

## İzmir'deki Yangın Vakalarının Makro ve Mikro Ölçekte Analizi

Mustafa Serdar KONCA<sup>1\*</sup>, Berk Tolga ÇİFTÇİ<sup>2\*\*</sup> ve Nihan ÖZBALAN<sup>3\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bakırçay Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bakırçay Üniversitesi, Türkiye

<sup>3</sup>Bilgisayar Mühendisliği/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bakırçay Üniversitesi, Türkiye

\*6053007@bakircay.edu.tr

\*\*6053027@bakircay.edu.tr

\*\*\*nihan.ozbaltan@bakircay.edu.tr

(Received: 05 February 2026, Accepted: 15 February 2026)

(7th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2026, February 06-07, 2026)

**ATIF/REFERENCE:** Konca, M. S., Çiftçi, B. T. & Özbaltan, N. (2026). İzmir'deki Yangın Vakalarının Makro ve Mikro Ölçekte Analizi, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 10(2), 80-102.

**Özet** – Yangın riskinin kent ölçeğinde yalnızca kaç olayın gerçekleştiğiyle değil, bu olayların hangi zamanlarda ve nerelerde yoğunlaştığı ile operasyonel düzeyde nasıl seyrettiğinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, İzmir Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı'ndan elde edilen yangın vakalarını makro ve mikro ölçekte incelemektedir. Makro analiz riskin nerede ve ne zaman yoğunlaştığını meteorolojik bağlamı da dahil ederek; mikro analiz aynı yoğunlaşmanın olay türü, nedeni, müdahale sonucu ve operasyonel yük düzeyinde nasıl biçimlendiğini göstermektedir. Makro ölçekte, yangın sayısı için keşifsel analizler ve Negatif Binom regresyonu uygulanmıştır. Mikro ölçekte, yangın zamanı, türü, nedeni ve kaynak kullanımı gibi özellikler zaman serileri, ısı haritaları ve grafiklerle analiz edilmiştir. Makro ölçekli bulgular, yangın olaylarının yıl boyunca homojen bir şekilde dağılmadığını ve yaz aylarında belirgin bir artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. İlçe bazlı sabit etkiler, meteorolojik koşullar ve mevsimsellik kontrol edildikten sonra bile devam eden belirgin bir mekansal heterojenliği ortaya koymaktadır. Meteorolojik değişkenler arasında yalnızca bağıl nem istatistiksel olarak anlamlı olup, daha yüksek nem seviyeleri beklenen yangın sayılarında önemli bir azalma ile ilişkilidir. Mikro ölçekli sonuçlar, yangın olaylarının büyük ölçüde insan kaynaklı nedenler etrafında yoğunlaştığını; İzmir, Los Angeles ve New York kentleri için yapılan karşılaştırmalı analizlerde müdahale süreçlerinin günün belirli saatlerinde belirginleştiğini göstermektedir. Mikro ölçekte gözlemlenen ilçe düzeyindeki mekansal ve zamansal örüntüler, makro düzeyde yüksek yangın hacimleri sergileyen ilçelerle ve aylarla yakından örtüşmektedir. Sonuç olarak, makro ve mikro ölçekli bulgular birbirini tamamlayıcı ve karşılıklı olarak güçlendirici olup, İzmir'deki yangın riskinin analitik ölçekler boyunca devam eden sağlam zamansal ve mekansal örüntüler ürettiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Kentsel yangın riski, Negatif Binom regresyonu, Mekânsal-zamansal analiz, Keşifsel veri analizi, Çok ölçekli yangın riski analizi

### I. GİRİŞ

Kentsel alanlarda meydana gelen yangın ve acil durum vakaları, yalnızca olay sayılarıyla değil; bu olayların hangi meteorolojik koşullarda ortaya çıktığı, mekansal olarak nasıl yoğunlaştığı ve müdahale sürecinin operasyonel sonuçları ile birlikte ele alındığında anlamlı bir bütün oluşturmaktadır. Özellikle

büyükşehir ölçeğinde, mevsimsellik, meteorolojik değişkenler ve yerleşim yoğunluğu gibi faktörler olay oluşum riskini belirlerken; olay anındaki müdahale süresi ve kullanılan kaynaklar bu riskin pratik sonuçlarını şekillendirmektedir. Bu çalışma, itfaiye müdahalelerine ilişkin kurumsal kayıtları mekansal-zamansal ve meteorolojik risk örüntüleri ile olay düzeyi operasyonel dinamikler ve sonuçlar olmak üzere iki tamamlayıcı çözünürlükte ele alarak, kentsel yangın ve acil durum olgusunu bütüncül bir analitik çerçevede içinde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, yalnızca “nerede ve ne zaman daha fazla olay yaşandığı” değil, aynı zamanda “bu olaylar gerçekleştiğinde müdahalenin nasıl bir operasyonel yük ve sonuç ürettiği” birlikte değerlendirilerek, kentsel risk yönetimi ve itfaiye kaynak planlamasına yönelik daha kapsamlı bir perspektif sunulması hedeflenmektedir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Kullanılan Veri Setleri

Bu çalışmada kullanılan veriler, İzmir Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı’ndan elde edilen yangın olayları (İzmir İtfaiyesi Yangın Müdahale İstatistiği) ve itfaiye acil müdahale verilerinden (İtfaiye Acil Müdahale Sayıları) oluşmaktadır. Bu kayıtlar, bir yandan olayların zaman, mekân ve meteorolojik koşullar bağlamında şehir ölçeğinde nasıl dağıldığını ortaya koyan bilgiler [1], [2]; diğer yandan ise tekil olaylar düzeyinde müdahale süreci, operasyonel yük ve ortaya çıkan sonuçları ayrıntılı biçimde tanımlayan vaka kayıtlarını içermektedir. Bu iki veri bileşeni, aynı kurumsal süreçlerin tamamlayıcı görünümüleri olarak ele alınmış ve çalışmada makro düzey (olay yoğunluğu ve çevresel bağlam) ile mikro düzey (olay içi operasyonel dinamikler ve sonuçlar) [3] analiz katmanları altında yapılandırılmıştır. Böylece veri tanımı, yalnızca kullanılan değişkenlerin listelenmesiyle sınırlı kalmayıp, her bir katmanın, çalışmanın analitik hedefleri içindeki işlevini açık biçimde yansıtan bütüncül bir çerçevede sunmaktadır.

İtfaiye acil müdahale verilerinden oluşan makro katman veri seti 2017-2025 döneminde toplam 118.429 kayıttan oluşmaktadır. Öznitelikler olarak yıl, ay, kategori, müdahale tipi, müdahale yeri, ilçe, mahalle ve müdahale adedi bulunmaktadır. Veri analizi ve görselleştirme kapsamında ön işleme olarak eksik veriler “bilinmiyor” olarak etiketlenmiş herhangi bir veri temizleme işlemi yapılmamıştır. Analiz kapsamına alınan tarih filtresi (2018-2024 aralığı) sonrası veri seti 108.659 adet kayıt içermektedir. Keşifsel veri analizi ve Negatif Binom regresyonu kapsamına yalnızca yangın vakaları [4], [5] dâhil edilmiş; bu doğrultuda 62.266 yangın kaydı belirlenmiştir. Mekânsal analizlerin yorumlanabilirliğini sağlamak amacıyla, ilçesi “Bilinmiyor” olarak kaydedilmiş 163 yangın vakası analiz dışında bırakılmış ve nihai yangın vaka sayısı 62.103 olarak elde edilmiştir. Ek olarak olay bazlı kayıtlar ilçe–ay–yıl düzeyinde birleştirilmiş; her bir mekânsal ve zamansal kombinasyon için toplam yangın sayısı hesaplanarak makro düzeyde bir analiz veri seti oluşturulmuştur. Bu birleştirme sonucunda, 2018–2024 dönemini kapsayan toplam 2.505 benzersiz ilçe–ay–yıl gözlemi elde edilmiştir.

Mikro katman veri setinde ise İzmir Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı vasıtası ile eriştiğimiz İzmir İtfaiyesi Yangın Müdahale İstatistiği veri seti, İzmir il sınırları içerisinde meydana gelen yangın vakalarına ilişkin operasyonel kayıtları içermektedir. Çalışma kapsamında İzmir İtfaiyesi’ne ait toplam 40.637 yangın müdahale kaydı analiz edilmiştir. Veri seti 1 Ocak 2023 – 31 Ağustos 2025 tarihleri arasındaki olayları kapsamaktadır. Veri setinde yer alan öznitelikler; olay tarihi, yangın türü, yangın sebebi, yangın sonucu, yapı şekli, erkek/kadın/itfaiyeci vefat ve yaralanma sayıları, kullanılan su miktarı ( $m^3$ ), kullanılan kuru kimyevi toz miktarı (kg), ekiplerin çıkış saati, olayın gerçekleştiği ilçe ve adres bölgesi bilgilerini içermektedir. Tüm filtreleme adımları veri ön işleme bölümünde özetlenmiştir [5].

### B. Çok-Katmanlı Analitik Mimari

Bu çalışmada analizler, yangın vakaları ve itfaiye müdahalelerini farklı çözünürlüklerde ele alabilmek amacıyla çok-katmanlı bir analitik mimari çerçevesinde tasarlanmıştır. Makro düzey katman, olay yoğunluğu, mekânsal dağılım ve meteorolojik koşullar gibi desenleri temsil ederken; mikro düzey katman, tekil olaylar üzerinden müdahale süreci, operasyonel yük ve sonuç değişkenlerini içermektedir. Her iki

katman, zaman ve mekân boyutlarını ortak payda olarak paylaşmakta; ancak analiz birimleri ve temsil düzeyleri bakımından ayrılmaktadır.

Analiz süreci, makro ve mikro ölçekte ortak bir metodolojik çerçeve altında yapılandırılmış olup; her iki katmanda da veri ön işleme, değişken türlerine göre dağılımsal inceleme ve görselleştirme temelli keşif adımlarını içermektedir. Bununla birlikte, bu ortak adımlar ölçeğe özgü analitik yaklaşımlarla tamamlanmıştır. Makro ölçekte, keşifsel veri analizi aracılığıyla yangın sayılarının dağılımsal özellikleri ile mekânsal ve zamansal örüntüler incelenmiş [6]; elde edilen bulgular doğrultusunda yangın sıklığını açıklamak üzere Negatif Binom regresyonu kullanılarak sayım temelli istatistiksel modelleme gerçekleştirilmiştir. Model sonuçları, ay ve ilçe sabit etkileri ile meteorolojik değişkenlerin yangın sıklığı üzerindeki görece etkilerini ortaya koymak amacıyla Incidence Rate Ratio (IRR) değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Mikro ölçekte ise istatistiksel bir sayım modeli kurulmamış; bunun yerine olay düzeyindeki verinin doğasına uygun olarak zaman serileri analizi, gün-saat ve ilçe-zaman eksenlerinde yoğunluk desenlerini [7] ortaya koyan görselleştirmeler ve betimleyici analizler uygulanmıştır. Ayrıca kullanılan su miktarı ile yaralanma ve vefat sayıları gibi insani etki göstergeleri, ilçe ve zaman kırılımlarında karşılaştırmalı olarak analiz edilerek, olay sıklığı ile müdahale şiddeti ve kaynak tüketimi arasındaki ilişkiler mikro düzeyde görünür kılınmıştır. Bu çok katmanlı yaklaşım, şehir ölçeğinde yangın riskinin nerede ve ne zaman yoğunlaştığını nicel olarak ortaya koyarken, aynı zamanda bu riskin olay düzeyinde müdahale süreci, operasyonel yük ve sonuçlar bağlamında nasıl biçimlendiğinin birlikte ve tutarlı biçimde değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

### C. Veri Ön İşleme

#### 1) Makro Düzeyde Eksik Değerlerin İşlenmesi

Makro düzeyde yıl, ay, kategori ve müdahale adedi özniteliklerinde eksik değer bulunmamaktadır. Buna karşılık müdahale tipi için 308 (%0,26), ilçe için 314 (%0,27) ve mahalle için 724 (%0,61) eksik gözlem mevcuttur. En yüksek eksik değer oranı müdahale yeri özniteliğinde olup, bu öznitelikte 104.994 eksik kayıt (toplam gözlemlerin yaklaşık %88,6'sı) bulunmaktadır. Çalışmada kategorik değişkenlerde yer alan eksik değerler ayrı bir sınıf şeklinde ele alınmış [8], [9] ve "Bilinmiyor" etiketi ile doldurulmuştur. Kategorik değişkenler için eksik değerlerin en sık görülen kategori ile doldurulması dağılımı yapay olarak bozma riski taşımaktadır [9], [10]. Eksik değere sahip özniteliklerin veri setinden çıkarılması da analiz kapsamını daraltacağından dolayı eksikliklerin ayrı bir kategori olarak korunması, veri bütünlüğünü sağlaması açısından tercih edilmiştir. Kategorik değişkenlerde eksik değerlerin yeni bir kategori olarak kodlanması, eksiklik yapısının modele doğal biçimde yansıtılmasına olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım özellikle müdahale yeri değişkeninde olduğu gibi eksik değer oranının yüksek olduğu durumlarda daha gerçekçi bir temsil sunmaktadır.

#### 2) Mikro Düzeyde Eksik Değerlerin İşlenmesi

Veri setinde bulunan değişkenler eksik değerler açısından değerlendirildiğinde, olayın zamanı ve konumu ile ilgili temel özniteliklerin tamamının eksiksiz, eksik bir satıra sahip olmadığı gözlenmiştir. Bu durum, yangın olaylarına ilişkin temel kayıtların sistematik ve tutarlı bir biçimde tutulduğunu göstermektedir. Eksik değer oranı bakımından dikkat çeken tek değişken "yapı şekli" olup, bu değişkende 32.113 gözlemde (%79,02) bilgi bulunmamaktadır. Ancak bu durum, klasik anlamda bir veri eksikliği olarak değerlendirilmemelidir. Söz konusu kayıtlar, yapı dışı alanlarda (örneğin açık arazi, otluk vb.) meydana gelen yangınlara ait olup, olayın doğası gereği "yapı şekli" bilgisinin kaydedilmemesi söz konusudur. Dolayısıyla bu boşluklar, veri toplama sürecindeki bir ihmalden değil, olayların mekânsal niteliğinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, "yapı şekli" değişkenindeki eksik gözlemler herhangi bir doldurma (imputation) işlemine tabi tutulmadan analiz

sürecinde korunmuştur. Sayısal değişkenler incelendiğinde, “varış süresi (dak.)” değişkeninde 22 gözlemlerde (%0,054) eksik değer bulunduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, “kullanılan su miktarı (m<sup>3</sup>)” değişkeninde 6 gözlem (%0,015) ve “kullanılan kuru kimyevi toz miktarı (kg)” değişkeninde ise yalnızca 1 gözlem (%0,003) eksik değer içermektedir. Bu eksikliklerin tamamının, “varış süresi (dak.)” değişkeninde yer alan 22 eksik gözlemlerle çakıştığı görülmektedir. Veri setinin genel büyüklüğü dikkate alındığında, bu eksik değerlerin ihmal edilebilir düzeyde kaldığı değerlendirilmiştir. Bu nedenle, söz konusu kayıtlar analiz öncesinde veri setinden çıkarılmıştır. Bu tercih, özellikle süre ve miktar gibi değişkenlerde eksik değerlerin tahmin yoluyla doldurulmasının veri dağılımını yapay biçimde bozma ve ölçüm belirsizliğini artırma riskini ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Böylece veri setinin istatistiksel yapısı korunmuş ve gerçekleştirilen analizlerin geçerliliği, mevcut verinin sunduğu bilgi çerçevesinde güçlendirilmiştir.

#### Ç. Makro ve Mikro Düzeyde Ek Veri Setlerinin Entegrasyonu

Bu çalışmada makro ve mikro ölçekte kullanılan özgün veri setleri, analiz hedefleri ve veri çözünürlükleri dikkate alınarak farklı içeriklerle zenginleştirilmiş, ancak bu zenginleştirme süreçleri her bir ölçeğin kendi bağlamı içinde tutulmuştur. Makro ölçekte, itfaiye müdahale kayıtları ilçe–ay–yıl çözünürlüğünde meteorolojik verilerle bütünleştirilerek çevresel koşullara ilişkin genel ve mevsimsel desenlerin ortaya konulması hedeflenmiştir. Mikro ölçekte ise kullanılan ek veri kaynakları (örneğin şehirler arası karşılaştırmalar kapsamında New York ve Los Angeles verileri), olay türleri, müdahale sonuçları ve operasyonel göstergeler bağlamında değerlendirilmiştir. Böylece her bir özgün veri seti, kendi bağlamsal bütünlüğü korunarak zenginleştirilmiş; farklı ölçeklerdeki veri çözünürlükleri arasında yapay veya metodolojik olarak tutarsız eşleştirmelerden kaçınılmıştır. Makro ölçekte elde edilen meteorolojik ve mevsimsel desenler, mikro düzeyde gözlenen zamansal, mekânsal ve operasyonel örüntülerin yorumlanmasında bağlamsal bir referans çerçevesi sunmaktadır. Bu yaklaşım, mikro analizlerde meteorolojik değişkenlerin doğrudan nedensel belirleyiciler olarak kullanılmasından ziyade, risk profillerini açıklayıcı ve yorumlayıcı bir arka plan unsuru olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Böylece çalışma, ölçekler arası tutarlılığı koruyan ve her bir analitik katmanın kendi çözünürlük sınırları içinde anlamlı sonuçlar üretmesini hedefleyen çok katmanlı bir analiz stratejisi sunmaktadır.

##### 1) Makro Düzeyde Meteorolojik Verinin Entegrasyonu

Bu çalışmada itfaiye müdahale kayıtları, çevresel koşulları temsil edebilmek amacıyla harici meteorolojik verilerle zenginleştirilmiştir. Hava durumu bilgileri, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen ERA5 veri setine [11] dayanan ve Open-Meteo platformu üzerinden sunulan bir REST API aracılığıyla elde edilmiştir. İzmir’e ait her ilçe için temsil edici bir enlem–boylam çifti tanımlanmıştır. Bu koordinat yapısı, ilçe isimlerini Open-Meteo API çağrılarında kullanılan coğrafi konumlara dönüştüren temel katmandır. Böylece itfaiye verisinde yer alan her ilçe, meteoroloji veri tarafında belirli bir grid noktasına bağlanmaktadır. İlçe koordinatları; ağırlıklı olarak Wikidata üzerindeki coğrafi konum özelliğinden (P625), gerektiğinde ilgili ilçelerin Wikipedia infobox koordinatlarından ve tamamlayıcı olarak OpenStreetMap/Nominatim sorgu sonuçlarından derlenmiştir. Böylece her ilçe için, idari merkezini temsil eden tek bir referans noktası belirlenmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2, itfaiye müdahale kayıtları veri setinin kapsadığı zaman aralıklarını ve mekânsal dağılımı ayrıntılı biçimde göstermektedir.

Tablo 1 . Yıllara Göre Veri Gelen Aylar

Yıl	Aylar
2017	1-12, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
2018	1-12
2019	1-12
2020	1-12
2021	1-12
2022	1-12
2023	1-12
2024	1-12
2025	1-6

Tablo 2 . Veri Setindeki İlçelerin Tam Listesi

İlçeler	
Aliğa	Kınık
Balçova	Konak
Bayındır	Kiraz
Bayraklı	Menderes
Bergama	Menderes
Beydağ	Menemen
Bornova	Narlidere
Buca	Seferihisar
Dikili	Selçuk
Foça	Torbalı
Gazimir	Tire
Güzelbahçe	Urla
Karabağlar	Çeşme
Karaburun	Çiğli
Karşıyaka	Ödemiş
Kemalpaşa	

Bu bölümde gerçekleştirilen anahtar türetme süreci, hava durumu verilerinin analize dâhil edilebilmesi için gerekli olan zamansal (yıl, ay) ve mekânsal (ilçe) kapsamın açık biçimde tanımlanmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım sayesinde, meteorolojik verinin itfaiye müdahale kayıtlarıyla entegrasyonu sırasında hangi ilçe-ay-yıl kombinasyonlarının kapsandığı ve hangi durumlarda veri eşleşmesinin mümkün olmadığı sistematik olarak belirlenmiştir. ERA5 meteorolojik verisi saatlik çözünürlükte sunulmasına karşın, çalışmanın analitik çerçevesi ilçe-ay-yıl düzeyinde kurgulandığından, meteorolojik değişkenler de bu ölçeğe indirgenmiştir. Bu doğrultuda, her bir ilçe-ay-yıl kombinasyonu hem yangın müdahale verilerini hem de meteorolojik gözlemleri bir araya getiren ortak bir birleşim anahtarı olarak tanımlanmıştır. Böylece, farklı kaynaklardan elde edilen veriler arasında zamansal ve mekânsal tutarlılık sağlanarak, makro düzey analizler için bütüncül ve karşılaştırılabilir bir veri yapısı oluşturulmuştur.

Meteorolojik değişken kümesi ERA5'in saatlik parametreleri üzerinden dört temel büyüklüğü kapsamaktadır: yüzeye yakın yaklaşık 2 metre yükseklikteki hava sıcaklığı, aynı seviyedeki bağıl nem oranı, yerden 10 metre yükseklikteki rüzgâr hızı ve saatlik toplam yağış miktarı. Bu dört değişken, yangın ve acil durum dinamiklerini etkileyen temel çevresel faktörleri temsil eden bir özellik seti olarak düşünülmüş; aylık bazda özetlenerek itfaiye müdahale kayıtları ile ortak yapıda kullanılabilir hâle getirilmiştir. Elde edilen saatlik zaman serileri, her ilçe-ay-yıl birleşimi için tek satırlık bir meteorolojik

özet oluşturacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu kapsamda, ilgili ay boyunca kaydedilen tüm saatlik sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ayın ortalama sıcaklığı hesaplanmıştır; benzer şekilde saatlik bağıl nem ölçümlerinin ortalaması kullanılarak ayın ortalama nem düzeyi elde edilmiştir. Rüzgâr verileri için ay içerisindeki tüm saatlik rüzgâr hızlarının ortalaması hesaplanmış ve böylece ayın ortalama rüzgâr hızı belirlenmiştir. Yağış değişkeninde ise ay boyunca her saat kaydedilen yağış miktarları toplanarak ilgili ayın toplam yağış miktarı elde edilmiştir. Bu işlemler sonucunda, saatlik yüksek çözünürlüklü veri, analizin temel birimi olan aylık ölçekte özetlenmiş [12] tutarlı bir meteorolojik gösterge setine dönüştürülmüştür. Son adımda meteorolojik tablo ile itfaiye veri seti yıl, ay ve ilçe anahtarları üzerinden birleştirilmiştir. Sonuç olarak, makro düzeyde kullanılan nihai veri seti, her müdahale kaydı için hem operasyonel bilgileri (kategori, müdahale tipi, mahalle, müdahale sayısı) hem de aynı dönem ve mekâna ait meteorolojik özet değişkenleri içeren bütünlük bir yapı hâline getirilmiştir.

İtfaiye müdahale kayıtları ile meteorolojik özet değişkenlerin birleştirilmesinden sonra, toplam 118.428 satırlık veri setinin 118.096 satırında ilgili ilçe–ay–yıl kombinasyonu için hava durumu bilgisi başarıyla eşleştirilmiştir. Bu da veri setinin yaklaşık %99,7’sinin sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve toplam yağış bilgileriyle zenginleştirildiği anlamına gelmektedir. Hava verisi bulunmayan 332 satır ise tüm veri setinin yalnızca %0,3’ünü oluşturmaktadır. Eşleşme sağlanamayan kayıtlar incelendiğinde, eksikliğin büyük ölçüde ilçe bilgisinin belirsiz olduğu durumlarda ortaya çıktığı gözlenmiştir. Hava verisi entegrasyonu sonucunda elde edilen nihai veri seti, hem zaman (2017–2025) hem mekân (İzmir ilçeleri) kapsamı bakımından yüksek oranda tamamlanmış bir yapı sergilemekte; meteorolojik değişkenlerin yangın ve acil durum analizlerinde güvenilir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Eksik hava verisine sahip ilçe–ay–yıl kombinasyonları ve bunlara karşılık gelen müdahale kayıt sayıları özet olarak Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 3 . Hava Verisi Eksik Olan Öznitelik Bilgileri

Yıl	Toplam Eksik Değer	Ay	Toplam Eksik Değer	İlçe	Toplam Değer
2017	2	1	31	“Bilinmiyor” etiketi olanlar	332
2018	104	2	20		
2019	37	3	14		
2020	22	4	26		
2021	24	5	17		
2022	31	6	23		
2023	49	7	32		
2024	49	8	28		
2025	14	9	41		
		10	35		
		11	26		
		12	29		

## 2) Mikro Düzeyde Küresel Yangın Veri Setlerinin Entegrasyonu

Bu çalışmanın analitik kapsamını genişletmek ve elde edilen bulguları yalnızca yerel ölçekte değil, uluslararası bir bağlamda da değerlendirebilmek amacıyla, İzmir İtfaiyesi’ne ait yangın müdahale verileri iki büyük küresel metropole ait açık veri setleriyle birlikte ele alınmıştır.

Bu doğrultuda, Los Angeles Fire Department (LAFD) tarafından yayımlanan Response Metrics – Raw Data veri seti ile New York City Fire Department (FDNY) tarafından sunulan Incidents Responded to by Fire Companies veri setleri analiz sürecine dâhil edilmiştir. Her iki veri seti de, itfaiye birimlerinin

müdahale ettiği olayları operasyonel süreçleriyle birlikte, olay bazında ve zaman damgaları içeren yüksek hacimli kayıtlar şeklinde sunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde, müdahale süreleri, zaman içi yoğunluk desenleri ve operasyonel performans göstergelerinin şehirler arası karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır.

LAFD Response Metrics – Raw Data veri seti, Los Angeles İtfaiyesi'nin Computer Aided Dispatch (CAD) altyapısı üzerinden üretilen olay ve birim bazlı operasyonel kayıtları içermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan veri seti yaklaşık 7.2 milyon satır ve çok sayıda kategorik ve zamansal sütundan oluşmaktadır. Her bir satır bir olay ile bu olaya müdahil olan itfaiye birimi arasındaki etkileşimi temsil etmektedir. Veri setinde yer alan başlıca öznitelikler arasında olay çağrı zamanı, birim çıkış zamanı, olay yerine varış zamanı, birim türü ve olay kimliği gibi zaman damgalı değişkenler bulunmaktadır. Bu yapı, çağrının alınmasından sahaya varışa kadar geçen sürecin farklı aşamalarının ayrı ayrı izlenebilmesine olanak tanımakta; özellikle müdahale süresi, çıkış gecikmesi ve varış zamanı dağılımları gibi performans metriklerinin [13] zamansal bazda analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

New York City Fire Department (FDNY) tarafından yayımlanan Incidents Responded to by Fire Companies veri seti, olay bazlı bir kayıt yapısına sahip olup her bir gözlem tekil bir müdahaleyi temsil etmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan veri seti yaklaşık 6 milyon satır içermektedir. Veri seti; olay kimliği, olay türünü tanımlayan açıklama alanı olayın başlangıç zamanı, olay yerine varış zamanı, toplam olay süresi, müdahaleye katılan birim sayısı ve olayın gerçekleştiği idari bölge gibi çok sayıda operasyonel ve zamansal öznitelik içermektedir.

Ek veri setleri üzerinde gerçekleştirilen ön işleme ve öznitelik mühendisliği adımları, İzmir yangın veri seti ile metodolojik tutarlılık ve karşılaştırılabilirlik sağlanması amacıyla kurgulanmıştır. Bu kapsamda, zaman damgaları ortak bir zamansal ölçekte dönüştürülmüş [14], müdahale süresini temsil eden eşdeğer öznitelikler türetilmiş ve farklı raporlama standartlarına sahip olay türleri, şehirler arası karşılaştırmaya olanak verecek biçimde ortak bir üst kategori yapısı altında yeniden sınıflandırılmıştır [15].

Her iki şehir için de müdahale sürecinin zamansal bileşenlerini temsil eden öznitelikler öncelikli olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada karşılaştırmalı analiz için LAFD veri setinde yer alan “time of dispatch (GMT)” ve “on scene time (GMT)” öznitelikleri tercih edilmiştir. Bunun sebebi, İzmir yangın veri setinde yer alan “varış süresi (dak.)” özniteliğinin, ekiplerin sevk edilmesinden olay yerine varışına kadar geçen süreyi temsil etmesi ve bu iki zaman damgasının Los Angeles veri setinde aynı operasyonel anlamı en doğrudan şekilde karşılaşmasıdır. Los Angeles ve New York veri setlerinde yer alan zaman damgaları, dakika cinsinden sayısal değerlere dönüştürülerek müdahale süresini temsil eden ortak bir ölçüt elde edilmiştir. Böylece, farklı raporlama biçimleri ve zaman formatlarından kaynaklanabilecek uyumsuzluklar minimize edilmiştir. Negatif veya mantıksal olarak geçersiz süre değerleri analiz kapsamı dışında bırakılarak, türetilen süre değişkenlerinin güvenilirliği korunmuştur.

Los Angeles veri setine özgü yeni bir öznitelik olarak “dispatch to on scene min” değişkeni oluşturulmuştur. Bu değişken, bir itfaiye biriminin sevk edilmesi ile olay yerine ulaşması arasında geçen süreyi temsil etmekte olup, Formül (1) ile elde edilmiştir:

$$\text{dispatch to on scene min} = \text{On Scene Time (GMT)}_{\text{min}} - \text{Time of Dispatch (GMT)}_{\text{min}}$$

Formül (1). Los Angeles veri setine özgü müdahale süresi değişkeninin hesaplanması

Oluşturulan bu yeni öznitelik, İzmir veri setinde yer alan “varış süresi (dak.)” özniteliği ile eşdeğer bir müdahale süresi göstergesi belirtmiş olmaktadır. FDNY veri seti, İzmir verisiyle zamansal uyumu sağlamak amacıyla 1 Ocak 2023 sonrası döneme filtrelenmiş; hem tarih hem de saat bilgisi ayrıştırılarak gün içi yoğunluk analizleri için “hour” değişkeni oluşturulmuştur.

FDNY veri setinde müdahale süresi, olay bildirimini ilk varış arasındaki farktan dakika cinsinden hesaplanmış, negatif değerler elenmiş ve elde edilen ölçüt İzmir veri setindeki “varış süresi (dak.)” ile doğrudan karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir.

Şehirler arası karşılaştırmalarda bir diğer kritik adım, olay türlerinin ortak bir kavramsal çerçeve altında yeniden sınıflandırılması olmuştur. İzmir, Los Angeles ve New York veri setlerinde olay türleri farklı kodlama şemaları ve terminolojilerle tanımlandığından, bu türler daha üst düzey ve karşılaştırılabilir bir kategori yapısı altında birleştirilmiştir. Bu amaçla, yangın türleri yapı yangınları, araç yangınları, açık alan yangınları, atık/çöp yangınları ve benzeri üst sınıflar altında toplanmış ve her üç şehir için ortak bir “üst kategori” değişkeni oluşturulmuştur. FDNY veri setinde yer alan NFIRS tanımları, bu üst sınıflara karşılık gelecek şekilde oluşturulan eşleme sözlüğü aracılığıyla yeniden kodlanmış; sözlükte doğrudan karşılığı bulunmayan olay türleri ise bilgi kaybını en aza indirmek amacıyla “other fire” kategorisi altında değerlendirilmiştir. Aynı üst kategori yapısı, İzmir veri setine de uygulanarak “yangın türü” değişkeni Türkçe–İngilizce kavramsal eşlemeler üzerinden “üst kategori” alanına dönüştürülmüştür. Böylece farklı şehirlerdeki olay türleri, dil ve raporlama standardı farklarından bağımsız olarak aynı semantik düzeyde temsil edilebilir hâle getirilmiştir. Bu yaklaşım, şehirler arası karşılaştırmalarda detaylı kod farklılıklarının analizi bozmasının önüne geçerken, daha anlamlı ve genellenebilir bulgular elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu bütünleştirici ön işleme ve öznitelik mühendisliği adımları sonucunda, İzmir, Los Angeles ve New York’a ait yangın ve acil durum verileri, operasyonel anlam, zamansal çözünürlük ve kavramsal sınıflandırma bakımından karşılaştırılabilir bir analitik yapıya kavuşturulmuştur. Böylece mikro ölçekte elde edilen bulguların yalnızca yerel dinamikleri değil, farklı metropollerdeki yangın örüntüleriyle olan benzerlik ve ayrışmaları da ortaya koyabilecek bir zemin oluşturulmuştur.

#### D. Makro Düzeyde Keşifsel Analiz

Makro düzeyde gerçekleştirilen keşifsel analizler, ilçe–ay–yıl düzeyinde oluşturulan yangın sayısı değişkeni üzerinden yürütülmüştür. Bu analizlerin temel amacı, makro ölçekte yangın olaylarının dağılımsal özelliklerini incelemek, zamansal ve mekânsal örüntüleri betimlemek ve izleyen istatistiksel modelleme aşaması için uygun bir analitik çerçeve oluşturmaktır. Bu çalışmanın önceki bölümlerinde meteorolojik veriler, ilçe - ay - yıl anahtarları kullanılarak olay bazlı itfaiye kayıtlarıyla bütünleştirildiğinden bahsedilmiştir. Ancak keşifsel analiz ve izleyen sayım modeli uygulamaları için, olay bazlı kayıtların analitik olarak yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yangın vakalarına ait kayıtlar ilçe - ay - yıl düzeyinde birleştirilmiş ve analiz için uygun bir makro temsil oluşturulmuştur. Bu birleştirme (agregasyon) adımı sonucunda, her bir (yıl, ay, ilçe) kombinasyonu için toplam müdahale sayısı hesaplanarak [16] “yangın sayısı” değişkeni (ilgili müdahale adetlerinin toplamı) türetilmiştir. Bu işlem sonucunda 2018–2024 dönemini kapsayan toplam 2.505 adet benzersiz ilçe–ay–yıl kaydı elde edilmiştir. Bu yaklaşım, sayım verisine uygun modelleme yapılmasına olanak tanımaktadır. Aynı adımda, meteorolojik değişkenler (ortalama sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yağış) her bir ilçe–ay–yıl kaydı için medyan değerleri kullanılarak özetlenmiştir [17]. Medyan istatistiği, meteorolojik ölçümlerde gözlenebilecek uç değerlerin etkisini sınırlaması ve daha sağlam bir özetleme sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan ilçe–ay–yıl düzeyindeki veri, makro ölçekte gerçekleştirilen keşifsel analizlerin ve izleyen sayım modeli uygulamalarının doğrudan girdisini oluşturmaktadır. Elde edilen ilçe–ay–yıl yangın sayısı değişkeninin dağılımsal özelliklerini incelemek amacıyla öncelikle ham dağılım görselleştirilmiş; ardından istatistiklerle dağılımının analizi desteklenmiştir.

#### E. Makro Düzeyde Negatif Binom Regresyonu

Makro ölçekte bağımlı değişken, ilçe–ay–yıl düzeyinde gözlenen yangın sayısı olduğundan, modelleme yaklaşımı sayım verilerinin dağılımsal özelliklerine uygun biçimde tasarlanmıştır. Bu kapsamda makro düzeydeki ana model olarak, aşırı saçılımı açık biçimde modelleyebilen Negatif Binom regresyonu tercih edilmiştir [18].

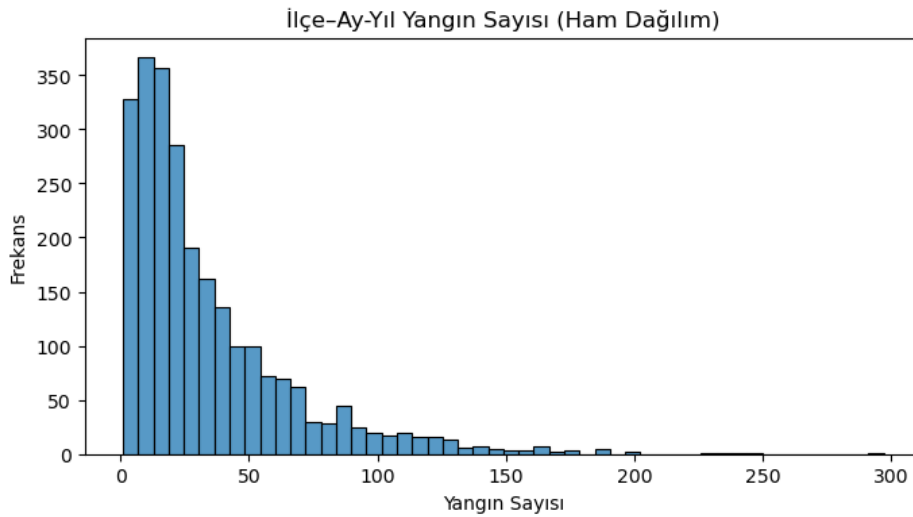
Model, log-bağ (log-link) fonksiyonu altında kurulmuş olup, her bir ilçe–ay–yıl gözlemi için beklenen yangın sayısı, meteorolojik koşullar ve zamansal–mekânsal etkilerle ilişkilendirilmiştir. Bağımsız

değişkenler olarak aylık ortalama sıcaklık, toplam yağış miktarı, ortalama rüzgâr hızı ve ortalama bağıl nem modele dâhil edilmiştir. Mevsimsellik etkilerini kontrol edebilmek amacıyla ay değişkeni sabit etki (fixed effect) olarak modele eklenmiş; ilçeler arası yapısal farklılıkları yakalayabilmek için ilçe değişkeni de sabit etkiler yoluyla temsil edilmiştir. Böylece model, meteorolojik faktörlerin yangın sayıları üzerindeki marjinal etkilerini tahmin ederken, aynı zamanda zamansal (aylık) ve mekânsal (ilçe bazlı) heterojenliği kontrol altına almaktadır. Bu çerçevede kurulan Negatif Binom regresyon modeli, hem keşifsel analizlerde gözlenen aşırı saçılım problemini metodolojik olarak ele almakta hem de yangın riskinin çevresel ve mekânsal belirleyicilerini birlikte değerlendirebilen sağlam bir makro düzey analiz altyapısı sunmaktadır.

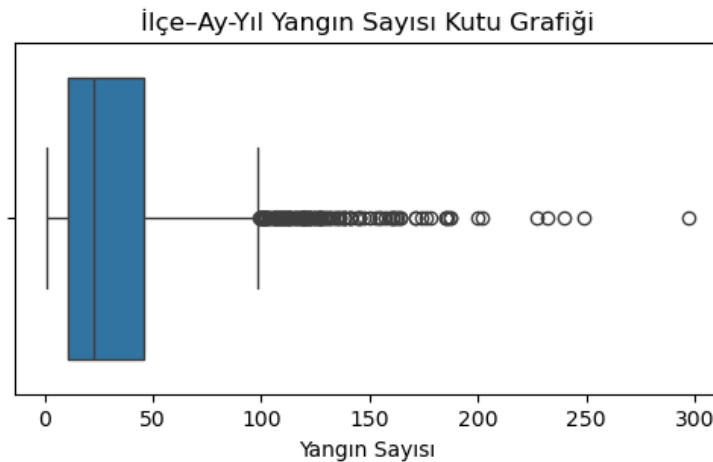
Negatif Binom regresyon modeli, log-bağ fonksiyonu kullanılarak tahmin edildiğinden, model katsayıları ( $\beta$ ) beklenen olay sayısının logaritması üzerindeki etkileri temsil etmektedir. Bu nedenle katsayıların doğrudan yorumlanması yerine, katsayıların üstel dönüşümü alınarak elde edilen Incidence Rate Ratio (IRR) değerleri [19] ve güven aralıkları raporlanmıştır.

### III. BULGULAR

#### 1) Makro Ölçekte Bulgular

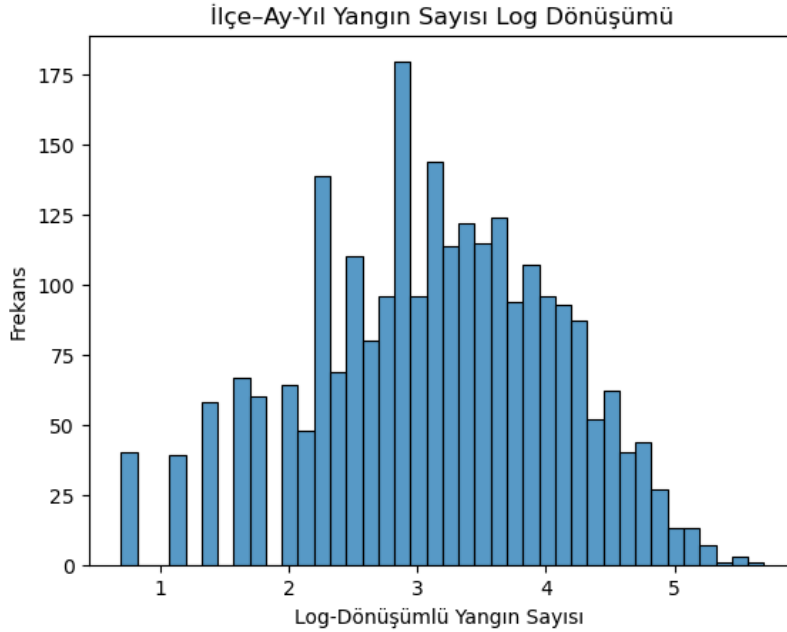


Şekil 1. İlçe-Ay-Yıl Birleşiminde Yangın Sayısı Ham Dağılım



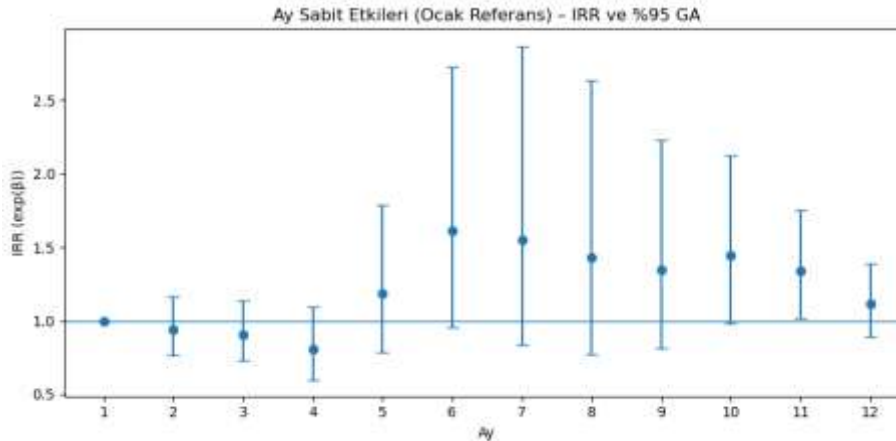
Şekil 2. İlçe-Ay-Yıl Birleşiminde Yangın Sayısı Ham Dağılım Kutu Grafiği

İlçe-ay-yıl düzeyinde elde edilen yangın sayılarının dağılımı, hem görsel hem de sayısal özetler aracılığıyla incelenmiştir. Histogram ve kutu grafiği, yangın sayılarının merkezi eğiliminin görece düşük değerlerde yoğunlaştığını; buna karşın dağılımın üst kuyruğunda belirgin sayıda yüksek değerli gözlemin bulunduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yangın sayılarının normal dağılımından güçlü biçimde saptığını, belirgin biçimde sağ-kuyruklu ve aşırı saçılımlı bir yapıya sahip olduğunu göstermekte; ortalama gibi ölçülerin tek başına yanıltıcı olabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle dağılım, medyan ve çeyrekler arası aralık (IQR) gibi sağlam istatistiklerle de özetlenmiştir.



Şekil 3. İlçe-Ay-Yıl Birleşiminde Yangın Sayılarının Log Dönüşümü Grafiği

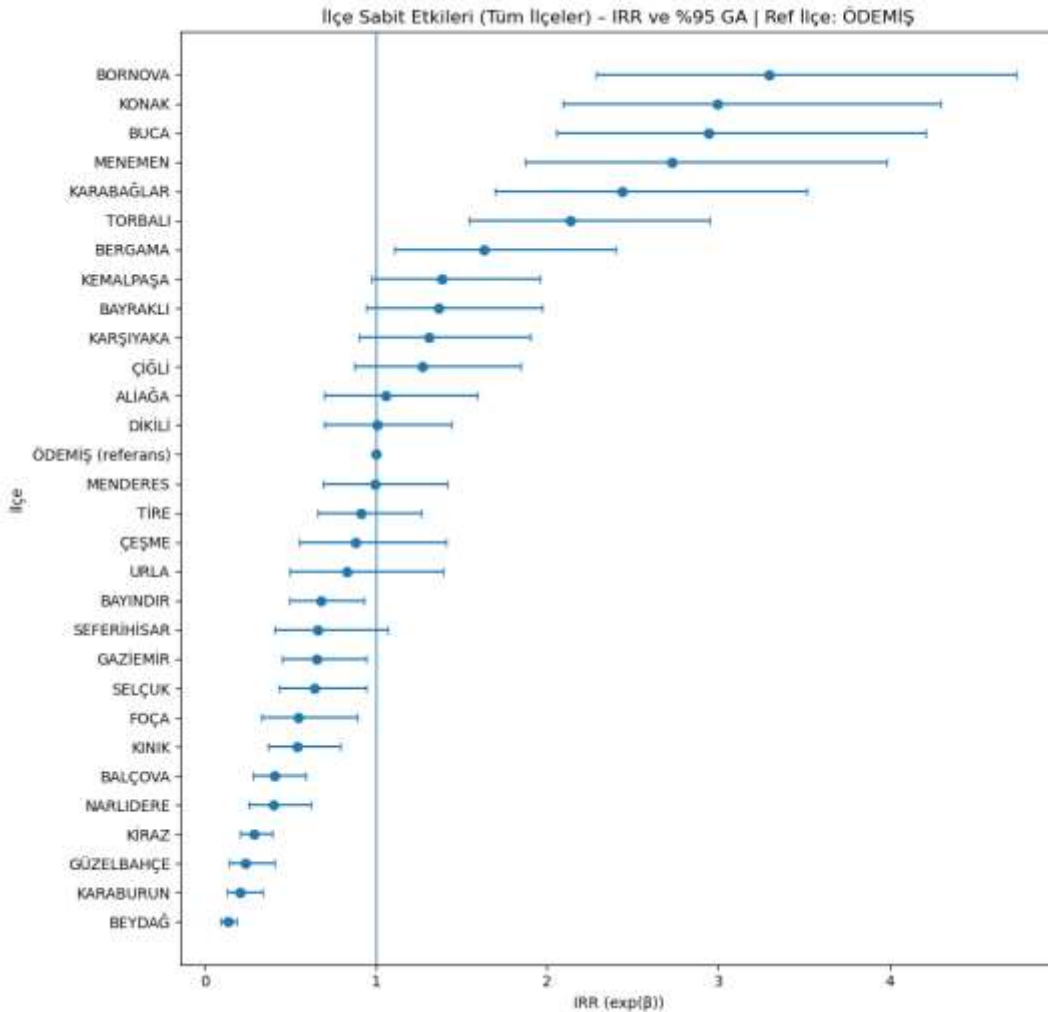
Dağılımdaki çarpıklığın belirgin olması nedeniyle, destekleyici keşifsel analiz adımı olarak yangın sayısı değişkenine  $\log(1 + y)$  dönüşümü uygulanmış ve dağılım log-ölçekte yeniden incelenmiştir. Log1p dönüşümü, yüksek değerleri sıkıştırarak dağılımın daha dengeli biçimde gözlemlenmesini sağlamakta; aynı zamanda sıfır ve düşük değerlere karşı duyarlılığı korumaktadır. Bu dönüşüm sonrasında dağılımın daha simetrik bir yapıya yaklaştığı ve sağ kuyruğun etkisinin belirgin biçimde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, ilçe-ay-yıl düzeyindeki yangın sayılarının ham ölçekte aşırı saçılıma ve sağ-kuyruklu bir yapıya sahip olduğunu açıkça ortaya koymakta; dolayısıyla makro düzey modellemede Negatif Binom regresyonunun tercih edilmesinin metodolojik gerekçesini güçlendirmektedir.



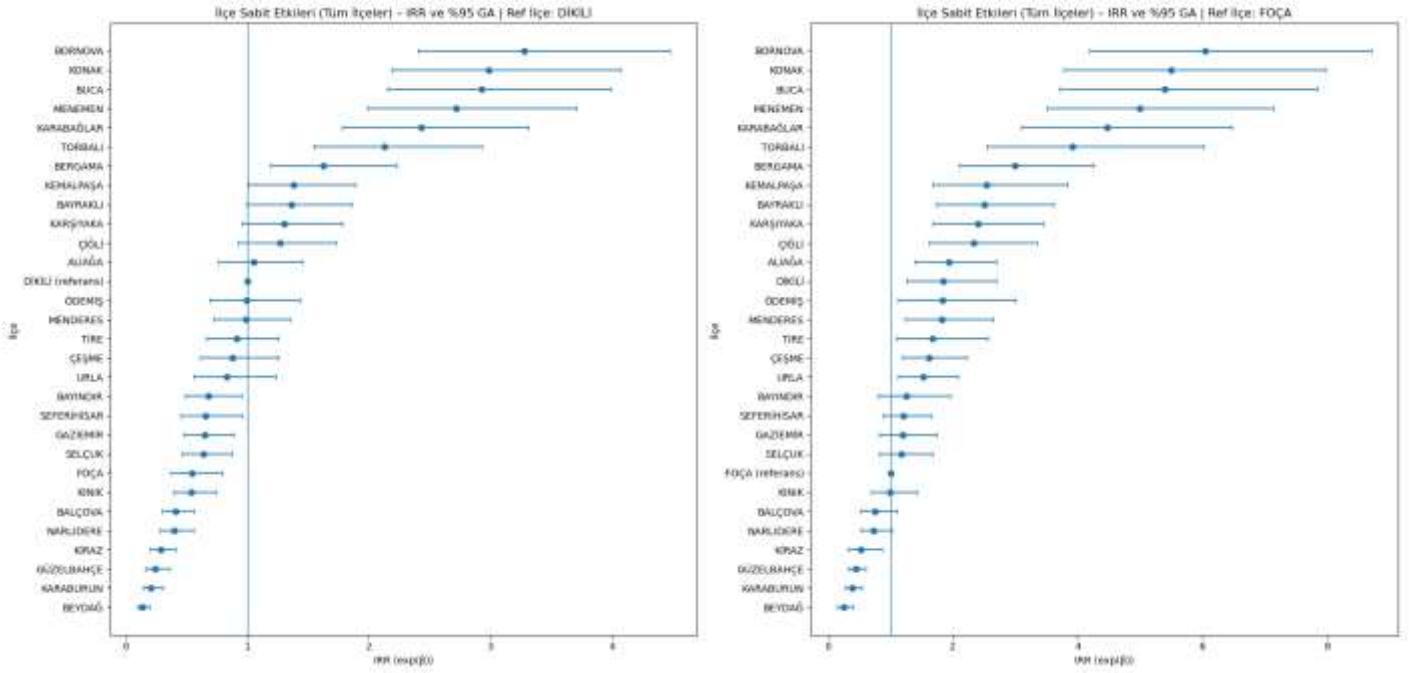
Şekil 4. Negatif Binom Regresyonu Ay Sabit Etkileri (IRR)

Takvim yılının başlangıcını temsil etmesi nedeniyle ocak ayı referans kategori olarak belirlenmiştir. Bu seçim, yılın başında yangın olaylarının düzeyinin belirlenerek izleyen aylardaki değişimlerin karşılaştırılmasına ve erken dönemde risk değerlendirmesi yapılmasına olanak tanımaktadır. Ay sabit etkilerine ilişkin bulgular, meteorolojik değişkenler ve ilçe farklılıkları kontrol edildiğinde dahi yangın olaylarının belirgin bir zamansal farklılaşma sergilediğini ortaya koymaktadır.

Model sonuçlarına göre, ocak ayına kıyasla şubat, mart ve nisan aylarında beklenen yangın sayılarının daha düşük olduğu görülmekle birlikte, bu azalışlar istatistiksel olarak anlamlı değildir ( $IRR < 1$ ,  $p > 0.05$ ). Mayıs ayından itibaren ise beklenen yangın sayılarında artış yönünde bir eğilim gözlenmektedir. Özellikle yaz aylarında (haziran, temmuz ve ağustos) yangın sayılarının ocak ayına göre daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Buna göre, beklenen yangın sayısı ocak ayına kıyasla haziran ayında yaklaşık %61 ( $IRR = 1.62$ ), temmuz ayında %55 ( $IRR = 1.55$ ) ve ağustos ayında %43 ( $IRR = 1.43$ ) daha yüksektir. Ancak bu aylara ilişkin güven aralıklarının 1 değerini içermesi ve p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde olması (haziran:  $p = 0.073$ ; temmuz:  $p = 0.164$ ; ağustos:  $p = 0.253$ ), söz konusu artışların istatistiksel olarak güçlü biçimde desteklenmediğini, daha çok mevsimsel bir eğilime işaret ettiğini göstermektedir. Buna karşılık, Kasım ayı, ay sabit etkileri içerisinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılaşma sergileyen tek ay olarak öne çıkmaktadır. Meteorolojik değişkenler ve ilçe sabit etkileri kontrol edildiğinde, kasım ayında beklenen yangın sayısının ocak ayına kıyasla yaklaşık %34 daha yüksek olduğu belirlenmiştir ( $IRR = 1.34$ ; %95 GA: [1.02, 1.75];  $p = 0.035$ ). Bu bulgu, yangın riskinin yalnızca yaz aylarıyla sınırlı olmadığını, sonbahar döneminde de anlamlı bir artış gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak ay sabit etkilerine ilişkin sonuçlar, yangın olaylarının yıl içerisinde homojen bir dağılım sergilemediğini, belirli dönemlerde artış eğilimi gösterdiğini ve bu mevsimsel yapının sayım modellerinde açık biçimde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

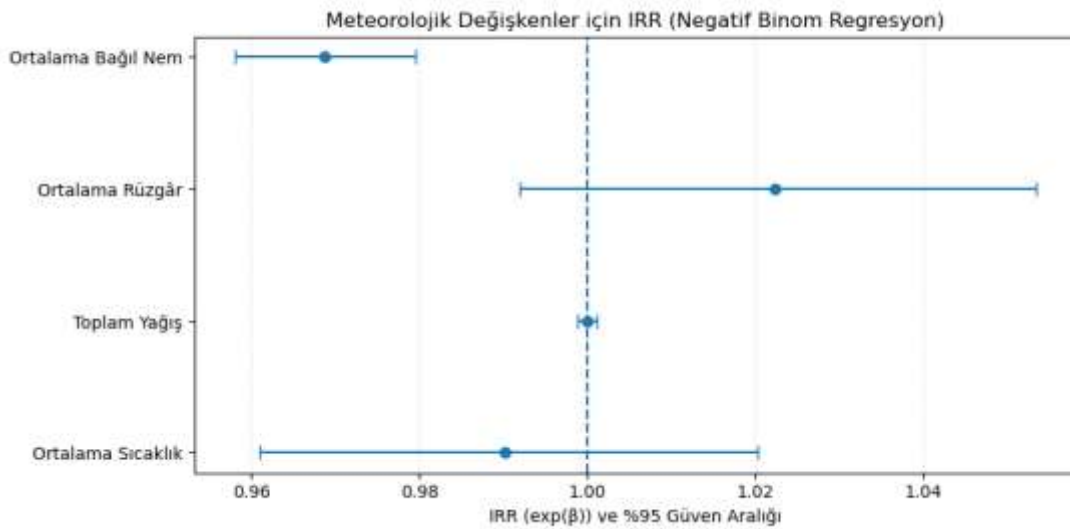


Şekil 5. Negatif Binom Regresyonu İlçe Sabit Etkileri (IRR). Referans İlçe:Ödemiş



Şekil 6. Negatif Binom Regresyonu İlçe Sabit Etkileri (IRR). Referans İlçeler: Dikili (sol) ve Foça (sağ)

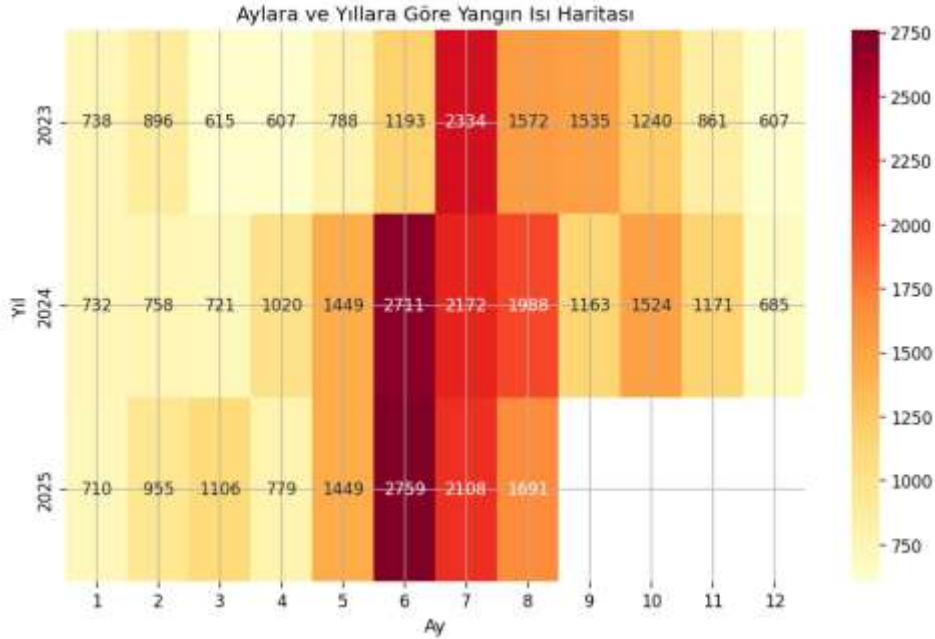
İlçe sabit etkilerinin duyarlılığını değerlendirmek üzere, ilçe bazında ortalama yangın düzeyi dağılımının alt çeyreği ( $Q_1=17.458$ ), medyanı ( $Q_2=27.955$ ) ve üst çeyreğine ( $Q_3=38.196$ ) en yakın ilçeler sırasıyla Foça, Dikili ve Ödemiş referans olarak seçilmiştir. Referans seçimi model uyumunu değiştirmemekle birlikte, IRR'lerin yorumlandığı ölçeği yeniden tanımlar. Üç farklı referans altında da bulgular tutarlıdır: Bornova, Konak, Buca, Menemen, Karabağlar ve Torbalı ilçelerinde beklenen yangın sayısı referans ilçeye kıyasla anlamlı biçimde daha yüksektir (genellikle  $p<0.001$ ); Beydağ, Karaburun, Güzelbahçe ve Kiraz gibi ilçelerde ise beklenen yangın sayısı anlamlı biçimde daha düşüktür. Bu sonuçlar, meteorolojik değişkenler ve mevsimsellik kontrol edildiğinde dahi yangın olaylarının belirgin bir mekânsal heterojenlik sergilediğine işaret etmektedir.



Şekil 7. Negatif Binom Regresyonu Meteorolojik Değişkenler IRR Grafiği

Meteorolojik değişkenler arasında yalnızca bağıl nem değişkeni istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.001$ ). Bağıl nemin IRR değerinin 1'den küçük olması bağıl nemdeki artışın, yangın sayılarında anlamlı bir azalışla ilişkili olduğunu göstermektedir. Ortalama bağıl nemdeki bir birimlik artış, ilçe-ay-yıl düzeyinde beklenen yangın sayısının yaklaşık %3,1 oranında azalmasıyla ilişkilidir (IRR = 0.97, %95 GA: [0.96–0.98]). Buna karşılık, sıcaklık, yağış ve rüzgâr hızı değişkenlerinin katsayıları istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

## 2) Mikro Ölçekte Bulgular



Şekil 8. Aylara ve Yıllara Göre Yangın Isı Haritası

İzmir'de meydana gelen yangın olaylarının yıl boyunca homojen bir dağılım sergilemediği, aksine belirgin dönemsel dalgalanmalar içerdiği görülmektedir. Yıllar ve aylar ekseninde hazırlanan ısı haritası, yangın olaylarının güçlü bir zamansal düzenlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Aylık değişimler incelendiğinde, yangın sayılarının özellikle yaz aylarında belirgin biçimde yükseldiği dikkat çekmektedir. Her üç yıl için de Haziran–Ağustos döneminde gözlenen keskin artışlar, bu ayların yangın riski açısından kritik bir zaman aralığı olduğunu göstermektedir. Isı haritası görselleştirmesi, bu mevsimsel yapının yıllar arasında rastlantısal olmadığını, aksine tekrarlayan ve tutarlı bir desen izlediğini ortaya koymaktadır. Yaz aylarında yoğunlaşan koyu renkli bölgeler, her yıl benzer dönemlerde oluşmakta; kış ayları ise düşük yoğunluklu hücrelerle temsil edilmektedir.

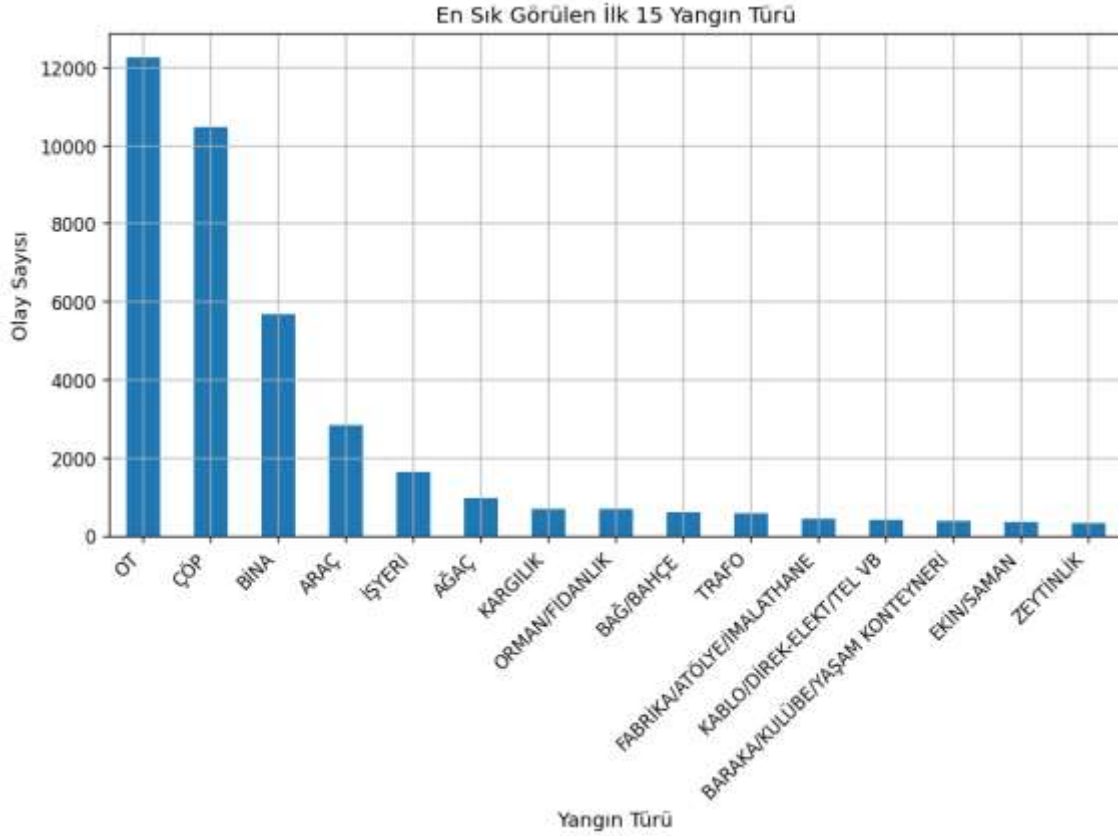
Yıllar arası karşılaştırmalar, yalnızca mevsimsel tekrarları değil, aynı zamanda zamansal bir değişim eğilimini de işaret etmektedir. 2024 ve 2025 yıllarında yaz dönemlerinde kaydedilen yangın sayılarının, 2023 yılına kıyasla daha yüksek seviyelere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca 2025 yılında, artış eğiliminin önceki yıllara kıyasla daha erken aylarda başlaması, yangın olaylarının zaman içindeki dinamiklerinde bir kaymaya işaret etmektedir.



Şekil 9. İlçe ve Aylara Göre Yangın Yoğunluğunun Isı Haritası

Yıllar ve aylar ekseninde oluşturulan ısı haritaları, yangın olaylarının yalnızca zamansal olarak değil, aynı zamanda belirgin bir mekânsal heterojenlik sergilediğini göstermektedir. Isı haritası, bu mekânsal farklılıkların yıl içindeki mevsimsel dinamiklerle birlikte şekillendiğini göstermektedir. Özellikle Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Bornova, Konak, Menemen ve Torbalı ilçelerinde belirgin yoğunluk artışları gözlemlenmektedir. Buna karşın kış aylarında, hemen tüm ilçelerde yangın yoğunluğunun belirgin biçimde azaldığı görülmektedir.

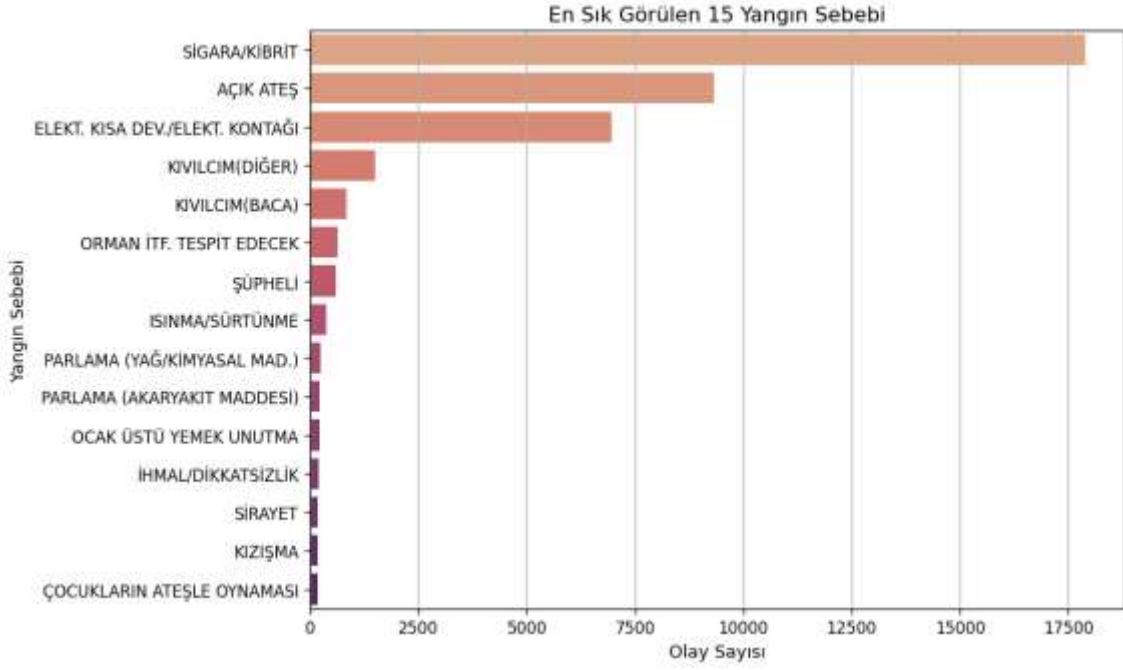
Dikkat çekici bir diğer bulgu, bazı ilçelerde (Bornova, Buca, Konak gibi) yangın yoğunluğunun yalnızca yaz aylarında artmakla kalmayıp, ilkbahar veya sohbahar mevsimlerinde de yüksek seyrettiğidir. Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular yangın olaylarının İzmir genelinde homojen bir mekânsal dağılıma sahip olmadığını, belirli ilçelerde ve belirli dönemlerde yoğunlaştığını açıkça ortaya koymaktadır.



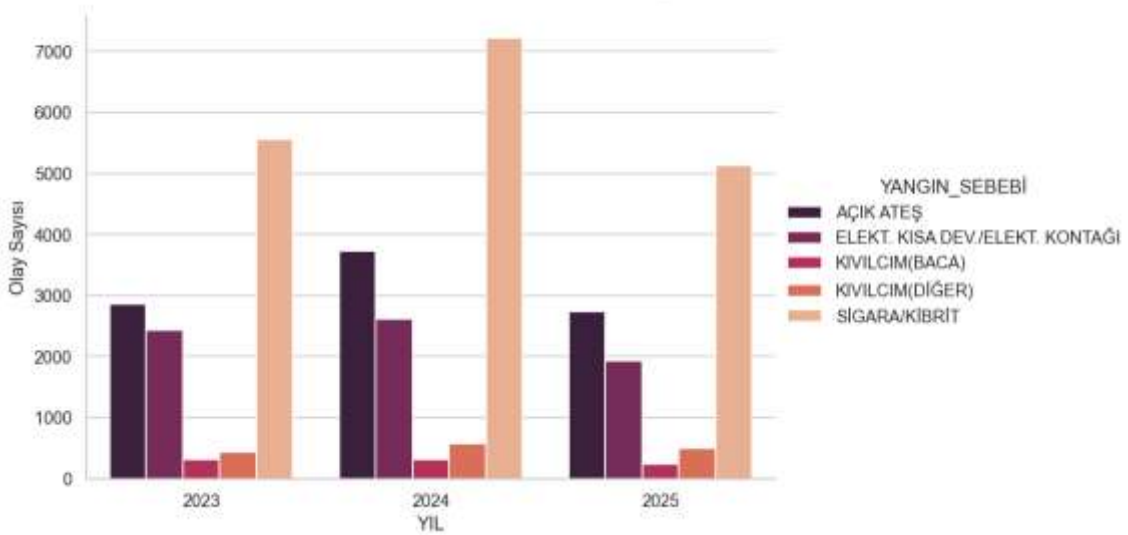
Şekil 10. İzmir’de En Sık Görülen İlk 15 Yangın Türünün Dağılımı

Grafik, yangın türleri arasında homojen bir dağılım olmadığını; aksine olayların belirli kategorilerde yoğunlaştığını göstermektedir. Kategori olarak ot, çöp, bina ve araç yangınları toplam dağılımın büyük bir kısmını oluşturmaktadır ve bu kategoriler sadece tek bir tipe ait değildir. Bu durum, yangın olaylarının yalnızca çevresel ya da doğal nedenlerle sınırlı kalmadığını; kentsel yaşam dinamikleriyle de doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Daha alt sıralarda yer alan ağaç, kargılık, ormanlık/fidanlık ve bağ/bahçe gibi türler, toplam olay sayısı bakımından sınırlı görünmekle birlikte, çevresel etkileri açısından dikkat çekici bir risk profiline sahiptir. Benzer şekilde trafo, kablo/direk/elektri/tel vb. ile fabrika/atölye/imalathane kaynaklı yangınlar, sıklık açısından düşük seviyelerde yer alsa da, potansiyel maddi hasar ve ikincil etkiler bakımından yüksek risk barındırmaktadır. Genel dağılım yapısı değerlendirildiğinde, yangın türlerinin sağ kuyruklu bir dağılım sergilediği görülmektedir. Az sayıda kategori toplam olayların büyük bir bölümünü oluştururken, çok sayıda yangın türü daha düşük frekanslarla temsil edilmektedir.



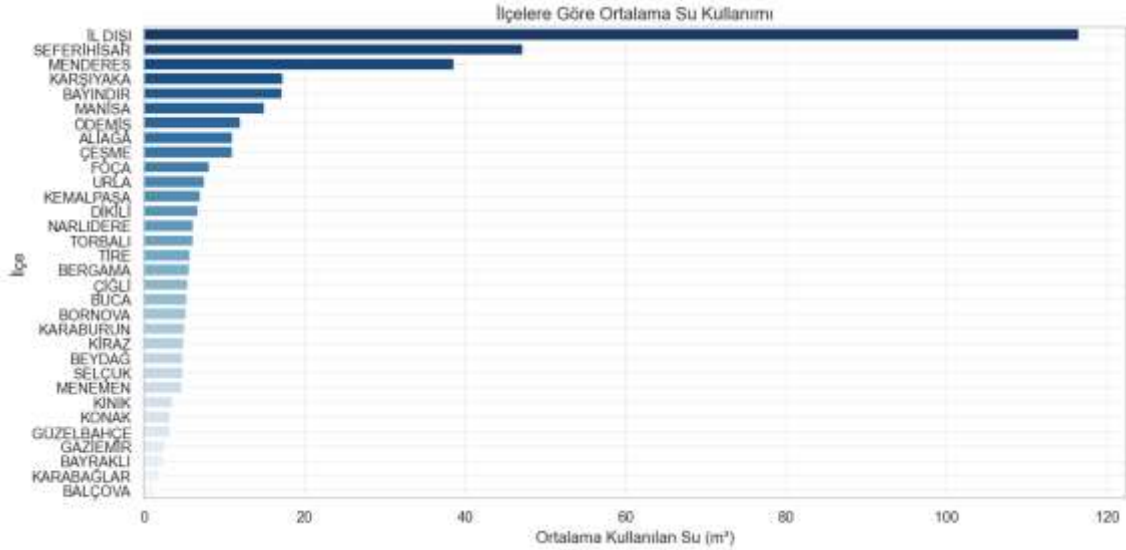
Şekil 11. İzmir’de En Sık Görülen İlk 15 Yangın Sebebinin Dağılımı  
Yıllara Göre En Sık Görülen 5 Yangın Sebebi



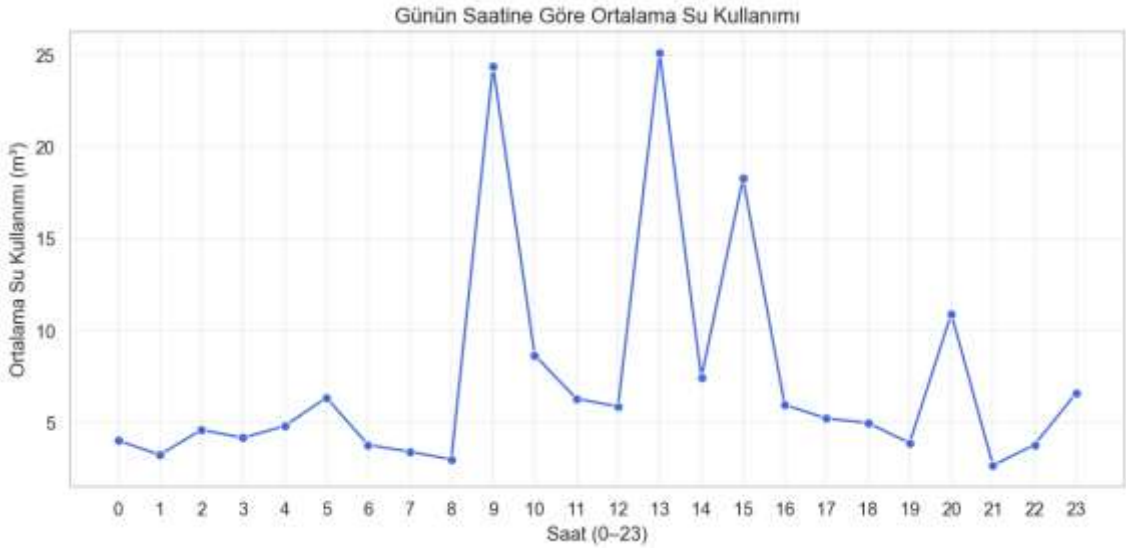
Şekil 12. Yıllara Göre En Sık Görülen Beş Yangın Sebebinin Karşılaştırmalı Dağılımı

Grafikler incelendiğinde, yangın sebepleri arasında belirgin bir yoğunlaşma olduğu ve olayların büyük bir kısmının sınırlı sayıda neden altında toplandığı görülmektedir. En yaygın yangın sebebinin sigara/kibrit kaynaklı olaylar olduğu ve sırasıyla açık ateş ve elektrik kısa devresi / elektrik kontağı izlenmektedir.

Yıllar bazındaki karşılaştırmalı analiz, en sık görülen beş yangın sebebinin zaman içindeki değişimini ortaya koymaktadır. Grafik, sigara/kibrit kaynaklı yangınların her üç yıl boyunca açık ara en baskın sebep olduğunu ve 2024 yılında belirgin bir zirve yaptığını göstermektedir.



Şekil 13. İlçelere Göre Ortalama Kullanılan Su Miktarı (m³)



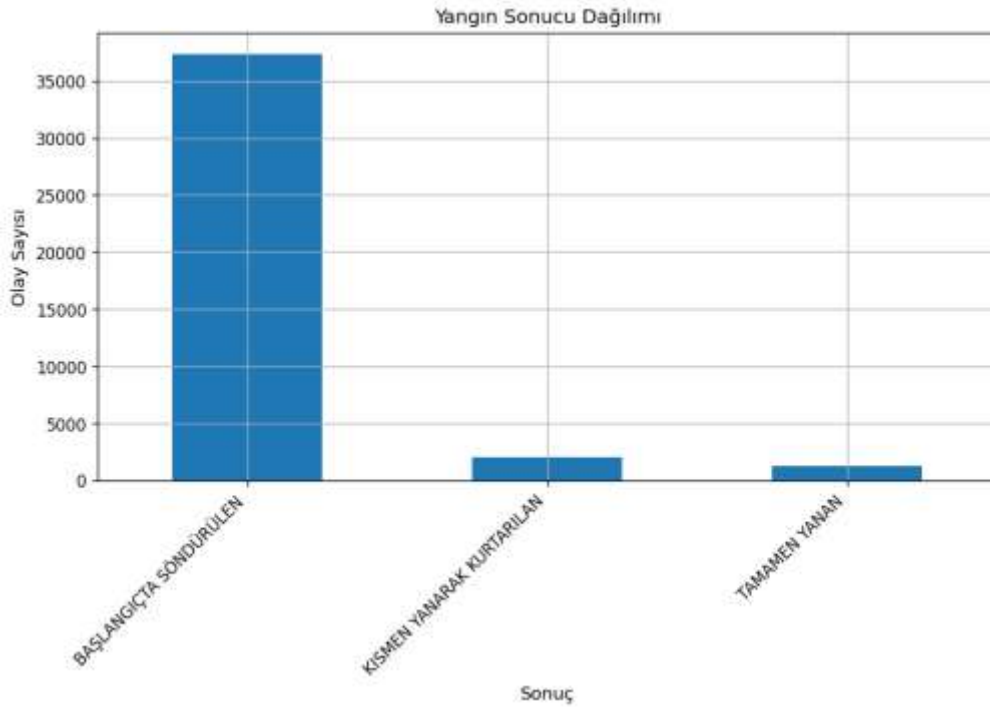
Şekil 14. Günün Saatlerine Göre Ortalama Su Kullanımı (m³)

Bu alt bölümde, yangınlara müdahale sırasında kullanılan su miktarının ilçeler arası farklılıklar ve günün saatleri bağlamında nasıl değişkenlik gösterdiği analiz edilmiştir. Olay bazında kaydedilen su tüketim değerleri kullanılarak ortalama kullanım miktarları hesaplanmış; elde edilen sonuçlar mekânsal ve zamansal boyutlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

İlçe düzeyinde elde edilen bulgular, yangın müdahalelerinde kullanılan su miktarının coğrafi olarak belirgin bir heterojenlik sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle il dışı, Seferihisar ve Menderes ilçeleri, diğer bölgelere kıyasla daha yüksek ortalama su tüketimi değerleriyle öne çıkmaktadır. Buna karşılık Balçova, Bayraklı, Karabağlar ve Gaziemir gibi yoğun kentsel yerleşimlerin bulunduğu ilçelerde ortalama su kullanımının daha düşük seviyelerde kaldığı görülmektedir.

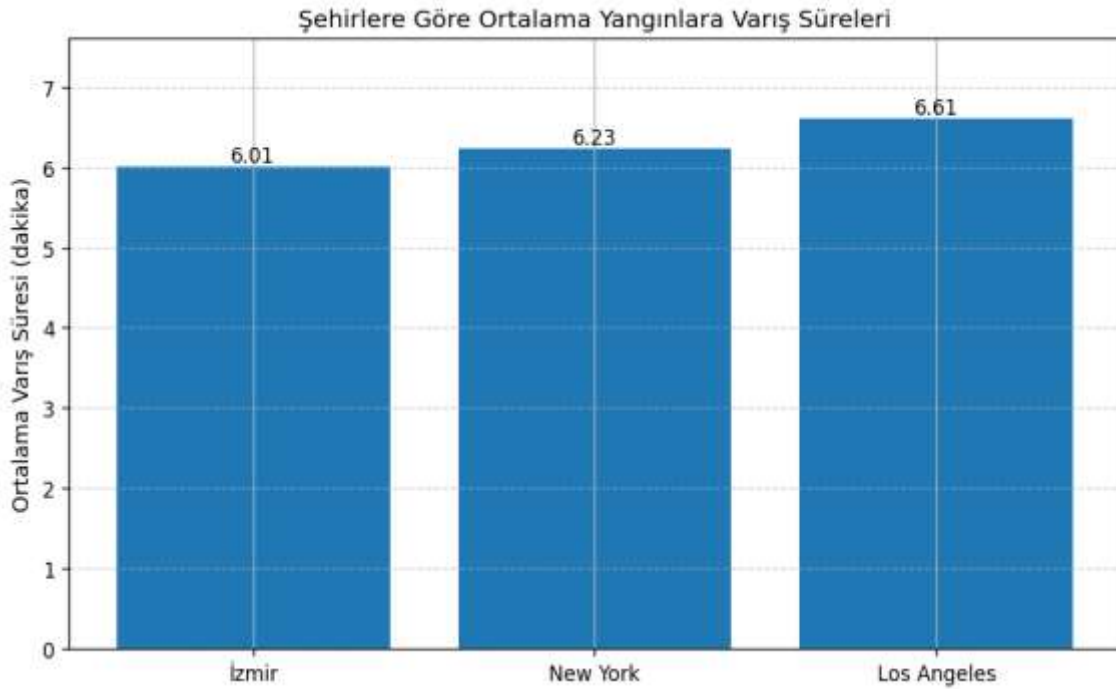
Zamansal analizler incelendiğinde ise, ortalama su kullanımının gün içerisinde sabit bir seyir izlemediği açıkça görülmektedir. Özellikle 09:00, 13:00 ve 15:00 saatlerinde su tüketiminde dikkat çekici artışlar meydana gelmektedir. Buna karşın gece saatleri ile sabahın erken saatlerinde su kullanımının daha düşük düzeylerde kaldığı, akşam saatlerine doğru ise yeniden artış eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, müdahalelerde kullanılan su miktarının yalnızca olay frekansına değil, aynı zamanda zaman dilimine bağlı olarak değişen yangın türlerine ve müdahale gereksinimlerine de duyarlı olduğunu göstermektedir. Sonuç

olarak, elde edilen bulgular yangınlara yönelik su kullanım planlamasının yalnızca toplam olay sayısına dayandırılmasının yeterli olmadığını; bölgesel özellikler ve zaman boyutu dikkate alınarak daha bütüncül bir kaynak yönetimi yaklaşımının benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 15. Yangın Olaylarının Müdahale Sonuçlarına Göre Dağılımı

Grafik, yangınların büyük çoğunluğunun başlangıç aşamasında kontrol altına alındığını açık biçimde ortaya koymaktadır.



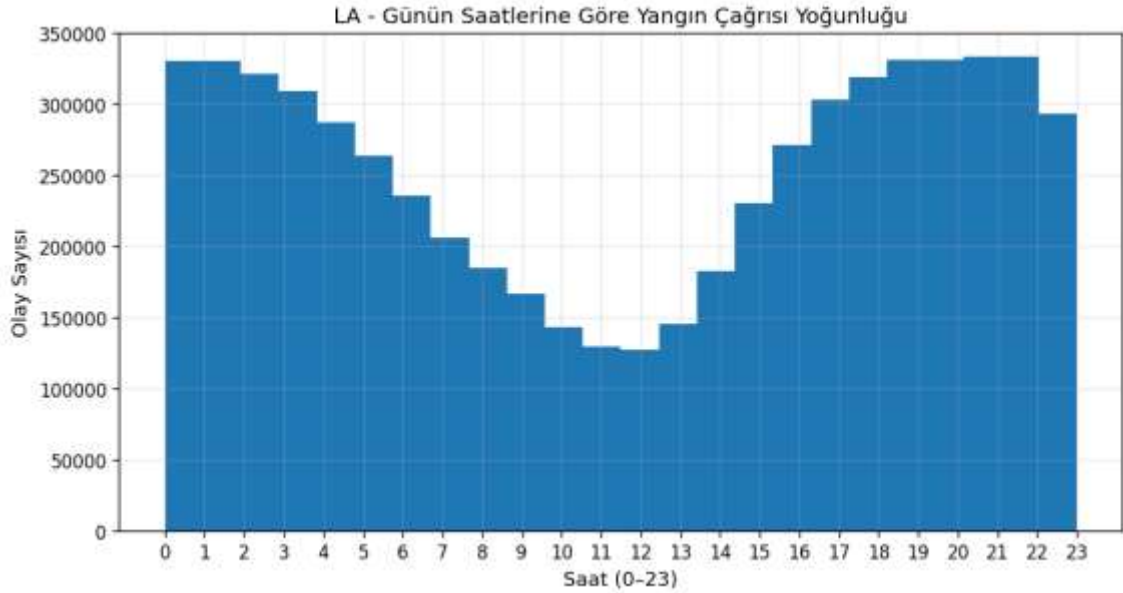
Şekil 16. Şehirlere Göre Ortalama Yangınlara Varış Sürelerinin Karşılaştırılması

Bu alt bölümde, İzmir, New York ve Los Angeles kentlerine ait yangın müdahale verileri kullanılarak ekiplerin olay yerine ulaşma süreleri karşılaştırmalı biçimde incelenmiştir. Üç şehir birlikte

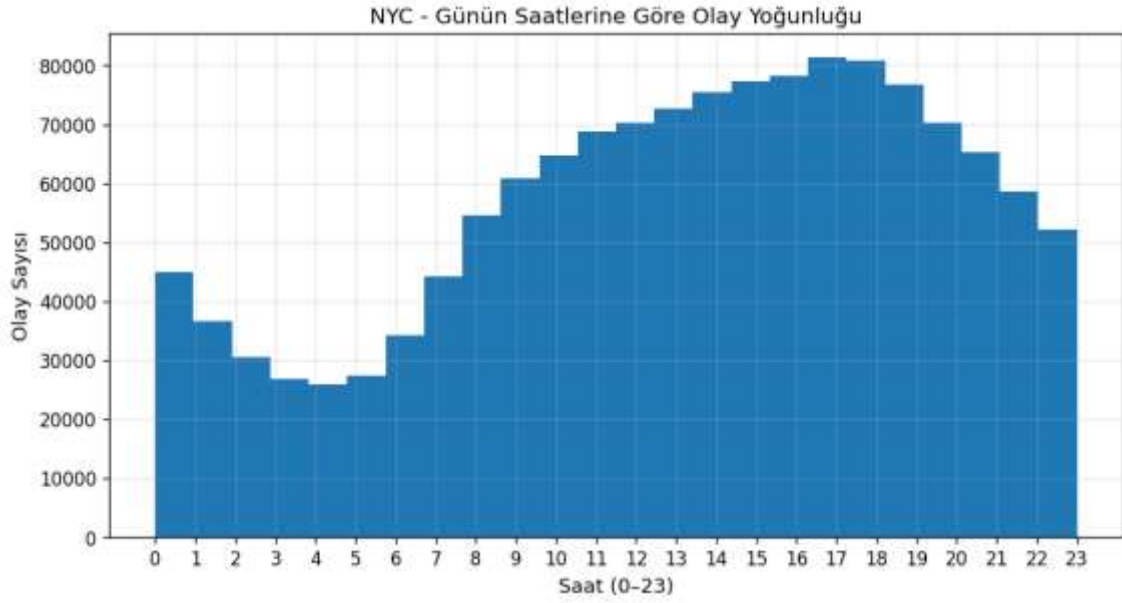
değerlendirildiğinde, yangınlara müdahale sürelerinin dar bir bantta ve birbirine oldukça yakın değerler aldığı dikkat çekmektedir. Farklı kıtalarda, farklı nüfus yoğunluklarına ve kentsel yapılara sahip bu şehirlerde benzer ortalama varış sürelerinin gözlenmesi, acil müdahale sistemlerinin operasyonel olgunluk açısından karşılaştırılabilir bir seviyeye ulaştığını göstermektedir. İzmir'in ortalama süresinin görece daha düşük olması ise kent ölçeği, ulaşım ağının yapısı ve müdahale alanlarının mekânsal dağılımı gibi faktörlerle açıklanabilir.



Şekil 17. İzmir'de Günün Saatlerine Göre Yangın Müdahale Yoğunluğu



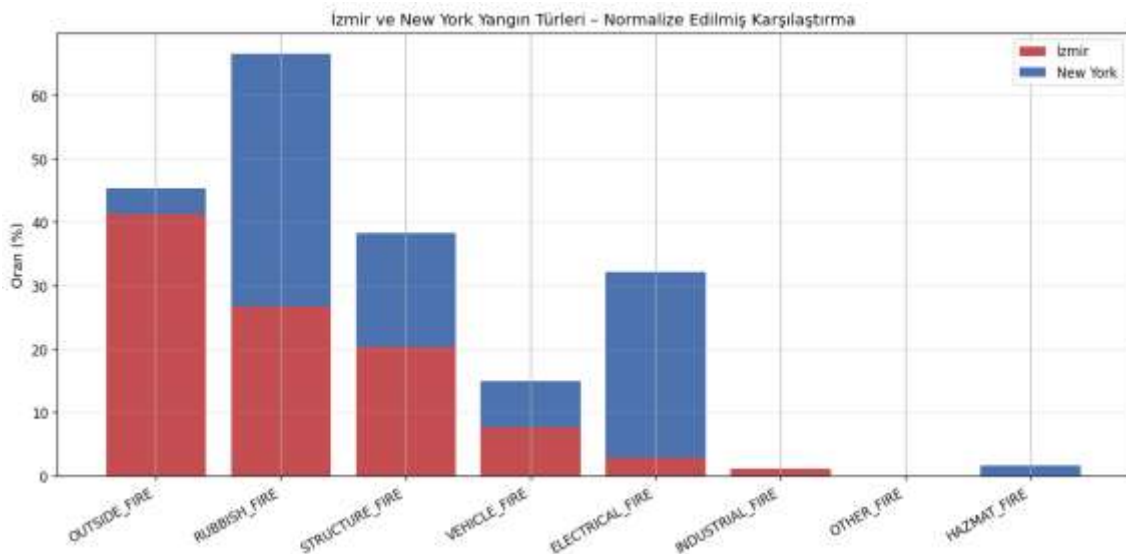
Şekil 18. Los Angeles'ta Günün Saatlerine Göre Yangın Çağrısı Yoğunluğu



Şekil 19. New York'ta Günün Saatlerine Göre Olay Yoğunluğu

İzmir, Los Angeles ve New York kentlerinde meydana gelen yangın ve acil durum olaylarının günün saatlerine göre dağılımı karşılaştırmalı bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Farklı coğrafi, demografik ve kentsel özelliklere sahip bu üç büyük şehirde, olayların zamansal yoğunluk desenlerinin benzerlik ve ayrışma noktalarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

İzmir'e ait sonuçlar incelendiğinde, yangın müdahalelerinin sabah saatlerinden itibaren artış eğilimine girdiği ve özellikle öğleden sonra saatlerinde belirgin bir yoğunlaşma gösterdiği görülmektedir. Los Angeles için elde edilen dağılım, İzmir'e kıyasla daha dengeli bir saatlik profile işaret etmektedir. Gece yarısından sabahın erken saatlerine kadar olay yoğunluğunda bir azalma gözlenirken, öğleden sonra ve akşam saatlerinde yeniden artan bir eğilim söz konusudur. New York için ise olay sayıları sabahın erken saatlerinde düşük seviyelerde başlamakta, gün boyunca kademeli olarak artmakta ve özellikle akşamüstü ile erken gece saatlerinde en yüksek düzeylerine ulaşmaktadır. Üç şehir birlikte ele alındığında, ortak bir eğilim olarak olay yoğunluğunun öğleden sonra ve akşam saatlerinde yükseldiği, gece yarısı ile sabahın erken saatlerinde ise belirgin biçimde azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, Los Angeles ve New York'ta gece saatlerindeki olay sayılarının İzmir'e kıyasla daha yüksek olması, bu şehirlerin daha büyük nüfusları ve kesintisiz kentsel faaliyetleriyle açıklanabilir.



Şekil 20. İzmir ve New York Yangın Türlerinin Normalize Edilmiş Karşılaştırması

İzmir ve New York kentlerinde meydana gelen yangın olayları, ortak bir sınıflandırma çerçevesi sunan üst kategori yapısı aracılığıyla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İzmir'e ait sonuçlar, yangın olaylarının ağırlıklı olarak açık alan ve çevresel kaynaklı türlerde yoğunlaştığını göstermektedir. Açık alan yangınları toplam olayların yaklaşık %41'ini oluştururken, çöp ve atık yangınları %26,7, yapı yangınları ise %20,4 oranında paya sahiptir.

New York verileri incelendiğinde ise yangın türlerinin belirgin biçimde farklı bir kompozisyona sahip olduğu görülmektedir. En yüksek oran %39,8 ile çöp ve atık yangınlarına aittir. Bunu %29,3 ile elektrik ve enerji kaynaklı yangınlar takip ederken, yapı yangınlarının payı %17,9 seviyesinde kalmaktadır. Açık alan yangınlarının toplam içindeki oranının %4 civarında olması, yoğun yapılaşma, sınırlı yeşil alanlar ve büyük ölçüde kentsel bir çevrede gerçekleşen olayların baskınlığı ile açıklanabilir.

İki şehir birlikte değerlendirildiğinde, yangın türlerindeki farklılaşmanın yalnızca müdahale kapasitesi ya da olay sayısı ile sınırlı olmadığı; kentsel morfoloji, altyapı özellikleri, çevresel faktörler ve insan faaliyetlerinin bileşimi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. İzmir'de doğal ve yarı doğal çevre koşulları ön plana çıkarken, New York'ta yapı içi ve altyapı temelli risklerin daha baskın olduğu bir yangın profili ortaya çıkmaktadır. Bu karşılaştırmalı bulgular, yangın önleme stratejilerinin ve kaynak planlamasının, şehirlerin kendine özgü risk dinamikleri dikkate alınarak tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

### 3) Makro ve Mikro Ölçekte Ortak Bulgular

Makro ve mikro ölçekli analizler, yangın vakalarında belirgin ve tutarlı bir mevsimsellik yapısının bulunduğunu ortaya koymaktadır. Makro ölçekte, Negatif Binom regresyonu, yaz aylarında müdahale hacminin keskin biçimde yükseldiğini, kış aylarında ise belirgin bir düşüş yaşandığını göstermektedir. Mikro ölçekteki ısı haritası görselleştirmeleri bu bulguyu ayrıntılandırarak, yaz aylarında yoğunlaşan yangın olaylarının yıllar arasında rastlantısal olmadığını; özellikle Haziran ve Temmuz aylarının her yıl benzer biçimde en yüksek yoğunluklara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu birlikte değerlendirme, yangın olaylarının güçlü ve tekrarlayan bir mevsimsel düzenlilik sergilediğini ve yaz döneminin yapısal olarak yüksek riskli bir zaman aralığı oluşturduğunu göstermektedir.

Makro ve mikro ölçekte yangın olaylarının mekânsal ve zamansal dağılımına ilişkin yüksek düzeyde tutarlı ve birbirini doğrulayan örüntüler ortaya çıkmaktadır. Mikro ölçekte olay bazlı veriler üzerinden elde edilen bulgular, yangınların İzmir genelinde homojen dağılmadığını; Bornova, Konak, Menemen, Karabağlar ve Torbalı gibi ilçelerde kalıcı ve yüksek yoğunluklu kümelenmeler bulunduğunu göstermektedir. Bornova, Karabağlar, Konak ilçeleri, makro ölçekte Negatif Binom regresyonunda da yılın büyük bölümünde baskın bölgeler olarak öne çıkmakta; bu durum, mikro düzeyde gözlenen yüksek yangın sıklığının makro düzeydeki operasyonel yük ile doğrudan örtüştüğünü ortaya koymaktadır. Hem makro ölçekte hem de mikro ölçekte gözlenen yangın yoğunluklarının yalnızca olay frekansına indirgenemeyeceğini; bazı ilçelerde riskin yıl boyu süreklilik gösteren yapısal bir karaktere, bazı ilçelerde ise çevresel koşullarla aktive olan mevsimsel bir profile sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

## IV. TARTIŞMA

Sadece mikro ölçekte elde edilen bulgular, yangın olaylarının oluşumunda insan davranışları, günlük yaşam pratikleri ve müdahale süreçlerinin operasyonel özelliklerinin belirleyici bir rol oynadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, mikro ölçekte gözlenen bu bulgular, yangın riskini azaltmaya yönelik politikaların yalnızca dönemsel müdahalelere değil, davranışsal farkındalık, denetim ve altyapı iyileştirmelerine odaklanması, vardiya planlaması ve kaynak tahsisinin saat bazlı risk profilleri dikkate alınarak optimize edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Sadece makro ölçekte elde edilen bulgular, yangın sayılarındaki değişimin tek başına meteorolojik faktörlere indirgenemeyeceğini, zamansal ve mekânsal sabit etkilerin güçlü biçimde devrede olduğunu göstermektedir. Kasım ayının istatistiksel olarak anlamlı biçimde öne çıkması, yangın riskinin yalnızca yaz aylarıyla sınırlı olmadığına dair önemli bir bulgudur. Bu sonuç, yangın yönetimine ilişkin politika ve hazırlık süreçlerinin yalnızca yaz dönemine odaklanmasının yetersiz kalabileceğini; sonbahar aylarında da belirli risk mekanizmalarının devrede olabileceğini göstermektedir. Meteorolojik değişkenler arasında

yalnızca bağıl nemin istatistiksel olarak anlamlı bulunması, yangın riskinin çevresel koşullara verdiği tepkinin doğrusal ve basit olmadığını göstermektedir.

Hem mikro ölçekte elde edilen bulgular hem de makro ölçekte elde edilen bulgularla birlikte değerlendirildiğinde, yangın olaylarının rastlantısal bir dağılım sergilemediğini; aksine zamansal ve mekânsal boyutlarda belirgin örüntüler etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Zamansal analizler, yangın olaylarının özellikle yaz aylarında belirgin biçimde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yangın yönetiminde mevsimsel risk önceliklendirmesinin politika düzeyinde kurumsallaştırılması gerektiğine işaret etmektedir. Mekânsal bulgular, yangın olaylarının il genelinde dengeli bir dağılım sergilemediğini; belirli ilçelerde kalıcı ve yüksek yoğunluklu risk alanlarının oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, yerel ölçekte farklılaştırılmış politika yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## V. SONUÇLAR

Sonuç olarak, mikro ölçekteki bulgular değerlendirildiğinde, yangın olaylarının kim tarafından, ne zaman ve hangi bağlamda ortaya çıktığına ilişkin ayrıntılı bir risk haritası sunarken; makro düzey bulgular, yangın olaylarının oluşumunda çevresel faktörlerin önemli ancak sınırlı bir açıklayıcılığa sahip olduğunu; zamansal ve mekânsal bağlamın ise riskin şekillenmesinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

Mikro düzeydeki analizler, makro ölçekte belirlenen genel eğilimleri tamamlayarak, yangın riskinin arkasındaki davranışsal, mekânsal ve operasyonel mekanizmaların daha net anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bütüncül bakış, hedefe yönelik ve kanıta dayalı yangın önleme ve müdahale politikalarının geliştirilmesi için güçlü bir analitik zemin oluşturmaktadır.

Makro düzey bulgular, yangın yönetimine ilişkin karar destek sistemlerinin yalnızca meteorolojik eşiklere dayalı erken uyarı mekanizmalarıyla sınırlı kalmaması, ilçe bazlı yapısal risk göstergeleri ve mevsimsel örüntüleri de içeren çok boyutlu bir analitik yaklaşımla desteklenmesi gerekmektedir. Makro ölçekte elde edilen bu bulgular, izleyen mikro düzey analizler için hem metodolojik hem de kavramsal bir zemin oluşturarak, yangın riskinin daha bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hayata geçirilmesinde akademik rehberliği için değerli hocamız Dr. Öğr. Üyesi Nihan ÖZBALTAN'a, çalışmada faydaladığımız verilerin kamuoyuna tamamen açık, ücretsiz ve son derece kaliteli bir şekilde tutulup sunulmasına vesile olan İzmir Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Platformuna teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

## KAYNAKLAR

- [1] H. Xiang, L. Wu, Z. Guo, and S. Ren, "Urban Fire Spatial–Temporal Prediction Based on Multi-Source Data Fusion," *Fire*, vol. 8, no. 5, p. 177, May 2025.
- [2] O. Alrwais and A. Alshutairi, "Spatiotemporal Analysis and Mapping of Fire Incidents Using GIS Technology," *J. Eng., Technol. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 103–118, Aug. 2024.
- [3] Y. Chen, Y. Li, G. Wu, F. Zhang, K. Zhu, Z. Xia, and Y. Chen, "Exploring spatiotemporal accessibility of urban fire services using real-time travel time," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 8, p. 4200, Apr. 2021.
- [4] A. Hilbe, *Negative Binomial Regression*, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2019.
- [5] A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Regression Analysis of Count Data*, 3rd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2022.
- [6] H. Ma, "City-scale fire risk modeling based on spatial regression," *Sustain. Environ. Saf.*, vol. 1, no. 2, pp. 14–27, 2025.
- [7] L. Lee, "Machine learning-based forecasting of urban fire impact," *Sci. World J.*, 2025.
- [8] M. Alwateer, E. Atlam, M. El-Raouf, O. Ghoneim, and I. Gad, "Missing Data Imputation: A Comprehensive Review," *J. Comput. Commun.*, vol. 12, pp. 53–75, 2024.
- [9] S. Alam, M. S. Ayub, S. Arora, and M. A. Khan, "An Investigation of Imputation Techniques for Missing Values in Ordinal Data," *Data Anal. J.*, vol. 3, 100341, 2023.
- [10] E. Tolani, "Mind the Gaps: A Literature Survey on Handling Missing Data in Observational Studies," *\*Clin. Epidemiol. Predict.\**, vol. 17, pp. 45–62, 2025.

- [11] C. Vitolo, F. Di Giuseppe, and J. San-Miguel-Ayanz, "ERA5-based global meteorological wildfire danger maps," *Sci. Data*, vol. 6, 123, 2024.
- [12] K. Dąbrowska-Zielińska, "Applying Data from Meteorological Ground Station, ERA5-Land and MODIS LST for Environmental Modelling," *Agriculture*, vol. 14, p. 1519, 2024.
- [13] T. Urfah, "Estimating fire response times and planning optimal routes using integrated GIS and machine learning," *Fire Res. Data*, vol. 5, no. 4, p. 58, 2025, doi:10.3390/2673-7418/5/4/58.
- [14] S. L. Lee, "Forecasting urban fire severity for enhanced emergency response and resource allocation," *Sci. Rep.*, vol. 15, Article 26006, 2025, doi:10.1038/s41598-025-26006-z.
- [15] M. Zakaria, "Distribution of fire incidents and fire fighting services in urban contexts: A data-driven approach," *J. Geo. Litrop. Emerg. Anal.*, 2024.
- [16] Q. Cao, W. Xu, and M. M. Rahman, "Comparing regression techniques for modeling wildfire counts with climatic and socioeconomic predictors," *Land Use Policy*, vol. 106, p. 105481, May 2021, doi:10.1016/j.landusepol.2021.105481.
- [17] V. S. Niyogi, C. Wang, and P. J. Cohen, "Environmental and anthropogenic influences on seasonal wildfire counts across heterogeneous landscapes," *Sci. Rep.*, vol. 15, Art. no. 98051, 2025, doi:10.1038/s41598-025-98051-7.
- [18] M. Bugallo, M. D. Esteban, M. F. Marey-Pérez, and D. Morales, "Wildfire prediction using zero-inflated negative binomial mixed models: application to Spain," *J. Environ. Manage.*, vol. 330, p. 117009, 2023, doi:10.1016/j.jenvman.2022.117009.
- [19] J. Y. Xiao, X. Zhang, and P. Ji, "Modeling forest fire occurrences using count-data mixed models," *PLoS ONE*, vol. 10, no. 3, e0120621, Mar. 2015, doi:10.1371/journal.pone.0120621.