

EV YANGINLARINDA

TEKSTİL MALZEMELERİNİN ROLÜ VE GÜVENLİK YAKLAŞIMLARI

DR. BİLGE BERKHAN KASTACI

 SERÜVEN
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8559-09-5

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

EV YANGINLARINDA

TEKSTİL MALZEMELERİNİN ROLÜ

VE

GÜVENLİK YAKLAŞIMLARI

DR. BİLGE BERKHAN KASTACI¹

¹ Öğr. Gör. Dr. Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu
Tekstil Teknolojisi Programı, Çerkezköy, Tekirdağ, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6897-0554> bberkhan@nku.edu.tr

ÖNSÖZ

Yangın, insan yaşamının en eski ve en yıkıcı tehlikelerinden biri olmayı sürdürmektedir. Modern konutlarda kullanılan malzemelerin çeşitlenmesi, sentetik liflerin yaygınlaşması ve yaşam alanlarının yoğun eşya yüküyle dolması, yangın riskini yalnızca artırmakla kalmamakta; yangının gelişim hızını ve toksik etkilerini de geçmişe kıyasla çok daha karmaşık bir hale getirmektedir. Ev tekstilleri ise bu sürecin merkezinde yer alan; konfor, estetik ve kullanım kolaylığı sağlamalarının yanında, doğru seçilmediğinde yangın büyümesini hızlandırabilen kritik malzemelerdir.

Bu kitapta bir araya getirilen üç çalışma, ev tekstili ürünlerinin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesine, lif tabanlı yanıcılık özelliklerinin karşılaştırılmasına ve alev yayılım mekanizmalarının malzeme-yapı ilişkisi çerçevesinde açıklanmasına odaklanmaktadır. Ele alınan konular, günlük yaşamda sıklıkla fark edilmeyen ancak yangın güvenliği açısından belirleyici olan parametreleri bilimsel bir temelde incelemekte; kumaş yapısı, lif kimyası, yanma davranışı, toksik gaz oluşumu ve uluslararası standartlar gibi çok disiplinli alanları bir araya getirmektedir.

Bu çalışmaların ortak amacı, tekstil materyallerinin yanma sürecindeki rolünü bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmek ve ev içinde kullanılan tekstil ürünlerinin seçiminde bilimsel farkındalık oluşturmaktır. Çünkü yangın güvenliği yalnızca yapı malzemelerinin veya elektrik tesisatının konusu değildir; perde, döşemelik kumaş, halı, yatak, minder ve daha birçok ev tekstili ürünü, yangının ilk saniyelerindeki davranışını belirleyen temel unsurlardır.

Bir tekstil mühendisi ve akademisyeni olarak bu kitap, yürüttüğüm araştırmaların yöntemsel bütünlüğe kavuşmuş hâlidir. Literatür taramaları, deneysel bulgular, uluslararası standart karşılaştırmaları ve malzeme biliminin ışığında hazırlanan bu bölümler hem akademik çevrelere hem de sektörde çalışan profesyonellere yol gösterici bir kaynak olmayı amaçlamaktadır. Özellikle Türkiye’de ev tekstili ürünlerine yönelik

yanıcılık standartlarının henüz tam anlamıyla zorunlu hâle getirilmediği göz önüne alındığında, malzeme seçimi ve risk farkındalığının artırılması daha da büyük önem taşımaktadır.

Kitapta yer alan her bölüm, konut yangınlarında insan hayatını korumaya yönelik daha bilinçli, daha güvenli ve daha sürdürülebilir tekstil çözümlerine katkı sunmayı hedeflemektedir. Yangınla mücadelede en güçlü araçlarımız bilgimiz, farkındalığımız ve doğru malzeme tercihimizdir. Bu kitabın, söz konusu farkındalığa küçük de olsa bir katkı sağlayacağına inanıyorum.

Bu kitabın hazırlanma sürecinde destek veren tüm çalışma arkadaşlarıma, araştırmalarım boyunca ilham kaynağı olan öğrencilerime ve bilimsel üretim yolculuğunda beni motive eden sevgili aileme teşekkür ederim.

Dr. Bilge Berkhan Kastacı
Namık Kemal Üniversitesi
Çerkezköy Meslek Yüksekokulu
Tekstil Teknolojisi Programı

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	V
-------------	---

1.BÖLÜM

EV YANGINLARINDA TEKSTİL KAYNAKLI RİSKLERİN LİF TEMELLİ DEĞERLENDİRİLMESİ: YANICILIK, ALEV YAYILIMI VE TOKSİK GAZ PROFİLLERİ.....	1
---	---

2.BÖLÜM

EV YANGINLARINDA TEKSTİL YÜZEYLERİNDE ALEV YAYILIM MEKANİZMASI: MALZEME VE YAPISAL PARAMETRELERİN ETKİSİ.....	13
---	----

3.BÖLÜM

TÜRKİYE VE DÜNYADA EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME	31
--	----

KAYNAKÇA	44
----------------	----



**EV YANGINLARINDA TEKSTİL KAYNAKLI
RİSKLERİN LİF TEMELLİ DEĞERLENDİRİLMESİ:
YANICILIK, ALEV YAYILIMI VE TOKSİK GAZ
PROFİLLERİ**

1. GİRİŞ

Konut yangınları, tüm dünyada hem can güvenliği hem de mal ve çevre kayıpları açısından ciddi sonuçlar doğuran felaketler arasında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve çeşitli yangın güvenliği kuruluşlarının verilerine göre, her yıl milyonlarca insan ev yangınları nedeniyle zarar görmekte, binlercesi hayatını kaybetmektedir. Bu tür yangınlarda, yangının başladığı andan itibaren büyüme hızı ve müdahale zaman penceresi, ortamda bulunan yanıcı malzemelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu bağlamda, ev içi dekorasyon ve konfor amaçlı kullanılan tekstil ürünleri –özellikle geniş yüzey kaplayan perde, halı, döşemelik kumaş ve mobilya süngerleri– yangının hızla yayılmasında ve ölümcül hale gelmesinde başlıca faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Ev tekstil ürünlerinin lif tipi, yüzey alanı, dokuma/örme yapısı ve kimyasal işlemlerle kazandığı özellikler, bu malzemelerin yanıcılığını doğrudan belirlemektedir. Örneğin pamuk gibi doğal lifler alevle temas ettiğinde hızla tutuşurken, polyester gibi sentetik lifler alevden uzaklaştırılsa bile eriyerek yangının başka bölgelere sıçramasına neden olabilir. Bunun yanı sıra poliüretan (PU) sünger gibi yüksek hacimli dolgu malzemeleri, sadece alev yayılımını hızlandırmakla kalmayıp, yanma sırasında karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN), akrolein, NO_x ve PM (partikül madde) gibi insan sağlığı açısından son derece toksik bileşikler açığa çıkarabilmektedir. Bu maddeler, doğrudan ölüme yol açabilecek konsantrasyonlara çok kısa sürede ulaşabilmektedir.

Özellikle “flashover” olarak tanımlanan ve odadaki tüm yanabilir yüzeylerin aynı anda alev aldığı kritik evre, kullanılan tekstil malzemelerinin türüne göre birkaç dakika gibi kısa bir sürede gerçekleşebilir. Dolayısıyla, ev yangınlarının ölümcül hale gelmesini önlemek açısından kullanılan tekstil ürünlerinin hammadde kompozisyonu, alev geciktirici (FR) uygulamalarla işlem görüp görmediği, yanma hızı, ısı yayımı (HRR) ve toksik gaz salınım potansiyeli gibi unsurların çok yönlü olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu derleme çalışmasının amacı, ev tekstil ürünlerinin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesinde temel alınan fiziksel, kimyasal ve toksikolojik faktörleri kapsamlı şekilde irdelemek; lif bazlı yanıcılık özelliklerini, alev yayılma davranışlarını, toksik gaz oluşumlarını ve uluslararası güvenlik standartlarını karşılaştırmalı olarak incelemektir. Aynı zamanda literatürdeki bilgi boşluklarını belirleyerek, sürdürülebilir ve toksik olmayan alev geciktirici yaklaşımlara dair geleceğe yönelik önerilerde bulunmak da bu çalışmanın hedefleri arasındadır.

2. EV YANGINLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Ev yangınları, tüm dünyada hem bireysel güvenliği hem de kamusal kaynakları tehdit eden önemli bir afet türüdür. Ulusal Yangından Korunma Birliği (NFPA) verilerine göre yalnızca ABD’de 2022 yılında 353.500 konut yangını raporlanmış, bu yangınlar sonucunda 2.840 kişi hayatını kaybetmiş, 11.400 kişi yaralanmış ve yaklaşık 8,8 milyar dolarlık maddi hasar meydana gelmiştir (NFPA, 2023). Avrupa ülkelerinde de benzer bir tablo söz konusudur; Almanya’da her yıl 180.000 civarında ev yangını meydana gelmekte, bu yangınların büyük çoğunluğu açık alev, elektrik arızaları veya sigara kaynaklı olarak başlamaktadır ([European Fire Safety Alliance, 2022](#)).

Ev yangınlarının dinamikleri, genellikle dört temel evreye ayrılmaktadır: başlangıç, büyüme, flashover ve tam gelişmiş yangın. Başlangıç evresinde lokal bir tutuşma söz konusu iken, büyüme aşamasında yangın çevre yüzeylere yayılmaya başlar. Bu süreci takip eden kritik nokta, flashover evresidir. Flashover, odadaki sıcaklığın yaklaşık 500–600 °C’ye ulaşmasıyla birlikte tüm yanıcı yüzeylerin neredeyse aynı anda alev alması durumudur. Bu aşama yangının kontrolden çıktığı noktayı temsil eder ve tahliye şansı ciddi şekilde azalır (Karlsson & Quintiere, 2000).

Flashover süresi, yangın ortamındaki oksijen konsantrasyonu, havalandırma durumu, yüzey kaplaması ve özellikle ortamda bulunan tekstil malzemelerinin türüne göre değişiklik göstermektedir. Geleneksel malzemelerle döşenmiş bir odada flashover süresi yaklaşık 20 dakika iken, sentetik içeriği yüksek modern konutlarda bu süre 3 ila 5 dakika arasında gerçekleşebilmektedir (UL Firefighter Safety Research Institute, 2022).

Ev yangınlarının hızlı yayılım göstermesinde, kullanılan ev tekstil ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük rol oynamaktadır. Perdeler, döşemelik kumaşlar, halılar ve yatak dolguları gibi geniş yüzey kaplayan malzemeler, düşük tutuşma sıcaklıkları ve yüksek ısı salım hızları (HRR) nedeniyle yangının büyüme hızını dramatik biçimde artırabilmektedir. Ayrıca bu ürünlerin yanması sırasında karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN) ve çeşitli aldehitler gibi toksik bileşiklerin oluşması, yangının yalnızca termal değil, aynı zamanda kimyasal tehlikeler de taşımasına neden olmaktadır (Gann & Averill, 2011).

Bu nedenle, ev yangınlarının gelişim sürecinin tam olarak anlaşılması, eviçi yangın güvenliği önlemlerinin belirlenmesi kadar, ev tekstil ürünlerinin seçiminde de kritik bir parametredir. Flashover süresinin uzatılması, toksik gaz salımının azaltılması ve alev yayılımının sınırlandırılması için tekstil ürünlerinin yanıcılık özelliklerinin daha iyi anlaşılması büyük önem arz etmektedir.

3. EV TEKSTİL ÜRÜNLERİNİN TÜRLERİNE GÖRE YANGINDAKİ ROLÜ

Ev tekstil ürünleri, ev içi yaşamın konforunu ve estetiğini sağlamanın ötesinde, yangın güvenliği açısından da ciddi risk unsurları barındırmaktadır. Kullanım amacı, konumlandığı yüzey (dikey/yatay), içerdiği lif türü ve dolgu malzemesi gibi parametrelere göre, her bir ürün tipi yangının gelişim evresinde farklı roller üstlenir (Aly, 2023; Dabedan, 2025).

Perdeler (fon perdeler, tül perdeler, stor sistemleri) genellikle pencere önlerinde konumlanan, yüksek ve dikey yüzeyli tekstil ürünleridir. Polyester, pamuk, viskon gibi liflerden üretilirler. Hafif olmaları, sıcak hava sirkülasyonuna açık konumda bulunmaları ve genellikle FR işlem görmemiş olmaları nedeniyle yangın başladığında ilk alev alan yüzeylerden biri olabilirler. Özellikle stor perdelerdeki PVC kaplamalar, alevle temas ettiğinde yoğun HCl ve siyah duman üretir (Eurofins, 2023). Halılar ve kilimler, zemin kaplaması olarak kullanılan ürünlerdir. Lif yapıları genellikle polipropilen (PP), polyester, naylon veya yündür. Halılar, genellikle yüzeyde biriken yanıcı tozlarla birleşerek tutuşma riskini artırır. Ayrıca PP ve polyester halılar, eriyerek yangının diğer yüzeylere sıçramasına neden olabilir (Buchanan, 2014). Döşemelik kumaşlar ve mobilya kaplamaları (koltuk, kanepeler, sandalye ve baza gibi) yangınlarda hem ilk tutuşma kaynağı hem de yangının gelişim aşamasındaki kritik yakıt bileşenleridir. Özellikle bu mobilyaların iç yapısında bulunan poliüretan süngerler, yüksek ısı salımı ve HCN, CO gibi toksik gazların salınımı ile yangının ölümcül hale gelmesine neden olabilir (Üstüntaş et al., 2021; Nazaré, 2012). Yatak ve uyku grubu ürünleri (yorgan, yastık, yatak pedleri, baza kumaşları) genellikle çok katmanlı yapılar içerir. Dış yüzeyde pamuk, mikrofiber, jakarlı polyester gibi kumaşlar kullanılırken; iç dolgu olarak polyester elyaf, silikonize elyaf, kaz tüyü veya sünger bulunur. Özellikle sigara kaynaklı yangınlarda yorganların yüzeyi tutuşurken iç dolgu yavaş yavaş kor hâlinde yanabilir ve müdahale edilmediğinde tüm yatağa yayılabilir (Gann & Averill, 2011; Morrissey et al., 2024). Banyo tekstilleri (havlular, banyo paspasları, bornozlar), nemli kullanıma uygun pamuk veya bambu liflerinden üretilir. Kurutma makinelerinde aşırı kurutulmuş havluların statik elektrik ile kendiliğinden tutuşabildiği literatürde raporlanmıştır. Ayrıca, bazı banyo paspasları PVC veya lateks tabanlıdır ve yanarken yoğun siyah duman oluşturabilirler (UL PSRI, 2022). Mutfak tekstilleri (fırın eldiveni, mutfak havlusu, masa örtüsü, önlük) doğrudan açık alev veya ısı kaynağına maruz kalabilen ürünlerdir. Pamuk esaslı bu ürünlerin çoğu FR işlem görmemiştir. Mutfak havlularının ocak etrafında asılı bırakılması, yangın başlangıcının en sık sebeplerinden biridir (Kumar & Barbhui, 2023). Yatak örtüleri, battaniyeler ve televizyon battaniyeleri, genellikle akrilik, polyester veya pamuk esaslıdır. Özellikle akrilik battaniyeler tutuştuğunda alevlenerek yanan ve tutuşma sonrası

söndürülmesi zor olan ürünler arasında yer alır (Malucelli, 2024). Masa örtüleri, koltuk şalları ve dekoratif örtüler gibi küçük ama tutuşmaya yatkın yüzey kaplamaları da dikkate değerdir. Bu ürünler masa lambalarına, mumlara veya soba yakınlarına yerleştirildiğinde yangının tetikleyici unsurları hâline gelebilirler (Dabedan, 2025). Duvar panelleri ve kumaş kaplı ses yalıtım malzemeleri, bazı iç dekorasyon stillerinde kullanılır. Bunlar genellikle polyester esaslı keçe veya kumaş kaplamalardır ve eğer FR işlem uygulanmamışsa, yangının dikey yayılımına büyük katkı sağlarlar (Aly, 2023). Çocuk odası tekstilleri (beşik örtüleri, emzik askıları, oyun halıları), konfor ve estetik ön planda tutularak seçilse de çoğunlukla FR işlemli değildir. Bebeklerin bulunduğu ortamlarda bu ürünlerin yanıcılığı, doğrudan hayati risk oluşturur (Kumar & Barbhai, 2023).

Tüm bu ürünlerin hem bireysel hem de toplam “yangın yükü” açısından değerlendirilmesi gerekir. Ev tekstillerinin lif yapısı, dolgu durumu, kalınlığı ve alev geciktirici katkı içerip içermemesi gibi parametreler yangının hem büyüme hızını hem de toksik gaz üretim potansiyelini belirler (Nazaré, 2012).

4. TEKSTİL LİFLERİNİN YANICILIK ÖZELLİKLERİ

Ev tekstil ürünlerinin yangın anındaki performansını belirleyen en kritik parametrelerden biri, bu ürünlerde kullanılan liflerin yanıcılık özellikleridir. Lifin kimyasal yapısı, fiziksel yoğunluğu, termal kararlılığı ve moleküler bağ türü, yalnızca tutuşma eğilimini değil; aynı zamanda alev yayılım hızını, duman oluşumunu ve yanma sırasında ortaya çıkan gazların toksisite düzeyini de doğrudan etkiler (Aly, 2023; Khandual et al., 2015). Bu nedenle lifin türü, ev yangınlarının gelişim süreci ve yangın güvenliği açısından çok katmanlı bir etkiye sahiptir.

Bu çerçevede ilk olarak değerlendirilmesi gereken parametrelerden biri, tutuşma sıcaklığıdır. Tutuşma sıcaklığı, bir maddenin dış bir ateş kaynağına ihtiyaç duymadan yalnızca ısı etkisiyle alev alabileceği minimum sıcaklık değeridir. Tekstil liflerinde bu sıcaklık genellikle 250–600 °C arasında değişmekte olup, düşük tutuşma sıcaklığına sahip lifler yangın başlatıcısı olarak daha kritik konumdadır. Örneğin pamuk lifleri yaklaşık 255 °C’de tutuşurken, yün lifleri 570 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda alev alabilmektedir (Gann & Averill, 2011).

Tutuşma eğilimini değerlendirmede kullanılan bir diğer önemli kriter ise Limit Oksijen İndeksi (LOI)’dir. LOI, bir lifin yanabilmesi için çevresindeki ortamda bulunması gereken minimum oksijen oranını (hacimsel %) ifade eder. Dünya atmosferinde ortalama oksijen oranı %21 olduğuna göre, LOI değeri 21’in altında olan lifler “kolay tutuşur”, 21–25 arası olanlar “orta düzeyde tutuşur” ve 25’in üzerindeki değerler ise “güç tutuşur” olarak sınıflandırılır (Khandual et al., 2015). Bu bağlamda pamuk

(~17 LOI) çok kolay tutuşan bir lifken, yün (~27 LOI) doğal olarak güç tutuşur sınıfına girer.

Güç tutuşurluk kavramı, bir lifin yangına maruz kaldığında alev alma sürecini geciktirmesi, kendiliğinden sönme eğilimi göstermesi veya yanma sonrası karbonlaşma oluşturarak alev yayılımını durdurması şeklinde tanımlanabilir. Bu özellik, ya lifin doğasında bulunan azot veya kükürt gibi alev geciktirici elementlerden kaynaklanır (örneğin yün, ipek), ya da tekstil yüzeyine sonradan uygulanan alev geciktirici (FR) kimyasal işlemler ile sağlanır (Malucelli, 2024). Ev tekstilinde özellikle polyester ve polipropilen gibi sentetik lifler FR işlem görmedikleri sürece kolay tutuşur ve yanma sırasında yüksek miktarda zehirli gaz salabilirler.

Tüm bu bilgiler ışığında, ev tekstillerinde kullanılan liflerin tutuşma sıcaklıkları, LOI değerleri, toksik gaz üretim potansiyelleri ve yanma davranışları arasındaki karşılaştırmalı analiz hem ürün güvenliği standartlarının belirlenmesi hem de yangın öncesi risk senaryolarının modellenmesi açısından temel bir değerlendirme alanı sunmaktadır.

Tablo 1’de, ev tekstil ürünlerinde yaygın olarak kullanılan doğal ve sentetik lif türleri; tanımlanan bu kriterler ışığında sistematik olarak karşılaştırılmıştır. Liflerin hangi sıcaklıkta tutuştuğu, ortamdaki minimum oksijen ihtiyacı (LOI), yanma şekli, oluşan gazlar ve kokusal emareleri gibi parametreler; bir lifin yangın anındaki potansiyel davranışını öngörmek adına son derece önemlidir. Tablo, yalnızca teknik değerleri değil; bu değerlerin yangın güvenliğine etkilerini nitel olarak da yorumlayabilmeyi kolaylaştırmak amacıyla yapılandırılmıştır.

Tablo 1: *Ev Tekstillerinde kullanılan farklı lif türlerinin yanıcılık özellikleri, yanma davranışı ve toksik gaz profilleri*

Lif Türü	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	LOI Değeri	Yanma Şekli	Çıkardığı Gazlar	Koku / Gözlem
Pamuk	255–260	17–18	Hızlı tutuşur, yanarak kül olur	CO, CO ₂ (az miktarda)	Yanık kâğıt kokusu
Keten	~260	18–19	Alevli yanar, karbonlaşma	CO, az miktarda CO ₂	Sert yanan ot kokusu
Yün	560–600	25–28	Zor tutuşur, kendiliğinden söner	NH ₃ , SO ₂	Yanık saç kokusu
İpek	330–370	~22–25	Yavaş yanar, az duman	NH ₃ , CO ₂	Protein yanığı kokusu
Polyester	480–500	20–22	Önce erir, sonra yanar	CO, benzen, stiren	Tatlımsı sentetik koku
Polipropilen	330–360	17–18	Erir, siyah dumanla yanar	CO, aldehitler	Plastikleştirilmiş koku
Akrilik	455–470	18–20	Alevli yanar, damlama yapar	HCN, CO	Keskin kimyasal koku
Naylon (PA)	485–500	~20–22	Erir, zor tutuşur	NH ₃ , CO ₂	Hafif balık kokusu
Viskon	260–280	18–19	Pamuk gibi yanar	CO, CO ₂	Selüloz yanığı kokusu

Tablo 1, ev tekstillerinde yaygın olarak kullanılan doğal ve sentetik lif türlerinin tutuşma sıcaklığı, LOI değeri, yanma şekli, çıkardığı gazlar ve kokusal gözlemler gibi temel yanıcılık özelliklerini bir arada sunmaktadır. Bu verilere göre, yün lifi, hem yüksek tutuşma sıcaklığı (560–600 °C) hem de yüksek LOI değeri (25–28) ile doğal olarak güç tutuşan bir lif olarak öne çıkmaktadır. Yün, alevle temas ettiğinde bile genellikle kendiliğinden sönebilme ve karbonlaşarak alev yayılımını sınırlandırmaktadır. Bu özellik, onu herhangi bir alev geciktirici işlem uygulanmaksızın dahi yangın güvenliği açısından avantajlı kılmaktadır. Buna karşın, pamuk ve polipropilen gibi lifler düşük LOI değerleri ve düşük tutuşma sıcaklıkları nedeniyle kolay tutuşan ve yangının yayılmasına katkı sağlayan materyaller arasında yer almaktadır. Sentetik liflerin birçoğu ise yanmadan önce eriyerek alevin farklı yüzeylere taşınmasına neden olabilirken, aynı zamanda HCN, benzen, akrolein gibi toksik gazlar da üretebilmektedir. Bu bağlamda, ev tekstil ürünlerinin tasarımında yalnızca estetik ve performans değil, aynı zamanda lif bazlı yanıcılık özelliklerinin dikkatle değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

5. TEKSTİL TABANLI MALZEMELERDE ALEV YAYILIMI VE ISI DAVRANIŞI

Ev yangınlarında tekstil ürünlerinin yalnızca ilk tutuşma noktasında değil, aynı zamanda yangının gelişim sürecindeki rolü de son derece kritiktir. Tekstil yüzeylerinin fiziksel yapısı, lif kompozisyonu, dolgu malzemesi ve konumlandığı yüzey tipi; yangının alev yayılımı ve ısı salımı üzerindeki etkisini doğrudan belirler. Bu bağlamda özellikle flashover süresi ve ısı salım hızı (HRR – Heat Release Rate) gibi parametreler, yangının şiddetini ve yayılım potansiyelini belirlemede temel göstergeler olarak öne çıkar (Gann & Averill, 2011; FSRI, 2020).

Flashover, yangının bir hacim içinde ani ve kontrolsüz şekilde yayılmasıdır ve ölümle sonuçlanan yangınların çoğu bu aşamadan sonra gerçekleşir. Flashover süresi, kullanılan malzemelerin yanıcılığına bağlı olarak ciddi farklılıklar gösterebilir. Sentetik malzemelerden üretilmiş ev tekstil ürünleri, genellikle daha yüksek HRR değerlerine sahiptir ve bu nedenle flashover'a ulaşma süresi doğal malzemelere kıyasla çok daha kısadır. Nitekim yapılan deneysel çalışmalarda, tamamen sentetik malzemelerle döşenmiş bir yaşam alanında flashover süresi yaklaşık 4–5 dakika olarak ölçülürken; doğal liflerin (yün, pamuk) hâkim olduğu ortamlarda bu sürenin 20 dakikaya kadar uzadığı bildirilmektedir (FSRI, 2020; NIST TN 2129).

Isı Salım Hızı (HRR), bir malzemenin yanma sırasında çevreye ne kadar enerji yaydığını gösterir ve yangının ilerleyişinde belirleyici rol oynar. HRR'si yüksek olan tekstiller yangını yalnızca hızlandırmakla

kalmaz, aynı zamanda ortam sıcaklığını kısa sürede kritik eşiklere taşır. Özellikle poliüretan sünger, polyester ve polipropilen gibi sentetik liflerden üretilmiş dolgulu ürünler, çok yüksek HRR değerleriyle tanımlanmakta ve bu özellikleri nedeniyle alev yayılımında hızlandırıcı işlev görmektedir (Malucelli, 2024; Nazaré, 2012). Buna karşın, doğal lifler — özellikle yün — hem düşük HRR değeri hem de yüksek tutuşma sıcaklığı sayesinde yangının ilerleyişini yavaşlatma potansiyeline sahiptir. Morrisset et al. (2024) tarafından yapılan tam ölçekli bir çalışmada, pamuklu döşeme kullanılan ortamda flashover süresi ortalama **220 saniye** iken, yün kaplı sistemde bu sürenin 350 saniyeye çıktığı rapor edilmiştir.

Tekstil ürünlerinin yangına verdiği tepki yalnızca lif türüyle sınırlı değildir; malzeme kalınlığı, dolgu tipi, yüzey yönelimi (dikey/yatay) ve hatta ürünün içindeki hava sirkülasyonu gibi fiziksel parametreler de sürece etki eder. Örneğin ince ve dikey yüzeylerde yer alan perdeler, sıcak gaz katmanları ile ilk temasa giren yüzeylerdir ve bu nedenle alev yayılımı bu yüzeylerde oldukça hızlı gerçekleşebilir. Benzer şekilde halılar ve yataklar, hacimsel olarak yüksek yanıcı madde içerdiklerinden yangın yükünün önemli bir bölümünü oluşturur ve ani ısı salımına neden olabilirler (Aly, 2023; Dabedan, 2025).

Özellikle FR (alev geciktirici) işlem görmemiş tekstillerde bu risk daha da artar. Polyester ya da polipropilen bazlı kumaşlar, yanmadan önce eriyerek çevreye sıcak damlacıklar yayabilir, bu da ikincil tutuşmalara yol açabilir. Aynı zamanda bu lifler yandıklarında karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN) ve akrolein gibi toksik gazlar yayarak yangının yalnızca fiziksel değil, kimyasal tehdit düzeyini de artırır (Nazaré, 2012).

Bu veriler, ev tekstil ürünlerinin yalnızca pasif yüzey kaplamaları olmadığını, aynı zamanda yangının gelişiminde aktif rol oynayan ve hatta belirleyici etkiler yaratan unsurlar olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, ev içi tekstil tasarımında yalnızca estetik veya maliyet değil; lif tipi, ısı salım karakteristiği, olası toksik emisyonlar ve flashover süresine etkisi gibi çok boyutlu kriterlerin bir arada değerlendirilmesi gereklidir.

6. YANMA SIRASINDA OLUŞAN TOKSİK GAZLAR

Ev yangınlarında ölümlerin büyük çoğunluğu doğrudan alev teması değil, yangın sırasında açığa çıkan zehirli gazlara maruz kalma nedeniyle gerçekleşmektedir. Yanma ürünlerinin bileşimi, kullanılan lif türüne, malzemenin yapısına, yangının sıcaklığına ve ortamda bulunan oksijen miktarına göre farklılık göstermektedir. Bu çerçevede, ev tekstil ürünlerinin üretildiği liflerin yanma sırasında ortaya çıkardığı toksik gaz profili, yangın güvenliği açısından göz ardı edilemeyecek derecede önemlidir (Hull & Stec, 2012).

Doğal liflerin yanması sırasında genellikle karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO₂) gibi gazlar ortaya çıkar. Örneğin pamuk, keten ve viskon gibi selülozik lifler genellikle yüksek miktarda CO üretir. CO, kandaki hemoglobine bağlanarak oksijen taşıma kapasitesini düşüren, sessiz ve renksiz bir ölümcül gazdır. Yün ve ipek gibi protein bazlı liflerin yanması durumunda ise amonyak (NH₃) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi iritan gazlar açığa çıkar; bu gazlar solunum yollarında ciddi tahrişe neden olabilir (Horrocks & Price, 2008). Sentetik lifler ise yanma sırasında çok daha tehlikeli ve kompleks gazlar üretme eğilimindedir. Akrilik, poliamid (naylon), polyester, polipropilen ve özellikle poliüretan köpükler, yandıklarında sadece CO değil, aynı zamanda hidrojen siyanür (HCN), benzen, akrolein gibi yüksek toksisiteli uçucu bileşikler üretirler (Stec & Hull, 2011). Özellikle HCN, sinir sistemi üzerinde etkili olan, düşük konsantrasyonlarda dahi birkaç dakika içinde ölümcül olabilen bir gazdır.

Yangın sırasında bu gazların oluşturduğu tehlike yalnızca toksisite düzeyleriyle sınırlı değildir; maruz kalma süresi, ortamda havalandırma olup olmaması, yanma sürecinin tamamlanmamış (incomplete combustion) olması gibi faktörler de gazların etkisini artırır. Örneğin düşük oksijenli ortamlarda gerçekleşen eksik yanma, CO ve HCN gibi zehirli gazların daha fazla salınmasına neden olur.

Ayrıca bazı alev geciktirici katkıları da, her ne kadar tutuşmayı geciktirse de, yanma sırasında halojenli dumanlar ve toksik ikincil bileşikler ortaya çıkarabilir. Bu nedenle FR katkıların seçimi de dikkatle yapılmalıdır; aksi hâlde yangın güvenliği arttırılmak istenirken toksik etkiler kazara yükseltilebilir (Blomqvist et al., 2018).

Sonuç olarak, ev tekstil ürünlerinin yangın performansının değerlendirilmesinde sadece tutuşma davranışı değil, yanma sırasında oluşan gazların türü, miktarı ve toksikolojik profili de dikkate alınmalı; malzeme seçiminde bu parametreler öncelikli kriterler arasında değerlendirilmelidir.

7. MEVCUT STANDARTLAR VE YASAL DÜZENLEMELER

Yangın güvenliğine ilişkin yasal düzenlemeler ve teknik standartlar, ev tekstil ürünlerinin üretiminde, sınıflandırılmasında ve pazarlanmasında belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle iç mekânlarda kullanılan perde, döşemelik kumaş, halı, yatak, minder ve sünger gibi ürünler için; yangınlık, alev yayılımı, duman oluşumu ve toksik gaz salımı gibi parametreleri değerlendiren kapsamlı test yöntemleri mevcuttur. Bu testlerin uygulanabilirliği ve zorunluluğu ise ürün tipine ve ülke mevzuatına göre farklılık göstermektedir.

Avrupa Birliği ülkelerinde yangın davranışına ilişkin temel değerlendirmeler, EN (European Norm) standardizasyon sistemine dayanmaktadır. Tekstil ürünlerinde **alev alma davranışını** değerlendirmek amacıyla EN ISO 6940 (yatay alev testi) ve EN ISO 6941 (düşey alev testi) kullanılmaktadır. Malzemenin oksijenli ortamlarda yanabilirliğini ölçen EN ISO 4589-2 ise, LOI (Limit Oksijen İndeksi) değerinin belirlenmesini sağlar (CEN, 2016). Döşemelik kumaşlarda özellikle sigara ve kibritle tutuşma davranışını ölçen EN 1021-1 ve EN 1021-2 testleri (TSE, 2012), kamuya açık alanlarda kullanılan mobilya ürünlerinde zorunlu tutulmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yangına karşı performans değerlendirmeleri NFPA (National Fire Protection Association) ve ASTM International gibi kuruluşların yayımladığı standartlara göre yapılmaktadır. Özellikle perde ve benzeri yüzeyler için NFPA 701 standardı, düşey alev yayılımını test etmektedir (NFPA, 2019). Polimer esaslı malzemelerde alev alma ve damlama davranışı ise UL 94 standardı ile değerlendirilir. Döşemeli mobilyaların iç dolguları ve kumaş kaplamaları, California Technical Bulletin 117-2013 (TB 117) standardına göre, açık alev ve sigara etkisine karşı test edilir (CalFire, 2013). Ayrıca ASTM E84 standardı da büyük yüzeyli yapı malzemelerinde, alev yayılım hızı ve duman gelişim indeksini belirleyen yaygın bir yöntemdir (ASTM, 2023).

Türkiye'de, Avrupa Birliği direktiflerine uyum kapsamında söz konusu EN standartlarının büyük bölümü TSE tarafından bire bir benimsenmiştir. Özellikle TS EN ISO 6940, TS EN 1021-1/2 ve TS EN ISO 4589-2 testleri, teknik tekstil ürünlerinin yanıcılık karakterizasyonunda kullanıma açıktır (TSE, 2012; TSE, 2016). Ancak uygulamada, bu testlerin çoğu yalnızca otel, hastane, tiyatro gibi kamu yapıları için projelendirilen ürünlerde zorunlu tutulmakta; ev içi tüketici ürünlerinde ise yasal bir mecburiyet bulunmamaktadır. Mevcut düzenlemelerde, ev tekstil ürünlerinde yangına dayanım yerine daha çok kimyasal içeriğe yönelik denetimler (ör. REACH, CE işareti) uygulanmaktadır. Bu durum, yangın güvenliği açısından Türkiye'de önemli bir mevzuat eksikliğine işaret etmektedir.

Bazı ülkelerde ise ev tekstil ürünlerine yönelik alev geciktirici düzenlemeler, kullanım alanı esasına göre yapılmaktadır. Örneğin Birleşik Krallık'ta, 1988 tarihli Furniture and Furnishings (Fire) (Safety) Regulations ile ev mobilyalarında kullanılan döşemelik kumaş ve iç dolguların alev geciktirici işlem görmüş olması yasal zorunluluktur (UK Statutory Instruments, 1988). Kanada'da ise Hazardous Products Act kapsamında, çocuk giysileri ve ev tekstilleri için alev yayılım sınırları açık biçimde tanımlanmıştır (Health Canada, 2016).

Bu bağlamda, yangına karşı malzeme düzenlemelerinde yalnızca lif türü ya da ürün kategorisi değil, ürünün kullanıldığı bağlamın riski de göz

önünde bulundurulmalıdır. Yani standartlar yalnızca teknik testleri değil; ürünlerin kullanım ortamına göre risk sınıflandırmalarını da içermelidir. Avrupa ve Kuzey Amerika'daki uygulamalar bu yönüyle çok daha bütüncül ve katmanlı bir sistem sunarken, Türkiye'de ise bu konuda daha kapsayıcı bir mevzuata ve uygulama denetimine ihtiyaç olduğu açıktır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derlemede, ev tekstil ürünlerinde kullanılan doğal ve sentetik liflerin yanıcılık özellikleri, yangın ortamındaki davranışları ve mevcut yasal düzenlemeler bütüncül bir yaklaşımla incelenmiştir. Lifin kimyasal yapısı, fiziksel özellikleri ve yanma karakteristikleri; sadece ürünün alev alma eğilimini değil, aynı zamanda yangının ilerleyişini, oluşan toksik gazların niteliğini ve olası ölüm risklerini doğrudan etkilemektedir.

Yapılan karşılaştırmalı değerlendirmeler göstermektedir ki; pamuk, polipropilen ve polyester gibi düşük LOI değerine sahip lifler, yangının başlamasına ve hızlı yayılmasına zemin hazırlarken; yün gibi yüksek tutuşma sıcaklığına ve yüksek LOI değerine sahip lifler, yangının ilerlemesini geciktirme potansiyeli sunmaktadır. Bununla birlikte, sentetik liflerin çoğu yanma sırasında karbon monoksit (CO), hidrojen siyanür (HCN), akrolein gibi ciddi toksisiteye sahip gazlar üretmektedir. Bu durum, yangın sırasında ölümcül etkilere neden olabilecek kimyasal tehditleri gündeme getirmektedir.

Ayrıca, ev tekstil ürünlerinin yerleşim biçimi (ör. perde gibi dikey yüzeyler veya yatak gibi hacimli ürünler), dolgu yapısı ve yangın yüküne katkısı gibi parametreler de yangının yayılım sürecini doğrudan şekillendirmektedir. Flashover süresini kısaltan faktörlerin başında, yüksek ısı salımı yapan sentetik dolgular ve eriyerek tutuşmayı kolaylaştıran lif yapılarının geldiği tespit edilmiştir.

Mevzuat incelemesi, Avrupa Birliği ve Kuzey Amerika ülkelerinde, özellikle kamuya açık alanlarda kullanılan tekstil ürünleri için detaylı ve bağlayıcı test protokolleri tanımlandığını ortaya koymaktadır. Buna karşın, Türkiye'de bu testlerin uygulanması genellikle proje bazlı ve sınırlı çerçevede kalmakta; ev içi tüketici ürünlerinde zorunlu yanıcılık testleri ve sertifikasyon sistematiki bulunmamaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

1. Ev tekstil ürünlerinde kullanılan liflerin yanıcılık özellikleri, yalnızca konfor veya estetik değil, yangın güvenliği açısından da temel bir değerlendirme kriteri olarak ele alınmalıdır.

2. Yün ve modakrilik gibi doğal olarak güç tutuşur liflerin yangın riski yüksek alanlarda (oteller, çocuk odaları, kamu binaları) daha yaygın kullanımı teşvik edilmelidir.

3. Sentetik liflerin alev geciktirici katkılarla modifiye edilmesi, ancak bu işlemlerin yan ürün olarak toksik duman üretmemesi için titizlikle denetlenmesi gereklidir.

4. Türkiye’de ev tekstil ürünlerine yönelik olarak kullanım bağlamına göre risk sınıflandırmasına dayalı yasal düzenlemeler hazırlanmalı; özellikle çocuk tekstili ve kamuya açık iç mekân ürünleri için zorunlu yanıcılık testleri mevzuata dâhil edilmelidir.

5. Tüketicilerin, ürün etiketlerinde yalnızca lif türü değil, aynı zamanda yanıcılık performansı ve güvenlik sınıfı hakkında da bilgilendirilmeleri sağlanmalıdır.

Bu derleme, yangın güvenliği ile tekstil biliminin kesişiminde disiplinler arası bir farkındalık yaratmayı hedeflemiştir. Literatürde ev tekstillerinde kullanılan bazı lif türlerine (ör. keten, ipek, jüt) dair eksik veriler bulunması, bu alanlarda yeni deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Gelecekte yapılacak uygulamalı araştırmalar, liflerin yalnızca teknik değil, toksikolojik etkilerini de merkeze alarak, daha güvenli tekstil tasarımları için yol gösterici olabilir.



EV YANGINLARINDA TEKSTİL YÜZEYLERİNDE ALEV YAYILIM MEKANİZMASI: MALZEME VE YAPISAL PARAMETRELERİN ETKİSİ

1. GİRİŞ

Ev yangınları, konut kaynaklı ölümler ve maddi kayıplar açısından küresel ölçekte en önemli afet türlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Yangının gelişim sürecinde tekstil yüzeyleri, yüksek organik içerikleri, gözenekli yapıları ve geniş temas alanları nedeniyle alev yayılımını hızlandıran başlıca bileşenler arasında yer almaktadır (Hammond & Statham, 1992). Döşemelik kumaşlar, perdeler, halılar, yatak örtüleri ve masa örtüleri gibi ev tekstili ürünleri, yangının ilk aşamasında tutuşma ve ısı salınım hızını (Heat Release Rate, HRR) belirleyen kritik yüzey malzemeleridir (Das, 2018).

Literatürde, tekstil ürünlerinin alev yayılım davranışının lif tipi, kumaş yapısı ve yüzey bitim işlemleri gibi parametrelerle yakından ilişkili olduğu bildirilmektedir (Grover et al., 2014). Lifin kimyasal yapısı, tutuşma sıcaklığı ve sınırlayıcı oksijen indeksi (Limiting Oxygen Index, LOI) değerleri; kumaş yapısındaki yoğunluk ve hava geçirgenliğiyle birlikte alevin ilerleme hızını doğrudan etkiler. Pamuk, viskon ve akrilik lifleri düşük LOI değerleri nedeniyle kolay tutuşma eğilimi gösterirken; yün, modakrilik ve aramid lifleri kendi kendini söndürebilen (self-extinguishing) davranış sergiler (Choudhury, 2020). Bu farklar, ev tekstillerinde kullanılan hammadde seçiminin yangın büyümesi üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Yapısal parametrelere açısından, dokuma sıklığı ve gramaj artışı, kumaşın oksijen geçirgenliğini azaltarak alevin ilerlemesini yavaşlatır; buna karşılık gevşek dokular ve düşük yoğunluklu kumaşlar alevin yayılımını hızlandırır (Baltušnikaitė, Šuminskienė & Milašius, 2006). Parmar ve Malik (2018) de ev tekstillerinde kullanılan kumaşların ışık haslığı, dökümlülük ve estetik gereksinimlerin yanında, özellikle flame retardancy (alev geciktiricilik) özelliğine sahip olması gerektiğini vurgulamıştır.

Bu alanda yapılan deneysel çalışmalar, alev geciktirici (FR) bariyer kumaşların genel tutuşma (flashover) süresini önemli ölçüde uzatabileceğini ortaya koymaktadır. Fabian ve Gandhi (2013), döşemeli mobilyalarda uygulanan FR bariyerlerin genel tutuşma (flashover) süresini 250 saniyeden 900 saniyeye çıkardığını; Hasofer ve Thomas (2006) ise tekstil bazlı malzemelerin tutuştuğu ev yangınlarında ölüm oranının en yüksek seviyeye ulaştığını bildirmiştir. Bu bulgular, alev yayılım hızının kontrol altına alınmasının hem can güvenliği hem de yangın büyüme dinamikleri açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, ev yangınlarında kullanılan tekstil ürünlerinin alev yayılım hızına etkisini belirleyen malzeme ve yapı faktörlerini literatür verileri ışığında incelemektir. Lif tipi (pamuk, polyester, viskon, aramid vb.),

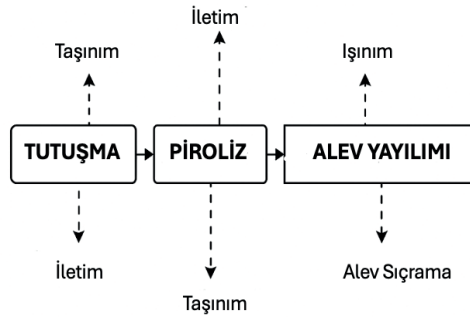
dokuma parametreleri (örgü tipi, sıklık, kalınlık) ve yüzey bitim işlemleri (özellikle flame retardant – FR apreler) dikkate alınarak farklı ev tekstili ürün gruplarının yangın davranışları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda çalışma, ev yangınlarında genel tutuşma (flashover) süresini etkileyen tekstil kaynaklı değişkenleri açıklamayı ve malzeme-temelli önleyici stratejilere bilimsel katkı sunmayı hedeflemektedir.

2. ALEV YAYILIM MEKANİZMASI VE FİZİKSEL-KİMYASAL TEMELLER

Ev yangınlarında tekstil yüzeylerinin alev yayılımı, hem fiziksel ısı transferi süreçleri hem de kimyasal bozunma reaksiyonları tarafından kontrol edilir. Bu mekanizma, genellikle dört ardışık evrede tanımlanır: tutuşma (ignition), piroliz (pyrolysis), alev yayılımı (flame spread) ve genel tutuşma (flashover) (Grover, 2014; Choudhury, 2020).

2.1. Yanma Döngüsü ve Alev Alma Davranışı

Ev tekstil yüzeylerinde alev yayılımı, malzemenin dış ısı kaynağıyla etkileşimi sonucu başlayan tutuşma–piroliz–alev yayılımı evrelerinden oluşan dinamik bir ısıl süreçtir. Bu döngü, ısı transferi (iletim, taşınım, ışıınım) ve kimyasal bozunma reaksiyonlarının eşzamanlı ilerlemesiyle kontrol edilir. Her bir evre, kumaşın lif yapısı, gözeneklilik oranı ve yüzey enerjisi gibi faktörlere bağlı olarak farklı ısıl tepki göstermekte; bu nedenle yanma davranışının anlaşılabilmesi için sürecin aşamalı olarak incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Yanma döngüsünün evreleri (tutuşma, piroliz, alev yayılımı) ve ısı transferi mekanizmalarının yönlü etkileşimi.

- **Tutuşma (Ignition)**, malzemenin dış ısı kaynağından (örneğin alev, radyatif ısı, kısa devre arkı) aldığı enerji sonucu yüzey sıcaklığının belirli bir kritik değere ulaşmasıyla başlar. Bu aşamada malzemenin iç yapısında kimyasal bağlar kırılır ve piroliz gazları olarak bilinen yanıcı uçucular açığa çıkar. Gaz fazında gerçekleşen oksidasyon reaksiyonları, alevin görünür hale gelmesini sağlar (Das, 2018).

Bu aşamada yüzey henüz düşük sıcaklıktadır; ısı aktarımı ağırlıklı olarak iletim (conduction) ve taşınım (convection) yoluyla gerçekleşir.

- Katı lif dokusu ısıyı iç tabakalara iletir.
 - Ortamda konvektif hava hareketleri başlar.
- **Piroliz (Pyrolysis)**, malzemenin ısı enerjisi altında bozunarak karbonlu artık (char) ve gaz fazı ürünleri oluşturduğu aşamadır. Bu süreç, özellikle selülozik liflerde hızlı gerçekleşirken; protein esaslı veya alev geciktirici (FR) katkılı liflerde daha yavaş ilerler ve koruyucu bir karbon tabakası oluşumunu teşvik eder (Ali & Mohammed, 2015). Bu karbonlaşma tabakası, ısı transferini sınırlandırarak alevin ilerlemesini geciktirir. Bu aşamada lif yapısı bozunmaya başladığında hem iletim hem taşınım yönlü ısı transferi iki yönde işler:
- Yüzeyden içe doğru (iletim) ısı akışı devam eder.
 - Alt tabakalardan çıkan sıcak gazlar yukarı taşınır (taşınım). Bu nedenle şekil ortasında yukarı-aşağı yönlü çift oklar (iletim-taşınım) yerinde gösterilmiştir.
- **Alev yayılımı (Flame Spread)**, tutuşan bölgeden yanmamış yüzeye doğru ısı transferinin iletim (conduction), taşınım (convection) ve ışıma (radiation) yoluyla gerçekleştiği aşamadır. Yüzeydeki sıcaklık gradyanı arttıkça, piroliz hızı ve dolayısıyla alev ilerleme hızı da artar. Bu etkileşim, kumaşın lif tipi, örgü yapısı, gözenekliliği ve yüzey bitim işlemleri tarafından doğrudan belirlenir (Hammond & Statham, 1992). Bu aşamada artık sistemin enerjisi büyük oranda ışıma (radiation) çevreye yayılır.
- Alev cephesi radyatif enerji üretir.
 - Bu enerji çevredeki yüzeyleri ısıtır ve genel tutuşma (flashover) olayı tetiklenir. Genel tutuşma (flashover), ortamda biriken radyatif ısıya çevredeki tüm yüzeyleri aynı anda tutuşturduğu kritik aşamadır. Bu noktada yangın, malzeme ölçeğinden oda ölçeğine geçiş yapar ve kontrolsüz hale gelir (Fabian & Gandhi, 2013).

2.2. Yangın Parametreleri ve Ölçüm Kriterleri

Alev yayılım mekanizmasını nicel olarak değerlendirebilmek için çeşitli termal ve optik parametreler kullanılır. En yaygın olanları aşağıda özetlenmiştir (Choudhury, 2020; Grover, 2014):

- **HRR (Heat Release Rate/ Isı Salınım Hızı):** Malzemenin yanma sırasında birim zaman başına açığa çıkardığı ısı enerjidir (kW/m^2). Bu değer yangın büyüklüğünün doğrudan göstergesidir. ISO 5660 standardına göre “Cone Calorimeter” testiyle ölçülür (Ali & Mohammed, 2015). HRR’nin yüksek olması, ortamın kısa sürede flashover’a ulaşmasına neden olur.
- **LOI (Limiting Oxygen Index/ Sınırlayıcı Oksijen İndeksi):** Malzemenin yanmayı sürdürebilmesi için gereken minimum oksijen oranıdır (%). LOI değeri ne kadar düşükse, malzeme o kadar kolay tutuşur. FR katkılı lifler genellikle 25’in üzerinde LOI değerine sahiptir (ör. modakrilik ≈ 28 , aramid ≈ 32) (Choudhury, 2020).
- **TTI (Time to Ignition/Tutuşma Süresi):** Belirli bir ısı akısı altında malzemenin tutuşmaya başlaması için geçen süredir (s). HRR ile ters orantılıdır; düşük TTI değeri, malzemenin hızlı tutuştuğunu gösterir (Das, 2018).
- **THR (Total Heat Released/Toplam Isı Salımı):** Malzemenin tamamen yanması sırasında açığa çıkan toplam ısı enerjisidir (MJ/m^2). Yüksek THR değerleri, yangının sürdürülebilirliğini artırır (Grover, 2014).
- **Duman Oluşumu (Smoke Density):** ASTM E662 standardına göre ölçülür ve malzemenin yanma esnasında oluşturduğu ışık geçirgenliğini ifade eder. Duman yoğunluğu hem görüşü engelleyerek tahliye süresini uzatır hem de toksik gaz birikimine yol açar (Hammond & Statham, 1992).

2.3. Enerji Dengesi ve Alev Yayılım Dinamikler

Yanma sürecinde gerçekleşen ısı transferi mekanizmaları—iletim (conduction), taşınım (convection) ve ışıınım (radiation)—yangının ilerleme hızı, yüzey sıcaklık dağılımı ve alev kararlılığı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu üç mekanizmanın yangın ortamında eşzamanlı olarak işlediği; iletim yoluyla katı yüzeyler boyunca ısının taşındığı, taşınım ile sıcak gazların konvektif akımlar oluşturduğu ve ışıınım ile çevredeki yüzeylere doğrudan enerji aktarımı gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu çok yönlü ısı transferi etkileşimi, yangının çevre materyallere yayılımını hızlandıran başlıca termal geri besleme mekanizmasını oluşturmaktadır. Ayrıca aynı kaynakta, genel tutuşma (flashover) aşamasında ortam sıcaklığının yaklaşık $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ düzeyine ulaşmasıyla tüm yanıcı yüzeylerin eşzamanlı tutuştuğu; ani geri tepme yangını (backdraft) olayında ise ortamdaki yanmamış piroliz gazlarının oksijenle ani teması sonucunda patlayıcı bir yanma reaksiyonu gelişebileceği ifade edilmektedir (Form Teknik, 2025).

Yanma sırasında oluşan ısının bir kısmı, piroliz gazlarının oluşumunu sürdürmek için kullanılır; geri kalanı ise çevreye yayılarak alevin ilerlemesini destekler. Bu enerji dengesi şu ilişkiyle özetlenebilir:

$$\dot{q}_{net} = \dot{q}_{rad} + \dot{q}_{conv} - \dot{q}_{loss} \quad (1)$$

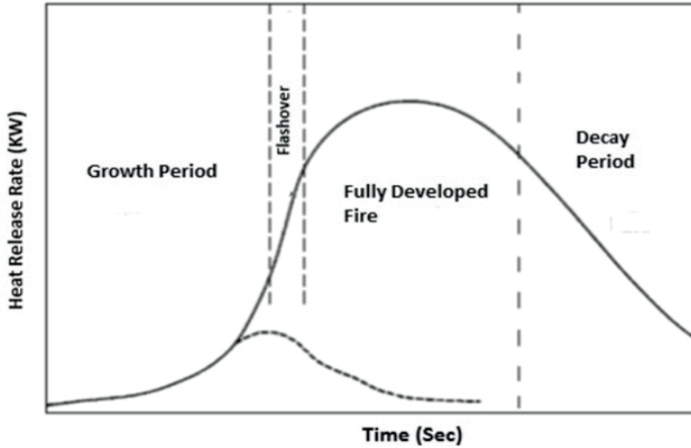
Burada

- $\dot{q}_{rad}$: ışınlımla ısı aktarımı,
- $\dot{q}_{conv}$: taşınım yoluyla ısı aktarımı,
- $\dot{q}_{loss}$ ortam ve alt tabaka yönüne kaybolan ısıdır (Choudhury, 2020).

Yüksek radyatif ısı geri dönüşü (radiative feedback), yüzey sıcaklığını hızla yükselterek piroliz hızını artırır. Bu da alevin stabil kalmasına ve yayılımının süreklilik kazanmasına neden olur (Ali & Mohammed, 2015).

2.4. Genel tutuşma (flashover)'un Kritik Eşiği

Genel tutuşma (flashover)'un gerçekleşebilmesi için ortam sıcaklığının ortalama 500–600 °C'ye, duvar ve tavan yüzeylerinin ise ısı radyasyon değerinin 20 kW/m²'nin üzerine çıkması gerekir. Bu değerler, HRR'nin 1 MW'ı aşmasıyla eş zamanlı olarak ortaya çıkar (Grover, 2014). Ev tekstillerinin büyük bölümü düşük erime sıcaklıklı polimer veya selülozik liflerden üretildiği için, bu eşiğe ulaşma süresi genellikle dakikalarla ölçülür. Yün, aramid veya modakrilik gibi yüksek LOI değerine sahip liflerin kullanımı, genel tutuşma (flashover) süresini 2–3 kat uzatabilir (Fabian & Gandhi, 2013).



Şekil 2. Bir yangının gelişim süreci (growth period: yangının büyüme evresi/ flashover::genel tutuşma/ fully developed fire: tam gelişmiş yangın/ decay period: sönmeye evresi)

Şekil 2’de görüldüğü üzere, bir yangının gelişim süreci dört temel evrede incelenmektedir: başlangıç (incipient), büyüme (growth), tam gelişmiş (fully developed) ve sönme (decay).

Bu süreçte ısısal salım oranı (HRR), yangının enerjik yoğunluğunu belirleyen en kritik parametredir. Başlangıç evresinde malzeme yüzeyinde sınırlı piroliz gerçekleşirken, büyüme evresinde HRR hızla artar ve yaklaşık 500–600 °C sıcaklıkta genel tutuşma (flashover) meydana gelir.

Genel tutuşma (flashover) noktasından sonra tüm yanıcı yüzeylerin eşzamanlı olarak tutuştuğu tam gelişmiş yangın evresi başlar. Havalandırma koşullarının zayıflamasıyla oksijen sınırlaması oluşur ve decay (sönme) dönemine girilir; bu evrede HRR giderek azalır ve yangın kendi kendine söner. Bu eğri, ev tekstili gibi düşük erime sıcaklığına sahip malzemelerin growth (büyüme) evresinde yangın dinamiklerini hızlandırabileceğini; buna karşın yüksek LOI ve düşük HRR değerine sahip kumaşların genel tutuşma (flashover) noktasına ulaşmayı geciktirdiğini açık biçimde göstermektedir.

Alev yayılımı, tekstil yüzeyinin kimyasal bileşimi kadar fiziksel yapısına da bağlı olan karmaşık bir enerji aktarım sürecidir. HRR, LOI ve TTI parametrelerinin birlikte değerlendirilmesi, kumaşın tutuşma eğilimi, alev ilerleme hızı ve genel tutuşma (flashover) süresi hakkında doğrudan bilgi sağlar.

3. LİF TİPİNE GÖRE ALEV YAYILIMI

3.1. Liflerin Kimyasal Yapısı ve Termal Bozunma Davranışı

Tekstil liflerinin alev yayılım davranışı, kimyasal bileşim, morfolojik yapı ve ısısal bozunma özellikleri tarafından belirlenir. Lifin moleküler zincirinde yer alan fonksiyonel gruplar, bağ enerjileri ve oksijenle reaksiyon eğilimleri, tutuşma sıcaklığı ve yanma sürecinin karakterini doğrudan etkiler (Choudhury, 2020; Grover, 2014).

Selülozik esaslı lifler (pamuk, viskon, keten) yüksek oranda hidroksil grubu (-OH) içerdikleri için oksijenle hızlı reaksiyona girerler. Bu lifler 250–300 °C civarında pirolize uğrar, uçucu gazlar (CO, CO₂, aldehitler, su buharı) salarak alevin hızla ilerlemesine neden olur. Yanma sonunda karbonlu bir kömür tabakası oluşsa da bu tabaka ince olduğundan ısı bariyeri etkisi sınırlıdır. Bu nedenle selülozik lifler düşük LOI (≈ 17 –19) değerleriyle kolay tutuşan sınıfta yer alır (Das, 2018).

Protein esaslı lifler (yün, ipek) yapılarında azot ve sülfür elementleri içerdiklerinden farklı bir bozunma mekanizması izler. Yüksek bağ enerjileri ve aromatik yapılar, ısı altında su, amonyak ve kükürtlü gazların

ayrışmasına neden olur. Bu lifler yüzeyde kalın bir karbonlaşma tabakası oluşturur ve kendi kendine sönme eğilimi gösterir. Bu nedenle LOI değerleri 25–26 aralığındadır (Grover, 2014).

Termoplastik esaslı liflerde (polyester, poliamid, polipropilen) yanma davranışı daha karmaşıktır. Bu lifler önce yumuşar, ardından damlama veya eriyerek piroliz gazı oluşturur. Polyester lifleri yaklaşık 480 °C’de, poliamid lifleri 420–430 °C’de tutuşur. Damlama davranışı, ısının alt tabakalara taşınmasını kolaylaştırarak alev yayılımını hızlandırabilir (Hammond & Statham, 1992).

Alev geciktirici özellik gösteren intrinsik lifler (modakrilik, aramid) ise aromatik halka yapıları ve halojen–azot bileşimleri sayesinde oksijenle reaksiyona karşı yüksek direnç gösterir. Bu liflerde piroliz sonucu kararlı bir karbon tabakası (char layer) oluşur, yüzey ısı iletimini sınırlar ve alev ilerlemesini durdurur. Aramid lifleri (Nomex®, Kevlar®) yaklaşık 400–450 °C’de kararlı hale gelir ve LOI > 30 değerleriyle “alev dayanıklı” (flame-resistant) sınıfta değerlendirilir (Choudhury, 2020).

Bu karşılaştırmalar, liflerin ısıl bozunma davranışlarının doğrudan moleküler yapıya ve içerdiği elementlere bağlı olduğunu göstermektedir. Selülozik lifler yüksek uçuculuk nedeniyle hızlı tutuşma eğilimi gösterirken; aromatik yapı, yüksek bağ enerjili veya azot içeren lifler piroliz sürecinde koruyucu bir karbon tabakası oluşturmakta ve alev yayılımını sınırlandırmaktadır.

3.2. Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI) Değerlerine Göre Karşılaştırma

Liflerin alev yayılım eğilimleri, kimyasal yapılarına bağlı olarak farklı sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) değerleriyle tanımlanır. LOI değeri, bir malzemenin yanmayı sürdürebilmesi için gerekli minimum oksijen konsantrasyonunu gösterir ve aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$LOI = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100 \quad (2)$$

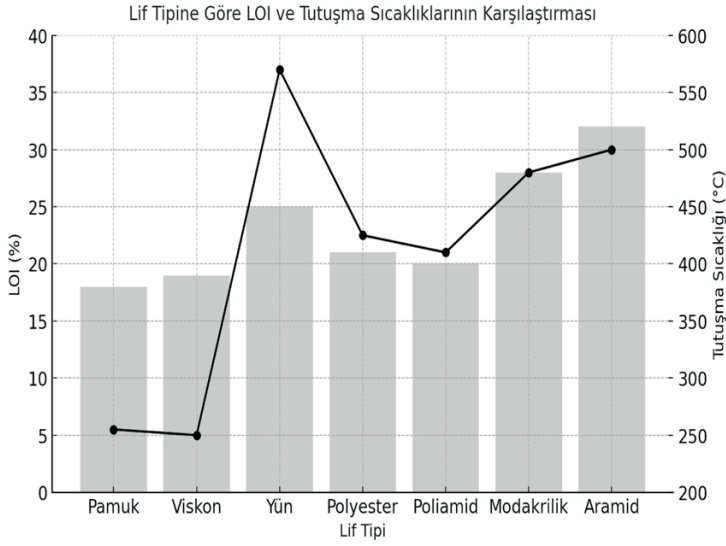
Bu değer ne kadar yüksekse, malzemenin yanma olasılığı o kadar düşüktür (Choudhury, 2020). Genellikle LOI < 21 olan lifler kolay tutuşur; 21–26 arası lifler zor tutuşur; >26 olan lifler ise alev dayanıklı (flame-resistant) sınıfında değerlendirilir (Grover, 2014).

Aşağıdaki tablo, ev tekstillerinde sık kullanılan doğal, sentetik ve intrinsik FR liflerin LOI değerlerini, tutuşma sıcaklıklarını ve tipik alev davranışlarını özetlemektedir.

Tablo 1. Lif türlerine göre LOI, tutuşma sıcaklığı ve tipik alev davranışları

Lif Türü	Kimyasal Esas	LOI Değeri (%)	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	Alev Davranışı
Pamuk	Selülozik	17–18	255–300	Hızlı tutuşur, alev ilerlemesi yüksektir, kömürleşme az.
Viskon	Selülozik (rejenere)	18–19	250–280	Kolay tutuşur, selülozik yapısı nedeniyle sürekli yanar.
Yün	Protein (keratin)	25–26	570–600	Zor tutuşur, kendi kendine söner, kalın kömür tabakası.
İpek	Protein (fibroin)	24–25	500–540	Zor tutuşur, kısa süreli alev, düşük ısı salımı.
Polyester (PES)	Sentetik (termoplastik)	20–21	480–490	Yumuşar, damlama ile yanar, alev ilerlemesi orta düzey.
Poliamid (PA)	Sentetik (termoplastik)	20–22	420–430	Erir, damlar, yanma sırasında gri duman oluşturur.
Polipropilen (PP)	Sentetik (olefin)	17–18	330–350	Hızlı alev yayılımı, damlama eğilimi yüksektir.
Modakrilik	Kopolimer (FR akrilik)	28–30	420–450	Zor tutuşur, yüzeyde şar tabakası oluşturur.
Aramid (Nomex®, Kevlar®)	Aromatik poliamid	30–32	400–450	Alev dayanıklı, kendi kendine sönmeye, yüksek ısı direnci.
FR Polyester	Halojen / fosfor katkı	25–28	480–500	Düşük ısı salımı, yavaş alev ilerlemesi.

Bu veriler, liflerin kimyasal içeriğinin ve morfolojik yapısının yanma davranışı üzerinde doğrudan belirleyici olduğunu göstermektedir. Selülozik ve olefinik lifler düşük LOI değerleri nedeniyle yüksek alev yayılımı eğilimi gösterirken, aromatik veya azot içeren lifler (örn. aramid, modakrilik) yüzeyde kararlı karbon tabakası oluşturarak alevin ilerlemesini önler. Böylece LOI değeri, hem malzeme seçimi hem de alev geciktirici formülasyonların etkinliğini değerlendirmede kritik bir performans göstergesi olarak kabul edilir (Das, 2018; Choudhury, 2020).



Şekil 3. *Lif tipine göre LOI (%) ve tutuşma sıcaklıklarının karşılaştırmalı dağılımı (Das, 2018; Choudhury, 2020). Çubuklar malzemenin oksijen limit indeksini, çizgi ise lifin tutuşma sıcaklığını göstermektedir.*

Şekil 3'te görüldüğü üzere, selülozik esaslı lifler (pamuk, viskon) düşük LOI değerleriyle yüksek yanıcılık eğilimi sergilerken, protein ve aromatik esaslı lifler (yün, aramid) daha yüksek LOI ve tutuşma sıcaklıklarıyla alev geciktirici davranış göstermektedir. Bu fark, liflerin kimyasal bağ enerjileri ve bozunma mekanizmalarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Özellikle aramid ve modakrilik liflerinin 25'in üzerindeki LOI değerleri, kendi kendini söndürme özelliği kazandırmakta; buna karşın pamuk ve viskon gibi selülozik liflerde ısıl bozunma sonucu hızlı piroliz gazı oluşumu yanma hızını artırmaktadır. Bu sonuçlar, lif kompozisyonunun ev tekstili ürünlerinde yangın güvenliği performansını doğrudan belirleyen bir parametre olduğunu göstermektedir.

3.3. Lif Gruplarına Göre Alev Yayılım Davranışının Karakterizasyonu

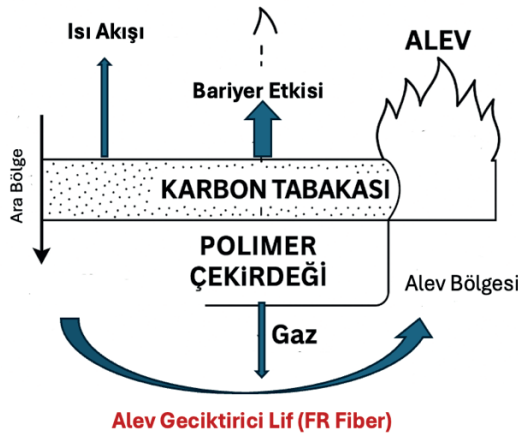
Tekstil yüzeylerinde alev yayılım davranışı, lif gruplarının fiziksel-kimyasal yapısına, piroliz ürünlerine ve yüzeyde oluşan karbonlaşma tabakasının bütünlüğüne bağlıdır. Hammond & Statham (1992) tarafından yapılan sistematik analizlerde, farklı lif gruplarının ısıya maruz kaldığında gösterdiği davranışlar karşılaştırılmış; Grover (2014) ve Choudhury (2020) ise bu sınıflandırmayı termal stabilite ve duman oluşumu açısından genişletmiştir.

Tablo 2' de, lif gruplarına göre tipik yanma eğilimlerini, oluşan artık ürünleri ve alev yayılım hızlarını özetlemektedir.

Tablo 2 Lif gruplarına göre piroliz ürünleri, artık ürün ve alev yayılım karakteristiği

Lif Grubu	Tipik Lifler	Piroliz Ürünleri	Artık Ürün (Char)	Alev Yayılım Hızı	Duman ve Gaz Oluşumu	Genel Alev Davranışı
Selülozik Lifler	Pamuk, Viskon, Ketan	Uçucu gazlar, su buharı, CO, aldehitler	İnce, zayıf karbon tabakası	Yüksek	Orta	Kolay tutuşur, alev ilerlemesi hızlı
Protein Lifler	Yün, İpek	Amonyak, su, kükürtlü bileşikler	Kalın, koruyucu tabaka	Düşük	Düşük	Kendi kendine söner, duman az
Termoplastik Lifler	Polyester, Poliamid, Polipropilen	Uçucu monomerler, hidrokarbonlar	Yok veya çok az	Orta-yüksek	Yüksek	Erir, damlama ile yanar
FR Katkılı Lifler	FR Polyester, FR Viskon	CO ₂ , HCl, fosforlu gazlar	Orta kalınlıkta tabaka	Düşük	Düşük-orta	Zor tutuşur, ısı salımı düşük
İntrinsik FR Lifler	Aramid, Modakrilik	Stabil aromatik bileşikler	Kalın, kararlı tabaka	Çok düşük	Çok düşük	Alev dayanıklı, kendi kendine söner

Bu sınıflandırma, lif gruplarının yangın ortamındaki davranışlarının temel farklarını ortaya koymaktadır. Selülozik lifler yüksek uçuculuk ve düşük karbonlaşma nedeniyle hızlı alev yayılımı sergilerken, protein ve intrinsik FR lifler (yapısal olarak doğal alev geciktirici lifler) yoğun karbon (char) oluşumu sayesinde ısı transferini sınırlar. Termoplastik lifler ise düşük termal stabiliteleri nedeniyle erime ve damlama yoluyla yanmayı sürdürür.



Şekil 4. Alev geciktirici (FR) liflerde ısıl bozunma ve koruyucu karbon tabaka oluşum mekanizması.

Bu sonuçlar, ev tekstili yüzeylerinde lif seçiminin, alev yayılım hızının ve genel tutuşma (flashover) süresinin kontrolünde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir (Hammond & Statham, 1992; Grover, 2014; Choudhury, 2020).

3.4. Alev Geciktirici Katkılar ve İntrinsik FR Lifler (Doğal Alev Geciktirici Lifler)

Alev geciktirici (flame retardant, FR) sistemler, tekstil materyallerinin yanma sürecinde ısı transferini, oksijen difüzyonunu veya radikal reaksiyonlarını sınırlandırarak alev ilerlemesini geciktiren kimyasal ve fiziksel mekanizmalara dayanır (Choudhury, 2020). FR katkıları, lifin bünyesine entegre edilebileceği gibi, apre veya kaplama yöntemiyle yüzeye de uygulanabilir.

FR sistemleri genel olarak üç temel etki mekanizmasıyla sınıflandırılır:

1. Fiziksel Bariyer Mekanizması: Bu mekanizmada FR katkısı, ısıl bozunma sırasında yüzeyde kömürleşmiş bir tabaka (char layer) oluşturarak oksijen geçişini engeller. Katı fazda gerçekleşen bu bariyer etkisi, ısı akısını azaltarak piroliz hızını düşürür. Örneğin fosfor bazlı bileşikler (amonyum polifosfat, fosforlu esterler) bu tür etki gösterir (Grover, 2014).

2. Kimyasal İnhibisyon Mekanizması: Gaz fazında etkili olan halojenli veya azotlu bileşikler, serbest radikal zincir reaksiyonlarını kırarak alevin sürmesini engeller. Özellikle brom ve klor içeren katkıları, alev içinde $H\bullet$ ve $OH\bullet$ radikallerini yakalayarak oksidasyon zincirini keser. Ancak halojen bazlı FR'lerin toksik gaz salımı nedeniyle yerini çevre dostu fosfor-azot sistemlerine bıraktığı rapor edilmiştir (Das, 2018; Choudhury, 2020).

3. Gaz Fazı Seyreltme Etkisi: Bazı FR katkıları, yanma sırasında CO_2 , NH_3 veya H_2O gibi inert gazlar salarak yanıcı gazların derişimini azaltır. Bu yöntem, genellikle melamin, üre veya azot-fosfor bileşimli sistemlerde görülür (Choudhury, 2020).

Alev geciktirici özellik bazı liflerde intrinsik (doğal yapısal) olarak da bulunur. Modakrilik lifleri akrilonitril-vinil klorür kopolimer yapısı sayesinde yüksek LOI (≈ 30) değerine ulaşır ve yüzeyde kararlı bir karbonlaşma tabakası oluşturur. Aramid liflerinde (Nomex®, Kevlar®) ise aromatik halka yapısı ısıl bozunma sırasında zincir kesilmesini sınırlar ve oksijenle reaksiyona direnç sağlar.

Bu intrinsik FR lifler, dış katkı gerektirmeden alev geciktirici performans sunmaları, toksik gaz üretmemeleri ve termal stabilitelerinin yüksekliği nedeniyle ev tekstili uygulamalarında (örneğin perde, döşemelik, yatak örtüsü) önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Hammond & Statham, 1992).

Alev geciktirici sistemler, etki gösterdikleri faza ve reaksiyon mekanizmasına göre dört ana grupta sınıflandırılmaktadır: fiziksel bariyer,

kimyasal inhibisyon, gaz fazı seyreltme ve intrinsik FR yapı. Tablo 3'te bu mekanizmalar, etki düzeyleri, tipik uygulama örnekleri ve başlıca avantajlarıyla birlikte özetlenmiştir.

Tablo 3. Alev geciktirici mekanizmaların sınıflandırılması

Mekanizma Türü	Etki Düzeyi	Temel İşleyiş	Örnek FR Sistemi / Lif	Başlıca Avantaj
Fiziksel Bariyer	Katı Faz	Yüzeyde koruyucu karbon tabakası oluşturur	Fosfor bazlı FR'ler, FR Polyester	Isı ve oksijen transferini sınırlar
Kimyasal İnhibisyon	Gaz Fazı	Alevdeki radikalleri yakalayarak zincir reaksiyonunu keser	Halojenli bileşikler, azot-fosfor sistemleri	Alev kararlılığını bozar
Gaz Fazı Seyreltme	Gaz Fazı	CO ₂ , NH ₃ gibi inert gazlar oluşturarak yanıcı ortamı seyreltir	Melamin, üre türevleri	Duman ve toksik gaz miktarını azaltır
İntrinsik FR Yapı	Lif Matrisi	Moleküler yapı doğrudan alev direnci sağlar	Aramid, Modakrilik	Kalıcı FR etki, toksik gaz salımı yok

Bu yaklaşımlar göstermektedir ki, alev geciktirici performans yalnızca kimyasal katkılarla değil, aynı zamanda lifin moleküler tasarımıyla da optimize edilebilir. Ev tekstili yüzeylerinde, fosfor-azot sinerjisi içeren çevre dostu sistemler ve intrinsik FR lifler, hem güvenlik hem de sürdürülebilirlik açısından öncelikli alternatifler olarak değerlendirilmektedir (Choudhury, 2020; Das, 2018).

4. KUMAŞ YAPISININ ALEV YAYILIMINA ETKİSİ

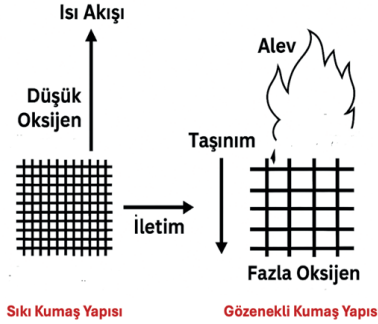
Tekstil yüzeylerinde alev yayılımı yalnızca lif türüne değil, kumaşın yapısal parametrelerine (örgü tipi, sıklık, kalınlık, gözeneklilik, hava geçirgenliği, kütle yoğunluğu) de bağlı olarak gelişir. Kumaş yapısı, ısı transferi mekanizmalarını değiştirerek piroliz hızı, oksijen difüzyonu ve ısı birikimi üzerinde belirleyici olur.

Şekil 5'de görüldüğü üzere kumaşın gözenekliliği, alev yayılımı üzerinde belirleyici bir parametredir. Lif sıklığının artışı, oksijenin kumaşın iç katmanlarına difüzyonunu sınırlandırarak piroliz sürecini geciktirir. Buna karşılık gevşek dokulu kumaşlarda hava boşluklarının fazla olması, hem oksijen taşınımını hem de ısı transferini artırarak tutuşma süresini kısaltır. Bu nedenle kumaşın geometrik yapısı, yüzey bitim işlemlerinden bağımsız olarak alev ilerleme hızını doğrudan etkilemektedir.

Örgü tipi, alevin ilerleyebileceği iplik hatlarını ve yüzeyde oluşan ısı gradyanını kontrol eder. Baltušnikaitė ve ark. (2003), düz örgülerin kısa flot uzunlukları nedeniyle ısıyı daha hızlı ilettiğini, buna karşılık dimi ve saten örgülerde flot uzunluğunun artmasıyla alev yayılım hızının azaldığını

belirtmiştir. Bu durum, uzun flotların lokal karbonlaşmayı desteklemesi ve yüzeydeki ısı iletkenliğini düşürmesiyle açıklanır. Benzer şekilde Hafez Hawas (2017), farklı yapıdaki döşemelik kumaşlarda sıkı örgülerin daha yüksek flame resistance değerleri gösterdiğini; gevşek yapılı kumaşlarda oksijen geçirgenliğinin artmasıyla tutuşmanın kolaylaştığını bildirmiştir.

Çözü ve atkı sıklıkları, kumaşın porozitesini ve buna bağlı olarak hava geçirgenliğini kontrol eder. Düşük gözenekliliğe sahip kumaşlar, oksijen akışını sınırlandırarak alev ilerlemesini geciktirir. Ancak aşırı sıkı yapılar, ısı birikimini artırarak yüzeyde lokal piroliz bölgeleri oluşturabilir. Baltušnikaitė et al. (2003) çalışmalarında, hava geçirgenliği (Q) ile yanma hızı arasında düşük korelasyon ($R^2 = 0.24$) bulmuş; buna karşın iplik yoğunluğu ve örgü faktörünün (P_1) alev yayılımı üzerinde güçlü etkili olduğunu ($R^2 = 0.86$) göstermiştir. Bu bulgu, lif boşluklarının ve iplik temas alanlarının alev ilerlemesi üzerindeki baskın rolünü vurgular.



Şekil 5. Kumaş gözenekliliği ve dokuma sıklığının alev yayılımı üzerindeki etkisi

Kumaş kalınlığı ve birim ağırlığı, ısı geçişinin hem iletimsel hem ışınımsal bileşenlerini etkiler. Song et al. (2019), kalınlığın artmasının radyatif ısı transferini azalttığını ve böylece genel tutuşma (flashover) gecikmesini uzattığını bildirmiştir. Bunun nedeni, kalın kumaşlarda ısı iletkenliğinin azalması ve piroliz bölgesinin daha yüzeysel kalmasıdır. Ancak kütle yoğunluğu arttığında ısıl kapasite de yükselir; bu da toplam ısı salımını artırarak yangının sürdürülebilirliğini etkiler. Choudhury (2020) benzer biçimde, ağır kumaşların daha fazla ısı üretmesine rağmen alev ilerleme hızının daha yavaş olduğunu belirtmiştir.

Alev ilerleme yönü (yatay/dikey) ve kumaşın konumu da kritiktir. Choudhury (2020), dikey yakma testlerinde alev yayılım hızının yatay duruma göre bir mertebe daha yüksek olduğunu; bu nedenle ev tekstilinde perde ve duvar kaplamalarında dikey konumun yangın riskini artırdığını vurgulamıştır. Yüzeyin oryantasyonu, alev önü boyunca konvektif ısı taşınımını güçlendirerek ısı yayılımı hızlandırmaktadır.

Bu bulgular, kumaş yapısal özelliklerinin yangın davranışı üzerindeki bileşik etkisini özetlemektedir. Tablo 4'te örgü tipi, sıklık, kalınlık, gramaj ve hava geçirgenliği gibi parametrelerin alev yayılımına etkileri derlenmiştir.

Tablo 4. Kumaş yapısal parametrelerinin alev yayılımına etkisi

Parametre	Alev Davranışına Etkisi	Temel Etkileşim Mekanizması	Kaynak
Örgü Tipi	Flot uzunluğu arttıkça alev hızı azalır	Yüzeyde ısı dağılımı ve karbonlaşma artışı	Baltušnikaitė et al., 2003
Sıklık ve Porozite	Yüksek sıklık → düşük alev yayılımı	Oksijen difüzyonunun kısıtlanması	Hawas, 2017
Kalınlık	Artış → alev hızı azalır	Işınım ve iletimsel ısı transferinin azalması	Song et al., 2019
Gramaj	Artış → alev hızı azalır ama toplam ısı salımı artar	Termal kütle ve piroliz alanı artışı	Choudhury, 2020
Hava Geçirgenliği	Düşük hava geçirgenliği → alev yayılımı yavaş	Gözenek yapısının ısı transmisyonunu sınırlaması	Baltušnikaitė et al., 2003

Kumaş yapısal parametrelerinin alev yayılımı üzerindeki etkisi, ısı transferi mekanizmalarının (iletim, taşınım, ışıınım) dengesini yeniden tanımlar. Örgü tipi ve sıklık, ısı birikimini ve oksijen akışını düzenleyerek alev hızını belirlerken; kalınlık ve gramaj, ısıl inertia'yı artırarak alev kararlılığını etkiler. Bu nedenle, ev tekstilinde optimum yangın performansı, yüksek karbonlaşma oluşturan liflerle, orta sıklıkta ve kontrollü poroziteye sahip örgü yapılarının birleştirilmesiyle sağlanabilir.

5. ALEV YAYILIMININ NİCEL ANALİZİ VE İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Alev yayılımı, tekstil materyallerinin ısı salımı, oksijen gereksinimi ve tutuşma davranışları arasındaki çok boyutlu bir etkileşimin sonucudur. Bu süreç, hem malzeme bileşimi (lif tipi, FR katkısı) hem de kumaş yapısal parametreleri (sıklık, kalınlık, porozite) tarafından belirlenir. İstatistiksel yaklaşımlar, bu parametreler arasındaki ilişkilerin nicel olarak modellenmesini ve yangın davranışının öngörülmesini mümkün kılar.

5.1. Termal Parametreler Arasındaki İlişkiler

DeneySEL çalışmalar, ısı salım hızı (HRR), sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) ve tutuşma süresi (TTI) arasındaki ilişkinin ters yönlü olduğunu göstermektedir. HRR değeri arttıkça, LOI ve TTI değerleri düşmekte; bu da malzemenin daha hızlı tutuşup daha yüksek enerji salımıyla yanmaya eğilimli olduğunu göstermektedir (Das, 2018; Choudhury, 2020).

Baltušnikaitė ve ark. (2003) tarafından yapılan istatistiksel analizde, kumaş sıklığı ile HRR arasında negatif korelasyon ($r = -0.81$); buna karşılık kalınlık ile TTI arasında pozitif korelasyon ($r = +0.74$) tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, dokuma yoğunluğunun ve kalınlığın tutuşma direncini artırdığını, ancak ısı salım hızını sınırladığını göstermektedir.

Yüksek LOI (>28) değerine sahip FR katkılı liflerde (modakrilik, aramid) yapılan regresyon analizleri, HRR ve LOI arasındaki ilişkinin logaritmik biçimde azaldığını ($R^2 \approx 0.87$) ortaya koymuştur. Bu durum, oksijen sınırlaması ve karbonlaşma tabakası oluşumunun alev enerjisini dengelediğini göstermektedir (Grover, 2014).

5.2. Kumaş Yapısı ve Isı Salımı Arasındaki Regresyon Analizi

Kumaş yapısal faktörlerinin (örgü tipi, sıklık, gramaj, porozite) alev yayılımına etkisi, çoklu regresyon denklemiyle ifade edilebilir:

$$HRR = a - \beta_1 P_1 + \beta_2 Q + \beta_3 M \quad (3)$$

Burada:

- **HRR:** Isı salım hızı (kW/m^2)
- **P_1 :** Örgü yoğunluk faktörü (dokuma sıklığı $\times$ iplik çapı)
- **Q:** Hava geçirgenliği (mm/s)
- **M:** Gramaj (g/m^2)

Baltušnikaitė et al. (2003) tarafından önerilen bu modelde, örgü yoğunluğu (P_1) HRR üzerinde baskın değişken olup β_1 katsayısını -0.65 olarak bulunmuştur. Bu, örgü sıklaştıkça HRR'nin azaldığını, dolayısıyla alevin ilerleme hızının düştüğünü göstermektedir. Hava geçirgenliği ise HRR'yi artırıcı yönde etki yapmıştır ($\beta_2 = +0.31$), çünkü oksijen taşınımı alevin kararlılığını destekler.

Bu ilişkiler Tablo 5'de özetlenmiştir.

Tablo 5. Termal parametreler arasındaki korelasyon ilişkileri

Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	İlişki Yönü	Korelasyon (r)	Etki Açıklaması	Kaynak
Örgü Yoğunluğu (P_1)	HRR	Negatif	-0.81	Sık örgü, ısı salım hızını azaltır	Baltušnikaitė et al., 2003
Kalınlık	TTI	Pozitif	+0.74	Kalın kumaş geç tutuşur	Song et al., 2019
Gramaj	HRR	Zayıf Pozitif	+0.39	Ağırlık arttıkça toplam ısı artar	Choudhury, 2020
Hava Geçirgenliği (Q)	HRR	Pozitif	+0.31	Oksijen akışıyla yanma süreci desteklenir	Hawas, 2017
LOI	HRR	Negatif (log)	$R^2 = 0.87$	Oksijen sınırlamasıyla alev enerjisi düşer	Grover, 2014

5.3. Genel tutuşma (flashover) Gecikmesi ile Yapısal Parametrelerin Etkileşimi

Genel tutuşma (flashover)'a ulaşma süresi, ortamda biriken ısıнын kumaş yüzeyi tarafından ne kadar süreyle tutulabildiğiyle doğrudan ilişkilidir. Kalınlık ve örgü sıklığı arttıkça, radyatif ısı transferi azalmakta; bu da genel tutuşma (flashover) süresini uzatmaktadır. Deneysel veriler, ortalama genel tutuşma (flashover) gecikmesinin sıkı dokumalarda 140–160 s, gevşek dokumalarda ise 60–80 s aralığında olduğunu göstermektedir (Fabian & Gandhi, 2013).

Aramid ve modakrilik içeren kumaşlarda, yüzey sıcaklığının 500 °C'ye ulaşma süresi, pamuk ve polyesterden yaklaşık 2,5 kat daha uzun sürmüştür. Bu bulgu, lifin kimyasal stabilitesiyle kumaş yapısının sinerjik etkisini ortaya koymaktadır.

5.4. Yapısal Parametreler ve Alev Dinamikleri Arasındaki Etkileşim

Nicel analizler, kumaş yapısının yangın dinamikleri üzerindeki etkisini istatistiksel olarak doğrulamaktadır. HRR ve LOI parametreleri, kumaş yapısı–ısı transferi–oksijen difüzyonu üçgeninde birbirini dengeleyen göstergelerdir. Yüksek örgü yoğunluğu, artırılmış kalınlık ve FR katkılı lif kullanımı, HRR değerini düşürüp genel tutuşma (flashover) gecikmesini uzatan temel stratejilerdir.

Bu bulgular, ev tekstillerinin yangın güvenliğini artırmak için malzeme mühendisliği ile yapı optimizasyonunun birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Böylece, alev yayılımının hem fiziksel hem istatistiksel düzeyde kontrol altına alınabileceği, bütüncül bir yaklaşımın temelleri oluşturulmaktadır.

6. SONUÇ

Bu çalışma, ev yangınlarında tekstil yüzeylerinin alev yayılım davranışını belirleyen temel malzeme ve yapı parametrelerini literatür verileri ışığında analiz etmiştir. Elde edilen bulgular, alev yayılımının yalnızca lifin kimyasal yapısına değil, aynı zamanda kumaşın örgü tipi, sıklığı, kalınlığı ve gözenek morfolojisine doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir.

Yanma süreci; tutuşma (ignition), piroliz (pyrolysis), alev yayılımı (flame spread) ve genel tutuşma (flashover) olmak üzere ardışık dört evrede gerçekleşmektedir. Bu evrelerde ısı transferi mekanizmaları (iletim, taşınım, ışıınım) eşzamanlı olarak işleyerek hem enerji geri beslemesini hem de alev kararlılığını belirler. Bu süreçte kumaş yapısının oksijen difüzyonunu sınırlama kapasitesi, yüzey sıcaklık dağılımı ve karbonlaşma eğilimi, alev ilerleme hızının ana belirleyicileri olmuştur.

Lif bazında yapılan değerlendirmelerde, selülozik liflerin (pamuk, viskon) düşük sınırlayıcı oksijen indeksi ($LOI < 20$) nedeniyle hızlı tutuşma eğilimli olduğu; buna karşın protein liflerin (yün, ipek) ve intrinsik FR liflerin (aramid, modakrilik) yüksek LOI değerleri ve yoğun karbon (char) tabakası oluşturmaları sayesinde alev ilerlemesini önemli ölçüde yavaşlattıkları belirlenmiştir. Bu durum, malzeme kimyası ile ısı bozunma davranışının doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Kumaş düzeyinde ise örgü tipi ve sıklığının artmasıyla ısı iletkenliğinin azaldığı ve piroliz hızının yavaşladığı; buna bağlı olarak ısı salım hızının (HRR) düştüğü gözlenmiştir. Baltušnikaitė et al. (2003) ve Hawas (2017) tarafından yapılan korelasyon analizleri, örgü yoğunluğu ile HRR arasında negatif ilişki ($r \approx -0.8$) bulunduğunu, kalınlığın artışıyla genel tutuşma (flashover) gecikmesinin anlamlı biçimde uzadığını göstermiştir. Bu bulgular, kumaş yapısının yangın gelişim sürecinde istatistiksel olarak anlamlı bir parametre olduğunu doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, ev tekstili ürünlerinde yüksek karbonlaşma eğilimli liflerin (aramid, modakrilik, yün) tercih edilmesi, orta sıklıkta ve kontrollü poroziteye sahip dokuma yapılarının kullanılması ve alev geciktirici (flame-retardant/ FR) bitim işlemlerinin uygulanması, alev yayılım hızını azaltarak genel tutuşma (flashover) süresini uzatan en etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Bu malzeme ve yapı kombinasyonları, tekstil bazlı yüzeylerin yangın güvenliği performansını artırmakta; konut yangınlarında ısı dengenin kontrolüne yönelik tasarım temelli çözümlere bilimsel bir zemin sağlamaktadır.



**TÜRKİYE VE DÜNYADA EV TEKSTİLLERİNE
YÖNELİK YANGIN MEVZUATI:
KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME**

1. GİRİŞ

Ev yangınları, dünya genelinde en fazla can ve mal kaybına yol açan afet türlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle konut içi yangınlarda kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, yangının başlama süresi, yayılma hızı ve toksik gaz salınımı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Hull & Stec, 2011; Gann & Averill, 2011). Bu bağlamda, geniş yüzey alanlarını kaplayan ev tekstil ürünleri — perdeler, halılar, döşemelik kumaşlar, yatak ve yastık sistemleri — hem yangının ilk tutuşma kaynağı olabilir, hem de yangının hacimsel ilerleyişinde katalizör görevi üstlenebilir.

Ev tekstil ürünlerinin yangın güvenliği açısından değerlendirilmesi, temel olarak lif türüne bağlı yanıcılık davranışı, alev yayılım potansiyeli, toksik gaz üretimi ve yangın yükü katkısı gibi çok boyutlu parametrelere dayanmaktadır (Horrocks & Price, 2008; Nazaré, 2012). Ancak bu teknik değerlendirmelerin ürüne, kullanıldığı alana ve kullanım koşuluna göre farklılaşan mevzuatlarla desteklenmesi, yangın riskinin azaltılması açısından hayati önemdedir.

Literatürde yangın mevzuatları genellikle mobilya, teknik tekstiller veya kamu alanlarındaki malzemeler üzerinden incelenmektedir (Van Hees et al., 2020; UBA, 2024). Ev tipi tekstil ürünlerine özel ve karşılaştırmalı mevzuat analizi sunan kapsamlı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Türkiye bağlamında ise mevcut çalışmalar daha çok teknik standartların tanıtımıyla sınırlı kalmakta, mevzuat düzeyindeki açıklar ve uygulama farklılıkları derinlemesine analiz edilmemektedir. Bu durum, özellikle konut tipi yangınlarda karşılaşılan yüksek can kayıpları göz önünde bulundurulduğunda önemli bir araştırma boşluğu olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu gidermek amacıyla Türkiye'deki ev tekstil ürünlerine yönelik yangın güvenliği mevzuatını, Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki yasal düzenlemelerle karşılaştırmalı olarak ele almaktadır. Amaç, farklı ülke örnekleri üzerinden ev tekstili ürünleri için uygulanan yanıcılık testleri, zorunluluk düzeyleri, kapsam ve bağlayıcılık unsurlarını sistematik şekilde analiz etmek; bu analiz doğrultusunda Türkiye için risk temelli, çok katmanlı ve bağlayıcı bir mevzuat altyapısı oluşturulmasına katkı sunmaktır.

2. TÜRKİYE'DE EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI

Türkiye'de ev tekstil ürünlerinin yanıcılık özelliklerine yönelik düzenlemeler, doğrudan bağlayıcı ve kapsamlı bir mevzuat çerçevesiyle değil; daha çok teknik standartlara ve yapı bazlı yönetmeliklere dayanmaktadır. Bu durum, özellikle ev içi kullanımda geniş yüzey alanı kaplayan tekstil ürünlerinin (perdeler, döşemelik kumaşlar, halılar, yatak

ve yorgan sistemleri vb.) yangın güvenliği açısından ciddi bir politika boşluğuna işaret etmektedir.

Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından kabul edilen bazı EN ve ISO kökenli test yöntemleri teknik düzeyde yürürlükte olsa da, bunların çoğu yalnızca projeye özel şartnameler kapsamında veya ihracata yönelik uygulamalarda kullanıma girmektedir. Örneğin, TS EN ISO 6940 (yatay alev testi), TS EN ISO 4589-2 (Limit Oksijen İndeksi) ve TS EN 1021-1/2 (sigara ve kibritle tutuşturma testleri), tekstil ürünlerinin alev alma davranışını ve tutuşma eşiğini belirlemeye yönelik teknik ölçüm prosedürleridir (TSE, 2012; TSE, 2016). Ancak konutlarda kullanılan tekstil ürünleri için bu testlerin uygulanması zorunlu değildir.

Mevcut durumda Türkiye’de yangın güvenliği esas olarak Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007) ile şekillenmektedir. Bu yönetmelik, kamuya açık alanlar (okul, hastane, tiyatro vb.) ve kaçış sistemleri için belirli yanmazlık koşulları öngörse de, ev tipi ürünler bu kapsamın dışında bırakılmaktadır. Dolayısıyla konut içi tekstil ürünlerinde üreticilerin alev geciktirici katkı maddeleri kullanma veya tutuşma testlerine tabi tutma gibi bir zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu durum, ev yangınlarında hızlı alev yayılımı ve yüksek toksik gaz salımı gibi riskleri artırmaktadır (Morrisset et al., 2024).

Uygulamada, ev tekstil ürünlerine yönelik denetim mekanizmaları genellikle kimyasal içerik sınırlamaları ile sınırlı kalmakta; yangına dayanım, ısı salım hızı veya alev yayılımı gibi parametreler doğrudan mevzuat kapsamına alınmamaktadır. Örneğin, REACH tüzüğü çerçevesinde sağlık açısından zararlı kimyasallar denetlenmekte, ancak bu denetim yangın güvenliği performansını garanti altına almamaktadır. CE işareti de teknik uygunluk bildirimini sunmakta, fakat tekstil özelinde yangına karşı performans zorunluluğu taşımamaktadır.

Sonuç olarak Türkiye’de yürürlükteki uygulamalar, ev tekstil ürünlerinde ürün bazlı değil, yapı bazlı bir yaklaşımı benimsemekte; gönüllülük esasına dayalı test ve sınıflandırma sistemleri öne çıkmaktadır. Oysa Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde, kullanım yeri bağlamında risk bazlı test zorunlulukları ve ürün tipi odaklı mevzuat çerçeveleri yangın güvenliği politikasının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Türkiye’deki durum, konut tipi yangınlara karşı koruyucu mevzuat altyapısının güçlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Test / Mevzuat	Amaç / Açıklama	Zorunluluk Durumu
TS EN ISO 6940	Yatay alev ile tutuşma testi (tekstil yüzey yanıcılığı)	Yalnızca özel projelerde (otel vb.)
TS EN ISO 4589-2	Limit Oksijen İndeksi (LOI) ile güç tutuşurluk ölçümü	Teknik düzeyde var, zorunlu değil
TS EN 1021-1/2	Sigara ve kibritle tutuşma testleri (mobilya, döşemelik)	Otel ve kamu projelerinde aranabiliyor
REACH Tüzüğü	Kimyasal madde kısıtlamaları (toksikite kontrolü)	Uygulamada var, yangınla doğrudan ilişkili değil
CE İşareti	Teknik uygunluk / asgari güvenlik bildirimi	Üretici inisiyatifi ile alınabiliyor
BYKHY (2007)	Yapı bazlı yangın yönetmeliği	Ev tekstilini doğrudan kapsamaz

3. AVRUPA BİRLİĞİ'NDE EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI

Avrupa Birliği (AB), yangın güvenliği konusunda köklü ve teknik temelli düzenlemelere sahip olmakla birlikte, ev tekstil ürünleri özelinde zorunluluk dereceleri ülke bazında farklılık göstermektedir. AB düzeyinde doğrudan bağlayıcı bir “tek tip ev tekstili yanıcılık mevzuatı” bulunmamakla birlikte, EN standardizasyon sistemi kapsamında kabul edilen test metotları hem teknik değerlendirme hem de pazar denetimi açısından yaygın şekilde kullanılmaktadır.

AB ülkelerinde yangın olarak uygulanan başlıca testler arasında:

- **EN ISO 6940** ve **EN ISO 6941** (yatay ve düşey alevle tutuşma testleri),
- **EN ISO 4589-2** (Limit Oksijen İndeksi testi),
- **EN 1021-1/2** (sigara ve kibritle tutuşturma testi) yer almaktadır.

Bu testlere ev tekstil ürünlerinin yanma davranışlarının karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılmakta, ancak zorunlu hâle getirilme durumu üye ülkelere bırakılmaktadır (CEN, 2016; Dabadéan, 2023).

Örneğin;

- **Fransa, Almanya, Hollanda** gibi ülkelerde kamu binalarında kullanılan tekstiller için bu testler zorunlu hâle getirilmişken,
- **İtalya ve Polonya** gibi ülkelerde bu uygulama öneri düzeyindedir.
- **İskandinav ülkeleri** ise özellikle perdeler, çocuk odası ürünleri ve döşemelik kumaşlarda alev geciktirici uygulamaları yasal zorunlulukla desteklemektedir (UBA, 2024).

AB genelinde kimyasal içerik denetimleri ise REACH Tüzüğü çerçevesinde yürütülmektedir. Ancak bu tüzük, yangına dayanım değil; toksik madde kullanımını sınırlamaya yöneliktir.

Ev tekstilleri özelinde doğrudan bağlayıcı bir direktif bulunmamakla birlikte, Construction Products Regulation (CPR) ve General Product Safety Directive (GPSD) gibi çerçeve yönetmelikler, ürünlerin genel güvenlik kriterlerine uygunluğunu zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, üretici firmalar ürünlerin “alev almazlık” özelliğini gönüllü olarak beyan edebilmekte ve CE işareti ile destekleyebilmektedir. Ancak bu sistem çoğunlukla gönüllülük esasına dayalıdır ve tüketici ürünlerinde bir zorunluluk teşkil etmez.

Tüm bu veriler ışığında, Avrupa Birliği içinde ev tekstillerine yönelik yangın güvenliği uygulamaları ülkesel düzenlemelere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ancak test altyapısı, laboratuvar standardizasyonu ve risk grubu temelli ürün sınıflaması açısından AB sisteminin Türkiye’ye kıyasla daha gelişmiş ve teknik temellere dayalı bir yapı sunduğu söylenebilir.

Test / Mevzuat	Açıklama	Zorunluluk Durumu
EN ISO 6940 / 6941	Yatay/düşey alevle tutuşma testleri	Fransa, Almanya: zorunlu; bazı ülkelerde öneri
EN ISO 4589-2	LOI testi (güç tutuşurluk)	Yaygın ama bağlayıcı değil
EN 1021-1/2	Sigara / kibrit testi (mobilya döşemesi için)	İskandinavya: zorunlu
REACH Tüzüğü	Kimyasal içerik kısıtlamaları	Tüm AB’de bağlayıcı
CPR, GPSD	Ürün güvenliği çerçeve düzenlemeleri	Zorunlu ancak tekstilde doğrudan değil

4 . BİRLEŞİK KRALLIK’TA EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI

Birleşik Krallık, ev tekstil ürünlerine yönelik yanıcılık mevzuatını yasal düzeyde zorunlu kılan ilk ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle 1988 tarihli Furniture and Furnishings (Fire) (Safety) Regulations – FFR yönetmeliği, tekstil kaplı ürünler için alev geciktirici testleri ve etiketleme yükümlülüklerini zorunlu hâle getirmiştir. Bu düzenleme, yalnızca kamuya açık alanlarda değil, konut tipi ürünlerde de zorunlu test, sertifikasyon ve uyarı etiketleme süreçlerini kapsamaktadır (UK Statutory Instruments, 1988).

FFR kapsamında:

- Döşemelik kumaşlar,
- Dolgu malzemeleri (örn. sünger, elyaf yastıklar),
- Yatak sistemleri,
- Tül perde ve stor sistemleri gibi ürünler,

Sigara testi, alevle tutuşma testi ve damlama testi gibi birden fazla yanıcılık değerlendirmesinden geçirilmek zorundadır. Bu testlerde BS 5852, BS 7175, BS 7177 gibi yerel test standardizasyonları kullanılmakta; ürünler

piyasaya arz edilmeden önce bu testlerden geçmek ve etiketlenmiş olmak zorundadır.

Özellikle çocuk odalarına yönelik perdeler, yatak örtüleri ve çocuk mobilyaları için daha sıkı sınıflandırmalar uygulanmaktadır. Tüketiciciyi bilgilendirme amacıyla ürün etiketlerinde “Fire Resistant” veya “Must be used with fire-resistant interliner” gibi uyarıların yer alması da yasal zorunluluk kapsamındadır (Health Canada, 2016; FSRI, 2020).

FFR düzenlemeleri kapsamında:

- Yanma performansı testi yapılmamış ürünlerin satışı yasaktır.
- Üretici, her ürün tipi için test raporu ve sertifikasyon belgesi sunmak zorundadır.
- Ayrıca ithal ürünler için de aynı test ve belgelendirme süreçleri geçerlidir.

Brexit sonrasında da Birleşik Krallık bu sistemini korumakta ve UKCA (UK Conformity Assessed) etiketi üzerinden iç pazarda geçerliliğini sürdürmektedir. Bu etiket, CE işaretinin yerine geçmiş ve benzer şekilde yangın performansı da dahil olmak üzere ürün güvenliği testlerini belgelemektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Birleşik Krallık ev tekstil ürünlerinde ürün bazlı zorunlu test sistemini, tüketiciye açık şekilde etiketlemeyi ve denetim mekanizmasını birlikte yürüten ender ülkelerden biridir. Bu durum, tekstil bazlı ev yangınlarında ölüm ve hasar oranlarının düşürülmesinde önemli bir katkı sağlamaktadır (Stec & Hull, 2011).

Regülasyon / Test	Uygulama Alanı	Zorunluluk Durumu
FFR (1988)	Tüm ev tipi tekstil ürünleri	Yasal olarak zorunlu
BS 5852 / BS 7175 / BS 7177	Döşemelik kumaş, yatak, perde vs.	Test ve belgelendirme zorunlu
Etiketleme (Fire Resistant vb.)	Tüm ürünlerde uyarı etiketi	Yasal zorunluluk
UKCA	Brexit sonrası CE yerine geçerli belge	İç pazarda zorunlu

5. AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ'NDE EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI

Amerika Birleşik Devletleri'nde ev tekstil ürünlerinin yangınlığına ilişkin düzenlemeler, federal ve eyalet düzeyinde çok katmanlı bir sistem içinde yapılandırılmıştır. Tüketici ürünlerinin yangın güvenliğini sağlamak amacıyla CPSC (Consumer Product Safety Commission) başta olmak üzere farklı kurumlar tarafından yönlendirilen standartlar, ürün türüne göre farklı düzenlemeler içermektedir. Özellikle perde, yatak örtüsü, mobilya döşemesi ve yataklar gibi ev tekstillerinde zorunlu test uygulamaları mevcuttur.

Federal Düzeyde Mevzuatlar:

ABD genelinde yürürlükte olan temel regülasyonlardan biri 16 CFR Part 1630/1631'dir. Bu düzenleme, halı ve halıfleks ürünleri ile çocuklara yönelik yatak takımları için yanmazlık testi zorunluluğu getirmektedir. Ayrıca 16 CFR Part 1610 çerçevesinde tüm tekstil yüzey ürünleri için alevlilik sınıflandırması yapılmakta ve "Class 1–2–3" kategorilerine göre ürünlerin pazara arzına izin verilmektedir (ASTM, 2023).

- **Class 1:** Güvenli (Normal alev yayılımı)
- **Class 2:** Sınırlı kullanım (Orta düzeyde alev yayılımı)
- **Class 3:** Tehlikeli – satışa uygun değil

Buna ek olarak, Federal Flammable Fabrics Act (FFA), tüm tekstil ürünlerinde yangın güvenliği açısından temel çerçeveyi oluşturmaktadır. Bu yasa, ürün bazlı değil, performans bazlı test sonuçlarına göre pazara arzın mümkün olduğunu belirtmektedir.

Eyalet Düzeyinde Ek Düzenlemeler:

ABD'de bazı eyaletler federal mevzuata ek olarak kendi özel regülasyonlarını geliştirmiştir. Bu çerçevede en kapsamlı ve sıkı uygulama California Eyaleti tarafından yürürlüğe konan Technical Bulletin 117-2013 (TB117) ile sağlanmaktadır. TB117, döşemeli mobilya ürünleri için ısı salım hızı (HRR), alev yayılım süresi, alevle temas sonrası erime davranışı gibi birçok performans parametresini içeren kapsamlı testler öngörmektedir (CalFire, 2013).

TB117 kapsamında tüm döşemeli ürünlerde:

- Dolgu malzemesi (ör. sünger),
- Kumaş kaplama (ör. polyester, akrilik),
- İç yapı elemanları (ör. elyaf karışımı)

alevle karşılaştırmalı testlerden geçmek zorundadır. Ürünler test sonuçlarına göre "pass/fail" (geçti/kaldı) şeklinde sınıflandırılır ve etiketlenir. Bu etiketleme uygulaması, tıpkı Birleşik Krallık'taki gibi, tüketicinin bilgilendirilmesini de içerir.

ABD sisteminde dikkat çeken bir diğer yön ise toksikolojik riskler ve çevresel etki açısından da değerlendirme yapılmasıdır. Özellikle FR (alev geciktirici) kimyasalların toksik etkileri nedeniyle alternatif sürdürülebilir test sistemleri geliştirme çabaları artmaktadır (Malucelli, 2024; Hull & Stec, 2012).

ABD sisteminde farklı eyaletlerin farklı sertifikasyon sistemleri (örn. TB117, TB603) bulunduğundan, üreticilerin hem federal hem de bölgesel yükümlülüklerle göre ürün geliştirmesi gerekmektedir. Bu da ABD pazarını, mevzuat çeşitliliği bakımından en karmaşık sistemlerden biri hâline getirmektedir.

Yönetmelik / Standart	Kapsam	Zorunluluk Durumu
16 CFR 1610	Tüm tekstil ürünlerinde alev yayılım testi	Federal düzeyde zorunlu
16 CFR 1630/1631	Halı, çocuk yatak ürünleri	Zorunlu
Federal Flammable Fabrics Act	Tüm tekstiller (genel çerçeve yasa)	Federal düzeyde bağlayıcı
TB117-2013 (California)	Döşemeli mobilya ürünleri	Eyalet düzeyinde zorunlu (CA)
Etiketleme sistemi (TB117)	Test sonucu bildirim zorunluluğu	Zorunlu (eyalet bazlı)

6. KANADA'DA EV TEKSTİLLERİNE YÖNELİK YANGIN MEVZUATI

Kanada, ev tekstil ürünlerinin yanıcılığına yönelik düzenlemeleri hem federal yasa düzeyinde hem de ürün türüne özel teknik standartlarla yapılandırmış bir ülkedir. Özellikle tüketici ürün güvenliği odağında çalışan Health Canada ve Canadian General Standards Board (CGSB) kurumları aracılığıyla birçok tekstil ürününde yanıcılık testleri zorunlu kılınmıştır.

Federal Düzenlemeler:

Kanada'da ev tekstilleri, özellikle aşağıdaki ürün grupları açısından doğrudan yasal düzenlemelere tabidir:

- Yatak ve yatak takımları
- Döşemelik kumaşlar ve mobilya içi dolgu malzemeleri
- Bebek ve çocuk ürünleri (uyku tulumları, battaniyeler, vb.)
- Perdeler ve stor sistemleri

Bu kapsamda Canada Consumer Product Safety Act (CCPSA), tekstil ürünlerinin pazara arz edilmeden önce alevlilik testlerine tabi tutulmasını zorunlu kılar. CCPSA'ya bağlı olarak uygulanan teknik test standardı ise SOR/2016-194: Textile Flammability Regulations'dur. Bu düzenleme, tekstil ürünlerinin yanma süresi, alev yayılım mesafesi, dikey/düşey alev karşısında davranışı gibi parametrelerini içeren deneyleri kapsamaktadır.

Örneğin:

- Kumaşın test alevine maruz kaldıktan sonra 3.5 saniyeden daha kısa sürede yanarak 127 mm (5 inç) mesafe kat etmesi

halinde, ürün tehlikeli olarak sınıflandırılır ve piyasaya arzı yasaktır.

- Çocuk ürünleri için daha sıkı sınırlar uygulanmakta ve “self-extinguishing” (kendi kendine sönen) özelliğin sağlanması beklenmektedir (Health Canada, 2022).

Etiketleme ve Uygulama:

Tıpkı Birleşik Krallık ve ABD’de olduğu gibi, Kanada’da da ürünlerin yangın testi geçmişini gösteren etiketleme sistemleri zorunludur. Tüketicinin, ürünün hangi testleri geçtiğini, hangi sertifikasyona sahip olduğunu ve kullanım sınırlamalarını etiket üzerinden görmesi yasal zorunluluktur.

Ayrıca ithalatçı ve üreticiler, her bir ürün serisi için:

- **Test raporu,**
- **Uygunluk beyanı,**
- **Laboratuvar sertifikası** gibi belgeleri Health Canada’ya sunmakla yükümlüdür.

Kanada mevzuatı, aynı zamanda alev geciktirici (FR) kimyasalların insan sağlığına ve çevreye etkisini de dikkate alarak, toksikoloji temelli regülasyonları da yangın testlerine entegre etmiştir. Bu yönüyle Kanada, yalnızca yangına dayanıklılığı değil, yangın güvenliğini insan sağlığıyla birlikte değerlendiren bütüncül bir sistem sunmaktadır.

Yönetmelik / Standart	Kapsam	Zorunluluk Durumu
CCPSA (Consumer Product Safety Act)	Tüm tekstil ürünlerinde yanıcılık sınırlamaları	Federal düzeyde zorunlu
SOR/2016-194 (Textile Flammability Regulations)	Performans testleri (alev, süre, mesafe)	Tüm ev tekstillerinde geçerli
Health Canada Etiketleme Sistemi	Ürün bilgilendirme zorunluluğu	Tüm üreticiler için zorunlu
Çocuk ürünleri ek testleri	Uyku tulumu, battaniye, nevresim vb.	Daha sıkı kriterler geçerli

7. DİĞER ÜLKELER: ÇİN, GÜNEY KORE, RUSYA VE JAPONYA ÖRNEĞİ

Avrupa ve Kuzey Amerika ülkelerinde ev tekstil ürünlerine yönelik yangın güvenliği düzenlemeleri oldukça kapsamlı, ürün bazlı ve lif temelli olarak kurgulanmışken; Çin, Güney Kore, Rusya ve Japonya gibi sanayileşmiş ülkelerde bu alandaki mevzuat yapısı daha çok malzeme sınıfı, bina güvenliği ve genel tekstil ürünleri çerçevesinde şekillenmektedir. Bu ülkelerde teknik test altyapısı ve standardizasyon sistemleri güçlü olmakla birlikte, ev içi tekstillere özel zorunlu sınıflandırmalar ve lif bazlı test uygulamaları sınırlı düzeydedir.

Çin

Çin’de ev tekstilleri doğrudan düzenlenen bir kategori olmasa da, dekoratif kumaşlar için yangın güvenliği performansı zorunlulukları mevcuttur. GB 8624-2012 standardı kapsamında tekstil malzemeleri “B1–B2–C” gibi sınıflarla değerlendirilmekte ve kamu alanlarında kullanılan kumaşların B1 (zor tutuşur) düzeyinde olması beklenmektedir. Ayrıca perde, halı gibi ürünlerde alev yayılım mesafesi ve duman salımı gibi parametreler test edilmektedir. Ancak konut içi kullanım için zorunluluk bulunmamaktadır.

Güney Kore

Güney Kore’de “Act on Fire Prevention and Installation of Fire-Fighting Facilities” (2020) yasası ile perdeler, halılar ve diğer iç dekorasyon malzemeleri, kamuya açık alanlarda alev geciktirici özellik taşıma zorunluluğu olan malzemeler arasında yer alır. Ancak ev tipi ürünlerde bu tür testler sadece belirli projelere özel veya gönüllü uygulamalarla sınırlıdır. Kore Standartları (KS) teknik düzeyde uygulanmakta ancak mevzuata tam entegre edilmiş değildir.

Rusya

Rusya’da ev tekstil ürünlerinin yangınlığı, Federal Law No. 123-Φ3 “On Fire Safety” ve GOST R 50810-95 gibi düzenlemelerle teknik olarak ele alınmaktadır. GOST standardı tekstil ürünlerinde alev yayılımı, tutuşma süresi ve erime davranışı gibi parametreleri değerlendirir. Ayrıca “GOST R Fire Certificate” sistemi kapsamında bazı ürünler yangın testlerinden geçirilerek belge alır. Ancak sistem Avrupa’daki gibi ürün bazlı değil, kapsamlı bina malzemesi kategorileri içinde değerlendirme yapar. Etiketleme ya da lif bazlı test zorunluluğu yoktur.

Japonya

Japonya’da ev tekstillerine özel yangın güvenliği mevzuatı mevcut değildir. Ancak Household Products Law (Law No. 112) çerçevesinde bazı alev geciktirici kimyasalların sınırlandırılması, özellikle çocuk ürünlerinde uygulanmaktadır. Ayrıca Japan Fire Retardant Association (JFRA) tarafından yürütülen gönüllü sertifikasyon sistemi ile tekstil ürünlerinin alev geciktirici performansları ölçülmekte ve etiketlenmektedir. Ancak bu uygulama bağlayıcı değildir; ürün bazlı ve zorunlu test sistematığı bulunmamaktadır.

Ülke	Temel Mevzuat / Standart	Ev Tekstiline Yönelik Zorunluluk	Uygulama Düzeyi
Çin	GB 8624-2012	Dekoratif tekstiller için B1-B2-C sınıfı	Kamu alanı odaklı
Güney Kore	Fire Prevention Act (2020)	Perde/halı vb. malzemeler için alev testi	Kamu alanlarında sınırlı zorunlu
Rusya	GOST R 50810-95, Federal Law 123-Φ3	Malzeme bazlı değerlendirme	Zorunlu test var, ev içi değil
Japonya	Law 112, JFRA gönüllü sertifikasyon	Sadece kimyasal sınırlar zorunlu	Gönüllülük esaslı

8. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Ev tekstil ürünlerine yönelik yangın güvenliği mevzuatı, ülkeden ülkeye büyük farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar yalnızca uygulanan test türlerinde değil, aynı zamanda mevzuatın bağlayıcılık düzeyinde, ürün bazlı zorunluluklarda, lif temelli sınıflandırma yapısında ve tüketici bilgilendirme sistemlerinde de kendini göstermektedir.

Avrupa Birliği, Birleşik Krallık, ABD ve Kanada gibi ülkeler, ev tekstil ürünlerine ilişkin yangın güvenliği uygulamalarını detaylı biçimde yapılandırmıştır. Bu ülkelerde ürünler genellikle alev yayılım hızı, ısı salım hızı (HRR), tutuşma sıcaklığı, duman yayılımı, kimyasal toksisite gibi parametreler çerçevesinde çok boyutlu testlere tabi tutulmakta; ürün tipine göre zorunlu sınıflandırmalar ve sertifikasyon süreçleri uygulanmaktadır.

Özellikle Birleşik Krallık (FFR 1988) ve Kanada (SOR/2016-194), ev tipi döşemelik kumaşlar, yatak ve perde sistemleri için zorunlu test, belge ve etiketleme sistemine sahip nadir ülkelerdendir. ABD ise eyaletler düzeyinde farklılaşan ama teknik olarak çok gelişmiş test prosedürleri (örn. TB117) ve alev sınıfları (CFR 1610: Class 1–3) ile yangın güvenliğini yönetmektedir. Bu ülkelerde ürünün pazara arz edilmeden önce testten geçirilmesi yasal zorunluluktur.

Buna karşın Türkiye, Çin, Güney Kore, Rusya ve Japonya gibi ülkelerde ev tekstil ürünlerine özel doğrudan bir zorunluluk bulunmamakta; uygulamalar ya gönüllülük esasına ya da kamu alanlarına özel projelere dayanmaktadır. Türkiye’de uygulanan TS EN kökenli testler teknik olarak tanımlanmış olmakla birlikte, ev tipi ürünlerde kullanım zorunluluğu yoktur. Benzer şekilde Çin ve Güney Kore’de test altyapısı güçlü olsa da, kamu kullanım alanlarıyla sınırlı düzenlemeler geçerlidir. Japonya ve Rusya’da ise daha çok kimyasal içerik sınırlandırması, yangın geciktirici katkı maddeleri, gönüllü sertifikasyonlar gibi yöntemler öne çıkmakta; ürün tipine göre bağlayıcı test sistemleri bulunmamaktadır.

Tüm bu veriler, dünya genelinde yangın güvenliği politikasının iki ekseninde ayrıştığını ortaya koymaktadır:

1. Zorunlu, çok boyutlu, ürün bazlı yaklaşımı benimseyen ülkeler (UK, ABD, Kanada gibi)

2. Teknik standarda dayalı, gönüllülüğe açık ve sınırlı bağlayıcılığa sahip sistemler (Türkiye, Çin, Rusya, Kore, Japonya)

Bu bağlamda Türkiye gibi ülkelerde yangın güvenliği mevzuatının yalnızca yapı bazlı değil; ev tekstili gibi yüksek yüzey alanına sahip, tutuşma riski yüksek ürün gruplarına özel olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ev tekstil ürünlerinin yangın güvenliği açısından taşıdığı riskler, kullanılan lif türlerine bağlı yanıcılık özellikleri ve farklı ülke mevzuatlarının karşılaştırmalı analizi üzerinden kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, lif temelli malzeme seçiminin yalnızca ürünün tutuşabilirliğini değil; alev yayılım hızını, flashover süresini, toksik gaz salınımını ve yangının genel gelişimini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Özellikle pamuk, polyester ve polipropilen gibi yaygın liflerin düşük LOI değerleri ve yüksek HRR profilleri nedeniyle, ev yangınlarının hızla büyümesine neden olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur.

Literatürde yapılan inceleme, Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkenin, ev tekstilleri için doğrudan zorunlu bir yangın güvenliği standardı uygulamadığını; uygulamaların genellikle yapı bazlı, gönüllü test esasına dayalı veya kamu alanları ile sınırlı olduğunu göstermektedir. Buna karşın Birleşik Krallık, Kanada ve ABD gibi ülkeler; ürün tipi, kullanım yeri ve yangın davranışına göre detaylı ve bağlayıcı test rejimlerine sahiptir. Bu sistemler sayesinde yalnızca üreticinin değil, tüketicinin de bilinçli tercih yapabilmesi adına etiketleme, belge sunumu ve denetim süreçleri oluşturulmuştur.

Türkiye'de ise TS EN ISO 6940, TS EN 1021-1/2 ve TS EN ISO 4589-2 gibi teknik testler var olmakla birlikte, konut tipi ürünlerde uygulanması zorunlu değildir. Bu durum, özellikle perde, halı, yatak örtüsü gibi geniş yüzeyli tekstil ürünlerinin yangın sırasında ciddi bir "yangın yükü" oluşturmasına neden olmaktadır. Gerek üretim gerekse kullanım aşamasında, ürünlerin yangın performansına ilişkin bilgilerin kullanıcıya sunulmaması da risk farkındalığını azaltmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın önerileri şu şekilde sıralanabilir:

1. Ev tekstillerine yönelik zorunlu yangın testleri (alev yayılımı, LOI, HRR, toksik gaz salımı) içeren ürün bazlı bir mevzuat yapısı oluşturulmalıdır.

2. TS EN ISO ve uluslararası test standartları, konut tipi ürünlerde de bağlayıcı hâle getirilerek denetim sistemine entegre edilmelidir.

3. Üreticiler için yangın performansı etiketleme zorunluluğu getirilerek, tüketicinin bilinçli tercih yapması desteklenmelidir.

4. Özellikle çocuk, yaşlı veya hasta bireylerin yaşadığı evlerde kullanılan tekstil ürünlerinde daha sıkı yanmazlık kriterleri uygulanmalıdır.

5. Kamu ihalelerinde olduğu gibi, iç piyasadaki ürünlerde de zorunlu uygunluk belgeleri ve gönüllü sertifikasyon sistemleri teşvik edilmelidir.

6. Türkiye, yangın güvenliği konusunda uluslararası standartlarla uyumlu bir politika geliştirmeli; yalnızca yangın söndürme değil, yangın önleme odaklı ürün güvenliği sistemleri benimsemelidir.

Sonuç olarak, ev yangınlarının önlenmesi yalnızca mimari çözümlerle değil; kullanılan malzemenin niteliği ve standartlara uygunluğu ile mümkündür. Bu bağlamda tekstil ürünlerinin yangın güvenliği risk analizinde temel bir bileşen olarak değerlendirilmesi ve buna uygun yasal altyapının oluşturulması hem insan sağlığı hem de mal güvenliği açısından stratejik bir gerekliliktir.

KAYNAKÇA

- Aly, A. A. (2023). Thermal response of textile materials under fire conditions. *Fire and Materials*, 47(3), 321–336.
- Ali, H. M., & Mohammed, R. M. (2015). Flammability behaviour of textile materials: An overview. *Journal of Textile Engineering*, 61(3), 145–156.
- ASTM. (2023). *ASTM E84: Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*.
- ASTM. (2023). *D1230: Standard Test Methods for Flammability of Clothing Textiles*. ASTM International.
- Baltušnikaitė, J., Šuminskienė, N., & Milašius, R. (2006). Influence of weave structure on flammability and thermal behaviour of fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14(4), 45–50.
- Blomqvist, P., Hertzberg, T., Rosen, K., & Markowicz, P. (2018). Emissions from fires: Toxic hazards. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 1135–1200). Springer.
- Buchanan, A. H. (2014). *Structural design for fire safety*. John Wiley & Sons.
- CalFire. (2013). *Technical Bulletin 117-2013: Requirements, Test Procedure and Apparatus for Testing the Smolder Resistance of Materials*.
- CEN. (2016). *EN ISO 6940, EN ISO 6941, EN ISO 4589-2*. European Committee for Standardization.
- Choudhury, A. K. R. (2020). *Flame Retardants for Textile Materials*. CRC Press.
- Dabadéan, C. (2023). Flame retardant performance of textiles in the EU context. *Journal of Fire Sciences*, 41(2), 134–148.
- Dabedan, A. (2025). Fire Performance of Furnishing Textiles. *Journal of Fire Sciences*, 43(1), 67–84.
- Das, S. (2018). *Performance of Home Textiles*. Woodhead Publishing India.
- European Fire Safety Alliance. (2022). *Annual Statistics Report*.
- Fabian, T. Z., & Gandhi, P. D. (2013). Effectiveness of barrier fabrics in delaying flashover during full-scale residential fires. *Fire Safety Journal*, 58, 37–47.
- Form Teknik. (2025). *Yangın yerindeki tehlikeler*. <https://www.formteknik.com.tr/bilgi-arsivi/yangin-yerindeki-tehlikeler/>
- FSRI. (2020). *Fire Dynamics Training Material*. UL Firefighter Safety Research Institute.
- FSRI. (2020). *Fire safety in upholstered furniture: Comparative analysis across national regulations*. Fire Safety Research Institute Report.
- Gann, R. G., & Averill, J. D. (2011). Fire behavior and risk assessment in residential buildings. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 367–385). Springer.

- Gann, R. G., & Averill, J. D. (2011). Fire behavior of upholstered furniture and mattresses. *NIST Special Publication 1447*.
- Grover, I. N., Yadav, R., & Bhattacharjee, D. (2014). Fire Protection, Flammability and Textile Fibres. *Colourage*, 61(9), 45–53.
- Hammond, E. D., & Statham, I. (1992). *The flammability of textiles and upholstered furniture: A review*. Home Office Fire Research & Development Group Report.
- Hasofer, A. M., & Thomas, I. R. (2006). Analysis of fatalities and injuries in building fire statistics. *Fire Safety Journal*, 41(1), 2–14.
- Hawas, H. M. (2017). Influence of fabric structural parameters on flame spread and thermal resistance of upholstery textiles. *International Journal of Home Textiles*, 5(2), 33–42.
- Health Canada. (2016). *Hazardous Products (Children's Products) Regulations*.
- Health Canada. (2016). *Guidance for flammability standards of textile products*. Consumer Product Safety Bureau.
- Health Canada. (2022). *SOR/2016-194 Textile Flammability Regulations*.
- Horrocks, A. R., & Price, D. (2008). *Fire retardant materials*. Woodhead Publishing.
- Horrocks, A. R., & Price, D. (2008). Advances in flame retardant materials. In *Fire Retardant Materials* (2nd ed.). CRC Press.
- Hull, T. R., & Stec, A. A. (2011). Flammability Handbook for Textiles. In A. R. Horrocks & D. Price (Eds.), *Fire Retardant Materials* (pp. 108–145). CRC Press.
- Hull, T. R., & Stec, A. A. (2012). Fire toxicity and environmental concerns of flame retardants: A review. *Polymer Degradation and Stability*, 97(12), 2235–2250.
- Japan Fire Retardant Association. (2023). *Outline of certification system for flame-retardant products*. <https://www.jfra.or.jp/pdf/outline.pdf>
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. CRC Press.
- Khandual, A., Nayak, R. K., & Kumar, A. (2015). Heat release and flammability properties of textile materials: A comprehensive review. *Journal of Industrial Textiles*, 45(2), 272–296.
- Kumar, S., & Barbhai, M. (2023). Fire safety risks in home textile products. *Fire Technology Reports*, 59(4), 975–990.
- Malucelli, G. (2024). Flame retardant treatments for textiles: Current status and new trends. *Polymer Degradation and Stability*, 210, 110105.
- Malucelli, G. (2024). High-performance fire-retardant textiles: New formulations and sustainable strategies. *Polymers for Advanced Technologies*, 35(4), 377–394.
- Morrisset, B., Gauthier, L., & Ménard, J. (2024). Full-scale fire tests on upholstered furniture. *Fire Safety Journal*, 137, 103624.

- Morrisset, M., Leclaire, J., & Dupuis, M.** (2024). Fire dynamics of domestic textile furnishings: Wool vs. cotton coverings. *Fire and Materials*, 48(1), 17–29.
- Nazaré, S.** (2012). Toxicity issues in fire retardant applications. *Fire Safety Journal*, 51, 92–99.
- Nazaré, S.** (2012). Flammability testing of textiles. In J. McKinnon (Ed.), *Textiles for Protection* (pp. 277–304). Woodhead Publishing.
- NFPA.** (2019). *NFPA 701: Standard Methods of Fire Tests for Flame Propagation of Textiles and Films*.
- Parmar, M., & Malik, P.** (2018). Fire retardant performance and comfort characteristics of home textile fabrics. *Textile Research Journal*, 88(4), 465–477.
- Song, G., Paskaluk, S., Sati, R., Crown, E. M., & Dale, J.** (2019). Thermal protective performance of fabrics under different test conditions. *Fire and Materials*, 43(1), 52–61.
- Stec, A. A., & Hull, T. R.** (2011). Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 43(2–3), 498–506.
- TSE.** (2012). *TS EN 1021-1/2*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TSE.** (2012). *TS EN ISO 6940: Tekstil kumaşları – Tutuşma davranışı – Yatay konumda kolay tutuşma tayini*.
- TSE.** (2016). *TS EN ISO 6940/6941/4589-2*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TSE.** (2016). *TS EN ISO 4589-2: Plastikler – Oksijen indeksi tayini – Bölüm 2: Kararlı durum testi*.
- UBA.** (2024). Flame retardants in consumer products and their regulation in the EU: Position Paper. German Environment Agency.
- UK Statutory Instruments.** (1988). *Furniture and Furnishings (Fire) (Safety) Regulations*.
- Van Hees, P., Larsson, I., & Hendriks, R.** (2020). Review of fire safety regulations for textile products in the EU. *Fire Technology*, 56(5), 2143–2165.
- Yulong FR Textile Co.** (2023). China's commonly used flame retardant textile standards. <https://www.yulongfrtex.com>