



Orman yangınlarına duyarlı bölgelerde yangın gözetleme kulelerinin etkinliklerinin CBS yaklaşımı ile değerlendirilmesi: Anamur Orman İşletme Müdürlüğü örneği

Kıvanç YÜKSEL^{1,*}

¹Orman Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş

*Sorumlu yazar: kyuksel@ksu.edu.tr

Kıvanç YÜKSEL: <https://orcid.org/0000-0001-9660-5028>

ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 13 Ocak 2026 / Received 13 January 2026

Düzeltilmelerin gelişi Mart 2026 / Received in revised form 5 March 2026

Kabul 7 Mart 2026 / Accepted 7 March 2026

Yayımlanma 29 Nisan 2026 / Published online 29 April 2026

ÖZET: Orman yangınları ile mücadele çalışmaları yangın öncesi ve yangın sonrası çalışmalar olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Yangınların erken tespit edilmesinde yangın kuleleri vasıtasıyla ormanların sürekli olarak izlenmesi önemli bir aşamadır. Kule lokasyonlarının belirlenmesinde topografik koşulların dikkate alınması kulelerin etkin kullanımını sağlamaktadır. Günümüzde gelişen teknolojik imkanlar, yangın gözetleme kulelerinin lokasyon optimizasyonu ve tasarımında önemli iyileştirme fırsatları sunmaktadır. Bu çalışmada CBS tabanlı çözüm önerileri ve alternatif kule lokasyonlarının etkinlikleri değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak 1. Derece yangına hassas bölgeler içerisinde yer alan Mersin Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı Anamur Orman İşletme Müdürlüğü sınırları belirlenmiştir. Çalışma alanı sınırları içerisinde mevcut 8 adet kule yer almaktadır. Mevcut kulelerin etkinlikleri ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Kule lokasyonlarının belirlenmesinde, yükseklik, eğim ve yol ağı parametreleri dikkate alınmıştır. Görünürlük oranı yetersiz kulelerin pasif duruma geçirilmesi, mevcut kuleler için lokasyon değişikliği ve yeni kule konumları önerilmiştir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, mevcut durumdan yeni kulelerin eklendiği güncel duruma geçildiğinde toplam görünür alan miktarı %46,3'ten %54,1'e artarken, görünür orman alanı miktarı ise %46,9'dan %58,9'a yükselmiştir. Mevcut kulelerden 4'ü pasif hale getirilmiş ve yerlerine 3 adet alternatif kule lokasyonu önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Orman yangını, yangın gözetleme kulesi, görünürlük analizi, CBS

Evaluating fire lookout tower effectiveness in forest fire prone areas using GIS: The Anamur Forest Management Directorate case study

ABSTRACT: Forest fire-fighting efforts consist of two stages: pre-fire and post-fire operations. Continuous monitoring of forests using fire towers is an essential in the early detection of fires. Considering topographical conditions when determining tower locations provides for the effective use of the towers. Advances in technology have raised the question of whether tower location design can be improved. This study evaluates GIS-based solution proposals and the performance of alternative tower locations. The study area was determined as the boundaries of the Anamur Forest Management Directorate (Regional Directorate of Mersin Forestry), which is located within first-degree fire-risk areas. There are 8 current towers within the study area boundaries. The effectiveness of the current towers was evaluated separately. The elevation, slope, and distance to road network parameters were taken into account in determining the tower locations. It was proposed that towers with insufficient effectiveness be decommissioned, the locations of current towers be changed, and new tower locations be established. The study results indicate that when the current situation was compared to the proposed situation with the addition of new towers, the total visible area increased from 46.3% to 54.1%, while the visible forest area increased from 46.9% to 58.9%. Four of the current towers have been decommissioned and three alternative tower sites have been proposed in their place.

Keywords: Forest fire, fire lookout tower, visibility analysis, GIS

GİRİŞ

Orman yangınları, doğal orman ekosistemleri için önemli bir tehdit unsurudur. Küresel ısınma ve iklim koşullarındaki değişimler, orman ekosistemleri üzerinde yangın riskini giderek artırmaktadır (Di Virgilio ve ark., 2019; Jones ve ark., 2022). Ormanların temel işlevlerinden biri olan koruma fonksiyonu çerçevesinde, sürdürülebilir orman yönetimi yaklaşımının etkin biçimde uygulanabilmesi için ormanların korunması kritik bir önem taşımaktadır (MacDicken ve ark., 2015; Yakovenko ve ark., 2024). Dünyanın farklı lokasyonlarında büyük ve küçük birçok yangın olayı meydana gelmektedir. Türkiye ormanları açısından Marmara Bölgesi'nden başlayarak Ege ve Akdeniz kıyı kuşağı içinde kalan alanlar yangına birinci derece hassas bölgeler içerisinde yer almaktadır.

Yangın oluşum süreçleri hem doğal etkenler hem de insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, yangın riskinin azaltılabilmesi için ağaç türü kompozisyonu, topografik yapı ve iklimatik koşullar birlikte değerlendirilerek yangın riski yüksek bölgelerin önceden belirlenmesi ve yangın meydana gelmeden önce gerekli önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir (Akay ve Sahin, 2019; Göltaş ve ark., 2024; Sivrikaya ve Küçük, 2022).

Orman yangınlarıyla mücadelede en etkili yaklaşım, yangınların çıkışını önlemek ve meydana gelen yangınlara en kısa sürede müdahale edebilmektir (Bao ve ark., 2015; Akay ve ark., 2020a; Cosgun ve ark., 2023; Tezcan ve Eren, 2025). Bununla birlikte, yangının başlangıç aşamasında konumunun hızlı ve doğru biçimde tespit edilmesi, yangın gözetleme kulelerinin etkin kullanımıyla mümkün olmaktadır (Kucuk ve ark., 2017; Akay ve ark., 2020b; Gülci ve ark., 2021). Yangın noktasının erken ve hatasız belirlenmesi, müdahale ekiplerinin yangın alanına ulaşma süresini doğrudan etkileyen ve dolayısıyla yangının büyüklüğü ile doğrudan

ilişkili bir değişkendir (Akay ve ark., 2012; Çoban ve Bereket, 2020). Yangın gözetleme kulelerinin konumlandırılmasında, etkili görüş alanına sahip olması ve yangın riski yüksek bölgelerin bu görüş alanı içerisinde yer alması önemlidir (Göлтаş ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2020; Amiri ve ark., 2023).

Orman kaynaklarının yönetimi ve planlanmasında kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı araçlar; ulaşım planlaması, yangın erişim bölgelerinin belirlenmesi, orman alanlarının haritalandırılması ve yangın gözetleme kulelerine yönelik görünürlük analizleri gibi çok çeşitli uygulamalarda maliyet etkinliği ve mekânsal doğruluk sağlamaktadır (Sağlam ve ark., 2008; Akay ve ark., 2012; Bingöl, 2017; Çoban ve Erdin, 2020; Yüksel, 2022). CBS tabanlı teknolojiler, mekânsal veri analizine dayalı karar verme süreçlerini destekleyerek orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi, izlenmesi ve planlanmasına yönelik etkin bir yaklaşım sunmaktadır (Sonti, 2015).

Yangın gözetleme kulelerinin etkinliği, yangın erken tespit sistemlerinin başarısında belirleyici bir unsurdur. Orman Genel Müdürlüğü (OGM, 1995) standartlarına göre, gözetleme kulelerinin düz arazilerde alanın %100'ünü, engebeli arazilerde ise en az %70'ini görebilmesi beklenmektedir. Bu oranlar, kulelerin konumlandırılmasında görünür alan hesaplamalarına dayalı etkinlik değerlendirmesi için önemli bir kriter oluşturmaktadır. Gözetleme kulelerinin konumlandırılmasında maliyet kısıtı önemli bir belirleyici faktördür. Bu kapsamda, yeni inşa edilecek kulelerin yol ağlarına yakın konumlandırılması ve kuleler arasında eşzamanlı ortak görünür alanların korunmasıyla, toplam görünürlük etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir (Shi ve Xue, 2016; Zhang ve ark., 2020).

Literatürde, orman yangınlarının mekânsal dağılımı, risk alanlarının belirlenmesi ve yangın gözetleme kulelerinin etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik çok sayıda CBS tabanlı çalışma bulunmaktadır. Korale ve ark. (2009), Melghat Kaplan Rezervi'nde 18 kuleyi değerlendirerek 9'unun korunması, 9'unun ise yüksek kotlara konumlandırılmasıyla rezervin tamamının etkin biçimde izlenebileceği belirtmiştir. Kucuk ve ark. (2017) ise Batı Karadeniz Bölgesi'nde görünürlük oranının mevcut kulelerle %73 olduğunu, yeni kulelerin eklenmesiyle bu oranın %81'e çıkacağını ve bazı kulelerin sistem dışına alınması gerektiğini ifade etmiştir. Kudu ve Buğday (2019), Karakaya kulesinin optimizasyonu ile görünürlük oranının %42'den %44'e çıktığını ortaya koymuştur. Karabacak ve ark. (2019), Antalya ormanlarında Mekânsal Otokorelasyon, Kuadrat ve En Yakın Komşuluk Analizleri ile yangın risk bölgelerini belirleyerek ormanların %76'sının yüksek risk altında olduğunu saptamıştır. Akay ve ark. (2020b), Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'nde görünürlük oranını %77,12'den %81,47'ye yükseltecek yeni kule konumları önermiştir. Çoban ve Bereket (2020), dağlık Akdeniz ormanlarında yürüttükleri çalışmada, kulelerin orman alanlarının yalnızca %59'unu görebildiğini, yolların katkısıyla bu oranın %70'e yükseldiğini bildirmiştir. Cosgun ve ark. (2023) ise Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nde farklı duman yüksekliği senaryoları altında yürüttükleri çalışmada, kulelerin genel görünürlük kapasitesinin yetersiz olduğunu belirlemiştir. Amiri ve ark. (2023), daha önce gözetleme kulesi bulunmayan bir bölgede, yangın uzmanlarının görüşlerini dikkate alarak yükseklik, yollara uzaklık, daha önce yanmış alanlara uzaklık, eğim ve yerleşim alanlarına uzaklık kriterlerini AHP yöntemiyle değerlendirmiş; bu doğrultuda dört kule lokasyonu önermiş ve görünürlük oranını %60 olarak belirlemiştir. Juvanhol ve ark., (2024), kule sayısı, görüş alanı ve bu iki değişkenin orman yangını yüksek risk alanlarıyla olan ilişkisini ortaya koymak amacıyla CBS ortamında farklı senaryolar belirlemiştir. Senaryo 4 daha az sayıda kule tahsis etmesine karşın, yangın riski yüksek alanların %71,47'sini ve koruma altındaki doğal alanların %76,22'sini görüntülemiştir.

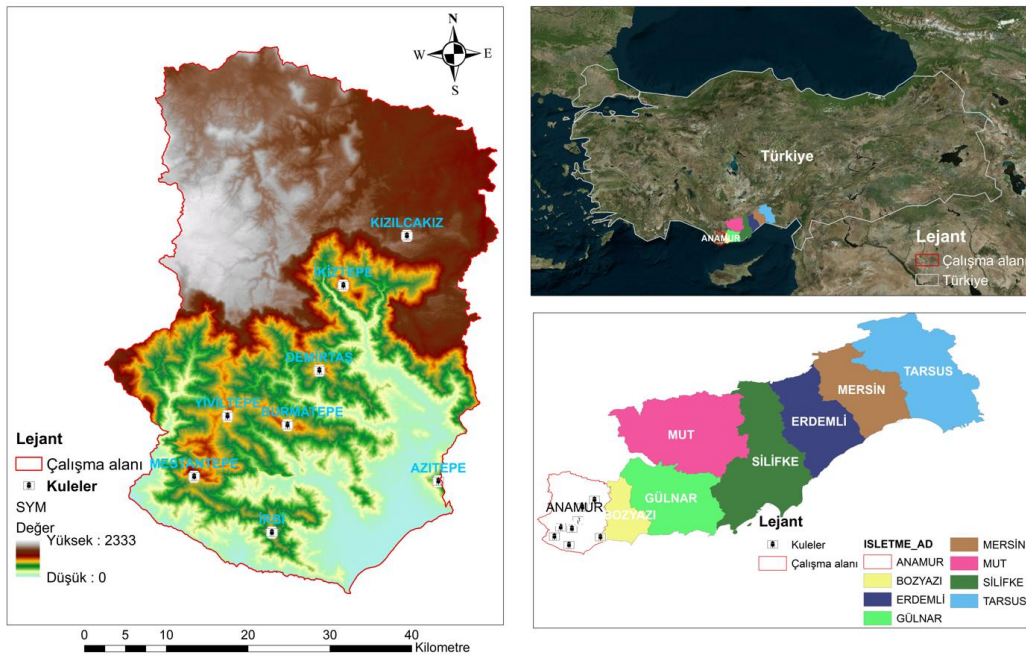
Alkiş ve Eker (2025), yangın gözetleme kulelerinin etkinliğini görüş alanı ve ağ analizlerini yangın riski katmanları ile entegre ederek değerlendirmiştir. Sonuçlar, kulelerin toplam alanın %72,1'ini ve yüksek ile çok yüksek yangın riski alanlarının %75,9'unu kapsayan bir görünürlük sağladığını göstermiştir. Ayrıca, yangınla mücadelede yol altyapısı ve su kaynaklarının erişilebilirliğinin müdahale etkinliğini artırdığı vurgulanmıştır.

Bu çalışmanın özgün yönü, orman yangınlarına duyarlı alanlarda topografik açıdan dalgalı ve sarp bir arazi yapısında yer alan Anamur bölgesinin seçilmesi ve farklı topografik parametrelerle CBS tabanlı yaklaşımları kullanarak kulelerin yangın öncesi aşamadaki etkisini değerlendirmek ve alternatif kule lokasyonlarını belirlemektir. Çalışma kapsamında, Anamur Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan sekiz gözetleme kulesinin görünürlük analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. CBS teknikleri kullanılarak, kulelerin görünür alan büyüklüğü hesaplanmış, mevcut kulelerin kapsama etkinliği ortaya konulmuş ve analiz sonuçlarına bağlı olarak yeni kule lokasyonları önerilmiştir. Çalışmada eşzamanlı ortak görünür alanların korunması ile en fazla kapsama alanı oluşturacak alternatiflerin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

MATERYAL VE METOD

Çalışma alanı

Çalışma alanı, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içinde yer alan Anamur Orman İşletme Müdürlüğü olarak belirlenmiştir. Bu bölge, Türkiye'de Akdeniz kıyısı boyunca $35^{\circ}59'21''$ ve $37^{\circ}25'45''$ kuzey enlemleri ile $32^{\circ}32'08''$ ve $34^{\circ}42'39''$ doğu boylamları arasında bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı, ortalama 1123 m yükseltiye sahip olup, deniz seviyesinden yaklaşık 2.333 metreye kadar farklı yükseklik seviyelerine sahip arazi yapısından oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

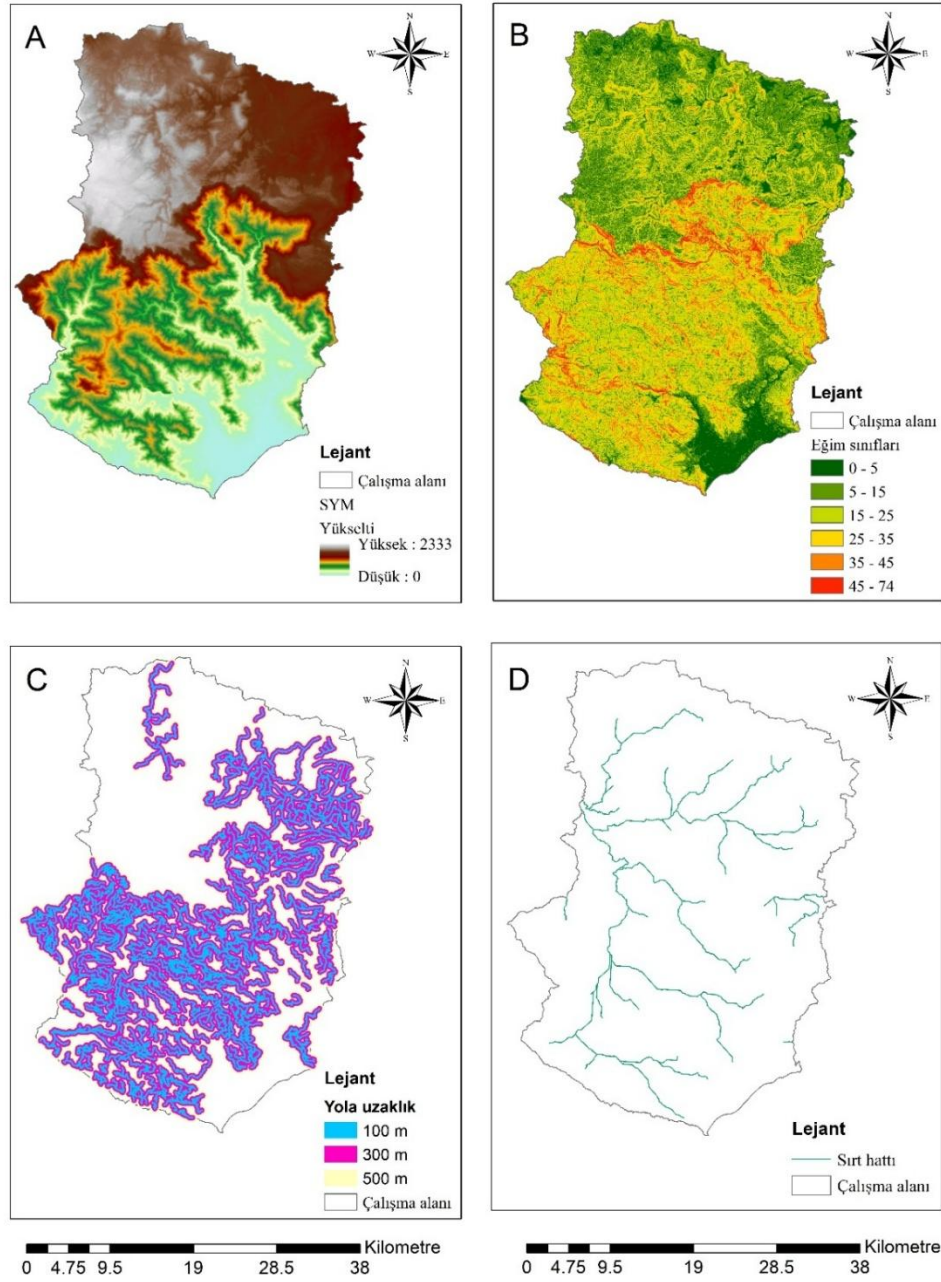
Tablo 1. Yangın gözetleme kulelerine ait konumsal bilgiler

	Yangın gözetleme kuleleri	Yükseklik (metre)	Koordinat (N, E)	
1	Azitepe	864	36 22 08	33 01 57
2	Burmatepe	1230	36 10 29	32 40 14
3	Demirtaş	1230	36 12 56	32 46 19
4	Kızılcaakız	1900	36 20 04	32 52 04
5	Mestantepe	1387	36 07 13	32 38 00
6	Yiviltepe	1235	36 10 33	32 40 16
7	İkiztepe	1400	36 17 26	32 47 52
8	İrbi	1086	36 04 18	32 54 07

Görünürlük analizi

Çalışma alanı sınırlarında yer alan sekiz adet yangın gözetleme kulesine ait görünürlük analizi ArcGIS ortamında Viewshed aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada analiz edilen kulelere ait yükseklik verisi sabit 6 m olarak belirlenmiştir. Görülebilen duman yüksekliği ve kulelerin görüş mesafesi yarıçapı sırasıyla 100 m ve 20 km olarak esas alınmıştır. Çalışma alanının tamamının kulelerden görülebilmesi amacıyla yatay görüş açısı 360° olarak tanımlanmıştır. Dikey görüş açıları ise +90° ve -90° olarak kabul edilmiştir.

Gözetleme kulelerinden etkin bir şekilde faydalanmak amacıyla, her bir kule için görünür orman alanları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde yeni kule ihtiyacının belirlenmesi ve mevcut kule konumlarına ilişkin olası değişikliklerin önerilebilmesi için alternatif kule lokasyonları tespit edilmiştir. Alternatif kule lokasyonları; yükselti, eğim, yol ağlarına uzaklık ve sırt hattında konumlanması parametrelerine göre belirlenmiştir. Yükselti faktörü için ArcGIS yazılımı raster calculator aracı kullanılarak 800 m'den yüksek alanlar için bir raster veri üretilmiştir. Daha sonra eğim sınıfları haritasından yararlanarak raster calculator aracı vasıtasıyla eğimin %5 ve daha az olduğu alanlar için bir raster veri çıktısı oluşturulmuştur (Amiri ve ark., 2023). Alternatif kule lokasyonlarının oluşturulmasında önerilerin ekonomik olması ve var olan yollara yakın olması beklendiği için yol ağlarına 100 m genişliğinde buffer zonlar ArcGIS yazılımında yer alan multiple ring buffer aracı ile elde edilmiştir (Akay ve ark., 2020b). Gözetleme kulelerinin hakim tepelere konumlandırılması için sırt hattının belirlenmesi gerekmektedir (Zhang ve ark., 2019). Sırt hattının belirlenmesinde 30 m çözünürlükte sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Daha sonra ArcMap yazılımı altında ArcHydro eklentisi üzerinden Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Stream Definition ve Stream segmentation araçları kullanarak sırt hatları raster formatında üretilmiştir. Belirlenen kriterler için raster veri seti elde edilmiş ve 3 kriteri sağlayan pikseller Raster to Point aracı kullanılarak vektör veri formatında nokta katmanına dönüştürülmüştür. Sırt hattında yer alan noktalar seçilmiştir. Alternatif kule lokasyonlarında kullanılan parametrelere ait haritalar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanına ait A) Sayısal yükseklik modeli, B) eğim sınıfları, C) yol ağına uzaklık ve D) sırt hattı haritaları

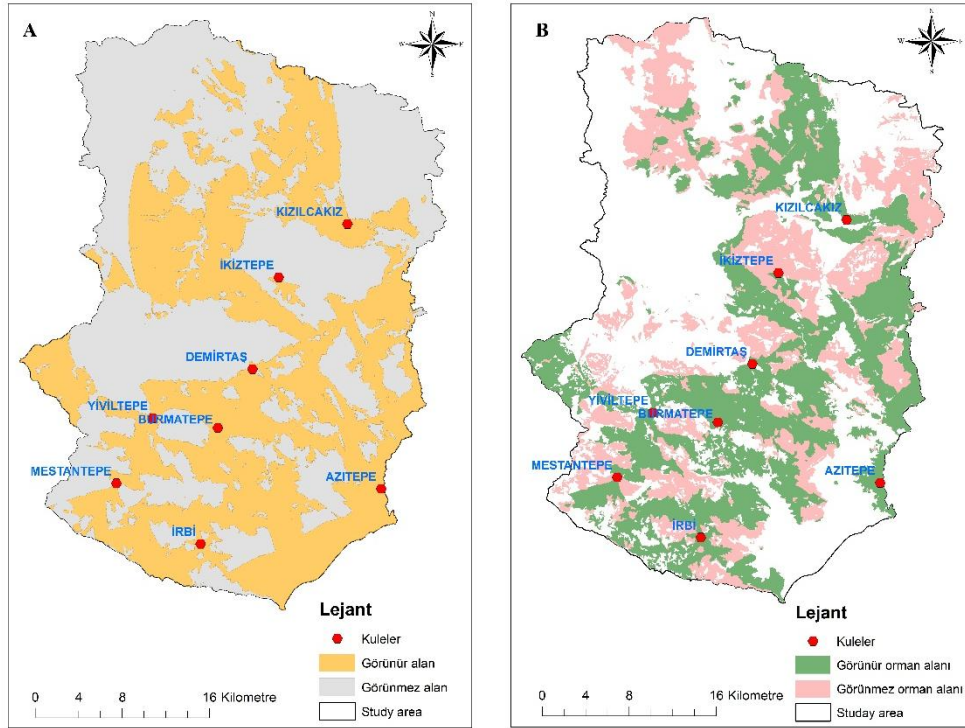
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan görünürlük analizleri sonucunda kulelerin görünür alan büyüklükleri tespit edilmiştir. Kulelere ait toplam görünür alan yüzdeleri, çalışma alanı esas alınarak hesaplanmış; orman ve orman dışı alanlara ilişkin görünürlük oranları ise ilgili sınıfların toplam alanları dikkate alınarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre görünür alan büyüklüğü en yüksek olan kule %16,7 ile Kızılcakız iken, en düşük görünür alan %1,27 ile Mestantepe kulesi olarak tespit edilmiştir. En yüksek görünür orman alanı %30 ile Burmatepe kulesi olurken, en düşük ormanlık alanı

görünürlüğü %2,54 ile Azitepe kulesinde belirlenmiştir (Tablo 2). Mevcut kuleler ile toplam orman alanının %46,85'i görünür alanda yer alırken, toplam çalışma alanının %46,29'u görünür alan kapsamında kalmaktadır (Şekil 4).

Tablo 2. Mevcut gözetleme kulelerinin görünürlük analizi sonuçları

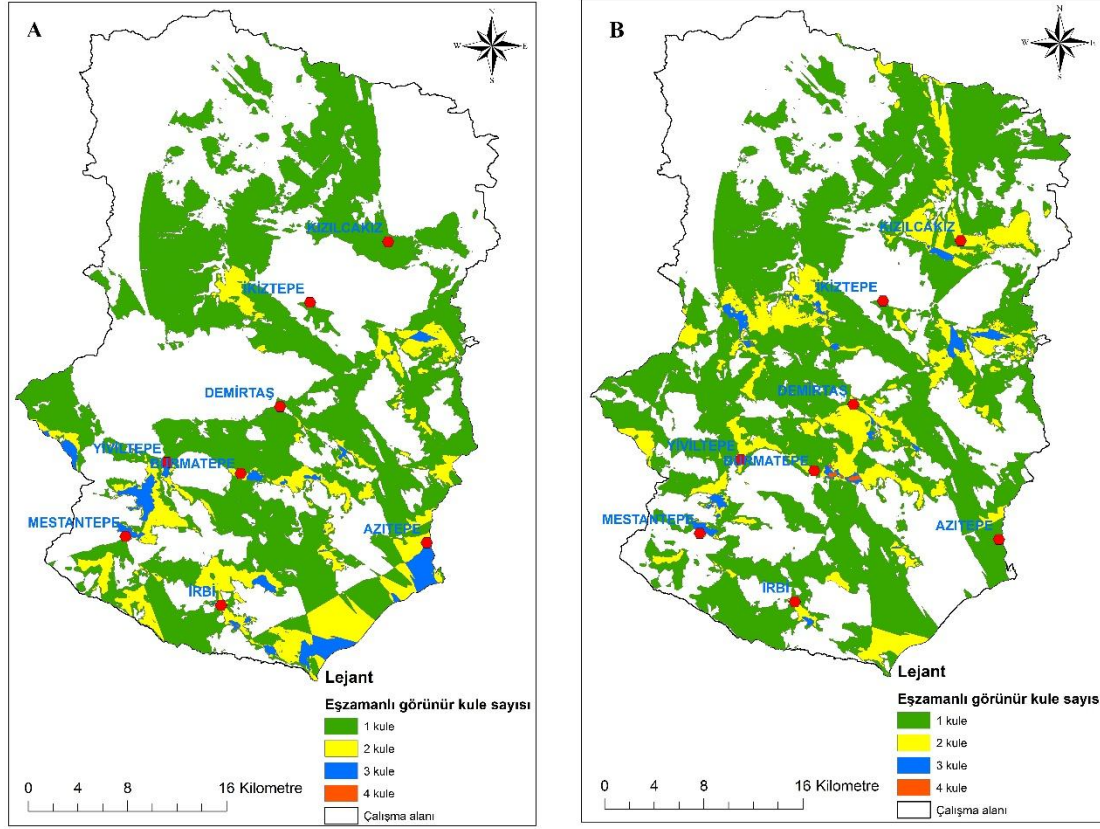
Kuleler	Toplam	Görünür alan (%)	
		Orman alanı	Orman dışı alan
Azitepe	3,62	2,54	17,75
Burmatepe	13,75	31,34	26,63
Demirtaş	6,02	17,52	4,58
Kızılcakız	16,75	30,08	47,60
Mestantepe	1,28	3,17	2,00
Yiviltepe	4,51	12,97	3,71
İkiztepe	7,60	18,62	12,27
İrbi	3,24	7,09	6,82
Toplam	46,29	46,85	45,29



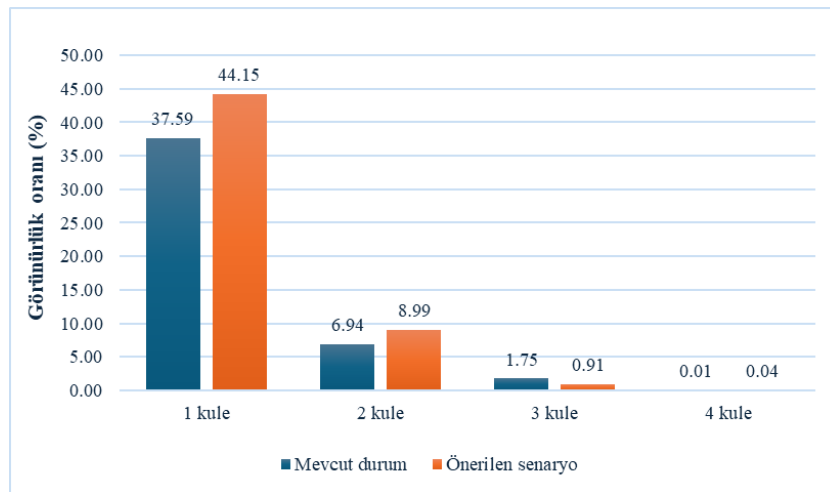
Şekil 4. Toplam alan (A) ve orman alanlarına (B) ilişkin görünürlük analizi sonuçları

Gözetleme kulelerinin görüş mesafeleri aynı olmasına rağmen sahip oldukları farklı lokasyon ve topografik özellikler görünür alan büyüklüklerini etkilemektedir. Görünür alan büyüklükleri farklılık gösterse de ortak görünür alanlar birden fazla kulenin eşzamanlı olarak görebildiği bölgeleri kapsamaktadır. Görünürlük analizi sonuçları, eşzamanlı olarak bir, iki, üç ve dört kule tarafından görülebilen alanların olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Görünürlük analizi sonuçlarına göre, çalışma alanının tek kule tarafından görülebilir alanı %37,6'dan %44,2'ye,

iki kule tarafından görülebilir alanı ise %6,9'dan %9,0'a yükselmiş; buna karşın üç kule tarafından eş zamanlı olarak görülebilen alan %1,8'den %0,9'a gerilemiş, dört kulenin eş zamanlı olarak kapsadığı alan ise %0,01'den %0,04'e çıkmıştır. Bu sonuçlar, toplam görünür alan miktarındaki artış ile ilişkilendirilebilir (Şekil 6).

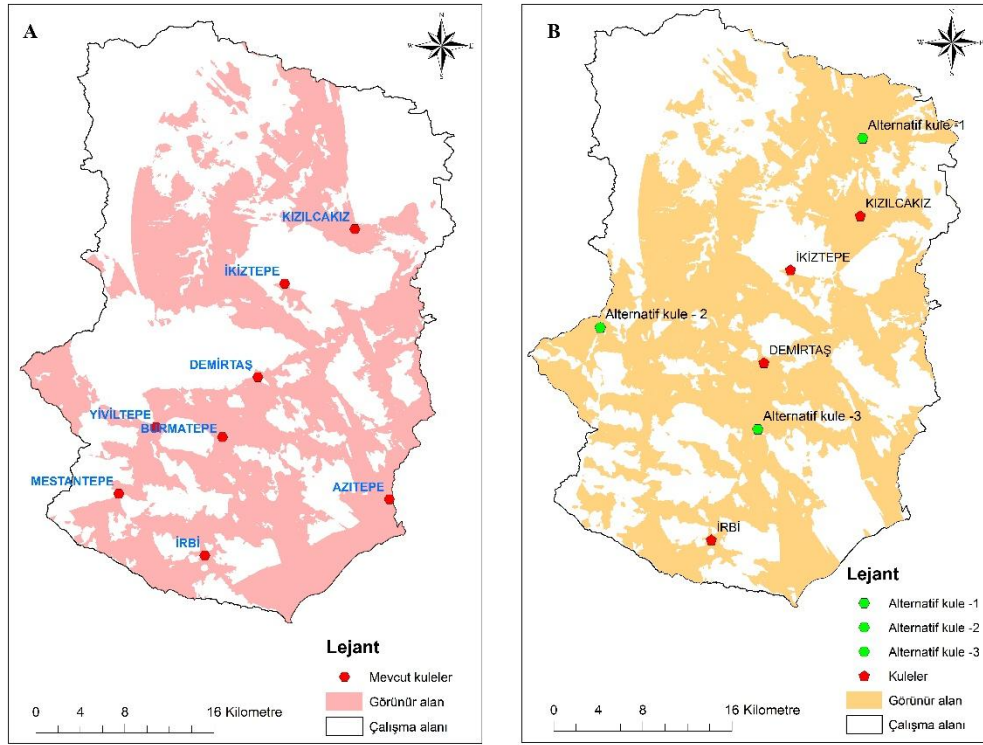


Şekil 5. Mevcut durum (A) ve önerilen senaryoda (B) gözetleme kuleleri tarafından eş zamanlı görünür alanların dağılımı



Şekil 6. Kule sayısına göre eş zamanlı görünür alan oranları

Kulelerin görünürlük etkinliğini değerlendirmek amacıyla, her bir kule için hesaplanan görünür alan büyüklükleri tek başına bir başarı ölçütü olarak kullanılmamıştır. Kuleler arasındaki mesafeler, ortak görünür alan büyüklüğü ve görünür orman alan miktarları gibi faktörler birlikte değerlendirilmiş; bu doğrultuda, bazı kulelerin pasif hale getirilmesi ve yerlerine alternatif lokasyonlarda yeni kulelerin kurulması önerilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Yiviltepe, Mestantepe ve Azitepe kulelerinin pasif hale getirilmesi, Burmatepe kulesinin ise lokasyon değişikliği önerilmiştir. Sonuç itibarı ile üç adet yeni kule lokasyonu sunulmuştur. Çalışma amacına paralel olarak, kule sayısı en aza indirgenmiş ve görünür orman alanı büyüklüğü ise arttırılmıştır (Şekil 7).



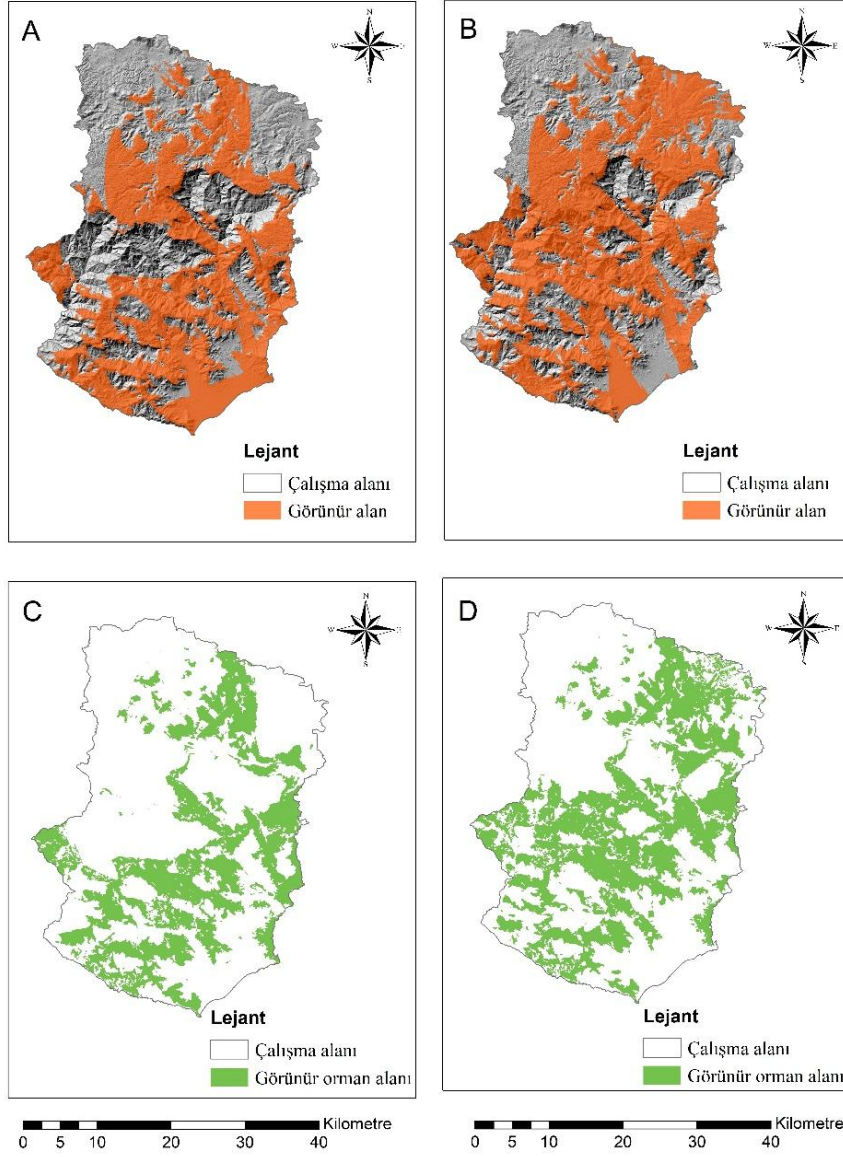
Şekil 7. Mevcut (A) ve önerilen (B) kule senaryosuna ait görünürlük analizi sonuçları

Yeni kulelerin eklenmesiyle birlikte toplam görünür alan miktarı %46,3'ten %54,1'e çıkmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Önerilen senaryoda gözetleme kulelerinin görünürlük analizi sonuçları

Kuleler	Toplam	Görünür alan (%)	
		Orman alanı	Orman dışı alan
Alternatif-1	6,13	11,90	9,98
Alternatif-2	7,45	16,22	8,03
Alternatif-3	17,85	34,68	29,07
Demirtaş	6,02	13,93	4,57
Kızılcakız	16,75	23,93	47,49
İkiztepe	7,60	14,81	12,24
İrbi	3,24	5,64	6,80
Toplam	54,09	58,90	45,39

Ek olarak, görünürlük analizi sonuçlarına göre toplam orman alanının %46,9'u kuleler tarafından görünür alanlar içerisinde kalmaktadır. Yeni durumda güncel kuleler ile toplam görünür orman alanı %58,9'a yükselmiştir (Şekil 8).

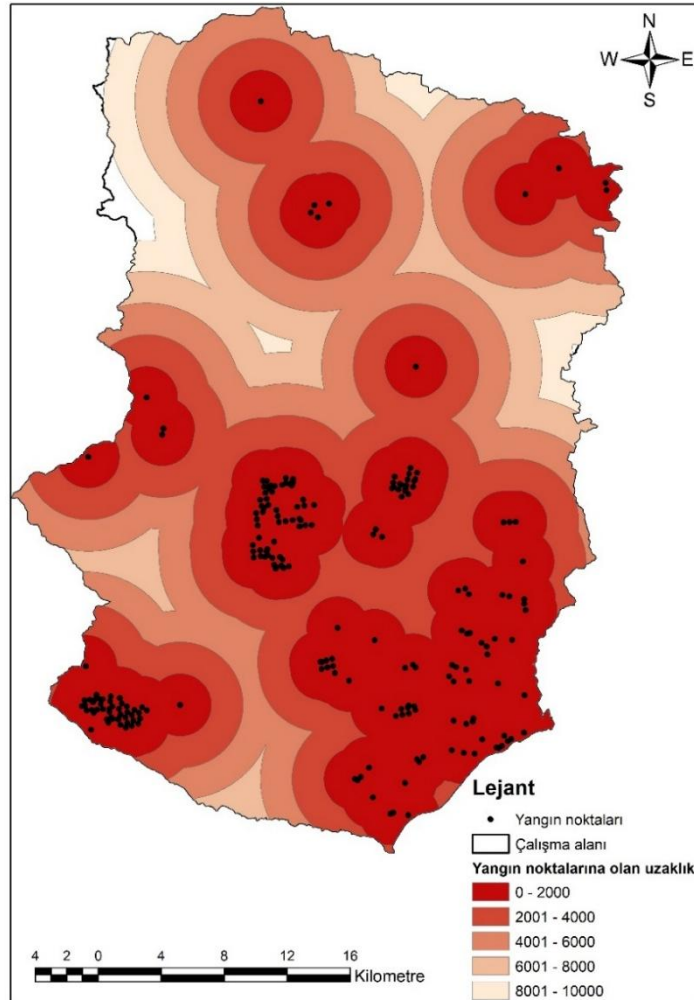


Şekil 8. Mevcut ve önerilen senaryolara göre toplam görünür alan (A–B) ve görünür orman alanı (C–D) dağılımları

Birden fazla kule tarafından eşzamanlı olarak görülebilen ortak alanların toplam görünür alana oranı, mevcut durumda %18,96 iken önerilen yeni senaryoda %18,38 olarak hesaplanmıştır. Akay ve ark., (2020b), mevcut kulelere ek olarak 5 yeni kule önermiş ve görünürlük oranını %77,12'den %81,47'e arttırdığını belirtmiştir. Çoban ve Bereket, (2020), görünürlük analizini farklı bir bakış açısından değerlendirmiş yeni kule önerisi yerine mevcut yol ağlarını görünürlük analizine dahil etmiş ve görünürlük oranını %59'dan %70'e yükseltmiştir. Juvanhol ve ark. (2024), kule sayısı, görüş alanı ve yangın riski yüksek bölgeleri dikkate alarak farklı senaryolar geliştirmiştir. Çalışmamızın bulgularıyla paralel biçimde, en az kule ile en geniş görüş alanı sağlanması hedefinin yanı sıra yangın riski yüksek alanları da değerlendiren senaryoda %71 görünürlük oranı elde edilmiştir. Sakellariou ve ark. (2022), yanma olasılığı,

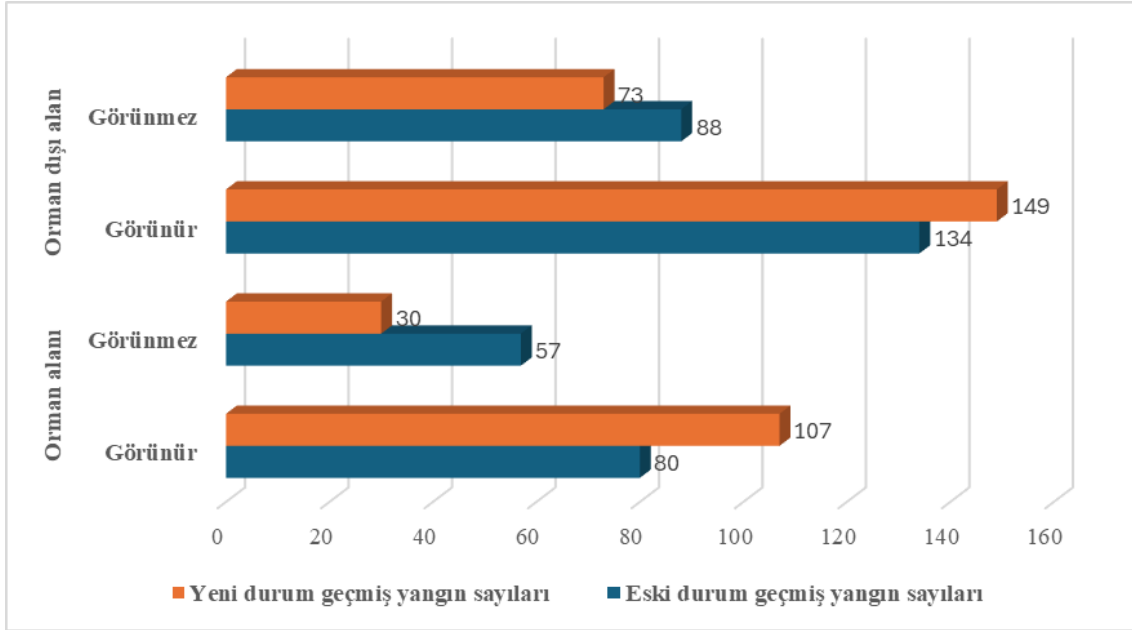
eğim, yükselti ve yola yakınlık kriterlerini temel olarak bir kule uygunluk algoritması geliştirmiştir. Çalışmada, en az sayıda kule lokasyonu ile en düşük örtüşme oranı ve en yüksek görünürlük oranı hedeflenmiş; sonuç olarak orman alanlarının %80'inin kuleler tarafından görünür olduğu elde edilmiştir. Orman alanlarının görünür alanlar içerisindeki oranının artmasının, kulelerin daha etkin kullanılmasına katkı sağlaması ve yangınların hızlı tespit edilerek erken müdahale olanaklarının geliştirilmesi beklenmektedir.

Venturi ve Antunes (2007), yangınların erken ve doğru bir şekilde tespit edilmesinde, geçmiş yangın olaylarının kayıtlarına dayalı yangın riski haritalarının analizini ve kule konumlarının dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerektirdiğini bildirmiştir. Buna ek olarak, yangın riski yüksek alanların görünürlük analizi kapsamında değerlendirilmesinin önemli bir kriter olduğu literatürde vurgulanmaktadır (Sakellariou ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020). Geçmiş orman yangınları, yangınların mekânsal dağılımı, yoğunluğu ve tekrar sıklığı dikkate alınarak hassasiyet değerlendirmesi yapılabilmesi amacıyla çalışma alanı sınırları içerisinde haritalandırılmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanı sınırlarında 2010 yılından günümüze kadar meydana gelen toplam 222 adet noktasal yangın verisi NASA FIRMS platformu üzerinden temin edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Geçmiş yangın noktalarının çalışma alanındaki dağılımı

Mevcut kuleler ile önerilen senaryodaki kule konumları kullanılarak gerçekleştirilen görünürlük analizleri sonucunda geçmiş yangın noktalarının görünürlük durumları Şekil 10’da karşılaştırılmıştır.



Şekil 10. Geçmiş yangın noktalarının görünürlük durumunun mevcut ve önerilen senaryolara göre değişimi

Görünürlük analizleri sonucunda orman alanı ve orman dışı alanlarda görünürlük kapsamı dışında kalan (görünmeyen) yangın noktalarının sayısında azalma olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak görünür orman alanında yaklaşık olarak %33 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Orman dışı alanlardaki görünür alanda kalan yangın noktalarındaki artış oranı yaklaşık olarak %11 olarak bulunmuştur. Önerilen senaryoda, geçmiş yangın verilerinin toplam görünür alanlarda ve görünür orman alanlarındaki artışı, önerilen kule yerleşiminin görünürlük kapsamını genişlettiğini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Orman yangınlarından kaynaklanan zararların azaltılmasında erken tespit sistemleri önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular, kule sayısındaki azalmaya rağmen optimum kule lokasyonlarının belirlenmesiyle ortak görünür alan korunarak toplam görünürlük oranının artırılabilirdiğini göstermektedir. Çalışma kapsamında, kulelerden en etkin şekilde yararlanmak amacıyla en az sayıda kule kullanılarak en yüksek kapsama alanının sağlanması hedeflenmiş ve önerilen yeni kule konumları ile toplam görünür alan oranı yaklaşık %55’e, görünür alanlar içerisindeki ormanlık alan oranı ise yaklaşık %60’a yükselmiştir. Yeni kulelerin eklenmesiyle, ormanlık alanlar da dahil olmak üzere görüş alanı kabul edilebilir seviyelere ulaşmıştır. Çalışma kapsamında, birbirine yakın konumlanan beş kule noktasının oluşturduğu poligonun kapladığı alan yaklaşık 8 ha olarak hesaplanmıştır. Yeni kule önerileri doğrultusunda ise aynı bölgede dört kule noktasının oluşturduğu poligon alanı 13 ha’ya yükselmiştir. Bu kapsamda, kule lokasyonları arasındaki mesafenin artırılması toplam görünür alanların ve orman alanlarının görünürlük oranının artırılması amaçlanmıştır. Görünür alanlar içerisinde kalan son 15 yıla ait yangın noktalarının önerilen senaryoda artış göstermesi,

önerilen kule lokasyonlarının yangın potansiyeli yüksek alanlarda daha etkin sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

YAZAR KATKILARI

Bu çalışmanın bütün aşamaları tek yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

FINANSAL DESTEK BEYANI

Çalışma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ETİK KURUL ONAYI

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasından dolayı Orman Genel Müdürlüğü'ne, Google Earth Engine platformuna ve NASA'ya (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akay, A. E., Wing, M. G., Sivrikaya, F., & Sakar, D. (2012). A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 184(3), 1391-1407.
- Akay, A. E., & Şahin, H. (2019). Forest Fire Risk Mapping by using GIS Techniques and AHP Method: A Case Study in Bodrum (Turkey). *European Journal of Forest Engineering*, 5(1), 25-35. <https://doi.org/10.33904/ejfe.579075>.
- Akay, A. E., Erdoğan, A., & Taş, İ. (2020a). Assessment of firefighting teams by using GIS-based network analysis method. *Turkish Journal of Forest Science*, 4(2), 424-435.
- Akay, A. E., Wing, M., Büyüksakalli, H., & Malkoçoğlu, S. (2020b). Evaluation of fire lookout towers using GIS-based spatial visibility and suitability analyzes. *Şumarski list*, 144(5-6), 279-288.
- Alkiş, K. C., & Eker, R. (2025). Evaluation and Analysis of Fire Risk Elements within the Visibility Zones of Lookout Towers: The Case of Izmir Regional Forest Directorate. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 25(3), 341-364.

- Amiri, T., Banj Shafiei, A., Erfanian, M., Hosseinzadeh, O., & Beygi Heidarlou, H. (2023). Using forest fire experts' opinions and GIS/remote sensing techniques in locating forest fire lookout towers. *Applied geomatics*, 15(1), 45-59.
- Bao, S., Xiao, N., Lai, Z., Zhang, H., & Kim, C. (2015). Optimizing watchtower locations for forest fire monitoring using location models. *Fire safety journal*, 71, 100-109.
- Bingöl, B. (2017). Determination of Forest Fire Risk Areas in Burdur Province Using Geographical Information Systems. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(2), 169-182. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.319155>
- Cosgun, U., Coşkun, M., Toprak, F., Yıldız, D., Coşkun, S., Taşoğlu, E., & Öztürk, A. (2023). Visibility evaluation and suitability analysis of fire lookout towers in Mediterranean Region, southwest Anatolia/Türkiye. *Fire*, 6(8), 305.
- Çoban, H. O., & Bereket, H. (2020). Visibility analysis of fire lookout towers protecting the Mediterranean forest ecosystems in Turkey. *Journal of Forestry Society of Croatia/Sumarski List Hrvatskoga Sumarskoga Drustva*, 144.
- Çoban, H., & Erdin, C. (2020). Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak forest enterprise, Turkey. *Applied ecology and environmental research*, 18(1).
- Di Virgilio, G., Evans, J. P., Blake, S. A., Armstrong, M., Dowdy, A. J., Sharples, J., & McRae, R. (2019). Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophysical Research Letters*, 46(14), 8517-8526.
- Göлтаş, M., Demirel, T., & Çağlayan, İ. (2017). Visibility Analysis of Fire Watchtowers Using GIS; A Case Study in Dalaman State Forest Enterprise. *European Journal of Forest Engineering*, 3(2), 66-71.
- Göлтаş, M., Ayberk, H., & Küçük, O. (2024). Forest fire occurrence modeling in Southwest Turkey using MaxEnt machine learning technique. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 17(1), 10.
- Gülci, S., Yüksel, K., Gümüş, S., & Wing, M. (2021). Mapping wildfires using Sentinel 2 MSI and Landsat 8 imagery: Spatial data generation for forestry. *European Journal of Forest Engineering*, 7(2), 57-66.
- Jones, M., Abatzoglou, J., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A., Burton, C., Betts, R., Werf, G., Sitch, S., Canadell, J., Santín, C., Kolden, C., Doerr, S., & Quéré, C. (2022). Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. *Reviews of Geophysics*, 60. <https://doi.org/10.1029/2020rg000726>.
- Juvanhol, R. S., da Silva, E. F., da Paschoa Manhães, L., Santos, J. S., Silva, J. P. M., Vieira, G. C., ... & da Silva, M. L. M. (2024). Mathematical programming and geotechnologies applied to allocation of forest fire detection towers. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38(12), 4795-4808.
- Korale, P., Pade, A., Varghese, A., & Joshi, A. (2009, September). Mapping of forest fire risk zones and identification of suitable sites for fire watch towers using remote sensing and GIS. In *ISRS Symposium on Advances in Geo-spatial technologies with special emphasis on sustainable rain fed Agriculture* (pp. 17-19).
- Kucuk, O., Topaloglu, O., Altunel, A. O., & Cetin, M. (2017). Visibility analysis of fire lookout towers in the Boyabat State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 189(7), 329.
- MacDicken, K. G., Sola, P., Hall, J. E., Sabogal, C., Tadoum, M., & de Wasseige, C. (2015). Global progress toward sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 352, 47-56.
- Orman Genel Müdürlüğü (1995). Orman yangınlarının önlenmesi ve söndürülmesinde uygulama esasları. Orman Bakanlığı, OGM Yayınları Tebliğ, (285), Ankara.

- Kudu, U. M., & Buğday, E. (2019). Yangın gözetleme kuleleri konumlarının uygunluğunun değerlendirilmesi (İlgaz Orman İşletme Müdürlüğü örneği). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 550-559.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Durmaz, B. D., Kadioğulları, A. İ., & Küçük, Ö. (2008). Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors*, 8(6), 3970-3987.
- Sakellariou, S., Tampekis, S., Samara, F., Flannigan, M., Jaeger, D., Christopoulou, O., & Sfougaris, A. (2019). Determination of fire risk to assist fire management for insular areas: the case of a small Greek island. *Journal of Forestry Research*, 30(2), 589-601.
- Sakellariou, S., Sfougaris, G., & Christopoulou, O. (2022). Territorial resilience through visibility analysis for immediate detection of wildfires integrating fire susceptibility, geographical features, and optimization methods. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13(4), 621-635.
- Shi, X., & Xue, B. (2016). Deriving a minimum set of viewpoints for maximum coverage over any given digital elevation model data. *International Journal of Digital Earth*, 9(12), 1153-1167.
- Sivrikaya, F., & Küçük, Ö. (2022). Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. *Ecological Informatics*, 68, 101537.
- Sonti, S. H. (2015). Application of geographic information system (GIS) in forest management. *Journal of Geography & Natural Disasters*, 5(3), 1000145.
- Tezcan, B., & Eren, T. (2025). Optimizing firefighting equipment allocation in Balıkesir using 0-1 integer programming. *Turkish Journal of Forest Science*, 9(1), 203-216.
- Venturi, N. L., & Antunes, A. F. B. (2007). Determination of optimum places for implantation of forest fire towers by means of geographic information systems. *Floresta (Brazil)*, 37(2).
- Yakovenko, N., Guseynova, N., & Kolotushkin, A. (2024). A forest management system based on sustainable development. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249301008>.
- Yüksel, K. (2022). Yanan Orman Alanı Tespitinde Farklı Uzaktan Algılama İndislerinin Değerlendirilmesi: 2022 Yılı Mersin (Gülnar) Orman Yangını Örneği. *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 4(2), 160-171.
- Zhang, F., Zhao, P., Thiyagalingam, J., & Kirubarajan, T. (2019). Terrain-influenced incremental watchtower expansion for wildfire detection. *The Science of the total environment*, 654, 164-176. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.038>.
- Zhang, F., Zhao, P., Xu, S., Wu, Y., Yang, X., & Zhang, Y. (2020). Integrating multiple factors to optimize watchtower deployment for wildfire detection. *Science of the total environment*, 737, 139561.