

ÇOK HÜZMELİ YÜKSEK VERİMLİ UYDU FAYDALI YÜK GİRİŞ KATMANI TASARIMINDA MERKEZİ GÜÇ KAYNAĞI ÜNİTELERİNİN KULLANIMI

M.Mehmet Nefes¹, Fatih Ayhan², A.Fazıl Yaraşlı³, Dr.Selman Demirel⁴
TÜRKSAT A.Ş., Ankara

ÖZET

Yüksek Verimli Uydu (YVU) sistemleri; frekansın tekrar kullanımı ve çoklu hüzmeye kapsama konseptlerinin kapasite verimliliğine ve veri oranı birim maliyetine sağladığı yararlar sayesinde büyük rağbet görmekte ve bu sistemleri barındıran haberleşme uydularının sayısı günde güne artmaktadır. Çoklu hüzmeye esasına dayalı YVU sistemlerinin doğal karmaşıklığı uydu faydalı yükü içindeki bağlantı ile arayüzlerin yoğun ve çeşitli olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle; geleneksel, kısıtlı ve geniş hüzmeli kapsama alanlarına sahip faydalı yükler için geçerli tasarım yaklaşımlarından daha farklı yaklaşımların uygulanması gerekebilmektedir. Bu çalışmada, düşük gürültülü yükselteç (DGY), frekans dönüştürücü (FD) gibi ekipmanları barındıran farklı YVU faydalı yük giriş katmanları ele alınmış olup paylaşımlı ve çoklu güç kaynağı kullanımının sistem seviyesi artışı ve eksi yönleri irdelenmiştir. Farklı faydalı yük konfigürasyonları üzerinden elde edilen sonuçlar, merkezi güç kaynağı kullanım veriminin hüzmeye sayısı ve donanım güvenilirliği ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

GİRİŞ

Haberleşme uydusu teknolojilerinde gelişim ile uydu üzerinden sağlanan haberleşme servislerinin niteliğinin ve niceliğinin artmasına bağlı olan sektördeki büyüme birbirlerini döngüsel olarak tetiklemektedir. Yüksek veri hızı ve artan kapasite ihtiyacına maliyet etkin çözüm sunma yaklaşımları haberleşme uydu tasarımlarını ve donanım geliştirilmesini doğrudan etkilemektedir. Sektördeki eğilim dar ama pek çok hüzmeye kapsama sahip ve yüksek veri oranı tabanlı uygulamalara göre tasarlanmış uydu faydalı yüklerini barındıran haberleşme uydularının geliştirilmesi, üretilmesi ve servise alınması yönündedir.

Yüksek verimli uydu olarak adlandırılan bu uydular sayesinde; yayıncılık için kullanılan geleneksel geniş kapsamlı bir uydunun kapasitesinin kabaca 100 katından daha fazla olan 100 Gbit/s seviyesinde bir kapasite tek bir uydu tarafından sağlanabilmektedir. Haberleşme uyduları sınıflandırmasında yer alan Yüksek Verimli Uydu'lar (YVU) (HTS: High Throughput Satellite); sabit uydu servisleri (FSS: fixed satellite services) sunan bir uydunun aynı miktarda tahsis edilmiş yörünge spektrumu ile en az iki katından daha fazla (genelde 20 kat veya daha fazla) toplam veri iletim hızı kapasitesi sağlayan ve bu sayede birim maliyeti önemli ölçüde azaltan uydular olarak tanımlanır [Mehrotra, 2012]. Bu tip uydularda genelde dar hüzmeli çoklu kapsamalar kullanılmakta ve kapasite verimliliğini artırmak için kapsamalarda belirli bir örüntüyle frekansın tekrar kullanımından yararlanılmaktadır. 90 Gbit/s değerinden daha fazla toplam kapasiteyi 82 Ka-bant

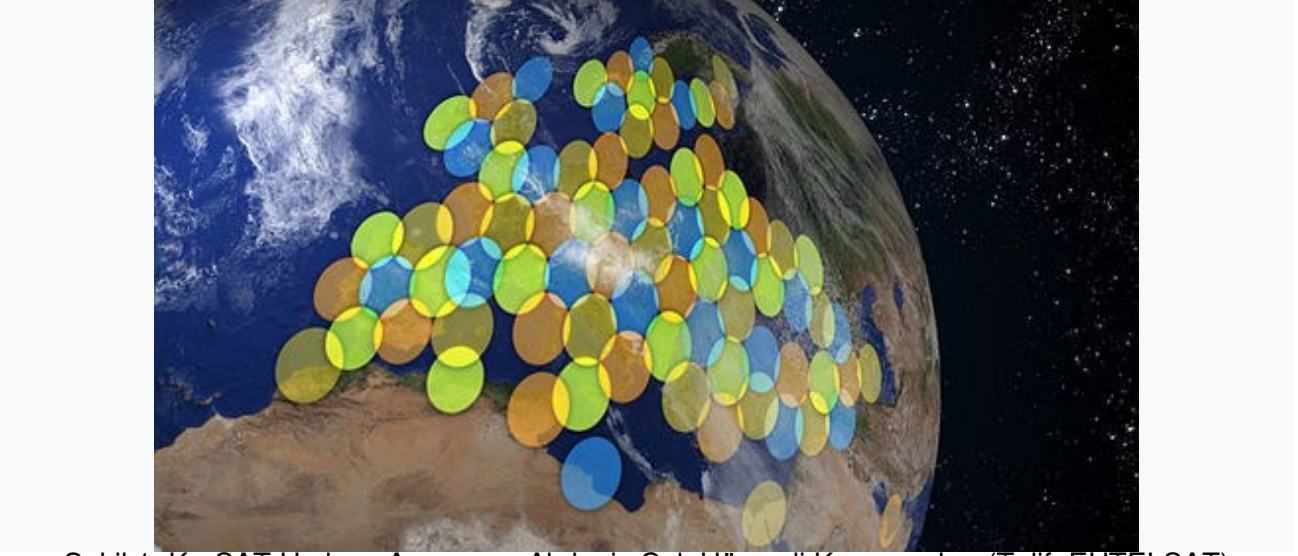
¹ Teknik Uzman, E-posta: mmnefes@turksat.com.tr

² Teknik Uzman, E-posta: fayhan@turksat.com.tr

³ Teknik Uzman, E-posta: afyarsli@turksat.com.tr

⁴ Direktör, E-posta: sdemirel@turksat.com.tr

çoklu kapsamayla sağlayan ve 2010 yılında hizmete giren Ka-SAT uydusu YVU tip uydulara bir örnektir. YVU uydu teknolojisinin yaygınlaşması; yüksek verimli ağ erişim çözümlerinin ve bu çözümlerin güncel internet gereksinimlerine uyumluluğun gelişmesine katkı sağlamaktadır [Anzalchi, Inigo ve Roy, 2017].



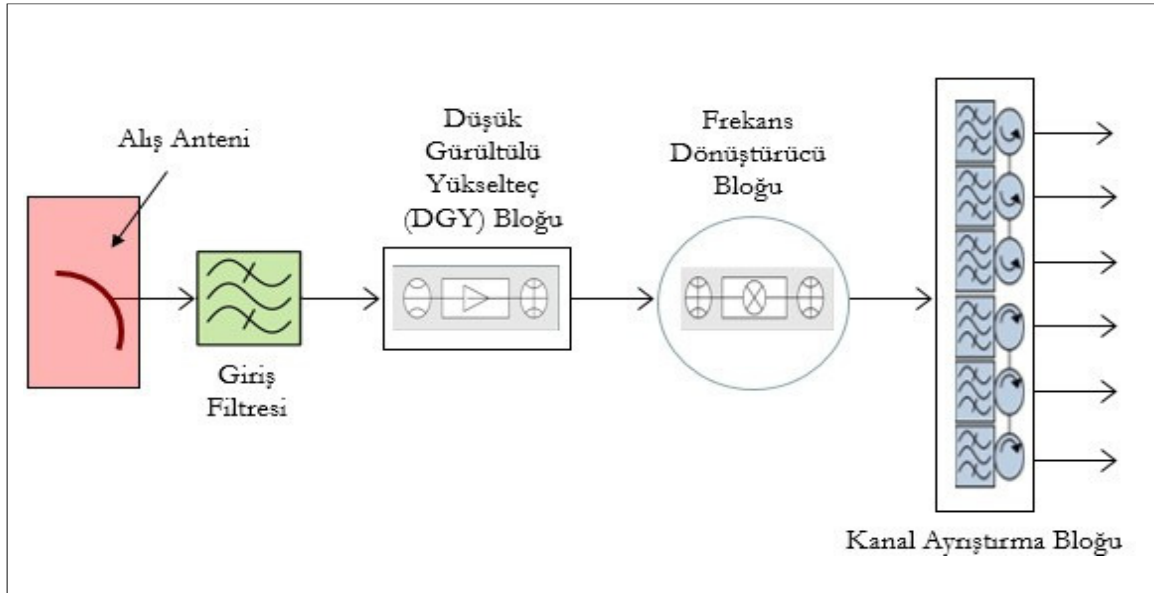
Şekil 1: Ka-SAT Uydusu Avrupa ve Akdeniz Çok Hüzmelili Kapsamaları (Telif: EUTELSAT)
(aynı renkler frekans tekrar kullanımı göstermektedir)

Uydu haberleşme sisteminde uzay bileşenini haberleşme uydusu oluşturmakta, haberleşme görevini yerine getiren ve iletişim servisini sağlayan modül ise faydalı yük (*payload*) olarak adlandırılmaktadır. Sağlıklı bir uydu haberleşmesi sağlanabilmesi için Dünya'dan iletilen sinyallerin uydu faydalı yükü tarafından yüksek hassasiyetle alınması, frekans çevrimi sonrasında yol kaybını bertaraf edecek şekilde çok yüksek seviyede kuvvetlendirilerek tekrar Dünya'ya iletilmesi gerekmektedir. Bu fonksiyon; faydalı yük bünyesinde yer alan yansıtıcı (*transponder*) olarak adlandırılan haberleşme kanalı hatları tarafından yerine getirilmektedir. Tipik bir yansıtıcı giriş (sinyal alışı), kanal ayrıştırma, kanal düzenleme ile kuvvetlendirme, çıkış (kanal birleştirme ve sinyal iletim) katmanlarından oluşur.

Faydalı Yük Giriş Katmanı

Faydalı yük giriş katmanının amacı antenler vasıtasıyla ulaşan sinyalleri yüksek hassasiyetle alma, gürültüden arındırma, kuvvetlendirme, gerekli frekans çevrim ve kanal ayrıştırma işlemlerini gerçekleştirmektir.

Uydu üzerindeki servis verilen kapsamalardan alınan sinyalleri toplayan uydu antenlerin her bir çıkış portu için en az bir giriş filtresi ile en az bir Düşük Gürültülü Yükselteç-DGY (*LNA: Low Noise Amplifier*) ya da frekans çevrimi özelliğine sahip sinyal alıcısı bulundurulması gerekir. DGY kullanımı söz konusu ise ayrıca Frekans Dönüştürücü (FD) kullanılması elzem olup YVU uydularının karmaşık frekans planları ve farklı frekans çevrim faktörleri nedeniyle genelde DGY ve FÇ kullanımı yaygındır. YVU uydularının yansıtıcı giriş katmanları geleneksel uydu faydalı yüklerine göre çok daha karmaşıktır. Bunun en önemli sebebi kapsama alan sayısının dolayısıyla giriş katmanına yönlendirilecek sinyal port sayısının çok fazla olmasıdır. Kapsama sayısı ile faydalı yükteki DGY ve FD sayısı doğrudan orantılıdır. Geniş ve kısıtlı kapsama alanlı geleneksel uydularda sinyal alıcısı sayısı sınırlı iken yüksek verimli uydularda bu sayı 100'ü geçebilmektedir. Geleneksel haberleşme uydusu faydalı yük giriş katmanında bulunan DGY ve FD ekipmanları bünyelerinde ikincil voltaj üreteçleri içeren, elektriksel arayüzün gerekli olduğu ve uydunun elektriksel alt-sistemi tarafından beslenen aktif ekipmanlardır. Çok sayıda DGY ve FD ekipmanı barındıran YVU tip uydularda; elektriksel besleme ve bağlantıları sağlamak için geleneksel topolojilerden farklı; merkezi bir üniteden güç dağıtımı gibi bir güç kaynağı dağıtımı konsepti tercih edilebilmektedir.



Şekil 2: Tipik bir haberleşme uydusunun faydalı yük / yansıtıcı giriş katmanı

Uydu üzerindeki servis verilen kapsamalardan alınan sinyalleri toplayan uydu antenlerinin her bir çıkış portu için en az bir giriş filtresi ile en az bir DGY ya da frekans çevrimi özelliğine sahip sinyal alıcısı bulundurulması gerekir. DGY kullanımı söz konusu ise ayrıca FD kullanılması elzem olup YVU uydularının karmaşık frekans planları ve farklı frekans çevrim faktörleri nedeniyle genelde DGY ve FÇ kullanımı yaygındır. YVU uydularının yansıtıcı giriş katmanları geleneksel uydu faydalı yüklerine göre çok daha karmaşıktır. Bunun en önemli sebebi kapsama alan sayısının dolayısıyla giriş katmanına yönlendirilecek sinyal port sayısının çok fazla olmasıdır. Kapsama sayısı ile faydalı yükteki DGY ve FD sayısı doğrudan orantılıdır. Geniş ve kısıtlı kapsama alanlı geleneksel uydularda sinyal alıcısı sayısı sınırlı iken yüksek verimli uydularda bu sayı 100'ü geçebilmektedir.

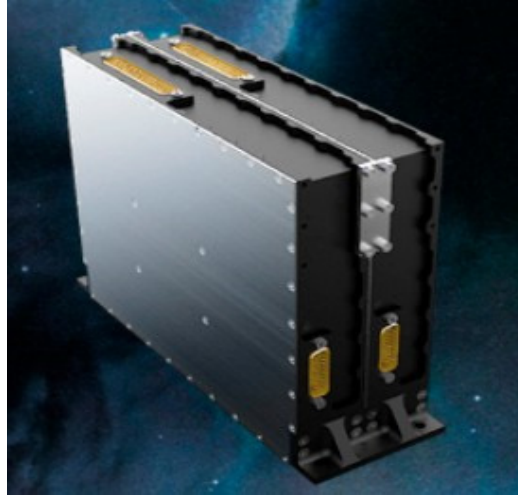
Geleneksel haberleşme uydusu faydalı yük giriş katmanında bulunan DGY ve FD ekipmanları bünyelerinde ikinci voltaj üreteçleri içeren, elektriksel arayüzün gerekli olduğu ve uydunun elektriksel alt-sistemi tarafından beslenen aktif ekipmanlardır. Çok sayıda DGY ve FD ekipmanı barındıran YVU uydularında; elektriksel besleme ve bağlantıları sağlamak için geleneksel topolojilerden farklı; merkezi bir üniteden güç dağıtımı gibi bir güç kaynağı dağıtım konsepti tercih edilebilmektedir.

Merkezi Güç Kaynağı Üniteleri

Merkezi güç kaynağı üniteleri (MGKÜ); uydunun birincil bara voltajını ikincil doğrudan akım (DC) voltajlarına dönüştüren ve faydalı yük giriş katmanındaki DGY, FD, alıcı gibi aktif ekipmanlara dağıtan donanımlardır. MGKÜ tarafından sağlanan düşük ikincil DC voltajlar herhangi bir ilave dönüşüm olmadan ilgili ekipmanlara doğrudan iletilir. MGKÜ kullanımı sayesinde DGY ve FD gibi ekipmanların bünyesinde ayrı bir ikincil voltaj üreten DC/DC dönüştürücü kısımlarına ihtiyaç kalmamakta ve bunun sonucunda söz konusu aktif ekipmanlar daha kompakt hale gelebilmektedir.

MGKÜ; DC/DC voltaj dönüşümü yapan elektrik güç modülü, ikincil voltajın sağlandığı ekipmanları ile bağlantıları yöneten çıkış bağlantı modülü, sağlık durumu verilerin iletilmesini sağlayan telemetri modülü gibi alt bileşenlerden oluşmaktadır. Elektrik güç modülünün kapasitesi MGKÜ'ye bağlı aynı anda çalışabilecek ekipman sayısını belirleyen en faktördür. Yeterli yedekliliğin sağlanması gereken MGKÜ güç modülünün devre dışı kalması durumunda bağlı olduğu tüm ekipmanlar çalışamaz hale gelir. DGY ve FD ekipmanlarının çalışmaması durumunda ise faydalı yük haberleşmesi tamamen kesileceğinden söz konusu ekipman uyduda hayati önem taşımaktadır. Kütle, hacim, yerleşim güç gibi faktörler nedeniyle ciddi avantaj sağlayan MGKÜ ekipmanlarının faydalı yük giriş katmanı tasarımında kullanılırken güvenilirlik, yedeklilik ve ekipmanın başarılı tarihçesi gibi faktörler de mutlaka göz önüne alınmalıdır. YVU tip uydularda MGKÜ kullanımı yaygın hale gelmeye başlamış olup uzay tarihçesine sahip donanımlar endüstride bulunabilmektedir. Ancak MGKÜ kullanımının her uydu için optimum tasarım çözümü olduğu

söylenemez. Uydunun faydalı yük yapısı, frekans planı, kapsama alanı sayısı, uydunun büyüklüğü, mekanik ve güç kısıtları, güvenilirlik ve yedeklilik gibi pek çok parametre detaylıca irdelenmelidir.



Şekil 3: Örnek bir merkezi güç kaynağı ünitesi (Telif: Lucix)

YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında YVU uyduları faydalı yüklerinde yaygın olarak kullanılan giriş katmanı tasarımları ele alınmış, DGY ekipmanları için merkezi güç kaynağı ünitelerinin kullanımı farklı tipteki faydalı yük yapıları için analiz edilmiş ve kıyaslanmıştır. Tablo 1’de gösterildiği gibi farklı faydalı yük kapasitelerine sahip örnek iki uydu için MGKÜ kullanımının olmadığı (geleneksel yaklaşım), tek MGKÜ ve iki MGKÜ kullanımı durumlarına göre kütle ve güç kıyası yapılmıştır. İki MGKÜ kullanımı durumu, tek bir MGKÜ’nin bağlantı kapasitesi için yeterli olmadığı durum olarak düşünülmüştür. Son olarak ise; MGKÜ kullanımının faydalı yük güvenilirlik seviyesine etkisi ele alınmıştır.

Tablo 1: İncelenen Faydalı Yük ve MGKÜ Kullanım Seçenekleri

	Uydu 1 Faydalı Yüğü	Uydu 2 Faydalı Yüğü
Hüzme Sayısı	100	50
DGY sayısı (çalışan)	100	50
DGY sayısı (yedek)	20	10
Durum 1	MGKÜ kullanımı yok (geleneksel yaklaşım)	
Durum 2	Tek MGKÜ kullanımı	
Durum 3	İki MGKÜ kullanımı	

UYGULAMALAR ve DEĞERLENDİRME

Yöntem kısmında tanımlanan seçenekler için öncelikle kütle ve güç tüketimi bütçeleri hesaplanmıştır. Kütle ve güç bütçeleri yalnızca DGY ve MGKÜ donanımlarını kapsamakta olup uyduda ve faydalı yükteki diğer bileşenler hesaba katılmamıştır.

Tablo 2: Kütle Kıyaslama Bütçesi

	Uydu 1 Faydalı Yüğü	Uydu 2 Faydalı Yüğü
Durum 1	39 kg	19.5 kg
Durum 2	24 kg	13.5 kg
Durum 3	27 kg	15 kg

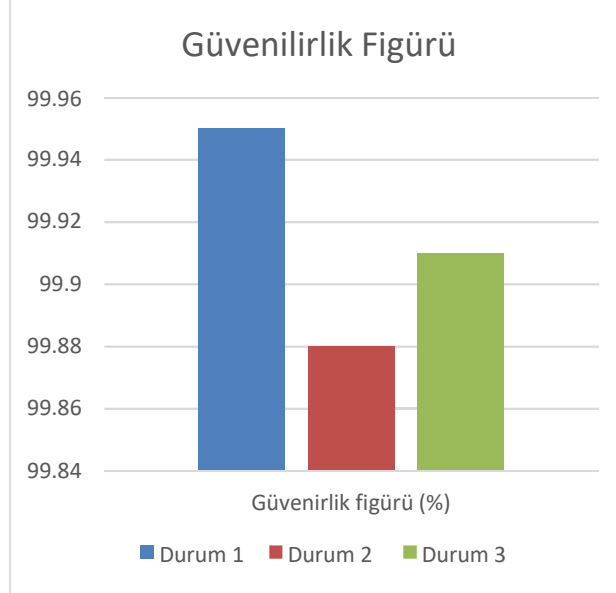
Geleneksel yaklaşım olan MGKÜ kullanımının olmadığı birinci durumda piyasada bulunan dörtlü DGY donanımı esas alınmış ve DGY başına 1.3 kg alınmıştır. İkinci durumda tek bir MGKÜ donanımının yeterli bağlantıları karşılayabildiği, üçüncü durumda MGKÜ donanımının 1.uydu için 60 bağlantıyı, 2.uydu için ise 30 bağlantıyı desteklediği varsayılmıştır. Üç durum için DGY ve MGKÜ donanımlarını kapsayan güç tüketim bütçeleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Güç Tüketimi Kıyaslama Bütçesi

	Uydu 1 Faydalı Yüğü	Uydu 2 Faydalı Yüğü
Durum 1	225 W	112.5 W
Durum 2	180 W	85 W
Durum 3	200 W	100 W

Tablo 2’de sunulan veriler; tek MGKÜ donanım kullanımının yaklaşık %40’a kadar kütle avantajı sağladığını göstermektedir. Uydu faydalı yükün daha büyük olması ve daha fazla DGY gerektirmesi durumunda MGKÜ kullanımının kütle açısından daha verimli olduğuna işaret etmektedir. Hacim ve yerleşim kıyasının kütle kıyası ile görece ilintili olduğu ve kütle avantajının da hacim ve yerleşime benzer bir şekilde yansıtacağı değerlendirilmektedir. Güç tüketimi kıyası açısından ise MGKÜ kullanımının olumlu katkısının kütleyle kıyasla çok daha az kaldığı söylenebilir. Ayrıca bu etkinin faydalı yük büyüklüğü ile de ilişkili olmadığı görülmektedir.

Uydu 1 faydalı yükü esas alınarak kütle ve güç tüketimi bütçelerinde kullanılan aynı üç durum için faydalı yük güvenilirlik figürleri hesaplanmıştır. Bu hesapta her bir MGKÜ donanımının sadece dahili yedeğe sahip olduğu, ilave harici bir yedek olmadığı ve DGY donanımları için ise Tablo 1’de de gösterildiği gibi %20 oranında soğuk yedek ekipman olduğu varsayılmıştır.



Şekil 4: Güvenilirlik Analizi Kıyaslaması (Uydu 1 Faydalı Yüğü)

Şekil 4’de görüldüğü üzere MGKÜ kullanımı güvenilirlik figürünü düşürmektedir. Arıza durumunda etkilenecek donanımlar ve yayılım etkisi düşünüldüğünde elde edilen sonuç beklendiği gibidir. İkinci durum ile üçüncü durum değerleri kıyasladığında ise iki MGKÜ kullanımının arıza yayılım riskini dağıttığı ve güvenilirlik açısından daha etkin bir çözüm sunduğu söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada, düşük gürültülü yükselteç (DGY), frekans dönüştürücü (FD) gibi ekipmanları barındıran farklı yüksek verimli uydu faydalı yük giriş katmanı tasarımları ele alınmış olup merkezi güç kaynağı ünitesi (MGKÜ) kullanımının sistem etkileri kütle, güç tüketimi ve güvenilirlik açılarından irdelenmiştir. Farklı faydalı yük konfigürasyonları üzerinden elde edilen sonuçlar, MGKÜ kullanım veriminin hüzme sayısı ve donanım güvenilirliği ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

MGKÜ kullanımının yüksek sayıda hüzme içeren büyük YVU faydalı yükleri için kütle, hacim ve yerleşim açılarından ciddi avantaj sağladığı görülmektedir. Maliyete de etki eden bu avantajlar, sistem güvenilirliğini ise olumsuz etkilemektedir. Yedeklilik konseptinin hem söz konusu avantajlardan faydalanılacak hem de sistem güvenilirlik gereklilikleri yerine getirecek şekilde ele alınarak tasarıma uygulanması gerektiği değerlendirilmektedir. Hüzme sayısı çok daha az olan faydalı yükler için ise; elde edilecek düşük verim nedeniyle uydudaki diğer kısıtlara da bağlı olarak MGKÜ kullanımına daha ihtiyatlı yaklaşılması gerektiği düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalar kapsamında; analiz edilen durumların genişletilmesi ve merkezi lokal osilatör sinyal dağıtıcısı gibi benzer paylaşımlı topolojilerin ele alınması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Anzalchi, J., Inigo, P., Roy, B., 2017. *Application of photonics in next generation telecommunication satellites payloads*, Proc. SPIE 10563, International Conference on Space Optics ICSO 2014, 105633O.
- Fontani, L., Galgani, A., Orlandi, M., 2005. *Central Payload Power Supply for Highly Integrated Payload Suites on Future Small Satellites Missions*. Seventh European Space Power Conference
- Mehra, N., Kakkar, A., Bera, S.C., 2018. *System Design Aspects of Ka-Band High Throughput Satellite (HTS) for Indian Region*, Twenty Fourth National Conference on Communications (NCC), Hyderabad, pp. 1-6.
- Mehrotra, R., 2012. *Regulation of Global Broadband Satellite Communications*, ITU Regulatory & market environment-Broadband series
- Vidal, O., Verelst, G., Lacan, J., Alberty, E., Radzik, J., Bousquet, M., 2012. *Next generation High Throughput Satellite system*, IEEE First AESS European Conference on Satellite Telecommunications (ESTEL), Rome, pp. 1-7.