

Bina Yangınlarının Çevresel Etkileri: Yapı Malzemeleri ve Atık Oluşumu Üzerine Bir İnceleme

İlknur Bekem Kara¹, Arzuhan Burcu Gültekin², Çiğdem Belgin Dikmen³

Öz

Dünya genelinde meydana gelen yangınların önemli bir kısmını bina yangınları teşkil etmektedir. Yapılan istatistiksel analizler, her yıl bina yangınları sonucunda çok sayıda insanın yaralandığını veya hayatını kaybettiğini ve bu olayların ekonomik açıdan büyük kayıplara yol açtığını göstermektedir. Yangın olayının bir diğer önemli boyutu, yanma süreci ile başlayan ancak yangının söndürülmesinin ardından da devam eden çevresel etkilerdir. Bu çalışmanın temel amacı, binalarda meydana gelen yangınların çevresel etkilerini yapı malzemeleri bağlamında atık oluşumu açısından incelemektir. Yapısal ve yapısal olmayan malzemeler, yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında çeşitli derecelerde hasar görmekte ve bu durum yapıların yaşam döngüsü sürelerini olumsuz etkilemektedir. Bina hasar durumu, onarım ihtiyacını doğurabileceği gibi, kullanım ömrünün sona ermesine de neden olabilmektedir. Bu durum, sınırlı kıt kaynakların yeniden kullanımıyla inşa süreçlerini gerektirmekte ve sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Yapı malzemeleri kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri gereği yangın sonrası farklı davranışlar sergilemekte ve bu süreçte katı, sıvı ve gaz atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma, yapı malzemelerinin yanıcılık sınıflarını, yangın sonucunda oluşan atıkları ve geri dönüşüm süreçlerini özetlemeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Atık, Bina Yangınları, Çevresel Etki, Yangın Güvenliği, Yapı Malzemeleri

The Environmental Effects of Building Fires: A Study on Building Materials and Waste Generation

Abstract

A significant portion of fires occurring worldwide consists of building fires. Statistical analyses show that each year, many people are injured or lose their lives due to building fires, and these incidents lead to substantial economic losses. Another important aspect of fire events is the environmental effects that begin with the combustion process but continue even after the fire is extinguished. The primary aim of this study is to examine the environmental effects of fires in buildings in the context of waste generation related to building materials. Structural and non-structural materials can suffer varying degrees of damage when exposed to high temperatures, negatively affecting the lifespan of structures. The condition of building damage can lead to a need for repairs or even result in the end of its useful life. This situation necessitates construction processes involving the reuse of limited finite resources and threatens sustainability. Due to their chemical, physical, and mechanical properties, building materials exhibit different behaviors after a

¹ Doç. Dr., İnşaat Bölümü, Borkça Acaarlar Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

İlgili yazar e-posta/Corresponding author e-mail: ilknurbekem@artvin.edu.tr ORCID No: 0000-0001-9193-624X

² Prof. Dr., Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

e-posta/ e-mail: arzuhanburcu@gazi.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1246-6468

³ Prof. Dr., Mimarlık Bölümü, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Bozok Üniversitesi, Yozgat

e-posta/e-mail: cbelgin.dikmen@yobu.edu.tr ORCID No: 0000-0001-5975-1552

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Bekem Kara, İ., Gültekin, A.B. ve Dikmen, Ç. B. (2025). Bina Yangınlarının Çevresel Etkileri: Yapı Malzemeleri ve Atık Oluşumu Üzerine Bir İnceleme, *Afet ve Risk Dergisi*, 8(3), 1027-1042.

fire, resulting in the generation of solid, liquid, and gas waste. This study aims to summarize the flammability classes of building materials, the waste generated as a result of fires, and the recycling processes.

Keywords: Building Fires, Building Materials, Enviromental Impact, Fire Safety, Waste

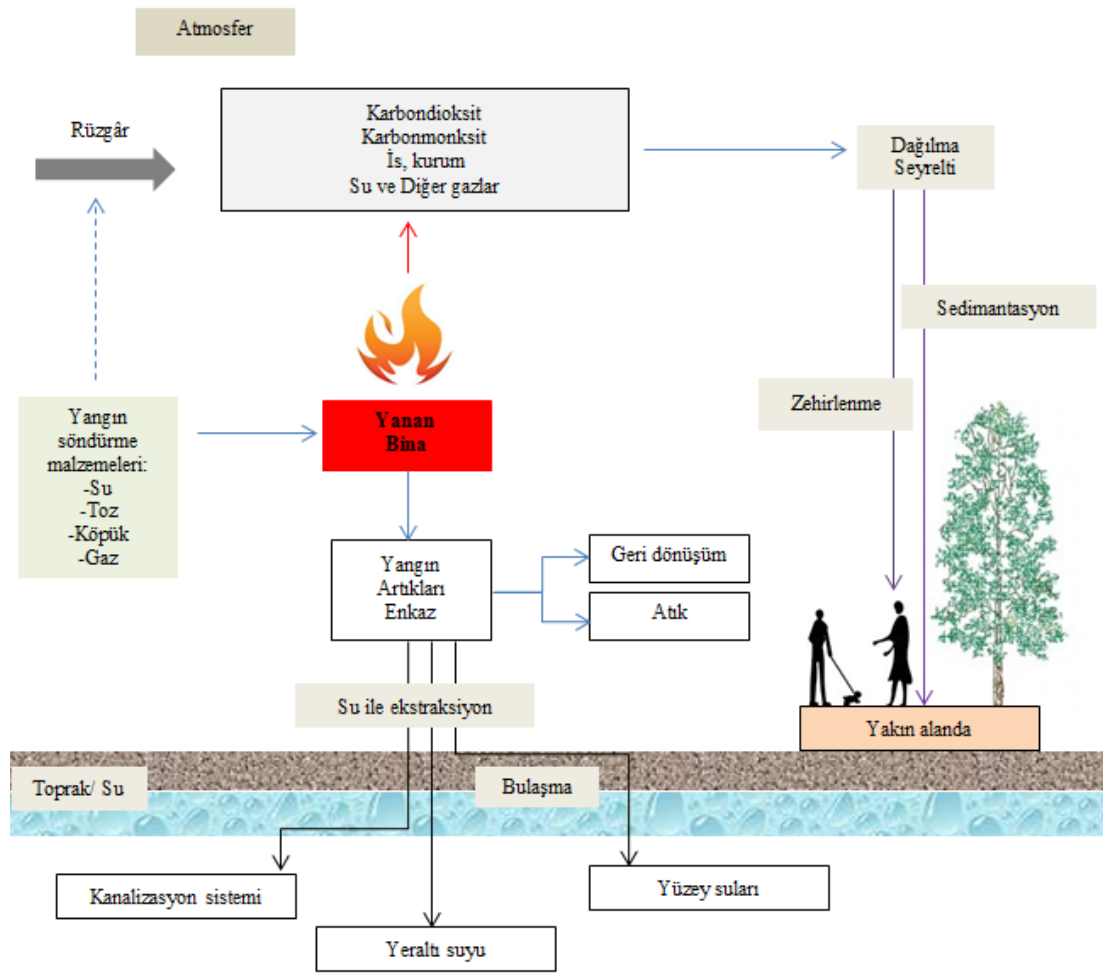
1. GİRİŞ

1.1. Yangın ve Çevresel Etkileri

Yangın, yapıların güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yangına dayanıklılık, binaların yapısal tasarımında dikkate alınması gereken kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Yangına dayanıklı yapı malzemesi seçimi, yapısal hasarın ve can kaybının azaltılmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Yapı endüstrisi, sıcaklık değişimlerinden az veya çok etkilenen çeşitli malzemeler sunmaktadır. Bu malzemeler, bina taşıyıcılık görevini üstlenen yapısal malzemeler, kaplama ve detaylarda kullanılan yapısal olmayan malzemeler ile yalıtım amaçlı malzemeler şeklinde sınıflandırılabilir. Yangın sonucunda ortaya çıkan yüksek sıcaklık etkisinin, yapı malzemelerinin performansı ve binanın sürdürülebilirliği üzerinde ciddi sonuçlar doğurduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yangın güvenliği açısından uygun malzeme seçimi, hem yapısal bütünlük hem de kullanıcı güvenliği açısından hayati öneme sahiptir.

Yangın güvenliği, yangının meydana gelmesinin önlenmesi, yangın ve dumanın yayılmasının sınırlandırılması, yangının etkili bir şekilde söndürülmesi ve kullanıcıların güvenli bir şekilde tahliye edilmesi gibi kavramları kapsamaktadır. Bu bağlamda, bina tasarım sürecinin yangın güvenliği ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirilmesi, hayati bir öneme sahiptir. Yangın tehlikesini mümkün olduğunca azaltmak ve yangına hızlı bir müdahale sağlamak amacıyla, tasarım aşamasında gerekli önlemlerin dikkate alınması ve uygulama aşamasında bu önlemlerin doğru bir şekilde hayata geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu süreçte yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin kullanılabilirliğinin sağlanması, yangın güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, yangın güvenliği önlemlerinin binalara entegrasyonu, bina tasarımının her aşamasında dikkate alınmalı ve uygulanmalıdır (Akçaözoğlu ve Akçaözoğlu, 2018). Binalarda kullanılacak yapı malzemelerinin seçiminde dikkate alınması gereken bir dizi kritik parametre bulunmaktadır. Öncelikle malzemenin tutuşabilirliği yani tutuşma kolaylığı, yangın güvenliği açısından önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca tutuşabilirlik hızı, malzemenin ne kadar hızlı şekilde yandığını belirleyerek yangının yayılma hızını doğrudan etkiler. Yangın sırasında üretilen duman miktarı da hem görünürlük hem de sağlık açısından riskler taşımaktadır. Bunun yanı sıra, salınan yanma gazlarının toksisitesi, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle yangın güvenliği yönetmeliklerinde önemli bir yer tutmaktadır. Malzemenin yanması sırasında açığa çıkan ısı yoğunluğu, yangının kontrol altına alınması ve yangın sonrası yapısal bütünlüğün korunması açısından önem arz etmektedir. Son olarak, yangın anında malzemenin yapısal dayanıklılığı, binanın güvenliği ve kullanıcıların korunması açısından hayati öneme sahiptir. Bu parametrelerin her biri, yapı malzemelerinin yangın güvenliği performansını etkilemektedir (Doroudiani ve Omidian 2010).

Bina yangınları ve yangın söndürme çalışmaları sırasında kullanılan malzemeler, hava, su ve toprak üzerinde çeşitli salımlara neden olmaktadır (McName, 2015). Yangınların ve yangınla mücadelenin yol açabileceği potansiyel çevresel etkiler, Şekil 1’de verilmiştir. Yangın esnasında, yapı malzemeleri ve yanan binanın içerisinde bulunan depolama malzemeleri, atmosfere, yanan binanın çevresine, toprağa, yeraltı sularına ve yüzey sularına çeşitli maddelerin salımına sebep olmaktadır. Bu salımlar hem hava kalitesini olumsuz etkilemekte hem de toprağın yapısında ve su kaynaklarında zararlı etkilere yol açmaktadır (Hölemann, 1994). Yangınların çevresel etkileri, bu süreçlerde ortaya çıkan salımların doğası ve bileşimi açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.



Şekil 1. Yangın ve yangınla mücadelenin yol açabileceği çevresel etkiler (Hölemann, 1994).

Şekil 1 incelendiğinde, yangın söndürme işlemleri sırasında kullanılan ürünlerin çevre üzerindeki etkileri açıkça görülebilmektedir. Yangın sonrası ortaya çıkan gaz ve partiküller, atmosfere doğrudan salınmakta ve bu durum toprağın kirlenmesine yol açmaktadır. Kirlenmenin kaynağı, zamana ve kullanılan ürünlere bağlı olarak değişen çeşitli atık su salımlarıdır. Yangının kendisi veya itfaiye faaliyetleriyle ilişkili salımlar, havadaki kirleticilerin doğasını etkilemektedir (Marlair vd. 2004).

Yangınların çevresel etkileri, genel olarak toksik ve ekotoksik etkiler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Toksik etkiler yangınların insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilere işaret ederken, ekotoksik etkiler yangınların ekosistem üzerindeki zararlı sonuçlarını ifade etmektedir. Bu ayrım, yangın atıklarının taşınması ve yönetimi esnasında ortaya çıkan risklerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Yangın sonrası ortaya çıkan toksik maddeler, hava, su ve toprak yoluyla insan sağlığını tehdit eden durumlar yaratabilir. Ekotoksik etkiler ise yangınların doğal yaşam alanları üzerinde yaratabileceği kalıcı hasarları kapsar. Bu nedenle, yangınların çevresel etkilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi hem insan sağlığının korunması hem de ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir (Amon vd. 2009).

Bir yangın sona erdiğinde, bu olayın etkileri kısa ve uzun vadeli boyutlarda ele alınmalıdır. Kısa vadeli etkiler, yangının hemen ardından etkilenen topluluklar tarafından doğrudan hissedilir. Ancak bu topluluklar ve komşu bölgeler, yangınların uzun vadeli sonuçlarının farkında olmayabilirler. Çevresel etki değerlendirmesi gerçekleştirmek ve bu tehlikelerin çevre üzerindeki

kısa ve uzun vadeli etkilerini anlamak amacıyla mühendisler ve araştırmacılar, yangın anında hangi yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin bu tehlikeleri serbest bıraktığını belirlemeli ve bu tehlikelerin yangın alanındaki su, hava ve toprak üzerindeki etkilerini analiz etmelidir. Kısa vadeli tehlikeler arasında azot oksitler, sülfür oksitler, çeşitli metaller, halojenli asitler (HX) ve partiküller yer alabilir. Bu kısa vadeli etkilerin hafifletilmesi ve artışlarının önlenmesi, genellikle daha kolay bir süreç olarak değerlendirilmektedir (Fischer ve Warma, 2016).

2017 yılında Londra'da 24 katlı Grenfell Tower'da çıkan yangın, bir dairede başlayan alevlerin tüm binayı sarmasıyla sonuçlanmış ve 72 kişi hayatını kaybetmiştir (Şekil 2). Yangından 1 ve 6 ay sonra, binanın çevresinden 1,2 km'ye kadar altı farklı noktadan toprak örnekleri, kısmen yanmış yangın enkazları ve kömür örnekleri toplanmıştır. Ayrıca yangından 17 ay sonra kuleye 160 m mesafedeki düz bir daireden toz örnekleri ve kondensler toplanmıştır. Toplanan numuneler, yangın atıklarının ve sentetik vitreus liflerinin potansiyel toksik bileşenleri açısından analiz edilmiştir. Kulenin 140 m yakınına kadar alınan örneklerde İngiltere kentsel referans toprak seviyelerinin 60 katı kadar yüksek seviyeye sahip poliklorlu dibenzo-p-dioksin konsantrasyonları saptanmıştır. Benzen seviyeleri, referans seviyelerin 40 katından daha fazlayken, altı anahtar polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) seviyeleri ise yaklaşık 160 kat artış göstermiştir. PAH seviyeleri, yangından önceki dönemde yakındaki Hyde Park'tan bildirilen seviyelerin yaklaşık 20 katı kadar yüksek bulunmuştur. Pirojenik kirleticilerin varlığını açıklamak amacıyla, kömür ve kısmen yanmış enkaz örnekleri de toplanmış ve bu örnekler üzerinde ayrıntılı analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda benzen, PAH'lar, izosiyanatlar ve fosforalev geciktiriciler tespit edilmiştir. Hem toprakta hem de enkazda hidrojen siyanür ve sentetik vitreus liflerinin varlığı, yakın çevrede belirgin bir partikül ve piroyenik kontaminasyon olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yangın sonrası çevresel kirleticilerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini ve çevresel riskleri gözler önüne sermektedir (Stec vd., 2018).

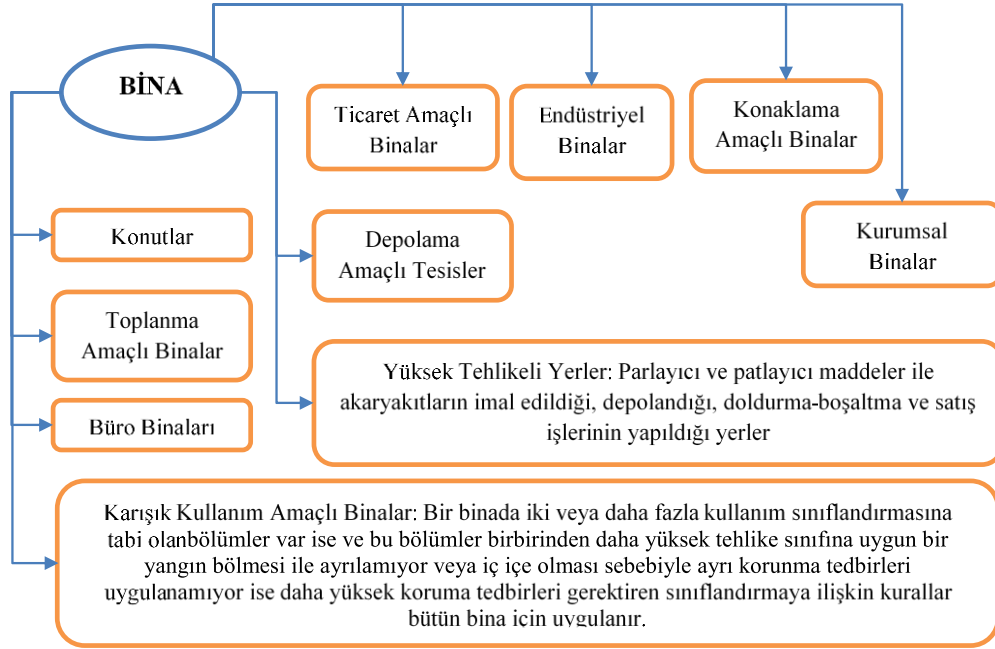


Şekil 2. Grenfell Tower'dan yangın sonrası bir görüntü (Kanter ve Murray, 2017).

2. BİNA YANGINLARI

Bina yangınları, insan güvenliğini tehdit eden en yaygın tehlikelerden biridir ve sıklıkla konut ve ofis binalarında meydana gelir (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007). Türkiye'de Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY), yangının ısı, duman, zehirleyici gazlar, boğucu gazlar ve panik gibi unsurlar nedeniyle can ve mal güvenliği açısından ortaya çıkarabileceği tehlikeleri asgariye indirmek amacıyla yapı, bina, tesis ve işletmelerin

tasarım, inşa, kullanım, bakım ve işletim ilkelerini düzenlemektedir. BYKHY kapsamındaki sınıflandırmada binaların işlevlerine göre 10 başlık altında ele alındıkları görülmektedir (Şekil 3) (Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik, 2007).

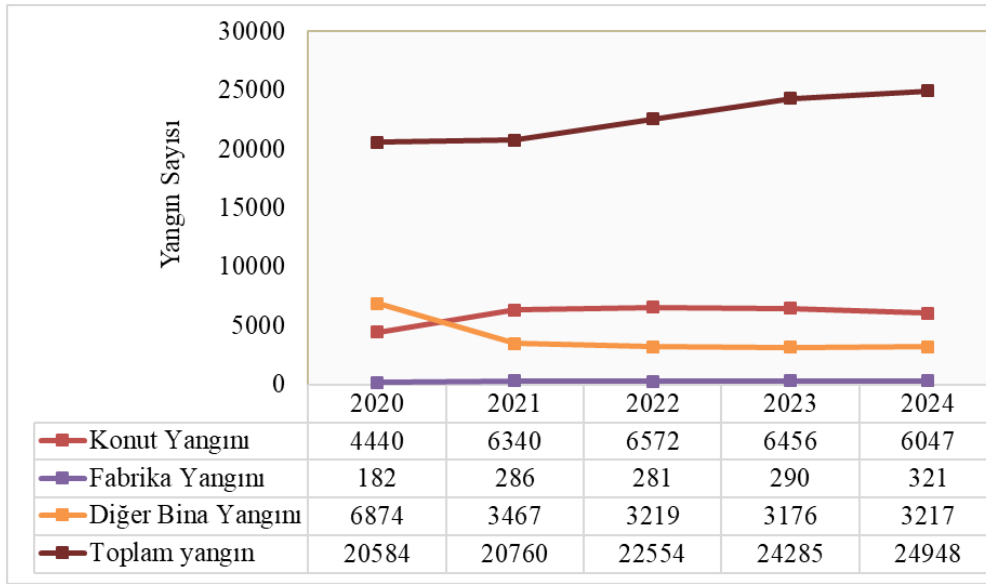


Şekil 3. Binaların işlevlerine göre sınıflandırılması (Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik, 2007).

Farklı işlevlere sahip binalarda meydana gelen yangınların çevresel etkileri farklı düzeylerde ortaya çıkabilmektedir. Yangın sonrası oluşan atıklar ve tehlikeli kalıntılar, her durumda beklenen bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Konutlar ve konaklama işlevli binalar, kullanılan malzeme ve tefrişat unsurları nedeniyle endüstriyel binalar kadar çevresel tehlike arz etmemektedir. Bu durumun temel nedeni, endüstriyel binalarda ve depolama amaçlı tesislerde, yangın sırasında zehirli gazlar yayan malzeme ve kimyasalların kullanımı ve depolanması olasılıklarıdır. Bu tür maddelerin yanması, yalnızca bina içindeki kullanıcıların hayatlarını tehlikeye atmakla kalmayıp, aynı zamanda büyük çevresel zararlara yol açmaktadır. Örneğin, 17 Ağustos 1999 tarihindeki Marmara depremi sonrası başlayan rafineri yangını, günlerce devam ederek Marmara bölgesi ve çevresindeki ekolojik denge üzerinde ciddi olumsuz etkilere yol açmıştır. Kocaeli-Sakarya deprem bölgesi, endüstriyel faaliyetlerin yoğunluk kazandığı bir alan olup, burada meydana gelen yangınlar ve kontrolsüz salımlar, atmosfere yüksek miktarda tehlikeli hava kirleticisinin salımına sebep olmuştur. Bu durum, komşu parsellerde yaşayan canlıların zehirlenmesi riskini artırmakta ve çevreye yayılan zehirli gazların toprak ve su kaynaklarına geçişi, uzun vadede insan sağlığını tehdit eden ciddi sorunlar yaratmaktadır. Dolayısıyla, binaların işlevlerine göre yangın risklerinin ve çevresel etkilerinin ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi, yangın güvenliği ve çevresel koruma stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Çatıkkaş ve Şimşek, 2019).

Yangınlarla ilgili istatistikler incelendiğinde, 48 ülkeyi kapsayan Dünya Yangın İstatistikleri Raporu'na göre 2020 yılında meydana gelen tüm yangınların % 32.2'sini bina yangınları oluşturmaktadır (Brushlinsky vd., 2022). 2021 yılında sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde 1.350.000 yangın meydana gelmiştir. Bu yangınların 486.500'ünü yapısal yangınlar meydana getirmektedir. Söz konusu yapısal yangınlarda 3.800 kişinin hayatını kaybettiği, 14.700 kişinin ise yaralandığı rapor edilmiştir. Tüm yangınlar içinde yapısal yangınların oranı %36 olarak hesaplanmıştır. Ölenlerin %79'u, yaralananların ise %86'sı konut yangınları kaynaklı olarak rapor

edilmiştir (Hall, 2024). Dünya genelinde ve Amerika Birleşik Devletleri’nde meydana gelen yangın istatistikleri, bina yangınlarının önemli bir risk faktörü olduğunu ve konut yangınlarının hem ölümler hem de yaralanmalar açısından ciddi sonuçlar doğurduğunu göstermektedir. Türkiye’de İstanbul İtfaiyesi yangın istatistikleri incelendiğinde yangınların “konut, fabrika, diğer bina, araç, ot, çöp, orman/fundalık” olmak üzere 7 başlıkta toplandığı görülmektedir. Yapısal yangınlar “konut, fabrika ve diğer bina” yangınları olarak ele alındığında; 2020-2024 yıllarına ait sayısal dağılım Şekil 4’te görülmektedir. Toplamdaki 5 yıllık süreçte 113.131 adet yangın olayı meydana gelmiş ve bu yangınların %45’ini yapısal yangınların oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yapısal yangınların genel yangın olayları içindeki oranının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, İstanbul’da 2020 yılından 2024 yılına kadar geçen sürede konut yangınlarında %36,19 artış olduğu rapor edilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, 2025). Bu artış, konut güvenliği ve yangın öncesi, yangın anı ve sonrası müdahale stratejilerinin gözden geçirilmesinin önemli olduğunu hatırlatmaktadır. Yangınların artış gösterdiği bu dönemde, yangın güvenliği önlemlerinin güçlendirilmesi ve kamu bilincinin artırılmasının, insan güvenliğini sağlamak açısından önemli olduğu düşünülmektedir.



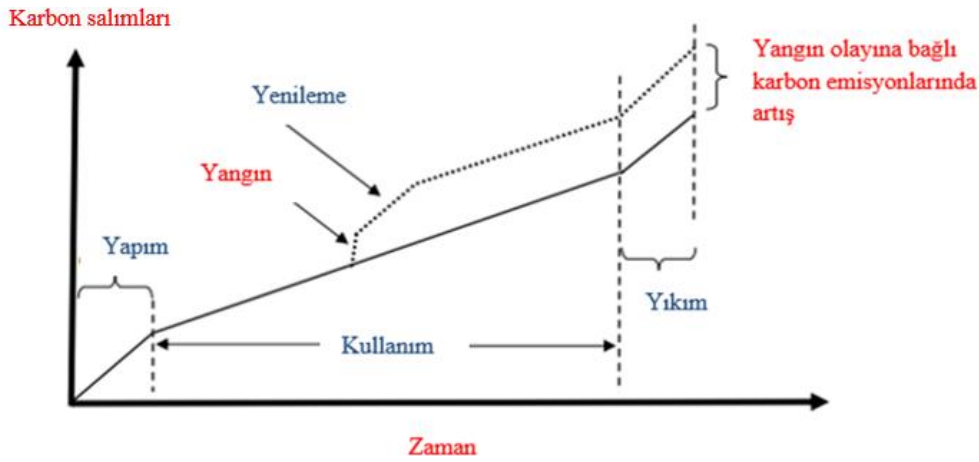
Şekil 4. İstanbul’da 2020-2024 yılları arasında meydana gelen yangınların dağılımı (İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, 2025).

Türkiye’de itfaiye müdürlükleri tarafından hazırlanan yangın kayıtları incelendiğinde yapısal yangınların müdahale durumlarına ve binanın yanma derecesine göre sınıflandırıldığı görülmektedir. Yangınların sonuçları binaların hasar derecelerini ortaya çıkarmaktadır. Yangınlar, müdahale durumlarına ve binanın yanma derecesine göre aşağıdaki üç başlık altında sınıflandırılmaktadır (Bekem Kara, 2017; Bekem Kara, 2018):

- Başlangıçta söndürülen
- Kısmen yanan
- Tamamen yanan

Başlangıçta söndürülen veya kısmen yanan binaların hizmet ömrüne devam edebilmesi için onarım-güçlendirme gerekmektedir. Tamamen yanan binalarda ise hizmet ömrü zamanından önce sona ermekte, bina yaşam döngüsü yıkım aşamasına gelmektedir. Yangın olayı, binanın kullanım evresini olumsuz etkilemektedir (Bekem vd., 2015). Bir bina yangına maruz kaldığında, yangın anında meydana gelen karbon salımları, binanın yeniden inşası için gereken enerji ve artan karbon ayak izi, önceden belirlenen ve kabul edilen değerlerin önemli ölçüde üzerine çıkabilmektedir. Şekil 5’te gösterildiği üzere, normal bir yangın tehlikesinin neden olduğu ek

karbon salım oranı, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca saldıgı toplam karbon ayak izinin yaklaşık %20'sine tekabül etmektedir (Özgünler vd., 2018).



Şekil 5. Karbon salımlarında yangın ile meydana gelen artış (Özgünler vd., 2018; Wieczorek vd., 2010)

Yaşam döngüsü sürecinin her evresinde ortaya çıkan yapı malzemesi atıkları, yapısal atıklar olarak tanımlanmaktadır. Yapısal atıkların çeşitlerinin fazla olması nedeniyle hacimce kapladıkları alan da fazladır. Bu sebeple bu atıklar birçok ülkede öncelikli atıklar arasında yer almaktadır (Coşgun ve Esin, 2006). Kentlerde meydana gelen katı atıkların %13-29'unu yapısal atıklar teşkil etmekte, doğal afetler durumunda bu oran %50'ye kadar yükselmektedir (Salgın, 2009).

3. YAPI MALZEMELERİ VE YANGIN ETKİSİYLE ATIK OLUŞUMU

Yangın, başlangıç anından itibaren herhangi bir engel ile karşılaşmadığı takdirde sürekli olarak büyümekte ve yayılmaktadır. Yangının ilerlemesi, engellerin bulunmaması ve çevresel koşulların uygunluğu ile devam etmektedir. Tarihsel süreçte, yangınların şehirleri yok etme potansiyeline sahip olduğu belgelenmiş bir gerçektir. Bu durum, yangınların kontrol altına alınmaması durumunda hem insan yaşamı hem de kentsel yapı üzerinde ciddi yıkıcı etkilere yol açabileceğini göstermektedir. Yangınların bu yıkıcı potansiyeli, önleyici tedbirlerin ve etkili yangın yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır.

Binayı oluşturan malzemeler, yangınla etkileşime girdiği sıraya göre aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır (Toydemir vd., 2011):

- Binanın kullanım amacına bağlı olarak içeride depolanan malzemeler ve mobilyalar
- Kaplama, bitirme ve dekorasyon malzemeleri
- Yalıtım malzemeleri
- Yapısal malzemeler

1950'den günümüze kadar bina yangınlarının etkileri sürekli farklılık göstermektedir. Bunun nedeni binalarda kullanılan malzemelerin içerik ve bileşenlerinin değişmesidir (Giebultowicz vd., 2017). Son yıllarda yapı malzemelerinin içerikleri sentetik, plastik ve tekstil malzemelerini içerecek şekilde değiştirilmiştir. Bu durum, yapı malzemeleri ve yangın ilişkisini olumsuz olarak etkilemiştir. Yeni malzemelerin doğal malzemelerden daha yanıcı ve toksik olduğu bilinen bir gerçektir (Martin vd., 2015).

3.1. Yapısal Olmayan Malzemelerin Yangın Davranışı ve Yangın ile Meydana Gelen Atık Oluşumunun İncelenmesi

Bina içerisinde meydana gelen olası bir yangın durumunda mobilyalardan sonra yangın ile karşılaşacak olan bitirme ve dekorasyon malzemeleri yüksek sıcaklık etkisinde farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde yapısal olmayan malzemeler başlığı altında kapı-pencere doğraması malzemesi olarak sıkıştırılmış ahşap ve PVC, taşıyıcı eleman-duvar bitirme malzemesi olarak alçı ve çimento harçları; döşeme kaplaması olarak PVC parkeler, ıslak mekân kaplaması olarak seramik-fayans, detay malzeme olarak metal ve camların yangın sırasındaki davranışları atık oluşumu açısından değerlendirilmiş ve Tablo 1’de sunulmuştur.

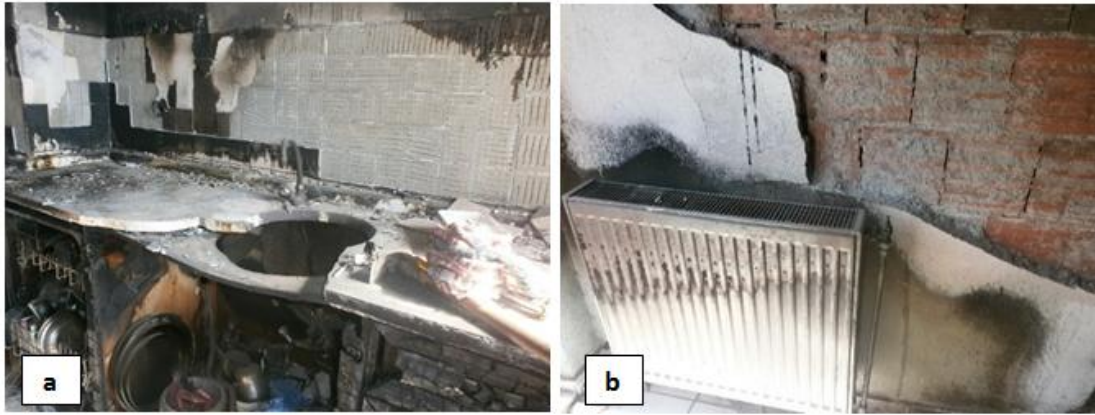
Yangın sırasında ölümcül gazlar açığa çıkmakta ve bu gazlar yangın söndürüldükten sonra bile tehlikelerini sürdürmektedir. Yanan ortamlarda çeşitli maddelerin bir arada bulunması, yanma süreci sonucunda farklı gazların salımına yol açmaktadır. Bu gazlardan bazıları toksik bazıları boğucu ve diğerleri ise tahriş edici özellikler taşımaktadır. Kimyasal olarak üretilmiş PVC parke kaplama ise yangın sırasında zehirleyici ve boğucu gazlar olarak etki göstermektedir.

Ahşap malzemelerde, reçine içeriğine bağlı olarak 250-300 °C arasında tutuşma meydana gelmektedir. Ahşap malzemenin yapısında bulunan karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve su buharı, 270 °C’de salınım göstermektedir. Ahşap, tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra ortaya çıkan CO ve CO₂ gazları, havadaki oksijen (O₂) ile birleşerek yanma sürecini başlatmaktadır. Bu yanma sonucunda kömürleşme olgusu da gerçekleşebilmektedir (Şimşek, 2022). Yangın olayına maruz kalan bir konutun kapı doğramasında meydana gelen kömürleşme Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Ahşap kapı doğramasında yangın ile meydana gelen kömürleşme (Bekem Kara, 2012).

Seramik-fayans kaplama malzemeleri yanma sırasında herhangi bir boğucu ya da zehirleyici gaz atığı ortaya çıkarmazken katı atık oluşturmaktadır (Şekil 7-a). Harçlar da yapay kâğır malzemeler grubunda yer almakta ve seramik-fayans gibi davranış sergilemektedir (Şekil 7-b).



Şekil 7. Yangın sonrasında bir konuta ait mutfak ve bölme duvarlara ait görüntüler
a) tezgah üstü fayans b) çimento harcı ile kaplanmış bölme duvar (Bekem Kara, 2012)

Çelik veya metal kökenli yapı malzemeleri yüksek sıcaklık karşısında deforme olmaktadır. Bu malzemeler, geri dönüşüm sürecine dâhil olan katı atıklar grubunda yer almaktadırlar.

Bina yangınlarında ısı kaynaklı cam çatlaması ve kırılması çok yaygındır (Wang vd., 2013). Bu durumun sebebi ısı şoktur. Camlar yangın sırasında çok büyük değerlerde ısıya maruz kalmakta ve belli bir ısıdan sonra patlayarak etrafa dağılmaktadır (Yaman ve Sarıcioğlu, 2017; Dembele vd., 2012).

Tablo 1. Yapısal olmayan malzemelerde yangın ile meydana gelen atık oluşumu

Malzeme	Yanıcılık Sınıfı	Atık			Geri dönüşüm
		Katı	Sıvı	Gaz	
PVC Doğrama (Pencere ve Kapı Sistemleri)	B1	✓	✓	✓	✓
Seramik-Fayans	A1	✓	-	-	✓
Ahşap Parke	B1-B2	✓	-	✓	-
PVC Yer Kaplama	B1-B2	✓	✓	✓	✓
Çimento Harçları, Alçı Harçları	A1	✓	-	-	✓
Metal	A1	✓	✓	✓	✓
Cam	A1	✓	-	-	✓

3.2. Yalıtım Malzemelerinin Yangın Davranışı ve Yangın Sonrası Atık Oluşumunun İncelenmesi

Türkiye’de 1990’lı yılların başında enerji tasarrufu bilincinin yapı sektöründe tartışılmaya başlanması, konut binalarının doğramalarındaki tek camlı ünitelerin çift camlı sistemlere dönüştürülmesi ile paralel bir gelişim göstermiştir. Bu süreç, çeşitli ısı yalıtım malzemelerinin ithalatının gerçekleştirilmesi ve/veya yerel üretimin artırılmasıyla birlikte, diğer yalıtım uygulamalarının da gündeme gelmesine zemin hazırlamıştır (Şenkal Sezer, 2005). Yalıtım malzemelerinin seçiminde, yanıcılık sınıfı, duman üretim oranları, alev yayılma hızları ve yangın anında saldıkları gaz türleri gibi parametrelerin dikkate alınması, binanın ve bina cephesinin maruz kalacağı ek yangın yükünün sınırlandırılmasında önemli bir etki sağlamaktadır (Özgünler vd., 2016). Bu çalışmada, binalarda en yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinden Ekstrüde Polistiren Köpük (XPS), Genleştirilmiş Polistiren Sert köpük (EPS), taş yünü ve cam yünü irdelenmiş ve ilgili özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

XPS, hafifliği, düşük ısı iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve ekonomik olması nedeniyle tercih edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Hükümetlerin binalarda enerji tasarrufunu teşvik etme

politikaları sebebiyle son yıllarda milyonlarca ton XPS köpük kullanılmaktadır (Luo vd., 2017). XPS erimesi kolay bir malzeme olup herhangi bir ısıya maruz kaldığında tutuşabilmektedir. Yangın başladıktan sonra XPS'te hızla yayılıp yüksek miktarda ısı ve zehirli duman çıkarmaktadır. Şubat 2009'da Pekin Televizyon Kültürü Merkezinde bir yangın olayı meydana gelmiştir. Yangın, havai fişeklerin ateşlediği XPS malzemesinden başlamış ve hızla tüm binaya yayılmıştır. Bir itfaiyeci ölmüş ve 26,2 milyon dolar maddi kayıp oluşmuştur (An vd., 2015). XPS ürünleri, bina içerisinde hiçbir zaman çıplak halde kullanılamaz. Bu sebeple çıplak olarak yangın sınıfına dahil edilememekte, üzerindeki kaplama ile birlikte yangına karşı davranışının değerlendirilmesi gerekmektedir. XPS, alev geciktirici ile birlikte test edildiğinde Avrupa yangın sınıflandırma sisteminde E sınıfında yer almaktadır. Yangın dayanım sıcaklığının üst sınırı 75 °C'dir. Alev kaynağının sürekli teması halinde yanma süreci devam etmekte, alev kaynağı uzaklaştırıldığında ise yanma durmaktadır. Yangın anında, zehirli gazlar ve boğucu dumanlar salınmaktadır (Uygunoğlu vd., 2015).

Diğer birçok polimer gibi EPS de esas olarak karbon ve hidrojenden oluşur. Oldukça yanıcı bir malzemedir. Alev karşısındaki davranışı, XPS ile aynıdır. Hidrokarbon doğası nedeniyle EPS, isli bir alevin etkisi ile kolayca yanar. Oksijen kaynağına bağlı olarak yüksek miktarlarda ağır ve yoğun duman üretir. Söz konusu duman görünürlüğü zayıflatır ve kurtarma çalışmalarını engeller. Karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO₂) ve eser miktarda diğer kimyasal bileşiklerin salınması sebep olur (Doroudiani ve Omidian 2010).

Taş yünü ve cam yünü mineral yalıtım malzemeleri grubunda yer almakta ve A1 sınıfına girmektedir. Mineral yalıtım malzemelerinin kullanımı yangın ve duman yayılımını kısıtlarken, bireylerin yangın hızına karşı binadan tahliyesini kolaylaştırmaktadır. Taş yünü, bağlayıcılar ve katkı maddeleri ile kaplanmış ince amorf liflerden oluşmaktadır. Lifli ve açık gözenekli yapısı sebebiyle hem ısı yalıtımı hem de ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Erime noktasının 1000 °C'den fazla olması ve yüksek sıcaklık kararlılığı nedeniyle yangın bariyeri olarak da özellikle tercih edilen bir malzemedir (Yörükoğlu vd., 2020). Üretim sürecinde ve binaların yenilenmesi veya yıkılması sırasında oluşan taş yünü atıkları, taş yünü eriyik üretimi için geri dönüştürülebilmektedir (Schultz-Falk vd., 2018). Cam yünü borosilikat cam eriyikten üretilirken, taş yünü kaya eriyiklerinden elde edilmektedir (Siligardi vd., 2017).

Tablo 2. Yalıtım malzemelerinde yangın ile meydana gelen atık oluşumu

Malzeme	Yanıcılık sınıfı	Atık			Geri dönüşüm
		Katı	Sıvı	Gaz	
XPS	B1	-	✓	✓	-
EPS	B1	-	✓	✓	-
Taş yünü	A1	✓	-	-	✓
Cam yünü	A1	✓	-	-	✓

3.3. Taşıyıcı Sistem Malzemelerinin Yangın Davranışı ve Yangın Sonrası Atık Oluşumunun İncelenmesi

BYKHY kapsamında taşıyıcı sistem elemanlarının malzemeleri betonarme, çelik ve ahşap olarak sınıflandırılmıştır. Yaşam alanlarında çıkan yangınlarda yüksek sıcaklıklar bina strüktürüne zarar verebilmekte ve yangın kaynaklı basınç artışı yapısal hasarlara yol açabilmektedir (Kuti vd., 2023). Yangına dayanıklılık, malzemeye değil binanın yapısal elemanlarına uygulanabilir bir kavramdır. Ancak bir malzemenin özellikleri, sadece bir parçasını oluşturduğu elemanın da performansını etkiler (Khoury, 2000). Yangın olaylarının, binaların işlevlerini ve sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilediği söylenebilir (Rahardjo ve Prihanton, 2020). Taşıyıcı malzemelerin yangına tepki verme şekli davranış veya özelliklerine göre Tablo 3'te sınıflandırılmaktadır.

Tablo 3. Taşıyıcı malzemelerin yangına tepki verme şekli davranış veya özellikleri
(+ meydana gelir, - meydana gelmez)

Özellik	Beton	Çelik	Ahşap
Kimyasal			
Ayrışma	+	+	-
Kömürleşme	-	-	+
Fiziksel			
Yoğunluk azalması	+	+	+
Parçalanma	+	-	-
Mekanik			
Dayanım kaybı	+	+	+
Sertlik kaybı	+	+	+
Sünme	+	+	+
Isıl genleşme	+	+	-

Beton, yüksek sıcaklık karşısında duman veya zehirli gaz üretmeyen ve yanmayan bir yapı malzemesidir. Yangını yayabilecek erimiş parçacıkları damlatmaz. Betonun yıkıntı atıkları geri dönüştürülebilir özelliktedir (Orhan, 2013).

Çelik, yüksek sıcaklık ile geri dönüştürülebilen bir malzemedir. 2017 yılında İran Tahran'da bulunan çelik strüktürlü Plasco Binası birkaç saat süren şiddetli yangının ardından söndürme çalışmaları sırasında çökmüştür (Şekil 8). 25 itfaiyeci enkaz altında kalarak hayatını kaybetmiş, ayrıca 75 kişi yaralanmıştır.



Şekil 8. Plasco Binası enkazı (Taherkenareh, 2017).

İnsanlık tarihinde çok eski bir yapı malzemesi olan ahşap, binlerce yıldır yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılmıştır. Günümüzde de yaygın olarak kullanımı devam etmektedir (Aydın ve Lakot Alemdağ, 2014). Ahşap malzemenin yanması tamamlandığında ısı ve ışık dışında ortaya çıkan ürünler, renksiz gazlar olan karbondioksit (CO₂) ve su buharıdır. Ahşap malzeme için kontrollü koşullar altında bile tam bir yanma sürecinin gerçekleşmesi mümkün değildir. Zira, yanıcı gazların önemli bir kısmı dumanla birlikte atmosfere salınmaktadır. Tamamlanmamış yanma sonucunda, karbon monoksit, metan, formik asit, asetik asit, glukozal, hem doymuş hem de doymamış hidrokarbonları içeren diğer gazlar ve buharlar da oluşabilmektedir (Çolak vd., 2002). Yüksek sıcaklığın etkisiyle ahşap malzemede önce kömürleşme olmakta, ardından ortaya kül çıkmaktadır (Şekil 9). Ahşabın yanıcı doğası, ahşap yapıların yangına dayanıklılığı konusunda tarihsel süreç içerisinde büyük bir endişe kaynağı olmuştur ve bu endişe günümüzde de geçerliliğini korumaktadır (Carcia-Castillo vd., 2023).



Şekil 9. Ahşap taşıyıcı elemanlarda kömürleşme (Gorbet vd., 2015; URL-1, 2025).

Taş, insanlık tarihi boyunca şekillendirilerek veya yontularak yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Taş malzemenin yapısı gereği dayanıklı olması, üretim ve kullanım aşamalarında çevreye zarar vermemesi ve geri dönüşümünün mümkün olması, sürdürülebilir yapı malzemesi olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Aydın ve Lakot Alemdağ, 2014). Taş malzeme, yangın durumunda son derece olumsuz davranış sergilemektedir. Doğal taş malzeme sert bir yapıya sahip olup, yüksek basınç dayanımına sahiptir. Isı iletme oranı ise oldukça düşüktür. Isınan taşların içindeki kuvars kristalleri, diğer bileşenler gibi genleşme gösteremediği için ani soğuma durumlarında malzemenin yapısında değişikliklere yol açmaktadır. Özellikle granit, soğutma suyu ile temas ettiğinde bünyesinde cam benzeri çatlamlar meydana getirmektedir (Ankara Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, 2020). Yığma yapılarda kullanılacak taşların türü, yangın dayanımı açısından kritik bir öneme sahiptir. Homojen volkanik taşlar, yangına karşı daha yüksek dayanıklılık göstermektedir. Bununla birlikte, kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren taşlar, yüksek sıcaklık ve itfaiye tarafından püskürtülen su etkisiyle kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) formuna dönüşerek dayanım kaybına uğramaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ($600\text{ }^\circ\text{C}$ – $800\text{ }^\circ\text{C}$) çoğu taşın dayanıklılığı önemli düzeyde etkilenir ve ısı şok meydana gelirse taşın parçalanma olasılığı söz konusu olabilir (Chakrabarti vd., 1996).

Taşıyıcı elemanların yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla oluşan atıklara ait bilgiler Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Taşıyıcı sistem malzemelerinde yangın ile meydana gelen atık oluşumu

Malzeme	Yanıcılık sınıfı	Atık			Geri dönüşüm
		Katı	Sıvı	Gaz	
Beton	A1	✓	-	-	✓
Çelik	A1	✓	-	-	✓
Ahşap	B1-B2	✓	-	✓	-
Kâgir (tuğla, taş)	A1	✓	-	-	✓

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yangın riski sağlık, güvenlik ve mülkiyete yönelik en büyük tehditlerden biridir. Bina yangınları, hem insan güvenliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Yangınlar, yapı malzemelerinin yanması sonucunda katı, sıvı ve gaz atıkların ortaya çıkmasına neden olurken, bu atıkların çevre üzerindeki etkileri uzun vadeli kirlenmelere yol açabilmektedir. Yangın sonrası oluşan atıkların türü, kullanılan malzemelerin yanıcılık sınıflarına göre değişiklik göstermekte ve bu durum çevresel etki değerlendirmelerini zorlaştırmaktadır. Özellikle sentetik ve plastik malzemelerin artışı, yangın sırasında daha fazla zehirli gaz ve duman üretimine neden olmaktadır. Bu nedenle, bina tasarımında yangın güvenliği önlemlerinin dikkate alınması, yangın olaylarının etkilerini azaltmak için kritik bir öneme sahiptir.

Ayrıca, bina yangınlarının çevresel etkilerinin azaltılması için geri dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesi ve atık yönetim sistemlerinin etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Yangın sonrası ortaya çıkan atıkların doğru bir şekilde bertaraf edilmesi, hem insan sağlığı hem de ekosistem için hayati öneme sahiptir. Bu bağlamda, yapı malzemelerinin seçiminde yangına dayanıklılık, toksisite ve çevresel etkiler gibi parametrelerin göz önünde bulundurulması, sürdürülebilir bir inşaat pratiği için elzemdir. Yangın güvenliği ve çevresel etki konularında daha fazla araştırma yapılmasının ve konuya ilişkin farkındalık oluşturulmasının, gelecekteki yangınların olumsuz etkilerini minimize etmek adına önemli bir adım olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Demirarslan, D. (2016). Türkiye ve Japonya’da konutların yapısal olmayan deprem tehlikeleri açısından incelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(2), 121-129.

Akçaözoğlu, S. ve Akçaözoğlu, K. (2018). Yüksek Binalardaki Pasif Yangın Güvenlik Önlemlerinin İncelenmesi: Niğde İlinde Bir Araştırma, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (015503), 972-980. <https://doi.org/10.5578/fmbd.67734>.

Amon, F., Gehandler, J., McNamee, R., McNamee, M., Vilic, A. (2019). Measuring the impact of fire on the environment, *Fire Impact Tool*, version I, ISBN: 978-91-88907-87-5, Brandforsk.

An, W., Xiao, H., Liew, K.M. (2015). Downward flame spread over extruded polystyrene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 119, 1091–1103, <https://doi.org/10.1007/s10973-014-4186-4>

Ankara Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı. (2020). Yangın yerindeki tehlikeler. <https://www.ankara.bel.tr/files/9416/4328/9990/4- Yangın Yerindeki Tehlikeler Tamam -56-.pdf>

Aydın, Ö. ve Lakot Alemdağ, E. (2014). Sustainable Materials In Black Sea Vernacular Architecture; Wood And Stone, *The Journal Of International Social Research*, 7 (35), 394-404.

Bekem Kara, İ. (2012). Karacabey/Bursa’da konut yangınına ilişkin fotoğraflar. Kişisel arşiv.

Bekem Kara, İ. (2017). Giresun İli Yangın İstatistiklerinin İncelenmesi (2011-2016), *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 96-105.

Bekem Kara, İ. (2018). 2013-2017 Yılları Arasında Artvin İl Merkezinde Meydana Gelen Bina Yangınlarının İncelenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 105-114, DOI: 10.21324/dacd.390289

Bekem, İ., Gültekin, A.B., Dikmen, Ç.B. (2015). Yapılarda sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında yangın olaylarının incelenmesi, 2. *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, (pp. 288-293), Ankara, Türkiye.

Binaların yangından korunması hakkındaki yönetmelik (BYKHY). (2007). T.C. Resmi Gazete (26735, 27 Kasım 2007).

Brushlinsky, N. Sokolov, S. Wagner, P., Messerschmidt, B. (2022). Center for Fire Statistics, World Fire Statistics, https://www.ctif.org/sites/default/files/2022-08/CTIF_Report27_ESG_0.pdf

Chakrabarti, B., Yates, T., Lewry, A. (1996). Effect of fire damage on natural stonework in buildings, *Construction and Building Materials*, 10(7), 539-544, [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00076-3)

Cosgun, N. ve Esin, T. (2006). A study regarding the environmental management system of ready mixed concrete production in Turkey, *Building and Environment*, 41 (8), 1099-1105, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.012>.

Çatıkkaş, M. ve Şimşek, Z. (2019). Şimşek, Tasarım aşamasında yangın güvenliğinin oluşturulması: Bir fabrika binası örneği, *TÜYAK 2019*, (pp.320-333), İstanbul, Turkey.

Çolak, S., Çolakoğlu, G., As, N. (2002). Ağaç Malzemenin Yanması Ve Yangında Diğer Yapı Elemanlarıyla Karşılaştırılması, *İstanbul Üniversitesi Orman fakültesi dergisi*, 52 (1), 15-22.

Dembele, S., Rosario, R.A.F., Wen, J. X. (2012). Thermal breakage of window glass in room fires conditions – Analysis of some important parameters, *Building and Environment*, 54, 61-70, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.009>

Doroudiani, S. ve Omidian, H. (2010). Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings, *Building and Environment*, 45 (3), 647-654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.004>.

Ficsher, E.C. ve Warma. A.H. (2016). Enviromental Impact of Fire, *Structural Sustainability*, 22-25.

Garcia-Castillo, E., Paya-Zaforteza, I., Hospitaler, A. (2023). Fire in heritage and historic buildings, a major challenge for the 21st century, *Developments in the Built Environment*, 13(100102), <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100102>.

Giebułtowicz, J., Rużycka, M., Wroczyński, P., Purser, D.A., Stec, A.A. (2017). Analysis of fire deaths in Poland and influence of smoke toxicity, *Forensic Science International*, 277, 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.05.018>.

Gorbett, G.E., Meacham, B.J., Wood, C.B., Dembsey, N. (2015). Use of damage in fire investigation: a review of fire patterns analysis, research and future direction. *Fire Science Reviews*, 4(4), 1-35, <https://doi.org/10.1186/s40038-015-0008-4>

Hall, S. (2024). Fire loss in the United States. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/osFireLoss.pdf>

Hölemann, H. (1994), Environmental Problems Caused by Fires and Fire-Fighting Agents, In T. Kashiwaki ve G. Maryland (Eds.), *Fire Safety Science-Proceedings of The Fourth International Symposium* (pp. 61-77). Canada.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı. (2025). İstatistikler 2020-2024. <https://itfaiye.ibb.gov.tr/img/1755321122025.pdf>

Kanter, J. ve Murray, T. (2017). At least 12 dead as huge blaze rips through a London tower block. Businessinsider. <https://www.businessinsider.com/photos-inside-grenfell-tower-after-deadly-fire-2017-6>

Khoury, G.A. (2000), Effect of fire on concrete and concrete structures, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2, 429-447. <https://doi.org/10.1002/pse.51>

Kuti, R., Zólyomi, G., László, G., Hajdu, C., Környei, L., Hajdu, F. (2023). Examination of effects of indoor fires on building structures and people, *Heliyon*, 9(1), e12720, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12720>.

Luo, S., Xie, Q., Tang, X. Qiu, R., Yang, Y. (2017). A quantitative model and the experimental evaluation of the liquid fuel layer for the downward flame spread of XPS foam, *Journal of Hazardous Materials*, 329, 30-37, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.028>

Marlair, G., Simonson, M., ve R.G. Gann, R.G. (2004), Environmental concerns of fires : facts, figures, questions and new challenges for the future. In S. Edinbourg (Ed.), *10. International Interflam Conference*, (pp.325-337). Interscience communications. London.

Martin, D., Tomida, M., Meacham, B. (2015). The Environmental Impact of Fire, Final Report, Fire Protection Research Foundation, Worcester.

McNamee, S. M. (2015). Fire and Environment, *Fire Technology*, 51, 1-2. <https://doi.org/10.1007/s10694-014-0444-z>.

Orhan, A.V. (2013). Mimarlıkta betonun sürdürülebilirliği, *Ege Mimarlık*, 83, 36-39, <https://www.egemimarlik.org/cevirim-ici-okuma/83/1211>

Özgünler, M., Acun Özgünler, S., Arpacıoğlu, Ü. (2016). Sürdürülebilir Binaların Çatı ve Cephelerinde Oluşan Yangın Risklerinin Analizi, *8. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, (21-30), İstanbul.

Rahardjo, H. A. ve Prihanton, M. (2020). The most critical issues and challenges of fire safety for building sustainability in Jakarta, *Journal of Building Engineering*, 29 (101133), <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101133>.

Salgın, B. (2009). Türkiye’de Yapısal Atık Yönetimi ile İlgili Yasal Düzenlemeler ve Yetersizlikler, *TOL*, 7, 89-94.

Schultz-Falk, V., Agersted, K., Jensen, P.A., Solvang, M. (2018). Melting behaviour of raw materials and recycled stone wool waste, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 485, 34-41, <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.01.035>.

Siligardi, C., Miselli, P., Francia, E., Gualtieri, M. L. (2017). Temperature-induced microstructural changes of fiber-reinforced silica aerogel (FRAB) and rock wool thermal insulation materials: A comparative study, *Energy and Buildings*, 138, 80-87, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.022>.

Stec, A. A., Dickens, K., Barnes, J., Bedford, C. (2019). Environmental contamination following the Grenfell Tower fire, *Chemosphere*, 226, 576-586, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.153>.

Şenkal Sezer, F. (2005). Türkiye’de Isı Yalıtımının Gelişimi Ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(2), 79-85.

Şimşek, O. (2022). Yapı malzemeleri II, Seçkin Yayıncılık.

Taherkenareh, A. (2017). Dozens of Firefighters Killed as Iconic Building in Tehran Collapses. NBC news. <https://www.nbcnews.com/slideshow/dozens-firefighters-killed-injured-iconic-building-tehran-collapses-n708946>

Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. (2011). Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, İstanbul, ISBN:978-975-04-00604-1

URL 1 (2025) <https://www.colourbox.com/image/deserted-building-after-a-fire-image-29774004>

Uygunoğlu, T., Güneş, İ., Çalış, M., Özgüven, S. (2015). EPS ve XPS Malzemeleriyle Yapılan Mantolamaların Yangın Sırasındaki Davranışlarının Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 18 (1), 21-28.

Wang, D., Ju, X., Yang, L. (2023). Experimental studies of the effect of burner location on the development of building fires, *Journal of Building Engineering*, 65(105680), <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105680>.

Wang, Q., Wang, Y., Chen, H., Xiao, H., Sun, J., He, L. (2013). Frame constraint effect on the window glass crack behavior exposed to a fire, *Engineering Fracture Mechanics*, 108, 109-119, <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2013.03.010>.

Wieczorek, J.Z., Ditch, B., Bill, G.R. (2010). FM Global Technical Report, Environmental Impact of Automatic Fire Sprinklers, <https://www.fm.com/-/media/Files/FM-Global/Research-Technical-Reports/p10062.pdf>

Yaman Y. ve Sarıcıoğlu, P. (2017). Yapı Malzemesi Olarak Camın Performans Kriterlerinin İrdelenmesi, *II. International Academic Research Congress*, (pp. 889-8969, Antalya, Turkey.

Yörükoğlu, A., Akkurt, F., Çulha, S. (2020). Investigation of boron usability in rock wool production, *Construction and Building Materials*, 243, 118222, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118222>