

HABERLEŞME UYDUSUNUN ISIL ANALİZİ

Abdullah F. KELEŞ¹ ve Ömer R. SÖZBİR²
Sakarya Üniversitesi, Sakarya
TÜBİTAK Uzay, Ankara

Murat BULUT³ ve Nedim SÖZBİR⁴
TÜRKSAT A.Ş., Ankara
Sakarya Üniversitesi, TÜRKSAT A.Ş.,
TÜBİTAK MAM, Sakarya, Ankara, Kocaeli

ÖZET

Uydu ısı kontrol alt sistemi uydu elemanları ve yapısını, bütün görev süresi boyunca kontrollü bir sıcaklık aralığında tutmak amacıyla aktif ve pasif ısı kontrol elemanlarından oluşmaktadır. Uydunun servis ve faydalı yük (payload) ekipmanlarının istenilen çalışma aralığında çalışması ısı kontrol yapılarak sağlanmaktadır. Haberleşme uydusu bir GEO yörüngede çalışır. Güneş ışıması, uydu ömrü ve çalışma konfigürasyonu gibi yörünge şartları için en zor durum senaryoları göz önüne alınarak yapılır. Isı kontrol ve analizin amacı, ekipman sıcaklıklarını çalışma limitlerine uygun aralıkta tutmak için gerekli ısıtım alanı elde etmektir. Uydunun servis ve faydalı yük sıcaklıkları, enerji korunumu denkleminden elde edilir. Isı analiz için gereken matematik modelleme ve çözüm çeşitli yazılımlar aracılığıyla uygulanır ve ısı analiz süreci tamamlanır.

SİMGELER

$\dot{E}$	: enerji, J
A	: alan, m ²
K	: ısı iletim matrisi, W/K
M	: kütle, kg
c	: özgül ısı, J/kg°C
Q	: ısı, W
q	: ısı akısı, W/m ²
T	: sıcaklık, K ya da °C
t	: zaman, s
α	: yüzey absorpsiyon katsayısı
ε	: yüzey yayılım katsayısı
$\mathcal{T}$	: ışıınım değiştirme faktörü
Σ	: Stefan-Boltzmann katsayısı

Üst ve Alt Simge

A	: Albedo ile ilgili
E	: dünya ışıınımı ile ilgili
S, s	: solar ışıınım ile ilgili
r	: ışıınım ile ilgili
d	: üretilen ısı
i	: nod

¹ Arş. Gör. Abdullah Feyzi KELEŞ, Makine Müh. Böl., abdullahfeyzi@sau.edu.tr

² Araştırmacı Ömer Refik SÖZBİR, TÜBİTAK Uzay, refik.sozbir@tubitak.gov.tr

³ Dr. Murat BULUT, TÜRKSAT AŞ, muratbulut@turksat.com.tr

⁴ Prof. Dr. Nedim SÖZBİR, Makine Müh. Böl., sozbir@sakarya.edu.tr, nsozbir@turksat.com.tr ve nedim.sozbir@tubitak.gov.tr

GİRİŞ

GEO yörüngede çalışan haberleşme uydusunun ısı kontrol alt sistemi uydunun ısı şartlarına bağımlı çalışan tüm elemanlarını, uydu görev süresi boyunca, istenen sıcaklık aralıklarında tutma görevini yerine getirir. Çoklu yalıtım malzemesi (MLI), optik güneş reflektörü (OSR), ısı boruları, ısıtıcılar, yüzey işlemleri, boyalar ve termistörler gibi çeşitli bileşenlerden oluşan ısı tasarımı geliştirmek, aynı şekilde gelişen servis ve faydalı yük ekipmanlarının çalışma gereksinimlerini yerine getirmek için ana hedeftir [1-24].

Haberleşme uydusunun manevra ömrü en az 16 sene ve nominal konumdaki işletme ömrü de en az 15 senedir. 3 eksenli sabitlenmiş tip uydu platformuna sahip olup, haberleşme modülü ve servis modülünden oluşmaktadır. Fonksiyonel olarak faydalı yük ve platform olmak üzere iki ana sisteme ayrılmıştır. Haberleşme görevini yerine getiren kısım olan faydalı yük, haberleşme alt sistemleri, anten, telemetri, komut, konumlama alt sistemlerini içerir. Platform ise uçuş elektroniği, tahrik, elektrik güç, yapı, görev-kontrol ve ısı kontrol alt sistemlerinden oluşur.

Isı üreten faydalı yük ekipmanları kuzey ve güney panellerinde bulunur. Isı kontrol alt sisteminin hedefinin yoğunlaştığı bu bölgelerde, ısı tasarımı geliştirmek için çeşitli yöntemler uygulanır. Tam yük (%100) çalışma modunda maksimum ısı transferini yapabilecek şekilde boyutlandırılan kuzey ve güney panellerinin dış yüzeyleri optik güneş reflektörü (OSR) ile kaplanır. Ayrıca bu panellerde bulunan ekipmanlarla ısı boruları arasındaki ısı iletimini arttırmak amacıyla ısı borusu ağına, iletkenliği yüksek olan ısı dolgu malzemesi uygulanır. Uydu elemanlarının ısı değişimini, elemanların çalışma veya çalışmama durumlarındaki minimum çalışma sıcaklığını temin etmek için ısıtıcılar kullanılır.

Tahrik alt sistemi, çift yakıtlı bir tahrik sistemidir. Çoklu yalıtım malzemesi (MLI) ile yakıt tankları ve yakıt hatları ışıyım yalıtımı için kaplanır. İstenilen minimum sıcaklıkları garanti altına almak için yakıt tankları, tahrik sistem hatları, 10 N'luk iticiler ve 400 N'luk itki motoru üzerinde ısıtıcılar kullanılır. Uyduya ısı transferini ve egzoz gazının etkisinden korumak için iticiler etrafında yüksek sıcaklık korumaları ve ısı kalkanları kullanılır.

Platform ekipmanları kuzey ve güney servis modül panellerinin alt kısmına yerleştirilmişlerdir. Piller (Li-Ion), güç düzenleyici ünitesi ve faydalı yük-platform dağıtım ünitesi, bu paneller üzerinde bulunur. Pil tasarım konsepti, pil taban plakasına yerleştirilerek sağlanır. Piller, diğer elektronik elemanlardan ışıyım ile gelecek ısıyı önlemek için çoklu yalıtım malzemesi (MLI) ile kaplanır. Ayrıca ısıtıcılar da, pillerin minimum çalışma sıcaklığında kalması için kullanılır.

Güneş panelleri, uydunun güneş görmediği durumlarda ve ay/güneş tutulması sırasındaki pil dolumu için ihtiyaç duyduğu gücü üretir. İki güneş paneli kanatları gövdenin kuzey ve güney yüzlerine monte edilirler.

Haberleşme görevi antenler kullanılarak yapılır. İki adet gregoryen anten (sabit anten) ve iki tane de açılabilir anten bulunmaktadır. Gregoryen antenler dünya paneline yerleştirilirler. Açılabilir antenleri ise doğu ve batı panellerinde bulunmaktadır. Ayrıca telemetri, komut ve mesafe ölçümünde kullanılan iki adet omni anten de uydu üzerinde bulunmaktadır. Antenler ısı olarak uydu yapısından izole edilmektedir. Açılabilir mekanizma ve uydu yapısı ısı olarak izole edilir.

Konum belirleme ve kontrol amaçlı olarak kullanılan optik sensörler iki çeşittir: Bu sensörler yıldız izleyici ve güneş sensörüdür. İki yıldız izleyici ve iki güneş sensörü sırasıyla servis modülünde orta panel ve dünya karşıtı panel üzerinde bulunmaktadır. Bu optik sensörler için özel ısı tasarımı gerekir. Gerekli ısı kontrolü sağlamak için radyatör alanı ve ısıtıcılar kullanılır.

ISIL TASARIM ve ANALİZ

Termal tasarım süreci, tasarım konsepti ve onu sağlayan analizlerden oluşan bir süreçtir. Doğrulanmış ve iyileştirilmiş bir tasarım için her zaman detaylı bir termal analiz gerekir. En basit yüzey işleminden en karmaşık ısıtma-soğutma sistemine kadar geniş bir alanda termal kontrole imkan sağlayan donanımlar ve teknikler, uydu ısı kontrolünde kütlenin olabildiğince az olması, test

edilebilir olması, güvenilirliği yüksek ve bütçe uyumlu olması gibi gerekliliklere göre seçilir. Ayrıca ısı tasarımı olabildiğince basit ve aktif bileşenlerden kaçınarak yapılabilmesi istenir.

Isıl analiz süreci şu şekildedir [1,4-5]:

- Isıl sınır şartların tanımlanması,
- Matematiksel modelin tanımlanması,
- Isıl özelliklerin belirlenmesi,
- Matematik modelin oluşturulması,
- Modelin çözülmesi,
- Üretim safhasına geçmek için optimizasyon yapılması,
- Tasarımın nihai haline kavuşması,
- Fiziksel test ve deneme doğrultusunda tasarımın modifiyesi ve analizlerin tekrar yapılması.

Bu süreci işletilebilmek için yapılması gerekenler arasında başlıca, tasarlanan uydunun yapısı ve boyutları, belirlenen işletme ömründe (15 yıl), belirli ortam şartlarında, sahip olduğu ekipmanlarıyla ne kadar enerjiye ihtiyaç duyduğu ve ekipmanların çalışma sıcaklık aralıklarının bilinmesi bulunur [1,4-5].

Yer durağan (GEO) yörüngedeki örnek bir haberleşme uydusunun ana özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Yörünge konumu: 42° Doğu
- Haberleşme kapasitesi: Ku bandı 16 kanal (yedeklik durumu: 20/16), C bandı 4 kanal (yedeklik durumu: 6/4)
- Yakıt ihtiyacı (15 senelik): 1550 kg
- Uydunun kuru kütlesi: 1150 kg
- Ana gövdenin genel boyutları: 2200 x 2000 x 2825 mm
- Güneş paneli kanat açıklığı: 14564.5 mm
- Faydalı yük enerji tüketimi (Ömür sonu): 3628 W
- Uydu enerji tüketimi (Ekinoks-Ömür sonu): 4828 W
- Uydu güneş paneli enerji üretimi (Ekinoks-Ömür sonu): 5606 W
- Güvenilirlik (15 sene): 0.90
- Fırlatma aracı uygunluğu: Ariane V, Atlas V, Delta IV, Sea/Land Launch, Proton, Long March, ve Space X.

Termal analizi süreci, ilk adımda ısı kontrole ihtiyaç duyan elemanların çalışma sınır şartlarını belirlemeyle başlar. Uydu ısı kontrolü enerji dengesi denkleminin çözümü ile yapılır [1,4-5]:

$$\dot{E}_{giren} + \dot{E}_{üretim} = \dot{E}_{çıkan} + \dot{E}_{depolanan} \quad (1)$$

Uydu bölgesel sıcaklıkları, enerjisi (ısı) dengesi denkleminin çözümünden elde edilir. Uydunun her bir elemanı için enerji denklemi uygulanır. İletim, ışıma terimleri ve sınır şartlarından (albedo, güneş, dünya ışıması) oluşan bu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir [[1,4-5]]:

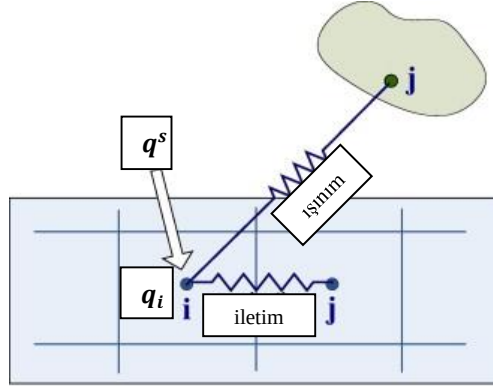
$$(Mc)_i \frac{dT_i}{dt} = Q_i^d + (\alpha^s A^s q^s + \alpha^A A^A q^A + \epsilon A^E q^E)_i - \sum_j \mathcal{T}_{ik} A_i^T (\sigma T_i^4 - \sigma T_{jr}^4) - \sum_j K_{ij} (T_i - T_{jk}) \quad (2)$$

Bu denklemde sol taraf uydu elemanının ısıl kapasitansını gösterir. Sağ taraftaki ilk terim çalışma yükünü, ikinci terim net soğurulan ısıyı, üçüncü terim ışıma ile uzaya atılan ısıyı ve son terim de iç ısı iletimini gösterir.

Yerdurağan yörünge (GEO) uyduları haberleşme uydusu olduğu için Albedo ve dünya gelen güneş ışınları ihmal edilebilir. Bu sebeple denklem (2) şu şekilde yazılabilir:

$$(Mc)_i \frac{dT_i}{dt} = Q_i^d + (\alpha^s A^s q^s)_i - \sum_j \mathcal{T}_{ik} A_i^r (\sigma T_i^4 - \sigma T_{jr}^4) - \sum_j K_{ij} (T_i - T_{jk}) \quad (3)$$

Şekil 1’de i noduna gelen ısı enerjisi, nodun ürettiği ısı ve ısı transferi modları görülmektedir.



Şekil 1 i nodundaki ısı transferi [4]

Isıl analiz bir uydunun sıcaklığını kabul edilen veya var olan bir ortamda tahmin etme ile ilgilidir. Isıl kontrol alt sisteminin ön tasarım gözden geçirmedeki (PDR) ana hedefi ekipman sıcaklıklarını yüksek çalışma sıcaklıkları limitlerine uygun işletme şartlarının sağlanabilmesi için gerekli ısıtım alanını elde etmek ve çalışma sıcaklıkları limitlerinde tutmaya yeterli olan eldeki ısıtma ısı bütçesini teyit etmektir. Uydu ısı analiz, güneş ışıması, uydu ömrü ve uydu çalışma konfigürasyonu en zor durum şartları göz önüne alınarak yapılır. Uydu ısı tasarımı ise aşırı ısı şartlara maruz bırakan kritik durumların analizine göre yapılır. Analizdeki iki kritik durum olan sıcak ve soğuk durumlar -tahmin edilmiş en üst ve en alt sınırlarını tanımlamak için kullanılır.

Haberleşme ve servis modülleri için transfer yörüngesi (TO) ve yerdurağan yörüngesi (GEO) için sıcaklık hesapları yapıldıktan sonra, uydu ısı matematik modeli (TMM) ALSTOM ThermXL programı kullanılarak faydalı yük kuzey ve güney modüllerinin analizi yapılır. Kritik tasarım gözden geçirme (CDR) seviyesindeki ısı analizler ESATAN ve ESARAD programları kullanılarak daha detaylı olarak yapılır [1,4-24].

Uygulanan ThermXL modelinde 392 nod, 963 iletim ve 75 ışıması ile ısı transferi modu (kuzey ve güney panelleri için) kullanılmıştır. Uydu ekipmanlarının birbirlerine olan ışıması ısı transferi ihmal edilmiştir. Model girdisi nodlardır. Nodal girdiler ise iç enerji, ısı kapasite, absorpsiyon ve yayılım katsayısı ve yüzey alanıdır. Uzaydan uyduya gelen enerji sadece güneş enerjisidir. Bu enerjide 1418 W/m² (kış dönümü), 1326 W/m² (Yaz dönümü) ve 1371 W/m² (Ekinoks)'dir. Başlangıç sıcaklıkları analizin başında tahmin edilir. Modelde iletim ve ışıması ile ısı transferi modları mevcuttur. Model çıktısı ise tüm nodlar için sıcaklık değerleridir [16].

Tablo 1’de Therm XL modeli için girilen ve elde edilecek değerler verilmiştir.

Tablo 1 Isıl Modele giren ve çıkan değerler

ThermXL Modeli			
392 nod, 963 iletim ve 75 ışınlım ile ısı transferi modu			
Girdi	nodlar		i
	üretilen ısı		Q
	kütle		M
	özgül ısı		c
	ısı geçişi		$\frac{dT_i}{dt}$
	absorbsiyon katsayısı		α
	yayınım katsayısı		ε
	yüzey alanı		A
Çıktı	Güneş ışınlımı	Kış dönümü	q^s (1418 W/m2)
		Yaz dönümü	q^s (1326 W/m2)
		Ekinoks	q^s (1371 W/m2)
	nodlar için sıcaklık değerleri		T_i

Bir uydunun haberleşme ve servis modüllerinde üretilen ısı, gereken ve mevcut olan radyatör alanı Tablo 2 ve 3'de verilmiştir [16].

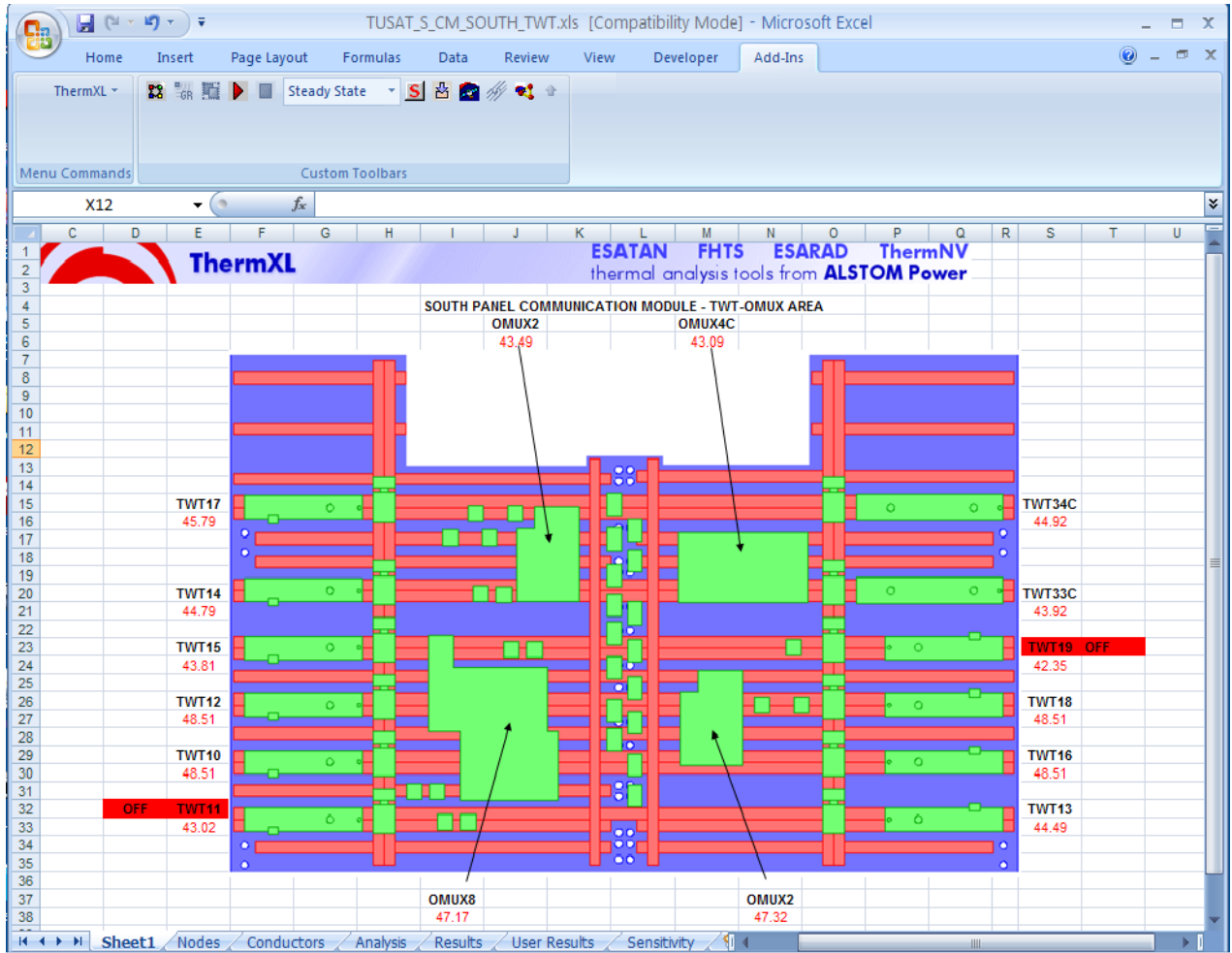
Tablo 2. Kuzey ve Güney Haberleşme Modülü radyatör alanları[16].

Panel	Elemanlar	Max Sıcaklık	Isı Üretimi	Gerekli OSR Alanı	Mevcut OSR Alanı
	W	$^{\circ}C$	W	m^2	m^2
CM Kuzey	EPC Ku alt	65	154.4	0.59	0.77
	TWT Ku ve OMUX	85	803.9	2.53	2.76
	Receiver, Beacon, Output Filter, TM	65	45	0.17	0.26
Toplam Panel			1003.3	3.29	3.79
CM Güney	EPC Ku alt	65	154.4	0.61	0.71
	TWT Ku ve OMUX	85	805.6	2.62	2.65
	TCR	65	82.7	0.33	0.35
Toplam Panel			1042.7	3.56	3.71
Toplam			2046	6.85	7.5

Tablo 3. Servis modülündeki radyatör alanları[16].

Panel	Elemanlar	Gerekli OSR Alanı	Mevcut OSR Alanı
		m^2	m^2
SM Kuzey	PCU	0.81	1.02
	Battery	0.11	
SM Güney	PFLDIU	0.81	1.01
	Battery	0.11	

Şekil 2'de bir haberleşme uydusunun ThermXL kullanılarak güney paneli için yapılan ısı analiz sonuçları görülmektedir [16].



Şekil 2. Haberleşme uydusunun ısı analiz sonuçları (Güney Panel) [16].

Tablo 4'te uydunun haberleşme modülünün bulunduğu kuzey ve güney panellerinin ThermXL kullanılarak yapılan ısı analiz sonuçları görülmektedir [16].

Tablo 4 Örnek bir uydunun haberleşme modülündeki elemanların min. ve max. sıcaklıkları [16].

Modül	Elemanlar	Kabul Sıcaklıkları		Hesaplanmış Sıcaklıklar		
		T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	
Kuzey	EPC	-15	65	-7.16	39.24	
	CAMP	-15	65	-6.87	39.2	
	CM	TWT	-15	85	11.83	46.4
	OMUX	10	80	13.54	45.0	
	TCR	-30	65	3.05	33.79	
Güney	EPC	-15	65	-7.01	37.83	
	CAMP	-15	65	-6.49	37.78	
	CM	TWT	-15	85	11.72	48.49
	OMUX	10	80	12.46	47.31	
	Rx	-30	65	-0.18	35.02	

SONUÇ

Isıl analizler sonucunda bir haberleşme uydusunun ısı gereksinimleri, normal işletme ve en kötü durum senaryolarına göre, uygun sınır şartları ile istenilen sıcaklık değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu analizler ön tasarım (PDR) için yeterlidir. Bundan sonraki süreçte radyatör alanlarının optimizasyonu, daha detaylı analizlerle tasarım iyileştirilmesi ve kütle azaltıcı yani ısı bütçenin iyileştirilmesine imkan tanıyan değişiklikler yapılır. Bu safhada kritik tasarım (CDR) aşamasıdır. Isıl analizler sonucu elde edilen sıcaklık değerleri, uydunun fiziksel ısı modeli vakum odasında denge testleri ile elde edilen sıcaklık sonuçları ile karşılaştırılır. Her iki durum için sonuçlar arasındaki sıcaklık farkı haberleşme ve servis modülü için 5°C ve altında ise ısı matematiksel modelin doğru yapıldığı anlaşılar. Bu model bir sonraki uydu ısı tasarımında güvenilir şekilde kullanılır. Fark 5° C'den fazla çıkarsa matematiksel model düzeltilerek yeniden analizler tekrarlanır. Bu şekilde ısı analiz sonlandırılır. Isıl kontrol ve analiz, uydu ekipmanlarının seçimi, uydu tasarımı, uydu ömrü ve uydunun güvenilir çalışması için önemli bir çalışmadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gilmore D.G, Editor, *Spacecraft Thermal Control Handbook Vol. 1;*, 2.Ed.,The Aerospace Corporation, CA, USA, 2002.
- [2] A.Okan, M.C. Çelenligil, O. Tekinalp, *Uyduların Isıl Kontrolü ve ısı Analizlerinde Kullanılan Yöntemler*, 1. Uluslararası Uzay sempozyumu, Ankara, Türkiye, S. 435-442, Mayıs 2001.
- [3] ECSS-E-30 Part 1A: *Space Engineering, Mechanical –Part 1: Thermal Control*, ESA Publications, 2000.
- [4] Karam D.R, *Satellite Thermal Control for System Engineers*, AIAA, Inc.,VA, 1998.
- [5] Brij N. Agrawal, *Design of Geosynchronous Spacecraft*, Prentice hall, Inc. NJ, 1986.
- [6] M. Bulut and N. Sözbir, Thermal Design of a Geostationary Orbit Communications Satellite, *Electronics World*, Pages:28-32, August 2016.
- [7] M. Bulut, Ö.R. Sözbir and N. Sözbir, *Prediction of the Payload Equipment Temperatures for a Geostationary Satellite*, International Conference on Energy and Thermal Engineering, pp. 122-124, 25-28 April 2017, İstanbul, Türkiye.
- [8] N. Sözbir, *Haberleşme Uydularında Isıl Kontrol*, Dijital İletişim Teknolojileri İhtisas Dergisi (Dijital Yaşam), Sayı 10, sayfa 20-2, Ekim 2015.
- [9] N. Sözbir , M. Bulut, M. Fatih Öktem ve A. Kahriman, *TUSAT haberleşme Uydusunun Isıl tasarımı, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, İstanbul, Ekim 2008.
- [10] M. Bulut and N. Sözbir, *Analytical Investigation of a Nanosatellite Panel Surface Temperatures for Different Altitudes and Panel Combinations*, Applied Thermal Engineering, 75, 1076-1083, 2015.
- [11] M. Bulut, A. Kahriman, E. Şanlı, E. Demircioğlu, A. M. Çetin, A. Ekinci and N.Sözbir, *Design For Spacecraft Thermal Control*, 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Cleveland, Ohio, 28 - 30 Jul 2008.
- [12] M. Bulut, S.Demirel, N.Sözbir and Ş. Gülgönül, *Battery Thermal Design Conception of Turkish Satellite*, 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Cleveland, Ohio, 28 -30July 2008.
- [13] M. Bulut, N.Sözbir and Ş. Gülgönül, *Thermal Control Design of TUSAT*, 6th International Energy Conversion Engineering Conference (IECEC), Cleveland, Ohio, 28 - 30 Jul 2008.
- [14] N.Sözbir, M. Bulut, M.F.Öktem, A.Kahriman and A. Chaix, “*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, September 24-26, 2008.
- [15] N.Sözbir, M. Bulut and A. Chaix ,*Thermal Analysis of Communication Panels for Turkish Satellite*, Spacecraft Thermal Control Workshop, The Aerospace Corporation, El Segundo, CA, March 10-12, 2009.
- [16] N. Sözbir, M. Bulut and A. Chaix, *Thermal Control of CM and SM Panels for Turkish Satellite*, SAE 39th International Conference on Environmental Systems, Savannah, Georgia, USA, July 12-16, 2009.
- [17] Bulut, M., Kahriman, A., ve Sözbir, N.,*Design and Analysis for Thermal Control System of Nanosatellite*, ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress and Exposition(IMECE2010), Vancouver, British Columbia, Canada , 12-18 Kasım 2010.
- [18] M. Bulut, N. Sözbir, Ş. Gülgönül, *Thermal Control System of Cube Satellite*, 6. Ankara International Aerospace Conference, METU, Ankara, 14-16 September 2011.
- [19] M. Bulut and N. Sözbir, *Thermal Launcher Analysis Tool for Three-Stabilized Spacecraft Type on the*

- geostationary Orbit*, Spacecraft Thermal Control Workshop, The Aerospace Corporation, El Segundo, CA, March 20-22, 2012.
- [20] M. Bulut, Ö.R. Sözbir and N. Sözbir, *Prediction of the Payload Equipment Temperatures for a Geostationary Satellite*, International Conference on Energy and Thermal Engineering, 25-28 April 2017, İstanbul, Türkiye.
- [21] E. Arslantaş, M.Bulut and N. Sözbir, *The Effect of Uncertainty Values of Thermal Control System on Geo Satellites*, RAST 2017, 19-22 Haziran 2017, İstanbul.
- [22] M. Bulut and N. Sözbir, *A Practical Launcher Thermal Analysis Tool for Three-axis Stabilized GEO Communication Satellites*, RAST 2017, 19-22 Haziran 2017, İstanbul.
- [23] M. Bulut and N. Sözbir, *Heat Rejection Capability for Geostationary Satellites*, 9. Ankara International Aerospace Conference, September 20-22, 2017, METU, Ankara..
- [24] M. Bulut, Ö.R. Sözbir and N. Sözbir, *Thermal Control of Turksat 3U Nanosatellite*, ISITES 2017, 5. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Architecture and Construction University Baku, Azerbaijan 29-30 SEPT 2017.