

HABERLEŞME UYDUSUNDA ÇOK KATMANLI YALITIM BATTANİYELERİ İÇİN SABİT ETKİN YAYINIM KATSAYISI İLE SICAKLIĞA BAĞLI ETKİN YAYINIM KATSAYISI KULLANIMININ KARŞILAŞTIRILMASI

S.Kaancan ATAER¹ ve B. Burak DOĞAN²
TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.,
ANKARA

Selin ARABACI³
TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş., ANKARA

ÖZET

Isıl kontrol sistemi, uydu platformunun tasarlandığı ısı koşullarda uydu ekipman sıcaklıklarının kendileri için tanımlanan aralıkta tutulmasını sağlayarak ekipmanların sorunsuz bir şekilde çalışmaları üzerine kurgulanmıştır. Isıl kontrol sisteminin donanımları kontrol edilebilirliğine göre pasif ya da aktif olmak üzere iki grupta incelenebilir. Çok katmanlı yalıtım battaniyesi (ÇKYB) uydu platformunun panellerini ve uydunun dışında kalan ekipmanlarını uzay ortamından yalıtılmasını sağlayan pasif bir ısı donanımdır. ÇKYB ile ısıtım ve iletim ısı transfer yöntemlerine karşı önlem alınmaktadır.

ÇKYB üzerinde gerçekleşen iki ısı transferi de aynı anda ve birbirleri ile etkileşim içerisinde gerçekleştiği için ısı iletim değeri analitik olarak açık bir şekilde tanımlanamamaktadır. Fakat ÇKYB modellemesinde deneysel verilerden yola çıkarak hesaplanan etkin ısı iletim değeri (K_{eff}) ve buna bağlı etkin yayılım değerleri (ϵ_{eff}) kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında pasif ısı kontrol elemanlarından ÇKYB'nin seçilen bir panel için sabit ve sıcaklığa göre değişkenlik gösteren etkin yayılım katsayıları kullanılarak modellenmesi ve bu yaklaşımların karşılaştırılması incelenecektir.

Anahtar kelimeler: ÇKYB, pasif ısı kontrol, etkin ısı iletim değeri, etkin yayılım değeri

GİRİŞ

Isıl kontrol sistemi uydunun uzay ortamındaki ısı koşullara dayanıklı olmasını ve böylece uydu içerisindeki ekipmanların çalışma performanslarının bu koşullardan etkilenmemesini hedefler.

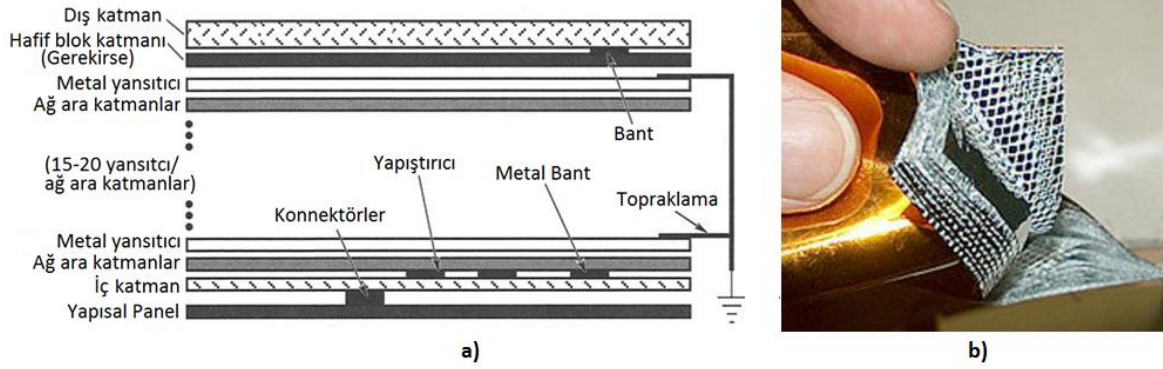
Uydu platformları, çalışma koşulları ve gereksinimlerine göre farklı ısı kontrol sistemi donanımlarına ihtiyaç duyabilirler. Bu donanımlardan çok katmanlı yalıtım battaniyesi (ÇKYB) tüm uydu platformlarında yer almakta ve tasarlanan uyduyu uzay ortamında maruz kalacağı ısı koşullardan yalıtılmaktadır. ÇKYB pasif bir ısı kontrol donanımdır ve uydu için tanımlı senaryolarda ısı analizler yapılarak ÇKYB'nin kaplanacağı alanlar belirlenmektedir.

Uyduların ısı donanımları iki temel tasarım senaryosuna göre belirlenmektedir. En sıcak durum senaryosu uydunun en çok dış ısı akısına maruz kaldığı ve en fazla ekipmanın operasyonel olduğu senaryodur. Sıcak durum senaryosu radyatör ve ÇKYB alanlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. En soğuk durum senaryosu ise uydu üzerine düşen ısı akısının ve operasyonel ekipman sayısının en az olduğu bu sebeple de uydu platformunun ihtiyaç duyduğu ısıtıcı gücünün hesaplandığı senaryodur. [ATAER, 2016]

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

² Tasarım Mühendisi, E-posta: bilalburak.dogan@tai.com.tr

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

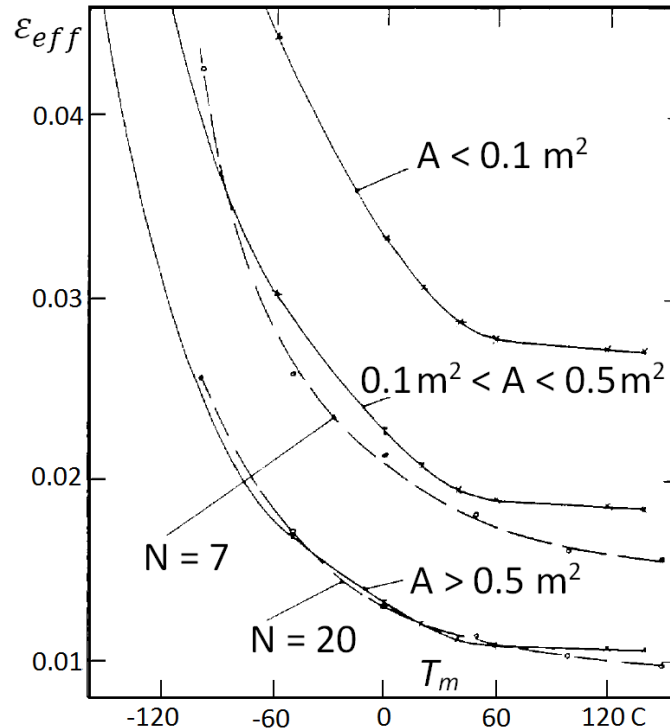


Şekil 1: a) ÇKYB'nin katmanları [Gilmore, 2002] b) ÇKYB fotoğrafı

Uydu ısı kontrol sisteminin önemli elemanlarından ÇKYB'ler polyester (Mylar) veya polyamid (Kapton) katmanların arasına iletim ile ısı aktarımını azaltacak ağ yapıda polyester konularak tüm bu katmanların bir araya getirilmesi ile üretilir. (Şekil 1a) ÇKYB'lerde genellikle polyester ve polyamid katmanların tek yüzeyi ya da her iki yüzeyi alüminyum veya altın kaplamalı olarak üretilerek ışınlam ile ısı yayılımının azaltılması hedeflemektedir. (Şekil 1b) [Doenecke, 1993]

ÇKYB boyunca gerçekleşen ısı transferinde ışınlam ve iletim yöntemlerinin ikisi de gerçekleşmektedir. ÇKYB ile uydu platformunu uzayda yalıtmak için bu iki tür ısı transferi yönteminin de etkisinin azaltılması gerekmektedir. Işınlam ile ısı transferi metal katmanlarla yansıtıcı yüzeylerle, taşınım ile ısı transferi düşük iletim değerine sahip boşluk malzemelerle azaltılmaktadır. Ayrıca ÇKYB içerisindeki gazın tahliyesi için ÇKYB katmalarına delikler açılarak deliklerden havanın çıkması sağlanır.

Doenecke 1993 yılında yaptığı çalışma ile ÇKYB literatürünü inceleyerek yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak etkin yayılım kat sayısının ortalama sıcaklığa göre değişimi Şekil 2'de belirtildiği gibi elde edilmiştir. Literatürdeki verilere en küçük kareler metodu kullanarak en uygun denklemi elde etmiştir. (Denklem 2)



Şekil 2: Etkin yayılımın ortalama sıcaklığa (T_m) göre değişimi [Doenecke, 1993]

Literatür incelendiğinde ortalama sıcaklık değeri (T_m) Denklem 1'de belirtilen eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$4T_m^3 = \frac{(T_h^4 - T_c^4)}{(T_h - T_c)} = (T_h^2 - T_c^2) \cdot (T_h + T_c) \quad (1)$$

T_h : En yüksek katmanın sıcaklığı

T_c : En düşük katmanın sıcaklığı

Doenecke tarafından geliştirilen bu yaklaşım -60°C ile 140°C ortalama sıcaklık değerleri arasında Şekil 2'deki literatür değerleri ile uyum sağlamaktadır. Fakat bu yaklaşım (Denklem 2) -100°C ile -140°C arasında aynı uyumu yakalayamamaktadır.

$$\varepsilon_{eff} = \left(0.000136 \cdot \frac{1}{4\sigma T_m^2} + 0.000121 \cdot T_m^{0.667} \right) \cdot f_N \cdot f_A \cdot f_P \quad (2)$$

$\varepsilon_{eff} (e^*)$: Etkin yayınım katsayısı

σ : Stefan-Boltzmann Sabiti = $5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T_m : Ortalama sıcaklık (ÇKYB'nin iç ve dış yüzeyinin)

f_N : Katman faktörü

f_A : Alan faktörü

f_P : Delik faktörü

Denklem 2 literatürdeki etkin yayınım (ε_{eff}) ortalama sıcaklık (T_m) değişim yaklaşımlarına (Şekil 2) en küçük kareler metodu ile eğri uydurularak elde edilmiştir. 0.000136 ve 0.000121 katsayıları en küçük kareler metodu kullanılarak elde edilmiştir. f_N faktörü ÇKYB'nin katman sayılarının, f_P faktörü ÇKYB üzerinde gaz tahliyesi için yer alan delik alanlarının toplam yüzey alanına oranının, f_A faktörü ise üretilen ÇKYB alanına göre üretimsel parametrelerin (dikiş, katlama vb.), etkin yayınım katsayısının hesabına etkisini yansıtmaktadır. Çizelge 1'de f_N 'nin katman sayılarına göre değerleri ve f_P 'nin delik alanı yüzdesine göre değerleri yer almaktadır.

Çizelge 1 Literatürden elde edilen f_N ve f_P düzeltme faktörleri [Doenecke, 1993]

N	f_N	P	f_P	f_P
		%	$\varepsilon = 0.04$	$\varepsilon = 0.03$
5	2.048	0.1	0.756	0.704
10	1.425	0.2	0.783	0.737
15	1.164	0.5	0.865	0.837
20	1.000	1.0	1.000	1.000
25	0.905	1.5	1.133	1.161
30	0.841	2.0	1.266	1.322

a)

b)

ÇKYB üretilirken gerçekleştirilen dikiş, katmanların birbiri üzerine katlanması, zımbalama işlemleri ÇKYB yapısına ve aynı zamanda performansına etki etmektedir. [Stimpson, 1972] Bu işlemlerin etkin yayınım hesabına dâhil edilmesi f_A alan faktörü ile gerçekleştirilmektedir. Denklem 3'te f_A 'nın sadece üretilen ÇKYB alanına (A) bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

$$f_A = 1/10^{(0.373 \cdot \log A)} \quad (3)$$

Denklem 2 literatürdeki birçok çalışmanın incelenmesi (Şekil 2) sonucunda elde edilmiş olup uydu platformlarında yer alan ÇKYB'lerin etkin yayılım hesabı için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım ÇKYB üreticileri tarafından da kullanıcılara önerilmektedir.

Bu çalışmada, haberleşme uydusuna ait bir yapısal panelin ÇKYB ile arasındaki iletim değerleri iki ayrı yöntem ile hesaplanacaktır. İlk yöntemde etkin yayılım değeri tüm sıcaklıklarda sabit alınacak ve sıcaklıktan bağımsız olarak düşünülecektir. İkinci yöntemde ise Doenecke tarafından geliştirilen denklem modele uyarlanarak sıcaklığa göre değişen ÇKYB panel iletim değerleri hesaplanarak model çözödürölecektir. Seçilen yapısal panel geometrisine ısı yayılımına sahip bir ekipman eklenip, analizler bu çalışmanın Yöntem bölümünde tanımlanmış olan senaryoya ve ısı matematiksel modele göre gerçekleştirilecektir. Hazırlanan ısı matematiksel model yöntem bölümünde detaylı olarak anlatılmaktadır.

YÖNTEM

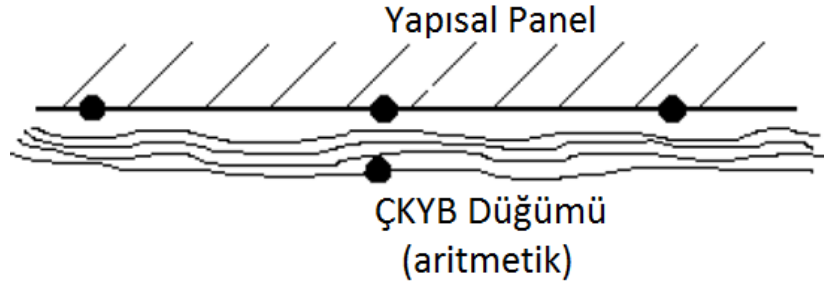
Bu çalışmada yer durağan yörüngede görev yapmak üzere tasarlanmış bir uydunun -Y panelinin ve bu panelde yer alan 1 adet ekipmanın ısı kontrolünün ÇKYB ve radyatör alanları kullanılarak sağlanması ve ÇKYB'nin performansının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Ekipmanın ısı kontrolü sağlanırken ÇKYB ile uydu yapısal paneli arasındaki iletim değerleri iki farklı yaklaşımla hesaplanacaktır.

Seçilen haberleşme uydusu 42° doğu boylamı yer durağan yörüngede görev yapmak üzere tasarlanmıştır. Bu haberleşme uydusu yapısal panelinin geometrik modeli bilgisayar destekli tasarım yazılımı CATIA'da indirgenerek THERMICA v.4.7.1 ortamında sayısal ağları oluşturulmuştur. THERMICA v.4.7.1 yazılımı yardımıyla yapısal panele ve ekipmana sahip oldukları malzeme özellikleri atanmış, ısı yayılımı ve diğer gerekli bilgiler tanımlanarak ısı matematiksel model hazırlanmıştır. Uydu panelinin yörüngede maruz kaldığı dış ısı akılarının, uydu dışı ve uydu içi ışınım değişim faktörlerinin hesaplanması THERMICA v.4.7.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapısal panel THERMICA v.4.7.1 ortamında modellenirken iç ve dış iki plaka ile modellenmiştir dış plakada radyatör olarak belirlenen elemanlara radyatör ısı optik özellikleri tanımlanmış ÇKYB ile kapatılan kısımları ile ÇKYB düğümleri arasına belirlenen yaklaşımlar kullanılarak iletim değerleri tanımlanmıştır. [Arabacı, 2014] Bu çalışma kapsamında hazırlanan model için radyatör yayılım değeri (ϵ_{rad}) 0.8, ÇKYB yayılım değeri (ϵ_{kyb}) 0.82, radyatör emilim değeri (α_{rad}) 0.24, ÇKYB emilim değeri (α_{kyb}) 0.84 alınmıştır. Bu değerler üreticilerin sağladığı ekipmanların teknik özelliklerinin bulunduğu dokümanlardan alınmıştır.

ÇKYB Modellenmesi:

Isıl matematiksel model oluşturulurken ÇKYB düğümleri yapısal panel düğümlerindeki difüzyon düğümlerinin aksine aritmetik olarak modellenmektedirler. Difüzyon düğümlerinin potansiyel enerjileri kapasitelerine, düğüme gelen ısı aksına ve ısı akışına maruz kaldığı süreye bağlı olarak değişmektedir. Fiziksel olarak olmayan fakat nümerik çözüm yöntemlerinde etkin kullanılarak yüzey sıcaklıkları, bağlantı sıcaklıkları ve düğümler arası iletim sonuçlarını yorumlamaya yardımcı olan sıfır kapasiteli düğümler aritmetik düğüm olarak tanımlanmaktadır. Bilindiği üzere kararlı durum analizlerinde ısı kapasite hesaba katılmamaktadır. ÇKYB'nin aritmetik olarak modellenmesi zamana bağlı analizlerde de ısı kapasitesinin dikkate alınmamasına sebep olsa da ihmal edilebilir bir hata olarak görölmektedir. Yapısal panellerin ÇKYB ile kaplandığı durumlarda, ÇKYB panel düğümlüne göre daha büyük olduğu için bir ÇKYB düğümlüne birden çok yapısal panel düğümlü bağlanmaktadır. ÇKYB sıcaklıkları battaniye boyunca aynı olarak varsayılır. ÇKYB düğümleri ile ÇKYB'nin altında kalan birden çok yapısal panel düğümleri arasında iletim değeri tanımlanmaktadır. Şekil 3'teki gösterim ile yapısal panel düğümleri ve düğümleri uzay ortamından yalıtın ÇKYB düğümlü gösterilmektedir.

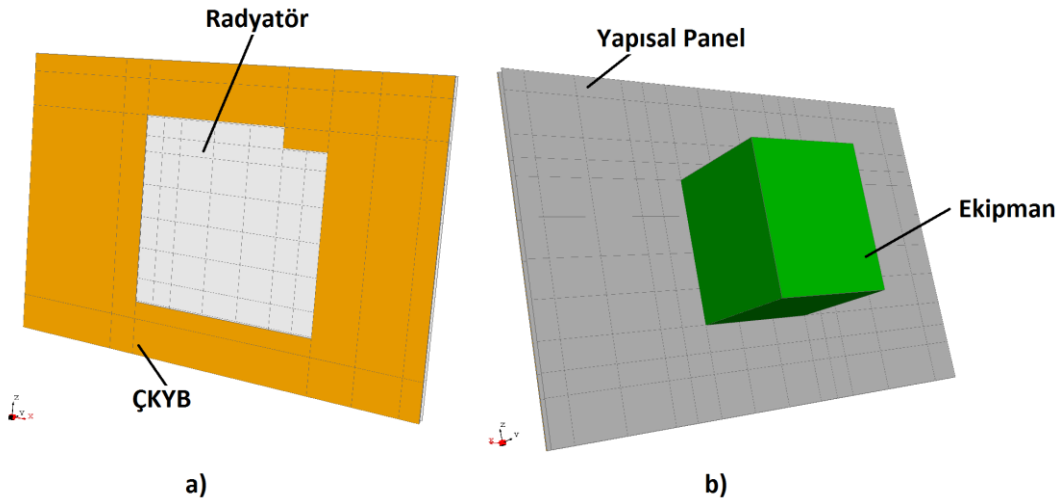


Şekil 3: ÇKYB'nin modellenmiş görseli

Doenecke yaklaşımı ile etkin yayınım katsayısının uygulama adımları:

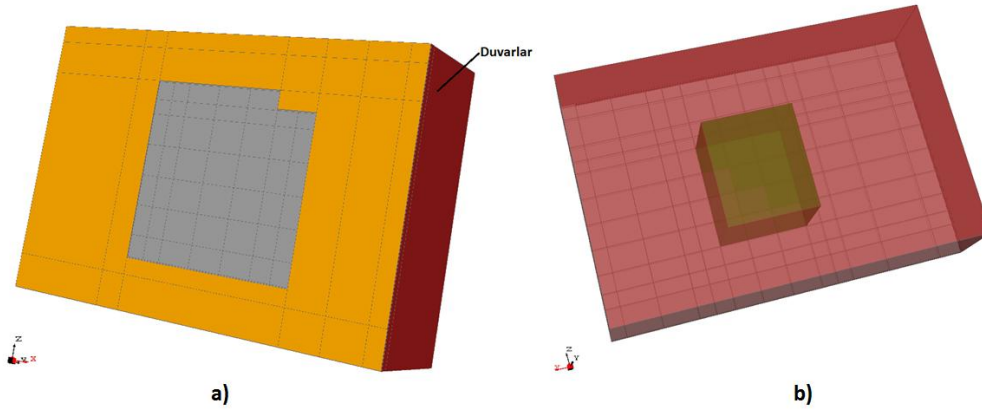
- İteratif olarak ÇKYB'nin iç ve dış tarafındaki sıcak (T_h) ve soğuk (T_c) sıcaklıkları belirlenecektir.
- Denklem 1 kullanılarak ortalama sıcaklık (T_m) hesaplanacaktır.
- ÇKYB'nin yapısına göre Çizelge 1'den uygun f_N ve f_p seçilecektir.
- Denklem 3 kullanılarak f_A hesaplanacaktır.
- Son olarak Denklem 1 kullanılarak dış panel ile ÇKYB arasındaki iletim değeri hesaplanacaktır.

ÇKYB Test Geometrik Modeli: Mevcut çalışmada ÇKYB etkin yayınım hesaplarının sonuçlara etkisini incelemek için Şekil 4'te belirtilen 1.2 metreye 0.8 metrelik bir uydu paneli geometrisi oluşturulmuştur. Bu panelde ekipmanın tam arkasına denk gelecek ve ekipmanı ortalayacak şekilde ne kadarlık bir radyatör alanı ihtiyacı olduğu hesaplamalarla belirlenmiştir. 0.98 m²'lik panel alanının 0.72 m²'si ÇKYB ile kapatılmıştır. Panelin ortasında yeşil küp ile gösterilen yapı ekipman geometrisini temsil etmektedir.



Şekil 4: Analizler için hazırlanan test geometrisi a) modele uzay ortamından bakış b) model uydu içerisinden bakış

ÇKYB Test Isıl Matematiksel Modeli: Tasarlanan geometrik modelin etrafı duvarlarla kapatılarak uzay ortamından yalıtılmıştır. Duvar olarak belirtilen yüzeyler ışıyım hesabında aktif olmayan ve panelin iç tarafına uzayın herhangi bir etkisi olmamasını sağlayan yüzeylerdir. Bu yüzeyler sayesinde ekipman yapısal panelin iç yüzeyi ile ısı transferi gerçekleştirebilmektedir. (Şekil 5) Uydu analizlerinde ekipman ve panel uydunun iç tarafını göreceği için panelin uzay ortamında izole edilmesi için bu yaklaşım uygulanmıştır. Yöntem bölümünde panele gelen dış ısı akıları ve ekipman sıcaklığının hesaplanması hakkında bilgi verilmiştir. Test ısı matematiksel modeli oluşturulurken ekipman tek düğüm olarak modellenmiştir.



Şekil 5: Analizler için hazırlanan test matematiksel modeli a) modele uzay ortamından bakış
b) model uydu içerisinden duvarları şeffaflaştırarak bakış

UYGULAMALAR

Çalışma kapsamında, gerçek bir ekipmandan yola çıkarak 72 Watt ısı yayınına sahip bir ekipmanın yer aldığı yapısal panelin dış tarafındaki düğümler ile ÇKYB arasında iki farklı etkin yayılım yaklaşımı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve analizler sonucunda iki yaklaşım birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Ekipman -Y yönündeki kuzey panelde yer almaktadır. Analizler sıcak durum senaryosu için (kuzey paneli için yaz gün dönümü) gerçekleştirilmiştir. Analizler 3 yörünge için gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi başlangıç sınır şartının sonuçlar üzerine olan etkisini ortadan kaldırmaktır.

Uydu paneli için kararlı durumda gerekli hesaplamalar yapılırken aşağıda belirtilen denklem kullanılmaktadır. [ATAER, 2016]

$$\frac{Q_G + Q_D + Q_A}{\text{Dış Isılar}} + \frac{W}{\text{Isı Yayını}} - \frac{Q_U}{\text{Uzaya Atılan Isı}} = 0 \quad (4)$$

Q_G : Güneşten uyduya gelen ısı

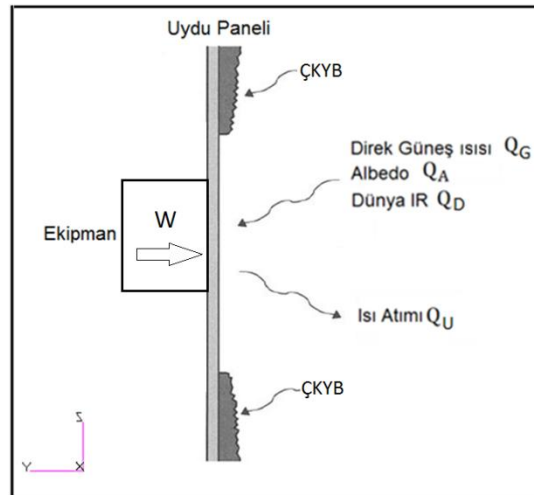
Q_D : Dünyadan uyduya gelen ısı

Q_A : Güneşten dünyaya gelen ışınların yansıya uyduya gelen ısı

W : Uydu içerisindeki ekipmanların yaydığı ısı

Q_U : Uzay ortamına atılan ısı

Uydu paneli panele gelen ve panelden uzay ortamına atılan ısıları ifade eden bu parametreler Şekil 6'daki görselde belirtilmiştir.



Şekil 6: Test Paneline Gelen ve Panelden Atılan Isılar [ATAER 2016]

THERMICA v.4.7.1 yazılımı kullanılarak model düğümlerine gelen güneş akısı ve düğümlerin birbirleri ile arasında ışıyım değışim değeri hesaplanmıştır. Bu değeri MSC SINDA yazılımına girdi olarak kullanılmıştır. Diğer gezegenlerden ve dünyadan yansıyarak gelen güneş akıları yer sabit yörünge ($\approx 35\,786\text{ km}$) için güneş akısıyla karşılaştırdıklarında çok düşük kaldıklarından ihmal edilmektedir.

MSC SINDA ortamında oluşturulan .sin girdi dosyasında ısı matematiksel modellerde yer alan düğümlerin ısı kapasiteleri, birbirleri ile aralarında olan iletim değeri, THERMICA'dan alınan ışıyım benzetim çıktıları (ışıyım değışim faktörleri ve güneşten gelen güneş akısı değeri) ve ekipman ısı yayılımını yer almaktadır. İki yaklaşımın .sin dosyasındaki tek fark ÇKYB düğümleri ile uydu panelinin ÇKYB altında kalan dış taraftaki düğümleri arasındaki iletim değeri'dir. Modelde uydu dış paneli için 143 adet düğüm bulunmaktadır. Bu düğümlerin radyatör alanı olmayan kısımlarını kapamak için ise 27 adet düğüm kullanılmıştır. ÇKYB düğümleri panel düğümlerine göre daha büyük olduğundan 1 ÇKYB düğümü ile birden çok panel düğümü arasında iletim bağı mevcuttur.

Panel düğümleri ile ÇKYB düğümü arasındaki iletim bağı değeri denklem 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$GL(N_1, N_2) = \varepsilon_{eff} A_1 \quad (5)$$

$GL(N_1, N_2)$: Katman faktörü

N_1 : Uydu Paneli düğümü numarası

N_2 : ÇKYB düğümü numarası

ε_{eff} : Etkin yayılım değeri

A_1 : Panel düğümünün Alanı (m^2)

İki yaklaşım arasında farklı olan iletim dosyalarından seçilen örnek gösterimler Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. MSC SINDA yazılımında hazırlanan modeller çözdürülürken modelde yer alan tüm düğümlerin birbirleri ile arasındaki iletim değeri ayrı bir dosyada hazırlanır ve girdi olarak .sin dosyası tarafından okutulur. Bu prosedürün kullanıldığı ve detaylandırıldığı bezer bir çalışma [Arabacı, 2014] tarafından yapılmıştır. Şekil 7 ve Şekil 8'de modeller çözdürülürken kullanılan ÇKYB panel düğümleri arası iletim değeri gösterilmiştir.

-5001, 200001, 402003, 1.27E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5002, 200002, 402003, 2.78E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5003, 200003, 402003, 7.54E-05 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5004, 200003, 402007, 1.18E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5005, 200004, 402011, 7.62E-05 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5006, 200005, 402011, 7.74E-05 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5007, 200006, 402011, 1.44E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5008, 200007, 402011, 1.45E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5009, 200008, 402011, 1.34E-04 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri
-5010, 200009, 402011, 9.06E-05 \$/Dis CKYB MLI iletim Degeri

Şekil 7: Etkin yayılım değeri 0.03 alındığı durumdaki ÇKYB panel düğümleri arasındaki iletim değeri'nin bir kısmı

Şekil 7'deki ilk kolon iletim değeri için verilen numarayı ikinci kolon panel düğüm numaralarını üçüncü kolon ise ÇKYB düğümünü belirtmektedir. Dördüncü kolonda denklem 5'e göre panel düğüm alanları ile 0.03 (etkin yayılım değeri) çarpımı sonucu iletim değeri elde edilmiştir.


```

-5001, 200001, 402003, D=(599.65/(TM01+273)**2+1.21E-04*(TM01+273)**(0.667))*S001*F15
-5002, 200002, 402003, D=(599.65/(TM02+273)**2+1.21E-04*(TM02+273)**(0.667))*S002*F15
-5003, 200003, 402003, D=(599.65/(TM03+273)**2+1.21E-04*(TM03+273)**(0.667))*S003*F15
-5004, 200003, 402007, D=(599.65/(TM04+273)**2+1.21E-04*(TM04+273)**(0.667))*S003*F15
-5005, 200004, 402011, D=(599.65/(TM05+273)**2+1.21E-04*(TM05+273)**(0.667))*S004*F15
-5006, 200005, 402011, D=(599.65/(TM06+273)**2+1.21E-04*(TM06+273)**(0.667))*S005*F15
-5007, 200006, 402011, D=(599.65/(TM07+273)**2+1.21E-04*(TM07+273)**(0.667))*S006*F15
-5008, 200007, 402011, D=(599.65/(TM08+273)**2+1.21E-04*(TM08+273)**(0.667))*S007*F15
-5009, 200008, 402011, D=(599.65/(TM09+273)**2+1.21E-04*(TM09+273)**(0.667))*S008*F15
-5010, 200009, 402011, D=(599.65/(TM10+273)**2+1.21E-04*(TM10+273)**(0.667))*S009*F15

```

Şekil 8: Etkin yayılım değerinin sıcaklığa hesaplandığı durumdaki ÇKYB panel düğümleri arasındaki iletim değerlerinin bir kısmı

Bu çalışmada standart MSC SINDA prosedüründen farklı olarak ÇKYB düğümleri ve bu düğümlere karşılık gelen panel düğümleri arası iletim değeri her sıcaklık hesaplamasından sonra denklem 1 ve denklem 2 kullanılarak tekrar hesaplanmıştır. Bu hesaplamada son yinelemede hesaplanan ÇKYB ve panel sıcaklığı okunarak önce T_m değeri daha sonra buna bağlı olarak etkin yayılım ε_{eff} katsayısı hesaplanmıştır. Şekil 8’de yer alan D= ile verilen eşitlik denklem 5’e göre panel düğüm alanları (S00X ile belirtilen parametreler) ile denklem 2 (etkin yayılım değeri) çarpımı sonucu elde edilmiştir. F15 ile belirtilen katsayı ise katman faktörü f_N , alan faktörü f_A ve delik faktörü f_P ’nin çarpım değerini belirtmektedir. (Şekil 8) Bu uygulamada üretici tarafından verilen katman faktörü f_N 15 katman için 1.16 ve delik faktörü f_P 1 olarak kullanılmıştır. Alan faktörü f_A ise denklem 3’ü kullanarak 0.72 m2 ÇKYB için 1.133 hesaplanmıştır. TMXX ile belirtilen parametre ise Şekil 8’deki panel ve ÇKYB düğümleri arasındaki ortalama sıcaklık değerlerini belirtmektedir.

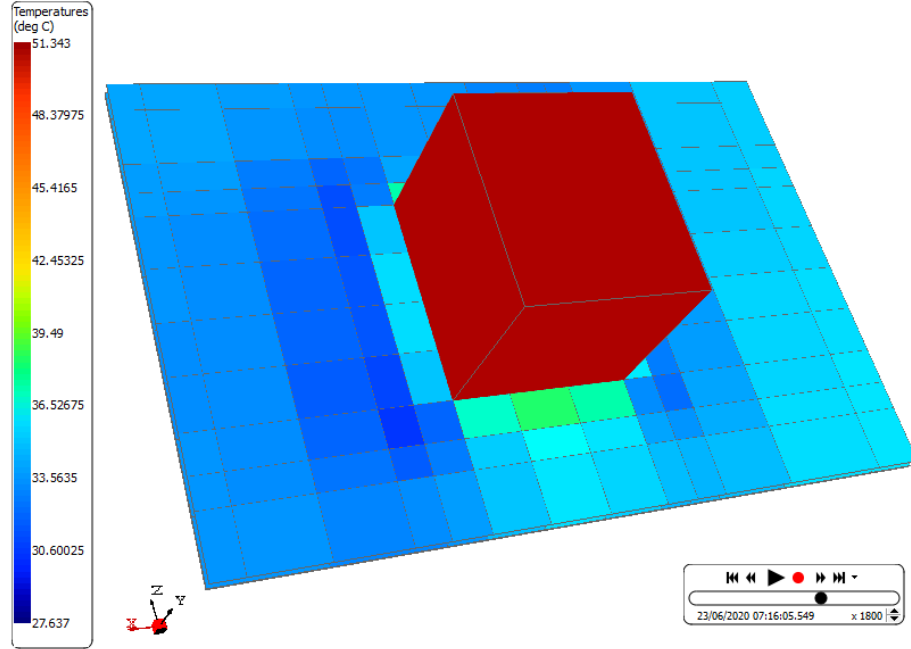
M	TM01 = (0.25*(T200001**2+T402003**2)*(T200001+T402003))**(0.333)
M	TM02 = (0.25*(T200002**2+T402003**2)*(T200002+T402003))**(0.333)
M	TM03 = (0.25*(T200003**2+T402003**2)*(T200003+T402003))**(0.333)
M	TM04 = (0.25*(T200003**2+T402007**2)*(T200003+T402003))**(0.333)
M	TM05 = (0.25*(T200004**2+T402011**2)*(T200004+T402011))**(0.333)
M	TM06 = (0.25*(T200005**2+T402011**2)*(T200005+T402011))**(0.333)
M	TM07 = (0.25*(T200006**2+T402011**2)*(T200006+T402011))**(0.333)
M	TM08 = (0.25*(T200007**2+T402011**2)*(T200007+T402011))**(0.333)
M	TM09 = (0.25*(T200008**2+T402011**2)*(T200008+T402011))**(0.333)
M	TM10 = (0.25*(T200009**2+T402011**2)*(T200009+T402011))**(0.333)

Şekil 9: Etkin yayılım değerinin sıcaklığa hesaplandığı durumdaki ortalama sıcaklıkların bir kısmı

İlk 10 iletim değeri hesaplamasında kullanılan ortalama sıcaklık değerleri Şekil 9 gösterilmektedir. Şekil 9’daki ortalama sıcaklık denklemleri denklem 1’in uyarlanması ile elde edilmiştir.

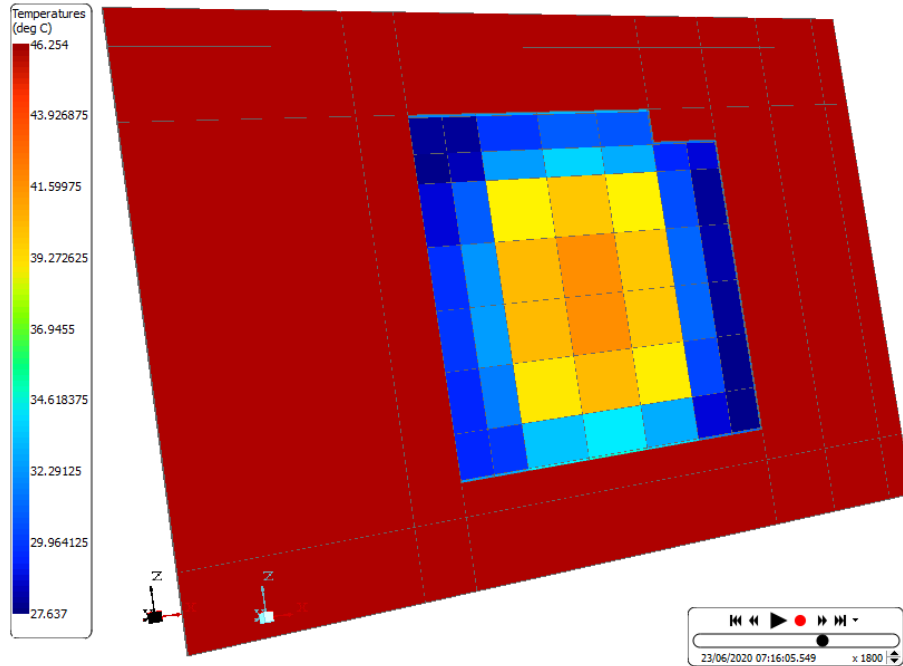
Isıl Analizlerin Gerçekleştirilmesi: Analizler sonucunda ÇKYB'nin sıcaklığa bağlı etkin yayınım değeri ile sabit yayınım değeri kullanımının sıcaklık sonuçlarına etkisi gözlemlenecektir. Aşağıdaki başlıklarda daha önce bahsedilen iki tasarım yaklaşımı da incelenmiştir.

a) Sabit etkin yayınım değeri kullanılması durumu:

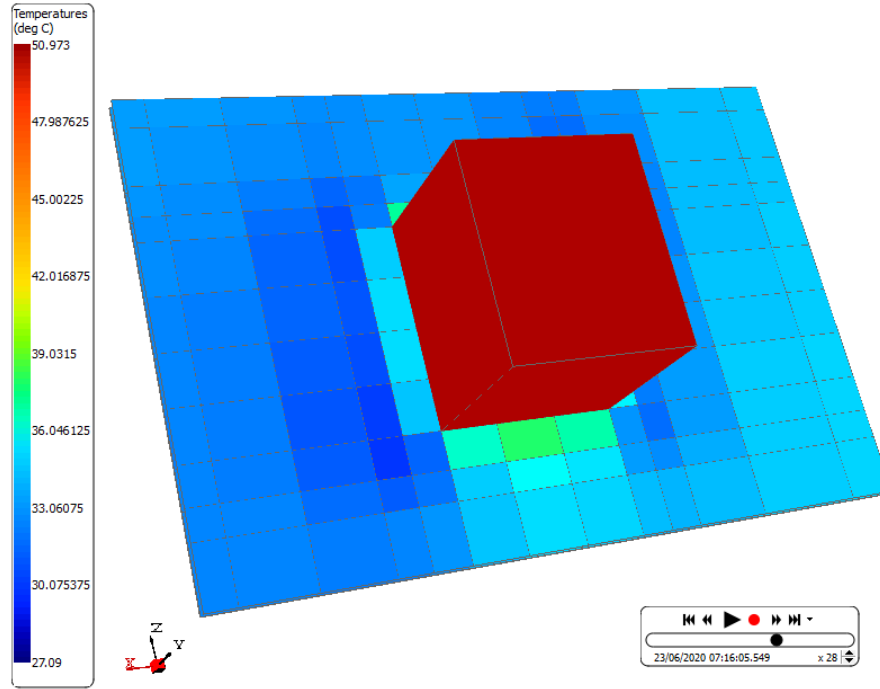


Şekil 10: Etkin yayınım 0.03 olması durumunda 168730. Saniyedeki sıcaklık dağılımı iç taraftan görüş

Bu yöntemde etkin yayınım 0.03 olarak alınmış ve ÇKYB ile panel arasındaki iletim değerleri bir kere hesaplanmıştır. Zamana bağlı gerçekleştirilen analiz süresince aynı iletim değerleri kullanılmıştır. Şekil 10'da bu yaklaşımın kullanıldığı analizdeki panelin iç tarafı Şekil 11'de ise panelin yani ÇKYB'li tarafı gösterilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 içinde 168730. saniyede (2. yörüngenin sonu) alınmıştır.

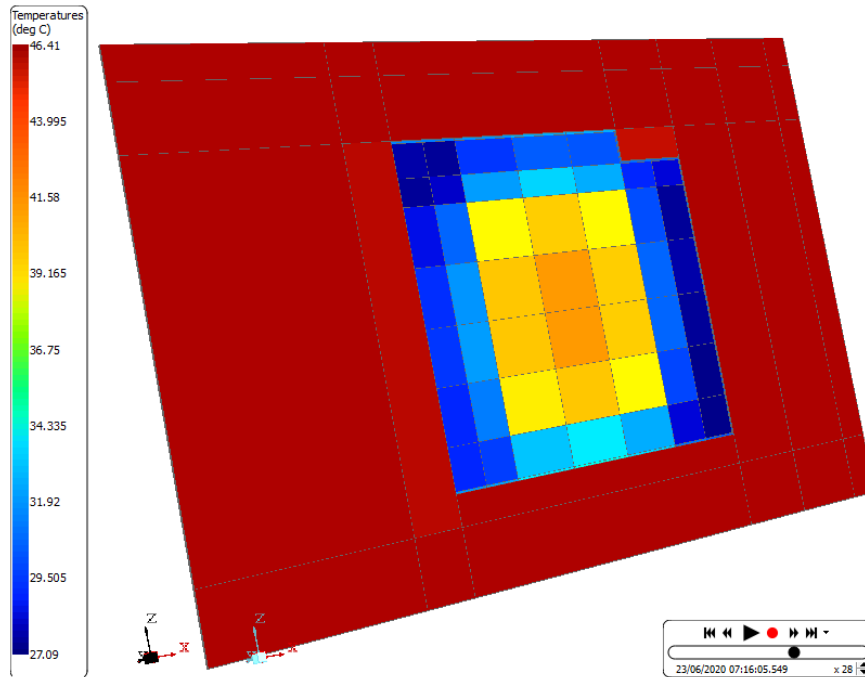


Şekil 11: Etkin yayınım 0.03 durumunda 168730. Saniyedeki sıcaklık dağılımı dış taraftan görüş

a) Sıcaklığa göre değişken etkin yayınım değeri kullanılması durumu:

Şekil 12: Sıcaklık bağlı etkin yayınım durumunda 168730. Saniyedeki sıcaklık dağılımı iç taraftan görüş

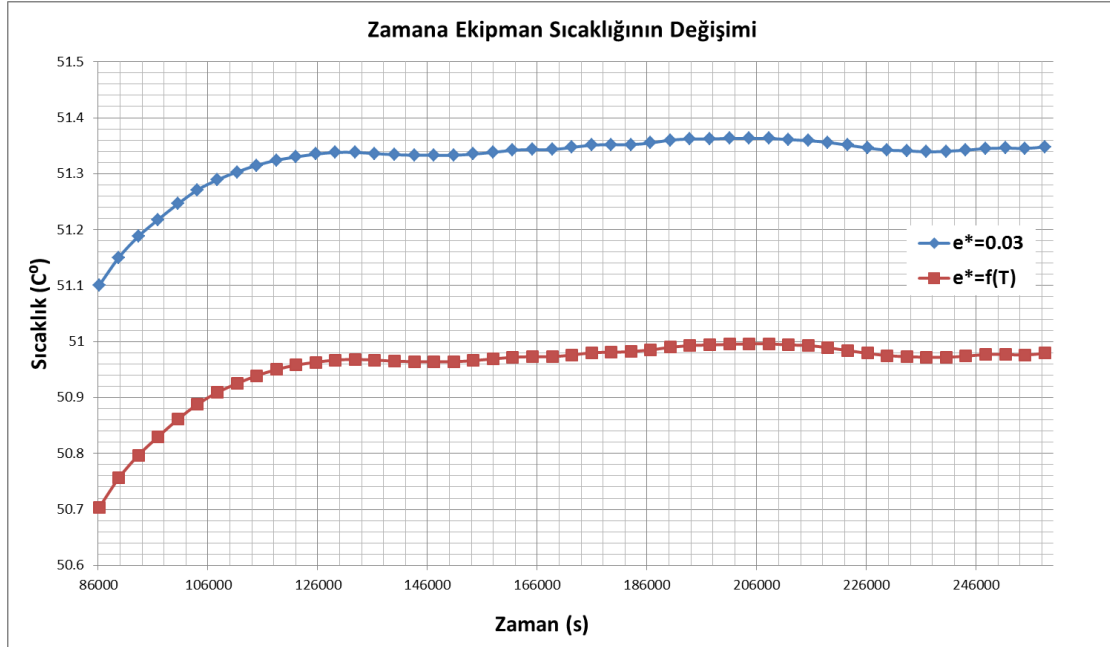
Bu yaklaşımda ÇKYB'nin iletim değeri ortalama sıcak değeri ile güncellenerek hesaplanmaktadır. Her sıcaklık hesaplamasından sonra yeni bir ortalama sıcaklık değeri hesaplanarak yeni bir ÇKYB etkin yayınım değeri hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım ÇKYB ile panel arasındaki iletim değerini her adımda güncellemektedir. Analiz sonuçları bölümünde elde edilen ekipman sıcaklık değerleri, etkin yayınım (ϵ_{eff}) değeri ve seçilen iletim bağı değerlerinin (ÇKYB panel çifti) zamana göre değişimi sunulmuştur.



Şekil 13: Sıcaklık bağlı etkin yayınım durumunda 168730. Saniyedeki sıcaklık dağılımı dış taraftan görüş

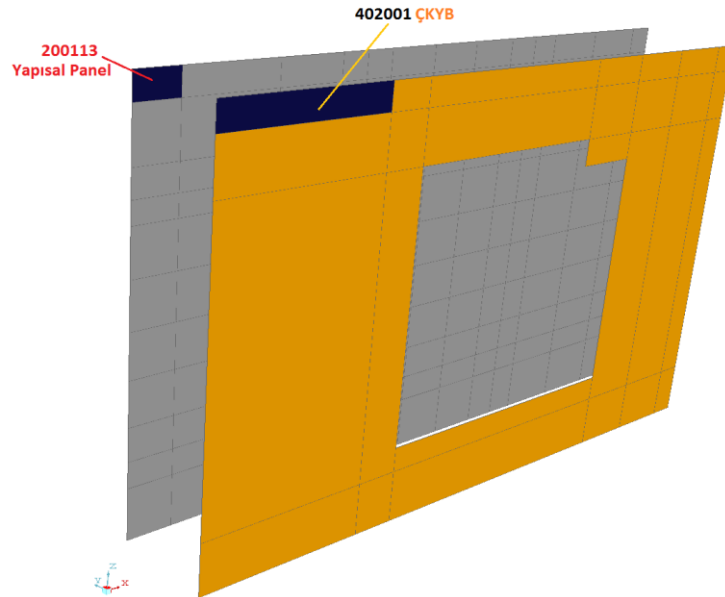
Analiz Sonuçları:

Şekil 10 ve Şekil 12 kıyaslandığında yörüngede aynı zamanda ekipman sıcaklıklarında 0.37 °C'lik bir fark görülmektedir. Şekil 14 incelendiğinde son 2 yörünge boyunca sıcaklığa bağlı etkin yayınımları olan modelin ekipman sıcaklığının düşük olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 11 ve Şekil 13 incelendiğinde sıcaklığa bağlı etkin yayınıma sahip modelin ÇKYB'nin sıcaklığının 4.15 °C daha yüksek olduğu görülmektedir.



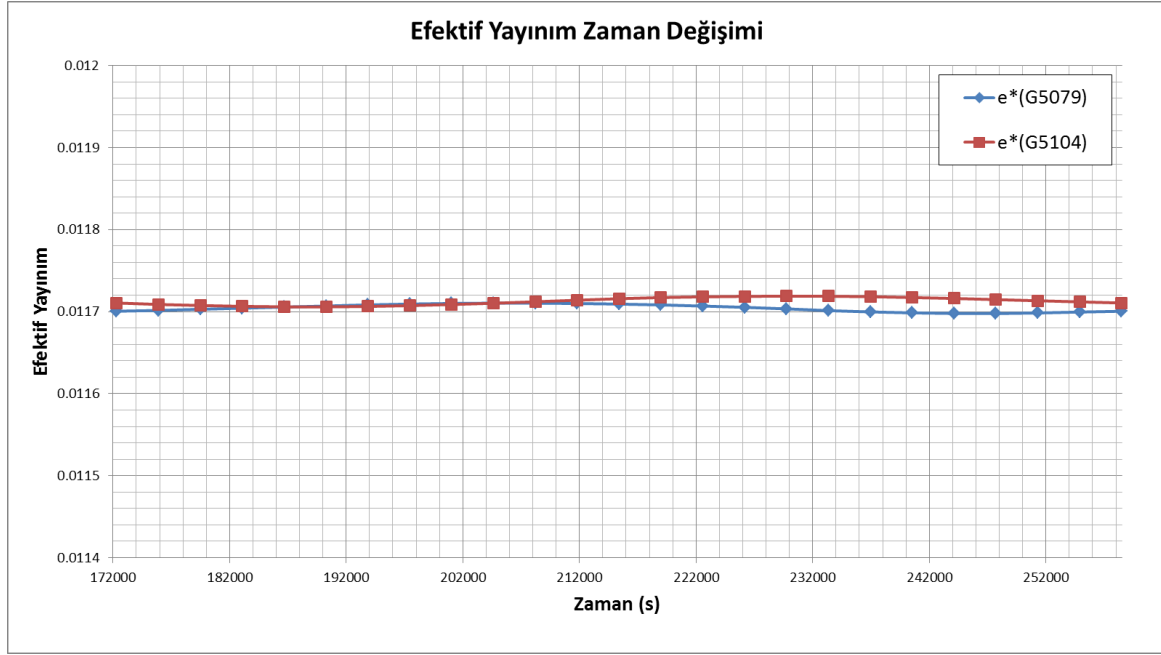
Şekil 14: İki yaklaşım içinde hesaplanmış olan etkin yayınım değerleri

G5079, 200113'nolu panel düğümü ile 402001'nolu ÇKYB düğümü arasındaki iletim değerini, G5104, 200130'nolu panel düğümü ile 402024'nolu ÇKYB düğümü arasındaki iletim değerini belirtmektedir. Şekil 15'te G5079'un yapısal panel ve ÇKYB düğümleri gösterilmektedir.



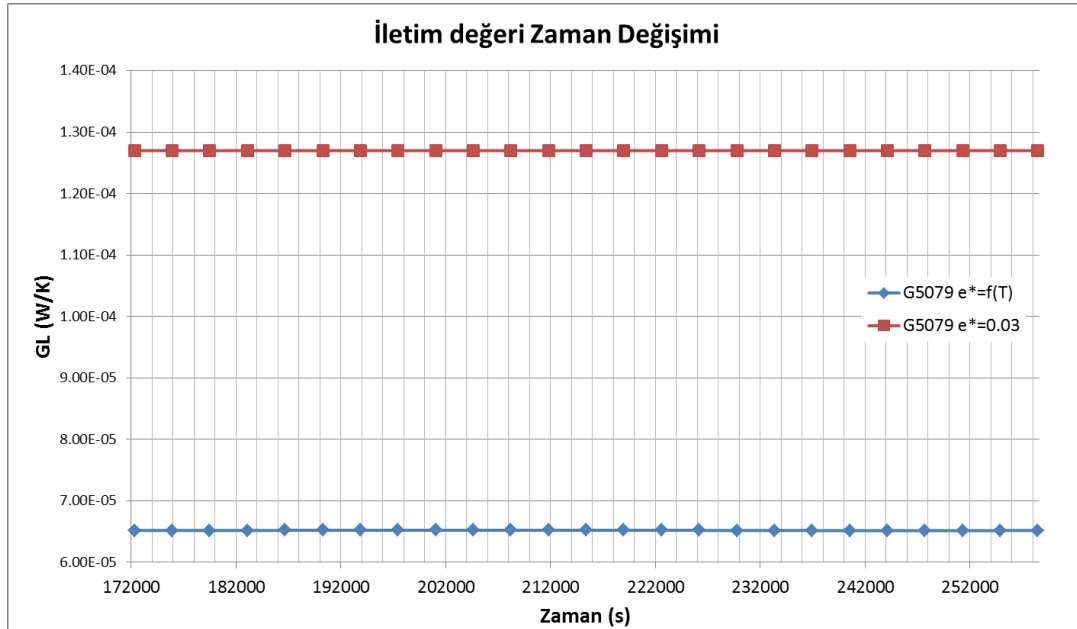
Şekil 15: G5079'nolu iletimin 200113'nolu yapısal panel ve 402001'nolu ÇKYB düğümü

Şekil 16'da G5079 ve G5104 iletim değerleri için hesaplanan etkin yayınım değerleri belirtilmektedir. Hesaplanan değerler 0.03'e göre daha küçük olduğu için uydunun uzay ortamından daha iyi yalıtıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 16: G(5105) ve G(5118) iletim değerleri için hesaplanan etkin yayınım değerlerinin zamanın fonksiyonu olarak gösterilmesi

Şekil 17’de ise iki farklı yaklaşım için hesaplanan aynı iletim değeri G5079 iletim değerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Etkin yayınımın (e^*) 0.03 olduğu durumda G5079 sabit ve 1.27×10^{-4} ’tür. Etkin yayınımın sıcaklığa göre değiştiği durumda ise G5079 6.517×10^{-5} ile 6.525×10^{-5} arasında değişim göstermektedir.



Şekil 17: İki yaklaşım için hesaplanmış G(5079) iletim değerinin zamanın fonksiyonu olarak gösterimi

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yer sabit yörüngede yer alan bir uydunun üzerinde bir adet ekipman bulunan paneli modellenerek panel düğümleri ile ÇKYB düğümleri arasındaki iletim değeri iki farklı yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmadaki sonuçlar göz önüne alındığında ÇKYB etkin yayınım katsayısını (ϵ_{eff}) sabit olarak kullanmanın pratik bir yaklaşım olduğu fakat bu değerin biraz daha düşürülebileceği tavsiye edilmektedir. Etkin yayınım değerinin yüksek olması uydu ile uzay arasındaki ısı transferini azaltarak daha güvenli bir ısı tasarım yapılmasını sağlasa da bu değerin **0.015 – 0.02** mertebelerine çekilmesi daha gerçekçi ve az bütçeli bir ısı kontrol sistemi tasarlanmasına imkân verecektir. Etkin yayınım değerinin düşürülmesi ile uydu ile uzay ortamı arasındaki ısı transferinin azalması sonucunda daha az ısıtıcı gücü ve daha az radyatör malzemesi kullanımı öngörülmektedir. Çalışmada elde edilen etkin yayınım değerleri [Doenecke, 1993] Şekil 2'deki grafikte uyum içerisinde. Hesaplanan etkin yayınımların ortalama değeri 0.012 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 45 ile 50°C ÇKYB sıcaklık aralığındaki değişimlerden dolayı %0.05 mertebelerinde değişim göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] ESA Thermal Design Handbook, ECSS-E-HB-31-01 Part 7A Insulations, 5 December 2011.
- [2] ATAER S. K., 2016. “Haberleşme Uydularında Gömülü Ve Yüzeye Monteli Isı Borularının Isıl Kontrol Açısından Karşılaştırılması”, UHUK-2016-94
- [3] Arabacı S., Yer Gözlem Uydularında Isıl Modelleme ve Analiz Yaklaşımı, UHUK-2014-146
- [4] Gilmore D. G., Spacecraft Thermal Control Handbook, Volume:1 Fundamental Technologies, California: The Aerospace Press, 2002.
- [5] Doenecke, J., "Survey and Evaluation of Multilayer Insulation Heat Transfer Measurements," SAE Technical Paper 932117, 1993.
- [6] SINDA Versiyon 2016 Library Reference Guide, MSC Software, , Kasım 2015.
- [7] SINDA for PATRAN Workshop 8 MLI and Honeycomb Panel, MSC Software, Kasım 2014.
- [8] Modest F., Radiative Heat Transfer, McGraw-Hill International Editions, Singapore, 1993.
- [9] Stimpson, L.D., 1972. “Effects of Overlaps, Stiches and Patches on Multilayer Insulation” AIAA Paper No. 72-285