

HABERLEŞME UYDULARINDA BELİRSİZLİK DEĞERLERİNİN ISIL KONTROL SİSTEMİNE ETKİSİ

Erkam ARSLANTAŞ¹
Türksat A.Ş., Ankara

Murat BULUT²
Türksat A.Ş., Ankara
Rochester Institute of Technology,
Makina Müh. Bölümü, Rochester, NY,
Amerika
Sakarya Üniversitesi, Makina Muh.
Bölümü, Sakarya

Nedim SÖZBİR³
Türksat A.Ş., Ankara
Tübitak Uzay Enstitüsü,
Ankara
Sakarya Üniversitesi,
Makina Muh. Bölümü,
Sakarya

ÖZET

Isıl belirsizlik değerleri haberleşme uydularının ısı analizlerinde kullanılan parametrelerdir. Yer sabit yörünge üzerinde yer alan haberleşme uydularında uzay ortamında çevresel ısı yüklerinin etkisinin olduğu ve olmadığı yerlerde uydu üzerinde düşük ve yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu sebeple ısı kontrol analiz uydunun fırlatma ve uzay ortamında çevresel etkilerden korunması ile belirlenen ömrü boyunca ekipmanların öngörülen sıcaklıklarda sorunsuz olarak çalışması bakımından hayati önem arz etmektedir. Ekipmanların çalışma şartlarında istenilen ve uygun sıcaklık aralığında tutmak için ısı analizlerde kullanılan yüzey soğurulma katsayısı, yüzey yayınlama katsayısı, görüntü faktörü, vb. gibi parametrelerdeki belirsizlik bileşenlerin hazırlanmış numerik model ile sıcaklıklardaki değişimler gösterilecektir. Bu çalışmada elde edilen veriler sonucunda uydu tasarımında malzeme seçiminin ısı kontrol hesaplarında ne kadar etkili ve önemli olduğu vurgulanmaktadır.

SİMGELER

A	= Alan [m ²]
HP	= Isı Boruları
K	= Isıl iletim matrisi [W/K]
k	= iletim katsayısı [W/ m*K]
Mc	= Isıl kütle, [J/K]
MLI	= Çok Katmanlı İzolasyon Örtüsü
OSR	= Optik Güneş Yansıtıcıları
PDR	= Ön Tasarım Çalışması

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

² Kıdemli Uzman, Uydu Programları Direktörlüğü, E-posta: muratbulut@turksat.com.tr

³ Danışman, Uydu Programları Direktörlüğü, E-posta: nsozbir@turksat.com.tr

Q	= Isı, [W]
q	= Isı akısı, [W/ m ²]
T	= Sıcaklık, [K veya °C]
t	= Zaman, [s]
α	= Yüzey soğurulma katsayısı
ε	= Yüzey yayınlama katsayısı
σ	= Stefan _Boltzmann katsayısı

Alt simge

A	= albedo ile ilgili
d	= üretilen ısı
E	= dünya ışıınımı ile ilgili
S, s	= solar ışıınım
r	= ışıınım ile ilgili

GİRİŞ

Isıl kontrol sistemleri ilerleyen teknoloji ile her geçen gün daha fazla gelişim göstermektedir. Isıl kontrol sistemleri otomobil sektöründen sağlık, havacılık, bilişim teknolojilerine varıncaya kadar her alanda etkisini görmek mümkündür. Uydu teknolojilerinde de ısı kontrol sistemleri kullanılmaktadır.

Uydular haberleşme, gözlem, bilimsel olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Haberleşme uyduları; televizyon ve radyo yayınları, telefon görüşmeleri, faks mesajları, internet yayını vb görevleri yerine getirir. Gözlem uyduları; sivil gözlem amacıyla [çevre facaları, harita yapımı vs.) kullanılan uydulardır. Bilimsel uyduları; uzay koşullarını incelemek amacıyla (kara deliklerin yapısı, nötron yıldız ışıınlarını gözlemlemek vs.). Her bir uydunun misyonuna uygun olarak ısı kontrol sistemi farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada haberleşme uyduları için ısı kontrol sistemi başlığı altında belirsizlik değrelerinin etkisi açıklanmaya çalışılacaktır.

İlk uydu Sputnik-1 SSCB tarafından 4 Ekim 1957'de yörüngeye oturtuldu. Sputnik 1'in uzaya gönderilmesi soğuk savaş yıllarında gerçekleşti ve süper güçler arasında yeni bir rekabet olan Uzay Yarışı'nı başlattı. Sputnik'in fırlatılışından yaklaşık 4 ay sonra, Amerika Birleşik Devletleri ilk uydusu olan Explorer 1'i fırlattı. Fırlatılan ilk uyduların çoğu bilimsel amaçlıydı. Sputnik ve Explorer 1, ülkelerinin Uluslararası Jeofizik Yılı'na (International Geophysical Year) katkı amacıyla fırlatılmıştı. Sputnik-1 atmosferin üst tabakasının yoğunluğunun belirlenmesinde, Explorer-1 ise uçuş dataları sayesinde James Van Allen'in Van Allen Radyasyon Kemerinin keşfinde kullanıldılar.

Uzay teknolojileri konusunda çalışan kurumlar, şirketler ECSS ve MIL standartlarını referans alarak ısı kontrol sisteminde ısı analizler yapmaktadır. ECSS standartlarında belirsizlik parametreleri ve marjlar için yaklaşım metodları E-30 part 1A (ECSS, 2000) kısmında yer almaktadır. ECSS standartında sıcaklık tahmin hesaplarında belirsizlik ortam, konum, ekipman seçimi gibi faktörlere bağlı olup sonuç olarak fiziksel parametreleri etkilediği detaylı olarak ifade edilmektedir (ECSS, 2000). Diğer bir standart çalışmasında MIL-STD-1540B bölümünde yer almaktadır (MIL-STD,1982).

Uluslar arası standartlardan ECSS ve MIL-STD dışında yapılan bilimsel çalışmaların yer aldığı ve uydu teknolojilerinde ısı kontrol sistem konularında D.Gilmore tarafından yazılmış olan uzay araçlarında ısı kontrol kitabında belirsizlik parametreleri ile ilgili geniş bir açıklama bulunmaktadır [Gilmore, 2002].

ISIL KONTROL SİSTEM

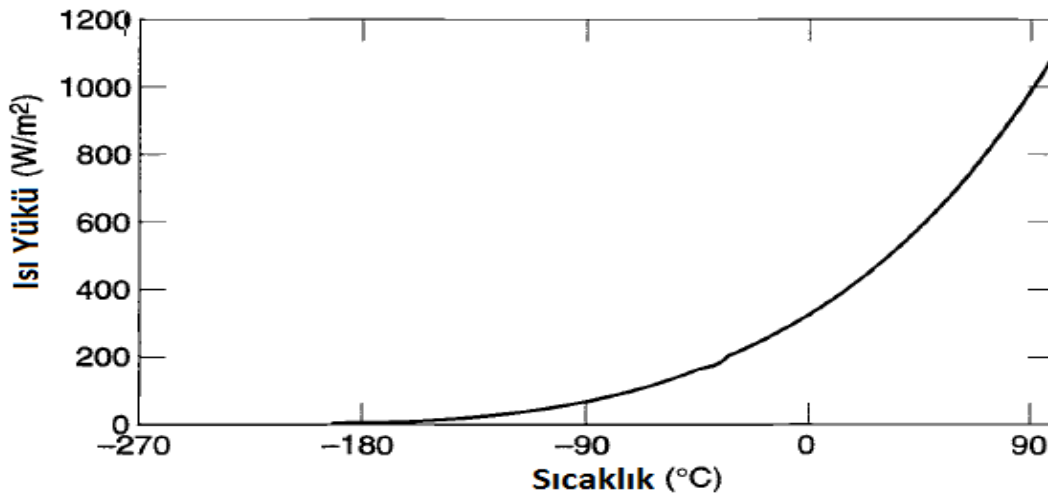
Uydularda ısı kontrol alt sistemi tasarım, analiz ve test aşamalarından oluşmaktadır. Uydularda ısı kontrol sisteminin temel amacı, uydunun üretim başlangıcından yörüngeye yerleşimi ve uydunun çalışma ömrünü tamamlayacağı süreye kadar tüm ekipmanlarının önceden hesaplanmış kabul edilebilir, sıcaklık limitleri içerisinde kalmasını sağlamaktır.

Uydu ömrü boyunca, pek çok farklı ısı etkiye maruz kalmaktadır. Bunlar güneşten gelen solar etki (uydu yüzeyinde 100 °C'yi aşan sıcaklıklarda), uzayın karanlık tarafında oluşan çok düşük sıcaklık etkisi (-269 °C ye varan sıcaklıklar) ve uydu içinde ve dışında yer alan ısı üreten ekipmanlardır.

Isıl kontrol hesaplamaları yapılırken ısı belirsizlik marjı en kötü durum senaryolarında bütün fazlardaki sıcaklık tahminlerinde hesaba katılarak yapılmaktadır. Görüntü faktörü, yüzey özellikleri, ısı ortam, bağlantı ve yüzey iletim, vb. ısı belirsizlerdendir.

Aynı şekilde pasif kontrolde belirsizlik parametreleri en kötü duruma göre ısı tahmin hesaplarında kullanılır. Aktif kontrolde de aynı şekilde güç marjı kontrolü ısı kontrolü sağlamakda hesaba katılır. Kötü durum fazı için sıcaklık tahminlerinde ele alınan bu parametreler kabul edilebilir çalışma sıcaklık aralıkları için temel oluşturur.

Ekipmanlarda üretilen ısı ile yüzeyler üzerinde sıcaklık değerleri arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Isı Yüğü ve Sıcaklık ilişkisi [Gilmore, 2002].

Şekil 1'de görüldüğü gibi uydularda uzaya bakan yüzeylerde yer alan optik güneş yansıtıcılarının sıcaklık değişimi ile uzaya atılacak ısı yükü arasındaki ilişki verilmiştir.

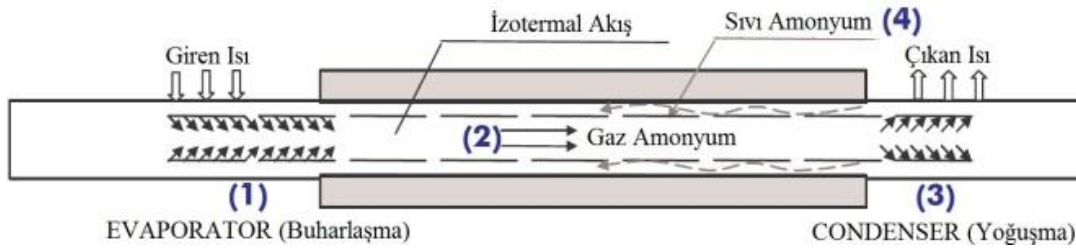
AKTİF VE PASİF ISIL KONTROL DONANIMI

Isıl kontrol sistem aktif yada pasif donanım ekipmanlarından oluşmaktadır. Pasif donanım ekipmanlarında hareket eden parçaları veya ısıtıcıları yoktur. Pasif donanımlar çok katmanlı izolasyon (MLI-Multi Layer Insulation), optik güneş reflektörü (OSR-Optical Solar Reflector), boyalar, ısı havuzları (Heat Sink), ısı boruları (HP-Heat Pipe), ısı yalıtım alanları olarak gruplandırılır. Isının kontrolü boyalar, yansıtıcı yüzeyler ve çok katlı yalıtım malzemeleri ile sağlanır. Aktif donanım ekipmanları ise ısıtıcılar, termokupl ve termistörlerdir. Pasif ve aktif donanım olarak kullanılan her bir ekipmana ait belirsizlik parametreleri bulunmaktadır. Bu ekipmanları üreten üretici firmalar tarafından her bir parametreye ait belirsizlik değerleri

tanımlanmıştır. Belirsizlik değerleri tanımlanmayan parametrelerin belirsizlik değerleri daha önce elde edilmiş tecrübeler ışığında standartlarda yer almaktadır.

Pasif Isıl Kontrol Donanımlar

Isı boruları (Heat Pipe-HP) Isıyı bir noktadan bir noktaya taşıyan içinde kimyasal madde barındıran vakumlu yapılar. Başlıca bileşenleri soğutucu akışkan, gözenekli kılcal fitil (wick) ve kapalı bir kap. Soğutucu akışkanın düşük basınçta tutularak buharlaşma ısısı düşürülmesi prensibiyle çalışırlar. Şekil 2’de belirtilen ısı borusunun termodinamik çevrimi gösterilmiştir. Isı borusunun buharlaştırıcı (evaporator) tarafından iletilen ısı kaptaki sıvı halde olan amonyum tarafından alınır. Sıvı amonyum gaz haline dönüşerek yoğunlaştırıcı (Condenser) tarafına hareket eder, burada ısısını vermesiyle yoğunlaşarak tekrar sıvı hale döner. Sıvı haldeki amonyum kılcal etki ile evaporator tarafına doğru hızla ilerleyerek çevrim devam eder.



Şekil 2 : Isı Borusunda Termodinamik Çevrim [Gilmore, 2002]

Çok katmanlı yalıtım örtüsü (Multilayer Insulation-MLI) radyoaktif ısı değişimini minimize etmek ve ısı dengesini sağlamak için kullanılır. MLI ekipmanların aşırı ısı kaybını ve uzay ortamında veya fırlatmada aşırı ısınmasını engellemek için kullanılmaktadır.

Isı yapıştırıcıları (thermal adhesives) ısı üreten (TWTA, OMUX, WG load vb) ekipmanlarda panele temas eden yüzeyinden ısıl iletkenliği sağlamak için kullanılır.

Isı havuzu (Heat Sink) Yüksek ısı yoğunluğuna sahip ekipmanlarda istenmeyen ısı yoğunluğunu belirlenmiş alanda toparlayıp oradan uzaklaştırmak amacıyla kullanılır.

Isıl yalıtım alanları (Thermal insulation spacer) uydularda ısı yalıtım sağlamak amacıyla pil paneli, anten temas yüzeyi, güneş sensor temas yüzey alanlarında ısı yalıtım kullanılır. Polymer malzemeden yapılırlar.

Optik güneş yansıtıcıları (Optical Solar Reflector-OSR) maximum derecede ısı uzaklaştırmak için kullanılırlar. Yüksek yayıcılık, düşük absorblama ve minimum termal bozunma özelliklerine sahiptir.

Aktif Isıl Kontrol Donanımlar

Aktif ısı kontrolün elemanı olan ısıtıcılar, pasif ısı kontrole ek olarak, ekipmanların uygun sıcaklık aralıklarında kalmasını sağlar. En yaygın olarak kullanılan tip, esnek film şeridi şeklindeki ısıtıcılardır. Şekil 3’de örnek ısıtıcılar görülmektedir.



Şekil 3 : Esnek Film Isıtıcılar [Omega]

Isıtıcılar başlıca, faydalı yük paneli, bus panel, pil, tepki tekeri, yakıt tankları, yakıt hatları, BTH (Bipropellant Thruster), AKE (Apogee Kick Engine), yıldız izleyiciler (STT -Star Tracker), güneş sensörü (FSSH -Sun Sensor)) ve antenlerde kullanılır.

Uydularda sıcaklık algılayıcılar termokupl ve termistörlerdir. Uydularda sıcaklık sensörü olarak termistor tercih edilirken, yer testlerinde termokupl kullanılmaktadır. Her ikisinde de avantaj ve dezavantajları bulunmakla birlikte; termokupl çok geniş aralıkta çalışabilirken (-200°C ile $+2300^{\circ}\text{C}$) termistor daha dar bir aralıkta çalışır (-60°C ile 150°C gibi). Termistorün ise ölçüm hassasiyeti termokupla göre daha yüksektir.



Şekil 4 : Tape Thermocouple [Deltamcorp]

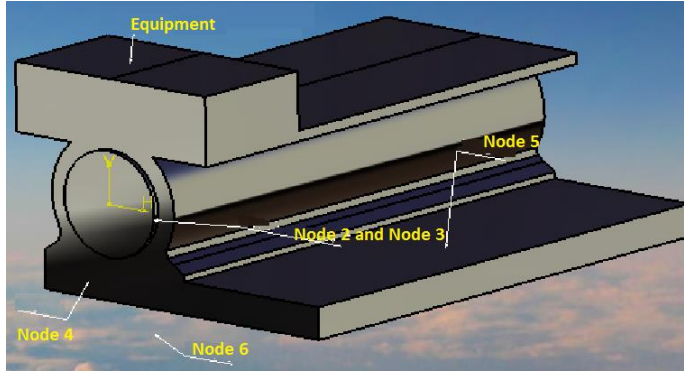
Thermistorler , yarı iletken bir maddenin sıcaklık ile elektriksel direncinin değişimi prensibi ile çalışırken termokupl sıcaklığa bağlı gerilim değişimi prensibine göre çalışır. Şekil 4'de termokuplın çalışma prensibi göstermektedir. Şekil 5' de örnek bir termistör görülmektedir.



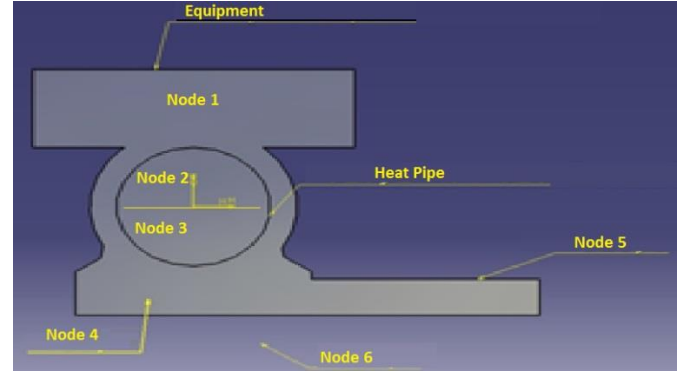
Şekil 5 : Tipik Bir Thermistör [TE]

ISIL MODEL

Isıl kontrol için oluşturulan model Şekil 6a ve 6b'de görülmektedir. Model 6 düğümünden oluşmaktadır. 1 nolu düğüm ısı üreten elektronik ekipmanı, 2 nolu düğüm ısı borusu buharlaşmanın olduğu yüzeyi, 3 nolu düğüm ısı borusu yoğunlaşmanın olduğu yüzeyi, 4 nolu düğüm ısı borusunun alt tarafı dış yüzeyi optik güneş yansıtıcılarının (OSR) kaplı ışınım paneli, sağındaki 5 nolu düğüm OSR kaplı diğer ışınım panel yüzeyini, 6 nolu düğüm uzay ortamını temsil etmektedir.



a. Isıl Model



b. Isıl Model Ön Görünüş

Şekil 6 : Isıl Model

Yüzey 6 da uzay ortamı sıcaklığı 4 K olarak alınmıştır.

ISIL ANALİZ

Uydunun sıcaklıkları enerji (ısı) dengesi denkleminin çözümünden elde edilir. Uydunun her elemanı için enerji denklemi yazılır. Uydu için enerji dengesi;

$$(A_S q_S + A_A q_A) \alpha + A_E q_E \varepsilon + Q_{\text{int}} = A_{\text{surface}} \sigma (T_r^4 - T_s^4) \varepsilon \quad (1)$$

Eşitlik (1) 'in sol tarafı uydu tarafından soğurulan ve elektronik cihazlar tarafından üretilen ısı yükünü, sağ taraf ise uydu tarafından atılan ısı yükünü göstermektedir. Eşitliğin sol tarafındaki ilk ve ikinci terim net soğurulan ısıyı, üçüncü terim çalışma ısı yükünü (uydu elemanlarının ürettiği ısı) göstermektedir. A_S , A_A ve A_E doğrudan gelen güneş, dünyadan yansarak gelen (albedo) ve doğrudan dünyadan yayılan kızılötesi ışıınımı ile ilgili yüzey alanlarıdır.

Haberleşme uyduları yaklaşık olarak 36000 km uzaklıkta olduğu için hesaplamalarda sadece güneşten gelen ısı yükü alınmış, Earth Albedo ve Earth IR değeri 0 olarak kabul edilmiştir. Görüntü faktörü hesaplamalarda 1 olarak alınmıştır. Stefan boltzman sabiti (σ) = $5,67E-08 \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ alınmıştır.

ISIL PARAMETRELER

Isıl parametreleri çevresel ve fiziksel olarak ayıracak olursak çevresel parametre solar ışıınım, fiziksel parametre yüzey soğurulma katsayısı, yüzey yayınlama katsayısı, ışıınım yüzeyi, ısı iletim ve yayılan ısı olarak ifade edilir [ECSS, 2000].

ECSS standartlarına göre uydu ısı analizlerinde kullanılan ısı parametre tolerans değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Yüzey soğurulma katsayısı ısıının emilimi ile ilişkili olup $\pm \% 0,03$, yüzey yayınlama katsayısı yüzeye gelen ısıının yayılımı ile ilişkili aynı şekilde $\pm \% 0,03$, güneş ışıınım uydunun pozisyon boylam bilgilerine bağlı olarak güneşten gelen ısı etki $\pm 21 \text{ W/m}^2$, ışıınım yüzeyi Şekil 2'de görüldüğü gibi ısıının uzay ortamına atılacağı yüzey alanı ki uydularda optik güneş reflektör ile kaplanmış yüzey alanı olup $\pm \% 0,05 \text{ m}^2$, yayılan ısı elektronik ekipman tarafından üretilen ısı miktarının $\pm \% 5 \text{ Watt}$ tolerans değeri alınmaktadır.

Çizelge 1. ECSS Isıl Parametre Tolerans Değeri [ECSS, 2000]

Parametreler	ECSS Standart
Yüzey Soğurulma Katsayısı	$\pm 0.03\%$
Yüzey Yayınlama Katsayısı	$\pm 0.03\%$
Solar Işınım	$\pm 21 \text{ W/m}^2$
Işınım Yüzeyi	$\pm 0.05\% \text{ m}^2$
Isı İletim	$\pm 10\% \text{ W/K}$
Yayılan Isı(> 10 W)	$\pm 5\% \text{ W}$

Çizelge 2'de ısı parametreleri için hesaplamalarda kullanılacak değerler görülmektedir. ECSS standart marj değerlerine göre her bir parametrede nominal, minimum ve maximum olması gereken değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 2. Isıl Parametre Hesap Değerleri

Parametreler	Minimum	Nominal	Maksimum
Yüzey soğurulma katsayısı	0,3589	0,37	0,3811
Yüzey Yayınlama Katsayısı	0,7566	0,78	0,8034
Güneş Işınımı(W)	1397	1418	1439
Işınım Yüzeyi	0,0475	0,05	0,0525
Isı İletim (W/K)	18	20	22
	27	30	33
	36	40	44
	135	150	165
Isı Üreten Ekipman(W)	28,5	30	31,5

Güneşten gelen ısı etki ekinoks, yaz gündönümü, kış gündönümü ve tutulma olarak açıklanır. Çizelge 3'de güneş ışınım değerleri görülmektedir. Tutulma anında uyduya güneşten gelen ısı etkisi 0 alınmaktadır.

Çizelge 3. Güneş Işınım Değeri

Ekinoks	1371 W/m ²
Yaz Gündönümü	1326 W/m ²
Kış Gündönümü	1418 W/m ²
Tutulma	0

ISIL ANALİZ SONUÇLARI

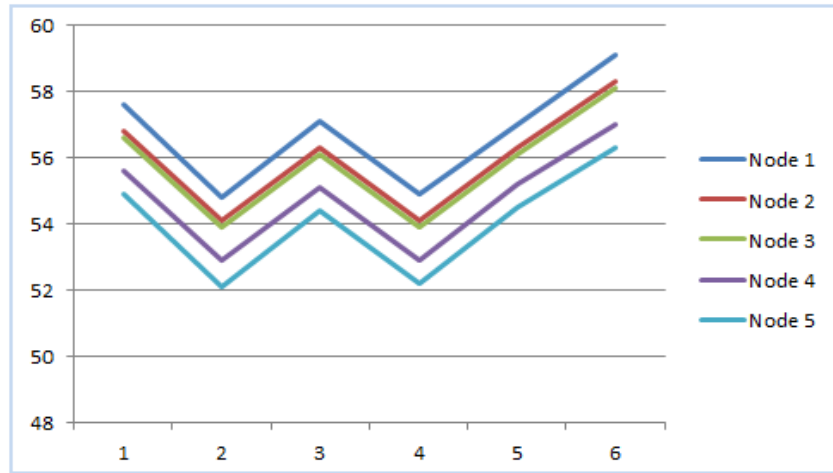
Sıcaklıklardaki değişimi gözlemlemek için ECSS standart marj değerlerine göre her bir parametrede nominal, minimum ve maximum olması gereken değerler hesaplanır.

Sıcaklıklardaki değişimi gözlemlemek amacıyla ısı faktörlerinin maksimum değerleri için sıcaklık değişimleri Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Maksimum toleransta ısı model yüzey sıcaklıkları

Parametreler	Yüzey 1	Yüzey 2	Yüzey 3	Yüzey 4	Yüzey 5
Yüzey soğurulma katsayısı(Max)	57,6	56,8	56,6	55,6	54,9
Yüzey Yayınlama Katsayısı(Max)	54,8	54,1	53,9	52,9	52,1
Güneş Işınımı(Max)	57,1	56,3	56,1	55,1	54,4
Işınım Yüzeyi(Max)	54,9	54,1	53,9	52,9	52,2
Isı İletim(Max)	57	56,3	56,1	55,2	54,5
Yayılan Isı(Max)	59,1	58,3	58,1	57	56,3

Şekil 7’de görüleceği gibi yüzey 1 ısı üreten ekipmanın yerleşim noktası olarak sıcaklığın yüksek olduğu nokta olup yüzey 5’e doğru içerden dışarı yani uzay boşluğuna doğru ısı transferinin gerçekleştiği görülmektedir.



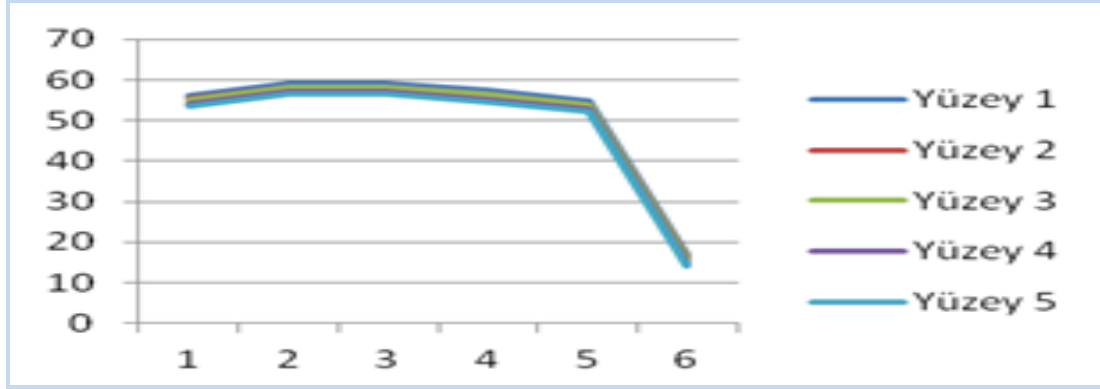
Şekil 7. Maksimum ısı parametrelerinin yüzey sıcaklığına etkisi

Daha sonra ısı hesaplama minimum belirsizlik değerleri için sıcaklık hesabına geçilir.

Çizelge 5. Minumum toleransta ısı model yüzey sıcaklıkları

Parametreler	Yüzey 1	Yüzey 2	Yüzey 3	Yüzey 4	Yüzey 5
Yüzey soğurulma katsayısı(Min)	56,2	55,5	55,3	54,3	53,5
Yüzey Yayınlama Katsayısı(Min)	59,1	58,3	58,1	57,1	56,4
Işınım Yüzeyi(Min)	59,1	58,3	58,1	57,1	56,4
Isı İletim(Min)	57,5	56,6	56,4	55,3	54,5
Yayılan Isı(Min)	54,7	54	53,8	52,8	52,1
Güneş Işınımı(Min)	16,8	16	15,8	14,8	14,1

Çizelge 5’de görüldüğü gibi yüzey soğurulma katsayısı 0,3589, yüzey yayınlama katsayısı 0,7566, güneş ışınlam değeri 0, ışınlam yüzeyi 0,0475, ısı iletimi her bir noktadan sırasıyla 18-27-36-135 W, yayılan ısı 28,5 değeri alınarak bulunan sıcaklık değeri ve grafiği Çizelge 5 ve Şekil 8’de görülmektedir. Bu defa ısı üretim noktasında yer alan yüzey 1 de sıcaklık artışı Şekil 7’den farklı olarak artış yönünde başladığı görülmektedir.



Şekil 8. Minumum ısı parametre değeri yüzey sıcaklığına etkisi

SONUÇ

Isıl analizlerin amacı radyatör alanlarının boyutlandırılması, ön tasarım aşamasında (PDR-Preliminary Design Review) seviyesinde ısı bütçesinin hazırlanmasıdır. Ekipman sıcaklığını ekipman açık ve kapalı durumlarında belirlenen sıcaklık aralığında tutabilmek için ısı bütçesinin oluşturulması önemlidir.

Isıl hesaplarında uydu ekipmanlarının en sıcak ve en soğuk şartlarda çalışabileceği varsayımına göre analizler yapılmaktadır. Güneş ışınlam değeri 0 kabul edilerek soğuk durumda ortaya çıkan ısı değeri uyduda ekipmanlarda ısıtıcı gereksinimi olup olmadığı ile gereksinim duyulan yerlerde hangi kapasitede ısıtıcının nerede nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesinde önemlidir.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar ışığında belirsizlik faktörlerinin oluşturulan ısı model üzerinde yüzey sıcaklıklarına etkisi incelenmiştir. Bu çerçevede yüzey soğurulma katsayısı artarken yüzey üzerinde sıcaklık artışı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Yüzey yayınlama katsayısı ise tersi olarak yüzey üzerinde sıcaklık değeri azalma yönünde eğilim göstermektedir. Güneş yayılım katsayısı aynı şekilde doğru orantılı olarak yüzey sıcaklığını etkilemektedir. Işınlam yüzey alanı büyüklüğünün yüzey sıcaklık değeri ile ters orantılı şekilde değiştiği görülürken, ısı iletim matrisinde aynı şekilde yüzey sıcaklıklarında düşme yönünde etkisi olmaktadır. Ekipman yayılan ısı miktarındaki artış yine yüzey sıcaklık değerlerini artırdığı görülmüştür.

Kaynaklar

Bulut, M., Sözbir, N., ve Kahraman, A., 2010., Nano Uyduların Isıl Tasarımı, III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Eskişehir, 16-18 Eylül 2010.

ECSS-E-30 Part 1A: Space Engineering, Mechanical –Part 1: Thermal Control, ESA Publications, 2000.

Gilmore D.G, Editor, Spacecraft Thermal Control Handbook Vol. 1:, 2.Ed.,The Aerospace Corporation, CA, USA, 2002.