

HABERLEŞME UYDULARINDA FARKLI YERLEŞİMLERE SAHİP EKİPMANLARIN ISIL TASARIMLARININ İNCELENMESİ

Yavuz ANDAÇ¹ ve Ezgi Nur SAYAR²
Türksat A.Ş., Ankara

ÖZET

Haberleşme uydularında birçok farklı ısı yayınına sahip elektronik ekipman yer almaktadır ve bu ekipmanların ısıl dengesinin sağlanması için farklı tasarımlar yapılmaktadır. Yüksek ısı yayan veya dar çalışma sıcaklıklarına sahip ekipmanların tümünün soğutma yüzeylerine doğrudan bağlantı yapma imkânı her zaman mümkün olmayabilmektedir. Bu yayında uyduda farklı yapısal panellere yerleştirilmesi gereken güç kaynak düzenleyicisi ve uçuş bilgisayarının ısıl tasarımı irdelenmiştir. Yapılan inceleme örnek olarak alınan AIRBUS Defence&Space firmasının E3000 platformundaki tasarım prensibinin ısıl denge üzerindeki etkisini değerlendirmekte ve yapılan gözlemleri içermektedir.

GİRİŞ

Uzay ortamı malzemeleri ve tasarımları en uç noktalara kadar zorlayan bir yapıya sahiptir. 10^{-9} Pa vakum basıncında, mikro-meteorlar ve yüksek radyasyona karşı dayanıklılıkları test edilmektedir. Bu etkilerin dışında ısı etkeni olarak ise güneş ışığı, bu ışığın farklı cisimlerden yansımaları ve yüzeylerin kendi sıcaklıklarında yaptıkları ışımlar da yer almaktadır. Bu etkiler uzayda cisimlerin ısınması ve soğumasında yardımcı olan etkilerin başında gelmektedir.

Uydularda kullanılan ekipmanların belirlenen fonksiyonlarını en yüksek verimde gerçekleştirebilmeleri için ekipmanlara ideal çalışma ortamını sağlamak gerekmektedir. Bu gereksinimlerden en önemlisi de ısı kontrolüdür. Temel olarak ısıtma ve soğutma olarak ayrılabilir ısı kontrol sisteminde, ısıtma işlemi ısıma veya ısıtıcılar yardımı ile mümkün olmaktadır. Soğutma ise ısıнын taşınması ile mümkündür. Tüm bu hedeflerin sağlanmasında farklı uygulama yöntemleri yer almaktadır. Bu uygulamalar içerisinde ısıl dolgu malzemeleri, yansıtıcı yüzeyler, yüzey boyaları, ısı boruları ve yalıtma malzemeleri yer almaktadır.

ISITMA SİSTEMİ VE ELEMANLARI

Uzay aracında faydalı yük kapalı konumda olduğu zamanlarda (transfer yörüngesi) veya ısı kontrol tasarımı soğutma sistemleri istenilenden yüksek soğutma sağladığı durumlarda uzay aracı ekipmanlarının ideal çalışma koşullarına ulaşabilmeleri için ısı kontrol tasarımı, ısıtma sistemleri kullanılır. Aktif termal kontrol yöntemlerinden olan elektrikli ısıtıcılar uydu içerisinde bulunan herhangi bir ekipmanın veya yapının aşırı soğumasını önlemek ve uydu içerisinde bulunan ekipmanlar açılmadan önce bileşenleri minimum çalışma sıcaklıklarına kadar ısıtmak amacıyla ısıtma sistemi olarak kullanılmaktadır. Uzay araçlarında kullanılan en yaygın ısıtıcı tipi Kapton® gibi esnek elektrik yalıtımlı iki tabaka arasına sıkıştırılmış elektriksiz direnç elemanından oluşan ısıtıcıdır. Isıtıcılar kullanıldıkları ekipmana göre farklı tipler içermektedir. Isıtma sistemleri harici bir

¹ Teknik Personel, E-posta: yandac@turksat.com.tr

² Teknik Destek Personeli, E-posta: ensayar@turksat.com.tr

kontrol sistemine ihtiyaç duymaktadır ve bu sistemin çalışabilmesi için kritik bölgelerden sıcaklık değerlerinin okunması gerekmektedir. Termistör sıcaklığın okunması ve gözlemlenmesinde kullanılmaktadır. Termostat ise her seride ısıtıcıların hatalı bir kapalı çevrim durumunda uyduyu fazla ısıtmasını engellemek için arada yer alan güvenlik anahtarlarıdır.

Isıl Koaksiyel Isıtıcı

Yüzeye gömülü ısı boruları üzerine yerleştirilmektedir ve elektrikli itki sisteminde soğutmada kullanılan sistemlerde yer almaktadır ve görev sürecinde kullanılmamaktadır. Test sürecinde farklı döngülerin simüle edilmesine imkân sağlamaktadır.

MINCO İletken Olmayan Kapton® Filmlili Isıtıcı

Uydu üzerinde en fazla kullanılan ısıtıcı tipidir. Duvarlara gömülü ısı borularının ısıtılmasında, ekipmanların kapalı durumda iken sıcaklıklarının kontrol edilmesinde ve sezon değişimlerinde oluşan sıcaklık değişimlerinden korumada kullanılmaktadır.

TAYCO Isıtıcı

Bu ısıtıcı türü ise kimyasal itki sisteminde kullanılan boruların ısıtılmasında kullanılan özel bir ısıtıcı tipidir. Boruların etrafına sarılabilen esnek burgulu bir tasarıma sahiptir. Yapıştırılmamaktadır, bunun yerine ısıma ile ısıtmaktadır.

SOĞUTMA SİSTEMİ VE ELEMANLARI

Uzay aracı ve uydu ekipmanı tarafından üretilen ısıнын etkin bir şekilde yayılmasına sağlayan soğutma sistemi içerisinde optik güneş reflektörleri, ısı boruları ve beyaz boya yer almaktadır.

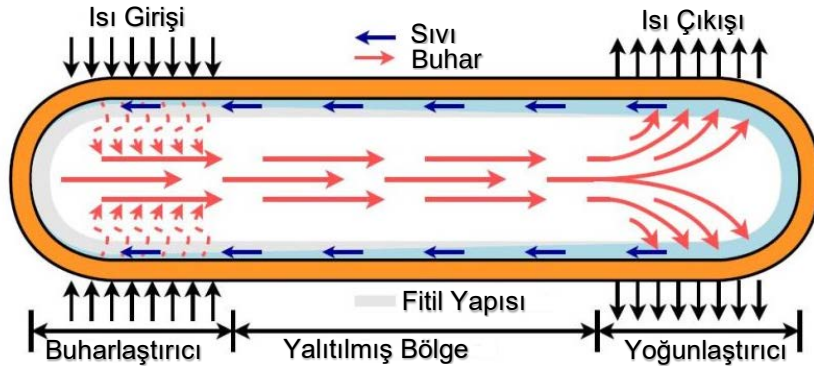
Optik Güneş Reflektörleri (OSR)

Isıl kontrol sisteminde pasif kontrol yöntemi elemanlarından olan optik güneş reflektörleri, gelen güneş ışınlarını yansıtır ve aynı zamanda uydu içerisindeki ekipmanlar tarafından üretilen ısıyı uzaya yaymaktadır. Genel olarak uyduların güneşe bakan Y duvarlarında kullanılır. Optik güneş reflektörünün üst katmanı metalden yapılmış bir yansıtıcı tabakanın üzerine kuvarstan yapılmış katmandan oluşur. Kuvarsın dış katmanı güneş ışığının düşük bir emme katsayısı ile metal katman üzerinden yansımaya izin verir. Kuvars katmanı iyi bir kızılötesi (IR) yayıcıdır. Optik güneş reflektörleri iyi bir yayıcı ve düşük seviyede emilim yapması özelliklerinden ötürü soğutma sistemi elemanı olarak kullanılmaktadır.

E3000 platformunda kullanılan OSR panellerini görev başında 0.05 güneş soğurma katsayısına sahipken 15 yıl sonunda bu değer 0.2 mertebelerine ulaşmaktadır. Yüzeyin yayınlama katsayısı 0.8 değerinde kalmakta ve değişmemektedir.

Isı Boruları

Aktif ısı kontrol yöntemlerinden birisi olan ısı boruları ekipman tarafından üretilen fazla ısıнын radyatörlere taşınarak dışarı atılmasında kullanılmaktadır. Haberleşme uydularında petek levhanın üzerinde ve içine gömülü olmak suretiyle 2 tip alüminyum eksenel oluklu ısı borusu kullanılmaktadır. Isı boruları içerisinde sıvı ya da buhar halinde su, amonyak gibi sıvılar bulunmaktadır. Isı borusunun içinde hem sıvı hem de buhar fazlarında bir çalışma sıvısı bulunur. Buharlaştırıcıya, sıcak bir bileşenden giren bir ısı akısı, mevcut herhangi bir soğutucu sıvıyı buharlaştırır ve böylece büyük miktarlarda ısıyı emer. Kırmızı oklarla gösterilen buhar, yalıtılmış taşıma bölümünden basınç farkı ile ilerleyen yoğunlaştırıcıya gider. Yoğunlaştırıcıda buhar, sıcaklık düştükçe yoğunlaşır ve gizli ısını serbest bırakır. Bu ısı, bir soğutucu ile ısı borusundan çıkarılabilir. Döngüyü tamamlamak için, yoğunlaştırılmış sıvı mavi oklarla gösterildiği gibi buharlaştırıcıya geri dönmektedir. Sıvının geri dönüşü, gri ile gösterilen bir kılcal veya fitil yapısı ile kolaylaştırılır. Çalışma sıvısının sıvı fazı ile doymuş fitil yapısı kılcal kuvvet ile sıvıyı taşıyabilir. [Gilmore, 2002]



Şekil 1: Isı Borusu Çalışma Prensibi [Heatpipe.nl, 2010]

Bu ısı borularının yerleştirilmesinde dikkat edilen hususlardan en önemlisi ne kadarlık bir enerjinin taşınmak istenmesidir. Isı borularında sınırlayıcı en önemli etmenleri bölgesel ısı akısı sınırı (W/cm^2) ve ısı taşıma kapasitesidir. (Wm) Bu sınırlar ısı borusu adetini ve ne kadarlık bir mesafe taşıyabildiğini belirlemektedir.

E3000 platformunda kullanılan gömülü ısı boruları temel olarak dışında OSR bulunan Y duvarlarında panel boyunca yer almaktadır. Bu sayede bölgesel ısı farklarından ve oluşabilecek ısı gradyan oluşumlarından kaçınılmış olunur. Yüzeye monte olan ısı borularının ısı taşıma kapasiteleri daha yüksek olduğundan dolayı gereken durumlarda gömülü ısı borusu olan duvarlarının üzerlerine yüzeye monte ısı borusu yerleştirilmektedir. Aynı zamanda ısı daha geniş bir yüzeyden aktarılmaktadır. Bunun dışında yüzeye monte ısı borularının en büyük avantajı uzaya bakan duvarlara monte edilemeyen ekipmanların ürettikleri sıcaklıkları bu duvarları taşıyarak atabilmesidir.

DOLGU VE YALITIM MALZEMELERİ

Yalıtım malzemeleri uzay aracı bileşenlerinin aşırı güneş veya gölge ortamlarından korunması amacı ile kullanılmaktadır. Çok katmanlı yalıtım (MLI) ve yalıtkan rondelalar yalıtım malzemeleri arasında yer almaktadır. Dolgu malzemeleri ise ısıнын aktarılmasında kayıpları azaltmada yardımcı olarak kullanılmaktadır. İki yüzey arasında kalan boşluklar yalıtım etkisi göstermektedir ve ısı akısının aktarılacağı yüzey alanını azaltmaktadır.

Çok Katmanlı Yalıtım (MLI)

Uzay araçlarında yaygın olarak kullanılan pasif ısı kontrol yöntemlerinden olan çok katmanlı yalıtım malzemesi çok hafif bir ısı koruma yöntemidir. MLI hem çevreye ısı kaybını hem de çevreden aşırı ısı alımını önler. Uydunun iç ve dış kısmında, aşırı ısı yayılımının olduğu itki sistemlerinde, bataryalarda, yakıt tankları ve yakıt hatları gibi bölgelerde ideal çalışma sıcaklığının korunması için farklı tiplerde çok katmanlı yalıtım battaniyeleri kullanılmaktadır. MLI battaniyeleri, ipek, naylon veya cam elyaf ağ gibi arasına yerleştirilmiş düşük iletken aralayıcı malzeme ile çok ince, metal kaplı plastik filminden oluşan çoklu katmanlardan oluşur. Dış örtü tabakasının güneş ışığına opak olması ve uzay aracının maruz kalacağı ortam ve sıcaklıkta hayatta kalabilmesi gerekir. Çok katmanlı yalıtım malzemesi bazen katmanlar arasındaki teması en aza indirmek için kasıtlı olarak kırılır. [ESA, 2016]

Isıl Dolgu Elemanları

Isıl dolgu elemanları yüzeyde var olan ve iki yüzeyin birleşmesi ile oluşan boşlukları doldurmak için kullanılan bir malzemedir. Genelde yumuşak malzemelerden oluşturulurlar ve yüksek iletkenliğe sahiptirler. Uzay dolgu malzemelerinin ana özelliği, ECSS Q-70-02C standardına uygun olması gereken gaz çıkışı özelliğidir. Genel olarak UV, e^- , p^+ ve γ ışınımını içeren uzay ortamına karşı dirençlidirler. Temel olarak 3 ana gruba ayrılmaktadırlar. [Meseguer, Péres-Grande ve Sanz-Andrés, 2012]

İlk grup olan grafit folyoları, doğal grafit yapraklarının düzgün sıralanmış kristal yapılarından üretilmektedir. En bilinen ürünlerden bir tanesi Sigraflex'tir. Genişletilmiş doğal grafitten üretilen Sigraflex ürünleri, geniş sıcaklık aralıklarında kararlı performans göstermektedir.

İkinci grup ise elastomerik dolgu elemanlarıdır. Ana üreticilerinden biri Chomerics firmasıdır. Ped formatında olan bu ürünler düşük sıkıştırma basınçlarında düşük iletkenlik göstermektedir. Büyük ekipmanlarda uygulanması zor olmaktadır.

Son grup ise oda sıcaklığında sertleşen (RTV) dolgu elemanlarıdır. Uygulandıkları yüzeyde kürlenmektedirler ve boşlukları iyi doldururlar. Örnek olarak OSR panellerini yüzeye sabitlemekte kullanılmak üzere karbon takviyesi içeren RTV566 kullanılmaktadır. Kullanılan dolgu malzemesi aynı zamanda düşük gaz salınımına ve yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bir diğer örnek ise, CNES ve MAP firması tarafından geliştirilen ve montaj esnasında kullanıcıya uygulama kolaylığı sağlayan silikon bazlı dolgu malzemesi MAPSIL' dir. Uzay endüstrisinin farklı gereksinimlerini karşılamak amacı ile ısı ve/veya elektriksel iletken/yalıtkan ürünler tercih edilmektedir. [Jugnot, Gomes, Sierra, Guillaumon, Nabarra ve Remaury, 2012]

Yalıtkan Rondela

Bazı ekipmanların yapı ile arasındaki iletiminin kesilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda normal yalıtkan rondelalar kullanılmaktadır. Isıl iletkenliğin 0.4 W/mK değerinden düşük olması istendiğinde ise Vetronite veya Permaglass® malzemeler tercih edilmektedir.

ISIL TASARIM İNCELEMESİ

Haberleşme uydularında platform sisteminde yer alan ekipmanlar arasında en çok ısı yayanlar sırası ile aşağıda yer almaktadır.

1. Elektrikli İtki Sistemi Elemanları
2. Güç Kaynağı Düzenleyicisi
3. Elektrik Sistemi (Bataryalar, sigortalar, ...)
4. Seyir Sistemi Ekipmanları (Tepki tekerleri, fiber optik jiroskopu, ...)
5. Veri İşleme Sistemi (Uçuş bilgisayarı ve kontrol kartları)

Yapısal tasarım aşamasında uyduların iç bölgeleri genel olarak 4 bölgeye ayrılmaktadır ve belirli ekipmanlar uydunun dışa bakan paneller üzerine yerleştirebilmektedir. Fakat tüm ekipmanlar için bu durum mümkün olmadığı durumlarda ısıнын taşınması gerekmektedir. Bunun gerçekleşmesinde ısı boruları kullanılmaktadır. Isı borusu yerleşimi yapılırken diğer ekipmanların çalışma sıcaklıklarına etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır.

Görev Tanımı

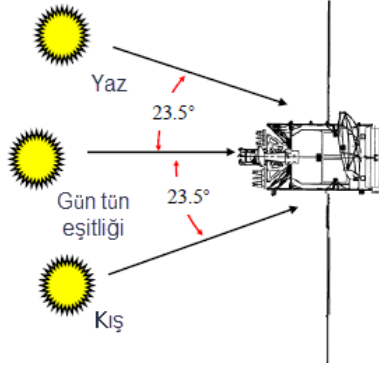
Çalışma kapsamında seçilen haberleşme uydusu Yer durağan yörüngeye (GEO) sahiptir ve 15 yıllık ömür süresine göre ekipmanların yıpranmaları göz önünde bulundurulmuştur.

Isıl tasarımda ana ısı kaynağı güneş olarak kabul edilmektedir ve spektral dağıtımı 5762K sıcaklıktaki siyah gövdeye göre yakınsanmaktadır. Dünyaya yakın mesafelerde güneş akısı 1366.1 W/m² olarak alınmaktadır fakat dünyanın yörüngesinden dolayı bu değer yıl boyunca yaklaşık %3.4 değişmektedir (Çizelge 1). [ECSS-E-ST-10-04C, 2008]

Çizelge 1: Yıl Boyu Güneş Akısı Değerleri

	En Düşük Değer	Ortalama Değer	En Yüksek Değer
Güneş Akısı	1321.6 W/m ²	1366.1 W/m ²	1412.9 W/m ²

Yer durağan yörüngeye sahip uydunun özelliklerinden dolayı Güneş uydunun duvarlarına her zaman aynı açı ile vuramamaktadır. Dünyanın 23.5 derecelik yatık olmasından dolayı Y duvarlarına sadece yaz ve kış sezonlarında denk gelen Güneş, açılı bir şekilde Şekil 2'de görüldüğü gibi etki etmektedir.



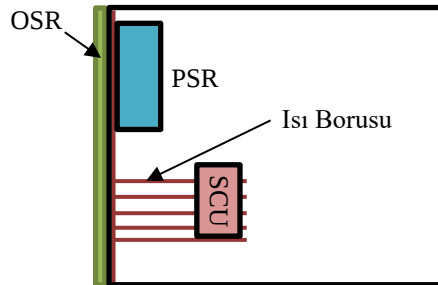
Şekil 2: Güneşin sezonlara göre konumu

Önceden bahsedilen hipoteze göre, aşağıdaki denklem ısı bütçe hesabında kullanılabilir.

$$F \cdot A_{ışırma} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_{uzay}^4) + C \cdot (T - T_0) = Q_d + A_{yüzey} \cdot \alpha_{yüzey} \cdot (\Phi_{güneş} + \Phi_{albedo}) + A_d \cdot \epsilon \cdot \Phi_{dünya} \quad (1)$$

Denklemin sağ tarafında ilk terim (Q_d) iç ısı yayınıdır, ikinci terim ($A_{yüzey} \cdot \alpha_{yüzey} \cdot (\Phi_{güneş} + \Phi_{albedo})$) güneşten ve dünyadan yansıyan ışınların yüzeyde yarattığı ısıyı ve son terim ise ($A_d \cdot \epsilon \cdot \Phi_{dünya}$) dünyanın kendi sıcaklığının kızıl ötesi ışıma ile yüzeyde oluşturduğu ısıyı vermektedir. Denklemin sol tarafındaki ilk terim uydu tarafından ışıma ile atılan ısıyı ve ikinci terim ise incelenen yüzeyden başka bölgelere iletilen ısıyı tanımlamaktadır. A yüzey alanını (m^2), F form faktörünü, T sıcaklığı (Kelvin), α yüzey soğurma katsayısını, ϵ yüzey yayılma katsayısı ve σ Stefan Boltzmann katsayısını ($W/(m^2K^4)$) ifade etmektedir. Uydu tamamen incelendiği zaman bu iletim yolu ile aktarılan ısı göz ardı edilmektedir.

İnceleme yapılan iki ekipmanda aynı Y duvarı üzerinden soğumaktadır ve duvar üzerinde $1.7 m^2$ yüzey OSR ile kaplanmıştır. Ekipmanların genel yerleşimi Şekil 3'de görülebilmektedir.



Şekil 3: Uydu içi ekipman yerleşim planı

Uçuş Bilgisayarı (SCU) Isıl Tasarımı

İncelenen uçuş bilgisayarı (SCU), Telemetri (TM) / Telekomut (TC) / Veri İşlem ve yörünge kontrolünden sorumludur ve hem 100V hem de 50V desteği sağlamaktadır. [ESA, 2013]



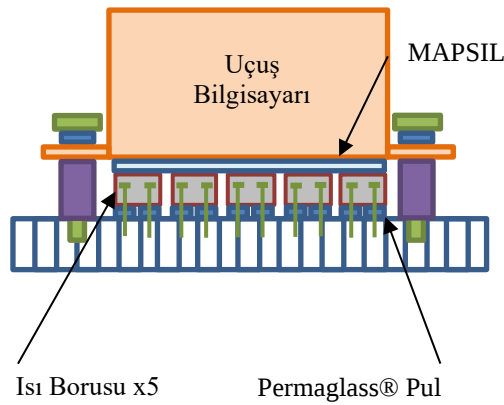
Şekil 4: SCU MK2 [ESA, 2013]

Ekipmanın çalışma sıcaklıkları Çizelge 2’de görülmektedir. Uydunun farklı fazlarında tükettiği güç değiştiğinden dolayı yaydığı ısı 14W ile 22W arasında değişiklik göstermektedir.

Çizelge 2: SCU Çalışma Sıcaklıkları

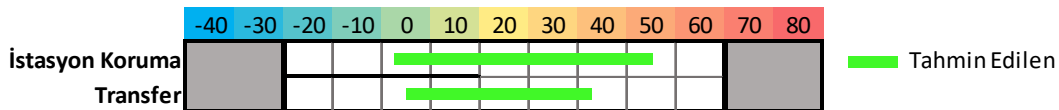
	Minimum Sıcaklık	Maksimum Sıcaklık
Operasyonel	-30 °C	70 °C
Termal Tasarım	-20 °C	60 °C

Şekil 5’de uçuş bilgisayarının yapı ile arasındaki bağlantı gözlemlenebilmektedir. Isı boruları yapıya cıvatalar ile bağlanmaktadır fakat yapıya etki etmesi istenmediğinden dolayı duvar ile ısı borusu arasına Permaglass® pul yerleştirilmektedir. Uçuş bilgisayarı ise ısı boruları üzerine yerleştirilirken araya ısıl dolgu elemanı olan MAPSIL uygulanmıştır. Bu sayede yüksek verimde ısı geçişi sağlanmaktadır.



Şekil 5: SCU MK2 montajı

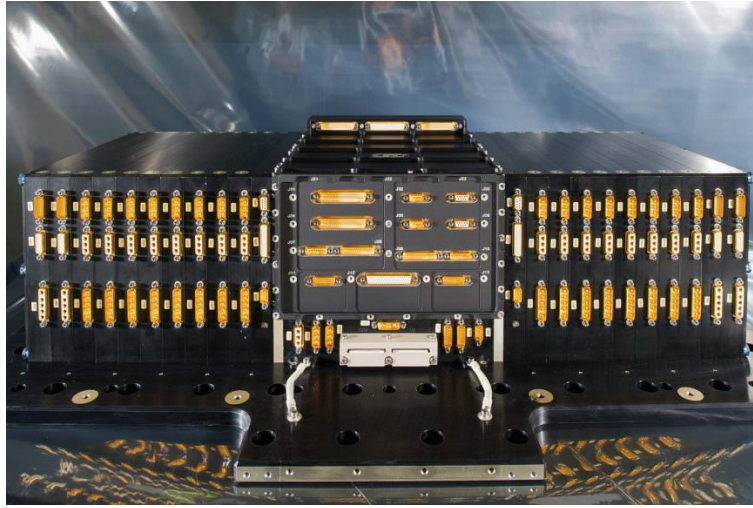
Tasarımlar istasyon koruma ve transfer yörüngelerinde incelendiği zaman ekipmanın sıcaklığı termal tasarım değerlerinin altında kalmaktadır. Şekil 6’da görüldüğü üzere herhangi bir ısıtıcı olmadan ekipman istenilen sıcaklıklar arasında kalabilmektedir. Ekipmanın yaydığı ısı sıcaklıkları görevin farklı süreçlerinde çok fazla değişmediğinden dolayı sıcaklık dalgalanmaları görülmemektedir.



Şekil 6: Uçuş bilgisayarı transfer ve istasyon korumada sıcaklık değerleri

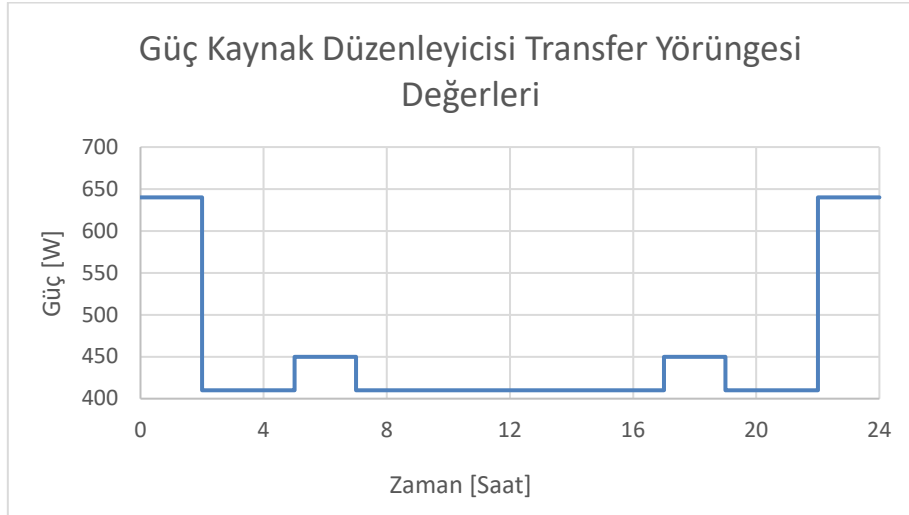
Güç Kaynak Düzenleyicisi Isıl Tasarımı

İncelenen güç kaynak düzenleyicisi (Şekil 7) 8kW ile 23kW arasındaki haberleşme uyduları için kullanılmaktadır. Temel görevi uyduyu güneş modunda güneş panellerinden gelen enerji ile ve tutulma zamanlarında ise bataryalardan 100V ile beslemek ile görevlidir. Buna ek olarak görevin ihtiyacına göre 50V değerinde bir bara voltajını 700W gücünde iki hatta besleyebilme kapasitesine sahiptir. Güneş panellerinden gelen gücü %98.8 verimle, bataryadan gelen gücü ise %97 verimle aktarabilmektedir.



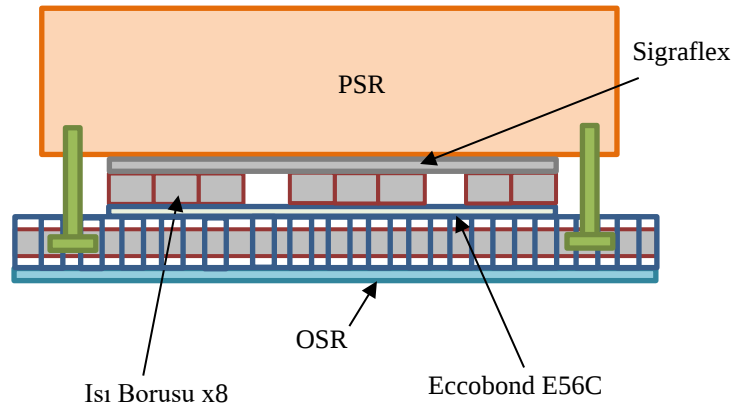
Şekil 7: PSR 100V [AIRBUS DS, 2018]

12kW gücüne sahip bir haberleşme uydusunda transfer sürecinde ve istasyon koruma sürecinde farklı güç tüketimleri ortaya çıkmaktadır. Ekipmanın termal tasarımını en yüksek ısı yaydığı durum için yapmak gerekmektedir. Şekil 8’da görülen değerler elektrikli itki sistemi ile transfer yörüngesinde ortaya çıkan ısıyı göstermektedir ve hesaplamalarda bu değerler alınmıştır.



Şekil 8: Güç kaynak düzenleyicisinin transfer sürecinde yaydığı ısı

Uyduda en fazla ısı yayan ekipmanlar arasında ikinci sırada yer aldığından dolayı Y Dışa bakan panel üzerine monte edilmektedir. Monte edildiği duvarın hem içerisinde hem de üzerinde ısı borular yer almaktadır. Duvar üzerindeki durumu Şekil 9’de gözlemlenebilmektedir. Montaj yapılırken cıvatalar dışarıdan takılmaktadır ve sonrasında üzeri silikon bazlı dolgu malzemesi ile kapatılmaktadır. Kapatılan yüzeylerin üzerine OSR montajı en son adımda yapılmaktadır.



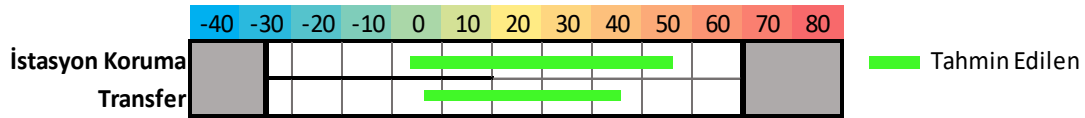
Şekil 9: PSR Montajı

Çizelge 3'de ise ekipmanın farklı çalışma sıcaklık sınırları görülmektedir. Operasyonel ve tasarım sıcaklıkları arasında $\pm 10^\circ\text{C}$ bir fark olmaktadır.

Çizelge 3: PSR Çalışma Sıcaklıkları

	Minimum Sıcaklık	Maksimum Sıcaklık
Operasyonel	-35°C	70°C
Termal Tasarım	-25°C	60°C

Yapılan termal tasarımın sonuçları ise istasyon korumada durumunda ve transfer yörüngesinde Şekil 10'de görülebilmektedir. Elde edilen değerler tasarım kriterleri içerisinde yer almaktadır ve her durum için ekipmanın güvenliğini sağlamaktadır. İnceleme sürecinde ısı borularının altında yer alan 150W gücündeki 3 adet MINCO tipi ısıtıcı da gerekli görülen durumlarda devreye sokulmuştur ve sıcaklığın kontrolsüz düşmesi engellenmiştir.



Şekil 10: Güç kaynak düzenleyicisi transfer ve istasyon korumada sıcaklık değerleri

SONUÇ

Bu çalışmada, yer sabit yörüngede yer alan haberleşme uydu platformu üzerinde yer alan güç kaynak düzenleyicisi ve uçuş bilgisayarının tasarımları incelenmiş ve en kötü durumlardaki ısı dengeleri değerlendirilmiştir. Bahsi geçen tasarım teknikleri, uydu içerisinde yer alan çoğu ekipmanlarda ortak bir çözüm olarak kullanılabilir. Sonuç olarak bu çalışma, benzer görevlere sahip uydu platformlarında yer alan ekipman yerleştirilmesinde ve ısı dengenin sağlanmasında bir yaklaşım getirmektedir. Aynı zamanda uydu üzerinde yer alan farklı tiplerdeki ısı tasarım elemanlarının kullanım yerlerini ve tiplerini özetleyerek seçim kriterlerini vurgulamaktadır.

Kaynaklar

- AIRBUS DS, 2018. <https://spaceequipment.airbusdefenceandspace.com/power/primary-power/power-supply-regulator/> Son Erişim: 02.06.2020
- ECSS-E-ST-10-04C, 2008. *Space engineering. Space environment*, ESA Requirements and Standards Division, ESTEC, Noordwijk, Hollanda, Kasım 2008.
- ESA, 2013. <https://artes.esa.int/projects/scu-mk2> Son Erişim: 30.01.2020
- ESA, 2016. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2016/08/Multi-layer_insulation_blankets Son Erişim: 06.02.2020

- Gilmore, D. G., 2002. *Spacecraft Thermal Control Handbook, Volume:1 Fundamental Technologies*, California, The Aerospace Press s.489-506
- Heatpipe.nl, 2010. <http://www.heatpipe.nl/index.php?page=heatpipe&lang=EN> Son Erişim: 21.08.2020
- Meseguer, J., Pérez-Grande, I. ve Sanz-Andrés, A., 2012. *Spacecraft Thermal Control*, Woodhead, First Press, s.168-170
- Jugniot, P., Gomes, S., Sierra, G., Guillaumon, O., Nabarra, P. ve Remaury, S., September 2012. *Development of Electrical/Thermal Silicone Adhesives*