



İtfaiyeciliğin Dijitalleşmesi: Yangın Söndürmede İnsansız Teknolojilerin Yükselişi*

Tayfun Varnalı¹

Özet

Bu çalışma, yangın söndürme teknolojilerinin tarihsel gelişiminden günümüzün yapay zekâ destekli, otonom ve insansız sistemlerine uzanan dönüşümünü afet yönetim döngüsü perspektifiyle inceleyen bir derleme niteliğindedir. Araştırmada önleme, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarında insansız kara, hava ve deniz araçlarının kullanım alanları sistematik biçimde tartışılmıştır. Termal kameralı insansız hava araçları, kara ve insansız robotlar, deniz tabanlı platformlar ve insansız helikopterler teknik özellikleri, işlevleri ve uygulama senaryoları bağlamında sınıflandırılmıştır. Yöntemsel olarak, 2010–2024 yılları arasında Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect ve SpringerLink veri tabanları taranmış; hakemli makaleler, uluslararası konferans bildirileri ve akademik kitap bölümleri temel kaynak olarak seçilmiştir. Ayrıca teknik raporlar ve sektör verileri destekleyici nitelikte kullanılmıştır. Bu yaklaşım, teknolojik evrimin hem bilimsel literatür hem de endüstriyel uygulamalar üzerinden bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır. Küresel pazar analizleri, yangın söndürme araçları ve robotlarının istikrarlı bir büyüme trendi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Avrupa araç pazarında, Kuzey Amerika ise robot pazarında lider konumdadır. Özellikle paletli robotların zorlu arazilerdeki üstünlüğü ve endüstriyel segmentin büyüme kapasitesi dikkat çekmektedir. Çalışma, teknolojik dönüşümün yalnızca teknik bir süreç olmadığını, aynı zamanda güvenlik standartlarının yenilenmesi, uluslararası normların oluşturulması, eğitim programlarının yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir finansman modelleri geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak, bu derleme çalışması, yangın söndürme teknolojilerinin tarihsel gelişimini ve modernleşme süreçlerini insansız sistemler bağlamında ele alan özgün bir katkı sunmaktadır. Hem akademik literatüre hem de uygulamaya yönelik politika önerileriyle gelecekteki araştırmalar için yol gösterici bir çerçeveye sağlamaktadır.

Başyuru Tarihi
29 Temmuz 2025

Onay Tarihi
15 Eylül 2025

Anahtar Kelimeler:
Yangın Söndürme
Teknolojileri,
İtfaiye Araçları,
İnsansız Sistemler,
Yangın Robotları,
Küresel Pazar,
Teknolojik Dönüşüm.

Makale Türü:
Derleme Makale.

Önerilen Atıf:

Varnalı, T. (2025). İtfaiyeciliğin dijitalleşmesi: Yangın söndürmede insansız teknolojilerin yükselişi, *Siirt Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 1-26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18095506>

¹ Yüksek Lisans, Kırklareli Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maliye Bölümü, Kırklareli, Türkiye, tayfun_kkk@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3895-8620>



*The Digitalisation of Firefighting: The Rise of Unmanned Technologies in Firefighting**

*Tayfun Varnalı*¹

Abstract

This study is a compilation examining the transformation of firefighting technologies from their historical development to today's artificial intelligence-supported, autonomous and unmanned systems from the perspective of the disaster management cycle. The research systematically discusses the areas of application for unmanned land, air and sea vehicles in the prevention, preparedness, response and recovery phases. Thermal camera-equipped unmanned aerial vehicles, land and humanoid robots, sea-based platforms, and unmanned helicopters are classified in terms of their technical characteristics, functions, and application scenarios. Methodologically, the Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, and SpringerLink databases were searched between 2010 and 2024; peer-reviewed articles, international conference proceedings, and academic book chapters were selected as primary sources. Technical reports and industry data were also used as supporting material. This approach ensured a comprehensive assessment of technological evolution through both scientific literature and industrial applications. Global market analyses reveal that firefighting vehicles and robots are showing a steady growth trend. Europe leads the vehicle market, while North America leads the robot market. The superiority of palletised robots in challenging terrains and the growth potential of the industrial segment are particularly noteworthy. The study emphasises that technological transformation is not merely a technical process, but also necessitates the renewal of safety standards, the establishment of international norms, the widespread implementation of training programmes, and the development of sustainable financing models. In conclusion, this compilation offers a unique contribution that examines the historical development and modernisation processes of firefighting technologies in the context of unmanned systems. It provides a guiding framework for future research with policy recommendations for both academic literature and practical application.

Submitted
29 July 2025

Accepted
15 September 2025

Keywords:

Fire Extinguishing Technologies, Fire Fighting Vehicles, Unmanned Systems, Fire Robots, Global Market, Technological Transformation.

Article type:
Review Article.

Suggested Citation:

Varnalı, T. (2025). The digitalisation of firefighting: The rise of unmanned technologies in firefighting, *Siirt Journal of Social Research*, 4(2), 1-26. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18095506>

¹ Master's Degree, Kırklareli University, Institute of Social Sciences, Department of Finance, Kırklareli, Turkey, tayfun_kkk@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3895-8620>

GİRİŞ

Yangınlar, tarih boyunca insan yaşamını, doğal çevreyi ve ekonomik yapıları tehdit eden en yıkıcı afet türlerinden biri olmuştur. Artan kentleşme, sanayileşme, iklim değişikliği ve teknolojik yoğunluk, günümüzde yangınların hem sıklığını hem de şiddetini artırmaktadır. Bu durum, yangınla mücadele stratejilerinin yalnızca reaktif müdahalelerle sınırlı kalmamasını, aynı zamanda daha hızlı, güvenli ve etkili teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Yangınla mücadelede kullanılan araç ve sistemler, tarihsel olarak önemli bir evrim geçirmiştir. Antik çağlardan günümüze kadar uzanan süreçte, elle çalışan su pompaları ve atlı araçlardan, yüksek teknolojiyle donatılmış motorlu itfaiye araçlarına ve son olarak da otonom yangın söndürme robotlarına kadar çok çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu dönüşüm, yalnızca mühendislik çözümlerinin ilerlemesiyle değil, aynı zamanda afet yönetimi anlayışının da köklü biçimde değişmesiyle mümkün olmuştur.

Günümüzde yangın söndürme teknolojileri, yapay zekâ, robotik, insansız hava ve kara araçları, artırılmış gerçeklik gibi ileri dijital teknolojilerle entegre edilmektedir. Bu bağlamda özellikle insansız yangın söndürme sistemleri, yangına müdahale sürecinde insan güvenliğini önceleyen, yüksek riskli ortamlarda görev yapabilen yenilikçi çözümler olarak ön plana çıkmaktadır. Kara, hava ve deniz platformlarında geliştirilen bu sistemler, müdahale hızını ve doğruluğunu artırmakta; aynı zamanda operasyonel riskleri azaltmaktadır.

Bu çalışma, yangın söndürme teknolojilerinin tarihsel gelişimi ve sınıflandırmasını ele alarak modern teknolojik dönüşümü incelemektedir. Özellikle insansız sistemlerin yükselişi, küresel pazar dinamikleri bağlamında değerlendirilmektedir. Araştırma, sistematik bir literatür taramasına dayanan derleme niteliğindedir. Bu kapsamda 2010–2024 yılları arasında Scopus, Web of Science, Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect ve SpringerLink veri tabanları taranmıştır. Temel anahtar kelimeler arasında “yangın söndürme teknolojileri”, “itfaiye araçları”, “yangın robotları”, “yangında insansız sistemler”, “afet yönetimi ve itfaiyecilik” ile “otonom acil müdahale sistemleri” yer almaktadır. Kaynak seçiminde hakemli makaleler, uluslararası konferans bildirileri ve akademik kitap bölümleri önceliklendirilmiş; teknik raporlar ve sektör verileri destekleyici olarak kullanılmıştır. Üretici firmalara ait dokümanlar yalnızca sistemlerin teknik özelliklerini açıklamak amacıyla değerlendirilmiştir. Bu yönetsel yaklaşım, yangınla mücadeledeki teknolojik evrimi ve insansız sistemlerin uygulama alanlarını mevcut bilimsel bilgi birikimi ışığında kapsamlı ve nesnel bir biçimde incelemeyi sağlamıştır.

AFET YÖNETİM DÖNGÜSÜ TEORİSİ VE İTFAİYECİLİKTE İNSANSIZ SİSTEMLER

Afet yönetimi, afet süreçlerinde yürütülecek faaliyetlerin planlanması, koordine edilmesi ve etkin bir şekilde yönetilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Sarp, 1999:5-54; Memiş & Babaoğlu, 2020: 63-170; Özey, 2011). Schramm’a (1993) göre afet yönetimi, afet öncesinde risk taşıyan bölgelerde hazırlık stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanmasını kapsamaktadır. Ayrıca, afet etkilerini önlemeye veya azaltmaya yönelik risk azaltma çalışmaları yürütülmekte ve uzun vadeli politikaların oluşturulması bu sürecin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Schramm, 1993). Afet yönetimi, risklerin tespiti, kontrolü, planlanması, politika belirleme ve eğitim faaliyetlerini kapsayan çok boyutlu bir süreçtir. Merkezinde kamu yönetimi bulunmakta olup, farklı disiplinlerin iş birliğiyle bütünleşik bir yaklaşım gerekmektedir (Karaman, 2016: 2). Afetlerin çok boyutlu, karmaşık ve dinamik yapısı ve

başarılı uygulama örnekleri, entegre bir afet yönetimi anlayışının benimsenmesini zorunlu kılmaktadır (Tablo 1) (Leblebici, 2015: 44; Çağlayan, Satoğlu & Kapukaya, 2018; Acar & Çağdaş, 2019: 237)

Afetler, kaynaklarına göre doğal ve insan kaynaklı olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Doğal afetler, evrenin kendi dinamikleri çerçevesinde ortaya çıkan biyolojik, hidrolojik, meteorolojik, jeolojik veya iklimsel olaylardır (Guha-Sapir vd., 2016: 14). İnsan faaliyetlerinin dolaylı etkileri, çarpık kentleşme, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi faktörler, özellikle meteorolojik afetlerin şiddetini ve sıklığını artırabilmektedir. İnsan kaynaklı afetler ise çoğunlukla dikkatsizlik veya tedbirsizlik sonucu meydana gelmektedir (Tablo 1) (Kadioğlu, 2017: 44-48).

Tablo 1: Afet Türleri ve Alt Kategorilerine Göre Sınıflandırma

Afet Türü	Alt Kategori	Örnekler
Doğal Afetler	Jeolojik Kökenli	Deprem, Tsunami, Volkanik Patlama, Heyelan, Maden Yangını, Baraj Kazası
	Meteorolojik / Su ve İklimsel	Tropikal Hortum, Kasırga, Sel, Kuraklık, Dolu Fırtınası, Sağanak Yağış, Sıcak/Soğuk Hava Dalgası, Çığ, Deniz Aşındırması
	Çevresel	Çevre Kirliliği, Orman Tahribi, Çölleşme, Haşere İstilası
Biyolojik Afetler	-	Salgın Hastalık, Haşere İstilası, Besin Zehirlenmesi, Kitle İmha Silahları
İnsan Kaynaklı Afetler	Kimyasal, Endüstriyel ve Nükleer	Kimyasal Felaketler, Endüstriyel Felaketler, Petrol Sızıntısı/Yangını, Nükleer Kazalar
	Kazalar	Deniz/Kara/Tren Kazaları, Orman Yangınları, Bina Çökmeleri, Elektrik Kazaları, Mayın Patlaması
	Diğer İnsan Kaynaklı	Baraj Yıkılmaları, Yangınlar, Biyolojik Saldırıları, Siberetik Saldırıları, İş Kazaları, Terör Olayları, Tehlikeli Madde Taşıyan Araç Kazaları

Kaynak: Kadioğlu, 2017: 45-49; Sancakdar, 2016: 40; Toros ve Anbarcı, 2018: 22-23. Central Board of Secondary Education, 2006: 3.

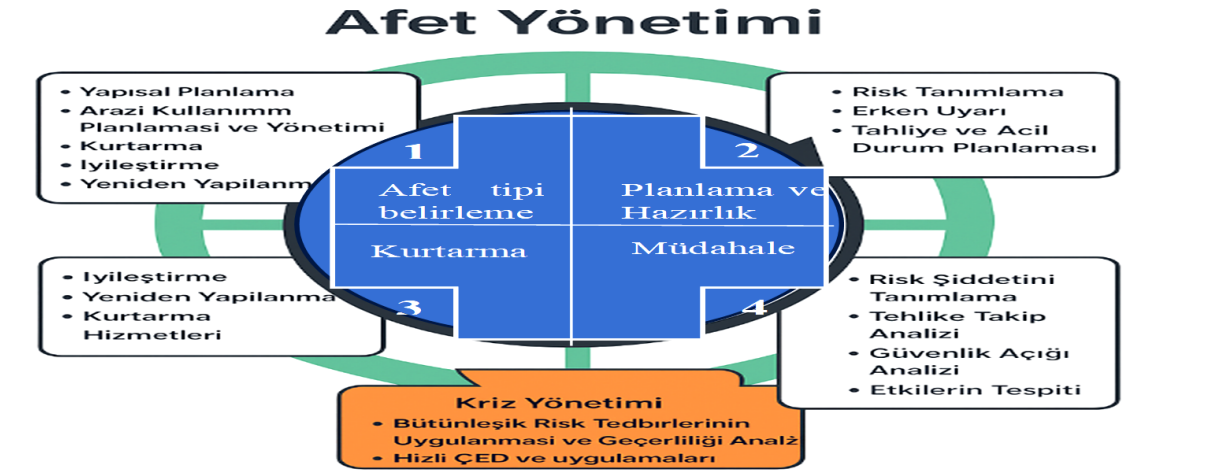
Afet Yönetimi Döngüsü Teorisi, afetleri önleme/zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme olmak üzere dört temel aşamada sistematik biçimde değerlendiren en yaygın kuramsal model olarak kabul edilmektedir (Yılmaz & Akbulut, 2021: 829-846; Turna & Savaş Yavuzçehre, 2024: 1-25). Bu teori, risklerin yalnızca afet anında değil, afet öncesi ve sonrası süreçlerde de yönetilmesi gerektiğini vurgulayarak bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır (Tuncer, 2022: 165).

Teknolojik yeniliklerin benimsenmesini açıklamak için iki temel kuramsal yaklaşım öne çıkmaktadır. Birincisi, Davis (1989) tarafından geliştirilen Teknoloji Kabul Modeli (TAM)dir. Bu model, kullanıcıların bir teknolojiyi benimseme kararında “algılanan fayda” ve “algılanan kullanım kolaylığı” değişkenlerinin belirleyici olduğunu savunur. İtfaiyecilikte insansız sistemlerin benimsenmesi, kullanıcıların operasyonel etkinliği ve pratik kullanımı faydalı bulmalarıyla doğrudan ilişkilidir (Serçemeli ve Kurnaz, 2016: 43-52; Turan ve Özgen, 2009: 134-147; Sarıtaş, 2015)

İkincisi, Rogers (2003) tarafından geliştirilen Yeniliğin Yayılımı Teorisi’dir. Bu teori, bir yeniliğin toplum veya örgütler içinde nasıl ve hangi hızla yayıldığını açıklar. Yeniliklerin benimsenmesi, göreceli üstünlük, mevcut değerlerle uyumluluk, karmaşıklık düzeyi, denenebilirlik ve gözlemlenebilirlik gibi faktörlere bağlıdır. Yangın söndürmede kullanılan insansız hava araçları, robotik sistemler ve otonom platformlar, bu ölçütler çerçevesinde değerlendirildiğinde bazı kurumlarda hızlı, bazı bölgelerde ise daha yavaş bir adaptasyon süreci göstermektedir (Tınaz, 2023; Candan, 2016).

Afet yönetimi, merkezinde kamu yönetimi bulunan ve çok disiplinli bir yaklaşım gerektiren kapsamlı bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Karaman, 2016: 2). Söz konusu süreç, risk ve zarar

azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme bileşenlerini kapsamaktadır. Ayrıca, uluslararası uygulama ve standartlar çerçevesinde şekillenmektedir (Leblebici, 2015: 44; Çağlayan, Satoğlu & Kapukaya, 2018; Acar & Çağdaş, 2019: 237). Bu aşamalar, afetleri bütüncül bir perspektifle ele almakta ve risk yönetimini sürecin merkezine konumlandırmaktadır (Kadioğlu, 2017: 213; Erdem, 2016: 330).



Şekil 1: Afet Yönetimi Teorisi

Kaynak: Carter, 2007: 835–856; Koç, 2004; Özler, 2019: 139-150 ; Ekşi, 2016: 75-100; Alexander, 2012: 179-205; Şahin, 2020: 129-158; Angin, 2024: 687-714; Rovins vd., 2015: 84-71; Quarantelli, 2003

Önleme / Zarar Azaltma: Önleme aşaması, yangınların oluşumunu engellemeye veya etkilerini en aza indirmeye yönelik yapısal ve yapısal olmayan tedbirleri kapsamaktadır (Kahraman, Polat & Korkmazıyürek, 2021: 7-14; Özer, 2016). Örneğin, termal kamera ve multispektral sensörlerle donatılmış İHA'lar ile sabit veya mobil otonom robot sistemleri, risk tespiti, erken uyarı ve potansiyel tehlikelerin önlenmesinde yüksek etkinlik göstermektedir (Tablo 2).

Hazırlık: Hazırlık aşaması, potansiyel yangınlara karşı müdahale kapasitesini artırmayı amaçlayan planlama, eğitim, tatbikat ve kaynak yönetimi faaliyetlerini kapsamaktadır (Kahraman, Polat & Korkmazıyürek, 2021: 7-14). Bu aşama, afet yönetim planlarının, olay komuta sistemlerinin ve erken uyarı mekanizmalarının geliştirilmesini kapsamaktadır. Kaynak temini ve tatbikatlar müdahale etkinliğini sağlamaktadır. Hazırlık süreci ise örgütsel yapı ve müdahale yöntemlerinin netliğini güvence altına almakta ve toplumsal farkındalığı artırmaktadır (Kadioğlu, 2017: 66-90; Yeşilkuş, 2011: 27). Modern teknolojik çözümler, örneğin kara söndürme robotları, insansız hava araçları ve insansız robotlar, yüksek riskli tatbikat ve kapalı alan operasyonlarında güvenli ve gerçekçi uygulama olanağı sağlamaktadır. Bu durum, planlama doğruluğu ve operasyonel etkinliği önemli ölçüde artırmaktadır (Tablo 2).

Müdahale: Müdahale aşaması, yangın başladıktan sonra can güvenliğinin sağlanması, yangının yayılmasının durdurulması ve kritik altyapının korunmasına yönelik operasyonel faaliyetleri kapsamaktadır (Kahraman, Polat & Korkmazıyürek, 2021: 7-14). Kara söndürme robotları su, köpük veya kuru kimyasal ile müdahale etmektedir. İnsansız hava ve deniz araçları geniş alanlarda veya kıyı tesislerinde yangına müdahale sağlar. İnsansız robotlar ve robotik köpekler dar alanlarda hortum taşıma, yangın söndürme ve yaralı tahliyesi görevlerini üstlenmektedir. Müdahale çalışmaları, afetin şiddeti ve kapsamına göre analiz, olay yeri yönetimi ve iyileştirme ile desteklenmektedir (McMahon, 2007: 95-96; Kadioğlu & Özdamar, 2008: 29; Gülkan, Balamir & Yakut, 2003: 61) (Tablo 2).

İyileştirme: İyileştirme aşaması, yangın sonrası normal yaşamın yeniden tesis edilmesini, hasarın giderilmesini ve benzer afetlerin gelecekteki etkilerinin azaltılmasını amaçlayan süreçleri

kapsamaktadır (Kahraman, Polat & Korkmazıyürek, 2021: 7-14; Işık vd., 2012: 95). Bu süreçte edinilen deneyimler doğrultusunda orta ve uzun vadeli çalışmalar yürütülmektedir. Söz konusu faaliyetler, konut temini, ekonomik toparlanma, mekânsal planlama, altyapı onarımı ve güçlendirilmesi ile çevre düzenlemelerini içermektedir (Kadioğlu, 2017: 57-58, 63; Kadioğlu, 2011: 117-203; Karaman, 2016: 4; Macit, 2019: 177; İnmez, 2011: 193). Afet yönetiminin tüm unsurlarının entegre ve sürekli uygulanması, müdahale etkinliğini artırmaktadır. Gelişmiş ülkelerde süreç daha etkin yürütülürken, gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerde zararlar daha yüksek olmaktadır (Kadioğlu, 2017: 71-72). İnsansız hava araçları (İHA), kara robotları ve robotik köpekler, hasar tespiti, sıcak nokta taraması ve enkaz altı arama gibi faaliyetlerde yeniden tutuşma riskini azaltmaktadır. Deniz tabanlı insansız araçlar ise kıyı ve liman bölgelerinde soğutma ve güvenlik taramaları gerçekleştirilmektedir (Tablo 2).

Tablo 2: Afet Yönetim Döngüsü Teorisi'nin İtfaiyecilikte İnsansız Sistemler Bağlamında Uygulama Alanları

Aşama	Tanım	İtfaiyecilikte İnsansız Sistem Uygulamaları
Önleme / Zarar Azaltma (Mitigation)	Yangının meydana gelmesini önleyici veya etkilerini azaltıcı yapısal ve yapısal olmayan tedbirler.	- İHA'lar: Termal kameralar ve multispektral sensörlerle orman, endüstri ve kentsel alanlarda sıcak nokta tespiti. - Sabit otonom robotlar: Endüstriyel tesislerde sensör verileri ile riskli ekipman ve yanıcı madde kaynaklarını otomatik devre dışı bırakma. - Kara söndürme robotları: Tekerlekli ve paletli insansız araçlar ile riskli alanların ön taraması.
Hazırlık (Preparedness)	Müdahale kapasitesini artırmaya yönelik planlama, eğitim, tatbikat ve kaynak yönetimi süreçleri.	- Kara söndürme robotları: Tekerlekli ve paletli insansız araçlar ile yüksek riskli tatbikat senaryolarının güvenli uygulanması. - İHA'lar: Tatbikat öncesi üç boyutlu haritalama. - İnsansı robotlar ve robot köpekler: Yangın ortamında manevra kabiliyetini test etme, kapalı alan tatbikatları.
Müdahale (Response)	Yangın başladıktan sonra hayat kurtarma, yayılımı durdurma ve kritik altyapıyı koruma faaliyetleri.	- Kara söndürme robotları: Tekerlekli ve paletli insansız araçlar ile su/köpük/kuru kimyasal müdahale. - Hava yangın söndürme araçları: İHA'lar, insansız helikopterler ve insansız uçaklarla geniş alan su ve geciktirici madde bırakma. - Deniz söndürme araçları: İnsansız yangın söndürme gemileri ile liman, gemi ve kıyı tesislerindeki yangınlara müdahale. - İnsansı robotlar ve robot köpekler: Dar alanlarda hortum taşıma, kapalı alan müdahalesi ve yaralı tahliyesi.
İyileştirme (Recovery)	Yangın sonrası normal yaşam düzenine dönüş, hasarın giderilmesi ve risklerin azaltılması.	- İHA ve kara robotları: Hasar tespiti ve sıcak nokta taraması. - Deniz söndürme araçları: Yangın sonrası kıyı ve liman bölgelerinde soğutma ve güvenlik taramaları. - İnsansı robotlar ve robot köpekler: Tehlikeli alanlarda yeniden tutuşma risk kontrolü ve enkaz arama. - Veri entegrasyonu: Önleme ve hazırlık stratejilerinin bilimsel temellere dayalı geliştirilmesi.

Kaynak: Kadioğlu, 2017: 45-49; Sancakdar, 2016: 40; Toros ve Anbarcı, 2018: 22-23. Central Board of Secondary Education, 2006: 3 yazarlarının afet yönetimi teorisi şemasından yararlanarak yazar tarafından yapılmıştır.

YANGIN SÖNDÜRME ARAÇLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Yangın söndürmede kullanılan ilk mekanik cihazlar, M.Ö. 3. binyılda Mezopotamya'da kovalar ve el tulumlarıyla ortaya çıkmıştır (Bulut ve Kurt, 2020: 415–426; Kaçar, 2012; Cotterell & Kamminga, 2002). Antik Mısır'da Ctesibius'un M.Ö. 2. yüzyılda geliştirdiği pistonlu su pompası, yangına müdahalede ilk gelişmiş mekanik araç olarak kabul edilmektedir (Gülgün, Keskin & Ankaya, 2011: 18–23). Antik Roma'da M.S. 6. yüzyılda kurulan "Corpo di Vigili" itfaiye teşkilatı, yangınla mücadelede kurumsallaşmanın ilk örneğidir (Ulus, 2019; Oduncu, 2018). Orta Çağ'da yangın

söndürme yöntemleri su kovaları ve elle çekilen pompalara dayanırken, 17. yüzyılda Jan van der Heyden ve Richard Newsham'ın yüksek basınçlı el pompaları müdahale etkinliğini artırmıştır (Sutton & Bikker, 2006; De Vries, 1976: 267–275; Alkemade, 2019; Davids, 2000: 263–283; Spirikina, 2013; Kaprow, 1991: 97–103). Sanayi Devrimi ile 19. yüzyılda buharlı ve içten yanmalı motorlu araçlar geliştirilmiş; müdahale süresi ve kapasite belirgin şekilde yükselmiştir (Henderson, 2016; Kitsikopoulos, 2013: 304–344; Ewen, 2010: 51–70).

20. yüzyılda motorlu yangın araçları, teleskopik merdivenler ve yüksek kapasiteli pompalarla donatılarak profesyonelleşmiştir. 1868'de Daniel D. Hayes tarafından icat edilen teleskopik merdivenli araç, yüksek katlı binalara müdahaleyi mümkün kılmıştır (Mutza, 2020; Baker, 2018; Rothschild & Rothschild, 2015). 1960'lardan itibaren modern su pompaları, hidrolik merdiven sistemleri ve ergonomik kabinler standart hâle gelmiştir (Röster, 2021; Marzêda, 2024: 81–98; Baker, 2018). 21. yüzyılda teknolojik gelişmeler hız kazanmış; elektrikli motorlar, termal kameralar, entegre su-köpük sistemleri ve gelişmiş komuta-kontrol donanımları yangın araçlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca, Singapur Sivil Savunma Kuvvetleri tarafından geliştirilen "Red Rhino Robot" gibi robotik sistemler, yüksek riskli yangın ortamlarında insan güvenliğini ön planda tutarak etkin müdahale sağlamaktadır (Rosenbauer, 2025). Günümüzde modern itfaiye araçları, yüksek irtifa erişimi, hızlı müdahale kapasitesi, entegre kurtarma sistemleri ve ileri seviye yangın söndürme teknolojileri ile donatılmaktadır.

YANGIN SÖNDÜRME ARAÇLARININ SINIFLANDIRILMASI

Müdahale Alanına Göre Sınıflandırma

Şehir İtfaiye Araçları: Şehir itfaiye araçları, yoğun nüfuslu ve altyapı açısından karmaşık kent merkezlerinde yangın ve acil durum müdahaleleri için tasarlanmıştır. Araçlar, dar sokaklar, yüksek katlı binalar ve yoğun trafik gibi kentsel koşullara uyum için 4x2 veya 4x4 tahrik sistemleriyle donatılmıştır. Su tankları 2.000–7.000 litre, köpük tankları 30–500 litre kapasitelidir. Yüksek basınçlı pompalar ve teleskopik merdivenler, çok katlı yapılara etkin müdahale imkânı sunmaktadır (Şekil 2) (Chen vd., 2021: 4200; Politika vd., 2025; Jin & Ahn, 2024; Vrtal vd., 2021: 1–17).

Orman Yangını Söndürme Araçları: Orman yangını söndürme araçları, kırsal ve ormanlık alanlardaki yangınlara müdahale için tasarlanmıştır (Silva vd., 2023: 273–294; Rekeny & Restás, 2021: 82–91). Bu araçlar 4x4 tahrik sistemi, yüksek yerden açıklık ve off-road lastiklerle donatılmıştır. Su tankları 1.900–5.700 litre kapasiteye sahiptir ve 570–1.900 litre/dakika debili pompalarla desteklenmektedir. Yangın hortumları, köpük ve el aletleri ile engebeli arazilerde hem doğrudan müdahale hem de çevreleme yapılabilir (Şekil 2) (Şafak & Karademir, 2025: 148–156; Van & Tung, 2024: 3507–3517; Van & Thanh, 2025: 2853–2863; Wang vd., 2024b: 1313–1317; Acar & Honkavaara, 2024: 1–18).

Havalimanı Yangın Söndürme Araçları: Havalimanı yangın söndürme araçları, uçak kazaları ve havalimanı tesislerindeki yangınlara hızlı müdahale amacıyla uluslararası sivil havacılık güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlanmaktadır (Jia & Wang, 2021: 1209–1213; Wang, Chen & Huang, 2024: 317–324; Struminska & Filippone, 2024: 1895–1923). Bu araçlar, genellikle 4x4, 6x6 veya 8x8 tahrik sistemine sahip olup, 3.000–12.000 litre su ve 300–1.500 litre köpük kapasitesi ile donatılmıştır. Dakikada 1.000–8.000 litre debili pompalar ve AFFF, kuru kimyasal tozlar veya halon gazı gibi söndürme ajanları ile desteklenmektedir. Ayrıca hidrolik kesici takımlar, kurtarma halatları, teleskopik merdivenler ve solunum ekipmanları, yaşam kurtarma operasyonlarının etkin yürütülmesine imkân tanımaktadır (Şekil 2) (Fireapparatusmagazine, 2018).

Taşıma ve Güç Kaynağına Göre Sınıflandırma

Elle Çalışan Su Pompaları: Elle çalışan su pompaları, suyun taşınması ve kontrolünde tarihsel olarak temel araçlardır; M.Ö. 3. binyılda Mezopotamya’da su çarkları, oluklar ve basit mekanik sistemlerle geliştirilmişlerdir (Oğuz, 2017: 186–194; Bulut & Kurt, 2020: 415–426). Başlangıçta tarımsal sulama ve içme suyu temini için kullanılan bu pompalar, düşük debi ve basınç kapasiteleri nedeniyle yalnızca küçük yangınlara müdahale edebilmiştir. Zamanla, yangınla mücadelede mekanikleşmenin tarihsel öncülleri olarak daha yüksek basınçlı sistemlerle yer değiştirmiştir (Şekil 2) (Yannopoulos vd., 2015: 5031–5060; Perry vd., 2010).

Hayvan Çekişli Yangın Araçları: Hayvan çekişli yangın araçları, Sanayi Devrimi öncesi ve sonrası dönemde yangın ekipmanlarının taşınmasında kullanılmıştır. 18. ve 19. yüzyıllarda mekanik veya buharlı pompalar, at veya büyükbaş hayvanlar tarafından çekilen platformlara monte edilerek işlev görmüştür. Bu sistemler elle çalışan pompalara göre daha yüksek basınçla su püskürtse de, dar sokaklar ve yoğun trafik nedeniyle manevra kabiliyeti sınırlı kalmış ve yerlerini modern taşıma araçlarına bırakmıştır (Şekil 2) (Oregon History Project, 2025).

Motorlu Yangın Araçları: Motorlu yangın araçları, içten yanmalı ve günümüzde giderek artan oranda elektrik motorlarıyla çalışarak modern itfaiyeciliğin temelini oluşturur. 20. yüzyıl başlarında sanayi ve ulaşım teknolojilerindeki gelişmeler, atlı sistemlerin yerini motorlu yangın araçlarına bırakmıştır. Bu araçlar yüksek manevra kabiliyeti, hız ve ekipman taşıma kapasitesi ile operasyonel etkinliği artırmıştır. Günümüzde ise dijital izleme, otomatik köpük sistemleri, hidrolik kurtarma ekipmanları ve GPS tabanlı navigasyon ile donatılmış çok amaçlı sistemler kullanılmaktadır (Söylemez, 2012: 31–47; Sertkan, 2015; Baker, 2018).

Elektrikli Yangın Araçları: Elektrikli yangın araçları, fosil yakıtlı motorlara alternatif olarak geliştirilmiş ve çevresel sürdürülebilirlik ile enerji verimliliği sağlayan sistemlerdir. Şehir içi müdahalelerde kullanılan bu araçlar, sıfır emisyon, düşük ses seviyesi ve batarya destekli güç ile sürüş ve pompa operasyonlarını etkin şekilde yürütmektedir. Avrupa üreticileri tarafından geliştirilen elektrikli ve hibrit modeller, akıllı enerji yönetimi, dijital kontrol panelleri ve düşük bakım maliyeti ile çevre dostu itfaiyecilik uygulamalarını temsil etmektedir (Şekil 2) (Yi, Yike & Shouqing, 2023: 388–396).

Otonom/Robotik Yangın Söndürme Araçları: Otonom ve robotik yangın söndürme araçları, insan müdahalesinin riskli veya yetersiz olduğu durumlar için yapay zekâ ve uzaktan kontrol sistemleriyle tasarlanmış insansız sistemlerdir. Bu araçlar, yüksek riskli alanlarda personel güvenliğini artırırken yangınla mücadele etkinliğini de yükseltmektedir. Termal kameralar, sensör füzyonu, GPS ve kablosuz iletişim ile donatılmış modeller, yangını analiz ederek müdahaleyi otonom veya uzaktan gerçekleştirebilmektedir (Khoo vd., 2013: 356–360; Wang vd., 2024a). Japonya’da geliştirilen 'Dragon Firefighter' robotu, yüksek basınçlı su püskürtme ve drone destekli sistemlerle müdahaleyi optimize etmektedir (Şekil 2) (Ralls, 2025). Tekerlekli, paletli ve çok ayaklı platformlar zorlu arazilerde etkin kullanılabilir. Yapay zekâ ve robotik teknolojiler, bu araçların yangınla mücadeleye entegrasyonunu artırmaktadır (Nagesh, Deepika & Stafford Michahial, 2016: 2278–1021; Diwanji Hisvankar & Khandelwal, 2019: 327–329; Nivnesh vd., 2017).

Ekipman ve İşlevine Göre Sınıflandırma

Su Tankeri: Su tankerleri, yüksek hacimli su depolama kapasiteleri sayesinde özellikle su altyapısının yetersiz olduğu kırsal ve yarı kırsal alanlarda yangın müdahalesine imkân tanımaktadır. Genellikle 5.000–15.000 litre su taşıyan bu araçlar, doğrudan yangına müdahale etmese de yangın

sahasına sürekli ve yeterli su sağlayarak operasyonların sürekliliğini desteklemektedir. Ayrıca, yangın pompaları ve diğer müdahale araçlarına ek destek sağlamaktadır (Şekil 2) (Grimwood & Sanderson, 2015: 155–167; Ismail vd., 2024: 184–189).

Pompalar: Pompalar, yüksek basınçlı su pompalarıyla donatılmış olup, yangınla doğrudan mücadele etmektedir. Bu araçlar, yangını söndürmenin yanı sıra suyun yönlendirilmesi, basınç kontrolü ve farklı hortum hatlarına dağıtılması görevlerini de yerine getirmektedir. Şebeke suyu, açık su kaynakları veya su tankerlerinden temin edilen suyu yangına ulaştıran pompalar, modern itfaiye teşkilatlarının temel unsurlarını oluşturmaktadır (Şekil 2) (Rosenbauer America, 2025).

Merdivenli Araçlar: Merdivenli araçlar, çok katlı ve yüksek yapılara üst kattan erişim sağlamak amacıyla teleskopik veya makaslı merdiven sistemleriyle donatılmaktadır. Bu araçlar, su iletimi, kurtarma operasyonları, pencere tahliyesi ve duman tahliyesi görevlerinde kullanılmaktadır. Merdiven sistemleri genellikle 20–70 metreye kadar uzayabilmekte olup, modern versiyonlarda hidrolik sepetler, yangın monitörleri ve kamera sistemleri entegre edilmektedir (Kratochvíl & Kratochvíl, 2009; Vrtal vd., 2021).

Köpük Tankeri: Köpük tankerleri, özellikle akaryakıt, gaz ve kimyasal yangınlar gibi suyla söndürülmesi güç yangınlara müdahale amacıyla tasarlanmaktadır. Bu araçlar, yangın söndürmede kullanılan köpük maddelerini taşımakta ve olay yerinde su ile karıştırarak yangına uygulanmasını sağlamaktadır. Genellikle sanayi bölgeleri, rafineriler, havaalanları ve petrokimya tesislerinde görev yapan köpük tankerlerinin taşıdığı köpük konsantresi kapasitesi 500–3.000 litre arasında değişmektedir (Şekil 2) (Xie, 2013: 458–467; Wang & Xie, 2014: 276–285).

Röle Araçları: Röle araçları, su kaynağının yangın mahalline uzak olduğu durumlarda suyun uzun mesafeler boyunca kesintisiz iletimini sağlamaktadır. Belirli aralıklarla konuşlandırılarak pompa zinciri oluşturan bu araçlar, düşük debili kaynaklardan alınan suyu basınç kaybı olmadan yangın yerine ulaştırmaktadır. Röle sistemleri, geniş arazilerde ve yetersiz altyapılı bölgelerde kritik öneme sahiptir (Şekil 2) (Hatalla, 2017).

Kurtarma Araçları: Kurtarma araçları, yangın dışındaki çeşitli acil durumlara teknik müdahale sağlamak amacıyla özel ekipmanlarla donatılmış çok amaçlı araçlardır. Bu araçlar, trafik kazaları, göçükler, doğal afetler ve yüksek riskli kurtarma operasyonlarında kullanılmaktadır. Donanımları arasında hidrolik kesme sistemleri, vinçler, krikolar, hava yastıkları, jeneratörler, aydınlatma kuleleri ve ilk yardım kitleri bulunmaktadır. Kurtarma araçları, olay yerine hızlı ulaşarak hayati müdahalelerin yapılmasını sağlamaktadır (Şekil 2) (Norman, 2009; Macpherson & MacKenzie, 2016).

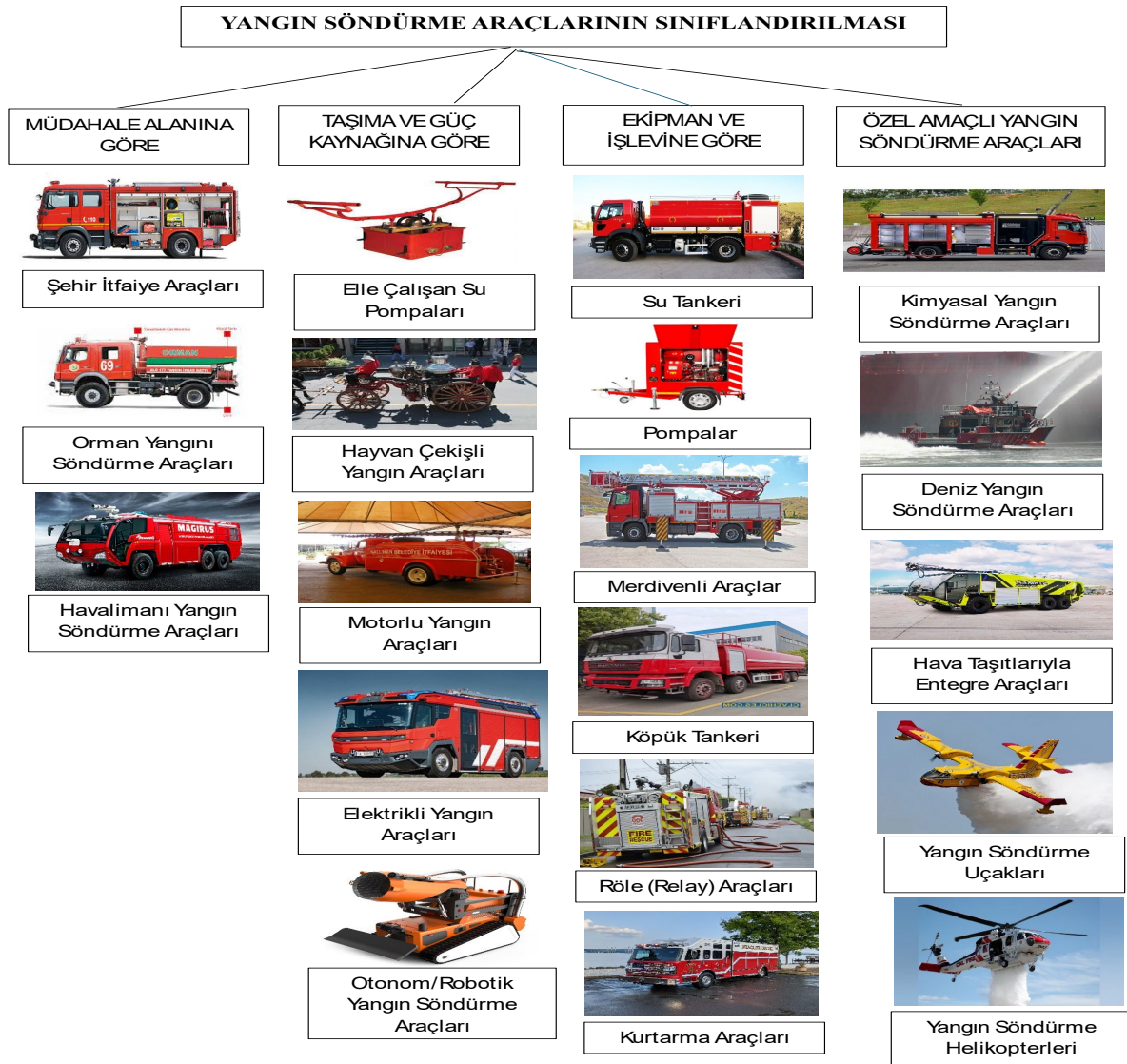
Özel Amaçlı Yangın Söndürme Araçları

Kimyasal Yangın Söndürme Araçları: Kimyasal yangınlar, petrokimya tesisleri, laboratuvarlar, rafineriler ve endüstriyel alanlarda yüksek risk oluşturmaktadır. Bu yangınlara müdahale için özel tasarlanmış kimyasal yangın söndürme araçları kullanılmaktadır. Morita Holdings Corporation tarafından geliştirilen kimyasal tenderler, 4.000–10.000 litre su ve 400–1.000 litre köpük kapasitesine sahip olup, kuru kimyasal söndürücüler, AFFF tipi köpük sistemleri ve gelişmiş yangın monitörleri ile donatılmaktadır. Ayrıca tehlikeli madde sızıntılarına müdahale için sensörler ve sızdırmaz haznelere entegre edilmektedir (Şekil 2) (CSC Trucks, 2023).

Deniz Yangın Söndürme Araçları: Deniz yangın söndürme araçları, limanlar, petrol platformları, kıyı yapıları ve açık deniz araçlarındaki yangınlara müdahale amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek debili su pompaları, yangın monitörleri, köpük sistemleri ve bazen dalgıç pompalarla

donatılan bu araçlar, 18. yüzyıl sonlarından itibaren kıyı yangınlarında görev yapmaktadır. Günümüzde modern fireboat'lar, itfaiye deniz unsuru olarak yangın söndürme, su altı arama, kurtarma, tahliye ve destek görevlerini yerine getirmektedir (Şekil 2) (Gürlek vd., 2019: 3–14; Sumic, Males & Rosic, 2021).

Hava Taşıtlarıyla Entegre Araçlar: Hava taşıtlarıyla entegre kara araçları, havaalanlarında yangınlar, uçak kazaları, yakıt sızıntıları ve yapısal yangınlarda kritik müdahale rolü üstlenmektedir. Bu operasyonlar, hava ve kara unsurlarının koordineli çalışmasını gerektirmektedir. Oshkosh Striker ARFF araçları 4x4, 6x6 ve 8x8 konfigürasyonlarda üretilir Su kapasiteleri 5.700–17.000 litre, köpük 800–2.400 litre ve kuru kimyasal yaklaşık 200 kg'dır. Araçlar yüksek manevra kabiliyeti, otomatik yangın sistemleri ve bazı modellerde “snozzle” kollar ile donatılmıştır (Şekil 2) (Marzêda, 2024: 81–98; Smith vd., 2018: 77–82; Eryılmaz, Dirik & Öney, 2024: 20286–20308; Millet, 2020; Oshkosh Airport, 2024).



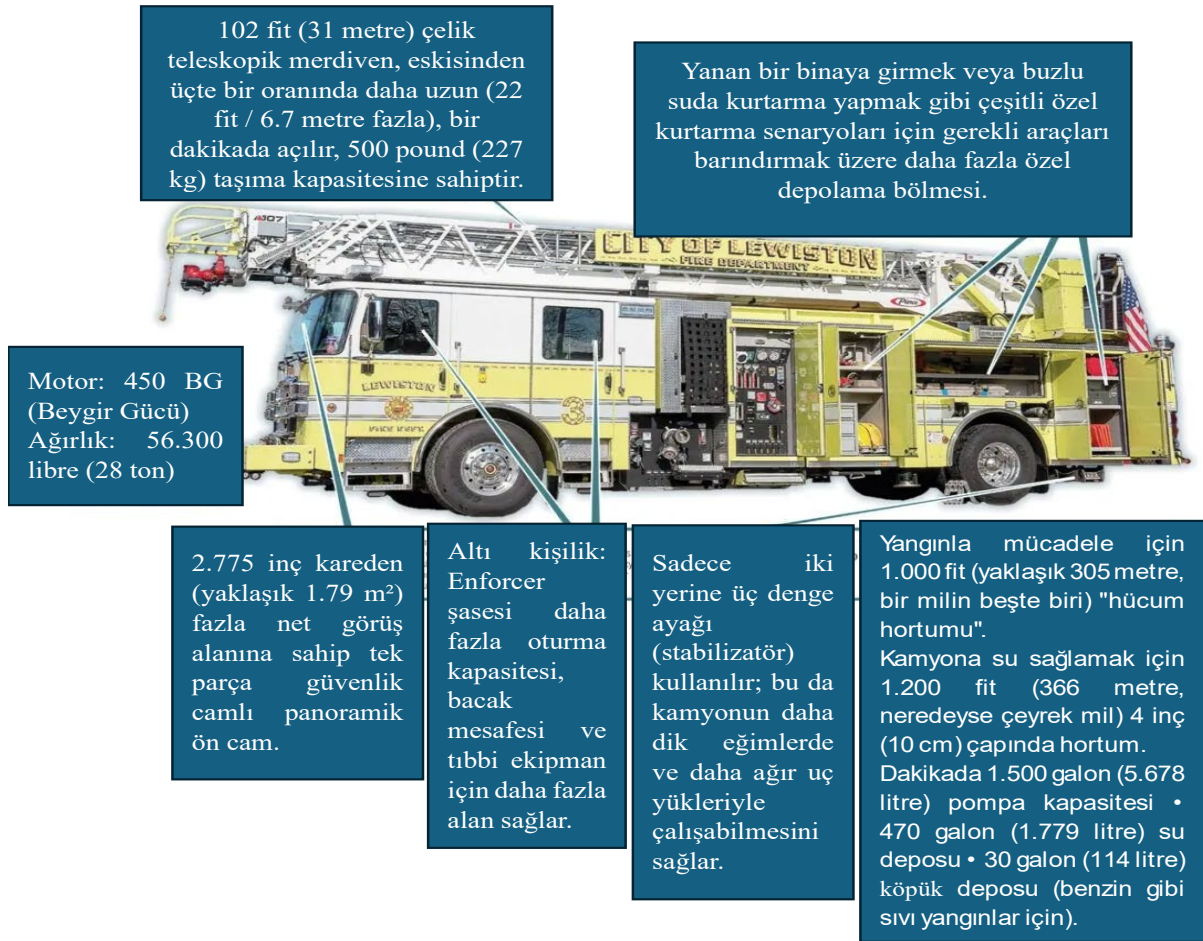
Şekil 2: Yangın Söndürme Araçlarının Sınıflandırılması

Kaynak: Fireapparatusmagazine, 2018; Oregon History Project, 2025; Grimwood & Sanderson, 2015: 155–167; Ismail vd., 2024: 184–189; Rosenbauer America, 2025; Kratochvíl & Kratochvíl, 2009; Hatalla, 2017; Norman, 2009; Macpherson & MacKenzie, 2016; CSC Trucks, 2023; Oshkoshairport, 2024 adreslerinden yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

YANGINLA MÜCADELEDE TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜM: AKILLI MÜDAHALE SİSTEMLERİ VE KÜRESEL PAZARDAKİ YÜKSELEN TRENDLER

Modern İtfaiye Araçlarında Teknolojik Dönüşüm ve Küresel Pazar Dinamikleri

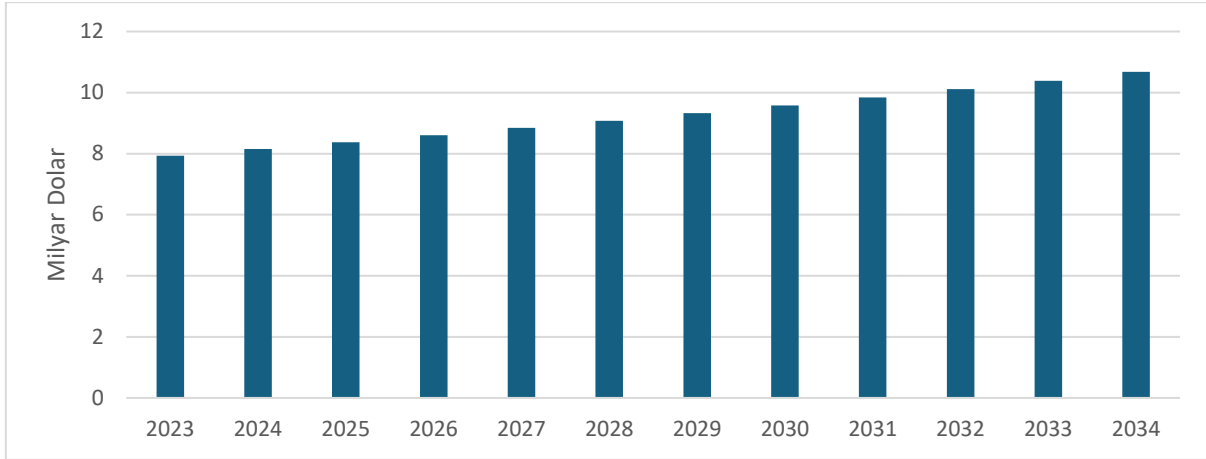
Kentleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği ile artan afet riskleri, modern itfaiye teknolojilerini zorunlu kılmaktadır (Kuş, 2018). Günümüzde araçlar yalnızca yangın söndürme değil, kurtarma ve olay yeri yönetimi için de çok işlevli tasarlanmaktadır. Örneğin Pierce Enforcer platformu, güçlü motoru, teleskopik merdiveni, yüksek kapasiteli pompası ve CAN-Bus tabanlı kontrol sistemi ile hem standartlara uygun hem de zorlu koşullarda yüksek performans sunmaktadır (Şekil 3) (Firerescue, 2025).



Şekil 3: Merdivenli İtfaiye Aracının Teknik Özellikleri ve Donanımları

Kaynak: Firerescue, 2025

Yangınla mücadele ekipmanları sektörü, özellikle araç üretimi alt segmentinde, kentleşme, sanayileşme, orman yangınları ve iklim kaynaklı afet risklerinin etkisiyle küresel ölçekte stratejik bir büyüme alanı hâline gelmiştir. Şekil 4, 2023–2034 dönemine ait pazar büyüklüğünün milyar dolar cinsinden yıllara göre değişimini göstermektedir. Veriler, pazarın 2023 yılında yaklaşık 8 milyar dolar seviyesinde başladığını ve dönem boyunca istikrarlı bir artış eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. 2030 yılı itibarıyla pazar büyüklüğünün yaklaşık 9,5 milyar dolara, 2034'te ise 10 milyar dolar eşliğini aşarak 10,5 milyar dolar seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Şekil 4) (Precedence Research, 2024).



Şekil 4: 2023–2034 Dönemi İçin Küresel Yangın Söndürme Araçları Pazar Büyüklüğü Tahminleri

Kaynak: Precedence Research, 2024

2024 yılına ilişkin küresel yangın söndürme araçları pazarının bölgesel dağılımı incelendiğinde, Avrupa'nın %36'lık oran ile küresel pazarda lider konumda olduğu gözlenmektedir. Bu durum, bölgedeki gelişmiş altyapı, sıkı yasal düzenlemeler ve yüksek kamu yatırımlarının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Asya-Pasifik bölgesi %29'luk pay ile ikinci sırada yer almakta olup, hızlı kentleşme, sanayileşme ve artan afet riski faktörleri bu büyümeyi desteklemektedir. Kuzey Amerika %24'lük pazar payıyla üçüncü sırada bulunmakta; bölgedeki yüksek teknoloji kapasitesi ve yenilikçi çözümler talebi güçlendirmektedir. Latin Amerika (%6) ile Orta Doğu ve Afrika (%5) ise düşük paylara sahip olup, bu durumun temelinde sınırlı altyapı, düşük teknoloji adaptasyonu ve yatırım eksiklikleri yatmaktadır. (Tablo 3) (Precedence Research, 2024).

Tablo 3: Bölgeler Bazında Pazar Payı Tahminleri (%)

Bölge	(%)
Avrupa	36
Asya-Pasifik	29
Kuzey Amerika	24
Latin Amerika	6
Orta Doğu ve Afrika	5

Kaynak: Precedence Research, 2024

Yangın Söndürme Robotlarının Teknolojik Evrimi ve Küresel Pazardaki Yükselişi

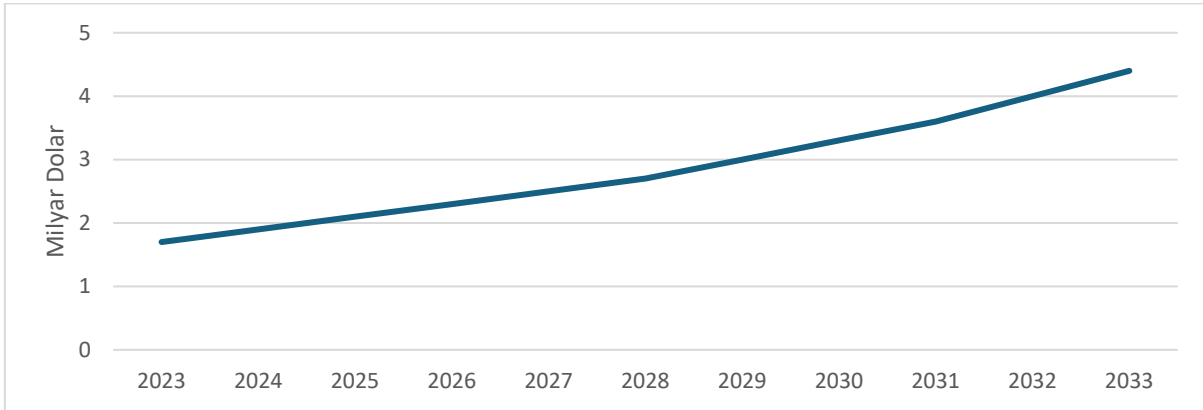
21. yüzyılda şehirleşme, sanayileşme ve iklim değişikliği nedeniyle yangın vakalarının sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Yoğun duman, aşırı sıcaklık ve patlama riski içeren ortamlarda geleneksel müdahale yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, otonom yangın söndürme robotları stratejik bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Wang, Chen & Huang, 2024). Termal kamera, LiDAR ve derinlik sensörleriyle donatılmış sistemler, yapay zekâ tabanlı işlemciler aracılığıyla yangını tespit etmektedir. Ayrıca, bu sistemler engelleri algılamakta ve müdahale stratejilerini belirlemektedir. SLAM algoritmaları sayesinde alanın üç boyutlu haritası oluşturulmakta ve hızlı, güvenli, otonom müdahale sağlanmaktadır (Şekil 5) (Ren vd., 2025).



Şekil 5: Robot İtfaiye Aracının Teknik Özellikleri ve Donanımları

Kaynak: Ren vd., 2025

Küresel yangın söndürme robotları pazarının hacmi 2023'te 1,7 milyar dolar iken, 2033'te 4,4 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Bu büyüme, teknolojik yenilikler ve artan yangın güvenliği gereksinimleri tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, otomasyon eğilimleri ve sanayileşmenin yoğunlaştığı bölgelerde yükselen güvenlik standartları da pazardaki büyümeyi güçlendirmektedir (Şekil 6) (Market.us, 2024).



Şekil 6. 2023-2033 Yılları Arasında Küresel Yangın Söndürme Robotları Pazarı Büyüme Tahminleri (Milyar Dolar)

Kaynak: Market.us, 2024

Yangın söndürme robotları pazarı, teknolojik gelişmeler, otomasyon eğilimleri ve artan yangın güvenliği gereksinimleri doğrultusunda küresel ölçekte hızlı bir büyüme göstermektedir. 2024 yılında Kuzey Amerika 566,6 milyon dolar, Avrupa 473,8 milyon dolar ve Asya-Pasifik 331,9 milyon dolar hacimle öne çıkmaktadır. 2030'a kadar bu rakamların sırasıyla 961,4 milyon, 782,3 milyon ve 622,6 milyon dolara ulaşması beklenmektedir. Orta Doğu, Afrika ve Latin Amerika pazarlarının ise altyapı ve teknoloji yatırımlarındaki artış sayesinde önemli bir büyüme potansiyeli taşıdığı öngörülmektedir (Şekil 7) (Grand View Research, 2025).

2024 itibarıyla Amerika Birleşik Devletleri, 375,3 milyon dolarlık hacimle yangın söndürme robotları pazarında lider konumdadır. 2030 yılına kadar bu hacmin 616,4 milyona ulaşması beklenmektedir. Avrupa'da Almanya başlıca pazar olarak öne çıkarken, Fransa ve Birleşik Krallık istikrarlı bir büyüme sergilemektedir. Meksika'nın pazar hacminin 122,8 milyondan 211,6

MODERN TEKNOLOJİLER VE İNSANSIZ SİSTEMLERİN YANGINLA MÜCADELEDEKİ ROLÜ

Günümüzde yangınla mücadelede insansız sistemler, müdahale etkinliğinin artırılması ve itfaiyecilerin güvenliğinin sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yarı otonom ve otonom kara araçları ile insansız hava araçları, geleneksel müdahale yöntemlerinin yerini giderek daha sofistike ve teknolojik çözümlere bırakmaktadır (Gürboğa, 2023; Ateş ve Düzgün, 2020). Dünya genelinde itfaiye operasyonlarında uygulanan modern teknolojiler ve insansız sistemler, genel olarak dört temel kategori altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar sırasıyla hava araçları, kara araçları ve robotlar, sensör tabanlı sistemler ile yapay zekâ destekli yazılımlardır. Her kategori, kullanım alanları, avantajları, sınırlamaları ve entegrasyon potansiyeli açısından farklılık göstermektedir (Balcerzak vd, 2021).

Hava araçları, İHA'lar ve yangın söndürme dronlarını kapsamakta olup, yangın alanlarının havadan hızlı bir şekilde taranması, sıcak noktaların tespiti ve arama-kurtarma operasyonları için etkin araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, erişimi güç alanlara hızlı müdahale ve veri toplama avantajı sağlarken, hava koşullarına duyarlılık ve sınırlı uçuş süreleri gibi operasyonel kısıtlamalar taşımaktadır. Ayrıca farklı dron sistemlerinin birbirleriyle koordinasyonu ve veri paylaşımı, yangın yönetim yazılımlarıyla entegrasyon düzeyine bağlı olarak müdahale etkinliğini önemli ölçüde artırabilmektedir (Yuan, Zhang & Liu, 2015: 783-792; Watts, Ambrosia & Hinkley, 2012: 1671-1692). Kara araçları ve robotik sistemler, endüstriyel tesisler, tehlikeli bölgeler ve şehir içi yangınlarda insan güvenliğini sağlamak ve müdahale kapasitesini artırmak için kullanılmaktadır. Yüksek basınçlı itfaiye araçları hızlı tepki sağlarken, otonom kara araçları ve su püskürtme robotları zorlu alanlarda insan faktörünü azaltmakta ve riskli alanlarda sürekli müdahale imkânı sunmaktadır (Bogue, 2012: 174-178; Sanaullah, Akhtaruzzaman & Hossain, 2022:123-156). Sensör tabanlı sistemler, termal kameralar ve IoT sensörlerini kapsamaktadır ve erken uyarı ile yangın tespiti açısından kritik öneme sahiptir. Bu teknolojiler, yangın alanında görünmeyeni görünür hâle getirerek müdahale etkinliğini artırmaktadır. Ancak veri güvenliği, altyapı gereksinimi ve yüksek maliyet gibi sınırlamalara tabidir. Farklı sensör sistemlerinin entegrasyonu, özellikle İHA ve kara robotlarıyla birlikte kullanıldığında, alan tarama ve sıcak nokta tespiti doğruluğunu artırmaktadır (AlQahtani vd., 2025).

Yapay zekâ destekli risk analizi sistemleri, yangın tahmini ve müdahale optimizasyonu ile kaynak yönetimi ve planlamayı iyileştirmektedir. Büyük veri analizi ve geçmiş olaylardan öğrenme mekanizmaları, müdahale stratejilerinin optimize edilmesini sağlamaktadır. Sistem etkinliği veri kalitesi ve eğitim süreçlerine bağlıdır; sistem bağımlılığı ve yüksek veri gereksinimi önemli sınırlayıcı faktörlerdir. Farklı ülkelerdeki uygulamalar, teknolojik adaptasyon ve entegrasyonun önemini göstermektedir. ABD ve Almanya, hava ve kara araçları, sensörler ile yapay zekâ yazılımlarını entegre kullanarak kapsamlı müdahale kapasitesi oluşturmuştur. İsveç ve Kanada robotik ve sensör tabanlı çözümlere odaklanırken, Çin ve İspanya dron tabanlı yangın tespiti ve keşifte öncüdür. Japonya ise endüstriyel yangınlarda otonom kara araçlarını etkin şekilde uygulamaktadır (Tablo 4).

Tablo 4: Yangın Müdahale Teknolojileri Karşılaştırması

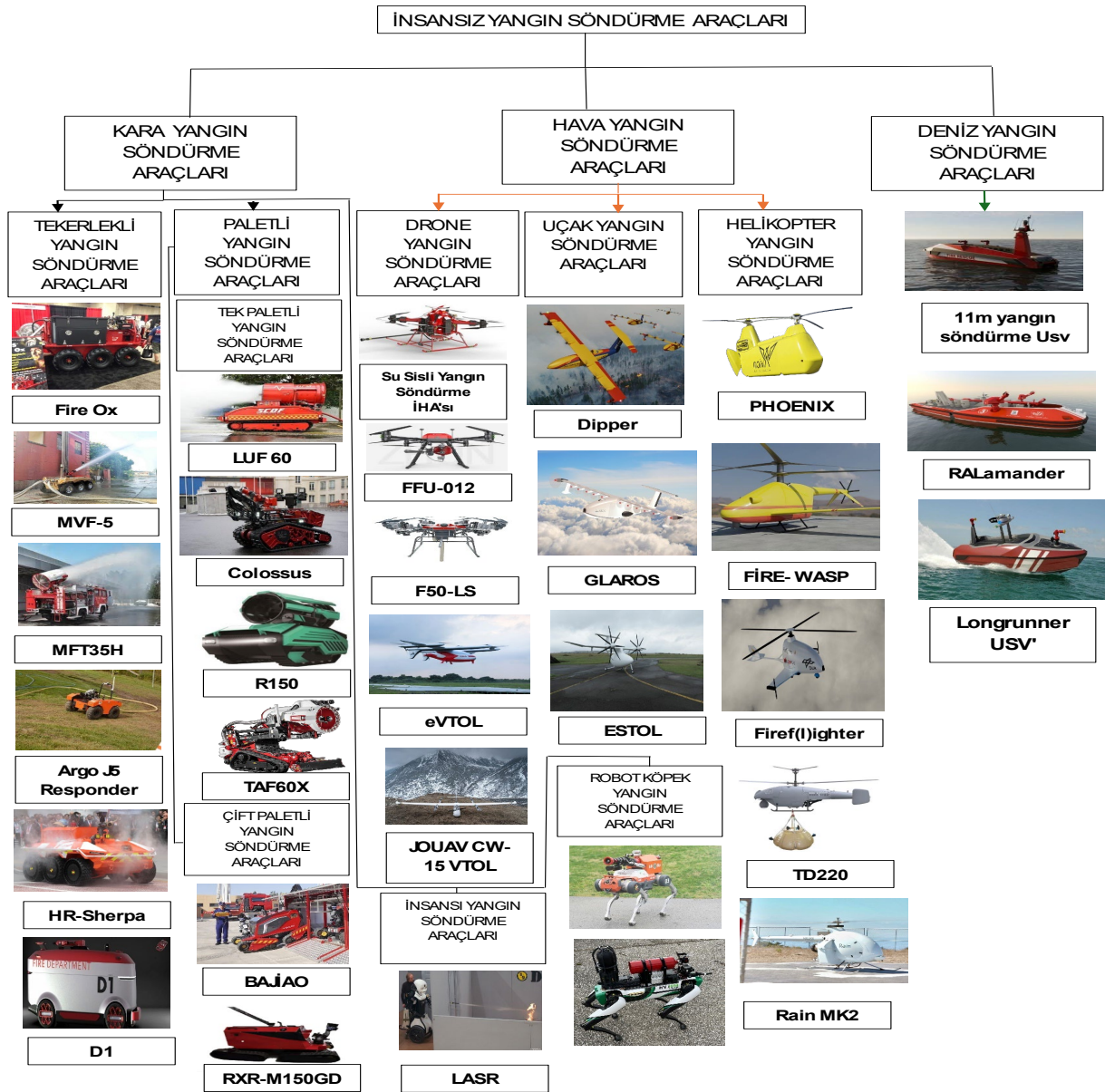
Teknoloji / Sistem	Türü	Kullanım Alanları	Avantajları	Sınırlamaları	Örnek Uygulamalar / Ülkeler
İHA (Drone)	Hava aracı	Yangın keşfi, sıcak nokta tespiti, arama-kurtarma	Hızlı veri toplama, ulaşılması zor bölgelere erişim	Hava koşullarına duyarlılık, sınırlı uçuş süresi	Çin, ABD, İspanya
Yangın Söndürme Dronları	Hava aracı	Orman ve endüstriyel yangınlarda	Zorlu bölgelere ulaşım, hızlı müdahale	Kısa uçuş süresi, sınırlı taşıma kapasitesi	İsrail, ABD

		müdahale			
Otonom Kara Araçları	Kara robot	Endüstriyel yangınlar, tehlikeli alanlar	İnsan güvenliğini artırır, tehlikeli alanlarda etkin	Yüksek maliyet, sınırlı operasyonel alan	Japonya, Almanya
Yüksek Basınçlı İtfaiye Araçları	Kara aracı	Şehir içi yangınlara hızlı müdahale	Etkili yangın söndürme, hızlı tepki süresi	Yüksek yakıt tüketimi, bakım gereksinimi	ABD, Kanada
Termal Kameralar	Sensör / Kamera	Yangın tespiti, insan ve hayvan kurtarma	Görünmeyeni görme, erken uyarı sistemi	Yüksek maliyet, bakım gereksinimi	İsveç, Almanya
IoT Sensörleri	Sensör / Ağ	Ekipman durumu izleme, yangın algılama	Anlık veri, erken uyarı	Veri güvenliği riskleri, altyapı gereksinimi	ABD, Singapur
AI Destekli Risk Analizi	Yazılım / Yapay Zekâ	Yangın tahmini, müdahale optimizasyonu	Daha doğru planlama, kaynak yönetimi	Veri ve eğitim gerektirir, sistem bağımlılığı	ABD, Birleşik Krallık
Havalimanı ARFF Araçları	Kara aracı	Uçak kazaları ve havalimanı yangınları	Hızlı ulaşım, yüksek su ve köpük kapasitesi	Yüksek maliyet, sınırlı manevra kabiliyeti	ABD, Almanya, Japonya
Otonom Su Püskürtme Robotları	Kara robot	Endüstriyel yangınlar, kimyasal tesisler	İnsan güvenliği, tehlikeli alanlarda sürekli müdahale	Sınırlı alan erişimi, yüksek maliyet	İsveç, Kanada

Kaynak: Zaman, 2024;Topsky Equipment, 2025; Getty Images, 2024; Sustainable Aviation, 2024; Innovation Origins, 2022; G.Captain, 2018 adreslerinden yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Uluslararası alanda bazı insansız sistemler, yangınla mücadelede kritik görevler üstlenmektedir. Örneğin, Lockheed Martin'in Fire Ox aracı, 250 galon su tankı, dizel pompa ve 6x6 hidrostatik tahrik sistemi ile zorlu arazi koşullarında yangın söndürme, hendek açma ve tehlikeli madde temizleme görevlerini yerine getirebilmektedir. Thermite RS1 platformu, termal kameralar, artırılmış gerçeklik ve giyilebilir teknolojilerle desteklenmiş olup, yüksek kapasiteli su püskürtme ve kurtarma görevlerinde kullanılmaktadır. İHA entegrasyonu sayesinde yangın sıcak noktaları tespit edilmekte ve mahsur kalan kişiler belirlenebilmektedir (Zaman, 2024). Dört paletli yangın robotları, -20°C ila +40°C aralığında çalışabilir ve zorlu arazi ile engellerde keşif ve müdahalede etkinlik sağlamaktadır (Topsky Equipment, 2025). Akıllı orman yangını robot köpekleri, termal sensör ve yüksek çözünürlüklü kameralarla erken yangın tespiti sağlamak ve insan erişiminin zor olduğu alanlarda müdahale imkânı sunmaktadır (Getty Images, 2024).

Mürettebatsız yangın uçakları (UFA), GPS ve LiDAR ile donatılmış ESTOL yeteneklerine sahip olup, su, köpük veya jel yangın geciktiricilerini hassas biçimde dağıtabilmektedir (Sustainable Aviation, 2024). Amfibi yangın söndürme uçakları yüksek su taşıma kapasiteleriyle tercih edilirken, üniversite iş birlikleri ile geliştirilen otonom tasarımlar geleceğe yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Firef(l)ighter otonom helikopteri ve MK2 platformu, özellikle orman yangınlarında manevra kabiliyeti, uzun uçuş süresi ve 7/24 otomatik operasyon kapasitesi ile müdahale stratejilerini çeşitlendirmektedir. (Innovation Origins, 2022). RALamander insansız itfaiye botu, liman yangınlarında insan gereksinimini ortadan kaldırmakta ve 2400 m³/saat pompalama kapasitesi ile operasyonel esnekliği artırmaktadır (G.Captain, 2018).



Şekil 11: İnsansız Yangın Söndürme Araçları Sınıflandırılması

Kaynak: Zaman, 2024;Topsky Equipment, 2025; Getty Images, 2024; Sustainable Aviation, 2024; Innovation Origins, 2022; G.Captain, 2018 adreslerinden yararlanarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

SONUÇ

Yangınla mücadele teknolojileri, tarihsel süreçte basit mekanik sistemlerden günümüzün yapay zekâ destekli, otonom ve insansız sistemlerine doğru büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Bu evrim, yalnızca teknolojik ilerlemelerle sınırlı kalmamış; kentleşme, iklim değişikliği, endüstriyel büyüme, artan afet riski ve toplumsal farkındalık gibi küresel dinamiklerle de şekillenmiştir. Günümüzde modern itfaiye araçları yalnızca yangın söndürmekle kalmayıp, kurtarma, tahliye, lojistik destek ve olay yeri yönetimi gibi çok yönlü görevler üstlenmektedir. Gelişmiş sensörler, yapay zekâ destekli analizler ve otomasyon teknolojileriyle donatılan bu araçlar, kapsamlı ve entegre müdahale platformları hâline gelmiştir.

Yangınla mücadele ekipmanları sektörü, özellikle araç üretimi alanında hızla büyümektedir. Bu büyüme, kentleşme, sanayileşme, orman yangınları ve iklim kaynaklı afet risklerinin etkisiyle küresel ölçekte stratejik bir alan olarak öne çıkmaktadır. Pazarın bölgesel dağılımı, altyapı, teknoloji kapasitesi, kamu yatırımları ve yasal düzenlemelerden doğrudan etkilenmektedir. Gelişmiş bölgeler güçlü altyapı ve yüksek teknoloji adaptasyonu sayesinde lider konumdadır. Sınırlı altyapı ve düşük teknolojiye sahip bölgeler ise pazar payı açısından geride kalmaktadır. Bu durum, sektörün büyüme potansiyelinin yalnızca küresel ölçekte değil, bölgesel farklılıklar çerçevesinde de stratejik planlama gerektirdiğini göstermektedir. Bulgular, gelecekte yangınla mücadele araçları pazarının gelişiminde teknoloji, altyapı ve yatırım kapasitesinin belirleyici olacağını ortaya koymaktadır.

Yangın söndürme robotları pazarı, geleneksel yangınla mücadele ekipmanlarına kıyasla hızlı bir şekilde büyümektedir. Bu büyüme, özellikle zorlu arazi ve iklim koşullarına uyum sağlayabilen paletli sistemlerin yaygınlaşması ve endüstriyel uygulamaların çeşitlenmesi sayesinde gerçekleşmektedir. Ayrıca, insansız sistemler operasyonel güvenliği artırma kapasitesine sahiptir. İnsansız kara, hava ve deniz platformları, otonom görev ve gelişmiş sensörlerle müdahale sürelerini kısaltır ve personel güvenliğini artırmaktadır. Günümüzde geleneksel araçlar hâlen yaygın olsa da, insansız kara, hava ve deniz sistemleri afet yönetiminin merkezine yerleşmektedir. Bu sistemlere yönelik araştırmalar, teknolojik çözümleri belgelemekle kalmayıp, afet risk yönetimindeki yeni eğilimleri ve geleceğe yönelik senaryoları anlamamıza katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, literatüre yalnızca teknolojik ilerlemelerin tarihsel gelişimini sunmakla kalmayıp, yangınla mücadele araçları pazarının bölgesel farklılıklarını, altyapı–teknoloji–yatırım ilişkisini ve insansız sistemlerin afet yönetimindeki rolünü ortaya koyarak özgün bir katkı sağlamaktadır. Uygulamaya yönelik olarak uluslararası standartların oluşturulması, eğitim ve kapasite geliştirme programlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Ayrıca veri paylaşımı, yazılım uyumluluğu ve sürdürülebilir finansman modellerinin geliştirilmesi, sektörün stratejik gelişimine katkı sağlayacaktır. Çalışmanın sınırlılıkları arasında, verilerin çoğunlukla önceki yayınlara dayanması nedeniyle bazı bilgilerin güncel saha koşullarını tam yansıtmaması ve teknolojik trendlerin hızla değişmesi yer almaktadır. Gelecek araştırmaların saha uygulamaları ve maliyet-etkinlik analizlerine odaklanması, insansız sistemlerin toplumsal kabulü ve etik boyutlarının incelenmesi ile yapay zekâ tabanlı karar destek sistemlerinin gerçek zamanlı testlerinin yapılması önemlidir. Ayrıca finansman modellerinin, özellikle gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilirliği araştırılarak literatür ve uygulama alanı daha da zenginleştirilebilir.

Sonuç olarak, yangın söndürme teknolojilerinin geleceği yalnızca teknik bir ilerleme olarak görülmemelidir. Toplumsal güvenliğin artırılması, çevresel sürdürülebilirlik ve afet dayanıklılığının güçlendirilmesi açısından da stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle teknolojik dönüşümün güvenli ve etkin yönetimi, kamu kurumları, özel sektör, akademi ve sivil toplumun koordineli iş birliğini gerektirir. Ulusal ve uluslararası politikalar, yalnızca standart ve regülasyonları belirlemekle kalmamalıdır. Aynı zamanda eğitim ve kapasite geliştirme programlarını yaygınlaştırmalı, veri paylaşımı ve yazılım uyumluluğunu sağlamalı ve sürdürülebilir finansman modellerini oluşturmalıdır. Böylece insansız sistemlerin entegrasyonu sağlanacak, müdahale süreçleri iyileşecek ve güvenlik artırılabilecektir. Bununla birlikte, robot teknolojilerinin entegrasyonunu desteklemek için aşağıdaki politika önerileri dikkate alınmalıdır:

Uluslararası Standart ve Regülasyonların Oluşturulması: Yangın söndürme robotları ve insansız sistemlerin güvenli ve etkili kullanılabilmesi için teknik standartlar ve operasyonel protokoller geliştirilmelidir. Bu standartlar, farklı ülkelerde uyumlu ve karşılıklı tanınabilir olmalı; uluslararası

kuruluşlarla iş birliği içinde hazırlanarak sınır ötesi kullanım ve teknoloji transferi kolaylaştırılmalıdır. Ayrıca, veri güvenliği, yazılım güncellemeleri ve etik kullanım ilkeleri bu düzenlemelerin ayrılmaz parçaları olmalıdır.

Eğitim ve Kapasite Geliştirme Programlarının Yaygınlaştırılması: Yangınla mücadelede teknolojik dönüşüme uyum sağlamak için itfaiye personeli ve saha çalışanlarına yönelik sürekli eğitim programları oluşturulmalıdır. Bu eğitimlerde, insansız sistemlerin kullanımı, bakım ve arıza tespiti, veri analizi ve acil durum yönetimi gibi konulara ağırlık verilmelidir. Üniversiteler, meslek yüksekokulları ve meslek içi eğitim merkezleri ile iş birliği yapılarak sertifikasyon programları geliştirilmelidir.

Veri Paylaşımı ve Yazılım Uyumluluğunun Sağlanması: Yangınla mücadelede sistemlerin entegrasyonunu kolaylaştırmak için ortak veri platformları kurulmalı ve yazılım ile veri standartları belirlenmelidir. Bu sayede, sahadaki farklı araçlar ve kontrol merkezleri arasında hızlı ve güvenilir bilgi akışı sağlanacak, müdahale süreçleri optimize edilecektir. Ayrıca, açık veri politikaları ve siber güvenlik önlemleri bu sistemlerin sürdürülebilirliğini garanti altına almalıdır.

Sürdürülebilir Finansman Modelleri Geliştirilmesi: Gelişmekte olan ülkelerde, yüksek teknolojiye sahip yangınla mücadele sistemlerinin maliyetini düşürmek için hibeler, kamu-özel ortaklıkları ve uluslararası finans desteği artırılmalıdır. Uzun vadeli kredi mekanizmaları, leasing modelleri ve yenilikçi finansal araçlarla belediyeler ve ilgili kurumların yatırım kapasiteleri artırılmalıdır. Bu sayede, teknolojik erişim engelleri azaltılacak ve yaygın kullanım teşvik edilecektir.

Yazar Katkıları: Tek yazarlı çalışmadır.

Destek: Yazar bu makalenin araştırması, yazarlığı ve/veya yayını için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Çıkar Çatışması: Makalede herhangi biri için herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Veri Erişebilirliği: Veriler talep üzerine temin edilebilir.

Etik Onay ve Katılım İzni: Etik onay izni gerektirmemektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, M., & Çağdaş, D. Y. (2019). Endüstri devriminin ışığında "Afet 4.0". In E. S. Bayrak Meydanoğlu, M. Klein, & D. Kurt (Eds.), *Dijital dönüşüm trendleri* (ss. 231–257). İstanbul: Filiz Kitabevi.
- Acar, O., & Honkavaara, E. (2024). A review of vehicles for fire suppression. *Preprints*, 1-17. <https://doi.org/10.20944/preprints202409.0184.v2>
- Alexander, J. C. (1992). Durkheim's problem and differentiation theory today. In H. Haferkamp & N. J. Smelser (Eds.), *Social change and modernity* (pp. 179-205). Los Angeles, CA: University of California Press.
- Alkemade, F. (2019). *A century of fluid mechanics in the Netherlands*. Springer.
- AlQahtani, A. A. S., Sulaiman, M., Alshayeb, T., & Alamleh, H. (2025). From inception to innovation: A comprehensive review and bibliometric analysis of IoT-enabled fire safety systems. *Safety*, 11(2), 41.
- Angın, C. (2024). Afet yönetiminde mülki idare ve belediyeler: İş birliğine dayalı afet yönetimi yaklaşımıyla 6 Şubat 2023 depremleri. *Memleket Siyaset Yönetim*, 19(43), 687-714. <https://doi.org/10.56524/msydergi.1512154>

- Ateş, H., & Düzgün, M. (2020). *İnsansız hava araçları (İHA): Temel bilgiler ve kullanım alanları*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Baker, E. (2018). *Fire engines* (Vol. 852). Bloomsbury Publishing.
- Balcerzak, A. T., Jasiuk, B. E., Fellner, C. A., & Feltynowski, D. M. (2021). The Polish perspective of using unmanned aerial vehicle systems in international firefighting and crisis management missions: Legal and technological analysis. In *2021 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 1478–1487). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICUAS51884.2021.9476758>
- Bogue, R. (2021). The role of robots in firefighting. *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, 48(2), 174–178.
- Bulut, E., & Kurt, M. (2020). MÖ 3. ve 2. binyıllarda Mezopotamya'da sulama kanalları ve toplumsal yaşama etkileri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 30(2), 415–426. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.701578>
- Çağlayan, N., Satoğlu, Ş. I., & Kapukaya, E. N. (2018). Afet yönetiminde büyük veri ve veri analitiği uygulamaları: Literatür araştırması. In *7. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı* <https://cdn.loder.org.tr/loder/production/uploads/files/2023/12/a04825e0f448a81.pdf>
- Candan, P. (2016). *Yerel yönetim öncülüğünde toplumsal değişim olgusunun incelenmesi: Seferihisar örneği*. [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Carter, M. R., Little, P. D., Mogue, T., & Negatu, W. (2007). Poverty traps and natural disasters in Ethiopia and Honduras. *World Development*, 35(5), 835–856.
- Central Board of Secondary Education. (2006). *Natural hazards and disaster management*. Preet Vihar.
- Chen, Y., Li, Y., Wu, G., Zhang, F., Zhu, K., Xia, Z., & Chen, Y. (2021). Exploring spatiotemporal accessibility of urban fire services using real-time travel time. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4200. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084200>
- Cotterell, B., & Kamminga, J. (2002). *Endüstri öncesi teknolojilerin mekaniği* (A. Bir, Çev.). İstanbul: Literatür Yayınları.
- CSC Trucks. (2023). *Chemical fire trucks: Essential equipment for hazardous materials emergencies*. Erişim adresi <https://www.csctrucks.com/info/chemical-fire-trucks-essential-equipment-for-84554048.html>
- Davids, K. (2000). Patents and patentees in the Dutch Republic between c. 1580 and 1720. *History and Technology*, 16(3), 263–283.
- De Vries, L. (1976). Post voor Jan van der Heyden. *Oud Holland*, 90(4), 267–275.
- Diwanji, M., Hisvankar, S., & Khandelwal, C. (2019). Autonomous fire detection and extinguishing robot. In *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Intelligent Communication and Computational Techniques (ICCT)* (pp. 327–329). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCT46177.2019.8969067>
- Ekşi, A. (2016). Afet yönetiminde temel etik ilkeler ve ikilemler. In Z. T. Karaman & A. Altay (Eds.), *Bütünleşik afet yönetimi* (ss. 75-100). İzmir: İlkem Yayınları
- Erdem, G. (2016). Afet risk yönetimi ve sürdürülebilir kalkınma. In M. Tiryakioğlu (Ed.), *Afetlerle kalkınma: Tecrübeler, politikalar ve beklentiler* (ss. 327–342). Ankara: Efil Yayınevi.
- Eryılmaz, İ., Dirik, D., & Öney, T. (2024). A phenomenological study on psychological resilience of aircraft rescue and fire fighting professionals. *Current Psychology*, 43(23), 20286–20308.

- <https://doi.org/10.1007/s12144-022-04164-7>
- Ewen, S. (2010). Controlling fire: The politics of water and steam technology, c. 1833–80. In *Fighting fires: Creating the British fire service, 1800–1978* (pp. 51–70). London: Palgrave Macmillan UK.
- Fireapparatusmagazine. (2018). *Protecting airports with new ARFF designs and equipment*. Erişim adresi https://www.fireapparatusmagazine.com/fire-apparatus/arff/protecting-airports-with-new-arff-designs-and-equipment/?utm_source
- Firerescue. (2025). *1 million dollars for a fire truck? Yup, and here's why*. Erişim adresi <https://www.firerescue1.com/fire-products/fire-apparatus/articles/1-million-dollars-for-a-fire-truck-yup-and-heres-why-miZF81kYVmcMxoZ0/>
- G.Captain. (2018). *Kongsberg, Robert Allan unveil unmanned fire boat design*. Erişim adresi <https://gcaptain.com/kongsberg-robert-allan-unveil-unmanned-fire-boat/>
- Getty Images. (2024). *Intelligent forest firefighting robot dogs make appearance in Hangzhou [Photograph]*. Erişim adresi <https://www.gettyimages.com/detail/news-photo/intelligent-forest-firefighting-robot-dog-makes-appearance-news-photo/2207756247>
- Gökçe, O., & Tetik, Ç. (2012). *Teoride ve pratikte afet sonrası iyileştirme çalışmaları*. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayınları.
- Grand View Research. (2025). *Global Firefighting robots market size & outlook*. Erişim adresi <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/firefighting-robots-market-size/>
- Grimwood, P., & Sanderson, I. A. (2015). A performance based approach to defining and calculating adequate firefighting water using s. 8.5 of the design guide BS PD 7974: 5: 2014 (fire service intervention). *Fire Safety Journal*, 78, 155–167.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P., Wallemacq, P., & Below, R. (2016). Annual disaster statistical review 2016: *The numbers and trends*. Erişim adresi https://emdat.be/sites/default/files/adsr_2016.pdf
- Gülgün, B., Keskin, N., & Ankaya, F. Ü. (2011). Tarih boyunca bahçelerde su ögesinin kullanımı. *Ziraat Mühendisliği*, (357), 18–23.
- Gülkan, P., Balamir, M., & Yakut, A. (2003). Afet yönetiminin stratejik ilkeleri: Türkiye ve dünyadaki politikalara genel bakış. *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi*, 30–32.
- Gürboğa, Ç. (2023). *Uluslararası ilişkiler bağlamında siber güvenliğin insansız hava aracı (İHA) ve silahlı insansız hava araçları (SİHA) üzerinden değerlendirilmesi*. [Yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Gürlek, M. A., Uca, A., Semerci, E., Erdil, M., & İlker, C. (2019). Gemi inşaatında eğitim uygulamaları: Yangın söndürme gemisi kavramsal tasarımı öğrenci çalışması. *GİDB Dergi*, (17), 3–14.
- Hatalla, M. (2017). *Coordinating high-volume water supply operations*. Erişim adresi <https://www.fireapparatusmagazine.com/fire-apparatus/pumpers/coordinating-high-volume-water-supply-operations/>
- Henderson, R. (2016). *British steam fire engines*. Amberley Publishing Limited.
- İnmez, İ. (2011). Afetlerin doğallığı üzerine: sosyal bir olgu olarak afetler ve kırılabilirlik sorunu. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 66(04), 185-194. https://doi.org/10.1501/SBFder_0000002236
- Innovation Origins. (2022). *Firefighting aircraft of the future are flexible, autonomous and can land vertically*. Erişim adresi <https://innovationorigins.com/en/firefighting-aircraft-of-the-future-are-flexible-autonomous-and-can-land-vertically/>

- Işık, Ö., Aydınlioğlu, H. M., Koç, S., Gündoğdu, O., Korkmaz, G., & Ay, A. (2012). Afet yönetimi ve afet odaklı sağlık hizmetleri. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(Ek 2), 82–123.
- Ismail, R., Mohtar, N., Mohammad, N. H., Masran, J., Adam, M. P., & Manaf, R. A. (2024). Firefighting water tanker commuting accident: Case report on why it happened and how to manage. *Asia Pacific Journal of Health Management*, 19(1), 184–189. <https://doi.org/10.24083/apjhm.v19i1.2441>
- Jia, L., & Wang, L. (2021). Development of a real-time simulation model for the fire pump system of airport fire trucks. *Journal of System Simulation*, 27(6), 1209–1213. <https://doi.org/10.16182/j.cnki.joss.2015.06.008>
- Jin, J. W., & Ahn, D. (2024). Development of a lightweight carbon fiber reinforced plastic water tank for fire trucks. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 9(2), 100697. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2024.100697>
- Kaçar, M. (2012). *Süveyş Kanal Şirketi'nin kuruluş dönemi faaliyetleri ve buharlı kazı makineleri teknolojisi (1854–1860)* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kadioğlu, M. (2011). *Afet yönetimi: Beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek*. İstanbul: T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını.
- Kadioğlu, M. (2017). *Afet yönetimi: Beklenilmeyeni beklemek, en kötüsünü yönetmek*. Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları.
- Kadioğlu, M., & Özdamar, E. (2008). Modern, bütünlük afet yönetiminin temel ilkeleri. *JICA Türkiye Ofisi Yayınları* No. 2, 1–34.
- Kahraman, S., Polat, E., & Korkmaz, B. (2021). Afet yönetim döngüsündeki ana terimler. *Avrasya Terim Dergisi*, 9(3), 7–14.
- Kaprow, M. (1991). Büyümlü çalışma: New York'taki itfaiyeciler. *İnsan Organizasyonu*, 50(1), 97–103. <https://doi.org/10.17730/humo.50.1.4405607837g88647>
- Karaman, Z. T. (2016). Afet yönetimine giriş ve Türkiye'de örgütlenme. In Z. T. Karaman & A. Altay (Eds.), *Bütünlük afet yönetimi* (ss. 1–36). İzmir: İlkem Yayınları.
- Khoo, B. S., Chin, S. W., Soo, L. Y., & Chuah, E. (2013). FireDroid – An automated fire extinguishing robot. In *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)* (pp. 356–360). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2013.6719989>
- Kitsikopoulos, H. (2013). From Hero to Newcomer: The critical scientific and technological developments that led to the invention of the steam engine. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 157(3), 304–344. <https://www.jstor.org/stable/24640398>
- Koç, S. (2004). *1923-2000 yılları arasında Türkiye'de doğal afetler: 1999 Marmara depremleri hakkında haber söylemleri ve kamuoyu araştırması* [Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kratochvíl, M., & Kratochvíl, V. (2009). *Technical equipment for fire protection* (1st ed.). Sdružení Požárního a Bezpečnostního Inženýrství.
- Kuş, C. (2018). *Zarar görülebilirlik ve toplumsal mukavemet ekseninde Türkiye'nin afet yönetimi analizi: Bir afet tipi olarak küresel iklim değişikliği üzerinden Türkiye örneği* [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Leblebici, Ö. (2015). Afet yönetim yaklaşımları ve kamu politikası bağlamında afetlerin çevreye etkileri. *Memleket Siyaset Yönetim*, 10(23), 41–77.
- Macit, İ. (2019). Bütünlük afet yönetiminde Sendai çerçeve eylem planının beklenen etkisi. *Artvin*

- Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1), 175–186.
- Macpherson, A., & MacKenzie, B. (2016). *Fire communications for public safety communicators*. Kwantlen Polytechnic University. <http://www.kpu.ca/trades/public-safety>
- Market.us. (2024). *Global firefighting robots market size, share, statistics analysis report by robot type, application, region and companies: Industry segment outlook, market assessment, competition scenario, trends and forecast 2024–2033*. Erişim adresi <https://market.us/report/firefighting-robots-market/>
- Marzêda, A. (2024). Specific technologies of aviation rescue and firefighting operations over the years. *Reports*, 4(3), 81–98.
- McMahon, M. M. (2007). Disasters and poverty. *Disaster Management & Response*, 5(4), 95–97
- Memiş, L., & Babaoğlu, C. (2020). Afet yönetimi ve teknoloji. In M. Yaman & E. Çakır (Eds.), *Farklı boyutlarıyla afet yönetimi* (ss. 163–178). Ankara: Nobel.
- Millet, B. (2020). Designing an occupational exposure report for aircraft rescue and firefighting. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 64(1), 924–927
- Mutza, W. (2020). *Engines and other apparatus of the Milwaukee fire department: An illustrated history*. McFarland.
- Nagesh, M. S., Deepika, T. V., & Stafford Michahial, D. M. S. (2016). Fire extinguishing robot. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5(12), 2278–1021. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2016.51244>
- Nivnesh, A., Sathiabalan, L., Lokimi, A. F. M., Jin, O. Z., Hasrin, N. S. M., Zain, A. S. M., ... & Taib, M. H. M. (2021, November). Otonom robotik yangın algılama ve söndürme sistemi. *Journal of Physics: Conference Series*, 2107(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2107/1/012060>
- Norman, J. (2009). *Fire department special operations*. Fire Engineering Books.
- Oduncu, O. (2018). *Şehir ölçeğinde yangın master planının hazırlanması: Sakarya örneği* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Oğuz, E. (2017). Eski çağda Mezopotamya coğrafyasında ticareti yapılan tarım ürünleri. *TURAN-SAM*, 9(36), 186–194.
- Oregon History Project. (2025). *Horse-drawn fire engine, 1913*. Erişim adresi <https://www.oregonhistoryproject.org/articles/historical-records/horse-drawn-fire-engine-1913/>
- Oshkosh Airport. (2024). *The evolution of the Striker ARFF: Oshkosh's journey to excellence in airport fire rescue*. Erişim adresi <https://www.oshkoshairport.com/experience/airport-products-blog/evolution-of-the-striker-arff>
- Özer, Y. E. (2016). Afetlerin kalkınmaya etkileri üzerine bir değerlendirme. In Z. T. Karaman & A. Altay (Eds.), *Bütünleşik afet yönetimi* (ss. 183–200). İzmir: İlkem Yayınları.
- Özey, R. (2011). *Afetler coğrafyası*. Aktif Yayınevi.
- Özler, M. (2019). Kamu yönetimi paradigmasında afet riski yönetiminden yönetişimine. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(1), 139-150. <https://doi.org/10.33437/ksusbd.474491>
- Perry, N., Stein, R. J., Vergnieux, R., & Laurent, C. (2010). Reflexion on a method for archaeology of technical machine. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1005.3903>

- Politika, V., Pundure, J., Jemeljanov, V., & Jarvis, M. (2025). *Impact of firefighting vehicle technical parameters on firefighting efficiency*. *Procedia Engineering*. [Conference paper]. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.678>
- Precedence Research. (2024). *Fire truck companies / forecast by 2033*. Erişim adresi <https://www.precedenceresearch.com/press-release/fire-truck-market-companies>
- Quarantelli, E. L. (2003). *A half century of social science disaster research: Selected major findings and their applicability* (Preliminary Paper No. 336). University of Delaware Disaster Research Center.
- Ralls, E. (2025). *"Dragon Firefighter" is a flying robot that fights fires from above*. Erişim adresi <https://www.earth.com/news/dragon-firefighter-is-a-flying-robot-that-fights-fires-from-a-distance/>
- Rekeny, M., & Restás, Á. (2021). Increase efficiency in extinguishing wildland fires with light forest fire trucks. *Delta*, 15(1), 82–91. <https://doi.org/10.17423/delta.2021.15.1.99>
- Ren, X., Qu, K., Guo, J., Yin, H., & Huang, B. (2025). Research on accurate fire source localization and seconds-level autonomous fire extinguishing technology. *Scientific Reports*, 15, Article 17135. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01830-5>
- Rosenbauer America. (2025). *Top mount pumpers*. Erişim adresi <https://rosenbaueramerica.com/fire-trucks/pumpers/top-mount/>
- Rosenbauer. (2025). *Panther electric*. Erişim adresi <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/arff-vehicles/panther-electric>
- Röster, B. (2021). *Adaptation to technological change—Rosenbauer's way to overcome inertial forces* [A Masters Thesis, Linz University]. urn:nbn:at:at-ubl:1-46955
- Rothschild, A., & Rothschild, A. (2015). *Inventing a better mousetrap: 200 years of American history in the amazing world of patent models*. Maker Media, Inc.
- Rovins, J. E., Wilson, T. M., Hayes, J., Jensen, S. J., Dohaney, J., Mitchell, J., Johnston, D. M., & Davies, A. (2015). *Risk assessment handbook* (GNS Science miscellaneous series 84:71). GNS Science.
- Şafak, İ., & Karademir, D. (2025). What do forest firefighters think about organization and infrastructure problems in combating large forest fires? *Turkish Journal of Forestry*, 26(2), 148–156. <https://doi.org/10.18182/tjf.1662491>
- Şahin, A. U. (2020). Afet yönetimi ve planlaması perspektifinden Türkiye afet müdahale planının değerlendirilmesi. *Resilience*, 4(1), 129-158. <https://doi.org/10.32569/resilience.638838>
- Sanaullah, M., Akhtaruzzaman, M., & Hossain, M. A. (2022). Land-robot technologies: The integration of cognitive systems in military and defense. *NDC E-Journal*, 2(1), 123–156.
- Sancakdar, O. (2016). Afet mevzuatı ve afet hukukuna giriş. In Z. T. Karaman & A. Altay (Eds.), *Bütünleşik afet yönetimi* (ss. 37–74). İzmir: İlkem Yayınları.
- Sarıtaş, Z. (2015). *İzmir Büyükşehir Belediyesi itfaiye çalışanlarının iş doyumu ve tükenmişlik düzeylerinin analizi*. [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Sarp, N. (1999). Sağlık hizmetlerinde afet yönetimi. *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 26(81), 5 - 54
- Schramm, D. (1993). Overview of disaster management. In Emergency Türkiye '93 - First International Disaster Relief and Prevention, *Civil Defence, Public Security and First Aid Exhibition*.

- Serçemeli, M., & Kurnaz, E. (2016). Denetimde bilgi teknoloji ürünleri kullanımının teknoloji kabul modeli (TKM) ile araştırılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 45(1), 43–52.
- Sertkan., A. (2015). *Dünyanın bilinen en eski ve çalışan itfaiye aracı*. Erişim adresi <https://ahmetsertkan.blogspot.com/2015/08/dunyann-bilinen-en-eski-ve-calsan.html>
- Silva, F., Raposo, J., Farinha, J. T., Raposo, H., & Reis, L. (2023). Study of the condition of forest fire fighting vehicles. *Fire*, 6(7), 274–294. <https://doi.org/10.3390/fire6070274>
- Smith, T. D., Herron, R., Le, A., Wilson, J. K., Marion, J., & Vicenzi, D. A. (2018). Assessment of confined space entry and rescue training for aircraft rescue and fire fighting (ARFF) members in the United States. *Journal of Safety Research*, 67, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.02.008>
- Söylemez, A. (2012). Bir yerel hizmet birimi olarak itfaiye'nin tarihi. *Sosyal Bilimler Meslek Yüksek Okul Dergisi*, 15(1), 31–47.
- Spirkina, O. (2013). Key points of the history of firefighting (from the early times till the middle ages). *Секція 7 Гуманітарні науки: Теорія і практика*, 188.
- Struminska, A., & Filippone, A. (2024). Flight performance analysis of aerial fire fighting. *The Aeronautical Journal*, 128(1327), 1895–1923.
- Sumic, D., Males, L., & Rosic, M. (2021). Agent-based ship fire extinguishing model. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 902. <https://doi.org/10.3390/jmse9080902>
- Sustainable Aviation. (2024). *Autonomous aerial fire-fighting (AAF) – A system for fire suppression by autonomous air and ground vehicles*. Erişim adresi <https://sustainableaviation.org/autonomous-aerial-fire-fighting-aafa-system-for-fire-suppression-by-autonomous-air-and-ground-vehicles/>
- Sutton, P. C., & Bikker, J. (2006). *Jan van der Heyden*. Yale University Press.
- Tımaz, C. B. (2023). *İşletmelerin Covid-19 sürecinde e-ticaret sistemlerine ilişkin tutum ve niyetlerinin tespiti: Edremit Körfezi örneği*. [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Topsky Equipment. (2025). *All-terrain firefighting robot (four-track)*. Erişim adresi <https://www.topskyeqpt.com/all-terrain-firefighting-robot-four-track-product/>
- Toros, H., & Anbarcı, K. (2018). Hava kirliliğine dirençli kentler. *Şehir & Toplum*, (10), 17–30.
- Tuncer, C. O. (2022). Kamu yönetimi bağlamında afet yönetiminde örnek bir uygulama: AYDES. *İletişim Kuram ve Araştırma Dergisi*, 59, 158–180. <https://doi.org/10.47998/ikad.1154104>
- Turan, A. H., & Özgen, F. B. (2009). Türkiye’de e-beyanname sisteminin benimsenmesi: Geliştirilmiş teknoloji kabul modeli ile ampirik bir çalışma. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 10(1), 134–147.
- Turna, B., & Savaş Yavuzçehre, P. (2024). Afet yönetim döngüsü çerçevesinde kamusal alanların önemi: 6 Şubat Kahramanmaraş depremi deneyimi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 1–25. <https://doi.org/10.47097/piar.1387191>
- Ulus, A. (2019). *Türkiye yangında korunma yönetmeliğinin uluslararası yönetmelikler ile karşılaştırılması ve dijitalleştirilmesi: İlaç fabrikası depo örneği* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Van, L. V., & Tung, N. T. (2024). Dynamic load determination of a multi-purpose forest fire fighting vehicle when operating on forestry road. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 12(3), 3507–3517. <https://doi.org/10.1007/s42417-023-01061-w>
- Van, V. L., & Thanh, T. N. (2025). Effect of velocity and road quality to the dynamic load acting on the rear axle housing multifunction forest firefighting automotive. *International Journal of*

- Interactive Design and Manufacturing*, 19, 2853–2863. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01893-0>
- Verified Market Reports. (2025). *Global tracked firefighting robot market size reports*. Erişim adresi <https://www.verifiedmarketreports.com/product/tracked-firefighting-robot-market/>
- Vrtal, P., Kohout, T., Nováček, J., & Svatý, Z. (2021). Comprehensive analysis of housing estate infrastructure in relation to the passability of firefighting equipment. *Applied Sciences*, 11(20), 9587. <https://doi.org/10.3390/app11209587>
- Wang, H. B., & Xie, H. (2014). Research on application of heavy compressed air foam truck applied in high-rise building fires. *Procedia Engineering*, 71, 276–285. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.04.040>
- Wang, M., Chen, X., & Huang, X. (2024). Robotic firefighting: A review and future perspective. In X. Huang & W. C. Tam (Eds.), *Intelligent Building Fire Safety and Smart Firefighting* (pp. 475–499). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48161-1_20
- Wang, S., Raza, A., Sun, Z., & Chen, T. (2024). Optimizing firefighting airport selection for effective forest fires: A case study of Guangxi, China. In *Proceedings of the 2024 12th International Conference on Traffic and Logistic Engineering (ICTLE)* (pp. 317–324). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTLE62418.2024.10703940>
- Wang, X., Li, Y., Lyu, Y., & Hu, H. (2024). Fire truck firefighting path planning based on prediction and multi-agent reinforcement learning. In *Proceedings of the 2024 6th International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)* (pp. 1313–1317). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CISCE62493.2024.10653062>
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671–1692.
- Xie, H. (2013). Heavy compressed air foam truck applied to high-rise building fires. *Procedia Engineering*, 52, 458–467. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.169>
- Yannopoulos, S. I., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A., & Angelakis, A. N. (2015). Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries worldwide. *Water*, 7(9), 5031–5060. <https://doi.org/10.3390/w7095031>
- Yeşilkuş, A. (2011). *Acil durum yönetiminde coğrafi bilgi sistemi ve kent güvenlik sisteminin yapılandırılması* [Yayımlanmamış kaymakamlık tezi, Ankara].
- Yi, Y., Yike, B., & Shouqing, Z. (2023). The design of electric fire engine. *Бюллетень науки и практики*, 9(6), 388–396.
- Yılmaz, S., & Akbulut, D. (2021). Ulusal afet yönetimi için sistem teorisi bağlamında stratejik iletişim yönetimi model önerisi. *Türk Çevrimiçi Tasarım Sanatı ve İletişim Dergisi*, 11(3), 829–846.
- Yuan, C., Zhang, Y., & Liu, Z. (2015). A survey on technologies for automatic forest fire monitoring, detection, and fighting using unmanned aerial vehicles and remote sensing techniques. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7), 783–792.
- Zaman, S. (2024). *Sound waves, robots and drones: The future of firefighting*. Erişim adresi <https://www.tbsnews.net/tech/sound-waves-robots-and-drones-future-firefighting-886771>