

## Haberleşme Uydularında Faydalı Yük Açısından Eş Yörünge Analizi

Burak Tos<sup>1</sup> ve Fatih Ayhan<sup>2</sup>  
Türksat A.Ş., Ankara

### ÖZET

*Haberleşme uydularında faydalı yük açısından sistemin performansını etkileyen farklı etmenler bulunmaktadır. Haberleşme performansını etkileyen etmenlere örnek olarak parazit sinyalleri, çevresel etkileri, kullanılan dalga kılavuzu kaybını, atmosferik koşulları, uydu konumlandırmasını ve farklı uydulardan gelen sinyalleri verebiliriz. Aynı yörünge ve boylamda görev yapacak uydular için bu etmenlerin bazıları diğer etmenlerden daha belirleyici olabilir. İki haberleşme uydusunun aynı yörünge ve boylamda bulunduğu durumda ilk olarak frekans planlarına bağlı olarak bu etkiler incelenmelidir. Ayrıca faydalı yük açısından eş yörünge analizinde kullanılacak olan parametreler uydu konumları, anten arka huzme kazancı, giriş ve çıkış filtrelerinin etkisi, yükselteçlerin etkisi, boşluk kaybı parametreleri olarak sıralanabilir. Gerçeğe yakın değerler kullanılarak eş yörünge analiz metodu, sonuçları ve oluşabilecek etkiler incelenmiştir.*

### GİRİŞ

Yer sabit yörünge yıldan yıla daha kalabalık bir hale gelmektedir. Bu durum sadece uydu kontrolü açısından durumu karmaşık hale getirmemektedir aynı zamanda RF sinyal yönetimi yönünden de daha zorlu bir ortam ortaya çıkmaktadır. Aynı yörünge ve aynı boylamda iki, üç veya daha fazla uydu konumlandırılması günümüzde yaygınlaşmıştır. Bu sebeple aynı yörünge ve aynı boylamda görev yapacak uyduların faydalı yükleri arasında uyumu görmek için uyumlulukları analiz edilmelidir. Aksi takdirde sistemler birbirini etkileyerek girişime neden olur ve girişim oluşan kanal veya kanallar performanslarını kaybedebilirler. Etkileşim oluşması olası durumlarda filtreleri veya kanal frekanslarının değiştirilmesi gerekebilir. Önlem alınmadığı durumda ise etkileşim tespit edilen kanallar arasında tercih yapılması gerekebilir. Aynı frekansları kullanan uydular aynı yörünge ve aynı boylamda servis vereceği durumlarda yörüngede yapılacak olan testlerle frekans benzeşimi olan uyduların performansı analiz edilebilir. Testlerin yapılmasından önce tasarım aşamasında sistem parametreleri belirlenmiş ise analiz yapılarak farklı faydalı yüklerin uyumları tespit edilebilir olacaktır ve filtreler üzerinden gerekli önlemler alınabilecektir. Yazımızda iki haberleşme uydusunun aynı boylam ve yörüngede faydalı yük açısından eş yörünge analizi yapılmış ve oluşan etkiler incelenmiştir.

<sup>1</sup> Uzman, Uydu Programları Direktörlüğü., E-posta: btos@turksat.com.tr

<sup>4</sup> Direktör, Uydu Programları Direktörlüğü., E-posta: fayhan@turksat.com.tr

## YÖNTEM

### Faydalı Yük Parametrelerinin Belirlenmesi

Analizde iki farklı uydunun aynı yörünge ve aynı boylamda bulunduğu durum değerlendirilecektir. Uydular, yayın yapan (uydu A) ve etkilenen olmak (uydu B) üzere iki farklı kategoride adlandırılmıştır. Yayın yapan uydunun maksimum etkili izotropik yayın gücü (EIRP) hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Uydu A'nın aşağı hat frekanslarının uydu B'nin yukarı hat frekansıyla benzer olduğu durumlarda uydu B'de kanallarında sinyal açısından bozulmaya neden olabilir.

### Uydu Konumlarının Etkisi

İki uydunun birbirine en fazla etki ettiği durumu inceleyebilmek için yayın yapan uydula etkilenen uydunun aynı hizada ve arka arkaya oldukları durum dikkate alınmıştır. İki uydunun arka arkaya konumlandığı durum diğer olası konumlandırmalara göre en kötü durum senaryosu olarak düşünülebilir. Bu durumda yayın yapan uydu anteninin ana huzmesi diğer uyduya etki etmektedir. Aralarındaki uzaklık minimum olarak 4km olarak kabul edilecektir fakat gerçek durumda uzaklık 4km'nin üzerinde görülebilmektedir. Fakat uydular yörüngede sabit olmadıkları için aslında anten karakteristiğindeki ana kazanç huzmesi yerine yan kazanç huzmelerinin analiz edilmesi gerektiği durumlar olabilir. Fakat yan huzmelerin güç akısı ana huzmeye göre daha düşük olduğu için en kötü durum senaryosu için uyduların arka arkaya konumlandığı durum düşünülmelidir.

### Anten Arka Huzme Kazancı Etkisi

Alıcı konumda bulunan uydu anteninin arka huzme kazancı hesaplamada dikkate alınmalıdır. Antenin arka huzme kazancı genellikle negatif desibeller cinsinden ifade edilmektedir. Değerin negatif olması da kazanç yerine kaybın olduğunu ifade eder ve etkiyi düşürücü bir etken olarak değerlendirilebilir. Bir antenin arka huzme kazancı ne kadar düşük olursa, geriye doğru yayılmasının o derecede az olduğunu ve anten arka lobdan daha az güç kaybettiğini ifade eder. Antenlerin arka huzme kazancı ölçüm testi genellikle yapılmamaktadır ve en kötü durumu analizi yapabilmek için 5 dB olarak kabul edilmiştir.

### Filtrelerin Etkisi

Etkilenen konumda bulunan uydunun giriş filtrelerinin hangi frekanslarda ve ne seviyede bastırma yaptığının bilinmesi gerekmektedir. Yayın yapan uydunun çıkış filtresinin bastırdığı frekanslar ile etkilenen uydunun giriş filtresinin bastırma ve geçirgenliğinin hangi frekanslarda ne seviyelerde olduğu değerlendirilmelidir. Yayın yapan uydunun çıkış filtreleri maksimum geçirgenliğe kanal içi frekanslarında sahiptirler. Bu nedenle iki uydu arasında frekans çakışması olmadığı durumlarda iki uydu arasındaki etkileşim ihmal edilebilir seviyelerde oluşabilir. Fakat etkileyen uydunun yayın yaptığı frekans ile etkilenen uydunun alış frekansları birbiriyle örtüşüyorsa iletişim performansını etkileyebilecek sonuçlar oluşabilir.

### Yükselteçlerin Etkisi

Yükselteçler genellikle tüm bant üzerinde yükseltme yapmaktadır. Örnek olarak bir tüp yükselteci, çalışma frekansı olan bant aralığında tüm banda aynı seviyede etki etmektedir. Kanalda gürültü olması durumunda dahi tüp gürültüyü yükseltecektir. Bu nedenle yayın yapan uydunun çıkış filtresi istenilen frekans kanallarına göre tasarlanmalı ve alış durumundaki uydula örtüşecek frekanslarda bastırma seviyelerinin yeterli olması gerekmektedir. Yükselteç ayrıca yayın yapan uydunun maksimum EIRP değerine etki etmektedir.

### Dikkate Alınması Gereken Kanal Sayısı

Ku bant bir kanal dikey ve yatay bileşenden oluştuğu için bu değer 2 olarak kabul edilebilir. Etkileyen uydunun Ka bant olması, ağ geçidi antenlerinin diğer uyduyu etkilemesi durumlarında bu sayı değişebilir. Ağ geçidi anteni kullanılmadığı duruda bu değer 2 olarak kabul edilmelidir.

$$Kanal\ Sayısı = (Etkileşimde\ bulunan\ anten\ sayısı) * (Polarizasyon\ sayısı)(1)$$

Kanal sayısı tespit edildikten sonra, bu değer formül (2) kullanılarak dB cinsinden kayın ne kadar olduğunu hesaplamamızı sağlayacaktır.

$$Kayıp = 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{Kanal\ Sayısı} \right)(2)$$

### Boşluk Kaybı

Yayın yapan anten çıkışındaki sinyal ile alışı durumunda olan anten arasında 4km'lik uzaklık olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Fakat uydular arasındaki uzaklık 4km değerinden çok daha iyimser değerler alabilmektedir. Boşluk kaybı aşağıdaki formülle (3) hesaplanmıştır. [Maral ve Bousquet, 2011]

$$\text{Boşluk Kaybı}(dB) = 20 * \log_{10}(\text{frekans}(MHz)) + 20 * \log_{10}(\text{uzaklık}(km)) + 32.45(3)$$

### Frekans Planı

A uydusunun frekans planı şekil 1'de verilmiştir. Uydu A'nın aşağı hat merkez frekansları olan 13300, 13400 ve 13500 MHz frekansları için eş yörünge analizi yapılacaktır.

Yukarı Hat (MHz)(Uydu A)			Aşağı Hat (MHz)(Uydu A)			
Başl. Fre. (MHz)	Merkez Fre. (MHz)	Bitiş Fre. (MHz)	Başl. Fre. (MHz)	Merkez Fre. (MHz)	Bitiş Fre. (MHz)	Bant Genişliği(MHz)
14480	14500	14520	13280	13300	13320	40
14580	14600	14620	13380	13400	13420	40
14680	14700	14720	13480	13500	13520	40

Şekil 1: Uydu A Frekans Planı

B uydusunun frekans planı şekil 2'de verilmiştir. Uydu B'nin aşağı hat başlangıç frekansı 13500 olan aktarıcının uydu A'nın yaptığı yayınlardan etkileneceği belirlenmiştir. 13600 ve 13700 MHz ile başlayan kanallar ise uydu A'nın yayın frekanslarından daha uzaktadır. Bu nedenle 13600 ve 13700 MHz frekansı ile başlayan kanallarının uydu A'nın yayınlarından ihmal edilebilecek düzeyde etkilendiği değerlendirilmiştir.

Yukarı Hat (MHz)(Uydu B)			Aşağı Hat (MHz)(Uydu B)			
Başl. Fre. (MHz)	Merkez Fre. (MHz)	Bitiş Fre. (MHz)	Başl. Fre. (MHz)	Merkez Fre. (MHz)	Bitiş Fre. (MHz)	Bant Genişliği(MHz)
13500	13520	13540	11500	11520	11540	40
13600	13620	13640	11600	11620	11640	40
13700	13720	13740	11700	11720	11740	40

Şekil 2: Uydu B Frekans Planı

Frekans planı eş yörünge analizinde önemli bir etmendir. Eş yörünge analizi yapılacak uyduların frekans planlarına bakılarak filtre bastırma değerlerinin frekanslara karşılık gelen değerlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

### UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

İki farklı yer sabit yörünge uydusunun sinyal yönünden eş yörünge analizi yapılabilmesi için gerekli olan parametreler belirlenmiş ve gerekli tablolar hazırlanmıştır. Analizde kabul edilen parametreler aşağıdaki gibidir.

- İki uydu arasındaki uzaklık en kötü durum olarak 4km kabul edilmiştir.
- Uydu EIRP'si 57 dB olarak kabul edilmiştir.
- Uyduların alışı ve veri frekans planları Şekil 1 ve Şekil 2' de verilmiştir.

- Alış anteni arka huzme kazancı 5 dB olarak kabul edilmiştir.
- Yayın frekansı olarak kanalların merkez frekansları kabul edilmiştir.
- Etkilenecek durumdaki uydu anteninin yönlülük değeri 38 dBi kabul edilmiştir.
- Bant dışında kalan uydu A EIRP'si 0 dBW olarak kabul edilmiştir.

Frekans (Yayın Yapan Uydu Frekansları)	13300	13400	13500	MHz	
Yayın Yapan Uydu EIRP	57	57	57	dBW	Uydu A verisi
Dikkate Alınması Gereken Kanal Sayısı	2	2	2		Uydu A verisi
	-3.010299957	-3.010299957	-3.010299957		
Uydular Arası Uzaklık	4	4	4	km	Varsayım
Boşluk Kaybı	127.0	127.0	127.1	dB	Hesaplama
Alış Anteni Arka Huzme Kazancı	5	5	5	dB	Uydu B anteni ölçüm değeri veya varsayım
Anten Etkin Alanı	-43.92670637	-43.99176951	-44.05634892	dBW/m <sup>2</sup>	Hesaplama
Giriş Filtre Bastırması	-67	-67	0	dB	Uydu B giriş filtre verisi
Alış Anten Yönlülük	38	38	38	dBi	
Etkilenecek Uydu Alış Hattına Ulaşan Sinyal Güçü	-129.0	-129.0	-62.1	dBW	Hesaplama
Maksimum Kazançta Bant İçine Düşen Güç Akı Yoğunluğu	-123.0312263240920	-123.0312263240920	-56.0312263240917	dBW/m <sup>2</sup>	Hesaplama
Toplam(dBW/m <sup>2</sup> )	-56.03			dBW/m <sup>2</sup>	Hesaplama

### Şekil 3: Eş Yörünge Analizi

Yayın yapan uydunun EIRP değeri yayın yaptığı frekanslarda geçerli olduğu için gerçekte bu EIRP değeri frekansların uyuşmadığı durumda çok düşük olacaktır çünkü Uydu A çıkış filtresi bant dışında kalan sinyali bastıracaktır. Bu nedenle bant dışında kalan frekanslara uydu EIRP'si 0 kabul edilebilir veya maksimum EIRP'den çıkış filtre bastırması çıkarılarak bulunabilir. EIRP değeri 57 alınması durumunda iki frekans değer için etkileşim oluşturmayacak seviyede güç akı yoğunluğu gözlemlenmiştir. Fakat frekans uyuşmasının olduğu durumda maksimum EIRP değeri alınarak hesap yapılmıştır. Uydu A 13300, 13400 ve 13500 merkez frekanslarında 40 MHz'lik kanallardan yayın yapmaktadır. Bu kanallarda sadece 13480 ile 13520 MHz arasında olan kanal uydu B ile 20 MHz'lik kısımdan benzeşmektedir. 13500 ile 13520 MHz aralığı uydu B için alış frekansıdır ve bu nedenle bu kanal iki uydunun aynı yörünge ve aynı boylamda kullanılması durumunda performans kaybı yaşayacaktır.

Uydu B alış hattına ulaşacak sinyal gücü hesaplanmasında (4) formül kullanılmıştır. Uydu alış hattına ulaşan sinyal gücü dBw biriminde hesaplanmıştır.

$$\text{Uydu Alış Hattına Ulaşan Sinyal Gücü} = (\text{Yayın Yapan Uydu EIRP}) - \left( 10 * \log_{10} \left( \frac{1}{\text{Kanal Sayısı}} \right) \right) + \text{Boşluk Kaybı} + \text{Alış Anteni Arka Huzme Kazancı} + \text{Alıcı Uydu Giriş Filtre Bastırması} \quad (4)$$

Alıcı durumdaki B uydusu antenin, anten etki alanı 5 numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değere alış anteninin yönlülük değeri eklenir ve çıkan sonuç etkilenen uydu alış hattına ulaşan sinyal gücüne eklenerek “maksimum kazançta bant içine düşen güç akı yoğunluğu” değeri bulunmaktadır. [Maral ve Bousquet, 2011]

$$\text{Anten Etki Alanı} = \frac{(\lambda)^2}{4 * \pi} \quad (5)$$

13300 ve 13400 MHz merkez frekansındaki kanallar yüksek giriş filtre bastırması nedeniyle etkileşim oluşturmamaktadır. Maksimum uydu EIRP’si ile uydu çıkış filtrelerinin bant dışı bastırma değerleri kullanılarak gerçek bir durum için EIRP hesabı yapılabilir. 13300 ve 13400 kanallarında maksimum kazançta bant içine düşen güç akı yoğunluğu -123 dBW/m<sup>2</sup> seviyesinde olduğu görülmektedir. Oluşan güç akısının B uydusunun haberleşme performansına etkisi olmayacağı değerlendirilmiştir.

13500 merkez frekansındaki uydu A kanalı ile 13520 merkez frekansındaki uydu B kanalları arasında etkileşim olacağı değerlendirilmiştir. İki uydu kanalı arasında 13500 ile 13520 frekansları arasında frekans yönünden benzerlik bulunmaktadır. Bu nedenle B uydusunun giriş filtre bastırması bu frekansta 0 olarak alınabilir. B uydusuna ait filtre spesifikasyonları incelenerek giriş filtre bastırma değeri gerçek durum için güncellenebilir. A uydusundan yapılan yayının B uydusunda kanal içinde -56 dBW/m<sup>2</sup> seviyesinde güç akısı oluşturacağı belirlenmiştir. B uydusunun alıcılarının hassasiyetine bağlı olarak, -56 dBW/m<sup>2</sup> akı yoğunluğu aktarıcıda aşırı sürüme neden olabilir. Aşırı sürüme neden olması durumunda ise B uydusu aşağı hat sinyalinde bozulma gözlemlenebilir.

## SONUÇ

İki farklı yer sabit haberleşme uydusunun faydalı yük açısından eş yörünge analizi tasarımsal uydu parametrelerine göre yapılmıştır. İki uydu arasındaki etkileşim durumu faydalı yük açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre aynı boylam ve yörüngede görev yapacak iki uydunun frekanslarının birbirinden farklı seçilmesi gerektiği görülmektedir. Frekansların birbirinden farklı olduğu durumlarda ortaya çıkan etkileşimin haberleşme performansına etkisinin ihmal edilebilir olacağı belirlenmiştir. Fakat frekansların benzer olduğu kanallarda iki uydu arasında etkileşim oluşmaktadır. İki uydu arasında benzer frekanslar bulunduğu durumlarda performans etkisi analizlerle tespit edilmeli ve yörünge test sonuçları da dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

**Kaynaklar**

Maral, G., 2011. Michel B., John Wiley&Sons, 5. Baskı , s.163-246