

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Orman Yangınlarına Hassas Alanlarda Yapılaşmanın
Planlanması İçin Mekânsal Bir Model Geliştirilmesi**

Merve Birhan YILMAZ

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Aralık, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

Orman Yangınlarına Hassas Alanlarda Yapılaşmanın
Planlanması İçin Mekânsal Bir Model Geliştirilmesi

Merve Birhan YILMAZ

Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

Bu Yüksek Lisans / Doktora Tezi 12/11/2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Hakan ALPHAN (Danışman)
: Prof. Dr. Öner DEMİREL
: Prof. Dr. Cengiz USLU
: Prof. Dr. Şerif HEPCAN
: Doç. Dr. Serhat CENGİZ

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Orman Yangınları	3
1.1.1. Dünya ve Türkiye’deki Orman Alanlarının Miktarı ve Dağılımı	3
1.1.2. Ormanların Ekolojik, Ekonomik ve Sosyal Önemi	4
1.1.3. Ormanların Karşı Karşıya Olduğu Tehditler	6
1.1.4. Orman Yangınlarının Oluşma Nedenleri ve Yayılma Mekanizmaları	7
1.1.5. Yangın Türleri	7
1.1.6. Orman Yangınları Çıkış Nedenleri	8
1.2. Yangın Riski	9
1.2.1. Yangın Riskinin Tanımı ve Önemi	9
1.2.2. Yangın Riskinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi	10
1.2.3. Yangın Riskini Etkileyen Faktörler	11
1.3. Orman Yangınları ve Risk Analizlerinde Değişkenler ve Analiz Yöntemleri	18
1.4. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK)	19
1.4.1. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişiminin Önemi ve İzlenmesi	20
1.4.2. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Zamansal Değişimine Etki Eden Faktörler	20
1.4.3. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişiminin Orman Yangınları ve Yangın Riski Üzerindeki Etkileri	22
1.4.4. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı Modelleme Teknikleri ve Yaklaşımları	23
1.5. Kentsel Modellerin Gelişim Süreci	24
1.6. Mekansal Modelleme Yaklaşımları ve Kentleşme	24
1.6.1. Hücresel Otomata Modeli	26
1.6.2. Markov Zinciri Modeli	27
1.6.3. HO-Markov Modeli	28
1.7. İzmir ve Çevresi Kentsel Gelişim Süreci	28
1.7.1. Antik Dönem	28
1.7.2. Roma ve Bizans Dönemleri	29
1.7.3. Osmanlı Dönemi	29

1.7.4. Modern Dönem	29
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	31
2.1. Orman Yangınları ve Risk Analizleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar	31
2.2. Arazi Örtüsü / Alan Kullanımları Değişiminin İncelenmesine Yönelik Çalışmalar.....	48
2.3. HO-Markov Modeli ile Gelecek Arazi Örtüsü / Alan Kullanımlarının Modellenmesine Yönelik Çalışmalar.....	51
3. MATERYAL VE METOT	69
3.1. Materyal	69
3.1.1. Çalışma Alanı.....	69
3.1.2. İklim.....	70
3.1.3. Bitki Örtüsü.....	72
3.1.4. Nüfus ve Yerleşim	74
3.1.5. CBS Veri Tabanı.....	76
3.2. Yöntem.....	77
3.2.1. Kentsel Gelişimin Projeksiyonu.....	79
3.2.2. Orman Yangınlarına Hassas Alanların Belirlenmesi	82
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	95
4.1. Kentsel Gelişim.....	95
4.1.1. CORINE Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Verilerinin Elde Edilmesi, Haritaların Oluşturulması	95
4.1.2. 1990-2006-2018 Yılları İçin Arazi Örtüsü/Alan Kullanım (AÖ/AK) Sınıfları	95
4.1.3. Alan Kullanımlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Doğruluk Analizlerinin Yapılması	98
4.1.4. 2050 Yılı Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişimleri: Kentleşme Eğilimleri.....	100
4.1.5. 1990 ve 2006 Yılları İçin Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) Zamansal Değişimi	102
4.1.6. 2006 ve 2018 yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) zamansal değişimi	104
4.1.7. 2018 ve 2050 Yılları İçin Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) Zamansal Değişimi	109
4.2. Orman Yangınları	116
4.2.1. AHP Yöntemiyle Yangına Hassas Alanların Belirlenmesi ve Haritalanması.....	116
4.2.2. AHP Altlık Haritaların Hazırlanması ve Değişkenler.....	125
4.2.3. CBS Veri Tabanı Bulguları.....	138
4.2.4. Yangın Noktaları.....	144
4.2.5. Risk Haritasının Doğrulanması.....	146

4.3. Kentsel Gelişim Alanlarının Risk Gruplarına Göre Değerlendirilmesi	147
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	185



Orman Yangınlarına Hassas Alanlarda Yapılaşmanın Planlanması İçin Mekansal Bir Model Geliştirilmesi

Merve Birhan YILMAZ

Danışman: Prof. Dr. Hakan ALPHAN
Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı

ÖZ

Orman yangınları, çevresel ve ekonomik sonuçları olan kritik sorunlardan biridir. Bu çalışma, orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın etkilerini ayrıntılı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma alanı olarak İzmir iline bağlı Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçeleri seçilmiştir. Çalışma alanının haritaları 1990, 2006 ve 2018 yılları için CORINE Arazi Örtüsü (CLC) veri seti analizi, birinci düzey CORINE Arazi Örtüsü sınıflarına göre oluşturulmuştur. Oluşturulan sınıflandırılmış haritaların doğruluğu test edilmiştir. Sınıflandırılmış haritaların doğruluğu tespit edildikten sonraki aşamada geçmiş ve günümüz verileri analiz edilerek gelecekteki kentsel büyüme eğilimleri simüle edilmiştir. Elde edilen 2050 projeksiyonunda 2018 yılına göre yerleşim alanında %76,72' lik bir artış, tarım alanında %4,97'lik bir artış, orman alanında %8,44'lük bir azalış öngörülmüştür. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) analiziyle yangın riskini etkileyen faktörlerin öncelikleri belirlenmiştir. Belirlenen risk faktörlerinin önem ağırlıkları; Antropojenik %44 (enerji nakil hatlarına uzaklık %13, yola uzaklık %11, tarım alanlarına uzaklık %11, yerleşime uzaklık %9), İklim %30 (bağıl nem %12, sıcaklık %9, rüzgar hızı %9), Meşcere %21 (ağaç türü %10, kapalılık %6, gelişim çağı %5) ve Topoğrafya %5 (bakı %3, eğim %1, yükseklik %1) olarak bulunmuştur. Bu faktörlerin önem ağırlıklarına göre oluşturulan, kapsamlı yangın risk haritasına göre, araştırma alanının %9,28'i (16,549 ha) düşük, %51,93'ü (92,625 ha) orta, %38,58'i (68,818 ha) yüksek ve %0,21'i (378 ha) çok yüksek yangın riski taşıdığı tespit edilmiştir. Yangın risk haritasının doğrulanması aşamasında ROC eğrisi yöntemi kullanılarak AUC değeri %71 olarak bulunmuştur. 2050 yılı projeksiyonu haritasındaki, tarımdan ve ormandan yerleşime geçeceği öngörülen yeni şehir alanları, AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritası ile entegre edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kentsel gelişim, %45,38 oranında orta riskli, %54,16 oranında ise yüksek riskli alanlarda yoğunlaşmaktadır. Düşük riskli alanlarda %0,46, çok yüksek riskli alanlarda ise %0,01 oranında sınırlı kentsel gelişim öngörülmüştür. Bu çalışma, orman yangını riskine hassas alanlarda yapılaşmanın etkilerini detaylı bir şekilde analiz ederek yangın riski yüksek bölgelerin belirlenmesine ve yapılaşma planlamasına yönelik mekânsal bir model geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, sürdürülebilir ve risk odaklı bir kentsel büyüme stratejisi geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: AHP, HO Markov, Kentsel gelişim, Mekânsal modelleme, Orman yangını.

Developing a Spatial Model for Urban Development Planning in Forest Fire-Prone Areas

Merve Birhan YILMAZ

*Advisor: Prof. Dr. Hakan ALPHAN
Department of Landscape Architecture*

ABSTRACT

Forest fires are one of the critical issues with significant environmental and economic consequences. This study aims to comprehensively analyze the impacts of urbanization in areas sensitive to forest fires. The study area includes the districts of Karaburun, Çeşme, Urla, and Seferihisar in İzmir Province. Maps of the study area were generated for the years 1990, 2006, and 2018 using the CORINE Land Cover (CLC) dataset, classified according to Level 1 CORINE Land Cover classes. The accuracy of the classified maps was assessed. Following the verification of classification accuracy, past and present data were analyzed to simulate future urban growth trends. The 2050 projections indicate a 76.72% increase in settlement areas, a 4.97% increase in agricultural areas, and an 8.44% decrease in forest areas compared to 2018. The priorities of factors influencing fire risk were determined through Analytic Hierarchy Process (AHP) analysis. The importance weights of the identified risk factors were found as follows: Anthropogenic factors 44% (distance to power lines 13%, distance to roads 11%, distance to agricultural areas 11%, distance to settlements 9%), Climate 30% (relative humidity 12%, temperature 9%, wind speed 9%), Vegetation 21% (tree species 10%, canopy closure 6%, stand development stage 5%), and Topography 5% (aspect 3%, slope 1%, elevation 1%). Based on these importance weights, a comprehensive fire risk map was developed. According to the map, 9.28% (16,549 ha) of the study area is classified as low risk, 51.93% (92,625 ha) as moderate risk, 38.58% (68,818 ha) as high risk, and 0.21% (378 ha) as very high risk. The ROC curve method was used in the verification stage of the fire risk map, and the AUC value was found to be 71%. New urban areas projected to transition from agriculture and forest to settlement on the 2050 projection map were integrated with the fire risk map generated using the AHP method. According to the analysis results, urban development is concentrated in medium-risk areas at a rate of 45.38% and high-risk areas at a rate of 54.16%. Limited urban development is projected at a rate of 0.46% in low-risk areas and 0.01% in very high-risk areas. This study highlights the significance of developing a spatial model to analyze the effects of urbanization in areas sensitive to forest fire risk and to identify high-risk zones for better urban planning. The findings contribute to the formulation of sustainable and risk-focused urban growth strategies.

Keywords: AHP, CA Markov, Urban development, Spatial modelling, Forest fire.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, Doktora tez konumu belirleme sürecinde ilgi ve isteklerimi göz önünde bulundurarak beni bu konuda yönlendiren ve süreç boyunca bilimsel rehberliğini ve manevi desteğini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hakan ALPHAN’a,

Tez çalışmalarım süresince yapıcı eleştirileri ve yol gösterici önerileriyle çalışmamı yönlendiren tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Öner DEMİREL’e ve Sayın Prof. Dr. Cengiz USLU’ya,

Tez jürisi üyeleri arasında yer alarak kıymetli görüş ve değerlendirmeleriyle çalışmamı zenginleştiren; Sayın Prof. Dr. Şerif HEPCAN’a ve Sayın Doç. Dr. Serhat CENGİZ’e,

Bu uzun ve zorlu süreçte her zaman yanımda olan ve destekleriyle bana moral veren annem Yasemin YILMAZ, babam Prof. Dr. Şaban YILMAZ ve kardeşim Onur Alperen YILMAZ’a

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar.....	44
Çizelge 2.2. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) değişimine yönelik çalışmalar	50
Çizelge 2.3. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli ile gelecek Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) modellenmesine yönelik çalışmalar	64
Çizelge 3.1. Yangına dayanıklı ve dayanıksız bitki türleri	74
Çizelge 3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) işlem aşamaları	83
Çizelge 3.3. İkili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem değerleri ve tanımları (Saaty, 1990)	85
Çizelge 3.4. Rastgele tutarlılık indeksi (RI).....	87
Çizelge 3.5. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları I.....	88
Çizelge 3.6. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları II.....	89
Çizelge 3.7. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları III	91
Çizelge 4.1. 1990 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu.....	99
Çizelge 4.2. 2006 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu.....	99
Çizelge 4.3. 2018 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu.....	99
Çizelge 4.4. 1990-2006-2018 Yılları Genel Doğruluk (GD) ve Kappa Katsayısı (KK).....	100
Çizelge 4.5. 1990 ve 2006 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi	103
Çizelge 4.6. 2006 ve 2018 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi	104
Çizelge 4.7. 2018 ve 2050 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi	110
Çizelge 4.8. İkili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçeği (Saaty, 1990)	118
Çizelge 4.9. İkili karşılaştırma matrisi	119
Çizelge 4.10. Normalize edilmiş matris ve kriter ağırlıkları.....	121
Çizelge 4.11. Öz vektör ve kriter ağırlıkları	123
Çizelge 4.12. Rastgele tutarlılık indeksi	124
Çizelge 4.13. AHP yangın risk haritası verileri	144
Çizelge 4.14. 2018-2050 yılları arasında kentsel gelişim alanlarının risk gruplarına dağılımı.....	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yangın Üçgeni	7
Şekil 1.2. Türkiye’de 1990-2022 Yılları Arası Görülen Orman Yangın Sayısı ve Yanan Orman Alanları (OGM, 2022).....	9
Şekil 1.3. Türkiye’de 1997-2022 Yılları Çıkış Nedenlerine Göre Yangın Sayıları (OGM, 2022)	9
Şekil 3.1. Çalışma Alanı Lokasyon Haritası	70
Şekil 3.2. 1990-2023 Yıllarına Göre Ortalama Sıcaklık Değişim Grafiği (MGM, 2023)	71
Şekil 3.3. 1990-2023 Yıllarında İzmir’in En Sıcak ve En Soğuk Aylarına Ait Ortalama Sıcaklık Grafiği (MGM, 2023).....	71
Şekil 3.4. Çalışma Alanının 1990-2023 Yılları Arasında Yıllık Ortalama Nem Değerleri (MGM, 2023).....	72
Şekil 3.5. Çalışma Alanı Nüfus Yoğunluğu Haritası (TÜİK, 2023)	75
Şekil 3.6. Çalışma Alanını Oluşturan İlçelerin Nüfus Artışı (TÜİK, 2023)	76
Şekil 3.7. Araştırma Kapsamında Kullanılan Yöntemlerin Akış Diyagramı	79
Şekil 3.8. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Hiyerarşi İnşası.....	84
Şekil 3.9. Fuzzy Linear Modeline Göre Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.	88
Şekil 3.10. Fuzzy Linear 2 Modeline Göre Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.	89
Şekil 4.1. 1990 Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritası	96
Şekil 4.2. 2006 Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritası	97
Şekil 4.3. 2018 Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritası	98
Şekil 4.4. TerrSet 2020 Programında Mekânsal Değişim Eğilimlerinin Oluşturulması	100
Şekil 4.5. Girilen Verilerin Makineye Öğretim Süreci	101
Şekil 4.6. 2050 Yılı İçin Değişim Potansiyeli Haritası	101
Şekil 4.7. 2050 Yılı Öngörülen Projeksiyon Haritası.....	102
Şekil 4.8. 1990 ve 2006 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları	103
Şekil 4.9. 2006 ve 2018 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları	104
Şekil 4.10. 1990, 2006 ve 2018 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları	105
Şekil 4.11. 1990-2018 Kazanılan ve Kaybedilen Alanlar	105
Şekil 4.12. 1990-2018 Alan Kullanımları Yer Değiştirme Grafiği	105
Şekil 4.13. Yerleşim Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	106
Şekil 4.14. Yerleşim Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar ...	106
Şekil 4.15. Tarım Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	107
Şekil 4.16. Tarım Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar	107

Şekil 4.17. Orman Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	108
Şekil 4.18. Orman Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar.....	108
Şekil 4.19. Su Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği	109
Şekil 4.20. Su Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar.....	109
Şekil 4.21. 2018 ve 2050 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları	110
Şekil 4.22. 2018-2050 Kazanılan Kaybedilen Alanlar.....	110
Şekil 4.23. 2018-2050 Alan Kullanımları Yer Değiştirme Grafiği.....	111
Şekil 4.24. 2018-2050 Bölgesel Fark Haritası	111
Şekil 4.25. Yerleşim Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	112
Şekil 4.26. Yerleşim Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar ...	112
Şekil 4.27. Tarım Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	112
Şekil 4.28. Tarım Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar	113
Şekil 4.29. Orman Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği.....	113
Şekil 4.30. Orman Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar.....	114
Şekil 4.31. Ana ve Alt Kriterlere İlişkin Karar (Hiyerarşi) Şeması	117
Şekil 4.32. Ağaç Tür Kompozisyonu Haritası	126
Şekil 4.33. Gelişim Çağı Haritası.....	127
Şekil 4.34. Kapalılık Haritası	128
Şekil 4.35. Eğim Haritası	129
Şekil 4.36. Bakı Haritası	130
Şekil 4.37. Yükseklik Haritası	131
Şekil 4.38. Sıcaklık Haritası.....	132
Şekil 4.39. Bağıl Nem Haritası	133
Şekil 4.40. Rüzgar Hızı Haritası	134
Şekil 4.41. Yola Uzaklık Haritası	135
Şekil 4.42. Tarım Alanına Uzaklık Haritası.....	136
Şekil 4.43. Yerleşime Uzaklık Haritası.....	137
Şekil 4.44. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası.....	138
Şekil 4.45. Ağırlıklı Çakıştırma Yangın Risk Modeli.....	143
Şekil 4.46. Çalışma Alanının AHP Yangın Risk Haritası.....	144
Şekil 4.47. 2013-2023 Yılları Yangın Çıkış Noktaları Haritası	145
Şekil 4.48. 2013-2023 Yılları Verilerine Göre Yangın Risk Haritasının ROC-AUC Eğrisi	146



SİMGELER VE KISALTMALAR

ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
AK	: Alan Kullanımı
ANNs	: Yapay Sinir Ağları
ANP	: Analitik Ağ Süreci
AÖ	: Arazi Örtüsü
AUC	: Area Under Curve (Eğrinin Altında Kalan Alan)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CI	: Tutarlılık İndeksi
CLC	: CORINE Land Cover (Corine Arazi Örtüsü)
CLUE	: Conversion of Land Use and its Effects (Arazi Kullanımı dönüşümü ve etkileri modeli)
CR	: Tutarlılık Oranı
dNBR	: Difference Normalized Burned Ratio (Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti)
dNDVI	: Fark Normalize Edilmiş Bitki İndeksi
ENH	: Enerji Nakil Hatları
ETM	: Geliştirilmiş Tematik Haritalayıcı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FFI	: Orman Yangın İndeksi
FRM	: Frekans Oranı Yöntemi
Fuzzy logic	: Bulanık Mantık
FWI	: Yangın Hava Durumu Endeksi
GEE	: Google Earth Engine
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
Ha	: Hektar
HO	: Hücresel Otomata
HO-Markov	: Hücresel Otomata-Markov
LCM	: Land Change Modeller (Arazi değişim modelleyicisi)
LR	: Logistic Regrasyon
MAS	: Multi Agent System (Ajan Tabanlı Sistem)
MaxEnt	: Maksimum Entropi

MC	: Markov Chain (Markov Zinciri)
MCDA	: Multiple-Criteria Decision Analysis (Çok Kriterli Karar Analizi)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSS	: Multi Spectral Scanner (Çoklu Spektral Tarayıcı)
NBR	: Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Vejetasyon Fark İndeksi)
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
RI	: Rastgele Tutarlılık İndeksi
ROC	: Receiver Operating Characteristic (Göreceli Çalışma Karakteristiği)
RS(UA)	: Remote Sensing (Uzaktan Algılama)
RT	: Regrasyon Ağacı
SI	: İstatistiksel İndeks Yöntemi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TM	: Tematik Harita
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	: United States Geologic Survey (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma)
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS	: World Geodetic System

1. GİRİŞ

Günümüzde doğal afetlerin sıklığı ve şiddetindeki artış, iklim değişikliği, kentsel genişleme ve insan faaliyetlerinin artması gibi nedenlerle doğal alanların ve ekosistemlerin dengesi büyük ölçüde sarsılmış durumdadır. Bu süreçte karşı karşıya kalınan en büyük tehditlerden biri de orman yangınlarıdır. Orman yangınları, yalnızca bitki örtüsünün yok olması, biyoçeşitliliğin azalması ve toprak erozyonu gibi ekosistem üzerindeki doğrudan etkileriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda insan hayatını, mülkiyeti ve sosyal ekonomik yapıları da olumsuz yönde etkileyen tehlikeli olaylardır. Bu nedenle, orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın planlanması ve yönetimi, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de toplumsal güvenlik açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Araştırmanın önemi; Orman yangınlarının artan sıklığı ve şiddeti, bu olayların çevresel ve ekonomik etkilerini artırmıştır. Aynı zamanda, kentsel alanların hızla büyümesi, orman yangınlarının daha fazla insanı etkileme potansiyelini artırmıştır. Araştırma, bu iki önemli sorunun kesiştiği noktada çözüm arayışına odaklanmaktadır.

Bu araştırma, kentsel planlamacılar, çevre koruma uzmanları ve karar alıcıları, kent büyümesini daha sürdürülebilir bir şekilde planlamak ve orman yangınlarının etkilerini azaltmak konusunda desteklemeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda, bu çalışma, mekânsal modelleme ve simülasyonun bu sorunların yönetiminde nasıl kullanılabileceğini göstererek bu alandaki bilgi birikimini artırmayı hedeflemektedir.

Araştırma sorusu, "Orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşma planlaması için geliştirilen mekânsal bir modelde, çok kriterli değerlendirme ile oluşturulan yangın risk haritası ve HO-Markov yöntemi kullanılarak yapılan geleceğe yönelik kentsel gelişim simülasyonlarının bir arada kullanılması ile yangın riskinden etkilenmesi olası kentsel gelişme alanları belirlenebilir mi?" olarak belirlenmiştir. Bu sorunun cevaplanması için aşağıdaki amaçlar belirlenmiştir:

- Geçmiş verilere dayalı olarak gelecekteki kentsel gelişimi tahmin etmek için bir mekânsal model geliştirmek.
- Orman yangını risk bölgelerini belirlemek ve bu riskli bölgelerin kentsel gelişme alanları ile nasıl ilişkilendiğini analiz etmek.
- Elde edilen bulgulara dayalı olarak, orman yangınlarını önlemek ve yangın sonrası gelişme planları için stratejiler ve öneriler oluşturmak.

Değişim tahmini kavramı, bu tezin temelinde yer alan ve orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın gelecekteki etkilerini anlamaya yönelik önemli bir yaklaşımdır. Mevcut yapılaşma modelleri ve orman yangını risk faktörleri ayrı ayrı ele alındığında, bu alanlardaki dinamiklerin tam anlamıyla anlaşılması mümkün değildir. Bu nedenle çalışma, mevcut ve gelecekteki yapılaşma eğilimlerinin orman yangını risk bölgeleriyle örtüşmesini analiz etmeyi ve bu

bölgelerdeki olası değişimleri öngörmeyi hedeflemektedir. Bu yaklaşım, karar vericilere riskleri öngörerek sürdürülebilir planlama stratejileri geliştirme imkânı sunmaktadır.

Bu çalışma, değişim tahmini ve orman yangını risk analizi yöntemlerinin entegre kullanımını ortaya koyarak kentsel gelişme için risk değerlendirmesi bağlamında önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Özellikle risk bölgelerinde yapılaşmanın gelecekteki etkilerini inceleyen kapsamıyla, hem akademik hem de uygulamalı araştırmalar için yeni bir perspektif sunmaktadır.

Yapılaşma ve risk analizini birlikte değerlendiren bu yöntem, yalnızca mevcut durumu değerlendirmekle kalmayıp, gelecekteki eğilimleri öngörerek daha bilinçli ve proaktif yaklaşımların benimsenmesini sağlamaktadır. Bu sayede, çalışmanın bulguları, planlama süreçlerinde çevresel etkilerin minimize edilmesi ve sosyal faydanın artırılması adına katkılar sunabilir. Ayrıca, akademik anlamda, benzer konularda yapılacak araştırmalara yol gösterici bir kaynak olma niteliği taşımaktadır.

Yangın riskinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi için dikkate alınması gereken faktörler oldukça geniştir. Topografik faktörler, yangının hızını ve yayılmasını etkileyen yükseklik, eğim derecesi ve yön gibi unsurları içerir. Meteorolojik faktörler, yangınların oluşma ve yayılma olasılığını belirleyen yağış miktarı, sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi koşulları içermektedir. Arazi örtüsü, bitki örtüsü tipi ve yoğunluğunun yanı sıra orman ağaçları varlığı da yangın riskini etkileyen önemli faktörlerdir. Hidrografik koşullar, su kaynaklarına erişim ve yangın söndürme kapasitesini belirlemede kritik bir rol oynarken, insan etkileşimi ve arazi kullanımı da yangın riskini artırabilir.

Bu tezin yöntemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Cellular Automata Markov (HO-Markov) Modeli gibi araçları içermektedir. AHP, faktörlerin önceliklendirilmesine ve önem sırasına göre ağırlıklandırılmasına yardımcı olurken, HO-Markov modeli gelecekteki yapılaşma ve olası değişimleri tahmin etmekte kullanılmıştır. Bu yöntemler, karmaşık veri setleri ve faktörler arasındaki ilişkileri ele alarak gelecekteki riskleri anlamamıza yardımcı olmuştur.

Bu doktora tezi, orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın planlanmasını ele almayı amaçlayan kapsamlı bir çabanın ürünüdür.

Tezin ilk aşamasında, İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinin kentsel gelişiminin 2050 yılına kadar nasıl ilerleyeceğini öngörmek amacıyla modelleme yapılmıştır. Bu model, mevcut arazi kullanımı verileri, eğim ve yol verileri, yıllar içinde değişim trendi verileri gibi çeşitli parametreleri içermektedir. Bu parametreler dikkate alınarak; belirli bir zaman diliminde, belirlenen bölgede beklenen kentsel büyüme ve gelişmenin nasıl olacağı modelleme aracılığıyla öngörülmüştür.

Bu aşamada, İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinden oluşan çalışma alanı 1990, 2006 ve 2018 yılları için CORINE Arazi Örtüsü (CLC) veri seti analizi ile incelenmiştir. Analizler, İzmir ilçe haritasının koordinat sistemi WGS 1984 datumu UTM projeksiyonunun 35N bölgesinde tanımlanmıştır. CLC veri setinin tablo halindeki verileri sembolojiye göre düzenlenerek sınıflandırılmıştır. TerrSet yazılımının Arazi Değişim Modelleyicisi - LCM modülü kullanılarak

1990 ile 2018 yılları arasında oluşan Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) belirlenmiştir. Bu değişimler öncülüğünde, kentsel gelişim açısından 2050 yılına ait arazi değişim eğilimleri HO-Markov yöntemiyle tahmin edilmiştir.

İkinci aşamada ise, orman yangınlarına hassas bölgelerin belirlenmesi ve bu alanlarda yapılaşmanın planlanması için bir model geliştirilmiştir. CBS analizleri, ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık, eğim, bakı, yükseklik, rüzgar hızı, sıcaklık, bağıl nem, yerleşim yerine uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık ve enerji nakil hatlarına uzaklık gibi çeşitli kriterlerin kullanımıyla orman yangını riski kriter haritalarının oluşturulmasını içermiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen haritalar, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve standartlaştırılmıştır. Sonuç olarak, yangın riski ile ilişkili alanlar belirlenmiş ve kentsel gelişim projeksiyonuyla birlikte değerlendirilmiştir.

Bu iki aşama bir araya getirildiğinde, mevcut verilerin analizi ve geleceğe yönelik projeksiyonun oluşturulması ile orman yangınlarına hassas bölgelerin belirlenmesi ve kentsel gelişim projeksiyonunun birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu süreç, sürdürülebilir bir kentsel gelişim stratejisi oluşturmayı hedeflemektedir. AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve HO-Markov yöntemlerinin entegrasyonu ile geliştirilen mekansal yapılaşma modeli kapsamında, 2018-2050 yılları arasında kentsel gelişim alanlarının yangın riski gruplarına göre dağılımını analiz etmek amaçlanmıştır. Bu analizde, AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritası ve TerrSet yazılımında gerçekleştirilen 2050 yılı kentsel gelişim projeksiyonu birlikte değerlendirilmiştir.

Araştırmanın sonuçlarına dayanarak, kentsel büyüme ile orman yangınları arasındaki dengeyi sağlamak için çeşitli öneriler geliştirilmiş ve yangın önleme ile yangın sonrası planlama için rehberlik sağlanmıştır. Bu öneriler, gelecekteki kentsel büyüme ile orman yangınları arasında uygun bir denge kurulması ve sürdürülebilir kentsel gelişimin teşvik edilmesi açısından önem taşımaktadır.

1.1. Orman Yangınları

Ormanlar sınırları belirli alanlar içerisinde ağaç, bitki, hayvan gibi pek çok canlı ve cansız varlığın içerisinde yer aldığı kendisine özgü iklimi, topoğrafyası ve yetiştirme ortamı bulunan ve içerisindeki varlıkların karşılıklı ilişki ve etkileşimde olduğu bir ekosistemdir (Tolunay, 2013; Sabuncu ve Özener, 2019). Orman yangınları ise bu ekosistemlerde meydana gelen ve genellikle hızla yayılan, yangın üçgeninin unsurlarının (yanıcı madde, oksijen, tutuşturucu kaynak) bir araya gelmesiyle oluşan doğal afetlerdir (Ergün, 2023).

1.1.1. Dünya ve Türkiye'deki Orman Alanlarının Miktarı ve Dağılımı

Dünya genelinde, kara alanlarının yaklaşık üçte biri orman ekosistemlerine sahiptir (Moayed ve ark., 2020). Bu ormanların toplam alanı 4,06 milyar hektarı bulmaktadır. Bu ormanların büyük bir kısmı, %54'ü Rusya Federasyonu, Brezilya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin

gibi ülkelerde bulunmaktadır (FAO, 2020). Türkiye'nin 78 milyon hektarlık toplam yüz ölçümünün ise %29,4'ü ormanlarla kaplıdır (OGM, 2020)

Türkiye, dünyada orman varlığını artıran ender ülkelerden biri olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda orman alanlarında yaşanan artış sayesinde Türkiye, dünya ortalamasını yakalamıştır. 1973 yılından günümüze kadar geçen süreçte, koruluk ve verimli orman miktarlarında önemli bir artış görülmektedir. Genel orman alanı yaklaşık olarak 2,7 milyon hektarlık bir artış göstermiştir. Ülkemizdeki ormanların %94'ü koruluk niteliğinde iken, kalan kısmı baltalık ormanlardır. Ayrıca, ormanların %58'i verimli nitelikte iken, geri kalan kısım bozuk ve boşluklu ormanlardan oluşmaktadır (OGM, 2020).

Ülkemizdeki ormanların %59'u saf, %41'i karışık ormanlardan oluşmaktadır. Yine ormanlarımızın %48'i ibrelili, %32'si yapraklı, %20'si ise ibrelili ve yapraklı karışık ormanlardır. Ağaç türlerine baktığımızda %29,42 ile meşe birinci sıradadır, bunu sırasıyla kızılçam (%22,74), karaçam (%18,31), kayın (%8,19), ardıç (%6,42), sarıçam (%6,15), göknar (%2,23), sedir (%1,75), ladin (%1,60) ve diğer türler (%3,19) takip etmektedir (OGM, 2020).

1.1.2. Ormanların Ekolojik, Ekonomik ve Sosyal Önemi

Ormanlar, sadece oksijen üretimiyle değil, aynı zamanda iklimin düzenlenmesi, erozyonun ve sel baskınlarının önlenmesi gibi önemli ekolojik fonksiyonlara sahiptirler. Ayrıca, biyoçeşitliliğin korunması ve turizm gibi ekonomik faaliyetlere de katkıda bulunurlar (Eker ve Abdurrahmanoğlu, 2018). Ormanlar, ekolojik, ekonomik ve sosyal açıdan büyük öneme sahiptir.

Ormanların Ekolojik Önemi:

Ormanlar, dünya üzerindeki ekosistemlerin temel bileşenlerinden biridir ve çevrenin ekolojik dengesini korumak için hayati bir rol oynarlar. Ekolojik olarak, ormanlar birçok önemli fonksiyona sahiptirler.

İlk olarak, ormanlar karbon depolama konusunda kritik bir rol oynarlar. Ağaçlar, fotosentez süreci sırasında atmosferden karbondioksit emerler ve bu karbonu organik bileşiklerde depolarlar. Bu, atmosferdeki karbondioksit seviyelerini düşürerek küresel ısınmanın etkilerini hafifletmeye yardımcı olur (Buringh ve ark., 1984; Birdsey, 1992, Hashimoto ve ark., 2000; Haripriya ve ark., 2002; CIFOR, 2012).

Ayrıca, ormanlar su döngüsünü düzenlerler. Ağaçlar, kökleri aracılığıyla yer altı suyunu emer ve bu suyu atmosfere geri verirler, bu da yağış miktarını ve dağılımını düzenler. Bu, erozyonu ve sel riskini azaltmaya yardımcı olur. Ormanlar ayrıca toprak erozyonunu önlerler. Ağaç kökleri, toprağı tutar ve erozyonu önler, böylece toprak verimliliğini artırır ve tarım alanlarını korur (Tolunay, 2013).

Habitat sağlama konusunda da önemli olan ormanlar, birçok canlı türüne ev sahipliği yaparlar. Ormanlar, hayvanların yaşam alanlarını ve göç yollarını sağlayarak biyoçeşitliliği

desteklerler. Bu, birçok bitki ve hayvan türünün yaşamını sürdürmesine olanak tanır (Scholes ve ark., 2018).

Son olarak, ormanlar biyoçeşitliliği korur. Farklı ağaç türleri ve bitki örtüsü, çeşitli hayvan ve bitki türlerinin yaşamını destekler (Tolunay, 2013). Bu, ekosistemin sağlıklı ve dengeli kalmasına yardımcı olur.

Bu nedenlerden dolayı, ormanların korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi son derece önemlidir. Orman alanlarının tahrip edilmesi, biyoçeşitlilik kaybına, toprak erozyonuna ve iklim değişikliğine olumsuz etkileri olan birçok soruna neden olabilir (Tolunay, 2013). Dolayısıyla, ormanların ekolojik öneminin bilincinde olarak, bu değerli ekosistemleri korumak ve gelecek nesillere aktarmak hayati bir öneme sahiptir.

Ormanların Ekonomik Önemi:

Ormanlar, ekonomik açıdan büyük bir değere sahiptir ve birçok endüstri için önemli bir kaynak teşkil ederler. Ekonomik olarak, ormanlar bir dizi endüstriye malzeme, istihdam ve gelir sağlarlar.

İlk olarak, odun ve odun ürünleri endüstrisi için ormanlar temel bir kaynaktır (Tolunay, 2013). Kereste, mobilya, kâğıt ve diğer ahşap ürünleri gibi birçok endüstri, ormanlardan elde edilen malzemelere dayanır. Bu endüstriler, ekonomiye katkıda bulunurken istihdam yaratır ve birçok kişinin geçimini sağlar (FAO, 2015).

Ayrıca, ormancılık sektörü ekonomik büyümeye katkıda bulunur. Ormanların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, ormancılık faaliyetlerinin devam etmesine ve uzun vadeli ekonomik faydaların elde edilmesine olanak tanır. Orman kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması, endüstriyel üretimde ve ticarete istikrarlı bir kaynak sağlar.

Bununla birlikte, ormanlar turizm ve rekreasyon için de önemli bir kaynaktır (Tolunay, 2013). Ormanlık alanlar, doğal güzellikleri, yaban hayatı ve açık hava etkinlikleri için cazip bir ortam sağlar. Turizm ve rekreasyon faaliyetleri, yerel ekonomilere katkıda bulunur ve turizm endüstrisinde istihdam yaratır.

Son olarak, ormanlar çevresel hizmetler sağlayarak ekonomik değer yaratırlar. Su ve hava kalitesinin korunması, toprak erozyonunun önlenmesi ve iklimin düzenlenmesi gibi ekosistem hizmetleri, toplumların ve endüstrilerin sürdürülebilirliğini destekler. Bu çevresel hizmetler, ormanların ekonomik değerini artırır ve uzun vadeli kalkınmayı destekler.

Tüm bu ekonomik katkılar, ormanların sadece biyolojik bir varlık olmaktan öteye geçerek ekonomik kalkınmanın ve refahın önemli bir parçası haline geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, ormanların sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve korunması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemlidir.

Ormanların Sosyal Önemi:

Ormanlar, sosyal açıdan büyük öneme sahiptir ve insanların yaşam kalitesini artıran birçok yönleri vardır. Sosyal olarak, ormanlar insanların doğayla olan bağlarını güçlendirir ve bir dizi sosyal fayda sağlarlar.

İlk olarak, ormanlar rekreasyon ve turizm için önemli bir kaynaktır (Tolunay, 2013). Doğal güzellikleri, yaban hayatı ve açık hava etkinlikleri için ideal bir ortam sunarlar. Yürüyüş, kamp, piknik, avcılık ve doğa yürüyüşleri gibi aktiviteler, insanların dinlenmelerini ve streslerini atarak ruh sağlıklarını geliştirmelerine yardımcı olur.

Ayrıca, ormanlar yerel toplumlar için sosyal bir merkezdir. İnsanlar ormanlık alanlarda bir araya gelir, etkileşimde bulunur ve toplum etkinlikleri düzenler. Ormanlar, sosyal bağları güçlendirir ve insanların birbirleriyle etkileşim kurmalarını sağlar.

Ormanlar, aynı zamanda yerli halklar ve kültürel gruplar için de önemlidir. Bazı toplumlar için ormanlar, geleneksel yaşam tarzlarının bir parçasıdır ve kültürel miraslarını korumak için önemlidir. Ormanlar, yerli halkların avcılık, balıkçılık, ormancılık ve diğer geleneksel faaliyetlerini sürdürmelerine olanak tanır.

Ek olarak, ormanlar insanların ruh sağlığına olumlu etkiler yapar (Tolunay, 2013). Doğal ortamların insanların zihinsel ve duygusal iyi oluşunu artırdığı birçok araştırmada gösterilmiştir. Ormanlar, insanların stresini azaltır, zihinsel rahatlamayı teşvik eder ve genel refahlarını artırır.

Son olarak, ormanlar manevi bir değer taşır ve insanlar için önemli bir sembol haline gelmiştir. Birçok kültürde, ormanlar doğanın gücünü, yaşamın döngüsünü ve insanın doğayla olan ilişkisini temsil eder. Ormanlar, insanların manevi ihtiyaçlarını karşılar ve iç huzur bulmalarını sağlar.

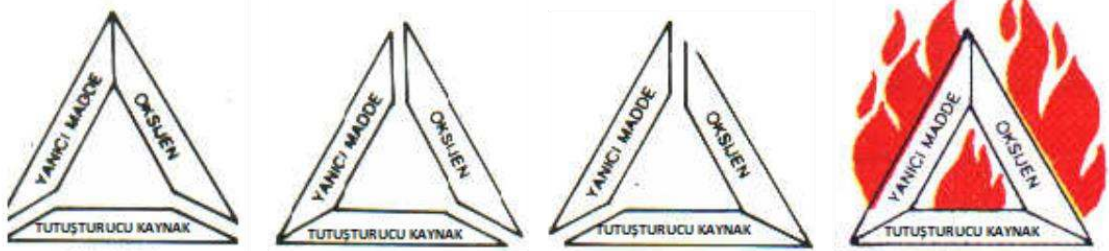
Tüm bu sosyal faydalar, ormanların sadece biyolojik bir varlık olmaktan öteye geçerek insanların yaşam kalitesini artıran önemli bir sosyal kaynak haline geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, ormanların korunması ve sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, toplumların sosyal refahını desteklemenin önemli bir parçasıdır.

1.1.3. Ormanların Karşı Karşıya Olduğu Tehditler

Ormanlar çeşitli tehditler altındadır. Kuraklık, hastalıklar, aşırı otlatma, arazi kullanımındaki değişiklikler ve orman yangınları, orman ekosistemlerinin sürekliliğini tehdit eden faktörler arasındadır (Kuter, 2011). Orman yangınları özellikle dünya genelinde büyük bir sorun olup, orman ekosistemlerinin işlevlerini ortadan kaldırılabirler (Kuter ve ark., 2011; Özkazanç ve Ertuğrul, 2011; Baysal ve ark., 2016). Bu nedenle, ormanların korunması ve yangın gibi tehlikelerle mücadele edilmesi büyük önem taşır. Orman yangınlarının önlenmesi ve kontrol altına alınması, hem ekolojik dengenin korunması hem de insanların yaşam alanlarının güvenliği için gereklidir.

1.1.4. Orman Yangınlarının Oluşma Nedenleri ve Yayılma Mekanizmaları

Orman yangınlarının oluşumu için gereken üç temel unsur yanıcı madde, oksijen ve tutuşturucu kaynaktır. Bu faktörlerin bir araya gelmesi durumunda yangın meydana gelir. Bu kavram, "Yangın Üçgeni" olarak adlandırılır (Şekil 1.1). Bu üç unsurdan birinin olmaması halinde veya yeterli düzeyde bulunmaması halinde yanma olayı gerçekleşmez (Yıldızlı, 2013).



Şekil 1.1. Yangın Üçgeni

Ormanlarda genellikle yanıcı madde ve oksijen bol miktarda bulunur; bu nedenle yangına neden olan asıl faktör, tutuşturucu kaynağın varlığıdır. Tutuşturucu kaynaklar çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir. Doğal etkenlerden kaynaklanabileceği gibi, insan faaliyetlerinden de kaynaklanabilirler. Doğal kaynaklı tutuşturucu kaynaklar arasında yıldırım düşmesi, volkanik patlamalar ve kıvılcım üreten doğal süreçler yer alırken, insan kaynaklı tutuşturucu kaynaklar arasında ise yanlışlıkla bırakılan sigara izmaritleri, ateşle oynama, kamp ateşi yakma, tarım faaliyetleri sırasında ihmal edilen ateşler gibi unsurlar bulunmaktadır. Yangın üçgeni elemanlarının miktarı ve niteliği, orman yangınlarının yangın türünü, büyüklüğünü, yayılımını ve yangın şiddetini belirlemektedir (Sepetçi, 2014).

1.1.5. Yangın Türleri

Orman yangınları, mineral toprak ve ağaç tepesi arasındaki tüm yanıcı maddelerin yanma derecesi ve şeklini dikkate alarak farklı türlere ayrılmaktadır. Bu ayrımada genellikle orman yangının yaktığı kısımlar göz önünde bulundurulur (Bilgili, 2022). Bu ayrıma göre, Orman yangınları; örtü, tepe ve toprak yangını olarak üç şekilde görülmektedir (OGM, 1995). Ülkemizde en sık karşılaşılan orman yangınları, örtü yangınları ve tepe yangınlarıdır. Orman yangınlarının genel davranışı incelendiğinde, başlangıçta genellikle örtü yangını şeklinde ortaya çıkar ve daha sonra yangın parametrelerine bağlı olarak tepe yangınına dönüşebilir, böylelikle geniş bir alana yayılabilir (Şahin, 2019).

Örtü yangını, orman toprağını örten, yüzeyde bulunan ölü ve diri bitki örtüsünün (ot, çayır, funda, iğne yaprak, yosun, fide, fidan, humus, kuru dal, kütük, kesim artıkları vb.) yanmasıyla ortaya çıkan yangındır (OGM, 1995; Dabanlı, 2021). Bu tür yangınlar genellikle meşcere aslı ağaçlarına zarar vermez, ancak yanıcı maddelerin yoğunluğuna bağlı olarak zarar potansiyeli taşır. En yaygın

görülen yangın türüdür. Orman yangınlarının tamamı örtü yangınıyla başlar ve onunla birlikte devam eder. Ülkemizde yanan alanların %60-70'i örtü yangınları sonucudur (Bilgili, 2022).

Tepe yangını, örtü yangınlarının ilerlemesiyle ağaçların ve ağaççıkların tepelerini de yakarak ilerleyen ve ormanın örtüsü, ağaçların; gövdeleri ve tepelerinde çeşitli derecelerde hasara neden olan yangın türüdür (OGM, 1995). Tepe yangınları en tehlikeli orman yangını türlerindendir ve hızlı bir şekilde yayılarak büyük zararlar verebilir. Kuvvetli rüzgarlar ve dik eğimli yamaçlar gibi olumsuz hava ve arazi koşullarında özellikle hızlı bir şekilde yayılan tepe yangınları, örtü yangınlarından bağımsız olarak hareket etmez (Bilgili, 2022).

Ülkemizde toprak yangınları ise nadir görülür çünkü ormanda toprak yüzeyi altındaki kalın organik madde tabakalarının (kalın ham humus ve kuru turbalıklar) yanmasıyla oluşur ve bu tür tabakaların ülkemizde az olması nedeniyle pek karşılaşılmaz (Çanakçıoğlu, 1993).

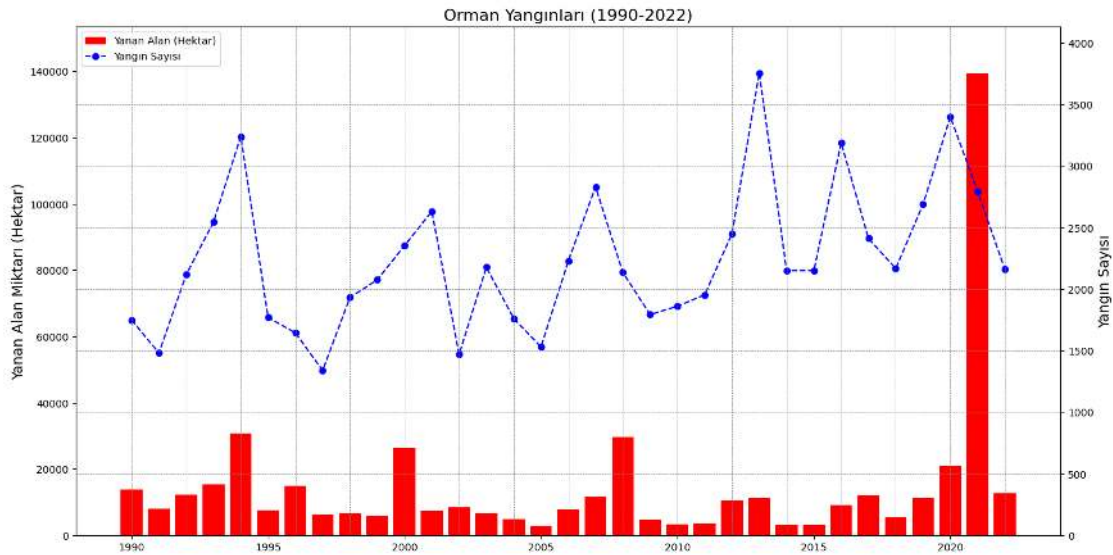
Bir orman yangınında yangın türleri değişik kombinasyonlarda da olabilir. Örtü yangınının çeşitli nedenlerle tepe çatısına atlaması "Tepe Yangınına" ve tepe yangınının toprak örtüsüne geçmesi "Örtü Yangınına" neden olur. Ayrıca, örtü yangını da uygun alanlarda bir "Toprak Yangını" oluşturabilir (Bilgili, 2022).

1.1.6. Orman Yangınları Çıkış Nedenleri

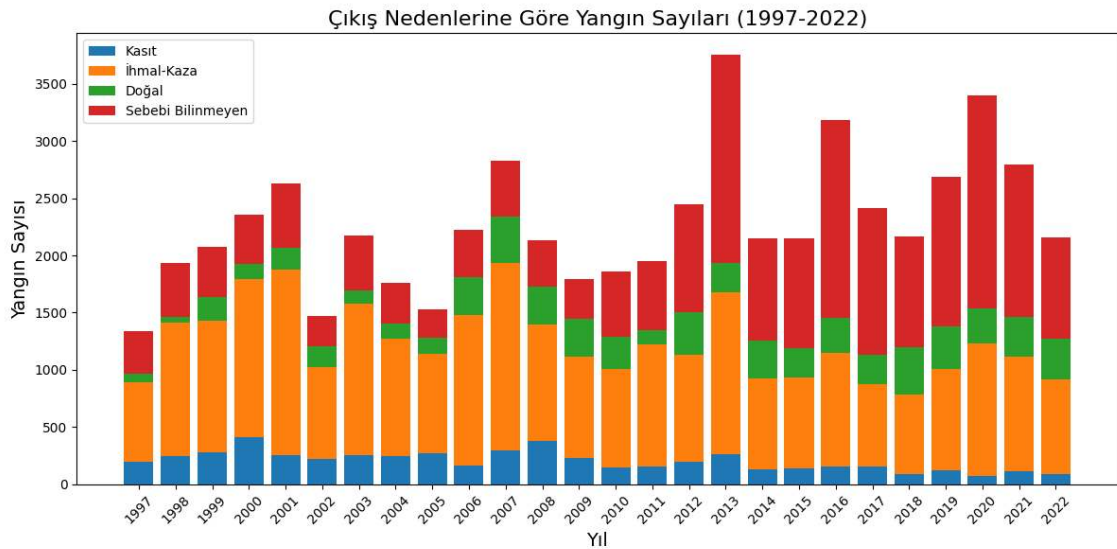
Orman yangınlarının çıkış nedenleri incelediğinde, genellikle ekolojik, biyolojik ve sosyo-ekonomik faktörlerin etkisi altında gerçekleşen olaylar olarak karşılaşılmaktadır. Dünya genelinde orman yangınlarının çıkış nedenlerine bakıldığında, bu yangınların büyük çoğunluğunun insan faaliyetlerinden kaynaklandığı görülür. Yapılan araştırmalar, orman yangınlarının %89'dan fazlasının insan kaynaklı olduğunu göstermektedir (OGM, 1995; Doğanay ve Doğanay, 2004; Bajocco ve Ricotta, 2008; Ganteaume ve ark., 2013; Pezzatti ve ark., 2013).

Orman yangınlarının çıkış nedenlerini belirlemede çeşitli faktörler etkilidir. Bu faktörler arasında arazi yapısı (Başaran ve ark., 2007), yanıcı maddelerin özellikleri (Turner ve Romme, 1994), nüfus yoğunluğu (Catry ve ark., 2010; Badia ve ark., 2011), tarımsal faaliyetler (Chas-Amil ve ark., 2013), enerji nakil hatları (Lampin-Maillet ve ark., 2010), yol yoğunluğu (Ganteaume ve ark., 2013) ve iklim verileri (Pausas, 2004; Westerling ve ark., 2006) yer alır.

Türkiye'de 1990-2022 yılları arasında toplam 73.926 yangın gerçekleşmiştir ve bu yangınlar neticesinde 478.788 ha ormanlık alan yanmıştır. En fazla yangın sayısının 2013 yılında gerçekleştiği görülmektedir, ancak 2021 yılı, yanan alan miktarının en yüksek olduğu yıl olmuştur (Şekil 1.2). Ülkemizde orman yangınları çıkış nedenleri ayrıntılı olarak incelendiğinde; yangınlar, kasıt, ihmal-kaza, doğal ve sebebi bilinmeyen olaylar olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Yangınların büyük çoğunluğunun ihmal-kaza kaynaklı olduğu ve bunu sebebi bilinmeyen yangınların izlediği görülmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Türkiye’de 1990-2022 Yılları Arası Görülen Orman Yangın Sayısı ve Yanan Orman Alanları (OGM, 2022)



Şekil 1.3. Türkiye’de 1997-2022 Yılları Çıkış Nedenlerine Göre Yangın Sayıları (OGM, 2022)

Pek çok çalışmada orman yangınlarının çıkış ve yayılma nedeni ile ilişkilendirilen değişkenler temel alınarak risk değerlendirmesi yapılmaktadır (Jaiswal ve ark. 2002; Sharma ve ark. 2012; Pourghasemia 2016; Davim ve ark., 2023). Orman yangınlarının çıkış ve yayılma nedenleriyle ilişkilendirilen değişkenler temel alınarak yapılan risk değerlendirmesi, yangınların önlenmesi ve kontrol edilmesi için önemli bir araçtır.

1.2. Yangın Riski

1.2.1. Yangın Riskinin Tanımı ve Önemi

Yangın riski, ormanlık alanlarda yangının meydana gelmesine neden olan çeşitli faktörlerin bulunması, etkileşimine bağlı olarak, o alanda yangının çıkma olasılığı ve belirli bir yerde neden

olabileceği potansiyel hasar (hassasiyet) olarak tanımlanabilir (Vallejo-Villalta ve ark., 2019). Yangınların oluşumu, sıklığı, yayılımı ve yoğunluğu, bir dizi karmaşık etkenin etkileşimi sonucunda şekillenir. Yanıcı madde özellikleri, topografya ve hava halleri yangınların büyüme ve gelişimini etkileyen unsurlardır. İnsan yoğunluğu ve faaliyetlerinin artması, özellikle orman içi ve çevresinde, yangın oluşumunu arttırabilir (Modugno ve ark., 2016; Yathish ve ark., 2019).

Yangının tutuşmasına ve yayılmasına katkıda bulunan temel faktörler arasında topografya, bitki örtüsü, hava durumu ve insan etkisi yer alır (Türkeş ve ark., 2008; Yakubu ve ark., 2015). Yangınların etkili bir şekilde tahmin edilebilmesi ve yönetilebilmesi için, bu faktörlerin belirlenmesi ve modellenmesi kritik öneme sahiptir (Eskandari ve Chuvieco, 2015).

1.2.2. Yangın Riskinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi

Uydu verileri, orman yangınlarının ve riskli alanların haritalanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Jaiswal ve ark., 2002). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri, orman yangını risk haritalarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu çalışmalar günümüzde hızla gelişmektedir (Karadeniz, 2020; Göлтаş, 2022; Coşkun ve Toprak 2023).

Orman yangınlarını etkileyen faktörler arasında; meşcere yapısı (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topoğrafya (eğim, baki, yükselti, topografik ıslaklık indeksi), çevresel koşullar (yerleşime uzaklık, tarım alanına uzaklık, yola uzaklık, nüfus yoğunluğu, su kaynaklarına uzaklık, enerji nakil hatlarına uzaklık), iklim (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı, nem, solar radyasyon) ve Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) bulunur ve bu faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gereklidir (Küçük ve Sağlam, 2004; Carmel ve ark., 2009; Pausas ve Keeley, 2009; Sommers ve ark., 2011; Gajovic ve Todorovic, 2013; Özşahin, 2014; Bilücan ve ark., 2020; Kavlak ve ark., 2020; Karadeniz, 2020; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Coşkun ve Toprak, 2023). Orman yangınlarının ekolojik ve ekonomik etkilerini azaltmak için, riskli bölgeler belirlenmeli ve önlemler alınmalıdır (Akay ve Erdoğan, 2017).

Yangınlar, dünyanın hemen hemen her yerinde meydana gelebilir ve arazi alanlarına zarar verme potansiyeline sahiptir. Yangınlar, her yıl ormanlara, yabani fauna ve flora ya verdiği zararın yanı sıra insan hayatını da tehdit etmesi nedeniyle dünyada büyük küresel bir sorundur. Orman yangınları, yalnızca ormanlara değil, aynı zamanda yakın yerleşim birimlerine de zarar verebilir, can ve mal kaybına neden olabilir.

Orman yangınlarıyla mücadelede, orman yangını risk haritalarının oluşturulması ve hassas alanların belirlenmesi önemlidir. Yangın risk haritaları, orman yangınlarına yol açan faktörlerin analiz edilmesiyle oluşturulur. Bu haritalar, yangın riskini tahmin etme ve yangınların neden olduğu zararları önleme konusunda kritik bir rol oynar. Bu sebeple, orman yangın risk haritalarının hazırlanması, yangın afetlerini ve bu afetlerin yol açabileceği zararı engellemek için önemli bir temel sağlamaktadır (Jaiswal ve ark., 2002). Özellikle yangına hassas bölgelerde bu haritaların

hazırlanması büyük önem taşır (Sağlam ve ark., 2008; Sivrikaya ve ark., 2014; Güngöroğlu, 2017; Sarı, 2021).

1.2.3. Yangın Riskini Etkileyen Faktörler

Meşcere Faktörü:

Meşcere yapısı, ormanlık alandaki ağaç türleri, yoğunlukları ve dağılımı gibi faktörleri içerir ve yangınların meydana gelmesi için gerekli olan yanıcı materyali oluşturur (Kara, 2023). Yanıcı madde; örtüde ya da tepede canlı veya ölü olarak bulunan, tutuşup yanma özelliğine sahip organik materyallerdir. Yanıcı madde tipi, sürekliliği, miktarı, boyutu gibi özellikleri yangın davranışı üzerinde etkilidir. Yanıcı madde tipi, yanıcı maddelerin yanabilirliğini; yanıcı madde sürekliliği, yangın şiddetini, yayılma yönü ve oranını; yanıcı madde boyutu da yanma hızını etkilemektedir (Viegas, 2004; Küçük ve ark., 2005; Destin, 2007; Karabulut ve ark., 2013; Bilgili, 2014; Dilekçi, 2019; Kavlak ve ark., 2020).

- a) **Ağaç Türü:** Yangınların tutuşmasında, yayılmasında hayati bir rol oynamaktadır (Prasad ve ark., 2008; Türkeş ve Tolunay, 2023). Yanıcı madde tipini tür kompozisyonu temsil eder. Ağaç türleri, karakteristik özellikleri ve bulundukları coğrafik özelliklere göre yangın riskine etki ederler. Ağaç türlerinin yanma karakteristikleri farklıdır (Şahan ve ark., 2021). Yangına karşı olan dirençleri farklılık gösterir (Gai ve ark., 2011; Yılmaz, 2016). Ağaçların yanıcılığının türler arasında ve türler içinde değiştiği ve bitki özelliklerinin yanıcılık ve yangın davranışını etkilediği iyi bilinmektedir (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001; Kane ve ark., 2008; Engber ve Varner, 2012; Wyse ve ark., 2016). Belirli ağaç türlerinin yangın riski ve tehlike potansiyeli, çeşitli faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. Özellikle, kızılçam ve karaçam gibi reçineli ağaç türlerinin yangına karşı daha hassas olduğu bilinmektedir (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001; Dimitrakopoulos ve Panov, 2001; Simeoni ve ark., 2012; Wyse ve ark., 2016; Michelaki ve ark., 2020). Bu türlerin yüksek reçine içeriği, yangının daha hızlı ve şiddetli bir şekilde yayılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, bazı ağaç türlerinin mevsimsel olarak yapraklarını dökmeyişi, özellikle kuru mevsimlerde ölü yaprakların birikmesine ve yangın riskinin artmasına neden olabilir. Orman zemininde biriken ölü odun miktarı ve yoğunluğu da yangının hızlı yayılmasına ve şiddetlenmesine katkıda bulunabilir; bu bağlamda, bazı türlerin ölü odun birikimini artırma eğiliminde olmaları, yangın tehlikesini artırabilir. Ayrıca, ağaç türlerinin yangına karşı hassasiyeti, bulundukları çevresel koşullara ve iklim faktörlerine bağlı olarak değişebilir; örneğin, sıcak ve kuru iklimlerde yetişen ağaçların yangına karşı daha hassas olduğu gözlemlenmektedir. Ülkemiz ormanlarında bulunan özellikle kızılçam, karaçam ve bazı maki türlerinin yangın risk ve tehlike potansiyeli yüksektir. (Küçük ve ark., 2005).

Özellikle, Akdeniz, Ege kıyıları boyunca görülen kızılçam, karaçam ormanları ile maki formasyonlarından meydana gelen alanlar yangınların en çok görüldüğü alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Bilgili ve ark., 2010). Kızılçam, gibi iğne yapraklı, kuru karakterdeki türler yangına karşı dayanıksızdır (Karabulut ve ark., 2013) Buna karşın geniş yapraklı nem oranı yüksek türler yangına karşı daha dayanıklıdır (Çanakçıoğlu, 1993). Yangın duyarlılığı açısından iğne yapraklı ormanlar en yüksek duyarlılığa sahiptirler. Bunu sırası ile karma ormanlar, yaprak döken ormanlar ve meralar izlemektedir (Eskandari ve Miesel, 2017).

- b) Kapalılık:** Yanıcı maddelerin sürekliliği ve miktarı, meşçere kapallığı ile temsil edilir. %70 ve üzeri kapalılığa sahip olan sıklık çağındaki ağaçlardan oluşan ormanlar, kolay tutuşabilen ince yanıcı maddelerin yoğun olduğu alanlardır. Bu tür ormanlarda çıkan yangınlar, hızla tepe yangınına dönüşerek yayılma potansiyeline sahiptir. Öte yandan, %40'dan düşük kapalılığa sahip olan kalın ağaçlık çağındaki ormanlarda çıkan yangınların tepe yangınına dönüşmesi zor olup, ilerlemesi de güçtür. Bu yangınlar genellikle örtü yangını olarak devam eder (Çolak ve Sunar, 2020; Demir, 2023).
- c) Gelişim Çağı:** Yanıcı madde boyutunu gelişim çağı temsil eder. Genç ağaçlar, genellikle daha az yoğun ve daha düşük bir yanıcı madde miktarına sahiptir. Çünkü henüz tam olarak büyümüş değillerdir ve altlarındaki bitki örtüsü genellikle daha incedir. Olgun ağaçlar, genç ağaçlara kıyasla daha büyük ve daha fazla yaprak ile döküntü oluşturduğu için daha yoğun bir yanıcı madde tabakası oluşturabilirler Yaşlı ağaçlar ise, genellikle daha az yanıcı maddeye sahiptir çünkü çoğu yapraklarını dökmüş veya kurumuş olabilir. Kapalılık ve gelişim çağı yangın riskinin belirlenmesinde birlikte değerlendirilmelidir (Çanakçıoğlu, 1993).

Topografya faktörü:

Yanıcı maddeler ve hava olayları üzerinde rol oynayan topografik faktörler yangın oluşumunda, yangının davranışında en etkili fiziki çevre faktörlerindendir (Karabulut ve ark., 2013). Arazi şekillerindeki değişiklikler hem yanıcı maddeler hem de hava halleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Bilgili, 2014). Bu kapsamda arazinin eğim, bakı ve yükseklik koşulları belirleyici rol oynar (Küçük, 2004). Topoğrafik faktörler yangın davranışını doğrudan etkilerken, aynı zamanda yangının yayılma oranını ve yönünü kontrol etmektedir (Bilgili, 2014). Eğim yangının yayılma oranı ve yönü; bakı alandaki rüzgar durumu ve güneş radyasyonu miktarı; yükselti hava sıcaklığı, yağış türü ve yağış miktarı gibi durumlar üzerinde etkili olmaktadır (Küçük, 2004; Puri, 2011; Eugenio ve ark., 2016).

- a) Eğim:** Arazi yüzeyinin dikliğinin bir ölçüsüdür. Arazinin eğimi (meyil derecesi) yangının yayılma yönü ile yayılma hızı üzerinde etkili olan önemli bir topografik

faktördür (Vilar ve ark., 2010; Bilgili, 2014). Arazi eğiminin artması, yangının yayılma hızını da artırır ve bu durum yüksek yangın riski oluşturur. Düz arazilerde yangınların yayılma hızı genellikle düşüktür ve yangının seyri net bir şekilde gözlenemez (Jaiswal ve ark., 2002; İOBM, 2023). Düz alanlar genellikle rüzgarın etkisiyle yangın çıkma olasılığının daha az olduğu yerlerdir. Bunun nedeni, rüzgarın düz arazilerde yangının hızla yayılmasını zorlaştırması ve yangının kontrol altına alınmasını kolaylaştırmasıdır. Ancak, dik yamaçlarda durum farklıdır; zira orman yangınları yokuş yukarı tırmanırken, yokuş aşağı yayıldıklarından daha hızlı yayılır. Arazi eğimi arttıkça, yangının yayılma hızı da artar çünkü dik yamaçlarda yangın daha hızlı hareket edebilir ve yükselerek daha geniş bir alana yayılabilir. Bu durum, yangının kontrol altına alınmasını zorlaştırabilir ve dolayısıyla yüksek bir yangın riski oluşturabilir. İOBM'ye göre; Eğimin yangın hızı üzerindeki etkisi; Hafif eğimlerde (%5'e kadar) yangının yayılma hızında belirgin bir artış görülmezken, orta eğimlerde bu hız yaklaşık iki katına çıkar. Dik eğimlerde ise (%55 ve üzeri) yayılma hızı tekrar iki katına çıkar. Meyilli arazilerde yangın daha hızlı yayılır ve müdahale çalışmaları sırasında yangının ilerlemesi kolaylıkla izlenebilir. Dik yamaçlarda, yanıcı maddelerin aşağı doğru yuvarlanması da yangının yayılma hızını artırabilir.

- b) Bakı:** Bir yüzeyin veya arazinin, coğrafi olarak baktığı yöndür. Bu terim, yüzeyin güneşe, rüzgara veya belirli bir yöne ne kadar maruz kaldığını belirtir ve yangın davranışını etkileyen önemli bir faktördür (Prasad ve ark., 2008). Bakı sabit olmasına rağmen, güneşin pozisyonuna göre alınan güneş radyasyonu değişir; bu nedenle, güneşe maruz kalma açısının yangın davranışı üzerindeki etkisi gün boyunca farklılık gösterir. Mevcut yakıt miktarı ve türü, bakıya göre büyük ölçüde değişir. Kuzeye bakan yüzeyler; diğer yönlerle göre daha az güneşlenir ve yangınlar açısından daha avantajlıdır. Ancak, bu bölgelerde humus tabakası daha kalındır. Güneye bakan yüzeyler; gün boyunca daha uzun süre güneş ışığı aldığı için daha yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Doğuya bakan yüzeyler; güneşi ilk alan bölgeler olduğu için yangın açısından güney ve batıya göre daha az hassastır. Batıya bakan yüzeyler ise güney yönünden sonra en fazla güneş alan bölgeler olup, orman yangınları açısından tehlikelidir (İOBM, 2023). Bakıya bağlı olarak yanıcı madde özelliklerinde farklılıklar olmaktadır. Kuzey yarım kürenin güneyli bakılarında daha fazla güneş ışığı, daha yüksek sıcaklıklar, sert rüzgârlar ve düşük nem durumu görülmektedir. Bunlar, güney bakılı yamaçlarda yanıcı madde neminin daha düşük olmasına neden olur. Buda yanıcı maddeyi yanmaya daha elverişli hale getirir ve yangın riskini artırır. Güneye ve doğuya bakan yönler güneşten doğrudan ısı alır. Bu nedenle doğrudan güneş ışığı almayan ve daha az zarar gören Kuzey ve Batı cephelerine kıyasla yangına karşı oldukça hassastırlar (Öncü, 2021).

- c) **Yükseklik:** Yükseklik, coğrafi olarak bir bölgenin deniz seviyesine göre yüksekliğini ifade eden bir terimdir. Genellikle sıcaklık, nem ve rüzgar gibi meteorolojik faktörlerde belirgin değişikliklere neden olur. Orman yangınlarının görülme olasılığı yükseltinin artışına bağlı olarak azalır. Yükselti faktörü kritik bir parametredir. Özşahin, 2014'e göre; Orman yangınlarının % 96'sı yükseltinin 1700 m'den daha aşağı sahalarda meydana gelmektedir. Alçak irtifalarda sıcaklıkların yüksek olması, yağışın daha az olması ve antropojenik faaliyetlerin daha yoğun olması bu durumun temel nedeni olarak görülmektedir. Yükselti, hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişiklikler bakımından yangını etkileyen topoğrafik faktörlerdendir (Göлтаş, 2022). Topografya'nın, orman yangınlarının sonrasında ormanın hayatta kalması üzerinde de etkisi vardır (Bilgili, 2018). Yangının yayılma hızı ve yoğunluğu gibi faktörler, arazinin eğimi ve diğer topoğrafik özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Dolayısıyla, topografyanın dikkate alınması, orman yangınlarının kontrolü ve sonrasındaki rehabilitasyon süreçlerinde de önemli bir rol oynar.

İklim Faktörü:

İklim faktörleri, bir bölgenin genel atmosferik koşullarını ve değişkenliklerini içerir. Bu faktörler arasında sıcaklık, nem, yağış miktarı ve rüzgar hızı gibi doğal koşullar yer alır. İklim koşulları, orman yangınlarının oluşumunu etkileyen önemli unsurlardır. Yangının başlama olasılığı ve yangının nasıl yayılacağı üzerinde doğrudan etkileri vardır. Chen ve ark. 2023'e göre Hava durumu değişkenleri orman yangınlarının ortaya çıkmasında itici bir rol oynar, yakıt kullanılabilirliğini ve toprak nemini değiştirerek yangının tutuşmasını, yayılmasını etkiler. Nemli iklimlerde, toprakta ve bitkide fazla su tutulması nedeniyle daha düşük düzeyde tutuşma olayı görülür. Yüksek evapotranspirasyon, düşük bitki/toprak nem oranı orman yangınının ortaya çıkmasına ve yayılmasına neden olmaktadır. Rüzgar davranışı yangın parçalarını çevreye yaydığı için orman yangını riskini artırmaktadır (Lu ve ark., 2010). Bağıl nem ile yangının yayılma hızı arasında negatif korelasyon vardır (Gai ve ark., 2011). Sıcaklık, bağıl nem, rüzgar ve yağış yangın riskinin iklim koşullarına bağlı coğrafi değişkenlerindendir.

- a) **Sıcaklık:** Orman yangınlarında sıcaklık, kritik iklimsel faktörlerden biridir. Sıcaklığın yükselmesi, yanıcı maddelerin tutuşmasını kolaylaştırır. Yanıcı maddeler hem doğrudan hem de dolaylı olarak ısınarak yangına hazır hale gelir. Genellikle, yüksek hava sıcaklıklarının olduğu dönemlerde orman yangınları daha sık görülür. Yüksek sıcaklık, ölü örtüdeki nemi azaltarak yangın riskini artırır. Hava sıcaklığı, tüm orman ekosistemini etkiler. Özellikle, ormandaki ölü örtü diğer alanlara kıyasla daha hızlı etkilenir ve ısınır, bu da tutuşma sıcaklığına daha kolay ulaşmasına neden olur. Ayrıca, ormanlarda bulunan boşluklar, ısınan havanın yükselmesinde baca işlevi görür. Bu

nedenle, bacanın kenarlarındaki bölgeler daha fazla ısınır ve nem kaybeder. Yangın sırasında baca etkisi daha belirgin hale gelir. Gündüz ve gece baca etkisini ayrı ayrı incelemek gerekir. Gün boyunca ağaçlar tepeden başlayarak ısınırken, gece ısı kaybı yine tepeden başlar. Gün doğumuna kadar ağaç diplerinde ısı kaybı minimum düzeyde olduğundan, sabah güneş ışınlarıyla ısınma daha hızlı ve etkili olur. Havanın nem oranına bağlı olarak değişmekle birlikte sıcaklık yer seviyesinden itibaren her 100 metrede 1 °C azalma eğilimindedir. Yüksek sıcaklık, eğer yüksek nispi nem ve rüzgar yoksa yangın riski oluşturmaz. Ancak sıcaklık arttıkça nem azalır ve rüzgar hızı artarsa, orman yangını riski yükselir ve yangınla mücadele zorlaşır. Bu nedenle sıcaklık değerlendirilirken, nispi nem oranları ve rüzgar hızı ve yönü de dikkate alınmalıdır (İOBM, 2023).

- b) **Nem:** Nispi nem, belirli bir sıcaklıkta havada bulunan su buharının, aynı sıcaklıkta havanın taşıyabileceği maksimum su buharı miktarına oranını ifade eder ve genellikle yüzde (%) olarak gösterilir. Havanın nispi nemi, yanıcı maddelerin nem içeriğini doğrudan etkiler. Yüksek nispi nem, yanıcı maddelerin nem içeriğini artırarak tutuşmayı zorlaştırır. Düşük nispi nem ise yanıcı maddelerin nem içeriğini azaltarak tutuşmayı kolaylaştırır. Bu nedenle, havanın nispi neminin yüksek olması, yanıcı maddelerin daha nemli olmasına ve dolayısıyla tutuşmanın zorlaşmasına neden olur. Ancak nispi nem düşükse, yanıcı maddenin nem içeriği de azalır ve tutuşma hızlanır. Nispi nem, özellikle gün içindeki ikinci saatlerinde, yanıcı maddenin nem içeriğinin minimum seviyede olduğu bir zaman diliminde en belirgin etkiye sahiptir. Bu zaman dilimi, yangın için en tehlikeli zamanlardan biridir. Havanın nispi nem düzeyi, yakıttaki nem miktarını da etkiler. Nemli yakıtlar daha zor yanar, bu nedenle havadaki nem miktarı yangın oluşma riskini etkiler (Santiago ve Kheladze, 2011).
- c) **Rüzgar:** Rüzgar orman yangınlarının seyrini belirleyen önemli faktördür. Rüzgar, yangının başlama olasılığını artırırken, yayılma hızını ve yönünü de etkiler. Hızlı esen rüzgarlar, yangının hızla yayılmasına ve farklı yönlerde doğru yönlendirilmesine neden olabilir. Ayrıca, rüzgarın kurutma etkisi vardır; özellikle yangın öncesinde, yakıtların kurummasına ve tutuşma ihtimalinin artmasına neden olarak yangın riskini artırır. Rüzgarın etkisiyle, alevler yanıcı maddeler üzerine eğilir ve yangının şiddetini artırır, ayrıca yanıcı parçaları veya közleri taşıyarak sıçrama yangınlarına yol açabilir. Yüksek hızdaki rüzgarlar, yakıtların neminin daha çabuk buharlaşmasını ve yangının yayılmasını kolaylaştırır (Santiago ve Kheladze, 2011). Aşırı rüzgar basıncı, yakıtların ön ısıtılmasına, kurummasına ve yangının hızla yayılmasına yol açabilir. Bu da konveksiyon hareketini zemine doğru bükerek yangının daha da şiddetlenmesine neden olabilir. Gündüz ve gece rüzgar yönü de önemlidir; gündüzleri denizlerden, göllerden ve barajlardan karaya doğru esen rüzgarlar yangının seyrini etkilerken, gece ise tersine,

karadan suya doğru rüzgarlar eser. Tüm bu faktörlerin bir araya gelmesiyle rüzgar, orman yangınlarının seyrini belirlemede kritik bir rol oynar. Dolayısıyla, yangın yönetimi ve kontrolünde rüzgarın etkisi göz önünde bulundurulmalı ve stratejiler buna göre belirlenmelidir.

- d) Yağış:** Yağışlar, orman yangınlarının seyrini belirleyen önemli bir faktördür. Yağışlar yakıtları ıslatarak tutuşma riskini azaltabilir veya yangınları söndürebilir. Yağmurun bitki örtüsüne ve toprağa nüfuz etmesiyle birlikte yakıtların nem içeriği artar, böylece yangının yayılma potansiyeli düşer. Ancak, uzun süren kurak dönemlerde yağış eksikliği yangın riskini artırabilir. Kuraklık, bitki örtüsünü kurutarak yanıcılığını artırır ve yangınların daha kolay yayılmasına neden olur. Bu durumda, yağışın olmaması yangınların şiddetini artırabilir. Öte yandan, yıldırım her zaman yağışla doğrudan bağlantılı olmayabilir. Özellikle 'kuru yıldırım' olaylarında, yıldırım düşmesi sırasında çok az yağış olur veya hiç yağış gerçekleşmez. Bu durum, kurak ya da az yağış alan bölgelerde kuru bitki örtüsünü tutuşturarak yangın başlama riskini artırır. Yıldırım düşme sıklığı yüksek olan bölgelerde bu nedenle yangın riski daha yüksektir (Calda ve ark., 2020).

Çevresel Faktörler:

Çevresel faktörler, orman yangınlarının oluşumunda önemli rol oynayan unsurlardan biridir. Çevresel faktörler arasında insan aktiviteleri, yerleşimler, ulaşım yolları gibi etmenler bulunur (Dong ve ark., 2006; Özelkan, 2008; Ager, 2014). Özellikle, yerleşim yerlerine yakın olan alanlarda insan faaliyetlerinden kaynaklanan yangın riski daha yüksektir (Erten ve ark., 2005; Şahin, 2019; Naderpour ve ark., 2021). İnsan kaynaklı yangın oluşumunu modellemeye yönelik ilk çalışmalar, demografik veriler veya ormanlık alanlara olan erişilebilirlik dolaylı göstergelere dayanmaktadır (Altobellis, 1983; Donoghue ve Main, 1985). Sonraki araştırmalar, yangın oluşumunu etkileyen mekânsal faktörleri daha ayrıntılı olarak incelemiştir. Bu faktörler arasında yollara olan mesafe, tarım alanlarına mesafe veya yerleşim yerlerine olan mesafe gibi unsurlar yer alır (Chuvieco ve Congalton, 1989; Vega-García ve ark., 1996; Pew ve Larsen, 2001; Prestemon ve Butry, 2005; Vasilakos ve ark., 2007; Yang ve ark., 2007; Sevinç ve ark., 2020).

- a) İnsan aktiviteleri:** İnsan aktiviteleri, özellikle orman yangınlarının oluşumunda belirleyici bir rol oynar. Özellikle insan kaynaklı yangınlar, belirli mekânsal faktörlerle ilişkilidir. Bu mekânsal faktörler arasında, yollara uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık gibi kültürel faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler orman yangınlarının belirli bölgelerde daha sık meydana gelmesiyle ilişkilendirilmiştir (Kalabokidis ve ark., 2002; Dong ve ark., 2006). Özellikle Akdeniz ülkelerinde, insan aktivitelerinin orman yangınları riski üzerinde büyük etkisi vardır (Henderson ve ark. 2005; Guglietta, 2011).

İnsanların ormanlık alanlarda piknik yapma, kamp kurma, sigara içme gibi aktiviteleri, yangın riskini artırabilir. Ayrıca, tarım faaliyetlerinde kullanılan tarım araçlarının yanlış kullanımı veya ihmali sonucu çıkan yangınlar da önemli bir insan kaynaklı yangın nedeni olabilir.

- b) Yola uzaklık:** Ormanlık alanların yollara yakın kısımları yangın duyarlılığının yüksek olduğu alanlar olarak bilinmektedir. (Karabulut ve ark., 2013; Ager, 2014; Özşahin, 2014). Yollar, sürekli olarak insanların ve araçların hareket halinde olması nedeni ile insan kaynaklı yangınların oluşması için uygun ortam sağlar (Karabulut ve ark., 2013). Yol olan ve araç trafiği bulunan bölgelerde insan kaynaklı yangın olasılığı artmaktadır. (Hernandez-Leal ve ark., 2006; Özelkan, 2008). İnsanlar, hayvanlar, araçların hareketi ve aktiviteleri, yangın kazalarına neden olmaktadır.
- c) Yerleşim yerlerine uzaklık:** İnsan faaliyetleri, orman yangınlarının oluşma riskini artıran önemli etkenler arasında yer alır (Adab ve ark., 2013). Bu faaliyetlerin başında, ihmali ve kaza gibi faktörlerle gerçekleşen insan aktiviteleri gelir (Jaiswal ve ark., 2002; Erten ve ark., 2005). Plansız yapılaşma ve diğer insan faaliyetleri yangınların kaynağı olabilir veya yangınlarla etkileşime girebilir. Yollar ve yerleşim yerleri, kazara veya insan kaynaklı orman yangınlarının en yaygın sebeplerindendir (Puri ve ark., 2011; Ajin ve ark. 2016). Yolların ve yerleşim yerlerinin yakınındaki ormanlar yangına karşı daha hassas ve daha büyük risk altındadır (Karabulut ve ark., 2013; Güngöroğlu, 2017). Gelişigüzel atılan kibritler ve sigara izmaritleri gibi birçok insan faaliyeti, bu alanlarda yangın riski artırabilir. İnsan etkisi nedeniyle, ormanlık alanların yerleşim yerlerine yakın bölgelerinde yangın meydana gelme olasılığı daha yüksektir (Erten ve ark., 2005).
- d) Su Kaynaklarına uzaklık:** Orman yangını riskinde, Su kaynaklarına olan uzaklık önemli bir faktördür. Su kaynaklarına yakın alanlarda meydana gelen orman yangınlarında yangın daha kısa sürede kontrol altına alınabilirken, kaynaktan uzak olan bölgelerde meydana gelen orman yangınlarının kontrol altına alınabilmesi daha zor olabilmekte ve yangın söndürme faaliyetleri olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Pourghasemi, 2016).
- e) Tarım alanına uzaklık:** Tarım bölgelerinde yapılan kazalar ve dikkatsizlik, orman yangınlarının sebepleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. İhmali ve dikkatsizlik sonucu çıkan orman yangınlarının büyük çoğunluğunun anız yangınları olduğu düşünüldüğünde, özellikle ormanlık alanlara sınır olan tarım alanlarının orman yangınlarına önemli etkisi olduğu görülmektedir. Tarım alanlarına yakın yerlerde artan yangın riski, uzaklaştıkça düşmektedir. Bahçe temizlenmesi, anız yakılması gibi tarımsal faaliyetler, bu tür tarımsal nedenli orman yangınlarını tetikleyebilir (Duran, 2014; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Kara, 2023).

- f) **Enerji Nakil Hattına Uzaklık:** Türkiye'deki birçok köy ormanlık alan içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte, ülkemizdeki mülkiyet sorunları nedeniyle, il ve ilçeler arasındaki elektrik hatları genellikle ormanlık bölgelerden geçmektedir. Bu hatların bakımı enerji dağıtım şirketlerine aittir. Ancak, hatların geçtiği güzergâhlarda bakım eksikliği orman yangınlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Elektrik hatlarının etrafındaki bitki örtüsünün aşırı büyümesi veya hatlara yakın dalların teması yangın riskini artırabilir (Güngöroğlu, 2017; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Sarı, 2021). Bu nedenle, enerji nakil hatlarının düzenli bakımı ve çevresinin temizlenmesi, orman yangınlarının önlenmesi açısından hayati öneme sahiptir.
- g) **Arazi Kullanımı Değişiklikleri:** Arazi kullanımı değişiklikleri, orman alanlarının insanlar tarafından nasıl kullanıldığını ve değiştirildiğini gösterir. Bu değişiklikler, yangın riskini etkileyebilir. Örneğin, orman alanlarının tarım veya sanayi alanlarına dönüştürülmesi yangın riskini artırabilir. (Pourghasemi, 2016; Güngöroğlu, 2017).

1.3. Orman Yangınları ve Risk Analizlerinde Değişkenler ve Analiz Yöntemleri

Geleneksel ölçüm yöntemleri, orman yangını riskini değerlendirmede ve saha doğrulamasında önemli bir rol oynar. Ancak, bu ölçümler genellikle pahalıdır, zaman gerektirir ve her zaman kesin olmayabilir (Çolak ve Sunar, 2020). Bu nedenle, Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve Uzaktan algılama (UA) sistemleri, yangın riskini tanımlamak ve yangın risk haritaları oluşturmak için araştırmacılar tarafından etkili araçlar olarak kullanılmaktadır (Sivrikaya ve ark., 2014; Bentekhici ve ark., 2020; Sarı, 2021).

Yangın riski haritaları, risk faktörlerini gösteren veri katmanları kullanılarak hazırlanır (Jaiswal ve ark., 2002). Bu haritaların yapımı için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılır. CBS teknikleri, geniş alanlara ait çeşitli veri katmanlarını hızlı bir şekilde değerlendirme imkanı sunar. Bu durum, büyük ölçekli yangın risk haritaları oluşturma potansiyeline sahiptir (Erten ve ark., 2005; Başaran ve ark., 2007). Yangın risk haritalarının oluşturulmasıyla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda farklı haritalama yöntemleri ve yaklaşımları kullanılmış ve test edilmiştir (Teodoro ve Duarte, 2013; Sivrikaya ve ark., 2014; Ateşoğlu, 2015; Güngöroğlu, 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Sevinç ve ark., 2020). Bu çalışmalarda yangına neden olan parametreler (topoğrafya, vejetasyon, arazi kullanımı, populasyon ve yerleşim) ağırlıklandırılmakta ve yangın risk indeksleri hesaplanmaktadır. Bu indekslere göre de CBS ve UA kullanılarak yangın risk haritaları yapılabilmektedir (Cáceres, 2011; Adab ve ark., 2013; Çetin ve ark., 2023; Coşkun ve Toprak, 2023; Demir, 2023; Kara, 2023; Bıçakçı ve Yıldız, 2024; Makumbura, 2024).

Çevresel olaylar arasında yer alan orman yangınları, karmaşık yapıları ve çelişkili tercihleri nedeniyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli çok kriterli karar analizi (MCDA) tekniklerinin kullanılması, karar vericilere çevre sorunlarının modellenmesinde bir altyapı sağlamaktadır. MCDA yöntemleri kullanıcı tanımlı yaklaşımlar ve gereksinimlerle çözüm sunarak karmaşık veriler içindeki

sorunlara çözüm üretebilmektedir. Son yıllarda, karar vericiler, orman kullanım parametrelerini ve yangın riskini modellemek için CBS tabanlı çok kriterli karar analizi (CBS-MCDA) tekniklerini kullanmışlardır. MCDA ve CBS'nin birleştirilmesi, yangın riskini haritalamak için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Zolekar ve Bhagat, 2015; Gigovic ve ark., 2018; Gheshlaghi ve ark., 2020; Sarı, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), her kriterin önemini belirleyen ve yaygın olarak kullanılan MCDA tekniğidir (Güngöroğlu, 2017; Akbulak ve ark., 2018). AHP, karmaşık veriler içindeki sorunlara çözüm bulmak için kullanılan hesaplamaları içerir (Arentze ve Timmermans, 2000). Her bir kriterin önemini bir karşılaştırma matrisi aracılığıyla belirler (Chen ve ark., 2010).

Literatürde bazı çok kriterli karar analizi (MCDA) yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar arasında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) dikkat çekmektedir (Ateşoğlu, 2014; Akay ve Şahin, 2019; Çoban ve Erdin, 2020; Hoang ve Nguyen, 2020; Novo ve ark., 2020). Bunun yanı sıra, bulanık AHP (Güngöroğlu, 2017; Eskandari ve Miesel, 2017; Gheshlaghi ve ark., 2020), analitik ağ süreci (ANP) (Gheshlaghi ve ark., 2020), yapay sinir ağları (ANNs) (Vasilakos ve ark., 2009; Satır ve ark., 2016) ve bulanık mantık (dos Santos ve ark., 2020) gibi çeşitli diğer yöntemler de literatürde önerilmiştir.

Yangın riskinin modellenmesinde, doğrusal regresyon ve lojistik regresyon, çok kriterli karar analizi (MCDA), ağırlıklı katmanlama yöntemleri (Fuzzy, AHP, ANP) en sık kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır (Deng ve ark., 2014; Yakubu ve ark., 2015; Tien Bui ve ark., 2016). Bunun yanı sıra, Olasılık tabanlı modeller (MaxEnt), Bayes ağ modelleri ve Yapay sinir ağları (ANNs) gibi diğer yöntemler de yangın riski modellemesinde kullanılmaktadır (Yakubu ve ark., 2015; Akyüz, 2019; Yılmaz ve Öztürk, 2019; Janiec ve Gadai, 2020; Sevinç ve ark., 2020; Chen ve ark. 2021; Yang ve ark. 2021).

Yangın riski ve tehlike analizi, çeşitli faktörlerin bir araya getirilmesini gerektirir. Bu faktörler arasında topografya (yükseklik, eğim ve bakı), meteorolojik faktörler (yağış, sıcaklık, nem ve rüzgâr), arazi örtüsü (bitki örtüsü tipi/yoğunluğu), orman bitki örtüsü yapıları (ağaç türü, tepenin kapanması, ağaç evresi), hidrografik ve arazi kullanımı (akarsular, yol hatlarına mesafe, yerleşim yerine mesafe, suya mesafe, radyasyon, enerji nakil hatlarına mesafe) ve insan faaliyetleri gibi birçok faktör bulunmaktadır (Esen ve Avcı, 2018; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Göltaş, 2022; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Coşkun ve Toprak, 2023). Bu yöntemler, farklı veri türlerini ve değişkenleri dikkate alarak yangın riskini modellemek için kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik, yangın riskinin karmaşıklığını anlamak ve etkili bir şekilde değerlendirmek için önemli bir araç sağlar.

1.4. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK)

Arazi örtüsü' ve 'Alan kullanımı', insanlarla fiziksel çevre arasındaki karmaşık etkileşimleri ifade eder (Wang J ve ark., 2022). Bu kavramlar, küresel çevresel değişimin önemli göstergelerindendir (Hassan ve ark., 2016; Koko ve ark., 2020). Arazi örtüsü ve Alan kullanımı birbirleriyle ilişkili olsa da farklı kavramlardır.

Arazi örtüsü, doğal ve kültürel unsurları içeren yeryüzünün görünür özelliklerini ifade eder. Çevresel faktörlere bağlı olarak şekillenir, arazi yüzeyindeki morfolojik ve yaşam özelliklerini tanımlar (Sherbinin, 2002; Rimal, 2018; Liu, 2021; Wang J ve ark., 2022).

Alan kullanımı ise insanlar tarafından arazinin belirli amaçlar doğrultusunda kullanılmasını tanımlar. Tarım, ormancılık, inşaat gibi arazi yüzeyindeki antropojenik değişikliklerin sonucudur. Bu kullanımlar, insanların ihtiyaçları ve hedefleriyle çevresel etkileşimler içerisinde gelişir (Liu ve ark., 2021; Zhai ve ark., 2021).

Nüfus artışı ve artan gıda talepleri gibi faktörler, arazi örtüsü ve alan kullanımında önemli ölçüde değişikliklere yol açmaktadır (Ghalehtemouri ve ark., 2022). Bu değişimler, insanların ihtiyaçlarını karşılama çabalarıyla doğrudan ilişkilidir ve bu süreçlerin çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

1.4.1. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişiminin Önemi ve İzlenmesi

Günümüzde hızla gelişen uydu görüntüleri, uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi teknolojiler, Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişim analizlerini klasik yöntemlere göre daha hızlı ve daha başarılı bir şekilde izlenebilir kılmıştır. Son otuz yılda, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı üzerine yapılan araştırmaların artması, bu alanda bilimsel ilginin arttığını göstermektedir (Özdemir ve ark., 2003; Gürbüz ve ark., 2012; Gülersoy, 2013; Satiprasad, 2013; Topaloğlu ve Ekercin, 2013; Canıberk ve ark., 2014; Dengiz ve Turan, 2014; Bulut ve ark., 2018; Sharaf ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018; Kaya ve ark., 2020). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla yapılan arazi kullanımındaki zamansal değişim çalışmalarında Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı meydana gelen değişimler sayısal olarak tespit edilebilmektedir.

Bu teknolojilerin kullanımı, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimlerinin izlenmesi ve analiz edilmesi, çevresel değişikliklerin takibi ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Kaya ve ark., 2020). Özellikle tarım, ormanlık alanlar, su kaynakları ve kentsel alanlar gibi kritik alanlardaki değişimleri takip etmek ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek, çevresel politikaların ve doğal kaynakların etkili bir şekilde yönetilmesine, ekosistem sağlığı ve biyoçeşitliliğin korunmasına yardımcı olur.

AÖ/AK değişimlerinin önemi ve izlenmesi, çevresel sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların etkili yönetimi için temel bir gerekliliktir. Bu teknolojilerin kullanımı, çevresel politikaların bilimsel olarak desteklenmesine, ekosistemlerin korunmasına ve insan etkisinin azaltılmasına katkı sağlar. Bu nedenle, AÖ/AK değişimlerinin izlenmesi ve analizi, çevresel bilimler alanında kritik bir araştırma ve uygulama alanı oluşturur.

1.4.2. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Zamansal Değişimine Etki Eden Faktörler

Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Zamansal değişime etki eden faktörler oldukça çeşitlidir ve arazi kullanımı ile örtüsündeki değişimler, genellikle ekonomik, sosyal, çevresel ve

teknolojik faktörlerin etkileşimiyle şekillenir (Bakker ve Van Doorn, 2009). Nüfus artışı, kentsel yayılma, altyapı gelişimi, iklim değişiklikleri, ekonomik faktörler ve politikalar gibi temel etkenler, AÖ/AK değişimini önemli ölçüde etkileyen faktörler arasındadır.

Başlangıçta avlanma gibi basit faaliyetlerle başlayan bu değişim süreci, tarımın ortaya çıkmasıyla daha da hız kazanmıştır. Tarımın gelişimi, insanların doğal ortamlarını değiştirme ve insan yerleşimlerini kurma şeklindeki etkileşimleri artırmıştır. Günümüzde, sanayileşme, teknolojik ilerlemeler ve artan nüfus yoğunluğu gibi faktörler, kentsel genişlemeyi hızlandırmış ve arazi kullanımını daha karmaşık hale getirmiştir (Ellis ve ark., 2008). Sanayi faaliyetlerindeki ilerlemeler, tarım arazilerinin terk edilmesine ve kentleşmeye yol açarak arazi kullanımında büyük değişikliklere neden olmuştur. Bu değişim, sadece ekonomik faktörlerden değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal faktörlerden de etkilenmiştir (Rindfuss ve ark., 2004; Valbuena ve ark., 2008).

Son zamanlarda kentsel yayılma, göç ve nüfus artışından bağımsız olarak başka nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Ekonomik büyüme, artan gelir seviyeleri, yaşam standartlarının yükselmesi, daha geniş yaşam alanına olan talep, ulaşım ve iletişim olanaklarının gelişmesi, kent yaşamının etkileyciliğinin azalması gibi pek çok faktörden etkilenmektedir. (Akseki, 2013). Bu faktörler, kent merkezlerinin cazibesini yitirmesiyle birlikte, kentsel alanların çevresindeki kırsal alanlara doğru genişlemesine neden olmaktadır. Türkiye'de nüfus artışı ve mega kent ile tatil yörelerine göç, bu bölgelerde yoğun bir yapılaşma sonucunda orman alanı ile yerleşim yeri sınırları iç içe geçmiştir. Kentsel yayılma kentin, doğal alanlarla olan sınırların giderek daralmasına ve bu alanların insan etkisi altına girmesine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak kentsel alanların genişlemesiyle birlikte, ormanlık alanlara olan baskılar artmakta ve yangın riskide artmaktadır. Meydana gelebilecek yangınların hem insan yerleşimlerine hem de doğal alanlara zarar verme potansiyeli yüksek olup bu yangınların hızla yayılarak büyük afetlere dönüşebilme riskide bulunmaktadır (Ertuğrul, 2010; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Bu durum, mega kentlerde ve hızla gelişen bölgelerde bir dizi sosyoekonomik ve çevresel sorunu ortaya çıkarmıştır (Ellis ve ark., 2008; Alsharif ve ark., 2015; Aburas ve ark., 2017). Kentsel yayılma, insanların günlük yaşamlarını etkileyen küresel bir sorun haline gelmiştir (Al-sharif ve ark., 2013) ve doğal yaşam alanlarının tahribatı, ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere yol açmış ve biyoçeşitliliği azaltmıştır. Bu durum, iklim değişikliği ve doğal yaşam alanlarının tahribatı gibi sorunları da beraberinde getirmiştir.

Doğal bitki örtüsünün tarımsal veya kentsel alanlara dönüştürülmesi gibi durumlarda atmosferik etkileşimler de değişikliklere neden olabilir. İklim değişikliği bağlamında Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK), sıcaklık, nem ve yağış düzenlerini etkileyebilir. Artan sıcaklık, değişen yağış desenleri ve ekstrem hava olayları, tarım verimliliğini etkileyebilir ve doğal habitatları tehdit edebilir. Özellikle, kuraklık veya sel gibi hava olayları, tarım alanlarında erozyon ve toprak kaybına neden olabilir (Lavanya ve Padmaja, 2014; Çakır, 2017; Garbolino ve ark., 2017; Kedia ve ark., 2021).

1.4.3. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişiminin Orman Yangınları ve Yangın Riski Üzerindeki Etkileri

Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) değişimlerinin izlenmesi, yangın riski yüksek alanların belirlenmesi, yangınların yayılma potansiyelinin değerlendirilmesi ve doğal ekosistemlerin korunması gibi nedenlerle oldukça önemlidir. Özellikle kentleşme süreci gibi insan etkileri, AÖ/AK değişikliklerinin orman yangınları ve yangın riski üzerindeki doğrudan etkilerini artırır. Kentleşme süreci, ormanlık alanların azalmasına ve yerleşim birimlerinin artmasına neden olabilir. Bu durum, orman yangınlarının sıklığını ve yoğunluğunu artırabilir. Artan yerleşim bölgeleri, ormanlık alanlarla temas halinde olduğunda, yangınların insanların yaşadığı bölgelere daha fazla zarar verme potansiyeli artar. Ayrıca, kentleşme süreciyle birlikte artan insan faaliyetleri (örneğin, piknik yapma, kamp ateşi gibi) orman yangınlarının başlama olasılığını artırabilir.

Bu nedenle, AÖ/AK değişikliklerinin, özellikle kentleşme sürecinin, orman yangınları ve yangın riski üzerindeki etkilerini anlamak ve bu riskleri yönetmek için dikkatle izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu, doğal kaynakların korunmasını ve toplumun güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinin gelişimi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi araçlarla arazi kullanımı ve kentsel genişleme üzerine daha detaylı analizler yapmayı mümkün kılmıştır. CBS verileri saklayabilir, yeniden işleyebilir ve analiz edebilir, böylece karar verme sürecini kolaylaştırır. Ayrıca bazı analitik modeller doğrudan CBS yazılımına entegre edilebilir, bu da AÖ/AK'nın farklı zaman dilimlerinde izlenmesini ve analiz edilmesini sağlar (Alghais ve Pullar, 2018). Bu teknolojiler, karmaşık kentsel süreçleri daha iyi anlamamıza ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmemize yardımcı olabilir. Ancak, bu analizlerin yanı sıra, mekansal açık modelleme gibi tekniklerin de kullanılması önemlidir. Bu teknikler, hem mekansal hem de zamansal değişkenleri dikkate alarak daha kapsamlı bir bakış açısı sunar.

Kentsel dönüşüm ve yayılma, karmaşık etkileşimler ve çeşitli faktörler tarafından belirlenir. Bu nedenle, niteliksel bir açıklama yapmak zor olabilir. Ancak, mekansal açık modelleme gibi teknolojiler, kentleşme ve yayılma süreçlerinin mekansal ve zamansal dinamiklerini daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir (Espindola ve ark., 2017; Osgouei ve Kaya, 2017). Bu tür analizler, gelecekteki kentsel talepleri karşılamak ve kentleşmenin olumsuz etkilerini azaltmak için politika oluşturuculara ve karar alıcılara yol gösterici olabilir (Han ve Jia, 2016). Böylelikle, kentsel alanların altyapısı ve işlevleri güncellenirken, çevresel ve sosyo ekonomik denge daha iyi korunabilir. Toplumun ihtiyaçları, kültürel tercihler ve sosyal dinamikler de arazi kullanımını etkiler.

Tüm bu faktörlerin birbiriyle etkileşimi, arazi kullanımındaki değişimin karmaşıklığını ve çeşitliliğini açıklar. Gelecekte, arazi kullanımının tahmin edilmesi ve kentsel genişlemenin yönetilmesi için mevcut verilerin analiz edilmesi ve uygun politikaların oluşturulması önemlidir. Bu politikalar, kentleşmenin olumsuz etkilerini azaltmaya ve doğal kaynakların korunmasını sağlayarak sürdürülebilir bir gelecek için adımlar atmaya yardımcı olabilir ve arazi yönetimi ve planlaması

alanında karar alıcılarına önemli bilgiler sağlar. Bu bağlamda, arazi kullanımı planlaması ve çevresel koruma önlemleri gibi konuların önemi giderek artmaktadır.

1.4.4. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı Modelleme Teknikleri ve Yaklaşımları

Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı zamansal değişimine etki eden faktörlerin karmaşıklığını anlamak, AÖ/AK modelleme teknikleri ve yaklaşımlarının önemini vurgular. Bu faktörlerin etkileşimlerini görselleştirmek ve analiz etmek için çeşitli modelleme teknikleri kullanılmaktadır. AÖ/AK modelleme teknikleri, coğrafi verilerin analizi ve gelecekteki değişimlerin tahmini için önemli bir rol oynar. Bu yöntemler, farklı modelleme tekniklerinin entegrasyonu ile oluşturulur ve arazi kullanımı değişikliklerini anlamak, gelecekteki eğilimleri öngörmek için kullanılır. Bu modellerden bazıları;

- **İstatistiksel ve deneysel modeller:** Bu modeller, geçmiş verilere dayanarak gelecekteki arazi kullanımı değişikliklerini tahmin etmek için istatistiksel yöntemleri kullanır. Örneğin, lojistik regresyon modeli ve Markov zinciri modeli bu kategoriye girer (Arsanjani ve ark., 2011; Al-sharif ve Pradhan, 2013).
- **Dinamik modeller:** Bu modeller, arazi kullanımının zaman içinde nasıl değiştiğini ve etkilendiğini anlamak için dinamik süreçleri temsil eder. Ajan tabanlı modeller ve Hücresel Otomata (HO) modeli, bu tür modellerin örnekleridir (Al-shalabi ve ark., 2013).
- **Entegre modeller:** Bu modeller, farklı teknikleri birleştirerek daha kapsamlı bir analiz sağlar. Örneğin, arazi kullanımı dönüşümü ve etkileri modeli (CLUE), hem istatistiksel hem de dinamik modellerin öğelerini içerir (Verburg ve ark., 2002).

Her bir modelin avantajları ve sınırlamaları vardır. Markov zinciri modeli, zaman içindeki değişiklikleri tahmin etmek için güçlü bir araç olabilir, ancak mekansal dağılımı tam olarak açıklayamaz (Araya ve Cabral, 2010). Hücresel Otomata tabanlı modeller ise karmaşık mekansal süreçleri daha iyi temsil edebilir, ancak uygun geçiş kurallarının belirlenmesi zor olabilir (Al-shalabi ve ark., 2013).

Entegre HO-Markov modeli, uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemlerinin entegrasyonu ile daha güçlü bir analiz sağlar. Bu model, hem miktar tahminini hem de mekansal ve zamansal değişimleri modelleme konusunda etkilidir (Arsanjani ve ark., 2011; Guan ve ark., 2011).

Sonuç olarak, farklı AÖ/AK modelleme yaklaşımları ve teknikleri, alan kullanımı değişikliklerini anlamak ve gelecekteki trendleri tahmin etmek için çok çeşitli araçlar sunar. Bu modeller, politika yapıcılarına rehberlik etmek ve sürdürülebilir arazi kullanımı stratejileri geliştirmek için önemli bir rol oynar.

1.5. Kentsel Modellerin Gelişim Süreci

Kentsel modeller, insan yerleşimlerinin gelişimi ve evrimini anlamak için geçmişten günümüze kadar çeşitli aşamalardan geçmiştir. Bu modeller, kentlerin nasıl şekillendiğini ve büyüdüğünü anlamak için farklı teoriler ve yaklaşımlar kullanarak evrimleşmiştir.

Başlangıçta, kentsel modelleme çalışmaları, tarımsal yerleşimlerin düzenlenmesini inceleyen klasik teorilerle başlamıştır. Von Thünen'in tarımsal yerleşim modeli (1826), tarım alanlarının şehirlere olan uzaklığına bağlı olarak nasıl düzenlendiğini açıklamaktadır. Bu model, tarım ürünlerinin pazarlara olan mesafesine ve taşıma maliyetlerine dayalı olarak arazinin kullanımını açıklamıştır.

Daha sonra, Weber'in endüstriyel yerleşim teorisi (1909), endüstrinin konumunu çeşitli faktörlere bağlamakta ve kentsel alanların nasıl şekillendiğini açıklamaktadır. Burgess'in eşmerkezli bölge modeli (1925), kentin katmanlarını ve işlevlerini açıklamak için kullanılırken, Christaller'in merkezi alan teorisi (1933), yerleşim yerlerinin geometrik düzenlenmesini incelemektedir.

Harris ve Ullman'ın çok merkezli gelişme modeli (1945), kentin birden fazla merkez etrafında nasıl büyüebileceğini öngörürken, Alonso'nun teklif-rant teorisi (1964) ve Lowry'nin metropol modeli (1964) gibi modeller, arazi kullanımının ekonomik ve demografik faktörlere bağlı olarak nasıl şekillendiğini açıklamaktadır.

Daha sonraki yıllarda, kentsel modelleme çalışmaları, bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte daha karmaşık hale gelmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama gibi teknolojiler, kentsel alanların büyümesini ve değişimini analiz etmek için güçlü araçlar sağlar. Yapay sinir ağları, çoklu ajan sistemleri ve Hücresel Otomata gibi simülasyon teknikleri, kentsel büyümenin tahmin edilmesi ve modellenmesi için kullanılmıştır.

Son olarak, Hücresel Otomata modeli ve Markov zinciri gibi daha modern yaklaşımlar, kentsel modellerin daha dinamik ve zaman içinde değişen doğasını daha iyi yakalamak için kullanılmıştır. Bu modeller, kentsel alanların gelecekteki gelişimini tahmin etmek ve planlamak için önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.

1.6. Mekansal Modelleme Yaklaşımları ve Kentleşme

Mekansal modelleme yaklaşımları, kentsel büyüme ve değişim süreçlerini anlamak için kullanılan matematiksel ve istatistiksel tekniklerdir. Bu yaklaşımlar, kentleşmenin mekansal dağılımını ve gelecekteki eğilimlerini tahmin etmek için kullanılır.

Kentsel büyüme modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) tekniklerinin bir arada kullanılmasıyla son yıllarda oldukça ilerleme kaydetmiştir. CBS'ye dayalı çeşitli kent modelleri geliştirilerek kent alanında arazi dönüşümü ve kentsel büyüme tahminlerine yönelik çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Canpolat ve Dağlı, 2020; Görentaş, 2021; Altınar, 2022; Topaloğlu, 2022; Coşkun, 2023; Işınkaralar, 2023; Toplu, 2024).

Kentsel büyümenin modellenmesinde; istatistiki modeller (Hu ve Lo, 2007 ; Nong ve Du, 2011), CBS tabanlı modeller, ajan tabanlı modeller ; Matthews ve ark., 2007; Zhang ve ark., 2011), yapay sinir ağları (C. Almeida ve José, 2005; Yang ve ark., 2008; Pijanowski ve ark., 2009), markov zincirleri (Jenerette ve Wu, 2001; López ve ark., 2001; Mitsova ve ark., 2011; Xin ve ark., 2012), makine öğrenmesi algoritmaları (Park ve ark., 2011; J. Gao ve ark., 2018; Chen ve ark., 2024) ve Hücresel Otomata (Veldkamp ve Fresco, 1997; M. Batty ve ark., 1999; Yüzer, 2004; Berberoğlu ve ark., 2016) gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

Kentsel büyüme modelleri, kentlerin gelecekteki gelişimini anlamak ve planlamak için kullanılan önemli araçlardır. Bu modeller, çeşitli matematiksel ve istatistiksel teknikler kullanılarak kentsel alanların büyüme eğilimlerini analiz etmektedir. Kentsel büyüme modelleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) gibi teknolojilerle bir araya getirilerek kentlerin mekansal dağılımını ve gelecekteki eğilimlerini daha doğru bir şekilde tahmin etme imkanı sağlamaktadır.

Bu modeller, kentsel planlama süreçlerinde çeşitli alanlarda kullanılabilir. Örneğin, altyapı projelerinin planlanması ve yönetimi süreçlerinde, kentsel büyüme modelleri altyapı ihtiyaçlarını belirlemede ve mevcut altyapının nasıl geliştirilebileceğini göstermede kullanılabilir. Ayrıca, kentsel büyüme modelleri, kentsel alanlardaki çevresel etkilerin değerlendirilmesinde de önemli bir rol oynar. Çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde, bu modellerin sağladığı veriler çevresel etkilerin minimize edilmesine yardımcı olabilir.

Ancak, kentsel büyüme modellerinin kullanımında bazı sınırlamalar da vardır. Örneğin, modellerin gelecekteki koşulları tahmin etme yetenekleri sınırlı olabilir ve belirsizliklerle karşılaşabilirler. Ayrıca, modellerin geliştirilmesi ve uygulanması karmaşık olabilir ve doğru sonuçlar elde etmek için hassas parametreler gerektirebilir.

Genel olarak, kentsel büyüme modelleri, kent planlamacılarına ve karar vericilere kentsel alanların gelecekteki gelişimini tahmin etme ve planlama süreçlerinde bilinçli kararlar almalarına yardımcı olabilir. Bu modellerin kullanımı, kentlerin daha sürdürülebilir, verimli ve yaşanabilir olmalarını sağlamak için önemli bir adımdır.

Kentsel büyüme olgusunun ölçümü, değerlendirilmesi ve tahmini, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) en önemli araştırma alanlarından birini oluşturmaktadır. Ayrıca, birçok çalışmada, Uzaktan Algılama görüntüleri kullanılarak çevresel ve sosyo-ekonomik verilerle birlikte arazi kullanım sınıflarındaki değişim analizleri ve kentsel büyüme desenleri incelenmiştir (Alphan, 2003; Doygun ve ark., 2008; Nong ve Du, 2011; Alphan ve Güvensoy, 2016; Aburas ve ark., 2017).

Aynı şekilde, yapılan çalışmalarda, Uzaktan Algılama'nın (UA) kentsel gelişim ve arazi kullanımındaki değişim sürecinin mekânsal ve zamansal dinamiklerini ortaya koymada "eşsiz bir bakış açısı" sunduğu vurgulanmaktadır (Herold ve ark., 2004). Bu nedenle, UA ile CBS teknolojilerinin birlikte yaygın bir şekilde kullanıldığı ve farklı ölçeklerde arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi ve gözlenmesinde etkili ve güçlü bir araç olarak tanımlandığı görülmektedir (Gürbüz

ve ark. 2012; Gülersoy, 2013; Dengiz ve Turan, 2014; Göksel ve Karip, 2017; Keleş, 2019; Kaya ve ark., 2020; Işınkaralar, 2023).

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler, kentsel karmaşıklığın modellenmesinde çözümü çok zor olan simülasyon hesaplamalarının bilgisayar ortamında yapılabilmesini sağlamıştır. Simülasyon, bilgisayar modelini çalıştırarak sistemin davranışı hakkında geçerli bilgilerin toplanmasını sağlar. Modellenen sistemin performans ölçülerini kestirmek için kullanılan bir yöntemdir. Simülasyon çıktısının kestirimi, rastgele örnekleme temeline dayandığı için herhangi bir istatistiksel deneyde olduğu gibi simülasyon deneylerinde de istatistiksel yorum testlerinin kullanılması gerekir. Simülasyon modelleri arasında en yaygın kullanılanı, deneyin sonucunu tahmin etmek için rastgele örneklemeden yararlanan Monte Carlo Simülasyon modelidir (Carmel ve ark., 2009). Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma (USGS; United States Geologic Survey) tarafından gerçekleştirilen SLEUTH projesinde Monte Carlo Simülasyon modeli kullanılmıştır (Jantz ve Goetz, 2010; Herold ve ark., 2003).

Günümüzde kentsel karmaşıklığı modellemek için kullanılan en yaygın yöntemler şunlardır: Artificial Neural Network (ANNs), Multi-Agent Systems (MAS) Cellular Automata (CA) - Hücresel Otomata (HO) modeli'dir.

Hücresel Otomata (HO) modeli, uzaktan algılama verilerindeki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı sınıfları arasındaki mekansal değişimleri simüle etmek için kullanılmaktadır (Eşbah ve ark., 2011; Çağlıyan ve Dağlı, 2015). Markov zinciri (MC) modeli ise, geçiş olasılıklarına dayalı olarak Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı sınıfları arasındaki zamana dayalı mekansal değişimleri analiz etmek için kullanılmaktadır (Singh ve ark., 2015; Liping ve ark., 2018).

Araştırmacıların çoğunun belirli bir alandaki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimini tahmin etmek için hibrit modeli kullandığını gözlemlenmiştir. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimini tahmin etmek için sıklıkla kullanılan hibrit modellerden biri Markov zinciri ve Hücresel Otomata modelidir. SLEUTH (eğim, arazi kullanımı, dışlama, kentsel, ulaşım ve tepe gölgesi), kentsel büyümenin durumunu simüle etmek ve tahmin etmek için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişim analizi sürecinde uygulanan bir Hücresel Otomata modeli sürecidir (Pathiranage ve ark. 2018).

1.6.1. Hücresel Otomata Modeli

Hücresel Otomata (HO) modeli, kentsel alanların gelecekteki gelişimini simüle etmek için kullanılan bir modelleme yöntemidir. Model, alanı küçük birimlere böler ve her birimin gelecekteki durumunu belirlemek için kurallar kullanır.

Hücresel Otomata basitçe kendi kendine çalışan anlamına gelir ve bir matematiksel modelleme yöntemidir. Diğer modelleme işlemlerine göre daha basit olması nedeniyle son yıllarda matematik, kimya, biyoloji gibi birçok bilim dalında farklı amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Hücresel Otomata modelleri çok basit bir yapıya sahip olmalarına rağmen karmaşık mekansal ve

zamansal süreçlerin modellenmesinde etkili araçlardır (Eşbah ve ark., 2011). HO yöntemi, uzayın birimlere bölünmesi ve bu birimlerin zaman içinde farklı adımlarla ilerlemesi ve etkilenmesi esasına dayanmaktadır. Hücrelerin gelişmesi sırasında hücrenin kendi özellikleri, çevredeki hücrelerin rolü kadar önemlidir. Bu nedenle karmaşık kentsel sistemler basit matematiksel yöntemler kullanılarak açıklanabilir (Çağlıyan ve Dağlı, 2015).

HO modeli temel olarak hücreler, hücre alanları, komşular, kurallar ve zamandan oluşur. $St+1$ durumundaki her hücre için veriler, hücrenin kendisi ve St durumundaki komşu hücreler tarafından belirlenir ve hücredeki değişiklikler kurallarla belirlenir.

Model ifadesi:

$$St+1 = f(St, N)$$

burada S , sonlu eleman hücresinin durum kümesidir. T ve $t+1$ farklı momentlerdir; N hücrenin komşuluğudur ve f yerel uzayın dönüşüm kuralıdır (Myint ve Wang., 2006).

1.6.2. Markov Zinciri Modeli

Markov zinciri modeli, bir alanın gelecekteki durumlarını tahmin etmek için geçmiş durumların kullanıldığı bir modelleme yöntemidir. Model, bir alanın belirli bir zamandaki durumunu ve gelecekteki durumunu tahmin etmek için olasılıkları kullanır.

Markov zinciri modelleri, peyzaj süreçlerinin ve değişikliklerinin tanımlanmasının zor olduğu Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişikliklerini modellemek için yararlı bir araçtır. Bu modelde, Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişiminin stokastik bir süreç olduğu varsayılır ve farklı Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı şekilleri zincirin durumları olarak kabul edilir (Thapa ve Murayama, 2011; Eşbah ve ark., 2011). Markov zinciri modelinde iki zaman periyodu arasındaki Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı belirlenir ve bu girdi görüntüleri bir geçiş olasılık matrisi elde etmek için kullanılır (Pena ve ark., 2005) burada matristeki her bir öge, belirli bir Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı formundan diğerine geçiş olasılığını temsil eder. Bu sürecin sonuçları gelecekteki değişikliklere ilişkin tahminler oluşturmak için kullanılır.

Markov zinciri modeli mekansal bir yapıya sahip olmadığından sıklıkla Hücresel Otomata larla birlikte kullanılır.

Markov zinciri analizi, zaman ve durum açısından ayırık olan stokastik bir süreçtir. Model simülasyon süreci esasen bir arazi kullanım alanı transfer matrisi ve arazi kullanımı değişim eğilimlerini tahmin etmek için bir olasılık transfer matrisi üretir. Burada Markov zinciri modeli, $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_n\}$ bir dizi durum olarak tanımlanabilir. Mevcut durumun St olduğunu ve daha sonra bir sonraki adımın olasılığı ile Sj durumuna geçiş yaptığını varsayarak ve geçiş olasılığı Pij ile temsil edilir. Bu nedenle sistemdeki $St+1$ durumu, aşağıdaki formül kullanılarak Markov zincirindeki eski aşama St ile belirlenebilir.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix}$$

$$(0 \leq P_{ij} < 1 \text{ ve } \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, i=1,2,\dots,n)$$

Burada, P_{ij} , durum geçiş olasılığı matrisi ve n arazi kullanım türü numarasıdır; S arazi kullanım durumu, t; t + 1, zaman noktasıdır (Zhang ve ark., 2023)

1.6.3. HO-Markov Modeli

HO-Markov modeli, HO ve Markov zincirleri modellerini birleştiren bir modelleme yöntemidir. Model, kentsel alanların gelecekteki gelişimini simüle etmek için HO'nun dinamik yapısını ve olasılığa dayalı Markov zincirleri tahminlerini birleştirir.

HO tabanlı Markov zincirleri, özellikle Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişikliklerinin araştırılmasında geleceği tahmin etmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Simülasyon modeli HO ve çok kriterli karar analiz yöntemlerinin birleşiminden oluşur. HO tabanlı Markov modelinde tahmine dayalı bir model oluşturulurken; temel arazi kullanım haritası, Markov zincirleri tarafından oluşturulan geçiş alanları matrisi, Çok kriterli karar analiz yöntemi tarafından elde edilen arazi kullanım uygunluk haritası ve 5 x 5 komşuluk filtresi verileri kullanılmaktadır (Çaęlayan ve Dağlı, 2015). Markov modelinde uzamsal değişkenler bulunmazken, HO modelinde hücrelerin durumu mekansal değişkenlerle yakından ilişkilidir. HO Markov modeli, HO modelinin karmaşık sistemlerdeki uzamsal varyasyonu simüle etme yeteneğini, uzun vadeli tahmin için Markov modelinin avantajlarıyla birleştirir (Liping ve ark, 2018).

1.7. İzmir ve Çevresi Kentsel Gelişim Süreci

İzmir, Ege Bölgesi'nde tarih boyunca birçok medeniyetin geçiş noktası olmuş ve bu stratejik konumu sayesinde kentsel gelişim sürecinde farklı ekonomik, sosyal ve kültürel dönüşümler yaşamıştır. Bu süreçte kentin gelişim dinamiklerine Karaburun, Urla, Seferihisar ve Çeşme gibi ilçeler de önemli katkılarda bulunmuş, her biri farklı dönemlerde çeşitli işlevlerle ön plana çıkmıştır. İzmir'in kentsel yapısının bu ilçelerle olan ilişkisi, kentin genel gelişim seyrine paralel olarak şekillenmiş, bölgenin hem yerel hem de küresel ticaret ve kültürel etkileşim ağlarına entegrasyonunda rol oynamıştır.

1.7.1. Antik Dönem

İzmir'in çevresindeki ilçelerin gelişimi, antik dönemlerde Ege Denizi'nin ticaret ve kültürel etkileşim merkezi olmasıyla başlamıştır. Özellikle Urla ve Çeşme'nin stratejik liman şehirleri olarak işlev görmesi, bu ilçelerin ekonomik faaliyetlerinde önemli bir rol oynamıştır (Akurgal, 2016). Antik

Yunan döneminde Claros (Urla) ve Kysos (Çeşme), hem deniz ticareti hem de kültürel etkileşim açısından merkezi konumdaydı. Bölgenin arkeolojik kalıntıları, İzmir ve çevresinde Neolitik Dönem'e kadar uzanan yerleşimlerin varlığını kanıtlamış, bu durum bölgenin antik çağlardan itibaren önemli bir ticaret ve kültür merkezi olduğuna işaret etmiştir.

1.7.2. Roma ve Bizans Dönemleri

Roma İmparatorluğu döneminde İzmir ve çevresindeki ilçeler, bölgenin deniz ticaretine olan katkıları ile dikkat çekmiş, Roma'nın deniz ticareti ağının önemli parçaları haline gelmiştir (Foss, 1979). Bu dönemde İzmir'e yapılan altyapı yatırımları, Karaburun, Urla ve Çeşme gibi ilçelerde ticaretin gelişmesine olanak tanımıştır. Roma döneminde inşa edilen su kemerleri, yollar ve limanlar, bölgedeki ekonomik faaliyetleri canlandırmış, böylece yerleşimlerin büyümesi sağlanmıştır (Akurgal, 2016). Bizans döneminde ise, bu bölgeler Bizans İmparatorluğu'nun Ege Denizi'ndeki ticaret ve savunma hatlarına entegre edilmiştir (Mango, 1994).

1.7.3. Osmanlı Dönemi

Osmanlı İmparatorluğu döneminde İzmir, Akdeniz ticaretinin önemli merkezlerinden biri haline gelmiş, bu süreçte çevresindeki ilçeler de önemli birer tarım ve ticaret merkezi olmuştur. Karaburun, Urla, Seferihisar ve Çeşme gibi ilçelerde Osmanlı'nın ekonomik ve ticari faaliyetlerine yönelik yatırımlar yapılmış, özellikle denizcilik ve tarıma dayalı üretim bu ilçelerin temel ekonomik faaliyetleri haline gelmiştir. Çeşme, deniz ticaretinde stratejik öneme sahip bir liman olarak öne çıkarken, Urla tarım üretiminde güçlü bir merkez olarak gelişmiştir (Ortaylı, 2007).

1.7.4. Modern Dönem

Modern dönemde İzmir, özellikle Cumhuriyet döneminde yeniden yapılanma ve kentleşme süreçlerine dahil olmuş, çevresindeki ilçeler bu dönüşümden etkilenmiştir. 1922 yılında yaşanan Büyük İzmir Yangını sonrası kentin yeniden inşası sırasında Karaburun, Urla, Seferihisar ve Çeşme ilçeleri de modern kentsel planlama anlayışıyla yeniden şekillendirilmiştir (Aşkan, 2013). 1960'lı yıllardan itibaren artan kırsal göç ve sanayileşme süreci, İzmir'in çevresindeki bu ilçelerde hızlı bir kentleşmeye yol açmış, bu durum ekonomik faaliyetlerin çeşitlenmesine katkıda bulunmuştur.

Özellikle Çeşme, modern dönemde turizmin hızla geliştiği bir bölge haline gelmiş ve bu süreçte ilçede aşırı yapılaşma gözlenmiştir. Diğer yandan Urla, tarımsal üretimin yanı sıra bilimsel araştırmalar ve üniversitelerle öne çıkmış, aynı zamanda gastronomi turizmi ile de dikkat çeken bir ilçe olmuştur (Bakırcı ve ark., 2017). Seferihisar, Türkiye'nin ilk Cittaslow (Sakin Şehir) unvanını alarak sürdürülebilir kalkınma ve turizm politikalarını hayata geçirmiş, böylece kırsal kalkınma ve çevre dostu politikalarıyla örnek bir ilçe olarak gelişim göstermiştir (Küçükaltan ve Pirnar, 2016). Karaburun ise kıyısız ekoturizm potansiyeli ile doğal güzelliklerini koruyarak gelişmiş, İzmir'in kırsal dinamiklerini besleyen bir bölge olmuştur.

İzmir'in çevresindeki Karaburun, Urla, Seferihisar ve Çeşme ilçeleri, tarihsel süreç boyunca kentin ekonomik, sosyal ve kültürel gelişimine katkı sağlayan önemli merkezler olmuştur. Antik dönemlerden günümüze uzanan bu gelişim süreci, her bir ilçenin kendi dinamikleri doğrultusunda şekillenmiş, ancak İzmir'in genel kentsel yapısıyla karşılıklı etkileşim içerisinde olmuştur.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Orman Yangınları ve Risk Analizleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Orman yangınları, bu kapsamdaki riskler ile bunların analizi konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yangınların etkilerini azaltmaya yönelik sonuçlar elde etmede önemli bir araç olan CBS hem dünya genelinde hem de ülkemizde, orman yangınlarıyla ilgili birçok çalışmada kullanılmaktadır. Bu çalışmalarla ilgili literatür taraması ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

Chuvieco ve Congalton (1989), tarafından yürütülen çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak Avrupa'da orman yangınlarından en çok etkilenen ülkelerden biri olan İspanya'nın Akdeniz kıyısında, Castellón şehrinin birkaç mil kuzeyinde, yangın riski analizi yapılmıştır. Yangın tehlike haritası üretilmiştir. Çalışmada Landsat programlarının gelişimiyle orman yangınına etki eden yakıt türü ve topografik özellikler gibi bazı katmanların kolayca üretilebileceğine değinmişlerdir. Yangın riskini oluşturan ve yangının karakterini etkileyen eğim, bakı, yükselti, bitki özellikleri, su durumu, hava şartları, güneşlenme, yol ve yerleşim özellikleri gibi değişkenleri katmanlar halinde analiz edilerek çakıştırmış ve yangın riski sınıfı haritası üretmişlerdir. Yüksek tehlike arz eden alanlar, yangının etkilediği gerçek alanla karşılaştırılmıştır. Böylece ormanları korumadaki planlamaya katkı sağlamışlardır.

Darmawan ve ark. (2001), yaptığı bu çalışmada Endonezya'nın Doğu Kalimantan'daki alçak kesimlerde orman yangını tehlikesini belirleme ve değerlendirme üzerine odaklanmıştır. Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak geliştirilen orman yangını tehlike modeli, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile entegre edilerek elde edilmiştir. Orman yangını ve toprak erozyonu tehlikesi, CBS indeks analizi kullanılarak değerlendirilmiş ve birleştirilmiştir. Arazi kullanımı, rakım, eğim, yön ve yol gibi çeşitli faktörler orman yangını tehlikesi için değerlendirilmiştir. Orman yangını ve toprak erozyonu tehlikesinin birleştirilmiş indeksi, arazi ve orman bostulma haritası olarak sunulmuştur. Bukit Suharto Milli Parkı çevresi gibi belirli bölgeler, orman ve arazi bostulma riski altında daha fazla görünmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, Doğu Kalimantan'daki orman yangını ve toprak erozyonu tehlikelerinin değerlendirilmesi ve izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada, hava durumu gibi diğer faktörlerin de göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

De Vasconcelos ve ark. (2001), tarafından yürütülen bu çalışma Portekiz'in Tabua, Oliveira, Arganil, Gbis ve Pampilhosa bölgelerini kapsamaktadır. Çalışma alanının tutuşma risk modellemesi yapılmıştır. Tutuşma riskinin modellenmesi Logistik regresyon analizi ve genetik algoritmalar kullanılarak bölgenin 1992-1995 yılları arasında tutuşmanın olduğu yangın çıkan noktaların koordinatları (405 nokta) ile tutuşmanın gerçekleşmediği noktaların (981nokta) koordinatları kaydedilmiştir. Yangın çıkışı ile coğrafi ve çevresel değişkenler arasında tutuşma riskini belirlemek için modeller oluşturulmuştur. Bu modelleme çalışmasında altlık veri olarak (bağımsız veya açıklayıcı değişkenler); eğim, yola olan mesafe ve tarım alanlarına olan mesafe, Orman alanı, sıcaklık, nem, rüzgar, gibi değişkenler kullanılmıştır. Çalışmada sinir ağlarının genelleme yeteneği

ve sınıflandırma doğruluğunun lojistik regresyondan daha iyi olduğu ve tutuşma risk haritalandırılmasının yangın önleme ve planlama açısından etkinliği artıracağı belirtilmiştir.

Bilgili ve ark. (2002), tarafından yapılan çalışmada, orman yangınlarının etkin bir şekilde kontrol altına alınması için doğru yangın davranışı tahminlerine dayalı yangın amenajmanı planlamasının önemi incelenmiştir. Bu tahminler, geçmiş yangın olaylarının detaylı analizi ve olası yangın senaryolarının değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Yangınla mücadele stratejilerinin sürekli olarak geliştirilmesi ve uygulanması, yangınların etkilerini minimize etmede kritik bir rol oynamaktadır. Yangın davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve yangının potansiyel etkilerinin önceden belirlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışmada, düşük bağıl nem seviyelerinin orman yangınlarının riskini artırdığı ve yüksek sıcaklıklar ile belirli rüzgar hızlarının yangın yayılma hızını artırarak yangın davranışını etkilediği gözlemlenmiştir. Orman yangınlarının etkili bir şekilde yönetilebilmesi için doğru tahminlerin ve stratejilerin belirlenmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır.

Jaiswal ve ark. (2002), ise yaptığı çalışmada Hindistan'ın Madhya Pradesh eyaletinde yangına hassas bir bölge olan, sürekli orman yangın sorunuyla karşılaşan Gorna için yollar, yerleşim yerleri, eğim, bakı, topoğrafik indeks gibi değişkenlerle harita katmanları oluşturarak risk analizi yapmışlardır. Çalışma alanının % 20'nin çok yüksek, %10 yüksek %15 orta %55 düşük risk taşıyan bölgeler olduğu sonucuna varılmıştır.

Erten ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmada Gelibolu Yarımadasının yangın risk haritasını oluşturmuşlardır. Çalışmada 25 Temmuz 1994 tarihinde Gelibolu yarımadasında meydana gelen orman yangınının etkileride değerlendirilmiştir. Uydu görüntülerine ek olarak yangın parametreleri (orman türleri, eğim, bakı, yola ve yerleşime olan uzaklık) CBS ortamına aktarılmış ve yangın risk bölgeleri oluşturulmuştur. Çalışmada iklim verileri dikkate alınmamıştır. Sadece öznitelik verisi olarak girilmiştir. Eğim arttıkça yangının yayılma hızının arttığı, güneye bakan yamaçlarda yangın çok daha hızlı yayıldığı ve tutuşma hızında yüksek olduğu saptanmıştır.

Badia-Perpinya ve ark. (2006), tarafından yapmış oldukları çalışmada, İspanya'nın Catalonia bölgesinde yangınların mekânsal dağılımını incelemişlerdir. Kentsel ve kırsal alanlardaki yangın davranışları arasındaki farkları ortaya koymuşlardır. Çalışma Kentsel alanlarda yangın dağılımının çok yoğun olduğu, kırsal alanlardaki yangınların ise çok daha dağınık olduğunu ve tesbit edilmesinin güç olduğunu göstermiştir. Yola mesafe, kentsel alanlara mesafe, topografya (yükseklik, eğim) güneş ışığı, ve arazi kullanımı değişkenleri orman yangınlarının tutuşma riskini analiz etmek için kullanılmıştır.

Dong ve ark. (2006), tarafından yapılan çalışmada Çin'in Jilin Eyaleti Baihede orman yangın risk zonlaması üzerine çalışmışlardır. Orman envanter verileri Uzaktan algılama verileri ile entegre edilmiş ve alanın orman yangını potansiyeli değerlendirilmiştir. Araştırmacılar değerlendirmede yakıt tabanlı faktörler (bitki örtüsü, yoğunluk ve düzenlilik), Topografik Faktörler (Eğim, Yükseklik, Bakı), Antropojenik faktörler (ormana yakınlık, ulaşılabilirlik, yerleşim alanları ve insan etkilerinin

yoğunluğu) kullanılmışlardır. Çalışma sonucunda tutuşmaya etki eden en önemli faktörün topoğrafya olduğu onu antropojenik faktörlerin izlediği saptanmıştır.

Başaran ve ark. (2007), tarafından yapılan bu çalışmada Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında ArcGIS 9.0 ile Surfer 6.0 gibi coğrafi bilgi sistemi yazılımları kullanılarak 1978-2004 yılları arasındaki yangın verileri ve 1980-2000 yılları arasındaki meteorolojik veriler (rüzgar hızı, nispi nem ve sıcaklık) bir araya getirilmiştir. Bölgede belirtilen tarihlerde çıkan yangın sayısı ve alan belirlenmiştir. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı bütün işletmeler coğrafi bilgi sistemi ortamında yangın risk ve tehlike sınıflarına göre gruplandırılmıştır. Çalışma sonucunda Antalya bölgesinin sahil şeridinin topoğrafik yapı, meteorolojik faktörler ve orman yapısından kaynaklanan nedenler ile yüksek yangın riski ve yangın tehlikesi taşıdığı ortaya çıkmıştır. Özellikle Serik bölgesinin en yüksek yangın riski ve tehlikesine sahip olduğu belirlenmiştir. Serik Orman İşletme Müdürlüğünü Manavgat ve Taşağıl işletmeleri takip etmektedir. Elmalı, Akseki ve Korkuteli bölgelerinin ise düşük yangın risk ve tehlikesine sahip olduğu belirtilmiştir. Akdeniz bölgesinde yangın mevsimi sırasında İç Anadolu'nun kuru hava kütlelerini taşıyan kuzey bakılı rüzgarlar havadaki ve yanıcı maddedeki nem oranlarını düşürdüğünden yangınların kısa sürede büyümesine sebep olmaktadır. Çalışmada arazi yapısı gereği kuzey rüzgarlarını alması nedeni ile Manavgat ve çevresini yangın tehlikesi açısından üst seviyeye çıkıttığı, nemli güney rüzgarlarını alan Korkuteli ve Elmalı gibi yüksek kesimde yer alan iç bölgelerde yangın tehlikesinin göreceli olarak düşük olduğu ifade edilmiştir.

Kalabokidis ve ark. (2007), tarafından Yunanistan'ın Haldiki bölgesinde meydana gelen yangın desenlerinin doğal ve insan etkileri ile olan ilişkisi CBS içinde geliştirilen mekânsal veri tabanında lojistik regresyon ve uyum analizi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada yangın dinamiklerinin açıklamasında en etkili parametrelerin antropojenik faktörler/insan etkisi, doğal ve tarımsal bitki örtüsü, jeomorfolojik parametreler olduğu belirtilmiştir.

Gai ve ark. (2008), tarafından yapılan bu çalışmada, Çin'in Kunshan kentindeki Yushan kasabasında kentsel yangın riskini temsil etmek için mekânsal olarak ağırlıklı bir index modeli oluşturulmuştur. Bu modelde CBS ve çok kriterli karar analiz yöntemlerini kullanarak yangın riski belirlenmiş, sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır. Bu model hesaplama sürecinde, bina yoğunluğu, bina yangına dayanıklılık derecesi, nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı, tehlikeli binadan uzaklık, su kaynağından uzaklık ve itfaiye istasyonundan uzaklık gibi kentsel yangınlarda çeşitli etki faktörlerini dikkate alınmaktadır. Sonuç olarak, yangın hassasiyeti veya yangın başlatma kabiliyetine göre yüksekten düşüğe değişen yangın risk haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Kentsel yangın tehlikesini en aza indirmek için kentsel yangın yönetimi için yangın risk haritalamasının faydalı olduğu belirtilmiştir.

Özelkan (2008), çalışmasında Antalya'nın Kaş ilçesinin Kıbrıs Çayı Kanyonunda 28 Ağustos 2006 tarihinde yanan alanı çalışma alanı olarak belirlemiştir. Bu çalışmada CBS kullanılarak, 3D Analiz yöntemi ile sayısal arazi modeli oluşturulan çalışma alanı UA metoduyla arazi

sınıflandırmasında bitki örtüsü, yükselti, eğim, bakı, yola uzaklık ve yerleşim yerlerine uzaklık risk değişkenleri dikkate alınmıştır. NDVI kullanılarak bitki örtüsünün sağlık durumu ve nem içeriği analiz edilmiştir. NDVI, sağlıklı ve nem içeriği yüksek bitki örtüsü ile kuru ve sağlıklı alanlar arasında ayırım yapılmasını sağladığından yangın risk haritasında bitki örtüsünün yanabilirlik potansiyelini göstermiştir. Elde edilen yangın risk haritasında, Kıbrıs Çayı Kanyonunun orta ve yüksek riskli alanlardan oluştuğu görülmüştür.

Vasilakos ve ark. (2008), tarafından yapılan bu çalışma Yunanistan'da Lesvos adasında orman yangınlarının tehditlerini değerlendirmek yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, farklı girdi değişkenleri FWI-Yangın Hava indeksi (hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bağıl nem, yağış), FHI-Yangın tehlike indeksi (Yakıt modelleri, 10 saat yakıt nem içeriği, yükseklik, bakı), FRI-Yangın Risk indeksi (Yola uzaklık, Elektrik hatlarına uzaklık, kentsel alanlara uzaklık çöplüklere uzaklık, rekrasyon alanlarına uzaklık tarım arazilerine uzaklık) değişkenlerinin orman yangınlarını nasıl etkiledikleri incelenmiştir. Bu amaçla Garson Algoritması Tchaban vd.'ni ağırlık yöntemi, lojistik regresyon ve kısmi türevler gibi farklı yöntemlerle yapay sinir ağlarının performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada orman yangınları üzerinde farklı girdi değişkenlerinin farklı etkilerinin olduğu görülmüştür.

Catry ve ark. (2010), yapmış olduğu çalışmada, 5 yıllık bir süre boyunca Portekiz'de meydana gelen yangınları incelemiştir. Yangınların nedenlerini ve özelliklerini incelemek için logistik regresyon yöntemi kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur. Yangın risk haritası oluşturmak için Nüfus yoğunluğu, yola uzaklık, arazi örtüsü, rakım değişkenleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda yangınların büyük çoğunluğunun tarım ve kırsal alanlarda başladığını, yola yakın yerlerde çıktığını ortaya çıkarmıştır. Tutuşma için en etkili faktörlerin ise nüfus yoğunluğu, yollara mesafe ve yükseklik olarak saptanmıştır.

Braun ve ark. (2010), yapmış olduğu çalışmada Kanada'nın Ontario eyaletinde bulunan Muskoka bölgesindeki yangın çıkma risk değerlendirmesini Genelleştirilmiş Eklemeli Model (GEM) kullanarak yapmışlardır. Prometheus yangın büyüme simülasyon modeli, Burn-P3 simülasyon modeli kullanılarak orman yangını tutuşma ve yanma riskinin analiz edilmesi için genelleştirilmiş eklemeli model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada coğrafi verilere dayalı tutuşma ve yanan alan verilerini kullanmışlardır.

Vadrevu ve ark. (2010), tarafından Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaletinde yapılan çalışmada Hindistanın yaprak döken ormanlarında meydana gelen yangınların riskini belirtmek için CBS ile bulanık analitik hiyerarşi yöntemini entegre eden yaklaşımı incelemiştir. Bu çalışmada uydu uzaktan algılama verileri ile topografya, bitki örtüsü, iklim ve sosyoekonomik faktörler birlikte değerlendirilmiştir. Bu faktörlerden topoğrafya: yükselti, eğim, bakı ve yüzey nemiyle ilgili bileşik topografik indeksi olarak temsil edilmektedir. Bitki örtüsü özellikleri: yaprak döken kuru türler, biyokütle yoğunluğu ve yanma sonucunda açığa çıkan enerji miktarı ile ilgili bir indeks olarak temsil edilmektedir. İklimsel değişkenler: en sıcak mevsimdeki ortalama sıcaklık, yağış miktarı ve

evapotranspirasyon miktarı ile Sosyoekonomik/demografik değişkenler: nüfus yoğunluğu, okuryazarlık oranı, ekonominin birincil sektöründe (özellikle tarım) istihdam edilen personel sayısı ve beslenme yoğunluğu ile temsil edilmiştir.

Guglietta ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmada İtalya'nın Sardinya adasındaki kırsal ve orman arasındaki sınır bölgelerinde yangın riskini değerlendirmek için QuickBird görüntülerini kullanarak arazi örtüsü haritasını oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Kırsal/şehirsel piksellerin yüzde örtüsünün %50 den fazla olduğu alanlarda yangınların sık olarak meydana geldiği Kırsal/Şehirsel piksellerin yüzde örtüsünün %30'un altında olduğu alanlarda beklenenden daha düşük olduğu saptanmıştır. Yangın riskinin arazi örtüsü ve insan etkileşimi ile yakından ilişkili olduğu kırsal ve şehirsel alanların yoğunluğu arttıkça yangınların meydana gelme olasılığında arttığı saptanmıştır.

Gonzalez-Olabarria ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada İspanya'nın Catalonia bölgesinde insan kaynaklı yangın başlangıçlarının yoğunluğunu tahmin edebilmek için karma model geliştirmişlerdir. 1994-2007 yılları arasında meydana gelen insan kaynaklı orman yangın verileri kullanılmış ve üç farklı mekânsal ölçek dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda insan kaynaklı yangın başlangıçlarının farklı mekânsal ölçeklerde belirgin bir yoğunlaşma eğiliminde olduğu görülmüştür. Tek bir mekânsal ölçekte yapılan analizin diğer ölçeklerde etkili olan faktörleri göz ardı etme riski taşıdığı, Bu nedenle mekânsal ölçeklerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Mahdavi ve ark. (2012), Batı İran'ın İlam ilçesi'nde orman ve mera alanlarının yangın riskini belirlemek için CBS, AHP ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur. Çalışmada, orman yangını risk haritasını oluşturmak amacıyla, yangınların çıkışı ve yayılmasında etkili olan faktörler analiz edilmiştir. Bu faktörler arasında topoğrafya (eğim, bakı, yükseklik), iklim (sıcaklık ve yağış), arazi örtüsü (yola ve su kaynaklarına uzaklık) ve insan faktörleri (nüfus) yer almaktadır. Faktörler kendi aralarında ağırlıklandırılarak çalışma sahasının risk haritası oluşturulmuştur. Gelecekteki çalışmalara rüzgar faktörünün dahil edilmesiyle modelin daha da geliştirilebileceği vurgulanmıştır.

Güney ve ark. (2016), tarafından yapılan çalışmada, Antalya-Manavgat'ın CBS ve Analitik yöntem aracılığıyla tutuşma risk modellenmesi yapılmıştır. Çalışmada alanında son 5 yılda orman yangını çıkan ve çıkmayan mevkilere ait koordinatlar, iklim verileri, topoğrafik veriler (yükselti, eğim, bakı arazi formu, topoğrafik pozisyon indeksi), anakaya, meşcere tipleri, yerleşim alanları, yollar ve enerji nakil hatları değişkenleri ile ilgili veriler CBS de hazırlanmıştır. Risk değişkenlerine temel bileşenler analizi, Wilcoxon sıra istatistiği, nitelikler arası ilişki analizi, lojistik regresyon analiz yöntemi uygulanmış, 4 model elde edilmiştir. Bu modellere ROC analizi uygulanarak en anlamlı model 0,852 ROC değeri ile Lojistik Regrasyon modeli bulunmuştur. Antalya-Manavgat yöresi için yangınla mücadele kaynaklarının planlanmasına yardımcı olacak yangın tutuşma riski haritası oluşturulmuştur. Tutuşma riski haritasına göre çalışma sahasında yerleşim alanları, yolların ve enerji nakil hatlarının yoğunlaştığı ve kızılcamin yayılış alanındaki kısımlarda tutuşma riskinin

en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yerleşim yerlerinden uzak ve kızılçam harici diğer türlerin yayıldığı yerlerde tutuşma riskinin düşük olduğu tesbit edilmiştir.

Karabulut ve ark. (2013), yapmış olduğu çalışmada Kahramanmaraş Başkonuş dağında coğrafi bilgi sistemleri kullanarak bitki örtüsü, eğim, bakı, yola olan mesafe ve yerleşime olan mesafe gibi değişkenler kullanarak yangın risk alanları belirlenmiştir. Bu alanlar yangına duyarlılıklarına göre ağırlıklar atanarak belirlenmiştir. Yüksek riskli olanlara “5”, risksiz olanlara “1” değerleri verilmiştir. Çalışma sonucunda Başkonuş ormanlarının %75’inde Karaçam ve Kızılçam gibi türlerin yayılış gösterdiği, Yangın riski en fazla olan güney yamaçların alanın %26’sına dağıldığı görülmüştür. Arazi eğiminin yüksek olduğu, Başkonuş dağı ormanlık alanının %39’un yola bağlı yüksek ve çok yüksek yangın riskinin olduğu alanlar içinde olduğu ve yerleşim alanlarının %80’inde yüksek ve çok yüksek risk oluşturduğu saptanmıştır. Yapılan analiz sonucunda ortaya çıkan Başkonuş dağı yangın risk haritası incelendiğinde özellikle orman formasyonunun yoğunlaştığı 1000-1500 m’ler arasında yüksek risk alanlarının yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma alanının güney ve batı bölümlerinde yerleşimlerin ve yolların birbirine yaklaştığı alanlarda yangın riskinin arttığı belirlenmiştir.

Ager ve ark. (2014), yapmış oldukları çalışmada İtalya’nın Sardinya ve Fransa’nın Korsika adalarında yangınların zamansal ve mekânsal çıkış desenlerini incelenmişlerdir. Yangın riskinin belirlenmesinde yangın hava indeksinin (FWI) önemli rol oynadığı ve FWI’nin yükselmesinin büyük yangın olasılığında belirgin bir artışa neden olduğu, zamansal ve mekâna bağlı olarak yangınların oluşma ve büyüme olasılığını etkileyebileceği belirtilmiştir. Çalışmada hava koşulları, arazi özellikleri ve insan etkisi gibi değişkenler dikkate alınmıştır. Yangınların yol mesafesi ile ilişkilendirildiğinde büyük yangın olasılığının arttığı, tarım bölgelerinde yol mesafesine olan uzaklığın ateşleme olasılığını azalttığı, FWI (Yangın Hava Durumu Endeksi) ’nin yangın tehlikesi belirlemede kullanılabileceği belirtilmiştir.

Duran (2014), bir çalışmada Mersin ilinin orman yangınlarının çıkış noktalarının mekânsal dağılımlarını belirlemiştir. Çalışma ile Mersin Orman Bölge Müdürlüğü 2001-2013 yılları arasında çıkan 1038 adet yangın başlangıç noktaları esas alınarak mekânsal dağılımı belirlemiştir. Çıkan yangınların koordinatları sayısal haritalar üzerine aktarılmıştır. Verilerin analizi için yükseklik, meşcere ve topografik haritalardan faydalanılmıştır. Altı adet mekânsal faktör (meşcere tipleri, tarım ve iskân alanları ile yollara uzaklık, yükseklik, eğim ve bakı) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Mersin ilindeki ormanların yangına karşı mekânsal hassasiyet düzeylerini belirleyen haritalar üretilmiştir. Yangına en hassas alanlar ilin 3 farklı bölümüne dağıtılmıştır. Kızılçam meşcerelerinin hâkim olduğu Anamur – Silifke ilçe yerleşimleri arası, Kızılçam orman kuşağındaki alanlar Erdemli – Gülek yerleşimleri arası, ile maki ve sert yapraklı örtünün hâkim olduğu Limonlu - Kızılkalesi yerleşimleri arası, yangına karşı en hassas alanlar olarak tespit edilmiştir.

Özşahin (2014), yapmış olduğu çalışmada Antakya Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarını içerisinde CBS teknikleri ile Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanarak orman yangını duyarlılık

haritası elde etmişlerdir. Orman yangını duyarlılık analizi gerçekleştirmek için, yangın riskini etkileyen ve yangına müdahaleyi etkileyen faktörler incelenmiştir. Analizde, yangın riskini etkileyen faktörler arasında bitki örtüsü, yükselti, eğim derecesi, bakı, arazi kullanımı, yerleşim yerlerine mesafe ve yol hatlarına mesafe yer almıştır. Yangına müdahaleyi etkileyen faktörler ise su kaynaklarına uzaklık, yangın müdahale ekiplerine uzaklık, yangın gözetleme kulelerine uzaklık ve yangın gözetleme kulelerinden görülebilirlik incelenmiştir. Çalışma sonucunda Antakya Orman işletme Müdürlüğü inceleme alanında, orta duyarlı alanların olduğu ve alanın orta derecede bir orman yangını potansiyeli barındırdığı belirlenmiştir. Orman yangınlarına en duyarlılık en fazla Amanos dağlarının kuzey kesminde, Antakya'nın kuzey batısında, Kuseyr Yaylasında ve Reyhanlı çevresinde görüldüğü saptanmıştır.

Asri ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada Antalya ve yöresi (Antalya Orman Bölge Müdürlüğü)nde CBS kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur. Haritalama sürecinde, topografi (yükseklik, bakı ve eğim), nem oranı ve hava sıcaklığı gibi parametreler değerlendirilmiştir. Araştırmada, ormanların yoğun olduğu güneye bakan dağ yamaçlarında ve denize yakın alçak vadilerde yangın çıkışını etkileyen temel parametrenin düşük nispi nem olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, denize paralel uzanan dağlık bölgelerin kuzey kesimlerinde yüksek yerlerde, yangın çıkışını etkileyen temel parametrelerin rüzgâr ve hava sıcaklığı olduğu belirlenmiştir.

Ateşoğlu ve ark. (2015), yaptığı bir çalışmada Bartın Orman İşletme Müdürlüğü için orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında, 2002-2011 yılları arasında toplam 97 orman yangını kaydı incelenmiştir. Çalışma alanında, arazi örtüsü tipi/vejetasyon durumu, eğim, bakı, yükseklik, ulaşım, ve yerleşim gibi yangını etkileyen faktörler araştırılmıştır. Analizlerde AHP yöntemi kullanılarak, CBS ortamında orman yangını tehlike haritası oluşturulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre, çalışma alanının %15'inin yüksek, %34'ünün kısmen orta derecede yangın hassas alanlardan oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma alanı içerisinde, yangın emniyet yol ve şeritleri dahil olmak üzere tüm yolların ve arazözlerin yangınlara müdahale durumu incelenmiştir. Sonuç olarak, Bartın Orman İşletme Müdürlüğü için yangın risk haritasına ek olarak, yangın risk bölgeleri için arazözle müdahale alanları haritası da oluşturulmuştur. Yangın riski orta ve yüksek alanların %67.3'ünün mevcut yol ağlarıyla müdahale edilebildiği belirlenmiştir.

Güney ve ark. (2016), yangına hassas olan Manavgat yöresi ormanlarının tutuşma risk haritası oluşturmuşlardır. Çalışma alanının son 5 yıllık orman yangını çıkan ve çıkmayan mevkilerinin koordinatları iklim, topografik, anakaya, meşcere tipleri yerleşim alanları yol ve enerji nakil hatları değişkenleri ile ilgili veriler CBS ortamında hazırlanmıştır. Bu değişkenlere temel bileşenler, Wilcoxon sıra istatistiği, nitelikler arası ilişki analizi ve lojistik regresyon analizi uygulanmış ve modeller elde edilmiştir. Bu çalışmada kızılçam yayılış alanında yerleşim ve yol ve enerji nakil hatlarının olduğu alanlarda tutuşma riskinin yüksek olduğu saptanmıştır.

Bingöl (2017), yapmış olduğu çalışmada CBS kullanılarak Burdur ilinin yangın risk haritasını oluşturmuştur. Yangın risk alanlarının haritalanmasında, öncelikle insan faktörüne

odaklanılarak yola ve yerleşime olan mesafe, bakı, eğim ve vejetasyon türü gibi parametreler değerlendirilmiştir. Orman yangını üzerinde etkili olan bu parametrelere sübjektif ağırlıklar atanarak analizler yapılmıştır. Sonuç olarak Burdur il topraklarının %12,3'ü çok riskli, %20,2'si riskli, %20'si orta riskli, %31,5'i düşük riskli, %16'sı ise risksiz olduğu saptanmıştır.

Akbulak (2018), yapmış olduğu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (RS) ve Analitik Hiyerarşi Sürecini (AHP) kullanarak Çanakkale ili'nin Orman yangın risk modelini geliştirmiş ve orman yangın risk haritasını oluşturmuştur. Model Çevresel faktörlerin yanı sıra insan faktörlerini de içermektedir. Bu bağlamda, eğim, yükselti, bakı, bitki örtüsü türü, taç kapanması, Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), yola uzaklık, yerleşim ve tarım alanları, nüfus, yoğunluk, önceki yangınlar gibi 12 farklı değişken değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda bölgenin “aşırı” %3,87, “çok yüksek”, %63,46, “yüksek” %32,13 ve “orta” %0,53 riskli alanlardan oluştuğu saptanmıştır.

Gigovic vd. (2018), Bosna Hersek'in Nevesinje bölgesinde yapmış oldukları araştırmada, orman yangını risk bölgelerini belirlemek için CBS, AHP MCDA yöntemlerini kullanmışlardır. Orman yangınına sebep olan 8 kriter üzerinden (Bitki örtüsü, bakı, eğim, yükseklik, ortalama yıllık hava sıcaklığı, yıllık ortalama yağış, yollara olan uzaklık, yerleşim yerlerine olan uzaklık) değerlendirme yapılmış ağırlıklar AHP ile belirlenmiştir. Belirlenen ağırlıklar kullanılarak yangına sebep olan faktörler, CBS ortamında ilişkilendirilmiş ve bölgenin orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Bölge ormanlarının yangın risk açısından % 13,2'si çok yüksek, % 29,3'ü yüksek, % 31,1'i orta, % 21,3'ü düşük ve % 5,1'i çok düşük olduğu saptanmıştır. Oluşturulan risk haritası ile bölgede daha önceki orman yangınları arasında mekânsal ilişki incelenmiştir. Yangınların % 82'sinin çok yüksek uygunlukla ilişkili olduğu görülmüştür.

Hacısalıhoğlu (2018), yapmış olduğu çalışmada kapsamında 2012-2016 yılları arasında meydana gelen 123 orman yangınının başlangıç noktalarını kullanarak envanter haritası oluşturmuş ve AHP kullanarak orman yangını duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yer alan faktörlerin (yükseklik eğim, bakı yol hatlarına uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, yer yüzey sıcaklığı, meşcere tipi) her birinin ağırlıkları belirlenerek orman yangını duyarlılık haritası oluşturmuştur.

Esen ve Avcı (2018), yapmış oldukları çalışmada, Kahramanmaraş ilindeki 2012-2017 yıllarına ait 376 adet orman yangınının dağılımını analiz etmişlerdir. Çalışma, orman yangınına etkileyen parametreler (bitki örtüsü, yükselti, eğim, bakı, sıcaklık, yağış, yerleşime uzaklık, yollara uzaklık) göz önünde bulundurularak yapılmıştır. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) teknikleri ile AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanarak Kahramanmaraş İl'inin orman yangınlarına duyarlılığını, haritalandırılmıştır. Çalışmada Kahramanmaraş ilinin orman yangını için yüksek duyarlılık gösterdiği, İl topraklarının %46,2'si yüksek derecede, %47,6'sı çok yüksek derecede ve %4,1'i de ekstrem derecede duyarlı %2,1'ini orta derecede duyarlı olan alanlardan oluştuğu belirtilmiştir.

Akyüz (2019), yapmış olduğu çalışmada Bursa Orman Bölge Müdürlüğünde 2013-2017 yılları arasında meydana gelen orman yangınları verilerini kullanarak Maxent programında yangın tehlikesinin modellemesini ve haritalamasını yapmıştır. Çalışmada, yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için farklı değişkenler (yanıcı madde verileri topoğrafik veriler ve meteorolojik veriler) kullanmış ve bu değişkenlerin etkisini değerlendirmiştir. Jackknife testi, modeldeki değişkenlerin etkisini değerlendirmek için kullanılmış ve bu test sonucuna göre; belirli iklim parametreleri içerisinde sıcaklık, yağış ve nisbi nem parametreleri yangın çıkma olasılığını etkilemektedir. Yangın çıkma olasılığını tahmin etmek için geliştirilen uygunluk modelinin ROC değeri=0,629 olarak belirlenmiştir Çalışmada MaxEnt'in, orman yangını hassasiyetini modelleme konusunda yüksek doğrulukta performans sergilediği belirtilmiştir.

Boyatan (2019), yapmış olduğu çalışmada orman yangınları risk ve tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılabilecek bir Karar Destek Sisteminin geliştirilmesini sağlamıştır. Kavramsal tasarım, sistem tasarımı, sistem yazılımı, test aşamasından oluşan bir model yazılım geliştirilmiştir Geliştirilen karar destek sistemi ile meşcere, eşyükselti, yol, dere ve yerleşim alanı gibi haritalar değerlendirilerek işletme müdürlüğü veya bölge müdürlüğü bazında yangın risk ve tehlike haritalarının oluşturulması sağlanmıştır. CBS ortamında (ArcGIS) dinamik bir modül (Add-in) oluşturulmuştur. Sistemin örnek uygulaması, Dört Yol Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) alanlarında yapılmıştır. Dört Yol OİM toplam ormanlık alanının %5,1'i (1.098,6 ha) çok düşük, %10,1'i (2.117,5 ha) düşük, %22,5'i (4.735,7 ha) orta, %12,5'i (2.648,6 ha) yüksek ve %49,8'i (10.539,9 ha) ise çok yüksek riskli olduğu belirlenmiştir. Yangın tehlikesi açısından ise toplam ormanlık alanın %74,8'i (15.007,1 ha) çok düşük, %5,3'ü (1.070,9 ha) düşük, %10,4'ü (2.087,8 ha) orta, %8,5'i (1.720,9 ha) olduğu saptanmıştır.

Dilekçi (2019), çalışmada Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri (OİM) tarafından orman yangını risk haritası oluşturmuştur. Bu harita için arazi örtü tipi/kullanımı, eğim, bakı, yükseklik, yerleşim yerlerine uzaklık ve yol hatlarına mesafe faktörleri belirlenmiştir. Faktörlerin Orman yangınlarına etki derecelerini belirlemek için ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanının %39'u yüksek risk sınıfında, %43'ü orta risk sınıfında ve %18'i düşük risk sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

Sabuncu ve Özener (2019), çalışmalarında, 09 Ağustos 2009'da İzmir'in Seferihisar ilçesinde meydana gelen orman yangınının etkilerini belirlemek için uzaktan algılama tekniklerini kullanmıştır. Çalışmada, Landsat 5 uydu görüntüleri üzerinden farklı analiz yöntemleri uygulanmıştır. Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR), Normalize Edilmiş Vegetasyon İndeksi (NDVI) ve Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, yangın sonrası tahrip edilen alanların doğru bir şekilde tespit edildiği ve Orman Genel Müdürlüğü'nün hasar tespit çalışmalarıyla uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma, uzaktan algılama teknolojisinin yangın yönetimi ve doğal afetlerle mücadelede önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır.

Şahin (2019), tarafından yapılan araştırmada Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Bodrum Orman İşletme Şefliği'nde bulunan birinci derece yangına hassas orman alanları için orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Çalışmada yangın riskini etkileyen meşcere yapısı (ağaç türü, kapalılık, çağ), topografik özellikler (eğim, bakı) ile bazı noktalara yakınlık (yollar, yerleşim yerleri, su kaynakları), gibi parametreler kullanılmıştır. CBS teknikleri ve AHP yöntemi kullanarak Orman alanlarının %11,83 çok yüksek %21,98 yüksek %22,28 orta %25,93 düşük yangın riskini altında olduğu saptanmıştır. Çalışma sahasında önceki yangınlardan zarar gören alanların %66.75 nin geliştirilen risk haritasında orta, yüksek, çok yüksek yangın riski taşıyan bölgeler içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Orman yangınlarında en etkili risk faktörünün ağaç türleri olduğu, bunu meşcere çağları ve su kaynaklarına yakınlığın takip ettiği saptanmıştır.

Janiec ve Gadai (2020), Kuzey-Doğu Sibirya (Yakutia) 'daki yangın riskini belirlemek amacıyla iki makine öğrenimi sınıflandırma yöntemini (MaxENT ve random forest) uyguladılar. Bu çalışmada, uydu görüntüleri, vektör verileri ve biyoklimatik değişkenler gibi çeşitli veri kaynakları kullanmışlardır. Araştırmanın ana bulguları, çalışma alanında insan etkisinin yangın riskini belirlemede önemli olduğunu ve rastgele orman yönteminin makro ölçekte daha etkili olduğunu göstermektedir.

Karadeniz (2020), yapmış olduğu çalışma İzmir Urla bölgesinde 2019 yılında meydana gelen Tınazlı orman yangınına, araziden elde edilen bitki yakıt özellikleri, topografik özellikler, peyzaj özellikleri, meteorolojik özellikler çerçevesinde değerlendirerek, Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı yangın risk modelleri oluşturmuş ve yangın simülasyonu (FlamMap, Orman Yangını Simülatör Modeli) yapmıştır. 2019 yılında meydana gelen yangının modelde tekrar simüle edilmesiyle, yangında hasar gören arazi verileri ile model verileri arasında %90 uyumluluk sağlandığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan yangın risk haritasında en riskli alanların %70'lik bir bölgeyi, Orta derece risk değerine sahip alanların sahanın %28'ini kapsadığı gözlemlenmiştir. Riskin düşük olduğu alanların ise sahanın %2'lik bir kesimini kapsadığı tespit edilmiştir.

Kavlak (2020), yapmış olduğu çalışmada, Kütahya - Ören Orman İşletme Şefliğinin CBS destekli orman yangını yangın risk haritası oluşturmuştur. . Çalışmada analiz kapsamında kullanılan veriler ağaç türleri risk sınıfları (Meşcere), topografik özellikler (eğim, bakı) ile bazı noktalara yakınlık (yollar, yerleşim yerleri, su kaynakları, yangın kuleleri), 1997-2018 yılları arasında bölgede gerçekleşen 27 adet yangın bilgisi gibi parametreler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda alanın yangın potansiyeli yönünden %36,86'sının çok riskli, %60,39'u orta riskli, %2,76'sı az riskli alanlar olduğu saptanmıştır. Bölgede bulunan yangın kulelerinin, çalışma alanının ne kadarına hakim olduğu da görülebilirlik analizi ile belirlenmiştir. Bulunan %82,8 görülebilirlik oranının oldukça yeterli olduğu değerlendirilmiştir.

Sevinç ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada Muğla Orman Bölge Müdürlüğü bölgesindeki orman yangınlarının olası nedenlerini tahmin etmek ve aralarındaki ilişkileri analiz

etmek için Bayes Ağı (BN) modeli geliştirilmiştir. Orman yangını sırasında ölçülen veya gözlemlenen verilere dayanarak olası orman yangını nedenlerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır.

Baltacı ve Yıldırım (2021), yapmış oldukları çalışmada, Muğla Orman Bölge Müdürlüğünde (2010-2019) yıllarında meydana gelen orman yangınlarını inceleyerek CBS temelli ve çok kriterli bir yaklaşım kullanmışlardır. Alanda orman yangın riski değerlendirilmiş ve yangın risk haritası oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan parametreler topoğrafya (eğim, bakı ve rakım), bitki örtüsü (ağaç türü, kapalılık, çağ sınıfları) ve insan faaliyetlerine mesafe (Tarım alanlarına, yerleşim yerlerine, yollara, enerji nakil hatlarına) parametrelerdir. Bu parametrelerin bir araya getirilmesi ve analiz edilmesi sonucunda, orman yangın riski değerlendirilmiş ve bir risk haritası oluşturulmuştur.

Lamat ve ark. (2021), yapmış oldukları araştırmada Hindistan'ın Meghalaya eyaletindeki Ri-Bhoi bölgesindeki orman yangını risk bölgelerinin haritalanmasını gerçekleştirmişlerdir. Söz konusu araştırmada CBS ve MCDA kullanılmıştır. Orman yangını üzerine etkili olan faktörler belirlenmiş (nüfus, Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı, eğim, yön, yükseklik, sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı) AHP ile ağırlıklandırma yapılmıştır. Çalışma alanının yangına duyarlılığı %32,86 çok yüksek, %23,82 yüksek, %27,39 orta ve %15,93 düşük olarak saptanmıştır.

Sarı (2021), yapmış olduğu çalışmada Muğla ili'nin orman yangınlarına karşı duyarlılık haritasını oluşturmuştur. Çalışmada harita, AHP, TOPSIS ve VIKOR çok kriterli karar analizi (MCDA) teknikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada Topoğrafik Parametreler (Yükseklik, Eğim, Bakı, Sululuk Olasılığı, Topoğrafik İndeks), İklim Parametreleri (Nem, Yağış, Sıcaklık, Rüzgâr) Orman Yapısı (Orman Tipi, Ağaç Yoğunluğu), Çevre Kriterleri (Yollardan uzaklık, Yerleşimden uzaklık, Suyu uzaklık, Arazi Kullanımı, Elektrik hatlarından uzaklık, Binalara uzaklık) parametreler kullanılmıştır.

Yang ve ark. (2021), tarafından yapılan çalışmada, Çin'in Hunan Eyaletinin yangın riskini değerlendirmek için Maxent modeli kullanarak farklı çevresel faktörlerin etkisini analiz etmiştir. Analizde orman yangınlarını etkileyen çeşitli değişkenler Topografya, iklim koşulları, bitki örtüsü özellikleri ve insan faaliyetleri (rakım, eğim, yağış, rüzgâr hızı, bitki örtüsü, sıcaklık, kuruluk, arazi kullanım türü Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), yoldan uzaklık ve nüfus yoğunluğu) gibi kullanılmıştır. Değişkenlerin orman yangınına katkısını, önemini ve tepkisini analiz eden CBS ile bir Maxent orman yangını risk değerlendirme modeli oluşturulmuştur., yapılan analizler sonucunda Maxent modelinin, orman yangını örnek alanlarının testinden sonra orman yangını risk değerlendirmesine uygulandığında yüksek uygulanabilirliğe ve fizibiliteye sahip olduğu bulunmuştur. Modelde Orman yangını için meteorolojik koşullar ve bitki örtüsü durumu değişkenlerinin önemi sırasıyla %54,64 ve %25,40'tır ve orman yangınına katkısı sırasıyla %43,03 ve %34,69'dur.

Yılmaz ve ark. (2021), tarafından Hatay ili Belen ilçesinde yapılan çalışmada 09.10.2020 tarihinde ilçede çıkan orman yangını UA yöntemi kullanılarak GEE yangın şiddet haritaları üretilmiştir. Bunun için yangın öncesi ve sonrası uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yanma şiddeti

derecelendirilmesi, Normalize Edilmiş Vejetasyon İndeksi (NDVI), Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) ve NBR farklarından Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (dNBR) kullanılarak yapılmıştır. CBS ile yükselti, eğim ve bakı haritaları oluşturulmuş yangınlar topografik faktörler yönünden analiz edilmiştir. 200 – 300 m yükseklik aralığında 50 ha alanda, %30'dan yüksek eğimin olduğu alanda 36 ha ve doğu bakıda 35 ha alanda yüksek yanma şiddeti görülmüştür. İlçenin 90.94 hektarının yüksek yanma şiddeti taşıdığı saptanmıştır.

Alkayış ve ark. (2022), yapmış oldukları çalışmada Muğla ilinin Menteşe yöresinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yangın risk haritasının oluşturmuşlardır. Çalışma için yola mesafe ve yerleşime mesafe, bakı, eğim ve vejetasyon temel parametreler olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk haritası hazırlanmıştır. Yangın risk haritasına göre; alanın %11,86'sının yüksek riskli, %18,32'sinin riskli, %25,23'ünün orta riskli, %20,40'mın düşük riskli, %24,19'unun ise risksiz olduğu saptanmıştır.

Özdemir ve Demir (2022), yapmış oldukları çalışmada İzmir Karabağlar ilçesinde 18 Ağustos 2019 tarihinde meydana gelen orman yangınını incelemişlerdir. UA kullanılarak uydu verileri analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında yangın öncesi ve sonrası görüntüler ile dNBR (Fark Normalize Yanma) ve dNDVI (Fark Normalize Bitki İndeksi) gibi indeksler kullanılarak yangından etkilenen alanlar tespit edilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırma yöntemi kullanılmış ve elde edilen verilerin doğruluğu Ekoloji Birliği verileri ile karşılaştırılmıştır. dNBR (Fark Normalize Yanma İndeksi) doğruluğu %99,96 ve dNDVI (Fark Normalize Bitki İndeksi) doğruluğu %99,95 olarak görülmüştür.

Göлтаş (2022), çalışmasında, Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nün Yangın Risk Potansiyeli Maksimum Entropi (MaxEnt) yaklaşımı ile modellenmiş ve haritalandırılmıştır. Modellemede 2008-2018 yıllarında ilde çıkan yangın kayıtlarını bağımlı değişken, yanıcı madde özellikleri, topoğrafya, meteorolojik parametreler, insan aktivitesi gibi sabit ve değişken çevre faktörleri bağımsız değişken alınmıştır. Yangın Tehlike Potansiyeli modelleme ve haritalaması, (AHP) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alanın potansiyel yangın tehlike sınıfının Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Çok Yüksek, Mayıs ve Eylül aylarında Yüksek, Ekim ayında ise Orta tehlike sınıfına ait alanlar olduğu görülmüştür.

Sivrikaya ve Küçük (2022), tarafından Mersin OBM'nde yapılan çalışmada orman yangını risk haritası oluşturmaya yönelik entegre bir yaklaşım önerilmiştir. Söz konusu bu çalışmada AHP ve bir istatistiksel indeks (SI) ile coğrafi bilgi sistemi tabanlı çok kriterli karar analizini (CBS-MCDA) kullanılmıştır. Yangın risk haritası, orman meşçere yapısı, topoğrafya, çevre ve iklim olmak üzere 4 ana kriter ve 16 alt kriter kullanılarak yapılmıştır. Araştırmacılar, her bir kriterin ağırlığını AHP tekniğini kullanarak belirlemiştir. ROC Eğrisi %77 olarak bulunmuştur. Çalışma alanının oldukça orman yangınına yatkın olduğu saptanmıştır.

Coşkun ve Toprak (2023), yapmış oldukları çalışmada Bartın ilinin orman yangın risk haritası oluşturmuşlardır. Söz konusu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS)

yararlanılmıştır. Araştırmada, yangın riskini belirlemek için Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan yangın risk haritası sonuçlarına göre Bartın ilinin %18'i çok yüksek riskli alan çıkmıştır. Bu alanlarda sıcaklığın fazla, yükseltinin az, iğne yapraklıların bulunduğu belirtilmiştir.

Çetin ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada, CBS ve UA kullanılarak Mugla ili Milas İlçesi'nin orman yangını risk haritası oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, meşcere tipi (ağaç türü, ağaç yaşı, ağaç kapalılığı), topoğrafik özellikler (eğim, bakı, yükseklik) ve kültürel özellikler (yola uzaklık, kuru derelere uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık) gibi faktörler analiz edilmiş ve AHP kullanılmıştır. Milas İlçesi'nin ormanlık alanlarının farklı risk seviyelerinde dağılımı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Milas İlçesi'nin ormanlık alanlarının %65'inin orta, %30'unun yüksek risk sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada 2007 yılında meydana gelen büyük orman yangınının etkileri de incelenmiştir. Bu yangında yanan alanlar, normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi, normalleştirilmiş yanma oranı ve yanık alanı indeksi gibi yöntemlerle belirlenmiş ve oluşturulan orman yangını risk haritasıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre, 2007 yılındaki büyük orman yangınında yanan alanların %45'inin yüksek risk, %51'inin ise aşırı yüksek riskli bölgelerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca 2013-2019 yılları arasında meydana gelen 11 orman yangını da orman yangın risk haritasıyla karşılaştırılmış ve bu yangınların sekizinin yüksek riskli bölgelerde meydana geldiği görülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, orman yangınlarının sıklıkla yüksek riskli bölgelerde gerçekleştiği ve risk haritalarının yangın yönetimi ve önlemlerinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Demir (2023), çalışmasında CBS tabanlı AHP yöntemini kullanarak Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nün yangın risk haritasının oluşturmuştur. Yangın risk değişkeni parametreleri olarak Ağaç türü, Kapalılık, Meşcere çağları, Eğim, Bakı, Yollara yakınlık, Yerleşim yerlerine yakınlık, Tarım arazilerine yakınlık, su kaynağına yakınlık, sıcaklık, yağış, nem, rüzgar etkisi, değerlendirilmiştir. Bölgede çıkan yangınlar dikkate alınarak yangın risk haritasının doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışma alanı, %13,87'si çok yüksek, %25,87'si yüksek, %24,68'i orta, %22,44'ü düşük ve %13,14'ü çok düşük riskli alanlar olarak saptanmıştır. Çalışmada orman yangınlarında en etkili risk faktörünün ağaç türlerinin olduğu, meşcere çağlarının da onu takip ettiği anlaşılmıştır. Yangın risk haritasının doğruluğunun belirlenmesi için ArcGIS ortamında ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi yöntemi kullanılmıştır. %74 olarak bulunan AUC (Area Under Curve) değeri Mersin Orman Bölge Müdürlüğü için geliştirilen yangın risk haritasının orta düzeyde güvenilir olduğunu göstermiştir.

Kara (2023), CBS tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri kullanarak Hatay Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yangın risk haritasını oluşturmuştur. Oluşturulan haritalarda AHP, FRM ve SI yöntemleri kullanılmıştır. Yangın risk parametreleri olarak meşcere yapısı (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topografya (eğim, bakı, yükselti, toprak ıslaklık indeksi), çevre faktörleri (yola, nehire, tarım alanlarına, yerleşim yerlerine olan uzaklık ve nüfus yoğunluğu) ve iklim

faktörleri (sıcaklık, yağış, rüzgar hızı ve solar radyasyon) dikkate alınmıştır. Yangınların %61'inin kıvılcam meşcereleri ve makilik alanda meydana geldiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda AHP'ye göre oluşturulan risk haritasında alanının %27,3'ünün düşük, %37,8'inin orta, %21,8'inin yüksek ve %13,1'inin ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer aldığı, FRM'ye göre oluşturulan yangın risk haritasında ise alanının %33,3'ünün düşük, %34,8'inin orta, %19,5'inin yüksek ve %12,4'ünün ise çok yüksek yangın risk kategorisinde yer aldığı saptanmıştır.

Bıçakçı ve Yıldız (2024), yapmış oldukları çalışmada Hatay ili Belen ilçesinde 16.07.2023 tarihinde çıkan orman yangını Google Eart Engine platformunda sentinel-2 uydu görüntüleri ve CBS kullanılarak yangın şiddeti haritaları üretmişlerdir Yanma şiddetine göre yanan alanlar hesaplanmıştır. Toplam yanan alan miktarları dNDVI ve dNBR ile sırasıyla 811,04 ha ve 826,02 ha olarak tespit edilmiştir. Yangın şiddeti sınıflandırılmış ve yangın sonucu orta-düşük şiddetli ve orta-yüksek şiddetli yanma alanlarının ağırlıklı olduğu belirlenmiştir. Yanma şiddeti dağılımı dNDVI ve dNBR sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Makumbura ve ark. (2024), yapmış oldukları çalışmada Sri Lanka'da CBS tabanlı bir orman yangını indeksi (FFI) modeli kullanarak ülkenin tamamını kapsayan orman yangını risk haritası oluşturmuşlardır. Yangın risk değişkenleri olarak arazi kullanımı, sıcaklık, eğim, yollara ve yerleşim yerlerine yakınlık, yükseklik ve bakı kullanılmıştır. Çalışmada, ülkenin "orta düzeyde (%49,49) orman yangını riskine sahip olduğu önemli bir orman yangını tehdidiyle karşı karşıya olmadığı belirtilmiştir.

Orman yangınlarına yönelik risk analizleri, yangın önleme ve yönetimi açısından büyük önem taşıyan çalışmalardır. Bu analizler, orman yangınlarının çıkış ve yayılma nedenlerini belirleyerek yangına hassas alanlarda risk faktörlerinin değerlendirilmesine olanak sağlar. Çizelge 2.1., bu kapsamda yürütülen önceki çalışmaların özetini sunmaktadır.

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar

Yazar Adı	Kapsam	Yöntem	Sonuç
Chuvieco ve Congalton (1989)	İspanya'nın Akdeniz kıyısında, Castellón şehri civarında yangın riski analizi yapılmıştır.	Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yangın riski oluşturan katmanlar analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır.	Yangın tehlike haritası üretilmiş, yüksek tehlike arz eden alanlar belirlenmiş ve yangının etkilediği gerçek alanlarla karşılaştırılmıştır.
Darmawan ve ark. (2001)	Endonezya'nın Doğu Kalimantan'daki orman yangını ve toprak erozyonu tehlikesi incelenmiştir.	Uzaktan algılama ve CBS kullanılarak arazi kullanımı, eğim, yön gibi faktörler analiz edilmiştir.	Orman yangını ve toprak erozyonu tehlikesi indeksi oluşturulmuş, arazi ve orman bozulma haritası sunulmuş ve risk altındaki bölgeler belirlenmiştir.
De Vasconcelos ve ark. (2001)	Portekiz'in Tabua, Oliveira, Arganil, Gbis ve Pampilhosa bölgelerinde tutuşma riski analizi yapılmıştır.	Logistik regresyon ve genetik algoritmalar kullanılarak tutuşma risk modeli geliştirilmiştir.	Sinir ağları lojistik regresyondan daha başarılı bulunmuş, tutuşma risk haritalandırmasının yangın önleme ve planlama açısından faydalı olduğu belirlenmiştir.
Bilgili ve ark. (2002)	Türkiye'de orman yangınlarının doğru tahminlere dayalı yönetimi incelenmiştir.	Geçmiş yangın olayları ve olası yangın senaryoları analiz edilmiştir.	Doğru tahminler ve stratejiler yangınların etkili yönetimi için kritik olarak vurgulanmıştır.

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar (Devamı).

Jaiswal ve ark. (2002)	Hindistan'ın Gorna bölgesinde yangın riski analizi yapılmıştır.	Yollar, yerleşim yerleri, eğim, bakı ve topoğrafik indeks gibi değişkenler kullanılarak risk haritası oluşturulmuştur.	Çalışma alanının %20'si çok yüksek, %10'u yüksek, %15'i orta ve %55'i düşük yangın riski taşımaktadır.
Erten ve ark. (2005)	Türkiye'nin Gelibolu Yarımadası'nda yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Uydu görüntüleri ve CBS kullanılarak orman türleri, eğim, bakı, yola ve yerleşime olan uzaklık gibi parametreler analiz edilmiştir.	Güneye bakan yamaçlarda yangının daha hızlı yayıldığı ve tutuşma hızının yüksek olduğu tespit edilmiştir.
Badia-Perpinya ve ark. (2006)	İspanya'nın Catalonia bölgesindeki yangınların mekânsal dağılımı incelenmiştir.	Yola ve kentsel alanlara mesafe, topografya, güneş ışığı ve arazi kullanımı gibi değişkenler ile tutuşma riski analiz edilmiştir.	Kentsel alanlarda yangın dağılımı daha yoğun, kırsal alanlarda yangınlar dağınık olup tespiti zor olmuştur.
Dong ve ark. (2006)	Çin'in Jilin Eyaleti'nde Baihede orman yangın riski zonlaması yapılmıştır.	Orman envanter verileri ve uzaktan algılama kullanılarak yakıt tabanlı, topoğrafik ve antropojenik faktörler analiz edilmiştir.	Topoğrafya yangın riskinde en önemli faktör olarak belirlenmiş, antropojenik faktörler ise ikinci sırada gelmiştir.
Başaran ve ark. (2007)	Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanında yangın risk ve tehlike sınıflandırması yapılmıştır.	Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları kullanılarak yangın ve meteorolojik veriler birleştirilmiştir.	Antalya sahil şeridinde yüksek yangın riski saptanmış, Serik bölgesi en yüksek riskli alan olarak tespit edilmiştir.
Kalabokidis ve ark. (2007)	Yunanistan'ın Haldiki bölgesinde yangın desenlerinin doğal ve insan etkileri ile olan ilişkisi analiz edilmiştir.	CBS içinde geliştirilen mekânsal veri tabanında lojistik regresyon ve uyum analizi kullanılmıştır.	Yangın dinamiklerinin en etkili parametreleri insan etkisi, doğal bitki örtüsü ve jeomorfolojik faktörler olarak tespit edilmiştir.
Gai ve ark. (2008)	Çin'in Kunshan kentinde Yushan kasabasında kentsel yangın risk analizi yapılmıştır.	CBS ve çok kriterli karar analiz yöntemleri kullanılarak yangın riski sınıflandırılmış ve mekânsal indeks modeli oluşturulmuştur.	Yangın risk haritası oluşturulmuş, kentsel yangın tehlikesini en aza indirmek için yangın risk haritalamasının faydalı olduğu belirtilmiştir.
Özelkan (2008)	Antalya'nın Kaş ilçesindeki Kıbrıs Çayı Kanyonunda yanan alanlar analiz edilmiştir.	CBS kullanılarak 3D analiz yöntemi ile sayısal arazi modeli oluşturulmuş, UA yöntemi ile arazi sınıflandırması yapılmıştır.	Kıbrıs Çayı Kanyonunun orta ve yüksek riskli alanlardan oluştuğu tespit edilmiştir.
Vasilakos ve ark. (2008)	Yunanistan'da Lesvos adasında orman yangınları tehditleri değerlendirilmiştir.	Yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır.	Farklı girdi değişkenlerinin orman yangınları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir; FWI, FHI ve FRI değişkenlerinin etkileri incelenmiştir.
Catry ve ark. (2010)	Portekiz'de meydana gelen yangınlar analiz edilmiştir.	Logistik regresyon yöntemi kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Yangınların çoğunluğunun tarım ve kırsal alanlarda başladığı ve tutuşma için en etkili faktörlerin nüfus yoğunluğu, yollara mesafe ve yükseklik olduğu saptanmıştır.
Braun ve ark. (2010)	Kanada'nın Ontario eyaletindeki Muskoka bölgesinde yangın riski değerlendirilmiştir.	GEM, Prometheus ve Burn-P3 simülasyon modelleri kullanılarak yangın riski analiz edilmiştir.	Coğrafi verilere dayalı tutuşma ve yanma risk analizi yapılmış, yangın tehlikesi tespit edilmiştir.
Vadrevu ve ark. (2010)	Hindistan'ın Andhra Pradesh eyaletinde yaprak döken ormanlarda yangın riski belirlenmiştir.	CBS ve uzaktan algılama verileri kullanılarak bulanık analitik hiyerarşi yöntemi entegre edilmiştir.	Bitki örtüsü, topoğrafya, iklim ve sosyoekonomik faktörler analiz edilmiştir.

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar (Devamı).

Guglietta ve ark. (2011)	İtalya'nın Sardinya adasında kırsal ve orman alanları arasındaki sınır bölgelerinde yangın riski değerlendirilmiştir.	QuickBird uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur.	Yangın riskinin arazi örtüsü ve insan etkileşimi ile ilişkili olduğu saptanmıştır.
Gonzalez-Olabarria ve ark. (2011)	İspanya'nın Catalonia bölgesinde insan kaynaklı yangın yoğunluğu tahmin edilmiştir.	Karma model geliştirilmiş, farklı mekânsal ölçekler kullanılmıştır.	İnsan kaynaklı yangınların mekânsal ölçeklere göre yoğunlaşma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.
Mahdavi ve ark. (2012)	Batı İran'ın İlam ilçesinde orman ve mera alanlarında yangın riski belirlenmiştir.	CBS, AHP ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Topoğrafya, iklim, arazi örtüsü ve insan faktörleri değerlendirilmiş, yangın risk haritası oluşturulmuştur.
Güney ve ark. (2016)	Antalya, Manavgat'ta yangın riski modellenmiştir.	CBS ve analitik yöntemler, lojistik regresyon ve Wilcoxon sıra testi kullanılmıştır.	Yerleşim alanları ve yolların yoğun olduğu bölgelerde yangın riski en yüksek bulunmuştur.
Karabulut ve ark. (2013)	Kahramanmaraş'ın Başkonuş Dağı'ndaki orman yangın riski incelenmiştir.	CBS ve ağırlıklı risk analizi yapılmıştır.	Güney yamaçlarda yüksek risk tespit edilmiş ve 1000-1500 m yükseklik aralığında yangın yoğunluğu gözlemlenmiştir.
Ager ve ark. (2014)	İtalya'nın Sardinya ve Fransa'nın Korsika adalarında yangın çıkış desenleri analiz edilmiştir.	Yangın hava indeksi (FWI) ve mekânsal veriler kullanılmıştır.	Yangın riskinin FWI ile ilişkili olduğu ve yolların yangın çıkma olasılığını artırdığı tespit edilmiştir.
Duran (2014)	Mersin ilindeki orman yangınlarının mekânsal dağılımları analiz edilmiştir.	CBS ve mekânsal analiz yöntemleri kullanılmıştır.	Kızılçam ormanlarının yangına karşı en hassas alanlar olduğu tespit edilmiştir.
Özşahin (2014)	Antakya Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içinde orman yangını duyarlılık haritası oluşturulmuştur.	CBS ve AHP yöntemleri kullanılarak yangın risk faktörleri analiz edilmiştir.	Amanos Dağları'nın yangına en hassas bölge olduğu tespit edilmiştir.
Asri ve ark. (2015)	Antalya ve çevresinde yangın risk haritası oluşturulmuştur.	CBS, topografik analiz, nem oranı ve hava sıcaklığı değerlendirmesi yapılmıştır.	Güneye bakan dağ yamaçlarında ve alçak vadilerde düşük nemin yangın riskini artırdığı, yüksek yerlerde rüzgar ve hava sıcaklığının etkili olduğu tespit edilmiştir.
Ateşoğlu ve ark. (2015)	Bartın Orman İşletme Müdürlüğü'nde yangın riski analiz edilmiştir.	CBS ve AHP yöntemi kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Alanın %15'i yüksek riskli, %34'ü orta riskli olarak belirlenmiştir.
Bingöl (2017)	Burdur ilinin yangın risk haritası oluşturulmuştur.	CBS ve insan faktörüne odaklanarak sübjektif ağırlıklar ile değerlendirme yapılmıştır.	Burdur'un %12,3'ü çok riskli, %20,2'si riskli olarak sınıflandırılmıştır.
Akbulak (2018)	Çanakkale ili için orman yangın risk modeli geliştirilmiştir.	CBS, uzaktan algılama (RS) ve AHP yöntemi kullanılmıştır.	Bölgenin %63,46'sının "çok yüksek" riskli alanlardan oluştuğu tespit edilmiştir.
Gigovic ve ark. (2018)	Bosna Hersek'in Nevesinje bölgesinde orman yangını risk analizi yapılmıştır.	CBS ve AHP yöntemleriyle çok kriterli karar analizi (MCDA) yapılmıştır.	Bölgenin %13,2'si çok yüksek, %29,3'ü yüksek riskli olarak belirlenmiştir.
Hacısalıhoğlu (2018)	Orman yangını duyarlılık haritası oluşturulmuştur.	AHP ve yangın başlangıç noktaları değerlendirilmiştir.	Yükseklik, eğim, bakı, yol ve yerleşim yerlerine uzaklık gibi faktörlerin yangın riskini artırdığı tespit edilmiştir.
Esen ve Avcı (2018)	Kahramanmaraş ilinde yangın riski analiz edilmiştir.	CBS ve AHP yöntemi kullanılarak yangın duyarlılık haritası oluşturulmuştur.	Bölgenin %46,2'si yüksek, %47,6'sı çok yüksek yangın riskine sahiptir.

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar (Devamı).

Akyüz (2019)	Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'nde yangın tehlikesi analiz edilmiştir.	Maxent programı kullanılarak Jackknife testi ile değerlendirme yapılmıştır.	MaxEnt modelinin ROC değeri 0,629 olarak belirlenmiştir.
Boyatan (2019)	Türkiye'deki orman yangınları için Karar Destek Sistemi geliştirilmiştir.	CBS ile yangın riski ve tehlike haritaları oluşturulmuştur.	Dörtüol Orman İşletme Müdürlüğü'nde %12'si çok düşük, %5'i yüksek risk taşıyan alanlar belirlenmiştir.
Dilekçi (2019)	Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri'nde yangın riski analiz edilmiştir.	CBS teknikleri kullanılarak yangın riski haritalandırılmıştır.	Alanın %39'u yüksek riskli olarak belirlenmiştir.
Sabuncu ve Özener (2019)	İzmir'in Seferihisar ilçesindeki yangınlar analiz edilmiştir.	Uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Landsat uydu görüntüleri değerlendirilmiştir.	Yangın sonrası tahrip edilen alanlar hasar tespit çalışmalarıyla uyumlu bulunmuştur.
Şahin (2019)	Muğla Orman Bölge Müdürlüğü Bodrum Orman İşletme Şefliği'nde yangın risk haritası hazırlanmıştır.	CBS ve AHP kullanılarak meşcere yapısı, eğim ve bakı analiz edilmiştir.	Alanın %66'sı orta, yüksek ve çok yüksek risk sınıfına dahil edilmiştir.
Janiec ve Gadal (2020)	Kuzeydoğu Sibirya'da (Yakutistan) yangın riski analiz edilmiştir.	Uydu görüntüleri ve mekânsal analiz teknikleri kullanılarak yangın zonlaması yapılmıştır.	İklim değişikliğinin yangın riskini artırdığı ve yangın sezonlarının uzadığı tespit edilmiştir.
Karadeniz (2020)	Karadeniz Bölgesi'ndeki orman yangınları analiz edilmiştir.	CBS kullanılarak yangın riski haritası oluşturulmuştur.	Ormanların %30'u yüksek risk altında bulunmuştur.
Kavlak (2020)	Türkiye'deki orman yangınlarının tarihsel analizi yapılmıştır.	Yangın verileri ve meteorolojik faktörler incelenmiştir.	Yangın sayısının sıcak ve kuru dönemlerde arttığı tespit edilmiştir.
Sevinç ve ark. (2020)	Antalya'daki yangınlara maruz kalan orman alanları incelenmiştir.	CBS ve uydu görüntüleri kullanılarak yangın sonrası analiz yapılmıştır.	Yangın sonrası zarar gören alanların %70'inin yeniden ormanlaştırılması gerektiği vurgulanmıştır.
Baltacı ve Yıldırım (2021)	Batı Karadeniz bölgesindeki orman yangını riski değerlendirilmiştir.	CBS kullanılarak yangın risk haritası hazırlanmıştır.	Çalışmada yangın riski en yüksek olan alanlar tespit edilmiştir.
Lamat ve ark. (2021)	Muğla'daki orman yangını riski analiz edilmiştir.	CBS ile yangın risk haritası hazırlanmıştır.	Alanın %12'si yüksek risk taşımaktadır.
Sarı (2021)	İzmir, Karabağlar ilçesinde meydana gelen orman yangını analiz edilmiştir.	Uzaktan algılama teknikleri ile yangın sonrası alanlar tespit edilmiştir.	Tespit edilen hasar uydu görüntüleri ile doğrulanmıştır.
Yang ve ark. (2021)	Kuzey Amerika'da orman yangını risk zonlaması yapılmıştır.	CBS ve uzaktan algılama kullanılarak yangın riski haritalandırılmıştır.	Yangın risk haritası oluşturulmuş ve en yüksek riskli alanlar belirlenmiştir.
Yılmaz ve ark. (2021)	Hatay'da meydana gelen orman yangınları analiz edilmiştir.	Uydu görüntüleri kullanılarak yangın sonrası hasar tespit edilmiştir.	90 hektarlık alanın yüksek yangın şiddeti taşıdığı belirlenmiştir.
Alkayış ve ark. (2022)	Muğla'nın Menteşe yöresindeki yangın riski analiz edilmiştir.	CBS ile yangın riski haritası hazırlanmıştır.	Alanın %11'i yüksek risk taşımaktadır.
Özdemir ve Demir (2022)	İzmir, Karabağlar bölgesindeki orman yangını analiz edilmiştir.	Uydu görüntüleri kullanılarak yangın sonrası alanlar analiz edilmiştir.	Yangın sonrası tahrip edilen alanların hasar tespit çalışmalarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
Göлтаş (2022)	Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde yangın riski analiz edilmiştir.	CBS ve uzaktan algılama kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Haziran ve Temmuz aylarında yangın riskinin yüksek olduğu belirlenmiştir.
Sivrikaya ve Küçük (2022)	Mersin'de yangın riski haritası oluşturulmuştur.	CBS, AHP ve MCDA kullanılarak analiz yapılmıştır.	Tutuşma riski en yüksek olan bölgelerin yerleşim alanlarına yakın olduğu belirlenmiştir.
Coşkun ve Toprak (2023)	Bartın ili orman yangını riski analiz edilmiştir.	CBS kullanılarak yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Alanın %18'inin yüksek yangın riski taşıdığı tespit edilmiştir.
Çetin ve ark. (2023)	Muğla'nın Milas ilçesinde orman yangını riski analiz edilmiştir.	CBS ve uzaktan algılama ile yangın risk haritası oluşturulmuştur.	Milas'taki ormanlık alanların %65'i orta, %30'u yüksek risk taşımaktadır.

Çizelge 2.1. Orman yangınları ve risk analizleri yapılan çalışmalar (Devamı).

Demir (2023)	Türkiye'deki orman yangınları için risk analizi yapılmıştır.	CBS ve AHP yöntemleri kullanılarak yangın risk haritaları hazırlanmıştır.	Yangın riskinin yerleşim yerlerine yakın alanlarda yoğunlaştığı tespit edilmiştir.
Kara (2023)	Akdeniz Bölgesi'ndeki orman yangını riski analiz edilmiştir.	CBS ile yangın riski haritası oluşturulmuştur.	Ormanlık alanların %70'inin yüksek risk taşıdığı tespit edilmiştir.
Bıçakçı ve Yıldız (2024)	Antalya'da yangın riski analiz edilmiştir.	CBS ve AHP yöntemleri kullanılarak risk haritası oluşturulmuştur.	Güney yamaçlarda yangın riskinin yüksek olduğu belirlenmiştir.
Makumbura ve ark. (2024)	Doğu Afrika'da orman yangını riski analiz edilmiştir.	CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yangın riski zonlaması yapılmıştır.	İklim faktörlerinin yangın riskini artırdığı tespit edilmiştir.

2.2. Arazi Örtüsü / Alan Kullanımları Değişiminin İncelenmesine Yönelik Çalışmalar

Alpaslan ve Ortaçesme (2009), tarafından yürütülen araştırmada, Manavgat-Side kıyı bölgesindeki yapılaşma süreci ve kıyı yönetimi sorunları 22 yıllık bir zaman diliminde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, 1981 ve 2003 yıllarına ait arazi sınıfları CBS ortamında karşılaştırılarak yapılaşmanın etkisi gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, 1984-1999 yılları arasında yapılan turizm planlarıyla birlikte bölgede turizm tesislerinin arttığını ve yapılaşmanın yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Araştırmada Kıyı yönetimi konusunda ise bölgesel ve ulusal düzeyde bütünsel bir yönetim modelinin olmaması ve planlama süreçlerinin yetersizliği vurgulanmıştır. Önerilen çözüm yolları arasında kıyı bölgelerinde yapılaşmanın denetlenmesi, ekosistemlerin korunması ve sürdürülebilir kullanımın sağlanması bulunmaktadır. Araştırma, kıyı yönetimi alanında daha kapsamlı ve etkili stratejilerin geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

Feranec ve ark. (2010), tarafından yapılan araştırmada, Avrupa'daki 24 ülkede 1990 ile 2000 yılları arasındaki Arazi kullanımı değişikliklerini değerlendirmek için CORINE Arazi Örtüsü (CLC) verileri kullanılmıştır. CLC'nin 1990 ve 2000 veri setlerini karşılaştırarak arazi kullanım değişiklikleri belirlenmiştir. Bu değişiklikler, kentleşme, tarımın yoğunlaşması veya genişlemesi, ormanlaşma, orman tahribatı ve su göletlerinin inşası ve yönetimi gibi süreçleri içermektedir. Çalışma, 24 Avrupa ülkesindeki LC değişikliklerini belirleyerek, CLC verilerinin çevresel muhasebe ve peyzaj değişiklikleri üzerindeki etkisini vurgulamıştır. Bu çalışmanın sonuçları, 1990-2000 yılları arasındaki toplam LC değişikliği alanının Avrupa'daki 24 ülkenin toplam alanının yaklaşık %2.5'ine denk geldiğini göstermektedir. Araştırmacılar çalışmanın güvenilirliğini artırmak için CLC2000 verilerinin doğruluğunu %87 olarak belirtmiştir. Çalışmada Çevresel muhasebe ve arazi kullanımı değişikliklerinin değerlendirilmesinde CLC verilerinin etkili bir araç olduğunu belirtilmiştir.

Uzun ve Somuncu (2013), tarafından yapılan çalışma, Madra Dağı ve çevresindeki arazi örtüsü ve kullanımındaki zamansal değişim, 1987 ile 2000 yılları arasında incelenmiştir. İki farklı zamana ait Landsat Uydu görüntüleri kullanılarak bölgedeki arazi örtüsü sınıfları belirlenmiş ve değişimin tespiti için kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Araştırma alanının %35'lik bir kısmında değişim tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Madra Dağı ve yakın çevresinde orman tahribatından dolayı ormanlık alanların azalarak çalılık-mera alanlarına

dönüşmesi, tarım ve beşeri yapıların genişlemesi, granit taşı işletmeciliğinin artması ve meyvelik-zeytinlik alanlarında önemli bir artış göze çarpmaktadır. Ancak, araştırmacılar bölgedeki arazi kullanımındaki bu değişimlerin çevresel etkileri göz ardı edilmemesi gerektiğini ve sürdürülebilir bir arazi yönetimi stratejisinin geliştirilmesinin gerekliliğini belirtmişlerdir

Konukçu ve ark. (2017), tarafından yapılan bu çalışmada, Batı Türkiye'deki Ergene Nehri Havzası'nda 1990 ile 2012 yılları arasındaki arazi kullanımı değişiminin modellenmesi incelenmiştir. CORINE Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı verileri ve ArcGIS yazılımı kullanılarak yapılan analizlerde, 1990-2000, 2000-2006 ve 2006-2012 dönemleri karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırma, yapay alanların (yerleşim ve sanayi bölgeleri) ve su kütlelerinin artış gösterdiğini, sulak alanların ve tarım alanlarının ise azaldığını ortaya koymuştur. Bu değişim, özellikle tarım alanlarının sanayi bölgelerine dönüştürülmesiyle ilişkilendirilmiştir. Bu sonuçlar, bölgedeki arazi kullanımı değişikliklerini anlamak ve gelecekteki politika kararları için rehberlik sağlamak adına önemlidir.

Aktaş ve Dönmez (2019), tarafından yapılan bu çalışma, Sapanca Göl Havzası'nda kentselleşme ve insan faaliyetlerinin havza ekosistemine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmada, 2000-2017 yılları arasındaki arazi kullanımı ve değişiklikleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Yapılan analizlerde, 2000 yılına ait uydu görüntüleri ve CORINE Arazi Örtüsü verileri kullanılmıştır ve sonuçlar yerleşim alanlarının %316'lık bir artış gösterdiğini, tarım alanlarının %39'luk bir azalma yaşadığını ve orman alanlarının ise %2.70 oranında azaldığını ortaya koymuştur. Özellikle 1990-2000 yılları arasında havzaya yapılan göçlerin, yerleşim ve tarım alanlarının dönüşümünde ana etken olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, 2000 yılından sonra özellikle yerleşim alanlarında hızlı bir artışın gözlemlendiği ve bu durumun havzanın ekolojik dengesini tehdit ettiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, havzanın gelecekteki nüfus projeksiyonlarına ulaşması durumunda, tarım ve orman alanlarında devam edecek değişimlerin yönetilmesi için planlama kararlarının alınması gerektiği öne sürülmüştür. Havzanın ekolojik dengesini korumak için bütüncül bir yönetim planının uygulanmasının gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Costanho ve ark. (2021), tarafından yapılan bu çalışma, Avrupa'nın Makaronezya Bölgesi'ndeki arşipelajlarında arazi kullanımı değişikliklerinin eğilimlerini ve dinamiklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, 1990 ile 2018 yılları arasındaki dönemi kapsayacak şekilde yürütülmüş ve CORINE verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, 1990 ile 2018 yılları arasında Avrupa'nın Macaronezya bölgesindeki adalarda önemli ve çeşitli arazi kullanımı değişiklikleri gözlemlenmiştir. Azor Adaları'nda tarımsal alanlarda azalma ve orman alanlarında artış gözlemlenirken, kentleşmenin arttığı ve tarımın azaldığı tespit edilmiştir. Madeira Arşipelajı'nda ise orman ve yarı doğal alanların hakimiyetinin korunduğu ve yapay yüzeylerde artış yaşandığı belirlenmiştir. Kanarya Adaları'nda ise orman ve yarı doğal alanlar hakimiyetini koruduğu, tarımsal alanlar ve yapay yüzeylerde ise hafif bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, adaların benzersiz karakterinin korunması gerektiğini ve çevresel etkilerin azaltılması için uygun önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Lundberg ve Strand (2021), tarafından yapılan bu çalışma, Norveç'teki toprak kullanımı ve arazi örtüsünün CLC (CORINE Land Cover) veri seti ile nasıl tanımlandığını ve sınıflandırıldığını araştırmak için yapılmıştır. 2018 yılında gerçekleştirilen bu çalışma, CLC sınıflarının tanımlarıyla uyumluluğunu değerlendirmiştir. Çalışma, CLC veri setinin Norveç'teki toprak kullanımını büyük ölçüde doğru bir şekilde yansıttığını ancak bazı sınıfların daha detaylı incelemeler gerektirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle tarım arazileri ve dağlık alanlar üzerine yapılan incelemeler, sınıflandırmada ve doğrulukta bazı zorlukların olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, 2018 yılında gerçekleştirilmiş olup, CLC veri setinin iyileştirilmesi için daha detaylı ve güncel veri setlerinin kullanılması gerekliliğini önermektedir.

Arazi örtüsü ve alan kullanımındaki değişimlerin izlenmesi, orman yangını risk değerlendirmelerinde kritik bir rol oynar. Bu değişimlerin incelenmesi, yangına hassas bölgelerde potansiyel risklerin belirlenmesine ve uzun vadeli yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlar. Çizelge 2.2, arazi örtüsü ve alan kullanım değişimine yönelik yürütülen önceki çalışmaların özetini sunmaktadır.

Çizelge 2.2. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) değişimine yönelik çalışmalar

Yazar Adı	Kapsam	Yöntem	Sonuç
Alpaslan ve Ortaçesme (2009)	Manavgat-Side kıyı bölgesinde yapılaşma ve kıyı yönetimi sorunları incelenmiştir (1981-2003).	CBS kullanılarak arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	Turizm tesislerinin artışı ve kıyı ekosistemlerinin bozulması gözlemlenmiştir; kıyı yönetiminde eksiklikler ve ekolojik koruma ihtiyacı ortaya konmuştur.
Feranec ve ark. (2010)	Avrupa'nın 24 ülkesinde arazi kullanımı değişiklikleri (1990-2000) incelenmiştir.	CORINE Arazi Örtüsü (CLC) verileri karşılaştırılmıştır.	Avrupa genelinde %2.5'lik bir arazi kullanım değişikliği tespit edilmiştir. Çalışma, CLC verilerinin çevresel muhasebe ve peyzaj değişikliklerini izlemekteki önemini vurgulamıştır.
Uzun ve Somuncu (2013)	Madra Dağı çevresindeki arazi örtüsü ve alan kullanım değişiklikleri (1987-2000) incelenmiştir.	Landsat uydu görüntüleri kullanılarak arazi sınıflandırması yapılmıştır.	Orman tahribatı ve tarım alanlarının genişlemesi gözlemlenmiştir. Ayrıca, beşeri yapıların yayılması sonucu çevresel etkiler artmıştır.
Konukçu ve ark. (2017)	Ergene Nehri Havzası'nda arazi kullanımı değişiklikleri (1990-2012) analiz edilmiştir.	CORINE verileri ve ArcGIS kullanılarak değişim haritaları oluşturulmuştur.	Yapay alanların (yerleşim ve sanayi) artışı, tarım alanlarının sanayiye dönüşmesi ve sulak alanların azalması tespit edilmiştir.
Aktaş ve Dönmez (2019)	Sapanca Göl Havzası'ndaki kentselleşme ve insan faaliyetlerinin arazi örtüsü üzerindeki etkileri incelenmiştir (2000-2017).	CORINE verileri ve Landsat uydu görüntüleri kullanılarak arazi değişiklikleri analiz edilmiştir.	Yerleşim alanlarında %316, orman alanlarında %2.70 artış; tarım alanlarında %39 azalma görülmüştür. Çalışma göç etkilerini ve ekolojik tehditleri vurgulamıştır.

Çizelge 2.2. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) değişimine yönelik çalışmalar (devamı)

Costanho ve ark. (2021)	Avrupa'nın Makaronezya Bölgesi'ndeki arazi kullanımı değişiklikleri (1990-2018) analiz edilmiştir.	CORINE verileri ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılmıştır.	Tarımsal alanların azaldığı ve orman alanlarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kentsel genişlemenin çevresel etkileri vurgulanmıştır.
Lundberg ve Strand (2021)	Norveç'teki toprak kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri incelenmiştir.	CLC veri seti ile arazi sınıfları analiz edilmiştir.	CLC veri setinin genel doğruluğu kabul edilmiş, ancak bazı sınıflarda daha fazla detaylandırma gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

2.3. HO-Markov Modeli ile Gelecek Arazi Örtüsü / Alan Kullanımlarının Modellenmesine

Yönelik Çalışmalar

Dünyanın yüzeyi, tarım, ormancılık, endüstrileşme ve kentleşme gibi insan faaliyetleri nedeniyle geçmiş yıllarda değişime uğramıştır. Bu değişikliklerin çevre üzerindeki etkilerini belirlemek ve anlamak, ayrıca değişiklikleri simüle etmek için modelleme teknikleri ve farklı modeller kullanılmaktadır. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişikliklerinin tespiti ve gelecekteki değişikliklerin HO-Markov modeli ile tahmin edilmesi, birçok çalışmada rapor edilmiştir:

Alphan (2003), Adana'nın şehirleşmesi ve arazi kullanım değişimi üzerine yaptığı çalışmada Adana şehrinin 1984 yılından 2000 yılına kadar olan şehrsel gelişimi üzerinde durmuştur. Adana'da şehir alanlarının 16 yıllık dönemde ikiye katlandığı ve bu büyümenin genellikle yarı doğal alanlar ile tarım alanları üzerinde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Opeyemi (2006), tarafından yapılan araştırma, Kwara eyaletindeki Ilorin bölgesinin arazi örtüsü ve alan kullanımları değişikliklerini incelemek için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemlerini kullanmıştır. Araştırma, 1972-1986-2001 dönemlerini kapsamış ve Markov Zinciri ve Hücrel Otomata modelleri kullanılarak 2015 yılı için arazi örtüsü/alan kullanım haritası tahmin edilmiştir. MSS, ETM ve TM verileri analiz edilmiş ve mekânsal genişleme, tarım alanları, atıl alanlar, yapılaşmış alanlar, ormanlık alanlar ve su kütleleri gibi beş farklı arazi kullanımı sınıfının değişimi incelenmiştir. Bulgular, 1972-1986 döneminde yapılaşmış alanlarda hızlı bir büyüme olduğunu gösterirken, 1986-2001 döneminde yapılaşmış sınıfta bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca 2015'e doğru şehirdeki yoğunluğun artacağı ancak tarım arazilerindeki büyümenin devam edeceği ve atıl arazilerin azalacağı tahmin edilmiştir. Bu çalışma, CBS ve UA'nın zamansal ve mekânsal verileri yakalama yeteneğini vurgulamakta ve Ilorin'in gelecekteki gelişimine ilişkin öneriler sunmaktadır.

Ye ve Bai (2008), tarafından Çin'in Heilongjiang eyaletindeki Nenjiang kentinde yapılan bu çalışmada kentinin 1985 ile 2000 yılları arasındaki arazi örtüsü/alan kullanımı değişiklikleri uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak incelenmiş, zamansal ve mekânsal değişiklikler belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre araştırmacılar, ormanların toplam arazi alanındaki oranlarının %49,46'dan %39,03'e düştüğünü, tarım arazilerinde hızla artarak %26,02'den %37,42'ye yükseldiğini saptamışlardır. Ayrıca, bu değişimlerin 2015 ve 2030 yıllarına ilişkin tahminlerini yapmak için HO-Markov modeli kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarına göre, tarım

arazilerinin artmaya devam edeceği ve tarım arazilerinin kullanımının yükseleceği öngörülmüştür. Çalışma, kentin arazi kullanımı ve örtüsü değişikliklerini anlamak ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmek için katkı sağlamaktadır.

Kamusoko (2009), tarafından yapılan çalışmada, Zimbabwe'deki Masembura ve Musana Koruma Alanları'nda Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişikliklerinin incelendiği belirtilmektedir. Çalışmada, Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli kullanılmış ve geçmiş arazi kullanımı verileri temel alınarak gelecekteki arazi kullanımı/örtü değişiklikleri simüle edilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, 2030 yılına kadar ormanlık alanlarda azalma ve çorak alanlarda artış öngörülmüştür. Çalışmada, gelecekteki arazi kullanımı planlaması ve sürdürülebilir kırsal gelişim politikalarının oluşturulmasında bu tür modellerin etkili bir araç olabileceği vurgulanmıştır.

Aydın (2011), tarafından yapılan çalışma, Ankara'nın kentsel büyüme dinamiklerini analiz etmek amacıyla 1942, 1968 ve 2000 yıllarına ait mekânsal verilere dayanarak yapılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama teknikleriyle elde edilen bu veriler, kentin arazi kullanımı, kentsel yapılar ve coğrafi özellikleri gibi çeşitli değişkenleri içermektedir. Çalışmada kullanılan Hücresel Otomata yöntemi, bu verileri temel alarak Ankara'nın 2032 yılı için kentsel büyüme tahminlerini oluşturmuştur. Ankara'daki mekânsal değişim ve dönüşüm analiz edilerek, kentin modern konut alanları, kamu binaları, sanayi alanları ve gecekondu bölgeleri gibi arazi kullanım tipleri incelenmiştir. Bu tahminlerin, geçmişten günümüze kadar olan kentsel büyüme trendlerini ve gelecekteki büyüme eğilimlerini incelemek için önemli bir kaynak teşkil edeceği belirtilmiştir.

Falahatkar ve ark. (2011), tarafından yapılan çalışmada, İran'ın Isfahan şehri ve çevresindeki arazi örtüsü değişikliklerini anlamak ve tahmin etmek amacıyla bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, şehir ve çevresindeki arazi örtüsünü haritalamışlardır. Görüntülerin ve hava fotoğraflarının yanı sıra HO-Markov modeli gibi belirli yöntemler kullanarak, arazi örtüsü değişikliklerini analiz etmiş ve modelin tahmin gücünü değerlendirmişlerdir. Araştırmanın sonuçlarına göre, Isfahan ve çevresinde hızlı ve plansız bir kentsel gelişme gözlemlenmiş ve kentsel alanların büyümesi, dönüşüm geçiren peyzaj türlerinin dikkate alınmadan yapıldığı saptanmıştır. Arazi örtüsü değişikliğinin sabit ve öngörülebilir kalması durumunda, HO-Markov modelinin Isfahan'daki çalışma alanı için %70'ten az doğrulukla değişiklikleri tahmin ettiği sonucuna varılmıştır.

Kim ve ark. (2011), Soyang Nehri havzasında gelecekteki arazi kullanımı değişikliklerini tahmin etmek için HO-Markov modeli ve lojistik regresyon kullanmışlardır. Gelecekteki arazi kullanımı değişiklik desenlerini geçmiş arazi kullanımı değişiklik desenleri ile karşılaştırmak amacıyla 1995 ve 2000 yıllarına ait arazi kullanım haritalarını temel almışlardır. Arazi kullanım değişikliklerini etkileyen değişkenler, doğal-çevresel ve sosyo-ekonomik faktörler olmak üzere incelenmiş ve belirlenmiştir. Tahmin edilen arazi kullanımı haritası, 2006 yılına ait gerçek arazi kullanım haritası ile karşılaştırılarak modelin uygulanabilirliği Relative Operating Characteristic

(ROC) ve Kappa indeksi gibi yöntemlerle doğrulanmıştır. Sonuçlar, orman sınıfının hem dağılım oranı hem de mekânsal uyum açısından yüksek doğrulukla tahmin edildiğini göstermişken, kent ve tarım sınıflarının dağılım oranı açısından yüksek doğruluk gösterirken mekânsal uyum açısından daha düşük bir başarıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, modelin arazi kullanım değişikliklerinin genel dağılım oranını tahmin edebildiğini, ancak arazi kullanım değişikliklerinin tam olarak nerede gerçekleşeceğini öngörmekte sınırlı olduğunu göstermektedir.

Wang ve ark. (2011), Çin'in Xi ve Guanzhong-Tianshui bölgesindeki arazi kullanımının 2000 ile 2010 yılları arasındaki zamansal ve mekânsal değişimini araştırmak amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırma kapsamında, Landsat TM görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak gelecekteki 2020 ve 2030 yıllarındaki arazi kullanımı HO-Markov modeliyle tahmin edilmiştir. Bulgular, 2000-2010 döneminde bölgedeki tarım arazilerinin ve çayırların azaldığını, inşaat alanlarının ise arttığını göstermektedir. Araştırma sonucunda, modelin genel dağılım oranını tahmin etmede başarılı olduğu ancak arazi kullanım değişikliklerinin tam olarak nerede gerçekleşeceğini tahmin etmede sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Roy ve ark. (2012), Bangladeş'in güneydoğu tepelik bölgelerindeki Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişikliklerini incelemek amacıyla çoklu-zamansal Landsat görüntülerini kullanmıştır. Çalışmada, 1989, 2003 ve 2014 yıllarına ait Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı haritaları üretilmiştir. NDVI ve geleneksel denetimli sınıflandırma tekniklerinin entegrasyonu ile yedi Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı kategorisi belirlenmiş ve bu kategorilerin doğruluğu hata matrisi ve kappa istatistikleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, üç yıl boyunca %90'a kadar doğruluk sağlamıştır. Ayrıca, 1989-2014 dönemi için kapsamlı bir değişim analizi gerçekleştirilmiş ve tepelik orman, çalılık arazi ve tarım arazisi kategorilerinde belirgin düşüşler tespit edilmiştir. Ardından, HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı tahmin edilmiş ve 2014 yılına ait gözlemlenen ve tahmin edilen Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı haritaları başarılı bir şekilde doğrulanmıştır (Genel doğruluk 91.43%). Bu doğrulamanın ardından, 2028 ve 2042 için Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı'nın simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, tepelik orman ve su rezervuarlarında belirgin bir azalma, çalılık arazi, tarım arazisi ve yerleşim alanlarında ise önemli bir artış olduğunu göstermiştir.

Doygun ve ark. (2013), tarafından yapılan araştırmada, İzmir İlinin Bornova İlçesi'nde 1984-2009 yılları arasındaki alan kullanım değişiklikleri incelenmiş ve bu dönemde %41 oranında değişim yaşandığı tespit edilmiştir. Çalışma, İzmir'in kentsel dönüşüm sürecini analiz etmek amacıyla yapılmıştır. Özellikle yapılaşma ve tarım alanlarının dönüşümü üzerinde odaklanılmış, 1984 ve 2009 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak IDRISI Selva yazılımı ile simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyonlar, 2009-2050 yılları arasındaki olası alan kullanım değişimlerini tahmin etmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ilçenin gelecekte %42.96'sında alan kullanım değişimi yaşanabileceği öngörülmüştür. Bu bulgular ışığında, yerel yönetimlerin sürdürülebilir kalkınma politikaları geliştirmesi ve çevresel dengeyi korumak için stratejiler belirlemesi önerilmektedir.

Tunçay ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada, İğneada Koruma Bölgesi ve yakın çevresindeki peyzajdaki değişim, uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. HO-Markov Chain modeli kullanılarak, 2030 yılında muhtemelen oluşacak Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı belirlenmiştir. Bu modelleme çalışması, alanın ekolojik planlamasında önemli bir rol oynamakta olup, geleceğe dair geliştirilen planlama senaryolarına dayanarak daha etkin alan kullanım stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Al-Sharif ve Pradhan (2014), Libya'nın Trablus şehrinin kentsel arazi kullanımı değişimini HO-Markov modeli aracılığıyla simüle etmiştir. Ayrıca, Trablustaki mekânsal desenleri projelendirmişlerdir. Araştırmada, 1984-2010 dönemi için arazi kullanım haritalarını sağlamak için SPOT 5 ve Landsat TM'den elde edilen uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Değişim analizi için Markov zinciri modeli kullanılmış ve ardından değişikliklerin dinamik mekânsal desenleri HO modeli ile simüle edilmiştir. HO-Markov modeli kullanılarak, 1984-2010 dönemi için kentsel arazi kullanımı değişimi modellemiştir ve gelecekteki arazi kullanım değişimi tahmin edilmiştir. Doğruluk analizi sonuçları, %85'ten fazla doğruluk oranı göstermiştir. Araştırmanın sonuçları, modelin makul ve uygun bir araç olduğunu göstermektedir.

Huang ve ark. (2015), Çin'in Wuhan şehrindeki arazi kullanım ve örtüsü desenini incelemek amacıyla, 1999 ile 2005 yılları arasındaki uzaktan algılama verilerini kullanmışlardır. Çalışmada, kentsel arazi kullanım değişikliğini tahmin etmek ve simüle etmek için HO-Markov modeli uygulanmıştır. Kentsel arazi kullanım değişikliklerini tahmin etmek için HO-Markov modelinde yerel ve genel olarak sınırlanmış koşulları belirlemiş ve geçiş kuralları için rasgele değişken kullanmıştır. Araştırmacılar HO-Markov modelinin, mekânsal sistem bileşenlerinin karmaşıklığını anlamaya yardımcı olmasının yanı sıra arazi kaynakları yönetimi ve arazi planlaması için referans ve teoriler sağladığını, kentsel arazi kullanım değişikliğini tahmin etmek için etkili bir araç olduğunu saptamışlardır. Bu çalışma, kentsel alanlardaki arazi kullanım değişikliğini anlamak ve yönetmek için HO-Markov modelinin sağladığı bilgilerin önemini vurgulamaktadır.

Singh ve ark. (2015), tarafından yapılan çalışmada, Hindistan'ın oldukça kentleşmiş Allahabad bölgesindeki arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki mekânsal ve zamansal değişiklikleri belirlemek amacıyla HO-Markov modeli kullanılmıştır. Analizde, UA ve CBS de kullanılmıştır. Modelin kalibrasyonu ve optimizasyonu için 1990 ve 2000 tarihli iki görüntü kullanılırken, modelin doğrulanması için 2010 yılı görüntüsü tercih edilmiştir. Modelin doğrulanmasının ardından, gelecekteki Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı değişikliklerinin tahmini için Hücrel Otomata (HO) ve Geçiş Matrisi Modellemesi (MCM) kullanılmıştır. Elde edilen Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı desen haritalarının analizi, sosyo-ekonomik ve biyofiziksel faktörlerin bölgedeki tarım arazilerinin ve yerleşimlerin büyümesini önemli ölçüde etkilediğini ve bunun doğal kaynaklar üzerinde olumsuz etkilere neden olduğunu göstermektedir. Çalışma, artan kentsel nüfusun ve arazi kullanımı değişikliklerinin sürdürülebilir arazi kullanımı politikalarının geliştirilmesine rehberlik ettiğini ve gelecekteki planlama süreçlerinde dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Yang ve ark. (2015), Kuzeydoğu Çin'deki 1930'larda arazi kullanımı ve örtüsünün yeniden oluşturulması için HO-Markov modelini kullanmışlardır. Araştırmalarında, mevcut arazi kullanımının tarihsel desenlere dinamik olarak bağımlı olduğu ve arazi uygunluğu faktörlerinin zaman içinde değişmediği varsayımından hareket etmişlerdir. Modelin doğruluğunu değerlendirmek için üç harita karşılaştırma tekniğini kullanmışlardır. Bulgular, üç harita arasındaki farklılıkların, çalışma dönemi boyunca arazi sınıfları arasındaki uyumsuzluklarla daha çok ilgili olduğunu ve simülasyon modeliyle daha az ilgili olduğunu göstermiştir. Model, retrospektif projeksiyonlar yaparak son yıllardaki arazi kullanımı değişikliklerini analiz edebilmiştir. Yeniden yapılanmanın sonuçları, 1930'larda çalışma alanının çoğunlukla çayır, ardından sulak alanlar ve tarım arazileri tarafından işgal edildiğini göstermiştir. Araştırmacılar, HO-Markov modelleme yaklaşımının çeşitli arazi örtüsü tiplerinin mekânsal yeniden yapılanmalarına eş zamanlı olarak uygulanabileceği sonucuna varmışlardır.

Berberoğlu ve ark. (2016), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Adana ilinin kentsel büyümesini tahmin etmek için farklı Hücreli Otomata (HO) tabanlı modelleme yöntemleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmada, SLEUTH, Markov Zinciri, Dinamica modelleme ile Regresyon Ağacı (RT), Lojistik Regresyon (LR) ve Yapay Sinir Ağları (ANN) gibi farklı modeller kullanılmıştır. Adana'nın kentsel büyümesini tahmin etmek için 1967-1977 CORONA hava fotoğrafları, 1987-1998 SPOT ve 2007 ALOS AVNIR-2 uydu görüntüleri gibi çeşitli zaman dilimlerinde elde edilen veriler kullanılarak modellerin kalibrasyonu ve 2023 yılı için tahminleri yapılmıştır. Analizler sonucunda, SLEUTH ve Markov Zinciri modellerinin sırasıyla %75 ve %72 gibi en yüksek genel doğruluk oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu modellerin gerçek verilere en uygun tahsis haritaları sağladığı görülmüştür. Ancak, Lojistik Regresyon ve Yapay Sinir Ağları modelleri diğerlerine kıyasla daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma, kentsel yayılma modellemesi için farklı HO tabanlı yaklaşımların deneysel sonuçlarını ve bulgularını sunarak araştırmacılara rehberlik etmektedir.

Hyandye ve Martz (2017), Tanzanya'daki Usangu Havzası'nın arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimini, 2000, 2006 ve 2013 yıllarına ait verilere dayanarak, Markov Zinciri ve Hücreli Otomata Analizi kullanarak 2020 senaryosunda simüle etmişlerdir. Arazi kullanım ve örtüsü değişimini etkileyen sosyal, pedolojik, iklimsel ve coğrafi morfolojik faktörler, arazi kullanım uygunluk haritalarının hazırlanmasında kullanılmıştır. Arazi kullanım ve örtüsü değişim faktörlerinin göreceli önemi, Çok Kriterli Değerlendirme yaklaşımı altında ağırlıklı lineer kombinasyon kullanılarak Analitik Hiyerarşi süreci (AHP) yöntemiyle belirlenmiştir. Model, 2013 yılında gözlemlenen ve simüle edilen arazi kullanım ve örtüsü verileriyle doğrulanmıştır. Tahmin edilen 2020 arazi kullanım ve arazi örtüsü senaryosu, kentsel alanlarda artış ve ormanlık alanların ve çalılıkların önemli ölçüde azalmasını göstermiştir. 2013 yılında yaklaşık olarak %19.6'sı çayır ve %8.5'i tarım arazisi olan alanların, 2020'ye kadar kentsel alana dönüştürüleceği tahmin edilmiştir.

Vazquez ve ark. (2016), Meksika'nın Durango eyaletindeki Pueblo Nuevo bölgesindeki ılıman ormanların arazi kullanım değışiklik dinamiklerini incelemek için Markov Zincirleri ve Hücresel Otomata modellerini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında, 1973, 1990 ve 2014 yıllarına ait Landsat görüntülerini denetimli sınıflandırma yöntemiyle analiz ederek arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur. Modeller arazi kullanımında sürekli değışimlerin olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çalışma alanındaki ılıman ormanların büyüklüğündeki değışiklikler, çam ormanlarının sürekli olarak azaldığını göstermiştir. Çalışma ekosistemlerin korunması ve bozulmalarının azaltılması için daha etkili ve ölçülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Gidey ve ark. (2017), tarafından yapılan çalışma, Kuzey Etiyopya'daki Raya bölgesi ve çevresindeki arazi kullanımı ve örtüsü değışikliklerinin gelecekteki senaryolarını Hücresel Otomata ve Markov Zinciri modeli (HO-Markov) kullanarak tahmin etmeyi ve izlemeyi amaçlamıştır. Fiziksel ve sosyo-ekonomik faktörlerin yanı sıra, 1984-1995, 1995-2015 ve 1984-2015 yıllarına ait geçmiş Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı verileri temel alınarak geçiş kuralları ve matris alanları belirlenmiştir. Faktörlerin uygunluğu bulanık standartlaştırma ve Çok Kriterli Değerlendirme (MCE) ile değerlendirilmiş ve HO Markov modeli 2015-2033 yılları için tahminler üretmek için kullanılmıştır. Tahminler, ormanlık alanlarda artış ve su birimlerinde, tarım arazilerinde ve çorak arazilerde azalmalar gibi önemli değışiklikleri göstermiştir. Pearson korelasyon sonuçları, tarihsel ve tahmini Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) eğilimleri arasında güçlü ve anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile, HO Markov modelinin gelecekteki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) desenlerini başarıyla tahmin edebileceği belirtilmiştir.

Karip ve Göksel (2017), tarafından yapılan çalışmada, İğneada Koruma Alanı ve çevresinde 1984-2010 yılları arasında arazi kullanımlarının zamansal değışimleri incelenmiştir. Çalışmada, 2030 Yılı tahmini Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı (AÖ/AK) haritası oluşturmak için Markov Zinciri yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacılar Markov Zinciri yöntemine dayalı (HO-Markov; ST-Markov ve MLP-Markov) farklı modeller oluşturarak Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı haritaları elde etmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, MLP-Markov modeli diğer modellere kıyasla daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu model, İğneada Koruma Alanı ve çevresindeki arazi kullanımının zamana bağlı değışimini başarılı bir şekilde modellemiş ve alansal değerlendirme bakımından daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Ayrıca, çok değışkenli olması ve dinamik değışimlerin izlenmesinde etkili olması nedeniyle gelecekteki arazi kullanımını tahmin etmek için en uygun model olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, İğneada Koruma Alanı'nın sürdürülebilir yönetimi ve korunması için önemli bir katkı sağlamaktadır.

Cengiz (2019), “Kentsel Büyüme dinamiklerin modellenmesi: Ankara Kenti simülasyonu” adlı doktora tezi kapsamında, Ankara kenti ve çevresindeki kentsel genişleme sürecinin 1984-2038 yılları arasındaki dinamikleri, biyofiziksel ve insani süreçlerin etkileşimleri üzerine yoğunlaşan bir araştırma kapsamında incelenmiştir. Bu çalışmada, mekânsal ve istatistiksel verilerin birleştirilmesiyle yüksek doğrulukla simüle edilen çok zamanlı bir veri tabanı oluşturulmuş ve çeşitli

modelleme teknikleri (Lojistik regresyon, Hücresel Otomasyon, Markov, Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları) kullanılarak Ankara'nın arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir. Çalışma sonucuna göre, kentsel genişlemenin tarım alanları, seyrek vejetasyon alanları ve ıslak alan vejetasyon sistemleri gibi doğal peyzajlarda desen değişimine neden olduğunu ve gelecekteki etkilerin artarak devam edeceği görülmektedir. Araştırma ayrıca, planlama süreçlerinin kentsel genişleme üzerindeki baskıyı artırdığını ve ekolojik ve toplumsal sorunlara yol açtığını belirlemiştir.

Keleş (2019), tarafından 'Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Açısından Adana-Mersin-Osmaniye Şehirlerinin Arazi Örtüsü ve Kullanımındaki Zamansal Değişimin Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri ile Araştırılması' yapılan yüksek lisans tezinde Adana, Mersin ve Osmaniye illerinin arazi örtüsü ve arazi kullanımındaki zamansal değişimi incelenmiştir. Çalışma, 1995 ve 2017/2018 yılları olmak üzere iki farklı dönemi karşılaştırmaktadır. Araştırmada değişimin idari sınırlar içerisinde nasıl olduğu vurgulanmış ve metropolitan alanın ekonomik ve ekolojik açıdan korunması gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Ren ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişim modellerinin mevcut durumu ve gelecekteki perspektifleri incelenmiştir. Bu çalışma, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı dinamiklerinin nedenlerini ve etkilerini anlamak için güçlü araçlar olarak kullanılan Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişim modellerinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca bu modellerin senaryo bazlı analizlerle arazi yönetimini ve karar alma süreçlerini destekleme potansiyeli üzerinde durulmuştur. Çalışmada, mevcut Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişim modellerini ve Arazi Örtüsü/ Alan Kullanımı dinamiklerini araştırmak için kullanılan yeni çerçeveleri kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Farklı Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı modellerinin insan-çevre etkileşimlerini keşfetmek için çeşitli özelliklere sahip olduğunu belirtilmiştir. Ayrıca bu modellerin avantajları, zayıflıkları, uygulamaları ve farkları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişim modelleme alanındaki önemli araştırma boşlukları belirlenmiştir ve çözüm önerileri sunulmuştur. Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı dinamiklerinin ve etkili arazi yönetiminin daha iyi anlaşılması sağlanmaya çalışılmıştır.

Shade ve Kremer (2019), tarafından yapılan bu çalışmada Philadelphia'daki arazi kullanımı/değişimini 2036 yılı için yüksek çözünürlüklü olarak tahmin etmek hedeflenmiştir. Araştırmada, Hücresel Otomata, makine öğrenimi ve Markov zinciri analizi gibi birleşik yöntem kullanılmıştır. İlk olarak, 2015 yılı için bir arazi örtüsü tahmini oluşturulmuş ve 2015 arazi örtüsü ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışmada, 2036 yılında Philadelphia'nın yeşil altyapı hedeflerine başarıyla ulaşacağı saptanmıştır. Bu başarının, kentsel arazi kullanımında artış ve peyzaj genelinde parçalanmanın azalması ile olacağı belirtilmiştir. Çalışmada yeşil altyapı uygulamalarının kentsel alanlarda sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği adaptasyonu için önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Akın ve Erdoğan (2020), tarafından yapılan çalışmada, Bursa şehrinin mekânsal- zamansal kentsel dinamiklerini ve arazi kullanımı/örtü değişimi analiz edilmektedir. 1979, 1989, 2000 ve 2013 yıllarına ait uzaktan algılama verileri ile birlikte 2040 simülasyon haritası kullanılarak yapılan

analizlerde, Hücresel Otomata yöntemleri arasında SLEUTH modeli tercih edilmiştir. İncelenen dönemler arasında kentsel yapı, topoğrafya, ulaşım ağı ve kent politikalarının etkileri üzerinde durulmuştur. Nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile arazi kullanımı/örtü haritaları çıkarılmış ve değişimin nicelik ve niteliği belirlenmiştir. Toplam sekiz kentsel peyzaj ölçütü hesaplanmış ve kentsel yayılmanın genel yayılma ve birleşme aşamaları metriklerle ortaya konmuştur. Özellikle tarım arazilerinde yaşanan değişimlerin etkisi incelenmiş ve düzensiz kentsel büyümenin arazi bozulmasını artırdığı sonucuna varılmıştır. Araştırma, kentleşme dokusunun zaman içinde farklılaşmasını ve gelecekteki kentsel gelişim için yeni yayılma merkezlerinin oluşabileceğini öne sürmektedir. Bulgulara göre, sürdürülebilir kentsel planlama çalışmalarına yol gösterici olacağı söylenmiştir.

Al-Shaar ve ark., (2021), Lübnan'daki arazi kullanımı desenlerini tahmin etmek için modifiye edilmiş bir Hücresel Otomata Markov Zinciri Modeli (HO-Markov) uygulayarak, kentsel gelişim ve arazi kullanımı değişikliklerini analiz etmişlerdir. Çalışmada, Landsat görüntüleri ve nüfus yoğunluğu haritaları gibi girdi verileri 2000, 2009 ve 2018 yıllarına dayanarak kullanılmıştır. Bu veri setleri kullanılarak modifiye edilmiş Hücresel Otomata markov zinciri modeli (ECAMCM) kullanılarak Lübnandaki arazi kullanım desenlerini 2036 yılına kadar tahmin edilmektedir. Modelin doğruluğu Cohen'in Kappa istatistiği testiyle doğrulanmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre, ECAMCM'nin gelecekteki arazi kullanımı değişikliklerini en doğru şekilde tahmin ettiği belirtilmiştir. Model, Lübnan'daki tarım alanlarının, ormanların ve su kütlelerinin azalacağını ve düşük, orta ve yüksek yoğunluklu kentsel yerleşimlerin genişleyeceğini tahmin etmiştir. Bu çalışma, arazi kullanımı planlaması ve politika oluşturmada mekânsal etkileri dikkate almanın önemini vurgulamaktadır.

Ateş ve ark. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışma, Eskişehir kentsel alanının 1984-2020 dönemini HO-Markov modeliyle analiz ederek, 2056 yılındaki kentsel büyüme eğilimlerini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Bulgular, kentin kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda ve ulaşım aksıyla uyumlu olarak büyümesinin beklenildiğini göstermektedir. Sonuçlar, kent planlaması ve karar alıcılar için önemli bir rehberlik sunmaktadır ve planlı ve etkili kentsel stratejilerin geliştirilmesini önermektedir.

Canpolat ve Dağlı (2020), tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, Elazığ ilindeki arazi kullanımındaki değişikliklerin ve gelecekteki eğilimlerin 2030 yılına kadar nasıl şekillenebileceğini tahmin etmek için yapılmıştır. Elazığ ilindeki arazi kullanım değişiklikleri 2006 ile 2018 yılları arasında CORINE arazi kullanım haritaları kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, öncelikle mevcut arazi kullanımının belirlenmesi için 2006 ve 2018 verileri karşılaştırılmış ve analiz sonucunda şehir yerleşim alanlarının nüfus artışıyla genişlediği ve tarım arazilerinin "bitki örtüsü az alanlar", "çalı ve otsu bitkiler" ile "mera" sınıflarından kazanılan arazilerle büyüdüğü tespit edilmiştir. Ardından, gelecekteki değişikliklerin simülasyonu için Terrset ve Geosos-Flus yazılımları kullanılmış, bu simülasyonlar Elazığ ilinin arazi kullanımındaki gelecekteki eğilimleri tahmin etmek

için yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, "yerleşim alanı", "endüstriyel, ticari ve ulaşım birimleri", "maden, çöplük ve inşaat alanları" ve "yapay, tarımsal olmayan yeşil alanlar" gibi sınıflarda önemli artışlar öngörmektedir. Bu çalışma, Elazığ ilinin arazi kullanımındaki geçmiş ve gelecekteki eğilimleri anlamak ve planlamak için kapsamlı bir analiz sunmaktadır.

Huang ve ark. (2020), tarafından yapılan çalışma, Pekin'deki arazi kullanımı değişikliklerini tahmin etmek için Hücresel Otomata ve Markov modelinin birleşik bir yaklaşımını sunmaktadır. 1992-2012 dönemindeki belirgin arazi kullanımı değişikliklerinden yola çıkarak, çalışma 2020 ve 2030 için tahminler sunmaktadır. Markov zincirleri ve Hücresel Otomata modelleri, arazi kullanımı değişikliklerini hem nicelik hem de mekânsal dağılım açısından başarılı bir şekilde tahmin etmek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin arazi kullanımı tahminlerinde yüksek bir doğruluk ve güvenilirlik sağladığını göstermektedir. Çalışmanın sonucuna göre, Pekin'deki arazi kullanımı değişikliklerinin anlaşılmasına ve gelecekteki planlama ve yönetim kararlarının desteklenmesine önemli bir katkı sunacağı belirtilmiştir.

Tariq ve Shu (2020), tarafından yapılan bu çalışma, Pakistan'ın Faisalabad şehrindeki kentsel büyümenin uzun vadeli etkilerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Mevsimsel arazi yüzey sıcaklığını (LST) ve Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı tahmin etmek için bir HO-Markov yaklaşımı kullanılmıştır. Landsat verileri, 1990, 1998, 2004, 2008, 2013 ve 2018 yıllarının Mayıs ve Kasım aylarında mevsimsel Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı ve LST dağılımlarını haritalamak için kullanılmıştır. Kentin 2048 yılındaki AKÖ değişimleri ortaya konulmuştur. Araştırmacılar 2018'den 2048'e kadar olan dönemde yoğun ve düşük yoğunluklu konut alanlarının artacağını öngörmüştür. Ayrıca, yaz ve kış sıcaklıklarının belirli bölgelerdeki değişimlerini göstermişlerdir. Çalışma, kentsel planlama ve iklim değişikliği adaptasyonu için katkı sağlamaktadır.

Görentaş (2021), tarafından gerçekleştirilen “Mersin-Tarsus-Adana Hattında Şehirleşmenin Mekânsal Yapılanması ve Markov Chain Modeliyle Arazi Kullanım Senaryolarının Üretilmesi” Adlı Doktora Tezinde, Mersin, Tarsus ve Adana şehirlerinin 1989-2019 verileri kullanılarak arazi örtüsü ve kullanımı değişimleri Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak incelenmiştir. HO-Markov yöntemiyle 2031 ve 2049 yıllarına yönelik simülasyon tahminleri yapılmıştır ve bu modelle gelecekteki arazi örtüsü ve kullanımı senaryoları tahmin edilmiştir. Araştırmanın özellikle odaklandığı noktalar arasında şehirlerin mekânsal dönüşümü, doğal alanların zarar görmesi, şehirleşmenin sürdürülebilirliği ve gelecekteki arazi kullanımının etkileri bulunmaktadır. Bu çalışma, şehir planlaması ve sürdürülebilir kalkınma konularında karar vericilere yol gösterebilecek önemli bulgular sunmaktadır.

Işık(2021), “CA(Cellular Automata) Markov Modeli İle Büyük Menderes Havzası Değişim Analizi” adlı yüksek lisans tezi kapsamında, HO-Markov modeli kullanarak Büyük Menderes Havzası'nda 2009-2019 yıllarına ait Arazi Örtüsü/Alan Kullanımları haritaları kullanılarak 2050 yılı tahmini alan kullanım haritasını oluşturmuştur. Modelleme sonucuna göre, yerleşim ve tarım alanlarındaki artış, orman alanlarında azalış gözlemlenmiştir.

Raj ve Sharma (2022), tarafından yapılan bu çalışmada, Hindistanın Aravalli sıradağlarının arazi kullanımı değişiklikleri incelenmiştir. Çalışmada, 1975 ile 2059 yılları arasındaki uzun vadeli arazi kullanımı dinamiklerini değerlendirmek için uzaktan algılama ve makine öğrenimi tabanlı yöntemler, Google Earth Engine (GEE) platformunda sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART) denetimli sınıflandırma tekniği ve LCM (Arazi Değişim Modelleyicisi) TerrSet platformunda Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli kullanmıştır. Araştırmacılar, Aravalli dağsırasındaki arazi kullanımının önemli ölçüde değiştiğini ve orman alanlarının yerleşim alanlarına dönüştüğünü ve madencilik, yerleşim gibi insan kaynaklı müdahalelerin çevresel dengesizliklere yol açtığını saptamışlardır. 1975-2019 yılları arasında orman alanların %7,63 azaldığı 2059 yılında ise azalmanın %21,64 olacağı belirtmişlerdir. Bu çalışma, Aravalli dağ sırasındaki arazi kullanımı değişikliklerinin anlaşılması için önemli bir katkı sağlamaktadır

Ajiboye vd. (2022), tarafından, Isparta ilinin gelecekteki kentsel büyümesini tahmin etmek için HO-Markov Zinciri Tahmin Modeli'nin güvenilirliğini test edilmiştir. 1990, 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait farklı yıllardaki arazi kullanımı haritaları kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, öncelikle ERDAS Imagine 2015 yazılımında atmosferik düzeltme, radyometrik düzeltme ve sınıflandırma gibi işlemlerle arazi kullanım analizi gerçekleştirilmiştir. Ardından, HO-Markov Zinciri Tahmin Modeli, bu sınıflandırılmış görüntülerin tahmin edilen ve gözlemlenen arazi kullanımı arasındaki korelasyonu değerlendirerek şehrin 2010 ve 2020'deki büyümesini öngörmüştür. Çalışma sonucuna göre, Modelin Isparta'nın kentsel büyüme eğilimlerini başarıyla tahmin ettiğini ve güçlü bir pozitif korelasyon sağladığını göstermektedir. Bu çalışma, kentsel büyüme çalışmalarında ve kentsel planlamada HO-Markov Zinciri Tahmin Modeli'nin etkili bir araç olarak kullanılmasını desteklemektedir.

Altiner (2022), “Alansal Değişime Etki Eden Parametrelerin Ayvalık İlçesi Örneğinde İncelenmesi” adlı doktora tezi kapsamında, Ayvalık ilçesi’nde 1985-2020 yılları arasında Landsat uydu görüntülerini analiz etmiştir. Maksimum Likelihood algoritması ile sınıflandırma yaparak alan kullanım sınırlarını belirlemiştir. HO-Markov modeli kullanarak, 1985-2020 yılları arasında meydana gelen zamansal değişimlerini ortaya koyarak 2050 yılı tahmini alan kullanım haritasını oluşturmuştur. Çalışmanın sonucunda, Ayvalık ilçesi’nde kentsel büyümenin ve nüfus artışının, alan kullanımı ve örtüsü üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Keleş (2022), “Edirne Tunca Nehri Havzası Peyzaj Karakter Analizi Değerlendirmesi ve Peyzaj Yönetimi” adlı doktora tezi kapsamında, Tunca Nehri havzası peyzajlarının gelecekteki korunması ve yönetimi için yapılan araştırma, üç aşamalı bir metodolojiyi temel alır. İlk aşamada, doğal ve kültürel peyzaj envanteri oluşturularak peyzaj veri tabanı hazırlanmıştır. İkinci aşamada, peyzaj karakter analizi ve fonksiyon analizleri gerçekleştirilmiş ve arazi kullanımı ile iklim değişikliğinin etkileri SWAT modeli ve HADGEM2-ES modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise, peyzaj hassasiyet analizi yapılarak sektörel rehberler oluşturulmuştur. Ayrıca, gelecekteki arazi örtüsü ve kullanımının tahmin edilmesi için HÖ-Markov Zinciri yöntemi

kullanılmıştır. Bu yöntem, 2000 ve 2010 yıllarındaki arazi örtüsü sınıflarının mevcut durumdaki (2020) sınıflarla ilişkisinin değerlendirilmesiyle gelecekteki durumun (2050, 2070) tahmin edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, Tunca Nehri havzası peyzajlarının gelecekteki korunması ve yönetimi için önemli stratejik katkılar sağlayabileceği belirtilmiştir.

Tawfeeq ve Kurban (2022), tarafından, Kerkük ilindeki 2002-2018 yılları arasındaki kentsel yayılmanın değişimi, uzaktan algılama ve CBS teknolojileriyle HO-MC modelleme yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. Çalışma, Landsat görüntülerinden elde edilen verilerin kullanımıyla kentsel alanın, yerleşim alanlarının ve tarım arazilerinin arttığını, açık alanların azaldığını göstermiştir. HO-MC modeli, farklı zaman dilimleri için geçiş matrisleri oluşturarak gelecekteki arazi kullanım değişikliklerinin tahmin edilmesi sağlanmıştır. Ancak, modelin biyofiziksel ve sosyoekonomik faktörleri analiz etme yeteneği sınırlıdır. Araştırma sonuçlarına göre, Kerkük ilinin önümüzdeki 15 yıl içinde hızlı bir kentsel yayılma ile karşı karşıya kalacağını ve bu değişimin çevre üzerinde büyük bir baskı yaratacağı göstermiştir. Bu çalışma, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin kentsel arazi kullanımı çalışmalarında etkili bir şekilde kullanılabileceğini ve gelecekteki planlamalara katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca çalışma kentsel yayılmanın gelecekteki etkilerini 2030 ve 2035 yılına yönelik olarak simüle etmektedir, bu da çevresel bilinç ve gelecek planlaması için önemli bir bakış açısı sunmaktadır.

Topaloğlu (2022), tarafından gerçekleştirilen “Yüksek çözünürlüklü uydu verileri kullanılarak şehir alanlarının incelenmesi” adlı doktora tezinde, Türkiye için ekonomik ve sosyal açıdan önemli ve yüksek nüfusa sahip iki şehir olan İzmir ve İstanbul illerindeki kentsel büyüme ve değişimi araştırılmıştır. İzmir’in Gaziemir ve Buca ilçeleri ile İstanbul’un Çekmeköy ve Arnavutköy ilçelerinin, 2006-2012-2018 ve 2009-2013-2019 dönemleri incelenmiştir. Uydu görüntüleri kullanılarak arazi örtüsü/kullanım haritaları oluşturulmuş, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle analiz edilmiştir. Segmentasyon parametreleri belirlenerek doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, 2024 ve 2030 yıllarındaki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı haritaları HO-Markov yöntemiyle modellenmiş ve gelecekteki durumlar yorumlanmıştır. Bu çalışma, kentsel planlama ve yönetimde uzaktan algılama tekniklerinin önemini vurgulamakta olup, kentsel doku, tarım ve orman alanlarının değişimini belirlemede önemli bir kaynak teşkil etmektedir.

Arfasa ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada, Ganadaki Veia havzasının çevresel sürdürülebilirlik, Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı ve iklim değişikliği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu kapsamda, geçmişteki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri 1998, 2006, 2015 ve 2022 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak tanımlanmıştır. Ayrıca, gelecekteki arazi kullanımı/örtü değişimleri HO-Markov modeli kullanılarak 2038 ve 2054 yılları için gelecekteki arazi kullanım modelleri simüle edilmiştir. Araştırma sonucunda, arazi kullanımındaki değişikliklerin ve iklim değişikliğinin doğal kaynakların azalması, ekosistem bozulması ve biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi olumsuz sonuçlara neden olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, uygun politika ve uygulamaların

geliştirilmesiyle çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve doğal kaynakların korunmasının önemi vurgulanmıştır. Arazi kullanımı, arazi örtüsü ve iklim değişikliği gibi faktörlerin etkilerinin anlaşılmasının, çevresel sürdürülebilirlik için önemli bir adım olduğu belirtilmiştir.

Baidoo ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmada Ghana'daki Atwima Nwabiagya Kuzey Bölgesi'nde bulunan Owabi havzasında alan kullanımı (AK) ve arazi örtüsü (AÖ) değişikliklerinin biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri incelenmiştir. 1991 ile 2021 arasındaki dönemi ele alan çalışma, UA ve CBS kullanarak elde edilen verilerle yapılmıştır. Çalışma, QGIS yazılımında maksimum olasılık algoritmasıyla denetimli sınıflandırma yöntemini kullanarak 1991, 2001, 2011 ve 2021 yıllarına ait lu-le haritaları oluşturmuştur. Ayrıca, Molusce Eklentisi kullanılarak 2021 ile 2031 arasındaki 10 yıllık bir dönemde Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişikliklerinin olasılıkları tahmin edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, 1991'den 2021'e kadar yüksek yoğunluklu orman alanlarının azaldığını, buna karşılık yapılaşmanın arttığını göstermektedir. Ayrıca, Owabi havzası ve çevresindeki bitki ve hayvan türlerinde sürekli bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu değişikliklerin insan etkinlikleriyle ilişkilendirilerek, özellikle Kumasi Metropol Alanı'ndaki konut ve ticaret faaliyetlerinin bölgedeki yapılaşmayı artırdığı belirlenmiştir.

Coşkun (2023), tarafından yapılan çalışmada, kentsel gelişimi modellemek için uzaktan algılama(UA) veri kümeleri ve Hücresel Otomata (HO) tabanlı modellerin kullanımı incelenmiştir. İstanbul'un tarihi yarımadasında yapılan araştırmada, 1994 ve 2006 yıllarına dayanan veri kümeleriyle HO modeli kullanılarak 2018'e kadar olan kentsel gelişim simüle edilmiştir. Geçiş kurallarının tanımlanması ve modelin doğru kalibre edilmesiyle, HO modelinin arazi kullanım değişikliklerini tahmin etmede başarılı olduğu belirtilmiştir. Ancak, beklenmedik mega projeler ve kentsel politika değişiklikleri gibi faktörler, modelin tutarsızlıklarını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, gelecekte daha esnek ve çok katmanlı senaryoların kullanılması gerektiği önerilmektedir. Bu çalışma, kentsel gelişim modellerinin güvenilirliğini ve doğruluğunu artırmak için İstanbul gibi karmaşık kentsel alanlarda gelecek araştırmalar için bir çerçeve sunmaktadır.

İşınkaralar (2023), tarafından, Ankara ilindeki arazi kullanımı ve örtüsü değişiminin 1990, 2012 ve 2018 yılları CORINE verileriyle incelendiği ve 2056 yılı için gelecekteki değişimlerin öngörüldüğü bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve istatistiksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiş, hücresel özileşme ve Markov zinciri entegrasyonu ile gelecekteki arazi kullanımının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Kappa istatistiği ile modelin doğruluğu analiz edilmiştir. Çalışma, yapay alanlardaki artışın tarımsal ve sulak alanlarda azalmaya yol açtığını göstermektedir. Bu çalışma, kentsel büyüme sürecini anlamak ve planlama kararlarını desteklemek için önemli ipuçları sunmaktadır.

Toplu (2024), "Arazi kullanımının zamansal ve konumsal değişiminin markov zincirleri ile modellenmesi" adlı yüksek lisans tezi, Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiş olup, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak arazi kullanımı ve değişimleri incelenmiştir.

Çalışma, HO-Markov modeliyle 2029 yılına ait arazi kullanımını tahmin etmeyi amaçlamıştır. Elde edilen sonuçlar, kontrollü sınıflandırma yöntemiyle elde edilen arazi kullanım sınıfı haritalarının yüksek uyum gösterdiğini ve 1999 ile 2019 arasındaki 20 yıllık dönemde orman alanlarının önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuştur. Tahminler, gelecekte verimli orman alanlarının azalacağını ve boşluklu kapalı orman alanlarının artacağını öngörmektedir. Bu çalışma, HO-Markov modelinin Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama ile entegre edilerek arazi kullanımının gelecekteki eğilimlerini tahmin etmede etkili bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Gelecek arazi örtüsü ve alan kullanımı değişimlerinin modellenmesi, orman yangını riski yönetiminde öngörüye dayalı planlama yapabilmek için önemlidir. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli, bu değişimleri tahmin etmede sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Çizelge 2.3, HO-Markov modeli ile gelecekteki arazi örtüsü ve alan kullanımlarının modellenmesine yönelik yapılan önceki çalışmaların özetini sunmaktadır.



Çizelge 2.3. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli ile gelecek Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) modellenmesine yönelik çalışmalar

Yazar Adı	Kapsam	Yöntem	Sonuç
Alphan (2003)	Adana'nın şehirleşmesi ve arazi kullanım değişimi (1984-2000) incelenmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak şehrsel gelişim analizi yapılmıştır.	Adana'da şehir alanlarının ikiye katlandığı, büyümenin tarım alanlarında ve yarı doğal alanlarda gerçekleştiği tespit edilmiştir.
Opeyemi (2006)	Nijerya, Ilorin bölgesinde arazi kullanımı ve örtüsü değişimi (1972-2001) incelenmiştir.	CBS, uzaktan algılama, Markov Zinciri ve Hücresel Otomata kullanılmıştır.	Büyümenin 1972-1986 döneminde hızlı, 1986-2001 döneminde ise yavaşladığı tespit edilmiştir.
Ye ve Bai (2008)	Çin, Heilongjiang Eyaleti'nde arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir (1985-2000).	Uzaktan algılama ve CBS ile HO-Markov modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.	Ormanlık alanlar %49.46'dan %39.03'e düşmüş, tarım arazileri %26.02'den %37.42'ye yükselmiştir.
Kamusoko (2009)	Zimbabve'de arazi kullanım değişimi ve gelecekteki değişikliklerin tahmini yapılmıştır.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.	Doğal alanların %23'ü yerleşim alanlarına dönüşmüş, gelecekte kentsel alanların daha fazla yayılacağı belirlenmiştir.
Aydın (2011)	Ankara'nın kentsel büyüme dinamikleri incelenmiştir.	CBS ve Hücresel Otomata modelleri kullanılarak kentsel büyüme analizi yapılmıştır.	Modern konut alanları, kamu binaları ve sanayi bölgelerinin şehirleşme üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.
Falahatkar ve ark. (2011)	İran'ın Isfahan şehri çevresindeki arazi örtüsü değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli ile arazi örtüsü değişim analizi yapılmıştır.	Plansız kentsel gelişme nedeniyle doğal alanların azaldığı belirlenmiştir.
Kim ve ark. (2011)	Güney Kore'deki arazi kullanım değişimi ve gelecekteki senaryolar incelenmiştir.	HO-Markov modeli ile CBS kullanılarak arazi değişim analizi yapılmıştır.	Çalışmada tarım alanlarının yerleşim yerlerine dönüşüm oranlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir.
Wang ve ark. (2011)	Çin, Xi ve Guanzhong-Tianshui bölgesindeki arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	Uzaktan algılama verileri ve HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki arazi kullanım senaryoları oluşturulmuştur.	Tarım alanlarının ve çayırların azaldığı, inşaat alanlarının arttığı tespit edilmiştir.
Roy ve ark. (2012)	Hindistan, Kolkata'daki arazi örtüsü değişimleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak kentsel büyüme dinamikleri analiz edilmiştir.	Kentsel alanların %46 oranında genişlediği ve orman alanlarının küçüldüğü saptanmıştır.
Doygun ve ark. (2013)	Türkiye, Hatay'da kentsel alan genişlemesi ve arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecek arazi kullanım senaryoları üretilmiştir.	Kentsel genişlemenin tarım alanları üzerinde büyük bir baskı oluşturduğu belirtilmiştir.
Tunçay ve ark. (2013)	Konya'daki kentsel genişleme ve arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli ve CBS kullanılarak gelecekteki arazi kullanım senaryoları oluşturulmuştur.	Konya'nın şehirleşme hızının tarım alanlarına zarar verdiği belirlenmiştir.

Çizelge 2.3. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli ile gelecek Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) modellenmesine yönelik çalışmalar (Devamı)

Al-Sharif ve Pradhan (2014)	Suudi Arabistan'daki Mekke şehrinin kentsel büyümesi ve arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	Kentsel alanlar önemli ölçüde genişlemiş, doğal alanlar ise azalmıştır.
Huang ve ark. (2015)	Çin'in doğusundaki kentsel gelişim ve arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ve uzaktan algılama verileri kullanılarak gelecekteki değişimler tahmin edilmiştir.	Kentsel genişleme tarım alanları üzerinde baskı oluşturmuş, doğal alanlar küçülmüştür.
Singh ve ark. (2015)	Hindistan, Allahabad bölgesindeki arazi kullanım ve örtüsü değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli, uzaktan algılama ve CBS teknikleri kullanılarak analiz yapılmıştır.	Tarım arazilerinin genişlediği, doğal kaynakların baskı altında olduğu belirlenmiştir.
Yang ve ark. (2015)	Çin'in doğusunda yer alan tarım alanları ve kentsel gelişim senaryoları incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki kentsel büyüme tahmin edilmiştir.	Tarımsal alanlar üzerindeki baskının gelecekte daha da artacağı tespit edilmiştir.
Berberoğlu ve ark. (2016)	Türkiye'deki Akdeniz bölgesinde arazi kullanım değişimi ve iklim değişikliğinin etkileri incelenmiştir.	HO-Markov modeli ve iklim verileri kullanılarak arazi değişim analizi yapılmıştır.	İklim değişikliğinin doğal alanlar üzerinde olumsuz etkileri tespit edilmiştir.
Hyandye ve Martz (2017)	Tanzanya'nın Arusha bölgesinde arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki arazi kullanım senaryoları oluşturulmuştur.	Kentsel alanların hızla büyüdüğü, tarım alanlarının baskı altında olduğu belirlenmiştir.
Vazquez ve ark. (2016)	Meksika, Guanajuato'da arazi kullanım değişimi ve gelecekteki senaryolar incelenmiştir.	HO-Markov modeli ve uzaktan algılama kullanılarak analiz yapılmıştır.	Kentsel alanların genişlediği, doğal alanların baskı altında olduğu belirlenmiştir.
Gidey ve ark. (2017)	Etiyopya'nın Tigray bölgesindeki arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak arazi kullanım senaryoları oluşturulmuştur.	Tarım alanları genişlerken doğal alanların azaldığı gözlemlenmiştir.
Karip ve Göksel (2017)	Türkiye, Marmara bölgesindeki arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ile gelecekteki arazi kullanım senaryoları tahmin edilmiştir.	Kentsel alanların genişlediği, tarım alanlarının küçüldüğü belirlenmiştir.
Cengiz (2019)	Türkiye'nin Trakya bölgesinde arazi kullanım değişimi analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	Kentsel alanlar genişlemiş, doğal alanlar küçülmüştür.
Keleş (2019)	Türkiye'deki orman alanları ve kentsel genişleme senaryoları incelenmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki orman alanları tahmin edilmiştir.	Orman alanlarının azaldığı, kentsel alanların hızla genişlediği tespit edilmiştir.
Ren ve ark. (2019)	Çin'in batısındaki arazi kullanım değişimleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ve uzaktan algılama verileri kullanılarak analiz yapılmıştır.	Tarım ve doğal alanların yerleşim yerlerine dönüştüğü tespit edilmiştir.
Shade ve Kremer (2019)	Brezilya Amazon bölgesindeki arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki arazi kullanım değişimleri tahmin edilmiştir.	Ormanlık alanların azaldığı ve yerleşim alanlarının genişlediği belirlenmiştir.
Akın ve Erdoğan (2020)	Türkiye, Ege bölgesindeki tarımsal alanlar ve kentsel genişleme analiz edilmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.	Kentsel genişleme tarım alanlarını tehdit etmektedir.

Çizelge 2.3. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli ile gelecek Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) modellenmesine yönelik çalışmalar (Devamı)

Al-Shaar ve ark. (2021)	Lübnan'daki kentsel büyüme ve arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.	Kentsel genişlemenin doğal alanlar üzerinde ciddi etkileri olduğu tespit edilmiştir.
Ateş ve ark. (2020)	Türkiye'nin doğusunda arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecek senaryoları oluşturulmuştur.	Tarım ve yerleşim alanlarının genişlediği, orman alanlarının azaldığı belirlenmiştir.
Canpolat ve Dağlı (2020)	Türkiye'deki orman ve tarım alanlarının değişimi analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ve CBS kullanılarak analiz yapılmıştır.	Orman alanlarının yerleşim ve tarım alanlarına dönüştüğü tespit edilmiştir.
Huang ve ark. (2020)	Çin'in kırsal bölgelerinde arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	Kırsal alanların kentsel alanlara dönüşme oranı yüksek bulunmuştur.
Tariq ve Shu (2020)	Pakistan'da arazi kullanım değişimi ve gelecekteki senaryolar analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ve uzaktan algılama kullanılarak analiz yapılmıştır.	Tarım alanlarının genişlediği, doğal alanların azaldığı tespit edilmiştir.
Görentaş (2021)	Türkiye'nin Batı Anadolu bölgesinde arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki kentsel büyüme senaryoları oluşturulmuştur.	Kentsel alanların hızla genişlediği, tarım alanlarının küçüldüğü tespit edilmiştir.
Işık (2021)	Türkiye'deki kıyı bölgelerindeki arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli kullanılarak gelecek tahminleri yapılmıştır.	Kıyı bölgelerindeki hızlı kentleşmenin doğal alanlara zarar verdiği belirlenmiştir.
Raj ve Sharma (2022)	Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesindeki arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli ile arazi değişim senaryoları oluşturulmuştur.	Tarım ve yerleşim alanlarının genişlediği, orman alanlarının azaldığı belirlenmiştir.
Ajiboye ve ark. (2022)	Nijerya'da arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ve uzaktan algılama kullanılarak analiz yapılmıştır.	Yerleşim alanları genişlerken ormanlık alanların küçüldüğü gözlemlenmiştir.
Altınar (2022)	Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecek senaryoları oluşturulmuştur.	Kentsel alanların hızla genişlediği, doğal alanların küçüldüğü tespit edilmiştir.
Keleş (2022)	Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde orman ve tarım alanlarının değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli ve CBS kullanılarak analiz yapılmıştır.	Orman alanlarının azalacağı, tarım ve yerleşim alanlarının genişleyeceği öngörülmüştür.
Tawfeeq ve Kurban (2022)	Irak'taki kentsel alanların genişlemesi ve arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki kentsel büyüme senaryoları oluşturulmuştur.	Kentsel genişleme doğal alanlar üzerinde baskı oluşturmıştır.
Topaloğlu (2022)	Türkiye, İstanbul'daki arazi kullanım değişimi incelenmiştir.	CBS ve HO-Markov modeli ile analiz yapılmıştır.	Kentsel genişlemenin doğal alanlar üzerindeki baskısının artacağı tespit edilmiştir.
Arfa ve ark. (2023)	Etiyopya'daki arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak analiz yapılmıştır.	Kentsel alanlar genişlemiş, tarım alanları ve doğal alanlar küçülmüştür.

Çizelge 2.3. Hücresel Otomata-Markov (HO-Markov) modeli ile gelecek Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) modellenmesine yönelik çalışmalar (Devamı)

Baidoo ve ark. (2023)	Gana'da arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecek senaryoları oluşturulmuştur.	Orman alanlarının tarım alanlarına dönüştüğü belirlenmiştir.
Coşkun (2023)	Türkiye, Karadeniz Bölgesi'nde arazi kullanım değişiklikleri analiz edilmiştir.	HO-Markov modeli ile gelecek arazi kullanım senaryoları oluşturulmuştur.	Kentsel alanların genişleyeceği, tarım alanlarının azalacağı tespit edilmiştir.
Işınkaralar (2023)	Türkiye'nin kıyı şeridindeki arazi kullanım değişiklikleri incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecekteki kentsel büyüme tahmin edilmiştir.	Kıyı bölgelerinde kentsel genişlemenin doğal alanlara zarar verdiği belirlenmiştir.
Toplu (2024)	Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde arazi kullanım değişimi ve kentsel genişleme incelenmiştir.	HO-Markov modeli kullanılarak gelecek tahminleri yapılmıştır.	Marmara Bölgesi'nde kentsel genişleme hızla artacak ve tarım alanları küçülecektir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanı

Türkiye’de orman yangınlarının sık görüldüğü bölgeler, Akdeniz ve Ege kıyılarında yer almaktadır. Bu bölgeler arasında İzmir ili ve çevresi, yangın riski açısından öne çıkan alanlardan biridir. İzmir’in Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçeleri, Akdeniz ikliminin etkisiyle sıcak ve kurak yaz aylarını deneyimlemekte, bu durum yangın riskini artırabilecek bir etken olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda, bu ilçelerin yoğun orman ve maki örtüsüne sahip olması, yangın olasılığını artırabilecek özellikler arasında yer almaktadır. Bu nedenlerle, bölge yangın riski analizi için uygun bir çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Bu ilçelerin çalışma alanı olarak seçilmesinde kentsel gelişim ve turizm faaliyetlerinin orman alanları üzerindeki etkileri de önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda bölgede artan yapılaşma, özellikle turistik tesisler ve ikinci konut projelerinin yaygınlaşmasıyla dikkat çekmektedir. Bu tür gelişmelerin orman ekosistemlerine olan etkileri, yangına hassas alanların genişlemesine katkıda bulunabilir. Bu durum, kentsel gelişim ve yangın riski arasındaki ilişkinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmaktadır.

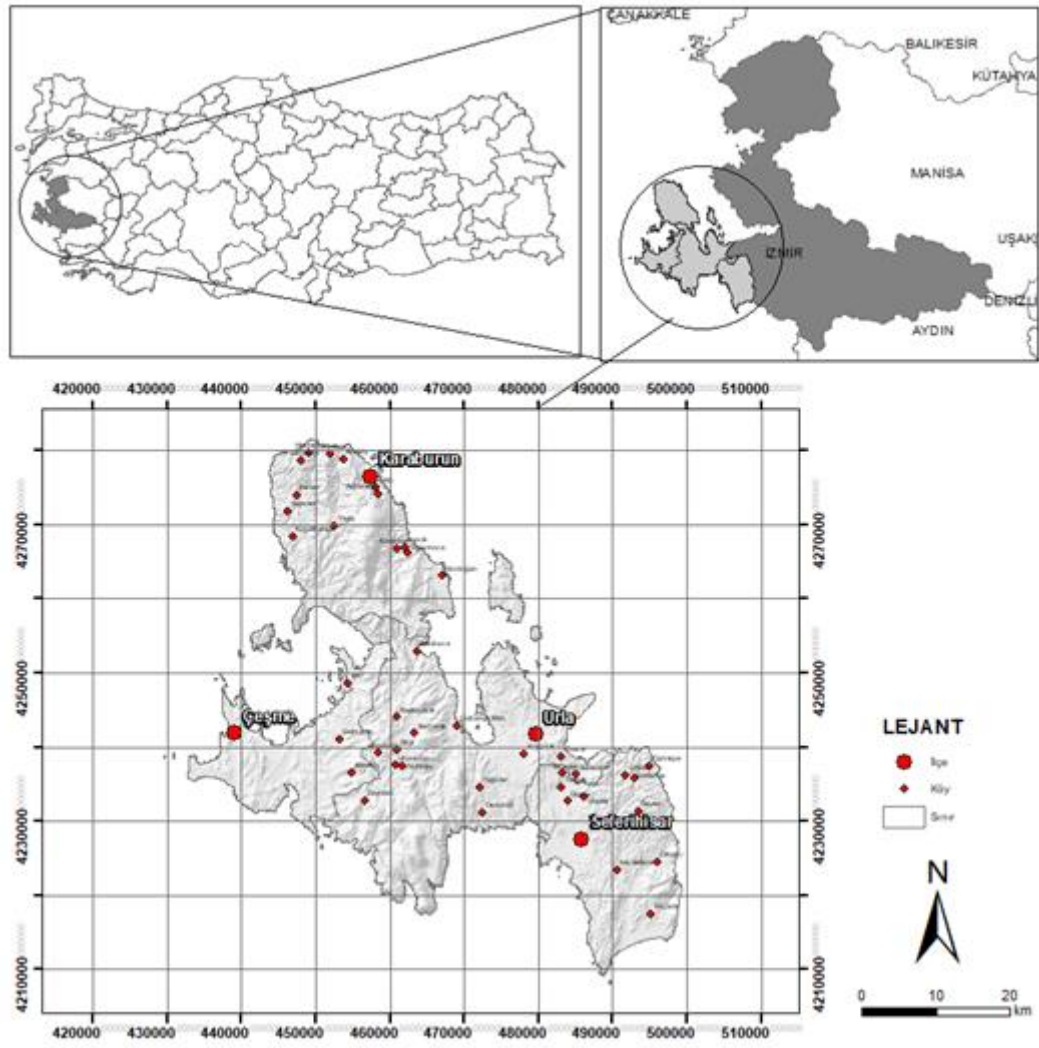
Bölgenin çalışma alanı olarak tercih edilmesinde, veri çeşitliliği ve erişim kolaylığı da etkili olmuştur. CORINE Arazi Örtüsü veri seti sayesinde 1990, 2006 ve 2018 yıllarına ait arazi kullanım değişimleri analiz edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, meteorolojik, topografik ve demografik verilere ulaşılabilir olması, çalışmanın kapsamını genişletmektedir. Bölgede geçmiş yangın çıkış noktalarına dair kayıtların bulunması, yangın riski haritalarının hazırlanmasında önemli bir katkı sağlamaktadır.

Tüm bu unsurlar göz önüne alındığında, İzmir’in Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçeleri, yangın riski ile kentsel gelişim arasındaki ilişkiyi analiz etmek için anlamlı bir çalışma alanı sunmaktadır.

Çalışma alanlarının seçilmesinde orman-yerleşim etkileşimlerine dayalı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu etkileşimin derecesine dayalı olarak örnek alanlar belirlenmiştir. Örnek alanların sayısı ve büyüklüğü yapılan ön değerlendirmeler sonucunda ortaya konulmuştur.

Çalışma alanı; Ege Bölgesi'nin batısında yer alan Çeşme, Karaburun, Urla ve Seferihisar ilçeleri, Türkiye'nin batı kıyısında, İzmir iline bağlıdır. Bu ilçeler Ege Denizi kıyılarında yer alır. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü (İOBM), Gaziemir Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Çeşme, Karaburun, Urla, Seferihisar, Güzelbahçe, Menderes ve Yeniköy Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunmaktadır.

Çalışma alanı 38° 40' 52", 38° 1' 19" kuzey enlemleri ile 26° 59' 32", 26° 11' 38" Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma Alanı Lokasyon Haritası

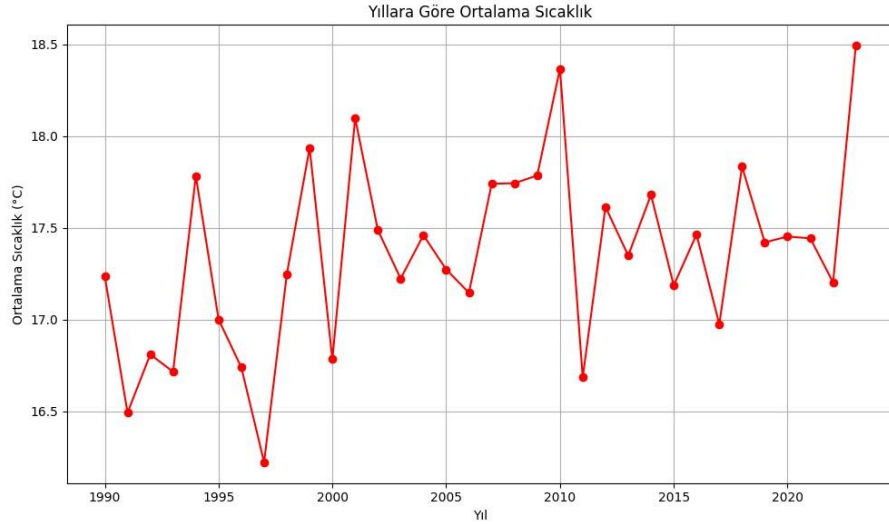
Seferihisar, İzmir'in güneydoğusunda, Çeşme ise İzmir'in batısında, Urla ve Karaburun ise İzmir'in kuzeyinde konumlanmıştır. Dolayısıyla, bu ilçeler Ege Denizi kıyısında, İzmir'in batı kısmında yer alır. Bu coğrafi konumları, iklim, bitki örtüsü ve diğer coğrafi özellikler üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

3.1.2. İklim

İzmir ili, Orta Enlem kuşağında, denizel etkilere açık bir konumda bulunmaktadır. Ege Denizi'nin kıyısında yer alır. Kıyı Ege şeridinin tektonik özelliklerinden kaynaklanan bu konum, İzmir'in iklimini belirlemekte önemli bir rol oynamaktadır. İzmir'in iklimi, genel olarak Akdeniz iklimi karakteristiklerini yansıtmaktadır. Bu iklim tipinde, yazlar genellikle sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve bol yağışlı geçer. İzmir'in coğrafi yapısı, iklimde belirgin farklılıklara yol açmaktadır. İl genelinde rakım ve denizden uzaklık gibi faktörler, iklimsel çeşitliliklere neden olur. Deniz ve kıyı etkileri nedeniyle kıyı kesimlerde daha ılıman ve nemli bir iklim hüküm sürerken, iç kesimlerde daha

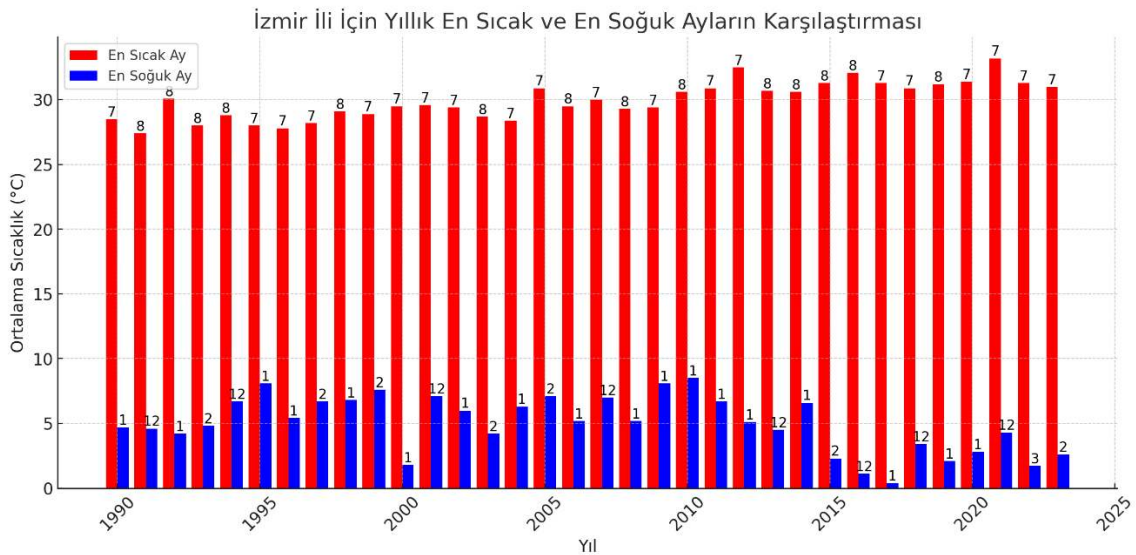
karasal bir iklim görülür. Bu nedenle, özellikle yüksek rakımlı bölgelerde ve iç kesimlerde, Akdeniz iklimi ile karasal iklimin karışımı olan geçiş iklimi yaşanmaktadır.

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi, Çalışma alanının 1990-2023 Yılları yıllık Ortalama Sıcaklık 16.5 C ile 18.5 arasında değişmektedir.



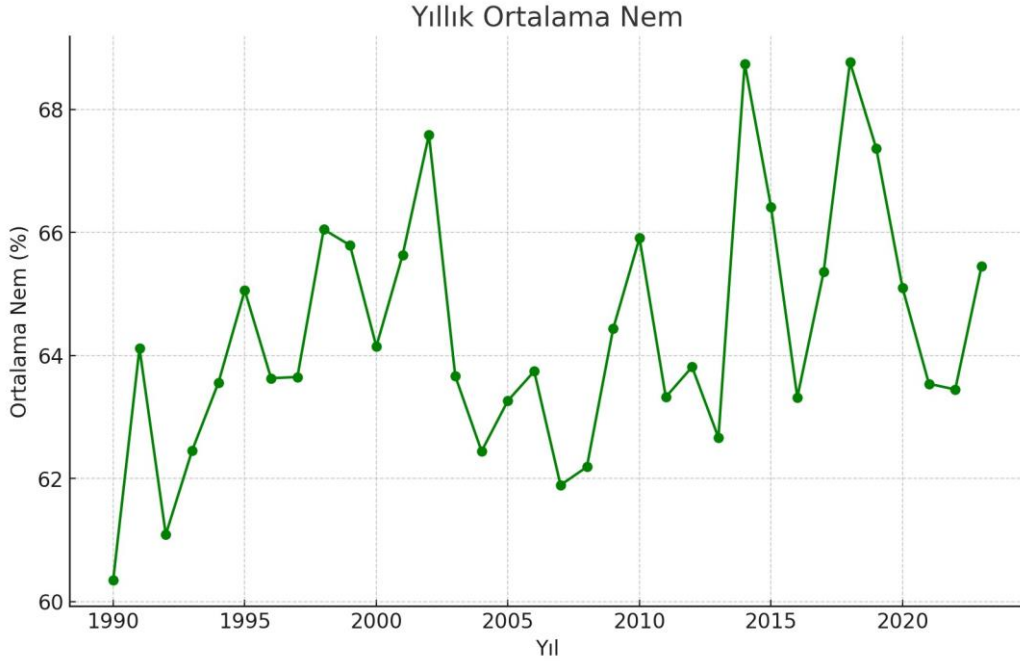
Şekil 3.2. 1990-2023 Yıllarına Göre Ortalama Sıcaklık Değişim Grafiği (MGM, 2023)

Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi, En yüksek sıcaklıklar genellikle 28°C ile 32°C arasında değişirken, en düşük sıcaklıklar 3°C ile 7°C arasında seyretmektedir. En sıcak ayların Temmuz ve Ağustos aylarında, en soğuk ayların ise, Ocak ve Şubat aylarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu dağılım, İzmir ilinin Akdeniz iklimiyle uyumludur.



Şekil 3.3. 1990-2023 Yıllarında İzmir'in En Sıcak ve En Soğuk Aylarına Ait Ortalama Sıcaklık Grafiği (MGM, 2023)

Şekil 3.4. de görüldüğü gibi, çalışma alanının 1990-2023 Yılları yıllık Ortalama nem değerleri, %60.3 ve %68.8 arasında değişmektedir.



Şekil 3.4. Çalışma Alanının 1990-2023 Yılları Arasında Yıllık Ortalama Nem Değerleri (MGM, 2023)

Rüzgar, İzmir'in iklimini etkileyen önemli bir faktördür. Genellikle hâkim rüzgar yönü güneydoğudur; ancak, Mayıs ile Eylül ayları arasında batıdan esen imbat rüzgarları etkilidir (İKTM, 2024). Bu rüzgarlar, özellikle kıyı kesimlerde serinletici bir etki yaratır ve deniz turizmi için uygun koşullar sağlar. İzmir'in iklimi genel olarak Akdeniz iklimi karakteristiklerini taşıırken, coğrafi farklılıklar ve rüzgarların etkisiyle çeşitli mikroiklimler görülebilir. Bu iklimsel özellikler, tarım, turizm ve yaşam kalitesi gibi alanlarda önemli etkilere sahiptir.

3.1.3. Bitki Örtüsü

İzmir'in batısında yer alan Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçeleri, hem doğal bitki örtüsü hem de orman yangınlarına karşı duyarlılık açısından büyük bir öneme sahiptir. Akdeniz ikliminin etkisi altında şekillenen bu bölgeler, zengin biyolojik çeşitlilik barındırmakta ve insan faaliyetlerinin yoğunlaşmasıyla ekosistemlerin korunması daha da zorlaşmaktadır. Bölgedeki doğal bitki örtüsü, Akdeniz'e özgü orman ekosistemleri ve maki florasıyla önemli bir biyolojik mozaik oluşturur. Aynı zamanda bu alanlar, yangın riskinin yüksek olduğu bölgeler arasında yer almakta, bu nedenle yangın yönetimi, ekosistem hizmetlerinin korunması için kritik bir rol oynamaktadır (Yarımada Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, 2014).

Çalışma alanında, Akdeniz iklimine özgü bitki türleri geniş bir yelpazede yayılım göstermektedir. Deniz seviyesinden yüksek rakımlara kadar değişen coğrafyada, bitki örtüsü farklı ekolojik zonlar halinde gelişmiştir. Maki florası, ormanlık alanlar ve geniş yapraklı ağaçlar, bu

bölgelerin doğal zenginliklerini oluşturan başlıca bitki topluluklarıdır (Erol, 2020). Deniz seviyesinden 600 metreye kadar uzanan alanlarda, maki bitki örtüsü baskın bir şekilde yer almakta ve Akdeniz iklimine adapte olmuş, herdem yeşil, çalı ve ağaççık türlerinden oluşan bu topluluk, yangın ekolojisinde önemli bir rol oynamaktadır (Altun, 2006).

Karaburun ve Çeşme'nin taşlık alanlarında yayılım gösteren kocayemiş (*Arbutus unedo*), yangına karşı dayanıklı olup, yangın sonrası hızla yeniden sürgün verebilme yeteneğine sahiptir (Çilingiroğlu ve ark., 2018). Urla ve Seferihisar'da yaygın olarak bulunan defne (*Laurus nobilis*), yangın sonrası köklerinden sürgün vererek ekosistemin toparlanmasına katkı sağlamaktadır (Yarımada Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, 2014). Ayrıca, Karaburun, Urla ve Seferihisar'da geniş tarım alanlarına yayılan zeytin (*Olea europaea*), yangınlara karşı hassas olmakla birlikte, doğru bir yangın yönetimi ile korunabilmektedir (Körhasan ve Tecim, 2022). Çeşme ve Karaburun'da görülen pınal meşesi (*Quercus ilex*), yangına dayanıklı olup, yangın sonrası hızla sürgün verebilen bir türdür (Ergin, 2022). Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua*) ise özellikle Karaburun ve Urla'da yaygın olan, ekonomik değeri yüksek ve yangına dayanıklı bir bitki türüdür (Çilingiroğlu ve ark., 2018).

Çalışma alanının üst kotlarında, maki florasının üzerinde iğne yapraklı ormanlar yer almakta olup, bu ormanlar yangın riski yüksek bölgeler arasında bulunmaktadır ve Akdeniz ormanlarının karakteristik yapısını oluşturmaktadır (Gür & Nemutlu, 2022). Karaburun Yarımadası, Çeşme ve Urla'da baskın olan kızılçam (*Pinus brutia*), yangın sonrası hızla tohumlarla yenilenme kabiliyetine sahip bir ağaç türüdür (Yarımada Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, 2014). Ayrıca, Urla ve Çeşme'de ekonomik değeri yüksek fıstık çamı (*Pinus pinea*) ormanları bulunmaktadır ve bu alanlar yangın riskine karşı ekonomik zarar potansiyeli taşımaktadır (Çakmak, 2022). Seferihisar ve Karaburun'un yüksek rakımlı alanlarında ise karaçam (*Pinus nigra*) ormanları bulunmakta olup, yangına dayanıklı olmalarına rağmen büyük yangınlarda zarar görebilmektedir (Keeley, 2012; Christopoulou ve ark., 2014).

Dere yatakları boyunca bulunan geniş yapraklı ağaçlar, yangın ekolojisinde su tutma kapasiteleri ve yangına dirençli yapıları ile önemli bir rol oynamaktadırlar (Çakmak, 2022). Karaburun ve Seferihisar'daki dere yataklarında yaygın olarak görülen çınar (*Platanus orientalis*), yangına karşı dirençli bir ağaç türüdür (Gür & Nemutlu, 2022). Aynı zamanda dere yataklarında yayılım gösteren kavak (*Populus spp.*) ve söğüt (*Salix spp.*) ağaçları, yangının yayılmasını engelleyerek doğal bir bariyer oluşturma işlevi görmektedir (Altun, 2006).

Çalışma alanında ekonomik açıdan önemli olan bitki türlerinin yangınlara karşı korunması da büyük önem taşımaktadır (Körhasan ve Tecim, 2022). Özellikle zeytinlikler ve fıstık çamı üretim alanları, yangın sonrası ekonomik kayıplara neden olabileceğinden, bu türlerin korunması için etkili yangın yönetim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir (Çakmak, 2022).

Çizelge 3.1.'de, çalışma alanındaki bitki türlerinin yangına dayanıklılık özelliklerine göre sınıflandırılmasını sunmaktadır. Bu çizelge, yangına dayanıklı ve dayanıksız bitkilerin ekolojik

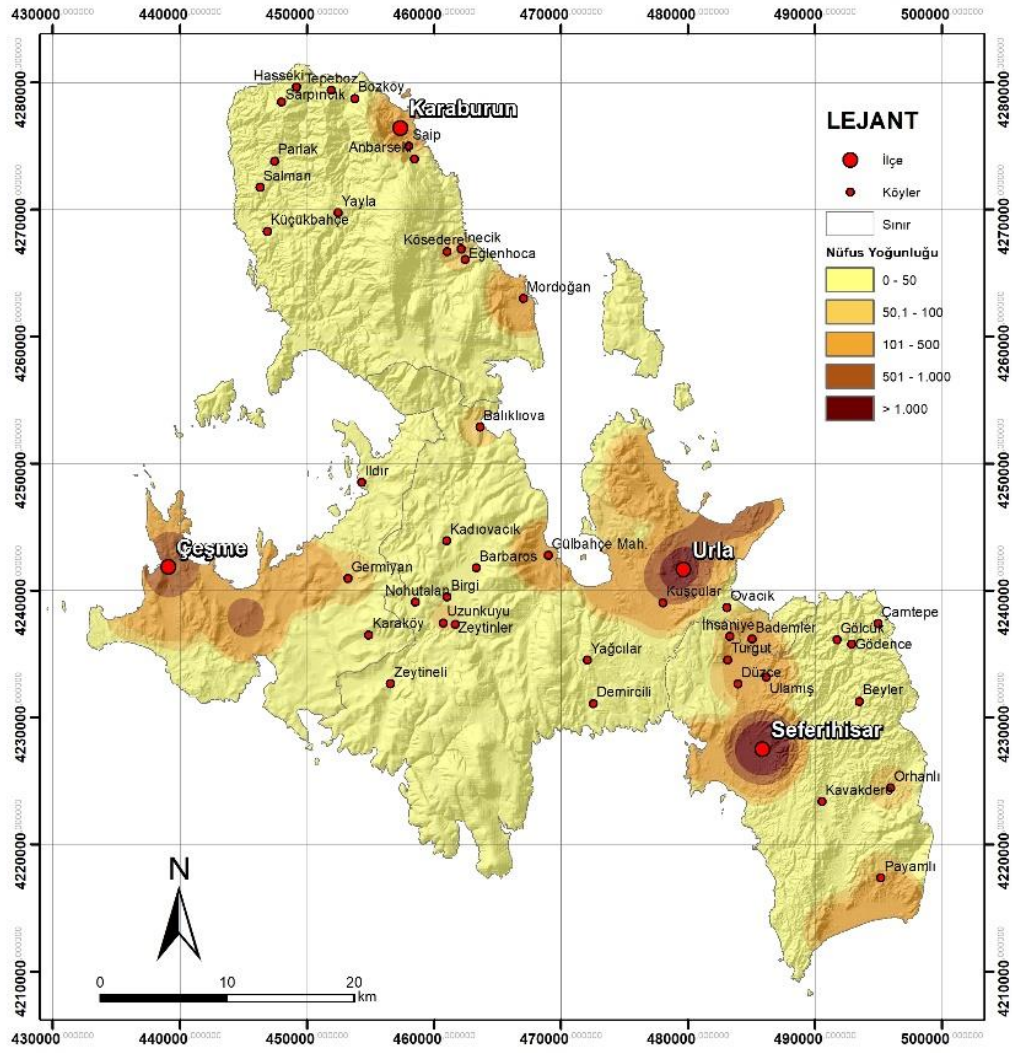
rollerine göre değerlendirildiği bir yapıdadır ve yangın sonrası ekosistem toparlanma süreçlerine katkıları göz önünde bulundurulmaktadır.

Çizelge 3.1. Yangına dayanıklı ve dayanıksız bitki türleri

Yangına dayanıklılık	Bitki Türü	Bilimsel Adı	Bölge	Ekolojik Rol	Kaynak
Dayanıklı	Kocayemiş	<i>Arbutus unedo</i>	Karaburun, Çeşme	Yangın sonrası hızlı yenilenme	Çilingiroğlu ve ark., 2018
Dayanıklı	Defne	<i>Laurus nobilis</i>	Urla, Seferihisar	Yangın sonrası köklerden sürgün verme	Yarımada Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, 2014
Dayanıksız	Zeytin	<i>Olea europaea</i>	Karaburun, Urla, Seferihisar	Yangına karşı dikkatli yönetim gerektirir	Körhasan ve Tecim, 2022
Dayanıklı	Pırnal Meşesi	<i>Quercus ilex</i>	Çeşme, Karaburun	Yangın sonrası hızlı yenilenme	Ergin, 2022
Dayanıklı	Keçiboynuzu	<i>Ceratoniasiliqua</i>	Karaburun, Urla	Yüksek ekonomik değere sahip	Çilingiroğlu ve ark., 2018
Dayanıksız	Kızılcām	<i>Pinus brutia</i>	Karaburun, Çeşme, Urla	Yangın sonrası tohumlarla hızla yenilenir	Yarımada Sürdürülebilir Kalkınma Stratejisi, 2014
Dayanıksız	Fıstık Çamı	<i>Pinus pinea</i>	Urla, Çeşme	Ekonomik değeri yüksek, yangından zarar görebilir	Çakmak, 2022
Dayanıksız	Karaçam	<i>Pinus nigra</i>	Seferihisar, Karaburun	Genel olarak yangına dayanıklıdır. Bu dayanıklılık yangın sonrası yenilenme açısından sınırlıdır	Keeley,2012; Christopoulou ve ark. 2014
Dayanıklı	Çınar	<i>Platanus orientalis</i>	Karaburun, Seferihisar	Yangına dirençli, doğal bariyer görevi görür	Gür & Nemutlu, 2022; Altun, 2006
Dayanıklı	Kavak	<i>Populus spp.</i>	Dere yatakları	Yangının yayılmasını engelleyerek doğal bariyer görevi görür	Altun, 2006
Dayanıklı	Söğüt	<i>Salix spp.</i>	Dere yatakları	Yangının yayılmasını engelleyerek doğal bariyer görevi görür	Altun, 2006

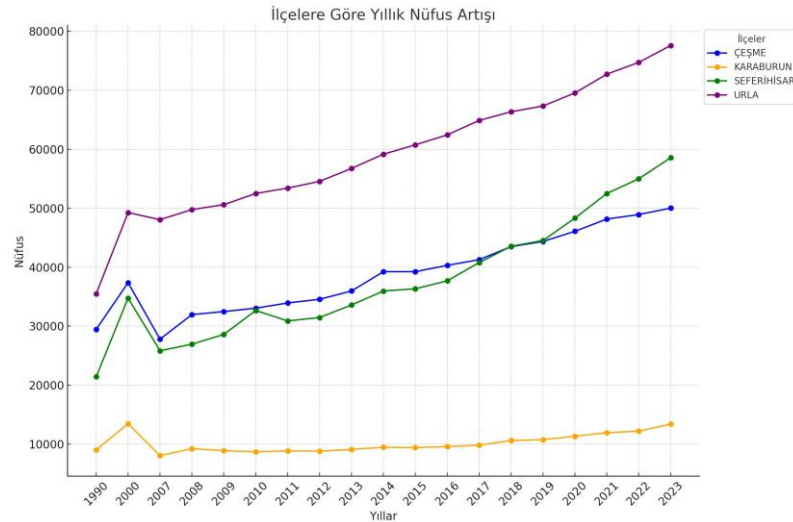
3.1.4. Nüfus ve Yerleşim

İzmir ili, coğrafi yüzölçümü olarak Türkiye'nin 23. büyük şehri olup, nüfus yoğunluğu bakımından İstanbul ve Ankara'dan sonra ülkedeki en kalabalık üçüncü şehirdir. TÜİK verilerine göre, İzmir TR 31 Bölgesi'nde bulunmaktadır ve ülke nüfusunun %5,25'ine ev sahipliği yapmaktadır. İzmir'in nüfusu ADNKS sonuçlarına göre 1990 yılında 2.694.770 kişi iken, 2023 yılında 4.479.525 kişiye yükselmiştir. Bu süre zarfında ilçeler bazında da belirgin bir nüfus artış yaşanmıştır. Şekil 3.5.'te Çalışma Alanı Nüfus Yoğunluğu Haritası gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışma Alanı Nüfus Yoğunluğu Haritası (TÜİK, 2023)

1990-2023 yılları arası nüfus, Çeşme ilçesinde %70, Karaburun ilçesinde %48, Urla ilçesinde %119 ve Seferihisar ilçesinde %174'lik bir artış göstermiştir (Şekil 3.6.). Bu veriler, İzmir ili genelinde sürekli bir nüfus artışı eğilimi olduğunu göstermektedir. Turistik illerden biri olması, turizm etkinliklerinin yoğun bir şekilde gerçekleştirilmesi, Anadolu'dan bölgeye olan yoğun göç hareketine bağlı nüfus artışı, tarımsal faaliyetlerin çeşitliliği ve yıl boyu süregelmesi sebepleriyle insan kaynaklı orman yangınları açısından İzmir ili büyük bir risk taşımaktadır. Bu durum, kentteki yerleşim alanlarının ve altyapısının bu artan nüfusa uygun şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.6. Çalışma Alanını Oluşturan İlçelerin Nüfus Artışı (TÜİK, 2023)

3.1.5. CBS Veri Tabanı

Yangın riskini etkileyen meşcere (Yanıcı Madde) faktörleri; ağaç tür kompozisyonu, gelişim çağı ve meşcere kapalılığı kabul edilmiştir. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan 2015 tarihli sayısal meşcere (Yanıcı Madde) Özellikleri altlık haritaları, orman amenajman veri tabanından temin edilmiştir. Bu haritalar kullanılarak bitki örtüsünü temsil eden ağaç tür kompozisyonu, gelişim çağı ve meşcere kapalılığı haritaları yeniden sınıflandırılmıştır.

Yangın riskini etkileyen topografya faktörleri; eğim, bakı, yükseklik kabul edilmiştir. Topografya unsurlarını (yüksekti, eğim, bakı) belirlemek için 30x30 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır.

Yangın riskini etkileyen iklim faktörleri olarak sıcaklık, nem ve rüzgar hızı kabul edilmiştir. İklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan bültenlerden temin edilmiştir. Sıcaklık verisi, WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) adresinden raster veri olarak indirilmiştir. Rüzgar hızı verisi ise WindAtlas (<https://globalwindatlas.info/en>) platformundan edinilmiştir. Nem verisi için MGM kaynaklı veriler kullanılırken, diğer veriler MGM verileriyle karşılaştırılarak sıcaklık için WorldClim ve rüzgar hızı için World Atlas'tan indirilen veriler kullanılmıştır. Raster haritalardan yararlanılarak ArcGIS 10.8 programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Yangın riskini etkileyen antropojenik faktörler arasında; yola uzaklık, tarım alanına uzaklık, yerleşime uzaklık, enerji nakil hattına uzaklık kabul edilmiştir.

Tarım ve Yerleşim verisi, Orman amenajman veri tabanında bulunan İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan 2015 tarihli sayısal meşcere (yanıcı madde) Özellikleri Altlık haritaları kullanılarak üretilmiştir.

İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan 2015 tarihli sayısal meşcere altlık haritası, orman amenajman veri tabanından temin edilmiştir. Bu harita kullanılarak antropojenik faktörler arasında yer alan tarım alanına uzaklık, yerleşim alanına uzaklık haritaları yeniden sınıflandırılmıştır.

Yol ve nehir verileri OpenStreetMap web sitesinden (<https://www.openstreetmap.org>) elde edilmiştir.

Enerji nakil hattı (ENH) verisi Harita Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğünden, 2013-2023 yılları arasında çalışma alanında gerçekleşen yangınlarla ilgili koordinat bilgileri temin edilmiştir.

Risk faktörlerine ait sayısal veri katmanları, İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen orman meşcere haritası (1:25000) ve topografik haritalar (1:25000) esas alınarak üretilmiştir. Çalışmada CBS analizleri ArcGIS 10.8, TerrSet 2020 yazılımları kullanılarak yapılmıştır.

AÖ/AK İzmir Orman Bölge Müdürlüğü'nden alınan 2015 tarihli sayısal meşcere (Yanıcı Madde) Özellikleri altlık haritaları, orman amenajman veri tabanından temin edilmiştir.

3.2. Yöntem

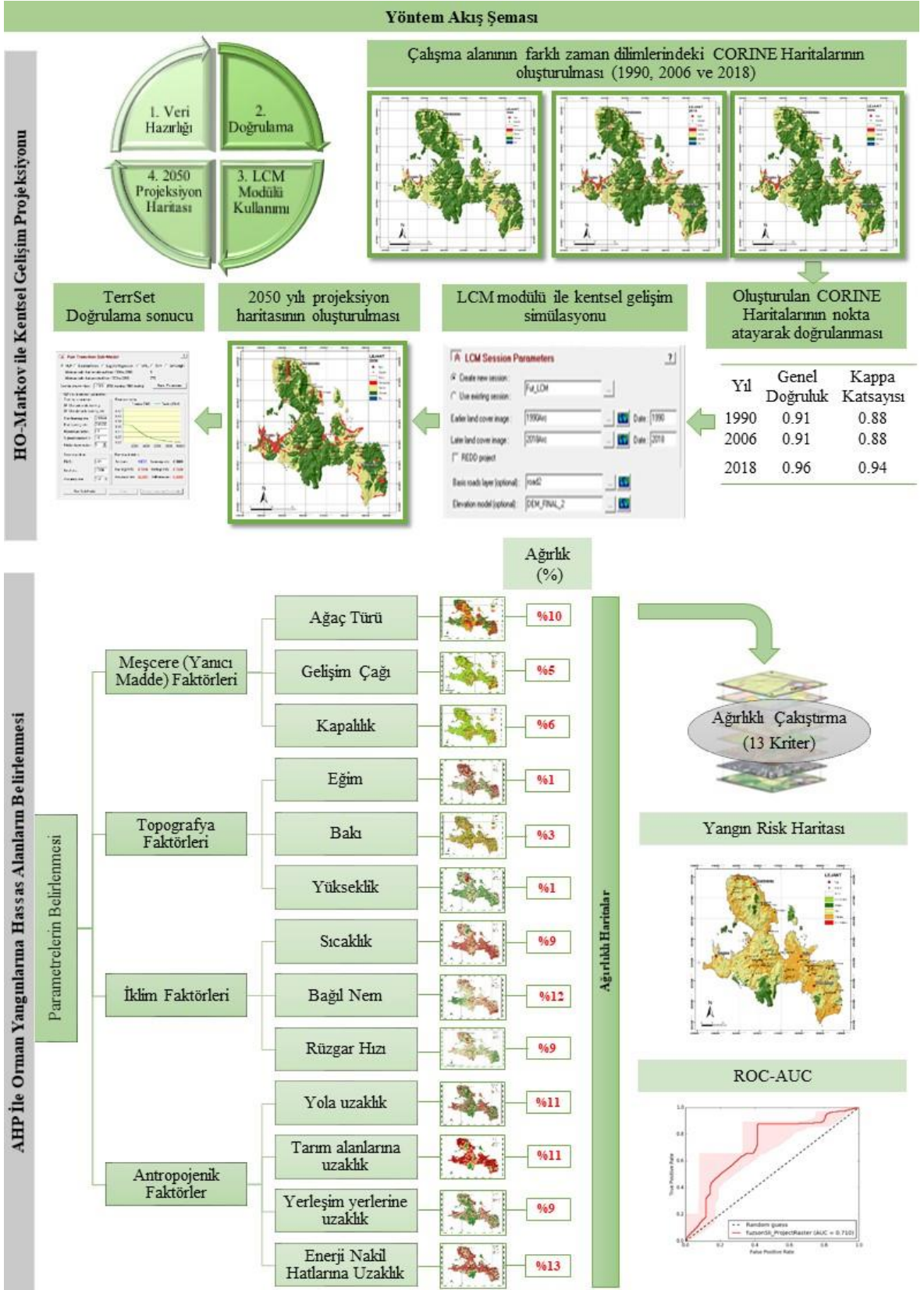
Yöntem, veri toplama, analiz ve modelleme aşamalarını kapsamaktadır. Çalışma alanına dair coğrafi, demografik ve çevresel veriler toplanarak mekânsal analizlere uygun hale getirilmiştir. Daha sonra, alan kullanımlarının sınıflandırılmasına ilişkin doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki arazi kullanım sınıflandırması, geçmiş yıllara ait uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiş ve sınıflandırmanın güvenilirliği değerlendirilmiştir. Bu doğruluk analizleri, modelin projeksiyonlar için sağlam veri sağladığını teyit etmiştir.

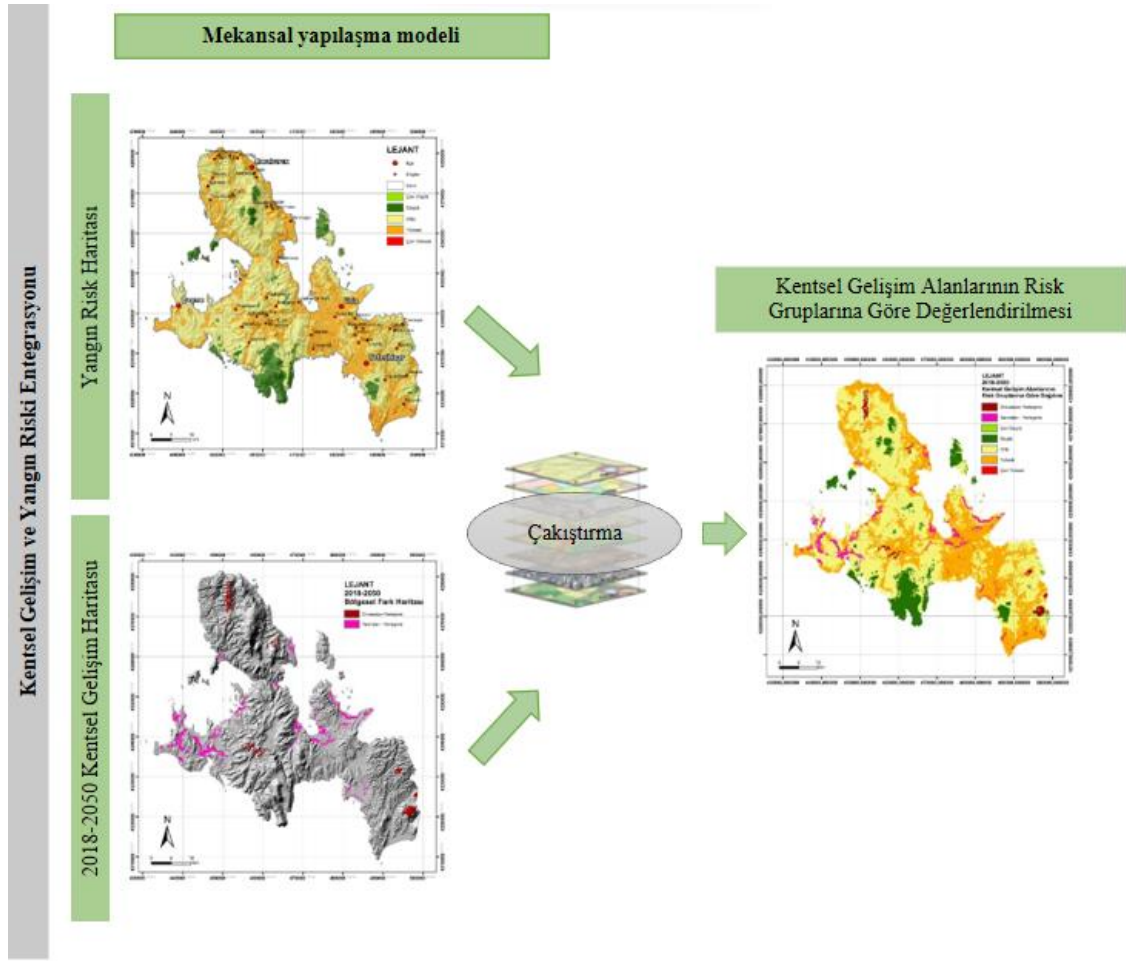
HO-Markov modeli ile gelecekteki arazi değişim eğilimleri tahmin edilmiştir. Bu model, Arazi kullanımları arasındaki etkileşimleri değerlendirerek, 2050 yılına yönelik kentsel gelişim projeksiyonu sunmuştur. 2050 yılına yönelik projeksiyon haritasının doğrulanması sürecinde, TerrSet yazılımı Doğrulama sonucunda, haritanın hem geçmiş verilere hem de geçiş olasılıklarına dayalı olarak tutarlı sonuçlar sunduğu belirlenmiştir.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak yangın riski faktörleri belirlenmiş ve her faktörün yangın riski üzerindeki etkisi ağırlıklandırılmıştır. Bu analiz sonucunda, yangına hassas alanlar öncelik sırasına göre değerlendirilmiş ve bir yangın risk haritası oluşturulmuştur. Haritaların doğrulanması aşamasında, oluşturulan yangın risk haritasının güvenilirliği ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi analizi ile değerlendirilmiştir. Bu analiz sonucunda AUC (Area Under Curve) değeri hesaplanmış ve haritanın yangın riskini güvenilir bir şekilde yansıttığı belirlenmiştir.

Bu iki yöntemin entegrasyonu ile AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritası ve HO-Markov modeli ile elde edilen 2050 yılı kentsel gelişim projeksiyonunun entegrasyonuna dayalı yapılaşma modeli geliştirilmiştir. Bu model, 2018-2050 yılları arasındaki kentsel gelişim alanlarının yangın riski gruplarına göre dağılımını analiz etmeye olanak tanımıştır. Yapılan analizler sonucunda, tarım alanlarından yerleşim alanlarına ve orman alanlarından yerleşim alanlarına geçiş bölgeleri belirlenmiştir. Kentsel gelişim alanları, "çok düşük," "düşük," "orta," "yüksek" ve "çok yüksek" olmak üzere beş risk grubunda sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır.

Çalışma yönteminin tüm aşamaları Şekil 3.7.'de verilmiştir.





Şekil 3.7. Araştırma Kapsamında Kullanılan Yöntemlerin Akış Diyagramı

Bu aşamalar, alt başlıklar halinde detaylandırılmış ve her bir yöntemin ve analiz aracının uygulama süreçleri kapsamlı biçimde açıklanmıştır.

3.2.1. Kentsel Gelişimin Projeksiyonu

Yöntemin iki ana unsurundan biri, belirlenen örnek alanlarda kentsel gelişimin ileriye dönük projeksiyonun yapılmasıdır. Bu kapsamda önceden belirlenmiş orman-kent etkileşiminin Görece yüksek olduğu ve/veya yüksek olma potansiyeli taşıdığı alanlardaki kentsel gelişim HO-Markov modeli kullanılarak ileriye dönük olarak tahmin edilmiştir.

HO-Markov Modeli

Hücre temelli bir model olan Markov Chain, arazi örtüsü/kullanımındaki değişimlere ait değişim matrisi bilgisini ve ulaşım ağındaki değişimi dikkate alır (Pena ve ark., 2005). Burada da değişim olasılıklarının belirlenmesi temel aşamalardan biridir. Geçiş olasılıklarının doğru bir şekilde tanımlanması model doğruluklarını yükseltmektedir. Buna ek olarak alan kullanımına ilişkin bilgi ve kestirim periyotlarına ilişkin bilgi bu modelde gereksinim duyulan bilgilerdir.

Arazi Değişim Projeksiyonu

Çevresel bilginin koordinasyonu anlamına gelen "CORINE" veri serisi, Avrupa Topluluğu (EC) tarafından oluşturulmuş ve uzun yıllardır kullanılan önemli bir veri kaynağıdır. CORINE veri seti Avrupa Birliği üyesi ve çevre ülkeler için hazırlanan AÖ/AK'nı göstermektedir. Bu veri seti oluşturulurken hem uydu görüntüleri hem de yersel ölçümler kullanılmaktadır. CORINE programı CORINE Land Cover, CORINE Air, CORINE Hydro ve CORINE Biyotoplarını içerir. CORINE Arazi Örtüsü, Pan-Avrupa düzeyinde AÖ/AK izleme için standarttır.

CORINE Arazi Örtüsü veri seti 1985 yılında kuruldu ve şu anda Copernicus Arazi İzleme Hizmetinin en yaygın kullanılan ürünlerinden biridir. Arazi örtüsü veri kümeleri ortak bir standarda göre üretilmiştir ve ilk iki dönem verisi 10 yıllık aralıklarla (1990-2000) yılları için, bu tarihten sonra 6 yıllık aralıklarla (2006-2012-2018) olmak üzere farklı referans yıllarını kapsayan bir dizi veri seti üretilmiştir. Bu veri seti, ulusal ajanslar tarafından üretilen ve Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından koordine edilmektedir.

CORINE AÖ/AK veri seti Birinci seviye, yapay bölgeler, tarımsal alanlar, orman ve yarı doğal alanlar, su alanlar ve su yapıları olmak üzere beş ana arazi kullanımını içerir. Bu kategoriler altında ise daha detaylı alt sınıflandırmalar bulunmaktadır. İkinci seviyede (15) ve Üçüncü seviye (44) alt arazi kullanım sınıfı içerir.

AÖ / AK için CORINE Land Cover (CLC) verisinden yararlanılmıştır. CLC verisi, Avrupa Birliği'nin 1985 yılında başlattığı, belirli periyotlarda güncellediği, Dünya ve çevresine bakan gözlem programından üretilmektedir. Bunun yanı sıra Sentinel-2A görüntüsünden türetilen küresel arazi kullanımı verisi de mevcuttur. CLC verisi sınıflandırması itibarıyla daha uygun olduğundan bu çalışmada tercih edilmiştir.

Değişiklik tahmin süreci sırasıyla, değişiklik analizi, geçiş potansiyeli modellemesinden, değişiklik tahminine kadar adım adım hareket eden deneysel olarak yönlendirilen bir süreçten oluşmaktadır. Arazi değişimi tahmini için gelecekteki senaryoları projelendirme, 1. zamandan 2. zamana kadar geçen sürede arazi örtüsü haritalarında oluşan tarihsel değişime dayanmaktadır (Eastman, 2016).

Değişim tahmin sürecindeki ilk adım değişim analizinden oluşmaktadır. Geçiş potansiyelleri sekmesi, iki arazi örtüsü haritası arasındaki geçişleri, her bir alt modelin bir dizi sürücü veya açıklayıcı değişkenle tanımlandığı bir dizi alt model halinde gruplandırmaktadır. Bitiş tarihi belirlendikten sonra, her geçişteki değişim miktarı ya bir Markov Zinciri Analizi yoluyla ya da bir dış modelden geçiş olasılığı matrisi belirlenerek modellenmektedir (Eastman, 2016).

İzmir ilinin çalışma alanını oluşturan ilçeleri Karaburun, Çeşme, Urla, Seferihisar'ın kentsel gelişimi 1990 ile 2018 yılları arasında gözlemlenen Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri incelenmiş ve bu değişimlerin temel alındığı bir modelleme süreci gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, 2050 yılına ait arazi kullanımı değişim eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla HO-Markov yöntemi

kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, TerrSet yazılımının Arazi Değişim Modelleyicisi - LCM modülü uygulanmıştır.

Alan Kullanımlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Doğruluk Analizlerinin Yapılması

Kullanıcı Doğruluğu: Kullanıcı doğruluğu, belirli bir sınıfa ait piksellerin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını gösterir. Her bir sınıftaki doğru olarak sınıflandırılmış piksel sayısının o kategoride sınıflandırılan toplam piksel sayısına (satır toplamı) bölünmesi ile kullanıcı doğruluğu hesaplanmıştır (3.1).

$$\text{Kullanıcı doğruluğu} = \frac{\text{Köşegen elemanı}}{\text{Satır Toplamı}} \times 100 \quad (3.1)$$

Üretici Doğruluğu: Üretici doğruluğu, belirli bir sınıftaki doğru sınıflandırılmış piksellerin, o sınıfa ait toplam referans piksellere oranını gösterir. Her bir sınıfta doğru olarak sınıflandırılmış piksel sayısının o sınıf için kullanılan örneklem piksel sayısına (sütun toplamı) bölünmesi ile üretici doğruluğu hesaplanmıştır (3.2).

$$\text{Üretici doğruluğu} = \frac{\text{Köşegen elemanı}}{\text{Sütun Toplamı}} \times 100 \quad (3.2)$$

Genel Doğruluk: Tüm sınıflar için doğru sınıflandırılmış piksellerin toplam sayısının, toplam piksellere oranı ile genel doğruluk hesaplanır. Doğru sınıflandırılmış piksellerin toplam sayısının (ana köşegen toplamı) referans piksellerin toplam sayısına bölünmesi ile Genel Doğruluk değeri $Pr(a)$ elde edilmiştir (3.3).

$$\text{Genel doğruluk}(Pr(a)) = \frac{\text{Köşegen elemanlar Toplamı}}{\text{Toplam piksel sayısı}} \times 100 \quad (3.3)$$

Beklenen Doğruluk veya $Pr(e)$: Her bir sınıfın satır ve sütun toplamlarının çarpımının, toplam piksellerin karesine bölünmesi ile bulunur. Tüm sınıflar için bu değerler toplanır. Olasılık değerinin hesaplanması için her bir sınıfın satır ve sütundaki toplam piksel sayısı; tüm noktalar (500) sayısına ayrı ayrı bölünmüş bulunan iki değer çarpılmıştır. Her bir sınıf için bulunan olasılık değerleri toplanıldığında $Pr(e)$ değeri bulunmuştur (3.4).

$$\text{Olasılık degerleri} = \frac{\text{Satır toplamı}}{\text{Toplam piksel sayısı}} \times \frac{\text{Sütun toplamı}}{\text{Toplam piksel sayısı}} \quad (3.4)$$

Her sınıf için ayrı ayrı olasılık değerleri formülüne göre hesaplanmıştır. Sınıfların olasılık değerleri toplamı $Pr(e)$ 'dir.

Kappa Katsayısı: Kappa katsayısı, sınıflandırmanın rastgele olma olasılığını hesaba katarak doğruluğu ölçer. Kappa değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (3.5).

$$Kappa\ Değeri = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \quad (3.5)$$

3.2.2. Orman Yangınlarına Hassas Alanların Belirlenmesi

Yöntemin diğer ana unsuru, orman yangınlarına hassas olan alanların belirlenmesidir. Bu kapsamda orman yangınlarına hassas yanıcı maddelerin bulunduğu alanlar ile yangın çıkma ihtimali yüksek olan alanların belirlenmesinde çok kriterli karar verme yöntemi olan analitik hiyerarşi süreci (AHP) kullanılmıştır.

Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA)

Çok kriterli karar analizi (MCDA), birden fazla potansiyel aday arasından en iyi alternatifi seçmek ve kriterlerin çelişmesi durumunda problemlerin çözümü için karar matrisi olarak adlandırılan bir matris olarak tanımlanır. 1960 yılından bu yana karar verme problemlerinin çözümü için çeşitli MCDA yöntemleri geliştirilmiştir (Malczewski ve Rinner, 2015). Bu yöntem, uygulandığı alanlarda doğruluğunu kanıtlayıp başarı sağladığından günümüzde makro ölçekte geniş bir kullanım alanına sahiptir (Karaatlı ve ark., 2015). MCDA, CBS platformunda kullanıldığında, karar vericilere mekânsal verilere ilişkin birden çok çözüm yolu sunarken aynı zamanda birbirinden farklı ve bağımsız ölçütleri birlikte yorumlama olanağı sağlamaktadır. Bu sebeple mekânsal sorunların çözümlenmesinde CBS tabanlı MCDA analizi tercih edilmektedir (Özşahin, 2014). Bu noktada önemli olan, belirli bir çok kriterli karar verme problemini çözmek için en uygun çok kriterli karar verme yöntemini belirlemektir (Guarini ve ark., 2018).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), her kriterin önemini belirleyen, çok kriterli karar analizi için yaygın olarak kullanılan ve ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpet tarafından ortaya konulmuş ve 1977 Saaty tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir (Saaty, 1977; Saaty, 1980; Harker ve Vargas, 1990; Saaty, 1994; Saaty, 2003). Güçlü ve esnek bir karar verme teorisi olarak kabul edilen AHP, karar verme sürecini desteklemekte ve alternatif çözümleri değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır (Belhadi ve ark., 2017; Kumar ve Garg, 2017). AHP, hiyerarşik bir yapıda işlemesi sayesinde hedefler ile alternatifler arasındaki ilişkileri açıklar ve karar verme sürecini sistematik hale getirir (Mu ve Pereyra-Rojas, 2017). AHP'nin bir diğer önemli özelliği, deneyimler ve sezgiler gibi soyut kavramları analizde kullanarak karar alma sürecini zenginleştirmesidir. AHP, birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Youssef ve ark., 2011; Pourghasemi ve ark., 2013; Bentekhici ve ark., 2020; Sarı, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), en az üç düzeyden oluşan bir hiyerarşik yapı ile uygulanır. Hiyerarşinin en üst seviyesinde ana amaç yer alır. Alt seviyelerde ise ana kriterler bulunur ve bu kriterlerin altında, varsa, alt kriterler sıralanır. En alt düzeyde çeşitli karar seçenekleri yer alır. İkili karşılaştırmaların tutarlılığını sağlamak amacıyla kriterlerin sayısının doğru şekilde belirlenmesi ve her bir kriterin net bir şekilde tanımlanması gereklidir. Kriterler, ortak özelliklerine göre sınıflandırılmalıdır. AHP, çok sayıda kriterle uygulanabilir ve grup karar verme süreçlerinde etkili bir yöntemdir. Duyarlılık analizi, sonuçların esnekliğini değerlendirme olanağı sağlar. Hiyerarşilerin ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması sübjektif nitelikte olduğundan, deneyimli ve uzman kişilerin katkısına ihtiyaç duyulmaktadır. Çizelge 3.2.'de verilen AHP yönteminin algoritmik adımları sekiz aşamadan oluşur (Saaty, 2001).

Çizelge 3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) işlem aşamaları

Aşama 1	Problem belirlenir
Aşama 2	Hiyerarşik Yapı oluşturulur.
Aşama 3	İkili karşılaştırma matrisi oluşturulur.
Aşama 4	İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilir.
Aşama 5	Öncelik vektörü hesaplanır.
Aşama 6	Tutarlılık oranı hesaplanır.
Aşama 7	Ölçütler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak, karar seçeneklerinin öncelik vektörü hesaplanır. Bu öncelik vektörü, ölçütler için ağırlık vektörü olarak da tanımlanabilir.
Aşama 8	Karar seçenekleri sıralanır.

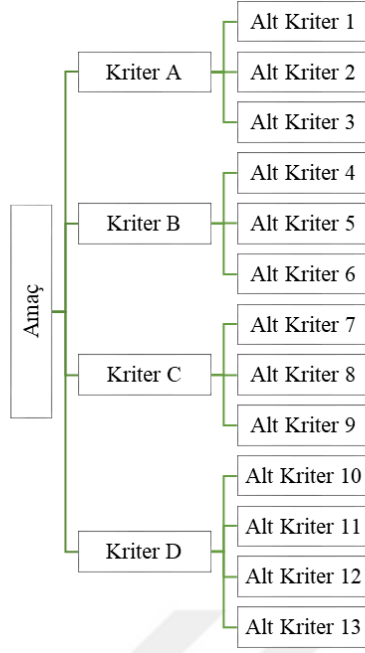
Bu aşamalar, karar verme sürecini basitleştirir ve karar vericilerin karmaşık problemleri daha iyi anlamasını sağlar (Rezaei Moghaddam ve Karami, 2008).

Aşama 1: Problem tanımlanır ve gerekli ölçütler belirlenir.

Karar için gerekli olan ölçütler belirlenerek, ölçüt öncelikleri tespit edilir.

Aşama 2: Hiyerarşik yapı oluşturulur. Ana kriterler ve alt kriterler belirlenir

AHP sürecine başlamak için öncelikle kararın genel sonuca katkıda bulunan kısımlarının belirlenmesi ve hiyerarşinin inşası gerekmektedir. En üstte ulaşılması gereken amaç yer alır. Onun altında ise ana kriterler (kategoriler) ve alt kriterler bulunur. Hiyerarşinin aşama sayısı, problemin karmaşıklığı ve detay seviyesi ile ilişkilidir. Hiyerarşi oluşturulurken, aynı seviyedeki seçeneklerin birbirlerinden tamamen bağımsız olduğu varsayılır (Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Hiyerarşi İnşası.

Aşama 3: İkili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur, her bir faktörün karara katkısını belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılır.

Kriter ve alt kriterler belirlendikten sonra, her bir faktörün karara ne kadar katkıda bulunduğunu belirlemek için faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması gerekmektedir. Karşılaştırma yapmanın iki yolu vardır. İlk yol, her uzmanın kendi görüşünü ortaya koyması sonucunda grubu temsilen tek bir değer elde etmek için bazı yöntemler (ortalama, ağırlıklandırma, ortalama belirleme) kullanılmaktadır. İkinci yol ise, uzmanların tartışması ve birlikte bir fikir birliği elde etmesidir. İster her uzman kendi karşılaştırma matrisini derlesin, isterse tüm uzmanlar genel bir fikir birliğine karar versin, gerekli sonuç $N \times N$ boyutlu tek bir ikili karşılaştırma matrisi olmalıdır.

Alt kriterin de her birinin birbiriyle karşılaştırılması gerekecektir. Bunu yapmanın da iki yöntemi vardır. Birinci yöntemde, ana kriterler birbirleriyle karşılaştırıldıktan sonra ana kriterlerin altında, her bir alt kriterin ayrı ayrı karşılaştırılmasıdır. İkinci yöntemde ise her bir alt kriterin karara genel katkısını belirlemek için, her bir alt kriteri doğrudan birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Bu yöntem daha fazla karşılaştırma içerir ve belirsiz bir sonuca yol açan çok farklı iki alt kriter arasında bir karşılaştırma yapılabileceğinden kafa karıştırıcı hale gelebilmektedir.

Sonuç olarak çeşitli yöntemler tercih edilerek konunun uzmanları tarafından toplam n sayıdaki kriter veya alt kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılması sonucunda $n \times n$ boyutunda ikili karşılaştırma (A matrisi) matrisi elde edilmektedir (Ömürbek ve Tunca, 2013).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Kriterlerin karşılaştırılmasında Saaty (1990) tarafından geliştirilen 1’den 9’a kadar değişen sayısal bir ölçek kullanılmaktadır (Çizelge 3.3.). Kriterlerin karşılaştırılmasında matris elemanları arasında çift taraflı değer elde edilir yani $i=1, 2, 3, \dots, n$ ve $j=1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere matris elemanları $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ilişkisine sahiptir. Ayrıca köşegen üzerindeki matris elemanları kendileriyle karşılaştırıldığı için 1 değerini almaktadır (Saaty, 1990).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

a_{ij} , i. ölçüt ile j. ölçütün ikili karşılaştırma değeri olup, $a_{ji} = 1/a_{ij}$ den elde edilir. Bu özelliğe, karşılık olma özelliği denir. a_{ij} değeri, “Ölçüt i değeri bir başka ölçüt j ye göre ne oranda tercih edilmelidir?” sorusunun cevabıdır. Karar seçenekleri her bir ölçüte göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Karar matrisleri, (Saaty, 1990) tarafından önerilmiş olan 1-9 karşılaştırma ölçeği kullanılarak oluşturulur (Çizelge 3.3.)

Çizelge 3.3. İkili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem değerleri ve tanımları (Saaty, 1990)

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2,4,6,8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Aşama 4: İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilir.

Kriter veya alt kriterlerin ağırlıklarını belirlemek üzere karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörleri yardımıyla Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi (C matrisi) oluşturulur. C matrisi elemanlarının hesaplanmasında (3.3) kullanılmaktadır. Matristeki her eleman kendi sütun toplamına bölünerek, normalize edilir. Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

$$c_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^n c_{ij}}, i, j=1,2,\dots,n \quad (3.3)$$

Aşama 5: Öncelik vektörü hesaplanır, kriter ağırlıkları belirlenir.

Kriter ağırlıklarının (W) belirlenmesi için, normalize edilmiş matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır (3.4). Bulunan bu değerler her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öncelik vektörünü oluşturur. Böylece, ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3.4)$$

Aşama 6: Tutarlılık oranı hesaplanır, matrisin tutarlılığı kontrol edilir.

Tüm toplam ağırlıklar hesaplandıktan sonra, AHP'nin bir sonraki adımı faktör matrisinin tutarlılığını kontrol etmektir. Matristeki tutarlılık sürecin sonucunu etkilediği için önemlidir. Tutarlılığın ölçülebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmalıdır. Tutarlılık oranının belirlenebilmesi için aşağıdaki adımların sırasıyla takip edilmesi gerekmektedir. A karşılaştırma matrisi ile W ağırlık vektörünün çarpımından D sütun vektörü elde edilmektedir (3.5).

$$D = A \times W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölünmesiyle (3.6) kriterlere ilişkin temel değer (E) bulunmaktadır. Kriterlere ilişkin temel değerlerin (E) aritmetik ortalaması (3.7) λ katsayısını vermektedir. λ katsayısı hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), (3.8) kullanılarak hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı (CR) ise (3.9)'dan yararlanılarak hesaplanmaktadır. (3.9)'daki Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) sabit değerlerdir ve kriter sayısına göre farklılık göstermektedir (Saaty, 1990). Bu indeks, rastgele oluşturulmuş bir $n \times n$ kriterli karşılaştırma matrisinin (9 puanlık önem ölçeğine dayalı) belirli bir miktarda tutarsızlık üretebileceği fikrine dayanmaktadır. n'den 14'e kadar olan değerler için, Saaty tarafından ortalama tutarsızlıkları hesaplanmıştır ve Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) adını verilen bir karşılaştırma indeksi ortaya konulmuştur.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad i = (1, 2, 3 \dots n) \quad (3.6)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3.7)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (3.8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.9)$$

Tutarlılığı değerlendirebilmek için “Rassal İndeks (Random Index-RI)” değerinin bilinmesi gerekir. RI değeri ikili karşılaştırma matrisindeki faktör sayısına (matrisin boyutu) bağlı değişir. n boyutlu karşılaştırma matrisleri için tanımlanan Karşılaştırma matrislerinin boyutlarına göre Rastgele Tutarlılık İndeksi (RI) değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir (Karagiannidis vd., 2010; Wang vd., 2010).

Çizelge 3.4. Rastgele tutarlılık indeksi (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.58

Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.1’den küçükse, kullanımdaki matris yeterince tutarlıdır ve sonuçların hesaplanması için kullanılabilir. Eğer Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.1’den büyükse nihai kararın tutarlılığını artırmak için ikili karşılaştırmalar uzmanlar tarafından yeniden yapılmalıdır (Chakraborty ve Banik, 2006; Chen vd., 2010; Saaty, 2012).

Aşama 7: Ölçütler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak, karar seçeneklerinin öncelik vektörü hesaplanır. Bu öncelik vektörü, ölçütler için ağırlık vektörü olarak da tanımlanabilir.

Aşama 8: Karar seçenekleri sıralanır.

Bu adımlar karar verme sürecini basitleştirir ve karmaşık problemleri daha iyi anlamayı sağlar.

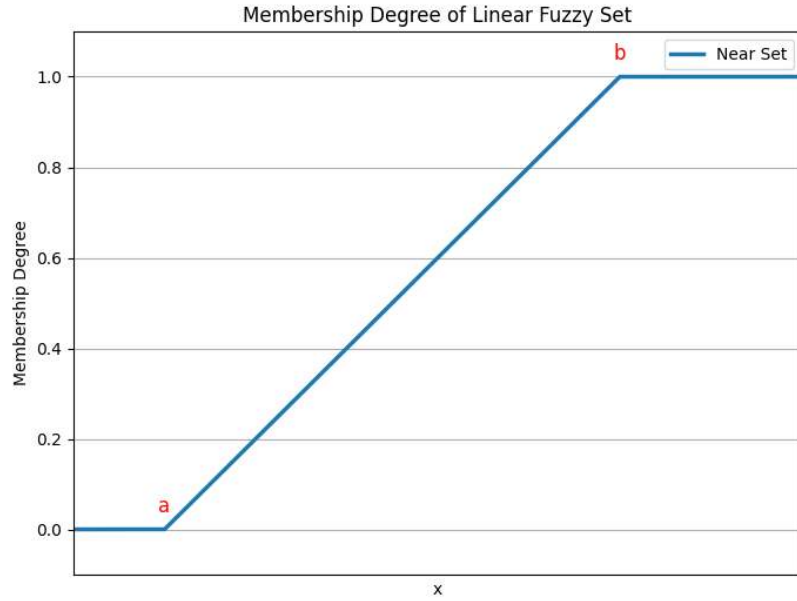
AHP'nin doğru uygulanması için, adımların açık bir şekilde belirlenmesi ve her bir adımın titizlikle takip edilmesi gerekir. Ayrıca, uzmanlar tarafından yapılan ikili karşılaştırmaların doğru ve tutarlı olması önemlidir. Tutarlılık oranı, sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek için dikkate alınmalıdır.

CBS Veri Tabanının Analiz Süreci

Bu çalışmada, orman yangınlarına hassas alanların belirlenmesi amacıyla CBS tabanlı bir analiz yöntemi uygulanmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak çeşitli faktörler değerlendirilmiş ve bu faktörlerin yangın riskine olan katkı oranları belirlenmiştir. Analiz sürecinde kullanılan veri katmanları, yanıcı madde özellikleri (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topoğrafik özellikler (eğim, bakı, yükseklik), iklimsel faktörler (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı) ve insan

kaynaklı faktörler (yola, tarım alanlarına, yerleşim yerlerine ve enerji nakil hatlarına olan mesafe) olarak sınıflandırılmıştır.

Her bir faktör için CBS ortamında dijital haritalar oluşturulmuş ve faktörlerin yangın riskine katkı potansiyelleri ArcGIS yazılımı ile yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sürecinde, fuzzy standardizasyon yöntemi kullanılarak 0 ile 1 arasında değişen risk seviyeleri atanmış ve bu sayede belirsizlik payı temsil edilmiştir (Şekil 3.9, Çizelge 3.5, Şekil 3.10, Çizelge 3.6, Çizelge 3.7). Yangın riski açısından yüksek değerlere yakın alanlar daha riskli olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.9. Fuzzy Linear Modeline Göre Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.

Çizelge 3.5. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları I

Kriterler	a	B
Eğim	0	30
Yükseklik	0	750
Sıcaklık	11,7	17,6
Rüzgar hızı	4,7	12

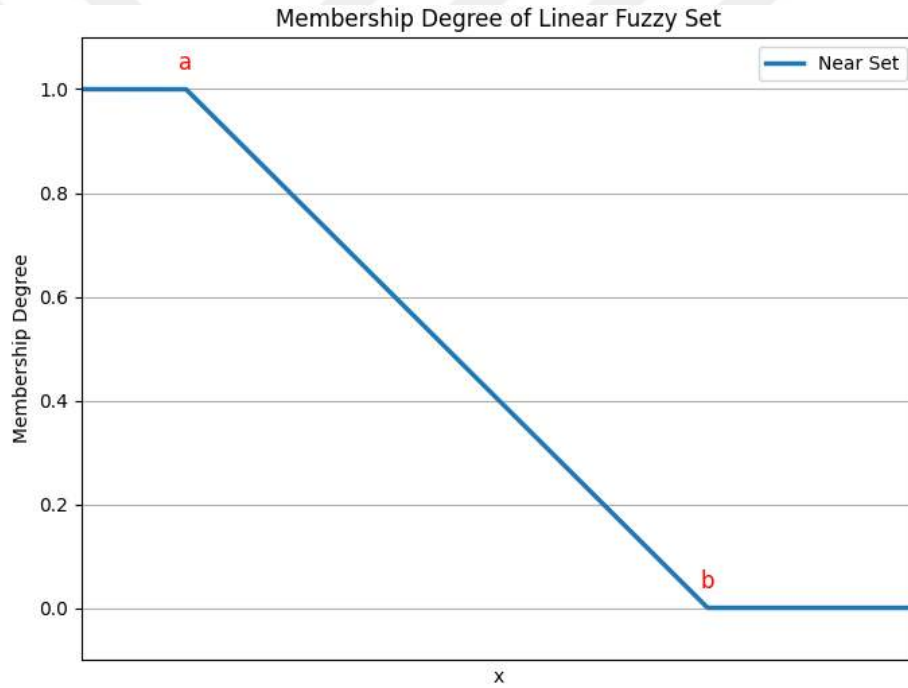
Eğim (0-30): Eğim, yangının yayılma hızını ve yönünü etkileyen önemli bir faktördür. Düz arazilerde yangın daha yavaş yayılırken, yüksek eğimli arazilerde yangın daha hızlı ve kontrol edilemez şekilde ilerleyebilir. Eğim değerleri 0-30 arasında endekslenmiştir; burada "0" değeri düz arazileri (düşük risk), "30" değeri ise dik yamaçları (yüksek risk) temsil eder. Yüksek eğim değerleri yangın riski haritalarında yüksek risk olarak dikkate alınmıştır.

Yükseklik (0-750): Yükseklik faktörü, yangının yayılma olasılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Daha yüksek rakımlı bölgelerde sıcaklık ve nem koşulları değişerek yangın riskini artırabilir. Bu doğrultuda, yükseklik değerleri 0 ile 750 arasında endekslenmiş ve "0" alçak rakımlı

alanları (yangın riski daha düşük), "750" ise yüksek rakımlı alanları (yangın riski daha yüksek) temsil edecek şekilde sınıflandırılmıştır.

Sıcaklık (11,7-17,6): Sıcaklık, yanıcı maddelerin kurummasını ve tutuşma olasılığını etkileyen kritik bir faktördür. Sıcaklık aralığı, yangın riskine göre 11,7 ile 17,6 derece arasında ölçeklendirilmiştir. Bu endeksleme ile "11,7" derecelik sıcaklıklar düşük yangın riskini temsil ederken, "17,6" derece gibi yüksek sıcaklıklar daha yüksek yangın riskini göstermektedir. Yüksek sıcaklıklar, yangın risk haritasında tehlikeli bölgeler olarak dikkate alınmıştır.

Rüzgar Hızı (4,7-12): Rüzgar hızı, yangının yayılma hızı ve yönünü doğrudan etkileyen bir diğer önemli faktördür. Yüksek rüzgar hızları yangının daha hızlı ve geniş alanlara yayılmasına neden olabilir. Rüzgar hızı, 4,7 m/s (düşük risk) ile 12 m/s (yüksek risk) arasında endekslenmiştir. Yüksek rüzgar hızlarının olduğu bölgeler, yangın risk haritalarında yüksek risk alanları olarak işaretlenmiştir.



Şekil 3.10. Fuzzy Linear 2 Modeline Göre Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi.

Çizelge 3.6. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları II

Kriterler	a	B
Bağıl Nem	58,9	75
Yola Uzaklık	0	400
Tarım alanına Uzaklık	0	2000
Yerleşime Uzaklık	0	2000
ENH	0	4000

Bağıl Nem (58,9-75): Bağıl nem, yangının oluşma ve yayılma riskini azaltıcı bir etkiye sahiptir. Yüksek nem oranları, bitki örtüsünün kurummasını geciktirerek yangın riskini düşürür. Bu nedenle, bağıl nem değerleri 58,9 ile 75 arasında endekslenmiştir; burada "58,9" düşük bağıl nem (yüksek yangın riski) ve "75" yüksek bağıl nem (düşük yangın riski) olarak değerlendirilmiştir. Yangın riski haritasında düşük bağıl nemli alanlar daha yüksek riskli bölgeler olarak belirlenmiştir.

Yola Uzaklık (0-400): Yola yakınlık, yangının insan kaynaklı faktörlerden etkilenme olasılığını artırır. Yola yakın bölgeler, yangın başlama riskinin daha yüksek olduğu alanlardır. Yola uzaklık, 0 ile 400 metre arasında endekslenmiş olup, "0" yola çok yakın olan (yüksek risk) alanları, "400" ise yola uzak olan (düşük risk) alanları temsil eder. Yangın riski haritalarında, yola yakın alanlar daha yüksek risk olarak dikkate alınmıştır.

Tarım Alanına Uzaklık (0-2000): Tarım alanlarına yakınlık, yangın çıkma olasılığını artırabilir, çünkü tarımsal faaliyetler yangın riski oluşturabilir. Tarım alanına uzaklık 0 ile 2000 metre arasında endekslenmiş olup, "0" tarım alanına çok yakın (yüksek risk) bölgeleri, "2000" ise daha uzak (düşük risk) bölgeleri temsil eder. Yangın riski haritasında, tarım alanlarına yakın olan alanlar daha yüksek risk bölgeleri olarak işaretlenmiştir.

Yerleşime Uzaklık (0-2000): Yerleşim alanlarına yakınlık, yangının insan faaliyetleri nedeniyle çıkma riskini artırabilir. Yerleşime uzaklık 0 ile 2000 metre arasında endekslenmiş olup, "0" yerleşim alanına yakın (yüksek risk) bölgeleri, "2000" ise yerleşim alanına daha uzak (düşük risk) bölgeleri temsil etmektedir. Risk haritasında, yerleşim yerlerine yakın alanlar yüksek risk olarak değerlendirilmiştir.

Enerji Nakil Hatlarına (ENH) Uzaklık (0-4000): Enerji nakil hatlarına yakınlık, yangının başlaması ve yayılmasında risk faktörüdür. Enerji nakil hattına uzaklık, 0 ile 4000 metre arasında endekslenmiştir; "0" enerji nakil hatlarına çok yakın (yüksek risk) bölgeleri, "4000" ise daha uzak (düşük risk) bölgeleri ifade etmektedir. Risk haritalarında, enerji nakil hatlarına yakın alanlar daha yüksek yangın riski olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Orman yangını risk analizinde kullanılan değişkenlerin sınıf aralıkları III

Puan	Ağaç Türü	Gelişim Çağ	Kapalılık	Bakı
0,2	Kadastro Dışı Alan/Orman Toprağı/Enerji Nakil Hattı/Maden Ocağı/Su Kütleleri/Açık Alan	Orman Dışı Alan	Kapalılık Oluşmamış	Kuzey, Düz Alanlar
0,4	Tarım Alanı/Yerleşim Alanı	Orta Ağaçlık		KB, KD
0,6	Orman Yolu/Meşe/Ardıç	İnce Ağaçlık	Kapalılık %11-40	Doğu, Batı
0,8	Maki/Servi/Diğer Yapraklılar	Sırlıklık ve Direklik	Kapalılık %41-70	GB, GD
1	Kızılçam/Kızılçam - Fıstık Çamı/Kızılçam - Maki/Fıstık Çamı/Halep Çamı	Gençlik ve Sıklık	Kapalılık %71-100	Güney

Ağaç Türü (0,2-1): Ağaç türü, yangın riskinin belirlenmesinde kullanılan en önemli değişkenlerden biridir. Bu değişken, orman yangınlarının tutuşma ve yayılma özelliklerini etkileyen biyofiziksel özelliklere dayanarak sınıflandırılmıştır. Ağaç türlerinin yangın riskine etkisi, türlerin yanıcılık özellikleri, biyokütle yoğunluğu ve nem içeriklerine göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, çalışma alanındaki risk sınıfları ve ağaç türleri şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Çok Düşük Risk (0,2): Kadastro dışı alanlar, orman toprağı, enerji nakil hattı, maden ocağı, su kütleleri ve açık alanlar, yanıcı biyokütle bulunmadığı veya çok sınırlı olduğu için düşük risk kategorisine alınmıştır. Bu alanlarda yangın tutuşma olasılığı düşüktür.
- Düşük Risk (0,4): Tarım alanları ve yerleşim alanları, yanıcı biyokütlenin kontrollü olduğu veya az yoğunlukta bulunduğu bölgeler olarak sınıflandırılmıştır. Bu alanlar, yangın tutuşması açısından sınırlı risk taşır.
- Orta Risk (0,6): Orman yolları, meşe ve ardıç gibi kuru yapraklı türler, orta düzeyde yanıcılık özellikleri sergiler. Bu türler, biyokütle yoğunluğu ve nem içerikleri nedeniyle yangın yayılma hızını sınırlayabilir ancak yangın riskini tamamen ortadan kaldırmaz.
- Yüksek Risk (0,8): Maki, servi ve diğer geniş yapraklı türler, daha yüksek nem içeriklerine sahip olmalarına rağmen, yoğun biyokütle yapıları nedeniyle yüksek yangın riski taşır. Bu türler, yangın yayılımını destekleyebilecek özellikler sergiler.
- Çok Yüksek Risk (1,0): Kızılçam, halep çamı, fıstık çamı ve kızılçam-fıstık çamı karışımları gibi reçineli türler, yangına karşı en duyarlı kategoride yer almaktadır. Bu türler, yüksek reçine içeriği ve yoğun biyokütle yapısı nedeniyle yangının tutuşmasını ve yayılmasını

hızlandırır. Bu alanlar, yangın risk haritalarında öncelikli müdahale gerektiren bölgeler olarak değerlendirilmiştir.

Gelişim Çağı (0,2-1): Ormanların gelişim çağı, yangın riskini belirlemede önemli bir kriterdir. Ormanlık alanların farklı gelişim aşamaları, yangınların tutuşma, yayılma ve şiddetini etkileyen biyofiziksel ve yapısal özelliklere sahiptir. Bu bağlamda, risk sınıfları ve gelişim çağı şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Çok Düşük Risk (0,2): Orman dışı alanlar, yanıcı biyokütle içermemesi veya çok sınırlı biyokütleye sahip olması nedeniyle yangın riskinin düşük olduğu kategoridedir. Bu alanlar arasında tarım arazileri, su kütleleri, yerleşim alanları ve açık alanlar yer alır.
- Düşük Risk (0,4): Orta ağaçlık alanlar, biyokütlenin yoğunluğuna bağlı olarak yangın riskinin sınırlı olduğu bölgeler olarak değerlendirilir. Bu alanlarda yangın tutuşma olasılığı orta düzeydedir ancak yangının yayılma potansiyeli sınırlıdır.
- Orta Risk (0,6): İnce ağaçlık alanlar, genç ormanların veya seyrek bitki örtüsünün bulunduğu bölgeleri ifade eder. Bu alanlar, yangına karşı orta düzeyde duyarlıdır. Biyokütlenin düşük yoğunluğu nedeniyle yangının yayılma hızı sınırlı olabilir, ancak tutuşma riski mevcuttur.
- Yüksek Risk (0,8): Sıklık ve direklik evresindeki ormanlar, yoğun biyokütle yapısı ve genç odunsu dokuları nedeniyle yangın riskinin yüksek olduğu kategoride yer alır. Bu evredeki ormanlar, hem tutuşma hem de yayılma açısından kritik risk taşır.
- Çok Yüksek Risk: Gençlik ve sıklık evresindeki ormanlar, yanıcı biyokütlenin en yoğun olduğu gelişim aşamasıdır. Bu tür ormanlar, düşük nem içeriği ve sık bitki yapısı nedeniyle yangına karşı en hassas kategoride değerlendirilir. Yangınların bu alanlarda hızla yayılması muhtemeldir.

Kapalılık (0,2-1): Kapalılık, orman örtüsünün yoğunluğunu ifade eden ve yangın riskini belirlemede kullanılan önemli değişkenlerden biridir. Kapalılık oranı, bir ormanlık alanın bitki örtüsü ile ne kadar yoğun kaplandığını gösterir ve yangınların tutuşma, yayılma ve şiddetini doğrudan etkiler. Daha yüksek kapalılık oranları, yoğun biyokütle ve sınırlı hava dolaşımı nedeniyle yangın riskini artırırken, daha düşük kapalılık oranları yangın riskinin daha düşük olduğu alanları ifade eder. risk sınıfları ve kapalılık şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Çok Düşük Risk (0,2): Kapalılık oranı %0 olan alanlar, orman örtüsünün bulunmadığı veya çok sınırlı olduğu bölgeler olarak değerlendirilmiştir. Bu alanlarda yangın tutuşma riski oldukça düşüktür. Örnek olarak açık alanlar, tarım arazileri ve yerleşim yerleri gösterilebilir.

- Orta Risk (0,6): Orman örtüsünün seyrek olduğu alanlar, %11-40 arasında kapalılık oranına sahiptir. Bu alanlar, yangının tutuşma olasılığının orta düzeyde olduğu ve yayılma hızının görece sınırlı olduğu bölgeleri ifade eder.
- Yüksek Risk (0,8): Kapalılık oranının %41-70 olduğu alanlar, Orta düzeyde yoğunlaşmış orman örtüsüne sahip alanlar, yangın riskinin yüksek olduğu kategoride yer alır. Bu alanlar, yangının yayılma potansiyeline sahip olduğu ve kontrol edilmesinin daha zor olabileceği alanlardır.
- Çok Yüksek Risk (1,0): Kapalılık oranının %71-100 olduğu alanlar, yoğun orman örtüsüne sahip bölgeleri ifade eder. Bu tür alanlar, yangının tutuşma ve yayılma hızının en yüksek olduğu bölgeler olarak değerlendirilmiştir. Yoğun biyokütle yapısı ve sınırlı hava akışı, bu alanlarda yangın riskini en üst düzeye çıkarmaktadır.

Bakı (0,2-1): Bakı, bir alanın güneşe maruz kalma oranını belirler ve bu da toprağın kurummasını ve yanıcı maddelerin tutuşma ihtimalini etkiler. Güneye bakan yamaçlar, genellikle daha fazla güneş aldığı için yangın riski daha yüksektir. Buna karşılık, kuzey yamaçları nem oranı daha yüksek olduğu için daha düşük risk taşır. Güneye bakan yamaçlar (daha kuru ve sıcak) yüksek risk olarak değerlendirilirken, kuzey yamaçları (daha nemli ve serin) düşük risk kategorisine alınmıştır. Risk haritalarında bu değişkenler, topoğrafik faktörler ile birlikte değerlendirilmiştir.

Yangın Risk Haritasının Doğrulanması

Bu çalışmada yangın risk haritasının doğruluğunu değerlendirmek için ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi ve AUC (Area Under the Curve) analiz yöntemleri, ArcMap ortamında çalışan ArcSDM (Spatial Data Modeller) eklentisi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerin seçilmesinin nedeni, yangın risk haritasının güvenilirliğini nesnel bir biçimde değerlendirmek ve modelin yangın riskini doğru bir şekilde öngörme kapasitesini sağlamaktır. ArcSDM eklentisi, uzamsal veri analizlerinde doğruluk değerlendirmeyi kolaylaştıran araçlar sunarak ROC ve AUC analizlerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılmasını sağlar.

ArcSDM Kullanılarak Yapılan Analiz Süreci

1. Veri Hazırlığı:

Yangın risk haritası ve 2013-2023 yılları arasındaki gerçek yangın noktaları, ArcSDM'nin ROC analizi işlevine uyumlu olacak şekilde ArcMap'e aktarıldı.

ArcSDM, risk haritasındaki farklı risk seviyelerine göre doğru pozitif (True Positive) ve yanlış pozitif (False Positive) oranlarını hesaplayarak ROC eğrisinin oluşturulması için gerekli veriyi sağladı.

2. ROC Eğrisinin Oluşturulması:

ROC eğrisi, yangın risk haritasının model çıktılarının, gerçek yangın noktaları ile ne derece örtüştüğünü grafiksel olarak gösterir. ArcSDM eklentisi, risk haritasındaki çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek gibi risk sınıflarını belirleyerek, gerçek yangın noktalarıyla ne ölçüde örtüştüğünü incelemek için bu sınıfları ROC eğrisi üzerinde değerlendirmiştir.

Bu analizde, farklı risk düzeyleri kullanılarak her bir seviyede doğru ve yanlış tahmin oranları hesaplanmış, elde edilen oranlar bir ROC eğrisi grafiğinde gösterilmiştir. Bu grafik, modelin yüksek riskli bölgeleri doğru bir şekilde tahmin edebilme oranını görselleştirir.

3. AUC (Eğri Altında Kalan Alan) Hesaplaması:

AUC, ROC eğrisinin altında kalan alanın bir ölçümüdür ve modelin öngörü kapasitesini sayısal olarak ifade eder. Modelin ayırt etme gücü AUC değeri ile belirlenir. AUC değeri ne kadar 1'e yakınsa modelin doğruluğu o kadar yüksek kabul edilir.

ArcSDM, ROC eğrisi altında kalan alanı (AUC) otomatik olarak hesaplayarak, modelin ayırt edici kapasitesini ortaya koymuştur.

HO-Markov Modeli ile Arazi Kullanım Değişiklikleri

HO-Markov modeli kullanılarak, 2018 yılından 2050 yılına kadar beklenen arazi kullanım değişiklikleri simüle edilmiştir. Model, yerleşim alanlarına dönüşen bölgelerin mekânsal dağılımını ortaya koymuştur.

HO-Markov modeliyle yerleşim alanlarına geçiş yapan bölgeler için bir geçiş haritası oluşturulmuştur. Bu harita, tarım ve orman alanlarından yerleşim alanlarına gerçekleşen dönüşümleri detaylı bir şekilde göstermektedir.

2050 projeksiyonunda yerleşim alanlarına geçiş yapan bölgeler, AHP yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritası ile karşılaştırılmıştır. Bu analiz, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında gerçekleştirilmiş olup, her bir yerleşim alanı geçişinin hangi yangın risk grubuna dahil olduğu belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kentsel Gelişim

4.1.1. CORINE Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Verilerinin Elde Edilmesi, Haritaların Oluşturulması

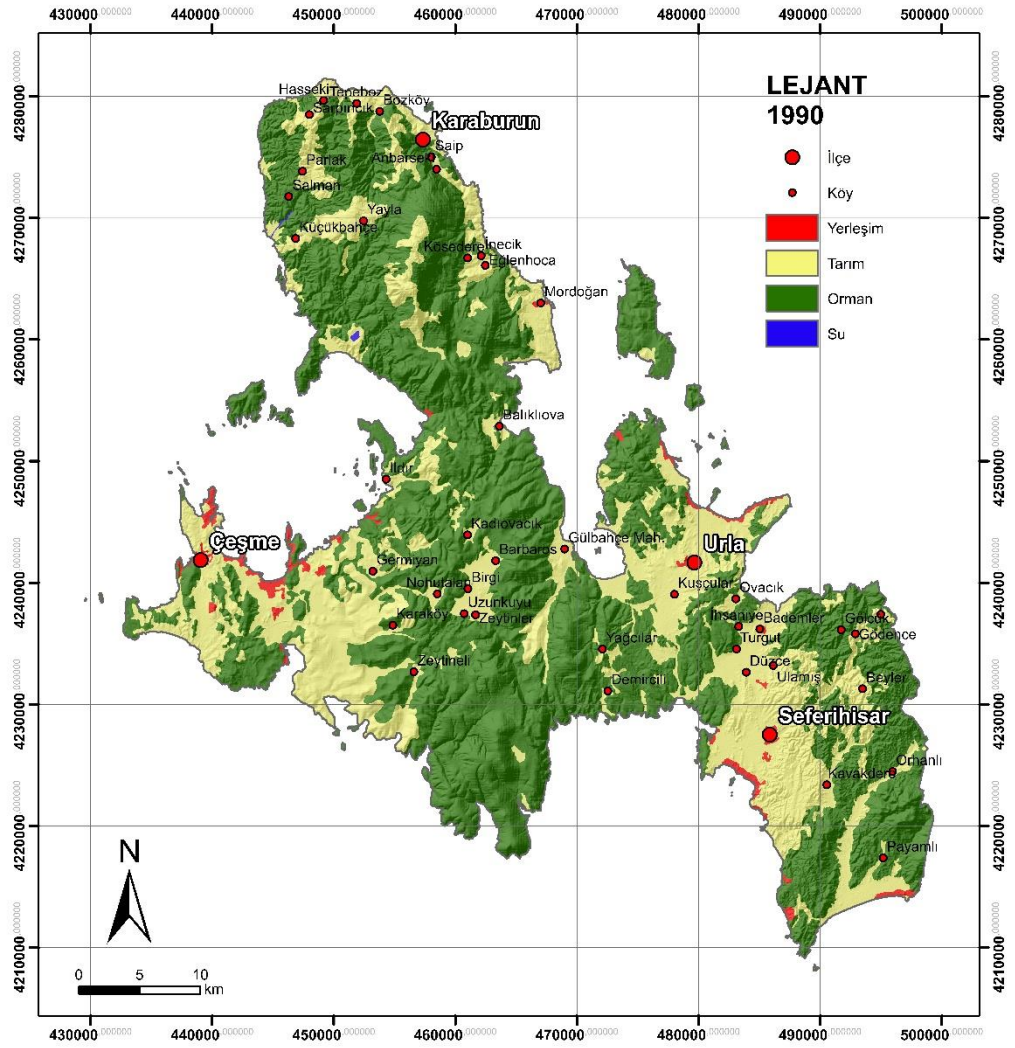
İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinden oluşan çalışma alanı 1990, 2006 ve 2018 yılları için CORINE Arazi Örtüsü (CLC) veri seti analizi ile incelenmiştir. Analizlerde, İzmir ilçe haritasının koordinat sistemi WGS 1984 UTM 35N bölgesinde tanımlanmıştır. CLC veri seti, sembolizasyon yöntemiyle düzenlenerek sınıflandırılmış ve bu sayede sayısal ve mekânsal açıdan arazi kullanımlarının analizi yapılmıştır. Yapay ve doğal alanların değişimlerinin yıllar bazında daha net olarak görülmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma ile özellikle kentleşmenin arazi kullanımı açısından nasıl bir eğilim gösterdiği incelenmiştir.

4.1.2. 1990-2006-2018 Yılları İçin Arazi Örtüsü/Alan Kullanım (AÖ/AK) Sınıfları

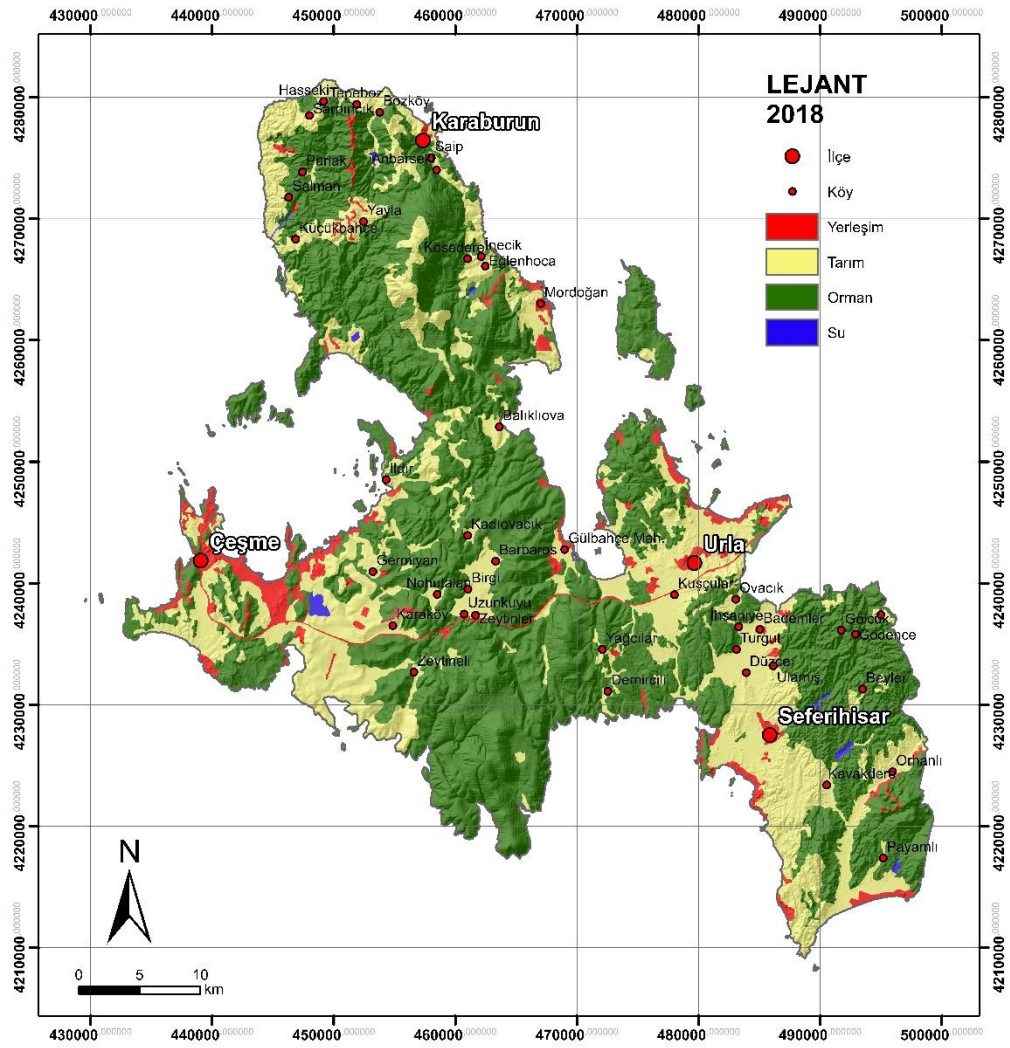
Bu çalışmada, 1990, 2006 ve 2018 yıllarına ait Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı haritalarını kullanarak arazi değişim eğilimlerini analiz etmek için bir arazi değişim modeli geliştirmiştir. Bu model, araştırma alanının gelecekteki arazi değişim eğilimlerini tahmin etmek için kullanılmıştır.

Ana unsurlardan biri, CORINE Arazi Örtüsü (CLC) 1. düzey sınıflama sistemi kullanılarak üretilen haritalardır. Bu haritalar, Google Earth ve diğer yardımcı veriler (orman meşcere haritaları, topoğrafik haritalar gibi) ile birlikte mevcut durum bilgilerini kullanarak detaylı bir şekilde oluşturulmuştur (Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3.).

Çalışmada kullanılan veri setleriyle ilgili haritalar ve bu haritalara ait istatistiksel bilgiler, verilerin kullanıldığı ilgili bölümlerde detaylı olarak sunulmuştur. Bu yöntemler, arazi değişim eğilimlerini anlamak ve gelecekteki değişimleri öngörmek için güçlü bir temel sağlamaktadır.



Şekil 4.1. 1990 Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritası



Şekil 4.3. 2018 Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritası

Çalışma alanına ait 1990, 2006 ve 2018 yılı CORINE verileri, CORINE (1. Düzey) sistemine uygun olarak sınıflandırılan, 1 Yerleşim, 2 Tarım, 3 Orman ve 4 Su olmak üzere 4 adet Arazi Örtüsü/Alan Kullanım sınıfı oluşturulmuştur. Şekil 4.3 ve Şekil 4.7’de görülen Karaburun Yarımadası’nda kuzey-güney doğrultusunda bir hat boyunca gözlemlenen ve yerleşim alanı olarak değerlendirilen şerit, aslında rüzgar türbinlerinin kurulumu nedeniyle bozulmuş ve değiştirilmiş alanları kapsamaktadır. Bu alanlarda gerçek anlamda konut yerleşimi bulunmamakla birlikte, gelişmeye konu olan alanlar olarak kabul edilmiş ve yerleşim sınıfı altında değerlendirilmiştir.

4.1.3. Alan Kullanımlarının Sınıflandırılmasına İlişkin Doğruluk Analizlerinin Yapılması

Çalışma alanına ait 1990, 2006 ve 2018 yılı CORINE verileri, CORINE (1. Düzey) sistemine uygun olarak sınıflandırılan, 1 Yerleşim, 2 Tarım, 3 Orman ve 4 Su olmak üzere 4 adet Arazi Örtüsü/Alan Kullanım sınıfı oluşturulmuştur. Çalışmanın doğruluk analizlerinin yapılabilmesi için, ArcMap 10.8 yazılımında “Spatial Analyst Tools” aracı kullanılarak, her bir sınıf için 125 nokta

olmak üzere tek bir yıla ait 500, toplam 3 yıla ait rastgele 1500 nokta atılmıştır. Atılan noktalar, referans görüntü olarak Google Earth Pro görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında ise doğruluk analizinde oldukça sık kullanılan hata matrisi yardımıyla üretici, kullanıcı, genel doğruluk, ve Kappa değerleri hesaplanmıştır. 1990 (Çizelge 4.1.), 2006 (Çizelge 4.2.), 2018 (Çizelge 4.3.) yıllarına ait matrisler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1990 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu

1990	Arazi Kullanımı	Yerleşim	Tarım	Orman	Su	Toplam Nokta Sayısı	Kullanıcı Doğruluğu	Kappa
1	Yerleşim	110	13	2	0	125	0.88	
2	Tarım	3	120	2	0	125	0.96	
3	Orman	2	2	121	0	125	0.97	
4	Su	0	15	5	105	125	0.84	
	Toplam Nokta sayısı	115	150	130	105	500	0.00	
	Üretici Doğruluğu	0.96	0.80	0.93	1.00	0.00	0.91	
	Kappa							0.88

Çizelge 4.2. 2006 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu

2006	Arazi Kullanımı	Yerleşim	Tarım	Orman	Su	Toplam Nokta Sayısı	Kullanıcı Doğruluğu	Kappa
1	Yerleşim	109	14	2	0	125	0.87	
2	Tarım	4	114	7	0	125	0.91	
3	Orman	3	8	114	0	125	0.91	
4	Su	0	6	0	119	125	0.95	
	Toplam Nokta sayısı	116	142	123	119	500	0.00	
	Üretici Doğruluğu	0.94	0.80	0.93	1.00	0.00	0.91	
	Kappa							0.88

Çizelge 4.3. 2018 Üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu

2018	Arazi Kullanımı	Yerleşim	Tarım	Orman	Su	Toplam Nokta Sayısı	Kullanıcı Doğruluğu	Kappa
1	Yerleşim	116	6	3	0	125	0.93	
2	Tarım	4	117	4	0	125	0.94	
3	Orman	1	1	123	0	125	0.98	
4	Su	0	0	2	123	125	0.98	
	Toplam Nokta Sayısı	121	124	132	123	500	0.00	
	Üretici Doğruluğu	0.96	0.94	0.93	1.00	0.00	0.96	
	Kappa							0.94

Çizelge 4.4'te sunulan 1990, 2006 ve 2018 yıllarına ait Genel Doğruluk (GD) ve Kappa Katsayısı (KK) değerleri, arazi kullanım sınıflandırma doğruluğunda yıllar içinde kaydedilen iyileşmeleri göstermektedir. 1990 ve 2006 yıllarında %91 düzeyinde olan Genel Doğruluk oranı, 2018 yılında %96'ya yükselmiş, Kappa Katsayısı ise 0.88'den 0.94'e çıkmıştır.

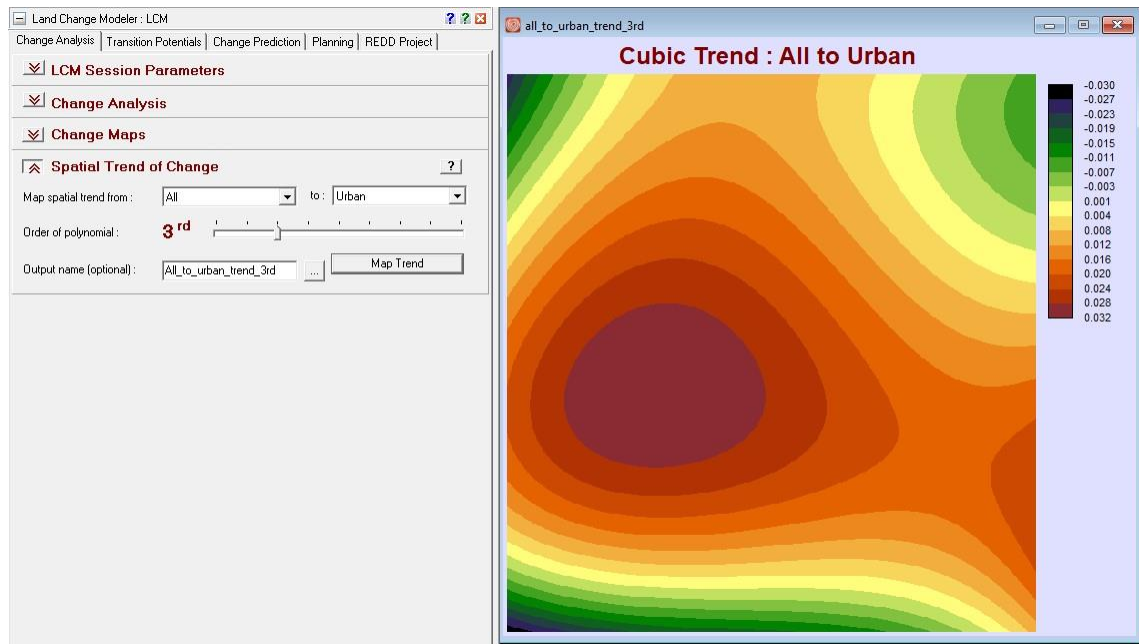
Çizelge 4.4. 1990-2006-2018 Yılları Genel Doğruluk (GD) ve Kappa Katsayısı (KK)

Yıl	Genel Doğruluk	Kappa Katsayısı
1990	0.91	0.88
2006	0.91	0.88
2018	0.96	0.94

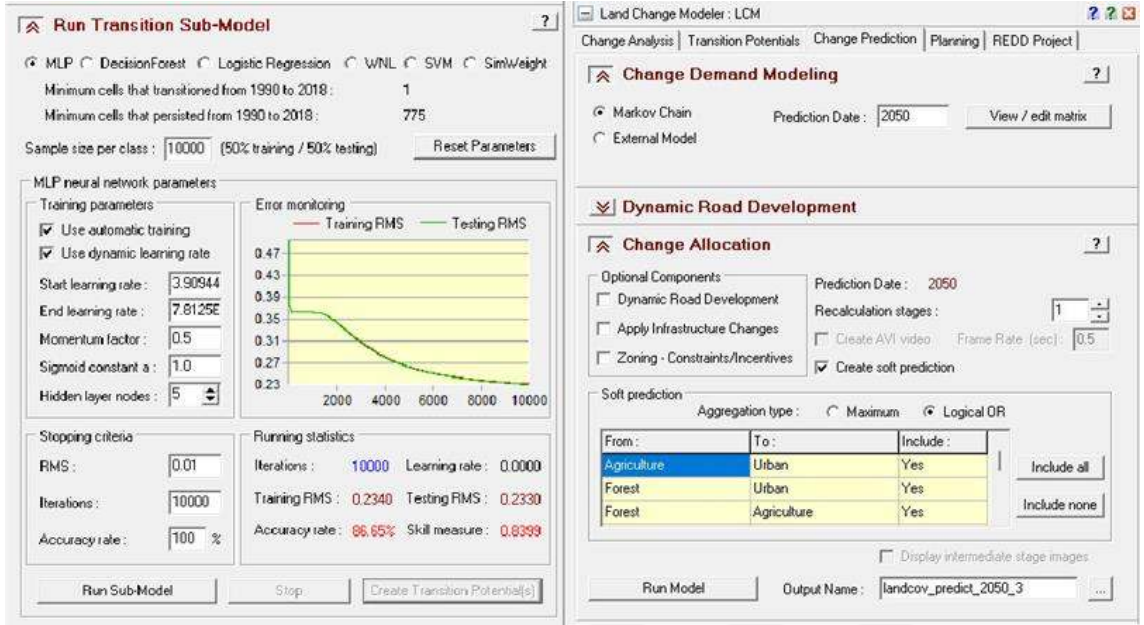
4.1.4. 2050 Yılı Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Değişimleri: Kentleşme Eğilimleri

Çalışmanın bu bölümünde çalışma alanı için 2050 yılı projeksiyonu ile gelecekteki kentsel gelişim açısından arazi değişim eğilimleri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, TerrSet yazılımının Arazi Değişim Modelleyicisi modülü yardımı ile araştırma alanında meydana gelen 1990 yılı ile 2018 yılları arasındaki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri belirlenmiştir.

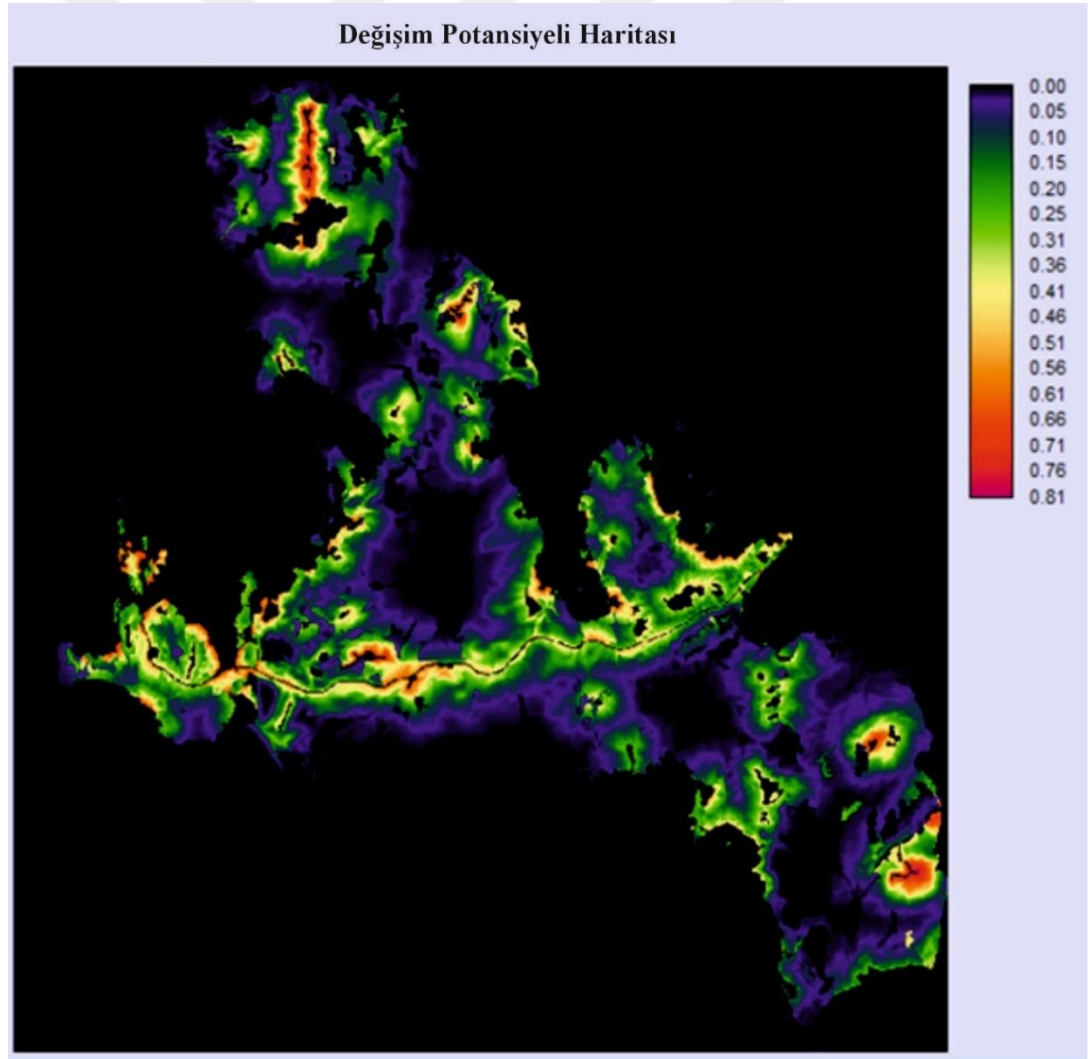
Sınıflandırılmış haritaların TerrSet 2020 programında (LCM) Modülü yardımı ile işlenmesi sonrasında mekânsal değişim eğilimleri (Spatial Trend of Change) hesaplanmıştır. Mekânsal değişim eğilimleri, her sınıf için ayrı ayrı oluşturulmuş, oluşturulan veriler kullanılarak 2050 yılı için değişim potansiyeli haritası (Şekil 4.6) elde edilmiştir. Değişim eğilimleri ve değişim potansiyeli haritası kullanılarak makine öğretimi (Şekil 4.4, 4.5, 4.6.) yapılmış ve sonrasında 2050 yılı öngörülen projeksiyon haritası (Şekil 4.7.) üretilmiştir.



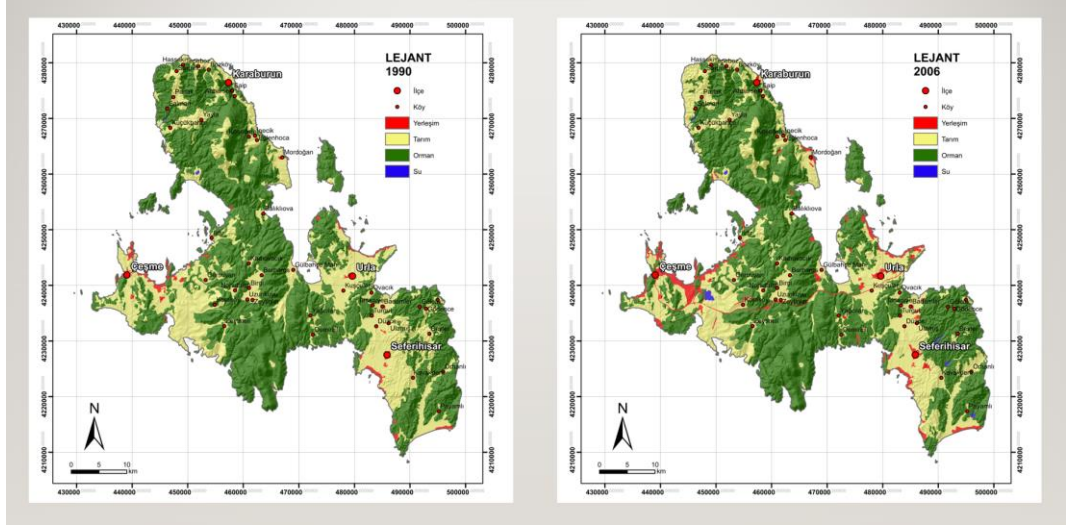
Şekil 4.4. TerrSet 2020 Programında Mekânsal Değişim Eğilimlerinin Oluşturulması



Şekil 4.5. Girilen Verilerin Makineye Öğretim Süreci



Şekil 4.6. 2050 Yılı İçin Değişim Potansiyeli Haritası



Şekil 4.8. 1990 ve 2006 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları

Çizelge 4.5. 1990 ve 2006 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi

CORINE Düzey 1	Arazi Kullanımı	1990 Yılı (Ha)	2006 Yılı (Ha)	1990-2006 (Ha)	1990-2006 (%)
1	Yerleşim	2599.92	7375.95	4776.03	183.70
2	Tarım	58724.73	53738.28	-4986.45	-8.49
3	Orman	116973.90	116742.80	-231.12	-0.20
4	Su	73.89	515.43	441.54	597.56
	Toplam	178372.4	178372.4		

1990 ile 2006 yılları arasındaki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri, farklı kategorilerde önemli varyasyonlar sergilemiştir.

Yerleşim Alanları: 1990 yılında 2599.92 hektar olan yerleşim alanları, 2006 yılında 7375.95 hektara yükselmiştir. Bu dönemde toplamda 4776.03 hektarlık bir artış yaşanmıştır. Yerleşim alanlarında %183.70 oranında bir artış gerçekleşmiştir.

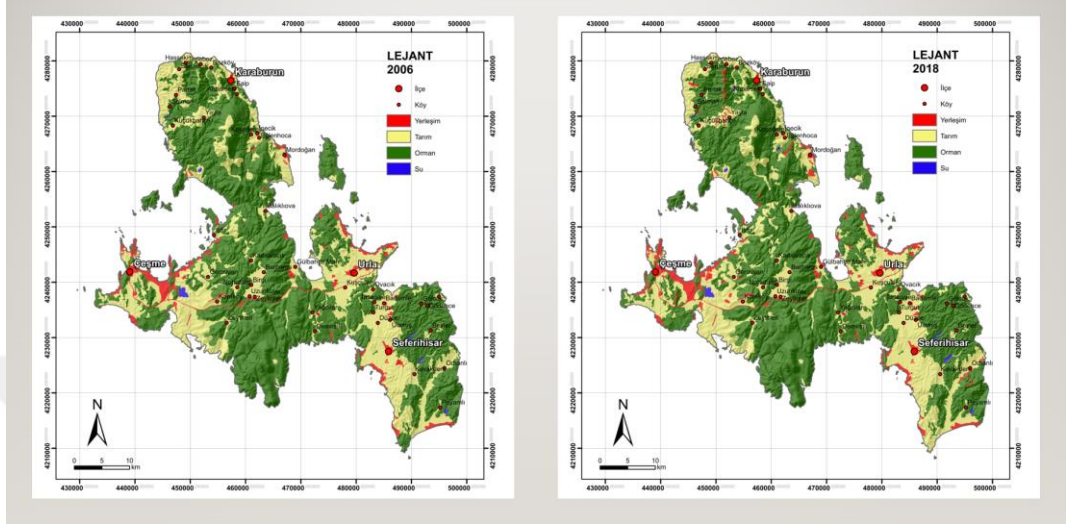
Tarım Alanları: 1990 yılında 58724.73 hektar olan tarım alanları, 2006 yılında 53738.28 hektara düşmüştür. Bu dönemde toplamda 4986.45 hektarlık bir azalma yaşanmıştır. %8.49'luk bir azalma gözlemlenmiştir. Tarım alanlarında ise dikkate değer bir azalış gözlemlenmiştir.

Orman Alanları: 1990 yılında 116973.90 hektar olan orman alanları, 2006 yılında 116742.80 hektara düşmüştür. Bu dönemde toplamda 231.12 hektarlık bir azalma yaşanmıştır. Orman alanlarında %0.2'lik bir azalma kaydedilmiştir.

Su Alanları: 1990-2006 yılları arasında su alanlarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Bu dönemde, sulu tarım faaliyetlerini desteklemek ve içme-kullanma suyu temin etmek amacıyla çok sayıda baraj ve gölet inşa edilmiştir. 1990 yılında Ürkmez Barajı, 1994 yılında Seferihisar Barajı, 1997'de Kutlu Aktaş Barajı ve 2006 yılında Kavakdere Barajı tamamlanmıştır. Bunun sonucunda, 1990 yılında 73.89 hektar olan su alanları, 2006 yılında 515.43 hektara yükselmiş; toplamda 441.54 hektarlık bir artış gerçekleşmiştir. Böylece, su alanlarında %597.56 oranında artış kaydedilmiştir.

4.1.6. 2006 ve 2018 yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) zamansal değişimi

2006 ve 2018 yılları arasında çalışma alanında gerçekleşen Arazi örtüsü ve Alan kullanımındaki (AÖ/AK) zamansal değişimler incelenmiştir (Şekil 4.9. ve Çizelge 4.6.). Bu dönemde yerleşimlerin artması, tarım alanlarının azalması ve su kaynaklarının genişlemesi gibi değişimler, bölgenin arazi kullanım yapısını yeniden şekillendirmiştir.



Şekil 4.9. 2006 ve 2018 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları

Çizelge 4.6. 2006 ve 2018 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi

CORINE Düzey 1	Arazi Kullanımı	2006 Yılı (Ha)	2018 Yılı (Ha)	2006-2018 (Ha)	2006-2018 (%)
1	Yerleşim	7375.95	9197.64	1821.69	24.70
2	Tarım	53738.28	53450.46	-287.82	-0.54
3	Orman	116742.80	115089.60	-1653.21	-1.42
4	Su	515.43	634.77	119.34	23.15
	Toplam	178372.40	178372.40		

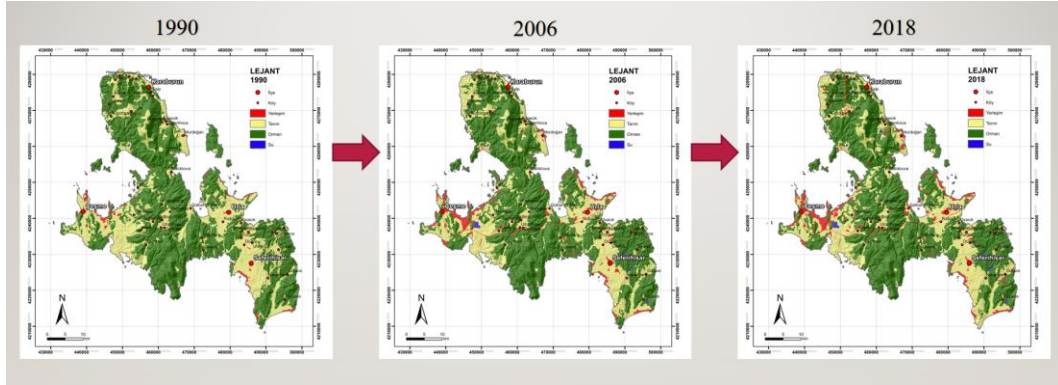
2006 ile 2018 yılları arasındaki Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri, farklı kategorilerde dikkate değer farklılıklar göstermektedir.

Yerleşim Alanları: Yerleşim alanları, 2006 ile 2018 arasında artmaya devam etmiştir. 2006 yılında 7375.95 hektar olan yerleşim alanları, 2018 yılında 9197.64 hektara yükselmiştir. Bu dönemde toplamda 1821.69 hektarlık bir artış yaşanmıştır. Yerleşim alanlarında %24.70 oranında bir artış gerçekleşmiştir.

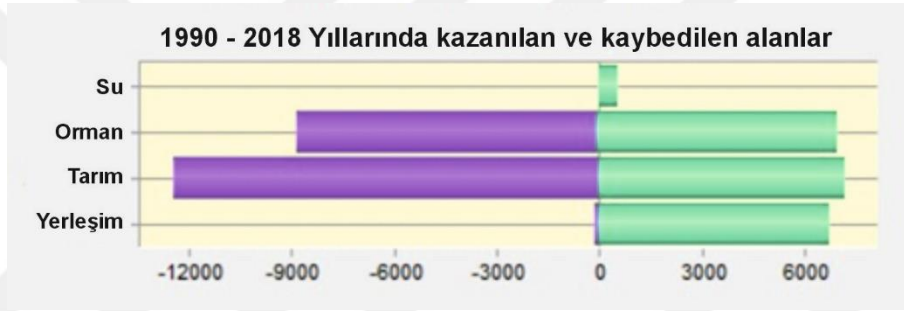
Tarım Alanları: 2006 yılında 53738.28 hektar olan tarım alanları, 2018 yılında 53450.46 hektara düşmüştür. Bu dönemde toplamda 287.82 hektarlık bir azalma yaşanmıştır. Tarım alanlarında %0,54'lük bir azalma kaydedilmiştir.

Orman Alanları: Orman alanlarında belirgin bir azalış gözlemlenmiştir. 2006 yılında 116742.80 hektar olan orman alanları, 2018 yılında 115089.60 hektara düşmüştür. Bu dönemde toplamda 1653.21 hektarlık bir azalma yaşanmıştır. Yani, orman alanlarında %1,42'lik bir azalma kaydedilmiştir.

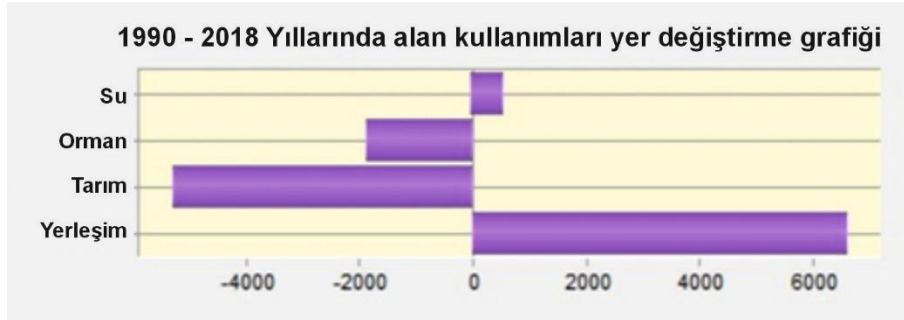
Su Alanları: Su alanlarında ise belirgin bir artış gözlemlenmiştir. 2006 yılında 515.43 hektar olan su alanları, 2018 yılında 634.77 hektara yükselmiştir. Bu dönemde toplamda 119.34 hektarlık bir artış yaşanmıştır. Yani, su alanlarında %23.15'lik bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. 1990, 2006 ve 2018 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları

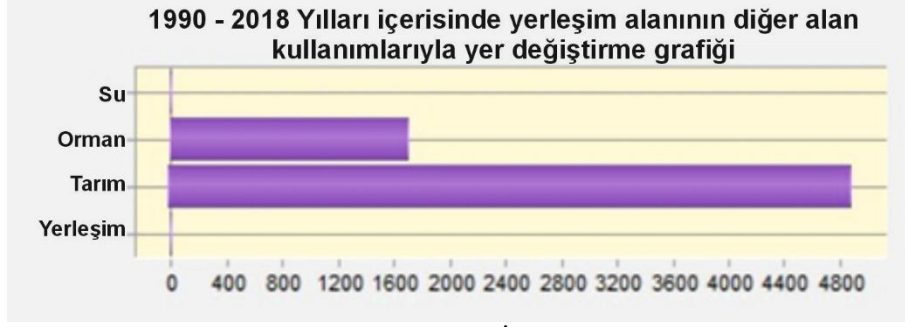


Şekil 4.11. 1990-2018 Kazanılan ve Kaybedilen Alanlar

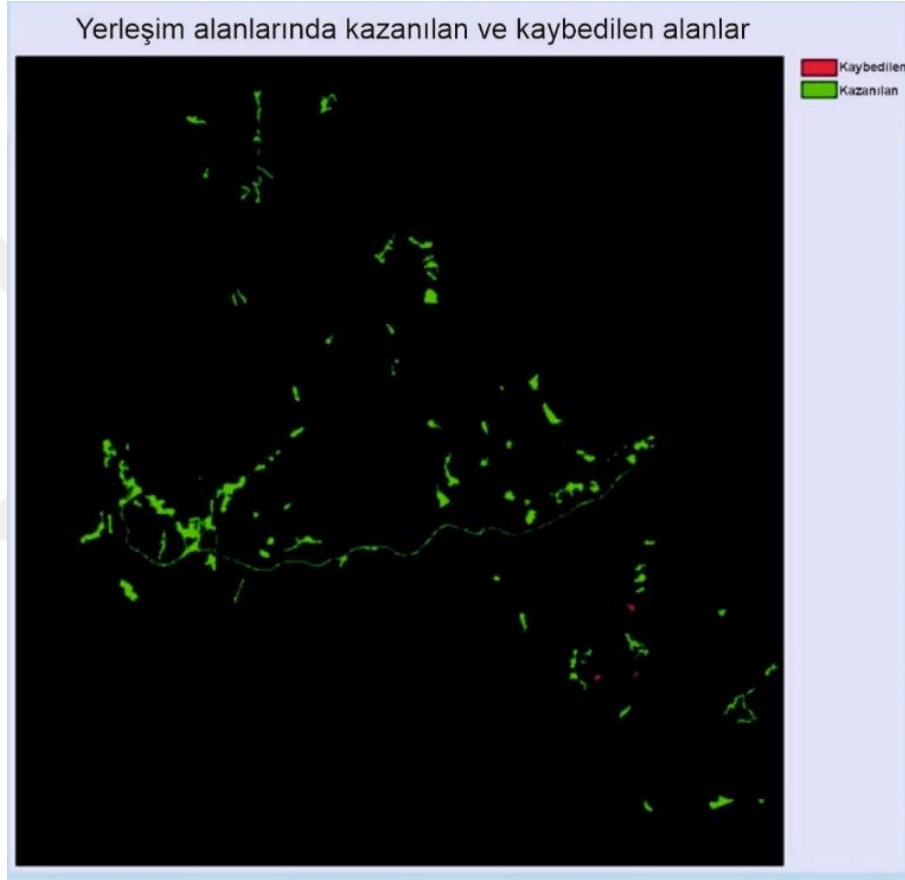


Şekil 4.12. 1990-2018 Alan Kullanımları Yer Değiştirme Grafiği

Yerleşim alanları: Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da görüldüğü üzere, 1990-2006 yılları arasında yerleşim alanlarında 4776.03 ha (%183.7), 2006-2018 yılları arasında 1821.69 ha (% 24.7) artış olmuştur. Toplamda 1990'dan 2018'e yerleşim yeri toplam alanı 6597.72 ha (% 253.77) artmıştır. Bu artışın 4894 ha'ı tarım alanlarından, 1703 ha'ı orman alanlarından olmuştur (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14).

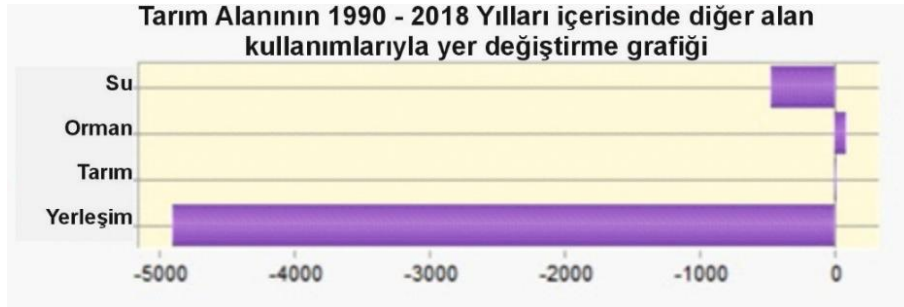


Şekil 4.13. Yerleşim Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği

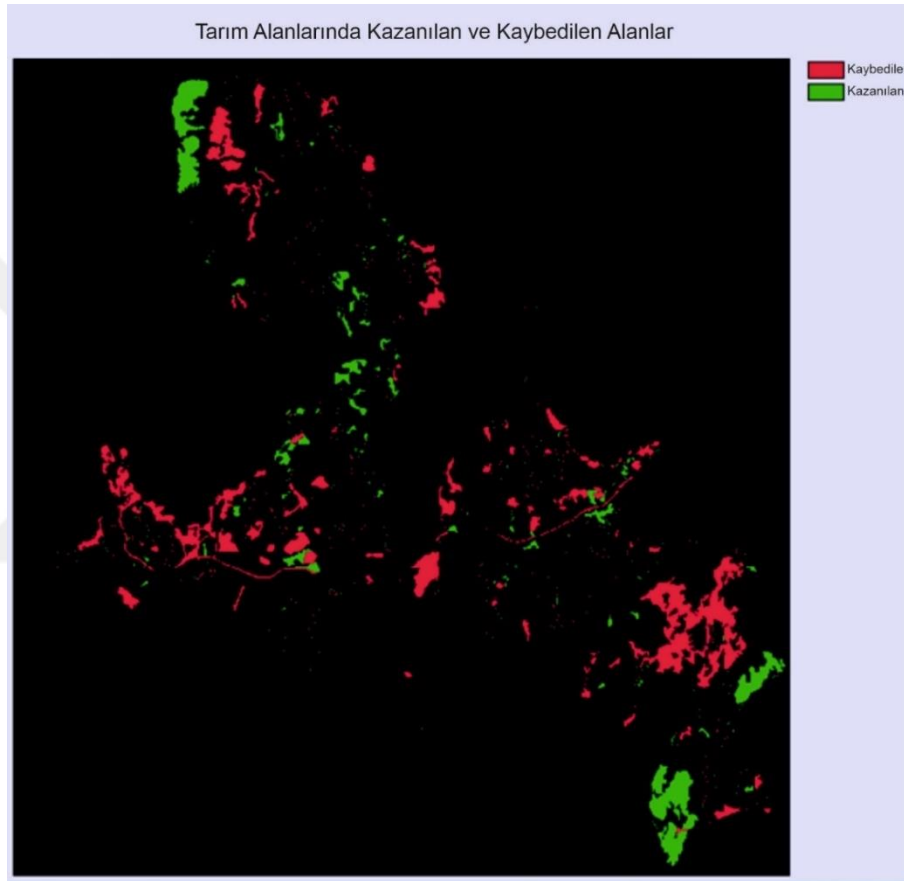


Şekil 4.14. Yerleşim Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Tarım alanları: Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 ‘da görüldüğü üzere, 1990-2006 yılları arasında tarım alanları 4986.45 ha (% 8.49), 2006-2018 yılları arasında 287.82 ha (% 0.54) azalış olmuştur. Toplamda 1990’dan 2018’e toplam tarım alanı 5274.27 ha (% 8.98) azalmıştır. Bu azalışın 4894 ha’ı yerleşim alanlarına, 463 ha’ı su alanlarına olmuştur. Orman alanlarından ise 83 ha tarım alanlarına geçiş olmuştur (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16).

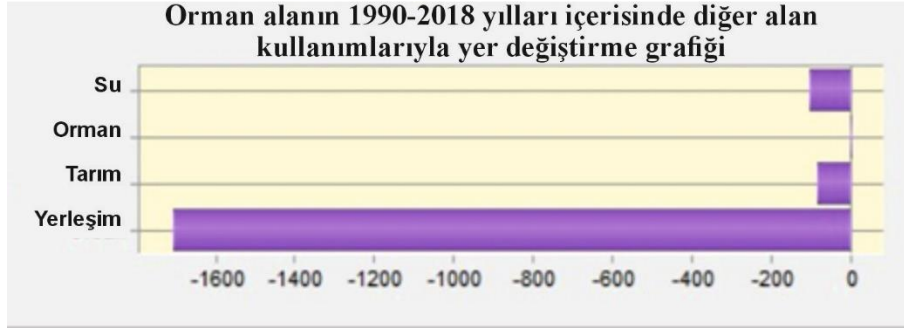


Şekil 4.15. Tarım Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği

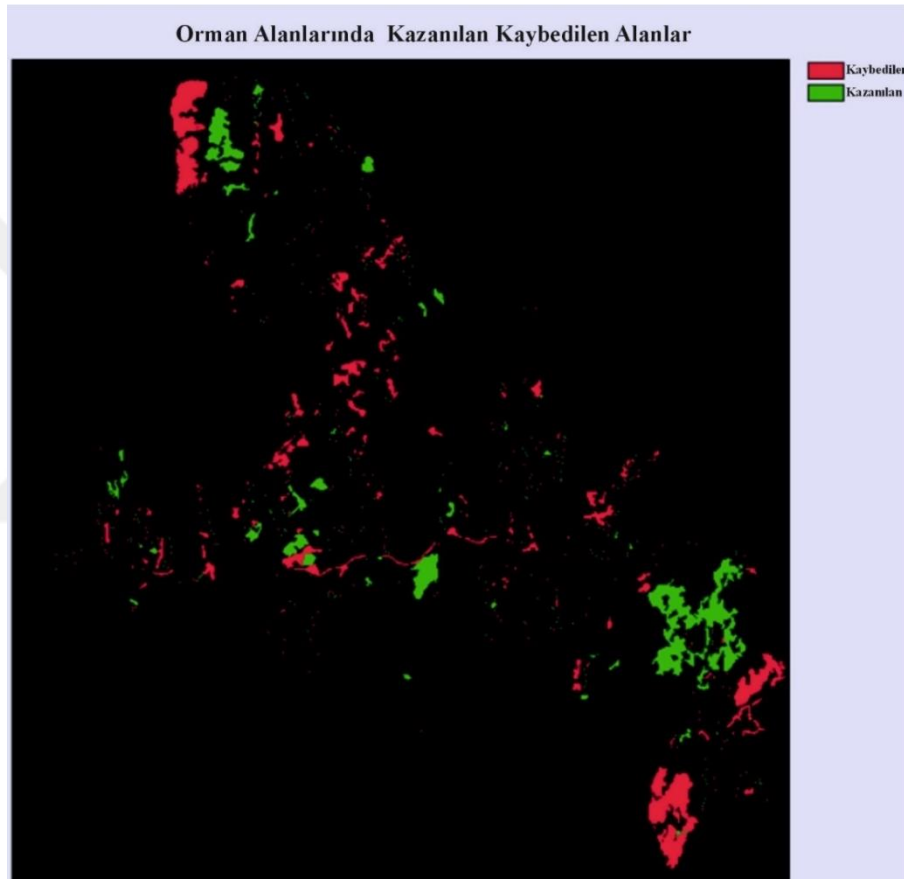


Şekil 4.16. Tarım Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Orman alanları: Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da görüldüğü üzere, 1990-2006 yılları arasında orman alanları 231.12 ha (%0.2), 2006-2018 yılları arasında 1653.21 ha (% 1.42) azalış olmuştur. Toplamda 1990'dan 2018'e toplam orman alanı 1884.3 ha (% 1.61) azalmıştır. Bu azalışın 1703 ha yerleşim alanlarına 83 ha'ı tarım alanlarına ve 98 ha'ı su alanlarına olmuştur (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

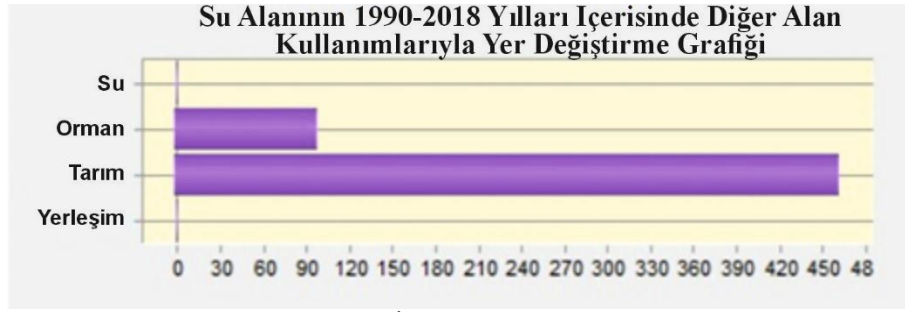


Şekil 4.17. Orman Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği

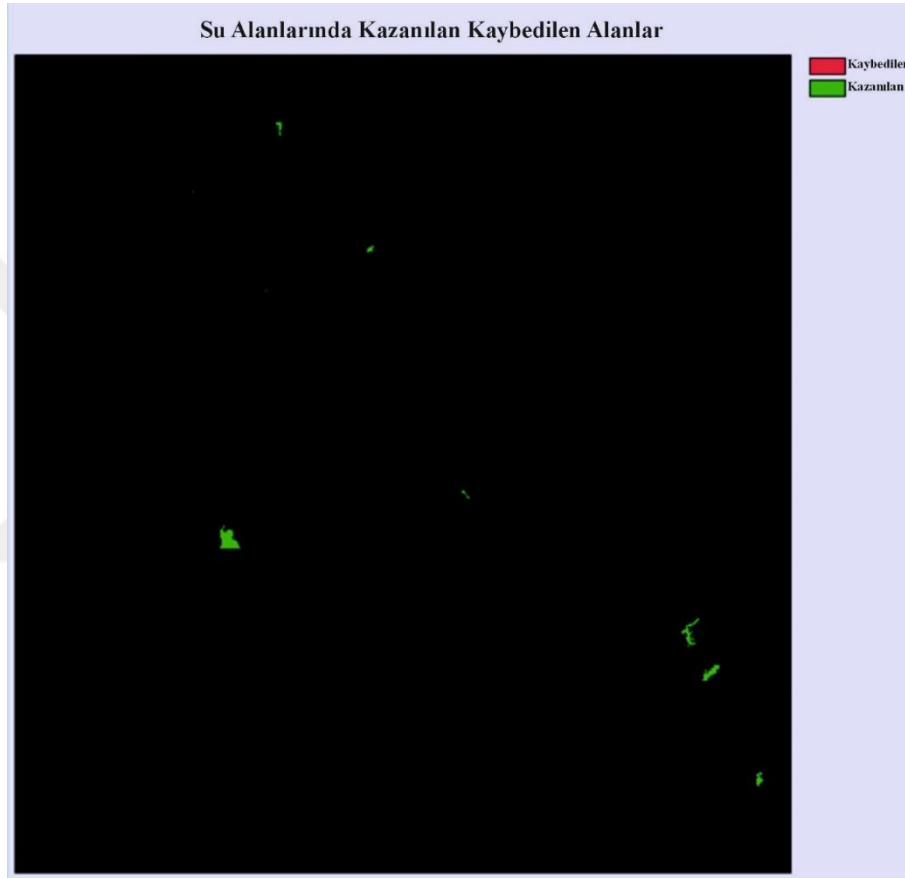


Şekil 4.18. Orman Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Su alanları: Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da görüldüğü üzere, 1990-2006 yılları arasında su alanları 441.54 ha (% 597.56), 2006-2018 yılları arasında 119.34 ha (%23.15) artış olmuştur. Toplamda 1990'dan 2018'e toplam su alanı 560.88 ha (%759.07) artmıştır. Bu artış tarımdan 463 ha ve ormandan 98 ha su alanlarına olmuştur (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).



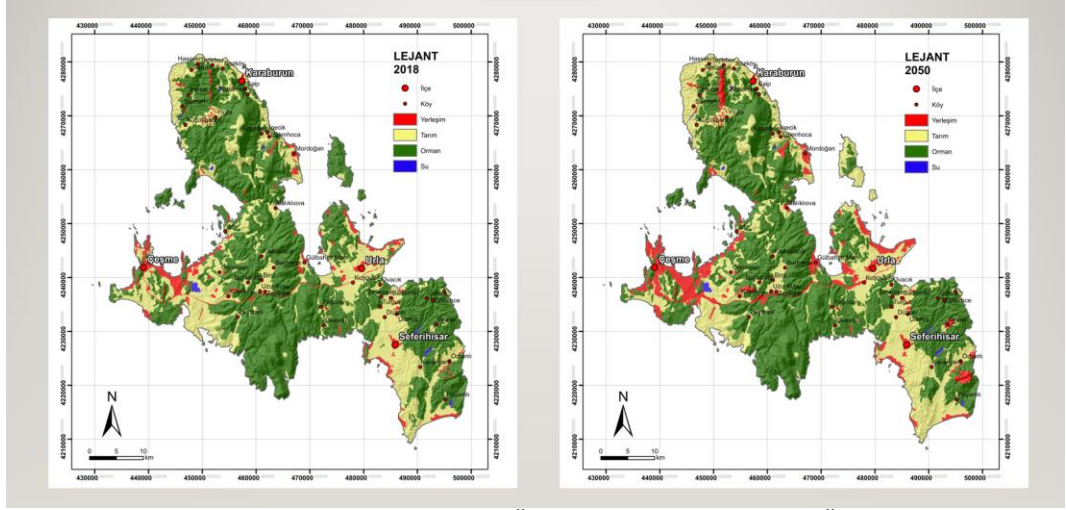
Şekil 4.19. Su Alanının 1990-2018 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği



Şekil 4.20. Su Alanlarında 1990-2018 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

4.1.7. 2018 ve 2050 Yılları İçin Arazi Örtüsü/Alan Kullanımının (AÖ/AK) Zamansal Değişimi

2018 ve tahmini 2050 yılları arasında çalışma alanında gerçekleşmesi öngörülen Arazi Örtüsü ve Alan Kullanımındaki (AÖ/AK) zamansal değişimler incelenmiştir (Şekil 4.21. ve Çizelge 4.7.). 2018-2050 yılları arasındaki mekânsal farklılıkları ve bu farklılıkların bölgesel dağılımını görselleştirmek amacıyla bir bölgesel fark haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.24.).



Şekil 4.21. 2018 ve 2050 Yılları Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) Haritaları

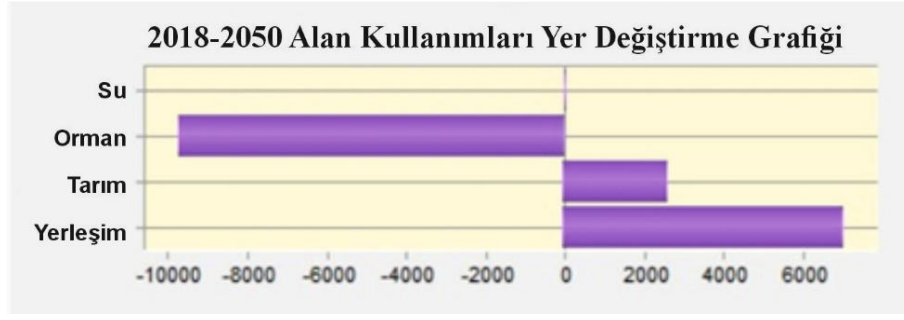
Karaburun Yarımadası'nda kuzey-güney doğrultusunda bir hat boyunca gözlemlenen ve yerleşim alanı olarak değerlendirilen şerit, rüzgar türbinlerinin kurulumu nedeniyle bozulmuş ve değiştirilmiş alanları kapsamaktadır. Bu alanlarda gerçek anlamda konut yerleşimi bulunmamaktadır. Ancak bu alanlar, yerleşim sınıfı altında değerlendirilmiş ve analizlerde gelişime açık alanlar olarak kabul edilmiştir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.24).

Çizelge 4.7. 2018 ve 2050 Yılları için Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı (AÖ/AK) zamansal değişimi

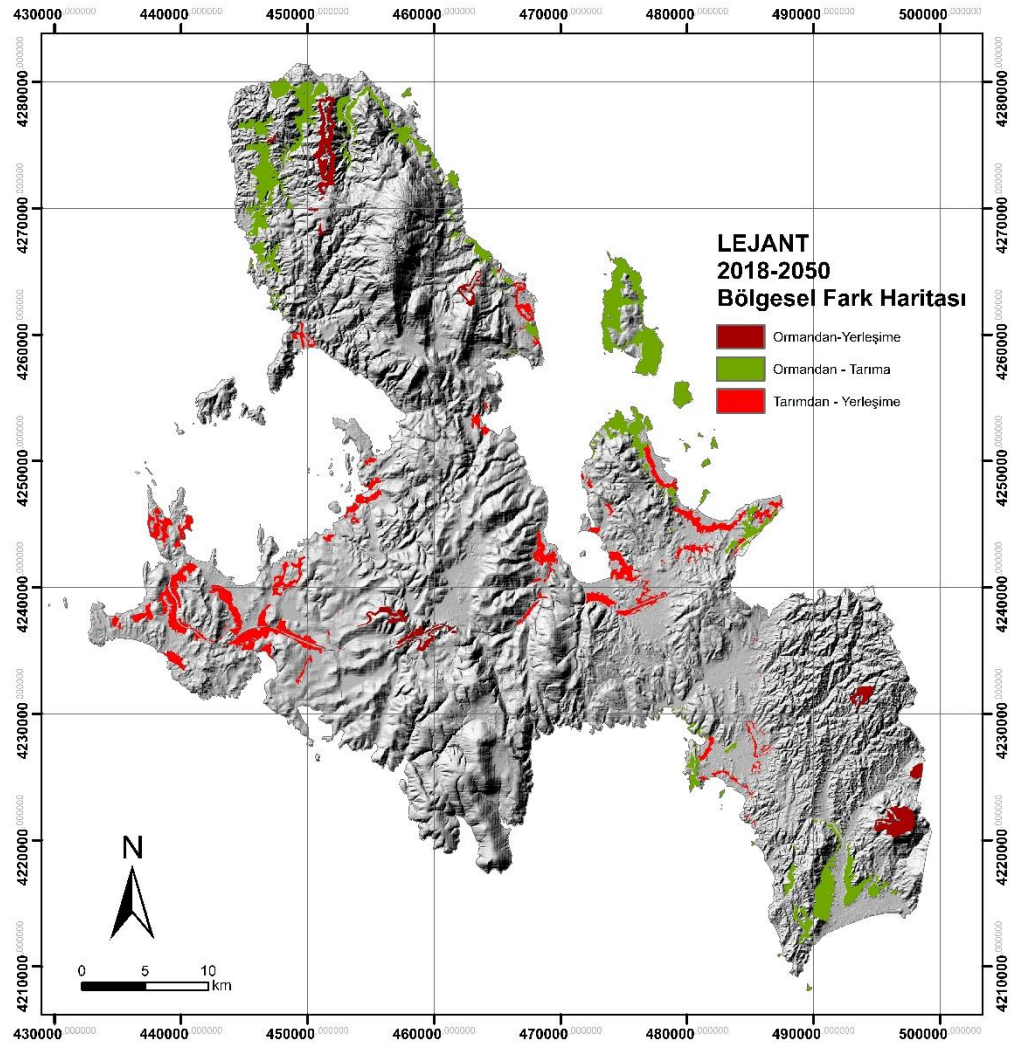
CORINE Düzey 1	Arazi Kullanımı	2018 Yılı (Ha)	2050 Yılı Tahmini (Ha)	2018-2050 (Ha)	2018-2050 (%)
1	Yerleşim	9197.64	16254.18	7056.54	76.72
2	Tarım	53450.46	56107.44	2656.98	4.97
3	Orman	115089.6	105376.05	-9713.55	-8.44
4	Su	634.77	634.77	-	-
	Toplam	178372.4	178372.4		



Şekil 4.22. 2018-2050 Kazanılan Kaybedilen Alanlar

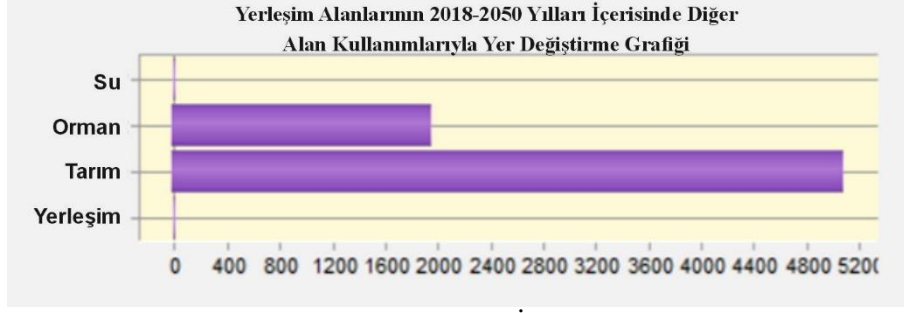


Şekil 4.23. 2018-2050 Alan Kullanımları Yer Değiştirme Grafiği

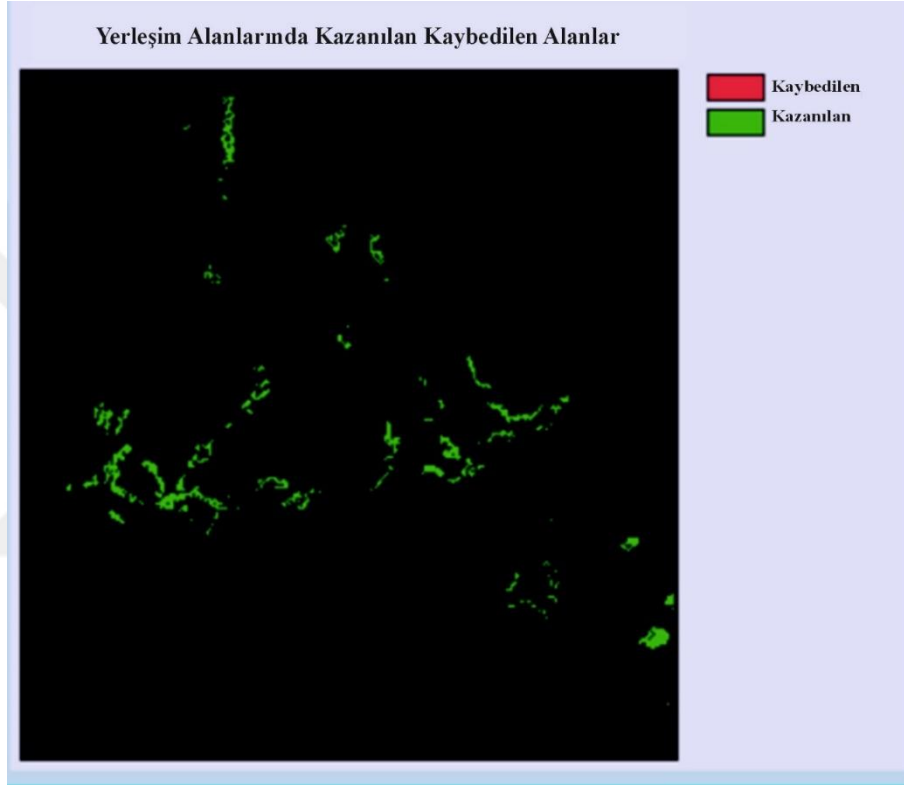


Şekil 4.24. 2018-2050 Bölgesel Fark Haritası

Yerleşim alanı: Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, 2018-2050 yılları arasında, yerleşim alanlarında 7056 ha (%76.72) artış olmuştur. Bu artışın 5089 ha’ı tarım alanlarından, 1968 ha’ı ise orman alanlarından gelmiştir (Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.).

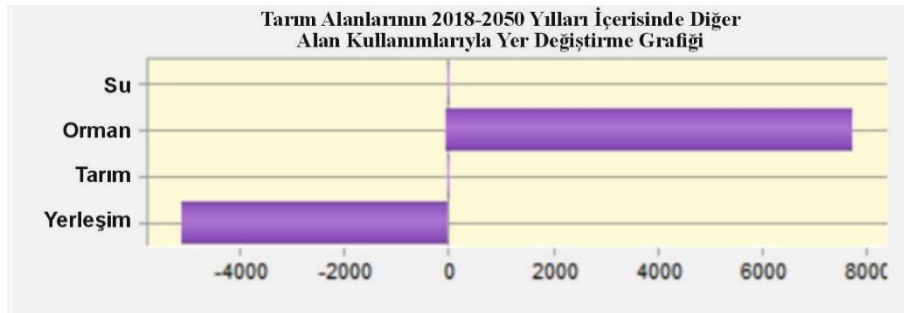


Şekil 4.25. Yerleşim Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği

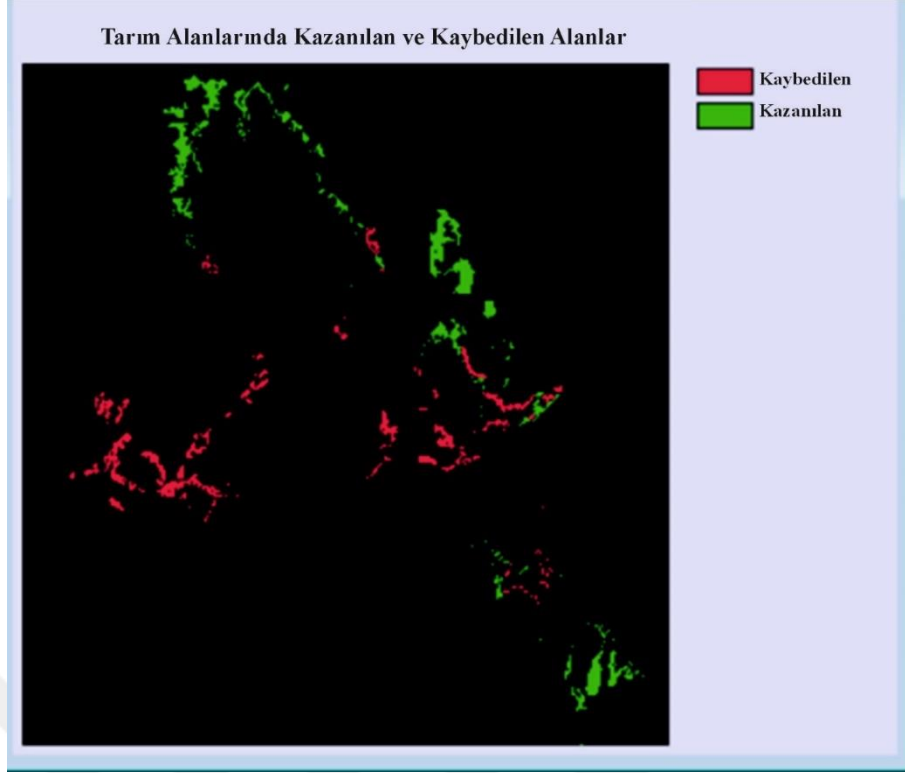


Şekil 4.26. Yerleşim Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Tarım alanları: Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, 2018-2050 yılları arasında, tarım alanları 2656.98 ha (%4.97) artmıştır. Bu artışın 7745 ha’ı orman alanlarından gelmiştir. Tarım alanlarının 5089 ha’ı ise yerleşim alanlarına dönüşmüştür (Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.)

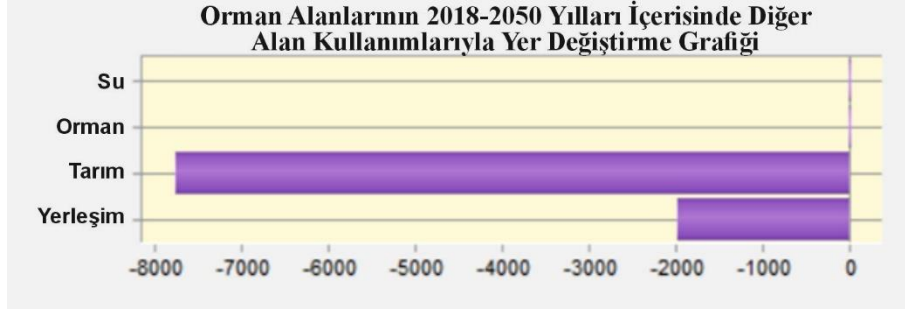


Şekil 4.27. Tarım Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği

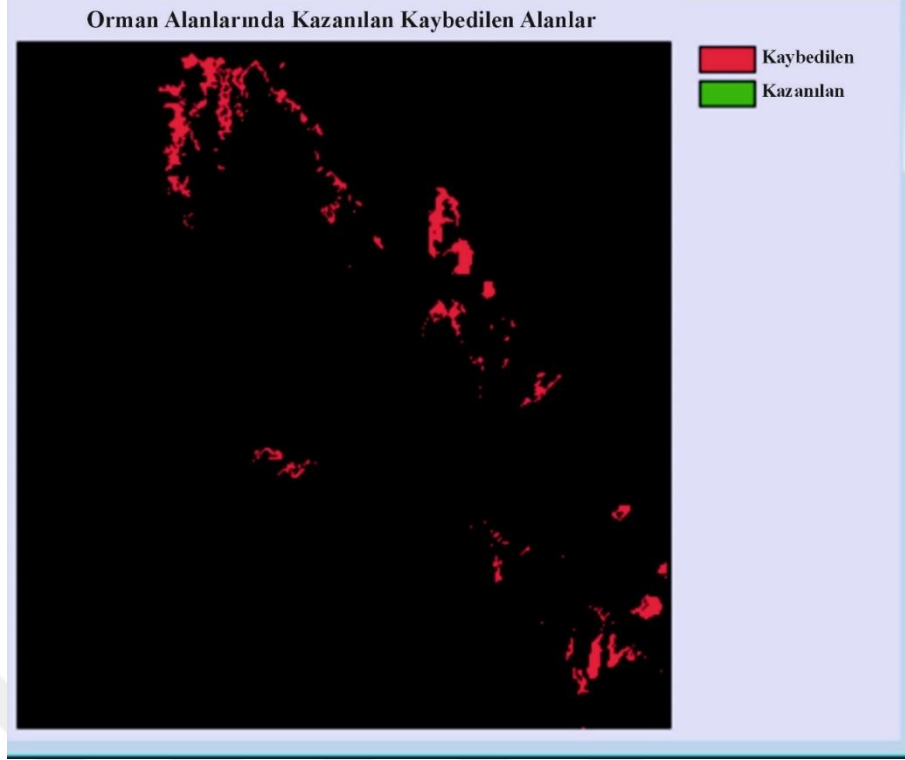


Şekil 4.28. Tarım Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Orman alanları: Çizelge 4.7’de görüldüğü üzere, 2018-2050 yılları arasında, orman alanlarında 9713.55 ha (%8.44) azalma olmuştur. Bu azalmanın 1968 ha’ı yerleşim alanlarına ve 7745 ha’ı tarım alanlarına dönüşmüştür (Şekil 4.29 ve Şekil 4.30).



Şekil 4.29. Orman Alanlarının 2018-2050 Yılları İçerisinde Diğer Alan Kullanımlarıyla Yer Değiştirme Grafiği



Şekil 4.30. Orman Alanlarında 2018-2050 Yılları İçerisinde Kazanılan Kaybedilen Alanlar

Su alanları: Küresel ısınmanın su kaynakları üzerindeki olası etkileri dikkate alınarak, mevcut su kaynaklarında bir artış öngörülmemektedir. Küresel ısınma, su döngüsünde değişikliklere yol açmakla birlikte, çalışma alanında su kaynaklarının miktarında bir artış beklenmemektedir. Bunun yanı sıra, barajlar büyük ölçekli ve uzun vadeli planlama gerektiren projeler olduğundan, çalışma kapsamında değerlendirilen dönemde (1990-2018) inşa edilen barajların dışında yeni bir baraj yapımı projelendirilmediği sürece, 2050 yılına kadar olan projeksiyonda su kaynaklarının mevcut durumu korunarak sabit kalacağı varsayılmıştır (Çizelge 4.7). Buna göre, 2018-2050 yılları arasında su alanlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Bu varsayım, gelecekteki arazi kullanım ve örtü değişim modellerinin doğruluğunu artırmak amacıyla önem taşımaktadır.

Çalışmamızda gözlemlenen Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimlerinde, orman alanlarının tarım ve yerleşim alanlarına; tarım alanlarının ise yerleşim alanlarına dönüşmesi, Ellis ve arkadaşlarının (2008), sanayileşme, teknolojik ilerleme ve nüfus yoğunluğundaki artışın kentsel genişlemeyi hızlandırdığı ve arazi kullanımını daha karmaşık hale getirdiğini belirttiği bulgularla uyumludur. Ghalehtemouri ve arkadaşlarının (2022) nüfus artışı ve artan gıda taleplerinin arazi kullanımında ve örtüsünde önemli değişikliklere yol açtığını bildirdiği çalışmaları ile Rindfuss ve ark. (2004) ve Valbuena ve ark. (2008)'nin sanayi faaliyetlerindeki ilerlemelerin, tarım arazilerinin terk edilmesine ve kentleşmeye yol açarak arazi kullanımında büyük değişikliklere neden olduğunu belirttiği çalışma bulguları da bu doğrultuda değerlendirilebilir. Ekonomik gelişme, artan gelir, yükselen yaşam standartları, daha geniş yaşam alanına olan talep, ulaşım ve iletişim olanaklarının artması ve kent merkezinin cazibesini yitirmesi gibi pek çok farklı neden, kentsel yayılmanın

nedenleri arasında sayılmaktadır. Altınır'in (2022) de belirttiği gibi, kentleşme tarihi boyunca nüfus artışı, kentlerin büyümesinin ana nedeni olmuş ve alan kullanımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olmuştur.

Bu bağlamda, uygun arazi temin edilemediğinde, kentler düzensiz bir şekilde büyüyerek çeperlere doğru yayılmaktadır. İzmir ilinde nüfus 1990-2023 yılları %66 oranında artış gösterirken, aynı dönemde Çeşme ilçesinde %70, Karaburun ilçesinde %48, Urla ilçesinde %119 ve Seferihisar ilçesinde %174 oranında bir nüfus artışı gözlemlenmiştir. Bu veriler, Çeşme, Seferihisar, Karaburun ve Urla ilçelerinin sürekli bir nüfus artışı eğiliminde olduğunu göstermektedir. Kıyı kenarında gelişen yerleşimler, zamanla büyüme eğilimine girerek etrafa doğru gelişmeye başlamışlardır. Özellikle Urla, Çeşme ve Seferihisar ilçelerinde ikinci konut ve turistik etkinlikler ön plana çıkmıştır. Karaburun çevresi ise ulaşım zorlukları nedeniyle biraz daha geri planda kalmıştır.

Araştırma alanında, 1990-2018 yılları arasında 6597.72 hektarlık alan yerleşim alanlarına dönüşmüştür. Bu alanların 4894 hektarı tarım alanlarından, 1703 hektarı ise orman alanlarından dönüşmüştür. 1990-2018 yılları arasında, orman alanlarında 1884.3 hektarlık bir azalma meydana gelmiştir. Bu azalma, yerleşim alanlarının (özellikle ikincil konutlar), konaklama tesislerinin ve barajlar-göletlerin orman sahaları aleyhine genişlemesinden kaynaklanmıştır. Orman alanlarındaki azalmanın 1703 hektarı yerleşim alanlarına, 83 hektarı tarım alanlarına ve 98 hektarı su alanlarına dönüşmüştür. 1990-2018 yılları arasında, tarım alanlarında 5274.27 hektarlık bir azalma meydana gelmiştir. Tarım alanlarındaki azalmanın 4894 hektarı yerleşim alanlarına, 463 hektarı su alanlarına dönüşmüştür.

Tarım ve orman alanlarının azalması, yerleşimlerin artması insan etkinlikleriyle ilgilidir. Baidoo (2023) bu durumu destekler nitelikte, tarım arazilerinin yerleşime açılması ve ulaşım olanaklarının gelişmesinin tarım ve orman alanları üzerindeki baskıyı artırdığını belirtmiştir. Bu durum, kırsal alanların hızla kentleşme sürecine girmesiyle, doğal alanların yerleşim alanlarına dönüşüm sürecini hızlandırmaktadır. Nitekim, Al-Shaar ve arkadaşları (2021), kentleşme baskısının artmasıyla birlikte tarım ve orman alanlarının kentsel yapılara dönüşme eğiliminde olduğunu ve yerleşim alanlarında hızlı bir artış gözlemlediklerini ifade etmişlerdir.

Arazi örtüsü değişim analizlerinde, yerleşim alanlarının genişlemesiyle tarım ve orman alanlarının yer kaybetmesi arasında doğrudan bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bulgularımız Uzun ve Somuncu (2013), Aktaş ve Bahadır (2017) ve Aktaş ve Dönmez (2019) tarafından yapılan çalışmalarla paralel sonuçlar elde edilmiştir; söz konusu çalışmalar da benzer şekilde, kentleşme baskısının tarım ve orman alanlarını dönüştürdüğünü ve bu alanlarda önemli ölçüde azalmalar yaşandığını göstermektedir.

Çalışma alanı'nın üretilen 2050 yılı projeksiyon haritasında, Yerleşim alanlarının 16254.18 ha, Tarım alanlarının 56107.44 ha, Orman alanlarının 105376.05 ha ve su alanlarının 634.77 ha olacağı sonucu öngörülmüştür.

Ye ve Bai, 2008; Roy, 2012; Hyandye ve Martz, 2017; Sing ve ark., 2015; Görentaş, 2021; Işık, 2021; Altınır, 2022; Raj ve Sharma, 2022' çalışmalarında belirttikleri gibi bu çalışmada da yerleşim alanlarında önemli bir artış olacağı gözlenmektedir. Bu artış, büyük ölçüde tarım ve orman alanlarından sağlanacaktır. Tarım alanları, orman alanlarından genişleyerek yerleşim alanlarına dönüşecektir. Orman alanları ise hem tarım hem de yerleşim alanlarına yerini bırakacaktır.

2050 Yılı İçin Değişim Potansiyeli Haritası (Şekil 4.6.), 2050 yılı Öngörülen Projeksiyon Haritası (Şekil 4.7.) ve 2018-2050 Bölgesel Fark Haritasında (Şekil 4.24.) arazi kullanım değişikliklerinin olma olasılıkları bölgesel olarak vurgulanmaktadır. Yüksek potansiyel bölgeler, yerleşim alanlarına dönüşme olasılığı yüksek olan tarım ve orman alanlarını işaret etmektedir. Bu bölgeler, arazi kullanım baskılarının yoğunlaştığı kritik alanlar olarak değerlendirilmektedir.

Karaburun Yarımadası'nın kuzey-güney doğrultusunda uzanan ve yerleşim alanı olarak değerlendirilen şerit, rüzgar türbinlerinin kurulumu nedeniyle bozulan ve değişime uğrayan alanları kapsamaktadır. Yapılan analizlerde çalışma alanının kuzeyinde yer alan Karaburun ilçesinde yerleşimlerin artacağı ve orman alanlarının tarım ve yerleşim alanlarına, tarım alanlarının ise yerleşim alanlarına dönüşeceği öngörülmektedir. İlçenin güneydoğusunda, kıyıya yakın alanlarda da orman ve tarım alanlarının yerleşim alanlarına dönüşeceği beklenmektedir. Çeşme ilçesinin kuzey, doğu ve batı bölgelerinde yerleşim alanlarının artışı ve kıyı şeridinde yoğun bir yerleşim baskısı öngörülmektedir. Urla ilçesinde, özellikle kıyı bölgelerinde yerleşim alanlarının artacağı ve orman ile tarım alanlarının yerleşim alanlarına dönüşeceği tahmin edilmektedir. Seferihisar ilçesinin güney ve batı deniz kıyısındaki yerleşim alanlarının genişleyerek tarım arazilerinin yerleşim alanlarına dönüşeceği, doğuda ise orman alanlarının tarım ve yerleşim alanlarına dönüşeceği tahmin edilmektedir.

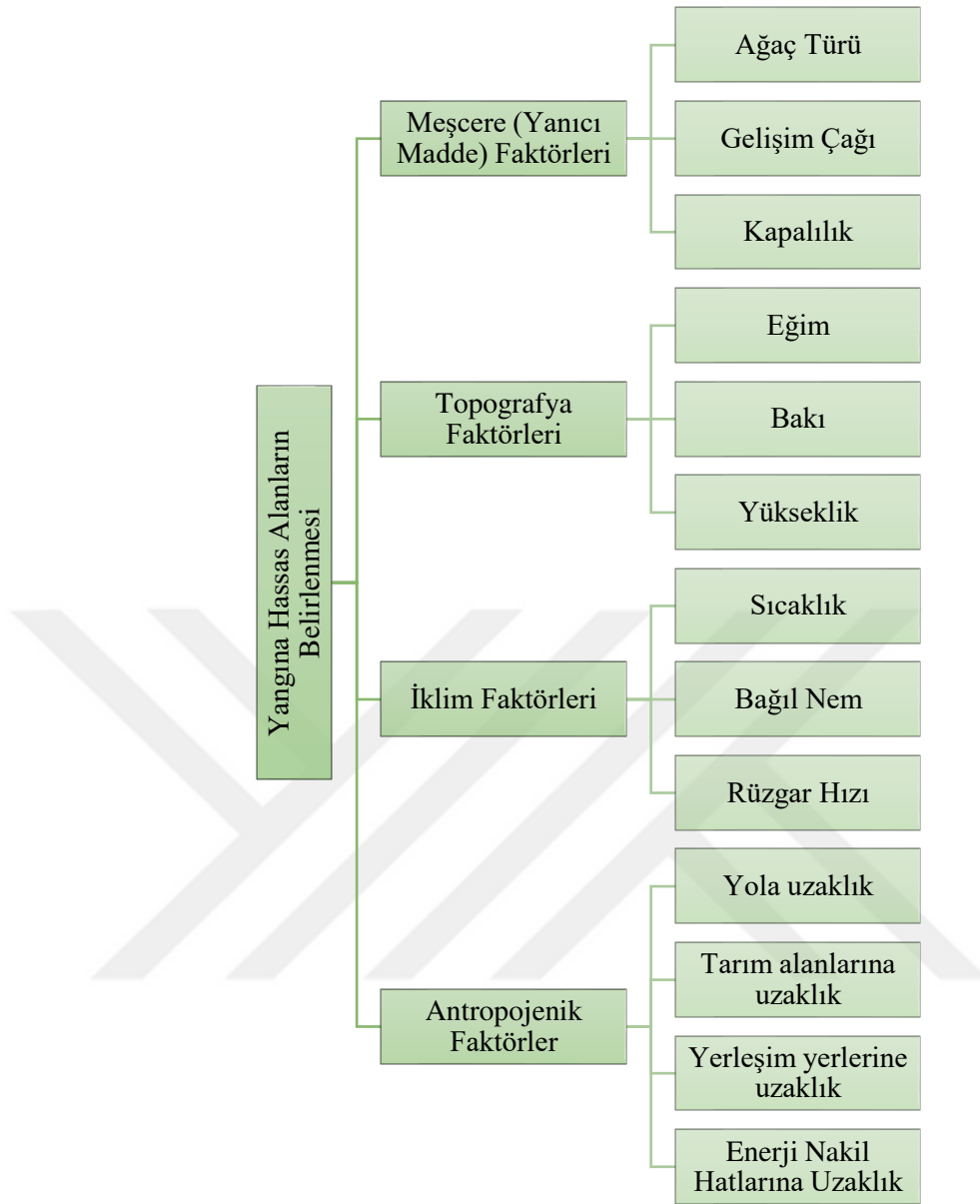
4.2. Orman Yangınları

4.2.1. AHP Yöntemiyle Yangına Hassas Alanların Belirlenmesi ve Haritalanması

Yangına hassas alanların belirlenmesi amacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen haritalar, çok kriterli karar analizi yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak ağırlıklandırılmış, standartlaştırılmıştır.

1. aşama: Yangına Hassas alanların belirlenmesi ve haritalandırılması

2.aşama: Çalışma alanında AHP ile orman yangınına neden olan meşçere (yanıcı madde), topoğrafya, iklim, antropojenik faktörleri olan ana kriterlere bağlı 13 alt kriter belirlenmiş ve Şekil 4.31.'de hiyerarşi şeması verilmiştir.



Şekil 4.31. Ana ve Alt Kriterlere İlişkin Karar (Hiyerarşi) Şeması

3. aşama: Kriterlerin önem düzeyleri, uzman görüşlerine dayalı olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, orman yangın riski ile ilgili kritik bilgiye sahip 7 akademisyen ile Mart 2024'te karşılıklı iletişim yoluyla görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Her bir akademisyen, kriterlerin karşılaştırılmasında Saaty (1990) tarafından geliştirilen 1'den 9'a kadar değişen sayısal ölçeği kullanarak kendi görüşünü belirtmiştir (Çizelge 4.8). Literatürde yargıların birleştirilmesinde üç farklı yöntem önerilmekle birlikte, bu çalışmada geometrik ortalama yöntemi tercih edilmiştir. Geometrik ortalama yöntemi, akademisyenlerin görüşlerinin birleştirilmesi ve grubu temsilen tek bir değer elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu yöntemle oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi aracılığıyla elde edilen önem değerleri Çizelge 4.9'da sunulmaktadır. Bu analiz sonucunda, antropojenik faktörlerin diğer parametreleri ile

karşılaştırıldığında daha yüksek bir önem düzeyine sahip olduğu belirlenmiştir (Saaty, 2008; 251-318).

Çizelge 4.8. İkili karşılaştırma yönteminde kullanılan önem ölçeği (Saaty, 1990)

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1/9	Son derece daha önemsiz
1/7	Çok kuvvetli derecede daha önemsiz
1/5	Kuvvetli derecede daha önemsiz
1/3	Orta derecede daha önemsiz
1	Eşit derecede daha önemli
3	Orta derecede daha önemli
5	Kuvvetli derecede daha önemli
7	Çok kuvvetli derecede daha önemli
9	Son derece daha önemli
2,4,6,8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Çizelge 4.9. İkili karşılaştırma matrisi

0,023	TUTARLI											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Yükseklik	Eğim	Bakı	Ağaç Türü	Kapalılık	Gelişim Çağı	Sıcaklık	Rüzgar hızı	Nem	Yerleşim Yerine Uzaklık	Tarım Alanına Uzaklık	Yola Uzaklık	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık
1,00	1,00	0,50	0,20	0,33	0,25	0,25	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17
1,00	1,00	0,50	0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,17	0,20	0,17	0,14	0,14
2,00	2,00	1,00	0,33	0,50	0,50	0,33	0,33	0,20	0,20	0,20	0,17	0,17
5,00	5,00	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3,00	5,00	2,00	0,50	1,00	2,00	1,00	0,50	0,33	1,00	0,50	0,50	0,50
4,00	4,00	2,00	0,50	0,50	1,00	0,25	0,33	0,33	0,50	0,50	0,50	0,50
4,00	5,00	3,00	1,00	1,00	4,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50
5,00	5,00	3,00	1,00	2,00	3,00	0,50	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5,00	6,00	5,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
6,00	5,00	5,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50
6,00	6,00	5,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6,00	7,00	6,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50
6,00	7,00	6,00	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00
54,00	59,00	42,00	9,73	17,53	24,00	12,53	11,57	8,23	12,07	9,03	9,98	7,98

4. Aşama: İkili karşılaştırma matrisleri normalize edilmiştir. Karar matrisi, Karar değişkenlerin önem ağırlıkları ortaya çıkarılmıştır. Matristeki her elemanı, kendi sütun toplamına bölünerek, normalize edilir. Normalize edilmiş matrisin her bir sütun toplamı 1 olur. Toplam değeri 1 olan normalleştirilmiş ağırlık katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4.10.).



121

[illegible]

5. Aşama: Öz vektörü (Eigen vector) hesaplanır kriter ağırlıkları (weight) belirlenir. Kriter ağırlıklarının (W) belirlenmesi için, normalize edilmiş karar matrisin her bir satır toplamı, matrisin boyutuna (13) bölünerek ortalaması alınmıştır. Bulunan bu değerler her bir ölçüt için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, öz vektörü oluşturmuştur. Böylece, ölçütlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilmiştir (Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11.).



CI and CR worksheet

[illegible]

Buradaki amaç kriterlerin önem ağırlıkları hesaplamaktır. Fakat bu önem ağırlıklarının tutarlı bir şekilde ortaya konulup konulmadığını analiz etmek için Tutarlılık indeksi (CI) ve Tutarlılık oranı (CR) hesaplanması gerekmektedir.

Karar vericilerin anket sorularına tutarlı bir şekilde cevap verip vermediğini öğrenmek için Öz değer (Eigen value) hesaplaması yapılır. Öz değer (Eigen Value) ise; A matrisindeki her bir hücreyi her bir satırı weight'teki diğer hücrelerle çarpımının toplamından elde edilen bir değerdir. Bununla birlikte en büyük öz değeri elde etmemiz gerekiyor. Buda Öz değer (Eigen Value)'lerin, Öz vektörü (Eigen vector)'lere yani ağırlıkları (weight)'e oranlarının toplamının kriter sayısına(13)'e bölümü bu oranların ortalaması en büyük öz değeri verir. Bu en büyük öz değer yani $\Lambda_{\max}=13,43$ olarak hesaplanmıştır.

6. Aşama: Tutarlılık oranı (CR) hesaplanır, matrisin tutarlılığı kontrol edilir.

Tutarlılık İndeksi (CI)' yı hesaplayabilmek için $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ bu Formül kullanılır.

$$CI = \frac{13,43 - 13}{13 - 1} = 0,036 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Tutarlılığı değerlendirebilmek için “Rassal Indeks (Random Index-RI)” değerinin bilinmesi gerekir. RI değeri ikili karşılaştırma matrisindeki faktör sayısına(matrisin boyutu) bağlı değişir. 13 kriterli karşılaştırma matrisleri için tanımlanan RI değeri 1,56 dır (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.12. Rastgele tutarlılık indeksi

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.58

Tüm toplam ağırlıklar hesaplandıktan sonra, AHP'nin bir sonraki adımı faktör matrisinin tutarlılığı kontrol edilmiştir. Matristeki tutarlılık, sürecin sonucunu etkilediği için önemlidir. Tutarlılığın ölçülebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanmıştır. Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.1'den küçükse, kullanımdaki matris yeterince tutarlıdır ve sonuçların hesaplanması için kullanılabilir. Eğer Tutarlılık Oranı (CR) değeri 0.1'den büyükse nihai kararın tutarlılığını artırmak için ikili karşılaştırmalar uzmanlar tarafından yeniden yapılmalıdır.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,036}{1,56} = 0,023$$

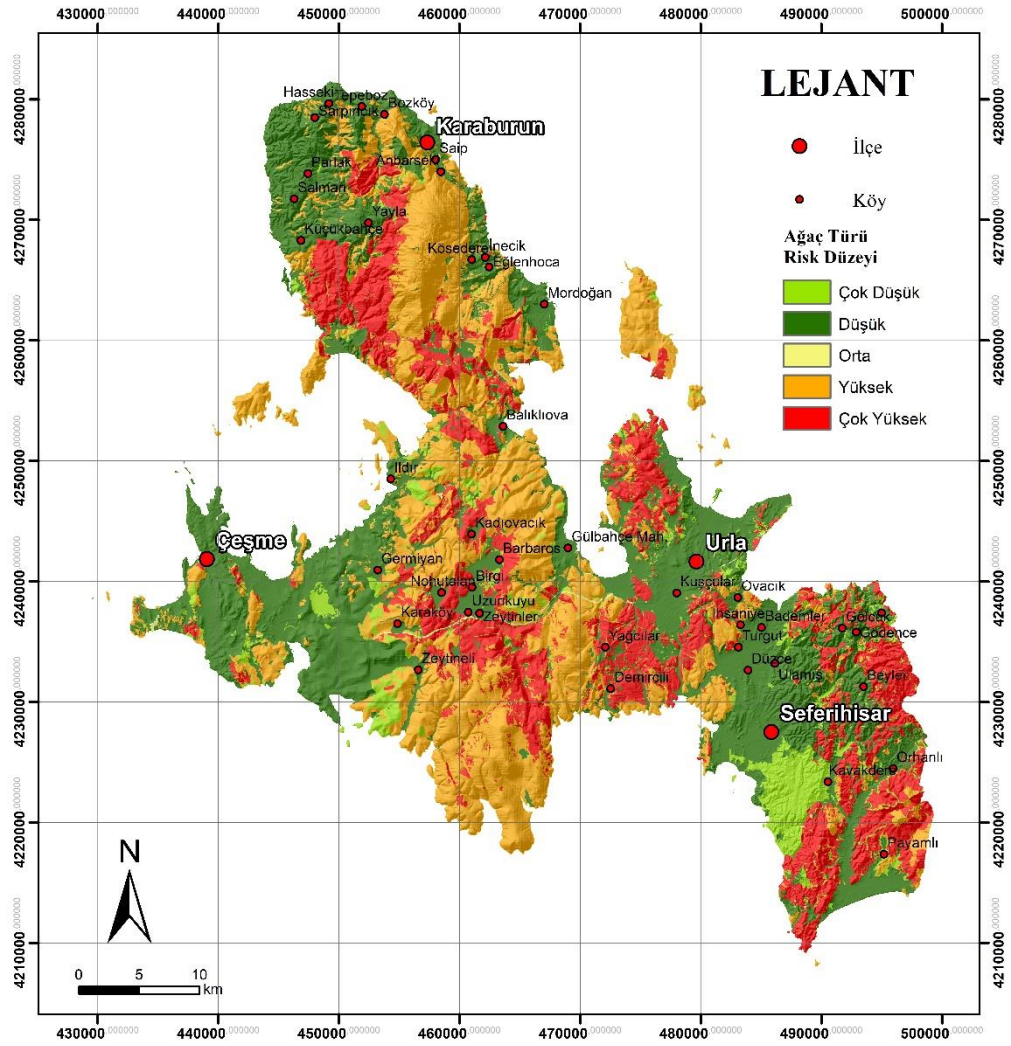
CR=0,023 olduğu için, kullanımdaki matris tutarlıdır ve sonuçların hesaplanması için kullanılmıştır.

4.2.2. AHP Altlık Haritaların Hazırlanması ve Değişkenler

Yangın riski haritası, yangın riski faktörlerini temsil eden mekansal veri katmanlarından oluşan CBS veri tabanı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada değerlendirilen yangın risk faktörleri; Meşcere-yanıcı madde (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), Topografya (eğim, baki, yükseklik), İklim (sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızı), Antropojenik (yola uzaklık, tarım alanına uzaklık, yerleşime uzaklık, enerji nakil hattına uzaklık)'tır. Bu bağlamda, tüm etkili faktörlerin dijital haritaları (girdi haritaları) ArcGIS 10.8 programında çalışma alanı sınırimıza göre WGS 1984 UTM Zone 35N projeksiyonu kullanılarak hazırlanmış ve yangın tehlike dereceleri belirlenmiştir.

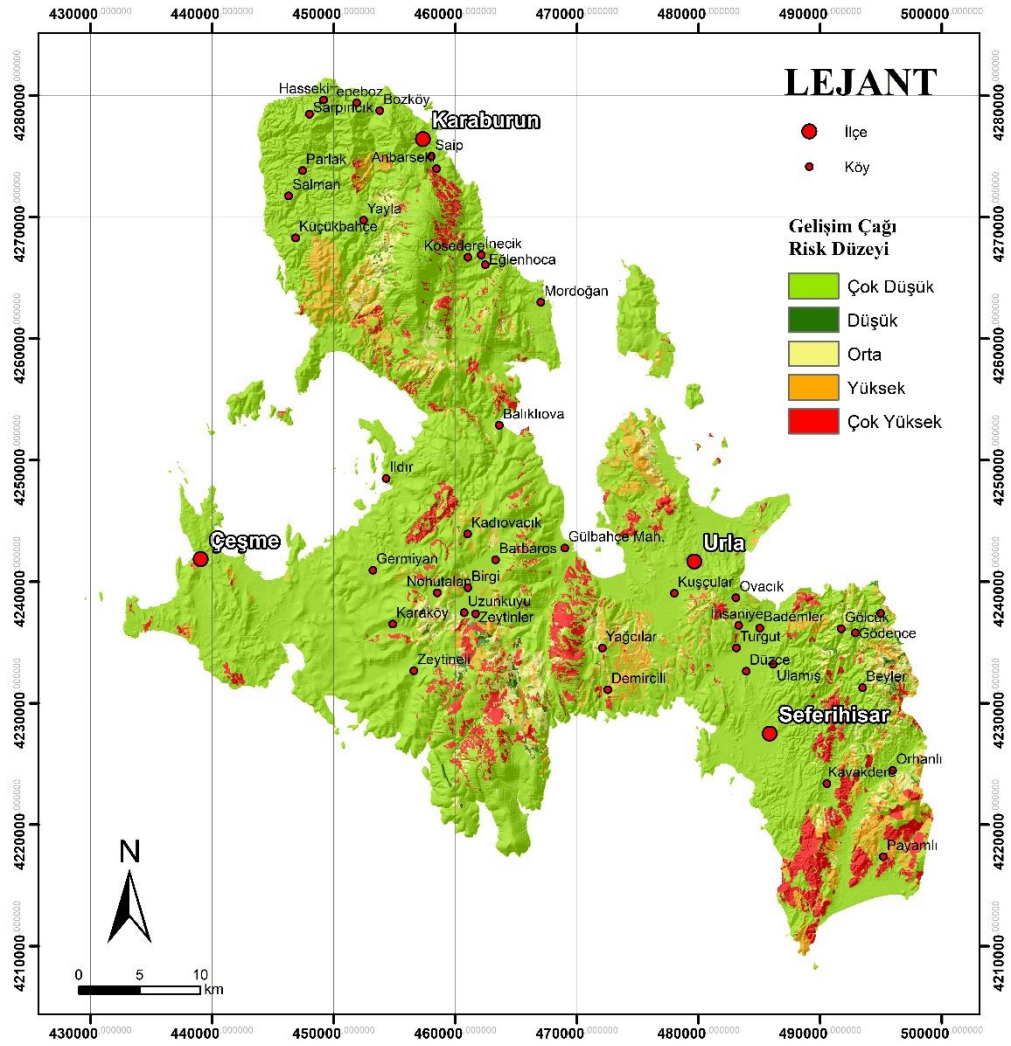
Yangın tehlike derecelerini belirlemek için öncelikle değişken sınıfları oluşturulmuş ve her bir sınıfın tehlike potansiyeline göre derecelendirilmiştir (Jaiswal ve diğ., 2002). Bu derecelendirme sürecinde, tehlike seviyeleri "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, her bir yangın parametresi için ArcGIS 10.8 programı kullanılarak yeniden sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve bu süreçte fuzzy standardizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, 0 ile 1 arasında değerler alarak belirli bir belirsizliği temsil eder. Sonuç olarak, 1'e yakın değerler yüksek tehlike düzeyini, 0'a yakın değerler ise düşük tehlike düzeyini ifade etmektedir. Bu işlem sonucunda elde edilen haritalar, yangın tehlikesinin 0 ile 1 arasında değişen derecelerini göstermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında yangın riskini etkileyen meşcere (yanıcı madde) özellikleri ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık olarak kabul edilmiştir. Orman amenajman veri tabanında bulunan Orman Genel Müdürlüğü'nden alınan 2015 tarihli sayısal meşcere (Yanıcı Madde) Özellikleri Altlık haritaları kullanılarak bitki örtüsünü temsil eden ağaç tür kompozisyonu, gelişim çağı ve meşcere kapalılığı haritaları yeniden sınıflandırılmıştır. Yanıcı madde özelliklerini temsil eden meşcere özellikleri haritaları ArgGIS 10.8 programı yardımıyla hazırlanmıştır. Vektör formatlı hazırlanan meşcere özellikleri haritaları raster formatına dönüştürülmüştür (Şekil 4.32., 4.33., 4.34.).



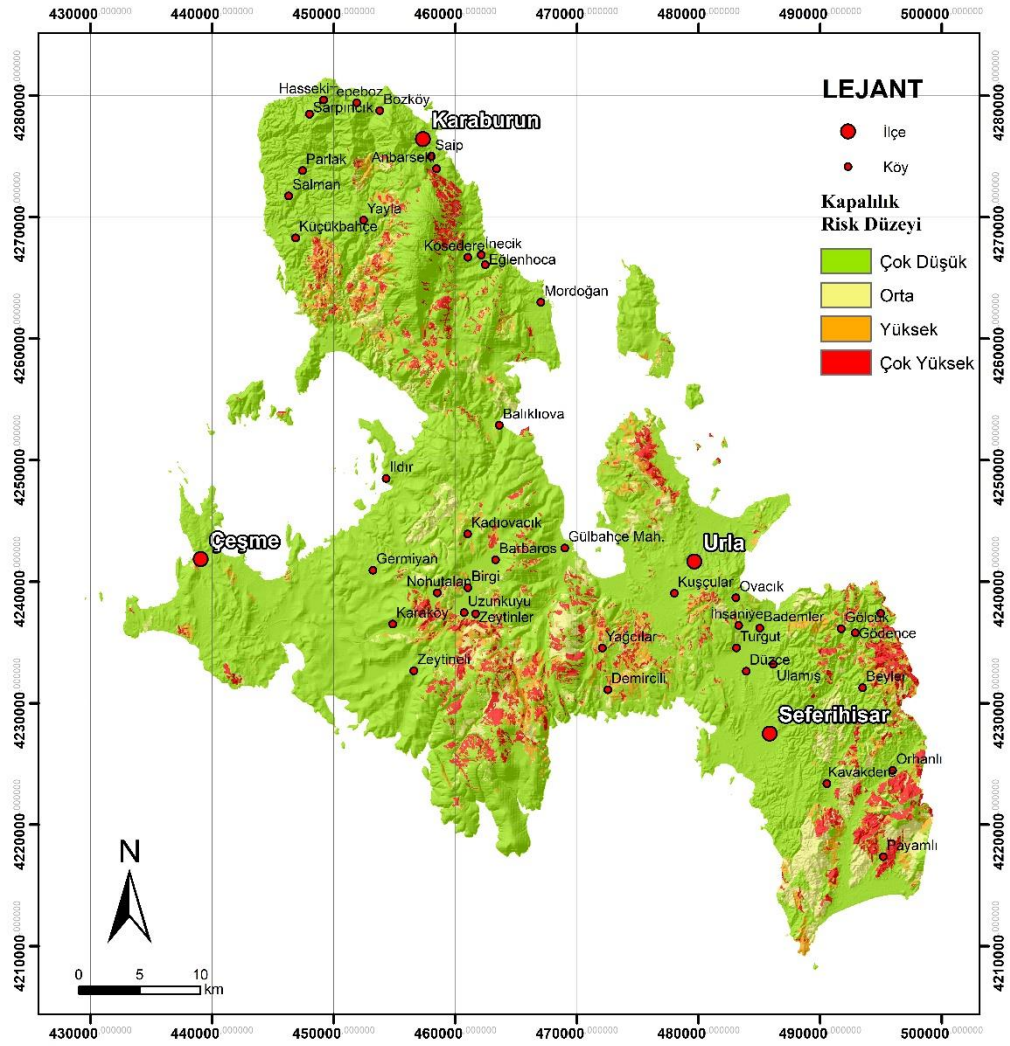
Şekil 4.32. Ağaç Tür Kompozisyonu Haritası

Ağaç Tür Kompozisyonu bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 6,31 (11.248 ha) çok düşük riskli, % 37,48 (66.853 ha) düşük riskli, % 0,25 (450 ha) orta riskli, % 33,44 (59.645 ha) yüksek riskli, % 22,52 (40.176 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.32.).



Şekil 4.33. Gelişim Çağı Haritası

Gelişim çağları bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 81,41 (145.210 ha) çok düşük riskli, % 0,53 (952 ha) düşük riskli, % 4,29 (7.654 ha) orta riskli, % 6,33 (11.297 ha) yüksek riskli, % 7,43 (13.259 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.33.).

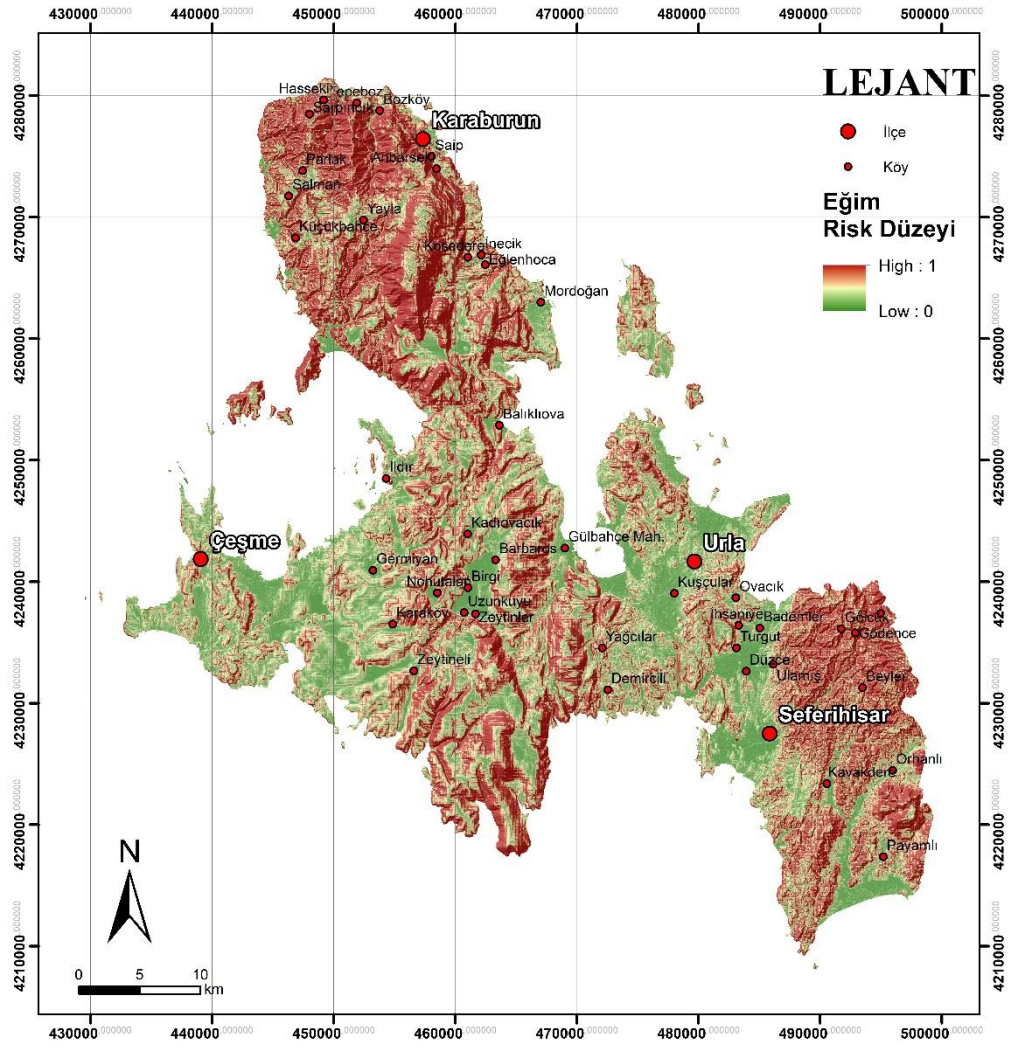


Şekil 4.34. Kapalılık Haritası

Kapalılık bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 81,41 (145.210 ha) çok düşük riskli % 6,70 (11.943 ha) orta riskli, % 5,04 (8.983 ha) yüksek riskli, % 6,86 (12.236 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.34.).

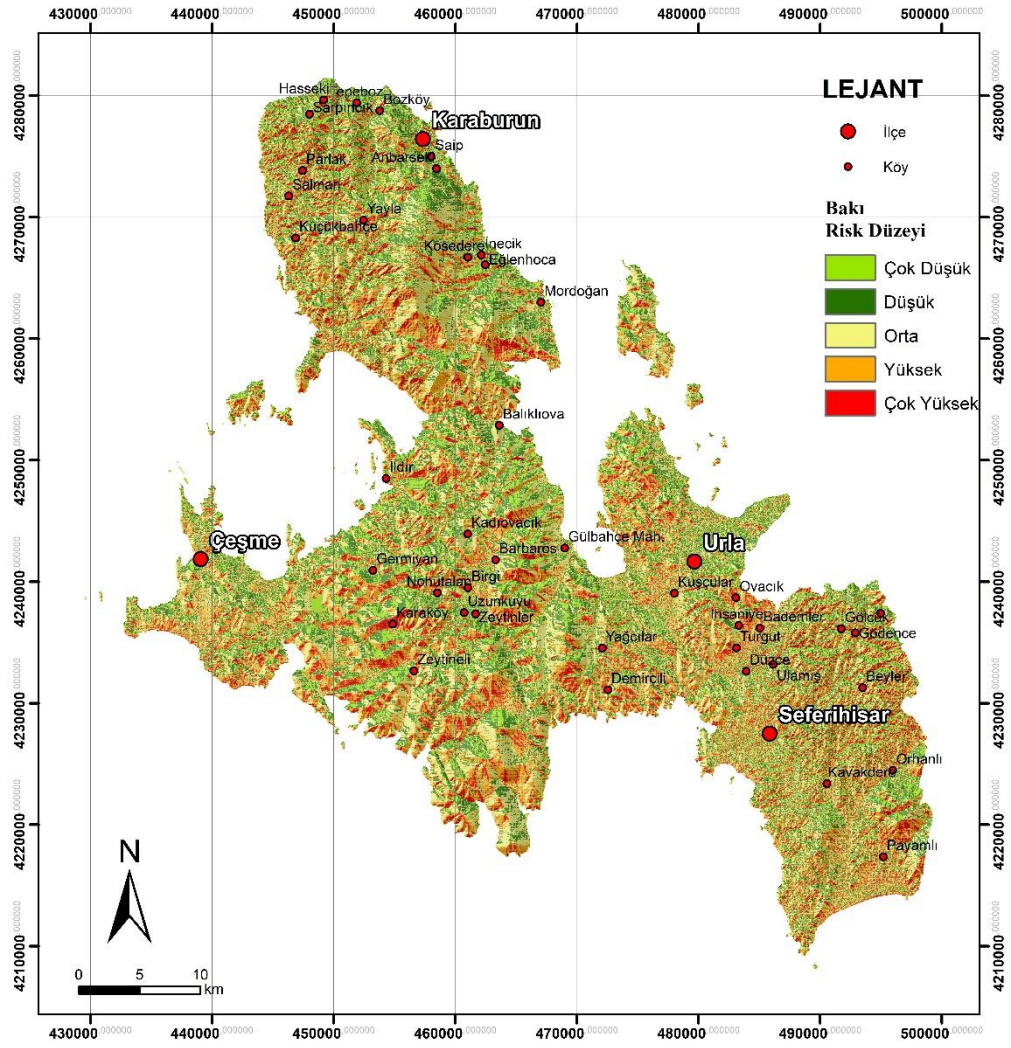
Topografya Haritaları

Bu tez çalışması kapsamında yangın riskini etkileyen topografya faktörleri; eğim, bakı, yükseklik olarak kabul edilmiştir. Topografya unsurlarını (eğim, bakı, yükseklik) belirlemek için 30x30 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. ArcGIS 10.8 programıyla üretilmiştir (Şekil 4.35., 4.36., 4.37.).



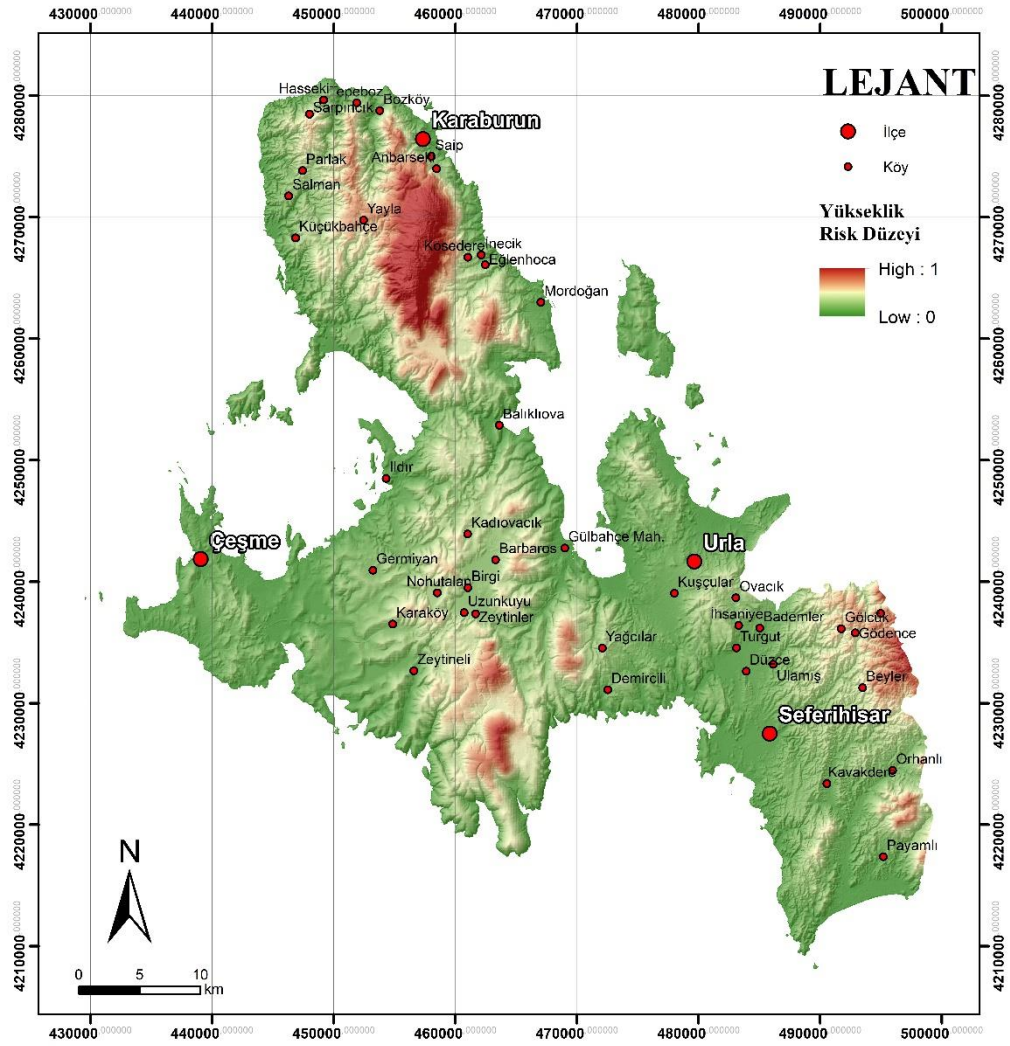
Şekil 4.35. Eğim Haritası

Eğim bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 16,88 (30.106 ha) çok düşük riskli, % 18,15 (32.370 ha) düşük riskli, % 16,24 (28.964 ha) orta riskli, % 13,69 (24.418 ha) yüksek riskli, % 35,05 (62.514 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.35.).



Şekil 4.36. Bakı Haritası

Bakı bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 10,76 (19.186 ha) çok düşük riskli, % 23,49 (41.906 ha) düşük riskli, % 30,94 (55.185 ha) orta riskli, % 23,65 (42.186 ha) yüksek riskli, % 11,16 (19.909 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.36.).

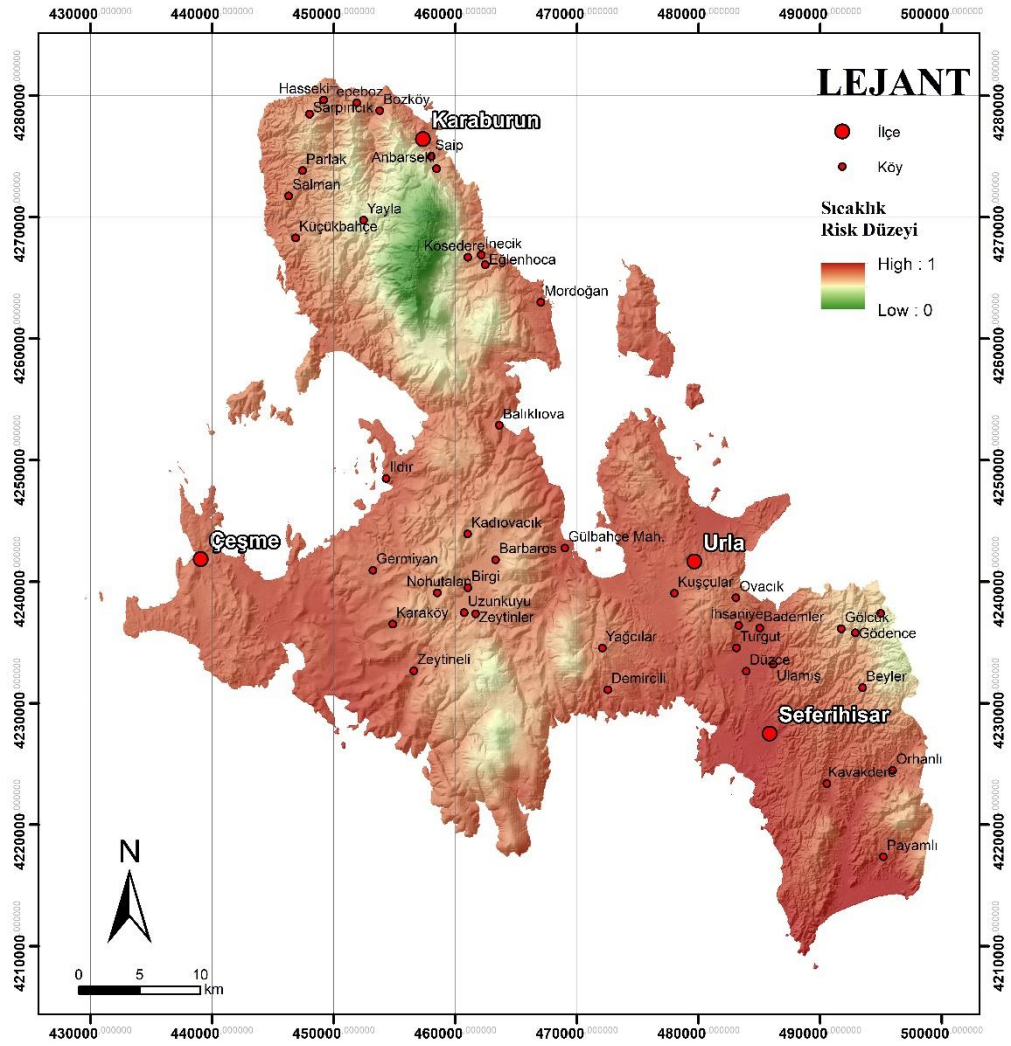


Şekil 4.37. Yükseklik Haritası

Yükseklik bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 52,73 (94.053 ha) çok düşük riskli % 27,18 (48.483 ha) düşük riskli, % 12,62 (22.507 ha) orta riskli, % 4,34 (7.745 ha) yüksek riskli, % 3,13 (5.585 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.37.).

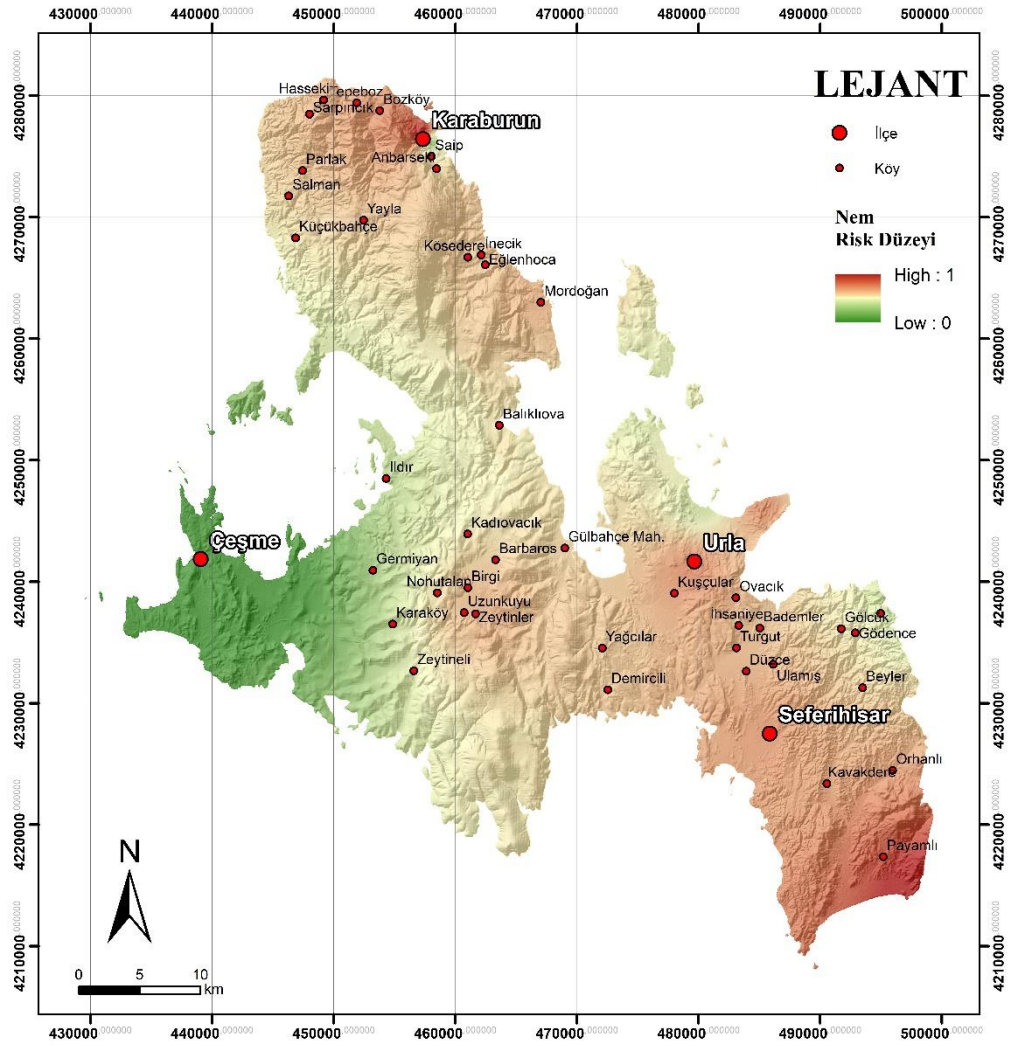
İklim Haritaları

Bu tez çalışması kapsamında yangın riskini etkileyen iklim faktörleri; sıcaklık, nem ve rüzgar hızı kabul edilmiştir. Raster haritalardan yararlanılarak ArcGIS 10.8 programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.38., 4.39., 4.40.).



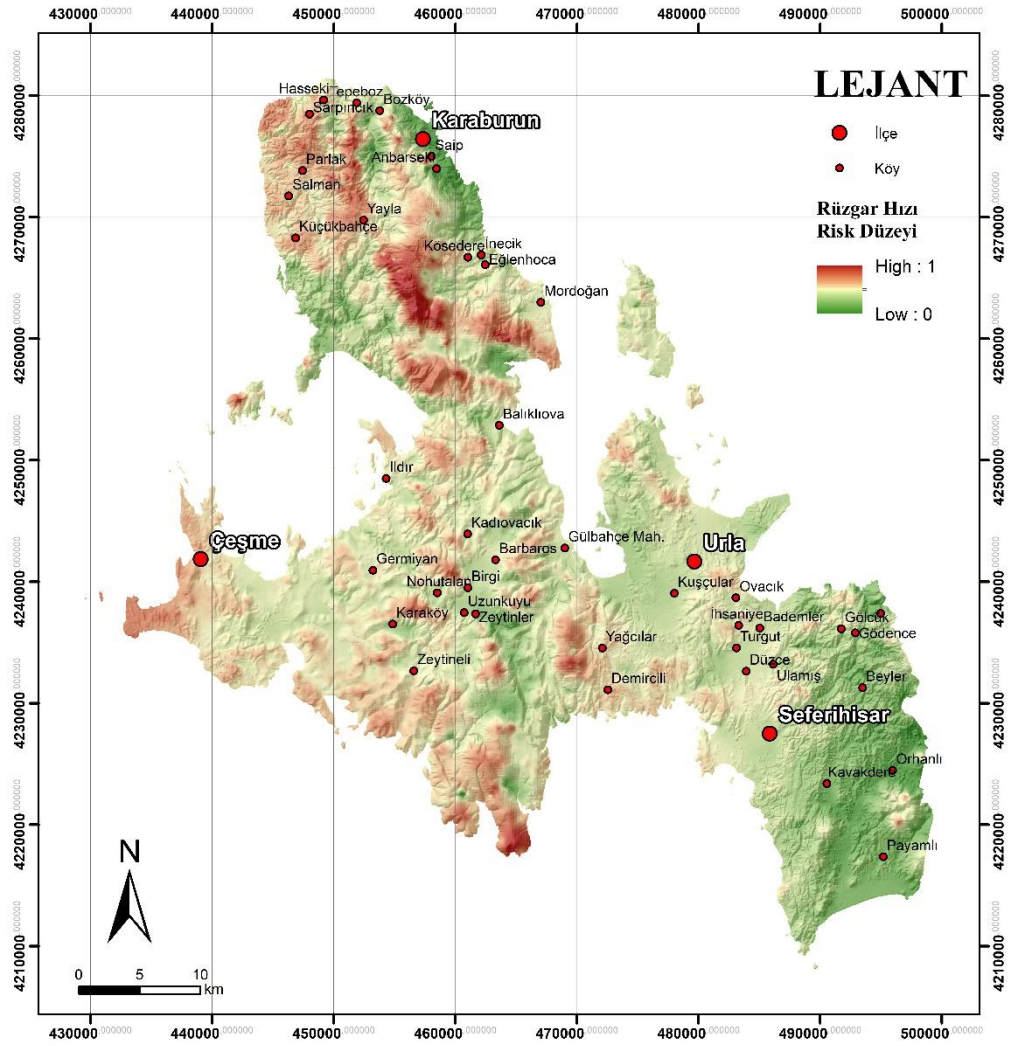
Şekil 4.38. Sıcaklık Haritası

Sıcaklık bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 1,09 (1.945 ha) çok düşük riskli, % 1,58 (2.822 ha) düşük riskli, % 7,05 (12.582 ha) orta riskli, % 35,06 (62.538 ha) yüksek riskli, % 55,21 (98.485 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.38.).



Şekil 4.39. Bağlı Nem Haritası

Bağlı Nem bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 9,52 (16.981 ha) çok düşük riskli % 7,67 (13.680 ha) düşük riskli, % 66,04 (117.796 ha) orta riskli, % 15,34 (27.370 ha) yüksek riskli, % 1,43 (2.546 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.39.).

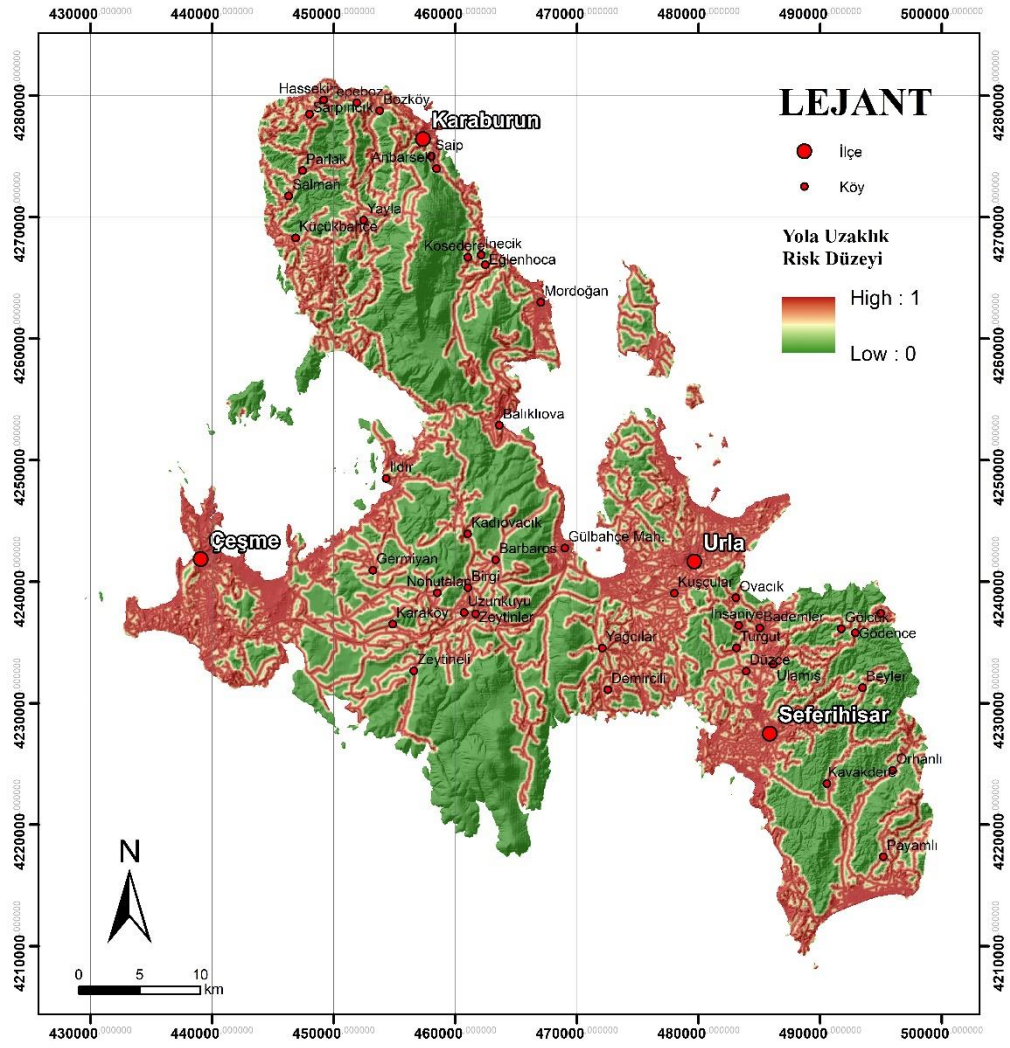


Şekil 4.40. Rüzgar Hızı Haritası

Rüzgar hızı bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 3,57 (6.375 ha) çok düşük riskli, % 52,84 (94.248 ha) düşük riskli, % 41,73 (74.433 ha) orta riskli, % 1,72 (3.062 ha) yüksek riskli, % 0,14 (254 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.40.).

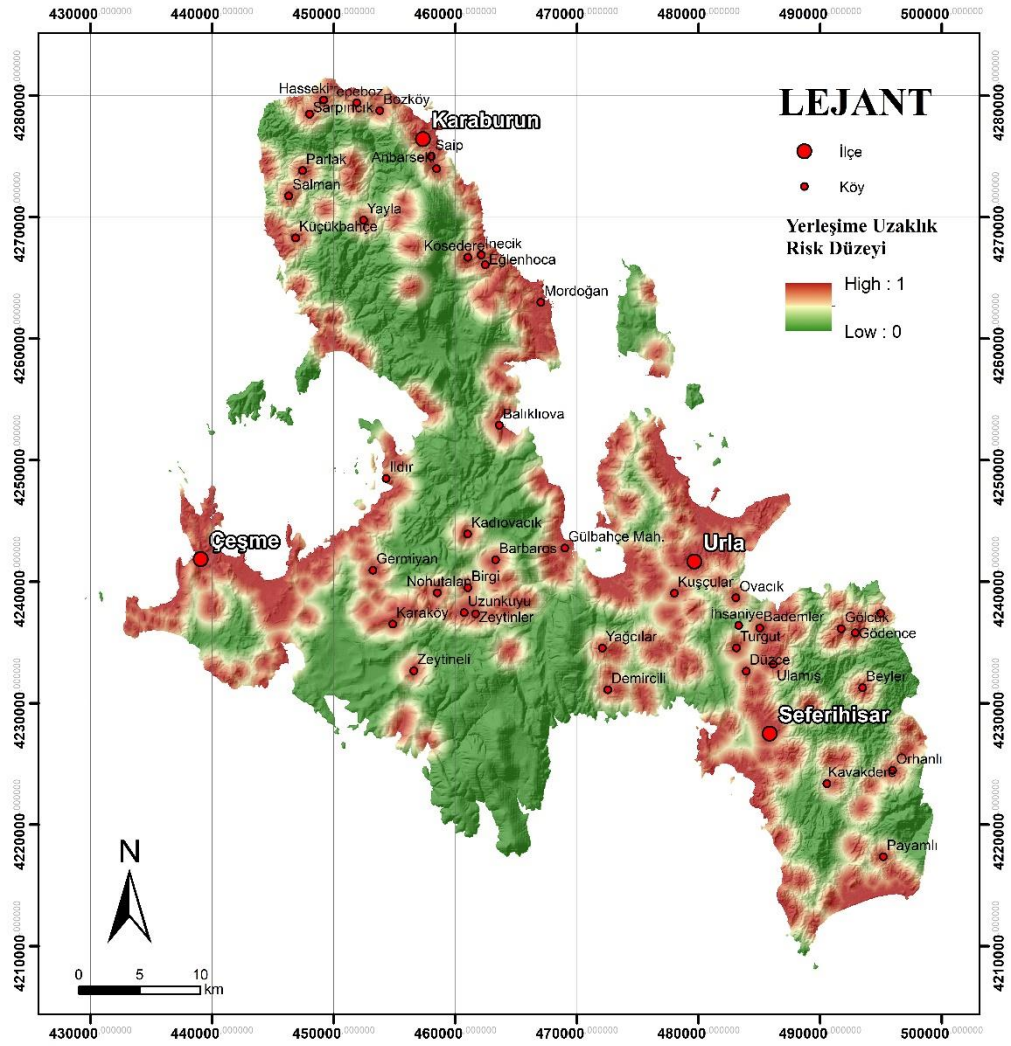
Antropojenik Faktör Haritaları

Yangın riskini etkileyen antropojenik faktörler olarak yola uzaklık, tarıma uzaklık, yerleşime uzaklık ve enerji nakil hatlarına uzaklık kabul edilmiştir. Orman alanlarının; yol, tarım arazileri, yerleşim alanları ve enerji nakil hatları gibi noktalara olan mesafelerini belirlemek amacıyla ArcGIS 10.8 programında Euclidean distance kuş uçuşu uzaklık haritaları oluşturulmuştur. Bu uzaklık haritaları, tutuşturucu kaynak olan insan aktivitesinin yangın riski üzerindeki etkisini değerlendirmek için hazırlanmıştır. (Şekil 4.41., 4.42., 4.43., 4.44.).



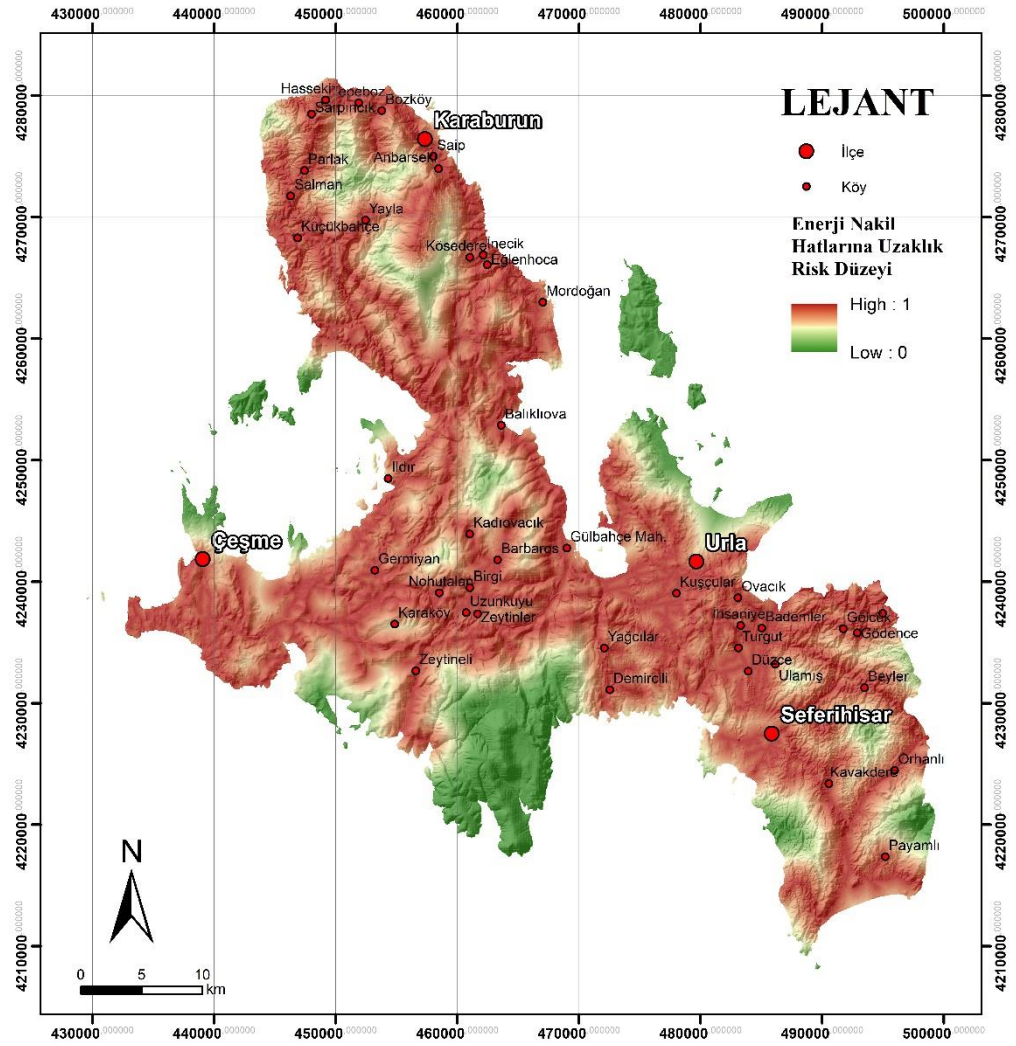
Şekil 4.41. Yola Uzaklık Haritası

Yola uzaklık bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 39,84 (71.058 ha) çok düşük riskli % 7,14 (12.737 ha) düşük riskli, % 9,62 (17.166 ha) orta riskli, % 15,39 (27.458 ha) yüksek riskli, % 28,01 (49.954 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.41.).



Şekil 4.43. Yerleşime Uzaklık Haritası

Yerleşime uzaklık bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 37,12 (66.210 ha) çok düşük riskli, % 12,06 (21.507 ha) düşük riskli, % 13,92 (24.828 ha) orta riskli, % 16,03 (28.595 ha) yüksek riskli, % 20,87 (37.231 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.43.).



Şekil 4.44. Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık Haritası

Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık bazında yangın risk düzeyleri incelendiğinde, toplam alanın % 10,05 (17.935 ha) çok düşük riskli % 4,70 (8.384 ha) düşük riskli, % 9,62 (17.161 ha) orta riskli, % 20,19 (36.015 ha) yüksek riskli, % 55,43 (98.878 ha) çok yüksek riskli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 4.44.).

4.2.3. CBS Veri Tabanı Bulguları

Orman yangınları, birçok değişkenin ve bunların birbiriyle etkileşiminden etkilenen karmaşık bir olgudur. Bu değişkenler, meşcere, topografya, antropojenik faktörler ve iklim faktörlerini kapsamaktadır. Söz konusu değişkenler arasındaki dinamik etkileşimlerin anlaşılması, yangınların önlenmesi, etkin bir şekilde yönetilmesi ve etkilerinin hafifletilmesi açısından çok önemlidir.

Orman yangınlarına hassas alanların belirlenmesi amacıyla, çeşitli kriterler dikkate alınarak bir yangın risk haritası oluşturulmuştur. Bu haritanın hazırlanmasında meşcere verileri (ağaç türü, gelişim çağı, kapalılık), topoğrafik özellikler (eğim, bakı, yükseklik), iklim değişkenleri (rüzgar hızı,

sıcaklık, nem) ve antropojenik faktörler (yerleşim yerlerine uzaklık, tarım alanlarına uzaklık, yollara uzaklık ve enerji nakil hatlarına uzaklık) kullanılmıştır. Tüm bu kriterler, ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde, belirsizlikleri temsil etmek ve farklı kriterleri standart bir yapıya dönüştürmek amacıyla fuzzy standardizasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, her bir değişkenin değerlerini 0 ile 1 arasında bir aralığa dönüştürerek belirli bir risk düzeyini temsil etmektedir. Sonuç olarak, 1'e yakın değerler yüksek risk düzeyini, 0'a yakın değerler ise düşük risk düzeyini ifade etmektedir. Hazırlanan bu haritalar, yangın riskinin 0 ile 1 arasında değişen derecelerini görselleştirmiştir.

Yangın risk haritasının oluşturulması sırasında, öncelikle kriterlerin risk potansiyeline göre derecelendirilmesi yapılmıştır (Jaiswal ve ark., 2002). Bu süreçte, değişken sınıfları oluşturulmuş ve her bir sınıf "çok düşük", "düşük", "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" olmak üzere beş kategoriye ayrılmıştır.

Yangın risk haritasının oluşturulmasında kullanılan etkili faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi tercih edilmiştir. Veri işleme ve analizlerin uyumlu bir şekilde yapılabilmesi için tüm girdiler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında dijital haritalar olarak hazırlanmıştır. AHP yöntemi kullanılarak, yangın risk haritasında kullanılan faktörlerin ağırlıkları hesaplanmış ve bu ağırlıklar doğrultusunda risk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, kriterler arasındaki önem derecelerinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamış ve yangın risk haritasının oluşturulmasında karar verme sürecine katkı sunmuştur.

İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinden oluşan çalışma alanında orman yangını risk değerlendirmesi yapılmıştır. Risk analizi, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Orman yangını riskiyle ilgili kritik bilgiye sahip 7 akademisyenle Mart 2024'te yapılan görüşmeler sonucunda, alt kriterlerin önem değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda elde edilen bulgular;

Enerji nakil hatlarına uzaklık (%13), yola uzaklık (%11), tarım alanına uzaklık (%11) ve yerleşime uzaklık (%9) öne çıkmaktadır, bu da antropojenik faktörlerin çalışma alanında toplamda %44'lük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Türkiye'deki orman yangınlarının temel nedeni insan faaliyetleri olarak kaydedilmiştir (OGM, 2020). Bu bağlamda, antropojenik faktörlerin orman yangınlarını etkileyen en önemli etmen olduğu sonucu, mevcut çalışmanın bulgularıyla uyumludur.

Enerji nakil hatlarına uzaklık faktörünün (%13)'lük ağırlıkla en yüksek 1. sırada öneme sahip olduğu Şekil 4.44 ve Çizelge 4.10.'da görülmektedir. Özellikle orman içindeki elektrik iletim hatlarının mülkiyet sorunu, özel sektör tarafından işletilmesi, zamanında yeterince bakım yapılmaması ve bitki örtüsünün tellere temas etmesi gibi faktörlerin yangın riskini artırabileceği bilinmektedir (OGM 2008, Güngöroğlu, 2017; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Sarı, 2021). Ayrıca yüksek

gerilimli elektrik hatlarının ağaçlarla teması kıvılcımlanmaya neden olabilir ve bu da tutuşma potansiyelini artırır (Mitchell, 2013).

Yola uzaklık faktörünün (%11)'lik ağırlıkla en yüksek 2. sırada öneme sahip olduğu Şekil 4.41. ve Çizelge 4.10.'da görülmektedir. Ormanlık alanlarda yolların yakınındaki bölgeler, insan kaynaklı yangınların sıkça meydana geldiği ve bu durumun araç trafiği ile arttığı bilinmektedir. İnsanlar, hayvanlar ve araçların faaliyetleri, yangın kazalarına yol açma potansiyeline sahiptir. (Karabulut ve ark., 2013; Ager, 2014; Özşahin, 2014; Bingöl 2017; Güngöroğlu, 2017; Akbulak 2018; Gigovic 2018; Hacısalihoğlu, 2018; Dilekçi, 2019; Baltacı ve Yıldırım, 2021)

Tarım alanına uzaklık faktörünün (%11)'lik ağırlıkla yola uzaklıkla olduğu gibi en yüksek 2. sırada öneme sahip olduğu Şekil 4.42 ve Çizelge 4.10.'da görülmektedir. Tarım bölgelerinde yapılan kazalar ve dikkatsizlik, orman yangınlarının sebepleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Tarım alanlarına yakın yerlerde artan yangın riski, uzaklaştıkça düşmektedir. Bahçe temizlenmesi, anız yakılması gibi tarımsal faaliyetler, bu tür tarımsal nedenli orman yangınlarını tetikleyebilir (Akbulak 2018; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Kara, 2023).

Yerleşime uzaklık faktörünün (%9)'luk ağırlıkla öneme sahip olduğu Şekil 4.43. ve Çizelge 4.10.'da görülmektedir. İnsan faaliyetleri, orman yangınlarının oluşma riskini artıran önemli etkenler arasında yer alır. Bu faaliyetlerin başında, ihmal ve kaza gibi faktörlerle gerçekleşen insan aktiviteleri gelir (Erten ve ark., 2005; Adab ve ark., 2013, Akbulak 2018) İnsan etkisi nedeniyle, ormanlık alanların yerleşim yerlerine yakın bölgelerinde yangın meydana gelme olasılığı daha yüksektir (Erten ve ark., 2005; Bingöl, 2017; Güngöroğlu, 2017; Akbulak, 2018; Gigovic ve ark., 2018; Hacısalihoğlu, 2018; Dilekçi, 2019; Şahin, 2019; Baltacı ve Yıldırım, 2021; Sarı, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Demir, 2023; Kara, 2023; Makumbura, 2024)

İklim faktörü, yangın risk parametreleri içerisinde öne çıkan diğer ana parametredir. Yangın risk parametreleri arasında, bağıl nem (%12), sıcaklık (%9) ve rüzgar hızı (%9) ağırlık önemine sahiptir. Çalışma, iklim faktörlerinin toplamda (%30)'luk bir ağırlık öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Bağıl nem, yangın risk parametreleri içinde %12'lik bir ağırlık önemine sahiptir (Şekil 4.39 ve Çizelge 4.10). Nispi nem, yanıcı maddelerin nem içeriğini etkileyerek yangın riskini belirler. Düşük nispi nem, yangın oluşma riskini artırırken, yüksek nispi nem yangının tutuşmasını zorlaştırır. Orman yangınları açısından, düşük bağıl nem seviyelerinin olduğu dönemler tehlikeli zamanlardır (Bilgili ve ark., 2002).

Sıcaklık, yangın risk parametreleri içinde %9'luk bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.38. ve Çizelge 4.10.). Yüksek hava sıcaklıklarının olduğu zamanlarda orman yangınlarının sıklıkla meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklar, yanıcı maddelerin nem içeriğini azaltarak kurumasına ve yangın sırasında daha kolay tutuşmasına neden olabilir. Bu durum, yangının yayılma hızını artırarak devam eden bir yangının daha hızlı ilerlemesinde yol açabilir (Bilgili ve ark., 2002; Eskandari ve

Miesel, 2017; Güngöroğlu, 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi ve ark., 2020; Moayedi ve ark., 2020; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022)

Rüzgar hızı, yangın risk parametreleri içinde %9'luk bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.40. ve Çizelge 4.10.). Rüzgar orman yangınlarının seyrini belirleyen önemli faktördür. Rüzgar, yangının başlama olasılığını artırırken, yayılma hızını ve yönünü de etkiler. Hızlı esen rüzgarlar, yangının hızla yayılmasına ve farklı yönlere doğru yönlendirilmesine neden olabilir. Belirli bir hızın üzerindeki rüzgar, yanıcı madde özelliklerindeki farklılıkların etkisini azaltarak yangın davranışını belirleyen ana faktör haline gelebilir (Bilgili ve ark., 2002; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi ve ark., 2020; Moayedi ve ark., 2020; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Meşcere faktörü, Yangın risk parametreleri arasında değerlendirilen diğer bir ana parametredir. Ağaç türü (%10), Kapalılık (%6) ve Gelişim çağı (%5) olarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışma, Meşcere faktörünün toplamda (%21)'lik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Ağaç türleri, yangın risk parametreleri içinde %10'luk bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.32 ve Çizelge 4.10.) Ağaç türlerinin yangın riski üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Ağaç türlerinin yanma karakteristikleri ve yangına karşı dirençleri farklılık gösterir (Gai ve ark., 2011; Yılmaz, 2016; Şahan ve ark., 2021;). Özellikle reçineli ağaç türlerinin, örneğin kızılçam ve karaçam gibi türlerin yangına karşı daha hassas olduğu gözlemlenmiştir (Dimitrakopoulos ve Papaioannou, 2001; Dimitrakopoulos ve Panov, 2001; Wyse ve ark., 2016; Michelaki ve ark., 2020; Simeoni ve ark., 2012). Bu durum, orman yangınlarının yayılma hızı ve etkisinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Reçineli ağaçlar, yangının hızlı yayılmasına katkıda bulunabilirken, bazı geniş yapraklı türler daha dayanıklı olabilir (Çanakçıoğlu, 1993).

Çalışmada, kapalılık yangın risk parametreleri içinde %6 'lık bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.34 ve Çizelge 4.10.) Meşcere kapalılığı, orman ekosistemlerindeki yanıcı madde sürekliliğini ve miktarını yansıtan önemli bir ölçüttür. %70 ve üzeri kapalılığa sahip ormanlar genellikle sıklık çağındaki ağaçlardan oluşur ve ince yanıcı madde yoğunluğu yüksektir. Bu tür ormanlarda meydana gelen yangınlar, hızla tepe yangınına dönüşerek hızlı bir yayılma gösterebilir. Ancak, %40'tan düşük kapalılığa sahip ormanlarda, kalın ağaçlık çağındaki ormanlar bulunur ve yangınlar genellikle örtü yangını olarak devam eder, tepe yapması zor ilerler. Bu bulgular, orman yangınlarının yayılma ve etki süreçlerini anlamak için önemlidir ve yangın yönetimi stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlar. (Sivrikaya ve ark., 2014; Eskandari, 2017; Güngöroğlu, 2017; Akbulak ve ark., 2018; Çoban ve Erdin, 2020; Sivrikaya ve Küçük, 2022; Demir, 2023)

Gelişim çağı, yangın risk parametreleri içinde %5'lik bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.33 ve Çizelge 4.10.). Ağaçların gelişim çağının yangın riski üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Genç ağaçlar, genellikle daha az yoğun ve daha düşük miktarda yanıcı maddeye sahiptirler çünkü henüz tam büyümemişlerdir ve altlarında yer alan bitki örtüsü genellikle daha incedir. Olgun ağaçlar ise, genç ağaçlara kıyasla daha büyük ve daha fazla yaprak ve döküntü üretirler, bu da daha yoğun bir yanıcı madde tabakası oluşturabilir. Yaşlı ağaçlar ise, genellikle daha az yanıcı madde içerirler çünkü

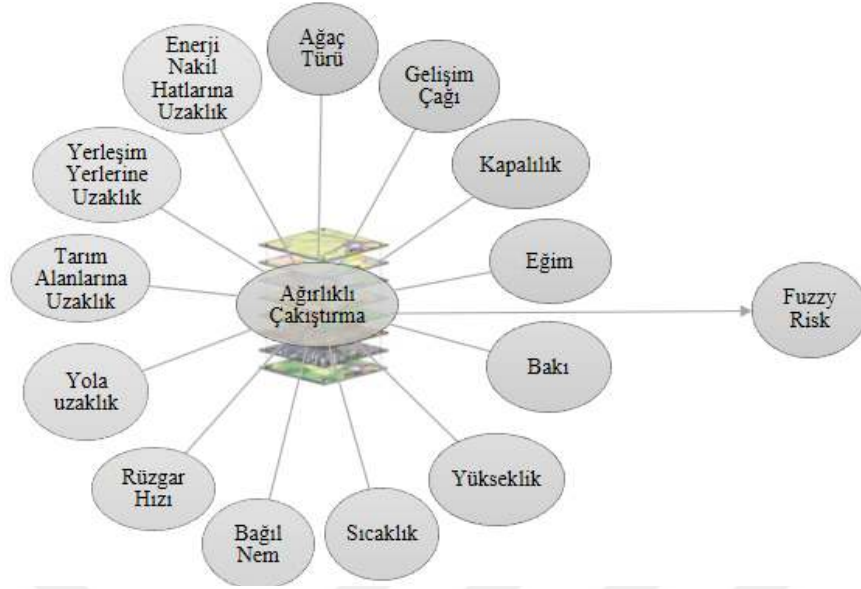
birçoğu yapraklarını dökmüş veya kurumuştur. Kapalılık ve gelişim çağı, orman yangınlarının riskinin belirlenmesinde birlikte değerlendirilmesi gereken önemli faktörlerdir. (Çanakçıoğlu, 1993; Sivrikaya ve ark., 2014; Güngöroğlu, 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Çolak ve Sunar, 2020; Sivrikaya ve Küçük, 2022)

Topoğrafya faktörü, Yangın risk parametreleri arasında yer alan değerlendirilen diğer bir ana parametredir. Bakı (%3), Eğim (%1) ve Yükseklik (%1) olarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışma, topoğrafya faktörünün toplamda (%5)'lik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Bakı, yangın risk parametreleri içinde %3'lik bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.36 ve Çizelge 4.10.). Bakı, yangın riski üzerinde belirleyici bir etkiye sahip bir topografik faktördür. Güneşin pozisyonuna ve yönüne bağlı olarak alınan güneş radyasyonu değişir ve bu da yangın davranışını etkiler. Bakılar arasında yangın riskinde belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir (Jaiswal ve ark., 2002; Bingöl 2017; Eskandari ve Miesel, 2017; Güngöroğlu, 2017; Gigovic 2018; Dilekçi, 2019; Bentekhici ve ark., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi ve ark., 2020; Moayedi ve ark., 2020; Novo ve ark., 2020; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Arazi eğimi, yangın risk parametreleri içinde %1'lik bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.35. ve Çizelge 4.10.). Arazi eğimi, yangın riski üzerinde önemli bir etkiye sahip bir topografik faktördür. Dik yamaçlarda yangınların yayılma hızı daha yüksektir ve bu da yangın riskini artırır (Jaiswal ve ark., 2002; Bingöl, 2017; Eskandari ve Miesel, 2017; Güngöroğlu, 2017; Gigovic 2018; Hacısalihoğlu, 2018; Dilekçi, 2019; Bentekhici ve ark., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi ve ark., 2020; Moayedi ve ark., 2020; Novo ve ark., 2020; Sari, 2021; Sivrikaya ve Küçük, 2022)

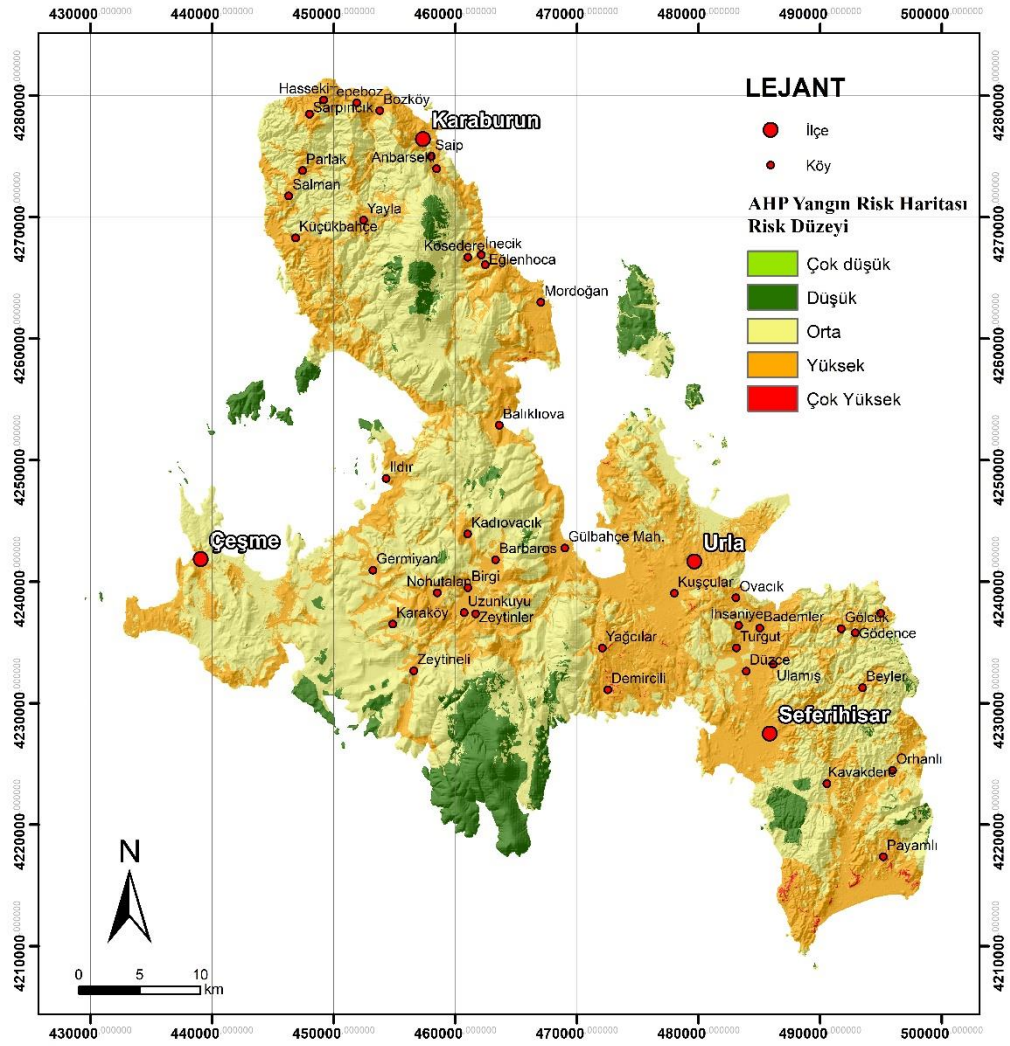
Yükseklik, yangın risk parametreleri içinde %1'lik bir ağırlığa sahiptir (Şekil 4.37. ve Çizelge 4.10.). Yükselti, hava halleri ve yanıcı madde özelliklerinde meydana gelen değişiklikler bakımından yangını etkileyen topoğrafik faktörlerdendir. Orman yangınlarının çoğunluğunun belirli bir yükseklik aralığında meydana geldiği gözlemlenmiştir (Jaiswal ve ark., 2002; Eskandari ve Miesel, 2017; Güngöroğlu, 2017; Hacısalihoğlu, 2018; Dilekçi, 2019; Bentekhici ve ark., 2020; Çoban ve Erdin, 2020; Gheshlaghi ve ark., 2020; Moayedi ve ark., 2020; Novo ve ark., 2020; Sari, 2021; Göлтаş, 2022; Sivrikaya ve Küçük, 2022).



Şekil 4.45. Ağırlıklı Çakıştırma Yangın Risk Modeli

Son olarak geliştirilen modelin genel alt kriter katsayıları yardımıyla ArcMap 10.8 (ESRI, 2017) programı kullanılarak CBS'de ağırlıklı çakıştırma yöntemi (weighted overlay method) ile yangın risk haritası üretilmiştir (Şekil 4.45., Şekil 4.46.). Her alt kritere yangın hassasiyetine göre belirsizlik seviyelerini ifade eden fuzzy değerler atanmıştır. Her alt kritere yangın hassasiyetine göre 0 (çok düşük yangın riski) ve 1 (çok yüksek yangın riski) arasında değişen değer atanmıştır. Bu fuzzy değerler, kriterlerin yangın riskine olan katkısını belirlerken kullanılmıştır. Çalışma Alanının AHP Yangın Risk Haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.46.)

Çalışma Alanının AHP Yangın Risk Haritası göre; "Çok Düşük" ve "Düşük" risk seviyesindeki alanların, toplam alanın % 9,28'ini oluşturması, bu bölgelerin yangın riski açısından nispeten güvenli olduğunu göstermektedir. Ancak, bu alanlar dikkatle korunmalı ve riskin düşük seviyede kalması için önlemler alınmalıdır. "Orta" risk seviyesindeki alanların, toplam alanın büyük bir kısmını %51,93'ünü, oluşturması geniş bir alanda orta düzeyde bir yangın riski olduğunu göstermektedir. Bu alanlarda yangın önleme ve müdahale stratejileri belirlenmeli ve uygulanmalıdır. "Yüksek" ve "Çok Yüksek" risk kategorilerindeki alanların, toplam alanın %38,79'ini oluşturması, bu bölgelerdeki yangın riskinin ciddiyetini vurgulamaktadır. Bu bölgelerde yangınla mücadele önlemleri öncelikli olarak ele alınmalı ve acil durum planları oluşturulmalıdır (Şekil 4.46, Çizelge 4.13.).



Şekil 4.46. Çalışma Alanının AHP Yangın Risk Haritası

Çizelge 4.13. AHP yangın risk haritası verileri

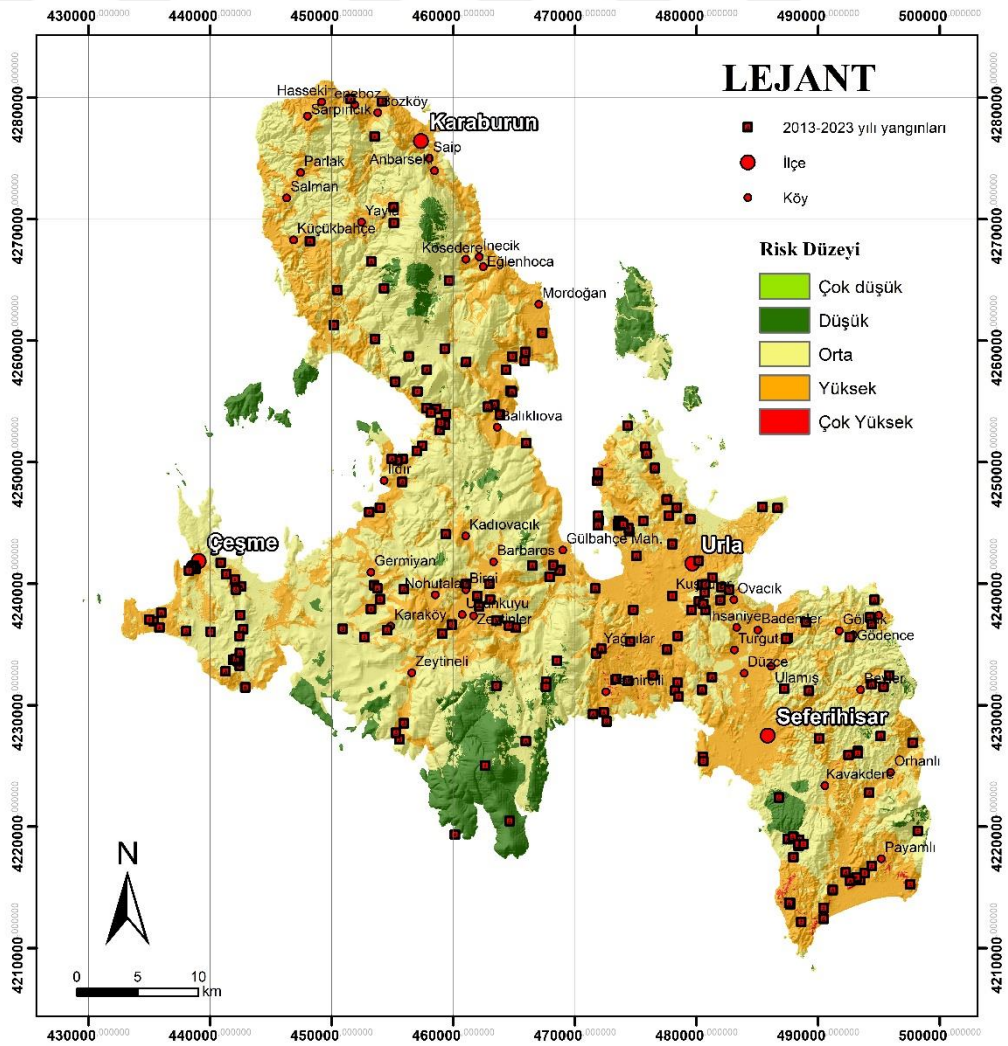
	Alan (ha)	Puan	%
Çok Düşük	3	0,2	~0,00
Düşük	16,549	0,4	9,28
Orta	92,625	0,6	51,93
Yüksek	68,818	0,8	38,58
Çok Yüksek	378	1	0,21
Toplam	178.372,4		100,00

4.2.4. Yangın Noktaları

Orman yangınlarına ait veriler Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü istatistik verilerinden elde edilmiştir. Bu İstatistik verileri, 2013-2023 yılları arasında meydana gelen orman yangınlarını kapsamaktadır. Bu veriler, her yangının bir sıra numarası (S.No), yangının meydana geldiği bölgeyi belirten Bölge Müdürlüğü, İşletme Müdürlüğü ve İşletme Şefliği bilgilerini içermektedir. Ayrıca, yangının meydana geldiği ili ve ilçeyi, yangının çıkış noktasını (Yangın

Çıkışı), yangının ana nedenini (Yangın Ana Nedeni) ve varsa tali nedenini (Yangın Tali Nedeni) içermektedir. Bunun yanı sıra, yangında zarar gören alanı ifade eden "Yanan Alan" bilgisi ve yangının koordinatlarını belirten Kuzey ve Doğu koordinatları da bulunmaktadır. Bu bilgiler, yangınların yerini, nedenlerini, etkilerini ve dağılımını analiz etmek için kullanılmaktadır.

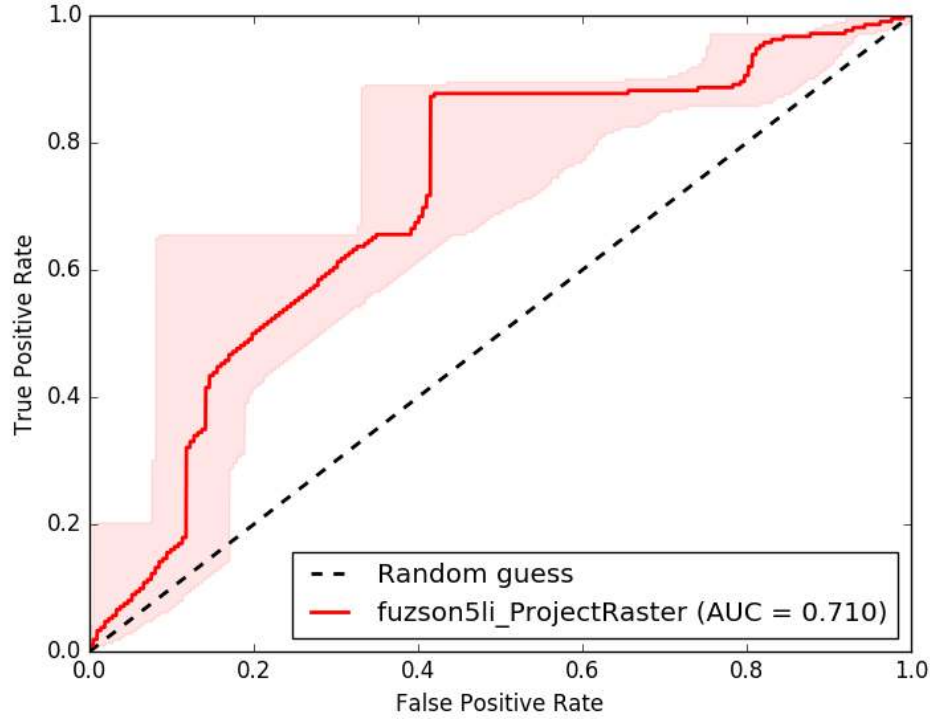
Bu bilgiler ışığında ArcGIS 10.8 yardımıyla çalışma alanının yangın noktalarını gösteren sayısal veri katmanı üretilmiştir. Bu verilerle çalışma kapsamında geliştirilen AHP yöntemiyle yapılan yangın risk haritasının doğruluğunu değerlendirmek amaçlanmaktadır. 2013-2023 yılları arasında kaydedilen 212 yangının çıkış noktaları ile risk haritası arasındaki ilişki incelenmiştir. Buna göre, önceki yangınların yaklaşık 6'sının düşük riskli, 67'sinin orta riskli ve 137'sinin yüksek riskli, 2'sinin çok yüksek riskli alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4.47.). Bu sonuçlar AHP yöntemine göre oluşturulan yangın risk haritasının doğruluğunu ve yangın risk çalışmalarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.47. 2013-2023 Yılları Yangın Çıkış Noktaları Haritası

4.2.5. Risk Haritasının Doğrulanması

Yangını risk haritasının doğrulanması aşamasında ROC eğrisi yöntemi kullanılarak haritanın doğruluğu değerlendirilmiştir. Sonuçlar AUC değerinin 0.71 olduğunu göstermiştir (Şekil 4.48.).



Şekil 4.48. 2013-2023 Yılları Verilerine Göre Yangın Risk Haritasının ROC-AUC Eğrisi

İzmir ili Çeşme, Seferihisar, Urla, Karaburun ilçeleri'nin CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemini kullanarak orman yangınları için risk haritası oluşturulmuştur. Haritada, antropojenik faktörler, iklim faktörleri, meşcere faktörleri ve topografik faktörler değerlendirilerek yangın riski belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

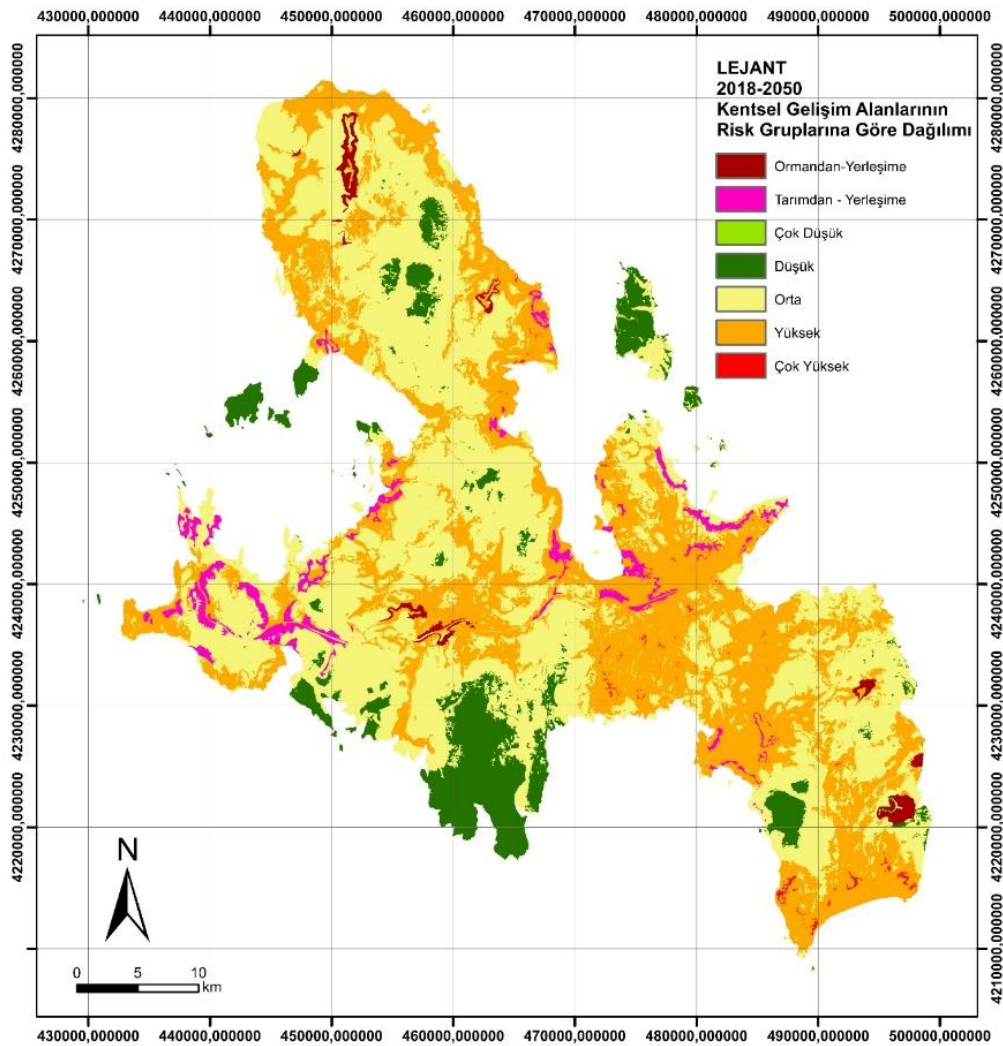
"Yüksek" ve "Çok Yüksek" risk kategorilerindeki alanların toplamı alanın % 38,79'unu, "Orta" risk seviyesindeki alanların toplamı alanın %51,93'ünü, "Düşük" risk kategorisindeki alanların toplamı alanın %9,28'ini oluşturmaktadır. Yangın risk haritası incelendiğinde Çalışma alanında "Orta", "Yüksek" ve "Çok Yüksek" riskli alanların yüksek yüzdelere sahip olması yangın riskinin geniş alanlara dağıldığını, alanının yangın riskinin ciddiyetini vurgulamaktadır. Haritanın doğruluğunu değerlendirmek için ROC eğrisi analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen AUC değeri 0.710 olarak bulunmuştur.

Bu çalışma sonuçlarına benzer olarak, Gentilucci ve ark. (2024), Sivrikaya ve Küçük (2022), Demir ve Akay (2024) ile Atmaca ve ark. (2022) tarafından yapılan araştırmalarda da yangın riski tahmin modellerinin doğruluğu AUC değerleriyle değerlendirilmiş olup, sonuçlar genellikle 0.72-0.77 aralığında değişmiştir. Bu doğruluk oranları, CBS tabanlı AHP yöntemi bu doğruluk oranları ile yangın riski analizlerinde tercih edilebilir bir yöntem olarak kabul edilebilir.

Ayrıca, 2013-2023 yılları arasında kaydedilen yangınların çıkış noktaları ile risk haritası arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu analiz sonucunda, önceki yangınların yaklaşık % 3 düşük riskli, % 31 orta riskli, % 65'inin yüksek ve % 1 çok yüksek riskli alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, AHP yönteminin çalışma alanı için doğru ve güvenilir bir yangın riski belirleme aracı olduğunu göstermektedir.

4.3. Kentsel Gelişim Alanlarının Risk Gruplarına Göre Değerlendirilmesi

2018-2050 yılları arasında kentsel gelişim alanlarının risk gruplarına dağılımını analiz etmek amacıyla AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile oluşturulan yangın risk haritası ve TerrSet yazılımında gerçekleştirilen 2050 yılı kentsel gelişim senaryosu kullanılarak, tarımdan yerleşime ve ormandan yerleşime geçiş alanları belirlenmiştir. Kentsel gelişim alanlarının çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek risk gruplarına dağılımı haritalandırılmıştır (Şekil 4.49.).



Şekil 4.49. 2018-2050 Yılları Arasında Kentsel Gelişim Alanlarının Risk Gruplarına Dağılımı

2018-2050 yılları arasında kentsel gelişme alanlarının risk gruplarına dağılımı incelendiğinde, gelişimin büyük ölçüde orta ve yüksek riskli alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Gelişim alanlarının %45.38'inin orta riskli, %54.16'sının ise yüksek riskli alanlarda gerçekleşmiş olması, kentsel genişlemenin neredeyse tamamının bu iki risk grubunda gerçekleştiğini göstermektedir. Özellikle, yüksek riskli alanlardaki %54.16'lık oran, bu bölgelerde kentsel gelişimin ciddi bir risk taşıdığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, düşük riskli alanlardaki %0.46'lık oran ve çok düşük riskli alanlarda herhangi bir gelişim olmaması (%0.00), bu alanlarda kentsel büyümenin oldukça sınırlı kaldığını işaret etmektedir. Çok yüksek riskli alanlarda ise %0.01 oranında gelişim gerçekleşmiştir; bu oran oldukça düşük olmakla birlikte, bu alanlarda yapılaşmanın tamamen önlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4.14.).

Çizelge 4.14. 2018-2050 yılları arasında kentsel gelişim alanlarının risk gruplarına dağılımı

Risk Grupları	Alan (ha)	%
Çok Düşük	0	0,00
Düşük	32,67	0,46
Orta	3201,93	45,38
Yüksek	3821,49	54,16
Çok Yüksek	0,45	0,01
Toplam	7056,54	100,00

Bu sonuçlar, kentsel gelişimin büyük ölçüde riskli alanlarda gerçekleştiğini ve özellikle yüksek riskli alanlarda risk yönetimi ve sürdürülebilir kentleşme politikalarının ivedilikle uygulanması gerektiğini vurgulamaktadır. Orta riskli alanlarda ise mevcut durumun dikkatlice değerlendirilerek kentsel büyümenin daha güvenli alanlara yönlendirilmesi önem arz etmektedir. Çok düşük ve düşük riskli alanlardaki sınırlı gelişim ise bu bölgelerde daha korumacı bir yaklaşım sergilendiğini göstermekle birlikte, bu tür alanların sürdürülebilir kentleşme politikaları çerçevesinde daha etkin şekilde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde doğal afetlerin sıklığı ve şiddeti, iklim değişikliği, kentsel yayılma ve insan faaliyetlerinin artışıyla ciddi şekilde artmaktadır. Bu durum, doğal alanların ve ekosistemlerin dengesini büyük ölçüde bozmuş, önemli çevresel tehditleri beraberinde getirmiştir. Bu tehditlerden biri de orman yangınlarıdır. 1990-2022 yılları arasında Türkiye’de orman yangınlarının sıklığı ve şiddeti incelendiğinde, 2013 yılında yangın sayısının zirveye ulaştığı, 2021 yılında ise yanan alan miktarının en yüksek seviyeye çıktığı gözlemlenmiştir.

Orman yangınları, bitki örtüsü kaybı, biyoçeşitliliğin azalması ve toprak erozyonu gibi ekosistem üzerindeki doğrudan etkilerinin yanı sıra, insan hayatını, mülkiyeti ve sosyo-ekonomik yapıları da olumsuz etkileyen tehlikeli olaylardır. Kentsel alanların hızla genişlemesi, orman yangınlarının daha fazla insanı etkileyebilme potansiyelini artırmaktadır. Bu durum, yangın riskinin azaltılması ve sürdürülebilir kentsel gelişme stratejilerinin uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, orman yangınlarının etkilerini en aza indirmek ve yangına hassas alanlarda sürdürülebilir yapılaşma stratejileri oluşturmak amacıyla, kapsamlı bir mekânsal model geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu amaç doğrultusunda bu tezde, İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinde yangına hassas alanlarda yapılaşma planlamasına yönelik bir mekânsal model geliştirilmiştir. Model, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Hücrel Otomata-Markov (HO-Markov) yöntemlerinin entegrasyonu ile oluşturulmuştur. AHP yöntemiyle, yangın riski taşıyan bölgeler bilimsel temele dayalı olarak belirlenmiş, HO-Markov yöntemi ile gelecekteki kentsel gelişim süreci simüle edilmiştir.

Araştırma sorusu, "Orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşma planlaması için geliştirilen mekânsal bir modelde, çok kriterli değerlendirme ile oluşturulan yangın risk haritası ve HO-Markov yöntemi kullanılarak yapılan geleceğe yönelik kentsel gelişim simülasyonlarının bir arada kullanılması ile yangın riskinden etkilenmesi olası kentsel gelişme alanları belirlenebilir mi?" olarak belirlenmiştir. Bu soruya yanıt olarak:

- AHP yöntemi, risk faktörlerini bilimsel temele dayalı olarak ağırlıklandırmış ve yangın riski taşıyan bölgeleri detaylı bir şekilde haritalandırmıştır.
- HO-Markov yöntemi ise geçmiş ve mevcut arazi kullanım verilerine dayalı olarak gelecekteki kentsel gelişimi öngörmüştür.
- Bu iki yöntemin entegrasyonu, yangın riski haritası ile kentsel gelişim simülasyonunun karşılaştırılması ve birleştirilmesi yoluyla sağlanmıştır.

Geliştirilen mekânsal model, kentsel gelişim alanlarının risk gruplarına göre değerlendirilmesine olanak tanımakta ve sürdürülebilir yapılaşma stratejilerinin geliştirilmesine

yönelik önemli bir bilimsel katkı sağlamaktadır. Literatürdeki birçok modelin genellikle yalnızca yangın riskini analiz etme ya da kentsel büyümeyi simüle etmeye odaklandığı görülürken, bu çalışma, yangın risk haritası ile geleceğe yönelik kentsel gelişim tahminlerini entegre bir şekilde ele alarak, risk odaklı planlama için proaktif bir yaklaşım geliştirmiştir.

Bu tezde sunulan yaklaşım ile yangın riskine maruz kalabilecek alanların kentsel gelişme ve bunun geleceği açısından değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Dolayısıyla araştırmada beklenen hedeflere bu yolla ulaşılmış olması tezde kullanılan her iki metodolojinin bir sinerji yaratarak, gelişme planlaması açısından fayda sağlayabileceğini kanıtlamaktadır. Bu yöntem ve yaklaşımların birleştirilmesinden oluşturulan model farklı coğrafi bölgelere uyarlanabilir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, yangın riskinin azaltılmasına yönelik önlemler ve yapılaşma sonrası stratejiler önerilmiş; böylece hem çevresel hem de kentsel sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik uygulanabilir öneriler sunulmuştur. Bu sonuçlar, yalnızca akademik literatüre katkı sağlamakla kalmayıp, kentsel planlama ve çevre yönetimi alanında karar alıcılar için pratik bir rehber niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma mekânsal modelleme ve simülasyon tekniklerinin orman yangını risk yönetiminde nasıl kullanılabileceğini göstererek, bu alandaki bilgi birikimini artırmayı hedeflemiştir. İzmir ili Çeşme, Seferihisar, Urla ve Karaburun ilçelerinde yapılan çalışmada, arazi kullanımı ve orman yangınları riski arasındaki ilişki detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın bulguları, yangına hassas alanlardaki yapılaşmanın mevcut durumu ve risklerini ortaya koymanın yanı sıra, alınması gereken önlemleri belirlemede de önemli katkılar sunmaktadır.

Orman yangınlarıyla mücadelede, yangın risk haritalarının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Yangın risk haritaları, yangın riskini tahmin etme ve yangınların neden olduğu zararları önleme konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, orman yangın risk haritalarının hazırlanması, yangın afetlerini ve bu afetlerin yol açabileceği zararları engellemek için önemli bir temel sağlamaktadır. Bu haritalar, orman yangınlarına yol açan faktörlerin detaylı analiziyle hassas alanların belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Çalışma alanı olarak belirlenen İzmir ilinin Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinde orman yangını riskini oluşturan faktörler belirlenmiştir. Modelin önemli bir bileşeni olan AHP yöntemi, yangın riskine etki eden faktörlerin ağırlıklandırılmasını sağlamıştır. Bu yöntemle oluşturulan kapsamlı yangın risk haritası, ROC eğrisi analiziyle doğrulanarak güvenilir bulunmuştur. AHP yöntemi ile, yangın riskine etki eden antropojenik, iklimsel, meşcere ve topoğrafik faktörlerin ayrıntılı bir şekilde ağırlıklandırılması sağlanmış, çok değişkenli ve iyi doğruluk seviyesine sahip bir risk haritası oluşturulmuştur. Literatürde genellikle tek bir faktör veya sınırlı değişkenlerle gerçekleştirilen analizlerin ötesine geçilerek, geniş kapsamlı ve bütüncül bir yaklaşım benimsenmiştir.

AHP yöntemi kullanılarak bu çalışmada yapılan yangın risk analizinde, belirlenen faktörlerin yangın riskine etkileri hesaplanmıştır. Yangın riskini etkileyen faktörlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Buna göre antropojenik faktörler %44 (enerji nakil hatlarına uzaklık %13, yola uzaklık

%11, tarım alanlarına uzaklık %11, yerleşime uzaklık %9) ile ilk sırada yer alırken, bunu iklim faktörleri %30 (bağıl nem %12, sıcaklık %9, rüzgar hızı %9), meşcere faktörleri %21 (ağaç türü %10, kapalılık %6, gelişim çağı %5) ve topoğrafya faktörleri %5 (bakı %3, eğim %1, yükseklik %1) olarak takip etmiştir. Antropojenik faktörlerin %44 ile orman yangınlarını etkileyen en önemli faktör olduğu sonucu bulunmuştur.

Bu çalışmada yapılan yangın risk analizinde, "yüksek" ve "çok yüksek" risk kategorilerindeki alanların toplamı, alanın %38.79'unu oluştururken, "orta" risk kategorisindeki alanlar %51.93, "Çok düşük" ve "düşük" risk kategorisindeki alanlar ise %9.28 olarak hesaplanmıştır.

Ayrıca çalışma alanında 2013-2023 yılları arasında kaydedilen 212 yangının çıkış noktaları ile risk haritasıyla uyumu incelenmiştir. Buna göre, önceki yangınların 6'sının düşük riskli, 67'sinin orta riskli, 137'sinin yüksek riskli ve 2'sinin çok yüksek riskli alanlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. AHP yöntemine göre geliştirilen risk haritasının doğruluğunu teyit etmiştir. Yangın risk haritasının doğruluğu ROC eğrisi yöntemiyle değerlendirilmiş ve AUC değeri %71 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, çalışma alanı için geliştirilen yangın risk haritasının güvenilir ve kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

İzmir ilinin çalışma alanını oluşturan ilçelerindeki kentsel gelişim, 1990 ile 2018 yılları arasında gözlemlenen Arazi Örtüsü/Alan Kullanımı değişimleri üzerinden incelenmiştir. 1990, 2006 ve 2018 yıllarında Çeşme, Seferihisar, Urla ve Karaburun ilçelerinde arazi kullanımında dikkate değer değişiklikler gözlenmiştir.

Yerleşim alanlarında önemli bir artış yaşanmıştır. 1990 yılında 2599.92 hektar olan yerleşim alanları, 2006 yılında 7375.95 hektara ve 2018 yılında 9197.64 hektara yükselerek dikkate değer bir büyüme göstermiştir. 1990-2006 yılları arasında yerleşim alanlarında 4776.03 ha (%183.7), 2006-2018 yılları arasında ise 1821.69 ha (%24.7) artış olmuştur. 1990'dan 2018'e kadar toplamda yerleşim alanı 6597.72 ha (% 253.77) artmıştır. Bu artışın 4894 ha'ı tarım alanlarından, 1703 ha'ı orman alanlarından olmuştur.

Tarım alanlarında ise aynı dönemde bir düşüş göstermiştir. 1990 yılında 58724.73 hektar olan tarım arazileri, 2006 yılında 53738.28 hektara gerilemiş ve 2018 yılında ise 53450.46 hektara düşmüştür. 1990-2006 yılları arasında tarım alanları 4986.45 ha (%8.49) azalırken, 2006-2018 yılları arasında ise 287.82 ha (%0.54) azalma yaşanmıştır. 1990'dan 2018'e kadar toplam tarım alanı 5274.27 ha (%8.98) azalmıştır. Bu azalışın 4894 ha'ı yerleşim alanlarına, 463 ha'ı su alanlarına dönüşmüştür. Ayrıca orman alanlarından 83 ha tarım alanlarına geçiş olmuştur

Ormanlık alanlarda da bir miktar azalma yaşanmıştır. 1990 yılında 116973.9 hektar olan ormanlık alanlar, 2006 yılında 116742.8 hektara ve 2018 yılında ise 115089.6 hektara gerilemiştir. 1990-2006 yılları arasında orman alanlarında 231.12 ha (%0.2) azalış, 2006-2018 yılları arasında ise 1653.21 ha (%1.42) azalma meydana gelmiştir. 1990'dan 2018'e kadar toplam orman alanı 1884.3

ha (%1.61) azalmıştır. Bu azalmanın 1703 ha'ı yerleşim alanlarına, 83 ha'ı tarım alanlarına ve 98 ha'ı su alanlarına dönüşmüştür.

Su alanlarında ise dikkate değer bir artış görülmüştür. 1990 yılında yalnızca 73.89 hektar olan su alanları, 2018 yılında 634.77 hektara yükselerek önemli ölçüde genişlemiştir. Bu artış büyük ölçüde barajların yapımından kaynaklanmaktadır. 1990-2006 yılları arasında su alanlarında 441.54 ha (%597.56) artış, 2006-2018 yılları arasında 119.34 ha (%23.15) artış gerçekleşmiştir. 1990'dan 2018'e toplam su alanı 560.88 ha (%759.07) artmıştır. Bu artışın 463 ha'ı tarım alanlarından ve 98 ha'ı ise orman alanlarından sağlanmıştır.

HO-Markov yöntemi geçmiş yıllara ait arazi kullanım değişimlerini analiz ederek 2050 yılına yönelik kentsel gelişim projeksiyonunu simüle etmiştir. Bu yöntem sayesinde, gelecekteki kentsel büyümenin hangi bölgelerde yoğunlaşacağı tahmin edilmiştir.

Üretilen 2050 projeksiyon haritasında, Çeşme, Seferihisar, Urla ve Karaburun ilçelerinde arazi kullanımında dikkate değer değişimler olacağı öngörülmüştür. Buna göre, 2018'de 9197.64 hektar olan yerleşim alanlarının 2050'de tahmini olarak 16254.18 hektara çıkarak 2018-2050 döneminde 7056.54 hektarlık bir artış göstereceği tahmin edilmektedir. Bu %76.72'lik önemli bir artışı temsil etmektedir. Bu artışın 5089 ha'ı tarım alanlarından, 1968 ha'ı ise orman alanlarından geleceği öngörülmektedir.

2018'de 53450.46 hektar olan tarım arazilerinin 2050'de tahmini olarak 56107.44 hektara çıkması beklenmektedir. Bu da 2018-2050 döneminde 2656.98 hektarlık bir artışa denk gelir ve %4.97'lik bir orana tekabül etmektedir. Bu artışın 7745 ha'ı orman alanlarından geleceği, tarım alanlarının 5089 ha'ı ise yerleşim alanlarına dönüşeceği öngörülmektedir.

Orman alanlarında ise azalma öngörülmektedir. 2018'de 115089.6 hektar olan ormanlık alanların 2050'de tahmini olarak 105376.05 hektara düşmesi beklenmektedir. Bu da 2018-2050 döneminde 9713.55 hektarlık bir azalmaya işaret etmekte ve %8.44'lük bir oransal düşüşü temsil etmektedir. Bu azalmanın 1968 ha'ı yerleşim alanlarına ve 7745 ha'ı tarım alanlarına kayacağı öngörülmektedir.

Oluşturulan 2050 projeksiyonunda, yerleşim alanlarının 16254.18 ha, tarım alanlarının 56107.44 ha, orman alanlarının 105376.05 ha ve su alanlarının 634.77 ha olacağı sonucu öngörülmüştür. Bu veriler, yerleşim alanlarında önemli bir artış olacağını göstermektedir. Bu artış, büyük ölçüde tarım ve orman alanlarından sağlanacaktır. Tarım alanları, orman alanlarından genişleyerek yerleşim alanlarına dönüşecektir. Orman alanları ise hem tarım hem de yerleşim alanlarına yerini bırakacaktır.

Karaburun Yarımadası'nın kuzey-güney doğrultusunda uzanan ve yerleşim alanı olarak değerlendirilen şerit, rüzgar türbinlerinin kurulumu nedeniyle bozulan ve değişime uğrayan alanları kapsamaktadır. Yapılan analizlerde çalışma alanının kuzeyinde yer alan Karaburun ilçesinde yerleşimlerin artacağı ve orman alanlarının tarım ve yerleşim alanlarına, tarım alanlarının ise yerleşim alanlarına dönüşeceği öngörülmektedir. İlçenin güneydoğusunda, kıyıya yakın alanlarda da

orman ve tarım alanlarının yerleşim alanlarına dönüşeceği beklenmektedir. Çeşme ilçesinin kuzey, doğu ve batı bölgelerinde yerleşim alanlarının artışı ve kıyı şeridinde yoğun bir yerleşim baskısı öngörülmektedir. Urla ilçesinde, özellikle kıyı bölgelerinde yerleşim alanlarının artacağı ve orman ile tarım alanlarının yerleşim alanlarına dönüşeceği tahmin edilmektedir. Seferihisar ilçesinin güney ve batı deniz kıyısındaki yerleşim alanlarının genişleyerek tarım arazilerinin yerleşim alanlarına dönüşeceği, doğuda ise orman alanlarının tarım ve yerleşim alanlarına dönüşeceği tahmin edilmektedir.

AHP ve HO-Markov yönteminin entegrasyonu ile geliştirilen mekansal yapılaşma modelinde, 2018-2050 yılları arasında kentsel gelişim alanlarının risk gruplarına dağılımını analiz etmek amacıyla AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemiyle oluşturulan yangın risk haritası ve TerrSet yazılımında gerçekleştirilen 2050 yılı kentsel gelişim senaryosu kullanılarak, tarımdan yerleşime ve ormandan yerleşime geçiş alanları belirlenmiştir. Kentsel gelişim alanlarının çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek risk gruplarına dağılımı haritalandırılmıştır

2018-2050 yılları arasında kentsel gelişme alanlarının risk gruplarına dağılımı incelendiğinde, gelişimin büyük ölçüde orta ve yüksek riskli alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Gelişim alanlarının %45.38'inin orta riskli, %54.16'sının ise yüksek riskli alanlarda olacağı tespit edilmiştir. Düşük riskli alanlardaki %0.46'lık oran ve çok düşük riskli alanlarda herhangi bir gelişim olmaması bu alanlarda kentsel gelişimin oldukça sınırlı kalacağını işaret etmektedir. Çok yüksek riskli alanlarda ise %0.01 oranında gelişim olacağı öngörülmüştür. Bu oran oldukça düşük olmakla birlikte, bu alanlarda yapılaşmanın tamamen önlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, kentsel gelişimin büyük ölçüde riskli alanlarda gerçekleşeceğini ve özellikle yüksek riskli alanlarda risk yönetimi ile sürdürülebilir kentleşme politikalarının ivedilikle uygulanması gerektiğini vurgulamaktadır. Orta riskli alanlarda ise mevcut durumun dikkatlice değerlendirilerek kentsel gelişimin daha güvenli alanlara yönlendirilmesi önem arz etmektedir. Çok düşük ve düşük riskli alanlardaki sınırlı gelişim, bu bölgelerde daha korumacı bir yaklaşım sergilendiğini göstermekle birlikte, bu tür alanların sürdürülebilir kentleşme politikaları çerçevesinde daha etkin şekilde değerlendirilebileceğini işaret etmektedir.

Bu iki yöntemin entegrasyonu ile geliştirilen yapılaşma modeli, hem yangın riski taşıyan bölgelerin belirlenmesini hem de bu risklerin kentsel büyüme eğilimleri ile entegre bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Bu model, yapılaşma kararlarının çevresel riskler göz önünde bulundurularak alınmasına yönelik bilimsel bir çerçeve sunmaktadır. Örneğin, yüksek yangın riski taşıyan bölgelerde yapılaşmanın sınırlandırılması ve bu alanların doğal yapısının korunması gerektiği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda, düşük risk taşıyan bölgelerde sürdürülebilir ve kontrollü bir şekilde yapılaşmanın teşvik edilmesi önerilmektedir. Kentsel planlama süreçlerinde yangın risk haritaları etkin bir şekilde kullanılmalıdır.

Orman alanlarının ve tarım arazilerinin yerleşimlere dönüşmesi, kentleşme baskısı ile doğrudan ilişkilidir. Artan nüfus ve kentsel talepler, doğal alanlar üzerinde yoğun baskılar

oluşturmakta ve arazi kullanımında önemli değişikliklere yol açmaktadır. Kentler, uygun arazi temin edilemediğinde düzensiz bir şekilde büyüyerek çeperlere doğru yayılmakta, bu durum doğal alanların yapılaşmaya açılmasını hızlandırmaktadır. Nüfus artışı ve düzensiz kentleşme, özellikle ormanlık alanların yapılaşmaya maruz kaldığı bölgelerde yangın riskini artırmaktadır.

İzmir ili, 1990-2023 yılları arasında %66 oranında bir nüfus artışı göstermiştir. Çeşme'de %70, Karaburun'da %48, Urla'da %119 ve Seferihisar'da %174 gibi yüksek oranlar, kıyı bölgelerindeki yapılaşma baskısını açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle Çeşme, Seferihisar ve Urla gibi ilçelerde ikinci konut ve turistik gelişim ön planda yer almakta, bu da kıyı şeridinde yoğun yapılaşmaya yol açmaktadır. Karaburun çevresi ise ulaşım zorlukları nedeniyle diğer ilçelere göre daha az etkilenmiş olsa da, doğal alanlar üzerindeki baskı burada da artmaktadır.

Bu nüfus artışı ve kentleşme baskısı, doğal alanlarda yangın riskini artıran önemli bir faktördür. Çalışma alanında 2013-2023 yılları arasında 212 yangın kaydedilmiş olup, bu yangınların büyük bir kısmı yüksek riskli bölgelerde meydana gelmiştir. Bu durum, yangın riskinin geniş bir alana yayıldığını ve ciddiyetini koruduğunu göstermektedir. Arazi kullanımında meydana gelen değişimler, yangın riskini artırmakta ve bu risklerin etkin bir şekilde yönetilmesi için stratejik planlama ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, İzmir ili Çeşme, Karaburun, Urla ve Seferihisar ilçelerini kapsayan çalışma, orman yangınlarına hassas bölgelerde yapılaşmayı planlamak için mekânsal bir model geliştirmiştir. CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile oluşturulan yangın risk haritası, bölgede "orta", "yüksek" ve "çok yüksek" risk kategorilerindeki alanların toplamda %90.72 gibi yüksek bir yüzdelik değere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, yangın riskinin büyük bir alanı etkilediğini ve risk odaklı planlama gerekliliğini vurgulamaktadır.

Modelin önemli bir diğer bileşeni olan 2050 projeksiyonları, gelecekteki arazi kullanım değişimlerini öngörerek bu değişimlerin kentsel planlama süreçlerine entegrasyonunu sağlamaktadır. Özellikle tarım ve orman alanlarının yerleşim alanlarına dönüşümünün etkileri, sürdürülebilir yönetim için önemli göstergeler sunmaktadır. Yangın risk haritası ve 2050 projeksiyonları birlikte ele alınarak, riskli bölgelerde yapılaşmayı sınırlandırmak ve sürdürülebilir kentsel gelişimi teşvik etmek için öneriler geliştirilmiştir.

Bu çalışma, yangın risk haritalarının kentsel planlama süreçlerine entegre edilmesi gerektiğini vurgulayarak, sürdürülebilir kentleşme stratejilerinin hayata geçirilmesine yönelik rehberlik etmektedir. Yangın riskinin azaltılması ve yapılaşmanın çevresel etkiler göz önünde bulundurularak planlanması, doğal kaynakların korunmasını destekleyecek ve kentsel büyüme ile doğal alanlar arasındaki dengeyi sağlamaya katkı sunacaktır.

3194 Sayılı İmar Kanunu, yerleşim alanlarının planlanması ve yapılaşmanın düzenlenmesi konusunda önemli hükümler içermektedir. Ancak, 3194 Sayılı İmar Kanunu'nun, yangın riski yüksek bölgelerde yapılaşmayı sınırlandıracak ek düzenlemelerle desteklenmesi gereklidir. İmar planlarının, oluşturulan yangın risk haritasındaki değerlendirmeler doğrultusunda yeniden gözden geçirilmesi ve

bu riskleri azaltacak şekilde düzenlenmesi gereklidir. Yangın riski yüksek alanlarda kontrollü gelişim bölgeleri oluşturulmalı ve bu bölgelerde yapılaşma sınırlamaları getirilmelidir. Özellikle yüksek ve çok yüksek risk kategorisindeki alanlarda, yapılaşma sınırlandırılmalı ve yangına dayanıklı yapı malzemelerinin kullanımı zorunlu hale getirilmelidir.

Kent sınırlarının orman alanlarına dayandığı bölgelerde, etkili arazi kullanım planlama politikalarının geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu politikalar; ormanların korunması, tarım alanlarının sürdürülebilir kullanımı ve yerleşim alanlarının planlanması gibi stratejileri içermelidir. Ormanlık alanların korunması ve kontrolsüz yapılaşmanın önlenmesi, bu politikaların ana hedeflerinden biri olmalıdır. Orman ve tarım alanlarının yasadışı kullanımına karşı koruyucu politikalar ile yasal düzenlemeler güçlendirilmelidir. Özellikle yangın riski yüksek bölgelerde, bu alanların korunmasına yönelik önlemler alınmalıdır. 1990-2018 yılları arasında orman alanlarının %1.61, tarım alanlarının ise %8.98 azalması ve 2050 projeksiyonunda, 2018-2050 yılları arasında, orman alanlarında 9713.55 ha (%8.44) azalma olacağı ve bu azalmanın 1968 ha'nın yerleşim alanlarına, 7745 ha'nın ise tarım alanlarına kayacağına öngörülmesi bu alanların korunmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Orman alanları için koruma statüleri artırılmalı ve bu alanlarda yapılaşma sınırlandırılmalıdır. Bu bağlamda, konu ile ilgili mevzuatların güçlendirilmesi ve uygulanabilirliğinin artırılması büyük önem taşımaktadır.

6831 Sayılı Orman Kanunu, ormanların korunması, geliştirilmesi ve orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için temel bir yasal çerçeveyi oluşturur. 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu ise tarım arazilerinin korunması ve verimli kullanımı için önemli düzenlemeler içermektedir. Ancak, bu kanunların etkin uygulanabilirliği, kapsamlı ve sürekli denetim mekanizmalarının varlığına bağlıdır. Orman alanlarının yasadışı kullanımı, izinsiz ağaç kesimi ve orman yangınları gibi tehditlerle mücadele edilmeli; tarım arazilerinin ormanlık alanlara dönüştürülmesi veya yerleşim alanlarına kaydırılması gibi olumsuz uygulamalar önlenmelidir. Bu doğrultuda sıkı denetimler yapılmalıdır. Orman alanlarının %44'ünün antropojenik faktörler nedeniyle risk altında olduğu tespit edildiğinde, denetimlerin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Modern teknolojilerin kullanımı, örneğin uydu görüntüleme, dronlar ve termal kameralar, denetim süreçlerini daha etkin hale getirebilir. Bu teknolojiler, orman alanlarının sürekli olarak izlenmesini ve olası yasadışı faaliyetlerin hızlı bir şekilde tespit edilmesini sağlayabilir.

6831 Sayılı Orman Kanunu ve 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nun denetim mekanizmalarıyla desteklenmesi ve cezai yaptırımların etkin hale getirilmesi kritik bir gerekliliktir. Cezai yaptırımların caydırıcı olması, yasaların ihlal edilmesini önlemede önemli bir faktördür. Hem 6831 Sayılı Orman Kanunu hem de 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu kapsamında öngörülen cezaların artırılması ve bu cezaların uygulanmasında kararlılık gösterilmesi, yasadışı faaliyetlerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Cezaların yanı sıra, yasa ihlallerine karşı toplumsal bilinç ve farkındalık artırılmalı; bu tür eylemlerin toplum nezdinde kabul edilemez olduğu vurgulanmalıdır.

2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu, orman alanlarının turizme açılmasına ve bu alanlarda irtifak haklarının tesis edilmesine izin vererek, orman ekosistemleri üzerinde belirli riskler doğurmakta ve doğal dengeyi tehdit edebilmektedir. Turizm teşvikleri doğrultusunda, insan faaliyetlerinin doğal orman alanlarında yoğunlaşması, ekosistemin korunmasını güçleştirirken yangın riskini de artırmaktadır. Özellikle yangına duyarlı ormanlık alanlarda tanınan irtifak hakları, yapılaşma ve turistik faaliyetlerin artışına yol açarak, doğal yangın döngüsünü bozmakta ve yangınla mücadele kapasitelerini zorlamaktadır. Bu bağlamda, 6831 sayılı Orman Kanunu'nun temel hedefi olan ormanların korunması, Turizmi Teşvik Kanunu'nun bazı hükümleri ile çelişmektedir. Turizm teşvikleri kapsamında, orman ekosistemlerinin korunmasına yönelik açık düzenlemeler gerekmektedir. Bu noktada, ormanlık alanlarda turizm yatırımları yapılmadan önce yangın risk analizlerinin zorunlu hale getirilmesi ve riskli bölgelerde yangın güvenliği altyapısının sağlanması gereklidir. Ayrıca, yapılaşma izinlerinin yangın önleyici tedbirler alınmış alanlarla sınırlı tutulması ve yangına karşı koruma sağlayacak ekipman ve yapı malzemelerinin kullanımı gibi tedbirlerin de 2634 sayılı Kanun kapsamında tanımlanması, orman yangınları riskini azaltmada etkili olacaktır.

2872 Sayılı Çevre Kanunu'nun orman alanlarında etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, ÇED süreçlerinin güçlendirilmesi, denetim ve izleme mekanizmalarının etkinleştirilmesi, kamu ve toplum katılımının sağlanması ve yasal-idari düzenlemelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu adımlar, orman ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi açısından hayati öneme sahiptir.

Kent sınırlarının orman alanlarına dayanmasıyla ilgili baskıları yönetmek ve yangın risklerini azaltmak için, toplumun aktif katılımı ve bilinçlendirilmesi önemlidir. Bölge insanına, yangın riskleri ve alınabilecek önlemler konusunda eğitim verilmelidir. Bu eğitimler ile halkın, yangın önleme çalışmalarına aktif katılımı teşvik edilmelidir. Toplumun, yangın tehlikesi konusunda bilinçlendirilmesi ve yangın önleme tedbirlerine uyum sağlaması, yangın risklerini azaltmada kritik bir rol oynar.

Yasa düzenlemeleri sürecine, kamusal ve sivil toplum katılımı sağlanmalıdır. Halkın, sivil toplum kuruluşlarının ve ilgili paydaşların görüş ve önerileri dikkate alınarak, yasaların uygulanabilirliği artırılmalıdır.

Yangın riskini azaltmak için, yangın önleme ve müdahale stratejilerinin de etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu stratejiler arasında, yangın izleme ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, yangınların hızlı bir şekilde tespit edilip müdahale edilmesine olanak sağlayacaktır. Yangınların insan faaliyetlerinden kaynaklandığı göz önüne alındığında, erken uyarı sistemlerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Uydu görüntüleme, dronlar ve termal kameralar gibi ileri teknolojiler kullanılarak, orman alanlarının sürekli izlenmesi sağlanmalıdır. Çalışma alanında, 2013-2023 yılları arasında kaydedilen 212 yangının çıkış noktaları ile risk haritası arasındaki ilişki, yangınların doğru tespiti ve müdahalesi için bu tür teknolojik sistemlerin önemini vurgulamaktadır.

Yerel halktan, gönüllü yangınla mücadele ekipleri oluşturulmalı ve bu ekipler, yangın durumlarında hızlı müdahale edebilecek şekilde eğitilmelidir. Bu ekipler, özellikle yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerde etkin olabilirler.

Ağaçlandırma çalışmaları, yangın riskini azaltmada önemli bir rol oynar. Bu çalışmalar, orman alanlarının korunmasını ve yeniden yeşillendirilmesini destekler. Özellikle orman alanlarından tarım ve yerleşim alanlarına dönüşen bölgelerde, bu tür çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ağaçlandırmada, geniş yapraklı ve yangına dayanıklı türler tercih edilmelidir.

Orman yangınları eylem planları hazırlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu planlar kapsamında, yangın riskinin yüksek olduğu bölgelerde acil müdahale ekipleri ve yangın söndürme ekipmanları stratejik olarak yerleştirilmelidir. Ayrıca, yangın durumunda hızlı ve etkili müdahaleyi sağlamak için bölgesel koordinasyon merkezleri kurulmalıdır. Bu merkezler, yangınla mücadelede çeşitli kurum ve kuruluşların işbirliğini koordine ederek, yangınların kontrol altına alınmasını ve söndürülmesini etkin bir şekilde yönetmelidir. AFAD, Orman Genel Müdürlüğü, belediyeler, üniversiteler, askeri birlikler, güvenlik güçleri ve sivil toplum kuruluşlarının işbirliğini güçlendiren yangın yönetim planları hazırlanmalı ve uygulanmalıdır.

2050 ve sonrasını kapsayan kentsel gelişim modelleri geliştirilmelidir. Bu modeller, gelecekteki arazi kullanım değişikliklerini tahmin ederek kentsel planlama süreçlerine katkıda bulunabilecektir.

Yangın tespiti ve yangınla mücadele teknolojilerindeki yenilikler araştırılmalı ve bu yeniliklerin orman yangını yönetimine entegrasyonu sağlanmalıdır.

Bu öneriler ve alınması gereken önlemler, İzmir ili Çeşme, Seferihisar, Urla ve Karaburun ilçelerinde orman yangını riskini önemli ölçüde azaltarak doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını destekleyecektir. Detaylı planlama ve etkin uygulamalar, bölgenin ekolojik dengesini korurken yangın riskine karşı daha dirençli bir yapı oluşturulmasını sağlayacaktır. Mevcut mevzuatın güncellenmesi ve güçlendirilmesi, toplumsal ve ekonomik kayıpların azaltılmasına önemli katkılar sunacaktır. Ayrıca, orman yangınlarına yönelik alınacak önlemler ve etkili yangın yönetim planlarının uygulanması, bölgedeki yangın riskini minimum seviyeye indirmeye yardımcı olacaktır.

Sonuç olarak, bu doktora tezi, orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın planlanması ve yönetimi için kapsamlı bir model geliştirerek, İzmir ili Karaburun, Çeşme, Urla ve Seferihisar ilçelerinde yangın riskinin azaltılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Tezin bulguları, kentsel planlama ve çevre yönetimi konularındaki önemli bir literatür boşluğunu doldururken, bu alanlarda yapılacak gelecekteki araştırmalar için rehberlik edecektir. Orman yangınlarına hassas bölgelerde yapılaşmanın planlanması, çevresel sürdürülebilirlik ve yangın riskinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, orman yangınlarına hassas alanlarda yapılaşmanın mevcut durumunu ve risklerini ortaya koymakta, aynı zamanda alınması gereken önlemleri detaylı bir şekilde belirlemektedir. Böylece, çalışma; kentsel planlama ve yangın risk yönetimi alanlarında etkili ve

sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Araştırma, kentsel planlamacılara, çevre koruma uzmanlarına ve karar alıcılara, gelecekteki kent büyümesini daha sürdürülebilir hale getirmek ve orman yangınlarının etkilerini azaltmak için rehberlik edecektir. Aynı zamanda, mekânsal modelleme ve projeksiyon tekniklerinin bu sorunların yönetiminde nasıl kullanılabileceğini göstererek, bu alandaki bilgi birikimine katkı sağlayacaktır.

Genel olarak, çalışmada kullanılan yöntem ve yaklaşımlar, araştırma sorusunu yanıtlamada güçlü bir temel sunmuştur. Bununla birlikte, yangın risk analizinde subjektif etkilerin azaltılması ve daha nesnel bir yaklaşımın benimsenmesi, gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli bir geliştirme alanı olarak değerlendirilebilir.



KAYNAKLAR

- Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., ve Ash'aari, Z. H., 2017. Measuring and mapping urban growth patterns using remote sensing and GIS techniques. *Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews*, 3(1):55–69.
- Adab, H., Kanniah, K. D., ve Solaimani, K., 2013. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural hazards*, 65:1723-1743.
- Ager, A. A., Preisler, H. K., Arca, B., Spano, D., ve Salis, M., 2014. Wildfire risk estimation in the Mediterranean area. *Environmetrics*, 25(6):384-396.
- Ajiboye, J. O., Eren, Ş. G., ve Ugese, A. A., 2022. A Test of the Markov Prediction Model: The Case of Isparta. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(Özel Sayı):114-128.
- Ajin, R. S., Loghin, A. M., Jacob, M. K., Vinod, P. G., ve Krishnamurthy, R. R., 2016. The risk assessment study of potential forest fire in Idukki Wildlife Sanctuary using RS and GIS techniques. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, 5(1):308-318.
- Akay, A. E., ve 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*, 4:25-30.
- Akay, A. E., ve 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.
- Akbulak, C., Tatlı, H., Aygün, G., ve 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):2127-2143.
- Akın, A., ve Erdoğan, M. A., 2020. Analysing temporal and spatial urban sprawl change of Bursa city using landscape metrics and remote sensing. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6:1331-1343.
- Akseki, H., ve Meşhur, M. Ç., 2013. Kentsel yayılma sonucu yapılaşmaya açılan verimli tarım alanları: Konya kenti deneyimleri. *Megaron*, 8(3): 165.
- Aktaş, C., ve Bahadır, M., 2017. The temporal and spatial changes of land use in Salıpazarı district (Samsun). *Journal of Academic Social Science Studies*, (60): 435-450.
- Aktas, N. K., ve Donmez, N. Y., 2019. Effects of urbanisation and human activities on basin ecosystem: Sapanca Lake Basin. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(1): 102-112.
- Akurgal, E., 2016. Ancient Civilizations and Ruins of Turkey. Phoenix, İstanbul, 544s.
- Akyüz, T., 2019. Bursa Orman Bölge Müdürlüğü'nde yangın tehlikesinin modellenmesi ve haritalanması. Doktora tezi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, 41 s.

- Alghais, N., ve Pullar, D., 2018. Modelling future impacts of urban development in Kuwait with the use of ABM and GIS. *Transactions in GIS*, 22(1): 20–42.
- Alkayış, M. H., Karslioglu, A., ve Onur, M. İ., 2022. Muğla ili Menteşe yöresi orman yangını risk potansiyeli haritasının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Geomatik Dergisi*, 7(1): 10-16.
- Almeida, C. M. D. ve Gleriani, J. M., 2005. Cellular automata and neural networks as a modelling framework for the simulation of urban land use change. In *Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiania, Brasil, 3697-3705.
- Alpaslan, A. Ö., ve Ortaçesme, V., 2009. Side-Manavgat kıyı kesimi alan kullanımlarının kıyı planlaması ve yönetimine yönelik değerlendirilmesi. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 22(2): 169-178.
- Alphan, H., 2003. Land-use change and urbanization of Adana, Turkey. *Land degradation ve development*, 14(6): 575-586.
- Alphan, H., 2003. Land-use change and urbanization of Adana, Turkey. *Land degradation ve development*, 14(6): 575-586.
- Alphan, H., ve Güvensoy, L., 2016. Detecting coastal urbanization and land use change in Southern Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 24(2): 97-107.
- Al-Shaar, W., Adjizian Gérard, J., Nehme, N., Lakiss, H., ve Buccianti Barakat, L., 2021. Application of modified cellular automata Markov chain model: forecasting land use pattern in Lebanon. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7: 1321-1335.
- Al-Shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S., ve Al-Sharif, A. A., 2013. Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen. *Environmental Earth Sciences*, 70: 425-437.
- Al-sharif, A. A., ve Pradhan, B., 2014. Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 4291-4301.
- Al-sharif, A. A., ve Pradhan, B., 2015. Spatio-temporal prediction of urban expansion using bivariate statistical models: assessment of the efficacy of evidential belief functions and frequency ratio models. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9(2): 213–231.
- Al-Sharif, A. A., Pradhan, B., Shafri, H. Z. M., ve Mansor, S., 2013. Spatio-temporal analysis of urban and population growths in Tripoli using remotely sensed data and GIS. *Indian Journal of Science and Technology*, 5134-5142.
- Altuner, F., 2022. Alansal değişime etki eden parametrelerin Ayvalık ilçesi örneğinde incelenmesi.

- Altobellis, A. T., 1983. A survey of rural population density and forest fire occurrence in the South. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Vol. 294: 1956-1970.
- Altuğ Turan, İ., 2010. Kentsel tasarımda fiziksel kent kimliği kodlarının oluşturulması: İzmir Konak İlçesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 296 s.
- Altun, N., 2006. Urla-Seferihisar (İzmir) bölgesinin jeolojisi ve toprak özellikleri. Uzmanlık Tezi. TC Çevre ve Orman Bakanlığı, Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, İzmir, 57 s.
- Araya, Y. H., ve Cabral, P., 2010. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. *Remote Sensing*, 2(6): 1549-1563.
- Arentze, T. A., ve Timmermans, H. J., 2000. A spatial decision support system for retail plan generation and impact assessment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 8(1-6): 361-380.
- Arfasa, G. F., Owusu-Sekyere, E., ve Doke, D. A., 2023. Past and future land use/land cover, and climate change impacts on environmental sustainability in Veia catchment, Ghana. *Geocarto International*, 38(1): 2289458.
- Arsanjani, J. J., Kainz, W., ve Mousivand, A. J., 2011. Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(4): 329-345.
- Asri, İ., Çorumluoğlu, Ö., ve Özdemir, E., 2015. CBS destekli orman yangını risk dağılım analizi; Antalya örneği. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28.
- Aşkan, A. A., 2011. 1922-1960 Yılları arasında, İzmir'deki mimarlık ve kentsel planlama bağlamında Rıza Aşkan. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 345s.
- Atesoglu, 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*, 15(2): 715-725.
- Ateş, E., Öncü, M. A., Bayar, R., ve Yılmaz, M., 2020. Eskişehir kentsel büyüme alanının Hücresel Otomat ve CA-Markov zincirleri ile analizi (1984-2056). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18(2), 276-295.
- Ateşoğlu, A., Melemez, K., ve Uğur, B., 2015. Orman yangınına hassas bölgelerde arazöz ile müdahale oranının belirlenmesi (Bartın Orman İşletmesi örneği). *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2): 132-143.
- Aune-Lundberg, L., ve Strand, G. H., 2021. The content and accuracy of the CORINE Land Cover dataset for Norway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102266.
- Aydın O., 2011. CBS temelli hücresel otomata yöntemiyle kentsel büyüme modeli: Ankara örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9(2): 135-158.

- Ayhan, F. İzmir İli Nüfusunun Gelişimi ve Değişimine Dair Demografik Analiz Çalışması. Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 7(2): 273-290.
- Badia, A., Serra, P., ve Modugno, S., 2011. Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas. *Applied Geography*, 31(3): 930-940.
- Badia-Perpinyà, A., ve Pallares-Barbera, M., 2006. Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: the case of Catalonia. *International Journal of Wildland Fire*, 15(2): 187-196.
- Baidoo, R., Arko-Adjei, A., Poku-Boansi, M., Quaye-Ballard, J. A., ve Somuah, D. P., 2023. Land use and land cover changes implications on biodiversity in the Owabi catchment of Atwima Nwabiagya North District, Ghana. *Heliyon*, 9(5): 1-16.
- Bajocco, S., ve Ricotta, C., 2008. Evidence of selective burning in Sardinia (Italy): which land-cover classes do wildfires prefer?. *Landscape Ecology*, 23: 241-248.
- Bakırcı, G. T., Bucak, T. ve Turhan, K. N., 2017. Bölge gastronomi turizmi üzerine yöresel ürün festivallerinin etkisi: Urla örneği. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 5(Special Issue 2): 230-240.
- Bakker, M. M., ve van Doorn, A. M., 2009. Farmer-specific relationships between land use change and landscape factors: Introducing agents in empirical land use modelling. *Land Use Policy*, 26(3): 809-817.
- Baltacı, U., ve Yıldırım, F., 2021. Muğla Orman Bölge Müdürlüğü'nde orman yangını riskinin cbs tabanlı çok kriterli analizi ve haritalandırılması. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8(1): 1-11.
- Başaran, M. A., Sarıbaşak, H., ve Çamalan, İ., 2007. Yangın risk ve tehlike sınıflarının belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemi tekniğinin kullanılması. *Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler Sempozyumu*, İstanbul, 17-19.
- Batty, M., Xie, Y., ve Sun, Z., 1999. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23(3): 205-233.
- Baysal, İ., Bilgili, E., ve Başkent, E. Z., 2016. Orman Yangınları ve Orman Amenajman Planları. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 16(1): 169-180.
- Belhadi, A., Touriki, F. E., ve El Fezazi, S., 2017. Prioritizing the solutions of lean implementation in SMEs to overcome its barriers: An integrated fuzzy AHP-TOPSIS approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(8), 1115-1139.
- Bentekhici, N., Bellal, S. A., ve Zegrar, A., 2020. Contribution of remote sensing and GIS to mapping the fire risk of Mediterranean forest case of the forest massif of Tlemcen (North-West Algeria). *Natural Hazards*, 104(1): 811-831.

- Berberoğlu, S., Akın, A., ve Clarke, K. C., 2016. Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for Adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning*, 153: 11-27.
- Bıçakçı, C., ve Yıldız, S. S., 2024. Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Şiddetinin Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması: 2023 Hatay-Belen Yangını Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2): 708-719.
- Bilgili, E., 2014. Orman koruma dersi geçici ders notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Koruma Bölümü.
- Bilgili, E., 2018. Orman yangınlarının orman ekosistemleri üzerindeki etkileri. [yangın ekolojisi ders notları]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Koruma Bölümü.
- Bilgili, E., 2022. Orman yangınları. [orman koruma ders notları]. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Koruma Bölümü.
- Bilgili, E., ve Sağlam, B., 2003. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 184(1-3): 201-207.
- Bilgili, E., Baysal, İ., Dinç Durmaz, B., Sağlam, B., ve Küçük, Ö., 2010. Türkiye’de 2008 Yılında Çıkan Büyük Orman Yangınlarının Değerlendirilmesi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20–22 Mayıs 2010, Cilt: III, 1270–1279.
- Bilgili, E., Küçük, Ö., ve Sağlam, B., 2002. Yangın Davranışının Tahmini ve Yangınlarla Mücadeledeki Önemi. *GÜ. Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2): 124-134.
- Bilücan, F., Teke, A., ve Kavzoğlu, T., 2022. Topluluk Tabanlı Makine Öğrenmesi Algoritmaları İle Orman Yangını Duyarlılık Haritalaması: Hatay Örneği. VIII. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2022), 17-19 Kasım 2022, Ankara, 1-8.
- Bingöl, B., 2017. Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Burdur ili orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(2): 169-182.
- Birdsey, R.A., 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems. United States Department of Agriculture Forest Service, USA, 51s.
- Boyatan, M., 2019. Yangın risk ve tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılacak karar destek sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, 73 s.
- Braun, W. J., Jones, B. L., Lee, J. S., Woolford, D. G., ve Wotton, B. M., 2010. Forest fire risk assessment: an illustrative example from Ontario, Canada. *Journal of Probability and Statistics*. doi:10.1155/2010/823018.
- Bulut, H., Demirör, Z., Alan, İ., Kaya, Ş., Bilgin, N., Öztaş, Z., Gürçayır, E., ve Darende, V., 2018. 2018 Yılı İzmir Meteorolojik Radar Verilerinin Zamansal ve CORINE Arazi Sınıflarına Göre Değişiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yazılım Geliştirme Şube Müdürlüğü*, Ankara.

- Buringh, P., 1984. Organic carbon in soils of the world. In: Woodwell, C. M., ed. The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle, SCOPE 23. New York: John Wiley ve Sons: 91-109.
- Cáceres, C. F., 2011. Using GIS in hotspots analysis and for forest fire risk zones mapping in the Yeguaré Region, Southeastern Honduras. *Papers in Resource Analysis*, 13: 1-14.
- Calda, B., Collu, K., Pacal, A., ve Kurnaz, M. L., 2020. Estimation of Forest Fire Risk by Using Fire Weather Index in the MENA Region. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 4593).
- Canberk, M., ve Kiracı, A. C., 2014. Arazi kullanımının zamansal değişiminin tarihi ortofotolarla belirlenmesi: Elmalı havzası örneği. 5. Uzaktan Algılama-CBS sempozyumu, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Canpolat, F. A., ve Dağlı, D., 2020. Elazığ İli'nde Arazi Kullanımı Değişimi (2006-2018) ve Simülasyonu (2030). *International Journal of Geography and Geography Education*, (42): 702-723.
- Carmel, Y., Paz, S., Jahashan, F., ve Shoshany, M., 2009. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. *Forest Ecology and Management*, 257(1): 370-377.
- Castanho, R. A., Naranjo Gomez, J. M., Vulevic, A., ve Couto, G., 2021. The land-use change dynamics based on the CORINE Data in the period 1990–2018 in the European archipelagos of the Macaronesia Region: Azores, Canary Islands, and Madeira. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5): 342.
- Catry, F. X., Rego, F. C., Silva, J. S., Moreira, F., Camia, A., Ricotta, C., ve Conedera, M., 2010. 2.1 Fire Starts and Human Activities. Towards Integrated Fire Management Outcomes of the European Project Fire Paradox, 9.
- Cengiz S., 2019. Kentsel Büyüme dinamiklerinin modellenmesi: Ankara kenti simülasyonu. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 284 s.
- Chakraborty, S., ve Banik, D., 2006. Design of a material handling equipment selection model using analytic hierarchy process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28: 1237-1245.
- Chas-Amil, M. L., Touza, J., ve García-Martínez, E., 2013. Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography*, 43: 127-137.
- Chen, M. K., ve Wang, S. C., 2010. The critical factors of success for information service industry in developing international market: Using analytic hierarchy process (AHP) approach. *Expert Systems with Applications*, 37(1): 694-704.
- Chen, R., He, B., Quan, X., Lai, X., ve Fan, C., 2023. Improving wildfire probability modeling by integrating dynamic-step weather variables over Northwestern Sichuan, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14(2): 313-325.

- Chen, Y., Chen, J., Zhao, S., Xu, X., Liu, X., Zhang, X., ve Zhang, H., 2024. Inferring the heterogeneous effect of urban land use on building height with causal machine learning. *GIScience ve Remote Sensing*, 61(1): 2321695.
- Chen, Y., Zheng, W., Li, W., ve Huang, Y., 2021. Large group activity security risk assessment and risk early warning based on random forest algorithm. *Pattern Recognition Letters*, 144: 1-5.
- Christopoulou, A., Fyllas, N. M., Andriopoulos, P., Koutsias, N., Dimitrakopoulos, P. G., Arianoutsou, M., 2014. Post-fire Regeneration Patterns of *Pinus nigra* in a Recently Burned Area in Mount Taygetos, Southern Greece: The Role of Unburned Forest Patches. *Forest Ecology and Management*, 327: 148-156.
- Chuvieco, E., ve Congalton, R. G., 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2): 147-159.
- CIFOR, 2012. The Changing Face of Forestry: 2012 Annual Report. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/4121/> (Son erişim:19.04.2024)
- CORINE İzmir İli 1990, 2006 ve 2018 arazi kullanım haritası <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (Son erişim: Ocak 2023)
- Coşkun, E., 2023. Cellular Automata-Based Suitability Analysis for Dense Urban Areas: The Case of Istanbul. *Journal of Technology in Architecture, Design and Planning*, 1(1): 38-49.
- Coşkun, M., ve Toprak, F., 2023. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı orman yangını risk analizi: Bartın İli örneği. *Geomatik*, 8(3): 250-263.
- Çağlıyan, A., ve Dağlı, D., 2015. Arazi kullanımında simülasyon modelleri ve entegre kullanımları. *TÜCAÜM VIII. Coğrafya Sempozyumu*, 23(24): 233-244.
- Çakır, M., 2017. Toprak faunasının kurak ekosistemlerdeki görevleri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 67- 78.
- Çakmak, M. 2022. İzmir Mutfak Kültürü Üzerine Bir Değerlendirme. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(7): 934-949.
- Çanakçıoğlu, H., 1993. Orman Koruma, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No:3624, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın NO: 411, İstanbul.
- Çetin, M., Isik Pekkan, Ö., Ozenen Kavlak, M., Atmaca, I., Nasery, S., Derakhshandeh, M., ve Cabuk, S. N., 2023. GIS-based forest fire risk determination for Milas district, Turkey. *Natural Hazards*, 119(3), 2299-2320.
- Çiçek, Ü., 2006. İzmir'in Tarihçesi. *İzmir Ticaret Odası*, 1-9.
- Çilingiroğlu, Ç., Uhri, A., Dinçer, B., Baykara, I., Çakırlar, C., Turan, D., Dinçerler, E., Sezgin, E., 2018. Kömür Burnu: A Multi-Component Prehistoric Site in Izmir-Karaburun. *Arkeoloji Dergisi*, 23: 65-90.

- Çoban, H., ve Erdin, C., 2020. Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak forest enterprise, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1): 1567-1583
- Çolak, E., ve Sunar, F., 2020. Evaluation of forest fire risk in the Mediterranean Turkish forests: A case study of Menderes region, Izmir. *International journal of disaster risk reduction*, 45: 101479.
- Dabanlı, İ., 2021. Orman yangınları ve insan faaliyetleri. T. Kavzoğlu (Ed.), *Orman yangınları: Sebepleri, etkileri, izlenmesi, alınması gereken önlemler ve rehabilitasyon faaliyetleri*. Türkiye Bilimler Akademisi, 25-42.
- Darmawan, M., 2001. Forest Fire Hazard Model Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: Toward Understanding of Land and Forest Degradation in Lowland Areas of East Kalimantan, Indonesia. Paper Presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore, 1-6.
- Davim, D. A., Rossa, C. G., Pereira, J. M., Guiomar, N., ve Fernandes, P. M., 2023. The effectiveness of past wildfire at limiting reburning is short-lived in a Mediterranean humid climate. *Fire Ecology*, 19(1): 1-15.
- De Vasconcelos, M. P., Silva, S., Tome, M., Alvim, M., ve Pereira, J. C., 2001. Spatial prediction of fire ignition probabilities: comparing logistic regression and neural networks. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 67(1): 73-81.
- Demir A., 2023. Cbs tabanlı ahp yöntemiyle orman yangını risk haritasının geliştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, 56 s.
- Demir, A., ve Akay, A. E., 2024. Forest Fire Risk Mapping Using GIS Based Analytical Hierarchy Process Approach. *European Journal of Forest Engineering*, 10(1): 15-28.
- Deng, X., Hu, Y., Deng, Y., ve Mahadevan, S., 2014. Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. *Expert Systems with Applications*, 41(1): 156-167.
- Dengiz, O., ve Turan, İ. D., 2014. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistem teknikleri kullanılarak arazi örtüsü/arazi kullanımı zamansal değişiminin belirlenmesi: Samsun Merkez ilçesi örneği (1984-2011). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(1): 78-90.
- Dilekçi, S., 2019. Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 109 s.
- Dimitrakopoulos, A. P., ve Panov, P. I., 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. *International Journal of Wildland Fire*, 10(1): 23-27.
- Dimitrakopoulos, A. P., ve Papaioannou, K. K., 2001. Flammability assessment of Mediterranean forest fuels. *Fire Technology*, 37: 143-152.
- Doğanay, H., ve Doğanay, S., 2004. Forest fires and measures to be taken in Turkey. *The East African Geographical Review*, 11: 31-48.

- Dong, X., Shao, G., Limin, D., Zhanging, H., Lei, T., Hui, W., 2006. Mapping Forest Fire Risk Zones With Spatial Data and Principal Component Analysis. *Science in China: Series E Technological Sciences*, 49(1): 140-149.
- Donoghue, L. R., ve Main, W. A., 1985. Some factors influencing wildfire occurrence and measurement of fire prevention effectiveness. *Journal of Environmental Management*, 20(1): 87-96.
- Dos Santos, A. R., Araújo, E. F., Barros, Q. S., Fernandes, M. M., de Moura Fernandes, M. R., Moreira, T. R., ... ve de Almeida Telles, L. A., 2020. Fuzzy concept applied in determining potential forest fragments for deployment of a network of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecological Indicators*, 115, 106423.
- Doygun, H., Alphan, H., ve Kuşat Gurun, D., 2008. Analysing urban expansion and land use suitability for the city of Kahramanmaraş, Turkey, and its surrounding region. *Environmental monitoring and assessment*, 145: 387-395.
- Doygun, N., ve Erdem, Ü., 2013. Kentsel gelişim sürecinin alan kullanım yapısı üzerine etkilerinin incelenmesi: Bornova, İzmir örneği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1): 17-22.
- Duran, C., 2014. Mersin ilindeki orman yangınlarının başlangıç noktalarına göre mekânsal analizi (2001-2013). *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(1 A): 38-49.
- Eastman, J. R., 2016. TerrSet geospatial monitoring and modeling system. Clark University: Worcester, MA, USA, 345-389.
- Eker, Ö., ve Abdurrahmanoğlu, D. M., 2018. Orman Yangınlarıyla Mücadele Harcamalarının Analizi: Kahramanmaraş Orman Bölge Müdürlüğü Örneği. *Turkish Journal of Forest Science*, 2(1): 34-48.
- Ellis, J., Spruce, J., Smoot, J., Hilbert, K., ve Swann, R., 2008. Land-use and Land-cover Change from 1974 to 2008 around Mobile Bay. In *Mississippi-Alabama Bays and Bayous Symposium 2008* (No. SSTI-2220-0173).
- Engber, E. A., ve Varner III, J. M., 2012. Patterns of flammability of the California oaks: the role of leaf traits. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(11): 1965-1975.
- Ergin, A., 2022. Çeşme yarımadası'ndaki kıl keçisi işletmelerinde sürdürülebilirlik. Yüksek lisans tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 70s.
- Ergün, O. F., 2023. Türkiye’de Orman Yangınları ve Gönüllülük. *Acil Yardım ve Afet Bilimi Dergisi*, 3(1): 7-14.
- Erol, U. E., 2020. Mordoğan rüzgar enerji santrali ve yakın çevresinin peyzaj özelliklerinin incelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Tasarım ve Teknoloji Dergisi*, 2(1): 31-41.
- Erten, E., Kurgun, V., ve Musaoğlu, N., 2005. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak orman yangını bilgi sisteminin kurulması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.

- Eskandari, S., ve Chuvieco, E., 2015. Fire danger assessment in Iran based on geospatial information. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 42: 57-64.
- Ertuğrul, M., 2010. Orman Yangınlarının Yerleşim Alanları Üzerine Etkisi ve Koruma Yöntemleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12(17): 101-109.
- Esen F. ve Avcı V., 2018. Forest fire susceptibility analysis of kahramanmaraş province. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(16): 335-356.
- Eskandari, S., ve Miesel, J. R., 2017. Comparison of the fuzzy AHP method, the spatial correlation method, and the Dong model to predict the fire high-risk areas in Hyrcanian forests of Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2): 933-949.
- Espindola, G. M., Costa Carneiro, E. L. N., ve Façanha, A. C., 2017. Four decades of urban sprawl and population growth in Teresina, Brazil. *Applied Geography*, 79: 73–83.
- Eşbah, H., Erdoğan, M. A., ve Tanrıöver, A. A., 2011. Cellular automata-Markov chain and landscape metrics for landscape planning. *A| Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 8(2): 63-79.
- Eugenio, F. C., dos Santos, A. R., Fiedler, N. C., Ribeiro, G. A., da Silva, A. G., dos Santos, Á. B., ... ve Schettino, V. R., 2016. Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of environmental management*, 173: 65-71.
- Falahatkar, S., Soffianian, A. R., Khajeddin, S. J., Ziaee, H. R., ve Nadoushan, M. A., 2011. Integration of remote sensing data and GIS for prediction of land cover map. *International journal of Geomatics and Geosciences*, 1(4): 847-864.
- FAO., (2015). *Global Forest Resources Assessment 2015: Main report*. Rome. (<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/29b8ae23-99f9-4a05-b796-9a35d02af29d/content>) (Son erişim: 1 Haziran 2024)
- FAO., (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., ve Hazeu, G., 2010. Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. *Applied geography*, 30(1): 19-35.
- Foss, C., 1979. *Ephesus After Antiquity: A Late Antique, Byzantine and Turkish City*. Cambridge University Press.
- Gai, C., Weng, W., ve Yuan, H., 2008. Urban Fire Risk Mapping using GIS: A Case Study of Yushan Town in Kunshan City. In *China: Conference: 7th International Symposium on New Technologies For Urban Safety Of Mega Cities In Asia*, Beijing, China.

- Gai, C., Weng, W., ve Yuan, H., 2011. GIS-based forest fire risk assessment and mapping. In 2011 Fourth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 1240-1244.
- Gajović, V., ve Todorović, B., 2013. Spatial and temporal analysis of fires in Serbia for period 2000-2013. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*, SASA, 63(3 Conference Issue), 297-312.
- Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., ve Lampin, C., 2013. A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental management*, 51: 651-662.
- Gao, J., Nuytens, D., Lootens, P., He, Y., ve Pieters, J. G., 2018. Recognising weeds in a maize crop using a random forest machine-learning algorithm and near-infrared snapshot mosaic hyperspectral imagery. *Biosystems Engineering*, 170: 39-50.
- Garbolino, E., Sanseverino-Godfrin, V., Hinojos-Mendoza, G., 2017. Describing and predicting of the vegetation development of Corsicadue to expected climate change and its impact on forest fire risk evolution. *Safety Science*, 88: 180-186
- Gentilucci, M., Barbieri, M., Younes, H., Rihab, H., ve Pambianchi, G., 2024. Analysis of Wildfire Susceptibility by Weight of Evidence, Using Geomorphological and Environmental Factors in the Marche Region, Central Italy. *Geosciences*, 14(5): 112.
- Ghalehtemouri, K. J., Shamsoddini, A., Mousavi, M. N., Ros, F. B. C., ve Khedmatzadeh, A., 2022. Predicting spatial and decadal of land use and land cover change using integrated cellular automata Markov chain model based scenarios (2019–2049) Zarriné-Rūd River Basin in Iran. *Environmental Challenges*, 6, 100399.
- Gheshlaghi H.A., Feizizadeh B., ve 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.
- Gidey, E., Dikinya, O., Sebege, R., Segosebe, E., ve Zenebe, A., 2017. Cellular automata and Markov Chain (CA_Markov) model-based predictions of future land use and land cover scenarios (2015–2033) in Raya, northern Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3: 1245-1262.
- Gigović, L., Jakovljević, G., Sekulović, D., ve Regodić, M., 2018. GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnički Vjesnik*, 25(3): 891-897.
- Gonzalez-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B., Pukkala, T., ve Palahi, M., 2011. Using multiscale spatial analysis to assess fire ignition density in Catalonia, Spain. *Annals of Forest Science*, 68: 861-871.
- Göksel, Ç., ve Karip, G. B., 2017. İğneada koruma alanının arazi örtüsü/arazi kullanımının zamana bağlı değişiminin Markov zincirleri ile modellenmesi. *Geomatik*, 2(2): 94-105.

- Göлтаş M., 2022. Maxent yaklaşımı ile Türkiye'nin güneybatısında orman yangın potansiyelinin modellenmesi ve haritalanması. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, 129 s.
- Görentaş S.Y., 2021. Mersin-Tarsus-Adana hattında şehirleşmenin mekânsal yapılanması ve Markov Chain modeliyle arazi kullanım senaryolarının üretilmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 228 s.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., ve Hokao, K., 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222(20-22): 3761-3772.
- Guarini, M. R., Battisti, F., ve Chiovitti, A., 2018. A methodology for the selection of multi-criteria decision analysis methods in real estate and land management processes. *Sustainability*, 10(2): 507.
- Guglietta, D., Conedera, M., Mazzoleni, S., ve Ricotta, C., 2011. Mapping fire ignition risk in a complex anthropogenic landscape. *Remote Sensing Letters*, 2(3): 213-219.
- Gülderen K., 2007. Çeşme (İzmir) Kent Coğrafyası. Yüksek Lisans tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 225 s.
- Gülersoy, A. E., 2013. Farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişimlerin incelenmesi: Manisa merkez ilçesi örneği (1986-2010). *Turkish Studies Academic Journal*, 8: 1915-1934.
- Güney, C., Özkan, K., ve Şentürk, Ö., 2016. Antalya-Manavgat yöresi ormanlarında tutuşma riskinin coğrafi dağılım modellemesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(2): 459-470.
- Güngöroğlu, C., 2017. Determination of forest fire risk with fuzzy analytic hierarchy process and its mapping with the application of GIS: The case of Turkey/Çakırlar. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(2), 388-406.
- Gür, N. ve Nemutlu, F. E., 2022. İzmir-Urla bölgesindeki dış mekân süs bitkisi işletmelerinin değerlendirilmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2): 312-321.
- Gürbüz, M., Denizdurduran, M., Karabulut, M., ve Kızılelma, Y., 2012. Uzaktan algılama ve CBS kullanarak Elbistan Ovasında arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin incelenmesi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30-37.
- Hacısalıhoğlu M., 2018. Çok kriterli karar analizi ile orman yangını risk haritalarının oluşturulması: karabük örneği. Yüksek Lisans tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, 115 s.
- Han, Y., ve Jia, H., 2016. Simulating the spatial dynamics of urban growth with an integrated modeling approach: a case study of Foshan, China. *Ecological Modelling*, 353: 107–116.

- Haripriya, G.S., 2002. Biomass carbon of truncated diameter classes in Indian forests. *For Ecol Manage*, 168: 1–13
- Harker, P. T., L. G. Vargas., 1990. Reply to “Remarks on the analytic hierarchy process” by J. S. Dyer. *Management Sci.* 36(3): 269–273.
- Hashimoto, T., Kojima, K., Tange, T., Sasaki, S., 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *For. Ecol. Manage.*, 126: 331–337
- Hassan, Z., Shabbir, R., Ahmad, S. S., Malik, A. H., Aziz, N., Butt, A., ve Erum, S., 2016. Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. *SpringerPlus*, 5: 1-11.
- Henderson, M., Kalabokidis, K., Marmaras, E., Konstantinidis, P., ve Marangudakis, M., 2005. Fire and society: a comparative analysis of wildfire in Greece and the United States. *Human Ecology Review*, 169-182.
- Hernandez-Leal, P. A., Arbelo, M., ve Gonzalez-Calvo, A., 2006. Fire risk assessment using satellite data. *Advances in Space research*, 37(4): 741-746.
- Herold, M., Goldstein, N. C., ve Clarke, K. C., 2003. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote sensing of Environment*, 86(3): 286-302.
- Herold, M., Roberts, D. A., Gardner, M. E., ve Dennison, P. E., 2004. Spectrometry for urban area remote sensing—Development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote sensing of environment*, 91(3-4): 304-319.
- HGM., 2023. Harita Genel Müdürlüğü İzmir İli Enerji Nakil Hattı verisi
- Hoang, L. K., 2020. Fuzzy-AHP application in analyzing the factors affecting quality of rural labor. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(8): 715-721.
- Hu, Z., ve Lo, C. P., 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6): 667-688.
- Huang, J., Wu, Y., Gao, T., Zhan, Y., ve Cui, W., 2015. An integrated approach based on Markov Chain and cellular automata to simulation of urban land use changes. *Applied Mathematics ve Information Sciences*, 9(2): 769.
- Huang, Y., Yang, B., Wang, M., Liu, B., ve Yang, X., 2020. Analysis of the future land cover change in Beijing using CA–Markov chain model. *Environmental Earth Sciences*, 79(2): 60.
- Hyandye, C., ve Martz, L. W., 2017. A Markovian and cellular automata land-use change predictive model of the Usangu Catchment. *International Journal of Remote Sensing*, 38(1): 64-81.
- Işık H., 2021. CA(Cellular Automata) markov modeli ile büyük menderes havzası değişim analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana*, 87 s.
- Işınkaralar, Ö., 2023. Arazi örtüsü değişiminin corine verisiyle modellenmesi: ankara ilinin kentsel büyüme tahmini. *Artium*, 11(1): 54-60.

- İKTM., 2024. İzmir Kültür ve Turizm Müdürlüğü. <https://izmir.ktb.gov.tr/EN-239196/general-information.html> (Son erişim: 2 Haziran 2024)
- İOBM., 2023. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü sayısal meşcere haritası
- İTOM., 2023. TC. Tarım ve Orman Bakanlığı İzmir İl Tarım Orman Müdürlüğü 2023 Yılı Brifingi <https://izmir.tarimorman.gov.tr/Menu/119/2023-Yili-Brifingi> (Son erişim: 2 Haziran 2024)
- İZKA., 2014. 2014-2023 Yarımada sürdürülebilir kalkınma stratejisi. İzmir Kalkınma Ajansı, 287s. İzmir İli Rüzgar verisi <https://globalwindatlas.info/en> (Son erişim: Ocak 2023)
- İzmir İli Sıcaklık verisi <https://www.worldclim.org/> (Son erişim: Ocak 2023)
- İzmir İli yol ve nehir verileri <https://www.openstreetmap.org/#map=11/38.4240/27.0229> (Son erişim: Ocak 2023)
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Raju, K. D., ve 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.
- Janiec, P., ve Gadai, S., 2020. A comparison of two machine learning classification methods for remote sensing predictive modeling of the forest fire in the North-Eastern Siberia. *Remote Sensing*, 12(24): 4157, doi:10.3390/rs12244157.
- Jantz, C. A., Goetz, S. J., Donato, D., ve Claggett, P., 2010. Designing and implementing a regional urban modeling system using the SLEUTH cellular urban model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1): 1-16.
- Jenerette, G. D., ve Wu, J., 2001. Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona–Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*, 16: 611-626.
- Kalabokidis, K. D., Konstantinidis, P., ve Vasilakos, C., 2002. GIS analysis of physical and human impact on wildfire patterns. In *Proceedings of the IV international conference on forest fire research ve wildland fire safety*, Coimbra. Millpress, Rotterdam.
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., ve Manjoro, M., 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe–simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3): 435-447.
- Kane, V. R., Gillespie, A. R., McGaughey, R., Lutz, J. A., Ceder, K., ve Franklin, J. F., 2008. Interpretation and topographic compensation of conifer canopy self-shadowing. *Remote sensing of Environment*, 112(10): 3820-3832.
- Kara S. (2023). Yangın risk haritalarının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri ile hazırlanması. Yüksek Lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, 95 s.
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ., ve Dağ, O., 2015. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (33): 215-228.

- Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., ve Kızılelma, Y., 2013. Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak başkonuş dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(24): 171-179.
- Karadeniz, E., 2020. Urla yarımadası güneydoğusunda (Seferihisar-Menderes) orman yangını risk modellemesi ve yangın simülasyonu. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 157 s.
- Karagiannidis, A., Papageorgiou, A., Perkoulidis, G., Sanida, G., ve Samaras, P., 2010. A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: A case study for Central Macedonia. *Waste Management*, 30(2): 251-262.
- Kavlak, M. Ö., Kurtipek, A., ve Çabuk, S. N., 2020. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile orman yangını risk haritası oluşturulması: Ören örneği. *Resilience*, 4(1): 33-54.
- Kaya, N. S., Turan, İ. D., Dengiz, O., ve Saygın, F., 2020. Farklı konumsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanarak Corine arazi örtüsü/arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 7(2): 207-218.
- Kedia, S., Bhakare, S. P., Dwivedi, A. K., Islam, S., ve Kagainalkar, A., 2021. Estimates of change in surface meteorology and urban heat island over northwest India: Impact of urbanization. *Urban Climate*, 36: 100782.
- Keleş B., 2019. Sürdürülebilir arazi yönetimi açısından Adana-Mersin-Osmaniye şehirlerinin arazi örtüsü ve kullanımındaki zamansal değişimin uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile araştırılması. Yüksek Lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, 128 s.
- Keleş E., 2022. Edirne Tunca Nehri havzası peyzaj karakter analizi değerlendirmesi ve peyzaj yönetimi. Doktora tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 343 s.
- Keeley, J. E., 2012. Ecology and Evolution of Pine Life Histories. *Annals of Forest Science*, 69: 445-453.
- Kim, I., Jeong, G., Park, S., ve Tenhunen, J., 2011. Predicted land use change in the Soyang river basin, South Korea. In 2011 TERRECO Science Conference, Karlsruhe Institute of Technology, Garmisch-Partenkirchen, Germany 2-7.
- Koçman, A., 1993. İzmir'in kentsel gelişimi ve bunu etkileyen faktörler. *Çağdaş Türkiye Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 1(3): 267-271.
- Koko, A. F., Yue, W., Abubakar, G. A., Hamed, R., ve Alabsi, A. A. N., 2020. Monitoring and predicting spatio-temporal land use/land cover changes in Zaria City, Nigeria, through an integrated cellular automata and markov chain model (CA-Markov). *Sustainability*, 12(24): 10452.
- Konukçu, F., Albut, S., ve Alturk, B., 2017. Land use/land cover change modelling of Ergene River Basin in western Turkey using Corine land use/land cover data. *Agronomy Research* 15(2): 435-443.

- Körhasan, M. ve Tecim, V., 2022. Küçük Menderes havzası 1999-2021 yılları arası vektör tabanlı arazi kullanımı verilerinin zamansal dönüşümü. *Turkish Studies-Social Sciences*, 17(6): 1185.
- Kumar, D., ve Garg, C. P., 2017. Evaluating sustainable supply chain indicators using fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry. *Benchmarking: An International Journal*, 24(6): 1742-1766.
- Kuter, N., Yenilmez, F., ve Kuter, S., 2011. Forest fire risk mapping by kernel density estimation. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 32(2): 599-610.
- Kuter, S., Usul, N., ve Kuter, N., 2011. Bandwidth determination for kernel density analysis of wildfire events at forest sub-district scale. *Ecological Modelling*, 222(17): 3033-3040.
- Küçük Ö., 2004. Yanıcı madde tipleri ve yangın davranışına bağlı yangın potansiyelinin belirlenmesi ve haritalanması. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 137 s.
- Küçük, Ö., ve Sağlam, B., 2004. Orman yangınları ve hava halleri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2): 220-231.
- Küçük, Ö., Bilgili, E., ve Durmaz, B. D., 2005. Yangın potansiyelinin belirlenmesinde yanıcı madde haritalarının önemi. *Turkish Journal of Forestry*, 6(1): 104-116.
- Küçükaltan, E. G. ve Pirnar, I., 2016. Competitiveness factors of a tourism destination and impact on residents' quality of life: The case of Cittaslow-Seferihisar. *Journal of Tourism, Heritage & Services Marketing*, 2(1): 22-29.
- Lamat, R., Kumar, M., Kundu, A., ve 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): 425.
- Lampin-Maillet, C., Mantzavelas, A., Galiana, L., Jappiot, M., Long, M., Herrero, G., ve Thanassis, P., 2010. Wildland urban interfaces, fire behaviour and vulnerability: characterization, mapping and assessment. *Towards Integrated Fire Management-Outcomes of the European Project Fire Paradox*, Lampin-Maillet, C., 21-p.
- Lavanya, B., Padmaja, B., 2014. A Novel approach for identification of forest fires using land surface temperature images. *IOSR Journal of Computer Engineering* 16(5): 78- 83.
- Liping, C., Yujun, S., ve Saeed, S., 2018. Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PloS One*, 13(7): e0200493.
- Liu, L., Zhang, X., Gao, Y., Chen, X., Shuai, X., ve Mi, J., 2021. Finer-resolution mapping of global land cover: Recent developments, consistency analysis, and prospects. *Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.34133/2021/5289697>
- López, G. G. I., Hermanns, H., ve Katoen, J. P., 2001. Beyond memoryless distributions: Model checking semi-Markov chains. In *Joint International Workshop von Process Algebra*

- and Probabilistic Methods, Performance Modeling and Verification. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 57-70.
- Lu, Y., Carter, L. ve Showalter, P. S., 2010. Wildfire Risk Analysis at the Wildland Urban Interface in Travis County, Texas. In *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*. Springer Netherlands, 203-227.
- Mahdavi, A., 2012. Forests and rangelands? wildfire risk zoning using GIS and AHP techniques. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1): 43-52.
- Makumbura, R. K., Dissanayake, P., Gunathilake, M. B., Rathnayake, N., Kantamaneni, K., ve Rathnayake, U., 2024. Spatial mapping and analysis of forest fire risk areas in Sri Lanka—Understanding environmental significance. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100680.
- Malczewski, J., ve Rinner, C., 2015. Multicriteria decision analysis in geographic information science. *New York: Springer*, (1): 55-77
- Mango, C., 1994. *Byzantium: The Empire of New Rome*. Phoenix Press.
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., ve Gotts, N. M., 2007. Agentbased land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10): 1447–1459.
- MGM., 2023. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İzmir ili iklim verileri
- Michelaki, C., Fyllas, N. M., Galanidis, A., Aloupi, M., Evangelou, E., Arianoutsou, M., ve Dimitrakopoulos, P. G., 2020. Adaptive flammability syndromes in thermo-Mediterranean vegetation, captured by alternative resource-use strategies. *Science Of the Total Environment*, 718: 137437.
- Mitchell, J. W., 2013. Power line failures and catastrophic wildfires under extreme weather conditions. *Engineering Failure Analysis*, 35: 726-735.
- Mitsova, D., Shuster, W., ve Wang, X., 2011. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99(2): 141-153.
- Moayedi, H., Mehrabi, M., Bui, D. T., Pradhan, B., ve Foong, L. K., 2020. Fuzzy-metaheuristic ensembles for spatial assessment of forest fire susceptibility. *Journal of environmental Management*, 260: 109867.
- Modugno, S., Balzter, H., Cole, B., ve Borrelli, P., 2016. Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*, 172: 112-126.
- Mu, E., Pereyra-Rojas, M., Mu, E., ve Pereyra-Rojas, M., 2017. AHP Models with Sub-criteria. *Practical Decision Making: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions* (2): 45-56.

- Myint, S. W., ve Wang, L., 2006. Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(6): 390-404.
- Naderpour, M., Rizeei, H. M., ve Ramezani, F., 2021. Forest fire risk prediction: A spatial deep neural network-based framework. *Remote Sensing*, 13(13): 2513.
- Nong, Y., ve Du, Q., 2011. Urban growth pattern modeling using Logistic Regression. *Geo-Spatial Information Science*, 14(1): 62–67. <http://doi.org/10.1007/s11806-011-0427-x>
- Novo, A., Fariñas-Álvarez, N., Martínez-Sánchez, J., González-Jorge, H., Fernández-Alonso, J. M., ve Lorenzo, H., 2020. Mapping forest fire risk—a case study in Galicia (Spain). *Remote Sensing*, 12(22): 3705.
- OGM., 1995. Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Söndürülmesinde Uygulama Esasları. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, Tebliğ no: 285: 133 s.
- OGM., 2018. Orman Bölge Müdürlüğü Gaziemir Yönetim Planı (2019-2023). Orman Bölge Müdürlüğü, İzmir, 63 s.
- OGM., 2020. Türkiye Orman Varlığı. Ankara. ISBN 978-605-7599-68-1. Baskı Yeri: OGM Ofset.
- Opeyemi, Z. A., 2006. Change detection in land use and land cover using remote sensing data and GIS: A case study of Ilorin and its environs in Kwara State. Unpublished (MSc. Thesis). Ibadan, University, Nigeria. <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0356>
- Ortaylı, İ., 2007. İmparatorluğun en uzun yüzyılı. Timaş Yayınları, İstanbul, 336s.
- Osgouei, P. E., ve Kaya, S., 2017. Analysis of land cover/use changes using Landsat 5 TM data and indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4): 136.
- Ömürbek, N., 2013. Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemlerinde grup kararı verilmesi aşamasına ilişkin bir örnek uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18(3): 47-70.
- Öncü S., 2021. Cbs yöntemiyle Bursa'nın bütünlük doğa tehlike analizi. Yüksek Lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 141 s.
- Özbey D., 2020. Kıyı alanlarının kent kimliğine olan yansımaları: izmir örneği. Yüksek Lisans tezi, İzmir Demokrasi Üniversitesi, İzmir, 131 s.
- Özdemir, F. B., ve Demir, N., 2022. 2019 İzmir Karabağlar ilçesi orman yangın alanının uydu görüntüleri ile analizi. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 3(1): 20-33.
- Özdemir, İ., ve Özkan, Y. U., 2003. Armutlu Orman İşletme Şefliği'ndeki orman alanlarındaki değişimin LANDSAT uydu görüntülerinin kullanılarak değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1: 55-66.
- Özelkan, E., 2008. Uydu görüntüleri kullanarak yangın riski değerlendirilmesi Kaş örneği. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 82 s.
- Özkazanç, N. K., ve Ertuğrul, M., 2011. Orman yangınlarının fauna üzerine etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19): 128-135.

- Özşahin, E., 2014. CBS ve AHS kullanılarak orman yangını duyarlılık analizi: Antakya Orman İşletme Müdürlüğü örneği. *Route Educational and Social Science Journal*, 1(3): 50-71.
- Park, S., Jeon, S., Kim, S., ve Choi, C., 2011. Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea. *Landscape And Urban Planning*, 99(2): 104-114.
- Pausas, J. G., 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change*, 63(3): 337-350.
- Pausas, J. G., ve Keeley, J. E., 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7): 593-601.
- Peña, J., Bonet, A., Bellot, J., ve Sánchez, J. R., 2005. Trends and driving factors in land use changes (1956-2000) in Marina Baixa, SE Spain. *ERSA 2005 Amsterdam 45th Congress of the European Regional Science Association*, 18 s.
- Pew, K. L., ve Larsen, C. P. S., 2001. GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rain forest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management*, 140(1): 1-18.
- Pezzatti, G. B., Zumbunnen, T., Bürgi, M., Ambrosetti, P., ve Conedera, M., 2013. Fire regime shifts as a consequence of fire policy and socio-economic development: An analysis based on the change point approach. *Forest Policy and Economics*, 29: 7-18.
- Pijanowski, B. C., Tayyebi, A., Delavar, M. R., ve Yazdanpanah, M. J., 2009. Urban expansion simulation using geospatial information system and artificial neural networks. *International Journal of Environmental Research*, 3(4): 493-502.
- Pourghasemi, H. R., 2016. GIS-based forest fire susceptibility mapping in Iran: a comparison between evidential belief function and binary logistic regression models. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(1): 80-98.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., ve Fatemi Aghda, S. M., 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural hazards*, 69, 749-779.
- Prasad, V. K., Badarinath, K. V. S., ve Eaturu, A., 2008. Biophysical and anthropogenic controls of forest fires in the Deccan Plateau, India. *Journal of environmental management*, 86(1): 1-13.
- Prestemon, J. P., ve Butry, D. T., 2005. Time to burn: modeling wildland arson as an autoregressive crime function. *American journal of agricultural economics*, 87(3): 756-770.
- Puri, K., Areendran, G., Raj, K., Mazumdar, S., ve Joshi, P. K., 2011. Forest fire risk assessment in parts of Northeast India using geospatial tools. *Journal of forestry research*, 22: 641-647.

- Raj, A., ve Sharma, L. K., 2022. Assessment of land-use dynamics of the Aravalli range (India) using integrated geospatial and CART approach. *Earth Science Informatics*, 15(1): 497-522.
- Ren, Y., Lü, Y., Comber, A., Fu, B., Harris, P., ve Wu, L., 2019. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth-Science Reviews*, 190: 398-415.
- Rezaei-Moghaddam, K., ve Karami, E., 2008. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. *Environment, Development and Sustainability*, 10: 407-426.
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B.N., Rijal, S., ve Zhang, P., 2018. Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and Markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4): 154.
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., ve Mishra, V., 2004. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(39): 13976-13981.
- Roy, S., Farzana, K., Papia, M., ve Hasan, M., 2015. Monitoring and prediction of land use/land cover change using the integration of Markov chain model and cellular automation in the Southeastern Tertiary Hilly Area of Bangladesh. *Int. J. Sci. Basic Appl. Res*, 24(4): 125-148.
- Saaty, T. L., 1977. A scaling method for priorities in a hierarchichal structure. *J. Math. Psych.* 15(3): 234–281.
- Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L., 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1): 9-26.
- Saaty, T. L., 2003. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary? *Eur. J. Oper. Res.* 145(1): 85–91.
- Saaty, T. L., Vargas, L. G., Saaty, T. L., ve Vargas, L. G., 2012. The seven pillars of the analytic hierarchy process. *Models, methods, concepts ve applications of the analytic hierarchy process*, 23-40.
- Saaty, T.L., 1994. How to Make a Decision : The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24(6): 19-43.
- Saaty, T.L., 2001. Decision making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary? *Proceedings of the Sixth International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, Berne-Switzerland, August 2–4
- Sabuncu, A., ve Özener, H., 2019. Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. doi:10.21324/dacd.511688

- Sağlam, B., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Kadioğulları, A. İ., ve Küçük, Ö., 2008. Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors*, 8(6), 3970-3987.
- Santiago, I.T., ve Kheladze, N., 2011. GIS Wildland Fire Hazard Modeling in Georgia. MATRA, Caucasus Environmental NGO Network
- Sarı, F., 2021. Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644
- Satır, O., Berberoglu, S., ve Donmez, C., 2016. Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5): 1645-1658.
- Satiprasad, S., 2013. Monitoring Urban Land Use Land Cover Change by Multi-Temporal Remote Sensing Information in Howrah City, India. *Mining Science and Technology*, 1(15): 3-4
- Scholes, R., Montanarella, L., Brainich, A., Barger, N., Brink, B., Cantele, M., ... ve Kohler, F., 2018. The assessment report on land degradation and restoration: Summary for policymakers. Bonn, Germany: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. BS <https://doi.org/10.5281>.
- Sepetçi, V., 2014. Coğrafi bilgi sistemi yardımıyla orman yangınlarına ilk müdahale sürelerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 118 s.
- Serasinghe Pathiranage, I. S., Kantakumar, L. N., ve Sundaramoorthy, S., 2018. Remote sensing data and SLEUTH urban growth model: As decision support tools for urban planning. *Chinese geographical science*, 28: 274-286.
- Sevinç, V., Kucuk, O., ve Goltas, M., 2020. A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes. *Forest Ecology and Management*, 117723.
- Shade, C., ve Kremer, P., 2019. Predicting land use changes in Philadelphia following green infrastructure policies. *Land*, 8(2): 28.
- Sharaf, S. A., Serra, P., ve Saurí, D., 2018. A district and sector land-use and landscape analysis of urban sprawl in Al Ain municipality (United Arab Emirates): Just a quick conversion from sand to a built-up environment?. *Applied geography*, 95: 88-100.
- Sharma, J., Gairola, S., Gaur, R. D., ve Painuli, R. M., 2012. Forest utilization patterns and socio-economic status of the Van Gujjar tribe in sub-Himalayan tracts of Uttarakhand, India. *Forestry Studies in China*, 14: 36-46.
- Sherbinin, A.D., 2002. A cieszin thematic guide to land use and land cover change (LUCC). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University: Palisades, NY, USA.

- Simeoni, A., Thomas, J. C., Bartoli, P., Borowieck, P., Reszka, P., Colella, F., ve Torero, J. L., 2012. Flammability studies for wildland and wildland–urban interface fires applied to pine needles and solid polymers. *Fire Safety Journal*, 54: 203-217.
- Singh, S. K., Mustak, S., Srivastava, P. K., Szabó, S., ve Islam, T., 2015. Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata Markov chain models using earth observation datasets and geo-information. *Environmental Processes*, 2: 61-78.
- Sivrikaya, F., ve Küçük, Ö., 2022. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68: 101537.
- Sivrikaya, F., Saglam, B., Akay, A., ve Bozali, N., 2014. Evaluation of forest fire risk with GIS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23.
- Sommers, W. T., Coloff, S. G., ve Conard, S. G., 2011. Synthesis of knowledge: fire history and climate change. *JFSP Synthesis Reports, USA*, 19.
- Şahan, E. A., Köse, N., Akkemik, Ü., Güner, H. T., Tavşanoğlu, Ç., Bahar, A., ve Dalfes, H. N., 2021. Fire history of *Pinus nigra* in Western Anatolia: A first dendrochronological study. *Dendrochronologia*, 69: 125874.
- Şahin, H., 2019. CBS teknikleri kullanılarak yangına hassas orman alanları için yanıcı madde haritalarının geliştirilmesi. Yüksek Lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, 56 s.
- Tariq, A., ve Shu, H., 2020. CA-Markov chain analysis of seasonal land surface temperature and land use land cover change using optical multi-temporal satellite data of Faisalabad, Pakistan. *Remote Sensing*, 12(20): 3402.
- Tawfeeq, A. F., ve Kurban, T. Hücresel otomata markov zincir yöntemi ile kentsel yayılmanın modellenmesi: Kerkük ili örneği. *Geomatik* 7(1), 58-70.
- Teodoro, A. C., ve Duarte, L., 2013. Forest fire risk maps: a GIS open source application—a case study in Norwest of Portugal. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(4): 699-720.
- Thapa, R. B., ve Murayama, Y., 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and urban systems*, 35(1): 25-34.
- Tien Bui, D., Tuan, T. A., Klempe, H., Pradhan, B., ve Revhaug, I., 2016. Spatial prediction models for shallow landslide hazards: a comparative assessment of the efficacy of support vector machines, artificial neural networks, kernel logistic regression, and logistic model tree. *Landslides*, 13: 361-378.
- TOB., 2023. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Türkiye yangın verileri
- Tolunay, D., 2013. Ormanlar ve iklim değişikliği. İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü.

- Topaloğlu, R. H., ve Ekercin, S., 2013. Coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama entegrasyonu ile konya kapalı havzası'nda arazi örtüsü/kullanımı zamansal değişimlerinin belirlenmesi. TMMOB Coğrafi Bilgi Sitemleri Kongresi, 11-13 Kasım 2013, Ankara.
- Topaloğlu, R.H., 2022. Yüksek çözünürlüklü uydu verileri kullanılarak şehir alanlarının incelenmesi, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 209 s.
- Toplu R., 2024. Arazi kullanımının zamansal ve konumsal değişiminin Markov zincirleriyle modellenmesi. Yüksek Lisans tezi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, 60 s.
- Tunçay, H. E., Terzi, F., Türkoğlu, H., ve Okumuş, G., 2013. İğneada'da Geleceğe Dönük Alan Kullanım Değişimlerinin Modellenmesi. 1-10.
- Turner, M. G., ve Romme, W. H., 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology*, 9: 59-77.
- TÜİK., 2023. Türkiye İstatistik Kurumu İzmir İli ve İlçelerinin nüfusu
- Türkeş, M., ve Altan, G., 2012. Çanakkale'nin 2008 yılı büyük orman yangınlarının meteorolojik ve hidroklimatolojik analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 10(2): 195-218.
- Türkeş, M., Tolunay, D., 2023. İklim değişikliği ve orman yangınları. *Orman Yangınları Kitap Bölümü*. Türkiye Ormancılar Derneği. Kitap basımda.
- Uzun, A., ve Somuncu, M., 2013. Madra Dağı ve çevresinin arazi örtüsü/kullanımındaki zamansal değişimin Uzaktan Algılama yöntemi ile değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(30), 1-21.
- Vadrevu, K. P., Eaturu, A., ve Badarinath, K., 2010. Fire risk evaluation using multicriteria analysis—a case study. *Environmental monitoring and assessment*, 166: 223-239.
- Valbuena, D., Verburg, P. H., ve Bregt, A. K., 2008. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems ve Environment*, 128(1-2): 27-36.
- Vallejo-Villalta, I., Rodríguez-Navas, E., ve Márquez-Pérez, J., 2019. Mapping forest fire risk at a local scale—a case study in Andalusia (Spain). *Environments*, 6(3): 30-36.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., ve Matsinos, I., 2008. Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Natural hazards*, 50: 125-143.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., Kallos, G., ve Matsinos, Y., 2007. Integrating new methods and tools in fire danger rating. *International Journal of Wildland Fire*, 16(3): 306-316.
- Vázquez-Quintero, G., Solís-Moreno, R., Pompa-García, M., Villarreal-Guerrero, F., Pinedo-Alvarez, C., ve Pinedo-Alvarez, A., 2016. Detection and projection of forest changes by using the Markov Chain Model and cellular automata. *Sustainability*, 8(3): 236.
- Vega-Garcia, C., Lee, B. S., Woodard, P. M., ve Titus, S. J., 1996. Applying neural network technology to human-caused wildfire occurrence prediction. *10(3): 9-18*

- Veldkamp, A., ve Fresco, L. O., 1997. Exploring land use scenarios, an alternative approach based on actual land use. *Agricultural systems*, 55(1): 1-17.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., ve Mastura, S. S., 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, 30: 391-405.
- Viegas, D. X., ve Pita, L. P., 2004. Fire spread in canyons. *International Journal of wildland fire*, 13(3): 253-274.
- Vilar, L., Woolford, D. G., Martell, D. L., ve Martín, M. P., 2010. A model for predicting human-caused wildfire occurrence in the region of Madrid, Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 19(3): 325-337.
- Wang, J., ve Maduako, I. N., 2018. Spatio-temporal urban growth dynamics of Lagos Metropolitan Region of Nigeria based on Hybrid methods for LULC modeling and prediction. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 251-265.
- Wang, J., Bretz, M., Dewan, M. A. A., ve Delavar, M. A., 2022. Machine learning in modelling land-use and land cover-change (LULCC): Current status, challenges and prospects. *Science of The Total Environment*, 822: 153559.
- Wang, L., Jin, N., Kong, J., Lv, C., ve Cheng, K., 2011. A Cellular Automata Markov Model for Spatial Temporal Dynamic Analysis of Land Use Change in Guanzhong-Tianshui Region. doi 10.5013/IJSSST.a.17.20.05
- Westerling, A. L., Hidalgo, H. G., Cayan, D. R., ve Swetnam, T. W., 2006. Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *science*, 313(5789): 940-943.
- Wyse, S. V., Perry, G. L., O'Connell, D. M., Holland, P. S., Wright, M. J., Hosted, C. L., .. ve Curran, T. J., 2016. A quantitative assessment of shoot flammability for 60 tree and shrub species supports rankings based on expert opinion. *International Journal of Wildland Fire*, 25(4): 466-477.
- Xin, K., Li, G., Qin, Z., ve Zhang, Q., 2012. Malware detection in smartphone using hidden Markov model. In 2012 fourth international conference on multimedia information networking and security, IEEE, 857-860 s.
- Yakubu, I., Mireku-Gyimah, D., ve Duker, A. A., 2015. Review of methods for modelling forest fire risk and hazard. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3): 155-165.
- Yang, J., He, H. S., Shifley, S. R., ve Gustafson, E. J., 2007. Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, 53(1): 1-15.
- Yang, Q., Li, X., ve Shi, X., 2008. Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines. *Computers ve Geosciences*, 34(6): 592-602.

- Yang, X., Jin, X., Zhou, Y., 2021. Wildfire Risk Assessment and Zoning by Integrating Maxent and GIS in Hunan Province, China. *Forests*, 12(10): 1299. <https://doi.org/10.3390/f12101299>
- Yang, Y., Zhang, S., Yang, J., Xing, X., ve Wang, D., 2015. Using a Cellular Automata-Markov model to reconstruct spatial land-use patterns in Zhenlai County, northeast China. *Energies*, 8(5): 3882-3902.
- Yathish, H., Athira, K. V., Preethi, K., Pruthviraj, U., ve Shetty, A., 2019. A comparative analysis of forest fire risk zone mapping methods with expert knowledge. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47: 2047-2060.
- Ye, B., ve Bai, Z., 2008. Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model. In *Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume I: First IFIP TC 12 International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA 2007)*, Wuyishan, China, August 18-20, 2007 1: 321-329. Springer US.
- Yıldızlı Keleş, E. S., 2013. Orman yangınlarında organizasyon ve karar destek sistemleri. Yüksek Lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 115 s.
- Yılmaz, E., 2016. Yanan orman alanlarının rehabilitasyonu ve yangına dirençli ormanlar tesisi projesi (YARDOP) üzerine bir inceleme. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(3 A): 14-28.
- Yılmaz, E., 2024. İzmir Limanı'na Demiryollarıyla Taşınan Emtianın Nicel Bir Analizi (1901–1908). *Osmanlı Mirası Araştırmaları Dergisi*, 11(29): 115-139.
- Yılmaz, F., ve Yetkin, S., 2002. İzmir kent tarihi. Milli Eğitim Bakanlığı il Milli Eğitim Müdürlüğü-İzmir Büyükşehir Belediyesi.
- Yılmaz, İ., ve Öztürk, D., 2019. Mekânsal Planlama ve Karar Problemlerinde CBS ve Bayes Ağlarının Entegrasyonu: Orman Yangın Tehlikesi Örneği, TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye, 23-25.
- Yılmaz, O. S., Oruç, M. S., Ateş, A. M., ve 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.
- Yousef, D. A., 2011. Operations research/management science in the Arab world: historical development. *International Transactions in Operational Research*, 18(1): 53-69.
- Yüzer, M. A., 2004. Growth estimations in settlement planning using a land use cellular automata model (LUCAM). *European Planning Studies*, 12(4): 551-561.
- Zhai, H., Lv, C., Liu, W., Yang, C., Fan, D., Wang, Z., ve Guan, Q., 2021. Understanding spatio-temporal patterns of land use/land cover change under urbanization in Wuhan, China, 2000–2019. *Remote Sensing*, 13(16): 3331.

- Zhang, T., Gensler, S., ve Garcia, R., 2011. A study of the diffusion of alternative fuel vehicles: An agent-based modeling approach. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2): 152-168.
- Zhang, Z., Hörmann, G., Huang, J., ve Fohrer, N., 2023. A random forest-based CA-Markov Model to Examine the Dynamics of Land Use/Cover Change Aided with remote sensing and GIS. *Remote Sensing*, 15(8): 2128.
- Zolekar, R. B., ve Bhagat, V. S., 2015. Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118: 300-321.



ÖZGEÇMİŞ

Merve Birhan YILMAZ, ilk, orta, lise ve üniversite eğitimini Antakya’da tamamladı. 2012 yılında başladığı Mustafa Kemal Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’nden 2016 yılında mezun oldu. 2016-2019 yılları arasında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2019 yılında Yüksek lisans eğitimini tamamlayana kadar Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev aldı. 2020 yılında, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı. 2022-2023 yılları arasında Çukurova Üniversitesi’nde, TÜBİTAK Ardeb 1001 “Kuzey Ege Kıyıları Görünürlük Atlası: Açık Deniz (Off-Shore) Rüzgâr Türbinlerinin Çevresel Fizibilitesi ve Kıyısal Gelişim için Jeo- Yersel bir Planlama Aracı” projesinde bursiyer olarak görev aldı. 2023-2024 yılları arasında Hacettepe Üniversitesi’nde, TÜBİTAK BİÇABA programı kapsamında “Yapay Zeka Ve Olasılıksal Model Tabanlı Deprem Tehlike Haritası” projesinde bursiyer olarak görev aldı. Doktora eğitimini (Kasım) 2024 yılında tamamladı.