

Araştırma Makalesi / Research Article

IMPROVEMENT OF THE FLAME RETARDANT PERFORMANCE OF COTTON FABRICS USING SILANE-PHOSPHATE BASED SOL-GEL SYSTEM

Çetin AKA^{1*}

Aysun AKŞİT^{1*}

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 28.04.2026

Kabul Tarihi / Accepted: 26.08.2026

ABSTRACT: In this study, a hybrid sol-gel formulation based on silane and phosphorus/nitrogen containing components was applied to cotton fabrics to enhance their flame-retardant properties. Prior to the application, a high concentration alkaline pretreatment was performed to induce intramolecular swelling within the cellulose structure, reorganize hydrogen bonding and increase the accessibility of reactive hydroxyl groups. The sol-gel system was developed by integrating flame retardant additives including phytic acid, phosphoric acid, guanidine phosphate and urea into a silanol network formed by TEOS and GPTMS precursors. The prepared formulation was applied onto the fabric surface via padding method followed by thermal curing to form a three-dimensional hybrid structure. FTIR and XPS analyses confirmed the successful formation of a Si-O-Si network on the fabric surface and the incorporation of phosphorus containing components into the system. TGA results demonstrated that the sol-gel coating improved the thermal stability by increasing the degradation temperature. LOI and flame spread tests revealed a significant enhancement in flame retardant performance after coating with LOI values exceeding 52%. However, post-washing FTIR and XPS analyses indicated a noticeable reduction in phosphorus- and nitrogen containing species, which corresponded to a decrease in LOI to approximately 28%. Optical microscopy further confirmed that although a homogeneous coating layer was initially formed on the fiber surface this layer became thinner after washing. The findings indicate that while the silane-based inorganic network forms a relatively stable structural backbone on the fabric surface, the flame-retardant performance is largely governed by phosphorus and nitrogen-containing additives. The partial loss of these components during washing suggests that the interaction between the additives and the substrate is not sufficiently strong. Therefore, this study demonstrates that achieving durable flame retardancy requires not only the deposition of functional additives onto the surface but also their covalent integration with both the cellulose structure and the silane network.

Keywords: Sol-gel network, Cotton fabric, Guanidine phosphate, Phytic acid, Fire retardancy

SİLAN-FOSFAT ESASLI SOL-JEL İLE PAMUKLU KUMAŞLARIN GÜÇ TUTUŞURLUK PERFORMANSININ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZ: Bu çalışmada, pamuklu kumaşların alev geciktirici özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla silan ve fosfor/azot içeren bileşenlerden oluşan hibrit bir sol-jel reçetesi uygulanmıştır. Uygulama öncesinde kumaş yüzeyine yüksek konsantrasyonda alkali ön işlem yapılarak selüloz yapısında intramissellar şişme sağlanmış, hidrojen bağları yeniden düzenlenmiş ve reaktif hidroksil gruplarının erişilebilirliği artırılmıştır. Sol-jel reçetesi, TEOS ve GPTMS öncülleri ile oluşturulan silanol ağ yapısı üzerine fitik asit, fosforik asit, guanidin fosfat ve üre gibi alev geciktirici katkıların entegre edilmesiyle geliştirilmiştir. Elde edilen kaplama emdirme yöntemi ile kumaş yüzeyine uygulanmış ve ısıtıl işlem ile üç boyutlu hibrit bir yapı oluşturulmuştur. FTIR ve XPS analizleri, kumaş yüzeyinde Si-O-Si ağ yapısının başarıyla oluştuğunu ve fosfor içeren bileşenlerin sisteme dahil edildiğini göstermiştir. TGA sonuçları sol-jel kaplamanın termal stabiliteyi artırarak bozunma sıcaklığını yükselttiğini ortaya koymuştur. LOI ve alev yayılma testleri, kaplama sonrası numunelerde belirgin bir alev geciktirici performans artışı sağlandığını ve LOI değerinin %52'nin üzerine çıktığını göstermiştir. Ancak yıkama sonrası FTIR ve XPS analizlerinde fosfor ve azot içeren katkıların azaldığı buna bağlı olarak LOI değerinin %28'e düştüğü belirlenmiştir. Optik mikroskop görüntüleri de kaplama sonrası lif yüzeyinde homojen bir film tabakası oluşmasına rağmen yıkama ile bu tabakanın incelendiğini doğrulamıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemde silan bazlı inorganik ağ yapısının yüzeyde kalıcı bir iskelet oluşturduğunu buna karşın alev geciktirici etkinliğin büyük ölçüde fosfor ve azot içeren katkı maddelerine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu katkıların yıkama sırasında uzaklaşması sistemde bağlanmanın yeterince güçlü olmadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, yüksek alev geciktirici performansın sürdürülebilirliği için katkı maddelerinin yalnızca yüzeye tutundurulmasının yeterli olmadığını, aynı zamanda lif yapısı ve silan ağı ile kovalent olarak bağlanmasının kritik olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sol-jel ağı, Pamuklu kumaş, Guanidin fosfat, Fitik asit, Güç tutuşurluk

***Sorumlu Yazarlar/Corresponding Authors:** cetin.aka@deu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/teksmuh.1939122>

www.tekstilmuhendis.org.tr