

SMALL-GEO UYDU KONSEPTİNİN GÜÇ SİSTEMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şendoğan ÇAKMAKÇI¹ ve Çağlar Hakkı ÖZYURT²
Türk Havacılık Uzay Sanayii, Ankara

ÖZET

Bu bildirinin amacı; haberleşme uydusu sektöründe pazar payı giderek artan, elektrikli itki sistemine sahip Small-GEO konseptinde bir uydunun kimyasal itki sistemine sahip geleneksel bir haberleşme uydusu ile güç sistemi boyutları açısından karşılaştırılmasıdır. Her iki konfigürasyon için de yörünge transferi optimizasyonu yapılmış, buradan çıkan sonuçlarla uydusu güç tüketim değerlerini içeren operasyonel senaryolar oluşturulmuştur. Bu bilgiler kullanılarak, gerekli olan güç sistemi kapasiteleri hesaplanmış; sonuçların, pil şarj durumu ve pil şarj/deşarj limit değerleri açısından uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; elektrikli itki sistemine sahip Small-GEO konseptinde bir uydunun güneş paneli ve pilinin, geleneksel bir haberleşme uydusuna göre sırasıyla %6,7 ve %5 oranında daha büyük olduğu görülmüştür.

GİRİŞ

Ticari pazar büyüklüğü açısından uzay sanayiinin en önemli ticari hacmini telekomünikasyon uydularına dayalı hizmetler oluşturmaktadır. İçinde bulunduğumuz yıllarda ekonomik faydaya dayalı yenilikçi ürün arayışı ile ortaya çıkan yeni uydusu konseptlerinden birisi de nispeten küçük hacimli konfigürasyona sahip haberleşme uydularıdır. “Small-GEO” olarak tanımlanan bu uydular, alışılmış haberleşme uydularına göre düşük fırlatma maliyetleri ile dikkat çekmektedir. Bu makalede Small-GEO uydusu konsepti ve güç sistemi ile ilgili genel bilgi verilerek bu konseptteki güç sistemlerinin özellikleri anlatılacak ve kimyasal itki sistemine sahip geleneksel telekomünikasyon uydularının güç sistemleriyle boyutsal olarak karşılaştırması yapılacaktır.

Small-GEO Uydusu Konsepti Tanımı

Small-GEO konseptindeki uydular; geleneksel haberleşme uyduları gibi televizyon yayını, multimedya uygulamaları, mobil ve sabit internet erişimi, güvenli haberleşme gibi görevleri gerçekleştirmek amacıyla Yer Durağan Yörüngede (GEO) görev yapmaktadır. Bu uydusu konseptinin geleneksel uydulara göre temel farkı nispeten azaltılmış hacimli ve kütleli konfigürasyonları nedeniyle fırlatma maliyeti avantajı sağlamalarıdır.

Geleneksel GEO haberleşme uydularında, uydunun transfer yörüngesinden görev yapacağı GEO yörüngeye yükseltilmesi ve GEO yörüngede yörüngecinin belirli aralıklarla düzeltilmesi için kimyasal itki sistemi kullanılmaktadır. Bu makalede incelenecek olan Small-GEO uydusu konseptinde ise bu işlemler elektrikli itki sistemi ile yapılmaktadır. Bu durum, uydusu sistemi seviyesi hacimlerin daraltılmasına yardımcı olmakta ve bu yolla fayda/ağırlık oranını iyileştirebilmektedir. Small-GEO konseptinde uydusu boyutlarının efektif hale indirgenmesiyle, birden fazla sayıda uydunun beraber fırlatılması sağlanmakta ve fırlatma maliyetlerinde de oldukça önemli avantajlar sağlanabilmektedir [Luebberstedt, Bastante, Lau, Beekmans, de Tata, Schneider ve Rathsmann, 2018].

¹ Tasarım Uzman Mühendisi, E-posta: scakmakci@tai.com.tr

² Şef, E-posta: cozyurt@tai.com.tr

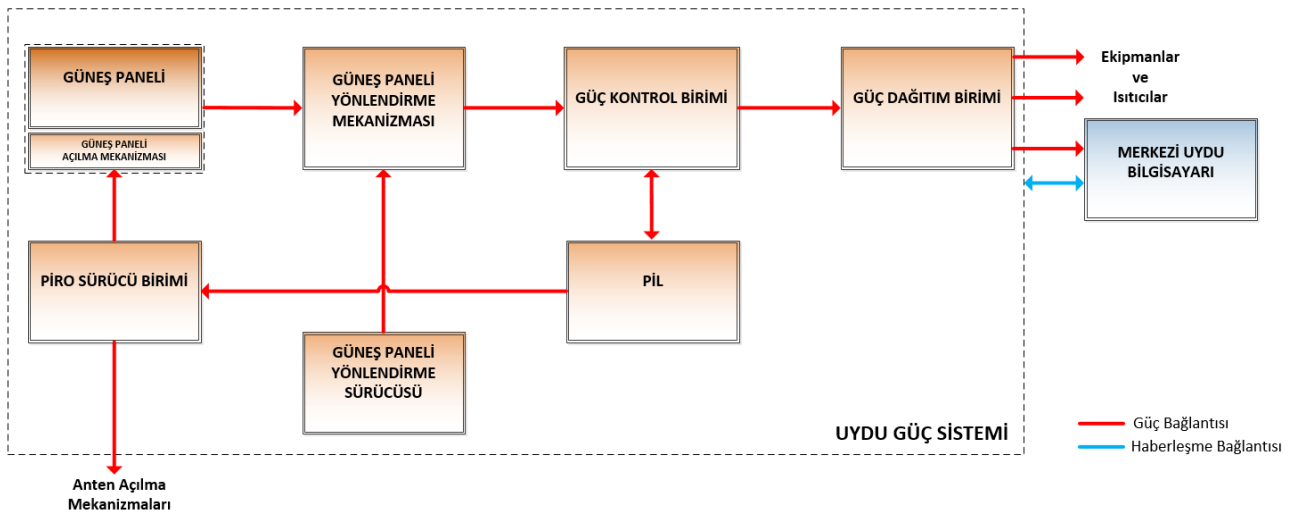
Small-GEO konseptinde olan EUTELSAT 115 West B uydularının ikili fırlatma konfigürasyonu Şekil 1'de verilmiştir [Casaregola,2015].



Şekil 1: EUTELSAT 115 West B Uyduları İkili Fırlatma Konfigürasyonu

Yer Durağan Yörünge (GEO) Uydu Güç Sistemleri

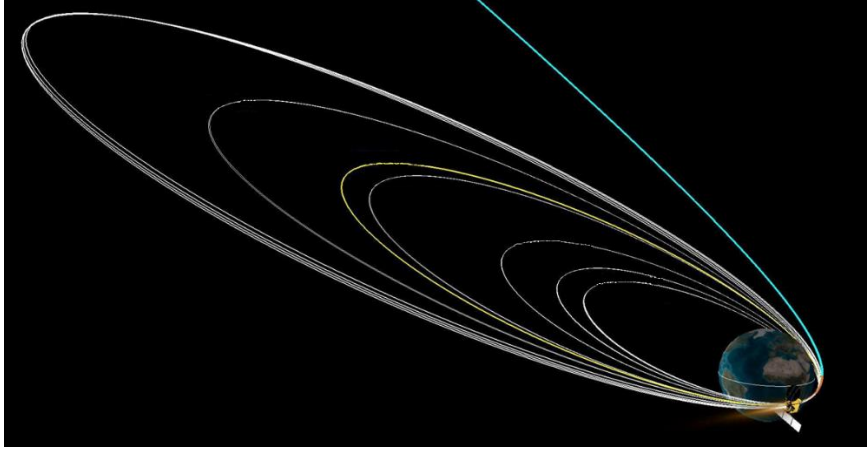
Uydu güç sistemi, uydu ekipmanlarının ihtiyacı olan elektriksel gücün oluşturulması, düzenlenmesi, dağıtımı ve kontrolünü sağlamaktadır. GEO yörüngede görev alan haberleşme uydularının güç sistemi temel mimarisi Şekil 2'de verilmiştir:



Şekil 2: GEO Uydusu Güç Sistemi Temel Mimarisi

Small-GEO Uydu Konseptinin Güç Sistemi Açısından Teknik Farklılıklarına Yönelik Değerlendirmeler

GEO haberleşme uyduları genellikle fırlatıcılar tarafından transfer yörüngesine fırlatılır ve uydular sahip oldukları itki sistemleri yardımıyla yörüngelerini yükselterek görev yapacakları Yer Durağan Yörünge 'ye ulaşırlar. Yörünge Yükseltme İşlemi Şekil 3'te gösterilmiştir:



Şekil 3: Yörünge Yükseltme İşlemi

Uydunun güç ihtiyacı ve bu güç ihtiyacının süresi, uydu güç sisteminin kapasitesini tanımlayan iki temel gereksinimdir. Bir uydunun güç kapasitesini tanımlarken sadece uydunun görev yörüngesinde gerçekleştirdiği faaliyetler değil, görev yörüngesine ulaşip görev yapmaya başlayıncaya kadar geçtiği fazlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Kimyasal itki sistemine sahip GEO uyduları ile elektrikli itki sistemine sahip Small-GEO konseptindeki uyduların güç sistemlerini karşılaştırırken güç sistemi boyutu açısından yörünge yükseltme işlemi belirleyici olabilmektedir. Bunun nedenlerini şu şekilde açıklayabiliriz:

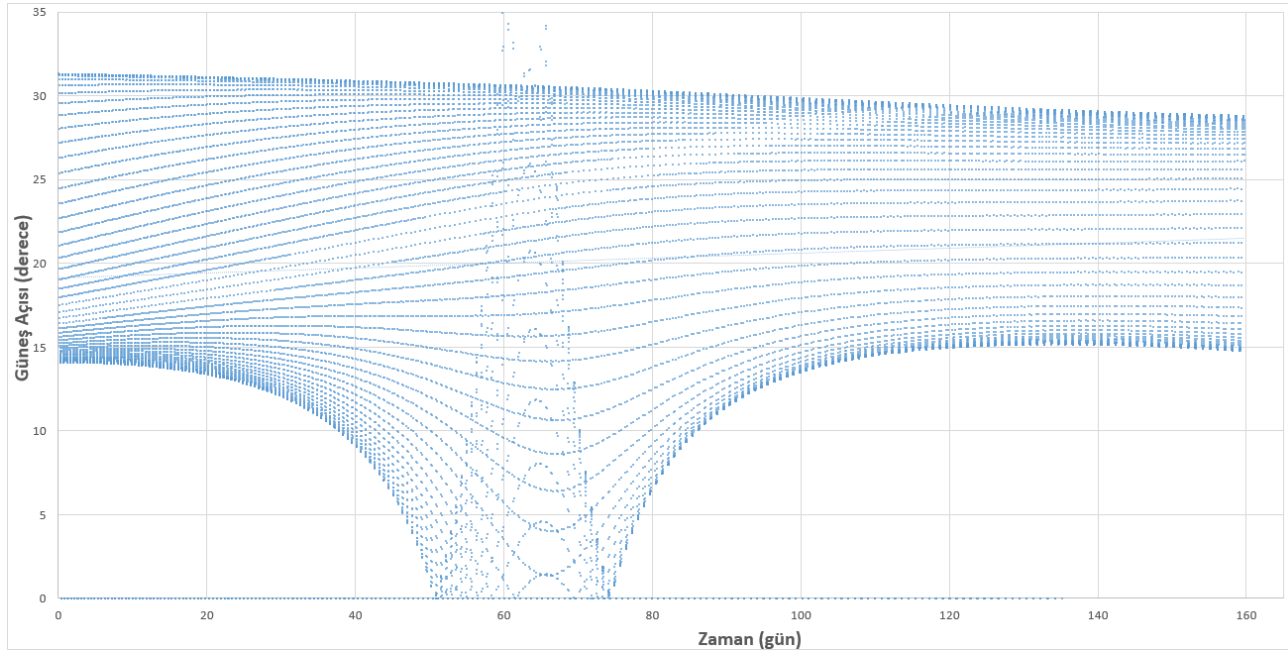
Temsili bir GEO haberleşme uydusu için itki sistemi ortalama güç ihtiyacı; kimyasal itki sistemi kullanıldığında 32-35 Watt (W) seviyelerinde iken, elektrikli itki sistemi kullanıldığında 2000-5300 W seviyelerindedir. Bununla birlikte; yörünge yükseltme işlemi, kimyasal itki sistemi kullanıldığında birkaç günde tamamlanırken elektrikli itki sistemi kullanıldığında bu süre 4-5 ayı bulabilmektedir [Luebberstedt, Bastante, Lau, Beekmans, de Tata, Schneider ve Rathsmann, 2018]. Bu durum ihtiyaç duyulan güç sistemin kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, elektrikli itki sistemi kullanılma durumunda güç sisteminin uzun bir aralık (4-5 ay) boyunca yüksek güç (2000-5300 W) sağlaması gerektiği görülmektedir. Bu nedenle elektrikli itki sistemi kullanılan uyduların ihtiyaç duyduğu güneş panelleri ve pillerin boyutları, kimyasal itki sistemli uydulara oranla daha büyük olabilmektedir.

UYGULAMALAR

Bu çalışmada GEO yörüngede aynı görevi yapan, biri kimyasal diğeri elektriksiz itki sistemine sahip iki farklı haberleşme uydusu; güç sistemi (güneş paneli ve pil) boyutları açısından karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle; uyduların GTO-GEO yörüngeleri arasındaki transfer aşaması ve GEO yörüngedeki görev aşaması için, uydu güç tüketim değerlerini içeren operasyon senaryoları oluşturulmuştur. Aynı görev kapasitesindeki iki uydu karşılaştırıldığı için, uydu güç tüketimleri açısından itki sistemleri dışındaki sistemlerin güç tüketimi her iki konfigürasyon için aynı olarak kabul edilmiştir. Sonrasında, güç sistemi boyutlandırılması yapılmış ve çıkan sonuçlar analiz edilmiştir.

Elektrikli İtkili Uydu Konfigürasyonu (EİUK) için Güç Sistemi Boyutlandırma Çalışması

Elektrikli itki aracılığıyla yapılan yörünge transferinin optimizasyonu Mipelec yazılımı aracılığı ile yapılmıştır. Güneş açısı analizi için MATLAB programında oluşturulan araç kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda uydunun transfer süresi ve bu süre boyunca güneş panellerinin gördüğü güneş açısı elde edilmiştir. Şekil 4, elektrikli itki transferi süresince güneş ışınlarının panellere geliş açısını göstermektedir.



Şekil 4: Elektrikli İtici Transferi için Zamana Bağlı Güneş Açısı

Uydunun fırlatıcının bıraktığı yörüngeden, görev yapacağı GEO yörüngeye transferi Şekil 4'te görüldüğü gibi yaklaşık olarak 160 gün sürmektedir. Bu süre içerisinde güneş panellerinin gördüğü güneş açısının (θ) ortalama değeri 19,9 derecedir. Uydunun yörünge yükseltme aşamasının tamamı süresince paneller toplam 2,87 gün karanlıkta kalmaktadır ($\theta=90^\circ$). Fakat bu süre 160 günlük yörünge yükseltme süresi içerisinde oldukça azdır. Şekil 4'ün okunabilirliğinin daha iyi olması için karanlık sürelerin olduğu bölgeler şekilde gösterilmemiştir.

Güç sistemi boyutlandırması için kullanılan temel girdiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: EİUK Girdileri

Girdi Türü	Değer
Transfer Aşaması Elektrikli İtici Sistemi Güç Tüketim Değeri	5000 W
Yörünge Düzeltme Aşaması Elektrikli İtici Sistemi Güç Tüketim Değeri	1500 W
Transfer Aşaması Ortalama Uydu Güç Tüketimi ¹	3000 W
Yörünge Aşaması Ortalama Uydu Güç Tüketimi ²	5965 W
Güneş Paneli Regülatörü Verimi ³	0,99
Pil Şarj Düzenleyici Verimi ³	0,96
Pil Deşarj Düzenleyici Verimi ³	0,96

¹ Elektrikli İtici sistemi dışındaki tüm ekipmanların ortalama güç tüketim değeridir.

² Yörünge düzeltmeleri için yapılan itici ateşlemeleri dahildir.

³ Thales Alenia Space firmasının PCU NG ürünü referans alınmıştır.

Oluşturulan operasyonel senaryo ve Tablo 1'deki bilgiler, güneş paneli ve pil boyutlandırması için girdi olarak kullanılmıştır.

Güneş panellerinin çıkışında görülen güç değeri denklem [1]'deki gibidir [Zheng ve Chen,2012]:

$$P = P_{max} \cdot I \cdot \cos \theta \quad [1]$$

P: Güneş panellerinin çıkışında görülen anlık güç değeri

P_{max} : Güneş panellerinin güç kapasitesi

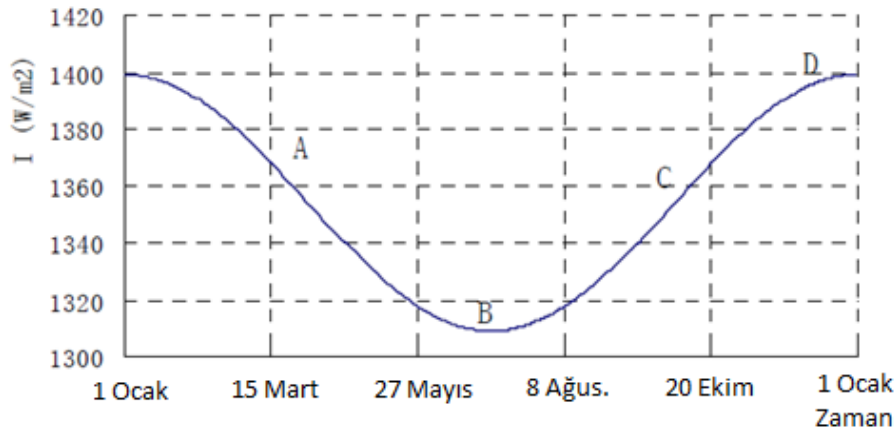
I: Güneş akısı katsayısı

θ : Güneş ışınlarının geliş açısı

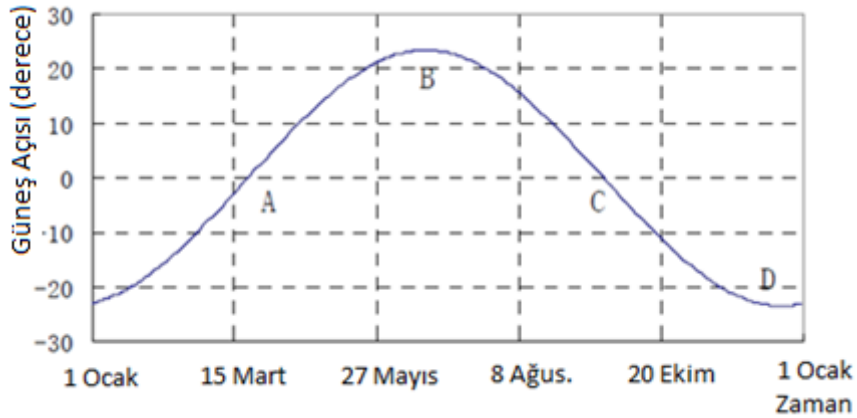
[1] numaralı denklem kullanılarak transfer aşaması için gerekli güneş paneli kapasitesi 8840 W olarak hesaplanmıştır.

Transfer aşaması sonrasında uydu GEO yörüngede görev yaptığı ve bu aşamada uydu görev senaryosu, güneş açıları ve akıları farklı olduğu için GEO yörüngedeki görev aşaması için de ayrı bir boyutlandırma analizi yapılması gerekmektedir.

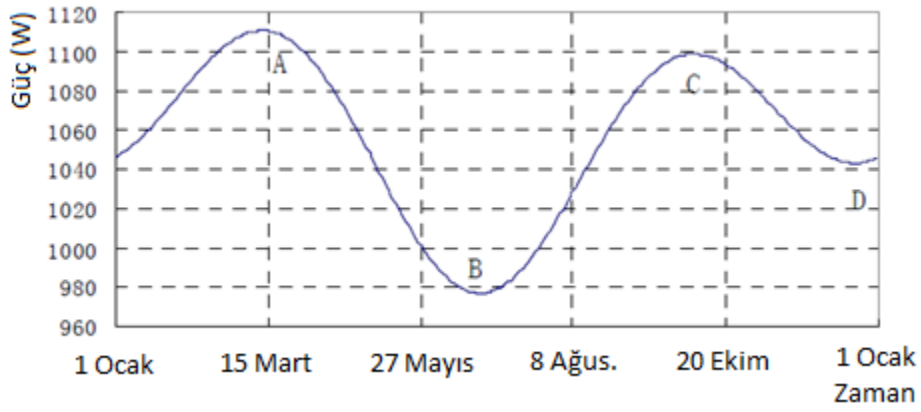
GEO yörüngede görev yapan bir uydunun bir yıl boyunca güneş akısı, güneş açısı ve güneş panelinin çıkış gücündeki değişim; sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir [Zheng ve Chen,2012]:



Şekil 5: Bir Yıl İçerisindeki Güneş Akısı Değişimi



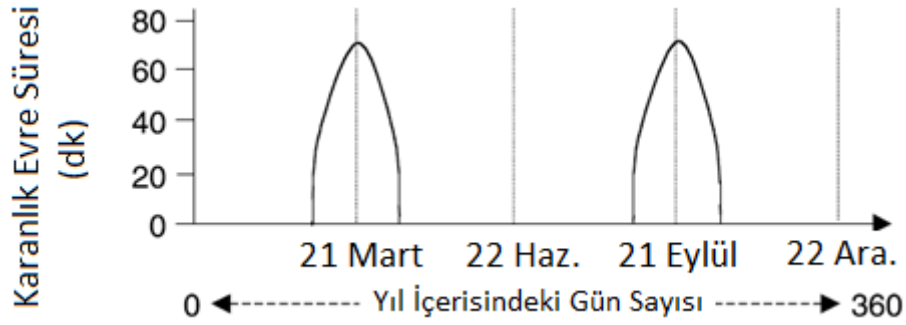
Şekil 6: Bir Yıl İçerisindeki Güneş Açısı Değişimi



Şekil 7: Bir Yıl İçerisinde Güneş Panelinin Çıkış Gücündeki Değişim

Şekil 7’de görüldüğü gibi yaz gündönümünde (22 Haziran) güneş paneli gücü en az seviyeye düşmektedir. Dolayısıyla bu dönem, güneş paneli boyutlandırması açısından en zorlayıcı senaryolardan biridir.

Öte yandan GEO yörüngede yılın belirli dönemlerinde güneş panelleri karanlıkta kalmaktadır. Bir yörünge periyodu (24 saat) içerisinde yaşanan karanlık evre süresinin yıl içerisindeki değişimi Şekil 8’de gösterilmiştir [Patel,2005]:



Şekil 8: Bir Yörünge Periyodu İçerisinde Yaşanan Karanlık Evre Süresinin Yıl İçerisindeki Değişimi

Şekil 8’de görüldüğü gibi en uzun karanlık evre süreleri ekinoks dönemlerinde (21 Mart ve 21 Eylül) yaşanmakta ve karanlık evre süresi 72 dakika olmaktadır. Güneş panellerinin en uzun süre güneş görmediği ve dolayısıyla pil üzerinden en uzun süre enerji sağlandığı durum olmasından dolayı pil ve güneş paneli boyutlandırması açısından en zorlayıcı senaryolardan biri de budur.

Dolayısıyla, görev aşaması için güneş paneli ve pil boyutlandırma analizinde yukarıda belirtilen her iki evre de (yaz gündönümü ve ekinoks) göz önünde bulundurulmalıdır.

Ekinoks aşaması için boyutlandırma analizi: Bu evrede 72 dakikalık karanlık evre boyunca güneş panelleri enerji üretilmediği için ihtiyaç pil üzerinden sağlanmaktadır. Öte yandan uydunun birincil güç kaynağı güneş panelleridir ve karanlık evrede pilin sağladığı bu enerjinin aydınlık evrede güneş panelleri tarafından pile aktarılması gerekmektedir.

Şekil 2’de tanımlanan güç sistemi mimarisinde pil üzerinden enerji aktarımı Güç Düzenleme Birimi ekipmanı içerisindeki Pil Deşarj Düzenleyicileri (PDD) üzerinden sağlanmaktadır. Ayrıca karanlık evre sonunda da yine aynı ekipman içerisindeki Pil Şarj Düzenleyicileri (PŞD) üzerinden uydu pili şarj edilmektedir. Karanlık evredeki enerji ihtiyacını güneş panelleri açısından değerlendirdiğimizde hem deşarj düzenleyicisi hem de şarj düzenleyicisi verim değerlerinden kaynaklanan kayıpları da güneş panellerinin sağlaması gerekmektedir.

GEO yörüngede karanlık evre oluşumu 24 saatlik aralıklarla meydana gelmektedir. Bu durumda uydunun bir yörünge periyodunu 24 saat olarak kabul edebiliriz. Ekinoks aşamasında karanlık evre süresi 72 dakikadır. Ayrıca her yörünge periyodunda da 1 saat elektrikli itki ateşlemesi

yapılmaktadır ve bu aşamada güç tüketimi önemli miktarda arttığı için güneş panellerinin bu süre içerisinde pili şarj etme gereksinimi yoktur. Karanlık evre ve itki ateşlemesi sürelerine marj ekleyerek güneş panellerinin pili şarj edemediği zamanı 3 saat olarak düşünebiliriz. Dolayısıyla panellerin, bir yörünge periyodu süresince 21 saat içerisinde pili şarj etmesi gerekmektedir.

Güç üretimi açısından baktığımızda en kötü ekinoks evresi sonbahar ekinoksudur. Bu aşamada ışık akısı 0.995 *Air Mass Zero* (AM0), güneş açısı da 0°'dir [Patel,2005]. Bu değerleri kullandığımızda GEO yörüngede ekinoks evresi için uydu ömrü sonunda gerekli olan güneş paneli gücü 6423 W olmaktadır.

Pil, karanlık evrede güneş panellerinin güç üretmediği veya aydınlık evrede güneş paneli gücünün yetersiz kaldığı durumlarda uyduya enerji sağlamaktadır. Pil boyutlandırmasının analizi için öncelikle karanlık evre durumu incelenmelidir. Pil deşarj düzenleyicilerinin verimini göz önünde bulundurduğumuzda pilin sağlaması gereken enerji denklem [2]'deki gibidir:

$$E_{pil} = E_{kar} / \eta_{PDD} \quad [2]$$

E_{pil} : Pilin bir yörünge süresince sağlaması gereken enerji

E_{kar} : Karanlık evre boyunca uydu ekipmanlarının ihtiyacı olan toplam enerji

η_{PDD} : Pil Deşarj Düzenleyici verim değeri

Uyduların görev yaptığı yörünge özelliği ve 15 yıllık görev ömrü göz önünde bulundurularak GEO haberleşme uydularının deşarj derinliği %80'i geçmeyecek şekilde tasarım yapılmaktadır [Semerle,1998]. Bu durumda pil kapasitesi denklem [3]'teki gibi olmalıdır:

$$K_{pil} = \frac{E_{pil}}{DoD} = E_{pil} / 0,8 \quad [3]$$

K_{pil} : Pil Kapasitesi

DoD : Pilin deşarj derinliği (*Depth of Discharge*)

Bu hesabı yaptığımızda gerekli pil kapasitesi 9173 Watt.saat (W.s) olmaktadır. Güneş panelinde olduğu gibi bu değer pilin 15 yıllık uydu ömrü boyunca gerçekleşen kayıplar sonrasında sahip olması gereken kapasitedir. Bu kayıpları göz önünde bulundurduğumuzda pilin ömür başında sahip olması gereken kapasite değeri 11217 W.s olmaktadır.

Pil boyutlandırması için SAFT firmasının VES180 pil hücresinin değerleri kullanılmıştır. 11217 W.s'lik enerji ihtiyacını karşılamak için VES180 pil hücrelerinden oluşan 11340 W.s'lik bir pil kullanılması gerekmektedir. Seçtiğimiz pilin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2: EİUK için Seçilen Pilin Özellikleri

Özellik	Değer
Kapasite	11340 W.s
Seri Hücre Sayısı	21*
Pil Maksimum Gerilimi	86,1 V
Pil Ortalama Gerilimi	75,6 V
Kapasite	150 Amper.saat (A.s)

*Pil kapasitesini en uygun seviyede tutmak için seri hücre sayısı 21 olarak seçilmiştir. 86,1 V'luk maksimum pil gerilimi 100 V'luk düzenli bara tipi güç sistemi için uygundur.

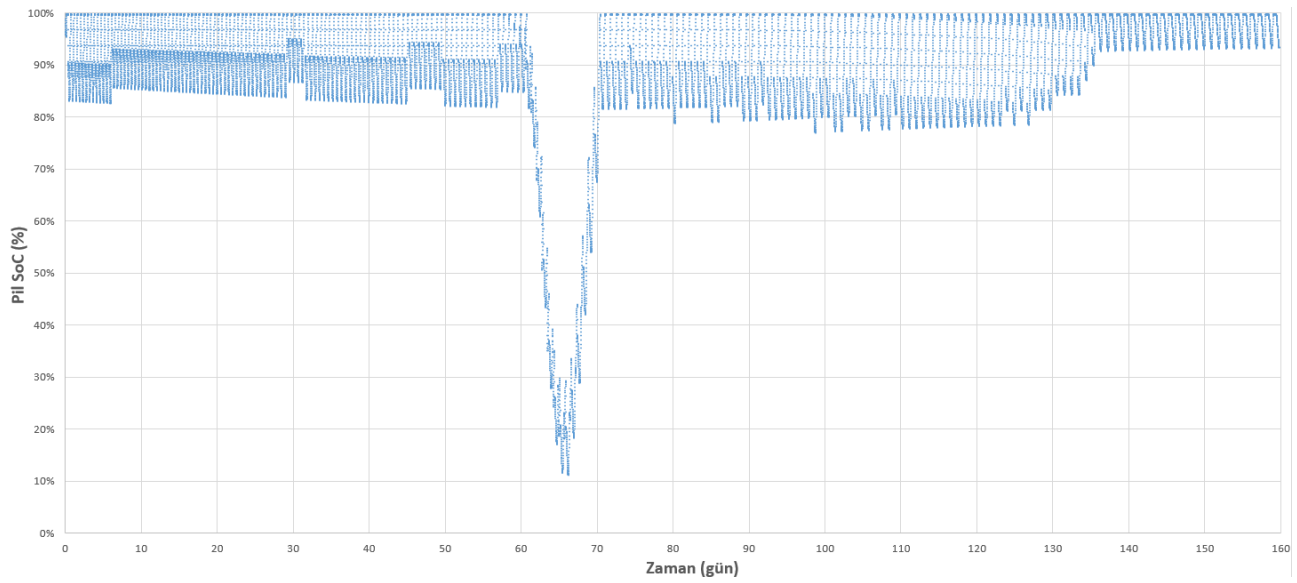
Yaz gündönümü aşaması için boyutlandırma analizi: Şekil 8'de görüldüğü gibi bu dönemde karanlık evre yaşanmamaktadır. Yani elektrikli itki ateşlemeleri dışında pil üzerinden enerji sağlanmamakta, dolayısıyla karanlık evre kaynaklı pil şarj/deşarj kayıpları olmamaktadır. Öte yandan ışık akısı değeri 0.967 AM0, güneş açısı değeri de 23.45°'dir [Patel,2005]. Bu bilgiler doğrultusunda hesaplama yaptığımızda ömür sonundaki güneş paneli boyutu 6844 W olmaktadır. Ekinoksta ortaya çıkan panel kapasitesiyle karşılaştırdığımızda (6423 W) yaz gündönümü ihtiyacı daha fazladır ve boyutlandırma için bu değer kullanmalıdır.

GEO uyduları ortalama 15 yıl boyunca görev yapmaktadır. Güneş panelleri bu süre zarfında radyasyon, mikrometeorit çarpmaları gibi etkiler nedeniyle kapasite kaybına uğramaktadır.

Analizini yaptığımız uydunun güneş panellerinin 15 yıllık ömrü boyunca uğradığı kayıplar sonrasında ömür sonunda ihtiyaç duyulan çıkış gücünü (6844 W) sağlayabilmesi gerekmektedir. Panellerin radyasyon nedeniyle 15 yıl boyunca uğradığı kaybı %20 olarak alabiliriz [Patel,2005]. Bu durumda ömür başında güneş panellerinin sahip olması gereken güç kapasitesi 8556 W'dır.

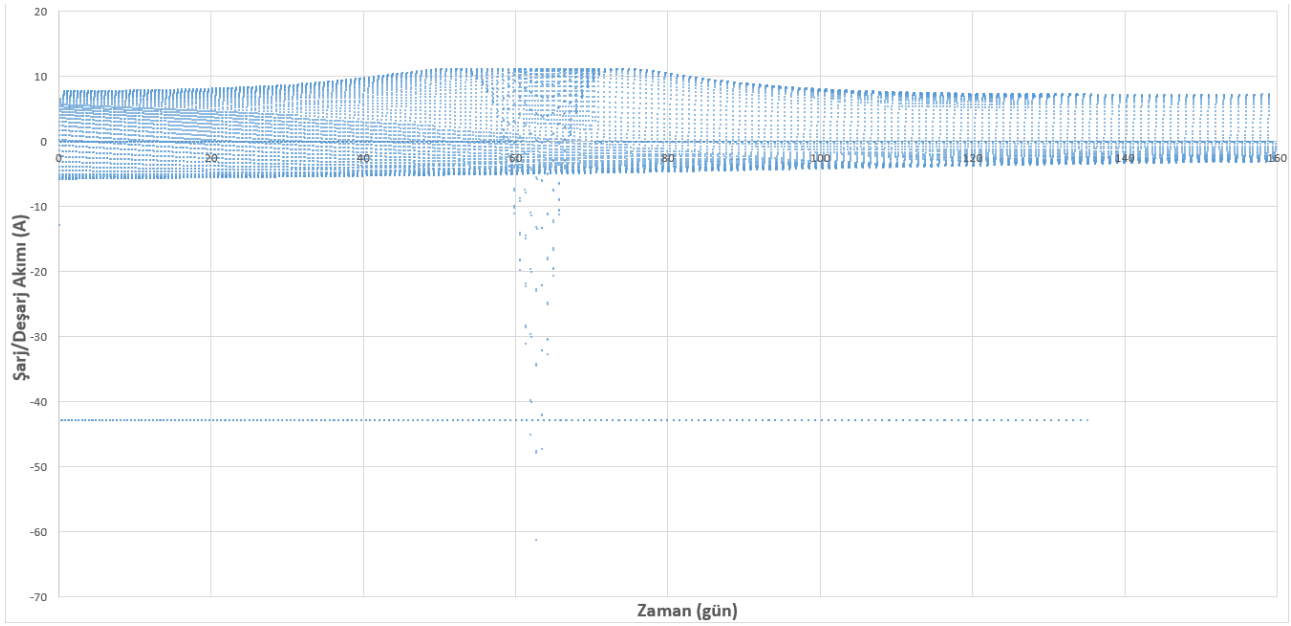
Bu değeri transfer aşaması için bulduğumuz değerle karşılaştırdığımızda transfer aşamasına göre yapılan analizdeki değerin (8840 W) daha büyük olduğunu görmekteyiz. Dolayısıyla güç sistemi boyutlandırma analizi, güneş paneli kapasite ihtiyacının daha fazla olduğu transfer aşamasına göre yapılmalıdır.

Transfer aşaması için bulduğumuz değeri kullanıp analiz yaptığımızda transfer süreci bitmeden pilin tamamen boşaldığını görmekteyiz. Li-Ion pillerin zarar görmemesi için tamamen boşalmaması gerekmektedir. Pilin tamamen boşalmasını engellemek için güneş paneli boyutunu büyütebiliriz. Güneş paneli boyutunu 8975 W olarak seçtiğimizde Şekil 9'da görüldüğü gibi pilin tamamen boşalmadan şarj ve deşarj olması sağlanmaktadır:



Şekil 9: Nihai Boyutlandırma Analizine Göre Transfer Aşamasındaki Pil Şarj Durumu (EİUK)

Pil açısından bir diğer önemli etmen şarj ve deşarj akım limitlerinin aşılmasıdır. SAFT VES180 pil hücrelerinin teknik dokümanında şarj ve deşarj akımları için tavsiye edilen değerler sırasıyla C/10 ve C/1.5'tir. Tablo 2'de görüldüğü gibi seçilen pilin kapasitesi 150 A.s'tir. Bu durumda şarj ve deşarj akımları için tavsiye edilen limit değerler sırasıyla 15 A ve 100 A olmaktadır. Seçtiğimiz pilin uydu transfer aşamasında maruz kaldığı şarj/deşarj akımlarını incelediğimizde (Şekil 10) değerlerin bu aralık içerisinde olduğunu görmekteyiz.



Şekil 10: Transfer Aşamasındaki Pil Şarj/Deşarj Akımları (EİUK)*

*Grafikte şarj akımları pozitif, deşarj akımları negatif olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak; EİUK için yapılan analiz, ömür başındaki güneş paneli kapasitesinin 8975 W ve pil kapasitesinin ise 11340 W.s olması gerektiğini göstermektedir.

Kimyasal İtkili Uydu Konfigürasyonu (KİUK) için Güç Sistemi Boyutlandırma Çalışması

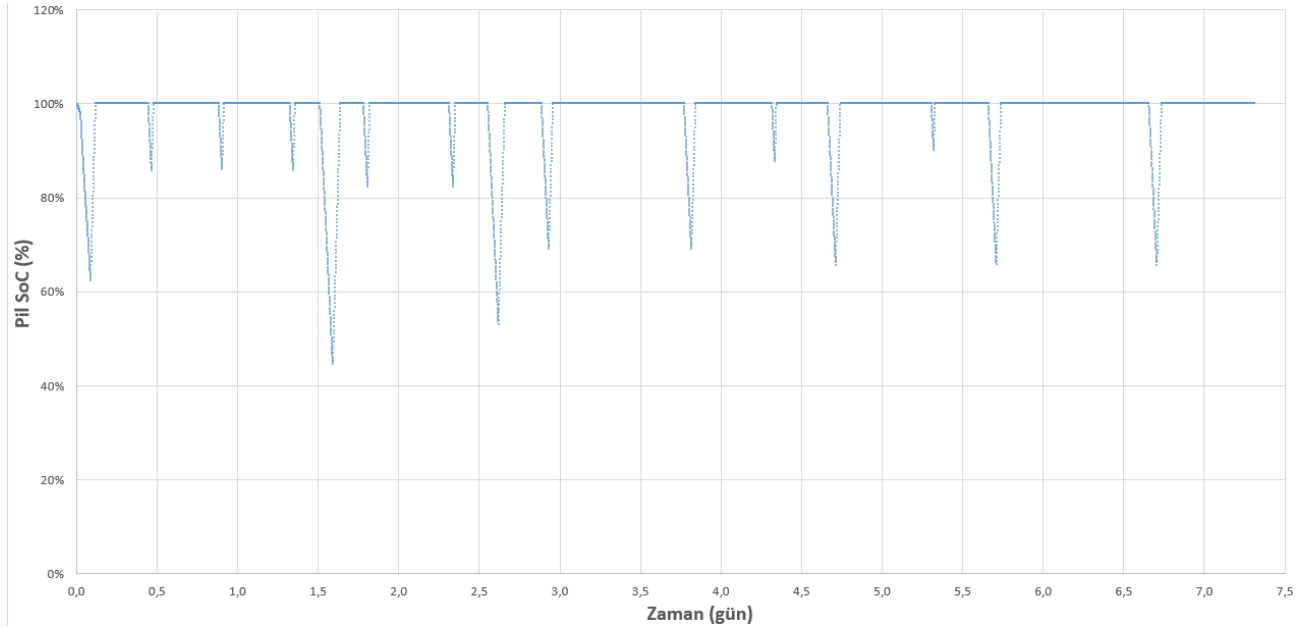
EİUK'da izlenen adımlar aynen uygulanmıştır. Yapılan analiz sonrasında yörünge transfer süresinin yaklaşık 7 gün olduğu görülmüştür. KİUK için yapılan güç sistemi boyutlandırması sonucunda ömür başındaki güneş paneli kapasitesi 8415 W, pil kapasitesi ise 10800 W.s olarak bulunmuştur. Seçilen pilin özellikleri Tablo 3'te verilmiştir:

Tablo 3: KİUK için Seçilen Pilin Özellikleri

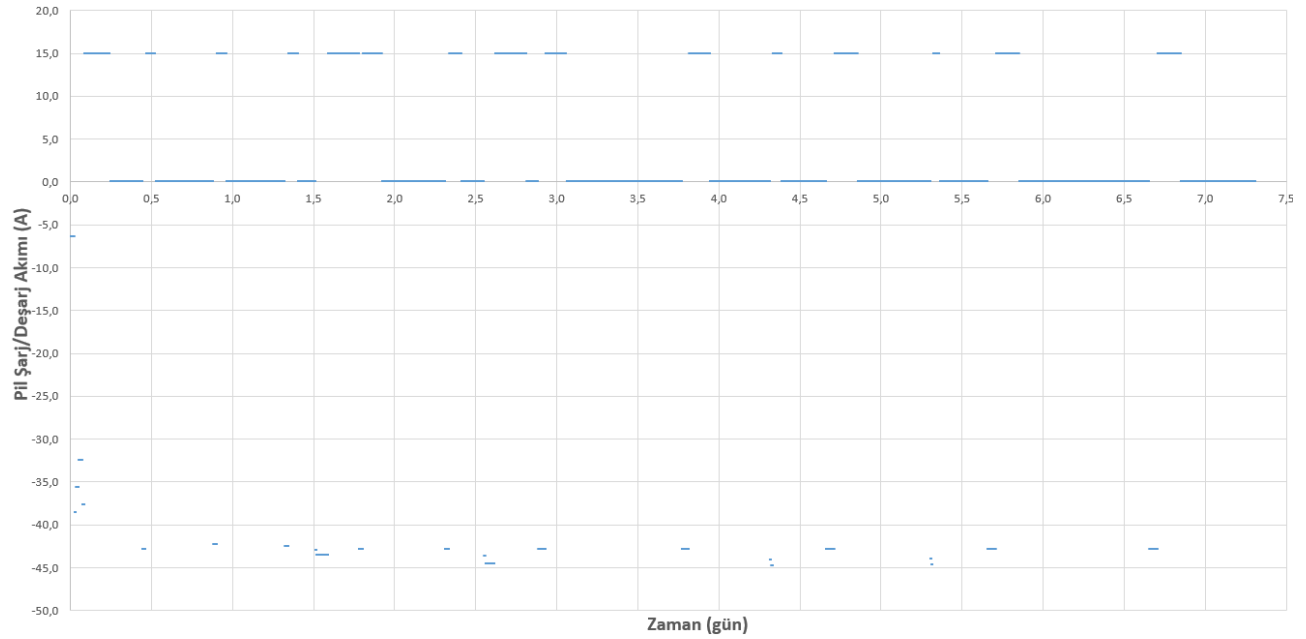
Özellik	Değer
Kapasite	10800 W.s
Seri Hücre Sayısı	20*
Pil Maksimum Gerilimi	82 Volt
Pil Ortalama Gerilimi	72 Volt
Kapasite	150 A.s

*Pil kapasitesini en uygun seviyede tutmak için seri hücre sayısı 20 olarak seçilmiştir. 82 V'luk maksimum pil gerilimi 100 V'luk düzenli bara tipi güç sistemi için uygundur.

Yörünge transferi aşamasındaki pil şarj durumu ve pil şarj/deşarj akımlarının değişimi Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi pil şarj durumu ve şarj/deşarj akımları kabul edilir sınırlar içerisinde.



Şekil 11: Nihai Boyutlandırma Analizine Göre Transfer Aşamasındaki Pil Şarj Durumu (KİUK)



Şekil 12: Transfer Aşamasındaki Pil Şarj/Deşarj Akımları (KİUK)*

*Grafikte şarj akımları pozitif,deşarj akımları negatif olarak gösterilmiştir.

Çalışmada Yapılan Kabuller

EİUK için oluşturulan senaryoda, transfer aşaması sırasında aydınlık yörüngede sürekli itki ateşlemesi yapıldığı, karanlık evrede ise yapılmadığı varsayılmıştır. KİUK için transfer aşamasında aydınlık evrede güneş ışınlarının güneş panellerine sürekli dik olarak geldiği kabulü yapılmıştır. Ayrıca; her iki konfigürasyonda da transfer ve yörünge aşamalarındaki ortalama güneş açısı kosinüs değerleri birbirine yakın olduğu için (EİUK_Transfer:0,90; KİUK_Transfer:0,92; Yörünge_Aşaması: 0,92) güneş paneli sıcaklığının panel güç üretimine etkisi, analize dâhil edilmemiştir. Transfer aşamalarındaki ışık akısı değerleri, yıllık ortalama değer olan 1 AM0 olarak alınmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada aynı görev kapasitesindeki Small-GEO konseptinde bir uydu ile geleneksel bir uydunun güç sistemleri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her iki konfigürasyon için ortaya çıkan güç sistemi boyutları Tablo 4'te verilmiştir:

Tablo 4: KİUK ve EİUK Güç Sistemi Boyut Karşılaştırılması

	Güneş Paneli Kapasitesi (W)	Pil Kapasitesi (W.s)
Geleneksel Uydu (KİUK)	8415	10800
Small-GEO Konseptinde Uydu (EİUK)	8975	11340

Aynı görevi gerçekleştirmek için Small-GEO konseptinde bir uydu kullanıldığında Güneş Paneli boyutunun %6,7, pil boyutunun ise %5 arttığını görmekteyiz. Her ne kadar transfer aşamasında elektrikli itkinin güç tüketimi fazla gibi görünse de; yörüngede aşamasındaki güç ihtiyacının da fazla oluşu ve uydunun ömrü boyunca pil ve güneş panelinin kapasite kaybetmesi nedeniyle ömür başındaki kapasitelerin büyümesi, KİUK ile EİUK arasındaki güç sistemi boyut farkının fazla olmasını önlemektedir. Aradaki farkın az olmasının bir diğer nedeni de uydu güneş panellerinin transfer aşamasında güneş takibi yapacak şekilde analiz yapılmasıdır. Güneş panellerinin transfer aşamasında güneş takibi yapmadığı bir konfigürasyonda KİUK ve EİUK arasındaki güç sistemi boyut farkı daha fazla olacaktır. İleriye dönük çalışma kapsamında, transfer aşamasında panellerin güneşe yönlendirilmediği durum için de ayrı bir analiz yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bildirinin hazırlanma aşamasındaki katkılarından dolayı Sn. Kağan Ataalp, Mehmet Can Ünlü, Görkem Oktay ve Ahmet Özkan'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Casaregola, C. , 2015. 34th International Electric Propulsion Conference and 6th Nano-satellite Symposium, Hyogo-Kobe, Japonya, 4-10 Temmuz
- Luebberstedt, H., Bastante, J., C., Lau, M., Beekmans, S., de Tata, M., Schneider, A. ve Rathsmann, P., 2018. Electra-Full Electric Propulsion Satellite Platform for GEO Missions, Ocak
- Patel, M. , Spacecraft Power Systems, 2005, CRC Press, s.154 (16-216)
- Semerie, J., 1998. Modular Concept of Lithium-Ion Battery for Geosynchronous Orbit Satellites, Fifth European Space Power Conference, Tarragona, İspanya, 21-25 Eylül
- Zheng, J. ve Chen, H., 2012. Analyze on GEO Satellites Output Power Variation, National Conference on Information Technology and Computer Science (CITCS 2012), Lanzhou, Çin, 16-18 Kasım