

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### İNSANLIK YARARINA TEKNOLOJİ YARIŞMASI

#### PROJE DETAY RAPORU

PROJE KATEGORİSİ: Afet Yönetimi

PROJE ADI:  $\geq 5500^{\circ}\text{C}$  SICAKLIĞA DAYANIKLI PVA  
TABANLI INTUMESCENT MALZEMENİN  
GELİŞTİRİLMESİ, TERMAL ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ VE KABARCIK OLUŞUM GAZI SALINIM  
HIZININ GERİ BİLDİRİM MEKANİZMASIYLA KONTROL  
EDİLMESİ

TAKIM ADI: BAGx

BAŞVURU ID: #49317

TAKIM SEVİYESİ: Lise

## İçindekiler

HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ .....	1
1. Proje Özeti (Proje Tanımı).....	2
2. Problem/Sorun .....	3
3. Çözüm .....	3
4. Yöntem.....	3
4.1. Veri Toplama Araçları ve Özellikleri .....	3
4.2. Araştırma İşlem Basamakları .....	4
4.2.1. Kontrollü Gaz Salınım Mekanizmasının (KGSM) Geliştirilmesi.....	4
4.2.2. Isıya Dayanıklı Levhaların Üretilmesi.....	4
4.2.3. Yüksek Sıcaklık Dayanıklılık Testlerinin Yapılması.....	5
4.2.4. Karbon Köpüğün Karakterizasyonu.....	6
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	8
6. Uygulanabilirlik .....	8
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması.....	9
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar) .....	9
9. Riskler .....	9
10. Kaynaklar .....	10

### 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Endüstride ve ileri teknoloji ürünlerde kullanılan yüksek ısıya dayanıklı malzemeleri daha kolay, daha ucuz, daha verimli ve çevreci şekilde üretebilmek amaçlarıyla gerçekleştirilen bu proje çalışmasında öncelikle kabarcık oluşturabilen kimyasal malzemelerin karbon köpük oluşturması sırasındaki gaz salınımını kontrollü hale getirebilmek için kontrollü gaz salınım mekanizması(KGSM) geliştirilmiştir. Yapılan kaynak taramalarında, tarafımızca geliştirilen KGSM veya benzeri bulunmadığından bu prosedürün literatürde ilk olduğu kanaati oluşmuştur.

KGSM, maddelerin ısı etkisi altında hacim değişikliği en az iken ısı dayanıklılığının en fazla olmasını sağlar. Bütün gaz tek seferde salınmayıp sıcaklıkla orantılı şekilde kontrollü olarak salınır. Bu sayede kontrollü karbon köpüğün ısı yalıtım oranı, bulunduğu sıcaklığa göre otomatik olarak ayarlanmış olur.

Çalışmamızda KGSM prosedürüyle farklı kombinasyonlarda intumescent materyaller(IM) üretilmiştir. PVA tabanlı IM'lerin karbon köpük sertliğini değiştirmek için bor oksit, sodyum oksit ve silisyum dioksit kullanılmıştır. Farklı kombinasyonlu IM'lere bunzen bekinde ısı testleri uygulanmıştır. Bu deneylerin başarısından sonra daha yüksek sıcaklık sağlayan kaynak arkıyla testler yapılmıştır. Kaynak arkı işlemi biter bitmez, yine bunzen beki sonucundaki gibi, malzemeye çıplak elle rahatlıkla dokunulabilmiştir.

Üretilen IM'nin bazı avantajları şunlardır:

- **Uygulanabilir:** Tamamı ucuz ve kolay bulunabilir maddelerden imal edilen IM'nin üretiminde karmaşık cihazlara ve makinelere ihtiyaç duyulmaz. Seri üretime uygundur.
- **Çevreci:** Üretiminde kullanılan kimyasallar çevre ve insan sağlığına zararsızdır. Yüksek ısı temasından sonra zararlı gazlar oluşturmaz.
- **Verimli:** Isı yalıtımında çok verimli olduğundan 5500 °C 'lik plazmayla temasından hemen sonra dahi çıplak elle dokunulabilir özelliktedir. Geleneksel yüksek ısı koruma yöntemlerine göre daha başarılıdır.
- **Katma Değeri Yüksek:** Düşük fiyatlı hammadde girdilerinden, düşük maliyetli imalat prosesleri sonucunda üretilen nihai ürün oldukça yüksek fiyatla satılabilir.

## 2. Problem/Sorun

Yangınlar oluştuğu coğrafik alanda maddi hasarlara ve can kayıplarına neden olurlar. Mal kayıplarının önemli kısmı, yangın sırasında binanın demir iskeletinin içindeki metal kristallerinin büyümesi ve metalin dayanıksızlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum yangından sonra binanın kullanılamaz hale gelmesine yol açtığından, binanın yıkılıp yerine yeni bina inşa edilmesine sebep olmaktadır.

Yangınlarda yaşanan can kayıplarının bir kısmı ise yangını kontrol altına almaya çalışan itfaiyecilerden oluşturmaktadır.

## 3. Çözüm

İntumescent malzemeler çok yüksek sıcaklıklara dayanabilen, hafif ve çeşitli esnekliklerde üretilen çok özel malzemelerdir. Bu çalışma sırasında üretilen IM çok yüksek sıcaklıklara karşı yapıları ve insanları koruyacaktır. Bu sayede yangın sonrası oluşan can ve mal kayıpları azalacaktır.

## 4. Yöntem

Bu çalışmada deneysel araştırma yöntemi kullanılmıştır.

### 4.1. Veri Toplama Araçları ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan cihazların özellikleri şu şekildedir:

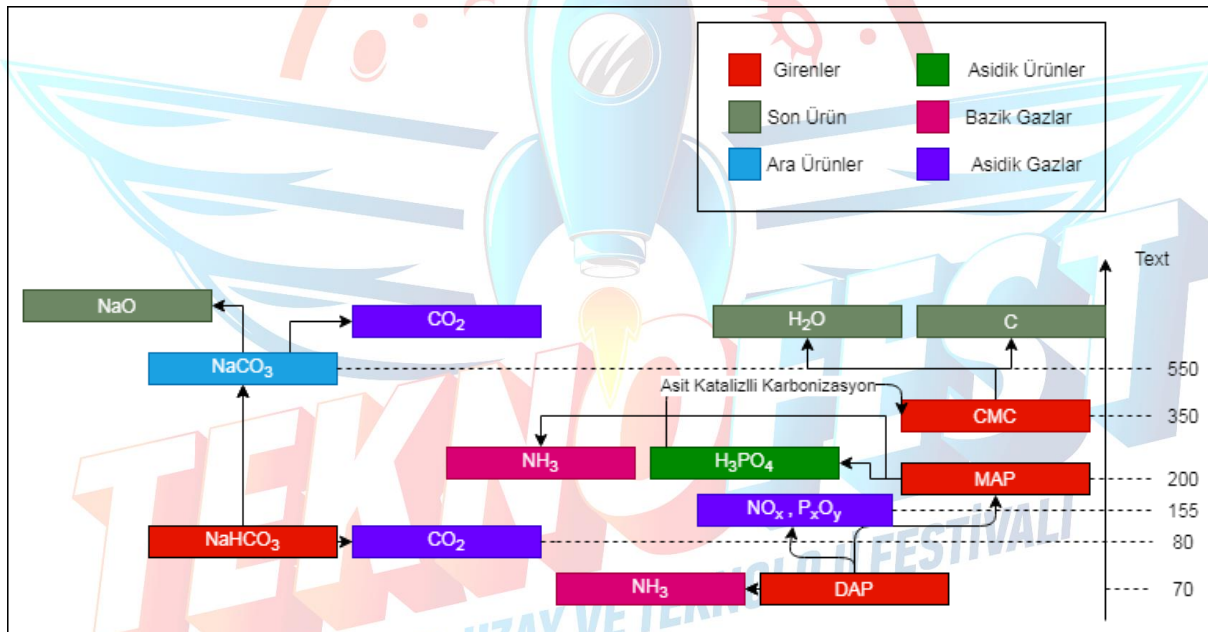
1. Isıtıcı Manyetik Karıştırıcı, MTOPS marka MS300HS modelidir. Tabla alanı 180x180 mm, sıcaklığı elle ayarlamalı maksimum 380 °C, hassasiyeti 1 °C'dir.
2. Hassas tartı, Kern marka PLS modelidir. Hassasiyeti 0.001 g'dır. Cihaz maksimum 420 gram ölçebilmektedir.
3. Etüv, Elektro Mag marka M5040P model olup maksimum 300 °C ısıtabilmektedir. Hassasiyeti 1 °C'dir.
4. 3D Yazıcı Zaxe marka X2 3D modelidir. Baskı Hacmi 200x200x205 mm, Güç Girişi 110/240V – 2A 50/60, Baskı Teknolojisi FFF olup çözünürlüğü 50 – 400 microndur.
5. Termometre, Nova 5000 grafik tabletin termometre probudur. Hassasiyeti 0.01 °C'dir.
6. TGA50 Thermogravimetric Analyzer (Shimadzu Corp.). TGA termogramları, statik bir hava atmosferinde 10 °C / dakikalık bir ısıtma hızında kaydedildi.

7. Yüzey yapısı ve morfolojileri LEO-EVO 40 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Bu analizde, tüm numuneler bir Sputtering (BAL-TEC SCD 050) ile 20 nm Au / Pd ile kaplanmıştır.
8. FTIR cihazı Perkin Elmer 283 modeldir. FTIR spektrumları, KBr peletleriyle  $400\text{cm}^{-1}$  ila  $4000\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında kaydedildi.

## 4.2. Araştırma İşlem Basamakları

### 4.2.1. Kontrollü Gaz Salınım Mekanizmasının (KGSM) Geliştirilmesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilerek önerilen kontrollü gaz salınım mekanizması IM'nin içindeki termal bozunma ile gaz salınımı yapan kimyasalların gaz salınım oranlarının kimyasal etkiler ile otomatik olarak ayarlaması prensibine dayanır. Kabarcık oluşturabilen intumescent materyallerin karbon köpük oluşumu sırasında gerçekleşen gaz oluşumunu kontrol altına alabilen KGSM sayesinde bütün gaz tek seferde salınmayıp sıcaklıkla orantılı bir şekilde salınır. Bu özellik karbon köpüğün ısı yalıtım oranını bulunduğu sıcaklığa göre ayarlayıp kontrollü bir şekilde kabarmasını sağlar (Şekil 1).



Şekil 1. Kontrollü gaz salınım mekanizması akış şeması

Karbon köpüğün sertliğinin değiştirilebilirliği birçok endüstriyel uygulama için büyük önem arz etmektedir. Herhangi bir yangın anında oluşan köpüğün yangından sonra daha rahat bir şekilde soyulabilmesi için köpüğün yumuşak olması istenirken, yüksek ısıya dayanması gereken jet motorlarının veya uzay aracı dış kaplamalarının daha sert bir karbon köpüğe sahip olması istenir. Bu durum karbon köpüğün sertliğinin değiştirilebilmesini önemli bir özellik haline getirir.

### 4.2.2. Isıya Dayanıklı Levhaların Üretilmesi

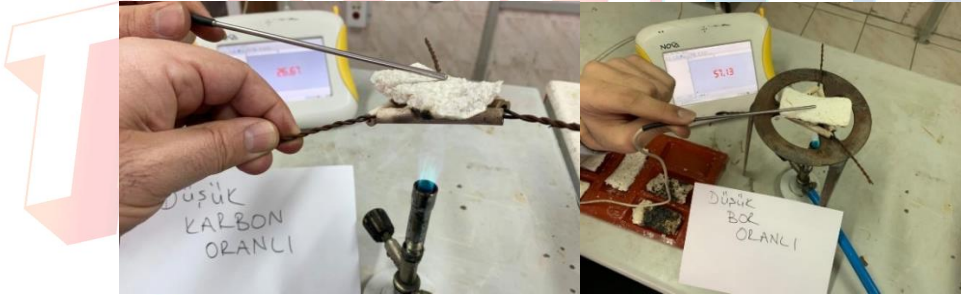
Isıya dayanıklı levhalar belirli oranlarda (Tablo 1) APP, PVA, Borik asit, CMC ve Kolloidal Silika(C-SiO<sub>2</sub>) karışımı su içinde dağıtıldıktan sonra kalıplara döküldü. Elde edilen karolar 3 gün oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı.

**Tablo 1.** IM kompozisyonları

	Kontrol Intumescent Material (KIM)	Düşük Karbon Oranlı Intumescent Material (LCIM)	Bor Bulundurmuyan Intumescent Material (BFIM)	Yüksek Bor Oranda Bulunduran Intumescent Material (HBIM)	Yüksek Bor Oranda C-SiO <sub>2</sub> Bulunduran Intumescent Material (HSiO <sub>2</sub> IM)	Düşük Oranda APP İçeren Intumescent Material (LNIM)	C-SiO <sub>2</sub> Bulundurmuyan Intumescent Material (0-SiO <sub>2</sub> IM)
PVA	40g	40g	40g	40g	40g	40g	40g
CMC	10g	5g	10g	10g	10g	10g	10g
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5g	5g	0g	10g	5g	5g	5g
NaHCO <sub>3</sub>	5g	5g	5g	5g	5g	5g	5g
DAP	5g	5g	5g	5g	5g	0g	5g
C-SiO <sub>2</sub>	1g	1g	1g	1g	2g	1g	0g

#### 4.2.3. Yüksek Sıcaklık Dayanıklılık Testlerinin Yapılması

Dayanıklılık testleri bunzen beki yardımıyla oluşturulan LPG ateşinde test edilmiştir. Isıya dayanıklı levhaların bir yüzü bunzen bekinin ateşine maruz bırakılırken diğer yüzünde ise NOVA 5000 tabletinin dijital termometresi yardımıyla sıcaklık ölçümü yapılmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2.** Bunzen beki ile yapılan ısıl işlem

IM 4500 °C (20) sıcaklıktaki kaynak arkı ile tekrar test edilmiştir (Şekil 3).



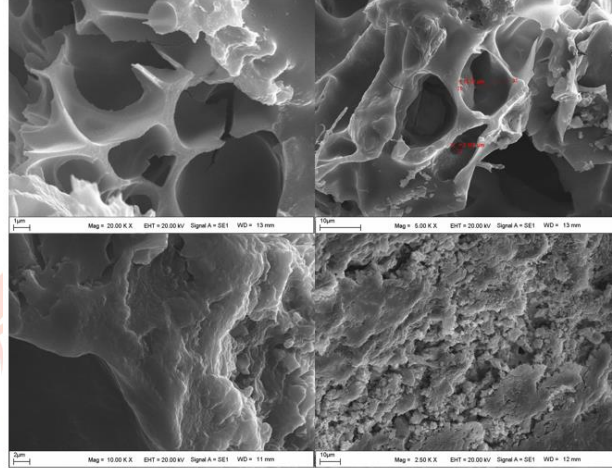
**Şekil 3.** Kaynak arkı ile yapılan ısıl işlem

#### 4.2.4. Karbon Köpüğün Karakterizasyonu

Bunzen beki testinde en başarılı olan karbon köpük SEM, FTIR, XRD ve TGA cihazları yardımıyla karakterizasyonu işlemi yapıldı.

##### SEM Analizi

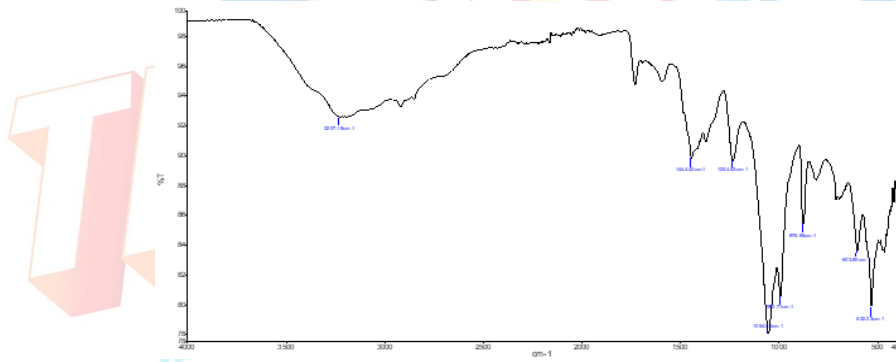
SEM analizi karbon köpüğün ve IM'nin yüzey morfolojisini incelemek için uygulanmıştır.



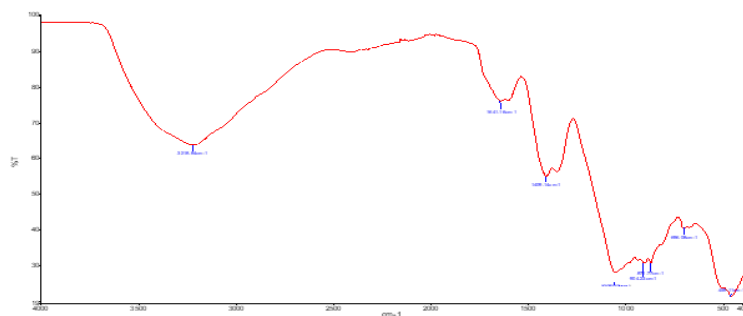
Şekil 4. SEM mikrografları

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış IM'nin SEM mikrografları incelendiğinde karbon köpük oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 4). Oluşan karbon köpüğün ortalama gözenek çapı 13 mikrometredir.

##### FTIR Spektroskopisi Analizi



Grafik 1. Yüksek ısıya maruz bırakılmamış IM'nin FTIR spektroskopisi grafiği

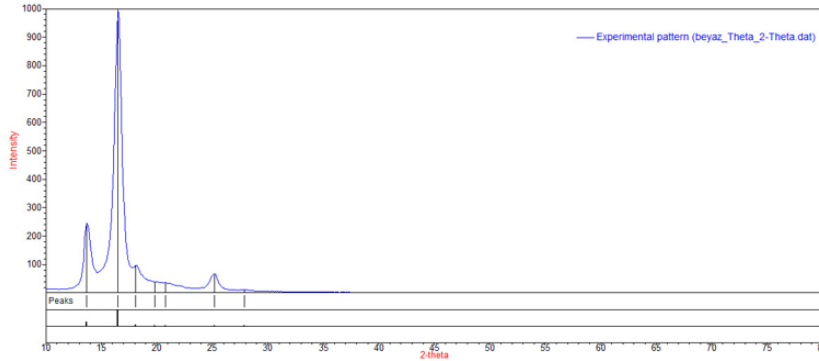


Grafik 2. Karbon köpüğün FTIR spektroskopisi grafiği

FTIR ile IM'nin (Grafik 1) ve karbon köpüğün (Grafik 2) kimyasal özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Karbon köpüğün FTIR spektroskopisinde hidroksil bağına denk gelen pikin büyüklüğü IM'nin pikinden daha büyüktür. Bunun dışında organik moleküllerde bulunan C-C, C-H ve C-N gibi bağlar yüksek ısının etki ile kopmuştur. Bu nedenle karbon köpüğün FTIR grafiği, IM'nin FTIR grafiğine oranla daha az pik içermektedir (Grafik 2).

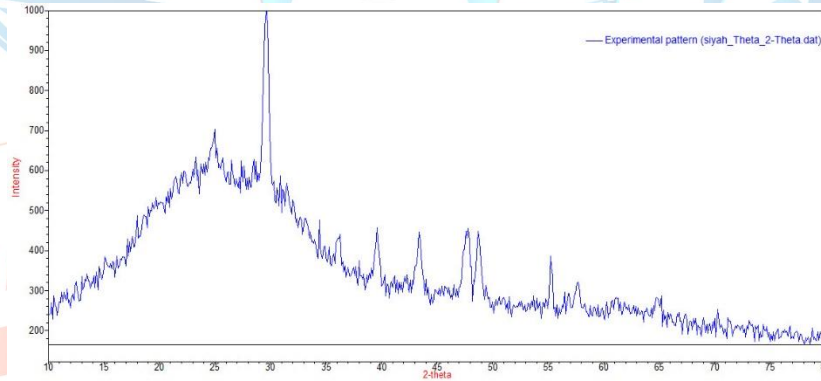
### XRD Analizi

XRD analizi karbon köpüğün kristal yapısı hakkında bilgi edinmek amacıyla uygulanmıştır.



**Grafik 3.** Isıl işlem öncesi IM'nin XRD grafiği.

IM'nin ısıl işlem öncesi XRD grafiğinde (Grafik 3) görülen büyük pikin borik aside ait olduğu, diğer küçük piklerin ise silika, sodyum bikarbonat ve diğer kristalin maddelere ait olduğu belirlenmiştir.

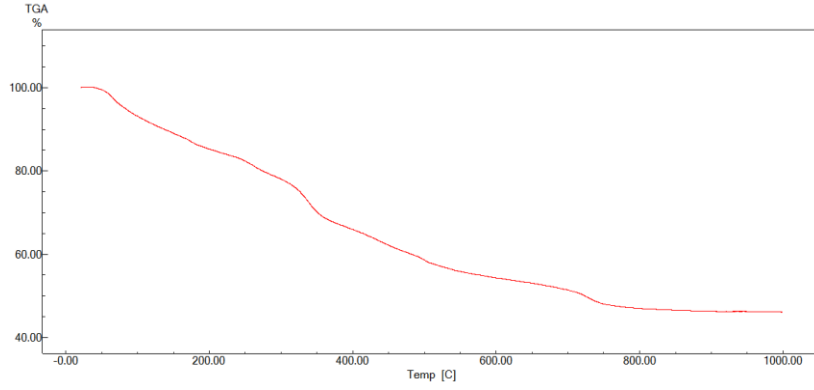


**Grafik 4.** Karbon köpüğün XRD grafiği.

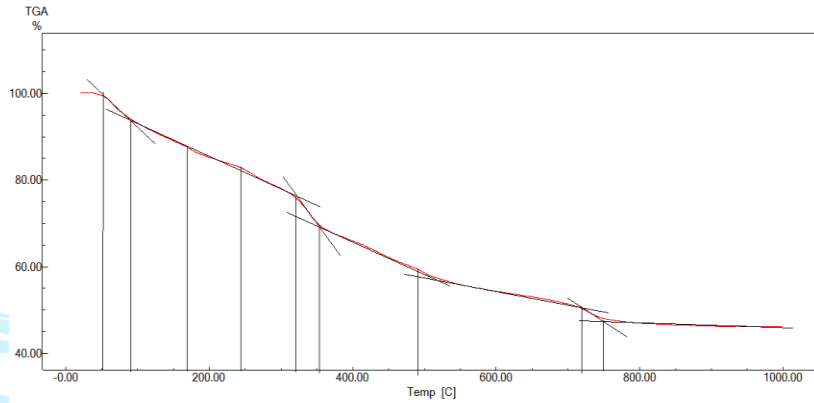
Isıl işlem sonrasında IM üzerinde amorf karbon köpük oluşmuştur. XRD grafiğindeki (Grafik 4) birçok pik amorf karbondan kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda  $2\theta \cong 25$  derecede reaksiyona girmemiş borik asitten kaynaklanan bir pik ve bor oksitten kaynaklanan  $2\theta \cong 30$  derecede bir pik bulunmaktadır. Diğer küçük pikler termal dekompozisyon sırasında oluşan yan ürünlerden kaynaklanmaktadır.

### TGA Analizi

TGA, IM'nin kontrollü gaz salınım mekanizması hipotezinin test edilmesi için uygulanmıştır. TGA 10 °C/dk hızla 1000 °C'ye kadar uygulanmıştır. IM'nin sıcaklık karşısındaki kütle değişimi TGA ile incelenmiştir(Grafik 5).



**Grafik 5.** IM'nin TGA grafiği



**Grafik 6.** Eğimlerine göre işaretlenmiş TGA grafiği

IM'nin içinde bulunan maddelerin bozunma sıcaklıklarına göre eğimler değişmektedir (Grafik 6). Grafikte eğimi değişen kısımlar doğru parçaları ile belirginleştirilmiştir.

## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Çalışmada geliştirilen kompozisyonlar literatürde bir ilk olup gösterdiği etkiler bakımından benzer materyaller ile karşılaştırıldığında materyalimizi çok üstün kılmaktadır. Yapılan kaynak taramalarında, tarafımızca geliştirilen Kontrollü Gaz Salınım Mekanizması (KGSM) veya benzeri bulunmadığından bu prosedürün literatürde ilk olduğu kanaati oluşmuştur.

KGSM, maddelerin ısıl etki altında hacim değişikliği en az iken ısıl dayanıklılığının en fazla olmasını sağlar. Bütün gaz tek seferde salınmayıp sıcaklıkla orantılı şekilde kontrollü olarak salınır. Bu sayede kontrollü karbon kabaran karbon köpüğün ısı yalıtım oranı, bulunduğu sıcaklığa göre otomatik olarak ayarlanmış olur.

## 6. Uygulanabilirlik

Bu materyalin üretimi için herhangi özel bir teknik ve araç gerekmemektedir. Üretim için materyallerin karıştırılması yeterlidir. Ürünün maliyeti çok düşüktür, deneysel çalışmalar sırasında laboratuvarlar için üretilmiş çok yüksek saflıktaki kimyasallar kullanıldığı için maliyet yüksek kalmıştır ancak bütün kimyasallar endüstride kullanılan çok ucuz ve tedariki kolay kimyasallardır.



## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

**Tablo 2.** İş-Zaman Çizelgesi

İşin Tanımı	Aylar						
	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat
Literatür Taraması	X	X	X	X	X	X	
Verilerin Toplanması	X	X	X	X	X	X	
Laboratuvar Çalışması			X	X	X	X	
Proje Raporu Yazımı						X	X

**Tablo 3.** Çalışma sırasında kullanılan ve kullanılacak kimyasalların Sigma-Aldrich web sitesi üzerindeki fiyatları.

Malzeme	Fiyat (TL)
Poly(vinyl acetate)( <a href="#">Sigma-Aldrich-500g</a> )	2,112.05
Carboxymethylcellulose sodium salt( <a href="#">Sigma-Aldrich-1kg-High Viscosity</a> )	2,143.01
Boric acid( <a href="#">Sigma-Aldrich-500g</a> )	643.93
Sodium Hydrogen Carbonate( <a href="#">Sigma-Aldrich-1kg</a> )	311.85
Ammonium phosphate dibasic( <a href="#">Sigma-Aldrich-1kg</a> )	1,351.42
Silica nanopowder( <a href="#">Sigma-Aldrich-100g</a> )	2,170.59
Poly(vinylidene fluoride) ( <a href="#">Sigma-Aldrich-250g</a> )	2,648.68
PDMS 1000 ( <a href="#">Sigma-Aldrich-1L</a> )	4,716.61
1-Methyl-2-pyrrolidinone ( <a href="#">Sigma-Aldrich-1L</a> )	1,662.24
<b>Toplam</b>	<b>17.760.38</b>

Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin fiyatı uluslararası kimya şirketi Sigma-Aldrich firmasından alınmıştır. Bu fiyatlar ürün deneysel çalışmalarında kullanılan kimyasalların fiyatlarıdır daha yüksek hacimli üretimlerde bu fiyat ciddi bir şekilde düşecektir.

## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Üretilen materyal hızlı, ucuz ve kolay bir şekilde binaların duvarlarına uygulanabilir. Binaların yangın sırasındaki yüksek sıcaklıktan korunmasını sağlayarak yangın sonrası binanın tekrar kullanımına olanak sağlar. Ayrıca materyal fiziksel ve kimyasal birçok etkene karşı dayanıklıdır. Malzemenin yumuşak hali geliştirilerek itfaiyeci kıyafetlerinde kullanılabilmesini sağlanmıştır. Kimyasal etkenlere dayanıklı olduğu için kimya fabrikalarındaki yangınlarda hem itfaiyeci kıyafeti olarak hem de binanın korunmasında kullanılabilir. Kaynak işleminin çok kullanıldığı yerlerde de nesnelere kaynak ısısından korumak amaçlı kullanılabilir.

## 9. Riskler

Malzemenin üretiminde, üretim yönteminde kullanılan kimyasalların insanlara ve doğaya zararı yoktur. Ürün yüksek ısıyla karşılaştıktan sonra toksik atık oluşturmaz.

## 10. Kaynaklar

1. Cobb, W.W., 2019. How SpaceX lowered costs and reduced barriers to space Erişim Tarihi: 6 Ocak 2020 <https://theconversation.com/how-spacex-lowered-costs-and-reduced-barriers-to-space-112586>
2. DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik), a state-level authority concerned with technical matters related to construction (building regulations, design, testing, certification, safety, building equipment, approvals, etc.
3. Chou, C. S., Lin, S. H., & Wang, C. I. (2009). Preparation and characterization of the intumescent fire retardant coating with a new flame retardant. *Advanced Powder Technology*, 20(2), 169-176.
4. Gu, J. W., Zhang, G. C., Dong, S. L., Zhang, Q. Y., & Kong, J. (2007). Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of intumescent flame-retardant coatings. *Surface and coatings technology*, 201(18), 7835-7841.
5. Ullah, S., Ahmad, F., & Yusoff, P. M. (2013). Effect of boric acid and melamine on the intumescent fire-retardant coating composition for the fire protection of structural steel substrates. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(5), 2983-2993.
6. Hu, X., Zhu, X., & Sun, Z. (2019). Efficient flame-retardant and smoke-suppression properties of MgAlCO<sub>3</sub>-LDHs on the intumescent fire retardant coating for steel structures. *Progress in Organic Coatings*, 135, 291-298.
7. Aziz, H., & Ahmad, F. (2016). Effects from nano-titanium oxide on the thermal resistance of an intumescent fire retardant coating for structural applications. *Progress in Organic Coatings*, 101, 431-439.
8. Liu, S., Wang, C., Hu, Q., Huo, S., Zhang, Q., & Liu, Z. (2020). Intumescent fire retardant coating with recycled powder from industrial effluent optimized using response surface methodology. *Progress in Organic Coatings*, 140, 105494.
9. Ullah, S., Ahmad, F., Shariff, A. M., Bustam, M. A., Gonfa, G., & Gillani, Q. F. (2017). Effects of ammonium polyphosphate and boric acid on the thermal degradation of an intumescent fire retardant coating. *Progress in Organic Coatings*, 109, 70-82.
10. Huo, S., Wang, C., Hu, Q., Liu, S., Zhang, Q., & Liu, Z. (2020). A facile strategy to fabricate an intumescent fire-retardant coating with improved fire resistance and water tolerance for steel structure. *Journal of Coatings Technology and Research*, 17, 1401-1411.
11. Uddin, M., Kiviranta, K., Suvanto, S., Alvila, L., Leskinen, J., Lappalainen, R., & Haapala, A. (2020). Casein-magnesium composite as an intumescent fire retardant coating for wood. *Fire Safety Journal*, 112, 102943.
12. Wang, C., Huo, S., Liu, S., Zhang, Q., & Liu, Z. (2021). Exfoliated and functionalized boron nitride nanosheets towards improved fire resistance and water tolerance of intumescent fire retardant coating. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(15), 50177.
13. Surprising Facts About Arc Welding Erişim Tarihi: 6 Ocak 2020 <https://monroeengineering.com/blog/6-surprising-facts-about-arc-welding/#:~:text=While%20different%20metals%20require%20different,arcs%20are%20incidentally%20hot%20nonetheless.>
14. Puri, R.G., Khanna, A.S. Intumescent coatings: A review on recent progress. *J Coat Technol Res* 14, 1–20 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11998-016-9815-3>