks and Connectivity With Analyzing Their Effects on Sustainable Urban Development. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 63–70. <https://doi.org/10.26833/ijeg.443114>
- 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, 101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101537>
- Tarhan, Ç., & Saygın, Ö. (2006). Gis Based Risk Assessment : a Case Study of İzmir Metropolitan Area. 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information Technologies, 601–607.
- Tien Bui, D., Le, H. Van, & Hoang, N. D. (2018). GIS-based spatial prediction of tropical forest fire danger using a new hybrid machine learning method. *Ecological Informatics*, 48, 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.08.008>
- TOD. (2020). İtfaiyeciler İçin Orman Yangınları. Kuban Matbaacılık Yayıncılık, Ankara, 53.
- Toprak, F. (2020). Batı Karadeniz Bölümü'nde Kurucuşile-Arit Çayı Arası Vegetasyon Ekolojisi. Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
- Tunçkol, B., & Aksoy, N. (2018). Flora of Küre Mountains National Park (Bartın Section). *Journal of Forestry*, 14(2), 84–117.
- Yavuz, M., Sağlam, B., Küçük, Ö., & Tüfekçioğlu, A. (2018). Assessing forest fire behavior simulation using FlamMap software and remote sensing techniques in Western Black Sea Region, Turkey. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2), 171–188. <https://doi.org/10.17475/kastorman.459698>
- Yin, H. W., Kong, F. H., & Li, X. Z. (2004). RS and GIS-based forest fire risk zone mapping in Da Hinggan Mountains. *Chinese Geographical Science*, 14(3), 251–257. <https://doi.org/10.1007/s11769-003-0055-y>
- Yılmaz, O. S., Oruç, M. S., Ateş, A. M., & Gülgen, F. (2021). Orman Yangın Şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Analizi: Hatay-Belen Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(2), 1519–1532. <https://doi.org/10.21597/jist.817900>
- Zhai, L. Y., Khoo, L. P., & Zhong, Z. W. (2009). Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis. *Expert Systems with Applications*, 36, 7072–7079. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.08.068>
- Zhang, J., Wu, D., & Olson, D. L. (2005). The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers. *Mathematical and Computer Modelling*, 42(9–10), 991–998. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.03.003>

