

ISI BORUSU TEKNOLOJİSİ VE UZAY UYGULAMALARI

Murat BULUT¹

Türksat A.Ş., Ankara

Rochester Institute of Technology, Makina Müh.
Bölümü, Rochester, NY, Amerika
Sakarya Üniversitesi, Makina Muh. Bölümü,
Sakarya

Nedim SÖZBİR²

Türksat A.Ş., Ankara

Tübitak Uzay Enstitüsü, Ankara
Sakarya Üniversitesi, Makina Muh. Bölümü,
Sakarya

ÖZET

Isı boruları ısı enerjini bir noktadan diğer noktaya hızlı bir şekilde aktarılmasını sağlayan ısı kontrol cihazıdır. Genellikle soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Uydularda ısı kontrol yapmak amacı ile kullanılır. Uydu panelinde bir ısıtma ağı oluşturularak elektronik cihazların hem soğutması hem de ısıtılması amacı ile kullanılır. Tamamen iletim ve taşınım ısı transferi ile ısı transferi sağlanmaktadır. Bu çalışmada ısı boru teknolojinin tarihi, çalışma prensibi, tasarımı ve üretimi ile ilgili olarak TÜRK SAT 3A uydu projesi sırasında kazanılmış olan tecrübeler aktarılacaktır.

SİMGELER

CM	=	Haberleşme Modülü (CM-Communication Module)
CPL	=	Çevrimli Isı Borusu (CPL-Capillary Pumped Loop)
HP	=	Isı Boruları (HP-Heat Pipe)
LHP	=	Çevrimli Isı Borusu (LHP-Loop Heat Pipes)
MLI	=	Çok Katmanlı İzolasyon Örtüsü (MLI-Multilayer Insulation)
OSR	=	Optik Güneş Yansıtıcıları (OSR-Optic Solar Reflector)
p	=	Basınç [N/m ²]
TTTP	=	Teknoloji Transfer Programı
UMET	=	Uydu Montaj Entegrasyon ve Test Merkezi

Alt simge

c	=	kılcal ile ilgili
g	=	yerçekimi ile ilgili
l	=	sıvı ile ilgili
v	=	buhar ile ilgili

¹ Kıdemli Uzman, Uydu Programları Direktörlüğü., E-posta: muratbulut@turksat.com.tr

² Danışman, Başuzman ve Araştırmacı ve Sakarya Üniversitesi Öğr. Üyesi, E-posta: nsozbir@turksat.com.tr

GİRİŞ

Isı borusu (HP-Heat Pipe) teknolojisinin geçmişi uzay uygulamalarında bundan 50 yıl öncesine gitmektedir. Uzay uygulamalarında ısıнын uzay aracı içinden uzay ortamına (4K) atılması elektronik ekipmanların çalışma sıcaklıkları aralığında verimli çalışması için önem arz etmektedir. Isının hızlı ve verimli şekilde ortamdan uzaklaştırılması ve yerçekimi ortamının olmadığı yerde ancak iki fazlı ısı transfer ekipmanı olan ısı boruları ile yapılmaktadır.

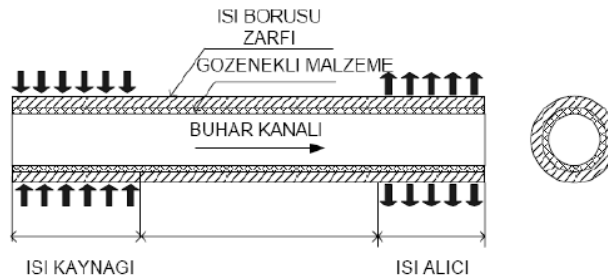
Isı borularının uygulama alanları olarak bilgisayarların soğutulması, cep telefonların soğutulması, araçlarda ısı üreten ekipmanların soğutulması, nükleer santrallerde fazla ısıнын ortamdan uzaklaştırılması gibi uzay uygulamaları dışında kullanılmaktadır. Isıl kontrol sistemleri otomobil sektöründen sağlık, uzay ve havacılık, bilişim teknolojilerine varıncaya kadar her alanda etkisini görmek mümkündür.

LİTERATÜR ÖZETİ

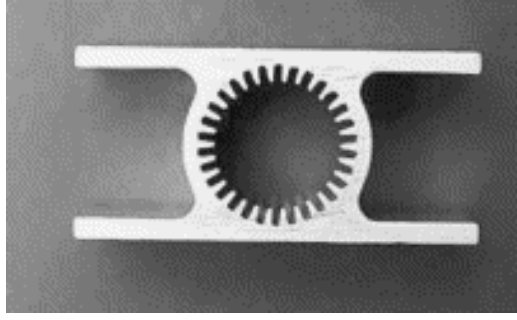
Isı borularının ilk kullanımı 1839 yılında olmuştur. İlk defa 1944 yılında General Motors firmasında R.S.Gaugler tarafından patenti alınmıştır. 1964 yılında Los Alamos National Laboratuvarında Grover, Cotter and Erikson tarafından ısı transferi deneylerinde kullanılmıştır. 1969 yılında uzay sektöründe faaliyet gösteren ve NASA tarafından ilgi gösterilmiş ve günümüze kadar kullanılmaktadır.

ISI BORUSU ÇALIŞMA MEKANİZMASI

Isı boruları iki fazlı ısı transferi ile çalışan ekipmanlardır. Isı borularında kapalı çevrimli iki fazlı akış buharlaşma ve yoğunlaşma bölgesi yardımı ile ısı bir noktadan diğer bir noktaya elektrik gücü olmadan transferi gerçekleşmektedir [Gilmore, 2002]. Isı borusu içerisinde yer alan sıvı, ısıyı çektikten sonra buharlaşarak çektiği ısıyı daha soğuk ortama yoğunlaşma yaparak çalışmaktadır. Şekil 1’de ısı borusu çalışma prensibi görülmektedir. Fital yapının içerisinde yer alan çalışma sıvısı, ısıнын etkisi ile buharlaşacak ve ısı borusunun ortasından kanal içerisinde hareket edecektir. Isının transferi sıcaklığı yüksek olan bölgeden sıcaklığın düşük olduğu bölgeye doğru olacaktır. Düşük sıcaklıkta yoğunlaşan buhar, sıvılaştıktan sonra tekrar fital bölgesine kılcal basınç yardımı ile geçecektir. Isının transferi küçük sıcaklık farkı ile gerçekleşmiş olacaktır. Isı borularda ısı performansını borunun fiziksel boyutları (uzunluk ve çap), borunun iç yapısını oluşturan fital yapının türü (yivli yapı, sinterleşmiş yapı, elek yapı, vb.), gözenek yapının büyüklüğü, boru içerisinde yer alan sıvının miktarı ve türü, boru malzemesi, soğuk bölgenin alanı, borunun yatay eksen ile yapmış olduğu açı etkilemektedir. Şekil 4’te oluk yapılı ısı borusu görülmektedir.

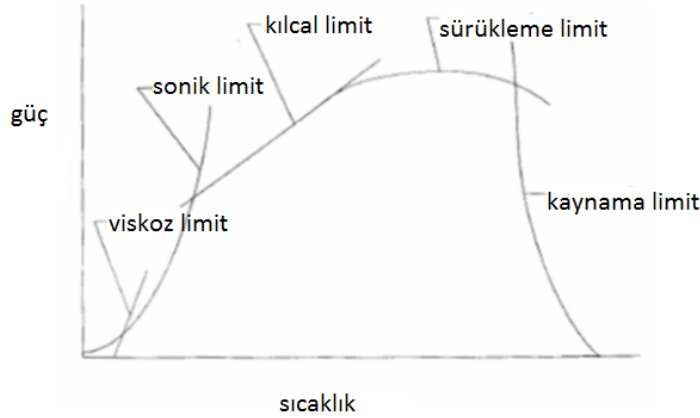


Şekil 1: Isı Borusu ve Kesiti [Kaya, 2008].



Şekil 2: Oluk yapılı ısı borusu kesiti

Maksimum ısı taşıma kapasitesi ısı borusu sınırlamalarına bağlıdır. Isı borularında boru içerisinde yer alan sıvının akışı 5 ana sınırlama (viskoz, sonik, kılcal, sürüklenme ve kaynama) ile kısıtlanmaktadır. Şekil 3’de görüldüğü gibi her bir sınırlama operasyonel sıcaklığın belirli bölgesinde etkisini göstermektedir.



Şekil 3: Isı Borusu Sınırlamaları.

Isı borularında en önemli parametre boru içerisinde kılcal basınç toplam basınç ile dengede olmalıdır. Basınçlar ile ilgili denge eşiklik (1)’ de yer almaktadır. Toplam basınç düşümleri ısı borusu boyunca fitilin maksimum kılcal basıncını asla aşmamalıdır. Aksi takdirde boru çalışmamaktadır.

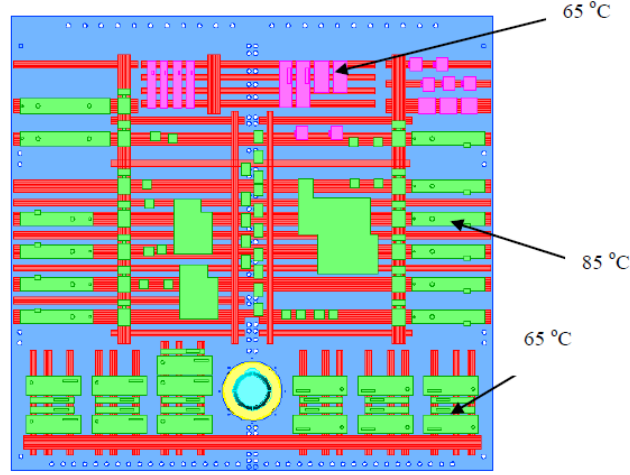
$$\Delta p_c = \Delta p_v + \Delta p_l + \Delta p_g \quad (1)$$

Eşitlik (1) ‘in sol tarafı kılcal basıncı, sağ tarafındaki ilk terim buhar basıncını, ikinci terim sıvı basıncını ve üçüncü terim yerçekimi basıncını ifade etmektedir.

UZAY UYGULAMALARINDA ISI BORULARI

Uzay uygulamalarında özellikle haberleşme uydularında ısı boruları toplam ısı kontrol sistemin kütleli olarak en az yarısını oluşturmaktadır. Gözlem uydularında ısı borularının kullanımı ısı yükünün az olması sebebi ile daha azdır. Bilimsel uydularda uydunun misyonuna bağlı olarak ısı borularının kullanılmaktadır. Örnek olarak, kuru kütlesi 2000 kg’lık bir haberleşme uydusu düşünüldüğünde %5 lik kısmı ısı kütleyi oluşturmaktadır. Bunun yarısının ısı borusu olduğunu düşünürsek eğer yaklaşık 50 kg’lık ısı borusu olmaktadır. Isıl kontrol sisteminin diğer yarısında çok katmanlı izolasyon(MLI- Multi Layer Insulation), optik güneş reflektörü (OSR- optic solar reflector), boyalar, sıcaklık ölçen ekipmanlar oluşturmaktadır [Sözbir, 2015]. Gelişen teknoloji ile birlikte elektronik cihazların birim alan düşen ısı miktarında artmaktadır. Bu nedenle ısı borunun yerini uydularda çevrimsel ısı boruları (CPL-Capillary Pumped Loop ve LHP-Loop Heat Pipe) almaktadır [Bulut, Kahrıman ve Sözbir, 2010; Sözbir, 2008]. Şekil 4’de TÜRK SAT AŞ ısı kontrol sistem ekibi tarafından tasarlanmış TUSAT haberleşme uydusuna ait kuzey panel görülmektedir. Şekil 3’de kırmızı renkli olan ısı borularını ifade etmektedir. Isı boruları farklı ihtiyaçtaki sıcaklık seviyesine (65

°C ve 85 °C) göre müstakil ısı borusu ağlarına ayrılmıştır [Bulut ve Sözbir, 2009; Sözbir, Bulut, Öktem, Kahrıman ve Chaix, 2008]. Isı borusu tasarımı yapılırken herhangi bir ısı borusunun çalışmaması durumu gözönüne alınarak, uydunun performansını azaltmayacak şekilde tasarlanmaktadır. Tablo 1’ de haberleşme uydusu kuzey panelinde hesaplanan sıcaklıklar gösterilmiştir.



Şekil 4: TUSAT Haberleşme Uydusu Kuzey Panel [Sözbir, Bulut, Öktem ve Kahrıman, 2008; Bulut, Sözbir ve Chaix, 2009; Bulut ve Sözbir, 2009].

Tablo 1: Haberleşme Modülündeki Ekipmanların min. ve mak. Sıcaklıkları (Kuzey Paneli) [Bulut, Gülgönül ve Sözbir, 2008].

Panel	Ekipmanlar	Kabul		Hesaplanmış Aşırı	
		Sıcaklıkları		Sıcaklıklar	
		Tmin(°C)	Tmax(°C)	Tmin(°C)	Tmax(°C)
Kuzey CM	EPC	-15	65	-7,16	39,24
	CAMP	-15	65	-6,87	39,2
	TWT	-15	85	11,83	46,4
	OMUX	10	80	13,54	45
	TCR	-30	65	3,05	33,79

ISI BORUSU ÜRETİM VE TEST AŞAMALARI

Isı borusunun üretimi yaklaşık olarak ana ham maddenin temininden sonra 7-8 hafta sürmektedir [Sözbir ve Bulut, 2008; Sözbir ve Bulut, 2009]. Uydularda kullanılan ısı borusunun ham maddesini genellikle alüminyum ve sıvı olarak amonyak oluşturmaktadır. Alüminyum ile amonyak sıvısı uyumlu olmak ile birlikte çalışma sıcaklıkları haberleşme yörüngesi uydusu için uygundur. Ham maddenin yaklaşık maliyeti 1 m ısı borusu için 2-3 Euro iken üretim sonunda uydularda kullanılacak hale geldiğinde 1 metre ısı borusu için 1000-2000 Euro arasında değişmektedir. Bir ısı borusunun üretim ve test aşamaları sırası ile: Mekaniksel işleme (machining), yüzey işleme (surface treatment), kaynak (welding), helyum kaçak testi (helium leak test), dolum (filling), sıkma (crimping), yaşlanma (ageing), kanıt testi (proof test), performans testi (performance test), yoğunlaşmayan gaz testi (non condensable gas test), nihai sızıntı testi (final leak test), bükme (bending), kanıt testi (proof test), nihai denetim (final control).

İlk bir haftalık süreçte mekaniksel işlem, yüzey işleme ve kaynak yapılmaktadır. İkinci bir haftalık süreçte dolum ve temizlik işlemleri yapılmaktadır. Üçüncü bir haftalık zamanda yaslandırma

islemine maruz bırakılmaktadır. Yaslanma testinde isi borusu 1 hafta 80 °C firinda tutulmaktadır. Dorduncu bir haftalik surecte kanit, performans, yogunlasmayan gaz testi ve sızıntı testi yapılmaktadır. Kanit testi ile isi borusunda catlak olup olmadigi kontrol edilmektedir. Performans testinde isi borusu yatay pozisyonundan cok az acili olacak sekilde teste maruz bırakilir. Bir ucuna ısıtıcı bağlanır ve isi borusu boyunca sıcaklık degerleri okunur. Sıcaklık degerleri dogruluğu kontrol edilir. Yogunlasmayan gaz testinde isi borusu dikey pozisyona getirilir. Isıtıcı isi borusuna alt kisimda bağlanır. Sıcaklık degerleri termokupl dan okunur ve degerlendirmesi isil muhendislerden tarafından yapılır. Sızıntı testlerinde helyum gazi kullanılmaktadır. Besinci bir haftalik surecte isi borusu kalite kontrol tarafından kontrol edilmektedir. Son 2-3 haftalik surecte uydu uretici firması tarafından isi borusunun gerekli yerlerine mekaniksel islem yapılmaktadır. Isi borularinin ic kisimda yer alan doymus amonyak gazinin olusturdugu basinc cok yuksek oldugu icin basinca dayankili yapılmak zorundadır.

SONUÇ

Bu calismada, uzay araclarında kullanılan isi borularinin calisma prensibi uretim asamamalı ve uzay uygulamaları hakkında bilgiler verilmiştir.

Ülkemizde uzay konusunda yapılan çalışmalara destek gün geçtikçe artmaktadır. Bunlardan en önemlisi 2014 yılı Aralık ayında TÜRK SAT 6A uydusunun Türkiye'nin en büyük haberleşme uydusunun yerli imkanlar ile yapılmasıdır. Ülkemizde özellikle uzay konusunda yetişmiş insan gücünün eksik olması nedeni ile üniversitelerde uzay ve havacılık fakülteleri açılmaktadır. Açılmakta olan bu üniversitelerde eğitim almakta olan öğrencilere ve öğretim görevlilerine kaynak olmasını amaçlayan bu yayın ile 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.

Kaynaklar

Bulut, M., Gülgönül, Ş., ve Sözbir, N., 2008. *Thermal Control Design of TUSAT.*, 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Cleveland, Ohio, 28 - 30 Temmuz.

Bulut, M., and Sözbir, N., 2008. *Heat Pipe Production and Test Procedures.*, Report, Türksat A.Ş.,

Bulut, M., and Sözbir, N., 2009. *Loop Heat Pipe.*, Report, Türksat A.Ş.

Bulut, M., Kahrıman, A. ve Sözbir, N., 2010. *Uydularda Isıl Kontrol.*, Termodinamik, Sayı - 209, S.72-78, Ocak 2010.

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

Kaya, T., 2008. *Uydu Sıcaklık Kontrolünde Kullanılan İki Fazlı Isı Transferi Teknolojisinde En Son Gelişmeler.*, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı , İstanbul, 15-17 Ekim.

Sözbir, N., Bulut, M., Öktem, M.F., Kahrıman, A. ve Chaix, A., 2008. *Design of Thermal Control Subsystem for TUSAT Telecommunication Satellite.*, Proceedings Of World Academy Of Science, Engineering And Technology Volume 33, ICTE 2008 : "International Conference on Thermal Engineering", Heidelberg, Germany, 24-26 Eylül.

Sözbir, N., Bulut, M., Öktem, M.F., ve Kahrıman, A., 2008. *TUSAT Haberleşme Uydusunun Isıl Tasarımı.*, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı , İstanbul, 15-17 Ekim.

Sözbir, N., 2008. *Heat Pipe or Fluid Loops Tradeoff.*, Report, Türksat A.Ş.

Sözbir, N., Bulut, M. ve Chaix, A., 2009. *Thermal Analysis of Communication Panels for Turkish Satellite.*, Spacecraft Thermal Control Workshop, The Aerospace Corporation, El Segundo, CA, 10-12 Mart.

Sözbir, N. ve Bulut, M., 2009. *Türksat Haberleşme Uydusunun Isıl Kontrolü.*, 17. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi, Sivas, 24-27 Haziran.

Sözbir, N. ve Bulut, M., 2009. *Thermal Control of CM and SM Panels for Turkish Satellite.*, SAE 39th International Conference on Environmental Systems, Savannah, Georgia, USA, 12-16 Temmuz.

Sözbir, N., 2015. *Haberleşme Uydularında Isıl Kontrol.*, Dijital İletişim Teknolojileri İhtisas Dergisi (Dijital Yaşam), Ekim, Sayı 10, sayfa 20-21.