

TEKSTİLDE GÜÇ TUTUŞURLUK

*Zeynep ÖMEROĞULLARI**
*Dilek KUT**

Özet: Bu çalışmada, tekstil materyallerinin yanma davranışına, güç tutuşur maddeler ve etki mekanizmalarına, güç tutuşurluk elde etmek için kullanılan temel ve yeni yöntemlere, güç tutuşurluk test yöntemlerine, güç tutuşur maddelerin toksik etkilerine ve son yıllarda bu konuda yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yanma davranışı, Tekstil materyalleri, Güç tutuşur maddeler, Güç tutuşurluk test yöntemleri, Son çalışmalar

Flame Retardancy in Textile

Abstract: In this study, burning behaviors of textile materials, flame retardants and their influence mechanisms, basic and new methods to provide flame retardancy, flame retardant test methods, toxicity problems of flame retardants and last studies that were made about this topic are mentioned.

Key words: Burning behavior, Textile materials, Flame retardants, Flame retardant test methods, Last studies

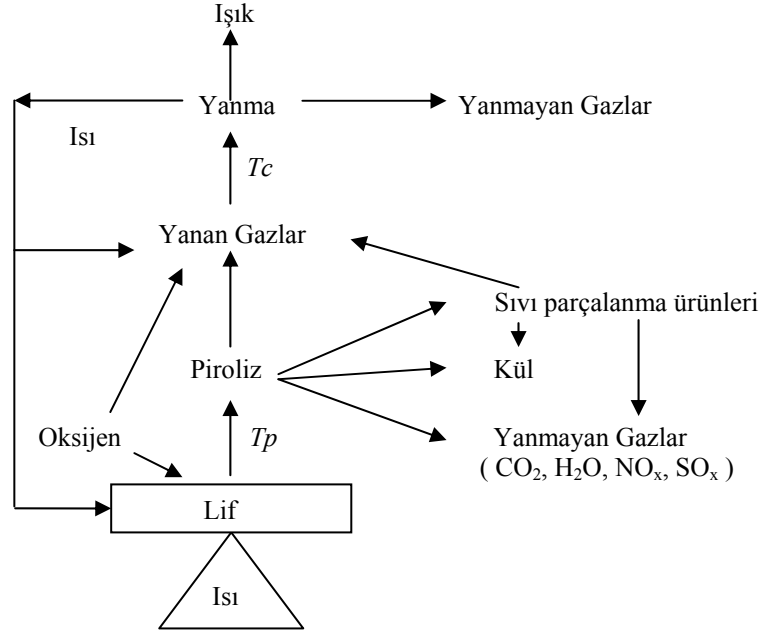
1. GİRİŞ

Çoğu organik esaslı tekstil ürünlerinin iyi derecede yanma özelliğinin olması, bu ürünlerin en yakınımızda ve yaşamımızın her alanında yaygın olarak bulunması, tekstil ürünlerinin yangınlarda büyük risk faktörü olmasına sebep olmuştur. Günümüzde sanayileşmenin artmasıyla birlikte toplu yerleşim bölgelerinin fazlaşması ve teknolojinin gelişmesi yangın risklerini çoğaltmış dolayısıyla ısı ve alevden koruyucu tekstillerin kullanımını kaçınılmaz kılmıştır (Çoban, 1999; Horrocks ve Anand, 2000; Horrocks ve Price 2001; Kalın, 2008; Chivas ve diğ., 2009; Forouharshad ve diğ., 2011; Eede ve diğ., 2011). Bu tekstillerin yanı sıra, taşımacılık ve ev teknik tekstillerinde döşemelik kumaşların üretiminde, yandığı zaman zehirli gaz çıkarmayan ve tutuşma sıcaklığı yüksek olan lifler tercih edilmektedir. Özellikle sıcak gaz filtrasyonunda, dokuma kayışlarda, halat ve kablolarda yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı lifler kullanılmakta ve mobilyalarda yay yerine esnekleştirilmiş dar dokuma bantların ve toksik gazlar çıkaran tehlikeli köpüklerin yerine, güç tutuşur dolgu ve astar kumaşlar tercih edilmektedir (Mecit ve diğ., 2007). Isı ve alevden korunma gerektiren her türlü alanda güç tutuşur lifler kullanmak veya tekstil üzerine çeşitli güç tutuşurluk işlemleri yapma gerekliliği son dönemlerde yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Güç tutuşur ürün elde etmede temel amaç yanmayı önlemek olsa da, ürünün konforlu, insan hareketini kısıtlamayacak şekilde, kompakt ve hafif, etkisinin kuvvetli, ürün üzerinde kalıcılık süresinin uzun; tekrarlı yıkama, kurutma ve kuru temizlemeye karşı dayanıklı, aynı zamanda çevre dostu olması gerekir. Bunların dışında toksik özelliğinin bulunmaması ve maliyetinin yüksek olmaması güç tutuşur üründen beklenen özellikler arasındadır. Yapılan çalışmalar tüm bu beklentileri karşılayacak ürün geliştirme üzerine yoğunlaşmıştır (Horrocks ve Anand, 2000; Horrocks ve Price, 2001; Mecit ve diğ., 2007; Schindler ve Hauser, 2004; Chivas, 2009; Horrocks, 2010).

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.
İletişim Yazarı: Z. Ömeroğulları (zeynepomeroglu@uludag.edu.tr)

2. TEKSTİL MATERYALLERİNİN YANMA DAVRANIŞI

Yanma; ısı, oksijen ve uygun yakıt bileşenlerine ihtiyaç duyan ekzotermik bir reaksiyondur. Geri kalan şartlar ihmal edildiğinde, yanma kendi kendine katalizlenir duruma gelir ve oksijen, yakıt kaynağı veya ısı tüketilinceye kadar devam eder (Schindler ve Hauser, 2004; Pabelina ve diğ., 2012). Şekil 1’de tekstil liflerinin yanma diyagramı verilmiştir.



Şekil 1:
Tekstil Lifleri İçin Yanma Döngüsü (Schindler ve Hauser, 2004)

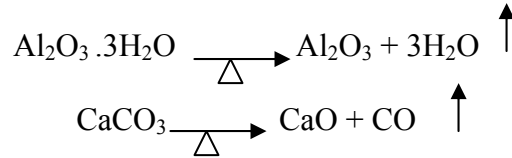
Isı sağlandığı zaman, piroliz sıcaklığına (T_p) ulaşmaya kadar, lifin sıcaklığı artmaya başlar. Piroliz sıcaklığında, lifte kimyasal değişiklikler meydana gelir ve yanmayan gazlar (karbondioksit, su buharı, azot ve kükürt oksit gibi), kömürleşme artıkları, sıvı kondensatlar ve yanabilen gazlar (karbonmonoksit, hidrojen ve pek çok okside olabilen organik moleküller) oluşur. Sıcaklık artmaya devam ettikçe, sıvı parçalanma ürünleri de daha fazla yanmayan gaz, kül ve yanan gaz üretirken piroliz olur. Yanma sıcaklığına (T_c) ulaşıldığında, gaz fazında bir dizi serbest radikal reaksiyonundan oluşan ve yanan gazların oksijenle birleşmesi ile meydana gelen yanma dediğimiz olay gerçekleşir. Bu reaksiyonlar yüksek derecede ekzotermiktir ve çok büyük miktarda ışık ve ısı üretir. Yanma işlemi tarafından sağlanan ısı, lifin piroliz olmaya devam etmesi için gereken ek termal enerjiyi ve dolayısıyla yanma işlemi için daha fazla miktarda yanan gazların ortaya çıkmasını sağlar (Schindler ve Hauser, 2004).

Yanma davranışı lif tipi ve lif karışımlarının yanı sıra, tutuşturma kaynağının yapısı ve kumaşa çarpma süresi, kumaş oryantasyonu, tutuşma noktası (kumaşın kenarı, yüzü, altı veya üstü), çevre sıcaklığı, bağıl nem, havanın akış hızı ve kumaş yapısı gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Ayrıca iplik yapısının ve geometrisinin yanma davranışına etkisi konusunda yapılan çalışmalarda, farklı iplik büküm yöntemlerinin ipliklerde farklı yanma direncinin oluşmasına sebep olduğu belirtilmektedir (Horrocks ve Price, 2001).

3. GÜÇ TUTUŞURLUK SAĞLAYAN MADDELER

3.1. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Etki Mekanizması

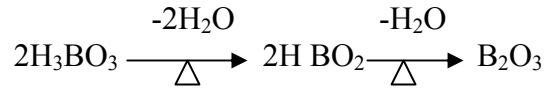
Tekstillerin yanma döngüsünü kırmak için birçok yol denenmiştir. Bu yollardan bir tanesi güçlü endotermik reaksiyonlar sonucu termal olarak ayrışabilen materyalleri lifin içerisinde kullanmaktır. Eğer bu reaksiyonlar sonucu yeterli ısı absorplanabilirse, lifin piroliz sıcaklığına ulaşılma riski azalacak ve yanma gerçekleşmeyecektir. Bu metoda örnek olarak alüminyumhidroksit, alüminyumtrihidrat ve kalsiyumkarbonat verilebilir (Şekil 2).



Şekil 2:

Endotermik yıkım reaksiyonları (Schindler ve Hauser, 2004)

Diğer bir yaklaşım, lif piroliz sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda, lifi çevreleyen yalıtım katmanını kullanmaktır. Borik asit ve hidratlanmış tuzları bu yaklaşıma örnektir (Şekil 3). Bu bileşikler ısıtıldığı zaman, dışarıya su buharı verirler. Bu şekilde lif yüzeyini camsı hale getirip, lifin hava ile temasını azaltarak güç tutuşur etki kazandırır.

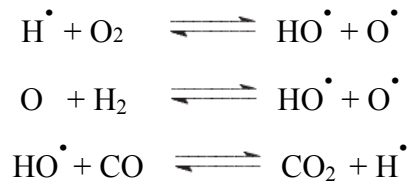


Şekil 3:

Camsı yüzey (Schindler ve Hauser, 2004)

Güç tutuşurluk işlemi eldesi için kullanılan üçüncü yol, daha az yanan uçucu madde ve daha çok kül oluşturmak için piroliz mekanizmasını değiştirmektir. Bu yoğun yapı mekanizması fosfor içeren güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerde görülür. Termal bozunma sırasında oluşan fosforik asidin hidroksil grupları içeren polimerlerle çapraz bağ yapması sonucu, dışarıya daha az miktarda yanıcı ürün bırakılmış olur (Schindler ve Hauser, 2004; Brancatelli ve diğ., 2011).

Yanmayı önlemede kullanılan dördüncü yol ise işlemin devamı için gerekli ısıyı sağlayan serbest radikal reaksiyonları oluşturmaktır. Buna örnek olarak verilen halojen içeren bileşikler, piroliz sırasında oluşan OH radikallerini yakalayarak bunların hızlı oksitlenmesini sağlar ve yanma için gerekli olan ısıyı azaltır (Şekil 4) (Schindler ve Hauser, 2004).



Şekil 4:

Serbest radikal yanma reaksiyonu (Schindler ve Hauser, 2004)

3.2. Güç Tutuşurluk Sağlayan Maddelerin Kimyası

En önemli güç tutuşurluk maddeleri üç kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar fosfor ve halojenlere dayalı temel güç tutuşur maddeler, tek başlarına kullanıldığında az miktarda güç tutuşur etkiye sahip olup, temel güç tutuşur maddelerle kullanıldığında etkinliği artan sinerjistik maddeler (fosforla azot, halojenlerle antimon kullanımı gibi) ve fiziksel etkilerle aktifliklerini ortaya çıkaran güç tutuşur maddelerdir (borat, alüminyumtrihidrat, kalsiyum karbonat gibi) (Schindler ve Hauser, 2004; Chivas ve diğ., 2009; Brancatelli ve diğ., 2011).

4. GÜÇ TUTUŞUR KUMAŞLARIN ELDESİ

Yanmaya dirençli kumaş üretebilmek için çeşitli yöntemler söz konusudur. Bunlar;

1.Yapısı itibariyle güç tutuşur liflerin kullanılması (karbon, asbest, cam, polibenzimidazol (PBI), fenolik, kyrol, polifenilensulfur (PPS), aramid ve basofil lifleri gibi) (Ünal ve diğ., 2002; Horrocks ve Anand, 2000; Kalın, 2008; Chivas ve diğ., 2009; Ömeroğulları, 2010)

2.Güç tutuşur lif eldesi

2.1.Liflerin kopolimerizasyon ve kimyasal modifikasyon ile yapılarının değiştirilmesi

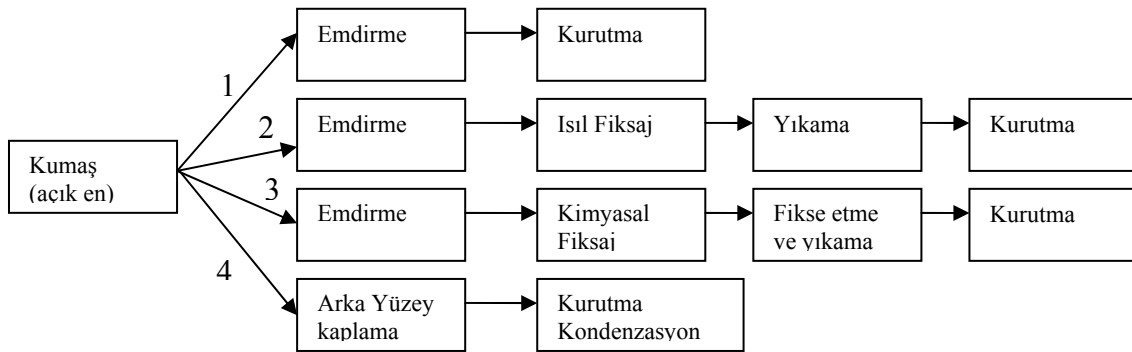
Kimyasal modifikasyon, polimerin bazı kimyasallarla reaksiyona girerek güç tutuşan ürüne dönüşmesi olarak tarif edilebilir. Kopolimerizasyon işleminde, klor gibi güç tutuşma sağlayıcı elementlerden birini içeren bir monomer, ikinci bir monomer ile polimerleşerek kopolimer oluşturur. Böylece, güç tutuşma sağlayan element, polimerin zincir yapısında yer alır ve polimer, yapısı itibariyle güç tutuşur hale gelir. Bu yöntem örneği olarak güç tutuşur akrilik/modakrilik, FR viskoz, FR PES, FR Nylon, FR yün, Durvil ve Karvin lifleri verilir (Kalın, 2008; Chivas ve diğ., 2009).

2.2.Sentetik polimere lif çekimi esnasında güç tutuşurluk sağlayan kimyasalların ilave edilmesi

Sentetik polimerlere güç tutuşur özellik kazandırmak için lif çekiminden önce güç tutuşurluk sağlayan kimyasallar ilave edilir. Bu kimyasallar, organik fosfor bileşiklerini ve antimon oksit ile birlikte organik halojen bileşiklerini içermektedirler. İnorganik güç tutuşurluk sağlayıcılar ise hidratlı alüminyum, magnezyum hidroksit ve borik asittir. Etkin bir güç tutuşurluk elde edebilmek için kullanılan güç tutuşur maddenin bozunma sıcaklığının, polimerin bozunma sıcaklığına yakın olması gerekir. Bu tip işlemde geçen sentetiklere örnek olarak akrilik, poliamid ve polyester lifleri verilebilir. (Kalın, 2008; Chivas ve diğ., 2009).

3.Kumaşın güç tutuşurluk sağlayan kimyasallar ile işlem görmesi

Başarılı bir güç tutuşurluk bitim işleminin açık en kumaşlara uygulanmasında dört farklı işlem adımı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5:

*Güç Tutuşurluk Bitim İşlemlerinin Açık En Kumaşlara Uygulama Aşamaları
(Horrocks ve Price, 2001)*

1. Metot çoğu dayanıksız ve amonyum fosfat gibi suda çözünebilen kimyasal maddelerle uygulanan basit bir emdirme-kurutma tekniğidir.

2. Metot kırışmaya karşı direnç ya da diğer ısıyla iyileştirme yapılan tekstil terbiye işlemleri için uygulanan bir tekniktir. Güç tutuşurluk eldesinde kullanılan Pyrovatex, Afflamit ve Antiblaze TFR1 gibi fosfonamit sistemlerinin uygulanması için çok uygun bir metottur.

3. Metot terbiye maddesinin lifle polimerizasyonunun sağlanması için amonyak gazı ile iyileştirme işleminin yapılmasını gerektiren THPC (Tetrakis(hidroksimetil)fosfonyum klorit) esaslı Proban işlemi için en uygun işlem akışıdır. Terbiye işleminin dayanıklılığını ve stabilitesini arttırmak için son yıkama ve kurutma işlemlerinden önce oksitleyici fikse işlemi uygulanmalıdır.

4. Metotta kaplama işlemi uygulanarak, güç tutuşurluk maddesi bir bağlanma patı ile kumaşın arka yüzeyine aktarılır. Bu şekilde kumaşın ön yüzünün estetik görünümü korunmuş olur. Bu metot genellikle döşemelik kumaşların terbiye işlemi için tercih edilmektedir (Horrocks ve Price, 2001; Brancatelli ve diğ., 2011; Chivas ve diğ., 2009).

5. GÜÇ TUTUŞURLUK ELDE ETMEK İÇİN KULLANILAN YENİ YÖNTEMLER

Özellikle 2000'den sonra yapılan çalışmalarda, daha az maliyetli ve çevre dostu güç tutuşur maddelerin üretimi üzerinde durulmuş, halojen içermeyen güç tutuşur madde kullanımı geliştirilmiş ve penta- ve oktabromdifenil eterin kullanımı yasaklanmıştır (Horrocks, 2010; Covaci ve diğ., 2011; Eede ve diğ., 2011; Wu ve diğ., 2011; Vorkamp ve diğ., 2011; Wang ve diğ., 2011; Meng ve diğ., 2011). Yapılan son araştırmalarda, yeni yöntemler olarak plazma işlemi ile yüzey modifikasyonu, mikrokapsül uygulamaları ve nanoteknoloji öne çıkmaktadır.

Nanoteknoloji

Bazı nano yüzeyli materyaller güç tutuşurluk özelliğine sahiptirler. Yanıcı bir ürün için bu alev önleyici materyallerin kullanımı güç tutuşurluk bitim işlemleri açısından yeni bir alan oluşturmuştur. Nano yüzeyli bu materyallerin kendilerine özel boyutları ve yapısal etkileri ile güç tutuşur ürünler elde etmek mümkündür (Zhang, 2009). İnorganik-organik hibrit (IOH) nanoparçacıklar, ateşlendiğinde kendini söndürebilme yeteneğine sahip, alev oluşumunu sınırlayan, düşük duman ve toksik gaz emisyonları sağlayan alev itici polimerlerin gelişmesine olanak sağlamıştır (Göcek ve diğ., 2007).

Yapılan çalışmalarda nanokillerin güç tutuşurluk özelliğini geliştirdiği ortaya çıkmıştır. Aktif kil, TiO_2 , Sb_2O_3 ve boroksosiloksans gibi birçok nano bileşik, polimerlerin, özellikle polipropilenin güç tutuşurluk özelliğini geliştirmede kullanılabilir. Bunların arasında sodyum katyon değişimli aktif kil, ucuz olmasından dolayı en çok kullanılan nano bileşiktir (Horrocks, 2010; Zhang ve Horrocks, 2003; Huang ve diğ., 2011). Örneğin; yapılan bir çalışmada, poliakrilonitril kopolimerinin fonksiyonlaştırılmış nanokil içerisine polimerize edildiğinde, filament ekstrüksiyonu sırasında amonyum polifosfatı absorpladığı ve lifin LOI değerlerinin % 40'ın üzerinde olduğu gözlenmiştir (Horrocks, 2010). Yürütülen bir başka çalışmada ise örme kumaş olarak işlenmiş, nanokompozit yapıda PA-6'nın yanıcılığını incelenmiştir. Saf örme PA-6 kumaşa göre, nanoPA-6 örme kumaşının ısı salınım oranının %40 düştüğü tespit edilmiştir (Bourbigot ve diğ., 2002).

Mikrokapsülasyon

Mikrokapsül, polimerik bir duvar ve bu duvar içerisinde hapsedilmiş sıvı maddesinden oluşur. Kapsül duvarı, içindeki sıvıya inert olan bir maddedir. Mikrokapsül yapım yöntemlerinde,

çekirdek maddenin polimer içerisinde mikron boyutunda dağılmasını sağlayabilmek için karışmayan iki sıvıdan emülsiyon yapımı ilk adımdır. Yapılış şekillerine göre koaservasyon, arayüzey polimerizasyonu (birbiri ile karışmayan iki sıvı fazın ara yüzeyinde çeşitli monomerlerin birbiri ile reaksiyona girerek dispers fazı hapsedecek şekilde film oluşturması), in-situ polimerizasyonu (düşük moleküler ağırlıklı ön polimerin polimerleşmesiyle boyutunun büyüüp sürekli fazdan dispers çekirdek materyalin üzerine çökmesi), sprey kurutma, sıvıların katılaştırılması, sıvı sisteminin ısı ile kurutulması, eritme soğutma gibi çeşitli mikrokapsül yöntemleri mevcuttur (Övez ve Yüksel, 2002; Salaün ve diğ., 2011). Kapsül içerisine güç tutuşurluk maddesi hapsederek ve bu oluşan kapsülü tekstil materyaline applike ederek güç tutuşur tekstil ürünleri elde etmek mümkündür. Örneğin poliüretan ve fosfat kombinasyonu iyi bir güç tutuşur etki sağlamaktadır fakat fosfatın suda çözünmesi ve migrasyonu nedeniyle fosfatla yapılan güç tutuşurluk bitim işlemi kalıcı olmamaktadır. Yapılan bir çalışmada diamonyum hidrojen fosfat (DAHP) poliüretan kabuk içersine (PUR) kapsüllenmiştir. Poliüretan ile mikrokapsüllenmiş fosfatın önemli ölçüde güç tutuşurluk etkisi gösterdiği belirlenmiştir (Girauda ve diğ., 2002).

Plazma Teknolojisi

Yüzey modifikasyonu içerisinde yer alan plazma teknolojisi, tekstil materyallerine fonksiyonellik kazandırmak amacıyla uygulanan ve konvansiyonel yöntemlere göre pek çok avantajı olan bir yöntemdir. Plazma teknolojisi, işlemin gaz fazında gerçekleşmesi, kuru bir proses olması (su gereksiniminin olmaması), kullanılan kimyasal madde miktarının çok az olması, kısa işlem süresi, endüstriyel ve toksik atığa sebep olmaması, tekstil materyalinin mekanik özelliklerine zarar vermemesi, işlemin sadece lif yüzeyinde etkili olması ve enerji tasarrufu sağlaması gibi avantajları nedeniyle yaş işlemlere göre önemli bir alternatif oluşturmaktadır (Schindler ve Hauser, 2004; Karmakar, 1999; Morent ve diğ., 2008; Tsafack ve Grützmacher, 2007; Chaiwong ve diğ., 2010; Bellini ve diğ., 2001; Tsafack ve Grützmacher, 2006; Shishoo, 2007; Hodak ve diğ., 2008; Qi ve diğ., 2007; Jahagirdar ve Tiwari, 2004). Tekstil materyaline istenilen etki çeşitli gazlar veya kimyasallar kullanarak verilebilmektedir. Oksijen gazı ile poliester kumaşa uygulanan plazma işleminin yanı sıra (Ömeroğulları ve Kut, 2012), hekzametildisiloksan ve hekzametildisilanın plazma polimerizasyonu ile pamuk ve poliamid kumaşlara applike edilmesi (Kılıç ve diğ., 2007) buna örnek olarak verilebilmektedir.

Plazma işlemi ön işlem olarak kullanılırsa, bir sonraki proseste gerekli olan kimyasal miktarını ve kirlilik konsantrasyonunu önemli miktarda düşürmektedir. (Morent ve diğ., 2008; Tsafack ve Grützmacher, 2007; Tsafack ve Grützmacher, 2006; Shishoo, 2007; Deopura ve diğ., 2008, Ömeroğulları ve Kut, 2012). Örneğin, ulaşımda kullanılan tekstiller güç tutuşur özellikte olmalıdırlar. Halojen içeren güç tutuşur maddelerin kullanımının ekolojik sebepler nedeniyle yasaklanması ve organik fosfonat türevleri içeren yeni tür güç tutuşur maddelerin ise pahalı olması sebebiyle, bu tür kimyasalların kullanımı azaltılmalıdır (Shishoo, 2007; Opwis ve diğ., 2010). Yapılan çalışmalarda plazma işleminin, materyalin güç tutuşurluk özelliğini etkilemeden, güç tutuşur kimyasal kullanım oranını azalttığı belirlenmiştir (Shishoo, 2007; Ömeroğulları, 2010).

6. GÜÇ TUTUŞURLUK TEST METOTLARI

Güç tutuşurluk işleminin değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulacak çok sayıda özellik söz konusudur. Materyalin cinsi ile ilişkili yanma davranışı, materyalin bulunuş şekli, materyalin yüzey yapısı, alevin çıkış kaynağı vb. değişkenlere bağlı olarak geliştirilen çok

sayıda test metodu, standartlarda yer almaktadır. Bu standartlardan en çok kullanılanları malzemenin bulunuş konumuna göre; dikey yakma testi (DIN 54336), havlı ve havsız yer döşemeleri için dikey yakma testi (DIN 54332), yatay yakma testi (DIN 54333), 45°lik eğik yanma testi (DIN 54335), yanmanın kaynağına bağlı olarak sigara test yöntemi (BS 5852, kısım 1) butangaz testi (BS 5852, kısım 2) yanma için ortamda gerekli olan oksijen miktarının tespiti için LOI (Limited Oxygen Index) testi (ASTM D 2863-00), yanma sırasında açığa çıkan toksikliğin belirlenmesinde kullanılan toksisite testi (ISO 5659) sayılabilir. Bunların dışında da çok sayıda ve her ülke standardında yer alan güç tutuşurluk testleri bulunmaktadır. Güç tutuşurluk testleri hangi yöntemle göre yapılırsa yapılsın genel değerlendirmede göz önünde bulundurulması gereken konular; tutuşurma kaynağı uzaklaştırıldıktan sonraki yanma süresi, alevli yanma bittikten sonraki içten yanma süresi, test sonunda oluşan kömürleşme boyu ve alanı, yanmanın ilerleme hızı, damlama olayı, gaz veya duman çıkarma durumudur (Çoban,1995).

7. GÜÇ TUTUŞURLUK MATERYALLERİNİN TOKSİK ETKİLERİ

Güç tutuşurluk bitim işlemleri özellikle halojen ve ağır metaller kullanılarak gerçekleştirildiyse, güç tutuşur bileşiklerinin ve yanıcı gazların toksik etkisi dikkate alınmalıdır. Bu bileşiklerin yaratacağı toksik sorunlar; halojenli bileşiklerden özellikle aromatik yapıda olanların polihalojenlenmiş dioksinleri ve furanları oluşturabilmeleri, antimon oksit içeren tozların bulunması, atık su içerisinde antimon, zirkonyum ve fosfor bulunması, halojenli organik güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerin, özellikle aromatik olanların atık suya karışması (bunlar genellikle biyolojik olarak yavaş parçalanırlar ve bu yüzden yüksek AOX (adsorblanabilen organik halojen) değerlerine sebep olurlar), selülozun kalıcı güç tutuşurluk işlemi uygulanmasında kondenzasyon sırasında formaldehit açığa çıkması ve bitim işlemi uygulanmış kumaşta serbest formaldehitin bulunmasıdır (Schindler ve Hauser, 2004; Horrocks, 2010).

8. YAPILAN SON ÇALIŞMALAR

Konvansiyonel güç tutuşurluk işlemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin yapıları, yıkama dayanımları ve sağladıkları etkiler göz önüne alındığında çeşitli sorunlarla karşılaşmaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, işlemin yıkamaya dayanıklı olması ancak bunu sağlayan kimyasalın toksik etkisinin olmamasının yanı sıra poliamid ve poliester gibi kolay eriyebilen lifler içeren kumaşlar için erime ve damlamayı önleyen güç tutuşur madde kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır (Ban ve diğ., 2004; Liu ve diğ., 2010). Bu araştırmalarda, ağırlıklı olarak; plazma işlemi ile yüzey modifikasyonu, mikrokapsül uygulamaları, nanoteknoloji yer almaktadır. Aşağıda bu çalışmalara yer verilmiştir.

Tsafack ve diğ. (2007) multifonksiyonel yüzeyler üretebilmek için, soğuk plazma tekniğini kullanarak, pamuklu kumaşlar üzerinde alev geciktirici bitim işlemiyle kombine edilmiş su iticilik işlemi araştırmışlardır. Bunun için CF₄ plazma işlemi ile su iticilik bitim işlemine kombine edilmiş alev geciktirici monomerlerin (akrilat fosfat ve fosfonat türevlerinin) endüklenmiş Ar plazma aşısı polimerizasyonu (PIGP) veya 1,1,2,2, tetrahidroperflordesilakrilat (AC8) in endüklenmiş Ar plazma aşısı polimerizasyonunu içeren 3 ayrı çalışma denenmiştir. Denemeler sonucunda bu monomerlerin su iticilik bitim işlemiyle uyum sağladığı görülmüştür.

Huang ve diğ. (2008) çevrenin korunması, halk sağlığı ve güvenliği adına fosfor içeren güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerden çevreye daha az toksik gaz bırakanların, konvansiyonel

halojen içeren güç tutuşurluk sağlayıcı maddelerin yerini almak için geliştirilmiş olduğunu belirtmişler ve bu nedenle temel veya yan zincirlerde fosfor bulunan kopoliester sentezlemişlerdir. Dallanmış grup olarak fosfor içeren kopoliesterin (FR-PET) LOI değeri %31,5 olarak ölçülmüştür. Ancak sıcaklığın artması ile kopoliesterin P-CH₂ bağlarında kopma gözlenmiştir. Kondens fazdaki ürünlerde fosfor konsantrasyonunda azalma meydana gelmiştir. Araştırmacılar, FR-PET'in termal stabilitesinin PET'e oranla daha düşük olduğunu, FR-PET için kondens faz yerine gaz fazında güç tutuşurluk eldesinin daha etkin olduğunu gözlemişlerdir.

Tsafack ve diğ. (2006) pamuklu kumaşlara güç tutuşur özellik vermek için argon plazma tarafından endüklenen alev geciktirici 4 akrilat monomerini (dietilfosfat (akriloksietil) (DEAEP) ,dietil-2-(metakriloksietil) fosfat (DEMEP), dietil (akriloksietil) fosfonat (DEAMP) ve dimetil (akriloksietil) fosfonat (DMAMP)) eş zamanlı aşlamışlardır. Aynı zamanda pamuklu kumaş üzerinde iki yeni fosforamid monomeri olan dietil (akriloksietil) fosforamid (DEAEPN) ve akriloksi-1,3 bis(dietilfosforamid) propanın (BisDEAEPN) endüklenmiş plazma aşu polimerizasyonunu ve sentezini denemişlerdir. En yüksek LOI değerlerinin 28,5 ve 29,5 ile DEAEPN ve BisDEAEPN'e ait olduğu, yıkama işlemlerinden sonra LOI değerlerinin giderek düştüğü görülmüştür. Fosforamid monomerlerinin iyi alev geciktirici özelliklerinin azot varlığında daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Wang ve diğ. (2007) fosfor içeren 13 tane alev geciktiriciyi incelemişlerdir. Seçilen solventler içerisinde alev geciktiricilerin ([[6-oksit-6Hdibenz[*c,e*][1,2]okzafosforin-6-yl)-metil]-butandioik asit (DDP)) çözülebilirlikleri ölçülmüştür.13 tane fosfor içeren alev geciktiricinin termogravimetrik analiz (TGA) ölçümlerine bakılmıştır ve 3 tane alev geciktirici reçinenin PET (FR-PET) termal stabilitesi incelenmiştir. Etilen glikol ve teraftalik asitle DDP tarafından birleştirilen FR-PET üzerinde yapılan ölçümlerde, fosfor içeren alev geciktiriciler sayesinde FR-PET in termal stabilitesinin geliştiği, fosfor içeren tüm poliesterlerin LOI değerlerinin % 27 den yüksek olduğu görülmüştür.

Tsafack ve diğ. (2006) poliakrilnitrilden yapılmış tekstil materyallerine alçak basınç plazma tekniği kullanılarak güç tutuşur özellik kazandırmak amacıyla güç tutuşurluk için efektif monomer olarak bilinen fosfor, dietil(akriloksietil)fosfat (DEAEP), dietil-2-(metakriloksietil)fosfat (DEMEP), dietil(akriloksietil)fosfonat (DEAMP) ve dimetil(akriloksietil)fosfonat (DMAMP) içeren 4 akrilik monomerini, argon plazması ile aşu polimerizasyonunda kullanmışlardır. İşlemden önce kumaş yüzeyi üzerine monomerler eş zamanlı olarak uygulanmış ve polimerize edilmiştir. Polimerik madde kovalent bağla kumaş yüzeyi üzerine bağlanmış, bu sayede yüksek sıcaklıklarda yapılan yıkamalara karşı dayanıklı bir etki göstermiştir. Aynı zamanda işlem sonrası kumaşların LOI değerleri önemli oranda artmıştır.

Andrae (2007) sentetik tekstiller üzerinde bromla işlem görmüş alev geciktiricilere çözüm getirmek üzerine yaptığı çalışmada yüksek yıkamalarda değil fakat düşük yıkama sayılarında bromlanmış alev geciktiricilerin poliester üzerinde halojen içermeyen alev geciktiricilere göre çok daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir. Yanma test analizlerinin sonuçlarına göre fosfor bazlı alev geciktiricilerin 3,10 ve 25 yıkamadan sonra bromlanmış olanlara göre iyi bir alternatif olduğu ve naylon üzerinde en iyi performansın fosfor işlemiyle sağlandığı görülmüştür. Hiçbir halojen içermeyen alev geciktirici, naylon/poliester karışımı dokusuz yüzey için alev geciktiriciliği bakımından başarılı olamamıştır.

Mathews (2007) alev geciktiricilerin (FR) pamuk ve pamuk karışımlarına olan etkisini incelemiştir. Selülozik kumaşlar ve karışımları için dayanıklı alev geciktiricilerin çevreye ve

insana potansiyel toksik etkisi olan amonyak işleme veya antimon/brom karışımı bileşimleri içerdiği ve brom içeren materyallerin FR işlemleri için sık kullanılmakta olduğu fakat böyle zararlı maddeleri kullanmamak için yeni formülasyonlar aranmakta olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma ile insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyen, antimon ve brom içermeyen ve normal emdirme/ kurutma yöntemleriyle elde edilebilir FR işlemleri bulunmuştur.

Saihi ve diğ. (2006) poliüretanla fosfatın kombinasyonunun efektif bir güç tutuşurluk sağladığını fakat fosfatın suda çözünebilir olması ve migrasyonu sebebiyle kalıcı olmadığını bu nedenle mikrokapsülasyonun da bu güç tutuşurluk sistemine alternatif bir yol olarak karşımıza çıkmakta olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma ara yüzey polimerizasyon metodunu kullanarak diamonyum hidrojen fosfatın (DAHP) poliüretan zarı tarafından mikrokapsülasyonunu içerir. Mikrokapsüller önemli derecede termal stabilite ve ara yüzey davranışı sergilemiştir ki bu mikrokapsüllerin gerçek bir ara yüzey alev geciktiricisi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Cardoso ve diğ. (2007) FDM (faz değiştiren materyal) içeren mikrokapsüllerin (mFDM) güç tutuşur dokusuz yüzey materyallerinde uygulanması konulu çalışmada itfaiye giysilerinin içerisindeki standart dokusuz yüzey astarına güç tutuşurluk özelliği kazandırmak için farklı teknolojiler test etmişlerdir. Hem mikrokapsül uygulamasının hem de dokusuz yüzey güç tutuşurluk bitim işleminin testler sonucunda güç tutuşur efekti verdiği görülmüştür. Mikrokapsül çevresinde çok az miktarda termoplastik binderin kullanılmasının testte başarısızlığa neden olduğu bulunmuştur. mFDM üzerine daha önceden uygulanan borik asidin, dokusuz yüzeye uygulanan ve fosfor kökenli güç tutuşurluk bitim işlemiyle sonuçları iyileştirdiği tespit edilmiştir. Bu durumda orijinal dokusuz yüzeyin tutum ve diğer özellikleri korunmuştur.

Akköprü ve diğ. (2007) poliester kumaşlara, antibakteriyel ve güç tutuşurluk özellik katmaya yönelik incelemeler yapmışlardır. Bu amaçla kumaşlara gümüş ve gümüş/fosfor aşılansız sol-jel esaslı hibrid silika kaplamalar uygulanmıştır. Etanol ve hidrojen peroksit ile yapılan yüzey işlemlerinin kaplamaların kumaşlara bağlanmasında önemli rol oynadıkları bulunmuştur. Etanol ile yüzey işlemi yapıldıktan sonra kaplanan kumaşların iyi antibakteriyel performans gösterdikleri, fakat antibakteriyel özelliklerinde yıkama sonrasında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Alev geciktirici fosfor bileşiğinin gümüş aşılansız solvante ilavesi ile çift fonksiyonlu kaplama elde edilmiştir. Fosforun destile su ile yapılan yıkama işlemlerine karşı dayanıklılığının, gümüşe göre daha iyi olduğu bulunmuştur.

El-Tahlawy diğ. (2008) çevre dostu güç tutuşur pamuklu tekstillerin üretimi için yeni bir yol olarak kitosan fosfatı denemiştir. Bu çalışmada kitosan fosforilasyon işlemi sırasında eklenmiş ve bir azot kaynağı gibi davranıp fosforla sinerjistik bir etki oluşturmuştur. Kitosan sitrat tuzu fosforilasyon reaksiyonunu kolaylaştırmıştır, çünkü amino grupları selüloz hidroksillerinden daha reaktif hale gelmiştir. Kitosan konsantrasyonunun % 0'dan % 2'ye yükseltilmesi pamuklu kumaşın güç tutuşurluğunu arttırmıştır. Kitosan konsantrasyonunun % 2'nin üzerine çıkartılması ile kumaşın termal bozunması üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olunmuştur.

Zhu ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada itfaiyeci giysileri gibi özel koruma giysilerinin sadece güç tutuşurluk kumaşlarının standartlarına göre test edildiği oysaki bu test yöntemlerinin güç tutuşur kumaşlarda ısı transferindeki silindirik geometrik etkiyi ihmal ettiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle bu çalışmada yangın söndürmede kullanılan güç tutuşur kumaşların test edilmesi için yeni bir deri modeli üzerinde silindirik geometrik test geliştirilmiştir. Sonuçlar, düzeysel

geometrik testle kıyaslama yapıldığında, test sırasında çeken kumaşların termal koruma performanslarının düştüğünü göstermiştir. Silindirik geometrinin ısı transferi üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Giraud ve diğ. (2009) 2005 yılında yapmış oldukları mikrokapsül çalışmasını geliştirerek mikrokapsüllerin termal özellikleri üzerinde kimyasal kabuk yapısının etkisi konusunda bir başka çalışma yürütmüşlerdir. Önceki çalışmada DAHP (diamonyum hidrojen fosfat) maddesini, polieter-poliüretan ve poliester-poliüretan çeper içerisinde kapsüllemişlerdir (26). Bu çalışmada ise amonyum fosfat içeren mikrokapsüller değişik proseslerle hazırlanmıştır. Mikrokapsüllerin değişik morfolojilere, farklı içeriklere ve farklı polimerik kabuk tiplerine sahip oldukları görülmüştür. Bu çalışmada, polimerik kabuğun ve fosfat içeren mikrokapsüllerin yüksek sıcaklıklarda termal stabilite üretme kapasitelerine olan etkileri tartışılmıştır. Mikrokapsüllerin değişik tiplerinde termal ve yapı özellikleri üzerinde diamonyum hidrojen fosfatın (DAHP) etkisinin sistem içinde sadece asit kaynağının miktarına bağlı olmayıp aynı zamanda mikrokapsül kabuğunun bileşimleriyle olan etkileşimlerine de bağlı olduğu görülmüştür. Mikrokapsül sistemlerinin düşük DAHP içeriğiyle bile termal davranış sergilediği belirtilmiştir.

Chen ve diğ. (2005) poli(2-hidroksipropilenspirosiklikpentaeritrolbifosfonat) (PPPBP) kullanımının PET(polietilenteraftalat) kumaşlarda güç tutuşurluk ve damlama özelliğine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre % 8,7 üzerinde kullanılan PPPBP, PET kumaşların yanıcılığını azaltmış, dikey yakma testinde iyi bir güç tutuşurluk özelliği sergilemiş ve damlamayı önlemiştir.

Kandola ve diğ. (2010) termoplastik sertleştirici olan polieter sülfon (PES) ve birçok değişik yapıda güç tutuşur maddesini değişik oranlarda epoksi reçinesi içine karıştırıp, reçinenin termal dekompozisyonunu ve kömürleşme davranışını incelemişlerdir. % 20 PES sertleştiricisinin varlığında reçinenin termal stabilitesinin arttığı görülmüş; P- ve N- içeren güç tutuşur maddelerin kömürleşme sıcaklığını geliştirmede en etkili maddeler olduğu, bunun yanı sıra halojen ve organofosfor içeren güç tutuşur maddelerin daha az etkili olduğu belirtilmiştir.

Opwis ve diğ. (2010) pamuk, poliamid ve poliester kumaşlar üzerinde kalıcı güç tutuşurluk bitim işlemi oluşturabilmek için fotokimyasal işlem uygulamışlardır. Çapraz bağlayıcı da kullanarak vinil fosfonik asidi bu kumaşlar üzerine bağlamışlardır. Fotokimyasal olarak modifiye edilmiş tekstiller dikey yakma testini geçerek, iyi bir güç tutuşurluk özelliği sergilemiş, üstelik yıkamaya karşı kalıcı etki bırakmıştır.

Xinga ve diğ. (2011) tri(akriloksietil) fosfat (TAEP) ve triglisidil isosiyannurat akrilat (TGICA) kullanarak UV-kurutma tekniği ile pamuklu kumaş üzerine güç tutuşur kaplamalar hazırlamışlardır. İşlem görmüş kumaşların ısı salınım oranı düşerken, LOI değerleri artmıştır.

Kamlangkla ve diğ. (2011) ipek kumaşlarda kalıcı güç tutuşurluk elde edebilmek için argon aşı polimerizasyonu uygulamışlardır. Fosfat ve fosforamid monomerleri efektif güç tutuşur madde olarak kullanılırken, ipek kumaşların su iticilik özelliği kazanması için SF₆ gazı ile plazma işlemi uygulanmıştır. İşlem görmüş ipek kumaşların LOI değerleri 29 ve 30,5'a çıkarken, temas açısı 134⁰ olarak ölçülmüştür.

Forouharshad ve diğ. (2011) güç tutuşur yünlü kumaş elde edebilmek için; ZrOCl₂, hidroklorik asit ve sitrik asit ile yün kumaşı işleme tabi tutmuşlardır. Bu işlem sonucunda

yanmayan gaz oluşumu hızlanmış, işlem görmemiş kumaşa göre gazlar yanma sıcaklığının altında bozunmuş, dolayısıyla yanmamıştır. Dikey yakma testi sonucu yünün güç tutuşurluğunun arttığı belirlenmiş, LOI değeri % 31,9'a yükselmiştir.

Salaün ve diğ. (2011) güç tutuşur kapsüller üreterek güç tutuşur tekstil elde etmişlerdir. Diamonyum fosfat ve/veya poli(1-6 heksametilenadipat) içeren melamin-formaldehit mikrokapsüllerini in-situ polimerizasyonu ile hazırlayıp, polipropilen matriks içerisine karıştırılmış ve üretilen bu multi-filamentlerden güç tutuşur örme kumaş elde edilmiştir.

Ömeroğulları ve Kut (2011) yaptıkları çalışmada poliester kumaş üzerine kireç taşından elde edilmiş olan $CaCO_3$ esaslı doğal yapıda güç tutuşur madde uygulayarak poliester kumaşın yanma davranışını incelemişlerdir. LOI değerlerinde % 39,5'luk bir artış meydana gelmiş ve yakma testi sırasında poliester kumaşın damlamadan ve erimeden yandığı gözlenmiştir. Güç tutuşur poliester kumaş eldesi için sıkça kullanılan fosfonat esaslı güç tutuşur maddesi ile kıyaslama yapılmış ve bu maddeyle işlem görmüş kumaşa göre 5 kat daha uzun sürede yandığı tespit edilmiştir.

Ömeroğulları ve Kut (2012) yaptıkları çalışmada poliester kumaş üzerine önce oksijen gazı ile düşük frekansta plazma işlemi uyguladıktan sonra fosfonat esaslı madde ile güç tutuşurluk işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak uygulanan plazma işlemi ile poliester kumaşın hidrofilitesinin arttığını ve emdirme işlemi sırasında kullanılan güç tutuşur kimyasalının miktarının oldukça düştüğünü belirtmişlerdir.

Bu çalışmaların dışında çeşitli araştırmacılar çevreye verdiği zararı ve toksik etkisi bilinen brom içerikli organik bileşiklerde, brom ölçümü yapabilecek yeni analitik teknikler geliştirme konusunda da çalışmalar yürütmektedirler. Vázquez ve diğ. (2007) alev geciktirici kaplamalarda radyofrekans gaz boşaltım ve optik emisyon spektrometresi (rf-GD-OES) kullanarak brom ölçümü yapmışlardır.

9. SONUÇ

Günümüzde giderek artan kargaşa ortamında, yangın riskleri çoğalmakta, can ve mal güvenliği azalmaktadır. Dolayısıyla güç tutuşur tekstillerin kullanımı da kaçınılmaz şekilde artmaktadır (Çoban,1995). Araştırmacılar bu talepleri göz önünde bulundurarak lif, kimyasal madde ve kumaş bazında önemli çalışmalar sürdürmektedirler. Bunların yanı sıra üretilen tekstil materyalinin tek bir işlevi sağlamak yerine birkaç işlevi bir arada yerine getirebilmesi de yine yapılan çalışmalar arasında yer almaktadır. Su ve yağ itici güç tutuşur tekstil ürünü, antistatik özellik gösteren güç tutuşur tekstil ürünü ve hatta buruşmazlık özelliği gösteren güç tutuşur tekstil ürünü gibi multifonksiyonel tekstiller günümüzde talep edilmektedir. Güç tutuşur tekstil ürününün iyi bir güç tutuşurluk etkisinin yanında, toksik özelliğinin ve alerjik etkisinin olmaması, çevre dostu olması, yıkamaya ve kuru temizlemeye dayanıklı olması, sararmaya neden olmaması, piroliz sırasında zehirli gazlar açığa çıkarmaması, lifin teknolojik özelliklerini kötüleştirmemesi ve fiyatının uygun olması da yine beklentiler arasındadır. Araştırma çalışmaları bütün bu beklentiler dikkate alınarak sürdürülmelidir.

KAYNAKLAR

1. Andrae, N.J. (2007). Durable and Environmentally Friendly Flame Retardants for Synthetics, *A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State for the Degree of Master of Science*, 1-234.
2. Akköprü, B., Ün, S., Durucan, C. (2007). Flame Retardant/Antibacterial Bi-Functional Coatings on Textiles, *III. International Technical Textiles Congress*, 300-309.
3. Ban D.M., Wang Y.Z., Yang B. and Zhao G.M. (2004). A novel non-dripping oligomeric flame retardant for polyethylene terephthalate, *European Polymer Journal*, 40(8), 1909–1913.
4. Bellini P., Bonetti F., Franzetti E. G., Rosace S. V. (2001). *Referans Books of Textile Technologies Finishing*, Milano, Italia.
5. Brancatelli G., Colleoni C., Massafra M. R., Rosace G. (2011). Effect of hybrid phosphorus-doped silica thin films produced by sol-gel method on the thermal behaviour of cotton fabrics, *Polymer Degradation and Stability*, 96(4), 483-490.
6. Bourbigot S., Devaux E., Flambard X. (2002). Flammability of polyamide-6/clay hybrid nanocomposite textiles, *Polymer Degradation and Stability*, 75(2), 397–402.
7. Cardoso I., Gomes J.R. (2007). The Application of Microcapsules of PCM in Flame Resistant Non-Woven Materials, *III. International Technical Textiles Congress*, 254-263.
8. Carosio F., Alongi J., Frache A. (2011). Influence of surface activation by plasma and nanoparticle adsorption on the morphology, thermal stability and combustion behavior of PET fabrics, *European Polymer Journal*, 47(5), 893-902.
9. Chaiwong, C., Tunma, S., Sangprasert, W., Nimmanpipug, P., Boonyawan, D. (2010). Graft polymerization of flame-retardant compound onto silk via plasma jet, *Surface & Coatings Technology*, 204(18-19), 2991–2995.
10. Chen, D., Wang, Y., Hu, X., Wang, D., Qu, M., Yang, B. (2005). Flame-retardant and anti-dripping effects of a novel char-forming flame retardant for the treatment of poly(ethylene terephthalate) fabrics, *Polymer Degradation and Stability*, 88(2), 349-356.
11. Chivas, C., Guillaume, E., Sainrat, A., Barbosa, V. (2009). Assessment of risks and benefits in the use of flame retardants in upholstered furniture in continental Europe, *Fire Safety Journal*, 44(5), 801–807.
12. Covaci, A., Harrad, S., Abdallah, M A.E., Nadeem, A., Law, R. J., Herzke, D., Wit, C.A. (2011). Novel brominated flame retardants: A review of their analysis, environmental fate and behaviour, *Environment International*, 37(2), 532–556.
13. Çoban, S. (1995). Tekstil Mamullerinin Yanma Davranışı ve Güç Tutuşurluk Test Yöntemleri”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2, 135-143.
14. Çoban S. (1999). Güç Tutuşurluk Bitim İşlemleri, *Genel Tekstil Terbiyesi ve Bitim İşlemleri*, Ege Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, 180-201.
15. Deopura, B.L., Alagirusamy, R., Joshi, M., Gupta, B. (2008). *Polyesters and polyamids*, North America, USA.
16. Eede, N.V., Dirtu, A.C., Neels, H. (2011). Adrian Covaci Analytical developments and preliminary assessment of human exposure to organophosphate flame retardants from indoor dust, *Environment International*, 37(2), 454–461.
17. El-Tahlawy, K. (2008). Chitosan phosphate: A new way for production of eco-friendly flame-retardant cotton textiles, *Journal of the Textile Institute*, 99(3), s: 185-191.
18. Forouharshad, M., Montazer, M., Moghadam, M. B., Saligheh, O. (2011). Flame Retardant Wool Using Zirconium Oxychloride in Various Acidic Media Optimized by RSM *Thermochimica Acta*, 516(1-2), 29-34.

19. Girauda, S., Bourbigota, S., Rocherya, M. (2002). Microencapsulation of Phosphate: Application to Flame Retarded Coated Cotton, *Polymer Degradation and Stability*, 2(77), 285-297.
20. Giraud, S., Bourbigot, S., Rochery, M. (2005). Flame Retarded Polyurea with Microencapsulated Ammonium Phosphate for Textile Coating, *Polymer Degradation and Stability*, 88(1), 106-113.
21. Giraud, S., Salaün, F., Bedek, G. (2010). Influence of Chemical Shell Structure on the Thermal Properties of Microcapsules Containing A Flame Retardant Agent, *Polymer Degradation and Stability*, 95(3), 315-319.
22. Göcek, İ., Kurşun, S., Küçük, G. (2007). Tekstil Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları, Nonwoven *Technical Textiles Techonology*, 14, 64-69.
23. Hodak, S.K., Supasai, T., Paosawatyanong, B., Kamlangkla, K., Pavarajarn, V. (2008). Enhancement of the hydrophobicity of silk fabrics by SF6 plasma, *Applied Surface Science*, 254(15), 4744-4749.
24. Horrocks, A.R., Anand, S.C. (2000). Heat and Flame Production, *Handbook of Technical Textiles*, The Textile Institute, Cambridge England, 223-263.
25. Horrocks, A.R., Price, D. (2001). Textiles, *Fire Retardant Materials*, 128-181.
26. Horrocks, A.R. (2011). Flame retardant challenges for textiles and fibres: New chemistry versus innovatory solutions, *Polymer Degradation and Stability*, 96(3), 377-392.
27. Huang, N.H., Zhang, Q., Fan, C. (2008). A Mechanistic Study of Flame Retardance of Novel Copolyester Phosphorus Containing Linked Pendant Groups by TG/XPS/direct Py-MS, *Chinese Chemical Letters*, 19(3), 350-354.
28. Huang, G., Li, Y., Han, L., Gao, J., Wang, X. (2011). A novel intumescent flame retardant-functionalized montmorillonite: Preparation, characterization, and flammability properties *Applied Clay Science*, 51(3), 360-365.
29. Jahagirdar, J., Tiwari, L.B. (2004). Study of Plasma Polymerization of Dichloromethane on
30. Cotton and Polyester Fabrics, *J. Appl. Poly. Sci.* 94(5), 2014-2021.
31. Kalın, M.B. (2008). Tekstil Yüzeylerinin Yanmaya Karşı Dirençlerinin Arttırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş, 1-86.
32. Kamlangkla, K., Hodak, S.K., Levalois-Grützmacher, J. (2011). Multifunctional Silk fabrics by means of the Plasma Induced Graft Polymerisation (PIGP) Process, *Surface & Coatings Technology*, 205(13-14), 3755-3762.
33. Kandola, B.K., Biswa, B., Price, D., Horrocks, A.R. (2010). Studies on the effect of different levels of toughener and flame retardants on thermal stability of epoxy resin, *Polymer Degradation and Stability*, 95(2), 144-152.
34. Karmakar, S.R. (1999). Chemical technology in the pre-treatment processes of textiles, Westbengal, India.
35. Kılıç, B., Akşit, A., Mutlu, M. (2007). Surface Modification and Characterization of Cotton and Poliamid Fabrics by Plazma Polimerization of Hexamethyldisilane and Hexamethyldisiloxane, *III. International Technical Textiles Congress*, 165-167.
36. Liu, H., Wang, R. and Xua, X. (2010). Thermal stability and flame retardancy of PET/magnesium salt composites, *Polymer Degradation and Stability*, 95(9), 1466-1470.
37. Mathews, M.C. (2007). Durable and Non-toxic Topical Flame Retardants for Cotton and Cotton Blends, *A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University for the Degree of Master of Science*, 1-184.
38. Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., Tarakçıoğlu, I. (2007). Teknik Tekstiller ve Kullanım Alanları (Bölüm 2), *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(3), 154-161.

39. Meng, X., Duan, Y., Yang, C., Pan, Z., Wen, Z., Chen, L. (2011). Occurrence, sources, and inventory of hexabromocyclododecanes (HBCDs) in soils from Chongming Island, the Yangtze River Delta (YRD), *Chemosphere*, 82(5), 725–731.
40. Morent, R., Geyter, N.D., Verschuren, J., Clerck, K.D., Kiekens, P., Leys, C. (2008). Non-thermal plasma treatment of textiles, *Surface & Coatings Technology*, 202(14), 3427–3449.
41. Opwis, K., Wego, A., Bahners, T., Schollmeyer, E. (2011). Permanent flame retardant finishing of textile materials by a photochemical immobilization of vinyl phosphonic acid, *Polymer Degradation and Stability*, 96(3), 393-395.
42. Ömeroğulları, Z. (2010). Ev Tekstiline Yönelik Kullanılan Kumaşların Güç Tutuşurluk Özelliğinin Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
43. Ömeroğulları, Z., Kut, D. (2011). Investigation of Burning Behavior of Polyester Fabric with Using Natural Structured Flame Retardant Agent, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(4), 364-368.
44. Ömeroğulları, Z., Kut, D. (2012). Application of Low-Frequency Oxygen Plasma Treatment to Polyester Fabric to Reduce the Amount of Flame Retardant Agent, *Textile Research Journal*, 82(6), 613-621.
45. Övez, B., Yüksel, M. (2002). Parfümlerin Çapraz Bağlı Mikrokapsüllerden Yavaş Salgılanmaları, *Araştırma Makalesi*, 10(43), 26-29.
46. Pabelina, K.G., Lumban, C.O., Ramos, H.J. (2012). Plasma Impregnation of Wood with Fire Retardants, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Section B.: Beam Int. With Materials and Atoms*, 272,365-369.
47. Qi, K., Xin, J.H., Daoud, W.A. (2007). Functionalizing Polyester Fiber with a Self-Cleaning Property Using Anatase TiO₂ and Low-Temperature Plasma Treatment, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 4(6), 554–563.
48. Saihi, D., Vroman, I., Giraud, S. (2006). Microencapsulation of ammonium phosphate with a polyurethane shell. Part II. Interfacial polymerization technique, *Reactive & Functional Polymers*, 66(10), 1118–1125.
49. Salaün, F., Lewandowski, M., Vroman, I., Bedek, G., Bourbigot, S. (2011). Development and characterisation of flame-retardant fibres from isotactic polypropylene melt-compounded with melamine-formaldehyde microcapsules, *Polymer Degradation and Stability*, 96(1), 131-143.
50. Schindler, W.D., Hauser, P. J. (2004). Flame-retardant finishes, *Chemical Finishing of Textiles*, 98-116.
51. Shishoo, R. (2007). *Plasma Technologies for Textiles*, Cambridge, England.
52. Tsafack, M.J., Grützmacher, L.J. (2006). Plasma-induced graft-polymerization of flame retardant monomers onto PAN fabrics, *Surface & Coatings Technology*, 200(11), 3503– 3510.
53. Tsafack, M.J., Grützmacher, L. J. (2006). Flame Retardancy of Cotton Textiles by Plasma-Induced Graft-Polymerization (PIGP), *Surface & Coatings Technology*, 201(6), 2599–2610.
54. Tsafack, M.J., Grützmacher, L.J. (2007). Towards Multifunctional Surfaces Using The Plasma-Induced Graft-Polymerization (PIGP) Process: Flame and Waterproof Cotton Textiles, *Surface & Coatings Technology*, 201(12), 5789–5795.
55. Ünal, C., Öktem, T., Seventekin, N. (2002). Güç Tutuşur Liflerdeki Son Gelişmeler, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 2, 57-62.
56. Vázquez, A.S., Martín, A., Costa-Fernandez, J. (2007). Quantification of Bromine in Flame-Retardant Coatings by Radiofrequency Glow Discharge–Optical Emission Spectrometry, *Anal Bioanal Chem.*, 389(3), 683–690.

57. Vorkamp, K., Thomsen, M., Frederiksen, M., Pedersen, M., Knudsen, L.E. (2011). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the indoor environment and associations with prenatal exposure, *Environment International*, 37(1), 1–10.
58. Wang, L., Kang, H., Wang, S. (2007). Solubilities, Thermostabilities and Flame Retardance Behaviour of Phosphorus-Containing Flame Retardants and Copolymers, *Fluid Phase Equilibria*, 258(2), 99–107.
59. Wang, S., Zhang, S., Huang, H., Christie, P. (2011). Behavior of decabromodiphenyl ether (BDE-209) in soil: Effects of rhizosphere and mycorrhizal colonization of ryegrass roots, *Environmental Pollution*, 159(3), 749-753.
60. Wu, J., Guan, Y., Zhang, Y., Luo, X., Zhi, H., Chen, S., Mai, B. (2011). Several current-use, non-PBDE brominated flame retardants are highly bioaccumulative: Evidence from field determined bioaccumulation factors, *Environment International*, 37(1), 210–215.
61. Xinga, W., Jie, G., Song, a L., Hua, S., Lva, X., Wanga, X., Hua, Y. (2011). Flame retardancy and thermal degradation of cotton textiles based on UV-curable flame retardant coatings, *Thermochimica Acta*, 513(1-2), 75–82.
62. Zhang, S., Horrocks, A.R. (2003). Review of flame retardant polypropylene fibres, *Prog. Polym. Sci.* 28(11), 1517–1538.
63. Zhang, H., (2009). Flame Retardant Review, *Modern Applied Science*, 2(3), 129-133.
64. Zhu, F., Cheng, X.P., Zhang, W. (2009). Estimation of Thermal Performance of Flame Resistant Clothing Fabrics Sheathing A Cylinder with New Model, *Textile Research Journal*, 79(3), 205-212.

Makale 08.03.2012 tarihinde alınmış, 05.04.2012 tarihinde düzeltilmiş, 05.04.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

