



Orman yangınlarına ilk müdahale ekiplerinin yerleşim planlaması: Aliğa-İzmir örneği

Burak Ercan¹, Salih Özdilim¹, Mualla Gonca Avcı^{1*}

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 35397, İzmir, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 11/03/2023

Kabul Tarihi: 02/05/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1259506>

* Sorumlu yazar:

gonca.yunusoglu@deu.edu.tr

ÖZ

Araştırma Makalesi

Küresel iklim değişikliği nedeniyle orman yangınlarının sıklığı ve verdikleri zararlar giderek artmaktadır. Orman yangınlarının yol açacağı zararın en aza indirilmesinde ilk müdahalenin hızlı yapılması büyük bir önem taşımaktadır. İlk müdahalenin süresi diğer faktörleri ile birlikte büyük ölçüde ilk müdahale ekiplerinin yerlerine bağlıdır. Bu nedenle ilk müdahale ekiplerinin yerlerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmanın

amacı hedef ilk müdahale süresi içinde tüm orman bölgelerine ulaşılmasını sağlayacak en az sayıdaki ilk müdahale ekip sayısını bulmak ve bu ekiplerin yerlerini belirlemektir. Bu kapsamda, ilk müdahale ekiplerinin yerlerinin belirlenmesi için iki küme kapsama modeli önerilmiştir. Her iki modelin de birinci amacı tüm alanlara hedef ilk müdahale süresi içinde ulaşabilmek için gerekli ekip sayısının minimize edilmesidir. Birinci model bu amacın yanı sıra mevcut ekip yerlerinin olabildiğince değiştirilmemesini amaçlar. İkinci modelin diğer amacı ise hedef ilk müdahale süresi içinde birden fazla ekip tarafından ulaşılabilir alan sayısını maksimize etmektir. Önerilen iki model İzmir Orman Bölge Müdürlüğü Aliğa Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı ilk müdahale ekiplerinin yerlerinin değerlendirilmesi ve bu ekipler için yeni bir yerleşim planı önerilmesi için kullanılmıştır. Buna ek olarak hedef ilk müdahale süresinin gerekli minimum ekip sayısı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 2023 yılı için hedeflenen ilk müdahale süresi göz önüne alındığında İzmir-Aliğa Orman İşletme Müdürlüğü'nün iki yeni ilk müdahale ekibine ihtiyacı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: İlk müdahale, kapsama modeli, orman yangınları, yer seçimi

Location planning of forest wildfire initial attack teams: A case study of Aliğa-İzmir

ABSTRACT

Due to global climate change, the frequency of forest wildfires and their damage are increasing. In order to minimize the damage caused by wildfires, the speed of initial attack is critical. The speed of initial attack teams is highly dependent on their location in addition to the other factors. For this reason, it is critical to determine the locations of the initial attack teams correctly. The aim of this study was to determine the minimum number of initial attack teams that enables access to all forest areas within the target initial attack response time and the locations of the teams. In this regard, two set covering models are proposed to determine the location of initial attack teams. The primary objective of both models was to minimize the number of teams required to reach all areas within the target first response time. In addition to this objective, the first model aims not to change the locations of existing teams as much as possible. The second objective of the second model was to maximize the number of areas accessible by multiple teams within the target first response time. The two proposed models were used to evaluate the locations of the initial attack teams of İzmir Aliğa Directorate of Forest Subdistrict and to propose a new settlement plan for the teams. In addition, the effect of the target first response time on the required minimum number of teams was analyzed. The obtained results reveal that İzmir-Aliğa Directorate of Forest Subdistrict needs two new initial attack teams, considering the first response time targeted for 2023.

Key Words: Initial attack, covering model, forest wildfires, site selection

Bu makaleye atf:

Ercan, B., Özdilim, S., Avcı, M. G., 2023. Orman yangınlarına ilk müdahale ekiplerinin yerleşim planlaması: Aliğa-İzmir örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(1), 96-103.

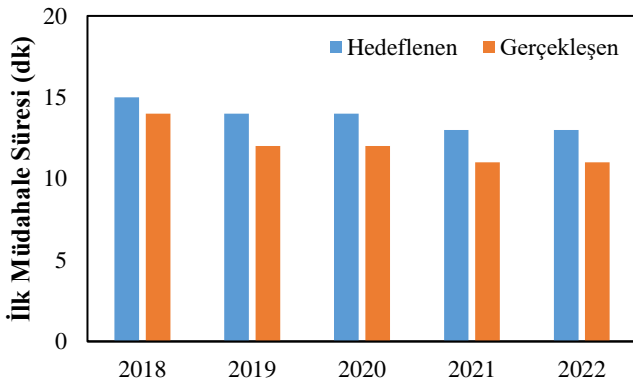


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği ve artan nüfus yoğunluğu nedeniyle, orman yangınların ekonomik, ekolojik, çevresel ve sosyal etkileri de artmaktadır. 2019 yılında Avustralya'daki şiddetli kuraklık nedeniyle çıkan yangınlar 8,34 milyon hektar alanın yanmasına, 3100 konutun zarar görmesine ve 33 kişinin hayatını kaybetmesine yol açmıştır (Davey and Sarre, 2020). Ülkemizde 2021 yılının yaz mevsiminde yaşanan aşırı sıcak ve kurak hava koşulları nedeniyle iki hafta boyunca Ege ve Akdeniz bölgeleri başta olmak üzere birçok bölgede orman yangınları çıkmış ve bu yangınlarda 139.503 hektar orman alanı zarar görmüştür (OGM, 2022). Bu yangınlar nedeniyle Antalya-Manavgat bölgesinde yaşam alanları zarar gören ve IUCN Kırmızı Listesi'nde yer alan türlerin %88'i "asgari endişe", %3,7'si "neredeyse tehdit altında", %7,4'ü ise "hassas" sınıfında yer almaktadır (Aydın-Kandemir and Demir, 2023). Muğla'da IUCN Kırmızı Listesi'nde yer alan karakulak ve yaban kedisi türlerinin yaşam alanlarının etkilendiği ve 11 bireyin yangınlardan direkt etkilendiği tespit edilmiştir (İlemin, 2021). Bu yangınlar sonrasında zarar gören orman alanlarının yeniden oluşturulması, kaybedilen bitki örtüsünün fonksiyonlarını tekrar yerine getirebilir hale getirilmesi, yangından etkilenen yerleşim yerlerinin ve tesislerin onarılması ve işler hale getirilmesi oldukça yüksek maliyete yol açmaktadır (Ayanoğlu vd., 2017; Avcı ve Korkmaz, 2021; Kemer, 2022). Bu nedenle orman yangınlarının erken tespit edilebilmesi ve ilk müdahalenin hızlı şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. İlk müdahalenin hızı, temel olarak ilk müdahale ekiplerinin yangın başlama noktasına olan uzaklığına bağlıdır. Dolayısıyla ilk müdahale ekiplerinin yangın sezonunda konuşlanacağı yerlerin doğru belirlenmesi yangınlara erken müdahale açısından kritik öneme sahiptir.

Ülkemizde, bir orman yangını tespit edildiği anda nöbetçi amir yangın sahasına en yakın ilk müdahale ekibini zaman kaybetmeden yangına hareket ettirir. İlk müdahale ekibi yangın şartlarını gözlemleyerek yangına uygun ve güvenli noktadan ilk müdahaleyi yapar. Yangın çıkış sebebinin tespit edilmesi için gerekli delilleri koruma altına alır ve yangının durumu ile ilgili merkeze bilgi verir. İlk müdahalede yangını söndürmek için su ya da toprak kullanılır. Çevredeki yanıcı maddeler uzaklaştırılır. Yangına ilk müdahalenin erken yapılmasının yangının söndürülmesi üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır (OGM, 2023).



Şekil 1. Son beş yıla ilişkin ilk müdahale süresi hedefleri ve gerçekleşen değerler

Bu kapsamda ortalama ilk müdahale süresi Orman Genel Müdürlüğü (OGM) yıllık faaliyet raporlarında bir performans göstergesi olarak izlenmektedir (OGM, 2019). Yangına birinci derecede hassas bölgelerde ilk müdahale süresi için son beş yıla ait hedeflenen ve gerçekleşen değerler Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere, son beş yıl içinde ilk müdahale süresi için hedef 15 dakikadan 13 dakikaya indirilmiştir. Buna karşılık, son beş yılda ilk müdahale sürelerinin hedeflenen değerlerin altında gerçekleştiği görülmüştür. 2022 yılında ise ortalama ilk müdahale süresi 11 dakikaya düşmüştür.

Orman yangınlarına ilk müdahale ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Haight and Fried (2007) Kaliforniya'da 15 orman yangınına müdahale istasyonu ve 22 yangın söndürme aracının yerleşimi için bir benzetim modeli önermişlerdir. Önerilen benzetim modeli olası yangın konularını ve istasyonlar ile olası yangınlar arasındaki mesafeleri dikkate almaktadır. Geliştirilen modelin yangın söndürme araçlarını merkezi yerlerdeki az sayıda istasyona konuşlandırdığı görülmüştür. Bunu önlemek için merkezi istasyonlara atanan araçları diğer istasyonlara dağıtan basit bir sezgisel önerilmiştir. Akay, et al. (2012b) ilk müdahale ekiplerinin yangın sahasına ulaşımı için en hızlı, en güvenli ve güvenilir rotaları belirleyen coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde ekip merkezleri ve potansiyel yangın noktaları arasındaki yol şebekesi ele alınmıştır. Simülasyonlara yangın nedeniyle kapanan yol bilgisinin dahil edilmesi ile sadece en hızlı değil, en güvenli ve güvenilir güzergahlar belirlenmiştir. Akay, et al. (2012a) CBS teknikleri ile Hatay-Samandağ'da "yangın koruma alanları'nı tespit etmişlerdir. Yangın koruma alanları arazözlerin yol üzerinden yangın hortumları ile erişilebileceği mesafede olan alanlar olarak tanımlanmıştır. Sonuçlara göre Hatay-Samandağ'daki ormanlık alanın %73,44'ü yangın koruma alanı iken %26,56'sı arazözler ile erişilemez durumdadır. Sepetçi (2014) ilk müdahale ekiplerinin yangın sahasına en kısa sürede ulaşmalarını sağlayacak güzergahları CBS tabanlı bir ağ analizi yöntemi ile belirlemiştir. Önerilen yaklaşım Antalya Orman Bölge Müdürlüğüne (OBM) bağlı 13 yangın ilk müdahale ekibi dikkate alınarak 30 potansiyel yangın sahası için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çalışma alanında 16.831,40, 20.565,40 ve 20.565,40 hektarlık alanlara sırasıyla 20, 30 ve 40 dakikada ulaşılabilmiştir. Ateşoğlu vd. (2015) Bartın Orman İşletme Müdürlüğüne (OİM) bağlı ormanlık alanların yangın riskini analitik hiyerarşi süreci ile belirlemiştir. Çalışma alanının %15'inin yüksek, %34'ünün ise orta düzeyde yangın riskine sahip olduğu anlaşılmıştır. Mevcut yol şebekesi ile kritik müdahale süresi içinde bu alanların %67,3'üne müdahale edilebileceği tespit edilmiştir. Akay et al. (2018) ArcGIS Network Analyst eklentisini kullanarak Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesinde ilk müdahale ekiplerinin mevcut konularını değerlendirmiş ve kritik müdahale süresi içerisinde ulaşılabilen ormanlık alan oranını arttırmak için önerilerde bulunmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre mevcut durumda ele alınan ormanlık alanın %31,28'ine kritik müdahale süresi içinde ulaşılabilir hale gelmektedir. Önerilen durumda, yeni müdahale ekipleri sayesinde ormanlık alanın %71,55'i kritik müdahale süresi içinde ulaşılabilir hale gelmektedir. Rashidi et al. (2018) ilk müdahale ekiplerinin başarısını ölçmek için bir orman yangınının hücum oyuncusu, ilk müdahale ekiplerinin ise müdafaa oyuncusu olarak tanımlandığı bir Stackelberg modeli

önermişlerdir. Bu modelde hücum oyuncusunun amacı ilk müdahale ekipleri tarafından zamanında müdahale edilmeyen yangın sayısının maksimize edilmesidir. Müdafaa oyuncusunun amacı ise hücum oyuncusununkinin tam tersidir. Model New Mexico eyaletindeki Santa Fe Ulusal Ormanı için uygulanmıştır. Rodrigues et al. (2019) İspanya, Katalonya'daki ilk müdahale ekiplerinin başarı olasılığını hesaplayan bir model önermişlerdir. Önerilen model yangın başlama noktalarını, yangına müdahale şeklini ve hava koşullarını dikkate alan bir makine öğrenmesi algoritması ile eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yangının erken tespitinin, yangın alanının ulaşılabilirliğinin ve havadan müdahale desteğinin yangının kontrol altına alınma olasılığını önemli derecede etkilediğini göstermiştir. Bir diğer çalışmada, Akay et al. (2020) Balıkesir Yayla Orman İşletme Şefliğine (OİŞ) bağlı üç ilk müdahale ekibinin konumlarını ArcGIS Network Analyst eklentisini kullanarak değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ekipler kritik müdahale süresi içerisinde 19 potansiyel yangın noktasının 16'sına ulaşabilmektedir. Buna ek olarak, Yayla OİŞ sorumluluğundaki ormanlık alanın %83'üne kritik müdahale süresi içinde ulaşılabilirdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ilgili literatürde var olan çalışmalardan farklı olarak ilk müdahale süresi bir hedef olarak alınmış ve orman alanındaki tüm bölgelere bu hedef sürede ulaşılacak şekilde ilk müdahale ekiplerinin yerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Makalenin ikinci bölümünde çalışma sahası tanımlanmış ve mevcut ilk müdahale ekip yerleri ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Bölüm sonunda ilk müdahale ekiplerinin yerlerini belirlemek için önerilen matematiksel modeller açıklanmıştır. Üçüncü bölüm ise matematiksel modellerin gerçek hayat verileri kullanılarak analizlerini ve elde edilen sonuçları içermektedir. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

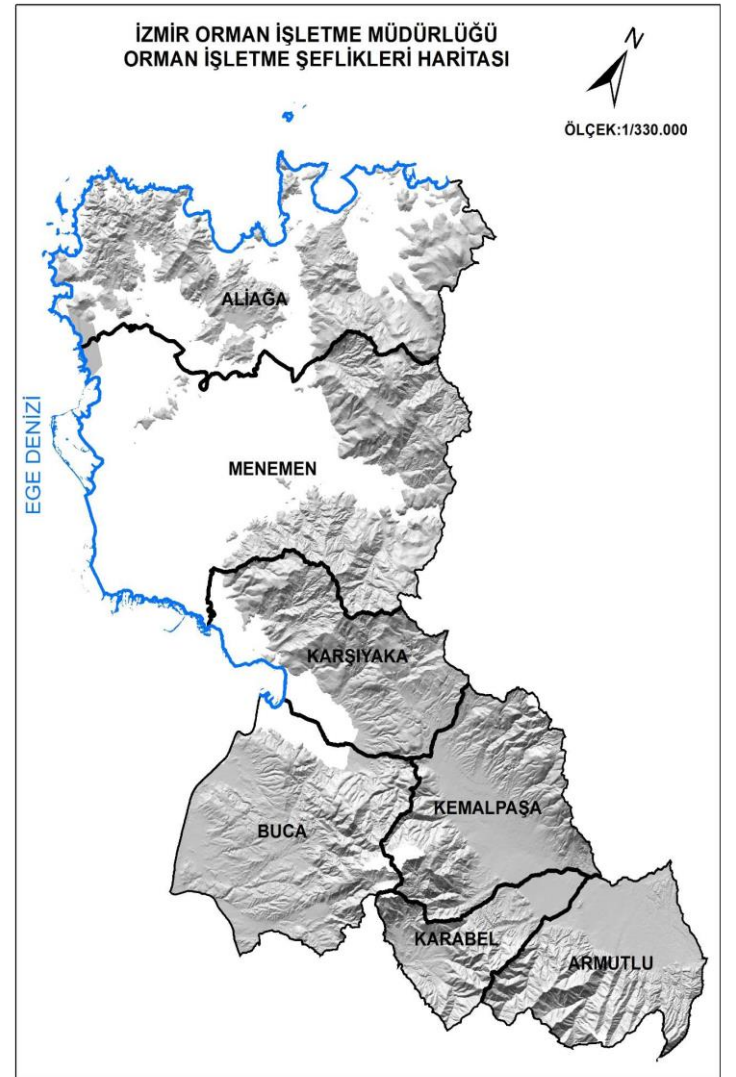
2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma sahasının tanıtımı

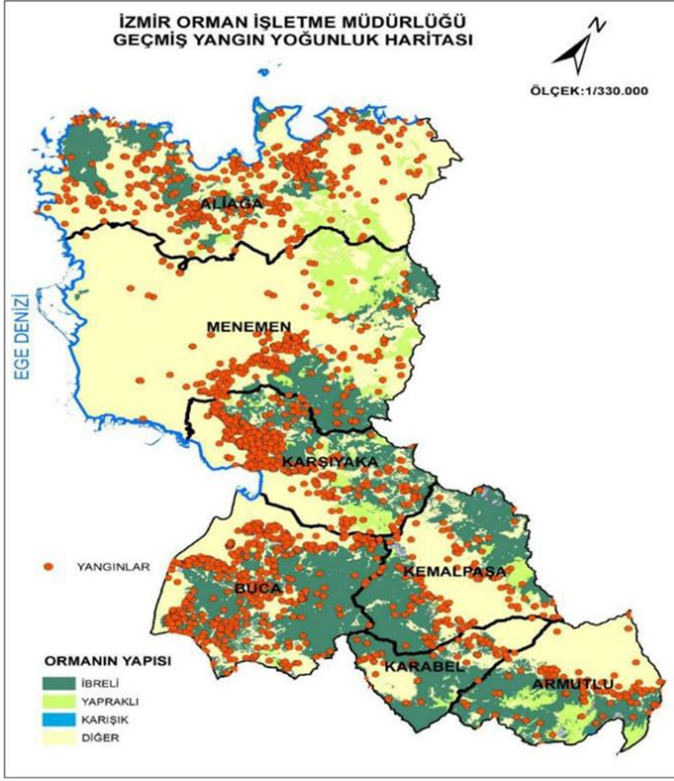
İzmir OİM'nin kapsadığı alan 89.000 hektar olup, ormanlık alanın genel alan oranı %41'dir. Ormanlık alanın yaklaşık %20'sini kızılçam ormanları oluşturmaktadır. İzmir OİM'nin İzmir OBM içindeki yeri Şekil 2'de gösterilmiştir. İzmir OİM'ye bağlı yedi OİŞ (Buca, Karşıyaka, Menemen, Aliğa, Kemalpaşa, Karabel ve Armutlu) bulunmaktadır (Şekil 3). İzmir OİM yangına hassas sahaları belirlemek için geçmiş orman yangını verilerinden yararlanarak bir konumsal risk analizi yapmıştır. Bu analiz sonucu elde edilen yangın yoğunluk haritası Şekil 4'te sunulmuştur. Yangın yoğunluğu yüksek olan alanlarda olası yangınların önlenmesi çalışmalarına ek olarak, yangın sonrası müdahale ve söndürmenin etkin yapılabilmesi için müdahale ekiplerinin konumlarının yeniden planlanması önerilmiştir (İzmir OİM, 2019). Bu kapsamda Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürlüğü ile yapılan görüşmelerde, ormanlık alanların dağınık gruplar halinde olması ve yapılandırma faaliyetlerinin Aliğa OİŞ'den başlayacak olması sebebiyle, çalışmanın bu bölgede yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2. İzmir OBM'ye bağlı işletme müdürlükleri (İzmir OBM, 2023)



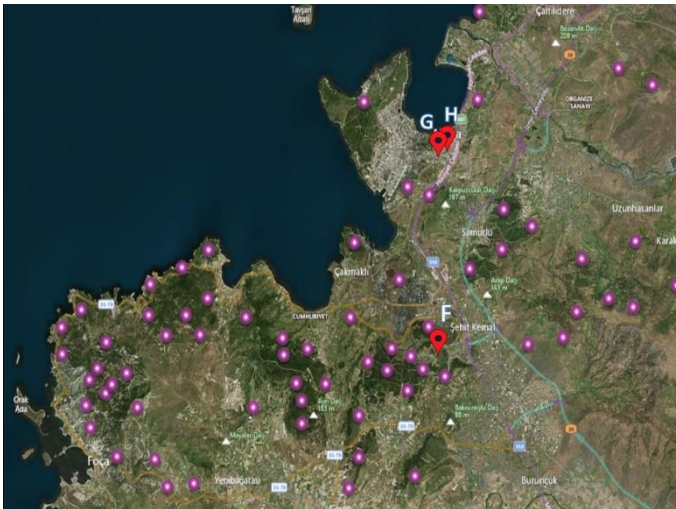
Şekil 3. İzmir OİM'ye bağlı işletme şeflikleri (İzmir OİM, 2019)



Şekil 4. İzmir Orman İşletme Müdürlüğü geçmiş yangın yoğunluk haritası (İzmir OİŞ, 2019)

2.2 Mevcut durum analizi

Aliağa OİŞ içerisinde üç ilk müdahale ekibi bulunmaktadır. Bu ekiplerin yaklaşık yerleri Şekil 5'te kırmızı renkli işaretler (F, G ve H) ile gösterilmiştir. Hedef noktaların belirlenmesinde meşcere haritasındaki bölmelerden yararlanılmıştır. Birbirine komşu üç bölme birleştirilerek bir orman bölgesi elde edilmiştir. Bu sayede uygulama alanı 66 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerin orta noktaları hedef noktalar olarak alınmıştır. Hedef noktaların yerleri Şekil 2'deki harita üzerinde mor renkli işaretler ile gösterilmiştir.



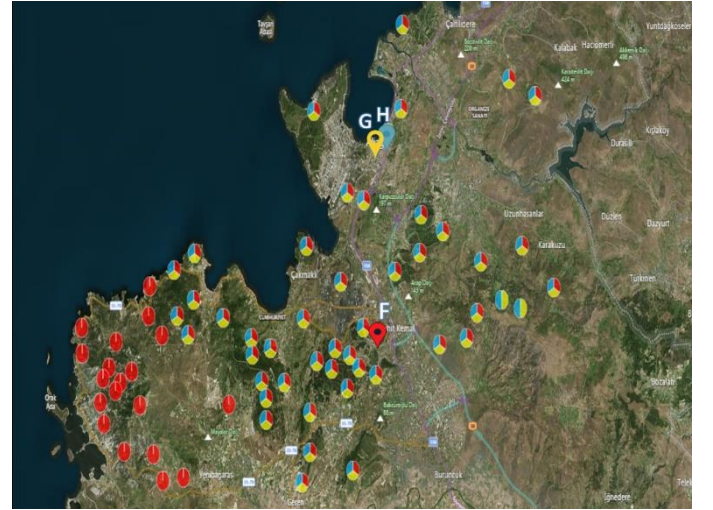
Şekil 5. Aliağa Orman İşletme Şefliğine bağlı ilk müdahale ekip yerleri ve hedef noktalar

İlk müdahale ekipleri ve hedef noktalar arasındaki uzaklıklar (d_{ij}) Google Haritalar ve T.C. Cumhurbaşkanlığı Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri (ATLAS) kullanılarak yol mesafesi olarak ölçülmüştür. Orman Yangınlarıyla Mücadele Şube Müdürlüğü çalışanlarına danışılarak ilk müdahale ekiplerinin ortalama hızının 80 km/s olduğu varsayılmıştır. Buna göre, mevcut ilk müdahale ekip yerinden hedef noktalara en kısa zamanda ulaşma süreleri (t_i) Denklem (1)'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$t_i = 60 \times \frac{\min(d_{ij})}{80} \quad (1)$$

Denklem (1)'de t_i hedef noktaya en yakın ilk müdahale ekip yerinden ulaşma süresini, J_c mevcut ile müdahale ekip yerlerinin kümesini, d_{ij} ise i hedef noktası ile j ilk müdahale ekip yeri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Mevcut durumdaki ortalama ilk müdahale süresinin 11,3 dakika, maksimum ilk müdahale süresinin 24,5 dakika olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6'da mevcut ilk müdahale ekiplerinin 24,5 dakikada ulaşabileceği hedef noktalar gösterilmiştir. Hedef noktaları gösteren daireler içindeki renkler bu bölgelere 24,5 dakika ve daha az sürede ulaşabilecek ekip bilgilerini vermektedir. F, G ve H ekipleri için sırasıyla kırmızı, sarı ve mavi renkler kullanılmıştır. Örneğin, batıda kırmızı renkli dairelerle işaretlenmiş hedef noktalara 24,5 dakika içerisinde sadece F ekibi tarafından ulaşılabilir. İçerisinde üç rengin de bulunduğu dairelerle temsil edilen hedef noktalara ise 24,5 dakika içerisinde tüm ekipler tarafından ulaşılabilir.



Şekil 6. Mevcut ilk müdahale ekip yerlerinden 24,5 dakika içerisinde ulaşabilecek hedef noktalar

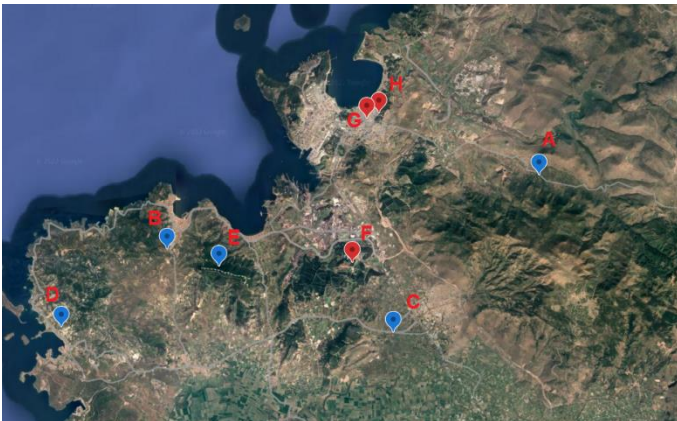
OGM'nin stratejik planında ilk müdahale süresinin 2023 yılında 13 dakikaya indirilmesi hedeflenmiştir (OGM, 2019). 2022 yılında bu hedef aşılarak ilk müdahale süresi 11 dakikaya indirilmiştir (Şekil 1). Fakat, hesaplanan maksimum ilk müdahale süresinin bu değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. Bu nedenle Aliağa OİŞ'ye bağlı ilk müdahale ekipleri için yeni bir yerleşim planına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3 İlk müdahale ekipleri için aday yerlerin belirlenmesi

Bu çalışmada ilk müdahale süresi bir hedef olarak alınmış ve orman alanındaki tüm bölgelere bu hedef sürede ulaşılabilecek şekilde ilk müdahale ekip yerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu düşünceden hareketle ele alınan problem bir küme kapsama problemi olarak modellenmiştir. Küme kapsama modelinin oluşturulabilmesi için öncelikle aday ekip yerleri belirlenmelidir. Bu kapsamda İzmir OİM Orman Yangınlarıyla Mücadele şube Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucu aday ekip yerlerinin seçimi için önemli olan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler aşağıda açıklanmıştır:

- Mevcut Ekip Yerlerine Uzaklık: Yeni ekiplerin kapsama alanının, var olan ekiplerin kapsama alanından farklı olması için aralarında belirli bir mesafe olması istenmektedir.
- Ana Yollara Uzaklık: Ekipler müdahale sırasında anayolların yanı sıra tali yolları ve köy yollarını da kullanabilmektedir. Fakat ekiplerin yangın bölgesine hızlı bir şekilde müdahale edebilmeleri için ekip yerlerinin ana yollara yakın olması gerekmektedir.
- Hektar Başına Düşen Orman Yoğunluğu: Ekip yerlerinin, orman yoğunluğunun fazla olduğu bölgelere olabildiğince yakın olması istenmektedir.
- Geçmiş Yıllardaki Yangın Yoğunluğu: Geçmiş yıllardaki yangın çıkış noktalarına bakılarak ekiplerin bu bölgelere yakın olması istenmektedir.
- Potansiyel Yangın şiddeti: Ekiplerin, potansiyel yangın şiddetinin yüksek olduğu bölgelere yakın olması istenmektedir. Bu kriterin değerlendirilmesinde İzmir OİM potansiyel yangın şiddeti haritasından yararlanılmıştır.
- Alanın Yapısı: Ekip yeri olarak belirlenecek alanın inşaat yapımına uygun olması istenmektedir.
- Alanın Maliyeti: Ekip yeri olarak belirlenecek alanın maliyeti düşük olması istenmektedir.

Orman Yangınlarıyla Mücadele şube Müdürlüğü çalışanlarına danışılarak yukarıdaki kriterler doğrultusunda yeni ilk müdahale ekipleri için beş aday yer belirlenmiştir. Bu aday yerlerin yaklaşık konumları şekil 7'de mavi renkli işaretler (A, B, C, D ve E) ile gösterilmiştir. Kırmızı renkli işaretler ile gösterilen mevcut ekip yerleri de aday yerler olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak toplamda sekiz aday ekip yeri belirlenmiştir.



şekil 7. Aday ilk müdahale ekip yerlerinin yaklaşık konumları

Aday ekip yerleri ve hedef noktalar arasındaki uzaklıklar Google Haritalar ve ATLAS kullanılarak yol mesafesi olarak llmştir. Bu uzaklıklar varsayılan hız olan 80 km/s'e bölünerek aday ekip yerlerinden hedef noktalara ulaşılma süreleri hesaplanmıştır. Bir aday ekip yerinden bir hedef noktaya ulaşım süresi hedef ilk müdahale sresinden kk ya da eşit olması bu aday yerin ilgili hedef noktayı kapsadığı anlamına gelir. Her hedef nokta - aday ekip yeri ikilisi (i, j) için kapsama bilgisi 0-1 değerlerinden oluşan bir kapsama matrisinde (a_{ij}) tutulmuştur. Eğer j aday ekip yeri i hedef noktasını kapsıyorsa $a_{ij} = 1$, aksi halde $a_{ij} = 0$ 'dir.

2.4 İlk müdahale ekip yerlerinin belirlenmesi

Küme kapsama problemi belirli bir kapsama uzaklığı kısıtı altında tüm bölgelerin kapsanması için gerekli minimum tesis sayısını bulmayı amaçlar (Daskin, 2013). Orman yangınları ile mücadele alanında küme kapsama tabanlı modeller geliştiren birkaç çalışma bulunmaktadır. Rashidi et al. (2017) ormanlık alanlarının yangına hassasiyet derecelerinin analizinde en ktu durum senaryolarının oluşturulması için bir matematiksel model önermişlerdir. Bu model kapsama temelli bir model olup ormana maksimum zararı verebilecek yangın başlama noktalarını belirler. Minas et al. (2015) yanıcı madde yönetimi ve yangına müdahale hazırlığının bütünleşik planlaması için bir matematiksel model önermişlerdir. Bu modelde yangına müdahalede kullanılan kaynakların orman alanına erişimi kapsama temelli bir yaklaşım ile modellenmiştir. Bao et al. (2015) yangın gözetleme kulelerinin yerlerini belirlemek için üç kapsama modeli geliştirmişlerdir. Birinci model tüm ormanlık alanı kapsayacak şekilde kule sayısının minimizasyonunu, ikinci model belirli bir bütçe kısıtı altında kapsanan alanın maksimizasyonunu, nc model ise minimum maliyetle maksimum kapsamayı amaçlamaktadır. Zeferino (2020) havadan müdahale kaynaklarının yerlerini belirlemek için bir matematiksel model geliştirmiştir. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu hem ilk müdahale hem de ve büyük yangınlara müdahale durumlarında havadan kapsanan alanların beklenen değerini maksimize etmektedir. Maraş et al. (2023) Milas-Muğla bölgesinde heliportların yerlerini belirlemek için iki kapsama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelleri kullanarak tüm orman sahasının kapsanması için gerekli minimum sayıda heliportun yerlerini belirlemişlerdir. Geliştirilen modellerden ilki helikopterlerin ilk müdahale operasyonlarını dikkate almaktadır. İkinci modelde ise büyük yangınlarda helikopterler tarafından kullanılacak yangın havuzlarının yerleri seçim kararı da modele dahil edilmiştir.

Bu alışma kapsamında ilk müdahale ekiplerinin yerlerinin belirlenmesi için iki model önerilmiştir. Bu modeller M1 ve M2 olarak adlandırılmıştır. İki modelin de birincil amaı tüm orman bölgelerine hedeflenen süre içinde müdahale edilmesini sağlayan minimum ekip sayısının bulunmasıdır. M1'in ikinci amaı mevcut ekiplerin yerlerinin olabildiğince az değiştirilmesidir. M2'nin ikinci amaı ise hedef süre içerisinde birden fazla ekip yerinden ulaşılabilir hedef nokta sayısının maksimize edilmesidir. M1 ve M2 aşağıda açıklanmıştır:

Kümeler:

I : Hedef noktaların kümesi

J_c : Mevcut ekip yerlerinin kümesi

J_n : Aday ekip yerlerinin kümesi

J : Tüm ekip yerlerinin kümesi ($J = J_c \cup J_n$)

Parametreler:

a_{ij} : $i \in I$ hedef noktasına $j \in J$ ekip yerinden hedef ilk müdahale süresi içinde ulaşılabilirse 1, aksi halde 0

ε : küçük bir sayı

Karar değişkenleri:

X_j : $j \in J$ ekip yeri olarak seçilmişse 1, aksi halde 0

S_i : $i \in I$ hedef noktasına birden fazla ekip tarafından hedef ilk müdahale süresi içinde ulaşılabilirse 1, aksi halde 0

M1:

$$\text{Min} \sum_{j \in J_c} X_j + (1 + \varepsilon) \sum_{j \in J_n} X_j \quad (1)$$

Öyle ki

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

M1'in amaç fonksiyonunun (2) birinci terimi ilk müdahale ekibi sayısını minimize ederken ikinci terimi mevcut ekip yerlerinin olabildiğince az değiştirilmesini sağlar. $\varepsilon < 1/|J_n|$ olduğunda bu amaç fonksiyonu minimum ekip sayısını verir (Daskin, 2013). Kısıt (3) her $i \in I$ hedef noktasına hedef ilk müdahale süresi içinde müdahale edebilecek en az bir ekibin olmasını sağlar. Kısıt (4) karar değişkenlerinin 0 veya 1 tam sayısı değerini alabileceğini ifade eder.

M2:

$$\text{Min} (|I| + 1) \sum_{j \in J} X_j - \sum_{i \in I} S_i \quad (1)$$

Öyle ki

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_j - S_i \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$S_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (4)$$

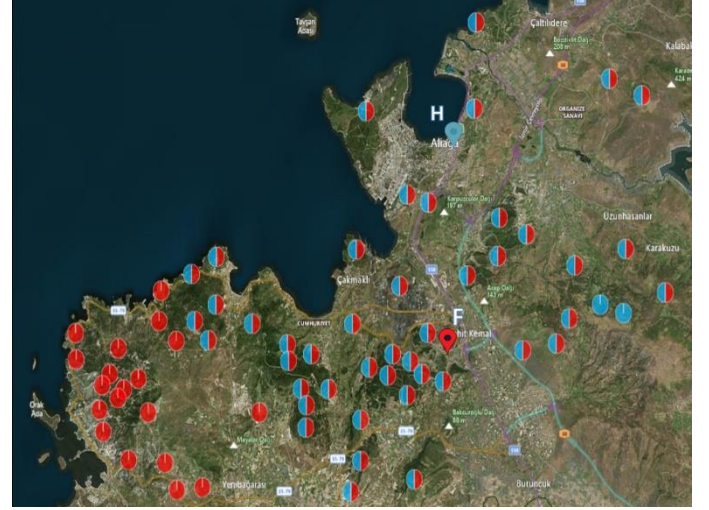
M2'nin amaç fonksiyonunun (5) birinci terimi ekip sayısını minimize ederken ikinci terimi hedef süre içerisinde birden fazla ekip tarafından ulaşılabilir durumda olan hedef nokta sayısını maksimize etmektedir. Bu amaç fonksiyonu ilk terimin katsayısı $(|I| + 1)$ olduğunda minimum ekip sayısını verir (Daskin ve Stern, 1981). Kısıt (6) her $i \in I$ hedef noktasına hedef süre içinde müdahale edebilecek en az bir ekibin olmasını garanti eder. Karar değişkenlerinin yapısı (7) ve (8) numaralı kısıtlarda tanımlanmıştır.

3. Bulgular

Bu çalışmada öncelikle mevcut ilk müdahale süresini hedef değer olarak belirleyerek mevcut ilk müdahale ekiplerinin yeri önerilen modeller kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra hedef ilk müdahale süresinin 12 dakikaya düşürülmesi durumunda gerekli ilk müdahale ekibi sayısı ve bu ekiplerin yerleri belirlenmiştir. Son olarak hedef ilk müdahale süresinin gerekli ekip sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm analizlerde modeller Matlab üzerinden Gurobi 9.5.1 ile çözülmüştür. İki model için de çözüm süreleri bir saniyenin altındadır.

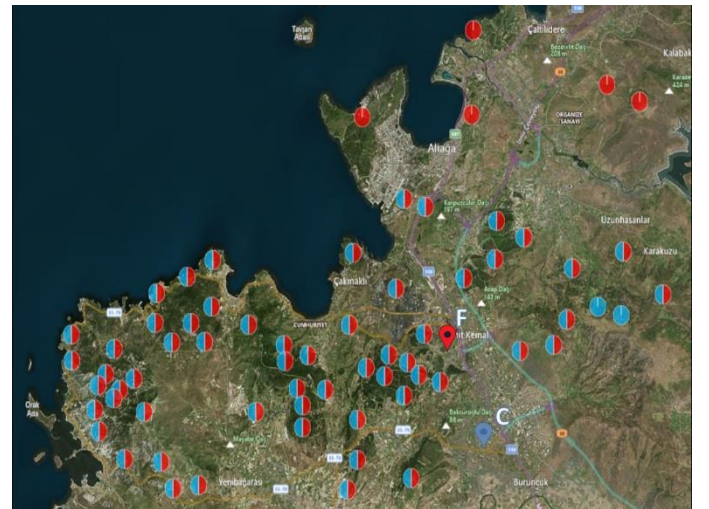
3.1 Mevcut ekip yerlerinin değerlendirilmesi

Bu bölümde mevcut ilk müdahale ekiplerinin yerleri M1 ve M2 modelleri ile değerlendirilmiştir. Bu modellerde hedef ilk müdahale süresi mevcut durumdaki ilk müdahale süresi olan 24,5 dakika olarak belirlenmiştir. M1'den elde edilen sonuçlara göre F ve H ekip yerleri açık kalmış, G ekip yeri ise kapatılmıştır (Şekil 8). Önerilen modeller ekip sayısını minimize etmeyi amaçladığı için birbirine çok yakın olan G ve H ekip yerlerinden birinin kapatılması beklenen bir durumdur.



Şekil 8. Mevcut hedef ilk müdahale süresi (24,5 dk) kısıtı altında M1 modeli ile elde edilen ekip yerleşimi

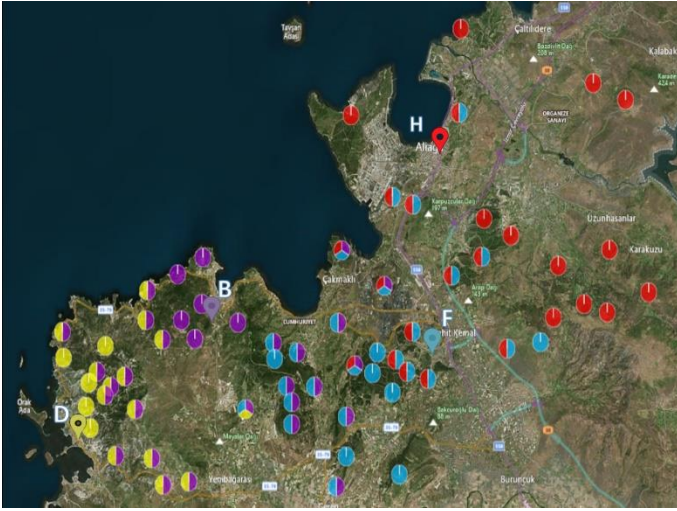
Aynı hedef süre kısıtı (24,5 dakika) altında problem M2 modeli ile çözüldüğünde G ve H ekip yerlerinin kapatılırken C ekip yerinin açıldığı görülmüştür (Şekil 9). M2'nin ikincil amacı hedef süre içinde birden fazla ekip yerinden ulaşılabilir olan hedef nokta sayısının maksimizasyonudur. Şekil 8 ve 9 karşılaştırıldığında M2 modeli ile elde edilen çözümde hedef ilk müdahale süresi içinde birden fazla ekip tarafından ulaşılabilir hedef nokta sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan hareketle G ve H ekip yerlerinin kapatılarak C yerine taşınması daha güvenli bir yerleşim alternatifi olarak önerilebilir.



Şekil 9. Mevcut hedef ilk müdahale süresi (24,5 dk) kısıtı altında M2 modeli ile elde edilen ekip yerleşimi

3.2 Önerilen ekip yerleşimi

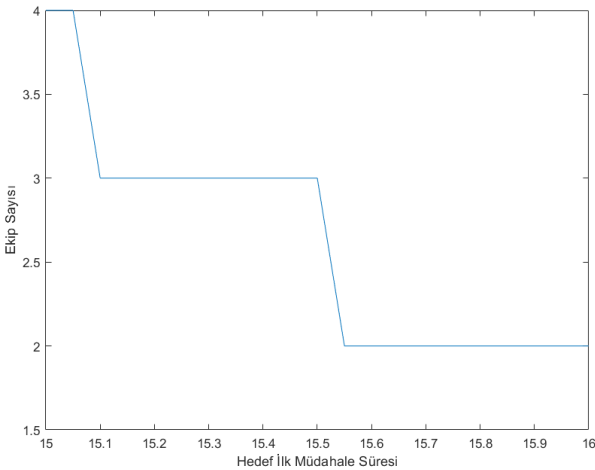
OGM stratejik planında ilk müdahale süresinin 2023 yılında 13 dakikaya indirilmesi hedeflenmiştir (OGM, 2019). Bu hedef doğrultusunda ilk müdahale ekiplerinin sayısının ve yerlerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Orman yangının tespiti ve müdahale kararının verilmesi için bir dakikalık tolerans süresini göz önüne alarak hedef ilk müdahale süresi 12 dakika olarak belirlenmiş ve yerleşim problemi tüm aday ekip yerleri dikkate alınarak *M1* ve *M2* modelleri çözülmüştür. *M1*'den elde edilen sonuçlara göre F ve H ekip yerine ek olarak B ve D ekip yerleri açılmıştır. G ekip yeri ise kapatılmıştır. *M2*'den de aynı sonuç elde edilmiştir. Önerilen ekip yerleşimi Şekil 10'da harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 10. Hedef ilk müdahale süresinin 12 dakika olması durumunda önerilen ekip yerleşimi

3.3 Hedef ilk müdahale süresinin ekip sayısına etkisi

Hedef ilk müdahale süresinin kısaltılması için daha fazla ilk müdahale ekibi gerekmektedir. Bu bölümde hedef ilk müdahale süresi ile ekip sayısı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunun için her defasında hedef süreyi 0,05 dakika artırarak *M1* ve *M2* modelleri çözülmüştür. *M1* için elde edilen sonuçlar Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Hedef ilk müdahale süresinin ekip sayısına etkisi

Sonuçlara göre iki ilk müdahale ekibi ile hedef süre 15,55 dakikaya kadar düşürülebilmektedir. Hedef sürenin 15,1 ile 15,5 dakika arasında olması durumunda üç ekip gerekmektedir. 15,1 dakikanın altındaki hedef sürelerle ise ancak dört ekip ile ulaşılabilmektedir.

Bu analiz *M2* modeli için de yapılmış ve aynı sonuçlar elde edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Mevcut ilk müdahale ekip yerleri önerilen modeller ile değerlendirildiğinde bu ekip yerlerinin mevcut hedef ilk müdahale süresini (24,5 dakika) gerçekleştirmeye uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Modellerin amacı ekip sayısını minimize etmek olduğu için elde edilen çözümlerde birbirlerine çok yakın konumda bulunan G ve H ekip yerlerinden biri kapatılmış ve ekip sayısı ikiye düşürülmüştür. Diğer yandan, *M2* modelinde birden fazla ekip tarafından müdahale edilebilir bölge sayısını arttırmak için G ve H ekip yerleri kapatılıp C yerine taşınmıştır. Bu çözüm *M1* modelinin çözümü ile aynı ekip sayısını vermiş fakat daha az riskli bir alternatif çözüm olarak değerlendirilebilir.

Hedef ilk müdahale süresinin 12 dakikaya indirilmesi durumunda tüm hedef noktaların kapsanması için dört ekip gerekmektedir. Bu koşul altında *M1* ve *M2* modellerinden elde edilen çözümler birbirinin aynıdır. Belirlenen ekip yerlerinden ikisinin mevcut ekip yerleri olduğu görülmüştür. Bu analize ek olarak hedef müdahale süresinin açılacak ekip sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ekip sayısının üçe çıkarılmasının hedef sürenin kısaltılmasında kısıtlı bir etkisi bulunmaktadır. Hedef sürenin 15 dakika ve altına düşürülebilmesi için dört ekibe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle Aliğa OİŞ'nin B ve D konumlarında iki yeni ekip yeri kurmak için bir yatırım planlaması yapması önerilmektedir.

İlgili literatürdeki ilk müdahale ekibi yerleşim planlaması çalışmalarında alternatif yerleşimler en kısa yol algoritmaları kullanılarak değerlendirilmekte ve ilk müdahale süreleri en aza indirilmeye çalışılmaktadır (Sepetçi, 2014; Akay et al., 2018; Akay et al. 2020). Bu kapsamda alternatif yerleşim planlarının oluşturulmasında uygun bir deney tasarımı yapmak kritik bir önem taşımaktadır. Deney tasarımının uygun olmaması durumunda optimum yerleşim alternatifi belirlenen yerleşim alternatifleri arasında yer almayabilir. Bu durum optimum yerleşimin gözden kaçırılmasına neden olabilir. Bu çalışmada önerilen modeller ise hedef ilk müdahale süresini bir girdi olarak kullanır ve bu hedefi karşılayacak minimum ekip sayısını verir. Böylece ilk müdahale süresi hedefi doğrultusunda optimum ekip sayısı ve bu ekiplerin yerleşimi elde edilir. Buna ek olarak, modellerin amaç fonksiyonlarında yapılacak küçük değişikliklerle uygulayıcıların ihtiyaçlarına uygun optimum çözümler elde edilebilir. Örneğin, bütçenin kısıtlı olması durumunda *M1* modeli kullanılarak mevcut ekip yerlerinin olabildiğince değiştirilmemesi sağlanabilir. Diğer yandan *M2* modeli ile birden fazla ekip tarafından ulaşılabılır orman sahaları arttırılarak ilk müdahale başarı olasılığı arttırılabilir.

Teşekkür

Yazarlar başta Saki Çelik olmak üzere İzmir Orman İşletme Müdürlüğü Orman Yangınlarıyla Mücadele şube Müdürlüğü çalışanlarına değerli yorumları ve önerileri için teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akay, A.E., Doucas, K., Erdaş, O., Oğuz, H., Sivrikaya, F. 2012a. Using GIS Techniques to Determine Fire Protection Zones Considering Forest Road Network. 4th International Symposium FORMEC 2012., 8 – 12 Ekim 2022, Dubrovnik, Hırvatistan, pp. 7.
- Akay, A. E., Erdoğan, A. Taş, İ. 2020. Assessment of firefighting teams by using gis-based network analysis method: A case of Yayla Forest in Turkey, Turkish Journal of Forest Science, 4(2), 424-435.
- Akay, A. E., Karas, I. R., Kahraman, I. 2018. Determining the locations of potential firefighting teams by using GIS techniques. International Conference On Geomatic & Geospatial Technology (Ggt 2018): Geospatial And Disaster Risk Management. Copernicus Gesellschaft Mbh.
- Akay, A. E., Wing, M. G., Sivrikaya, F., Sakar, D. 2012b. 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, 1391-1407.
- Ateşoğlu, A., Melemez, K., Uğur, B. 2016. Orman yangınına hassas bölgelerde arazöz ile müdahale oranının belirlenmesi (Bartın Orman İşletmesi örneği). Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 16(2), 132-143.
- Avcı, M., Korkmaz, M. 2021. Türkiye’de orman yangını sorunu: Güncel bazı konular üzerine değerlendirmeler. Türkiye Ormancılık Dergisi, 22(3), 229-240.
- Ayanoğlu, S., Dölarıslan, M., Gül, E. 2017. Sadece bir yangın mı? Ekolojik ve sosyo-ekonomik açıdan orman yangınları. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 10(2), 32-35.
- Aydin-Kandemir, F., Demir, N. 2023. 2021 Turkey Mega Forest Fires: Biodiversity measurements of the IUCN Red List wildlife mammals in Sentinel-2 based burned areas. Advances in Space Research, 71(7), 3060-3075.
- 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.
- Daskin, M. S. (2013). Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. 2. Baskı, John Wiley & Sons.
- Daskin, M. S., Stern, E. H. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. Transportation Science, 15(2), 137-152.
- Davey, S. M., Sarre, A. 2020. The 2019/20 Black Summer bushfires. Australian Forestry, 83(2), 47-51.
- Haight, R. G., Fried, J. S. 2007. Deploying wildland fire suppression resources with a scenario-based standard response model. INFOR: Information Systems and Operational Research, 45(1), 31-39.
- İlemin, Y. 2021. Mortality Record of Caracal and Habitat Loss for Wildcat, Depending on Catastrophic Wildfires of Year 2021 in Southwestern Turkey. Biology Bulletin, 48(2), 92-95.
- İzmir Orman Bölge Müdürlüğü, 2023. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü Haritası, <https://izmirobm.ogm.gov.tr/SiteAssets/Sayfalar/Forms/EdiForm/B%C3%B6lge3.png> (Son erişim: 11 Nisan 2023).
- İzmir Orman İşletme Müdürlüğü, 2019. Yangın yönetim planı (2019 – 2023). <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/Pages/Yangin-Yonetim-Planlari.aspx> (Son erişim: 11 Nisan 2023).
- Kemer, N. 2022. Orman Yangınları ve Sonrası: Orman Ekosistem Restorasyonu. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (33), 373-381.
- Maraş, E. E., Dönmez, K., Emecen, Y. 2023. GIS-Based Determination of the Optimal Heliport and Water Source Locations for Forest Fire Suppression Using Multi-Objective Programming. Aerospace, 10(3), 305.
- Mınas, J., Hearne, J., Martell, D. 2015. An integrated optimization model for fuel management and fire suppression preparedness planning. Annals of operations Research, 232, 201-215.
- Orman Genel Müdürlüğü, 2019. Orman Genel Müdürlüğü Stratejik Plan (2019-2023) <https://www.ogm.gov.tr/tr/stratejik-plan> (Son Erişim: 3 Mart 2023).
- Orman Genel Müdürlüğü, 2022. Orman Genel Müdürlüğü 2021 Yılı Faaliyet Raporu. <https://www.ogm.gov.tr/tr/faaliyet-raporu> (Son Erişim: 3 Mart 2023).
- Orman Genel Müdürlüğü, 2023. Orman Yangınlarının Önlenmesi ve Söndürülmesinde Uygulama Esasları (285 Sayılı Tebliğ), <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/mevzuat/tebligler> (Son Erişim: 11 Nisan 2023).
- Rashidi, E., Medal, H., Gordon, J., Grala, R., Varner, M. 2017. A maximal covering location-based model for analyzing the vulnerability of landscapes to wildfires: Assessing the worst-case scenario. European Journal of Operational Research, 258(3), 1095-1105.
- Rashidi, E., Medal, H., Hoskins, A. 2018. An attacker-defender model for analyzing the vulnerability of initial attack in wildfire suppression. Naval Research Logistics (NRL), 65(2), 120-134.
- Rodrigues, M., Alcasena, F., Vega-García, C. 2019. Modeling initial attack success of wildfire suppression in Catalonia, Spain. Science of the total environment, 666, 915-927.
- Sepetçi, V. 2014. Coğrafî bilgi sistemi yardımıyla orman yangınlarına ilk müdahale sürelerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Zeferino, J. A. 2020. Optimizing the location of aerial resources to combat wildfires: a case study of Portugal. Natural Hazards, 100(3), 1195-1213.