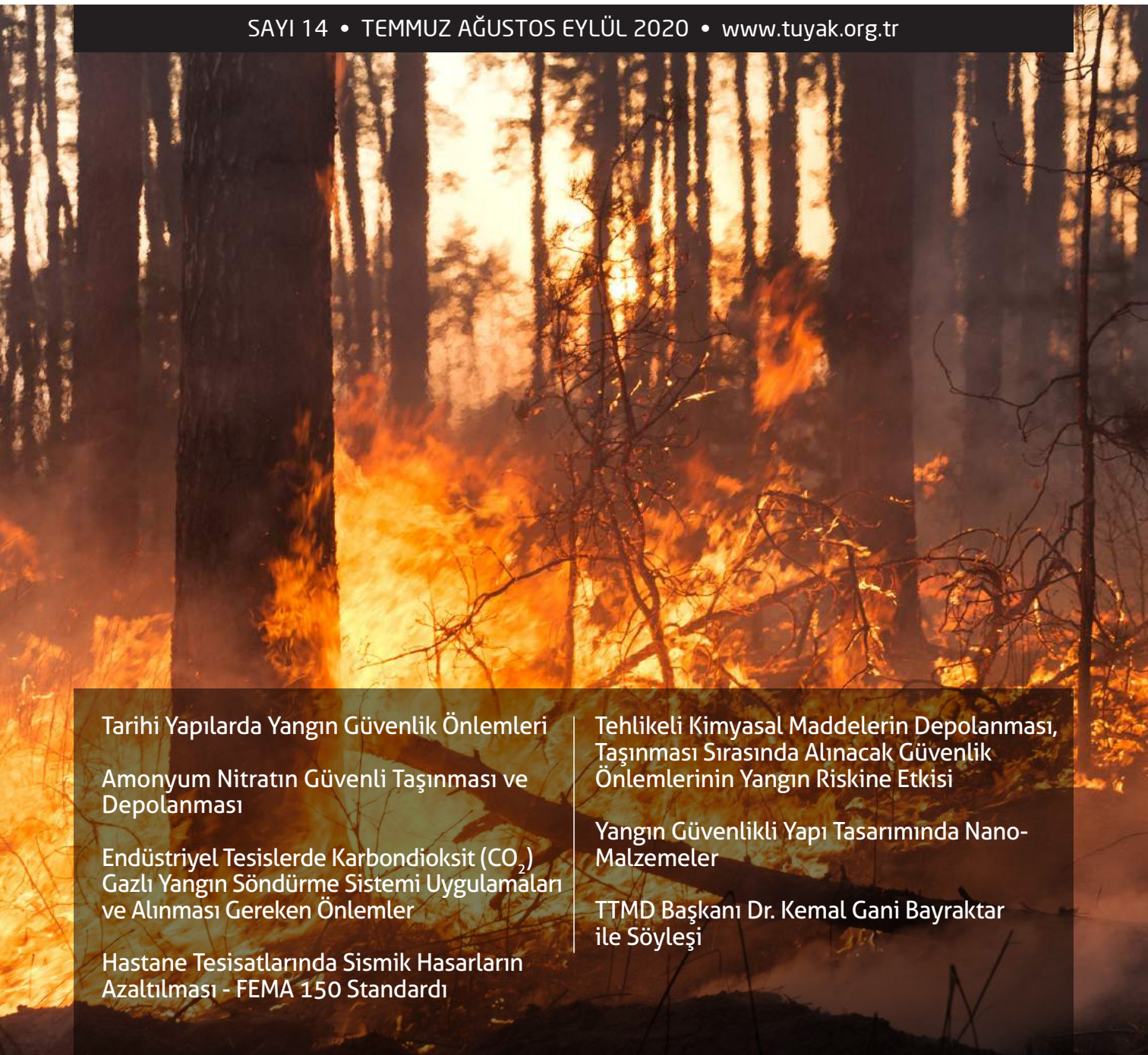
ISSN 2587-0475

TÜYAK

Yangın Mühendisliği

YANGIN GÜVENLİĞİ VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

SAYI 14 • TEMMUZ AĞUSTOS EYLÜL 2020 • www.tuyak.org.tr



Tarihi Yapılarda Yangın Güvenlik Önlemleri

Amonyum Nitratın Güvenli Taşınması ve Depolanması

Endüstriyel Tesislerde Karbondioksit (CO_2) Gazlı Yangın Söndürme Sistemi Uygulamaları ve Alınması Gereken Önlemler

Hastane Tesisatlarında Sismik Hasarların Azaltılması - FEMA 150 Standardı

Tehlikeli Kimyasal Maddelerin Depolanması, Taşınması Sırasında Alınacak Güvenlik Önlemlerinin Yangın Riskine Etkisi

Yangın Güvenlikli Yapı Tasarımında Nano-Malzemeler

TTMD Başkanı Dr. Kemal Gani Bayraktar ile Söyleşi

Yangın Mühendisliği
TÜYAK
YANGIN GÜVENLİĞİ VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

www.tuyak.org.tr

TÜYAK Adına Sahibi
Taner Kaboğlu

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Özlem Güneç

Yayın Kurulu Başkanı
Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç

Yayın Kurulu
Deniz Atik
Ceyhun Eren
Murat Topuz
Özlem Güneç
Taner Kaboğlu
Haluk Yanık

Bilim Kurulu
Dr. Saadet Alkış
Dr. Sedat Altındaş
Dr. Kazım Beceren
Dr. Mustafa Bilge
Prof. Dr. Füsun Demirel
Dr. Oğuz Gündoğdu
Prof. Dr. Neşet Kadırgan
Prof. Dr. Haluk Karadoğan
Prof. Dr. Adnan Kaypmaz
Dr. Necmi Özdemir
Prof. Dr. Mustafa Özgünler
Prof. Dr. Recep Yamankaradeniz
Prof. Dr. Zerrin Yılmaz

Halkla İlişkiler ve Reklam Müdürü
Şengül Çifçi

Yazı İşleri Müdürü
Oya Bakır

Yazı İşleri
Gökçen Parlar Ünal
Nihan Kolçak

Yapım
Doğa Ajans Ticaret Ltd. Şti.

Yönetim Yeri
Halil Rıfat Paşa Mah.
Perpa Ticaret Merkezi, B Blok Kat: 9
No: 1376, 34384 Şişli - İstanbul
Tel: (0212) 320 24 04
Faks: (0212) 320 24 03
dergi@tuyak.org.tr

ISSN: 2587-0475

Baskı ve Cilt
Şan Ofset Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti
Hamidiye Mah. Anadolu Cad.
No: 50 Kağıthane/İstanbul
Tel: 0212 289 24 24

Tüm Türkiye'de dağıtılmaktadır.
Basın Kanunu'na göre yerel süreli yayındır.

SUNUŞ

Salgın nedeniyle ülkemizdeki çalışma sistemindeki değişiklikler TÜYAK bünyesinde de bazı değişimler gerektirmiş, dergimiz daha önce belirlenen temel ilkeler doğrultusunda dijital olarak yayınlanmaya devam etmektedir. TÜYAK'ın güçlü bilgi paylaşım platformu olan eğitim seminerleri de webinar toplantılarıyla sürdürülmekte ve yoğun ilgi görmektedir.

Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı ile Yangından Korunma Derneği (TÜYAK) tarafından yedincisi düzenlenecek olan "TÜYAK 2021-Uluslararası Yangın Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi" 25-26-27 Kasım 2021 tarihlerinde İstanbul Lütfi Kırdar Kongre Merkezi'nde yapılacaktır. Hazırlık çalışmaları devam eden yedinci sempozyum, daha önceki katılımcıların isteği üzerine iki günden üç güne çıkarılmıştır. Sempozyum; yangın, sabotaj, deprem, iş kazaları ve çevre risklerini algılayan, uyaran ve uygun çözüm sunan yeni cihaz ve sistemleri tanıtmak, günümüz teknolojisine uygun koruma ve önleme sistemlerindeki gelişmeleri ve yeni tasarım esaslarını açıklamak, problemleri tartışmak, yangın ve güvenlik sektörünün tüm paydaşlarını bir araya getirmek amacıyla da düzenlenmektedir.

Ana teması "Yangın Mühendisliğinde Tasarım, Uygulama ve İşletme" olan TÜYAK-2021 Sempozyumu'nda daha öncekilere göre daha geniş bir katılım beklemekteyiz. Yangın güvenlik çalışanları, ilgili kamu yöneticileri, akademisyenler, tasarım yapan ve/veya uygulayan mühendisler, danışmanlar, itfaiyeciler, sigortacılar, üreticiler, ürün sağlayıcıları, teknik elemanlar; TÜYAK-2021 Sempozyumu'nun doğal davetlileridir. Sempozyum, uluslararası ve ulusal kuruluşların destekleri, yurt içi ve yurt dışı üniversite ve firma temsilcilerinin katkıları ile gerçekleştirilecektir. Sergide; yangın ve güvenlik sektöründeki yerli ve yabancı üreticiler teknolojik gelişmeleri tanıtacak, yeni ürünlerini sunacaktır. Tüm sektörün bildiri sunarak ve sergiye katılarak desteklerini bekliyoruz.

Yayın Kurulu



3 AYDA BİR YAYINLANIR.

SAYI 14
TEMMUZ AĞUSTOS EYLÜL 2020

İÇİNDEKİLER

Sunuş 3

Haberler 6

Tarihi Yapılarda Yangın Güvenlik Önlemleri
Abdurrahman Kılıç, Gökhan Balık 22

Amonyum Nitratın Güvenli Taşınması ve Depolanması
Yunus Gürbüz, Derya Karataş, Meltem Kadayıfci 36

Endüstriyel Tesislerde Karbondioksit (CO_2) Gazlı Yangın Söndürme Sistemi Uygulamaları ve Alınması Gereken Önlemler
Ali Can Uzun 42

Hastane Tesisatlarında Sismik Hasarların Azaltılması - FEMA 150 Standardı
Eren Kalafat 50

Tehlikeli Kimyasal Maddelerin Depolanması, Taşınması Sırasında Alınacak Güvenlik Önlemlerinin Yangın Riskine Etkisi
Zuhal Yazıcı 60

Yangın Güvenlikli Yapı Tasarımında Nano-Malzemeler
Özgü Aydoğdu, Ezgi Korkmaz 74

Söyleşi
TTMD Başkanı Dr. Kemal Gani Bayraktar 84

Etkinlikler Takvimi 88

ilan indeksi

AKSAY	11
ATLAS TEKNİK	9
BTS	13
DUYAR VANA	17
EEC	35
FOKUS	41
JOHNSON CONTROLS-TYCO	49
KOMTES	59
KURTARIR	87
MAVİLİ	89
NORM TEKNİK	2
STANDART POMPA	1
TÜYAK	4
TÜYAK	ÖKİ
TÜYAK	AKİ
TÜYAK	AK

TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi, Sayı 14, s 74-83, 2020

YANGIN GÜVENLİKLİ YAPI TASARIMINDA NANO-MALZEMELER

Özgü Aydoğdu [1]
Ezgi Korkmaz [2]

ÖZET

Yangın yapıda meydana geldiğinde can ve mal kayıplarına neden olabilen ve afete dönüşebilen kontrol dışı bir yanma olayı olarak tanımlanmaktadır. Yapıda kullanılan malzemeler ise, yangın sırasında açığa çıkardıkları duman ve zehirli gazlardan dolayı insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yangın oluşumu tamamen önlenememekle birlikte; yapıda kullanılacak olan ürünlerin davranışını etkileyecek olan etmenlerin bilinerek ortaya konulması ve malzeme seçiminin buna göre yapılması, yangın gibi tehlikelerin neden olabileceği olumsuzlukların en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır. Son yıllarda, yapı sektöründe kullanımı giderek artan ve konvansiyonel yapı malzemelerine kıyasla yeni bir malzeme üretim yöntemi olan nanoteknoloji ile üretilen nano-malzemeler, performansı arttırılmış ve belirli özellikler eklenmiş malzemeler olarak yapıda yerini almaktadır. Yapıya işlevlerine göre çeşitli avantajlar kazandıran nano-malzemeler, tasarımda yangın direnimi istenilen alanlarda da kullanılabilmektedir.

Mimari tasarım sürecinde malzeme seçimi, yapıda yangın oluşma riskini ve yangının neden olabileceği can ve mal kayıplarını en aza indirebilmek açısından önem taşımaktadır. Ancak nanoteknoloji yeni bir malzeme üretim yöntemi olduğundan, bu yöntemle üretilen nano-malzemelerin yangın sırasındaki davranışları çok bilinmemektedir. Bu nedenle, malzeme seçiminde tasarımcılara, uygulayıcılara, üreticilere ve araştırmacılara bilgi vermek amacıyla hazırlanan bu çalışmada; nano teknoloji ile üretilmiş, yangın direnim özelliğine sahip nano yapı malzemeleri incelenecektir. Nano-malzemeler pasif yangın güvenlik önlemleri rehber alınarak, yapıya kazandırdıkları avantaj ve dezavantajlar çerçevesinde değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: *Nano-malzemeler, Yangın Güvenlikli Yapı Tasarımı, Yapıda Malzeme Seçimi*

1. GİRİŞ

Son yıllarda yapılarda meydana gelen yangınların büyük çoğunluğuna; alevlerin kontrolsüz bir şekilde büyüyerek ilerlemesine yol açan, düşük yangın direnimine sahip, kolay tutuşabilen yapı malzemelerinin neden olduğunu söylemek mümkündür. Yakın geçmişte yaşanan;

- Grenfell Tower (2017) yangınında; dış cephede kullanılan polietilen dolgulu alüminyum kompozit panellerden ilerleyen yangın, 71 kişinin ölümüne neden olurken, önemli ölçüde maddi hasara yol açmış,
- Kemerovo Alışveriş Merkezi (2018) yangınında ise alışveriş merkezine dönüştürülen yapıda kullanılan düşük maliyetli ve düşük yangın direnim özellikli yapı malzemeleri kısa sürede yanarak yapının çatısının çökmesine ve 64 kişinin ölümüne neden olmuştur [1,2].

[1] *Yüksek Mimar, Yıldız Teknik Üniversitesi*
[2] *Dr. Öğretim Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi*

Yangının çıkışı tamamen önlenememekle birlikte, yapıda kullanılacak olan malzemelerin pasif yangın güvenlik önlemleri çerçevesinde seçilerek doğru bir tasarımla uygulanması, yapıda yangın çıkma riskini önemli oranda azaltmaktadır [3]. Özellikle, toplumların modernleştikçe değişen ve artan ihtiyaçlarını (estetik kaygılar, enerji tasarrufu, konfor koşullarını sağlama vb.) karşılamak amacıyla geliştirilen malzeme üretim teknolojileri sayesinde üretilen yeni malzemeler, ürün özelliklerinin yeterince bilinmemesi ve yanlış kullanımdan dolayı yapıda yangın riskini de beraberinde getirmektedir. Bu malzeme üretim yöntemlerinden biri olan nanoteknoloji, sağladığı avantajlar nedeniyle başta cephe kaplamaları olmak üzere yapının her alanında kullanılabilmektedir. Ancak, ulusal ve uluslararası mevzuatlarda yapılarda kullanılan nano malzemelerin yangın güvenliği hakkında yeterli bilgi bulunmaması, bu malzemelerin yapıda kullanılmaları halinde oluşabilecek risklerin ön görülmesini zorlaştırmaktadır. Yapılarda çıkabilecek yangınların olası sonuçlarını ve yaşanabilecek can ve mal kayıplarını önleyebilmek amacıyla, tasarımda doğru malzemelerin seçilmesi hayati bir öneme sahip olmaktadır.

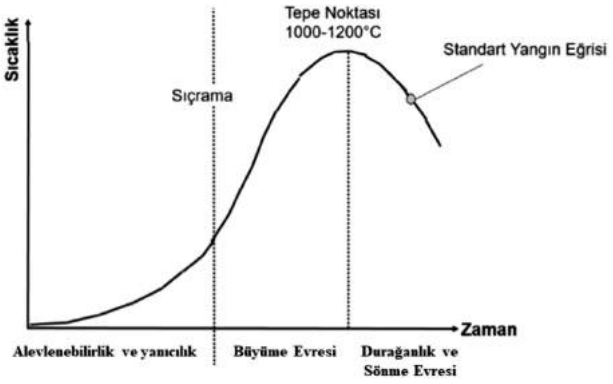
Bu amaçla çalışmada, yapıda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin, sağladığı avantaj ve dezavantajlar ele alınarak, yangın güvenlikli yapı tasarımına uygunlukları değerlendirilecektir.

2. YAPIDA YANGIN GÜVENLİĞİ

Yangın gelişimi;

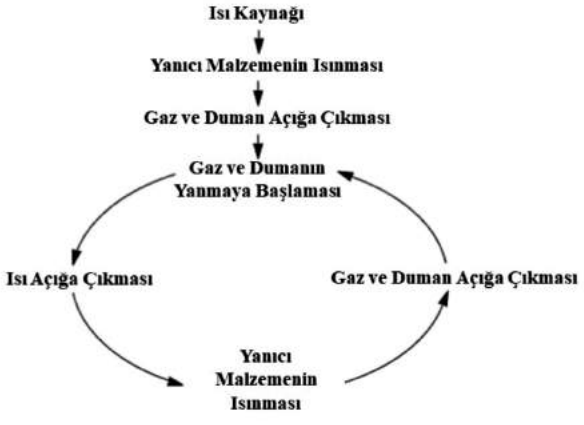
- tutuşma,
- büyüme- yavaş yanma,
- patlama-genel kavuşum ve
- sönme-soğuma olmak üzere dört evreden meydana gelmektedir [6].

Tutuşma evresi sonucunda açığa çıkan ısı, ortam sıcaklığının giderek yükselmesine neden olmasına karşın, yangının başlangıç aşamasında ortamdaki ısı yeterli olmadığından en büyük sıcaklık artışı yangın oluşumundan sonraki ilk 5-10 dakikalık zaman diliminde yaşanmaktadır [7]. Yangının ilk aşamasında oksijen oranı yanma olayının devamlılığı için yeterli olmakta ancak, ısı yeterli düzeyde olmadığından yangın kısa bir süre alev dili (flame over) şeklinde seyretmektedir. Gelişimine devam eden yangının büyüklüğü ise birkaç dakika içerisinde iki katına çıkabilmektedir [8]. Yangının büyüme-yavaş yanma evresinde ise, yoğun bir duman ve gaz bulutu açığa çıkmaktadır. Yangının kapalı bir mekânda meydana gelmesi durumunda açığa çıkan duman ve gazlar sahip oldukları yüksek sıcaklık nedeniyle dikey düzlemde büyüme eğilimi göstererek yükselir ve konveksiyon yoluyla tavana ulaşır. Alevler tavana ulaştığında, yatay yönde yayılarak, ortam sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu aşamadan sonra, açığa çıkan alevlerin ve yanma buharının ortam sıcaklığını giderek arttırması ve 550-600 ºC aralığına ulaşmasıyla, ortamda bulunan yanıcılık özelliğine sahip yüzeyler ve nesneler de kendiliğinden tutuşma (flash over) eğilimi göstermeye başlamaktadır. (Şekil 2.1) [6,8].



Şekil 2.1 Standart yangın gelişim eğrisi [7].

Kapalı bir alanda bulunan ve yanıcılık özelliğine sahip olan tefrişlerin, yapı elemanlarının ve malzemelerin sahip olduğu ısı enerjilerinin toplamı yangın yükü olarak tanımlanmaktadır. Yangın yükü arttıkça yangının süresi ve buna bağlı olarak can ve mal güvenliği riski de artmaktadır. Yapıda kullanılan malzemeler yanıcılık özelliklerine bağlı olarak yangın sırasında farklı tepki verebilmektedirler. Malzemelerin tutuşma sıcaklığı düştükçe, yangının yayılma ve gelişme hızı da artma eğilimi göstermektedir [4]. Yangın sırasında yanan malzemenin ısı miktarı yükseldikçe, açığa çıkan yoğun duman ve gaz bulutu yükselerek mekânın diğer bölümlerine yayılma ve yanıcı gazlar ortamın sıcaklığının artması nedeniyle artan ısı enerjiyle birlikte yanma eğilimi göstermektedirler. Ortamda bulunan duman ve gazlar, yanıcı özellikteki diğer malzemelerin de tutuşmasına neden olabilmektedir. Yanmaya başlayan diğer malzemelerden açığa çıkan yanıcı özellikteki duman ve gazlar yangının bir döngü şeklinde gelişimine devam etmesine neden olabilmektedir [Şekil 2.2]. Ayrıca, yangın sırasında ortaya çıkan, yüksek sıcaklık, alev, duman ve gazlar yapı içerisinde bulunan kullanıcıları ve yapı çevresini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Açığa çıkan duman ve gazlar, yangın sırasında görüş mesafesini düşürerek yaralanmalara yol açabilmekte ve bu gazlar solundukları takdirde kandaki oksijen oranını düşürerek boğulmaya veya zehirlenmelere neden olabilmektedir [9]



Şekil 2.2 Kapalı Mekanda Yangın Döngüsü [6].

Malzemelerin yapılarında bulunan atomlar yangın sırasında titreşim hareketi yaparak, atomlar arası bağların uzamasına neden olurlar. Bu nedenle, yangın sırasında malzemenin fiziksel yapısında; hacim artışı, genleşme ve ergime şeklinde değişimler meydana gelmektedir [10]. Malzemelerin sahip oldukları ısı iletkenlik katsayısı, her malzemeye göre değişkenlik göstermekte ve yangının ilerleme hızına da doğrudan etki etmektedir. Yanmakta olan mazlemelerin iç yapısında bulunan moleküler kristal haldeki su buharlaşmaya başlar ve bu durum malzemenin yapısındaki gerilim kuvvetlerinin artmasına, çatlaklara, parçalanmalara ve performans kayıplarına yol açmaktadır. Malzemenin kökeninin organik ve inorganik olmasına bağlı olarak organik malzemelerde karbonatlaşma meydana gelebilmektedir. Yangın sırasında malzemenin yapısında meydana gelen kimyasal tepkimeler sonucunda çevre ve insan sağlığını tehdit edebilecek ölçüde çeşitli gazlar açığa çıkmasının yanısıra, malzemenin yapısında korlaşma ve kalıcı hasarlara neden olmaktadır [11]. Bu da yapı kullanım amacına göre uygulanacak malzemelerin yangın sırasındaki davranışlarının bilinmesinin ve tasarım sürecinde doğru malzeme seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

Her yapının yangın riskine sahip olması ve bu riskin tamamen ortadan kaldırılamaması, yapılarda yangın güvenliği açısından bir takım önlemler alınmasını gerektirmektedir [3]. Özellikle, yapıda kullanılan malzemelerin yanıcılık özellikleri ve yangın performansları yangın güvenliği bağlamında kritik bir öneme sahip olmaktadır [12]. Bu nedenle, yapılarda yangın güvenliği çerçevesinde alınacak önlemler ulusal/uluslararası alanda ilgili yasa ve yönetmelikler tarafından zorunlu tutulmakta ve disiplinlerarası bir çalışma gerektirmedir. Yapıda yangın güvenlik önlemleri aktif yangın güvenlik önlemleri ve pasif güvenlik önlemleri olmak üzere iki şekilde incelenmektedir [5,6].

- **Aktif yangın güvenlik önlemleri:** Binanın kullanım amacı, kullanıcı yükü ve çevresel koşulları dikkate alınarak, yangın sırasında yangını algılama, söndürme ve duman kontrolü fonksiyonlarının yerine getirilmesi amacıyla oluşturulan mekanik ve elektronik ekipmanların tümü olarak tanımlanmaktadır. Aktif yangın güvenlik önlemleri, pasif yangın güvenlik önlemlerinin tamamlayıcısı olarak, binanın yapımı sırasında veya kullanım sürecinde uygulanabilmektedir [5,6].
- **Pasif yangın güvenlik önlemleri:** Binanın kullanım ömrü boyunca yapıda yangın oluşumuna, gelişimine veya yayılmasına neden olabilecek yapı elemanlarının yangın sırasındaki performansları temel alınarak tasarım sürecinde ele alınan kalıcı önlemleri kapsamaktadır. Yapıda yangın kaçış yollarının tasarlanması, kompartımanlama alanlarının belirlenmesi, malzeme, ürün ve bileşenlerin seçimi pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında değerlendirilmektedir [5,6].

2.1 Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri ve Yapı Malzemelerinin Seçimi

Yapının kullanım ömrü boyunca hizmet verecek olan malzemelerin yangın güvenlikli yapı tasarımına uygunluğu pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında değerlendirilmektedir. Yapı malzemelerinin yanıcılık özellikleri, yangının büyüme ve yayılma sürecinin hızlanmasında doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır. Bu nedenle, malzemelerin yangın sırasındaki performanslarının ve yapılarda meydana gelen yangınların dinamiklerinin bilinmesi, yapı malzemelerinin seçimindeki ölçütlerin belirlenebilmesi amacıyla gerekli olmaktadır. Türkiye'de yapı malzemeleri Ulusal Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY)/ Ek 2' de; yanıcılık, duman yayıcılık ve yanma damlaları/ taneciklenme özelliklerine göre sınıflara ayrılmıştır [13].

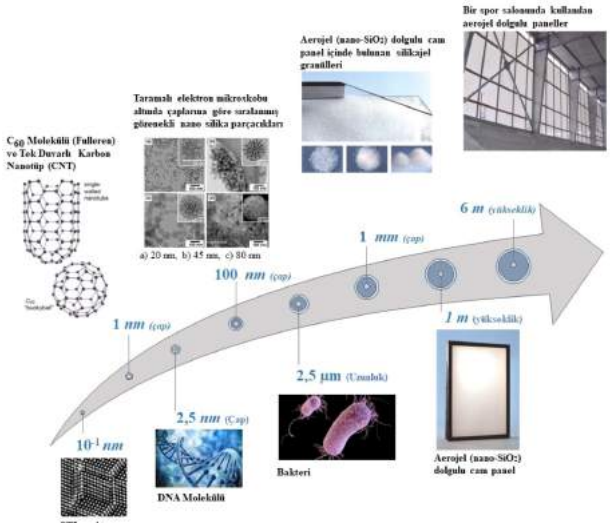
Yapı malzemelerinin yangın sırasındaki performanslarının test edilmesinde; malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, çevresel etkenler, yapı kabuğu gibi değişkenler etkili olmaktadır. Yapı malzemelerinin yanıcılık özelliklerinin belirlenmesinde ilgili standart ve yönetmelikler kapsamında belirtilen test metodları uygulanmakta ve bu testlerde malzemelerin; tutuşma koşulları, yangının büyümesine olan etkileri, açığa çıkardıkları duman ve gaz miktarları gibi belirli özellikleri aranmaktadır [5,6,12]. Nano-malzemelerin yapıda kullanım alanlarının ve yangın sırasında neden olabilecekleri risklerin belirlenmesi ve bilinmesi yapıda pasif yangın güvenliği kapsamında nano-malzemelerin seçimine ilişkin olarak önem kazanmaktadır. Nano- malzemelerin yapıda kullanım alanları ve yangın güvenliği kapsamında sahip oldukları avantaj ve dezavantajların ilgili standart ve yönetmelikler kapsamında detaylı olarak incelenmesi, nano-malzemelerin konvansiyonel malzemelerle birlikte kullanımından elde edilen malzemelerin yangın direnim özelliklerinin iyileştirilmesi açısından da önem kazanmaktadır.

3. Nanoteknolojik Malzemelerin Yapıda Kullanımı

Nanoteknoloji, malzemelerin moleküler yapısı üzerinde nano ölçekte çalışılarak, makro ölçekte dramatik oranda değişmiş ve gelişmiş özeliklere sahip malzemelerin üretimini mümkün kılan bir malzeme üretim teknolojisi olarak tanımlanabilmektedir [14]. Richard P. Feynman tarafından 1959 yılında gerçekleştirmiş *"There's Plenty of Room at the Bottom"* adlı konuşmada malzemelerin yapısında nano ölçekte çalışmaların yapılabileceği düşüncesi ortaya atılmış ve tarafından nanoteknoloji terimi ilk olarak 1974 yılında Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır [15,16]. Nanoteknoloji, günümüzde; tıp, savunma, kozmetik, tekstil, yapı ve teknoloji gibi pek çok alanda kullanılabilmektedir [17].

Yan yana dizilmiş 5 veya 10 atom büyüklüğüne denk olan bir nanometre, metrenin milyarda biri (10^{-9} m) olarak ifade edilmektedir [17]. Malzemelerin atom veya molekülleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, nanoteknolojinin malzemenin yapısına makro ölçekte üstün özellikler kazandırdığını gösterirken,

malzemenin kimyasal yapısında bir değişime neden olmadığı da söylenebilmektedir (Şekil 3.1), [14].



Şekil 3.1 Malzeme ölçeklerinin nano ölçekten, metrik ölçeğe doğru sıralanması

Nanoteknolojinin en sık kullanıldığı alanlardan biri yapı endüstrisidir. Yapıda kullanılan konvansiyonel malzeme veya bileşenlerine eklenebilen nano parçacıklar, malzemeye kazandırdıkları üstün özelliklerden dolayı, yapının kullanım ömrü boyunca öz-denetim imkanı tanımaktadır [14]. Bu sayede, yapılarda bakım, onarım, yenileme maliyetleri, enerji ve zamandan tasarruf sağlanabilmektedir. Nanoparçacıklar, yapısal konvansiyonel malzemelere eklenerek izolasyonda, fotovoltaik panellerde, cephe ve döşeme kaplamarında yeni malzemelerin üretimini de mümkün kılmaktadır. Mimaride nanoteknoloji uygulamaları genel olarak;

- yüzey koruma,
- yapısal dayanımı arttırma,
- yüzey temizleme (kendiliğinden veya dışarıdan müdahale ile)
- iç mekan konfor koşullarını arttırma ve
- yapı içi ve dışı konfor ve güvenliği sağlama olarak sınıflandırılabilmektedir [18].

Yapıda nano-malzemelerin kullanım alanları; kendi kendini temizleyebilen yüzeyler, kolay temizlenebilen yüzeyler, antibakteriyel özellik, çizilme ve darbelere karşı dayanım, yüzeylerde parmak izi oluşumunun, önlenmesi, güneş denetimi, UV korunumu,etkin ısı yalıtımı, yüzeylerde su buharı oluşumunun önlenmesi, arttırılmış yük dayanımı, kendi kendini onarabilme, öz izleme özelliği ve yangın direnimi olarak sıralanabilmektedir [17,18, 19]. Nano-malzemelerin yapıda kullanımıyla ilgili olarak yürütülen bir çalışmada, malzemelerin konvansiyonel malzemelere oranla daha çok tercih edilmeye başlandığı söylenmektedir. Özellikle, yüzeylere sağladığı kolay temizlenebilirlik, antibakteriyellik ve kendi kendini temizleyebilme özellikleri nedeniyle hem iç hem de dış mekan yüzeylerinde nano-malzemelerin yapıda önem kazandığını söylemek mümkün olmaktadır. Enerji, malzeme, iş gücü, zaman ve maliyetten kazanç sağlamaları nedeniyle nano-malzemeler yüzeylerde daha sık tercih edilmektedir. Ayrıca, nano-malzemelerin kullanıldıkları yapı malzemelerine kazandırdıkları yangın direnimi özelliği de yapıya sağladıkları önemli avantajlardan biri olmaktadır (Çizelge 3.1), [19].



Çizelge 3.1 Yapıda nano-malzemelerin kullanıldıkları yerler ve oranları [19].

3.1 Yapıda Kullanılan Nano-malzemeler

2015 yapılan bir çalışmada, akademi ve üretici iş birliği içerisinde 156 tane nano ürünün yapıda kullanılmak üzere geliştirildiği belirtilmiştir [20]. Bunların içerisinde yapıda en çok tercih edilen nano-malzemeler; nano-silica, titanyum dioksit (nano -TiO2), karbon nanotüpler (CNT's), nano-gümüş (nano-Ag), aluminyum oksit (Al2O3), aerojeller, nano-magnezyum (nano-Mg), nano-clay ve nano bakırlar (nano-Cu) olarak sıralanmaktadır. Nano-malzemeleri kendi içlerinde yapılarına ve boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır [21].

Yapılarına Göre Nano-malzemeler: Karbon bazlı malzemeler, metal bazlı malzemeler, dendrimerler ve nano-kompozitler olmak üzere dört grupta ele alınmaktadır.

- **Karbon Bazlı Nano-malzemeler:** Karbon nanotüplerin yer aldığı bu grupta, karbon bazlı nano-malzemeler mekanik özelliklerin geliştirmesinin yanı sıra malzemeye hafiflik de kazandırmaktadır [18,22].
- **Metal Bazlı Nano-malzemeler:** UV korunumu, korozyona karşı direnç, kendini temizleyebilen yüzeyler, leke tutmayan yüzeyler, buhar tutmayan yüzeylerin oluşturulmasında kullanılmaktadır [18,22].
- **Dendrimerler:** Kataliz tepkimeleri açısından uygun bir malzeme olarak değerlendirilmektedir [22].
- **Nano-Kompozitler:** Nano partüküllerin, diğer nano partiküllerle veya daha büyük ölçekteki malzeme kümeleriyle oluşturdukları yapı olarak tanımlanabilmektedir. Malzemelerin mekanik özelliklerin geliştirilmesinde veya alev geciktirici özellik kazandırılmasında kullanılmaktadır [22].

Nano-malzemeler yapıda kullanıldıkları alanlar ve sağladıkları avantajlar doğrultusunda bir tablo haline getirilerek Çizelge 3.2' de ele alınmıştır.

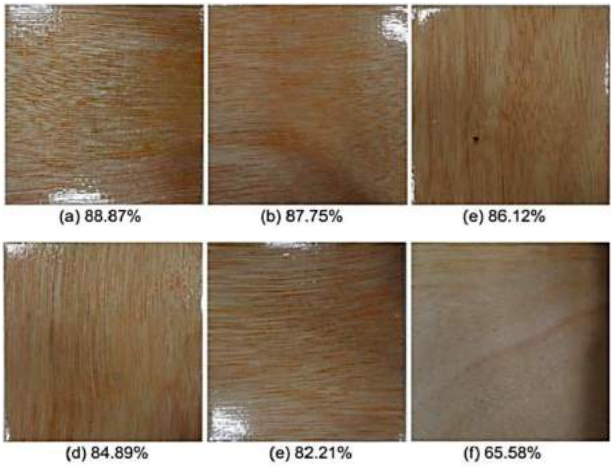
Çizelge 3.2 Yapıda kullanılan nano-malzemeler ve kullanım alanları [17,18,19,20,21,23,24,25,26].

Nano-malzeme	Yapıya Sağladığı Avantajlar	Yapıda Kullanıldığı Alan
Nano-TiO_2 (metal bazlı)	• Fotokatalitik özellik • Kendi kendini temizleyebilme • İç mekan hava kalitesini arttırma • Anti-bakteriyel özellik kazandırma • Süper hidrofilik yüzey yaratma • Yüzeyde buhar oluşumunu önleme • UV korunumu • Hidrasyonu hızlandırma • Yangın direnimi • Bakın onarım maliyetleri, işgücü, doğal kaynakları ve zamandan tasarrufa olanak sağlama • Çevre sağlığına zararlı olabilecek maddeler içermeme • Çevre kirliliğine neden olmama • Malzemelerin kullanım ömrünün uzaması • Yangın direnimi	• Beton • Yüzey kaplaması veya kaplamada katkı malzemesi olarak • Cam • PV paneller • Ahşap
Nano-SiO_2 (Silis dumanı veya metal oksit)	• Kendi kendini temizleyebilme • Yansıma oluşumunu önleme • Güçlendirilmiş beton • Yangın direnimi • Çevre kirliliğine neden olmama • Malzemelerin kullanım ömrünün uzaması • Yangın direnimi • Çizilmelere karşı direnim	• Yüzey kaplaması veya kaplamalarda katkı maddesi olarak • Beton • Seramik • Cam (paneller arasında silika jeli veya kaplama olarak)
Nano-Ag (metal bazlı)	• Kolay temizlenebilme • Antibakteriyel özellik • UV korunumu	• Seramik • PV paneller • Beton
Nano-Fe_2O_3 (metal bazlı)	• Komprensif gücü artırma • Aşınmaya karşı dayanıklılık	• Beton
Nano-clay (nanokompozit)	• Yangın direnimi	• Yüzey kaplamalarında katkı maddesi olarak
Aerojel (Nano-SiO_2 veya karbon bazlı)	• Isı izolasyonu	• İzolasyon panelleri
Nano-ZnO (nanokompozit)	• Anti-bakteriyel özellik • UV Korunumu	• Kaplamalarda katkı malzemesi • Ahşap
Nano-LDH's (Alüminyum Hidroksitler)	• Alev geciktiricilik	• Alüminyum

4. YAPIDA KULLANILAN NANO-MALZEMELERİN YANGIN GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA İNCELENMESİ

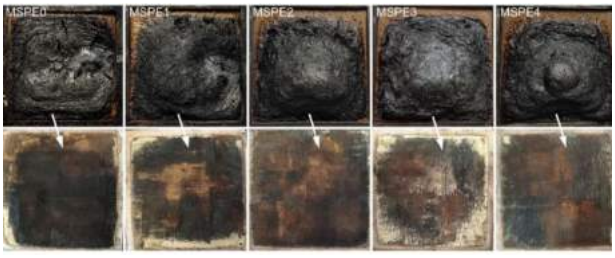
Yeni bir malzeme üretim teknolojisi olan nanoteknolojinin yapıda kullanım alanları giderek artmaktadır. Özellikle son yıllarda cephe kaplama uygulamalarında, az miktarda nano malzemenin doğru bir tasarım ve düzgün dağılımla kaplama içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılmasının kaplamanın performansını ve özelliklerini arttırdığı bilinmektedir. Bu gibi özellikler nedeniyle, nano-kaplamalar yapı sektöründe giderek ilgi çekmektedir. Ancak ülkelerin yangın yönetmeliklerinde çoğunlukla konvansiyonel yapı malzemelerinin yanıcılık özellikleri hakkında bilgi verildiği görülmektedir. Yapıda kullanılacağı alan doğrultusunda konvansiyonel malzemelerin içine eklenebilen veya dışına ince bir film kaplama olarak uygulanabilen nano-malzemelerin, yapıda meydana gelebilecek bir yangın sırasında, yangının ilerlemesinde veya yayılmasında oluşturabileceği etkilerle ilgili ulusal veya uluslararası yönetmeliklerde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bazı nano-malzemelerin yangın sırasındaki davranışlarıyla ilgili veriler ise uapılan ulusal ve uluslararası araştırmalardan elde edilmektedir. Bunlar; Nano-SiO_2, Aerosil, Nano-TiO_2, Nano-LDH ve Nano-Kompozitlerdir.

Nano-SiO_2 ve Yangın Direnim Özellikleri: Konvansiyonel yangın geciktirici intumesan (kabaran) kaplamalardan, yangın sırasında kaplamanın şişip, gözenekli bir tabaka oluşturarak, uygulandığı yüzeyi alev ve ısıya karşı koruması beklenmektedir. Öte yandan, intumesan kaplamalarda yangın geciktirici özelliği sağlayan katkı maddeleri, kaplamanın matris reçinesiyle doğrudan etkileşimde olduklarından, yüzeylerde opak bir görüntü yaratmaktadır. Bu nedenle, kaplamanın uygulanacağı yüzeylerin sahip olduğu morfolojiyi devam ettirmesi açısından, intumesan özellikteki yangın geciktirici kaplamalarda şeffaf bir görünüm elde edilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1), [29].



Şekil 4.1 Yangın direnimli kaplamalar ve şeffaflık oranları [29].

Yan vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, nano-silikanın yangın geciktirici özelliği deneylerle incelenmiş ve yangına maruz bırakılan bölgelerdeki nano-silika katkısının; kaplamaların şişerek oluşturduğu kömür tabakasını daha kompakt bir hale getirdiği, ısı ve duman salınımını etkili bir şekilde azaltarak, yangına karşı dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Çalışmada; nano-silika kaplamanın yangın sırasında; termal kararlılık, alev geciktiricilik ve duman baskılama gibi alanlarda gösterdiği performanslar çeşitli test ve analizlerle incelenerek sunulmuştur (Şekil 4.2), (Çizelge 4.1) [29].



Şekil 4.2 Isı kaynağına maruz bırakılan, kontrplak üzerine uygulanmış yangın direnimli kaplamalarda oluşan kömür kalıntıları [29].

Çizelge 4.1'de elde edilen veriler incelendiğinde, şeffaf kaplamaların yangın sırasında malzemenin yapısında meydana gelen kömür indeksini ve ağırlık kaybını önemli ölçüde düşürdüğü görülmektedir. Özellikle, uygulanan kaplamalar arasından MSPE 3'ün, sahip olduğu yüksek orandaki kabarma faktörü (56.7) ile, en iyi yangın direnim performansını gösterdiği gözlemlenmektedir. Elde edilen bu veriler, Nano-silikanın kaplama malzemelerinin yangın direnim performanslarına olumlu yönde etki ettiğini göstermektedir.

Nano-SiO_2 aynı zamanda, çelik yapılarda korozyona karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Özellikle, deniz tuzuna maruz kalan yapılarda, yangın korunumu için çelik yüzeylere uygulanan, intumesan özellikteki konvansiyonel amonyum polifosfat-pentaeritritol-melamin (APP-PER-MEL) kaplamalarda korozyon nedeniyle deformasyon meydana gelmektedir. Wang vd. tarafından yapılan bir çalışmada, tuz püskürtme testine maruz bırakılan, Nano-SiO_2 katkılı, APP-PER-MEL akrilik kaplamanın yangın sırasında gösterdiği termal ayrışma, termal izolasyon ve yangın direnimi araştırılmıştır. Çalışmada kaplamalar, diferansiyel termal analizler, taramalı elektron mikroskobu (SEM), termal iletkenlik, X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve yangından korunma testleri kapsamında değerlendirilmiş ve Nano-SiO_2 katkılı APP-PER-MEL kaplamaların, 500 s tuz püskürtme testinde bile korozyon ve yangın karşında etkili bir koruma sağladığı gözlemlenmiştir [30].

Mizutani vd. tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, nano-silika içerikli nano-kompozit emülsiyonlu duvar boyalarının diğer uçucu organik bileşikli boyalara kıyasla çevre dostu ve yüksek performanslı olduğu gözlemlenmiştir. Poliakrilat ve nano-silika içeren kaplamaların, yangın direnimi özelliğinin yanı sıra, kir tutmama özelliğine de sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [31].

Aerosil ve Yangın Direnim Özellikleri: Pirojenik silisik asit nano-partikülleri (nano-silika) cam paneller arasındaki 3 mm kalınlığındaki dolguda katkı malzemesi olarak kullanıldığında, 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklıkta, alevlere maruz bırakıldığında 120 dk. yangın direnimine sahip olmaktadır. İstenilen yangın direnim süresine göre üretilebilen sandviç cam panel sistemleri arasındaki dolguda kullanılan nano-silika dolgu partiküllerinin boyutu veya kullanılan cam panellerin sayısı değiştirilebilmektedir. Standart ürünlerde gram başına başına 90-380 m^2 alana sahip paneller üretilebilmektedir. Şeffaf bir görünüme sahip olmaları nedeniyle, dış cephelerde kullanıma elverişli olan nano-silika dolgulu cam paneller arasındaki dolgu,

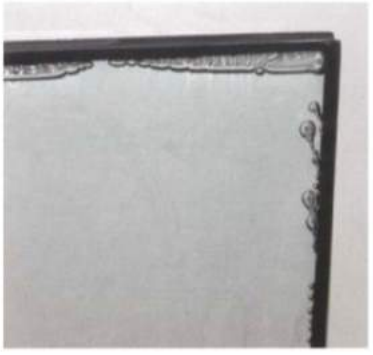
Çizelge 4.1 Yangın korunumu testi verileri [29].

Numune	Kaplamasız	MSPE0	MSPE1	MSPE2	MSPE3	MSPE4	MSPE5
Ağırlık kaybı (g)	15.5 ± 0.6	4.1 ± 0.4	3.2 ± 0.3	2.9 ± 0.3	2.7 ± 0.2	3.0 ± 0.2	3.8 ± 0.3
Kömür indeksi (cm^3)	33.6 ± 0.8	11.4 ± 0.6	8.4 ± 0.5	6.7 ± 0.4	5.6 ± 0.4	7.2 ± 0.3	9.7 ± 0.5
Intumesan (kabarma) faktörü	0	23.8 ± 3	38.5 ± 4	48.8 ± 4	56.7 ± 5	45.4 ± 5	35.4 ± 4
Silika (%)	0	0	0.45	0.91	1.36	2.27	1.36

Çizelge 4.2 Yangın korunumu testi verileri [30].

Numune	Kömür Tabakası Kalınlığı (mm)	Yangına Direnim Süresi (dk)
1 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	31.2	100
1 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	15.2	57
2 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	31.0	104
2 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	18.8	62
3 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	30.8	117
3 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	23.9	75
4 nolu kaplama: tuz püskürtme testi öncesi	30.9	131
4 nolu kaplama: tuz püskürtme testi sonrası	28.8	89

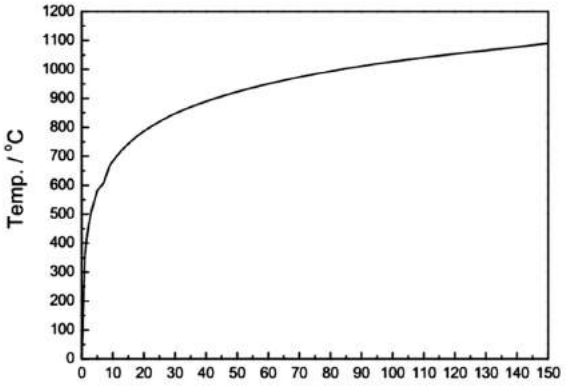
yangın sırasında köpürerek yangına karşı direnç göstermektedir. Aynı zamanda, çevre dostu bir ürün olarak tanımlanabilen aerosil, UV ışınlarından da etkilenmemektedir (Şekil 4.3) [17].



Şekil 4.3 Aerosil dolgulu cam panel örneği [17].

Nano-TiO_2 ve Yangın Direnim Özellikleri: Uygulandığı yüzeylere UV koruması, fotokatalitik tepkime gerçekleştirebilmesi nedeniyle, kendi kendini temizleme özelliği ve antimikrobiyal etki kazandırmanın yanı sıra, yangın direnim özelliği de Nano-TiO_2 nin yapıya kazandırdığı önemli avantajlardan biri olmaktadır. Ahşap malzemelerin yüzeyine uygulanan nano-kaplamalarda kullanılan Nano-TiO_2, malzeme yüzeyinde yangın geciktirici özellik gösterirken, aynı zamanda ahşabı biyolojik bozulmalara ve güneş kaynaklı UV ışınlarının yarattığı renk solması, lignin tahribatından dolayı malzemenin suya ve neme karşı direniminin azalması gibi zararlı etkilerinden de koruyarak malzemenin ömrünü uzatmaktadır [28].

Akrilik polimer kaplamalar ve Nano-TiO_2'nin yangın sırasındaki performanslarının incelendiği bir çalışmada, akrilik polimer malzemenin tek başına yangın direnim özelliğinin zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle yapısal çelikte kullanılan amonyum polifosfat-pentaeritritol-melamin (APP-PER-MEL) içerikli kaplamalar kolayca oksitlenerek çeliğin yapısından ayrılabilmektedir. Bu nedenle, APP-PER-MEL kaplama Nano-TiO_2 ile modifiye edilerek, yangın sırasında kaplamada meydana gelen kömür oluşumunun çeliğin yapısında oksidasyona neden olmasının önlemesi, yangın direniminin ve ısıl dayanımının arttırılması amaçlanmaktadır. Çalışmada %2 oranında Nano-TiO_2'nin akrilik kaplamanın yangın dayanımını ve ısıl stabilitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Nano-TiO_2 %1.6 oranında uygulandığında malzeme üzerinde nano ölçekte seramik benzeri bir davranış göstererek yüzeyi oksidayona karşı korumakta ve yangına dayanıklı hale getirmektedir. Nano-TiO_2 içerikli kaplamaların zamana bağlı yangın direnim özelliklerinin test edilmesi sırasında ISO 834 eğrisi kullanılmıştır. Isı kaynağına maruz bırakılan kaplama, uygulanan metal tabakalar arkasına üç ayrı termo çift yerleştirilerek metal plakanın arkasındaki sıcaklık ölçülmüştür. Ayrı ayrı ölçümlenen termo çiftlerin sıcaklığının ortalama 300 °C'ye ulaştığı zaman ise eğride yangına direnimli zaman olarak ifade edilmiştir (Çizelge 4.3), [32]. Buna ek olarak, Nano-TiO_2 geleneksel APP-PER-MEL kaplamaların malzemelerin yapısında neden olduğu hızlandırılmış yıpranma etkisi karşısında performans kaybını önleyerek, sağladığı UV korunumu özelliği sayesinde, yangın direnimli kaplamanın yıpranmasını önemli ölçüde önleyebilmektedir [33].



Çizelge 4.3 Yangın korunumu testi verileri [32].

Nano-LDH'ler ve Yangın Direnim Özellikleri: Çelik yapılarda yangın direnimi amacıyla kullanılan amonyum polifosfat-pentaeritritol- melamin (APP-PER-MEL) kaplamalara eklenen Nano-LDH (nano boyutlu çift hidroksitler) ve Nano-TiO_2 katkı maddelerinin yangın direnimi ve yıpranma karşıtı koruma sağladığı gözlemlenmiştir. Eklenen nano boyuttaki katkı maddelerinin yangın direnimi ve yıpranma-karşıtı özellikleri; taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ray kırınımı (XRD), diferansiyel termal analizler (DTA), termogravimetre (TG) ve yangın korunum testleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan DTA ve TG analizleri sonucunda, Nano-LDH'lerin 310-430 °C aralığındaki termal bozunma sıcaklığının, APP-PER-MEL kaplamaların 300-440 °C sıcaklık aralığında kömür tabakası oluşturmasına katkıda bulunduğu ortaya konulmuştur. (Çizelge 4.4) [33].

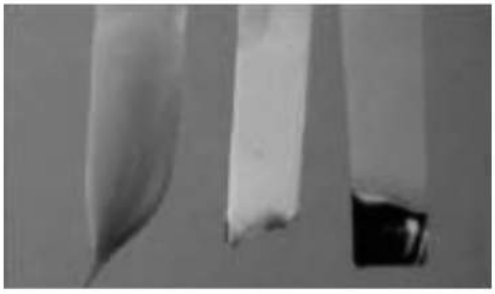
Çizelge 4.4 Yangın korunumu test verileri [33].

Numune	Kömür Tabakası Kalınlığı (mm)	Yangına Direnim Süresi (dk)	Malzemenin Arka Yüzey Sıcaklığı (°C)
Nano katkısız (yıpranma işlemi öncesi)	32.5	120	301
Nano katkısız kaplama (yıpratma işlemi sonrası)	9.7	49	384
Nano-LDH ve Nano-TiO_2 katkılı kaplama (yıpratma işlemi sonrası)	30.2	105	310

Nano-Kompozitler ve Yangın Direnim Özellikleri: Nano-kompozitler, kil ve sentetik silikatlardan oluşan, tane dolgulu içeriğinde dağılan taneciklerin en az bir boyutunun nano boyutta olduğu, polimer bazlı kompozitler olarak tanımlanmaktadır. Polimer nano-kompozitler, içeriğindeki dolgu malzemesinin yüksek

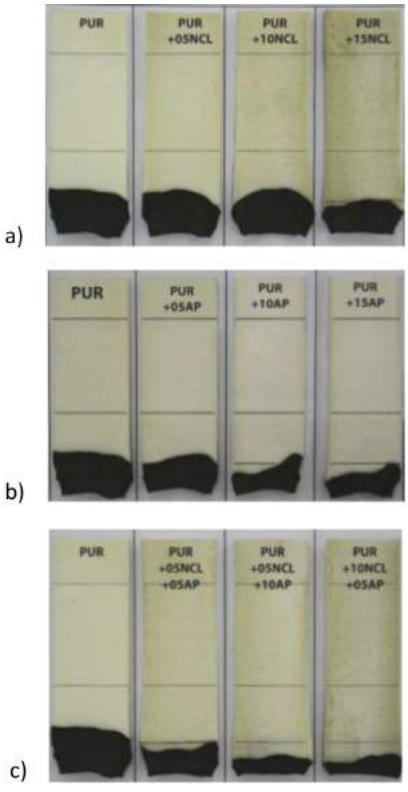
en boy oranı ve matris içerisinde nano ölçekte dağılması nedeniyle, mekanik, fiziksel, ısıl ve koruyucu özelliklere sahip olmaları açısından konvansiyonel saf polimere ve kompozitlere kıyasla önemli avantajlara sahip olmaktadır [32]. Polimerler, içeriklerindeki karbon (C) ve oksijen (O) nedeniyle oldukça yanıcı malzemeler olarak değerlendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada, polimer nano-kompozitlerin yangın direnim özellikleri incelenmiş ve nispeten düşük miktarda katkı maddesi olarak eklenen nano-kil (nano-clay) malzemesinin, polimer malzemenin (çalışmada etilen vinil asetat/ EVA incelenmiştir) yanması sırasında koruyucu bir tabaka yarattığı sonucuna ulaşılmıştır [34].

Alev geciktirici özelliğe sahip nano-kompozitler üretilirken, genellikle doğada bulunan veya doğadan sentezlenen katmanlı silikatlar kullanılmaktadır. Nano-kompozit içeren polimerlerin yangın direnim mekanizmaları temelde, yanma sırasında yüzeyde yüksek performanslı karbonlu silikat kömürü birikiminin bir sonucu olarak tanımlanmaktadır. Piroliz sırasında nano-kompozit yapının çökmesi soncunda oluşan karbonlu-silikat yapı, yüzeyde bir kömür tabakası oluşturarak, ısı kaynağının polimer yüzeyine ulaşmasını engellemekte ve yüzeyde gaz fazındaki yanma ürünlerinin difüzyonunu engelleyen termal bir bariyer görevi görerek yangın direnimini gerçekleştirmektedir (Şekil 4.4) [4].



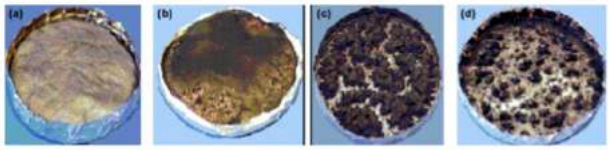
Şekil 4.4 Nano-kompozit içerikli filmlerin yanmasına ilişkin bir deney [34].

Nano-kil ilavesi kullanılarak gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise, rijit poliüretan (PUR) köpük malzemesinin yapısına yaklaşık %15 oranında nano-kil ve intumesan (kabaran) özellikteki amonyum polifosfat/pentaeritritol eklenerek malzemenin performans özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Çalışmada poliüretan malzemenin yanma direnimi, ısıl bozunması, hücre boyutu ve ısı iletim katsayısı incelenmiştir. Amaç doğrultusunda dolgu malzemesi ilave edilen poliüretan malzeme üzerinde ısı iletim katsayısı ölçümü, termogravimetrik analiz, UL 94 H deneyi ve hücre yapısı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, elde edilen veriler poliüretan malzemede yaklaşık %15 oranında kullanılan nano-kil ve amonyum polifosfat/pentaeritritol katkılarının, poliüretan malzemenin yanmaya ve ısıl bozunmaya karşı direncini arttırdığını göstermiştir. Öte yandan, malzemenin ısı iletim katsayısının arttığı da belirtilmiş ve bu durumun ilk elli günle sınırlı kalıp, bu sürenin sonunda ısı iletim katsayısında meydana gelen artışın büyük ölçüde azaldığı ifade edilmiştir (Şekil 4.5) [35].



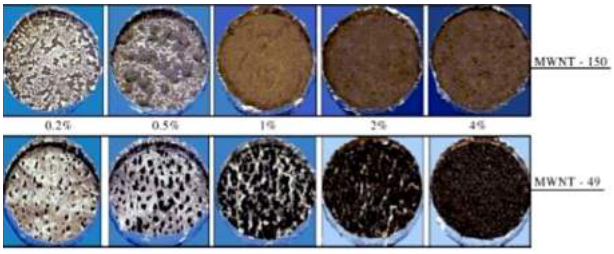
Şekil 4.5 a) Poliüretan (PUR) ve nano-kil (NCL) katkılı PUR malzemenin UL 94 testi altında incelenmesi, b) PUR ve amonyum polifosfat/pentaeritritol (AP) katkılı PUR malzemenin UL 94 testi altında incelenmesi, c) PUR ve NCL/AP katkılı PUR malzemenin UL 94 testi altında incelenmesi [35].

Bir diğer nano malzeme türü olan CNT'ler ise, tek tabakalı grafenin yuvarlanmasıyla oluşturulmakta ve polimerlerde yangın direnimi açısından en çok tercih edilen nano-lifli malzeme olarak görülmektedir. 1-2 nm boyutundaki tek duvarlı (SWCNT) ve 10-100 nm boyutunda çok duvarlı (MWCNT) olmak üzere iki türü bulunan CNT'lerin, malzeme içerisindeki dağılımları yangın sırasındaki performansları farklılık gösterebilmektedir. CNT ve nano-killer hibrit bir kompozit olarak birlikte kullanıldığında ise, çok daha yoğun ağ oluşturabilmekte ve yangın sırasında yüzeyde kömür tabakası oluşumunu desteklemektedirler (Şekil 4.6, Şekil 4.7) [36].



PMMA/ Düzgün dağılmış SWNT PMMA/ Zayıf dağılmış SWNT

Şekil 4.6 CNT'lerin PMMA/0.5 wt% SWNT üzerinde azot (N) kullanılarak yapılan gaazlaştırma deneyinde dağılım etkileri [36].



Şekil 4.7 Gazlaştırma deneyi sonucunda, MWNT tabanlı nano-kompozitlerelden PS/MWNT edilen kalıntılar [34].

Kompozitlerde katkı maddeleri olarak farklı nanometrik malzemelerin kullanımı, malzemelerin sahip olduğu farklı morfolojik özellikler sayesinde, yangın geciktirici özelliğe katkı sağlamaktadır. Yangın sırasında intumesan (kabarma) özelliği gösteren malzemeler ile nano-silikat yüzey arasında gerçekleşen tepkimelerin karbonik kömür tabakası oluşumuna neden olması, malzemenin yanıcılık özelliklerinin iyileştirilmesi üzerinde olumlu etkiye neden olmaktadır [36].

Literatürdeki çalışmalar yapıda kullanılan nano-malzemelerden: Nano-TiO_2, Nano-SiO_2, Nano-clay, karbon nanotüpler ve Nano-LDH' lerin yangın direnimi özelliğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmalarda, konvansiyonel yapı malzemelerine katkı maddesi olarak ilave edilen veya kaplama yoluyla uygulanan nano-malzemelerin yangın direnim özellikleri, yapıda yangın güvenliği ile ilgili standart ve yönetmeliklerde yer alan test metotları uygulanarak incelenmiştir. Öte yandan, dolgu/ alev geciktirici nano-malzemelerin, özellikle köpük malzemelerin, yangın direnim özelliklerine etkisi hakkında yeterli çalışma yapılmadığı, çalışmaların nano-malzemelerin yapıda kullanım oranları arttıkça ilerleme kaydettiği gözlemlenmiştir [35]. Buna ek olarak, yapıda kullanılan diğer nano-malzemelerin yangın direnim özellikleri ile ilgili olarak yeterli çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Nano-malzemelerin konvansiyonel malzemelere göre yeni bir malzeme türü olması nedeniyle ülkelerin standart ve yönetmeliklerinde yer verilmemesi, bu malzemelerin yeterince denetlenmeden piyasa sürülmesine, yapıda yangın risklerine yol açmasına veya yangın güvenlikli yapı tasarımına katkı sağlayacak farklı nano-malzemelerin sınırlandırılmasına ortam hazırlamaktadır.

5. SONUÇ

Yapıda yangın oluşumunun önlenmesi tamamen mümkün olmamakla birlikte, pasif yangın güvenlik önlemleri ile olası bir yangının yapıda oluşturabileceği riskler en aza indirilebilmektedir. Yapı tasarım sürecinde malzeme seçimi ise pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında büyük önem taşımaktadır. Yapı malzemelerinin olası bir yangın sırasında neden olabileceği riskler öngörülmeden seçilmesi, yapıda büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Yapıda yangın güvenliği konusunda hazırlanmış olan ulusal ve uluslararası standart ve yönetmelikler, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında, doğru malzeme seçiminde yol gösterici olmaktadır.

Konvansiyonel yapı malzemelerine uygulandıklarında enerji korunumu, sürdürülebilirlik, daha az bakım ve onarım gerektirme, yüksek dayanım ve yangın direnimi sağlama gibi üstün özellikler kazandırılmış malzemelerin üretimine olanak sağlaması nedeniyle, nano-malzemeler yapı sektöründe giderek önem kazanmaktadır. Ancak, nano-malzemeler yapıda çok çeşitli alanlarda kullanılabilmelerine karşın, yeni bir malzeme üretim teknolojisi olması nedeniyle, yapıda yangın güvenliği hakkındaki ulusal ve uluslararası standart ve yönetmeliklerde yeterince yer almamaktadır.

Çalışmada, yangın güvenlikli yapı tasarımı kapsamında, malzeme üretiminde nano-malzemelerin konvansiyonel yapı malzemelerinin yanıcılık özellikleri üzerindeki etkileri literatürdeki çalışmalar incelenerek araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, bazı nano-malzemelerin, konvansiyonel malzemelere kaplama veya dolgu/alev geciktirici olarak uygulanması halinde malzemelerin yanıcılık özelliklerine olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir. Özellikle son yıllarda, yüksek katlı yapılarda meydana gelen yangınlarda çok sayıda can ve mal kaybına neden olan yanıcı özellikteki plastik içerikli köpük yalıtım malzemelerinin de yanıcılık özelliklerinin iyileştirilmesinde nano-malzemelerin olumlu etki yapabileceği tespit edilmiştir. Ancak, nano-malzemelerin üretim aşamasında yüksek teknoloji gerektirmesi nedeniyle malzeme maliyetinin artması bu nano-malzemelerin önemli dezavantajlarından biri olarak görülmektedir. Buna ek olarak, nano-malzemeler hakkındaki test metodları ve standartlarının tam olarak bilinmemesi yapıda kullanımları açısından bir takım riskleri de beraberinde getirebilmektedir.

Yapıda kullanılacak olan nano-malzemelerin yangın sırasındaki performansları üretici firmalar tarafından belirlenerek, piyasaya sürüleceği ülkedeki mevcut standart ve yönetmelikler tarafından denetlenmekte ve malzemenin piyasaya sürülmesi için onay alınması sağlanmaktadır. Malzeme üretim teknolojilerinin hızla gelişmesi, malzemelerin hızlıca piyasaya sürülüp yapıda kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak, malzemelerin yangın sırasındaki performanslarının ve neden olabileceği risklerin bilinmesi ve bunlar göz önünde bulundurularak seçim yapılması yapıda pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında ürün seçimi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, nano malzemeler piyasaya sürülmeden önce standart ve yönetmeliklerde belirtilen yangın testleri kapsamında test edilmektedir. Ancak bu testlerden edilen sonuçların standart ve yönetmeliklerde yer alacak şekilde düzenlemesi ise uzun bir süreç gerektirmektedir. Nano-malzemelerin ulusal ve uluslararası yangın standartları ve yönetmelikleri kapsamında değerlendirilememesinin, uzun vadede malzemelerin risk denetiminin zorlaşmasına neden olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, nano-malzemelerin konvansiyonel malzemelerin yanıcılık özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmaların kapsamının genişletilerek, elde edilen bulguların ilgili standart ve yönetmeliklerde yer almasının, pasif yangın güvenlik önlemleri kapsamında malzeme seçiminde ve uygulanmasında tasarımcılara ve uygulayıcılara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] The Guardian, Grennfell Tower Fire, Https://Www.Theguardian.Com/Uk-News/2017/Jun/16/Manufacturer-Of-Cladding-On-Grenfell-Tower-İdentified-As-Omnis-Exteriors, 10 Temmuz 2019.

[2] Sputnik, Rusya' daki Avm Yangını Hakkında Bilinenler, Https://Sptnkne.Ws/Hdx5, 10 Temmuz 2019.

[3] Korkmaz, E., Mimarlık Eğİtiminde Yangın Güvenlikli Tasarımın Yeri, Megaron, 11, 2, 217-229, 2016.

[4] Kars, F., Yapılarda Yangın Riskini Sınırlandırmaya Yönelik Önlemler ve Duman Kontrolünün Sağlanması, Iv. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 1999.

[5] Başdemir H. ve Demirel, F., Binalarda Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması, Politeknik Dergisi, 13, 2, 101-109, 2010.

[6] Todd, Colin S., ''Comprehensive Guide To Fire Safety'', Bsi Standarts Ltd., 2008.

[7] Salti, S., Giydirme Cephelerde Yangın Webinarı, Hilti, 2017

[8] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, İtfaiye Gönüllüleri Eğitim Kitabı, 10 Eylül 2019, Http://İtfaiye.İbb.Gov.Tr/İmg/11423617112015__5221521258.Pdf.

[9] Yavuz, G., Yangın Korunumu ve Kimyasına İlişkin Özet Bilgiler,Yangın ve Güvenlik, 31, 87-91, 1997.

[10] Reman, O., Yangın ve Yapı Malzemelerinde Etkisi, Yalıtım Dergisi, 5, 1997.

[11] Tarihi Yapılarda Malzeme Seçimi Ders Notları, Ytu, İstanbul, 2018.

[12] Harper, A., C, ''Handbook Of Building Materials For Fire Protection'', Mcgraw-Hill, 2004

[13] Türkiye Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007

[14] Addington, M., ve Schodek, D.,''Smart Materials And New Technologies'', Elsevier, 2005

[15] Feynman, R., Konuşması Http://Calteches.Library.Caltech.Edu/1976/1/1960bottom.Pdf

[16] Tanuguchi, N., On The Basic Concept Of Nanotechnology, Proceedings Of The International Conference On Production Engineering, Tokyo, 1974

[17] Leydecker, S., ''Nano Materials İn Architecture İn Interior Architecture And Design'', BirkhäUser, 2008

[18] Demirdöven, B., J. ve Arditi, D., ''Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları'', 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 2012.

[19] Gökuç, T., Y. ve Turun, S., Use Of Nanotechnological Building Materials In The Turkish Construction Industry, Journal Of Sustainable Construction Materials And Technologies, 4, 1, 296-305, 2019

[20] Jones, W. Vd., ''Nanomaterials İn Construction - What İs Being Used, And Where?'',. Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers: Construction Materials, Ice Publishing, 172 (2), Pp.49-62. 2016.

[21] Lee, J., Mahendra, S. ve Alvarez, J., J., P., Nanomaterials İn The Construction Industry: A Review Of Their Applications And Environmental Health And Safety Considerations, Acs Nano, 4, 7, 3580-3590, 2010

[22] Epa Science Policy Counsil, ''Nanotechnology White Paper'', United States Environmental Protection Agency, 2007

[23] Gür, M., Uludağ Üniversitesi, Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15, 2, 81-90, 2010.

[24] Vural, N., Yilmaz, S., Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü, 2 Nd. International Sustainable Buildings Symposium, 2015.

[25] Orhon, V., A., Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım, Ege Mimarlık, Mimarlar Odası İzmir Şubesi Yayınları, 18-21, 2012.

[26] Kothari, Y., Dewalkar, S., Application Of Nanotechnolgy İn Smart Civil Structures, International Journal Of Technical Research And Applications, 4, 3, 13-17, 2016.

[27] Boostani, H., Modirrousta, S., Review Of Nanocoatings For Building Application, Procedia Engineering, 145:1541-1548, 2016.

[28] Akhtar, A., Feng, M., Vd., Improving The Fire Performances Of Wood Products, Fp Innovations, 2009

[29] Yan L., Zhisheng, X., Xinghua, W., ''Influence Of Nano-Silica On The Flame Retardancy And Smoke Suppression Properties Of Transparent Intumescent Fire-Retardant Coatings'', Progress İn Organic Coatings, Cross Marc, 2017

[30] Wang, Z., Han, E., ve Ke W., Fire And Corrosion Resistances Of Intumescent Nano-Coating Containing Nano-Sio2 İn Salt Sprey Condition, J. Mater. Sci. Technol., Vol. 26, No.1, 2010

[31] Mizutani, T., Arai, K., Vd., Application Of Silica-Containing Nano-Composite Emulsion To Wall Paint: A New Environmentally Safe Paint Of High Performance, Progress İn Organic Coatings, 55, 276-283, 2006

[32] Wang, Z., Han, E., Vd., Thermal Behavior Of Nano-Tio2 İn Fire-Resistant Coating, J. Mater. Sci. Technol., Vol.23, No.4, 2007

[33] Wang, Z., Han, E., Ke, W., Effect Of Nanoparticles On The Improvement İn Fire-Resistant And Anti-Ageing Properties Of Flame-Retardant Coating, Surface & Coatings Technology, 2006

[34] Açikalin, E., Polimer Kil Nanokompozitleri, Nanoteknoloji ve Nano Malzeme Süreçleri, Polimer Kil Nanokompozitleri, 2010.

[35] Aydoğan, B., Usta N., Nanokil ve Kabaran Alev Geciktirici İlavesinin Rijit Poliüretan Köpük Malzemelerin Isıl Bozunma ve Yanma Davranışlarına Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 30,1, 9-18, 2015.

[36] Laoutid, F., Bonnaud L., Vd. New Prospects İn Flame Retardent Poylmer Materials: From Fundamentals To Nanocomposites, Materials Science And Engineering R, 63, 100-125, 2009