8. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI 09-11 Eylül 2020, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Ankara

FARKLI GEOMETRİLERDEKİ HABERLEŞME UYDULARININ ISI ATIM KAPASİTELERİNİN HESAPLANMASI ve KARŞILAŞTIRILMASI

S.Kaancan ATAER¹, Oğan Can KAYAOĞLU² ve Selin ARABACI³ TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş, ANKARA

ÖZET

Isil kontrol sistemi (IKS) uydu ekipmanlarını ve yapısal bileşenlerinin yörünge boyunca hedeflenen sıcaklık limitleri içerisinde kalmasını sağlayan alt sistemdir. Uydu yörünge boyunca görevini yerine getirirken ortam kaynaklı (güneş, albedo, dünya) ve ekipman ısı yayınımlarından kaynaklı ısı yüklerine maruz kalmaktadır. IKS'nin bu koşulları önceden belirleyerek ekipmanların sıcaklıklarını gereken sınırlar içinde kontrol altında tutması gerekmektedir. IKS donanımları bu görev için devreye girmektedirler. IKS donanımları kontrol edilebilirliğine göre pasif ve ya aktif olmak üzere iki grupta incelenebilir. Haberleşme uyduları için radyatör olarak kullanılan pasif IKS donanımlarından Optik Güneş Yansıtıcıları (OGY) ışıma ile ısı transferi yöntemini kullanarak uydu donanımlarının istenilen sıcaklıkta tutulmasına yardımcı olmaktadır.

Isıl tasarım çalışmalarının ilk aşaması olarak uydu panellerinin %90'nının OGY olarak düşünüldüğü Isı Atım Kapasitesi (IAK) hesabı sayesinde, uydu konsept tasarım ve ekipman yerleşim çalışmalarına girdiler verilmektedir. İletişim uyduları için IAK hesapları yapılırken genellikle yaz gündönümü, kış gün dönümü ve ekinoks senaryoları dikkate alınmaktadır. Yapısal Tasarım ve Yerleşim ekibinden gelen ilk uydu tasarımının ısıl açıdan yeterliliğine, tüm yapısal paneller OGY olarak kabullenilerek ve uyduya gelen tüm ısı girdileri göz önünde bulundurularak, IAK hesabıyla karar verilmektedir.

Bu çalışmada farklı dış panel geometrilerine sahip haberleşme uydularının ısı atım kapasitelerinin hesaplanma prosedürü ve bu hesabı etkileyen parametreler irdelenmektedir. Ayrıca parametrelerin hesaba etkisinin değerlendirilmesi ve hesaplanma yöntemleri anlatılmıştır.

GİRİŞ

Uydu Isıl kontrol alt sistemi gerekli ısıl kontrol (IKS) donanımlarını kullanarak uydu içerisindeki ekipmanların uzay ortamında olumsuz çevresel koşullarından etkilenmesini en düşük seviyeye indirilerek görevlerini yerine getirmelerini sağlar. [Gilmore, 2002]

Uydu yapıları, farklı çalışma koşulları ve tanımlı görevlerine göre çeşitli ısıl tasarımlara gerek duyabilirler. İhtiyaç duyulan ısıl tasarım sürecinde ilk aşama olarak oluşturulan uydu ana geometrileri ile panellerin ısı atım kapasiteleri (IAK) hesaplanmaktadır. Etkisinin yüksek olması beklenen veya gerek görülmesi durumunda uydu dışında bulunan braketli ekipmanlara ait özel radyatörler de (yıldız algılayıcı ve güneş algılayıcı ekipmanları gibi) modellenerek IAK üzerine etkisi incelenebilir.

IAK hesabı özellikle kavramsal tasarım aşamasında panel boyutlandırması ve görev yükü yerleşimi için gerekli bilgilerin elde edilmesini hedefler. Bu aşamadaki hesaplar yapılırken panel alanlarının tamamının radyatör olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Detay modelleme aşamalarında tüm ekipmanlar ve yapısal bileşenler modellenerek hesaplanan ısı atım kapasitesinin ne kadarının kullanılabileceği ve Çok Katmanlı Yalıtım Battaniyesi (ÇKYB) ve radyatör alanları detaylandırılır.

¹ Tasarım Mühendisi, E-posta: suleymankaancan.ataer@tai.com.tr

² Tasarım Mühendisi, E-posta: ogancan.kayaoglu@tai.com.tr

³ Şef, Isıl Kontrol Sistemleri, E-posta: sarabaci@tai.com.tr

ATAER, KAYAOĞLU ve ARABACI

Özellikle haberleşme uydularının ısıl analizleri yapılırken iki temel tasarım senaryosu göz önünde bulundurulmaktadır. Bu senaryolar, en sıcak durum senaryosu (seçili uydu panelinin maksimum dış akıya ve ekipman yayınımına maruz kaldığı durum) ve en soğuk durum senaryosudur (uydu üzerine düşen ısı akısının ve operasyonel ekipman sayısının en az olduğu durum). [Ataer, 2016]

Uydu sistem ve alt sistem geliştirme aşamalarında yürütülen ısıl kontrol tasarım sürecine ait sorumluluklar; görev gereksinimlerini sağlayan bir ısıl kontrol alt sistemi tasarımının yapılması, uydunun ısıl matematiksel modelinin hazırlanması ve tasarım senaryolarına göre gerekli analizlerin gerçekleştirilerek sistem gereksinimlerinin karşılandığının raporlanmasını içermektedir.

Isil tasarımın görev tanımlama gibi erken taslak tasarım aşamalarında, özellikle de ilk defa tasarlanan uydular için ekipman arayüz verilerinin gerekli olgunluğa ulaşamamasından dolayı detay uydu ısıl modelinin oluşturulması henüz mümkün olmamaktadır. Bu başlangıç aşamalarında, uydudaki ekipmanlar için gerekli radyatör alanı öngörülerinin yapılabilmesi IAK hesapları ile mümkündür. IAK hesabı ile uydu alt sistem ve ekipmanlarının uydu içerisindeki yerleşimine bağlı olarak uydu panellerinde oluşan panel seviyesi ısı yayınımları, uydunun uzaya bakan panelleri için ısı atma kapasiteleri ve buna bağlı ihtiyaç duyulan radyatör alanı ve ısıtıcı gücü hesaplanabilmektedir.





Şekil 1 ve Şekil 2'de hesaplamalarda kullanılan iki farklı modelin görev yükü panelleri gösterilmektedir. Bu panellerin de yer aldığı modeller hazırlanırken uydu bilgisayar destekli tasarım (BDT) modellerindeki panel boyutları ve [ESA, 2015] standardı dikkate alınmıştır. Güneş panellerinin ve anten yansıtıcılarının panel görüş faktörlerine etkisi olduğundan dolayı bu donanımlar da modellenmişlerdir.





Farklı yer sabit yörünge uydusu tasarımlarında uydunun panel boyutunun değişmesine karşın uydu dışı ekipmanların ve bileşenlerin (TWTA radyatörü, yıldız izler, güneş algılayıcı vb.) geometrileri sabit kalmaktadır. Bu sebeple, uydu boyutlarındaki değişimin modellenmesi ihmal edilen geometrilerin de etkilerinin incelenmesini gerektirebilir. Isı atım kapasitesi hesaplama yöntemi dış ekipmanların panel etkileri de dikkate alınarak detaylandırılabilir.

Bu çalışmada, Kompakt Yer Sabit Yörünge uydusu konseptinde (alışılmış iletişim uydularından daha yüksek ekipman yoğunluğuna ve ısı akısına sahip) taslak tasarımı yapılmış iki farklı geometriye sahip uyduların panellerinin ısı atım kabiliyetlerinin hesaplanması ve bu hesaplardan yola çıkarak yapısal tasarım ve yerleşime verilen geri bildirimler anlatılmaktadır. Tasarlanması planlanan uydunun yaklaşık 700 kg ağırlığında ve 3 kW görev yüküne sahip olması hedeflenmektedir. Uydunun geometrisinde belirleyici olan temel kriterler ise fırlatıcı zarfları ve ekipman geometrileri olmuştur. Uydu panellerinin oldukça küçük boyutları göz önünde bulundurulduğunda TWTA ekipmanlarına ait kanatçıkların uydu panelinin ısı atım kapasitesine olan etkisinin göz ardı edilemeyeceği ve bu etkinin de dikkate değer olabileceği vurgulanmıştır.

YÖNTEM

Calışma kapsamında yer durağan yörüngede görev yapması planlanan iki farklı dış geometriye sahip oldukça küçük boyutlu uydunun panellerinin ısı atım kapasiteleri hesaplanmıştır. Uyduların oldukca kücük olmasından dolayı sınırlı radyatör alanlarına sahiptirler. Bu durum uydu içerisine yerleştirilebilecek ekipman sayısını sınırlamaktadır. Uydu alt sistem ekipmanları incelendiğinde, uydunun görev yükü alt sistemi haricinde hayati önemi olan uydunun içermek zorunda olduğu bileşenler mevcuttur. Bu bileşenler uydu içerisinde ve uydu dışarısında yer alabilirler ve ısıl kontrol açısından ciddi mühendislik gerektiren bileşenlerdir. Örnek olarak güneş algılayıcılar [Ataer, 2019], yıldız algılayıcılar, pil, güç düzenleme birimi, yakıt tankları gösterilebilir. Bu hayati olarak nitelendirilen alt sistem bileşenleri görev yükü ekipmanlarının doğru ve taahhüt edilen görev süresi boyunca çalışabilmesini sağlarlar. İletişim uydularında temel olarak yer alan alt sistemler; yapısal alt sistem, ısıl alt sistem, güç alt sistemi, itki alt sistemi, yörünge yönelim ve kontrol alt sistemi, görev yükü (haberleşme uyduları için haberleşme alt sistemi olarak da belirtilir) alt sistemi olarak incelenebilir. Güç sistemi uydu ekipmanları için gerekli gücü güneş panelleri ve pili kullanarak temin eder. İtki alt sistemi uydunun görev yapacağı yörüngeye ulaşmasını ve bu yörüngede gerekli manevraları yapmasını sağlarlar. Yörünge yönelim ve kontrol alt sistemi bileşenleri mevcut yörüngedeki konum bilgisini ve yöneliminin belirlenmesi ile görevlidirler.

Yapısal alt sistem, uydu ekipmanlarının fırlatma esnasında ve yörüngede maruz kalacakları mekanik yüklere karşı korunmasını ve dış ortam şartlarından muhafaza edilerek bir arada tutulmasını sağlar. Isıl kontrol alt sistemi ise uydu görev süresi boyunca ekipmanların görevlerini yerine getirmesi için belirlenen sıcaklık limitleri içerisinde tutulmasını sağlar. Haberleşme sisteminin temel hedefi yer istasyonundan gelen sinyalleri güçlendirerek istenilen bölgeye yayın yapılmasını sağlamaktır. Daha detaylı olarak inceleyecek olursak, haberleşme sistemi ekipmanları uyduya gelen uplink olarak adlandırılan sinyaller alınıp almaçlarla güçlendirilir ve dünyaya iletilecek downlink sinyallerine dönüştürülür. Sinyaller diğer ekipmanlarla ayrıştırılarak istenilen bantlarla sınırlandırıldıktan sonra downlink sinyalleri TWTA'ler yardımı ile güçlendirilir ve diğer alt sistem ekipmanları ile yönlendirilip filtrelendirilerek anten yardımı ile dünyaya iletilir. Bu sistemdeki TWTA bileşeni elektron ışını radyo frekansı sinyallerini güçlendirir ve bu elektronların yüksek hızla kolektöre çarpması sonucunda yüksek miktarda ısı açığa çıkar. TWTA'lerin biriken ısıyı uzay ortamına atmak için panel ve ısı borularının yanı sıra kendilerine ait kanatçıkları bulundurmaları gerekmektedir.

İletişim uydularının ısıl tasarımları gerçekleştirilirken ısıl olarak sabit yüklere sahip panellere maksimum ısı yayınımı olan ekipmanlar yerleştirilir. -Y ve +Y panelleri sırası ile kuzey ve güney görev yükü panelleri olarak seçilmiş ve TWTA'ler bu panellere yerleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan uydunun küçüklüğünden dolayı görev yükü olarak seçilen en geniş panellere başka alt sistem ekipmanları konulması gerekebilir. Paneller için bulunan ısı atım kapasiteleri hesaplarının tamamının kullanılamayacağı göz önünde bulundurulmuştur. Radyatör verimliliği olarak adlandırılan kavram bazı panel üreticileri tarafından %93-95 aralığında olduğu bilinse de başlangıç aşaması için bu çalışmada %100 olarak kabul edilmiştir.

Radyatör panellerindeki iletim ve ışınım ısı transferinin beraber kullanımının dolayı radyatörün sıcaklığı iç panel sıcaklığından (ekipmanın bulunduğu) ve ısı borusu sıcaklıklarından düşüktür. Panel verimliliği, ısı boruları kullanılarak panele yayılabilen ısının, radyatör yardımı ile uzay ortamına transfer edilen ısıya oranı olarak tanımlanmıştır. Bu oran, radyatör panellerindeki ısı boruları yerleşimlerini ve panel tasarımını belirlemektedir. Radyatör verimliliği, dış kaplama ısıl-optik özelliği, ısı boruları arası boşluk, ısı borusu yoğuşturucu sıcaklığı ve panel kalınlığı özelliklerinden hesaplanan λ değeri ile bulunan deneysel bir değerdir. (Şekil 3) Bu boyutsuz λ parametresi Denklem 1 ile bulunmaktadır:

$$\lambda^2 = \frac{\sigma \cdot \varepsilon \cdot L^2 \cdot T_{ref}^3}{K \cdot t}$$

(1)

- *λ* : Boyutsuz Parametre
- σ : Stefan-Boltzmann Sabiti = 5.670 × 10⁻⁸ W/m²K⁴
- ε : Radyatör yayınım değeri ()
- *L* : İki ısı borusu uzaklığın yarısı (m)
- T_{ref} : Isı borusunun sıcaklığı (K)
- *K* : Panelin yatay yönde ısı iletimi (W/Km)
- t : Panel kalınlığı (m)





Hesaplamalar 42° doğu boylamı yer durağan yörünge için, uydu yapısal panelleri geometrik CATIA modelinden indirgenerek THERMICA v.4.8.2 ortamında matematiksel model oluşturulmuştur. THERMICA v.4.8.2 yazılımında panellere ısıl optik özellik atanmamış olup yayınım ve emilim değerleri 1 alınmıştır. Daha sonra THERMICA tarafından hesaplanan ısı akıları radyatör yayınım değeri (ε_{rad}) 0.8, radyatör emilim değeri (α_{rad}) 0.24, alınarak Denklem 2 ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Denklem 2 Stefan-Boltzmann yasası [Modest, 1993] ile enerji denkleminin beraber çözümünde elde edilmektedir. Isıl-optik özellikler üreticiler tarafından sağlanmış danışmanlıklar ve literatür değerleri ile doğrulanmıştır. THERMICA v.4.8.2 yazılımı geometrik olarak modellenen paneller ile uzay arasındaki görünüm faktörleri (F) ve dış ısı akıları hesaplamaktadır.

$$IAK = \left(\sigma\varepsilon F\left(T_{rad}^{4} - T_{U}^{4}\right) - \frac{\left(\alpha(q_{G} + q_{A}) + \varepsilon(q_{IR})\right)}{\text{Diş Isilar}}\right) \cdot \lambda \cdot f_{A}$$
(2)

- IAK : Isı Atım Kapasitesi (W/m²)
- σ : Stefan-Boltzmann Sabiti = 5.670 × 10⁻⁸ $W/m^2 K^4$
- ε : Radyatör yayınım değeri ()
- F : Görünüm Faktörü ()

T_U : Uzay sıcaklığı (K) [4 K olduğundan ihmal edilebilir.]

- α : Radyatör emilim değeri ()
- q_G : Güneşten uyduya direkt gelen ısı akısı (W/m²)
- q_A : Güneşten dünyaya gelen ışınların yansıyla uyduya gelen ısı (W/m²)
- q_{IR} : Güneşten dünyaya gelen ışınların soğrularak tekrar uzay ortamına yayılması ile uyduya gelen ısı akısı (W/m²)
- f_A : Radyatör olarak kullanılacak alanın toplam panel alanına oranı ()

Hesaplara oldukça küçük uydu boyutları dikkate alınarak dahil edilen TWTA kanatçıkları Şekil 4'te gösterilmektedir. B modeli TWTA kanatçıkları modellenerek tekrar çözülmüş ve kanatçıkların hesaplamalara etkisi irdelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda her bir TWTA kanatçığının etkisi ortalama alınarak IAK hesaplarına pratiklik açısından dahil edilmesi tavsiye edilmektedir.



Şekil 4: TWTA kanatçıklarının gösterimi

UYGULAMALAR ve DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında, oldukça küçük haberleşme uydusu konseptinde 2 farklı uydu geometrisi incelenerek tasarlanan uyduların panellerinin ısı atım kapasiteleri hesaplanmıştır. THERMICA v.4.8.2 yazılımı kullanılarak model düğümlerine gelen güneş akısı ve düğümlerin birbirleri ile arasında ışınım değişim değerleri hesaplanmıştır. [THERMICA 2012] Diğer gezegenlerden ve dünyadan yansıyarak gelen güneş akıları yer sabit yörünge (≈35,786 km) için güneş akısıyla karşılaştırdıklarında çok düşük kaldıklarından ihmal edilmektedir. THERMICA'dan alınan görünüm faktörü, direkt güneş akısı ve kızıl ötesi yayınım değerleri ile Denklem 2 kullanılarak her bir yörünge ve panel için IAK'leri MS EXCEL yardımıyla hesaplanmıştır. Yöntem bölümünde belirtildiği gibi panel verimi %100 ve paneldeki radyatör olarak kullanılabilecek alan oranı da %90 olarak kabul edilmiştir. Panelin tamamının radyatör olarak alınamamasının temel sebebi Şekil 5'da görülen OGY'ler arası boşluklardır. Son olarak aynı hesaplamalar TWTA kanatçıklarının modellendiği B modeli için de tekrarlanarak kanatçığın panel ısı atımı kapasitesine etkisi incelenmiştir.



Şekil 5: OGY a) Montaj Öncesi ve b) Montaj Sonrası

Isı yayınımı açısından kritik yani daha yüksek değerlere sahip olan ekipmanlar, ısıl kararlılık göz önünde bulundurularak, -Y ve +Y panellerine sırası ile kuzey ve güney görev yükü panellerine yerleştirileceği için bu paneller yerleşimi belirlemişlerdir. Çalışma kapsamında 12 ayrı IAK hesabı yapılmıştır. Bu hesaplardan 4 adedi TWTA kanatçık etkisinin gözlemlenmesi için yapılmıştır. Kış gün dönümü +Y güney görev yükü için maksimum ısı akılarının gözlemlendiği, yaz gün dönümü –Y kuzey görev yükü için maksimum ısı akılarının gözlemlendiği durumu ekinoks ise doğu ve batı panellerine maksimum ısı akısının

etki ettiği yörüngedir. Çizelge 1'de belirtilen yörüngeler yer durağan uydular için tasarım senaryoları olup benzer çalışmalarda da kullanılmıştır. [Ataer 19] Uydunun küçük ve ekipman yoğunluğunun yüksek olması, başka bir deyişle kompleks bir yapıya sahip olması doğu ve batı panellerinin de ekipman yerleşiminde kullanılması gerekli kılınmıştır.

Durum No:	GMM:	lsı-Optik Özellikler ve Yörünge:	Açıklama:	
1		EOL- Kış Gün Dönümü	Güney Görev Yükü paneli için en yüksek ısı akısı	
2	A Madali	EOL- Yaz Gün Dönümü	Kuzey Görev Yükü paneli için en yüksek ısı akısı	
3	A Modeli	EOL-Ekinoks	Doğu/Batı paneli için en yüksek ısı akısı	
4		BOL-Ekinoks	Isı Gücü Hesabı	
5	D Madali	EOL- Kış Gün Dönümü	Güney Görev Yükü paneli için en yüksek ısı akısı	
6		EOL- Yaz Gün Dönümü	Kuzey Görev Yükü paneli için en yüksek ısı akısı	
7	Biviodeli	EOL-Ekinoks	Doğu/Batı paneli için en yüksek ısı akısı	
8		BOL-Ekinoks	Isı Gücü Hesabı	
9		EOL- Kış Gün Dönümü		
10	B Modeli (TWTA	EOL- Yaz Gün Dönümü	5,6,7 ve 8. Satırdaki açıklamalara ilave olarak TWTA	
11		EOL-Ekinoks	kanatçık etkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir.	
12	Kanatçıklı)	BOL-Ekinoks		

Cizelge	1: Hesaplamaların	Gerceklestirildiği	Yörüngeler	ve Modeller
3120180	1. Incoapiannaianni	oei şenneşen nanBi	rorungerer	re modeller

Şekil 7'de A modelinin panellerinin ısı atım değerlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Beklenildiği gibi Kuzey Görev Yükü (KGY) ve Kuzey Servis Paneli (KSP) ısı atım kapasiteleri yaz mevsiminde daha yüksek güneş akısına maruz kaldığı için diğer mevsimlere göre düşüktür. Güney Görev Yükü (GGY) ve Güney Servis Paneli (GSP) için ise kış gün dönümü yörüngesindeki hesaplar ekipman yerleşimi için belirleyici olmuştur. Ekinoks yörüngesi hesaplarında direkt güneş akısı ortalama olarak hesaplandığından güneş tutulması yörüngeye ortalama olarak dahil edilmektedir. Bu durumda en yüksek ısı atım değerleri ekinoks yörüngesinde elde edilmiştir. Doğu, Batı, Doğu-Dünya ve Batı Dünya panelleri için 3 yörüngenin de ısı atım değerleri birbirine yakındır. Hesaplanan bu değerler ile ekipman ısı yayınımları da göz önünde bulundurularak kaç adet ekipmanın hangi panellere yerleştirilebileceği bilgisi yapısal tasarım ve yerleşim tasarımı ile paylaşılmıştır.



Şekil 6: A Modelinin 50 °C radyatör sıcaklığında Isı Atım Kapasiteleri

A modeli için görev yükü panellerinin her birine 4 adet Ku-TWTA, 2 adet Ku-EPC, 1 adet Ku-Almaç ve 1 adet Ku-ONET yerleştirildiği durumda yaklaşık 340 W'lık bir ısı atım kapasitesi gerekmektedir. Bu değere paneller için en kısıtlı ısı atım senaryosunda bakıldığında kış gün

(3)

dönümünde GGY için 50 °C radyatör sıcaklığında 373 Watt, yaz gün dönümünde KGY için 50 °C radyatör sıcaklığında 385 Watt'tır. İki adet görev yükü panelinin ısı atım kapasitesinin yeterli olduğu bu yerleşim çalışmasında ısıtıcı gücünü hesaplamak için Denklem 3 kullanılmıştır.

Ekipman Adı:	Ekipman Isı Yayınımı (W):	Ekipman Sayısı:	Toplam Isı (W):
Ku TWTA	33.80	4	135.20
Ku EPC	30.70	2	61.40
Ku Almaç	11.60	1	11.60
Ku-ONET	132.00	1	132.00
Toplam:			340.20

Cizelge 2:	Ku-Bant	Ekipmanları	Isı Yavınım	n Bilgileri
ŞinciBe ni	ita Bailt	Enginaman	ior raymin	- Buguen

$$P_{Isitici} = IAK_{EK(OB)} - \sum Q_{Ekip.,op}$$

 $P_{Isitici}$: Paneli istenilen Radyatör sıcaklığında tutmak için gerekli ısıtıcı gücü $IAK_{EK(\ddot{0}B)}$: Ömür Başı Isıl Optik özellikler kullanılarak hesaplanan IAK $\sum Q_{Ekip,op}$: Yerleşime göre senaryosunda çalışan ekipmanların ısı yayınımı toplamı

Görev yükü panelleri için ısıtıcı gücü hesaplanırken ekipman ısı yayınım değerleri 0 Watt olduğu, başka bir deyişle ekipmanların kapalı olduğu sadece birer adet TWTA ve EPC çalıştığı varsayılmaktadır. Çizelge 2 kullanılarak bu değer 64.5 Watt olarak hesaplanmıştır. KGY ve GGY panellerinin $IAK_{EK(OB)}$ değeri yaklaşık olarak 245 Watt olarak hesaplanmış ve Denklem 3 kullanılarak -10 °C radyatör sıcaklığında 180 Watt'lık bir ısıtıcı gücü ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Soğuk durumdaki $IAK_{EK(OB)}$ hesaplanırken seçilen -10 °C radyatör sıcaklığına tasarım marjlarının eklenmesi ile hesaplanmıştır. Benzer hesaplamalar [Ataer, 2019] sıcaklık limitleri başlığı altında ve [ESA, 2011]'de verilmiştir.



Şekil 7: B Modelinin 50 °C radyatör sıcaklığında Isı Atım Kapasiteleri

B modelinin 50 °C radyatör sıcaklığında hesaplanan IAK değerlerinin panellere ve yörüngelere göre değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Bu modelin görev yükü panelleri için ısıtıcı gücü hesaplaması da benzer varsayımlarla her bir görev yükü paneli için sadece birer adet TWTA ve EPC çalıştığı varsayılarak yapılmıştır. B modelinin KGY ve GGY panellerinin $IAK_{EK(\ddot{O}B)}$ 'si yaklaşık 280 Watt olarak hesaplanmış ve Denklem 3 kullanılarak -10 °C radyatör sıcaklığında bu model için 215 Watt'lık bir ısıtıcı gücü hesaplanmıştır.

Çizelge 3: İki Farklı Model için Yaz Gün Dönümü ve Kış Gün Dönümü Yörüngelerinde IAK 50 °C Radyatör Sıcaklığındaki IAK ve Isıtıcı Gücü Karşılaştırılması

Model:	Panel Adı:	Panel Alanı: (m ²)	YGD IAK Isı (W)	KGD IAK Isı (W)	Isıtıcı Gücü: (W)
А	Güney Görev Yükü	2.55	557.21	373.48	179.50
	Kuzey Görev Yükü	2.55	385.24	557.75	180.50
В	Güney Görev Yükü	1.40	545.53	375.73	212.50
	Kuzey Görev Yükü	1.40	386.00	546.24	214.50

Sonuçlar incelendiğinde A modelinin görev yükü panellerinin her biri, yüzey alanı B modeline göre yaklaşık 1 m² daha büyük olmasına rağmen, görünüm faktörlerini etkileyen uydu dış geometrisinden dolayı B modeli ile aynı ısı atım kapasitesine sahiptir. A modeli IAK değerinin panel alanına oranı B modeline göre düşük kalsa da, 30-35 W daha az ısıtıcı gücüne ihtiyaç duyması güç tüketimi açısından bu modeli daha avantajlı bir duruma getirmektedir.

A modelinde yer alan doğu dünya ve batı dünya panellerinin doğu ve batı panelleri ile beraber yaklaşık 850 W'lık ilave IAK ve bu değerin B modelinde doğu ve batı panelleri için yaklaşık 750 W'ta kalması diğer bir avantaj olarak düşünülmektedir. (Şekil 6 ve Şekil 7) A modelinin bu avantajına rağmen farklı geometride görev yükü panellerine sahip olması ısı borusu yerleşimini zorlaştırmaktadır. Bu zorluk, TWTA'lerin altından geçecek ısı borularının üretimi bükümü ve büküme bağlı performans kaybı olarak düşünülmektedir.

B modellerinin 50 °C radyatör sıcaklığında ömür sonu ısıl optik özellikler kullanılarak hesaplanan ısı atım kapasiteleri Çizelge 4'te verilmiştir. Kanatçıkların panele ışınımı

THERMICA yazılımında alınan görünüm faktörü ve Modest'tan alınan Stefan-Boltzmann yasası kullanılarak 6 TWTA kanatçığı için yaklaşık 45 W hesaplanmıştır. [Modest, 1993]

	Toplam Atılabilen Isı (W) ($T_{rad} = 50 \text{ °C}$) (Ömür Sonu Isıl-Optik Özellikler)					
	Y. G. D. :	K. G. D. :	Ekinoks:	Y. G. D. :	K. G. D. :	Ekinoks:
Panel Adı:	TWTA Kanatçıklarının modellenmediği durum:			TWTA Kanatçıklarının modellendiği durum:		
Batı ve Doğu Panelleri:	635	631	647	633	621	636

Çizelge 4: TWTA Kanatçıklı Model ile Kanatçıksız Model Kıyaslaması

Kanatçık geometrilerinin de dahil edildiği ısı atım kapasitelerine kanatçıklardan gelen ısı yayınımları yansıtıldığında 25-30 Watt'lık bir azalmanın söz konusu olduğu hesaplanmıştır. Bir kanatçık bileşkesi için 50 °C radyatör sıcaklığında benzer panel boyutlarındaki uydular için yaklaşık 5-6 Watt'lık bir ışıma ön görülebilir. Fakat TWTA kanatçıklarının güneşi gölgelemesi de göz önünde bulundurulduğunda yörüngelere göre Çizelge 4'te görüldüğü üzere 6 adet kanatçığın maksimum 10 W'lık bir IAK değişimi yarattığı anlaşılmıştır.

SONUÇ

Yapılan ısı atım kapasitesi (IAK) hesaplamaları sonucunda, oldukça küçük iletişim uydularının görev yükünün gerektirdiği ısı atım kapasitesi gereksinimlerini sağlayıp sağlamadığı ve ne kadar ısıtıcı gücü ihtiyacı olacağı belirlenmiştir. Bu doğrultuda ekipmanlar için çalışma sıcaklık aralıkları dikkate alınarak ön taslak tasarım ve yerleşim çalışmalarına IAK hesaplarının sonuçları geri bildirim olarak sunulmuştur. Mevcut analizler incelendiğinde A modeli aynı IAK değerine sahip olması ve daha düşük ısıtıcı gücü gereksinimi olması sebebiyle daha avantajlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca daha geniş yüzey alanına sahip olması pasif (ısı yayınımı olamayan) ekipmanların yerleşimine de olanak sağlamaktadır.

Analiz edilen iki modelin kuzey ve güney panellerinin ısı atım kapasitelerinin, geometrilerinden bağımsız olarak alanlarıyla doğru orantılı olduğu görülmüştür. Uydunun doğu ve batı panellerinin ısı atım kapasiteleri de aynı şekilde geometrilerinden bağımsız olarak TWT kanatçıkları ile anten geometrisinin doğrultusunun görünüm faktörüne etkisinden ve bu bileşenlerin ısıl-optik özelliklerinden dolayı değişim göstermektedir. Bu değişimin her bir TWTA kanatçığı için yaklaşık 1.5-2 Watt'lık bir IAK azalması anlamına geldiği hesaplanmıştır. Bu yaklaşım ile kanatçıkları modellenmeye gerek kalmadan yaklaşık olarak IAK'deki azalmanın IAK'ne ne kadar etkisi olduğu hesaplanabilecektir. Son olarak bu çalışmada, başlangıç aşamasında sadece dış geometrisi bilinen uydularda, ekipman yerleşimi çalışmalarına girdi verebilmek için ısıl kontrol alt sistemi tarafından gerçekleştirilen sistem seviyesi IAK analizleri anlatılmıştır. Uydu ısıl tasarımının ilerleyen tasarım ve yerleşim aşamalarında, ısıl detay analizlerinin de yapılması ve ekipman

Kaynaklar

sıcaklıklarının detaylı incelenmesi gerekmektedir.

S. K. Ataer, 2016. Haberleşme Uydularında Gömülü Ve Yüzeye Monteli Isi Borularının Isil Kontrol Açısından Karşılaştırılması, UHUK-2016-94

S. K. Ataer, 2019. Sun Sensor Alignment and Bracket Design of a Communication Satellite, RAST-2019

ESA Thermal Design Handbook, ECSS-E-HB-31-01 Part 7A Insulations, 5 December 2011.

ESA Thermal Analysis Handbook, ECSS-E-HB-31-03A DIR 1, 10 September 2015

2002 Gilmore, *Spacecraft Thermal Control Handbook*, and *Volume: 1 Fundamental Technologies*, California: The Aerospace Press.

1993 Modest, *Radiative Heat Transfer*, McGraw-Hill International Editions, Singapore. *THERMICA Version 4.5.1 User Manual*, ASTRI.UM.757138 .ASTR, 2.0, 2012.