

ÇOK KATMANLI YALITIM BATTANİYELERİN ETKİN İŞİMA KATSAYISININ DENEYSEL OLARAK ÖLÇÜLMESİ

Bugse Beril Arı¹, Mustafa Ekinci², Alper Çelik³, Muhammet Halit Sancar⁴, Özgür Karci⁵ ve Özgür Selimoğlu⁶

TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, ANKARA

ÖZET

Uzay uygulamaları için geliştirilen ekipmanların, nominal çalışma sıcaklığında tutulması için ısı kontrol yapılması gerekmektedir. Ekipmanlar, boş uzay ortamına baktıkları durumda sürekli olarak soğurken, güneşe baktıkları durumda ise ısınma eğilimi gösterirler. Ekipmanları nominal çalışma sıcaklığında tutmak, ısı kaybını veya aşırı ısınmasını engellemek için pasif bir ısı kontrol elemanı olan çok katmanlı yalıtım battaniyeleri (ÇKYB) kullanılmaktadır. Ekipmanlar ÇKYB ile kaplanarak ısı yalıtımı yolu ile ekipmana gelen ve ekipmandan kaçan ısı kontrol edilebilmektedir. Bu çalışma ile uzay uygulamalarında kullanılmak üzere ÇKYB tasarımları yapılmış olup ısı vakum sisteminde gerçekleştirilen deneyler ile etkin ısı yalıtım katsayısı ölçülmüştür. 3, 5, 10 ve 15 katmanlı olarak tasarlanan ÇKYB'lerin küp şeklinde alüminyum bir kutu üzerine sarılarak ısı vakum sisteminde test edilmiştir. Vakum sisteminin iç çeper sıcaklığı -50 °C ve -70 °C, alüminyum kutunun sıcaklığı ise 20 °C ve 50 °C'de tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kutunun sıcaklığı iç yüzeye yerleştirilen ısıtıcılar ile ayarlanırken, sıcaklık kutunun iç yüzeyine ve ÇKYB'nin dış yüzeyine yerleştirilen ısı çiftleri aracılığıyla ölçülmüştür. Elde edilen deney sonuçlarına göre 10 ve 15 katmanlı ÇKYB'lerin etkin ısı yalıtım katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmüş ve 0,0315 olarak hesaplanmıştır. 3 ve 5 katmanlı ÇKYB'lerin etkin ısı yalıtım katsayısının daha yüksek olması sebebi ile ısı kaybının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, PATRAN/Sinda programı kullanılarak ısı matematiksel model oluşturulmuş ve analiz sonuçlarının test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbirleriyle örtüştüğü görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında, ÇKYB'deki katman sayısı belirli uzay uygulamaları için optimize edilmiş ve uzay ekipmanlarında kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

GİRİŞ

Çok Katmanlı Yalıtım Battaniyesi (ÇKYB)

ÇKYB, ekipmanlar üzerinde kullanılan pasif ısı kontrol sistemlerinden birisidir. Uzayda, hem ekipmanların üzerinde oluşabilecek aşırı ısı kaybını önlemek hem de ekipmanların uzaydan gelen ısı etkiler sonucunda aşırı ısınmasını önlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [Gillmore, 2002].

¹ Araştırmacı, bugse.ari@tubitak.gov.tr

² Uzman Araştırmacı, mustafa.ekinci@tubitak.gov.tr

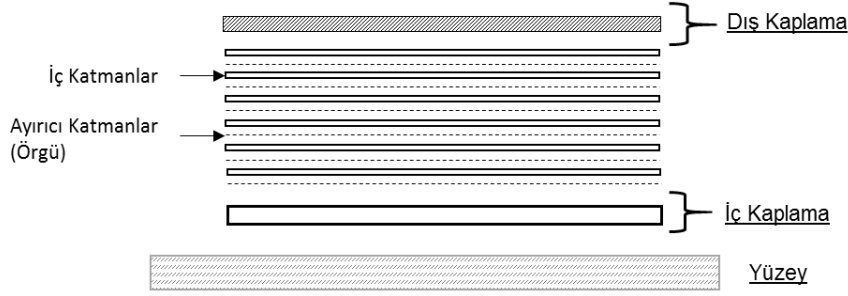
³ Uzman Araştırmacı, alper.celik@tubitak.gov.tr

⁴ Araştırmacı, halit.sancar@tubitak.gov.tr

⁵ Başuzman Araştırmacı, ozgur.karci@tubitak.gov.tr

⁶ Başuzman Araştırmacı, ozgur.selimoglu@tubitak.gov.tr

Şekil 1’de verilen bir ÇKYB genel olarak dış ve iç kaplama, iç katmanlar ve katman ayırıcı (spacer) kısımlardan oluşmaktadır. ÇKYB yüzey üzerine genelde bant, iplik veya halka bağlantılı elemanlar (Velcro™) ile tutturulurlar. Dış ve iç katmanlar genellikle düşük ısıtım katsayısına sahiptirler.



Şekil 1: ÇKYB'nin katmanlarının kesit görünümü

Kullanılan katman sayısı ve türü, kullanıldığı yüzey veya ekipmanın maruz kaldığı ortam koşullarına ve kendisi için belirlenen sıcaklık limitlerine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. ısıtım gerçekleşeceği yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının az olmasına bağlı olarak tek katmanlı yalıtım battaniyesi de tercih edilebilir.

Etkin ısıtım Katsayısı

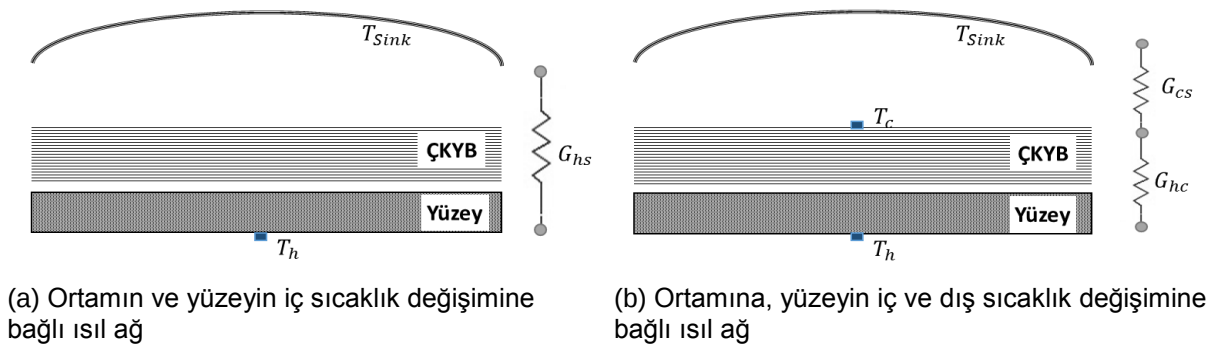
Etkin ısıtım katsayısı (ε_{eff}), değeri, ÇKYB’de kullanılan ara katmanların ısıtım katsayısı, kullanılan ara katman sayısına ve ısıtım yolu ile kaybedilen ısıya bağlı olarak değişmektedir. Eğer katman ayırıcıların etkisinin etkin ısıtım katsayısına herhangi bir etkisi olmadığı düşünülürse katsayısı Eş (1)’deki şekilde hesaplanır [Gilmore, 2002]:

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

yukarıdaki eşitlikte N değeri ÇKYB’nin birbiri ile temas etmeyen katman sayısını, ε_1 ve ε_2 sırasıyla birbiri ile temas etmeyen katmanların üst ve alt yüzeylerinin ısıtım değerini göstermektedir. Bu denklem ile etkin ısıtım katsayısının birbiri ile temas etmeyen yüzeylerin sayısına ve bu yüzeylerin etkin ısıtım katsayılarına bağlı olduğunu göstermektedir. Katman ayırıcının etkisi ihmal edilmeden durağan haldeki sistemin yatılan yüzey alanına (A) etki eden ısı akısı ($\dot{Q}$) ile bu katsayı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\varepsilon_{eff} = \dot{Q} / A\sigma(T_H^4 - T_C^4) \quad (2)$$

Eş (2)’de T_H ısıtımın gerçekleştiği yüzeyin iç sıcaklığını (K), T_C ısıtımın gerçekleştiği dış yüzeyin sıcaklığını (K), A ısıtım gerçekleştiği bölgenin yüzey alanını ve σ ise Stefan-Boltzmann katsayısını (W/m^2K^4) göstermektedir. Eş (2)’de gösterilen ısıtım denklemi, iki farklı ısıtım sistemi üzerinde şematik olarak Şekil 2’de gösterilmiştir [Lin, E. ve Stultz, J., 1996].



Şekil 2: ÇKYB üzerinde oluşan ısıtım modeli

Şekil 2 (a) ve (b)'de, etkin ışıınım katsayısının ÇKYB üzerindeki sıcaklık etkisine bağılı olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 2'de gösterilen bu ilişki sırasıyla Eş (3) ve (4)'de belirtilen eşitlikler ile gösterilmiş olup, bu eşitlikler genel denklem üzerine yerleştirilerek etkin ışıınım katsayısı hesaplanır. Eş (3)'de, A ışıınının gerçekleştiği yüzeyin alanını, T_H iç yüzeyin sıcaklığını, T_c soğuk yüzeyin sıcaklığını ve G_{hs} 'de iç yüzey ve dış ortam arasındaki ısı iletkenliği vermektedir. Eş (4)'de, G_{hc} iç ve dış yüzey arasındaki ısı iletkenliği vermektedir. Bu eşitlikler ile iki yüzey arasındaki etkin ışıınım katsayısı bulunabilir:

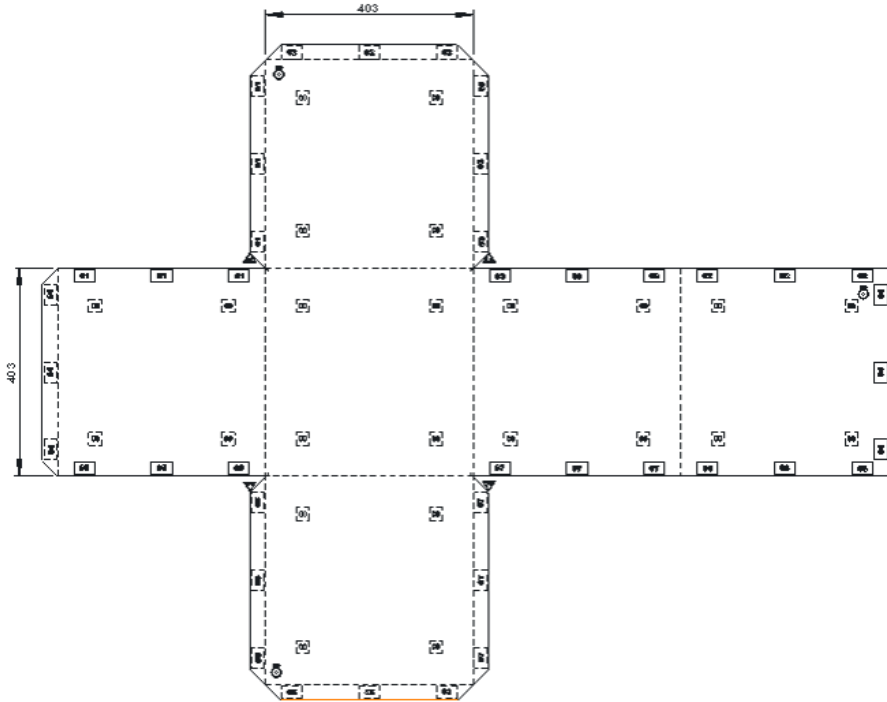
$$(a) \quad G_{hs} \equiv \varepsilon_{eff-hs} A \sigma \quad \varepsilon_{eff} \equiv \varepsilon_{eff-hs} \quad A = A_{yüzey} \quad T_H = T_h \quad T_c = T_{sink} \quad (3)$$

$$(b) \quad G_{hc} \equiv \varepsilon_{eff-hc} A \sigma \quad \varepsilon_{eff} \equiv \varepsilon_{eff-hc} \quad A = A_{yüzey} \quad T_H = T_h \quad T_c = T_c \quad (4)$$

YÖNTEM

ÇKYB'nin Üretim Yöntemi

ÇKYB'lerin temiz oda şartlarında üretilmesi gerekmektedir. ÇKYB'lerin malzeme özellikleri, katman sayısı, üst ve alt katman özellikleri, uygulama alanına göre ısı tasarımı ve simülasyonlar ile belirlenir [Dooling, 1999]. Üretilen ÇKYB parçaları örtüleceği yüzeyi tamamen kapatmalı, ama bu işlem ÇKYB'nin hareketine ve işlevine engel olmamalıdır. Bu sebeple, ÇKYB'lerin hazırlanabilmesi için önce sarılacağı yüzeye özel olarak kalıpların oluşturulması gerekmektedir. Uygun kalıplar oluşturulurken, ÇKYB'lerin sarılacağı kutunun boyutları ve yüzey alanı esas alınarak oluşturulan °C AD model üzerinden 2 boyutlu teknik çizimleri oluşturulur. 1:1 oranında boyutlandırılmış olan teknik çizimler aydınlatıcı kâğıdına bastırılır. Teknik resimde belirtilen sayıda ve sıradaki ÇKYB'ler aydınlatıcı kâğıdın üzerine yerleştirilir ve hizalanır. Kesim ve katlama yerleri dikkate alınarak teknik çizimde belirtilen yerlerden ÇKYB'ler kesilir. Aydınlatıcı kâğıdı kaldırılarak katmanlar zımba yardımı ile sabitlenir. Birbiri ile bağlantısı olan farklı parçalar arasındaki bağlantı teknik resim üzerinde numaralandırma yoluyla belirtilir. Farklı ÇKYB parçalarının birbirleriyle olan bağlantıları teknik resimde belirtilen alanlara çeşitli birleştirme elemanları ile sağlanabilmektedir. Bu bantların yüzeye zımba yardımıyla sabitlenmektedir. Gerçekleştirilecek olan uygulama göz önünde bulundurularak ÇKYB'nin belirli noktalarına topraklama işlemi uygulanır [Lecain, 2013]. Test kutusu için hazırlanan teknik resim Şekil 3'de verilmiştir.

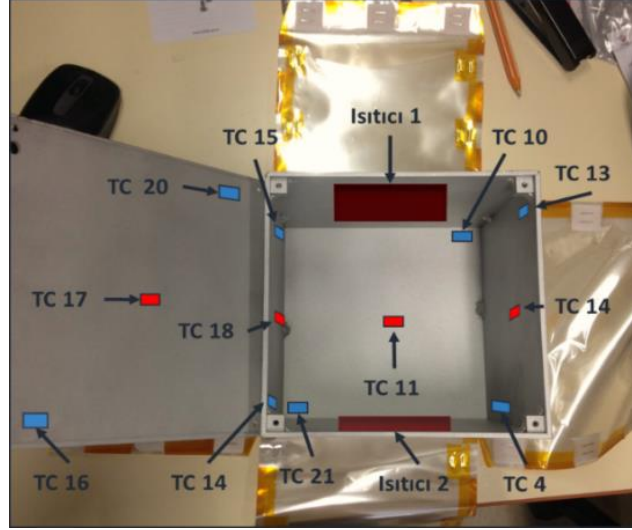


Şekil 3: Test kutusuna sarılacak ÇKYB üretimi için hazırlanan teknik resim

ÇKYB'nin Test Düzeneği

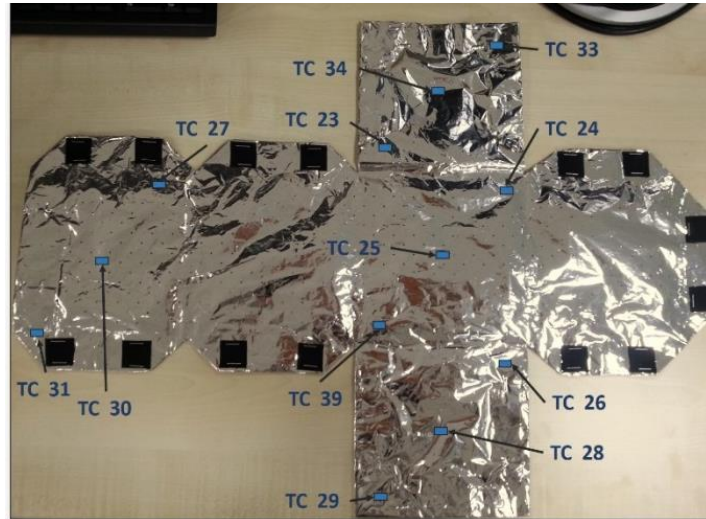
Üretilen ÇKYB'nin etkin ışınlam katsayısının ölçebilmek için, $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$ boyutlarında alüminyum test kutusu üretilmiştir. Kutunun yapımında 6061-T6 alüminyum kullanılmış ve duvar kalınlığı 2 mm olarak belirlenmiştir. Test düzeneği literatürdeki mevcut çalışmalar göz önüne alınarak hazırlanmıştır [Lin, E. I. , Stultz, J. W. ve Reeve, R. T. ,1995].

ÇKYB'ler kutunun dış yüzeyini kaplayacak şekilde üretilmiştir. ÇKYB'nin iç ve dış kaplamalarında $0,25 \text{ mm}$ kalınlığındaki her iki yüzü alüminyum kaplı olan Mylar kullanılmıştır. Şekil 5 'da gösterildiği gibi, iç ve dış kaplamaların arasına eklenecek ara katmanlara kaplamalarla aynı özelliklere sahip olan Mylar ve Dacron örgü eklenerek 3, 5, 10 ve 15 katmanlı ÇKYB'ler hazırlanmıştır. Kutunun iç kısmına yerleştirilen ısıtıcı ve ısı çift kabloları göz önünde bulundurularak ÇKYB'nin kenar kısımları şekillendirilmiş olup Velcro™ yardımı ile kapatılmıştır.



Şekil 4: Kutunun iç kısmında kapton/polyamid ısıtıcı ve ısı çiftlerinin yerleşimi

Eş (3) ve (4)'ü kullanılarak etkin ışınlam katsayısının hesaplanabilmesi için test düzeneğinin belirli yerlerine ısı çiftleri ve ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Kutunun iç yüzeyine $100 \times 100 \text{ mm}^2$ boyutlarında 12 adet kapton/polyamid ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcılar kutunun altı yüzeyinden ikisine karşılıklı gelecek biçimde yerleştirilmiştir.



Şekil 5: Test kutusu üzerinde ısı çiftlerinin yerleşimi

Sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi için, kutunun iç yüzeyine 12 ve ÇKYB'nin üst yüzeyine de 12 adet ısı çifti yerleştirilmiştir. Şekil 4'de gösterildiği gibi ısıtıcıların bulunduğu yüzeylere ısı çifti yerleştirilmemiştir. Geriye kalan her bir yüzeyin köşegeni üzerine, iki tanesi köşe noktalara ve bir tanesi yüzeyin tam ortasında olacak şekilde her bir yüzey üzerine 3 adet ısı çifti yerleştirilmiştir.

ÇKYB üzerine yerleştirilecek ısı çiftleri, kutunun içerisindeki ısı çiftlerinin tam üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve yerleşim planı Şekil 5’de gösterilmiştir.

UYGULAMALAR

Isıl vakum odası içerisine kurulan test düzeneği Şekil 6’da gösterilmiştir. ÇKYB ile kaplanmış olan alüminyum kutu, ısı iletim katsayısı düşük olan teller yardımıyla soğuk plaka üzerine asılmıştır. Test süresince, taşınım yolu ile ısı transferini ihmal edebilmek için vakum iç basıncı 1×10^{-5} Torr’un altına indirilmiştir.



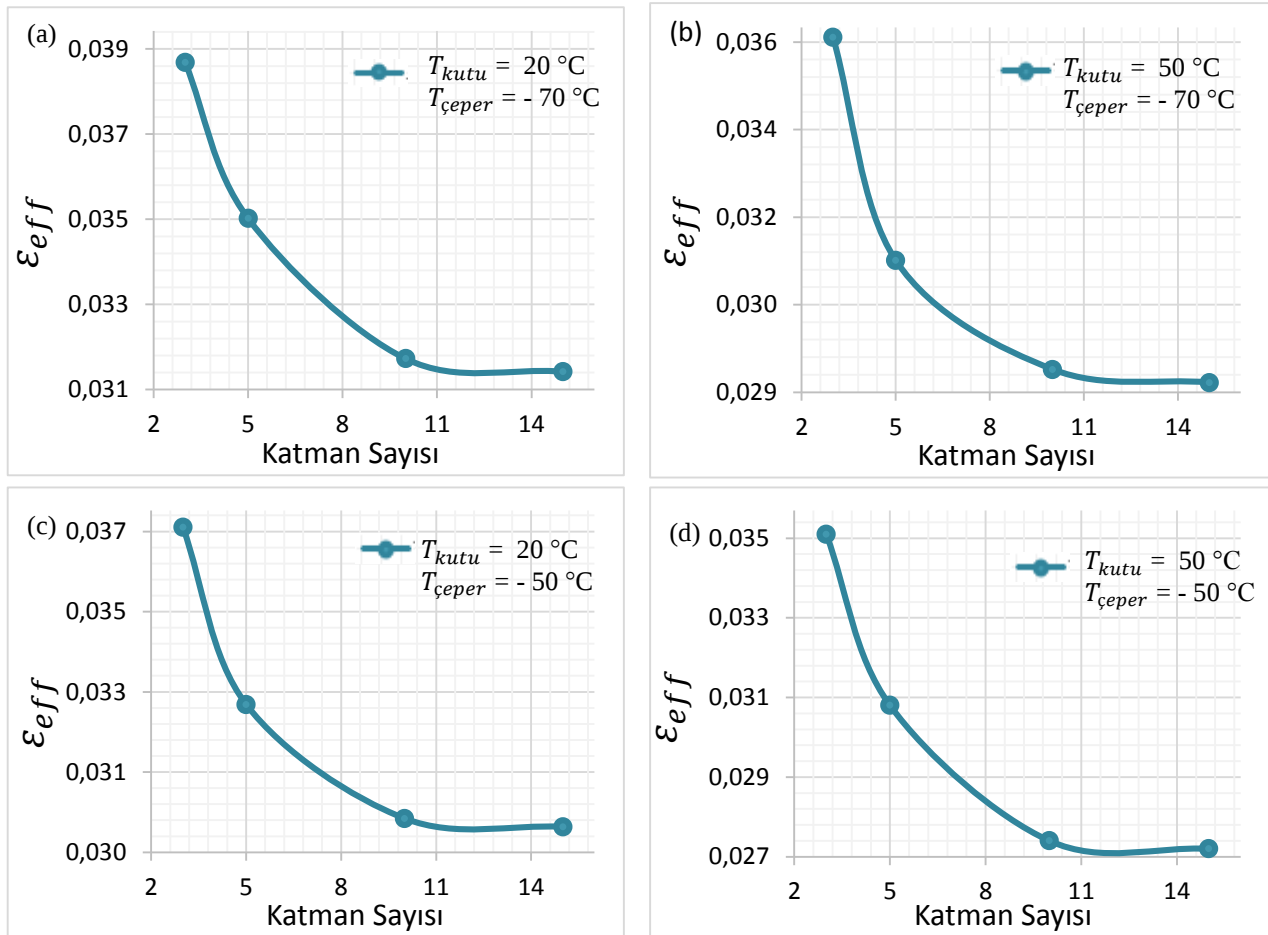
Şekil 6: Test kutusunun ısıl vakum çemberi içindeki yerleşimi

Kutunun üst yüzeylerini örtecek biçimde 3, 5, 10 ve 15 katmanlı ÇKYB’ler imal edilmiş ve etkin ısıtım katsayısını ölçebilmek için 4 farklı test koşulu oluşturulmuştur. Oluşturulan test koşullarında, çemberinin sıcaklığı -50 °C ve -70 °C, kutunun iç sıcaklığı ise 20 °C ve 50 °C olmak üzere 2 farklı sıcaklık değerinde tutulmuştur. 20 °C, ekipmanların nominal çalışma sıcaklığını temsil etmektedir. 50 °C ise vakum sisteminin iç çeperi ile kutu arasındaki sıcaklık farkının ısıtım katsayısına etkisini irdelemek için seçilmiştir. Oluşturulan test koşulları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: ÇKYB test koşulları

	Vakum Sisteminin Çeper Sıcaklığı	Kutunun İç Sıcaklığı
Durum 1	-70 °C	20 °C
Durum 2	-70 °C	50 °C
Durum 3	-50 °C	20 °C
Durum 4	-50 °C	50 °C

Etkin ısıtım katsayısının ölçümünde kutunun iç ve dış sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Ölçüm sırasında destek çubukları üzerinden kaybedilen ısı değeri ihmal edilmiştir. Isıl çift ve ısıtıcı kabloları üzerindeki ısı kaybını önlemek için kablolar ÇKYB ile örtülmüştür. Yapılan testler sonucunda elde edilen değerler Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 7: ÇKYB'deki katman sayısına bağlı olarak etkin ışıınım katsayısının değişimi

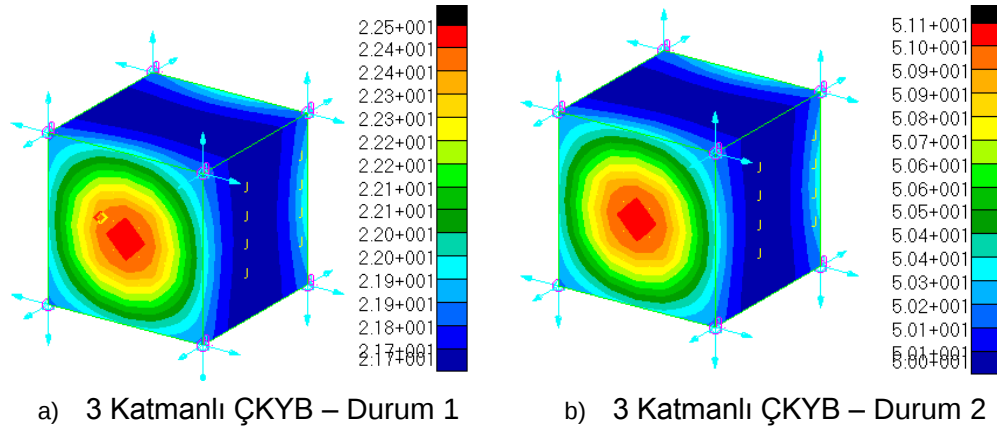
Şekil 7'deki grafiklerde verilen hesaplamalar, Eş (3) ve Eş (4)'de gösterilmiş olan denklemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının çok düşük olması sebebi ile her iki denklem üzerinden de aynı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil üzerinde vakumun çeper sıcaklığı $T_{\text{çeper}}$ ve kutunun iç sıcaklığı da T_{kutu} olarak belirtilmiştir. Grafik Şekil 7 (a – d)'de görüldüğü üzere, katman sayısındaki artışa bağlı olarak etkin ışıınım katsayısının düştüğü ve sistem üzerindeki ısı kaybının azaldığı görülmüş olsa da belirli bir katman sayısından sonra etkin ışıınım katsayısındaki düşüşün yavaşladığı ve bu değerlerin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Bu sebeple, 10 ve 15 katmanlı ÇKYB'ler için elde edilen katsayıların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. 3 ve 5 katmanlı ÇKYB'nin ışıınım katsayısının daha yüksek olması sebebi ile sistem üzerindeki ısı kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. ÇKYB'lerin tümünde ortamdaki sıcaklık farkının artmasına bağlı olarak ışıınım katsayısının düştüğü görülmüştür.

Isıl Analiz

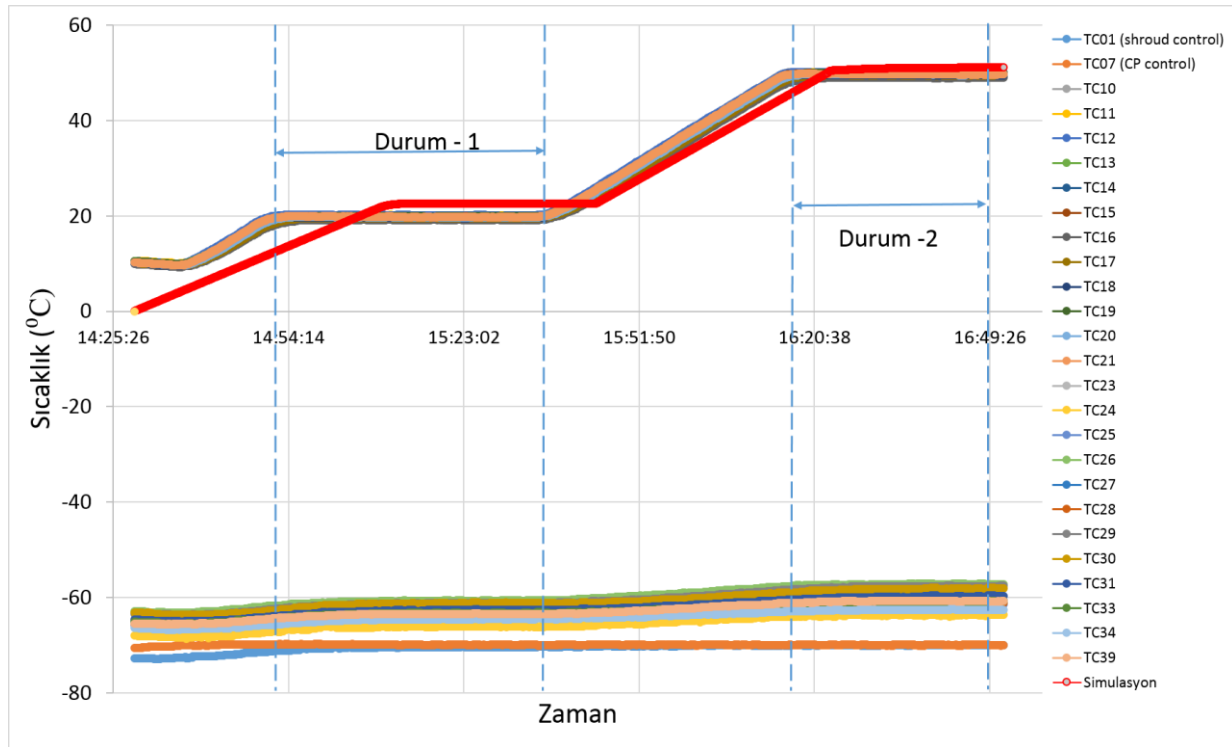
Isıl vakum sisteminde, PATRAN/Sinda programı kullanılarak ısı matematiksel modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile test sonuçları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Test düzeneğini simüle edebilmek için alüminyum kutu tasarlanmıştır. Oluşturulan modelin yüzeyi ardışık eş parçalara bölünerek ısıtıcı ve ısı çiftlerin kutu üzerine yerleşimi simüle edilmiştir. Alüminize mylar'ın termo-optik (α ve ϵ) özelliklerinden yararlanılarak alüminyum kutunun dış yüzeyine ÇKYB tanımlanmıştır. Analizlerde etkin ışıınım katsayısı değeri analizin gerçekleştirileceği ortam koşuluna bağlı olarak $0.02 < \epsilon_{eff} < 0.03$ aralığında alınmıştır. Eş (3)'deki denklem kullanılarak ısıtıcıların tüketileceği tahmini güç miktarı hesaplanmış ve bu değerler hem analiz ve hem de testte kullanılmıştır. Tablo 1'de verilen ortam koşulları kullanılarak hem zamanla değişmeyen hem de zamana bağlı hal için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler her bir katman sayısı için gerçekleştirilmiştir. 3 katmanlı ÇKYB için simülasyon sonucunda elde edilen sıcaklık

değişimi Şekil 8'de ve zamana bağlı olarak gerçekleştirilen analiz sonucunda kutunun iç sıcaklığındaki değişimin testte elde edilen sıcaklık değişimi ile olan ilişkisi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8: 3 Katmanlı ÇKYB ısı matematiksel modeli üzerindeki sıcaklık değişimi



Şekil 9: 3 Katmanlı ÇKYB - Durum 1 ve Durum 2 için test ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

3 Katmanlı ÇKYB'nin Durum 1 ve Durum 2'de hem kutunun hem de vakum çeperinin sıcaklık değişim grafiği simülasyondan elde edilen sıcaklık grafiği ile birlikte karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da verilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen sıcaklık grafiği kırmızı renk ile gösterilmiş olup kutunun iç sıcaklık değişimini ifade etmektedir. TC ile gösterilen sıcaklık değerleri, test sırasında ısı çiftlerinden okunan sıcaklıkları temsil etmektedir. Simülasyon ve testte ısıtıcılardan harcanan gücün aynı olmasına rağmen simülasyonda kutunun iç sıcaklık değerinin testte göre yaklaşık 2 °C daha yüksek olduğu görülmüştür. Simülasyonda ısıtıcıların gücü %4 oranında azaltıldığında test ile aynı sıcaklık değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu farkın, test esnasında kutunun yeterince izole edilememesinden ve kablolar üzerinden kaçan ısıнын, ısı model üzerinde yeterince iyi modellenememiş olmasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen testte hedeflenen sıcaklığa erişilmiş, ısıtıcılar için belirlenen güç değerinin yeterli olduğu ve %4 oranındaki bir hatanın kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Aynı işlemler diğer ÇKYB içinde gerçekleştirilmiş olup her biri için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Simülasyonda kutunun dengeye gelmesi için geçen sürenin

testte geçen süreye oranla biraz daha uzun olduğu görülmüş olsa da kutunun dengeye ulaşması için gerekli olan süreden hakkında tahmini bir bilgi vermiştir.

SONUÇ

Etkin ışıınım katsayısının ÇKYB'lerde kullanılan temassız katman sayısına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu değişimi ölçmek amacıyla ısı vakum odası kullanılarak üretilen ÇKYB'lerin üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Testlerin gerçekleştirilebilmesi için iki tarafı alüminyum kaplı Mylar ve Dacron örgü kullanılarak 3, 5, 10 ve 15 katmanlı ÇKYB üretilmiş ve bu ÇKYB'lerin testlerin gerçekleştireceği alüminyum kutu üzerini örtebilecek şekilde tasarlanmıştır. Düzenek üzerinde sıcaklık okunabilmesi için modelin iç ve dış kısımlarına ısı çiftleri yerleştirilmiştir. Kutunun iç kısmını istenilen sıcaklıklarda kararlı halde tutabilmek için iç kısma ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıl vakum odasında gerçekleştirilen testlerde çeper sıcaklığı sistem tarafından sağlanabilen en düşük sıcaklıkta tutulurken, kutunun iç sıcaklığı iki farklı sıcaklıkta dengede tutulmuştur. İç sıcaklığı dengede tutmak için ısıtıcılar üzerinden sisteme verilen akım değerleri, kutunun iç ve dış sıcaklıkları not edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Işıınım katsayısının hesaplanmasında iki ayrı metod benimsenmiştir. Ortamlar arasında sıcaklık farkının düşük olması sebebi ile yöntemler arasındaki farklılık etkin bir şekilde gözlemlenememiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 3 ve 5 katmanlı ÇKYB'nin 10 ve 15 katmana göre daha yüksek bir ışıınım katsayısına sahip olduğu görülmüştür. Kutunun iç çeperindeki sıcaklık artışına bağlı olarak ÇKYB'nin dış çeperinde de sıcaklık artışının meydana geldiği görülmüştür. ÇKYB'lerin ışıınım katsayılarındaki düşüşün ortamlar arasındaki sıcaklık farkının artışıyla ters orantılı olduğu ve bu düşüşün ÇKYB'nin performansını arttırdığı görülmüştür. Testlerin sonucunda, ısı kaybının yüksek olduğu yüzeyler veya ekipmanlarda yüksek katman sayısına sahip olan ÇKYB'lerin kullanılmasının daha uygun olacağı ama katman sayısındaki artışın belirli bir düzeyden sonra etkin ışıınım katsayısını değiştirmeyeceği görülmüştür. Test düzeneği, PATRAN/Sinda programı kullanılarak modellenerek testte elde edilecek değerler öngörülmek istenmiştir. Isıl model üzerinde gerçekleştirilen simülasyonların test sonuçlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Üretilen ÇKYB'lerin ekipmanlar arasında ısı yalıtımını sağlamak için uygun olduğu ve bu amaçla uzay uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmektedir. erilmelidir.

Kaynaklar

Dooling, M. M.,1999. *Multilayer Insulation Material Guidelines*. Alabama: TP—1999–209263.

Gilmore, D. G., 2002. *Spacecraft Thermal Control Handbook, Volume I: Fundamental Technologies* (Cilt 2 edition). American Institute of Aeronautics & Ast.

Lecain, E. P., 2013. *Turks Operators Training of Super Insulations Manufacturing in Production* . Ref Proc 1311690 ThalesAlenia Space.

Lin, E. &. Stultz, J. W,1995. *Cassini MLI blankets high-temp Stultz, J. W,erature exposure tests*. In 33rd Aerospace Sciences Meeting and Exhibit , (s. p. 633).

Lin, E. I. Stultz, J. W and Reeve, R. T. , 1996. *Effective Emittance for Cassini Multilayer Insulation Blankets and Heat Loss Stultz, J. W,Near Seams*. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 10(No.2)