VI. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI
28-30 Eylül 2016, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

UHUK-2016-94

HABERLEŞME UYDULARINDA GÖMÜLÜ VE YÜZEYE MONTELİ ISI BORULARININ ISIL KONTROL AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

S.Kaancan ATAER[1] ve O. Özgün ÇOKGEZEN[2]
TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş, ANKARA

Elif DİRGİN[3]
TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş, ANKARA

ÖZET

Haberleşme uydularındaki ısıl kontrol sistemi, tüm ısıl koşullarda uydu bileşenlerinin belirlenen kendileri için tanımlanan sıcaklık aralığında çalışmasını sağlayarak uydunun görevini devam ettirebilmesini hedefler. Bu sistem uydunun çalışacağı koşulların bilinmesine göre pasif ya da aktif ısıl kontrol elemanları ile kurulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında pasif ısıl kontrol elemanlarından ısı borusunun yüzeye monte ve gömülü olarak modellendiği iki ayrı durumun geometrik ve ısıl matematiksel modelleri hazırlanmıştır. Modellerde çalışma sıcaklık aralığı belirtilmiş olan ekipmanın ısıl kontrolündeki ısı borularının performansları analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Uyduların görevlerini gerçekleştirebilmeleri için uzay ortamında maruz kalacakları ısıl koşullara uyumlu olmaları gerekmektedir. Uydu içerisindeki ekipmanların çalışma performanslarının uydunun karşılaşacağı uzay koşullarından etkilenmesini önlemek, ısıl kontrol sisteminin temel amacıdır.

Uydu ısıl kontrol sistemi, uyduların çalışma koşulları ve gereksinimleri göz önünde bulundurulduğunda aktif ve pasif olarak iki ayrı yöntem ile tasarlanabilir. Pasif ısıl kontrol yöntemi literatürde daha geniş yere sahiptir ve bileşenleri yüzey kaplamaları, yalıtım battaniyeleri, ısı boruları ve ısıl arayüz malzemeleridir.

Özellikle haberleşme uydularında ısı borusu kullanımının yaygın olduğu bilinmektedir. Isı boruları sayesinde ekipman bölgelerinde yoğunlaşan ısının tüm panel geneline dağılması sağlanarak yapısal panellerde ve ekipman arayüzlerinde dengeli sıcaklık dağılımı elde edilmektedir.

Uyduların ısıl tasarımları yapılırken iki senaryonun öncelikli olarak incelenmesi gerekmektedir. İlk olarak uydunun en çok dış ısı akısına maruz kaldığı ve en fazla ekipmanın operasyonel olduğu sıcak durum senaryosu radyatör alanlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Diğer senaryo ise uydu üzerine düşen ısı akısının en az olduğu ve en az ekipman ısı yayınımı bulunan, uydunun ihtiyaç duyduğu ısıtıcı gücünün hesaplandığı soğuk durum senaryosudur.

[1] Tasarım Mühendisi, Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı, Isıl Kontrol Sistemleri, E-posta: suleymankaancan.ataer@tai.com.tr

[2] Tasarım Mühendisi, Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı, Isıl Kontrol Sistemleri, E-posta: ozgun.cokgezen@tai.com.tr

[3] Şef, Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı, Isıl Kontrol Sistemleri, E-posta: edirgin@tai.com.tr

Bu çalışmada, bir haberleşme uydusunda yer alan bir ekipmanın sıcaklığı, ekipmanın bulunduğu panel için sıcak durum senaryosunda, iki ayrı tasarım çözümü (yüzeye monte ve gömülü ısı borusu) kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar ekipmanın istenen çalışma sıcaklık aralığıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

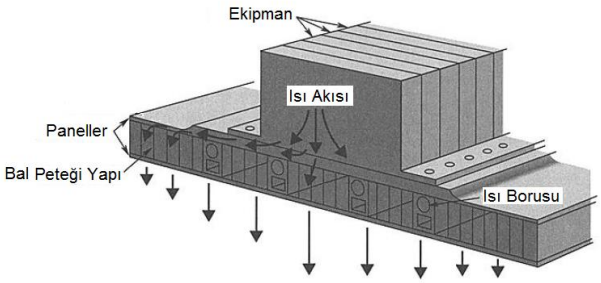


a) b)

Şekil 1: a) Isı Boruları Kesit Görseli b) Flanşlı Isı Boruları Görseli [ESA Thermal Design Handbook, 2011]

Mevcut çalışmada modellenen ısı boruları sabit iletkenliğe sahip (Constant Conductance) Şekil 1'deki görsellerde yer alan ısı borularındandır. Sabit iletkenliğe sahip ısı boruları temel olarak çalışma sıvısı, oluklu yapı ve bunları saran bir dış yapıya sahiptirler. Bu tür ısı borularının kullanım amacı ısıyı bir bölgeden başka bir bölgeye taşımak ya da bulunduğu yüzeyi izotermal dağılıma getirmektir. Bu ısı boruları montaj ve üretilebilirlik kısıtlarına göre panel içerisine gömülü ya da panel üzerine monte edilerek kullanılabilirler.

Uydu panelleri, alüminyum plakaları sayesinde ekipmanların ısı yayınımlarını yatay yönde yayarak iletebilmektedirler. Fakat paneller arasındaki bal peteği yapı panele dikey yöndeki iletimi düşürmektedir [Gilmore, 2002]. Isı boruları Şekil 2'deki gibi ısı yayınımı olan ekipmanın altına yerleştirilerek paneldeki hem dik hem de yanal yöndeki ısı iletimini artırmaktadır.

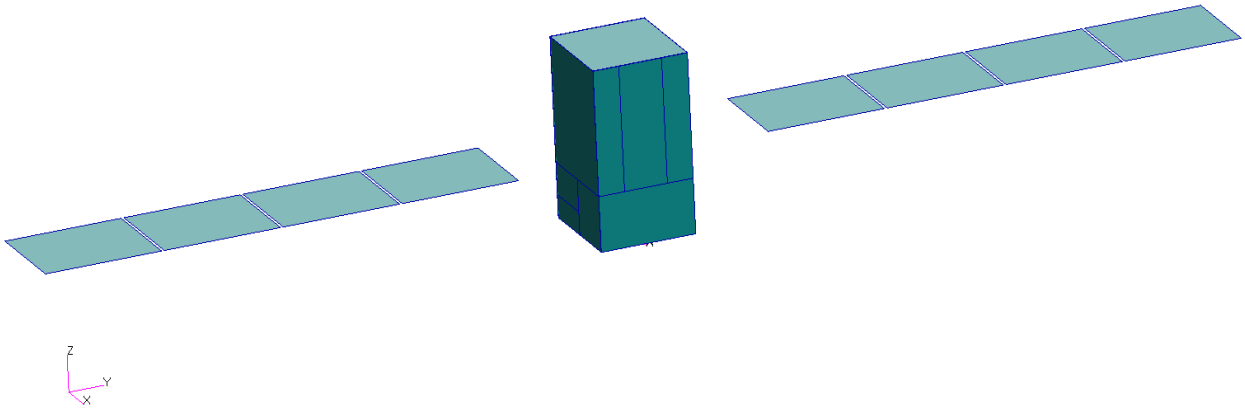


Şekil 2: Panele Gömülü Isı Borusu ve Ekipman [Gilmore, 2002]

Mevcut çalışmada gömülü ısı boruları flanşsız olarak modellenmiştir. Yüzeye monte ısı borularının ise ekipmanla aralarındaki temas alanını artırmak ve panel/ekipman montajı için flanşlı olmaları gerekmektedir.

Sabit iletkenliğe sahip yüzeye monte ısı borularının kullanıldığı haberleşme uydularına örnek olarak Artemis ve ARABSAT 2 gösterilebilir. Genellikle tüm haberleşme uydularında ve bu uydularda kuzey ve güney panelleri radyatör panelleri olarak seçilmektedir. Artemis uydusunda 48, ARABSAT 2 uydusunda ise 102 adet yüzeye monte ısı borusu ile ekipmanların ısıl kontrolü sağlanmıştır. [Colangelo, Guglielmo ve Sacchi, 1997], [Michel, Thierry, 1997]. Ayrıca AIRBUS şirketinin ürettiği sabit iletkenliğe sahip ısı borularının kullanıldığı uydulara arasında ERS-1, ERS-2, Telecom-2, RADARSAT, ENVISAT ve AMOS yer almaktadır.

Tasarlanan uydunun Şekil 3'teki gösteriminden yola çıkarak panel isimlendirmeleri; +Y yönündeki panele güney panel, -Y yönündekine kuzey, +Z yönündekine üst, -Z yönündekine alt, +X yönündekine doğu ve –X yönündekine batı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3: Tasarlanan Uydunun İndirgenmiş Geometrik Modeli

YÖNTEM

Bu çalışmada yer durağan yörüngede görev yapmak üzere tasarlanmış bir uydunun +Y panelinde yer alan 6 adet ekipmanının istenen çalışma sıcaklığı aralığında tutulması hedeflenmektedir. Ekipmanların istenen sıcaklık aralığı içerisinde kalması, gömülü ve yüzeye monte ısı borularının kullanımı ile sağlanacaktır.

Bu çalışma kapsamında seçilen haberleşme uydusu 42° doğu boylamı yer durağan yörüngede görev yapmak üzere tasarlanmıştır. Bu haberleşme uydusunun geometrik modeli bilgisayar destekli tasarım yazılımı CATIA'da indirgenmiştir. Geometrik model hazırlanırken, uydunun dışında yer alan ekipmanların tamamı ve yapısal paneller yüzey olarak (Şekil 1), uydu içerisindeki ekipmanlar ise katı olarak modellenmiştir.

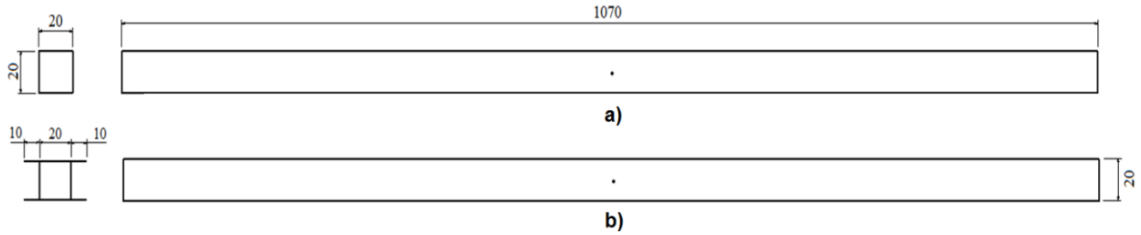
Hazırlanan model STEP formatında PATRAN v.2014.1 yazılımına yüklenmiştir. PATRAN yazılımı yardımıyla tüm uydu bileşenlerine sahip oldukları malzeme özellikleri atanmış, ısı yayınımları ve diğer tüm gerekli bilgiler tanımlanarak ısıl matematiksel model hazırlanmıştır.

Uydunun yörüngede maruz kaldığı dış ısı akılarının ve ışınım değişim faktörlerinin hesaplanması THERMICA v.4.7.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Paneller PATRAN ortamında modellenirken panel plakalarının radyatör olarak belirlenen elemanlarına radyatör ısıl optik özellikleri tanımlanarak daha önceden gerçekleştirilmiş olan çalışma ile benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. [Arabacı, 2014] Tüm yüzey özellikleri ve ışınım yükleri PATRAN ortamında tanımlanmış, uydu içerisindeki ışınım değişim faktörleri SINDARAD yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan modeller için radyatör yayılım değeri (ε_{rad}) 0.83, radyatör soğurma değeri (α_{rad}) 0.24 alınmıştır.

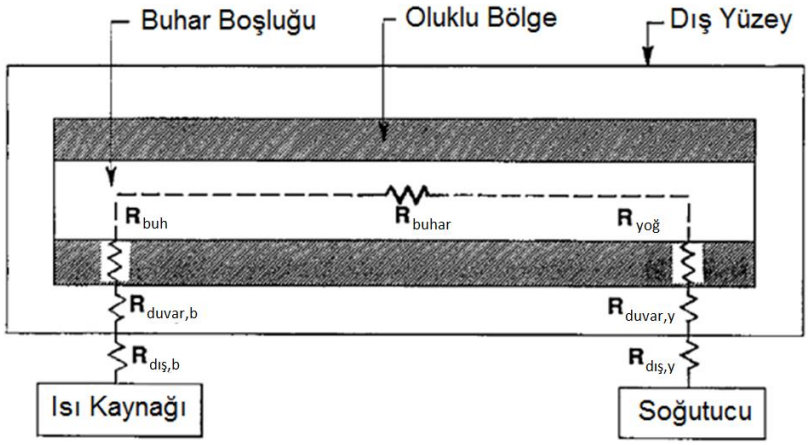
Yüzey normalleri düzenlendikten sonra yüzeylere iletim ve ışınım yükleri tanımlanmıştır. Dış panellere tanımlanan sayısal ağların belirlenen elemanlarına istenilen radyatör alanını elde edebilmek için çok katmanlı yalıtım battaniyesi ya da radyatör ısıl optik özelliği verilmiştir.

Isı Borusu Geometrik Modeli: Gömülü ısı borusu Şekil 4 a)'da belirtildiği gibi 20 mm'lik kare kesitte ve 1070 mm uzunlukta içi boş bir dikdörtgen prizmanın yüzeyleri olarak modellenmiştir.



Şekil 4: Modellenen Isı boruları a) Gömülü Isı Borusu b) Yüzey Monte Isı Borusu

Isı Borusu Isıl Matematiksel Modeli: Isı borusu seçimi ve tasarımı yapılırken ısı borularının çalışma sıcaklık aralığı içindeki ısı taşıma kapasitesi ve panelin üretilebilirliği göz önünde bulundurulmuştur. Isı borusunun yüzeyleri arasındaki iletim değeri hesaplanırken Şekil 5'deki direnç modelli göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 5: Isı Borusu Isıl Direnç Modeli [Cho, Harnett ve Rohsenow, 1998]

R_{buhar}: buhar boşluğundaki yoğuşma ve buharlaşma bölgeleri arasındaki ısıl direnç
R_{buh}: buharlaşmanın olduğu bölgedeki oluklu bölge ile buhar yüzeyi arasındaki ısıl direnç
$R_{yoğ}$: yoğuşma olan bölgedeki oluklu bölge ile buhar yüzeyi arasındaki ısıl direnç
$R_{duvar,b}$: buharlaşma olan bölgedeki oluklu bölge ile ısı borusunun dış yüzeyi arasındaki ısıl direnç
$R_{duvar,y}$: yoğuşma olan bölgedeki oluklu bölge ile ısı borusunun dış yüzeyi arasındaki ısıl direnç
$R_{dış,b}$: buharlaşma olan bölgedeki ısı borusunun dış yüzeyi ile ekipman/panel arası ısıl direnç
$R_{dış,y}$: yoğuşma olan bölgedeki ısı borusunun dış yüzeyi ile panel arası ısıl direnç
$R_{ekipman}$: ekipman ile panel/ısı borusu arasındaki ısıl direnç

UYGULAMALAR

Sıcaklık Aralıkları: Çalışma kapsamında sıcaklığı kontrol edilmesi gereken altı adet ekipman aynı geometriye sahip olarak seçilmiştir. Geometrilerin her biri için bir adet eleman kullanılarak sayısal ağlar oluşturulmuştur. Ekipmanların çalışma sıcaklık aralığı ECSS-E-ST-31C standardı ile belirlenen değerler ölçüsünde daraltılmaktadır ve böylece analiz sıcaklık aralığı değerlerine ulaşılmaktadır. [ESA,2008] Ekipmanların analiz sıcaklık aralığı Çizelge 1'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 1: Ekipman Sıcaklık Aralıkları

	Yeterlilik Sıcaklık Aralıkları (°C)		**Analiz Sıcaklık Aralığı (°C)**	
	Operasyon Harici	**Operasyonel**	**Operasyon Harici**	**Operasyonel**
Ekipman	[-35, +70]	[-10, +65]	[-15, +50]	[+10, +45]

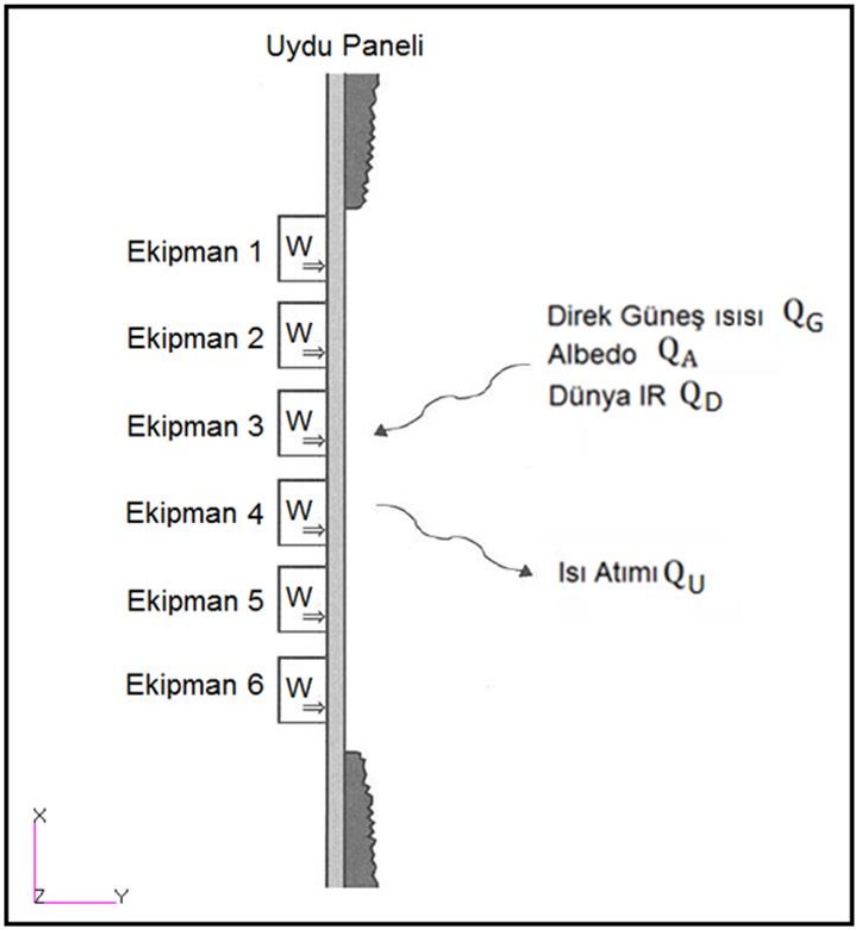
Ayrıca ekipmanın performansı, ekipman sıcaklığının analiz sıcaklık limitleri içerisinde kalması şartı ile düşük sıcaklıklarda artış gösterdiği varsayılmıştır ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde operasyonel ekipmanların tutulması hedeflenen sıcaklık 35 °C olarak belirlenmiştir. Modellenen altı adet ekipmandan iki adedi yedek olarak tanımlanmış ve çalışmadığı varsayılmış, diğer dört adetinin yayınımı ekipman başına 13.5 Watt olarak tanımlanmıştır. Ekipmanlar uydu içerisinde +Y yönündeki güney panelde yer alacak şekilde modellenmiştir. Ayrıca bu altı adet ekipman çok katmanlı yalıtım battaniyesi (ÇKYB) kullanılarak uydu içerisinden izole edilmiştir.

Ekipmanlardan +X yönündeki doğu paneline yakın olan iki adedi yedek ekipman olarak kabul edilmiştir ve analizler boyunca ısı yayınımları 0 Watt olarak alınmıştır. Uydu ısıl kontrolü için gerekli hesaplamalar yapılırken aşağıda belirtilen eşitlik kullanılmaktadır. [Peters, 2004]

$$\underbrace{Q_G + Q_D + Q_A}_{\text{Dış Isılar}} + \underbrace{W}_{\text{Isı Yayınımı}} - \underbrace{Q_U}_{\text{Uzaya Atılan Isı}} = 0 \qquad (1)$$

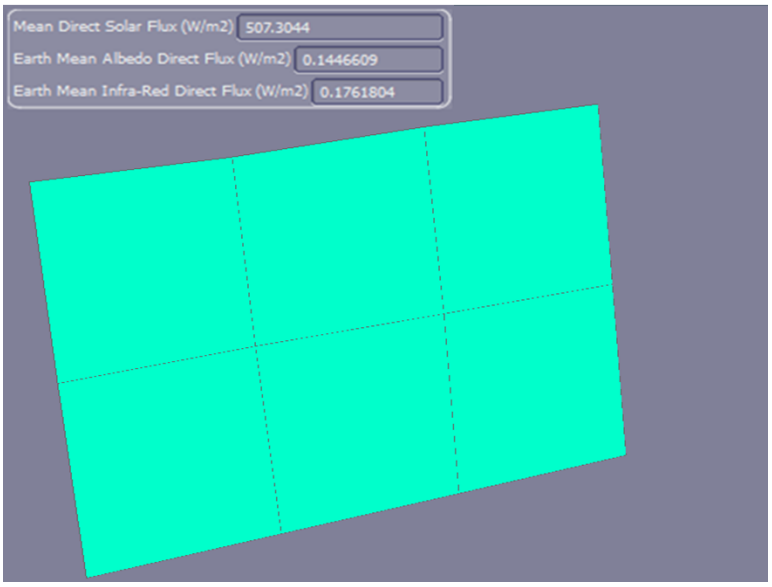
Q_G: Güneşten uyduya gelen ısı
Q_D: Dünyadan uyduya gelen ısı
Q_A: Güneşten dünyaya gelen ışınların yansıyla uyduya gelen ısı
W: Uydu içerisindeki ekipmanların yaydığı ısı
Q_U: Uzay ortamına atılan ısı

Uyduya gelen ve uydudan uzay ortamına atılan ısıları ifade eden bu parametreler Şekil 6'da görsel olarak belirtilmiştir.



Şekil 6: Uyduya Gelen ve Uydudan Atılan Isılar [Gilmore, 2002]

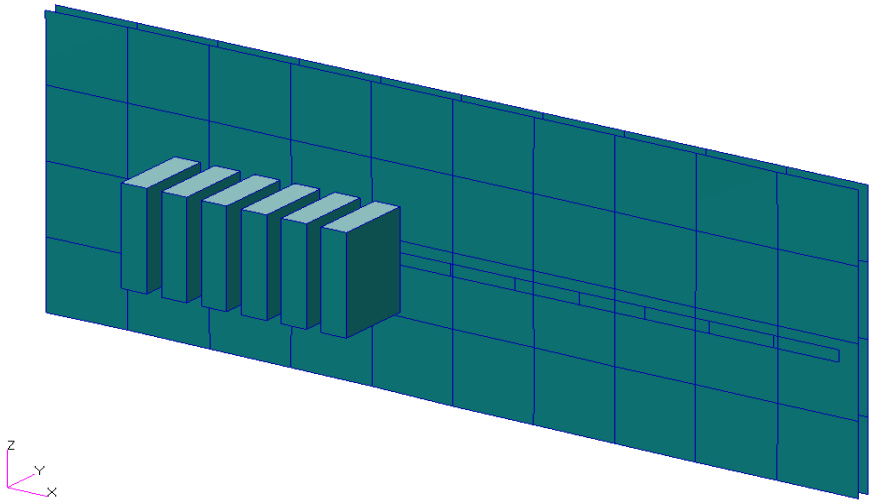
THERMICA v.4.7.1 yazılımından alınan sonuçlar doğrultusunda ekipmanların yer aldığı panel elemanlarına yörünge boyunca ortalama 507.3 W/m^2 direk güneş akısı düştüğü ve bu elemanlara dünyadan gelen kızıl ötesi ve yansıyan Albedo akılarının ise 0.2 W/m$^{2'}$den az olduğu Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7: THERMICA Ortamında Ekipmanların Bulunduğu Panel Elemanlarına Düşen Isı Akıları

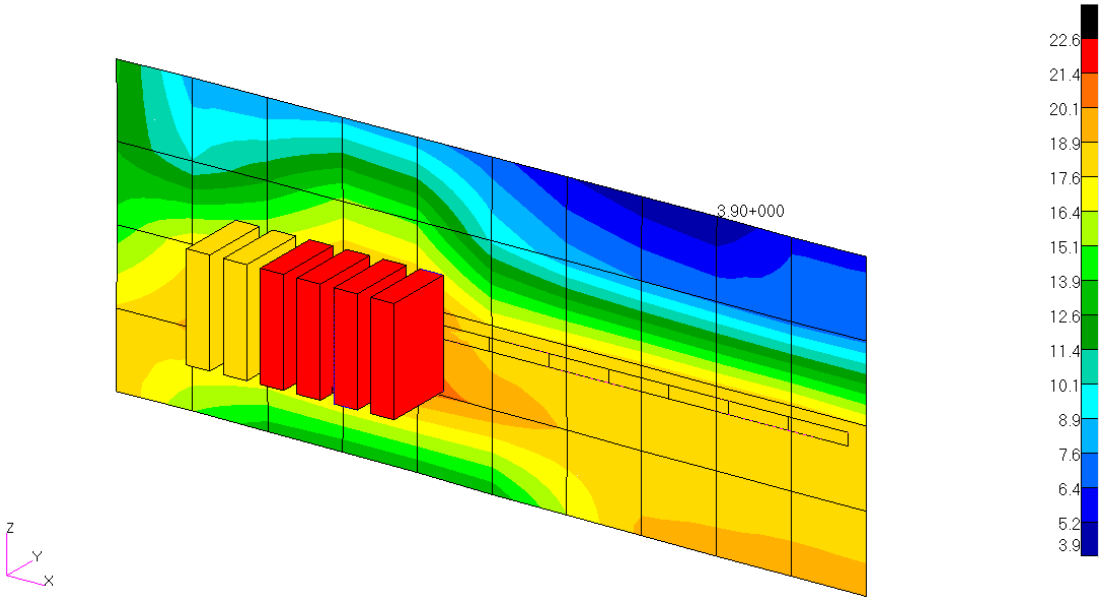
Isıl Analizlerin Gerçekleştirilmesi ve Isıl Matematiksel Modeller: Analizler sonucunda ısı borusu yerleşiminin sıcaklık sonuçlarına etkisi gözlemlenecektir. Aşağıdaki başlıklarda daha önce bahsedilen iki tasarım çözümü de incelenmiştir.

a) Gömülü Isı Borusu:



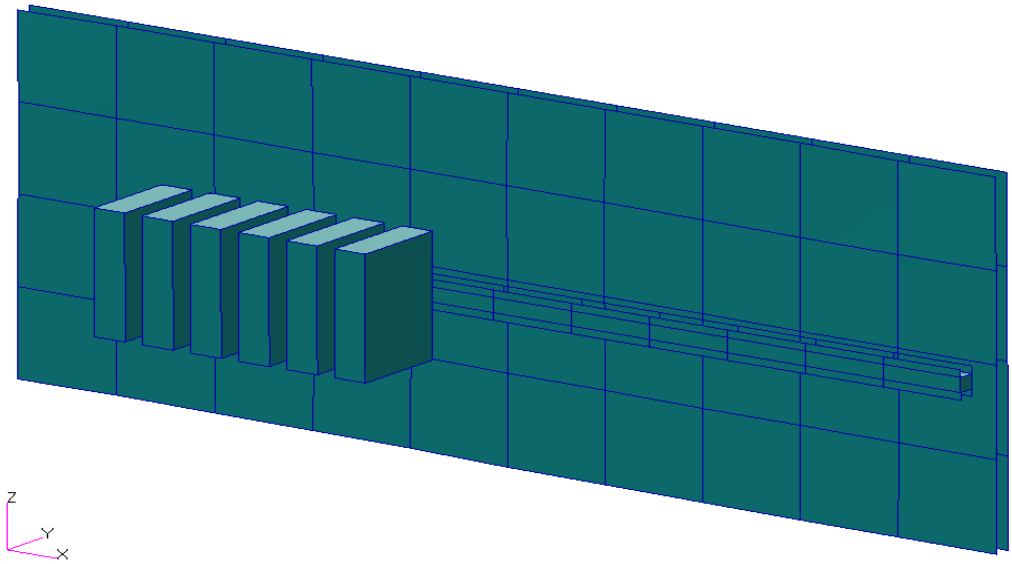
Şekil 8: Ekipmanların ve Gömülü Isı Borusunun yer aldığı bölgenin Isıl Matematiksel Model

Bu yöntemde ısı borusu uydunun yapısal panelinin uydu içine ve uzaya bakan yüzeylerine değecek şekilde bu panellerin arasına yerleştirilmiştir. (Şekil 8) Isı borusunun ekipmanların iç panele yaydığı ısıyı iki panel arasındaki bal peteği yapısından daha yüksek iletim değeri ile dış panele iletmesi amaçlanmaktadır. Gömülü ısı borusu modeli kararlı durum analizi sonucunda ekipmanlardan en yüksek sıcaklığa sahip olanın 22.6 °C en düşük sıcaklığa sahip olan ekipmanın ise 18.1 °C olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 9) Şekil 9'da panel plakalarından sadece ekipmanların temas ettiği panelin iç plaka yüzeyi gösterilmiştir.



Şekil 9: Gömülü Isı Borusu Modeli Ekipman Sıcaklıkları

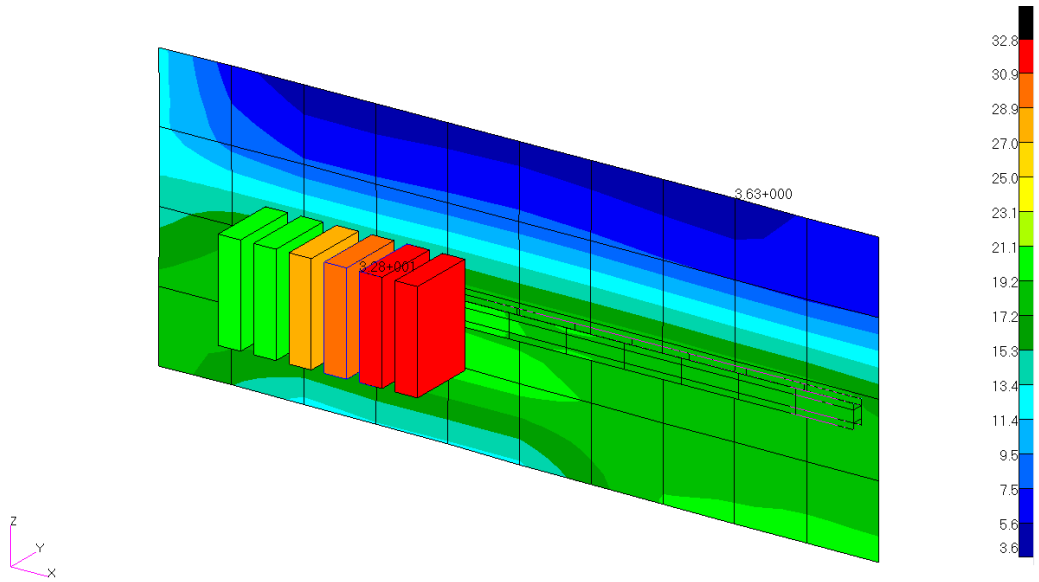
b) Yüzey Monte Isı Borusu:



Şekil 10: Paneli Ekipmanların ve Yüzey Monte Isı Borusunun yer aldığı bölgenin Isıl Matematiksel Modeli

Yüzeye monte ısı boruları panel üretiminden sonra panele monte edilebilmesi ve diğer ısıl kontrol donanımlarının yerleşiminde tasarımcıya tasarım değiştirebilme açısından biraz daha esneklik sağlaması açılarından avantajlıdır. Fakat bu yöntemde ısı borusu uydunun yapısal panelinin sadece uydu içine bakan yüzeylerine temas edeceği için yüzeye monte ısı borusu ile radyatör alanı arasında yapısal panel ilave direnç olarak kalmaktadır.

Yüzeye monte ısı borusu modeli için yapılan kararlı durum analizi sonucunda ekipmanlardan en yüksek sıcaklığa sahip olanın 32.8. °C en düşük sıcaklığa sahip olan ekipmanın 19.7 °C olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 11) Şekil 11'de panel plakalarından sadece ısı borusunun temas ettiği panel iç plaka yüzeyi gösterilmiştir.



Şekil 11: Yüzeye Monte Isı Borusu Modeli Ekipman Sıcaklıkları

c) Analiz Sonuçları:

Gömülü ısı borusu (GIB) kullanılan modelin yüzeye monte ısı borusu (YMIB) kullanılana göre daha iyi bir performans gösterdiği Çizelge 2'de görülmektedir. GIB yer alan modeldeki operasyonel olan ekipmanların sıcaklıkları YMIB yer alan modeldekilere göre ortalama 8.3 °C daha düşüktür. Operasyonel olmayan ekipmanlarda ise bu fark 1.75 °C'ye düşmektedir.

Çizelge 2'deki analiz sonuçları dikkatli bir şekilde incelendiğinde GIB'nun kullanıldığı analizde ekipmanlar arasında daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. GIB'nun kullanıldığı durumda ekipmanlar doğrudan panellere temas ettiğinden ve bu bölümdeki paneller arasında bal peteği yapı olmadığından daha yüksek bir iletim sağlanmıştır.

YMIB'da ise ekipmanların temas alanları ısı borusunun flanşı ile sınırlı olmasından ve ısı borusunun temas ettiği iç panel ile dış panel arasında bal peteği yapının yer almasından dolayı ekipmanların sıcaklıkları daha yüksektir. Bu analizde ekipmanlar arası sıcaklık farkı 3.5 °C'ye kadar çıkmaktadır. Ekipman 3 GIB analizinde ekipmanlar arasında en yüksek sıcaklığa sahip iken YMIB analizinde en düşük sıcaklığa sahiptir. Bunun sebebi ise GIB analizinde iç panel levhasının Ekipman 1 ve Ekipman 2'nin yaydığı ısıyı bir kanatçık gibi davranarak daha geniş yüzeye yaymasıdır. YMIB modelinde ise Ekipman 1 ve Ekipman 2 ısı borusunun uç kısmına yakın olduğundan kanatçık olarak kullanabilecekleri uzunluk sınırlıdır bundan dolayı Ekipman 3'ün sıcaklığı bu ekipmanlardan daha düşüktür.

Çizelge 2: Analiz Sonrası Ekipman Sıcaklıkları

	Gömülü Isı Borusu Model(°C)	Yüzeye Monte Isı Borusu Model (°C)
Ekipman 1	22.1	31.9
Ekipman 2	22.5	32.8
Ekipman 3	22.6	29.3
Ekipman 4	22.1	28.5
Ekipman 5 (Yedek)	18.8	20.8
Ekipman 6 (Yedek)	18.2	19.7

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yer sabit yörüngede görev yapan bir haberleşme uydusu içerisinde yer alan ekipmanların aynı boyuttaki ısı borusunun iki farklı tasarım çözümü kullanılarak ve uydu için en sıcak durum senaryosu dikkate alınarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada belirtilen şartlar altında gömülü ve yüzeye monte ısı borularının performanslarının karşılaştırılması ile ısıl tasarıma yönelik faydaları ve kısıtlamaları değerlendirilerek tasarım çalışmaları için öngörü oluşturmaktadır.

Kaynaklar

Arabacı S., 2014. "Yer Gözlem Uydularında Isıl Modelleme ve Analiz Yaklaşımı", UHUK-2014-146

Baturkin V., Biering B. and Lura F., 2000. "Heat Pipe Application for Thermal Stable Bench Arrangement in Small Satellite Design" Rep. No. 200-01-2460, Proceedings of the 30th Int. Conference on Environmental Systems (ICES), 10-13 July

Baturkin V. and Olefirenko D.,2001. "Research on Axially Grooved Heat Pipe Heat Transfer Characteristics in Ground Tests" Rep. No. 2001-01-2237, Proceedings of the 31th Int. Conference on Environmental Systems (ICES), 9-12 July

Cho Y. I., Harnett J. P., Rohsenow W. M., 1998. Handbook of Heat Transfer, McGraw-Hill, Third Edition

Colangelo G., Guglielmo C., Sacchi E., 1997. "The Thermal Control of Artemis Spacecraft", 27th International Conference on Environmental Systems Lake Tahoe, Nevada July 14

ESA, Requirements and Standards Division, 2008. *ECSS-E-ST-31C Thermal Control General Requirements*, Second Issue, 15 November

ESA Thermal Design Handbook, 2011. ECSS-E-HB-31-01 Part 8A Heat Pipes, 5 December.

Gilmore D. G., 2002. Spacecraft Thermal Control Handbook, Volume:1 Fundamental Technologies, California: The Aerospace Press s.283-287

Michel K., Thierry B., 1997. "SPACEBUS-THERMAL CONTROL ARABAT 2", Sixth European Symposium on Space Environmental Control Systems, The Netherlands, 20-22 May.

Peters J.F., 2004. Spacecraft Systems Design and Operations, Kendall/Hunt Publishing Company

THERMICA 2011. Version 4.5.0 User Manual, ASTRI.UM.757138.ASTR, 2.0