

UZAY, HAVACILIK VE SAVUNMA SANAYİNDE KULLANILAN ELASTOMER MALZEMELER İLE KOMPOZİT MALZEMELERİN FUNGUS DUYARLILIKLARININ İNCELENMESİ

Nalan Tüzün¹
TÜBİTAK SAGE, Ankara

Serhat Varış²
TÜBİTAK SAGE, Ankara

ÖZET

*Bu çalışmada, uzay, havacılık ve savunma sanayiinde kullanılan EPDM, Silikon (VMQ), Florosilikon ve Neopren içerikli elastomer malzemeler ile cam epoksi içerikli kompozit malzemelerin fungus duyarlılıkları incelenmiştir. İlgili malzemelerin fungus büyümesini destekleyip desteklemediğini, destekliyorsa ne derecede desteklediğinin anlaşılabilmesi amacıyla birtakım testler MIL-STD-810G-CN1 standardı 508.7 yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre ilgili malzemeler; fungus sporları (*Aspergillus brasiliensis* (*Aspergillus niger*), *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma virens*, *Aspergillus versicolor*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium ochro-chloron*, *Chaetomium globosum*, *Scopulariopsis brevicaulis*) ile uygun koşullarda ($30 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık, en az %90 nem) en az 28 gün inkübe edilmiştir ve bu süre sonunda test edilen elastomer ve kompozit malzemeler üzerinde fungus üremesinin olup olmadığı incelenmiştir. Testler sonucunda numunelerin üzerinde herhangi bir fungus üremesi gözlemlenmemiştir.*

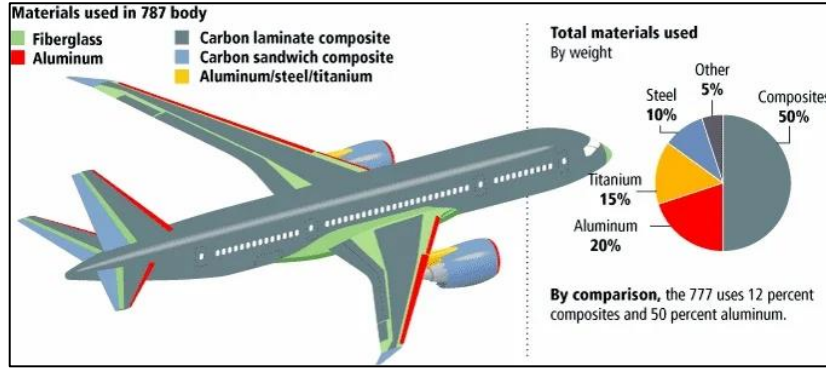
GİRİŞ

Uzay, havacılık ve savunma sanayiindeki teknolojik gelişmelerin en önemli temellerinden biri malzeme alanındaki ilerlemelerdir. Uzay, havacılık ve savunma sanayinde kullanılan malzemeler ve özellikleri hava taşıtının kullanım amacına göre değişmektedir. Kullanım amacına göre yolcu, kargo ve askeri uçaklarda kullanılan malzemeler başlıca iki grupta toplanabilir. Bunlar; metalik malzemeler ve metal dışı malzemelerdir. Metalik malzemelerin başlıcaları alüminyum, çelik, titanyum ve diğer alaşım malzemeler iken 1950'li yılların ortalarından günümüze kadar havacılıkta önemli bir parametre olan hava taşıt ağırlığının azaltılması amacıyla metalik malzemelerin yerini mühendislik plastikleri, çeşitli polimerik malzemeler ve ileri kompozit malzemeler almaya devam etmiştir.

Metal dışı malzemelerden kompozit malzemeler, malzeme alanındaki en geniş uygulama alanı bulan alt gruplardan biri olarak metal malzemelere göre çok daha hafif olmaları, uzun kullanım ve performans özellikleri, kolay üretilebilirlik, düşük maliyet, diğer malzemeler ile uyumluluk ve kalite gibi avantajları nedeniyle uzay, havacılık ve savunma sanayiinde özellikle tercih edilmektedirler. Kompozit malzemeler büyük oranda polimer esaslı olarak üretilmektedirler. Günümüzde ve gelecekte üretimi ve kullanımı oldukça stratejik olan malzemelerdir. Şekil 1'de Boeing 787 Dreamliner'da kullanılan malzeme çeşitliliği incelendiğinde kullanılan malzemelerin ağırlıkça %50'sini kompozit malzemelerin oluşturduğu gözlenmektedir [Giurgiutu, V. 2022].

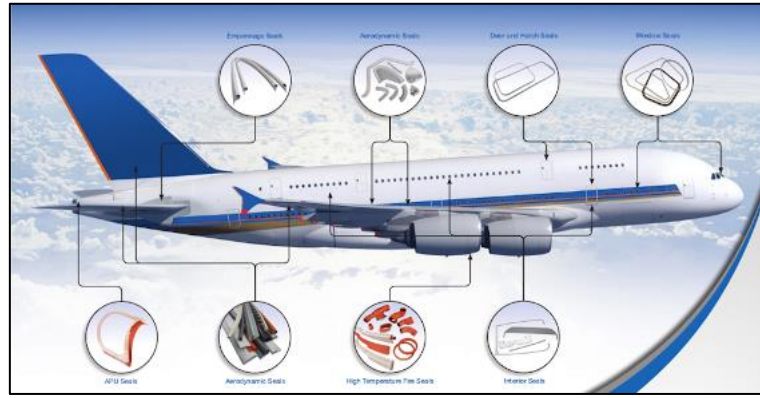
¹ Dr., Başuzman Araştırmacı, E-posta: nalan.ozbay@tubitak.gov.tr

² Dr., Kıdemli Başuzman Araştırmacı, E-posta: serhat.varis@tubitak.gov.tr



Şekil 1: Boeing 787 Dreamliner'da Kullanılan Malzeme Çeşitlilik Dağılımı [Giurgiutu, V. 2022]

Bir diğer metal dışı stratejik öneme sahip olan polimerik malzeme türü ise elastomerik (kauçuk) malzemelerdir. Elastomer malzemeler; esnek ve elastik olmaları, yüksek termal dayanıklılıkları, gaz geçirgenliklerinin düşük ve aşınmaya karşı dirençlerinin yüksek olması, uzun ömürlü olmaları, oda sıcaklığında bile gerdirildiğinde uzunluklarının iki katına kadar uzayabilmeleri ve gerilimin kaldırılmasıyla eski byutlarına geri dönmeleri gibi özellikleri ile uzay, havacılık ve savunma endüstrilerinde kullanılan katma değeri yüksek, ileri teknoloji ve bilgi gerektiren ileri malzemeler arasında ön sırada yer almaktadır. Şekil 2'de Boeing 737, 777 ve 787; Airbus A320, A330 ve A350 gibi platformlarda kullanılan elastomerik malzemelere örnekler belirtilmektedir [Kirkhill, 2024].



Şekil 2: Hava Taşıtlarında Kullanılan Elastomerik Malzeme Çeşitliliği [Kirkhill, 2024]

Malzemelerin, ekipmanların veya sistemlerin fiziksel ve kimyasal etkileşimler dışında biyolojik etkileşimler sonucu performans ve kullanım özellikleri değişebilmektedir. Malzemeler, ekipmanlar veya sistemlerde meydana gelebilecek biyolojik etkileşimler mantar/küf (İng. Fungus) oluşumlarını meydana getirebilmektedir. Küf mantarı özellikle havada bulunan sporların nemli ve besinli ortamlarda çoğalmasıyla meydana gelen mantar türüdür. Küf mantarı, tipik sporlar ve küf lifleri oluşturarak çoğalan ve büyüyen tüm mantar türleri için kullanılan genel bir kavramdır. Gelişme aşamasında küf mantarları hücre lifleri meydana getirirler. Bu aşamada lifler renksizdir ve gözle görülmezler. Daha sonra yayılarak sporlar üretirler. Bu sporlar genellikle renkli oldukları için küf mantarlarının bu safhada siyah veya sarı küf lekeleri halinde gözle görülmesi mümkün olabilmektedir. Malzemeler, ekipmanlar veya sistemlerde karşılaşılan mantar oluşumları, oluşturduğu yapının performans özelliklerini düşürebilmekte ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir.

Mantar/küf, su ve nem etkisi sonucu oluşmaktadır. Küf mantarları, metabolik aktivitelerini gerçekleştirmek için oldukça yüksek neme (%90 ve üzeri) gereksinim duyarlar. Bir sistemde oluşan küf mantarları; hatalı tasarım, hatalı uygulamalar, hatalı kullanım, hatalı depolama nedeniyle oluşan kalıcı nemden kaynaklanmaktadır. Ortamdaki nem miktarının kalıcı olarak %90 ve üzerindeki bir oranda olması, o mekanda çeşitli mikroorganizmaların yaşamaları ve üremelerine olanak sağlamaktadır. Bu organizmalar nem oranının %50'nin altında olması durumunda tutundukları malzemeden beslenerek üreme ve yaşama olanağı bulamamaktadırlar [Aykanat, A. 2014].

YÖNTEM

Fungus duyarlılık testleri; askeri ve sivil malzemelerde, kontrollü çevre şartlarında fungus (mantar ve küf) üremesinin olup olmayacağı, oluyorsa bu üremenin teçhizatın işlevselliğini etkileyip etkilemediğinin tespit edilmesi amacıyla yürütülmektedir. Malzemelerin kullanım yeri ve amacına göre gerçekleştirilebilecek çeşitli test standartları (MIL-STD 810, RTCA/DO-160, ASTM G21, JIS Z-2801, TS 4348 gibi) bulunmaktadır.

Bu çalışmada havacılık ve savunma sanayiinde sıklıkla kullanılan elastomerik malzemelerden EPDM, Silikon (VMQ), Florosilikon ve Neopren; kompozit malzemelerden cam epoksi içerikli kompozit malzemenin fungus (mantar/küf) duyarlılık testleri askeri bir standart olan MIL-STD 810'un G revizyonunun CN1 versiyonu 508.7 nolu metoduna [MIL-STD-810G Standard,2008] göre gerçekleştirilmiştir.

Buna göre, fungus duyarlılık testleri, test edilen malzemelerin fungus büyümesini destekleyip desteklemediğini, destekliyorsa ne derecede desteklediğini görmek için materyalin fungus sporları ile $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve en az %90 nem koşullarında en az 28 gün inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda materyaller üzerinde fungus üremesinin olup olmadığı gözlenmiştir. Teste alınan her bir adet numuneye on farklı fungus türüne ait sporları içeren karışım tatbik edilerek uygulanmıştır. Test kurulumu Şekil 3 ile gösterilmektedir.



Şekil 3: Test Kurulumu (İnkübasyon)

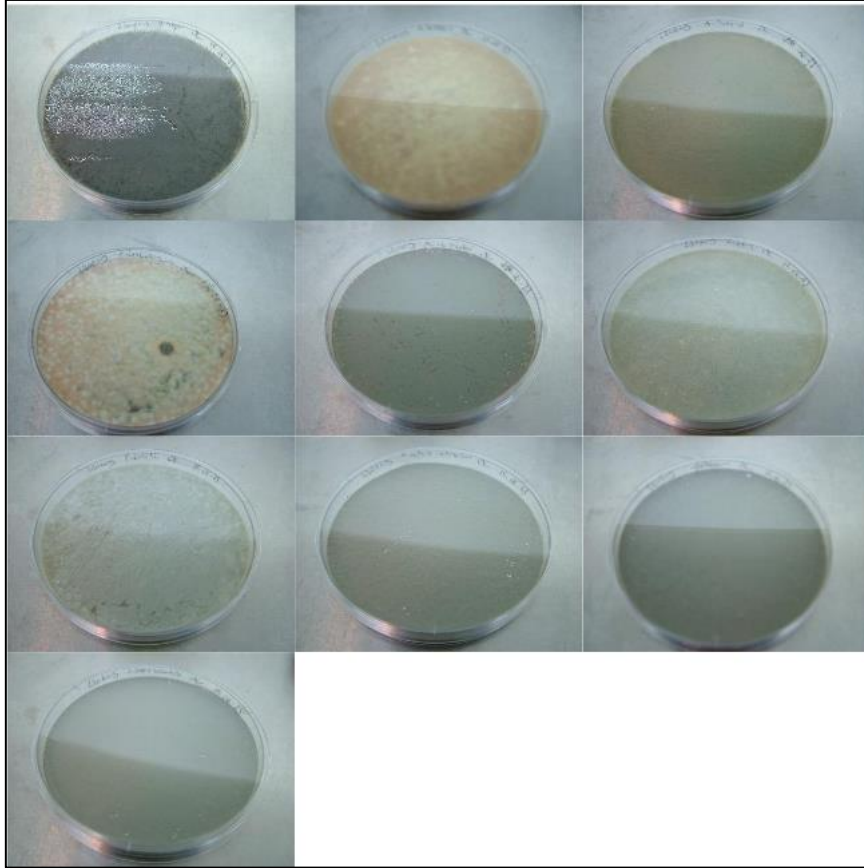
Fungus direnci testinde kritik parametreler test kabini içerisindeki nem ve sıcaklık değerleridir. Bunlar deney süresince sabit tutulmalıdır. 28 gün boyunca nem ve sıcaklık değerleri takip edilmiştir. Testlerde kullanılan mikroorganizma türleri aşağıdaki tabloda (Tablo 1) belirtilmektedir.

Tablo 1: Testlerde Kullanılan Mikroorganizma Türleri

No	Mikroorganizma Türü
1	<i>Aspergillus brasiliensis</i> (<i>Aspergillus niger</i>) (ATCC 9642)
2	<i>Aspergillus terreus</i> (ATCC 10960)
3	<i>Aspergillus flavus</i> (ATCC 9643)
4	<i>Penicillium funiculosum</i> (ATCC 11797)
5	<i>Trichoderma virens</i> (ATCC 9645)
6	<i>Aspergillus versicolor</i> (ATCC 11730)
7	<i>Paecilomyces variotii</i> (ATCC 18502)
8	<i>Penicillium ochro-chloron</i> (ATCC 9112)
9	<i>Chaetomium globosum</i> (ATCC 6205)
10	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> (ATCC 36840)

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Spor karışımı süspansiyonunda kullanılan sporların canlı olduğunu göstermek amacıyla spor karışımı süspansiyonunda kullanılan her bir fungus türünün sporları besi yeri üzerine ekilir ve bir hafta sonra kontrol edilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 4) fungus sporlarının canlılık sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 4: Canlılık Testi Sonuçları

Şekil 4’de sol üstten sağ alta doğru ilgili mikroorganizmaların sıralaması: “*Aspergillus brasiliensis* (*Aspergillus niger*), *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma*

virens, Aspergillus versicolor, Paecilomyces variotii, Penicillium ochro-chloron, Chaetomium globosum, Scopulariopsis brevicaulis" şeklindedir. Şekil 4 incelendiğinde; teste kullanılan spor karışımı süspansiyonu hazırlanırken kullanılan her türün fungus sporlarının canlı olduğu tespit edilmiştir.

Deneyde kullanılan ikinci bir kontrol de test ortamının fungus büyümesine elverişli olduğunu göstermek amacıyla numune ile aynı spor karışımı süspansiyonu ile spreylenen, aynı şartlarda, aynı süre boyunca inkübe edilen %100 pamuklu kumaş şerittir. Test ortamının fungus büyümesine elverişli olması durumunda bu kumaş şeridin tüm yüzeyinin test sonunda fungus ile kaplanmış olduğu gözlemlenmelidir. Sonuçlar Şekil 5 ile gösterilmektedir.


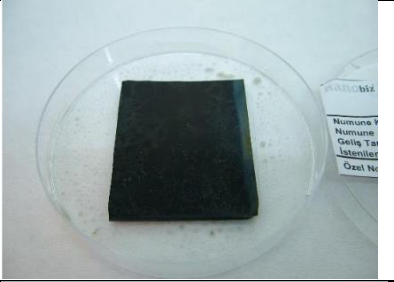

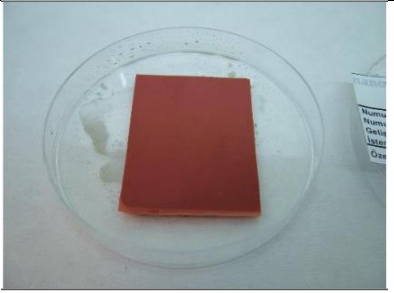

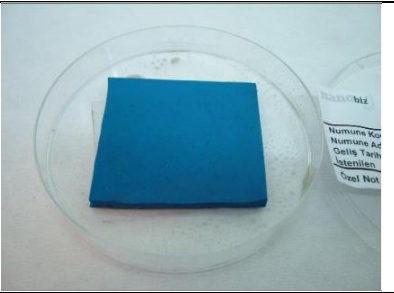

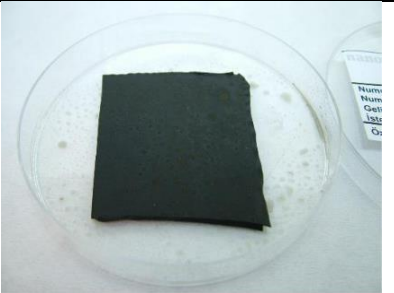

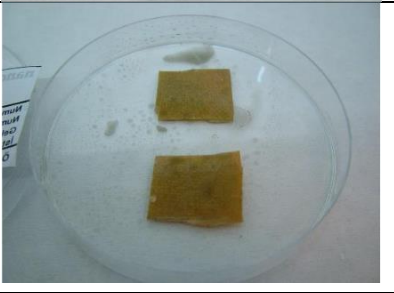

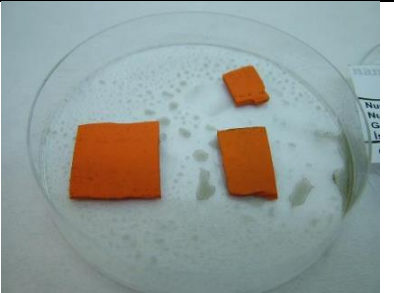


Şekil 5: Kumaş Şerit Testi (Kontrol Numunesi) Sonucu (test öncesi (sol), test sonrası (sağ))

Şekil 3'de görüldüğü üzere %100 pamuklu kumaş üzerinde fungus büyümesi mevcuttur. Buna göre test ortamı fungus büyümesi için elverişlidir. Özetle spor karışımı süspansiyonunu oluşturan her bir türün sporları canlıdır ve fungus kolonileri oluşturabilmektedir; test ortamı da fungus büyümesi için uygundur; numune üzerinde fungus büyümesi olup olmadığı değerlendirilebilir. Dolayısıyla, elde edilen bu veriler ışığında fungus testinin MIL-STD-810G-CN1 Standartlarına uygun olarak yürütüldüğü teyit edilmiştir.

Fungus duyarlılık testlerinde elastomer malzemelerden EPDM, Silikon (VMQ), Florosilikon ve Neopren; kompozit malzemelerden cam epoksi içerikli kompozit malzemenin fungus (mantar/küf) duyarlılık fungus sporları ile 30°C ±2°C sıcaklık ve en az %90 nem koşullarında en az 28 gün inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda materyaller üzerinde fungus üremesinin olup olmadığı gözlenmiştir. Teste alınan her bir adet numuneye on farklı fungus türüne ait sporları içeren karışım tatbik edilerek uygulanmıştır. Buna göre Tablo 2 ile test numunelerinin fungus testi sonunda elde edilmiş görüntüleri verilmiştir.

Tablo 2: Fungus Testi Sonuç Görüntüleri

Malzeme Adı	Fungus Testi Öncesi	Fungus Testi Sonucu
EPDM		
Silikon (VMQ)		
Florosilikon		
Neopren		
Cam epoksi içerikli kompozit (boyasız)		
Cam epoksi içerikli kompozit (boyalı)		

SONUÇ

Uygulamalar ve Değerlendirme başlığında verilen bilgiler ışığında; Tablo 2 ile belirtilen numunelere numunenin *Aspergillus brasiliensis*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma virens*, *Aspergillus versicolor*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium ochro-chloron*, *Chaetomium globosum*, *Scopulariopsis brevicaulis* kullanılarak hazırlanan spor karışımı süspansiyonu ile spreylenerek 28 gün boyunca 30°C ± 2°C sıcaklık, en az %90 nem koşullarında inkübe edilmesi sonucu üzerindeki fungus büyümesi aşağıdaki tabloya (Tablo 3) göre değerlendirilmiştir ve sonuçlar Tablo 4'te belirtilmektedir. Buna göre incelenen malzemelerin hiçbirinde fungus üremesi gözlemlenmemiştir.

Tablo 3: Fungus Üremesi Değerlendirme Tablosu

Üreme Derecesi	Değer	Açıklama
Yoktur	0	Numune yüzeyinde hiçbir mikrobiyolojik üreme olmaması
Eser	1	Dağınık, seyrek ya da çok sınırlı mikrobiyolojik üreme
Hafif	2	Numune yüzeyinde aralıklı ya da seyrek bir şekilde dağılmış koloniler. Numune yüzeyinde aralıksız filamentöz üreme görülebilir ancak alttaki yüzey hala görülebilmektedir.
Orta	3	Yüksek miktarda mikrobiyolojik üreme. Numune yüzeyinde gözle görülür bir değişme/bozulma olabilir.
Yoğun	4	Yoğun mikrobiyolojik üreme.

Tablo 4: Numunelerin Fungus Testi Sonuçları

Numune	Üreme Derecesi	Değer	Gözlemlenen Fungus
EPDM	Yoktur	0	-
Silikon (VMQ)	Yoktur	0	-
Florosilikon	Yoktur	0	-
Neopren	Yoktur	0	-
Cam epoksi içerikli kompozit (boyasız)	Yoktur	0	-
Cam epoksi içerikli kompozit (poliüretan boyalı)	Yoktur	0	-

Kaynaklar

- Aykanat, A., *A protection application method proposal to solve mold formation problem in structures*, E-Journal of New World Sciences Academy, 1A0354, 9, (4), 48-61, 2014.
- Giurgiutu, V., *Stress, Vibration, and Wave Analysis in Aerospace Composites*, 1st Ed., 1-27, 2022.
- Kirkhill Inc., <https://kirkhill.com/about-us-2/> (web erişimi, 2024)
- MIL-STD-810G Standard, *Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests*, 2008.