

## UYDU ISIL KONTROLÜNDE KULLANILAN ÇOK KATMANLI YALITIMLAR VE ÜRETİM AŞAMASINDA KAZANILAN TECRÜBELER

Murat Bulut<sup>\*</sup>, Nedim Sözbir<sup>†</sup> ve Şenol Gülgönül<sup>‡</sup>  
Türksat A.Ş., Ankara

### ÖZET

*Çok katmanlı yalıtımlar uydularda ısı kontrolü sağlayan ekipmanlardır. Uydular uzay ortamlarında çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Uyduların dışında ve içinde yer alan ekipmanlar, sıcaklık aralığı geniş olan bu ortamda güvenilir sıcaklık aralıklarında çalışmaları için yalıtıma ihtiyaçları vardır. Bu nedenle uydularda pasif ısı kontrol ekipmanı olarak çok katmanlı yalıtımlar kullanılmaktadır. Bu bildiride uydularda kullanılan çok katmanlı yalıtımlar hakkında bilgiler verilmiş. Ayrıca TÜRK SAT 3A uydusu projesinde eğitim ve teknoloji transfer programı ve uydu montaj entegrasyon ve test merkezi proje çerçevesinde çok katmanlı yalıtımın üretimi sırasında kazanılan tecrübeler aktarılmış ve gelecekte Türkiye’de uydu yapımında yer alacak olan personellere kazanılan bu tecrübelerin aktarılması sağlanmıştır.*

### SİMGELER

A	= alan, m <sup>2</sup>
IFT	= entegre takım ekibi
MLI	= çok katmanlı yalıtım
N	= katman sayısı
OSR	= optik güneş reflektörü
SLI	= tek katmanlı yalıtım
Q	= ısı, W
T	= sıcaklık, K or °C
TAS	= Thales Alenia Space
TTTP	= eğitim ve teknoloji transfer programı
UMET	= uydu montaj entegrasyon ve test
$\epsilon$	= yüzey yayınlama katsayısı
$\sigma$	= Stefan-Boltzmann katsayısı

#### Alt simge

C	= soğuk sınır sıcaklık
H	= sıcak sınır sıcaklık

### GİRİŞ

Çok katmanlı yalıtımlar uzaya çeşitli görevler için yollanan uzay araçlarının ısı kontrolünü sağlayan pasif ısı kontrol ekipmanlardır. Çok katmanlı yalıtımlar ile ekipmanların ürettiği ısının bir ortamdan diğer bir ortama geçişi engellenmektedir. Ayrıca uzaydan gelen veya uydu dışında yer

\* Kıdemli Uzman, Uydu Montaj Entegrasyon ve Test Direktörlüğü., E-posta: muratbulut@turksat.com.tr

† Danışman, ArGe ve Uydu Tasarım Direktörlüğü., E-posta: nsozbir@turksat.com.tr

‡ Genel Müdür Yardımcısı, Türksat A.Ş., E-posta: sgulgonul@turksat.com.tr

alan ısı üreten ekipmandan gelen ısının uydu içerisine geçişine de engel olmaktadır. Çok katmanlı yalıtım (multi layer insulation-MLI) ve tek katmanlı yalıtımlar (single layer insulation-SLI), uyduda optik güneş reflektörü (optical solar reflector-OSR) ile kaplanmış radyatör alanları hariç her yerde kullanılmaktadır. Ayrıca uydu dışında yer alan ekipmanların uzay şartlarında maruz kalacağı ışınım ile ısı transferinin engellenmesi istenilen yerlerde ve uydu içerisinde ısı bölgeleri ayırmak içinde kullanılmaktadır [Bulut, Kahrıman ve Sözbir, 2010].

Uydularda yer alan ekipmanların güvenilir sıcaklık aralığında çalışması gerekmektedir. Bu nedenle ışınım ile transferini engelleyen tek ve çok katmanlı yalıtımlar kullanılmaktadır. İki ortam arasındaki sıcaklığın çok düşük olduğu yerlerde tek katmanlı yalıtımlar ve fazla olduğu yerlerde çok katmanlı yalıtımlar kullanılır. Tek katmanlı yalıtımlar hafif ve ucuz olduğu için çok katmanlı yalıtımların kullanılmadığı yerlerde tercih edilmektedir.

Çok katmanlı yalıtımlar haberleşme uydularında ısı kontrol alt sistemlerinde ısı termal kontrol toplam kütlelerinin yaklaşık olarak %25-%30 oluşturmaktadır.

### ÇOK KATMANLI YALITIMLAR

Uzay ve uydu teknolojilerinde basit bir kaplama yardımı ile ısı kayıp ve kazançlarını önlemenin yetersiz olduğu durumlarda tek veya çift katmanlı yalıtım kullanılmaktadır. Çok katmanlı yalıtımlar birden fazla katmanın ( mylar, kapton, vb) bir arada kullanılması ile yapılmaktadır. Birden fazla katman kullanılması ile ışınım ile ısı transferi engellenmiş olacaktır. Şekil 1 de çok katmanlı yalıtım bileşimi görülmektedir. Çok katmanlı yalıtımlarda kullanılan katman sayıları ve katman malzemeleri düşük ( $T < 150$  °C), orta ( $T < 250$  °C) ve yüksek ( $T < 350$  °C) sıcaklıklara göre sınıflandırılmaktadır. Çok katmanlı yalıtımın düşük sıcaklıklarda kullanılması durumunda iç katman olarak mylar alüminized, kapton alüminized veya black kapton, ayırıcı katman olarak polyester kullanılmaktadır. Çok katmanlı yalıtım orta sıcaklıklarda kullanılması durumlarında iç katman olarak mylar alüminized, kapton alüminized veya black kapton, ayırıcı katman olarak polyester, tissueglass veya embossed kullanılmaktadır. Çok katmanlı yalıtımın yüksek sıcaklıklarda kullanılması durumunda ise iç katman olarak kapton alüminized veya black kapton, ayırıcı katman olarak polyester, tissueglass (glass fiber) veya embossed kullanılmaktadır.

Çok katmanlı yalıtımların verimi etkili yayılım ile ifade edilmektedir. Verime etki eden faktörler sıra ile katman sayısı, katmanın malzemesi, fiziksel büyüklük vb. faktörlerdir. Çok katmanlı bir yalıtım malzemesinin gerçek verim ancak ısı testlerinde sistem seviyesinde tespit edilmesi mümkündür.

Teorik olarak vakum ortamında ( $1 \times 10^{-5}$  torr ve daha düşük gaz basıncı) yer alan çok katmanlı yalıtım ve yayılımı  $\varepsilon$  olan N sayısı kadar olan temassız katmanlar için  $\varepsilon_1$  ve  $\varepsilon_2$  en iç ve en dış taraf olmak üzere,

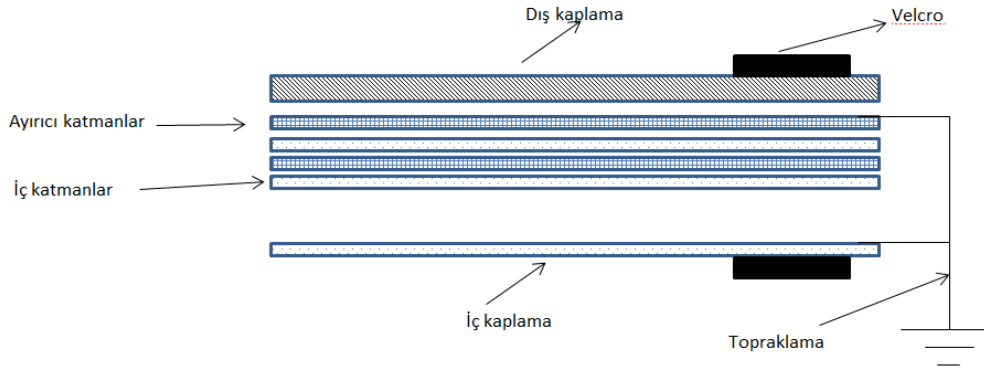
$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \left( \frac{1}{N+1} \right) \quad (1)$$

hesaplanır.

Uygulamada, çok katmanlı etkin yayınlama gücü ısı vakum testlerin  $10^{-5}$  torr veya daha düşük gaz basınçlarında hesaplanır.

$$\varepsilon = \frac{Q}{A\sigma(T_H^4 - T_C^4)} \quad (2)$$

Denklemden,  $T_H$  ve  $T_C$ , sıcak ve soğuk sınır sıcaklıkları (K) , A, çok katmanlı yalıtımın yüzey alanını ( $m^2$ ), Q, net ısı transferini (W) ve  $\sigma$ , stefan-boltzman katsayısı ( $W/m^2K^4$ ) olarak alınmaktadır. Çok katmanlı yalıtım Şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1: Çok Katmanlı Yalıtım

### ÇOK KATMANLI YALITIM YAPIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

Uydu ısı tasarımı yapan tasarım mühendisleri çok katmanlı yalıtım üretiminde kullanılacak olan malzemelerin seçiminde uydunun isterilerine uygun olacak şekilde seçimlerini yapmaktadırlar. İsterilerde genel olarak ekipmanların işlevsel durumdaki ve işlevsel olmayan durumdaki sıcaklık limitleri, mekanik yükler, sıvı maruziyeti, yük parçacıkları, morötesi ışınım, elektrik topraklama ve yapıştırma, kirlenme ve yaşam süresi göz önüne alınarak yapılmaktadır [Gilmore, 2002]. Çok katmanlı yalıtımları oluşturan malzemeler genel olarak dış örtü (dış kaplama), iç katmanlar, ayırıcılar (seperators), iç örtü ( iç kaplama), bantlar, iplik, yapıştırıcılar, kanca ve halka bağlantı elemanlarıdır (velcro).

Dış örtü malzemesi (dış kaplama) çok katmanlı yalıtımın en önemli parçasını oluşturmaktadır. Bu malzeme uzaya bakan kısım olup uzayda çevresel ortamda yer alan etkilere karşı dirençli olmak zorundadır. Dış örtü malzeme seçiminde tasarım mühendisleri  $\alpha/\epsilon$  oranı gözönüne alarak kapton veya beta cloth ' dan birisi için seçim yapmaktadır. Elektrostatik boşalmanın ister olduğu durumlarda kapton özellikle siyah kapton, micrometeoroid korumanın istenildiği yerlerde betacloth tercih edilmektedir. Dış örtü malzemesinin güneş ışınlarına, parçacık kirliliğine, çevresel etkilere ve sıcaklık değişimlerine dayanıklı olması gerekmektedir.

Ayrıcıların en önemli özelliği katmanlar arasındaki temasın minimum düzeyde olması sağlamaktır. Ayrıcı olarak kullanılacak malzemenin düşük ısı iletkenliğine sahip olması ve azami derecede parçacık kirlenme oluşturması gerekmektedir. Çok katmanlı yalıtımın kullanılacağı sıcaklık bölgelerine uygun ayırıcılar seçilmektedir. En yaygın kullanılan ayırıcılar Dacron örgü, Nomex örgü, cam doku (tissueglass) 'dur. Dacron ve Nomex örgü düşük sıcaklıklarda, cam doku malzeme yüksek sıcaklıklarda kullanılmaktadır.

İç katmanlı yalıtım yüzey yayınlaması düşük olan malzemelerdir. Azami derecede parçacık kirlenme oluşturması gerekmektedir. İç katman yalıtımı olarak kullanılan malzeme genellikle mylar'dır. Bir ya da her iki tarafı alüminize Mylar olmaktadır. Kütleden tasarruf sağlamak için iç katmanlar dış katmanlardan daha genellikle ince yapılmaktadır.

### ÇOK KATMANLI YALITIM ÜRETİMİ

Üretimi gerçekleştirilecek olan çok katmanlı yalıtımların üretimin alanlarının aşağıda yer alan özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

- Temiz ortam şartlarını taşıması
- Sıcaklık ve nemin 24 saat izlenmesi
- Sıcaklık değerlerinin 22°C +/- 3°C olması
- Nem oranı 55% +/- 10% aralıklarında olması
- Çalışma alanının pozitif basınçta olması

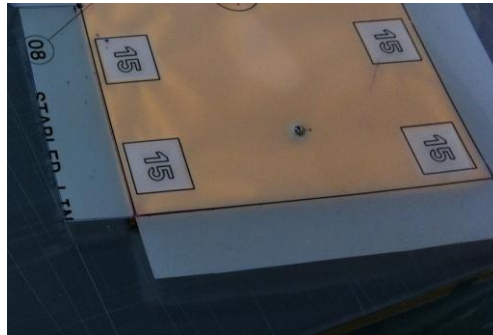
Çok katmanlı yalıtımların üretim aşaması tasarımdan montaja kadar geçen süre olup ısı tasarımcıların ve mühendislerin gözetiminde gerçekleştirilmektedir. Birçok katmanlı yalıtım malzemesinin üretiminde ısı tasarımcılar, ısı mühendisler, üretimi yapacak teknik personel, kalite ve kontrolden bölümlerden personel görev almaktadır. Isı tasarımcılar çok katmanlı yalıtımın tasarımı yapmaktadır. Isı mühendisler tasarımı yapılan malzemenin tasarımının uygun yapıldığı kontrol etmektedir. Üretim gerçekleştirecek personel malzemenin üretimi sağlamak ile görevlidir. Kalite ve kontrol bölümlerinden personel üretilmiş olan bu malzemenin üretiminin tasarıma uygun olup olmadığını kontrol etmektedir.

Katmanlı yalıtımların üretilmesi temiz oda şartlarında yapılmaktadır. Uydu görevine göre ( haberleşme, gözlem, bilimsel vb) üretimin yapılacağı temiz oda ( class 100, class 10,000 vb) seçilmektedir.

Çok katmanlı yalıtımın üretilmeden önce üretim için gerekli olan malzemelerin tamamının hazır olması gerekmektedir. Üretimi gerçekleştirecek kişilerin uzman olması özellikle istenmektedir. Üretim sırasında temiz oda şartlarına uygun eldiven kullanılması gerekmektedir.

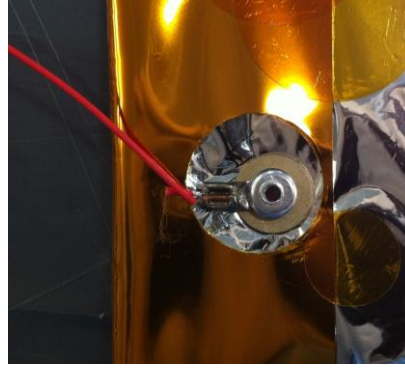
Çok katmanlı yalıtımın hazırlanmasında izlenecek üretim aşamaları sıra ile:

1. **Hazırlık işlemi:** Teknik çizimleri 1:1 ölçekli hazırlanmış olan çok katmanlı yalıtım malzemelerin listesi hazırlanmış halinde üretimi yapacak teknik personele teslim edilir. Yalıtımın katman sayısına bakılarak katmanlar hazırlanır. Teknik çizimi 1:1 ölçekli çizim katmanların üzerine konular ve çizimin en dış kısmı göz önüne alınarak yaklaşık 6 cm ( 3 cm katlama mesafesi 3 cm fazlalık) daha fazla olacak şekilde kesim işlemi gerçekleştirilir. Teknik çizimin en dış kısmı göz önüne alınarak teknik çizimin 3 cm uzağında olacak şekilde kesilir. Katlanacak olan yerler tespit edilerek katlama yerlerinde dış örtü katmanı kalacak şekilde altta yer alan iç katmanlar kesilir. Şekil 2' hazırlık işlemi görülmektedir.



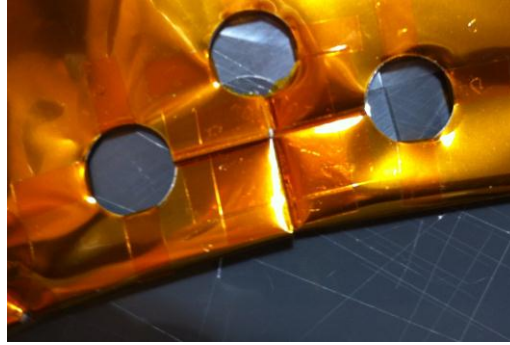
Şekil 2: Hazırlık işlemi

2. **Topraklama işlemi:** Topraklama işlemi 2. adım olarak gerçekleştirilir. Bunun için topraklama işlemleri sırasında öncelikli olarak topraklama yerlerinde uygun delme ekipmanı kullanılarak delme işlemi gerçekleştirilir. Dış örtü katmanının altında ve iç örtü katmanlarını birbirlerinden ayıran ayırıcı katmanlarda yer alan delikler 3 cm çapta genişletilir. Eccobond ( iletkenliği artıran malzeme) malzemesi hazırlanır ve iç katmanlara 3 cm çapında olacak şekilde sürülür. Topraklama kablosu takılır. Çok katmanlı yalıtımın büyüklüğüne bağlı olarak topraklama sayısı değişmektedir. Isı tasarım mühendisleri topraklama sayıları belirlemektedir. En küçük parçada bir adet topraklama yeterli olsa bile yedeklilik açısından 2 adet topraklama noktası bulunmaktadır. Şekil 3' de topraklama işlemleri görülmektedir.



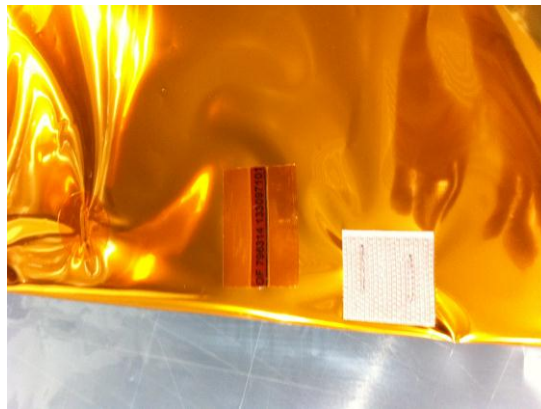
Şekil 3: Topraklama işlemi

3. *Katlama, delik ve kesme işlemleri:* Çok katmanlı yalıtım teknik çizimde yer alan delikler öncelikli delinir ve kesilecek olan yerler kesilir. Katlama işlemleri yapılır. Katlama işleminde kapton bantlar kullanılır. Şekil 4'de katlama, delik ve kesme işlemleri görülmektedir.



Şekil 4: Katlama, delik ve kesme işlemleri

4. *Sabitleme işlemi ve işaretleme işlemi:* Teknik çizimde ısıl tasarımcılar tarafından belirlenmiş olan sabit noktalar zımba yardımı ile sabitlenir ve kapton bant ile üzeri kapatılır. Sabitlenme noktaları genellikle ortada yer almak ile birlikte üretilecek parça büyük ise birden fazla sabitleme noktasıda yer almaktadır. Zımbaların üst kısmı kapton bant ile kapatılır. Uyduya montajı yapılacak olan ve iki farklı çok katmanlı yalıtımın sabitlenmesi için kullanılan Velcrolar teknik çizimde yerleri belirlenmiş olan yerlere yapıştırılır ve zımba ile sabitlenir. En son olarak parça numarası teknik resmin üzerinde belirtilen yere yapılması sağlanır. Şekil 5 ' da sabitleme ve işaretleme işlemleri görülmektedir.

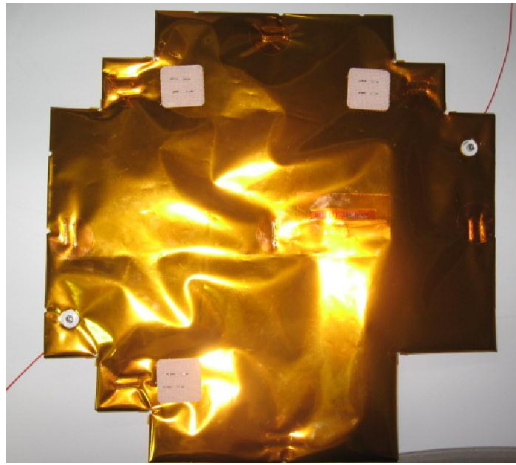


Şekil 5: Sabitleme ve işaretleme işlemleri

5. *Kontrol işlemi:* Kontrol işlemi kalite bölümü tarafından yapılmaktadır. Kalite bölümündeki uzman personel üretimi tamamlanmış olan çok katmanlı yalıtımın teknik çizime uygun olup

olmadığını kontrol etmektedir. Kontrol sırasında parça numarasını, açılan deliklerin yerlerini, katlama işlemi yapılan yerlerin istenilen toleranslar içerisinde olup olmadığını, velcroların yapıştırıldığı yerleri vb. kontrol etmektedir. Topraklama kontrol işleminde direnç ölçümünü yapacak olan cihazın bir ucu topraklama kablosuna bir ucu da çok katmanlı yalıtımda iç katmanlardan metalik özelliğe sahip olan yere teması sağlanarak 100 mA akım uygulayarak direnç değeri ölçülür. Direnç değerinin 200 ohms den az olması gerekir. Ayrıca ölçüm sırasında iki nokta arası mesafenin 100 mm geçmemesi gerekir. Kontrol işlemi tamamlanan çok katmanlı yalıtım elektronik tartı aleti kullanılarak tartılır ve kütle değeri kaydedilir. Kontrol işlemi tamamlanmış olan çok katmanlı yalıtım koruma poşeti içerisine konulur ve poşet tamamen kapatılır. Koruma poşeti içine ayrıca nem alıcı yerleştirilir ve uyduya montajı yapılmak üzere hazır hale getirilmiş olur.

Şekil 6' da 2007 yılında TÜRK SAT 3A uydu projesi kapsamında gerçekleştirilen eğitim ve teknoloji transfer programı (Training and Transfer of Technology Program-TTTP) çerçevesinde Thales Alenia Space (TAS) Cannes/Fransa tesislerinde TÜRK SAT AŞ mühendisleri tarafından haberleşme uydusunda kullanılmak üzere üretilen çok katmanlı yalıtım görülmektedir.



Şekil 6: Thales Alenia Space' de Hazırlanmış Olan Çok Katmanlı Yalıtım

## SONUÇ

Uzay ortamında uydularda yer alan her ekipmanın güvenilir sıcaklık aralıklarında çalışması ısı kontrol alt sisteminin ana görevidir. Bu nedenle ısı kontrolün sağlanabilmesi için çok katmanlı ve tek katmanlı yalıtımlar kullanılmaktadır. Bu yalıtımlar sayesinde uydular uzay ortamındaki çevresel şartlardan dolayı daha az etkilenecek ve ekipmanlar istenilen performansta çalışmış sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmada çok katmanlı yalıtımlar hakkında bilgiler verilmiş ve çok katmanlı yalıtımları oluşturan ekipmanların tanıtımı ile birlikte çok katmanlı yalıtımın üretim aşamaları da açıklanmıştır.

Bu yayın ile birlikte, 2006-2007 TÜRK SAT 3A -TTTP programı ve 2010-2013 yıllarında Uydu Montaj Entegrasyon ve Test (UMET) merkezi-entegre tesis ekibi (Integrated Facility Team-IFT) takım görevi ile kazanılmış olan tecrübeler paylaşılmıştır. Türkiye'nin yerli uydu üretiminde ısı kontrol alt sisteminde kullanılacak olan bu ekipmanların yerli üretimi sağlanmış olacaktır.

## Kaynaklar

Bulut, M., Kahriman, A. ve Sözbir, N., 2010. *Uydularda ısı kontrol*, Termodinamik Dergisi, Sayı. 209, s.72-78.

Finckenor, M.M. ve Dooling, D.D., 1998. *Multilayer Insulation Material Guidelines*, NASA/TP-1999-209263.

Gilmore, D.G., 2002. *Spacecraft Thermal Control Handbook Volume I: Fundamental Technologies*, 2nd ed., The Aerospace Press, California.